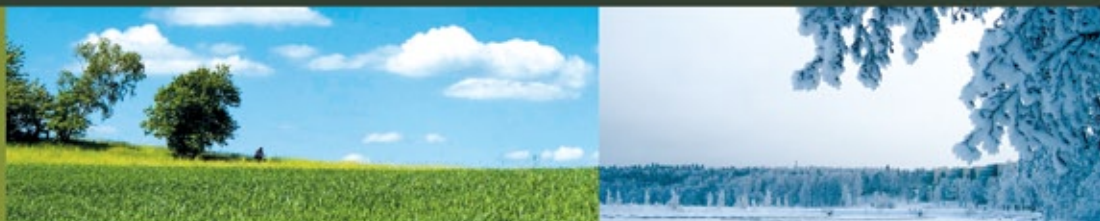


IS

Ilmansuojeluyhdistys ry:n jäsenlehti

Magazine of the Finnish Air Pollution Prevention Society

2/2017



ENFUSER mallintaa kaupunkien ilmanlaatua

Altistumisen arviointia mittausverkoston avulla

Päällekkäisyyttä päästökaupan kanssa vältettävä

Haavoittuvuus altistaa sään ääri-ilmiöille

Kaupunkibulevardien korttelirakenteella
selkeä vaikutus ilmanlaatuun

Hiilipäästöjä kuriin kannattavasti metsänhoidolla

Uudistuvassa liikumiskulttuurissa on vain voittajia

Hiilineutraali Ympäristökeskus mallina Korkeasaarelle

Green city turned grey -

Combating air pollution in Kyrgyzstan

Uudistamassa Keski-Aasian havaintoverkkoa

Jätevoimalasta Energiamurrokseen

PK-seudusta korkeatasoinen testialue cleantechille

ILMANSUOJELU

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

Päätoimittaja / Redaktör

Johanna Kare-Haavisto
ilmansuojelulehti@gmail.com

Toimituskunta / Redaktionsråd

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

Yhteystiedot / Kontakt information

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

Ilmoitushinnat normaali /yritysjäsen: Annonpris vanligt / för medlemmar:

1/1 sivu 380 € / 305 €

1/2 sivu 290 € / 233 €

1/3 sivu 195 € / 156 €

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

Taitto / Ombrytning

www.grafioso.fi/Tarmo Lavikka

Kannen kuva / Omslagsbild

Grafioso

Paino / Tryckeri

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

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

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

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

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



Hallitus / Styrelse Puheenjohtaja / Ordförande

Anu Kousa

Varapuheenjohtaja / Viceordförande

Maija Leino

Jäsenet / Medlemmar

Tommi Forsberg, Kari Wellman, Petteri Huuska
ja Helena Kivi-Koskinen

Varajäsenet / Suppleanter

Hanna Hannuniemi, Laura Sokka, Janne Ruuth
ja Heidi Lettojärvi

Jäsenrekisterin ylläpito ja talousasiat/ Upprätthållande av medlemsregister och ekonomiska ärenden

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



www.facebook.com/
Ilmansuojeluyhdistys



@ISY_fi

Pankkitili / Bankkonto

Nordea 126930-615326

Ilmansuojeluyhdistys ry.

Sihteeri Liisa Kallio

PL 136, 00251 Helsinki
Puh. 045 1335989
sihteeri@isy.fi
www.isy.fi



Pääkirjoitus

Miksi altistumme?

Kansainvälisen ilmastopolitiikan seuraaminen on kyllä jännittävää puuhaa: kuka olisi arvannut, että Yhdysvaltojen sanoutuminen irti Pariisin sopimuksesta saa muut valtiot sekä ison osan Yhdysvaltojen osavaltioita sitoutumaan sopimukseen entistä tiiviimmin. Ilmastomuutoksen myötä ja äärimmäisten sääolojen yleistyessä haavoittuvuuden merkitys korostuu kun puhutaan esimerkiksi tulville ja helteille altistumisesta. Vastakkainasettelu auttoi erityisesti haavoittuvimpia valtioita ja niiden kansalaisia kun paremmassa asemassa olevat valtiot julistivat kilvan sitoutumistaan ilmastopopimukseen.

Tässä lehdessä käsittelemme eri tekijöiden vaikutusta ilmansaasteille ja sääoloille altistumiseen. Altistumisen arviointia helpottavat uudet työkalut, kuten tosiaikainen ja paikallinen ENFUSER-mallinnus sekä ISTE-hankkeen väestöpainotteinen altistumisen kartoitus. Supertietokoneella mallinnettu korttelirakenteen vaikutus kaupunkibulevardien ilmanlaatuun havainnollistaa kaupunkisuunnittelun merkitystä epäpuhtauksille altistumisessa. Artikkelit Kirgisian pääkaupungin ilmanlaadusta ja sen mittaamisen problematiikasta nostavat esille kaupunkisuunnittelun sekä eriarvoisen yhteiskunnan vaikutusta altistumiselle.

Näin Ilmansuojelupäivien lähestyessä saamme kuulla lisää viime vuotisen ISYn stipendin 2016 voittaneen **Aino Assmuthin** työstä, joka käsittelee metsänhoitotapojen vaikutusta hiilipäästöihin. Hiilineutraaliutta tavoittelee myös Helsinki ja osana tätä strategiaa Korkeasaari on pyrkimässä vähähiiliseen linjaan, johon on otettu mallia hiilineutraalista ympäristökeskuksesta. Smart & Clean -säätiön mukaan pääkaupunkiseutu sopisi hyvin myös cleantechin testiareenaksi.

Elokuisilla Ilmansuojelupäivillä on luvassa on kiinnostavia puheenvuoroja muun muassa arktisesta, pienhiukkasista ja hajuista, liikenteen asettamista haasteista sekä lukuisista muista ajankohtaisista ilman- ja ilmastonsuojelun aiheista - kannattaa liittyä seuraan. ISYn kevätkokouksessa Vantaan jätelaitoksella kuultiin ajankohtaisia katsauksia liittyen jätehuoltoon ja energiantuotantoon, lisää aiheesta lehden loppupuolelta.

Rauhallista kesää kaikille!

Johanna Kare-Haavisto
päätoimittaja

Sisältö 2/2017

- 3** Pääkirjoitus
- 4** ENFUSER mallintaa kaupunkien ilmanlaatua
- 8** Altistumisen arviointia mittausverkoston avulla
- 11** Haavoittuvuus altistaa sään ääri-ilmiöille
- 13** Kaupunkibulevardien korttelirakenteella selkeä vaikutus ilmanlaatuun
- 16** Hiilipäästöjä kuriin kannattavasti metsänhoidolla
- 19** Valokeilassa Aino Assmuth
- 19** Ilmansuojelussa tapahtuu
- 20** Hiilineutraali Ympäristökeskus mallina Korkeasaarelle
- 22** Muualla: Green city turned grey - Combating air pollution in Kyrgyzstan
- 25** Muualla: Uudistamassa Keski-Aasian havaintoverkkoa
- 26** Jätevoimalasta Energiamurrokseen
- 28** PK-seudusta korkeatasoinen testialue cleantechille

ENFUSER MALLINTAA KAUPUNKIEN ILMANLAATUA

Informaatio, jota voidaan hyödyntää ilmanlaadun mallintamiseen kaupungeissa, on kasvanut voimakkaasti viime vuosina. Ilmanlaatua reaaliajassa mittaavia asemia on yleisesti asennettu suuriin kaupunkieihin ja edullisempia ilmanlaadun mittauslaitteita on lisätty täydentämään ilmanlaadun mittausverkostoa. Ilmanlaatu kaupunkiolosuhteissa vaihtelee kuitenkin sijainnin mukaan hyvin voimakkaasti - tiheälläkään verkolla ei pystytä kattamaan koko kaupunkia. Tarvitaankin menetelmä, jonka avulla saatavilla oleva informaatio muunnetaan koko kaupungin kattavaksi, tarkaksi kuvaksi ilmanlaadusta.

Ilmanlaadun mallintamiseen käytettävissä oleva informaatio on kasvanut huomattavasti viime aikoina. Tähän suotuisaan kehitykseen on vaikuttanut erityisesti avoimeen dataan siirtyminen yleisesti tunnettujen rajapintojen kautta, sekä mittausteknologian kehittyminen ja hintojen aleneminen. Mallinnettua ilmanlaatuinformaatiota - erityisesti alueellisen skaalan kaukokulkeumaa kuvaavaa informaatiota - on saatavilla niin ikään avoimesti (Sofiev et al., 2015). Myös itse kaupunkia ja sen rakennetta kuvaavaa aineistoa on saatavilla yhä kattavammin ja aina vain korkeammalla erottelukyvällä. Ilmanlaatu kaupunkiolosuhteissa vaihtelee sijainnin mukaan hyvin voimakkaasti - jo muutaman kymmenen metrin etäisyydellä mittauspisteestä ilmanlaatu voi olla hyvin erilainen kuin lähin mittauspiste antaisi ymmärtää.

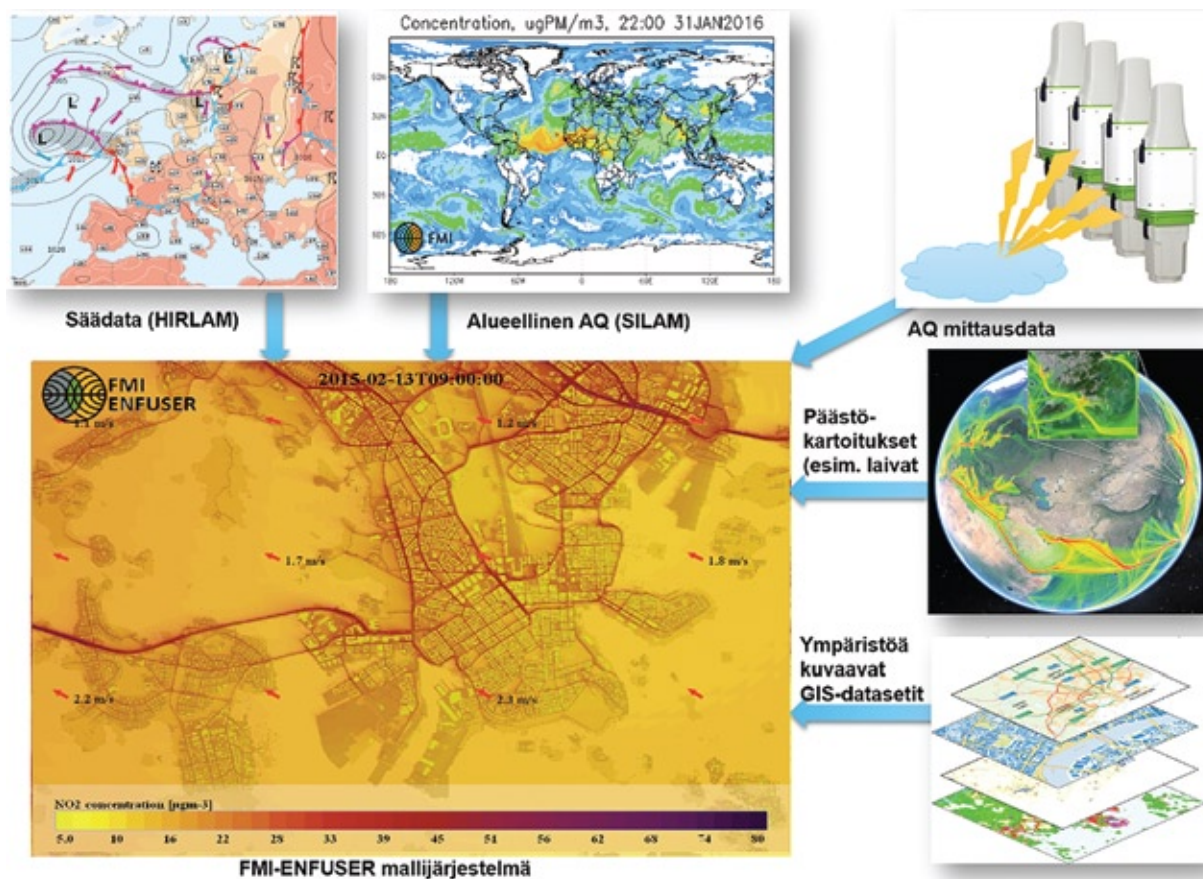
Ratkaisuksi tähän ongelmaan Ilmatieteen laitoksella on kehitetty uudenlainen ilmanlaatumallin nimeltä ENFUSER, joka yhdistää ilmanlaadun mallintamisen datafuusioon ja mallintaa kaupungin ilmanlaatua yksityiskohtaisesti reaaliajassa viimeisimpiin ilmanlaadun mittauksiin mukautuen. Mallinnus kattaa pienhiukkaset, typenoksidit, otsonin, katupölyn ja ilmanlaatuindeksin, joille malli tuottaa myös ennusteen muutamaksi päiväksi eteenpäin (**Kuva 1**). Mallia on kehitetty vuodesta 2011 lähtien tiiviissä yhteistyössä Helsingin Seudun Ympäristön (HSY) kanssa. Uudenlaisesta lähestymistavasta huolimatta ENFUSER pohjautuu edelleen perinteiseen leviämislaskentaan ja sen avulla voidaan tuottaa jopa 10 metrin ja 30 minuutin tarkkuudella ilmanlaatuun liittyvää tietoa. Vuodesta 2015 lähtien ENFUSER mallin kehitystyötä on tehty CITYZER-hankkeessa, jossa kehitetään uutta digitaalisten palveluiden ja tuotteiden ekosysteemiä tukemaan sääilmiöihin ja ilmanlaatuun liittyvää kaupunkitason päätöksentekoa.

Joustavuus ja tosiaikaisuus edellä

Toisin kuin perinteiset ilmanlaatumallit ENFUSER ei tarvitse tietoa paikallisista päästölähteistä toimiakseen, mutta saatavilla olevat korkealaatuiset päästöinventaarit voidaan kuitenkin sisällyttää mallintamiseen. Tämä sisällyttäminen on erityisen hyödyllistä sellaisten päästölähteiden kanssa, mitkä selittyvät huonosti ympäristöä kuvaavan aineiston avulla. Kuvassa 1 on esitetty esimerkki tällaisesta päästölähteestä: laivapäästöt, jotka voidaan tarvittaessa mallintaa hetki hetkeltä FMI-STEAM laivapäästömallilla sataman ympäristössä (Jalkanen et al., 2012) ja liittää ENFUSER-malliin päästölähteitä kuvaavana aineistona.

Ilmanlaadun mittaukset tyypillisesti päivittyvät tunneittain ja mallijärjestelmä onkin kehitetty siten, että uudet mallinnetut tulokset pystytään tuottamaan niin ikään tunnin välein. Mallin taustalla toimii informaation hakuohjelma, joka jatkuvasti hakee ja arkistoi uusimmat saatavilla olevat mittauspisteet sekä mallidatan (**Kuva 2**). Muutaman kerran vuodessa malli käynnistää automaattisen kalibroinnin, joka analysoi paikalliset päästölähteet arkistoidun aineiston pohjalta. Mallin tuottama ilmanlaatuinformaatio viedään pilviportaaliin, jossa tulokset visualisoidaan (esimerkki annettu **kuvassa 3**, sivulla 6) ja uusimmat pitoisuuskartat ovat ladattavissa. Suunnitelmissa on, että jatkossa mallin tuottamat tulokset voidaan myös esittää katutasojen ja julkisen liikenteen näytöillä.

Tällä hetkellä mallijärjestelmä tuottaa operatiivisesti tuloksia pääkaupunkiseudulle; myös muut Suomen suurimmat kaupungit voidaan vaivattomasti liittää mallinnettavien alueiden joukkoon. Suomen ulkopuolella mallijärjestelmää on testattu Kiinassa (Langfang) ja Intiassa (Delhi). On tärkeää, että mallin toimintaa ja tarkkuutta pystytään havainnoimaan jatkuvasti ja tästä syystä jokaisessa mittauspisteessä tuotetaan automaattisesti aikasarja, jossa mitattua pitoisuutta verrataan mallin ennustamaan aikasarjaan. Kuvassa 2 oikealla on esitetty yksi tällainen vertailuaikasarja. Näiden automaattisten vertailujen avulla järjestelmän toimivuutta on helppo arvioida. Lisäksi, ajan kanssa arkistoiduista vertailupareista (mitattu vastaan mallinnettu) voidaan oppia parantamaan mallia ja myös ajastetusti kalibroimaan malli uudelleen tarpeen vaatiessa.

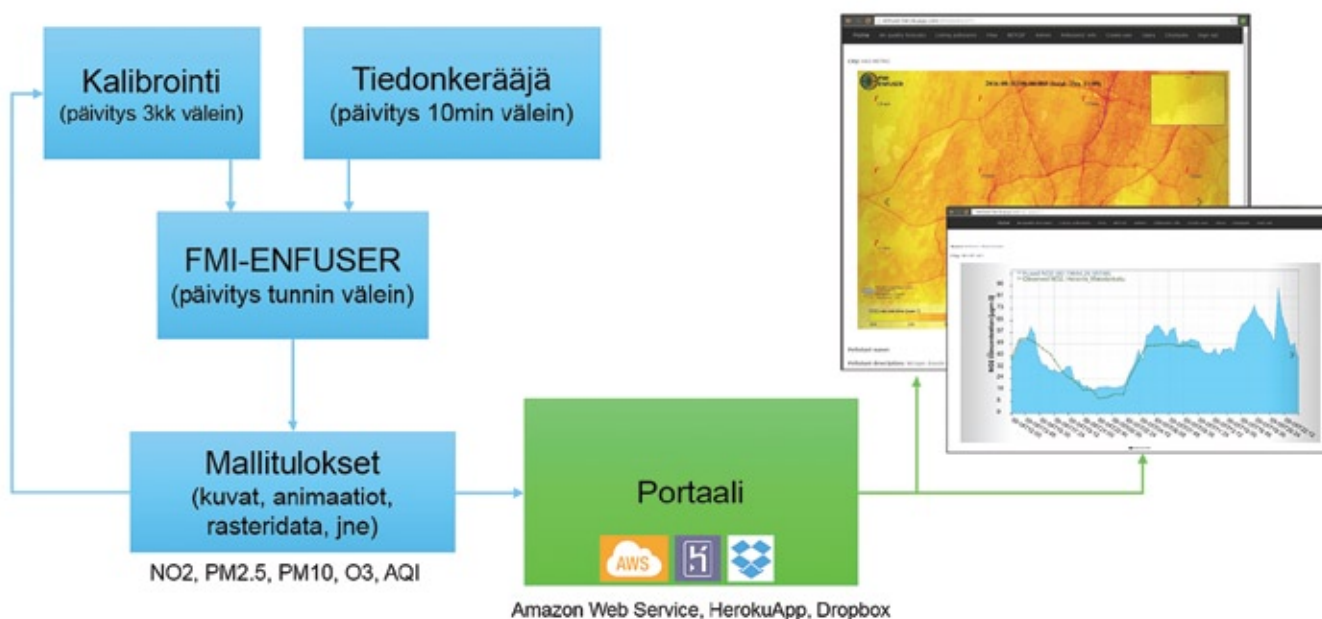


Kuva 1. FMI-ENFUSER mallinnusjärjestelmä, jossa saatavilla olevaa ilmanlaadun informaatiota, säädädataa, ympäristöä ja päästölähteitä kuvaavaa aineistoa (Geographic Information System, GIS) hyödynnetään kaupungin ilmanlaadun mallintamisessa korkealla resoluutiolla.

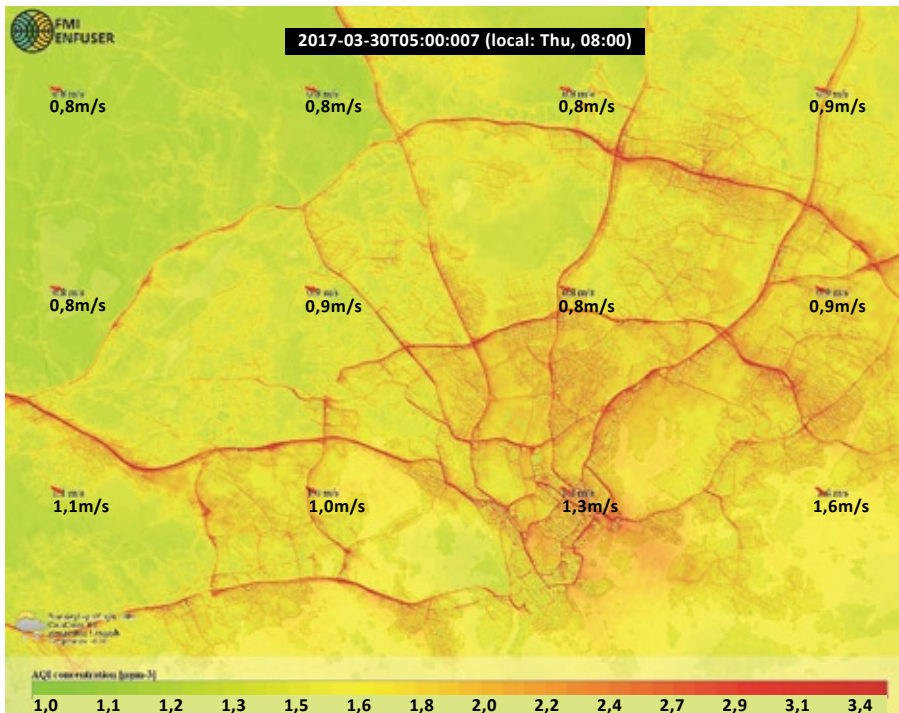
Datafuusiolla tuloksia

Kuten edellä on mainittu, ENFUSER mallijärjestelmä ei tarvitse päästökartoituksia toimiakseen. Mallin keskiössä onkin

mitattu ilmanlaatuinformaatio, jonka perusteella malli kykenee arvioimaan paikalliset päästölähteet (esimerkiksi liikenne, pientalot, voimalat tai teollisuus) ja niiden aikavariaatioita. Jo yksittäinenkin mitattu ilmansaasteiden pitoisuus kertoo jotain niistä päästölähteistä, jotka saivat aikaan kyseisen pitoisuuden. Luonnollisesti yhden mittauspisteen antama informaatio päästölähteistä on hyvin karkea, lähes olematon. Kuva päästölähteistä kuitenkin paranee kun kyseiseen mittauspisteeseen liitetään vallitsevat meteorologiset olosuhteet sekä kattava kuvaus mittauspisteen ympäristöstä.



Kuva 2. ENFUSER mallijärjestelmän operatiivinen toiminta. Uusinta ilmanlaatuun liittyvää informaatiota haetaan ja arkistoidaan jatkuvasti. Malli käynnistyy ajastetusti ja muuntaa saatavilla olevan datan ilmanlaatua kuvaavaksi aineistoksi, joka viedään saataville pilviportaaliin.



Kuva 3. Mallinnetun ilmanlaatuindeksin (AQI) visualisointi valittuna ajan hetkenä. Kuva on ladattu ENFUSER ilmanlaatuportaalista: enfuser.herokuapp.com

sisältäen mm. tieverkoston, maankäytön sekä rakennukset. Saatavilla oleva informaatio on hyvin yksityiskohtaista: yksittäisten rakennusten korkeus ja käyttötarkoitus on tyypillisesti saatavilla sekä teille löytyy kuvaus pintamateriaalista ja kyseisellä tiellä operoivasta julkisesta liikenteestä. Sopivilla alkuarvauksilla (Kuva 4) tätä informaatiota voidaan käyttää kuvaamaan valittua päästölähdettä, jonka jälkeen mallin kalibrointi kiinnittää kyseiselle päästölähteelle aikavariaation ja painotuskertoimen mittaasevidenssin pohjalta.

Mallin kalibroinnin lisäksi datafuusiota hyödynnetään myös muilla tavoin mallin toiminnassa. Uusimpien mit-

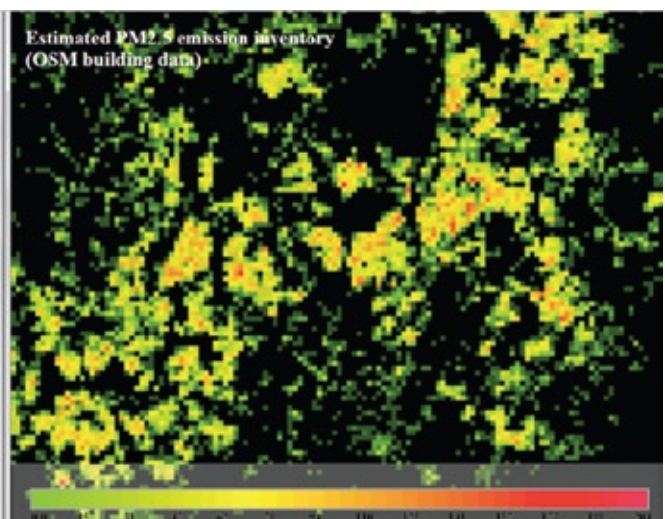
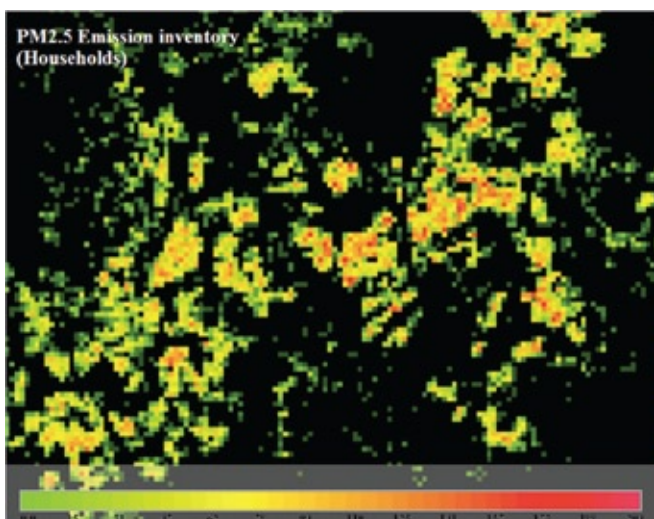
tauksien avulla on mahdollista etsiä paras mahdollinen sovitus tuntikohtaisesti. Esimerkiksi, jos mittaasevidenssin mukaan liikenteen päästöt ovat hetkellisesti suuremmat kuin kalibroinnin seurauksena saadut arvot, niin malli kykenee säätämään liikenteen päästövaikutusta tilapäisesti pienemmäksi. Tämä hienosäätö toteutetaan luonnollisesti siten, että jokainen päästölähde sekä vallitseva taustapitoisuus on sisällytetty analyysiin samanaikaisesti. Edellä mainitun lisäksi yksi tärkeä datafuusion sovelluskohde on itse mallidatan ja mittauksien informaation yhdistäminen.

Mittalaitteita voi olla monenlaisia, virallisia ilmanlaadun mitausasemia sekä vaihtelevan laatuista, edullisia sensoreita.

Ratkaisevan tärkeää on kuitenkin hyödyntää samanaikaisesti isoa määrää mitattuja pitoisuuksia siten, että mittauspisteet kattavat laajan kirjon erilaisia mittausympäristöjä. Riippuen ilmansaastetypistä ja mittausverkon koosta on mahdollista kerätä satoja tuhansia mittauspisteitä vuodessa. Käytämällä monimuuttujaregressiota tällaisen laajan "kalibrointidatan" kanssa syntynyt kuvaus päästölähteistä ei olekaan enää karkea, vaan pystyy jopa kattamaan päästölähteiden tuntikohtaiset aikavariaatiot sekä mahdolliset kytkökset päästölähteiden ja sääolosuhteiden välillä. Juuri tähän tilastolliseen lähestymistapaan mallin kalibrointi ilman päästöinventaarioita perustuu ja on myös syy sille miksi malli voidaan vaivattomasti siirtää toimimaan uusiin kaupunkeihin, myös Suomen ulkopuolella.

Mallin siirrettävyyttä tukee myös se, että ympäristöä kuvaava aineisto, joista merkittävin on OpenStreetMap (OSM), on maailmanlaajuisesti saatavilla avoimesti. OSM-karttapalvelusta on mahdollista ladata digitaalinen kuvaus kaupungista

Kuva 4. Esimerkki päästölähteen kuvaamisesta OSM aineiston pohjalta. Vasemmalla on HSY:n kyselytutkimukseen perustuva kartoitus pientalojen PM2.5 vuosipäästöistä Pääkaupunkiseudulla. Oikealla on OSM-dataan perustuva päästöarvio, kun keskimääräinen vuosipäästö on liitetty jokaiseen pientaloon OSM-datassa.



Myös ilmanlaadun malleilla on tyypillisesti laajasti vaihteleva resoluutio ja ennustetarkkuus. Datafuusiossaan ENFUSER ottaakin huomioon nämä laatutekijät ja laskee jokaiselle datapisteelle oman painotuskertoimen ajan ja etäisyyden funktiona (Johansson et al. 2015). Juuri tämä ominaisuus mahdollistaa mielivaltaisen mittausverkon käytön mallissa – mitä laajempi mittausverkko sitä parempi lopputulos teoriassa. On syytä huomioida, että vaikka datafuusioon liittyvä metodiikka on tilastolliseen regressioon pohjautuvaa, on mallin toiminta siltikin fysikaaliseen leviämislaskentaan pohjautuvaa. Näin ollen mallin antamiin tuloksiin vaikuttavat vallitseva meteorologia sekä myös alueen topografia.

Sovellukset ja jatkokehitys

Mallijärjestelmän päätarkoitus on tuottaa korkeatasoinen kuvaus kaupungin ilmanlaadusta hyödyntämällä kaikkea saatavilla olevaa informaatiota ja erityisesti mittausinfrastruktuuria. Mallin toimintaperiaate, erottelukyky ja laskennallinen tehokkuus mahdollistavat muutamia mielenkiintoisia sovelluskohteita jatkossa. Ensimmäinen näistä on mittalaitteiston laadunvarmentaminen ja uusien mittalaitteiden sijoittelu. ENFUSER-malli kykenee huomaamaan ja varoittamaan jos yksittäinen mittalaitte ja sen mittaukset selvästi poikkeavat muiden mittalaitteiden virittämästä ilmanlaadun kokonaiskuvasta, ja tätä tietoa voitaisiin käyttää mittausverkoston ylläpidon tehostamiseen. Hieman samankaltaiseen analyysiin pohjautuen voitaisiin mallilla etsiä uusia paikkoja mittalaitteille täydentämään olemassa olevaa verkkoa informaatioisällön pohjalta, eikä pelkästään maantieteellisten etäisyyksien tai karkeiden yleiskuvauksien (esimerkiksi tausta, esikaupunki ja liikenne) pohjalta.

Toinen sovelluskohde on päätöksenteko ja ohjaus ilmanlaatuinformaation pohjalta. Päätöksenteon työkaluna mallilla voitaisiin arvioida ennaltaehkäisevien toimintojen tarpeellisuus, esimerkiksi katujen kasteluun liittyen. Mallin 3-ulotteiset tulokset ennusteineen, missä rakennusten vaikutukset on alustavasti huomioitu, mahdollistavat isojen rakennusten sisäilman tehokkaamman optimoinnin. Kolmas sovelluskohde liittyy henkilökohtaisen altistumisen arvioimiseen. Mallin antamien tulosten pohjalta on mahdollista arvioida henkilökohtainen altistuminen ilmansaasteille esimerkiksi GPS-signaaliin pohjautuen. Mallilla voidaan myös tuottaa pidemmän ajanjakson keskiarvoja ja siten antaa esimerkiksi asunnonostajille informaatiota ilmansaasteiden vuosikeskiarvoista valitun rakennuksen lähiympäristössä.

Ilmansaasteiden leviämislaskenta kaupunkiympäristössä on haastavaa. Lähellä olevat rakennukset ja niiden korkeuserot voivat aiheuttaa vaikeasti mallinnettavia vaihteluja ilmansaasteiden pitoisuuksiin katutasossa. Tämän lisäksi ilmansaasteet voivat olla vuorovaikutuksessa keskenään ja muuntua kemiallisten prosessien vaikutuksesta. ENFUSER ei ota kemiallisia prosesseja huomioon, mutta datafuusion lähtötietoihin sisältyvä SILAM leviämismalli, jossa kemialliset reaktiot ovat mukana, kykenee paikkaamaan tätä puuttuvaa ominaisuutta.

Ilmavirtauksien, maanmuotojen, kasvuston ja rakennusten tarkka huomioon ottaminen edellyttäisi täysin erilaista mallintamistapaa, esimerkiksi LES-mallintamista (Maronga et al., 2015). Valitettavasti kokonaista kaupunkia usean tunnin ajanjakson kattaen ei nykytietokoneilla ole mahdollista mallintaa käyttämällä LES-mallinnusta operatiivisesti. ENFUSER pohjautuu gaussilaiseen leviämislaskentaan (Stockie et al., 2011) ja joutuu siten tekemään tilastollisia korjauksia esimerkiksi katukuilujen mikrometeorologiaan liittyen. Jatkossa LES-mallinnuksen tuloksia kaupunkiympäristössä voidaan hyödyntää parantamalla ENFUSER-mallin tilastollisia korjauksia LES-mallinnuksen pohjalta.

Haasteita ja mahdollisuuksia

Suomessa yksi haastavimmista mallinnettavista ilmansaasteista on evaluointiaikasarjojen mukaan katupöly. Tulvaisuudessa ENFUSER-mallia laajennetaan erityisesti katupölyn osalta, jolloin malliin lisätään kyky arvioida katujen ja teiden kuivumista sekä nastarenkaiden vaikutukset katupölyyn. Myös vaikeasti ennakoitavat yksittäiset päästölähteet mitauspisteiden ympäristössä, esimerkiksi työmaat ja katukeittiöt, ovat haastavia. Tällaiset voimakkaat paikalliset lähteet voivat hetkellisesti nostaa mitatut pitoisuudet hyvin korkealle tasolle mallille näennäisesti selittämättömästä syystä. Toisaalta, mitä laajempi mittausverkko on, sitä vähemmän tällaiset paikalliset erikoisuudet vaikuttavat lopputulokseen.

Edellä mainituista haasteista huolimatta ENFUSER malli on Suomessa osoittautunut lupaavaksi ja tarkaksi ilmanlaadun malliksi kaupunkiolosuhteissa. Alustavia vertailuja on tehty, joissa ENFUSER-mallin tuottamia kausikeskiarvoja on verrattu isoon joukkoon (n. 300) mitattuja kausikeskiarvoja vuosina 2010 ja 2011 pääkaupunkiseudulla samalla kun vastaava analyysi on toteutettu toisella leviämismallilla sekä eräällä tilastollisella mallilla. Vertailun mukaan ENFUSER-mallin ennustetarkkuus mittauspisteissä oli selkeästi parempi kuin vertailuun osallistuneen leviämismallin sekä tilastollisen mallin.

Lähteet

Jalkanen, J.-P., Johansson, L., Kukkonen, J., Brink, A., Kalli, J. and Stipa, T. Extension of an assessment model of ship traffic exhaust emissions for particulate matter and carbon monoxide. *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 2641–2659. 2012.

Johansson, L., Epitropou, V., Karatzas, K., Karppinen, K., Wanner, L., Vrochidis, S., Bassoukos, A., Kukkonen, J. and Kompatsiaris I. Fusion of meteorological and air quality data extracted from the web for personalized environmental information services. *Environmental Modelling & Software*, Elsevier, 64 (2015) 143-155. 2015.

Maronga, B., Gryschka, M., Heinze, R., Hoffmann, F., Kanani-Sühring, F., Keck, M., Ketelsen, K., Letzel, M. O., Sühring, M., and Raasch S. The Parallelized Large-Eddy Simulation Model (PALM) version 4.0 for Atmospheric and Oceanic Flows: Model Formulation, Recent Developments, and Future Perspectives, *Geosci. Model Dev.*, 8, 2515-2551, DOI: 10.5194/gmd-8-2515-2015, 2015.

Sofiev, M., Vira, J., Kouznetsov, R., Prank, M., Soares, J., Alves Antunes, J., and Genikhovich, E. Construction of the SILAM Eulerian atmospheric dispersion model based on the advection algorithm of Michael Galperin, *Geosci. Model Developm.* 8, 3497-3522, doi:10.5194/gmd-8-3497-2015.

Stockie, J.M., *The Mathematics of Atmospheric Dispersion Modeling*, SIAM Rev., 53(2), 349–372. (24 pages), DOI:10.1137/10080991X, 2011.



Arja Asikainen, tutkija, Terveiden ja hyvinvoinnin laitos
Otto Hänninen, erikoistutkija, Terveiden ja hyvinvoinnin laitos
Antti Korhonen, tutkija, Itä-Suomen yliopisto ja Terveiden ja hyvinvoinnin laitos
Heli Lehtomäki, tutkija, Itä-Suomen yliopisto ja Terveiden ja hyvinvoinnin laitos
Isabell Rumrich, tutkija, Itä-Suomen yliopisto ja Terveiden ja hyvinvoinnin laitos
Jarkko Tissari, yliopistotutkija, Itä-Suomen yliopisto

Altistumisen arviointia mittausverkoston avulla

Terveyshaittojen määrittämiseksi tarvitaan mahdollisimman ajantasainen kuva väestön altistumisesta. Ilmanlaadun mittausverkostoissa on toistastaa havaintoasemaa, mutta asemien sijoittelu perustuu osin hot spot -ajatteluun. Osana Ympäristöministeriön aloitteesta toteutettua Ilmansaasteiden terveysvaikutukset -hanketta (ISTE) kehitimme ja testasimme menetelmiä väestöpainotettujen ulkoilmapitoisuuksien arvioimiseksi käyttäen Ilmanlaatuportaalin kautta saatavissa olevia mittausaineistoja vuodelta 2013 ja kuntatason väestötietoja.

Ilmansaasteista erityisesti pienhiukkasten tiedetään aiheuttavan terveyshaittoja ihmisille. Suomessa eriasteisin rajoituksin säänneltyjä ilmansaasteita on 14, joista sitovimmat ilmanlaatuunormit ovat Euroopan Unionin terveyshaittojen ehkäisemiseksi säädetyt raja-arvot (Ilmanlaatuportaali 2016). Suomessa raja-arvot ylittyvät vain harvoin, mutta jo raja-arvoja pienemmillä pitoisuuksilla on vaikutuksia ihmisten terveyteen (Hänninen ym. 2016, Lehtomäki ym. 2015, Lehtomäki 2017). Suomessa ulkoilman saasteet aiheuttavat merkittäviä terveyden menetyksiä sekä noin 1 500 ennenaikaista kuolemantapausta vuosi-

sittain. Terveyshaittoista selvästi suurimman osan aiheuttavat hiukkaset ($PM_{2.5}$ ja PM_{10}). (Lehtomäki ym. 2016.) Ilmansaasteiden terveysvaikutusten arviointia ja torjuntatoimenpiteiden suunnittelua varten tarvitaan tietoa ilmansaasteiden altistustasoista sekä siitä mistä lähteistä ne ovat peräisin.

ISTE-hankkeessa pienhiukkasaltistuksen arvioitiin olleen $6,8 \mu g m^{-3}$. Eri ilmansaasteille käytettävissä olevien asemien määrä vaihteli viidestä kuu-teenkymmeneen ja väestöaltistuksen arvioinnin näkökulmasta asemien maantieteellisessä sijainnissa oli merkittäviä eroja. Paikallisten ja alueellisten ilmanlaatuporttien lisäksi koko väestön altistusta tulisi seurata ja tulokset raportoida sekä tallettaa trendien arviointia varten vuosittain.

Regressiomallilla liikkeelle

ISTE-hankkeessa arvioitiin altistustasot 14 Suomessa säännellylle ilmansaasteelle sekä lisäksi arvioitiin pitoisuudet muutamalle tärkeimmälle terveysvaikutusten arvioinnissa käytetyille indikaattorille (Korhonen ym. 2015). Hiukkasten ($PM_{2.5}$ ja PM_{10}), typidioksidin (NO_2) ja rikkidioksidin

(SO_2) väestöpainotettuja pitoisuuksia päivitettiin ilmanlaadun mittausverkoston aineiston perusteella (**Taulukko 1**) kotimaisten päästölähteiden ja kaukokulkeuman osuuksien arviointia varten (Korhonen 2016). Käytetty vuoden 2013 ilmanlaatuaineisto koostui 52 paikkakunnalla ja 103 mittausasemalla tehdyistä mittauksista. Mittausasemat jaotellaan tyypiltään erilaisiin alueisiin lähiympäristönsä (kaupunki, esikaupunki ja kaupunki) ja lähipäästöjänsä (liikenne, teollisuus ja tausta) perusteella. Suurin osa mittausasemista sijoittuu Etelä-Suomeen ja erityisesti suurimpiin asutuskeskuksiin. Pohjois-Suomen ilmanlaatu mitattiin jatkuvatoimisesti vain maaseututausta-asemilla. (Ilmanlaatuportaali 2016.)

ISTE-hankkeessa väestöpainotettujen pitoisuuksien laskennassa käytettiin yksinkertaista regressiomallia, jossa selittävinä tekijöinä olivat kuntakoh- tainen väestö ja käänteinen etäisyys Keski-Euroopan päästöalueilta. Kään- teisen etäisyyden laskenta valittiin vertaamalla vuosipitoisuuksille saa- tavaa selitysasetta eri lähtöpisteistä. Lähtöpisteinä testattiin Gdanskia, Berliiniä, Pietari ja Helsinkiä, joista Gdansk toimi parhaiten kaukokulkeu- man kuvaajana. Malli oli käyttökelpoinen, kun asemia oli käytettävissä vähintään 20. Käytettyjen tekijöiden avulla pystyttiin mallilla selittämään typpidioksidin pitoisuudesta 30 %, otsonin 27 %, hengitettävien hiukkasten 23 % ja pienhiukkasten 20 %. Regres- siomallin tuloksia verrattiin allokatiomalliin, jossa koko maan väestö jaettiin kahteen (kaupunki, maaseutu) tai kolmeen luokkaan (pääkaupunki- seutu, keskikokoiset kaupungit, maa- seutu) ja kussakin luokassa altistus-

Hiukkaset	Asemia n	Pitoisuus $\mu g/m^3$	95 % luottamusväli $\mu g/m^3$
Hiukkasfraktio			
$PM_{2.5}$	23	6,5	5,8 - 7,2
PM_{10}	11	10,7	9,7 - 11,8
Kaasut			
NO_2	16	12,0	9,0 - 15,1
SO_2	12	0,95	0,75 - 1,15

n = altistumisen arviointiin käytettyjen asemien lukumäärä

Taulukko 1. Päivitetyt väestöpainotetut pitoisuudet lähdearviointia varten (Korhonen 2016).

tasot arvioitiin luokkaan sijoittuvien asemien keskiarvona. Regressiomallissa oletettiin, että väestön koko kuvaa tärkeimpien paikallisten lähteiden, kuten liikenteen ja puunpolton vaikutuksia ilmanlaatuun. Allokaatiomallissa kaupungeiksi laskettiin yli 50.000 asukkaan kunnat.

Hiukkasten ($PM_{2.5}$ ja PM_{10}) sekä otsonin ($SOM035'$) kohdalla väestöpainotettujen pitoisuuksien laskennassa huomioitiin Euroopan ympäristökeskuksen (EEA) ja Maailman terveysjärjestön (WHO) arviot vuoden 2012 väestöpainotetuista altistustasoista. Menetelmiä kuvataan tarkemmin muualla (Korhonen ym. 2015). Joidenkin ilmansaasteiden kohdalla (NO_x , SO_2 , TRS ja raskasmetallit) altistumisen arvioinnista jätettiin korkeimman kuormituksen alueita (teollisuus ja liikenne) pois, jos pitoisuudet niissä olivat merkittävästi suurempia muihin ympäristöihin verrattuna (Korhonen ym. 2015).

Paikallisten ja alueellisten lähteiden sekä kaukokulkeuman erittely

Torjuntatoimenpiteiden kohdentamiseksi altistusten jakaminen päästölähteiden aiheuttamiin komponentteihin on keskeistä. Tässä työssä lähteet eroteltiin vain alueellisesti kolmeen luokkaan: kaukokulkeumaan, paikallisiin lähteisiin sekä näiden erotuksena laskettuun muista kuin lähialueen kotimaisista lähteistä syntyvään alueelliseen komponent-

tiin. Kehitetty arviointimenetelmä perustuu asematyyppien välisten pitoisuuksien vertailuun (Lenschow ym. 2001) ja aseman sisäiseen aikasarja-analyysiin (Pakkanen ym. 2000).

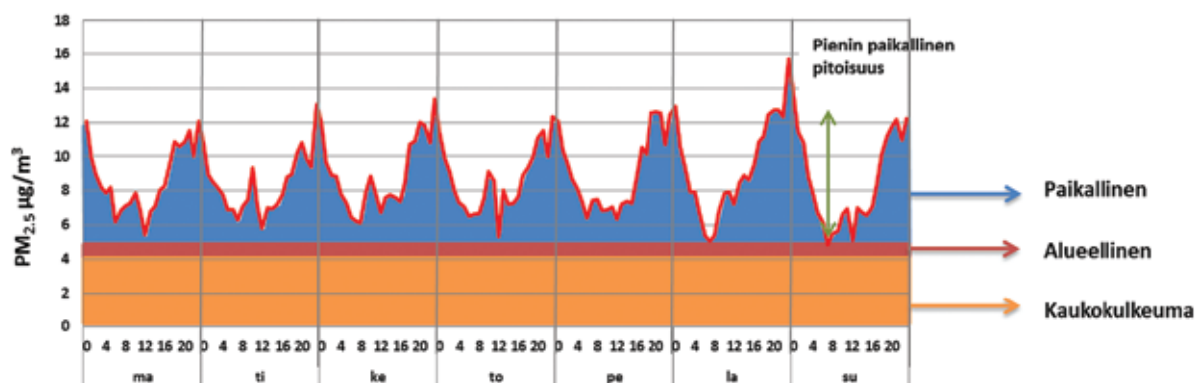
Kaukokulkeumakomponentti arvioitiin käyttäen maaseututausta-asemia ja olettaen kaukokulkeumapitoisuuksien noudattavan käänteisen etäisyyden avulla muodostettua regressiopintaa. Päästöjen lähteenä kokeiltiin useita eri pisteitä, kuten Berliini, Gdansk, Moskova ja Minsk sekä lisäksi testattiin useita leveys- ja pituuspiirejä kaukokulkeuman mallintamiseen. Keski-Euroopasta tulevien päästöjen vaikutus mallinnettiin käyttämällä etäisyytenä leveyspiiriä 54 (Minsk-Rostock linja) ja idästä tulevien päästöjen lähteenä pituuspiiriä 33 (Murmansk-Laatokan itäranta).

Mallissa käytettiin kolmen maaseudun tausta-aseman pitoisuuksia kuvaamaan pitoisuusvaihtelua eteläpohjoissuunnassa-länsisuunnassa. Mallin pohjalta kaukokulkeuman pitoisuudet ekstrapoloitiin jokaiselle Suomen kunnalle. Vuositasolla vuorokauden pitoisuusvaihtelun oletettiin aiheutuvan paikallisten lähteiden päästöistä ja muiden kotimaisien (alueellisten) lähteiden osuus laskettiin asemakohtaisesti mitatun kokonaispitoisuuden, paikallisten lähteiden osuuden ja kaukokulkeuman erotuksena.

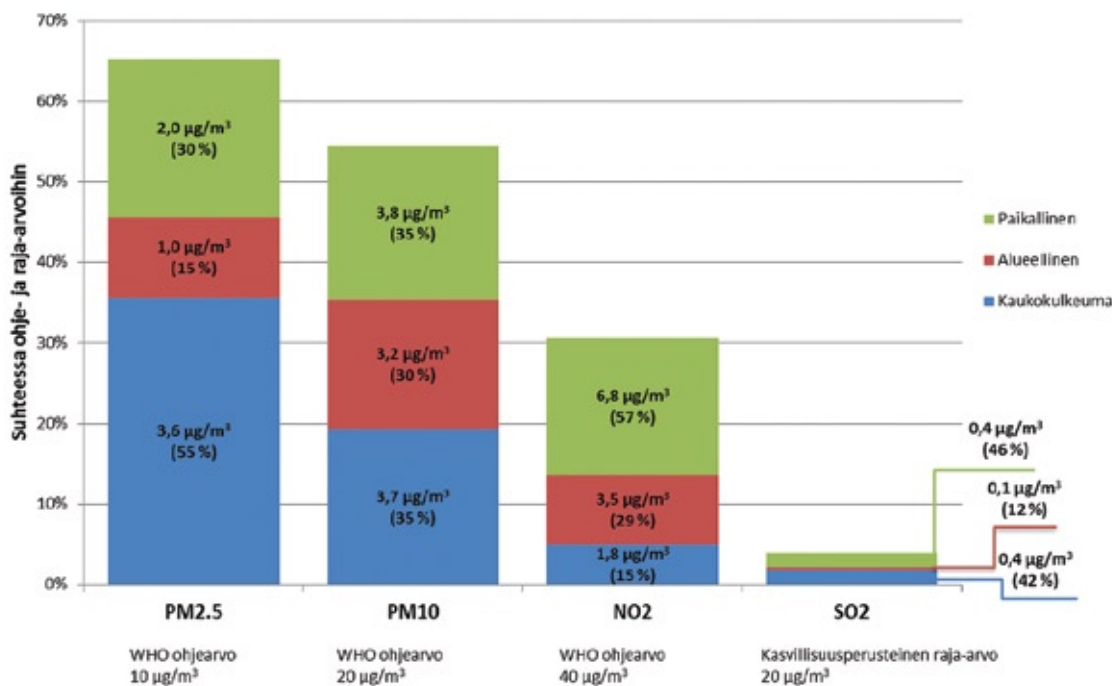
Väestöpainotusaltistuksen arviointia varten toteutettiin allokaatiomallia,

jossa Suomi jaettiin altistustasoiltaan kolmeen luokkaan: pääkaupunkiseutuun, muihin kaupunkeihin (yli 50 000 as.), sekä maaseutuun (alle 50 000 as.). Jokaiselle luokalle laskettiin asemakohtaisessa tarkastelussa tuotettujen pitoisuuksien avulla paikallisten ja alueellisten lähteiden pitoisuudet. Kaukokulkeuma määritettiin kunta-kohtaisista pitoisuusestimaateista. Väestöpainotettu altistustaso sekä lähdeosuudet laskettiin näiden alueiden pitoisuuksien ja väestön määrän avulla.

Pienhiukkasaltistuksesta ($PM_{2.5}$) yli puolet on peräisin kaukokulkeumasta (Kuva 2 sivulla 10). Valtakunnallisesti suurimmat pienhiukkas-pitoisuudet mitattiin liikenneympäristöissä sekä esikaupunkitausta-alueilla, joissa puunpoltto oli merkittävää. Hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) ja erityisesti typpidioksidin (NO_2) osalta paikallisten lähteiden merkitys puolestaan korostuu. Typpidioksidin tuloksissa näkyy selvästi paikallisen liikenteen vaikutus pitoisuuksiin. Pienhiukkasten pitoisuus oli WHO:n terveysperusteisesta ohjearvosta noin kaksi kolmasosaa, hengitettävien hiukkasten yli puolet ja typpidioksidin noin kolmasosan. Rikkidioksidin (SO_2) väestöpainotettu altistustaso oli raja-arvoon verrattuna erittäin pieni.



Kuva 1. Pienhiukkas-pitoisuuden viikkotunti-profiili vuonna 2013 puunpolttoympäristössä (Tapanila) ja lähdejakauma.



Kuva 2. Väestöaltistuksen jakautuminen alueellisiin lähdeluokkiin, suhteutettuna WHO:n terveysperusteisiin vuosipitoisuuksien ohjearvoihin (PM_{2,5}, PM₁₀ ja NO₂) ja kasvillisuuden suojelemiseksi säädettyyn raja-arvoon (SO₂) vuonna 2013. Pitoisuuksien (µg/m³) alla suluissa esitetty lähdeosuudet (%) arvioidusta kokonaisaltistuksesta.

Koko väestön altistumisen seuranta tulisi kehittää

Suomessa säänneltyjen ilmansaasteiden pitoisuudet ovat verrattain alhaiset ja ne alittavat usein selvästi ohje- ja raja-arvot. Pienhiukkasten väestöpainotetusta pitoisuudesta suuri osa on kaukokulkeutunutta, kun taas hengitettävien hiukkasten ja varsinkin typpidioksidin kohdalla kotimaisten lähteiden osuus korostuu kokonaisaltistuksesta. Rikkidioksidin väestöpainotettu pitoisuus on kokonaisuudessaan erittäin alhainen.

Ilmanlaadun mittausverkoston asemat sijoittuvat suurimmaksi osaksi suurimpiin asutuskeskuksiin ja eteläiseen Suomeen, missä myös suurin osa väestöstä asuu, mutta tämä tekee harvempaan asuttujen alueiden altistumisen arvioinnin haastavaksi. Joidenkin ilmansaasteiden pitoisuuksia mitataan vain viidellä asemalla koko maassa.

Nykyisin Suomea koskeva, koko mittausverkoston kattava ilmanlaadun raportointi, käsittää vain Ilmanlaatuportaalin kokoamat vuosikeskiarvot asemittain. Tarkemmin mittauksia raportoidaan vain kuntien ilmanlaaturaportteissa, jolloin koko väestön altistuksen seuranta jää ohueksi.

Ilmanlaadun mittausverkostoa olisi perusteltua hyödyntää koko väestön altistusten seurannassa. Joiltakin osin asemien lukumäärää ja sijoittelua voitaisiin tarkentaa altistuksen arvioinnin parantamiseksi.

Lähteet

- Hänninen O (ed), Korhonen A, Lehtomäki H, Asikainen A, Rumrich I, 2016. Ilmansaasteiden terveysvaikutukset. Ympäristöministeriön raportteja 16/2016. ISBN 978-952-11-4604-6 (pdf). 29 ss. Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4604-6> (2016-04-13)
- Korhonen A, 2017. Ilmansaastealtistuksen analyysi Suomessa. Pro gradu – tutkielma, Ympäristö- ja biotieteiden laitos, Itä-Suomen yliopisto, Kuopio. http://epublications.uef.fi/organisaatio/luonnontieteiden_ja_metsatieteiden_tiedekunta/ymparisto_ja_biotieteiden_laitos/
- Korhonen A, Asikainen A, Rumrich I, Hänninen O, 2015. Ilmansaasteille altistuminen Suomessa vuonna 2013. ISTE-raportti, Terveysten ja hyvinvoinnin laitos. 50 ss + liitteet. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201601122445> (2016-01-13)
- Lehtomäki H, Asikainen A, Rumrich I, Hänninen O, 2015. Ilmansaasteiden tautitaakka Suomessa. ISTE-raportti. Terveysten ja hyvinvoinnin laitos. 45 ss+liitteet. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201601122444> (2016-01-13)
- Lehtomäki H, Korhonen A, Asikainen A, Hänninen O, 2016. Ulkoilman saasteiden aiheuttamat terveyshaitat Suomessa. Ympäristö ja terveys lehti (47) 8/2016 s.22–27.
- Lehtomäki H, 2017. Quantification of individual sources of uncertainty in the disease burden estimates of fine particles in Finland. Master's thesis, Department of Environmental and Biological Sciences, University of Eastern Finland, Kuopio, Finland. (<http://urn.fi/urn:nbn:fi:uef-20170370>)
- Lenschow P, Abraham H-, Kutzner K, Lutz M, Preuß J- & Reichenbacher W. 2001. Some ideas about the sources of PM10. Atmospheric Environment 35, Supplement 1, S23-S33.
- Pakkanen TA, Kerminen V, Ojanen CH, Hillamo RE, Aarnio P & Koskentalo T. 2000. Atmospheric black carbon in Helsinki. Atmospheric Environment 34 (9), 1497-1506.



Susanna Kankaanpää, ilmastoasiantuntija, HSY

HAAVOITTUVUUS ALTISTAA SÄÄN ÄÄRI-ILMIÖILLE



Ilmastomuutoksen vaikutukset ja sään ääri-ilmiöt koskettavat jokaista, mutta osalle ihmisistä vaikutukset voivat olla merkittävämpiä kuin muille. Pääkaupunkiseudulla on selvitetty, kuinka haavoittuvia asukkaat ja yhteisöt ovat tulville ja helteille. Selvityksen mukaan alueiden välillä on hieman eroa, mutta ne eivät ole vielä erityisen suuria. Sosiaalista haavoittuvuutta ei ole ilmastovaikutuksien kannalta tutkittu pääkaupunkiseudulla aiemmin.

Sosiaalinen haavoittuvuus pyrkii kuvaamaan sitä, miten ilmastomuutoksen vaikutukset kohdistuvat ihmisryhmiin eri tavoin. Ihmisen haavoittuvuutta määrittävät heidän fyysiset ominaisuutensa, kuten ikä ja terveydentila. Lisäksi haavoittuvuuteen vaikuttaa ihmisten kyky selviytyä tulvista tai helleaalloista: varautua niihin ennalta, selviytyä tilanteen aikana ja mahdollisuudet vahinkojen korjaamiseen. Myös asuinympäristön ominaisuudet, kuten asuinrakennukset ja viheralueet, vaikuttavat asukkaiden haavoittuvuuteen.

Selvityksen lähtökohtana olivat ihmiset ja heidän hyvinvointinsa. Tulvat ja helteet voivat vaikuttaa ihmisten hyvinvointiin. Tavallisesti haavoittuvuustarkasteluissa lähdetään liikkeelle ilmastoskenaarioista ja niiden perusteella arvioiduista muutoksista kuten tulva-alueista ja niiden lisääntymisestä tai helleaalloista. Tulvakartoilla esi-tetään tulva-alueilla asuvien ihmisten määrä, mutta ei sitä, keitä he ovat. Tässä työssä syntyi kuvaus siitä, miten haavoittuvuus jakautuu eri ihmisryhmien kesken ja alueellisesti pääkaupunkiseudulla. Tulvakartat liitettiin tarkasteluun vasta lopuksi. Selvitys perustuu Manchesterin yliopistossa kehitettyyn menetelmään (Lindley ym. 2011) ja sen toteutti Aleksandra Kazmierczak Cardiffin yliopistosta yhteistyössä HSY:n asiantuntijoiden kanssa.

Sosiaalinen haavoittuvuus tulville ja helteille

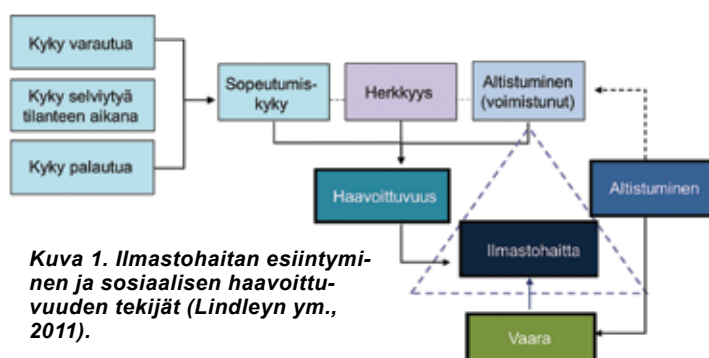
Tulvat ja helteet voivat aiheuttaa haitallisia vaikutuksia asukkaille, mutta paljon riippuu siitä, kuinka haavoittuvia ihmiset ovat näille ilmastoilmiöille. Käyttämässämme menetelmässä sosiaalinen haavoittuvuus ilmastoilmiölle, kuten tulville ja helteille, on herkkyyden, voimistuneen altistumisen ja sopeutumiskyvyn yhdistelmä (Kuva 1., Lindley ym. 2011). Herkkyys viittaa henkilökohtaisiin ominaisuuksiin, kuten ikään ja terveyteen. Haavoittuvuuteen vaikuttaa sopeutumiskyky: ihmisten kyky selviytyä tulvista tai helleaalloista - varautua niihin ennalta, selviytyä tilanteen aikana ja mahdollisuuksista korjata vahingot ja palata takaisin normaaliin elämään mahdollisimman nopeasti.

Sopeutumiskyky määrittyy pitkälti ihmisen sosiaalisen ja taloudellisen tilanteen perusteella. Esimerkiksi sosiaaliset verkostot parantavat ihmisten kykyä sopeutua ilmastohaittoihin ja selviytyä niistä vähin vaurioin. Ystävät, naapurit ja läheiset pystyvät auttamaan ja tukemaan toisiaan tulvan aikana tai sen jälkien korjaamisessa. Yksin asuvat vanhukset voivat olla vaarassa pitkien hellejaksojen aikana, mikäli heillä ei ole tuttavlia tai läheisiä, jotka pystyvät auttamaan heitä. Voimistunut altistuminen kuvaa fyysisen ympäristön ominaisuuksia. Asuinympäristö voi lisätä tai vähentää haavoittuvuutta. Asuinrakennusten laatu, asuntojen sijoittuminen ja viheralueiden määrä ja laatu vaikuttavat siihen, millaisia vaikutuksia tulvilla ja helteillä on asukkaille.

Kuvan 1. malli perustuu riskikolmioon (Crichton, 1999). Riskiä tai ilmastohaittaa ei ole, mikäli yksikin osatekijä eli kolmion sivu jää puuttumaan. Vaikka ihmisten sosiaalinen haavoittuvuus tulville olisi suuri, ei ilmastohaittaa esiinny, jos he eivät altistu tulville. Ilmastohaitta syntyy ainoastaan silloin, kun haavoittuvat yhteisöt elävät tulva-alueella, eikä heillä ole esimerkiksi mahdollisuutta ehkäistä tulvien haittoja ennakolta.

Indikaattorit kuvaavat haavoittuvuutta ja alueellista jakautumista

Sosiaalista haavoittuvuutta kuvaamaan valittiin joukko alueellisia paikkatietopohjaisia indikaattoreita. Alustavat indikaattorit tunnistettiin Britanniassa tehdyn työn pohjalta (Lindley ym. 2011, Kazmierczak ym. 2015). Ne eivät kuitenkaan kaik-ki soveltuneet kuvamaan pääkaupunkiseudun oloja ja karsimisen jälkeen päädyttiin 33 indikaattoriin, jotka kuvaavat sosiaalista haavoittuvuutta tulville ja helteille. Indikaattorit yhdistettiin edelleen ryhmiiksi, jotka kuvaavat sosiaalisen haavoittuvuuden ulottuvuuksia, kuten informaation saatavuutta, sosiaalisia verkostoja, tulotasoa, asuntokantaa ja fyysisen ympäristön ominaisuuksia (HSY 2016).



Kuva 1. Ilmastohaitan esiintymisen ja sosiaalisen haavoittuvuuden tekijät (Lindley ym., 2011).

Indikaattoreista muodostettiin yhdistelmäindikaattorit, jolloin oletuksena olivat: että haavoittuvuuden tekijät (saavutettavuus, informaatio, ikä, tilan puute, asuntokanta, fyysinen ympäristö ja omistumuoto) ovat keskenään yhtä merkittäviä ja että kaikki yksittäiseen tekijään liittyvät sosiaalisen haavoittuvuuden indikaattorit ovat keskenään yhtä merkittäviä. Indikaattorit on esitetty kartoilla. Sosiaalinen haavoittuvuus tulville on saatu yhdistämällä eri tulvahaavoittuvuuden ulottuvuudet (herkkyys, sopeutumiskyky ja voimistunut altistuminen) yhdistelmäindikaattoriksi. Samoin sosiaalinen haavoittuvuus helteille on yhdistelmäindikaattori hellehaavoittuvuuden ulottuvuuksia kuvaavista indikaattoreista. Työssä tuotettiin myös yhdistelmäindikaattori hulevesihaitan (disadvantage) alueellisesta jakaantumisesta pääkaupunkiseudulla.

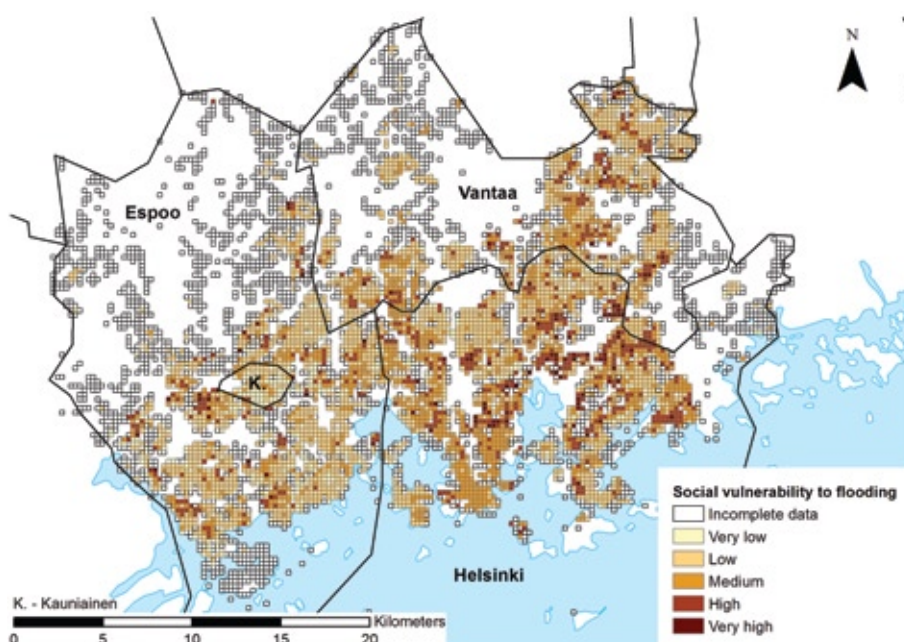
Haavoittuvuus pitää huomioida kaupunkisuunnittelussa

Kartoitus nostaa esiin pääkaupunkiseudun haavoittuvia ryhmiä ja alueita. Esimerkiksi jo nyt pääkaupunkiseudulta löytyy alueita, joissa haavoittuvuus helteille on kohtalaista tai suurta. Pääkaupunkiseutu on nykyisin suojattu meri- ja vesistötulvien varalta

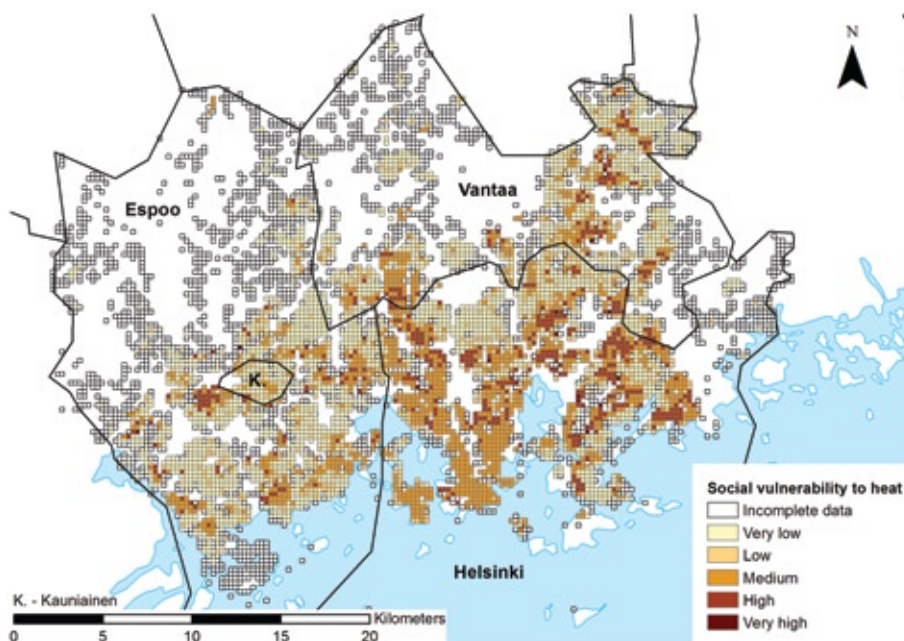
varsin hyvin, mutta rankkasadetulvien osalta tilanne on toinen. Rankkasade voi osua minne vain ja kaupunkirakenteessa, jossa on paljon vettä läpäisemätöntä pintaa, voivat rankkasateen aiheuttamat vaikutukset olla merkittäviä.

Selvityksen tuloksia voidaan käyttää tausta-aineistona esimerkiksi kaupunkisuunnittelussa ja sosiaali- ja terveysalalla, pelastustoimissa ja asumisen suunnittelussa sekä päätöksenteossa. Indikaattoreita voi myös hyödyntää kaupunkiseudun sopeutumistoimien priorisoinnissa sekä kohdentamisessa ja niiden avulla voi lisätä tietoisuutta ilmastonmuutokseen sopeutumisesta ja haavoittuvuudesta

Selvityksessä havaittiin jo nyt alueiden välillä haavoittuvuuseroja, mutta erot eivät vielä ole kovin suuria. Tilanne voi kuitenkin kääntyä toisenlaiseksi ilmaston muuttumisen myötä ja kaupunkien kasvaessa. Kun väestömäärä ja ikääntyneiden osuus kasvavat, voi myös ilmastonmuutokselle haavoittuvien ihmisten määrä lisääntyä. On tärkeää tiedostaa sosiaalinen haavoittuvuus yhtenä keskeisenä ilmastonmuutokseen sopeutumiseen ja kaupunkien suunnitteluun vaikuttavana tekijänä.



Kuva 2. Sosiaalinen haavoittuvuus tulville pääkaupunkiseudulla (HSY 2016).



Kuva 3. Sosiaalinen haavoittuvuus helteille pääkaupunkiseudulla (HSY 2016).

Lähteet

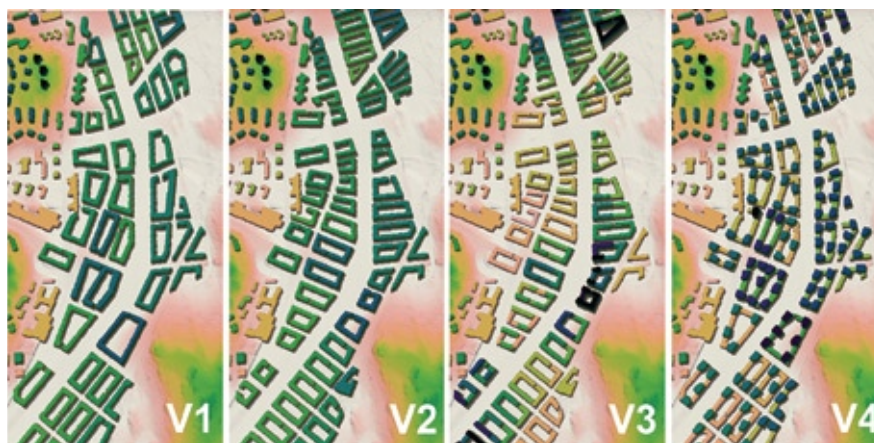
- Crichton, D. 1999. The risk triangle. Teoksessa J. Ingleton (toim.), Natural disaster management. Tudor Rose, London, s. 102–103.
- Kazmierczak, A. 2015. Analysis of social vulnerability to climate change in Helsinki Metropolitan Area. Final report. 29.12.2015. https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Raportit/Social-vulnerability-to-climate-change-Helsinki-metropolitan-area_2.pdf
- Kazmierczak, A., Cavan, G., Connolly, A. ja Lindley, S. 2015. Mapping Flood Disadvantage in Scotland 2015. Scottish Government, Edinburgh. <http://www.gov.scot/Resource/0049/00490788.pdf>
- Lindley, S., O'Neill, J., Kandeh, J., Lawson, N., Christian, R. ja O'Neill, M. 2011. Climate change, justice and vulnerability. Joseph Rowntree Foundation, York. <https://www.jrf.org.uk/sites/default/files/jrf/migrated/files/climate-change-social-vulnerability-full.pdf>
- HSY 2016. Ilmastolahtoinen sosiaalinen haavoittuvuus pääkaupunkiseudulla. <https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Raportit/HSY-Ilmastolahtoinen-sosiaalinen-haavoittuvuus.pdf>



Mona Kurppa, tohtorikoulutettava, Helsingin yliopisto
Antti Hellsten, erikoistutkija, Ilmatieteen laitos

Kaupunkibulevardien korttelirakenteella selkeä vaikutus ilmanlaatuun

Minkälaisia korttelirakenteita Helsingin uudessa yleiskaavassa suunniteltujen kaupunkibulevardien varrelle kannattaisi rakentaa, jotta liikenteen päästöjen haittavaikutukset ilmanlaatuun jäisivät mahdollisimman pieneksi? Ilmatieteen laitos yhdessä Helsingin yliopiston ja Helsingin seudun ympäristöpalveluiden (HSY) kanssa selvitti tätä kysymystä supertietokonelaskennan avulla.



Kuva 1. Tutkitut kortteliratkaisut V1-V4. Väri kertoo rakennusten ja maan pinnan korkeuden. Tummin vihreän sävy edustaa suurinta korkeutta.

Kaupunkibulevardeilla tarkoitetaan Helsingin uuden yleiskaavaan mukaista kaupunkikehitystä, jossa tarkoituksena on muuttaa nykyiset sisääntuloväylät Kehä I:n sisäpuolella urbaaneiksi kaupunkibulevardeiksi, joita asuin- ja liiketilat reunustavat.

Yhtenä kaupunkisuunnittelun tavoitteena on suunnitella terveellisyden ja turvallisuuden vaatimukset täyttäviä monimuotoisia korttelirakenteita kaupunkibulevardien varrelle, missä vilkkaan tieliikenteen päästöt ovat suuri haaste ilmanlaadun kannalta. Tässä työssä tutkittiin neljän toisistaan poikkeavan esimerkkikortteliratkaisun (kuvat 1 ja 2) tuulettuvuutta Hämeenlinnan väylän paikalle suunniteltavalla kaupunkibulevardilla. Tuulettuvuudella tarkoitetaan epäpuhtaan ilman korvautumista puhtaammalla ilmalla.

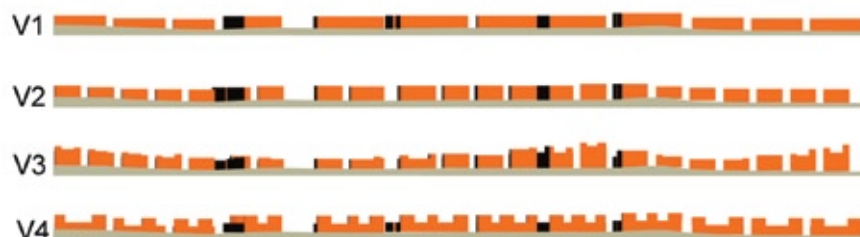
Miten kaupunkisuunnittelulla voidaan vaikuttaa tuulettuvuuteen?

Ilman virtaus katutasossa on vallitsevien sääolojen ja tuulen esteiden eli maanpinnanmuotojen, rakennusten ja korkean kasvillisuuden vuorovaikutuksen säätelemää. Näin ollen kaupunkisuunnittelulla on mahdollista vaikuttaa

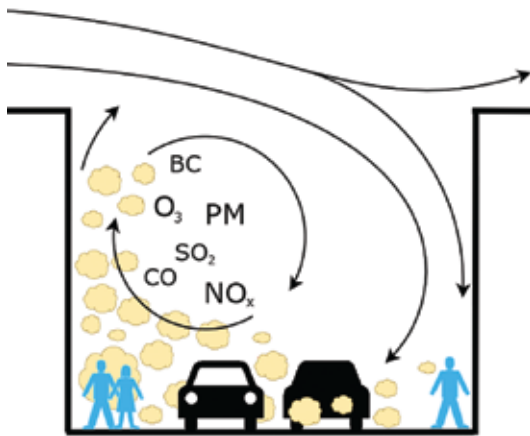
tuulioloihin ja edelleen ilmansaasteiden leviämiseen.

Tiivis kaupunkirakenne ja etenkin katukuilumaiset korttelirakenteet heikentävät tuulettuvuutta. Katukuiluun syntyy usein tuulipyörre, joka toisaalta edesauttaa päästöjen kulkeutumista pois katukuilusta, mutta toisaalta myös kierrättää sekä kadulta lähtöisin olevia liikenteen päästöjä että muita ympäristön epäpuhtauksia katukuilussa kasaten niitä tuulenpuoleiselle sivulle. Katutason ilmanlaatu voi huonontua huomattavasti heikon tuulettuvuuden takia.

Ulkoilman laadulle on asetettu terveysvaikutusperusteiset raja-arvot, jotka eivät saa ylittyä alueilla, joilla ihmisiä oleilee. Kaupunkirakenteen tiivistämisestä, liikkumistarpeen vähentämisestä ja joukkoliikenteen lisääntyvästä käytöstä huolimatta bulevardien liikennemäärän ja mahdollisen ruuhkautumisen pelätään johtavan raja-arvojen ylityksiin ja ilmanlaatuongelmiin.



Kuva 2. Tutkittujen kortteliratkaisujen V1-V4 sivuleikkaukset.



Kuva 3. Havaintoesimerkki ilmansaasteiden kulkeutumisesta katukuilussa.

Virtausmallinnusta yksityiskohtaisesti esitetyssä ympäristössä

Tutkimuksessa mallinnettiin ilman virtausta ja sen mukana kulkeutuvien reagoimattomien ilmansaasteiden pitoisuuksia. Tavoitteena oli tarkastella liikenteestä lähtöisin olevien päästöjen kulkeutumista ja tuulettumista. Näin ollen lähdealueeksi määriteltiin bulevardialueen katuverkko, jonka

vaihtelevat liikennemäärät huomioitiin päästölähteiden voimakkuuksissa. Toisin sanoen, vilkkaasti liikennöidyllä bulevardilla päästölähde oli huomattavasti voimakkaampi kuin pienillä poikkikauduilla. Taustapitoisuutta ei otettu huomioon LES-mallinnuksessa, koska kyseessä oli eri korttelimallien tuulettuvuuden keskinäinen vertailu, eikä absoluuttisten pitoisuusarvojen arviointi.

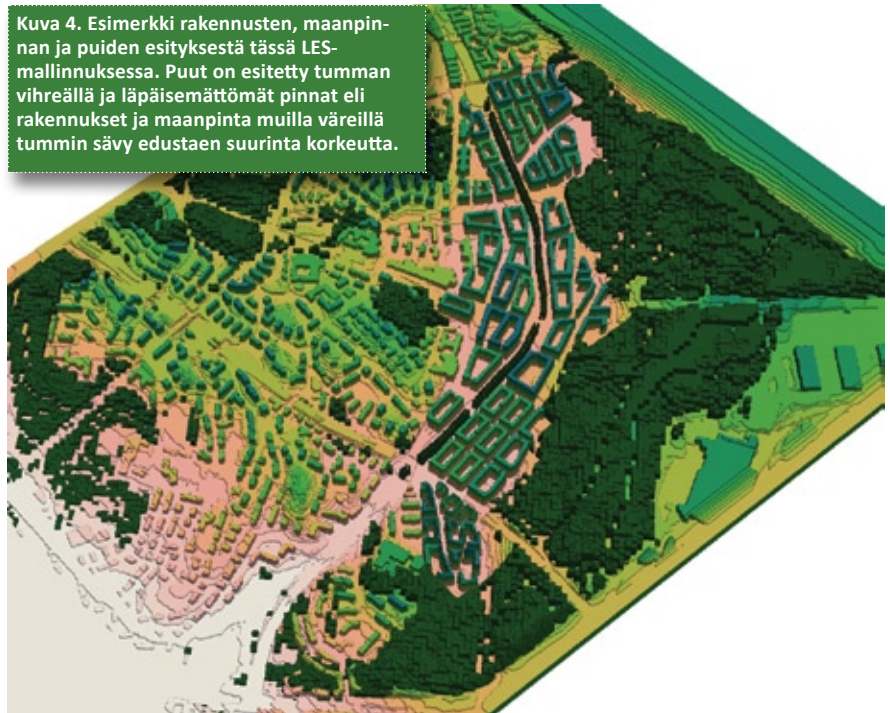
Tutkimuksessa otettiin ilmaa läpäisemättömien rakennusten ja maanpinnan lisäksi huomioon ilmaa läpäisevien katupuiden ja ympäröivän puuston ilman virtausta jarruttava vaikutus tuulettumiseen. Puiden vaikutusta tarkasteltiin sekä puiden ollessa lehdessä että lehdettöminä. Näin ollen mallinnusympäristö kuvattiin mahdollisimman

todenmukaisesti. Mallinnus tehtiin sekä yleisesti vallitsevassa säätilassa että talvisessa, ilmanlaadun kannalta epäedullisessa säätilassa. Tutkimuksen tarkastelualue keskittyi Metsäläntien ja Hämeenlinnanväylän risteuksen läheisyyteen välillä Hakamaentie - Kehä I.

LES-mallinnuksen avulla päästiin siis vertailemaan eri kortteliratkaisujen vaikutusta tuulettuvuuteen. Perinteisiä leviämismalleja käyttäen tämä ei olisi ollut mahdollista. Toisaalta LES-mallinnuksella ei kyetä vielä nykyisin arvioimaan pitoisuuksien vuosikeskiarvoja, koska laskentatyö muodostuisi liian suureksi. Tästä syystä typpidioksidin (NO_2) vuosikeskiarvot eri liikennemääriä mallinnettiin yksinkertaistetulle katukuilulle käyttäen perinteistä OSPM-mallia (Operational Street Pollution Model). OSPM-mallinnuksissa otettiin huomioon myös arvioitu taustapitoisuus. LES-tulosten avulla OSPM-mallinnetuista NO_2 vuosikeskiarvoista arvioitiin eri kortteliratkaisuille NO_2 vuosikeskiarvot, joita verrattiin sitten EU:n asettamaan raja-arvoon.

Tämänkaltaisen LES-mallinnus on vasta äskettäin tullut mahdolliseksi sen vaatiman suuren laskentakapasiteetin vuoksi. LES vaatii raskasta rinnakkaislaskentaa supertietokoneympäristössä. Mallinnukset tehtiin Ilmatieteen laitoksen Cray XC30 -supertietokoneella ajaen neljää sataa laskentaprosessia rinnakkaisesti. Suorituskykyisellä henkilökohtaisella tietokoneella laskentaan olisi kulunut arviolta noin 3 vuotta. Tosin se ei olisi ollut mahdollista, koska laskennassa tarvittiin yhteensä yli teratavun (=1024 gigatavua) verran keskusmuistia. Henkilökohtaisissa tietokoneissa on varsin harvoin enemmän kuin 16 tai 32 gigatavua keskusmuistia.

Kuva 4. Esimerkki rakennusten, maanpinnan ja puiden esityksestä tässä LES-mallinnuksessa. Puut on esitetty tumman vihreällä ja läpäisemättömät pinnat eli rakennukset ja maanpinta muilla väreillä tummin sävy edustaen suurinta korkeutta.



Kortteliratkaisulla huomattava vaikutus ilmanlaatuun

Tutkimuksen mukaan bulevardikatuja ympäröivällä kortteliratkaisulla on huomattava merkitys kaupunkibulevardien ilmanlaatuun. Tutkimuksessa vertailtiin neljää selvästi toisistaan poikkeavaa kortteliratkaisua, joista ratkaisu V3 osoittautui tässä suhteessa selvästi muita paremmaksi. Tässä ilmanlaadun kannalta parhaassa ratkaisussa korttelit ovat erikorkuisia ja korkeus vaihtelee vähitellen korttelista toiseen kadun suuntaisesti. Lisäksi korttelien lyhyt julkisivu on kohti bulevardia, jolloin bulevardia reunustuvat katukuilut ovat lyhyitä.

Nämä tekijät yhdessä johtavat tehokkaimpaan tuulettumiseen ja ilmaansaasteiden kulkeutumiseen pois katu-
tasosta. Tutkimuksessa tarkasteltiin kolmea eri muuttujaa, jotka täydentävät toisiaan: reagoimattomien ilmaansaasteiden pitoisuutta (Kuva 5), pystysuuntaista kuljetusta ja laimenemisnopeutta. Tulokset perustuvat niin ikään mallinnukseen kahdessa selkeästi toisistaan poikkeavissa säätiloissa.

Kuva 6 esittää NO₂ vuosikeskiarvon raja-arvon ylittymistä eri liikennemäärillä ja eri kortteliratkaisuissa. Nykyisellä liikennemäärällä (n. 50 000 ajoneuvoa arkivuorokaudessa) raja-arvot olisivat vaarassa ylittyä tai ylittyisivät kaikissa kortteliratkaisuissa.

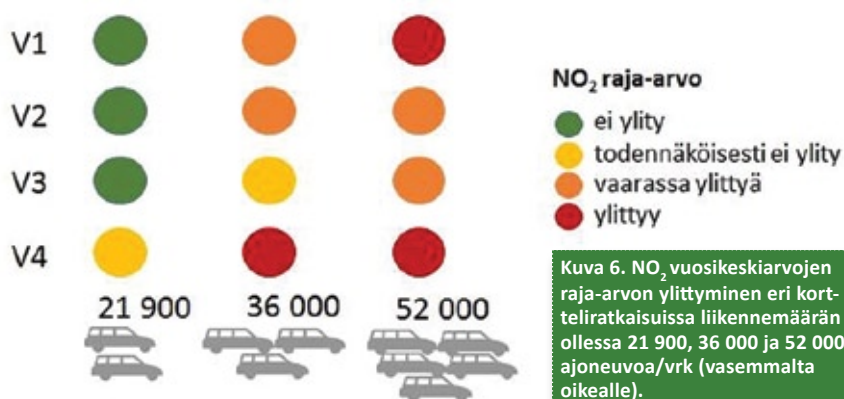
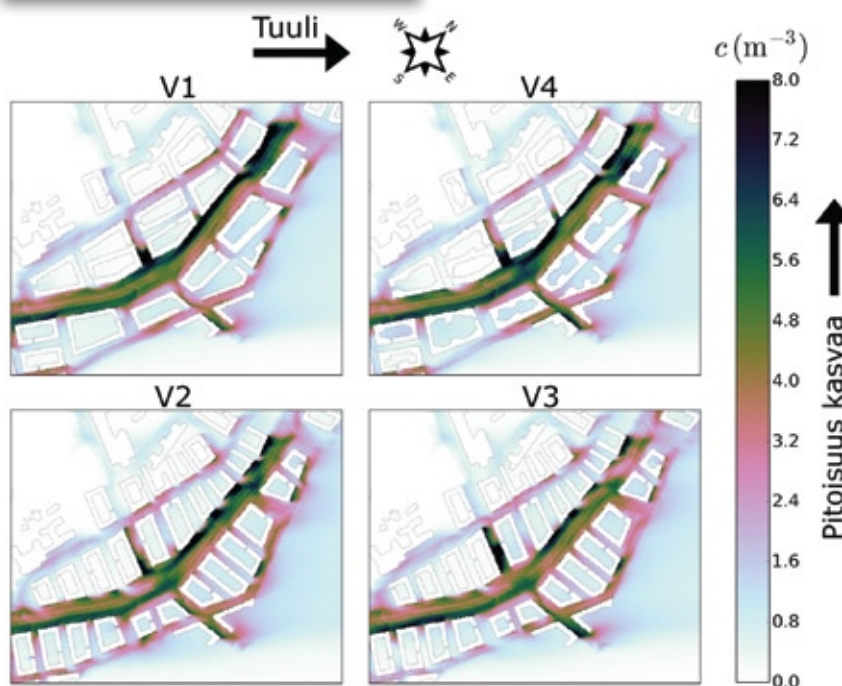
Poikkeuksellisen yksityiskohtaista leviämismallinnusta

Kaupunkien ilmanlaatu on tänä päivänä ja tulevaisuudessa yksi suurimmista globaaleista haasteista. Ilmanlaadun huomioiva ja nykyisiä kehittyneitä laskentamenetelmiä hyödyntävä kaupunkisuunnittelu mahdollistaa kaupunkiympäristöjen tehokkaamman tuulettumisen. Tämä edelleen vähentää terveydelle haitallisten ilmaansaasteiden pitoisuuksia, joille ihmiset altistuvat kaupungeissa.

Näin yksityiskohtaista ilmaansaasteiden leviämismallinnusta kaupunkiympäristössä ei ole maailmalla tietävästi tähän mennessä koskaan tehty. Työ tehtiin yhteistyössä Helsingin yliopiston ilmakehätieteiden osaston sekä Helsingin seudun ympäristöpalvelujen (HSY) kanssa ja tutkimuksen tilasi Hel-

singin kaupunkisuunnitteluvirasto. Tutkimuksessa sovellettiin muun muassa Suomen Akatemian rahoittamassa CityClim-tutkimushankkeessa kehitettyjä menetelmiä.

Kuva 5. Reagoimattomien ilmaansaasteiden pitoisuus c (m^{-3}) eri kortteliratkaisuissa yleisesti vallitsevassa säätilassa. Pitoisuus on 40 minuutin aikakeskiarvo 4 metrin korkeudesta maanpinnan yllä.



Kuva 6. NO₂ vuosikeskiarvojen raja-arvon ylittyminen eri kortteliratkaisuissa liikennemäärän ollessa 21 900, 36 000 ja 52 000 ajoneuvoa/vrk (vasemmalta oikealle).

Lisätietoa

- > Linkki hankkeen loppuraporttiin: http://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/yos_2016-5.pdf
- > Linkki tutkimuksesta tehtyyn pro gradu –työhön ”Assessing pollutant ventilation in city planning alternatives using a large-eddy simulation”: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/167627>

Hiilipäästöjä kuriin kannattavasti metsänhoidolla

Kuten sanonta kuuluu, Suomi on vihreän kullan maa: Suomen pinta-alasta 78 % on metsätalousmaata ja metsäteollisuuden osuus viennistä on yli neljännes. Metsät ja niiden käyttö ovat kuitenkin suurten muutosten edessä. Etenevä ilmastonmuutos vaikuttaa metsien kasvuun, ja metsien kyky varastoida hiiltä on nousemassa merkittävään rooliin kansainvälisessä ilmastopoliitikassa.

Toisaalta perinteisen päätehakkuisiin perustuvan metsänkäsitteilyn rinnalle on nousemassa metsän peitteisyyden säilyttävä käsitteilytapa, josta toivotaan apua puuntuotannon sekä luonto- ja virkistysarvojen yhteensovittamiseen. Nämä kaksi teemaa – hiilensidonta ja metsänkäsitteilytavan valinta – yhdistyivät Helsingin yliopistolla tehdystä pro gradu -työstäni, jota esittelen tässä artikkelissa. Englanniksi julkaistu työ **”Optimal carbon storage and the choice between continuous cover forestry and clearcuts”** on luettavissa Helsingin yliopiston E-Thesis-tietokannassa.

Ympäristö- ja luonnonvarataloustieteessä kasvihuonekaasupäästöt nähdään ulkoishaittoina: kun taloudellinen toimija ei näe omassa kukkarossaan päästöistä yhteiskunnalle koituvia haittoja, hänellä ei ole myöskään kannustimia vähentää niitä. Vastaavasti metsien tuottama hiilensidonta on ulkoishyöty, jonka yhteiskunnallinen arvo ei automaattisesti näy metsänomistajan tilipussissa.

Kyse ei suinkaan ole pienestä asiasta: maapallon metsiin on tällä hetkellä varastoitunut lähes kaksinkertainen määrä hiiltä ilmakehään verrattuna (FAO 2006). Keskeinen kysymys onkin, miten metsiä kannattaisi hoitaa, jos sekä hiilen vapauttamisella että sen sitomisella olisi niiden arvoa vastaava hinta. Rahallinen hinta, joka voitaisiin asettaa esimerkiksi päästökauppa- tai hiiliverojärjestelmän kautta, ikään kuin auttaisi yhteismitallistamaan puuntuotannon ja hiilensidontan hyödyt metsänomistajan päätöksenteossa.

TUTKIMUS OLLUT TÄHÄN ASTI YKSIPUOLISTA

Hiilensidontahyötyjen vaikutus taloudellisesti optimaaliseen metsänkäsitteilyyn on kiinnostanut tutkijoita jo useamman vuosikymmenen ajan. Tyypillinen tulos on ollut, että hiilensidontan huomioiminen pidentää kiertoaikaa eli lykkää sitä hetkeä, jolloin metsikkö kannattaa päätehakata (esim. van Kooten ym. 1995, Gutrich ja Howarth 2007). Lähes kaikki näistä tutkimuksista ovat perustuneet hyvin kapeaan käsitykseen siitä, miten metsiä voidaan hoitaa: uudistaminen tapahtuu keinollisesti (esimerkiksi istutuksin), ja ennen pitkää metsikkö päätehakataan kokonaisuudessaan. Tällaista metsänkäsitteilyä on Suomessa kutsuttu tasaikäismetsätaloudeksi.

Viimeaikaiset ekologiset tutkimukset kuitenkin osoittavat, että homogeeniset istutusmetsiköt saattavat olla alttiimpia ilmastomuutoksen mukanaan tuomille uhkille, kuten tuholaisille ja äärimmäisille sääilmiöille, kuin eri-ikäisistä ja -kokoisista puista koostuvat metsiköt (esim. Gauthier ym. 2015). Toisaalta tuoreet metsäekonomiset tutkimukset viittaavat siihen, että metsien päätehakkuuton käsitteily – toisin sanoen luontaiseen uudistumiseen perustuva eri-ikäisrakenteinen eli jatkuvapeitteinen metsänhoito – voi joissain tapauksissa olla taloudellisesti jopa kannattavampaa kuin perinteinen kiertoaikamenetelmä. On siis selkeä tarve tutkimukselle, jossa taloudellisesti järkevää hiilensidontaa tarkasteltaisiin sulkematta kumpaakaan näistä käsitteilyvaihtoehdoista pois lähtökohtaisesti.

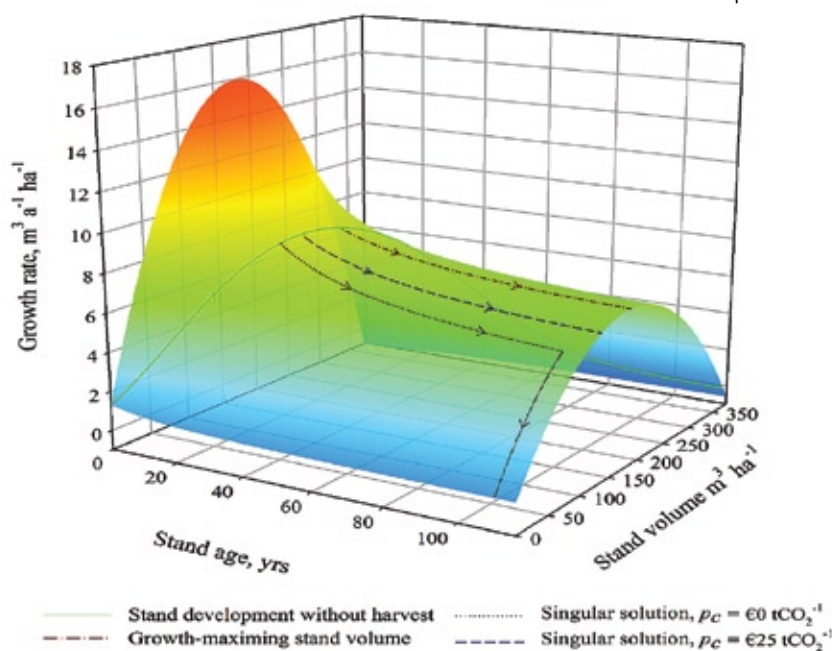
Pro gradu -työssäni tutkinkin hiilensidontan vaikutusta siihen, kannattaako metsää hoitaa päätehakkuin vai jatkuvapeitteisenä, kun valinta näiden vaihtoehtojen välillä tehdään optimoimalla. Tutkimuksessa hiilensidontan hyödyt sisäistettiin metsän käsitteilyä koskevaan päätöksentekoon olettamalla, että yhteiskunta voi maksaa metsänomistajalle tukea metsän kasvun myötä sitoutuvasta hiilestä ja veloittaa tukia takaisin hakkuiden jälkeen. Analyysi keskittyi tukipolitiikkaan, joka huomioi myös puutuotteisiin sitoutuvan ja niistä vapautuvan hiilen. Tällaista, metsänkäsitteilytavan valinnan sisältävää, tutkimusta hiilensidonnasta metsätaloudessa ei olla aiemmin esitetty.

HIILEN HINTA OHJAUSKEINONA

Työn ensimmäisessä ja teoreettisemmassa osassa tutkin kysymystä hiilensidonnasta jatkuva-aikaisella biomassamallilla. Tässä tyyliteltyssä mallissa metsikön kasvu riippuu sen iästä ja puuston tilavuudesta, ja metsästä korjataan vain yhdenlaista puuta. Mallissa optimoidaan sekä harvennukset että kiertoaika, ja äärettömän pitkän kiertoajan valitseminen tarkoittaa jatkuvapeitteistä metsänkäsitteilyä eli puunkorjuuta ainoastaan harvennuksin (Tahvonen 2016). Malliin sisältyvien yksinkertaistusten ansiosta saatoin tutkia kysymystä analyttisesti, eli matemaattisen päättelyn avulla yleisiin johtopäätöksiin pyrkien.

Biomassamallia käyttäen osoitin, että hiilensidonnasta maksettu tuki lykkää harvennusten aloitusta ja kasvattaa optimaalista puuston tilavuutta yli kiertoajan (**Kuva 1**). Jos hiilen hinta on tarpeeksi korkea, niukin ja siksi arvokkain resurssi ei olekaan puu vaan metsän hiilensidontapotentiaali. Osoitin myös, että hiilen hinnoittelu vaikuttaa optimaaliseen kiertoaikaan sekä valintaan päätehakkaamisen ja jatkuvapeitteisen metsänkäsitteilyn välillä.

Numeeristen tulosten mukaan metsän hoito jatkuvapeitteisenä muuttuu päätehakkaamista kannattavammaksi, kun hiilen hintaa kasvatetaan. Lisäksi korkeampi diskonttokorko (käytännössä parhaan vaihtoehdon sijaituskohteen korko) voi johtaa suurempaan puuston tilavuuteen ja pidempään kiertoaikaan, mikä poikkeaa radikaalisti klassisella Faustmannin (1849) mallilla saatavasta tuloksesta. Keskeinen syy tähän on luontainen uudistuminen, jonka ansiosta keinollisen uudistamisen kustannuksia voidaan haluttaessa lykätä.



PAIKALLA JA KOOLLA ON VÄLIÄ

Pro gradun toisessa osassa pureduin tutkimuskysymykseen käyttäen kokoluokkarakenteista transitiomatriisimallia, joka perustuu pohjoismaisiin empiirisesti estimoituihin kasvufunktioihin (Bollandsås ym. 2008). Koska mallissa huomioidaan se, että metsikössä on monen ikäisiä ja kokoisia puita, se tuottaa biomassamallia tarkemman kuvauksen eri-ikäisrakenteisten metsien dynamiikasta.

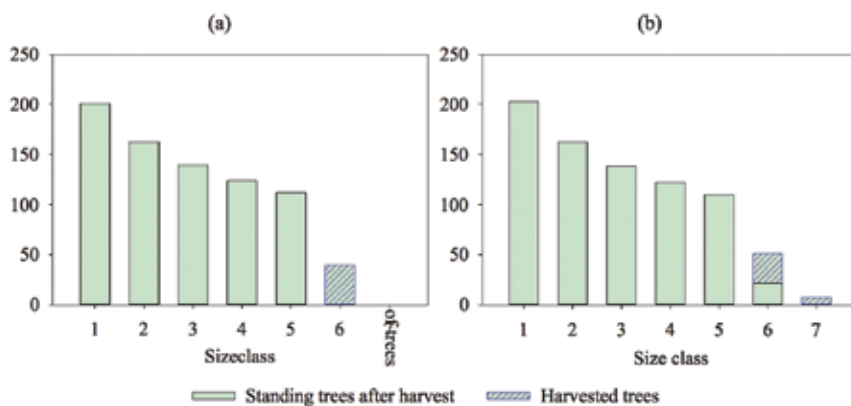
Mallia käyttäen voidaan valita paitsi kuinka paljon, myös minkä kokoisia puita harvennuksissa korjataan (Tahvonen 2015). Korjattujen puiden koko taas vaikuttaa tukki- ja kuitupuun saantiin, ja nämä puutavaralajit eroavat toisistaan sekä hinnaltaan että kyvyltään varastoida hiiltä pitkiä aikoja. Mallin avulla optimoidaan myös metsikön kiertoaika ja sen kautta metsänkäsitteilytapa. Hiilensidontaa ei olla aiemmin tutkittu useampia metsänkäsitteilytapoja kattavalla mallilla, joka on myös empiirisesti realistinen.

Numeeristen tulosten mukaan kaikki harvennukset kannattaa tehdä yläharvennuksina eli kohdistuen vain metsikön suurimpiin puihin, ja puiden annetaan kasvaa sitä suuremmiksi mitä korkeampi on hiilen hinta (**Kuva 2**). Hiilen hinnoittelu pidentää optimaalista kiertoaika, ja jo maltillinen hiilen hinta muuttaa jatkuvapeitteisen metsänhoidon päätehakkaamista kannattavammaksi. Myös korkeampi korko johtaa pidempään kiertoaikaan. Tulosten mukaan hiilensidonnän hinnoittelu voi parantaa metsätalouden kannattavuutta huomattavasti.

Tutkin myös kasvupaikan tuottavuuden vaikutusta, ja havaitsin että päätehakkaaminen on sitä kilpailukykyisempää mitä tuottavampi kasvupaikka on.

Kuva 1. Metsikön kasvuvauhdin riippuvuus metsikön iästä ja puustotilavuudesta, sekä optimaaliset käsitteilyratkaisut hiilen hinnoilla €0 (pisteviiva) ja €25 tCO_2^{-1} (katkoviiva). Korko 3%, puun kantohinta €40 m^{-3} , uudistuskustannus €1000 ha^{-1} .

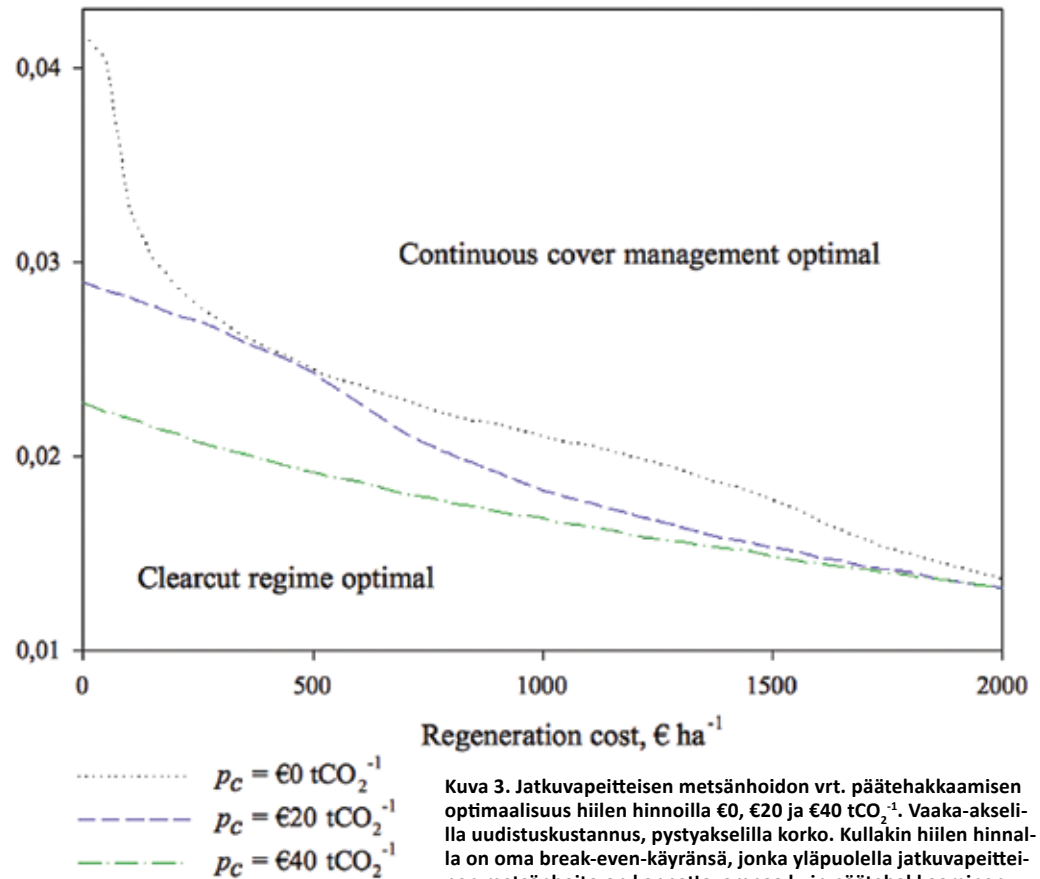
Kuvat 2 a-b. Jatkuvapeitteisenä hoidetun metsikön rakenne ja hakkuut tasapainotilassa hiilen hinnoilla (a) €20 ja (b) €60 tCO_2^{-1} . Vaaleat palkit kertovat puiden määrän kussakin kokoluokassa hakkuun jälkeen; tummennetut palkit kuvaavat kustakin kokoluokasta hakattavien puiden määrää viittä vuotta kohti. Korko 2%, uudistuskustannus €1000 ha^{-1} , keskimääräinen kasvupaikka.



OLOSUhteet MÄÄRÄÄVÄT PARHAAN METSÄNHoitOTAVAN

Molempien mallien mukaan hiilen hinnoittelu siis vaikuttaa merkittävästi optimaaliseen metsänkäsitelyyn ja tyypillisesti parantaa jatkuvapeitteisen metsänhoidon suhteellista kannattavuutta päätehakkaamiseen nähden. Se, kumpi metsänkäsitelyta-voista on kannattavin huomioiden sekä puuntuotannon että hiilensidonnän hyödyt, riippuu kuitenkin myös korkotasosta ja keinollisen uudistamisen kustannuksista (Kuva 3), sekä puun myyntihinnoista ja kasvupaikasta. Päätehakkaamisen ja jatkuvapeitteisen metsänhoidon periaatteellisen vastakkainasettelun sijasta tulisi siis valita paras menetelmä kulloistenkin olosuhteiden mukaan.

Tutkimuksessa sivuttiin myös erilaisia hiilitukijärjestelmiä sekä niiden taustalla vaikuttavia oletuksia koskien substitutiota ja hiilen vapautumista puutuotteista. Nämä kysymykset ovat sittemmin olleet esillä kansallista biotalousstrategiaa koskevassa kriittisessä keskustelussa, ja lisätutkimukselle on selvästi tarvetta. Tärkeä, mutta vähän tutkittu, kysymys on myös hiilensidonta monen puulajin metsiköissä. Tämä on yksi teemoista, joita tarkastelen tällä hetkellä väitöskirjatyoässäni Helsingin yliopistossa.



Kuva 3. Jatkuvapeitteisen metsänhoidon vrt. päätehakkaamisen optimaalisuus hiilen hinnoilla €0, €20 ja €40 tCO₂⁻¹. Vaaka-akselilla uudistuskustannus, pystyakselilla korko. Kullakin hiilen hinnalla on oma break-even-käyränsä, jonka yläpuolella jatkuvapeitteinen metsänhoito on kannattavampaa kuin päätehakkaaminen, ja alapuolella päinvastoin. Keskimääräinen kasvupaikka.

Hiilipäästöjä kuriin

Lähteet

- Bollandsås, O.M., Buongiorno, J. ja Gobakken, T., 2008. Predicting the growth of stands of trees of mixed species and size: A matrix model for Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23, 167–178.
- FAO, 2006. Global Forest Resources Assessment 2005. Progress towards sustainable forest management. FAO Forestry paper 147. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 320 s.
- Faustmann, M., 1849. Berechnung des Werthes, welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung* 25, 441–455.
- Gauthier, S., Bernier, P., Kuuluvainen, T., Shvidenko, A.Z. ja Schepaschenko, D.G., 2015. Boreal forest health and global change. *Science* 349 (6250), 819–822.
- Gutrich, J. ja Howarth, R.B., 2007. Carbon sequestration and the optimal management of New Hampshire timber stands. *Ecological Economics* 62, 441–450.
- Tahvonen, O. 2015. Economics of naturally regenerating heterogeneous forests. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists* 2(2), 309–337.
- Tahvonen, O., 2016. Economics of rotation and thinning revisited: the optimality of clearcuts versus continuous cover forestry. *Forest Policy and Economics* 62, 88–94.
- van Kooten, G., Binkley, C. ja Delcourt, G., 1995. Effect of Carbon Taxes and Subsidies on Optimal Forest Rotation Age and Supply of Carbon Services. *American Journal of Agricultural Economics* 77(2), 365–374.

Aino Assmuth

Miten päädyit työskentelemään ilmastonsuojelun parissa?

Opiskelin ympäristö- ja luonnonvarataloustiedettä Helsingin yliopistossa, ja ilmastomuutos oli paljon esillä opinnoissa. Ilmastoasiat olivat tosin kiinnostaneet jo aiemmin.

Mitkä ovat olleet viimeisimpiä työtehtäviäsi tai projektejasi?

Vuoden 2016 alusta olen tehnyt väitöskirjaa Taloudellis-ekologinen optimointi -tutkimusryhmässä Helsingin yliopiston metsätieteiden laitoksella. Työssäni tutkin hiilensidonnän vaikutusta optimaaliseen metsien käyttöön sekä yhden että monen puulajin metsiköissä.

Mitä näet suurimpina tulevina trendeinä ja haasteina ilmastonsuojelussa?

Ilmastomuutoksen torjunta vaatii yhteiskunnilta nopeaa uudistumista. Tekniset ratkaisut alkavat jo olla olemassa; nyt tarvitaan toimia kaikilla politiikkatasoilla jotta päästöjen vähentämisestä tulee houkuttelevaa yrityksille ja kotitalouksille. Tehokas ilmastomuutoksen torjunta edellyttää sekä luonnontieteellistä että yhteiskunta- ja ihmistieteellistä ymmärrystä ja varsinkin näiden yhteen sitomista. Monitieteisyyden ohella koen tärkeäksi kysymyksen ilmastotoimien vaikutuksista ilmanlaatuun ja biodiversiteettiin. Potentiaali lisähyödyille on suuri, mutta toisaalta ilmastomuutoksen vastustamisella voidaan perustella myös muulle ympäristön- ja luonnonsuojelulle haitallisia toimia.

Mitä haluaisit saada aikaiseksi urasi aikana?

Tarkoitukseni on saada aikaan korkealaatuisia tieteellistä tutkimusta, josta on hyötyä ympäristönsuojelulle ja ihmisten hyvinvoinnin edistämiseksi.

VALOKEILASSA

Valokeilassa-sarjamme aloittaa Ilmansuojeluyhdistyksen uusi puheenjohtaja Anu Kousa. Sarjassa haastatamme ilmansuojelualalla toimivia ihmisiä heidän urastaan ja ajatuksistaan ilmansuojelun tulevaisuudesta.



➔ Ilmansuojelussa tapahtuu



Kuva: Teemu Leinonen

Vuonna 2017 on luvassa niin perinteisiä kuin uusia tapahtumia. Ilmoittautumisohjeet tapahtumiin löydät Ilmansuojeluyhdistyksen sivuilta lähempänä tapahtuma-aikaa tai tilaamalla ISYn uutiskirjeen osoitteesta: www.isy.fi

Ilmansuojelupäivät 22. - 23.8.2017

Tänäkin vuonna Ilmansuojelupäivillä pureudutaan monipuolisesti ilman- ja ilmastonsuojelun ajankohtaisiin kysymyksiin! Tässä muutamia nostoja päivien aiheesta:

Ilman- ja ilmastonsuojelu arktisilla alueilla

Ensimmäisenä päivänä on perinteisen ajankohtaiskattauksen lisäksi tarjolla laaja kattaus puheenvuoroja arktisen alueen ilman- ja ilmastonsuojeluun liittyen. Ilmansuojelupäivillä käsitellään Suomen alkanutta Arktisen neuvoston puheenjohtajuutta ja Arktisen neuvoston päästöasioiden käsittelyä, uusiutuvan energian edistämistä arktisilla alueilla, kasvihuonekaasujen ja ilmanlaadun havainnointia satelliiteilla arktisilla alueilla ja uusia tuloksia laivojen mustahii-
lipäästöistä.

Mistä pienhiukkasia ja hajuja syntyy?

Keskiviikko aamusta on tiedossa rautainen tietopaketti ulkoilman pienhiukkasista, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden merkityksestä ilmansuojelussa ja hajuista. Mistä hajuja syntyy ja miten niitä määritetään?

Liikenne ilman- ja ilmastonsuojelun haasteena

Liikenne on edelleen keskeinen ilman- ja ilmastonsuojelun haaste. Tähän aiheeseen syvennyttään puheenvuoroilla Liikenteen kasvihuonekaasupäästöt – taudin laatu ja lääkkeet vuoteen 2030 ja Liikenteen ilmanlaatua heikentävien päästöjen kehittyminen. Lisäksi tutustutaan kaupunkibulevardien ilmanlaatuun ja uusiin virtausmallintamismenetelmiin.

➔ **Myös Ilmansuojelupäivien ajankohtaisia uutisia voi seurata Ilmansuojeluyhdistyksen [www-sivuilta](http://www.sivuilla) ja ISY:n somesta.**



www.facebook.com/Ilmansuojeluyhdistys



@ISY_fi

Ilmoittautuminen ja lisätietoja ISYn sivuilta: www.isy.fi



Hiilineutraali Ympäristökeskus mallina Korkeasaarelle

Helsingin tavoite hiilineutraalisuudesta edellyttää kaupungin esimerkillistä toimintaa ja oman toiminnan muutosta ja Helsingin ympäristökeskus koordinoi kaupungin ilmasto- ja ympäristöjohtamista. Ympäristökeskuksesta tuli ensimmäisenä virastona Hiilineutraali 2015.

Ensimmäisessä vaiheessa Ympäristökeskuksen Harakan luontokouluun tehtiin vuonna 2010 uusiutuvan energian katselmus, energian laitehankinnat ja energiansäästötoimia, joilla puolitettiin Luontokoulun ostoenergian tarve. Seuraavaksi ympäristökeskus muutti vuonna 2011 Suomen energiatehokkaimpaan toimitilaan, joka tuottaa osan energiastaan itse ja loppu energia hankitaan tuulisähköä ja bio-kaasukaukolämpönä.

Tavoite: Hiilijalanjälki pudotetaan 5,4 tonnista CO₂/työntekijä tasolle 1,5 tonniin vuodesta 2008 vuoteen 2015.

Toteuma: 1,7 t/työntekijä (2015)

Hiilineutraalin Ympäristökeskuksen päästöjen kehitys ja Harakan luontokoulun säästöjen jakautuminen tehtyjen toimenpiteiden mukaan.

Työkaluja hiilineutraalisuuteen yhteistyöllä

Sekä Ympäristökeskuksen että Korkeasaaren Hiilineutraalisuushjelma on kytketty ympäristökeskuksen kehittämään kevennettyyn ympäristöjärjestelmään Ekokompassiin, jonka käyttöönoton koulutuksesta se myös vastaa kaupungin sisällä. Ympäristökeskus vastaa kaupungin Ekotukihenkilöiden koulutuksesta. Henkilöt toimivat ympäristöasioiden tukihenkilöinä kaupungin organisaatiossa. Ympäristökeskus käynnisti 2015 kaupungin sisäisen ilmastoverkoston, jonka jäsenet toimivat muun muassa hiilineutraali Korkeasaaren tukena.

Korkeasaari pääsi mukaan Helsingin hakemaan EU:n mySMARTLife – hankkeeseen, jossa Ilmastoverkoston jäsenet

ideoivat toimia Korkeasaareen. Helsingin rakennusvirasto vastaa Korkeasaaren energiakatselmusten laadinnasta ja edistää energiansäästötoimien toteutusta. Helen on laatinut laskelmat aurinkosähkön tuotantoon ja rakennuttanut laitokset sekä tehnyt energiaan liittyvää valistustyötä Korkeasaarella. Ympäristökeskuksen asiantuntijat auttoivat myös liikumistutkimuksen teossa. Lisäksi mukana ovat olleet Aalto yliopisto, Metropolia ja VTT.

Vuonna 2015 käynnistyneen Ekokompassi ympäristöjärjestelmän myötä Korkeasaari on lähtenyt entistä määrätteisemmin edistämään ympäristöystävällisyyttä ja energiatehokkuutta. Samoihin aikoihin Korkeasaari lähti mukaan Helsingin ilmastoverkostoon. Toiminta verkostossa oli Korkeasaaren kannalta suosiollista, sillä eläintarha valittiin yhdeksi käytännön kehityskohteeksi Helsingin hiilineutraalisuustielle. Ilmastoverkoston työpajoissa ryhdyttiin ideoimaan erilaisia alueelle sopivia energiaratkaisuja ja samalla mietittiin myös lisäselvitystarpeita. Osa ideoista päätyi verkoston jäsenten aktiivisuudesta hankehakemuksiin ja nyt ollaan jo toteutusvaiheessa muun muassa juuri alkaneen mySMARTLife-hankkeen ansiosta.

Hiilineutraalisuushankkeen myötä Korkeasaareen on hiljattain asennettu kaksi (10 kWp) aurinkovoimalaa, robottibussi aloittaa kokeiluluonteisesti tulevana kesänä tuomaan asiakkaita saareen, energiakatselmus päivitetään ja yleisö on voinut osallistua saaren kehittämiseen energiansäästöviikolla tehdyllä kyselyllä.

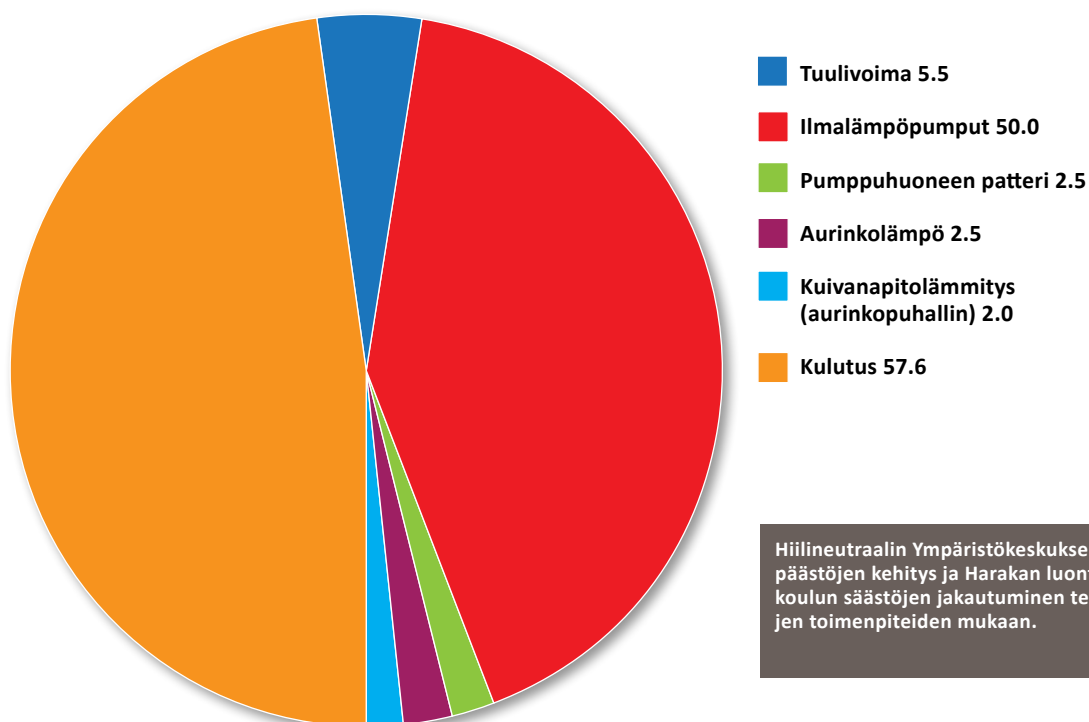
Osallistamalla ja kartoittamalla uusia ratkaisuja

Hedelmällistä työtä on tehty paikallisten oppilaitosten kanssa. Metropolian lopputyössä tutkitaan Korkeasaaren uusiutuvan energian potentiaaleja. Aalto yliopiston opiskelijat ovat tehneet projektitoita, jotka tuottavat lisää uusia ideoita siihen, mitä uusiutuvia energianlähteitä Korkeasaarella kannattaisi käyttää ja mitkä ovat parhaat keinot edistää energiatehokkuutta. Ratkaisuihin on otettava huomioon myös eläinten tarpeet ja käyttäytymiseen liittyvät erityispiirteet – esimerkiksi lämmön karkaamista estävä tuulikaappi voikin osoittautua eläimen kannalta pelottavaksi ja estää sen vapaan liikkumisen sisä- ja ulkotilan välillä.

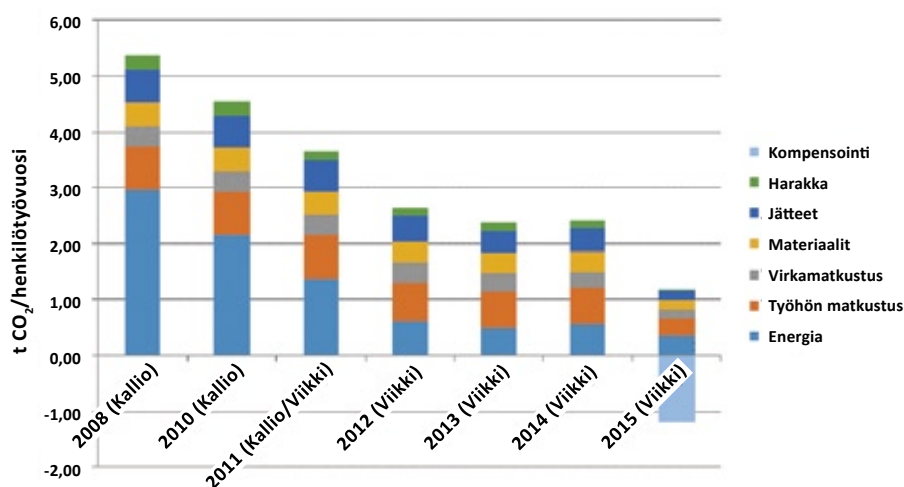
Ympäristökeskuksesta ja Luontokoulusta löytyy muun muassa:

- tuulivoimaa
- aurinkosähköä ja -lämpöä
- aurinkogrilli ja -uuni
- kalliojäähdytystä
- ilmalämpöpumppuja
- sähkön varastointia
- sähköauto ja kolme biokaasuautoa
- avoin sähköauton pikalatauspiste
- sähköpyöriä

Säästö (MWh)



Hiilineutraalin Ympäristökeskuksen päästöjen kehitys ja Harakan luontokoulun säästöjen jakautuminen tehtyjen toimenpiteiden mukaan.



Alkuvuodesta toteutetusta henkilökunnan työmatka- ja asiointikyselystä saadaan toimenpideideoita, jotka tukevat vähäpäästöistä liikkumista Korkeasaarella ja työmatkoilla. Hiilineutraalin Korkeasaaren periaatteena on, että päästöjä vähennetään paikan päällä mahdollisimman paljon vähentämällä energiankulutusta ja siirtymällä uusiutuvaan energiaan lämmityksessä, jäähdytyksessä, sähkössä ja liikumisessa. Myös ravintolatoiminnan ja eläinten ruokinnan hiilijalanjälki minimoidaan. Jäljelle jäävät päästöt voidaan

kompensoida esimerkiksi tukemalla päästöjen vähentämistä ja luonnonsuojelutyötä muualla maailmassa.

Korkeasaarella on vuosittain yli puoli miljoonaa kävijää, ja se on etenkin lapsiperheiden suursuosikki. Hiilineutraalista Korkeasaaresta halutaan uusiutuvan energian ja älykkäiden energiaratkaisujen näyttämö, jossa vierailijat oppivat, mitä hiilineutraalisuus tarkoittaa käytännössä.

Lisätietoa

Hiilineutraali Korkeasaari: Marjo Priha, Korkeasaaren eläintarha, marjo.priha@hel.fi

Hiilineutraali Ympäristökeskus: <http://www.hel.fi/www/ymk/fi/ymparistokeskus+palvelee/ymparistotalo/hiilineutraali>



Green city turned grey - Combating air pollution in Kyrgyzstan

Although most images of the Kyrgyz Republic show beautiful mountain views with expanses of clear, blue sky, for the citizens of the capital Bishkek, the reality is different. Corruption, the high cost of wintertime heating, unregulated high-rise developments, a decrease in the city's green spaces, and an unprecedented growth in the number of private vehicles: these are some of the many factors which have compounded Bishkek's air pollution problem. Nowadays during wintertime, one can easily see a slug of pollution resting over the city and smell the fumes from coal fires and vehicles. So how did Bishkek develop such serious air pollution, and what can we do to prevent it?

Information is hard to come by

Air pollution is not the way we would like to introduce the beautiful Kyrgyz Republic, a small mountainous country nestled in Central Asia, and home to over 5 million inhabitants, diverse landscapes and unique ecosystems. However, it is a daily issue faced by the so-called **Bishkekchani** – the around 1 million residents of Bishkek, Kyrgyzstan's capital, and something we want to change. We're MoveGreen, a local NGO leading a youth environmental movement in the Kyrgyz Republic.

From the limited information available to the public, we know that Bishkek is experiencing unhealthy levels of air pollution. The brief monthly summaries provided by KyrgyzHydromet, the Kyrgyz Republic's hydrometeorological agency, regularly show air pollutants in Bishkek exceeding the allowable maximum con-

centrations, particularly for nitrogen oxide, nitrogen dioxide, and formaldehyde.

Currently there is no publicly available data on particulate matter – but in winter the problem is tangible. The most recent measurements for PM₁₀ were taken over a one year period in 1998 at a station in central Bishkek and showed concentration levels that were consistently higher than the daily limit value according to EU regulations, sometimes up to around six times higher (FMI, 2014). Regulations and standards have been inherited from the Soviet period and have neither been updated to meet the latest research or to be in line with EU or other air quality regulations.

Access to KyrgyzHydromet data on air quality is limited, with data freely available only in proportions of the allowable maximum concentrations, but with an option to pay a small fee to access infor-

mation for specific pollutants (around 2€ per A4 page per pollutant). Despite a large and dedicated staff, the agency suffered the same fate as many government institutions since independence in 1991, and is hampered by lack of state funding and political support. However, KyrgyzHydromet is fortunate to have the support of the Finnish Meteorological Institute (FMI), which, along with expert support and training as part of the FINKMET project, also received an urban background air quality monitoring station. This station has been recording data real-time for more than one year but under a test regime, in which no data can be made publicly available before the instruments have been certified as meeting Kyrgyz standards by the state certification agency. This is obviously a frustrating barrier, since the station meets EU requirements, and we believe that obtaining the certification would likely be easier if there were greater political support for the work of KyrgyzHydromet. However, with such limited funding, KyrgyzHydromet hardly has the ability to raise its profile, or the reach and quality of its activities to generate public and political support.

Vehicle pollution is out of control

The causes of the air pollution problem in Bishkek are numerous, and reflect a fascinating combination of geographical, social, economic, historical, and political factors. Although the Bishkek area has long supported silk-road settlements, the modern city as we know it is essentially a Soviet-designed city, planned to meet the needs and ideologies of that time.

Rapid changes in Kyrgyzstan's social, political, and economic spheres since the dissolution of the USSR and unexpected independence have had significant impacts on air quality. Greater access to consumer goods, a decline in



The Kyrgyz Republic is located in Central Asia. Map data (c)2017 Google, ORION-ME ZENRIN

public transportation services, and an increase in personal wealth has seen vehicle numbers in Kyrgyzstan grow by 1000% within the past 20 years. In Bishkek, vehicle numbers now exceed Soviet-era capacity plans by 10 times, and it is a shock for us now to look at Soviet-era photos of a green and relatively traffic-free city. In particular, the city roads are clogged with **mashrutkas**, private minivans that will stop to pick up or drop off passengers anywhere along their routes, not only at bus stops.

Pollution from vehicles reportedly accounts for 90% of harmful air toxins in Bishkek, and in many cases vehicle owners are compelled to remove their car's catalytic converter after some time because low-quality fuel stops the vehicle from working if the converter remains intact. It is clear that vehicle pollution is a critical element of Bishkek's air pollution problem, and it was another step backwards when, in 2012, the law enforcing vehicle inspections was amended to exclude personal, non-commercial vehicles. Nonetheless, high levels of corruption and a lack of government resources meant that anyway the effectiveness of inspections was limited.

However, despite the challenges the past few years have seen a number of positive developments: almost 70 new trolleybuses running on Kyrgyzstan's own hydroelectric power were commissioned in 2013, and a bike lane has even been created along a main street. Unfortunately it is often used for parking. There have also been calls to ban mashrutkas but the question remains as to what would replace their valuable services as public transport and who would pay for it.

Coal, hot water and political unrest

Although there is little pollution from industry (most of Kyrgyzstan's factories were closed in the years following independence), there is one Soviet-era chimney that dominates Bishkek's city skyline. The coal-fired central heating and power station, or **TETS**, is, almost six decades after first being commissioned, still churning out the hot water that feeds the veins and artilleries of Bishkek's central hot water and heating system, albeit with only a third of its original boilers intact. We have a love-hate relationship with TETS, since it's through this heating system that residents of central Bishkek are able to enjoy heated homes even when temperatures drop to -20°C in winter-time. However this comes at the cost of clean air, and colleagues and friends who live close to TETS complain of respiratory problems.

Although many people describe cold homes because their old heating batteries are now clogged with chalk, with no possibility of regulating this highly centralised heating system, many homes are also uncomfortably hot, particularly towards the end of winter when temperatures rise. As many people say, "we freeze in October (waiting for the heating to be turned on) and sweat in March (waiting for the heating to be turned off)". Perhaps a more controlled heating system could save energy and decrease pollution.

Cold winters, the high costs of gas and hot water, and the volatile prices and unreliability of electricity prompt many Bishkekchani not connected to the central heating system to burn coal in the

winter months to heat their homes. However, fuel is a fickle element in the great energy game in modern Central Asia, and every year the Kyrgyz Republic is forced to negotiate with powerful and capricious neighbours for energy imports.

Under pressure from crumbling energy systems and reforms urged by international banks, the government attempts to push through energy reforms to bring investments to the system. However, matching Soviet-era expectations of low-cost electricity (as Lenin said, "Communism is Soviet power plus the electrification of the whole country") with neo-liberal reforms is difficult, and sudden hikes in energy prices are often cited as a key factor triggering the 2010 April Revolution.

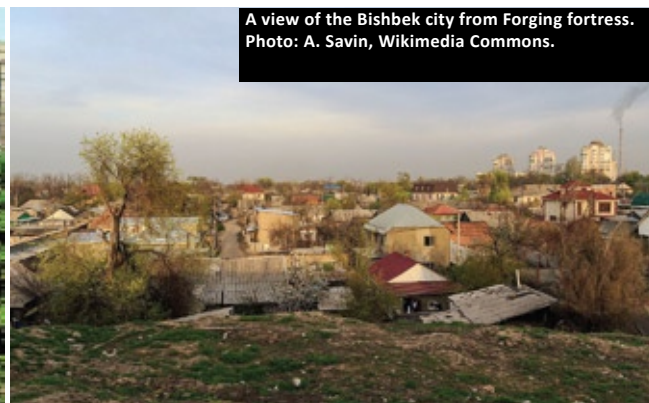
The legacy of Soviet city planning

Poor ventilation is another major factor for air quality in Bishkek. The city's location near the high Tian Shan mountain range means that it receives little wind, but Soviet-era city planners, following the principles of urban development designed in Moscow based on different conditions, created a series of suburbs consisting of high-rise apartment blocks (**mikroreions**) in the city's south, essentially forming a windshield. Since independence, and most noticeably in the past five years, an astounding surge in unregulated high-rise developments in and around the city has further worsened airflow, compounding air pollution problems.

A central intersection (Sovietsyaka-Bokonbaeva) in Bishkek in the 1980s.
Photo: Alexander Shabalin.



A view of the Bishkek city from Forging fortress.
Photo: A. Savin, Wikimedia Commons.



Diminishing green spaces, as trees are felled (often illegally) and public parks taken over by locals, also contributes to worsening air quality. Once the greenest city in the Soviet Union (in fact, Bishkek's Soviet-era name, Frunze, meant "green leaf"), the legacy of post-independence corruption and land grabbing, current legal ownership uncertainties, and harsh winters with little affordable alternative heating sources, have left their toll on Bishkek's once renowned green spaces and parks.

It was a great event in 2016 when the city's enormous, beautiful, jungle-like botanical garden and arboretum were opened again to the public. It is remarkable that this sanctuary of green survived the past tumultuous decades in public hands, and it has already been successful in growing support for green spaces in Bishkek.

BishkekAir to help spread the word

Despite the air quality situation, there is a marked lack of public awareness about the problem: although Bishkekchani can smell and even see the pollution, many think that Kyrgyzstan and Bishkek are relatively 'clean' places compared to more developed countries. "Because of the mountains!" many people tell us and because there is little information to suggest otherwise. Locals are often surprised when they learn that Bishkek has a serious air pollution problem, but they are keen to prevent it after hearing about the problem. We believe that it is important to raise awareness, provide environmental education, and to develop a strategy to work with all stake-

holders to decrease pollution so we really can breathe that fresh mountain air some day.

A key first step is to get the information out there, and to do this, we are preparing to start the project **#ВоздухвБишкеке (#BishkekAir)** in autumn 2017. We are investing in three semi-professional, low-cost particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}) measuring devices (GAIA A12 stations), the results from which will be shown in real-time on a user-friendly app and website. This will be accompanied by an awareness raising and information campaign.

As a small, local NGO working on environmental issues we often struggle for funding, but implement many of

our programs and actions on a small budget through our growing group of young volunteers. They also have a big role to play in the #BishkekAir project in raising awareness and educating other young people about the problem and how they can be active in solving it.

You can be part of it too! We are looking to build our knowledge and technical skills about air quality monitoring, as well as looking for professionals to help with quality assurance for our data. We have already been very fortunate to receive a mini-master class from an FMI expert, and we'd love to learn more. If you would like to be involved in any way, please get in touch!



Contact details

Website: www.movegreen.kg
Facebook: MoveGreen – МувГрин @MoveGreen.kg
Email: info@movegreen.kg

References

Finnish Meteorological Institute. 2014. "Air Quality assessment of Kyrgyzstan. Report for the FINKMET ICI Project – Finnish-Kyrgyz Meteorology Project. MFA Intervention code: 67302615". Authors: P. Anttila and A. Hyvärinen. Helsinki, Finland.

A view of the mountains behind Bishkek.
Photo: Jess & Peter Gardner (CC BY 2.0).



MoveGreen on nuorten ympäristöliike Kirgisiassa, Keski-Aasiassa. Yhdistyksen tarkoitus on tukea ympäristötietoisuutta kouluttamalla ja järjestämällä tapahtumia tavallisille kansalaisille ja erityisesti lapsille ja nuorille. Move-Green toimii aktiivisesti

muutaman ammattilaisen ja lukuisan joukon vapaaehtoisia voimin ja se saa rahoituksensa pääosin ulkomaisilta säätiöiltä.

Yhdistys tarjoaa koulutusta luonnonkatastrofeihin varautumiseen ja niiden välttämiseen kouluissa sekä yliopistoissa. Nuorille suunnatuissa tapahtumissa on vapaaehtoisten johdolla mm. istutettu puita ja siivottu kansallispuistoa sekä herätelty tavallisia ihmisiä toimimaan puhtaamman ilman ja ilmaston puolesta. Yhdistys on myös mitannut ilmanlaadua edullisilla sensoreilla ja jakanut tietoa verkkosivuillaan.



Antti Wemberg, projektipäällikkö, Ilmatieteen laitos

Uudistamassa Keski-Aasian havainto-verkkoa

Kirgisiassa on käynnissä sää- ja ilmanlaatu-havaintoverkon rakentaminen ja modernisointi monen paikallisen ja kansainvälisen toimijan yhteishankkeena, jossa Ilmatieteen laitoksella on myös osansa. Paikallisten havainnoijien koulutus sekä verkon rakentamisen tukeminen ovat tärkeä osa havaintoverkon modernisointia.

Ilmatieteen laitos on ulkoministeriön rahoittamassa Keski-Aasian kehityshankkeessa asiantuntijana muun muassa Kirgisiassa ja Tadžikistanissa. Havaintoverkkojen ja osaamisen kehittämiseen osallistuvat myös monet muut organisaatiot omilla projekteillaan. Sää- ja ilmanlaatu-havaintoverkon kehittämiseen Kirgisiassa on panostanut muun muassa myös Maailmanpankki yhdessä eurooppalaisten asiantuntijaorganisaatioiden kanssa. Lisäksi ympäristöanalyysien ja tutkimuksen kehittämisessä ovat olleet mukana SYKE ja GTK omilla hankkeillaan.

Kaikki nämä toimijat yhdessä paikallisten organisaatioiden kanssa ovat yhdistäneet osaamistaan ja tukeneet toistensa tavoitteita. Kirgisian meteorologian laitos Kyrgyzhydromet on Ilmatieteen laitoksen kanssa vastannut havaintoverkon kehittämisestä vuodesta 2014 alkaneen FINKMET -projektin puitteissa. Projekti jatkuu vielä vuonna 2017 ja tavoitteena on jatkaa yhteistyötä Keski-Aasiassa tämän jälkeenkin.

Kertanäytteistä jatkuvatoimiseen mittausasemaan

Ilmanlaadun havaintoverkon kehittämiseksi Ilmatieteen laitos on kouluttanut kirgisialaisia jatkuvatoimisten mittausmenetelmien käytössä. Tarkoitusta varten Kirgisian pääkaupunkiin Bishkekiin hankittiin projektin rahoittamana vuonna 2015 ensimmäinen ilmanlaadun jatkuvatoiminen mittausasema. Sitä edelsi paikallisen ilmanlaadun asiantuntemuksen ja teknisen tason lähtökohtien selvitys. Vuonna 2014 Kirgisiassa ilmanlaadun mittausasemia oli yhteensä 14 viidessä kaupungissa, joissa kaikissa mittaukset perustuivat manuaaliseen kertanäytteenottoon perustuviin menetelmiin. Näiltä mittausasemilta kerätään kolme kertaa päivässä 20 – minuutin ilmanlaatu-näytteet. Mitatut ilmanlaadun epäpuhtaudet ovat rikkidioksidi, typenoksidit, ammoniakki ja formaldehydi.



Ilmanlaadun havaintoaseman pystytystä Bishkekissä. (Kuva: Timo Anttila)

Uusi jatkuvatoiminen mittausasema aloitti toimintansa toukokuussa 2015 ja se on varustettu hiukkas- (PM_{10} , $PM_{2.5}$), rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiilimonoksidimittalaittein. Uudella mittausasemalla on myös PAH-näytteitä keräävä yksikkö sekä sään havainnointiasema. Lisäksi Maailmanpankin rahoituksella on toimitettu toinen ilmanlaadun mittausasema Cholpon-Ataan varustettuna mm. otsonin mittalaitteella.

Bishkekissä rikkidioksidin pitoisuudet vaihtelevat vuodenajan mukaan. Kesällä rikkidioksidipitoisuudet ovat noin $2 - 3 \mu g/m^3$, kun taas lämmityskaudella mittauks tulokset saattavat ylittää $10 \mu g/m^3$ pitoisuuden. Kaupungin tiheä liikenne näkyy typenoksidipitoisuuksissa, jotka paikoitellen ovat jopa kaksinkertaiset EU:n raja-arvoon ($40 \mu g/m^3$, vuosikeskiarvo) nähden. Hiukkaspitoisuuksista ei ole saatavilla pitkänajanjakson tietoa. Vuonna 1998 tehdystä mittauskampanjan tuloksista voidaan todeta Bishkekin PM_{10} -vuosikeskiarvon olleen joillakin mittausasemilla lähes $300 \mu g/m^3$. Edellä esitetyt tulokset tosin on mitattu perinteisillä menetelmillä, joten niitä ei voida suoraan verrata esimerkiksi EU maiden pitoisuuksiin.

Uuden jatkuvatoimisen mittausaseman ansiosta mittauksia voidaan jatkossa verrata paremmin kansainvälisesti, mutta paikallisten asiantuntijoiden kouluttaminen laitteiston ylläpitoon, tulosten analysointiin ja tulkintaan on vielä kesken. Tavoitteena on saada uudet menetelmät sertifioitua Kirgisiassa vuoden 2017 aikana ja julkaista ilmanlaadun mittauksia reaaliaikaisesti yleisölle eri medioissa. Ensimmäinen askel on otettu ilmanlaadun mittausverkon modernisoinnissa ja verkko on yhtenä osana kansallisen varoitusjärjestelmän kehittämisessä.



Ilmatieteen laitoksen asiantuntija ja kansainvälisten palveluiden ryhmäpäällikkö Antti Hyvärinen (kuvasa oik.) kouluttaa Kyrgyz-Hydrometin työntekijöitä jatkuvatoimisten havaintolaitteiden käytössä. (Kuva: Timo Anttila)



Liikenne aiheuttaa korkeita typenoksidipitoisuuksia Bishkekissä. (Kuva: Emmi Laukkanen)

JÄTEVOIMALASTA ENERGIAMURROKSEEN



Kuva: Anu Kousa

Ilmansuojeluyhdistys ry vietti vuoden 2017 ensimmäistä vuosikokousta eli kevätkokousta Vantaan Energian uudella jätevoimalaitoksella Vantaalla. Voimalaitoksella pääsimme tutustumaan jätevoimalan arkeen esittelyn, videoiden ja pienoismallien avulla. Vierailija -aulassa oli selkeästi esitelty eri jätelajikkeet sekä niiden kierrätystä ja muutama uskalias kokeili myös kierrätysaiheista pallopetiä.

Pääsimme tutustumaan jätevoimalaitoksen toimintaan kierroksella, joka vei meidät katsomaan jätebunkkeria sekä valvomoa, jonka työntekijät tekevät pitkiä päiviä useiden päivien ajan ennen pidempää lepotaukoa. Työ jätevoimalalla on asiantuntemusta ja tarkkuutta vaativaa, jotta olosuhteet pysyvät vakaina, eikä vaaratilanteita synny.

Jätteenkäsittelyn uusia tuulia

Päätapahtumana itse kokouksen ohella kuulimme erilaisia jätteenkäsittelyyn liittyviä luentoja. **Heidi Lettojärvi** Energiategiollisuus ry:stä kertoi kuulijoille Jätteenpolton parhaan käyttökelpoisen tekniikan vaatimuksista (BAT) tulevaisuudessa, jonka aikana saimme tietoa muun muassa erilaisista jätteenkäsittelyn tekniikoista. Yleisin jätteenpolton tekniikka on arinatekniikka, sillä sen käyttäminen ei vaadi jätteen esikäsittelyä toisin kuin leijupoltossa ja kaasutuksessa. Leijupolton hyötynä on toisaalta parempi sähköntuotannon hyötysuhde. Oli mielenkiintoista kuulla kuinka jätteenkäsittelyn kriteerit tulevat kiristymään ja uusi 60-65 %:n kierrätystavoite EU:n jäsenmaille astunee voimaan vuoden 2030 tienoilla.

Lettojärvi kertoi seminaarivieraille myös suurten polttolaitosten BREF -käsittelyn olevan loppusuoralla, ja uudet vaatimukset saataneen valmiiksi vielä tämän vuoden loppuun mennessä. Mukana BAT-raja-arvojen linjauksessa olivat Suomesta kaikki 354 jätevoimalaitosta, jotka olivat toiminnassa vuonna 2014. Suomessa ei yleisesti ole ollut ongelmia pysyä päästörajoiden sisällä, kuten joissakin muissa jäsenmaissa. Suomi haluaakin jatkaa nykyisillä jätteenkäsittelyn tekniikoilla, sillä muutoksessa piilee vaara kustannustehokkuuden heikentymisestä. Tällä hetkellä eniten keskustelua herättää miten hankittua dataa voidaan käyttää parhaalla mahdollisella tavalla, sekä millä metodologialla sitä jalostetaan avuksi uusien raja-arvojen päättämiseksi.

Energiamurros ja uusiutuvat osa ratkaisua

Toisena puhujana esiintyi **Katja Kurki-Suonio**, myöskin Energiategiollisuus ry:stä, joka sukelsi Lämpöpumppujen rooliin kaukolämpöjärjestelmässä. Kurki-Suonio aloitti kertomalla lämpöpumppujen rooleista yleisesti ja saimme kuulla, että niiden osuus on kasvanut huomattavasti viimeisten vuosien aikana. Viimeisten 10 vuoden aikana biopolttoaineiden, sekä viime vuosina maalämmön osuus, on kasvanut suuresti kaukolämpöjärjestelmässä. Biopolttoaineiden käytön runsastumisen myötä hiilidioksidipäästöt ovat pudonneet. Tarvitsemme kuitenkin lisätoimia, jotta päästään vaaditulle energiatehokkuustasolle ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Kaukolämmön käytöllä onkin suuri osuus erityisesti taajamissa ja kaupungeissa.

Sähkön hinnan lasku yhdessä lisääntyneiden uusiutuvien energiamuotojen käyttöönottovalmiuksien kanssa ovat lämpöpumppujen suosion taustalla. Uusiutuvien energiamuotojen käyttöönoton hyötyjä ovat muun muassa lisääntynyt joustavuus kaukolämpöjärjestelmässä sekä suurempi suoja markkinariskejä vastaan. Lämpöpumppujen aseman vahvistamiseen kaukolämpöjärjestelmässä tarvitaan kuitenkin optimaalisen käytön parantamista, sillä nykyisellään ne soveltuvat paremmin pienempiin järjestelmiin. Potentiaalisesti pienessä järjestelmässä lämpöpumppu voi jopa korvata fossiilisten polttoaineiden käytön kokonaan. Kaukolämpöjärjestelmän kulutuksesta voitaisiin tuottaa 9-13 % lämpöpumppujärjestelmällä ja tätä kohti olisi hyvä pyrkiä.

Esa Vakkilainen Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta kertoi meille Energiamurroksesta – energiasta, ympäristöstä ja CO₂:sta. EU on aktiivisesti laajentamassa sähkönjakeluverkostoaan, jotta jäsenmaiden sähkönjakelun huippuja ja hintojen eroja voitaisiin tasoittaa EU tasolla. Ongelmaksi muodostuvat kuitenkin jäsenvaltiot, kuten Ranska, jotka eivät hyväksy sähkönsiirtoa maansa lävitse. Tämä muodostaa patitilanteita, joiden ratkaisut ovat poliittisesti vaikeita. Tarvitaan kompromisseja, jotta uusi energianjakelu voidaan toteuttaa. Tällaisia kompromisseja voidaan luoda sopimalla yhteiset pelisäännöt energijakeluun sekä mahdollisesti rakentamalla kokonaan uusia jakelukanavia.



Kuva: Kari Wellman

Energiamurroksessa voidaan puhua uusien energiamuotojen, kuten aurinko- ja tuulivoiman, vakiintumisesta yhdessä kansalaisten valistamisen, muun muassa jätteenkäsittelyn suhteen, kanssa. Kyoton -sopimuksen mukaan köyhimpien kehittyvien maiden ei tarvitse osallistua energiaremonttiin, eikä maksaa siitä. Kuitenkin esimerkiksi Kiina ja Intia ovat kehittyneet niin paljon, ettei niitä voi enää kutsua kehittyviksi maiksi maailman mittakaavassa. Lisäkustannusten välttämiseksi tällaiset maat harvoin haluavat itselleen ”kehittyneen” maan leimaa. Haasteena onkin, saammeko päästökehityksensä kolminkertaistaneet maat kääntämään kehityksensä kestäväälle tasolle. Päästäksemme globaalisti asetettuihin yhteisiin tavoitteisiin tarvitaan erityisesti tieto-

taidon vientiä entisiin kehittyviin maihin, sillä tällaiset maat, joiden päästökehitys on ollut nopeaa, tarvitsevat lisää asiantuntijuutta pystyäkseen saavuttamaan globaalit päästötavoitteet.

Kotimaassamme bioenergiantuotanto on puolestaan tuplaantunut vuodesta 1990 vuoteen 2015 ja metsien kasvu on jatkunut jo 1900 -luvulta eteenpäin. Tuotamme maailman johtavan määrän bioenergiaa henkeä kohden. Tämän perusteella voisimme luonnehtia Suomea bioenergiamaaksi ja valjastaa saavutuksemme myyntivalteiksi. Silti Suomi voi ainoastaan toimia malliesimerkkinä muille maille, sekä pyrkiä osoittamaan globaalia johtajuutta energiamurroksen toteuttamisessa.

Hiilivoimalat ongelman ytimessä

Mahdollisesti suurin haaste koko maailmassa on edelleen hiilivoimaloiden liiallinen rakentaminen samalla kun globaalissa keskustelussa keskitytään ylistämään uusiutuvien energialähteiden hienoutta. Olisiko aika ryhtyä kouluttamaan kansalaisia todenteolla hiilivoimaloiden vaikutuksista? Nykyään voimmekin satelliittidatan avulla nähdä hiilidioksidin tuotannon kannalta ongelmalliset alueet, ja tämän kautta olemme huomanneet esimerkiksi pienpolton vaikutusten suuruuden globaaliin hiilidioksidin ja mustan hiilen määrään. Olisikin syytä tarkastella hiukkaspäästöjä myös yksittäisten päästölähteiden osalta, sekä lisätä tietoa päästövähennysten aikaansaamiseksi.

Mielenkiintoisten seminaari -esitysten jälkeen jatkoimme päivää vielä Ilmansuojeluyhdistys ry:n vuoden 2017 ensimmäisellä vuosikokouksella, jossa aikaisemmalle hallitukselle myönnettiin vastuuvapaus. Kokouksessa käytiin läpi myös yhdistyksen tilinpäätös, sekä sen hyväksyminen, ja kehoitettiin jäseniä osallistumaan aktiivisesti tapahtumiin sekä uusjäsenhankintaan.



Kuva: Kari Wellman



PK-seudusta korkeatasoinen testialue cleantechille

Ilmastonmuutoksen hillitsemisen avaimet ovat kaupungeissa. Kaupungit ja yritykset voivat yhdessä parantaa ihmisten elämänlaatua ja kehittää samalla menestyksekkästä liiketoimintaa. Vähähiilisille kiertotalouden ratkaisuille ja palveluille on globaalisti valtava kysyntä ja Suomella on huomattavaa osaamista: Sitran arvion mukaan maailmanlaajuinen smart and clean -markkina on vuonna 2030 jopa 6 000 miljardia euroa ja älykaupunkiratkaisujen sekä -palveluiden markkinat puolestaan 1 500 miljardia jo 2020. Markkinat ovat siis suomalaisyrityksille lähes rajattomat. Suomi tarvitsee nopeasti maailmanluokan referenssi- ja testialueen vauhdittamaan cleantech-liiketoimintaa ja -vientiä.



Pääkaupunkiseudun kaupungit (Helsinki, Espoo, Vantaa ja Kauniainen) sekä Lahti ovat päättäneet tarttua härkää sarvista ja yhdistää voimansa Sitran, johtavien yritysten ja tutkimuslaitosten kanssa kansainvälisen mittaluokan referenssialueen luomiseksi. Yhdessä asetettu kunnianhimoinen tavoite on tehdä Helsingin seudusta maailman paras testialue älykkäille ja puhtaille ratkaisuille. Kovan tavoitteen saavuttamiseksi on kesällä 2016 perustettu määräaikainen (2016–2021) Smart & Clean -projekti, joka on juridisesti yleishyödyllinen säätiö. Smart & Clean haastaa ja kerää yhteen rajat ylittäviä aloitteita, joilla rakennetaan kunnianhimoisia muutostekoja Helsingin seudulla ja Lahdessa. Nämä voivat olla teknologioita, ratkaisuja tai palveluita kansalaisille esimerkiksi rakennetussa ympäristössä, energijärjestelmässä ja liikkumisessa. Samalla niistä tehdään vientikonsepteja. Smart & Clean myös ohjaa ja tukee yhteistä viestintää ja tekee Helsingin seudusta houkuttelevan investoinneille ja osaajille ympäri maailmaa. Smart & Clean ei siis ole perinteinen apurahoja jakava säätiö, eikä tavanomainen projektiehtittäjä. Smart & Clean ei myöskään johda yksittäisiä hankkeita, projekteja tai kokeiluita. Näissä johtajan rooli on aina yhdellä toimijalla, kuten kaupungilla tai yrityksellä. Viisivuotinen projekti vauhdittaa muutosta tuomalla parhaat toimijat yhteen vaikuttaviin muutostekoihin fasilitoimalla, kiihdyttämällä ja toimimalla katalyyttinä. Yhdessä uskalletaan tehdä asioita uudella tavalla ja nostetaan tekemisen kunnianhimon tasoa. Smart & Clean -tekemistä ohjaavat yhdessä sovitut kriteerit: muutostekojen tulee parantaa kaupunkilaisten elämänlaatua, vähentää päästöjä ja hyödyntää resursseja tehokkaammin. Niiden on myös luotava uutta liiketoimintaa ja/tai liiketoimintamalleja sekä omata kansainvälistä referenssiarvoa. Lisäksi toteuttajien on tultava sekä julkiselta että yksityiseltä sektorilta.

Työ käyntiin ilmanlaadun mittaamisella

Ensimmäinen toteutettava yhteistyöhanke liittyy ilmanlaadun mittaamiseen. Pääkaupunkiseudulle rakennetaan ensimmäisenä maailmassa uudenlainen, nykyistä verkkoa täydentävä ilmanlaadun mittausjärjestelmä. Aiempaa kattavampien tietojen avulla on mahdollista kehittää entisestään ilmanlaatua parantavia toimia. Kerätty data tulee avoimesti kaikkien saataville ja sen avulla tietoa ilmanlaadusta voidaan esimerkiksi jakaa helposti kaupunkilaisille. Järjestelmään liittyy myös alueen ilmanlaatua ennustava malli. Tämän päälle voi rakentaa erilaisia kuluttaja- ja B2B-sovelluksia. Näille ja mittalaitteille on maailmassa mittavat markkinat ja maailman parhaiden toimijoiden tekemä yhteistyö rakentaa pohjaa ratkaisujen viemiseen vakavista ilmanlaatu-

ongelmista kärsiviin kaupunkeihin. Hankkeeseen osallistuvat mittalaitteiden toimittajat Vaisala ja Pegasor, pääkaupunkiseudun ilmanlaadun seurannasta vastaava HSY, hanketta vetävä ja ilmanlaadun mallinnuksesta ja valtakunnallisesta ilmanlaatu tiedosta vastaava Ilmatieteen laitos ja uudenlaisen sensoriverkon toimivuuden varmentava Helsingin yliopisto. Ilmanlaatu projekti on hieno esimerkki siitä, miten uusi Smart & Clean -toimintatapa tuo yhteen kaupungit, tutkimuslaitokset ja yritykset. Yhdessä ne saavuttavat enemmän kuin toimijat yksin. Useita muita projektikonaisuuksia on työn alla ja ne liittyvät muun muassa älykkäaseen liikkumiseen, energiaan ja rakentamiseen. Helsinki on esimerkiksi valittu ainoana pohjoismaisena kaupunkina osanotajaksi Bloomberg Philanthropies -järjestön kansainväliseen hankkeeseen, jossa suurkaupungit valmistautuvat robottiautojen käyttöönottoon ja pyrkivät parantamaan asukkaiden elämänlaatua älyliikennetarkeksujen avulla. Smart & Clean muun muassa koordinoi yritysten osallistumista tähän kokonaisuuteen. Lisäksi rakennamme uudenlaista toimintamallia laajan yritysjoukon kanssa kaupunkien aluesuunnitteluun, jossa huomioidaan mahdollisimman laajasti ja tehokkaasti älykkäiden energiatarkeksujen mahdollisuudet. Smart & Clean -yhteisö olemme me kaikki. Yhdessä voimme luoda älykkään ja puhtaan liiketoiminnan edistämiseen uusia toimintamalleja. Niiden avulla voidaan esimerkiksi valjastaa julkiset hankinnat edistämään uusien ratkeksujen markkinoille pääsyä. Kaupungit mahdollistavat tehtäviä muutoksia sekä uusia toimintatapoja ja yritykset ideoivat sekä toteuttavat näitä yhdessä kaupunkilaisten, kaupunkien, tutkimuslaitosten ja valtion kanssa. Kun Helsingin seutu tunnetaan maailmalla parhaana testialueena, se lisää alueen houkuttelevuutta ja vetää Suomeen uusia investointeja ja osaajia ympäri maailmaa.

Lisätietoa

Tiina Kähö, toimitusjohtaja, Smart & Clean @tiinakaho

Smart & Clean -säätiö on viisivuotinen (2016–2021) muutosprojekti. Sen tehtävä on kiihdyttää muutosta Helsingin seudulla niin, että pääkaupunkiseutu ja Lahti on vuonna 2021 maailman paras testialue älykkäille ja puhtaille ratkeksuille. Smart & Clean kumppaneita ovat kaupungit Helsinki, Vantaa, Espoo, Lahti ja Kauniainen sekä Uudenmaan liitto; valtiolliset toimijat, kuten Sitra, TEM, LVM, YM ja Tekes; yritykset, Fortum, St1, Neste, Caverion, YIT, Helen, KONE, Lassila & Tikanoja, Gasum, Vaisala, Siemens, Ramirent; yliopistot ja tutkimus- ja koulutuslaitokset, Aalto-yliopisto, Helsingin yliopisto, Lappeenranta tekninen yliopisto ja VTT. www.smartclean.fi. @SmartClean_Fi



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 17025:2005 vaatimukset.

MONIPUOLINEN TEKNISEN SUUNNITTELUN JA KONSULTOINNIN OSAAJA

AX-Suunnittelu, Kuokkamaantie 4 a, 33800 Tampere, puh. 03 2680 111

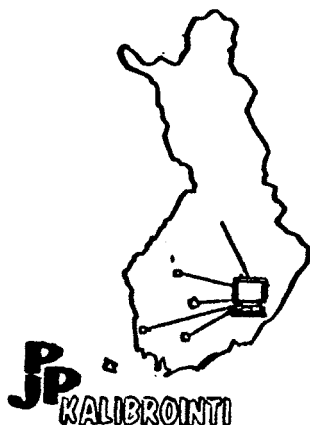
- 
- > ILMANLAADUN ANALYSAATTORIT
 - > MITTAUSASEMAN PC-DATALOGGERIT
 - > MITTAUSVERKON DATAN TIEDON
KERUU, -KÄSITTELY JA RAPORTOINTI-
OHJELMAT

www.hnunordion.fi

hnu[®]NORDION

HNU Nordion Ltd Oy

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



ILMANLAATUMITTAUSTEN LAADUNVARMISTUS

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

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

puh. 015-230 712
auto 0400-447 205



LUOTETTAVA
YMPÄRISTÖANALYSAATTOREIDEN
TOIMITTAJA

 **kontram**

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



ILMATIETEEN LAITOS



Ilmanlaadun ja tuulienergian asiantuntija

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

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

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

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

Ilmansuojeluyhdistys:

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

Luftvårdsföreningen fungerar som nationell miljövårdsförening.

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

Luftvårdsföreningen:

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

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

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

FAPPS:

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



Ilmansuojeluyhdistys ry
PL 136
00251 Helsinki

Kirjoittajat 2/2017

Lasse Johansson

Tutkija
Työ- ja elinkeinoministeriö
Ilmatieteen laitos
Erik Palmenin Aukio 1
00101 Helsinki
lasse.johansson@fmi.fi

Antti Korhonen

Tutkija
Terveyden ja hyvinvoinnin laitos
KEVA / Vaikutusarviointi
PL 95, 70701 Kuopio
Puh. 029 524 7111
antti.korhonen@thl.fi

Heli Lehtomäki

Tutkija
Terveyden ja hyvinvoinnin laitos
KEVA / Vaikutusarviointi
PL 95, 70701 Kuopio
Puh. 029 524 7004
heli.lehtomaki@thl.fi

Isabell Rumrich

Tutkija
Terveyden ja hyvinvoinnin laitos
KEVA / Vaikutusarviointi
PL 95, 70701 Kuopio
Puh. 029 524 7030
isabell.rumrich@thl.fi

Arja Asikainen

Tutkija
Terveyden ja hyvinvoinnin laitos
KEVA / Vaikutusarviointi
PL 95, 70701 Kuopio
Puh. 029 524 6469
arja.asikainen@thl.fi

Jarkko Tissari

Yliopistotutkija
Itä-Suomen yliopisto
Pienhiukkas- ja aerosoliteknikan
laboratorio
PL 1627, 70211 Kuopio
Puh. 040 355 3237
jarkko.tissari@uef.fi

Otto Hänninen

Erikoistutkija
Terveyden ja hyvinvoinnin laitos
KEVA / Vaikutusarviointi
PL 95, 70701 Kuopio
Puh. 029 524 6471
otto.hanninen@thl.fi

Susanna Kankaanpää

Ilmastoasiantuntija
Helsingin seudun ympäristö-
palvelut HSY
PL 100, 00066 HSY
Puh. 045 1393 626
susanna.kankaanpaa@hsy.fi

Antti Hellsten

Erikoistutkija
Ilmatieteen laitos
PL 503, 00101 Helsinki
Puh. 050 409 0477
antti.hellsten@fmi.fi

Mona Kurppa

Tutkija
Helsingin yliopisto
PL 68, 00014 Helsingin yliopisto
Puh. 040 099 1944
mona.kurppa@helsinki.fi

Aino Assmuth

Tohtorikoulutettava
Helsingin yliopisto
MMTDK, Metsätieteiden laitos
PL 27, 00014 Helsingin yliopisto
Puh. 02941 58195
aino.assmuth@helsinki.fi

Jari Viinanen

Ympäristötarkastaja
Helsingin kaupunki
Ympäristökeskus
PL 500
Puh. 050 342 6023
jari.viinanen@hel.fi

