

IS

1 | 2022

ILMANSUOJELU

WHO julkaisi uudet **ILMANLAADUN OHJEARVOT**

– Suomessa ne ylittyvät laajoilla alueilla s. 4

RASKAUDENAIKAINEN ALTISTUMINEN ilmansaasteille s. 10

KUNNISSA TAPAHTUVAN KULUTUKSEN HIILIJALANJÄLKI

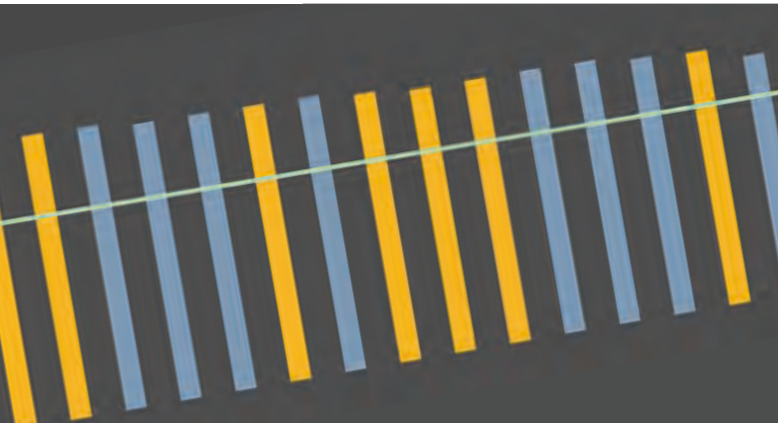
selvitettiin ensimmäistä kertaa s. 14

Muuttuvan ilmaston vaikutuksia

KEHITTYVÄSSÄ KAUPUNGISSA s. 20

LNG-LAIVOJEN YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISYYTTÄ

on syytä tarkastella s. 26



4 Maailman terveysjärjestö (WHO) julkaisi syyskuussa 2021 uudet, terveyden suojelemiseksi määritellyt ilmanlaadun ohjearvot kuudelle ilmansaasteelle.



10 Raskauden ja lapsuuden aikaisen ilmansaastealtistuksen vaikutusta vastasyntyneiden ja lasten terveyteen sekä kuolleisuuteen tutkitaan meneillään olevassa APPEAL-akatemiahankkeessa.



18 ”Mustan hiilen päästöjen rajoittaminen on tärkeä esimerkki siitä, miten ilmansuojelu ja ilmastonsuojelu toimivat yhdessä.”

- Mikael Hildén-



14 Kulma-mallilla laskettiin ensimmäistä kertaa vertailukelpoisesti kulutusperusteiset päästöt 15 kunnalle.



20 URCLIM-hankkeessa tutkitaan kuinka erilaiset kaupunkialueet ja erilaiset kaupunkikehitysskenaariot vaikuttavat kesien tukaluuteen ilmaston muuttuessa.

KUVA: GEOFFREYDC/PIXABAY



26 Pelkät CO2-päästöt saavat LNG:n näyttämään hyvältä, mutta metaanivuoto kääntää numerot toisin päin.

KUVA: VIKING LINE

- 4** WHO julkaisi uudet ilmanlaadun ohjearvot – Suomessa ne ylittyvät laajoilla alueilla
- 10** Raskaudenaikainen altistuminen ilmansaasteille
- 14** Kunnissa tapahtuvan kulutuksen hiilijalanjälki selvitettiin ensimmäistä kertaa
- 18** VALOKEILASSA: Mikael Hildén
- 20** Muuttuvan ilmaston vaikutuksia kehittyvässä kaupungissa
- 26** VIERASKYNÄ: LNG-laivojen ympäristöystävällisyyttä on syytä tarkastella

Pääkirjoitus

Rauhaa

Hahmottelin tätä pääkirjoitusta tilanteessa, jossa korona oli edelleen maailman suurin huoli ja jatkuva puheen-aihe joka paikassa. Yhdessä yössä kaikki muuttui. Sota Ukrainassa yllätti meidät kaikki ja se on jotain uskomattoman hirveää. Emme voi muuta kuin toivoa rauhaa.

Ilmatieteen laitoksen mukaan vuosi 2021 oli globaalisti kahta edellistä vuotta viileämpi. Myös Suomessa ja Euroopassa 2021 oli edellisiä vuosia viileämpi. Maailmanlaajuisesti viimeiset seitsemän vuotta ovat kuitenkin olleet mittaushistorian seitsemän lämpimintä. Suomessa viime vuoteen mahtui paikoin ennätys-sellisen lämmän kesä ja toisaalta useita tavanomaista kylmempiä kuukausia.

Tämän lehden ensimmäisessä artikkelissa käsitellään WHO:n uusia ilmanlaadun ohjearvoja. Syyskuussa 2021 julkaistut terveyden suojelemiseksi määritellyt ilmanlaadun ohjearvot on määriteltä kuudelle ilmansaasteelle: hengitettävät hiukkaset, pienhiukkaset, otsoni, typpidioksidi, rikkidioksidi ja hiilimonoksidi. Vertailtaessa Suomen ilmanlaadun seurannan tuloksia uusiin ohjearvoihin osoittautui, että jopa perinteisesti puhtaassa Suomessa ohjearvot ylittyvät laajoilla alueilla sekä kaupungeissa että tausta-alueilla.

Toisessa artikkelissa saadaan lukea alustavia tuloksia APPEAL-akatemiahankkeesta, jossa tutkitaan raskauden ja lapsuuden aikaisen ilmansaastealtistuksen vaikutusta vastasyntyneiden ja lasten terveyteen sekä kuolleisuuteen. Alustavien arvioiden mukaan raskaudenaikainen pienhiukkaskasaltistus on yhteydessä mm. lasten syntymäpainon alenemiseen.

Seuraavassa artikkelissa tutustutaan kunnissa tapahtuvan kulutuksen hiilijalanjäljen selvittämiseen. Uudella kuluttamisen päästöjä arvioivalla laskentamallilla (KULMA) saadaan aikaisempaa laajempi tietopohja kuntien ja kuntalaisten toiminnasta aiheutuvista kasvihuonekaasupäästöistä. Kulma-mallilla laskettiin ensimmäistä kertaa vertailukelpoisesti kulutusperusteiset päästöt 15 kunnalle.

Usean hengen tutkimusryhmä kirjoitti lehteen artikkelin muuttuvan ilmaston vaikutuksista kehittyvässä kaupungissa. Ilmasto ja kaupunki muuttuvat ja samalla kuumarasitus kesäisin pahenee. Ilmatieteen laitos tutki URCLIM-hankkeessa millaisissa oloissa kesiä vietetään 2030- ja 2050-luvuilla ja kuinka erilaiset kaupunkialueet ja erilaiset kaupunkikehitysskenaariot vaikuttavat kesien tukaluuteen ilmaston muuttuessa.

Lehden viimeinen artikkeli käsittelee LNG-laivojen ympäristöystävällisyyttä. Nesteytettyä maakaasua käyttäviä laivoja on pidetty puhtaan merenkulun muotona pienempien hiilidioksidi-, typpioksidi- ja pienhiukkaspäästöjen vuoksi. On kuitenkin selvinnyt, että LNG-laivojen moottoreista pääsee läpi voimakasta kasvihuonekaasua metaania. Häkä- ja formaldehydipäästöt ovat myös moninkertaisesti suuremmat kuin diesellaivoilla.

Lukijatutkimuksen toiveiden perusteella olemme hieman suurentaneet lehden tekstin kokoa. Toivottavasti lukukokemus on nyt parempi. Antoisia lukuhetkiä vuoden ensimmäisen Ilmansuojelu-lehden parissa.

LIINA PALOHEIMO-KOSKIPÄÄ

Päätoimittaja

ILMANSUOJELU-LEHTI

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

Lehti ilmestyy neljä kertaa vuodessa.

Päätoimittaja / Redaktör

Liina Paloheimo-Koskipää
ilmansuojelulehti@isy.fi

Toimituskunta / Redaktionsråd

Nelli Kaski
Birgitta Komppula
Joonas Koivisto
Olli-Pekka Siira
Mia Nores
Mikko Savolahti
Laura Sokka
Antti Tohka
Jari Viinanen

Taitto / Ombrytning

Hella Pakaslahti

Kannen kuva / Omslagsbild

Liina Paloheimo-Koskipää

Paino / Tryckeri

Scanseri Oy

ISSN-L 1239-8950

ISSN 1239-8950 (Painettu)

ISSN 2323-1211 (Verkkojulkaisu)

Lehti on luettavissa korkeakoulujen kirjastoissa sekä suurimmissa kaupunginkirjastoissa

Tidningen finns till påseende i högskolornas bibliotek samt i de största stadsbiblioteken

Ilmoitukset / Annonser

Ilmoitushinnat normaali /yritysjäsen
Annonspis vanligt / för medlemmar:

1/1 sivu 420 € / 350 €

1/2 sivu 320 € / 270 €

1/3 sivu 250 € / 210 €

Kestoilmoittajille lisäksi 20 % alennus
Fortgående annons ger 20 % rabatt

Tilaukset / BESTÄLLNINGAR

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

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

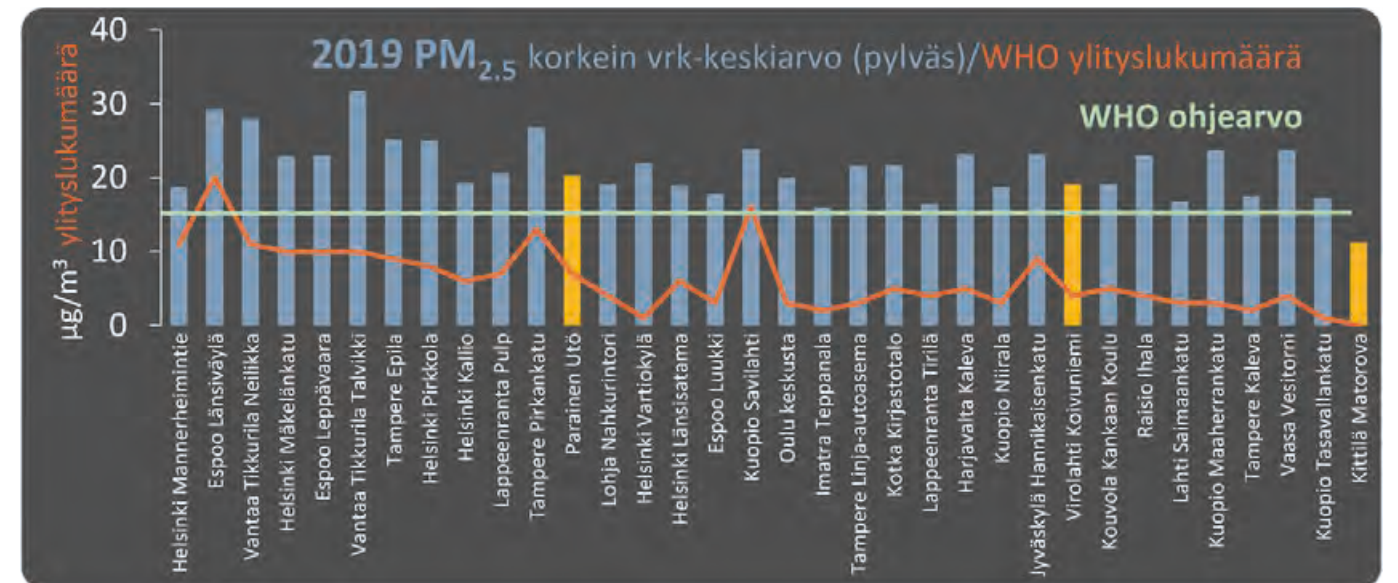
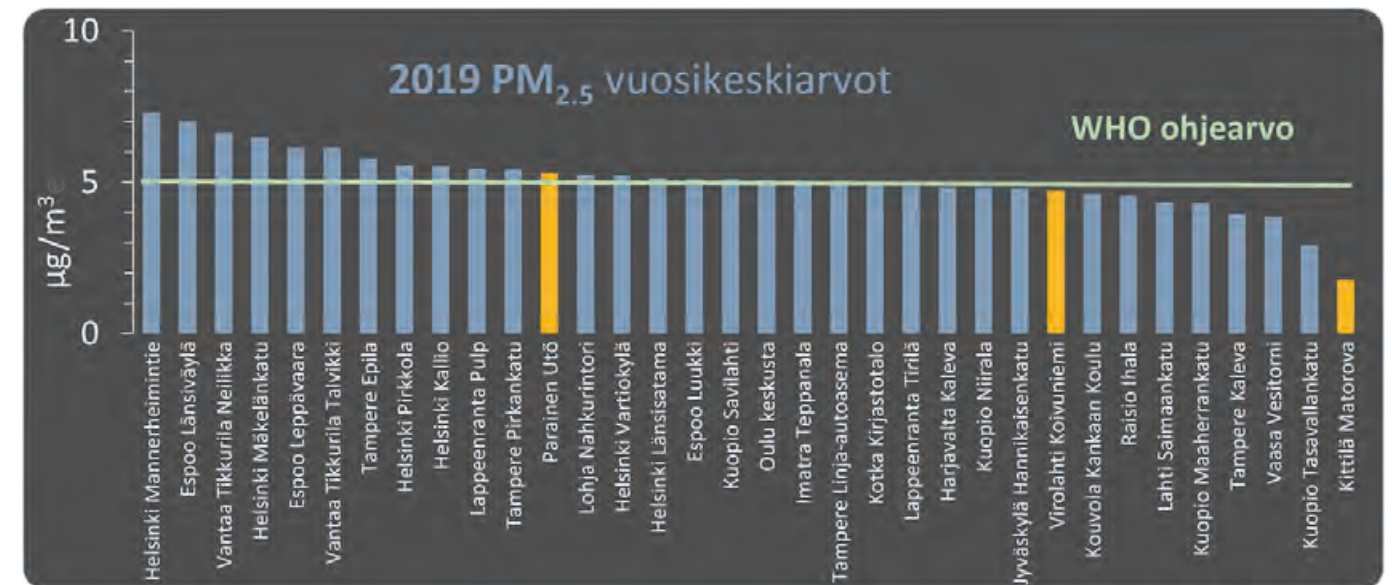
WHON ILMANLAADUN OHJEARVOT (WHO 2021)

Saaste $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Keskiarvon laskenta-aika	Välitavoite				Ohjearvo	Sallitut ylitykset
		1	2	3	4		
$\text{PM}_{2.5}$	vuosi	35	25	15	10	5	
	vrk	75	50	37.5	25	15	3–4
PM_{10}	vuosi	70	50	30	20	15	
	vrk	150	100	75	50	45	3–4
O_3	Kesäkausi*	100	70	-	-	60	
	8 tuntia	160	120	-	-	100	3–4
NO_2	vuosi	40	30	20	-	10	
	vrk	120	50	-	-	25	3–4
SO_2	vrk	125	50	-	-	40	3–4
CO	vrk	7000	-	-	-	4000	3–4

Taulukko 1. *Vuorokauden korkeimpien 8 tunnin keskiarvojen keskiarvo kuuden peräkkäisen kuukauden ajalta, jolloin pitoisuudet ovat korkeimmillaan.

WHO JULKAISI UUDET ILMANLAADUN OHJEARVOT

–Suomessa ne ylittyvät
laajoilla alueilla

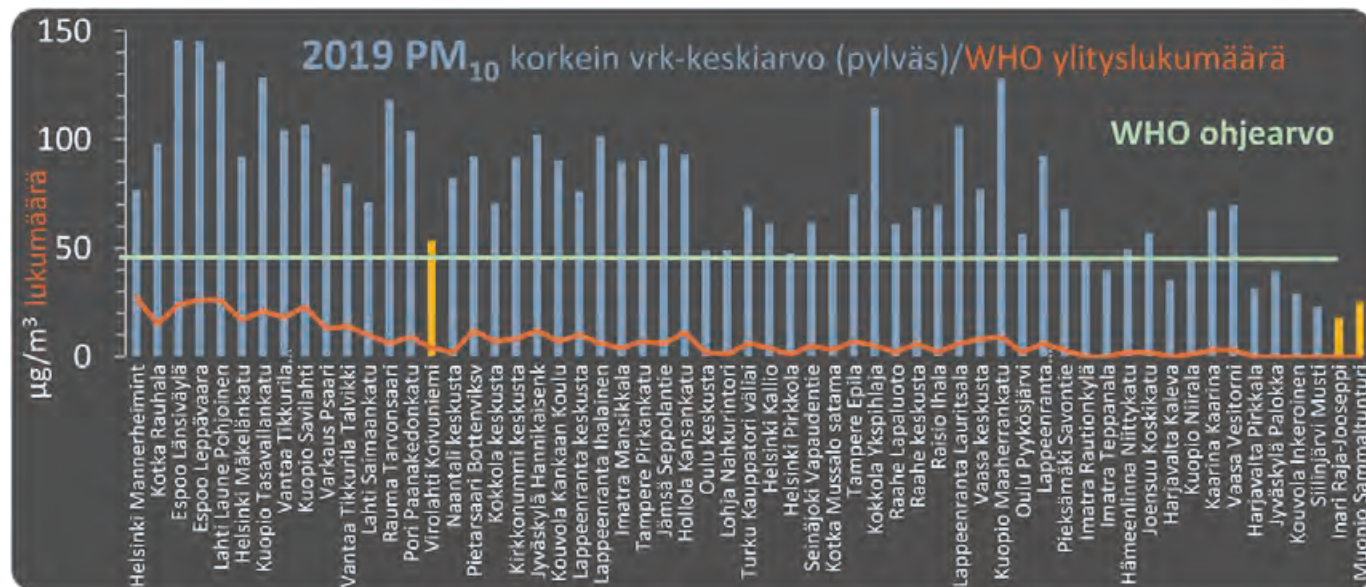
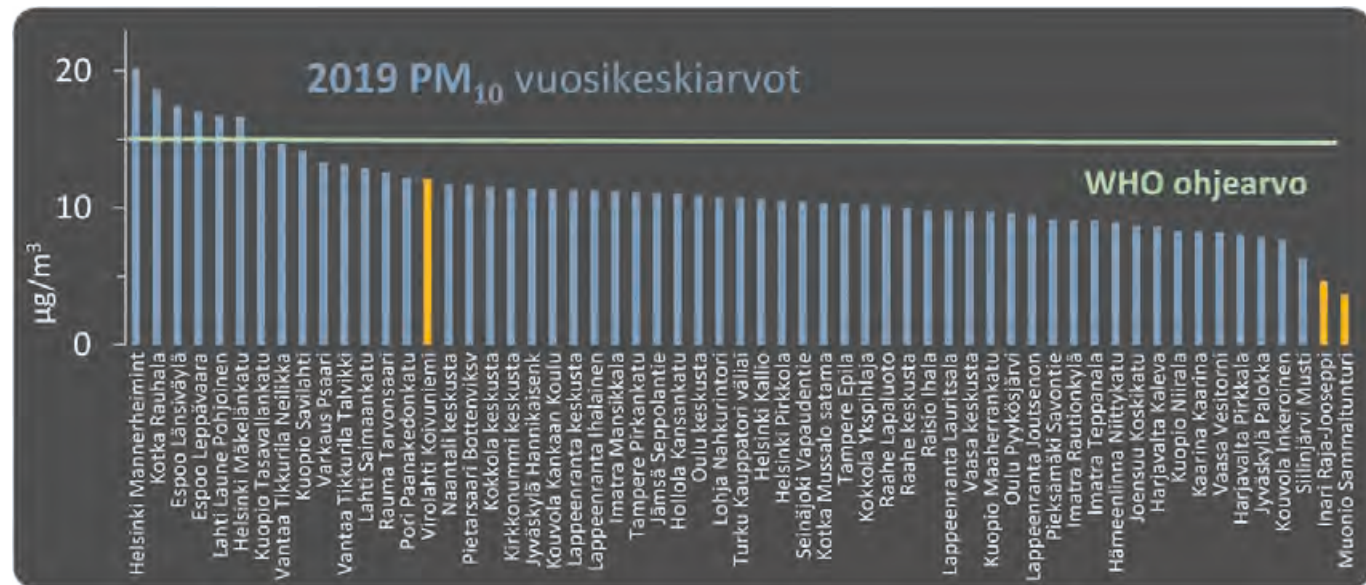


Kuva 1. Pienhiukkasten vuosikeskiarvot Suomen mittausasemilla (ylempi kuva). Alemmassa kuvassa on vuoden korkein vuorokausipitoisuus merkitty pylväillä. Oranssi viiva kertoo kuinka monta kertaa vuoden aikana WHO:n vuorokausiohjearvo ylittyi kullakin asemalla. Keltaiset pylväät ovat tausta-asemia, siniset ovat kaupunkiasemia tai kaupunkien tai teollisuuden liepeillä sijaitsevia asemia.

Maailman terveysjärjestö (WHO) julkaisi syyskuussa 2021 uudet, terveyden suojelemiseksi määritellyt ilmanlaadun ohjearvot kuudelle ilmansaasteelle: hengitettävät hiukkaset, pienhiukkaset, otsoni, typpidioksidi, rikkidioksidi ja hiilimonoksidi. Vertailtaessa Suomen ilmanlaadun seurannan tuloksia uusiin ohjearvoihin osoittautui, että jopa perinteisesti puhtaassa Suomessa ohjearvot ylittyvät laajoilla alueilla sekä kaupungeissa että tausta-alueilla.

Pia Anttila, erikoistutkija, Ilmatieteen laitos

WHO:n uusin ohjearvouudistus on kolmas päivitys vuoden 1987 ensimmäisen ilmanlaadun ohjearvojulkistuksen jälkeen. Aikaisemmat päivitykset ovat vuosilta 2000 ja 2006. Tänä aikana ilmanlaadun mittaustekniikoissa, tiedonkeruussa, tiedon laadussa, tiedonhallinnassa, ja ennen kaikkea terveysvaikutustiedossa on tapahtunut valtava harppaus. Viidentoista vuoden takaiseen edelliseen päivitykseen verrattuna on yhä vahvempaa näyttöä siitä, kuinka ilmansaasteet vaikuttavat terveyteen vieläkin pienemmällä pitoisuuksilla kuin aiemmin on ymmärretty, mistä seuraa tarve kiristää ohjearvoja. WHO:n asettaman määritelmän mukaan ohjearvotasolla ilmansaasteiden terveyshaittoja ei ilmene tai ne ovat vähäisiä. Niille saasteille, joille nyt ei annettu uusia ohjearvo-



Kuva 2. Hengitettävien hiukkasten vuosi- ja vuorokausipitoisuudet mittausasemilla vuonna 2019.

Kuva 3. Typpidioksidin vuosi- ja vuorokausipitoisuudet mittausasemilla vuonna 2019.

ja, aikaisemmissa raporteissa julkaistut ohjearvot jäivät sellaisenaan voimaan.

Uudet ohjearvot on tarkoitettu globaaliin käyttöön ja varsinaisen ohjearvon lisäksi WHO antaa saastuneille maille neljä portaittain kiristävää välitavoitetta kohden varsinaisia ohjearvotasoja (Taulukko 1). Tällaisten välitavoitteiden tarve kertoo kuinka vakavasti saastuneita maita maapallolta edelleen löytyy.

Suomen pitoisuuksien vertailu WHO:n ohjearvoihin

Vertailussa on mukana kaikki Suomen ilmanlaadun seurannan mittaustulokset, jotka on saatavissa Ilmatieteen laitoksen ylläpitämästä ilmanlaadun tietojärjestelmästä (ilmatieteenlaitos.fi/teematietoa-ilmanlaadusta). Tässä esitetään vertailu vuodelle 2019, sillä tilastojen tuorein

vuosi 2020 oli Covid-19 pandemian vuoksi poikkeuksellinen ilmanlaadun suhteen.

Pienhiukkaset PM_{2.5}

Pienhiukkasille annettu vuosiohjearvo (5 µg/m³) ylittyi noin puolella (18/34) asemista (Kuva 1). Valtaosin ylitykset olivat hyvin niukkoja, alle yhden mikrogramman luokkaa, joten ohjearvon alittaminen tuntuu ihan realistiselta tavoitteelta. Vuorokausiohjearvon (15 µg/m³) suhteen tilanne on ehkä huonompi, se ylittyi pohjoisinta Lappia lukuunottamatta kaikilla asemilla vähintään kerran. Ylityspäiviä oli enimmillään jopa 20, mutta tyypillisesti puolenkymmentä vuodessa per asema.

Pienhiukkasten pitoisuuksien alentamista hankaloittaa kuitenkin kaukokulkeutuman suuri osuus. Vuorokausiohjearvon ylitykset liittyvät tyypillisesti laaja-alaisiin

yhtäaikaisiin kulkeutumisepisodeihin ja kaukokulkeutuma näkyy myös vuosikeskiarvoissa. Eteläisen Suomen tausta-asemilla (Utö ja Virolahti) PM_{2.5} pitoisuustaso on viiden mikrogramman luokkaa.

Kaiken kaikkiaan WHO:n uudet ohjearvot pienhiukkasille ovat tervetullut lisä ilmanlaadun sääntelyssä. Eri-tyisesti EU:n pienhiukkasstandardit ovat pahasti vanhentuneet (vuosikeskiarvo 25 µg/m³).

Hengitettävät hiukkaset PM₁₀

WHO asetti hengitettävien hiukkasten vuosiohjearvoksi 15 µg/m³, joka ylittyi suhteellisen harvalla asemalla (13 % asemista) (Kuva 2). PM₁₀ liittyvä ilmanlaatuongelmamme on kaupunkien keväinen katupölyjakso, jonka kesto onneksi on niin lyhyt, että vuosikeskiarvo jää enimmäkseen vielä kiristyneenkin ohjearvon alle.

Katupöly näkyy kuitenkin selvästi vuorokausiohjearvon

ylityksissä; 85 % asemista vuorokausiohjearvo ylittyi vähintään kerran, monilla asemilla ylityksiä oli yli 20 kertaa vuodessa ja tyypillisesti 5-10 kertaa vuodessa. Tämä tarkoittaa, että sanoka katupölyaika kestää monin paikoin viikosta kolmeen viikkoon.

Typpidioksidi NO₂

Typpidioksidin ohjearvoissa tapahtui kovin kiristymisen. Vuosiohjearvo kiristyi 40 mikrogrammasta peräti 10 µg/m³. Vuosiohjearvo ylittyi puolella (28/56) asemista, pahimmillaan pitoisuudet olivat yli kolminkertaiset ohjearvoon nähden (Kuva 3). Vuosiohjearvon tuntumassa ollaan myös useissa parinkymmenen tuhannen asukkaan pikkukaupungeissa.

Typpidioksidin vuorokausiohjearvo on kokonaan uusi, sen arvoksi asetettiin 25 µg/m³. Tämä arvo ylittyi lähes kaikilla asemilla vähintään kerran vuodessa, pahimmil-



Kuva 4. Otsonin kesäkauden keskiarvo. Kuuden kuukauden (maalis-elokuu) keskiarvo on laskettu vuorokauden korkeimmista 8 tunnin keskiarvoista. Hyytiälän, Pötsönvaaran, Oulangan, Sodankylän, Sammalunturin, Raja-Joosepin sekä Oulun kesäkauden keskiarvo on laskettu tammi-kesäkuun arvoista. Otsonin korkein kahdeksan tunnin keskiarvo (pylväs) sekä 100 µg/m³ ylittävien vuorokausien lukumäärä (oranssi viiva).

Yhteenveto

Maailman terveysjärjestö antoi syksyllä 2021 uudet ilmanlaadun ohjearvot ihmisten terveyden suojelemiseksi. Eniten tiukentui typpidioksidin vuosiohjearvo ja sille myös annettiin kokonaan uusi vuorokausiohjearvo. Niinpä –tässä viitekehyksessä– typpidioksidi nousikin yhdeksi pahimmista ilmanlaatuongelmistamme. Korkeimmillaan typpidioksidin vuosipitoisuudet ovat jopa kolme kertaa ohjearvoa korkeammat, ja vuorokausiohjearvo ylittyy jopa puolen vuoden ajan. Ohjearvon ylityksiä tapahtuu myös pienemmissä, parinkymmenen tuhannen asukkaan kaupungeissa.

Hengitettävien hiukkasten vuosi- ja vuorokausiohjearvot kiristyivät vain vähän mikä sinällään ei tuo suurta muutosta katupölyongelman vakavuuden tunnistamiseen tai tunnettuun pitoisuuksien alentamistarpeeseen.

Pienhiukkasten ohjearvo kiristyi tasoon 5 µg/m³, mikä on suurin piirtein Etelä-Suomen nykyinen taustapitoisuus. Kaukokulkeutuman suuri osuus tekee ohjearvon alittamisen vaikeaksi.

Otsonin uudet ohjearvot ylittivät kaikilla asemilla koko maassa. Otsonipitoisuuksia määrää vahvasti kaukokulkeutuma ja pohjoisen pallonpuoliskon korkea taustapitoisuus.

Rikkidioksidin ja hiilimonoksidin suhteen olemme jo kuivilla eli uusien ohjearvotasojen alapuolella.

Comparison of Finnish air quality with the new WHO guideline values

Abstract

In the fall of 2021, the World Health Organization issued new air quality guidelines to protect human health. The annual reference value for nitrogen dioxide tightened the most and was also given a completely new daily guideline value. Thus, in this framework, nitrogen dioxide suddenly became one of our worst air quality problems. At their highest, the annual concentrations of nitrogen dioxide are up to three times higher than the guideline value, and the daily guideline value is exceeded for up to six months. Exceedances of the guideline also occur in smaller cities with a population of twenty thousand.

The annual and daily guideline values for respirable particles tightened only slightly, which in itself does not bring much change to the identification of the severity of the street dust problem or to the already identified need to reduce concentrations.

The guideline value for small particles tightened to 5 µg/m³, which is roughly the current background concentration in Southern Finland. The high proportion of long-range transport makes it difficult to get below the guideline value. The new guideline values for ozone are being exceeded at all stations across the country. Ozone concentrations are strongly determined by long-range transport and the high background concentration in the northern hemisphere.

With regard to sulfur dioxide and carbon monoxide, we already are below the new guideline levels.

laan lähes 200 kertaa eli yli kuuden kuukauden ajan.

Hyvä puoli tässä on, että nämä hyvin reaktiiviset tyypin oksidit eivät kaasumaisina kaukokulkeudu, joten kaupunkien NO₂-ongelma on periaatteessa ratkaistavissa kotimaisilla/paikallisilla pakokaasujen vähentämistoimilla. Samalla on hyvä muistaa, että NO_x:it jatkavat taivaltaan sekundaarisina hiukkasina ja ovat ennen pitkää nostamassa pienhiukkasten pitoisuutta ja osatekijänä myös otsonipitoisuuksien kohoamisessa.

Otsoni O₃

WHO asetti otsonille uudentyyppisen pitkän ajan ohjearvon. Puolivuotiskaudella, jolloin otsonipitoisuudet ovat korkeimmillaan, vuorokauden korkeimpien 8 tunnin keskiarvojen keskiarvon ei tule ylittää 60 µg/m³. Tämä kuuden kuukauden huippukausi vaihtelee jonkin verran vuosittain ja asemittain. Tyypillisesti kaikilla asemilla on kevätmaksimi huhtikuun vaiheilla, mutta Etelä-Suomessa esiintyy usein sekundaarinen maksimi vie-

lä elokuussa. Näin huippukaudeksi määräytyy maaliskuu. Pohjoisemmassa Suomessa kuitenkin otsonilla on vain selkeä kevätmaksimi, josta seuraa, että huippukauden pitoisuudet tulee laskea tammi-kesäkuulta.

Huippukuukausien ajoittamisella ei kuitenkaan ole suurta merkitystä lopputulokseen. WHO:n kesäkauden ohjearvo ylittyy reippaasti kaikilla asemilla niin kaupungeissa kuin tausta-alueilla (Kuva 4).

Korkeimmat pitoisuudet ovat eteläisimmällä Utön meriasemalla ja matalimmat helsinkiläisessä katukuilussa Mäkelänkadulla. Mäkelänkadun otsonipitoisuutta laskevat liikenteen pakokaasujen NO_x-yhdisteet, jotka toimivat otsonin nieluna. Muilla asemilla nieluvaikutus on pienempi tai sitä ei ole lainkaan (tausta-asemat). NO₂-pitoisuuksien todennäköisesti laskiessa, otsonin suhteen kaupunkien tilanne voi pahentua edelleen.

Yhtälailla vuorokausiohjearvo ylittyy kaikilla asemilla vähintään kerran, tyypillisesti parikymmentä kertaa vuodessa.

Määräävät tekijät ovat sekä perinteinen niin sanottu kaukokulkeutuva otsoni että troposfääristä sekoittuva korkea taustaotsoni. Paikalliset päästöt ja nielut vaikuttavat vain vähän. Kansalliset mahdollisuudet alentaa pitoisuuksia ovat pienet.

Rikkidioksidi ja hiilimonoksidi

WHO löysäsi rikkidioksidin vuorokausiohjearvon 20 µg/m³:sta 40 µg/m³:aan. Tämä arvo ylittyy harvakseltaan muutamalla teollisuuspaikkakunnalla, liittyen todennäköisesti teollisuustoiminnan poikkeustilanteisiin. Suomessa voitaneen todeta, että olemme ohjearvon alapuolella. Euroopan tasolla rikkidioksidi on kuitenkin edelleen ongelma. Euroopan SO₂-päästömäärien lasku vähentäisi myös Suomeen tulevaa pienhiukkasten kaukokulkeutumaa.

Hiilimonoksidin vuorokausiohjearvoksi WHO asetti 4000 µg/m³, jonka pitoisuustason alapuolella Suomessa selvästi olemme.

Kirjallisuus

Komppula, B., Karppinen, T., Virta, H., Sundström, A.-M., la i: 10.35614/isbn.9789523361409

WHO 1987. World Health Organization. Regional Office for Europe. Air quality guidelines for Europe. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

WHO 2000. World Health Organization. Regional Office for Europe. Air quality guidelines for Europe, 2nd ed.. WHO Regional Office for Europe.

WHO 2006. World Health Organization. Regional Office for Europe. Air quality guidelines. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global Update. WHO Regional Office for Europe.

WHO 2021. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Ilmanlaadun mittauksia pidetään yleisesti luotettavimpana keinona arvioida ilmanlaatua. Olemassa oleva mittausverkosto ei kuitenkaan anna maantieteellisesti kattavaa kuvaa väestön altistumisesta, varsinkaan suurimpien kaupunkien ulkopuolella. Pienhiukkasia on mitattu vasta 2000-luvun vaihteesta ja silloinkin vain parilla mittausasemalla. 1990-luvun ja sitä aikaisempien vuosikymmenten pitoisuuksista ei ole mittauksia. Ilmanlaadun mallittaminen mahdollistaa sekä pitoisuuksien laskemisen harvempaan asutuille alueille että altistusten retrospektiivisen arvioimisen.

Antti Korhonen, tutkija, Terveiden ja hyvinvoinnin laitos ja Itä-Suomen yliopisto
Isabell Rumrich, tutkija, Terveiden ja hyvinvoinnin laitos ja Itä-Suomen yliopisto
Marjut Roponen, apulaisprofessori, Itä-Suomen yliopisto
Otto Hänninen, erikoistutkija, Terveiden ja hyvinvoinnin laitos



Raskaudenaikainen altistuminen ilmansaasteille

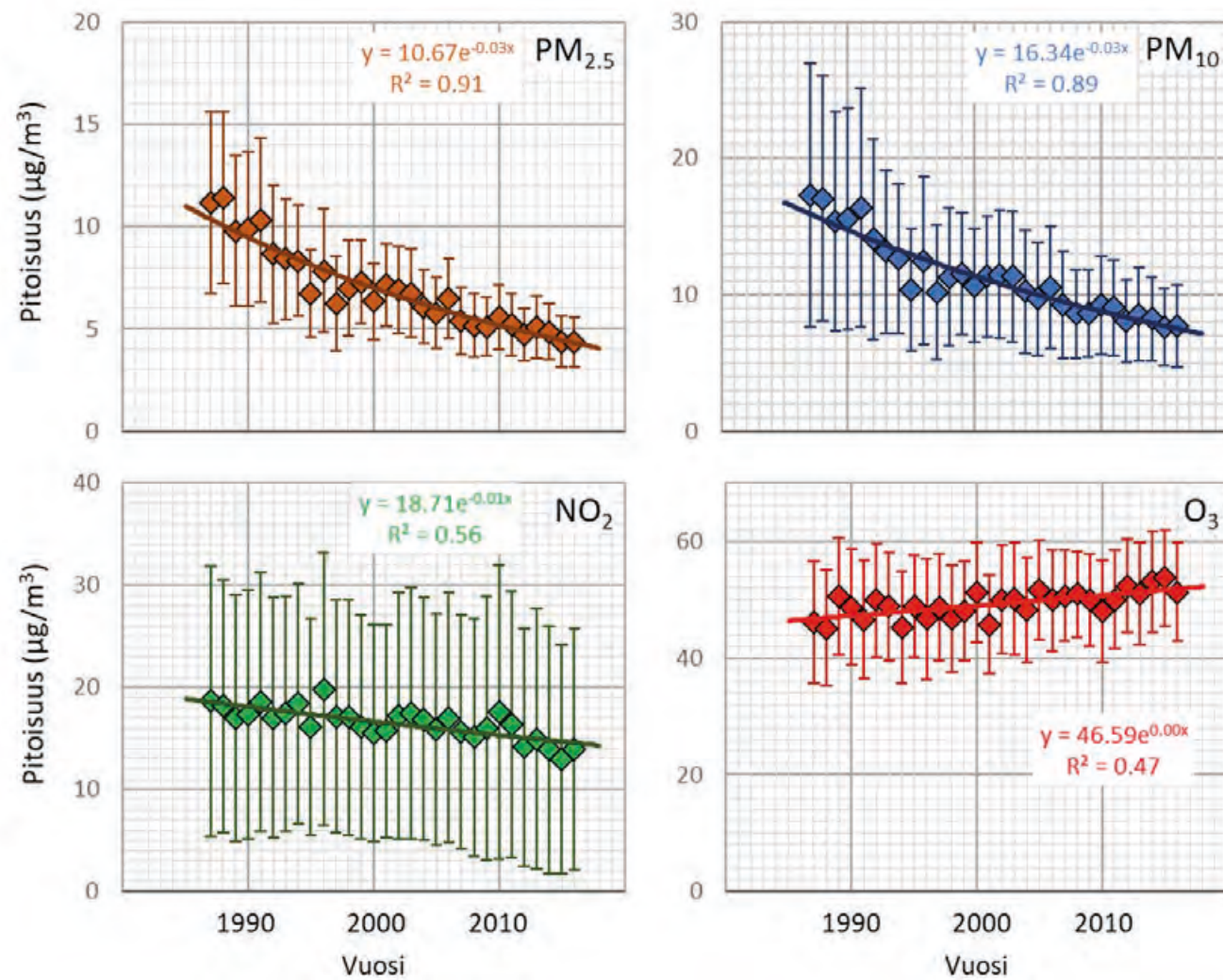
Maailman terveysjärjestö (WHO) tiukensi äskettäin useita ilmanlaadun terveysperusteisia ohjearvoja. Suomessa on arvioitu, että ilmansaasteet aiheuttavat vuositasolla noin 2000 ennenaikaista kuolemaa, joista suurin osa aiheutuu pienhiukkasista ($PM_{2,5}$; 1 600), typpidiok-

sidista (NO_2 ; 240), hengitettävistä hiukkasista (PM_{10} ; 160) ja otsonista (O_3 ; 40). Mittausverkostoa ylläpitää 30 erillistä toimijaa, joista suurin osa on kuntia. Ilmatieteen laitoksella ja HSY:llä kummallakin on kymmenkunta mittausasemaa. Typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia mitataan noin 70 asemalla, pienhiukkas-

ten reilulla 30 ja otsonin yli 20 asemalla. Mittausten perusteella ilmansaasteiden pitoisuudet ovat olleet otsonia lukuun ottamatta pääsääntöisesti laskusuunnassa. Raskauden ja lapsuuden aikaisen ilmansaastealtistuksen vaikutusta vastasyntyneiden ja lasten terveyteen sekä kuolleisuuteen tutkitaan meneillään olevassa APPEAL-

Ajanjakso	Tuhatta synnytystä vuodessa ($\pm$ sd)	$PM_{2,5}$ ka. ($\pm$ sd) $\mu g/m^3$	PM_{10} ka. ($\pm$ sd) $\mu g/m^3$	NO_2 ka. ($\pm$ sd) $\mu g/m^3$	O_3 ka ($\pm$ sd) $\mu g/m^3$
1987–1989	56,4 ($\pm$ 2,15)	10,8 ($\pm$ 4,2)	16,6 ($\pm$ 8,9)	17,9 ($\pm$ 12,6)	47,3 ($\pm$ 10,4)
1990–1994	59,2 ($\pm$ 0,59)	9,1 ($\pm$ 3,5)	14,4 ($\pm$ 7,4)	17,7 ($\pm$ 12,0)	47,9 ($\pm$ 9,9)
1995–1999	52,2 ($\pm$ 3,20)	7,0 ($\pm$ 2,4)	11,2 ($\pm$ 5,1)	17,3 ($\pm$ 11,7)	47,9 ($\pm$ 9,3)
2000–2004	49,4 ($\pm$ 0,76)	6,6 ($\pm$ 2,0)	11,0 ($\pm$ 4,5)	16,6 ($\pm$ 11,5)	49,1 ($\pm$ 9,1)
2005–2009	51,1 ($\pm$ 0,69)	5,6 ($\pm$ 1,7)	9,3 ($\pm$ 3,9)	15,9 ($\pm$ 12,0)	50,7 ($\pm$ 8,0)
2010–2016	48,7 ($\pm$ 3,19)	4,9 ($\pm$ 1,5)	8,4 ($\pm$ 3,3)	14,9 ($\pm$ 12,6)	51,3 ($\pm$ 8,6)
1987–2016	52,3 ($\pm$ 4,34)	7,1 ($\pm$ 3,2)	11,4 ($\pm$ 6,2)	16,6 ($\pm$ 12,1)	49,2 ($\pm$ 9,3)

Taulukko 1. Keskimääräinen synnytysten määrä vuosittain ja ilmansaasteiden pitoisuudet 6 eri ajanjaksolla 1987–2016.



Kuva 1. Äitien raskaudenaikaisten ilmansaastepitoisuuksien vuosikeskiarvot ja keskihajonnat eksponentiaalisella trendisovitteella 1987–2016.

akatemiahankeissa. Tutkimuksessa yli 1,6 miljoonaa synnytystä käsittävä syntymäkohortti (MATEX) muuttohistoriatieteen yhdistettiin UBM-mallilla laskettuun, 16 eri ilmansaastetta sisältävään ilmanlaatuajaksarjaan. Tämä mahdollisti äitien raskaudenaikaisten altistustasojen tarkastelun yhden kilometrin resoluutiolla aikavälillä 1987–2016. Alustavien arvioiden mukaan raskaudenaikainen pienhiukkastaltistus on yhteydessä mm. lasten syntymäpainon alenemiseen. Tässä artikkelissa tarkastelemme tarkemmin raskaana olevien naisten altistumista ilmansaasteille ($PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 ja O_3) 30 vuoden jaksolla käyttäen kotiosoitteita ja 1 km resoluutiolla arvioitua ilmanlaatua.

Hiukkasten ja typpidioksidin altistustasot ovat laskeneet

Raskaudenaikaiset altistustasot arvioitiin

hyödyntäen syntymäkohorttitutkimusta, joka sisälsi noin 1,6 miljoonaa synnytystä vuosina 1987–2016. Keskimäärin synnytyksiä oli vuositasona noin 52 tuhatta, suurimmillaan lähes 60 tuhatta 90-luvun alkupuoliskolla ja pienimmillään alle 50 tuhatta 2000-luvun alussa ja 2010-luvulla (taulukko 1).

Raskaudenaikainen altistuminen typpidioksidille ja erityisesti pienhiukkasille ja hengitettävälle hiukkasille on laskenut selvästi 30 vuoden tarkastelujakson aikana, kun taas otsonin altistustasot ovat olleet pienoisessa nousussa (kuva 1).

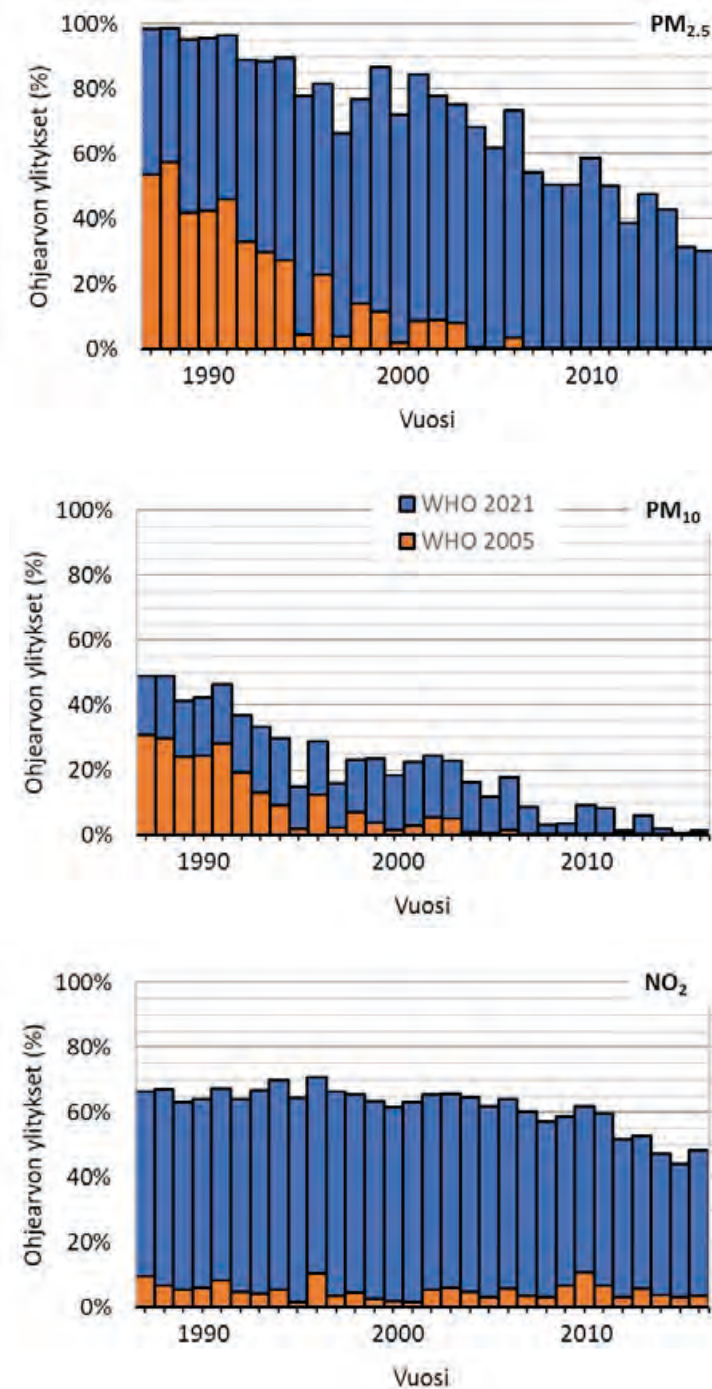
Pienhiukkasten altistustaso oli 80-luvun lopulla keskimäärin n. $11 \mu g/m^3$ ja se laski alle puoleen ($< 5 \mu g/m^3$) 2010-luvulle tultaessa. Myös hengitettävien hiukkasten altistustaso on puolittunut samalla ajanjaksolla, pudoten vajaan $17 \mu g/m^3$ reiluun $8 \mu g/m^3$. Typpidioksidin altistustaso on pudon-

nut noin kuudenneksella n. $18 \mu g/m^3$ alle $15 \mu g/m^3$. Otsonin kohdalla kehityssuunta on ollut päinvastainen. Altistustaso on noussut noin 10 % alle $50 \mu g/m^3$ tasosta hieman yli $50 \mu g/m^3$ tasoon.

Hiukkasten kohdalla korkeimmat altistustasot ovat pienentyneet matalimpia enemmän kaventaen ääripäiden välisiä eroja. Tämä näkyy keskihajontaluvuissa, jotka ovat pudonneet noin kolmannekseen 1980-luvun lopun tasosta. Otsonin ja typpidioksidin kohdalla yhtä selkeää muutosta ei ole tapahtunut ja altistustasojen välinen vuosivaihtelu on pysynyt melko suurena.

Ohjearvot ylittyneet edelleen

Vuositasolla WHO:n vuoden 2021 ohjearvon ylittävälle pitoisuuksille altistuneiden määrä on pudonnut huomattavasti hiukkasten osalta, kun taas typpidioksidin osalta tilanne ei ole parantunut yhtä merkittävästi



Kuva 2. Vuosittainen osuus synnyttäneistä äideistä, jotka ovat altistuneet WHO:n vuonna 2005 ja 2021 asettamia vuosiohjearvoja korkeammille pitoisuuksille.

(kuva 2). Lähes jokainen 1980-luvun lopulla raskaana ollut nainen oli altistunut ohjearvoa ($5 \mu g/m^3$) korkeammille pienhiukkaspitoisuuksille, ja hengitettävien hiukkasten ohjearvo ($15 \mu g/m^3$) ylittyi keskimäärin melkein puolella sekä typpidioksidin osalta kahdella kolmesta ($10 \mu g/m^3$).

Tultaessa 2010-luvulle ohjearvot ylittivät pienhiukkasten kohdalla keskimäärin hieman yli 40 % ja typpidioksidin osalta

edelleen noin puolella äideistä. Hengitettävien hiukkasten ohjearvo alittui jo käytännössä jokaisella. Vuoden 2005 WHO:n ohjearvoihin verrattaessa tilanne näyttäisi 2010-luvulla olleen jo hyvä. Hiukkasten pitoisuudet ovat jääneet alle ohjearvojen ($PM_{2.5}$: $10 \mu g/m^3$ ja PM_{10} : $20 \mu g/m^3$), ja typpidioksidin kohdalla vain viitisen prosenttia raskaana olevista naisista altistui $40 \mu g/m^3$ korkeammille pitoisuuksille. Otsonin

kohdalla pitkäaikaisohjearvo (2005: $100 \mu g/m^3$ ja 2021: $60 \mu g/m^3$) perustuu kesäkauden (6kk) vuorokauden korkeimpien kahdeksan tunnin keskiarvojen keskiarvoon, eikä ole suoraan verrannollinen tässä laskettuun raskaudenaikaisten altistusten vuosikeskiarvoon.

Johtopäätökset

Ilmanlaatumallin perusteella typpidioksidin ja varsinkin hiukkasten ($PM_{2.5}$ ja PM_{10}) altistustasot Suomessa ovat laskeneet selvästi tarkastelujaksolla. Sen sijaan otsonin altistustaso on ollut hienoisessa kasvussa. Huolimatta myönteisestä kehityksestä pienhiukkasten ja typpidioksidin osalta karkeasti noin puolet raskaana olevista naisista altistui vielä viime vuosikymmenellä uusia terveysperusteisia ohjearvoja suuremmille pitoisuuksille. Hengitettävien hiukkasten ohjearvon tavoitteisiin sen sijaan näytettäisiin jo pääsevän.

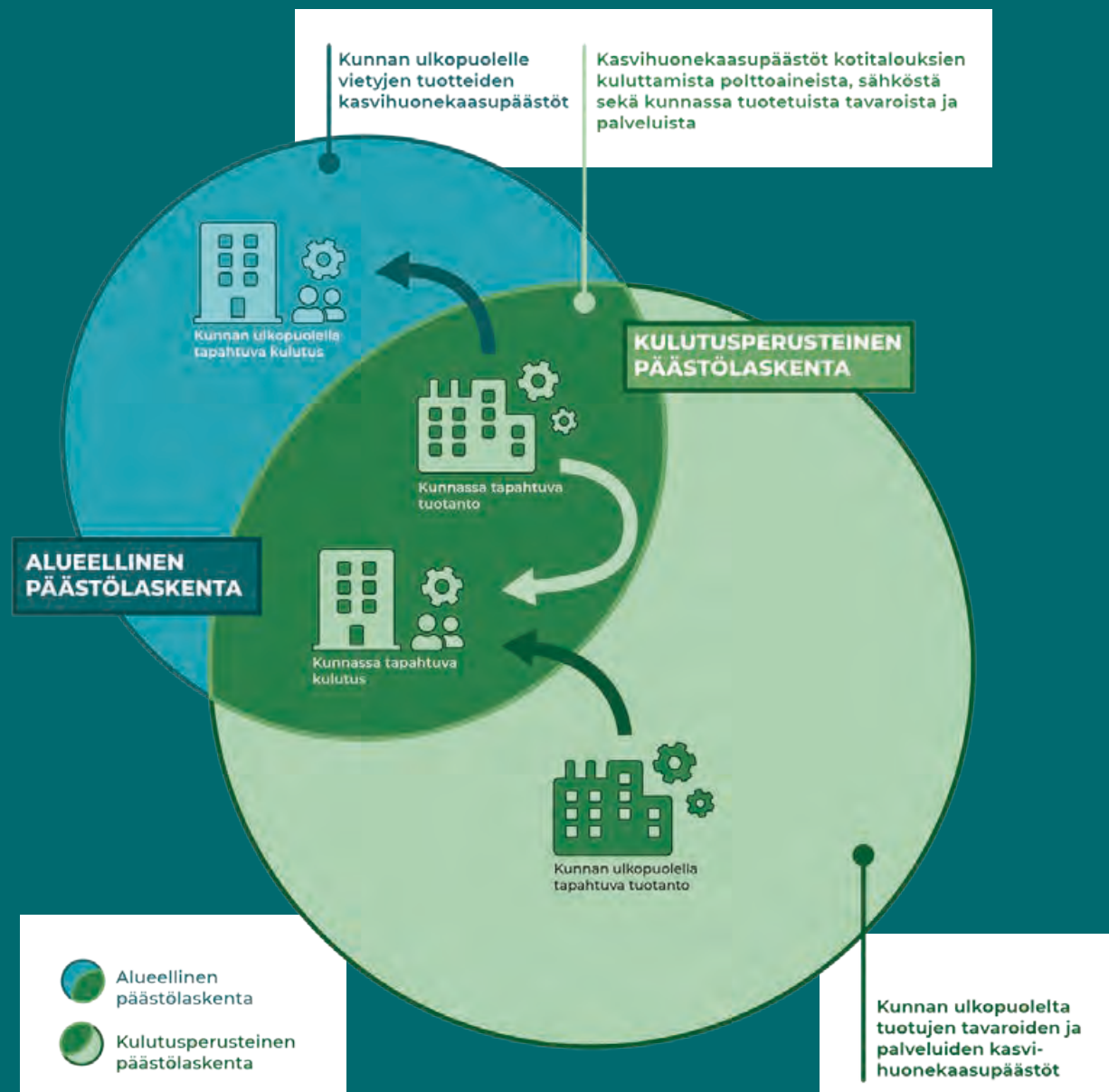
Viitteet

- Anttila P (2020) Air quality trends in Finland, 1994–2018. Helsingin yliopisto, academic dissertation. url:<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-336-102-7>.
- Hänninen O (2021) Maailman terveysjärjestö: Ilmanlaadun ohjearvot uudistuivat. Ympäristö ja Terveys -lehti 52:52-55. url:<https://www.julkari.fi/handle/10024/143438>.
- Hänninen O, Korhonen A, Lehtomäki H, Rumrich I (2021) Terveysvaikutukset alhaisilla altistustasoilla: Ilmansaasteet ja syntymäpaino. Ympäristö ja Terveys -lehti 52:46-51. url:<https://www.julkari.fi/handle/10024/143439>.
- Lehtomäki H, Korhonen A, Asikainen A, Karvosenoja N, Kupiainen K, Paunu V, Savolahti M, Sofiev M, Palamarchuk Y, Karppinen A, Kukkonen J, Hänninen O (2018) Health Impacts of Ambient Air Pollution in Finland. International journal of environmental research and public health 15. doi: 10.3390/ijerph15040736.
- WHO (2021) WHO global air quality guidelines: particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva, World Health Organization.

Uudella kuluttamisen päästöjä arvioivalla laskentamallilla (KULMA) saadaan aikaisempaa laajempi tietopohja kuntien ja kuntalaisten toiminnasta aiheutuvista kasvihuonekaasupäästöistä. Kulma-mallilla laskettiin ensimmäistä kertaa vertailukelpoisesti kulutusperusteiset päästöt 15 kunnalle.

Kunnissa tapahtuvan KULUTUKSEN HIILIJALANJÄLKI selvitettiin ensimmäistä kertaa

Emma Liljeström, projektipäällikkö, Sitowise Oy
Suvi Monni, johtava asiantuntija, Sitowise Oy



Kuva 1. Alueelliset ja kulutukseen perustuvat päästölaskennat ovat osittain päällekkäisiä.

Puhuttaessa kuntien kasvihuonekaasupäästöistä tarkoitetaan usein alueellisia kasvihuonekaasupäästöjä. Alueelliset päästölaskentamallit kattavat pääsääntöisesti kunnan energiankulutuksesta ja jätehuollosta aiheutuvat päästöt sekä muut kunnan maantieteellisellä alueella tapahtuvat päästöt. Alueellisissa malleissa esimerkiksi kunnan alueella tapahtuvasta maataloustuotannosta ja tuotteiden valmistuksesta aiheutuvat päästöt sisältyvät laskentaan huolimatta siitä, missä tuotetut tuotteet lopulta kulutetaan. Liikenteen osalta taas arvioidaan kunnan alueella tapahtuvan henkilöautoliikenteen päästöjä, huolimatta siitä minkä kunnan asukas autoa ajaa. Toisaalta monet kuntalaisten toiminnasta välillisesti aiheutuvat päästöt jäävät laskennan ulkopuolelle.

Kulutusperusteinen päästölaskenta tuottaa alueellisia päästölaskentamalleja kattavampaa tietoa kuntalaisten toiminnan ilmastovaikutuksista. Kulutuksen kasvihuonekaasupäästöjä laskettaessa laskentaan sisältyvät kaikki kuntalaisten kulutuksesta aiheutuvat päästöt, huolimatta siitä, missä kulutetut hyödykkeet on tuotettu. Esimerkiksi kuntalaisten kuluttamasta ruuasta ja tavaroista aiheutuvat päästöt sisältyvät laskentaan, vaikka niiden tuotanto tapahtuisi kunnan tai Suomen rajojen ulkopuolella.

Alueelliset ja kulutukseen perustuvat päästölaskentamallit ovat osittain päällekkäisiä. Ne eivät siis ole vaihtoehtoja toisilleen vaan täydentävät toisiaan ja tarjoavat yhdessä mahdollisimman laajan tietopohjan kunnan ja kuntalaisten toiminnasta aiheutuvista kasvihuonekaasupäästöistä (kuva 1).

Kulma-laskentamalli

KULMA-laskentamallissa päästöt on jaettu neljään osa-alueeseen: 1) energiankulutus ja rakentaminen, 2) liikkuminen, 3) ruoka sekä 4) tavarat ja palvelut.

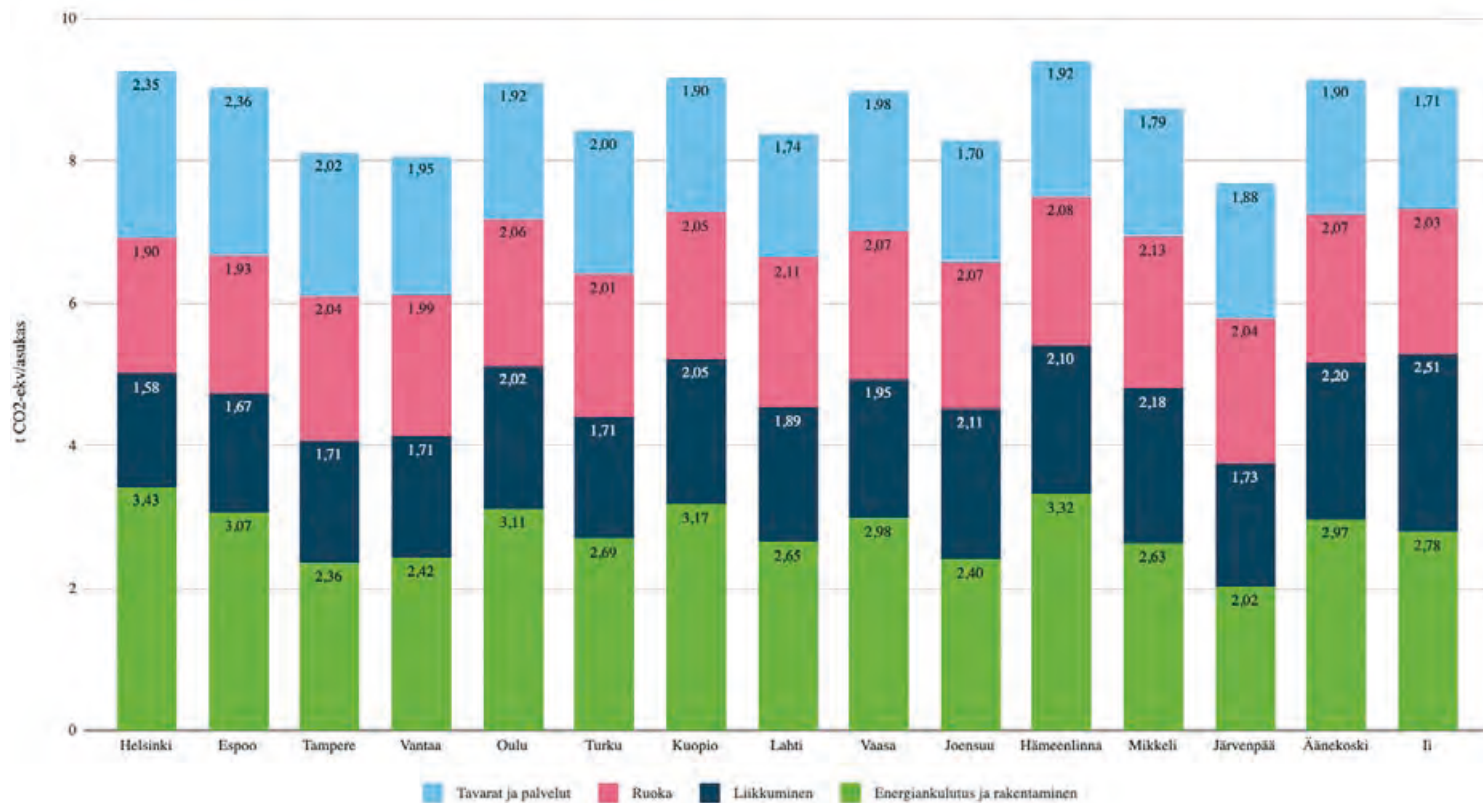
1) Energiankulutus ja rakentaminen

Energiankulutus sisältää sähkönkulutuksen, kaukolämmön kulutuksen, öljy- ja maakaasulämmityksen sekä pienpuun käytön lämmityksessä. Sähkönkulutuksesta aiheutuvat päästöt lasketaan perustuen Energiateollisuus ry:n tilastoon kuntien sähkönkulutuksesta.

Kulma-mallin laskentaan sisältyvät asumisen, maatalouden, palveluiden ja rakentamisen päästöt. Sähkönkulutuksen päästökertoimena käytetään Suomen keskimääräistä sähkönkulutuksen päästökerrointa, joka lasketaan perustuen Tilastokeskuksen ja Energiateollisuus ry:n aineistoon.

Kaukolämmön osalta pääasiallisena tietolähteenä käytetään Energiateollisuus ry:n kaukolämpötilastoa. Laskennassa otetaan huomioon kaukolämmön ostot ja myynnit kunnan rajojen yli. Sähkön ja kaukolämmön yhteistuotannon päästöt jaetaan sähkölle ja kaukolämmölle hyödynjakomenetelmää käyttäen. Lämmitysöljyn kulutusta kunnissa arvioidaan Tilastokeskuksen rakennuskantatilastosta saatavien pinta-ala- ja käyttötarkoitustietojen mukaan. Arvioon sisällytetään ainoastaan asuin- ja palvelurakennukset ja teollisuuden rakennukset jätetään laskennan ulkopuolelle.

Rakennusten lämpimän käyttöveden lämmitykseen tarvittava energiamäärä mallinnetaan perustuen rakennuksen käyttötarkoitukseen Motiva Oy:n tietojen perusteella. Maakaasu-lämmityksen tiedot sel-



Taulukko 1. Laskentaan osallistuneiden kuntien kulutusperusteiset päästöt (kt CO₂-ekv) sekä kulutusperusteiset päästöt asukasta kohden (t CO₂-ekv/asukas).

vitetään maakaasun toimittajilta. Energiankulutuksen päästöjen laskennassa sähkölle ja polttoaineille hyödynnetään elinkaarivaikutukset huomioon otta- via elinkaarikertoimia (LCA).

Myös puupolttoaineille on käytetty elinkaariker- toimia, jotka on laskettu Suomen ympäristökeskuk- sen tuottamiin tietoihin perustuen. Energiasektorin osalta suurimmat epävarmuudet laskennassa liitty- vät lämmitysöljyn kulutukseen, joka on laskennassa jouduttu mallintamaan. Muilta osin käytettävien läh- tötietojen laatu on pääosin erittäin hyvää.

Rakentamiseen sisältyvät kunnissa vuoden aikana rakennettujen uudisrakennusten päästöt. Päästöt ar- vioidaan pinta-alojen ja käyttötyyppi-kohtaisten pääs- tökertoimien avulla. Mallissa vuosittain rakennettu kerrosalamäärä kerrotaan käyttötyypin mukaisella päästökertoimella. Tiedot rakennetuista uusista ra- kennuksista saadaan Tilastokeskuksen tilastosta, jossa on myös tieto rakennusten runkomateriaalista. Pien- ja rivitalojen perustamistavaksi on oletettu sokkeli- ja anturaperustus. Muiden rakennusten osalta on ole- tettu, että 75 % rakennuksista perustetaan paalupe- rustukselle. Rakentamisen rakennustyyppi-kohtaiset päästökertoimet edustavat suomalaisten rakennus- ten keskiarvoa, ja laskennan suurimmat epävarmuu- det liittyvätkin juuri käytettyihin päästökertoimiin.

2) Liikkuminen

Henkilöautoliikenteen laskenta kuvaa kuntalaisten liikumista kunnassa ja sen rajojen ulkopuolella. Las- kenta tehtiin erikseen painotettuna jokaiselle kau- punki-maaseutu-alueelle ja nämä tiedot yhdistetään

kuntakohtaiseksi arvoksi. Väestötieto saadaan Tilas- tokeskukselta kaupunki-maaseutu-jaottelulla ja mat- kasuoritteet henkilöautolla uusimman Henkilöliiken- netutkimuksen tiedoista.

Henkilöliikennetutkimusten tiedot ovat koko Suo- men tasolta ja ne aiheuttavat henkilöautoliikenteen laskennan suurimman epävarmuuden. Yksikköpääs- töt henkilöautokannalle lasketaan Traficomin ajoneu- vokannan avoimen datan avulla kuntakohtaisesti, jo- ten tiedot ovat kohtalaisen tarkkoja ja huomioivat au- tokannan uudistumisen vaikutukset.

Kansainvälisen lento- ja laivaliikenteen arvioiminen toteutetaan huomattavasti karkeammalla tasolla kuin henkilöautoliikenteen. Tämä johtuu saatavilla olevien lähtötietojen epätarkkuudesta. Laskennan perusidea on kuitenkin sama: arvioidaan matkasuorite henkilöä kohden sekä yksikköpäästöt ja kerrotaan tämä kunnan väkiluvulla. Tilastokeskuksen matkailutilaston avul- la saadaan lento- ja laivamatkojen määrät jaoteltuna kaupunkimaisiin kuntiin, maaseutumaisiin kuntiin ja taajaan asuttuihin kuntiin. Tätä syvemmälle kun- tien välisiin eroihin ei päästä. Myös matkasuoritteen ja keskimääräisten CO₂-päästöjen arviointi jää karke- aksi ja arvio tehdään haarukoimalla useasta lähteest- tä sopiva yhden matkan matkasuoritteen keskiarvo. Liikkumisen laskennassa polttoaineille on hyödyn- netty polttoaineen hankinnan ja valmistuksen huo- mioon ottavia kertoimia.

3) Ruoka

Ruokaan sisältyvät kauppojen ja ravintoloiden sekä ateriapalvelusektorin kautta käytetyt ruoka-aineet

ja näiden elinkaariset päästöt aina maatalouden pa- nosteollisuudesta ja alkutuotannosta valmiiksi jalos- tetuiksi tuotteiksi saakka. Maaperän hiilivarastojen muutokset kotimaisten ruoka-aineiden taustalla ovat myös karkealla tasolla mukana laskennassa. Ruoan osalta laskenta perustuu S-ryhmältä kuntakohtaisesti saatuihin tietoihin, jotka on skaalattu ensin samalle keskimääräiselle kokonaisruoankäytön tasolle. Skaa- laaminen koko vähittäiskaupan tasolle tehtiin S-ryh- män valtakunnallisen markkinaosuuden mukaan.

Kauppojen kautta kulkevan ruoan lisäksi arvioitiin yksityisen ja julkisen ateriapalvelusektorin (ml. esim. koulut) ruoka. Lähtötiedot perustuvat todellisiin os- toihin, mikä lisää tiedon luotettavuutta.

Päästövaikutusta arvioitiin perustuen lukuisiin Luonnonvarakeskuksen ruokien ja ruoka-aineiden tutkimuksiin ja taustatietokantaan. Ruoka-aineiden päästöjen arvioinnissa erityisen epävarma osa-alue ovat maaperän hiilivarastojen päästöt, joista tehtiin Kulma-malliin karkea kokonaisarvio.

4) Tavarat ja palvelut

Tavaroiden ja palveluiden laskentaan sisällytetään yk- sityisen kulutuksen sekä julkisten hankintojen pääs- töt. Laskenta perustuu käytettyihin euromääriin. Kak- soislaskennan välttämiseksi elintarvikkeiden (ml. ra- vintolat) sekä asumiseen liittyvien kulutuserien (esim. energia) laskenta on rajattu pois. Yksityisen kulutuk- sen lähtökohtana on oletus, että kotitalouksien tulot ovat yhtä suuret kuin menot.

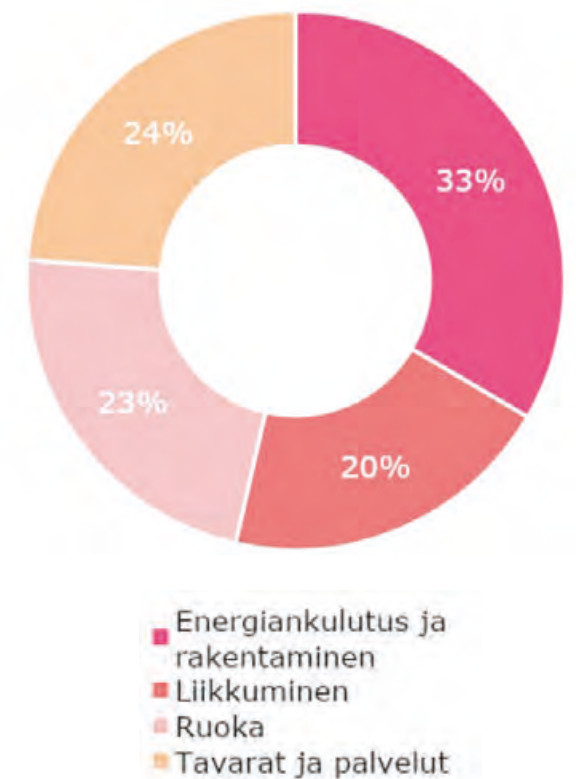
Yksinkertaisuuden vuoksi yksityiseen kulutukseen ei sisällytetä voittoa tavoittelemattomien yhteisöjen ja julkisyhteisöjen kustantamia, kotitalouksille suunnat- tuja tavaroita ja palveluita. Kuntakohtaisesta asunto- kuntien tuloaineistosta johdetaan laskennassa kulu- tukseen ohjautuva osuus poistamalla verojen, säästö- jen sekä asunto- ja muiden investointien osuus. Tästä kulutukseen ohjautuvasta osuudesta arvioidaan edelleen tavaroihin ja palveluihin ohjautuva vuosi- kulutus. Julkisten hankintojen päästöjen laskennan lähtökohtana ovat kuntien vuotuiset hankintame- not. Tuotteiden päästöintensiteettien kohdistamises- sa on hyödynnetty Suomen ympäristökeskuksen EN- VIMAT-mallia.

Laskentamallin kehityksen aikana tunnistettiin ke- hityskohteita. Seuraavan laskentakierroksen aikana on tarkoitus tutkia mahdollisuutta sisällyttää infraraken- tamisen ja korjausrakentamisen päästöt laskentaan. Myös kesämökkien vaikutuksesta on toivottu arviota.

Laskennan tulokset

Laskentaan osallistui ensimmäisellä laskentakierrok- sella yhteensä 15 kuntaa. Laskentaan osallistuneiden kuntien tulokset on esitetty taulukossa 1.

Kuntalaisen hiilijalanjälki oli keskimäärin noin 8,7 hiilidioksidiekvivalenttitonnia (t CO₂-ekv./asukas).



Kuva 2. Kulutuksen eri osa-alueiden osuu- det Kulma-laskentaan osallistuneissa kun- nissa keskimäärin vuonna 2020.

Viidentoista kunnan vertailussa pienin hiilijalanjälki oli järvenpäläisellä, noin 7,7 tonnia CO₂-ekv. vuodes- sa. Suurimmat kulutuksen päästöt olivat Hämeenlin- nassa (9,4 t CO₂-ekv.) ja Helsingissä (9,3 t CO₂-ekv.).

Tarkasteltaessa laskentaan osallistuneiden kunti- en tuloksia keskimäärin, voidaan todeta, että energi- ankulutuksesta ja rakentamisesta aiheutui kolmas- osa päästöistä. Tavaroiden ja palveluiden sekä ruoan ja erilaisten ruokapalveluiden kulutuksesta aiheutui molemmista noin neljäsosa kulutuksen kasvihuone- kaasupäästöistä. Ehkä hieman yllättäen liikkumisen päästöt jäivät keskimäärin päästöjen kannalta pie- nimmäksi sektoriksi (viidesosa päästöistä) (kuva 2). Tulokseen saattoi vaikuttaa se, että laskentaan osal- listui pääosin suuria ja keskisuuria kaupunkeja, jois- sa tiivis yhdyskuntarakenne ja toimiva joukkoliiken- ne vaikuttavat todennäköisesti liikenteen päästöihin.

Seuraava kulutuksen päästölaskenta tehdään Kul- ma-mallilla vuodelta 2022, jolloin päästään arvioi- maan vuosien välisiä eroja.

Laskentamallin kehityksestä ja kulutuksen päästö- laskennasta vastasi Sitowise Oy yhdessä Luonnon- varakeskuksen kanssa. Hanketta rahoittivat siihen osallistuneet kunnat sekä Kestävä Lahti -säätiö. Ruoankulutuksesta aiheutuvien päästöjen laskennan mahdollisti yhteistyö S-ryhmän kanssa.

VALOKEILASSA

Sarjassa haastattelemme ilmansuojelualalla toimivia ihmisiä heidän urastaan ja ajatuksistaan ilmansuojelun ja ilmastotyön tulevaisuudesta.



KUVA: KAI WIDELL

Mikael Hildén

Kuinka kauan olet työskennellyt ilmastokysymysten parissa?

Pintapuolisesti tutustuin aiheeseen jo Suomen akatemian SILMU (1990–1995) ja FIGARE (1999–2002) -ohjelmien aikana, mutta 2001 johdin Suomen kansallisen energia- ja ilmastostrategian ympäristöarvioinnin. Siitä lähtien energia- ja ilmastokysymykset ovat olleet osa työtäni.

Vuodesta 2010 olen johtanut Suomen ympäristökeskuksen ilmastomuutoksen strategista ohjelmaa, ja siitä lähtien ilmastokysymykset ovat muuttuneet päätyökseksi. Vuosina 2016–2021 minulla oli myös ilo toimia strategisen tutkimuksen neuvoston Hiilineutraali ja resurssiniukka Suomi (PIHI) -ohjelman osana ohjelmajohtajana.

Mitkä ovat olleet merkittävimmät murroskohdat ilmastonsuojelussa oman urasi aikana?

Kysymys on vaikea – jos vertaa nykytilannetta ensimmäiseen varsinaiseen energia- ja ilmastostrategiaan vuodelta 2001, tai sitä edeltäviin energiastrategioihin, joissa alettiin pitää ilmastokysymyksiä niin merkittävänä, että niihin viitattiin, on ilman muuta tapahtunut murroksia. Mutta niiden tarkka ajoittaminen on vaativaa ja osin subjektiivista.

Esimerkiksi Matti Vanhasen II hallitus (2007) nosti energia- ja ilmastokysymykset poliittisesti näkyvään rooliin mm. tarkastelemalla vuoteen 2050 ulottuvia skenaarioita. Jo ennen sitä Suomi oli ensimmäisenä Euroopassa, kenties maailmassa, hyväksynyt kansallisen ilmastomuutokseen sopeutumisen strategian.

Nämä eivät yksistään johtaneet mihinkään kovin konkreettiseen murrokseen, mutta ne osoittivat selvästi, että ilmastokysymykset eivät rajoitu teknisiin kysymyksiin siitä, mitä polttoaineita käytetään, vaan ovat laajempia. Näin ne myötävaikuttivat ajattelun muutokseen niin, että 2015 aika oli jo kypsä puhua energiamurroksista ja murrosareenoista, kun strategisen tutkimuksen neuvosto (STN) rahoitti ensimmäiset suuret monitieteelliset hankkeensa. Merkittävin yhteiskunnallinen murros on ollut siinä, että on ymmärretty, ettei ilmastomuutosta saada haltuun pienillä säädöillä siellä täällä.

Pariisiin ilmastosopimus oli myös käännteentekevä. Se osoitti, että luopuminen fossiilisista polttoaineista on aidosti järjestelmämuutos, joka muuttaa monia totuttuja malleja tuotannossa ja kulutuksessa ja sitä myöten koko yhteiskunnassa.

Mitkä ovat olleet viimeisimpiä työtehtäviäsi tai projektejasi?

Strategisen tutkimuksen neuvoston ohjelmatyö ja osallistuminen STN-hankkeisiin oli erittäin kiinnostavaa ja palkitsevaa. STN-hankkeet ovat erityisiä Suomessa, mutta myös kansainvälisesti siinä, että niissä panostetaan tieteiden väliseen työskentelyyn ja samanaikaisesti vuoropuheluun eri yhteiskunnallisten toimijoiden kanssa. Ennen kaikkea hankkeissa on ollut voimavaroja ja kiinnostusta toteuttaa yhteiskehittämistä.

Yhteiskehittämisessä ei vain tarjota tietoa mahdollisille käyttäjille tieteellisten artikkeleiden muodossa, vaan hankkeissa on voitu käydä vuoropuhelua tieteellisten tulosten tulkinnoista ja soveltamisesta. Tämä tekee tutkimuksista kiinnostavia ja toimii myös tutkimuskysymysten herättäjinä. Työ STN:n ohjelmajohtajana päättyi vuoden 2021 lopussa, mutta jatkan nyt strategisen tutkimuksen neuvoston jäsenenä.

Toinen työkenttäni on ollut sopeutuminen ilmastomuutokseen ja siinä erityisesti ns. heijastevaikutusten tarkastelu.

Kolmas, erityisesti Ilmansuojelulehden lukijoiden kannalta kiinnostava työkenttä on ollut kysymys mustan hiilen päästöjen rajoittamisesta. Sain tilaisuuden paneutua kysymykseen, kun toimin Suomen Arktisen neuvoston puheenjohtajuuskauden aikana aiheita käsittelevän asiantuntijatyöryhmän puheenjohtajana. Suomi ja suomalaiset tutkijat ovat vienneet alaa merkittävästi eteenpäin. Kansainvälisen ilmastosopi-

muksen ja Arktisen neuvoston yhteistyö on ollut hedelmällinen ja aiheeseen ovat tarttuneet monet muut kansainväliset toimijat Maailmanpankista Kansainväliseen merenkulkujärjestöön. Mustan hiilen päästöjen rajoittaminen on tärkeä esimerkki siitä, miten ilmansuojelu ja ilmastonsuojelu toimivat yhdessä.

Mitä näet suurimpina tulevana trendeinä ja haasteina ilmastoalalla?

Merkittävimpiin trendeihin kuuluu se, että ilmastotyöhön tarttuvat aktiivisesti sellaiset alat ja toimijat, joille se on aikaisemmin ollut marginaalikysymys. Yksityisen sektorin osallistuminen laajalla rintamalla on nostettu esiin. Erityisesti rahoittajien aktiivinen työ rahavirtojen kääntämiseksi ilmastoinvestointien suuntaan on välttämätön ehto positiivisen murroksen läpiviemiseksi. Fossiiliset polttoaineet eivät poistu ilman mittavia investointeja. Jo nyt on päästy siihen, että maatuulivoima on edullisimpia energiantuotantomuotoja, mutta matka kokonaan päästöttömään energiajärjestelmään on vielä pitkä ja tarvitaan monipuolisesti erilaisia ratkaisuja. Vain sitä kautta voidaan luoda resilienttejä yhteiskuntia.

Toinen merkittävä haastekokonaisuus nousee itse murroksesta prosessina. Missä tahansa murroksessa on voittajia ja häviäjiä. Voittajiksi voivat nousta ne, jotka ajoissa panostavat uusiin ratkaisuihin, kun taas ne, jotka pitävät tai joutuvat pitämään kiinni vanhoista ratkaisuista pää-

tyvät häviäjiksi. Yleensä ne, jotka ovat valmiiksi heikommassa asemassa, kantavat suhteellisesti suuren taakan, koska heillä ei ole valinnan varaa.

Tämä on näkynyt talven keskusteluissa energian hintapiikistä ja sen seurauksista. Haaste on siinä, että on löydettävä oikeudenmukaisia ratkaisuja, jotka samalla vievät kehitystä eteenpäin haluttuun suuntaan. Tai jotka eivät ainakaan jarruta sitä. Turpeen verovapaan polton alarajan nostaminen kuuluu jälkimmäisiin ongelmallisiin tapoihin helpottaa siirtymää. Siksi on tärkeää tutkia erilaisia siirtymäpolkuja ja keinoja vasta murrosten synnyttämiin haasteisiin.

Mitä haluaisit saada aikaan urasi aikana?

Tässä vaiheessa uraa voi ensisijaisesti ajatella, että on hyvä, jos on ollut mukana rakentamassa perustaa, josta muut voivat jatkaa. Ilmastomuutoksen hillintä ja siihen sopeutuminen eivät ole työurakoita, jotka valmistuvat oman urani aikana, mutta toivon tietysti, että tarvittava murros etenee mahdollisimman nopeasti. Varsinaisen työuran aikana sitä voi vauhdittaa niin paljon, kun tutkija yleensä voi: tuottamalla tietoa, valottamalla vaikeita asioita monipuolisesti, ja osallistumalla ratkaisujen kehittämiseen ja arviointiin. Kun työura hiipuu, voi edelleen kannustaa ja tukea muita ja tehdä hyödyllisiä asioita, kuten hoitaa pihaa, kasvattaa vihanneksia ja korjata polkupyöriä.





Stressitöntä päästömittausta

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

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

Tämän kaiken sinulle tarjoaa Gasmeter

Tutustu meihin tarkemmin osoitteessa www.gasmeter.com

contact@gasmeter.fi / +358 9 7590 0400

Ilmasto ja kaupunki muuttuvat. Samalla kuumarasitus kesäisin pahenee. URCLIM-hankkeessa Ilmatieteen laitos tutki, millaisissa oloissa kesiä vietetään 2030- ja 2050-luvuilla ja kuinka erilaiset kaupunkialueet ja erilaiset kaupunkikehitysskenaariot vaikuttavat kesien tukaluuteen ilmaston muuttuessa.

Adriaan Perrels, tutkimusprofessori, Ilmatieteen laitos

Carl Fortelius, tutkimuspäällikkö, Ilmatieteen laitos

Pilvi Siljamo, tutkija, Ilmatieteen laitos

Tuukka Rautio, tutkija, Ilmatieteen laitos

Reija Ruuhela, erikoistutkija, Ilmatieteen laitos

Olli Saranko, tutkija, Ilmatieteen laitos

Athanasios Votsis, Assistant Professor, Twente yliopisto, Enschede, Alankomaat

Ilmatieteen laitos osallistui vuosina 2017–2021 URCLIM-hankkeeseen (Advance on Urban Climate Services). Hankkeen tavoitteena oli parantaa paikkatietomenetelmiä ja analyysejä, jotka simuloivat ilmastonmuutoksen vaikutuksia kaupunkeihin. Tämän lisäksi tarkasteltiin kaupunkien kiinnostusta tutkimuksen mahdollistaviin erilaisiin ilmastotietopalveluihin.

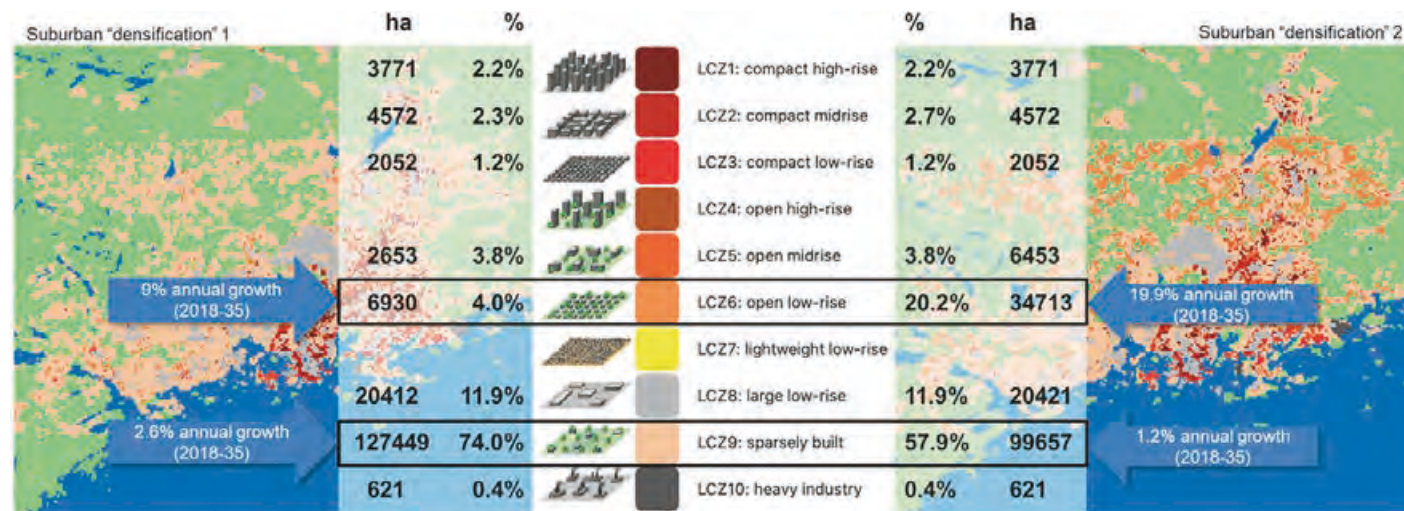
Hankkeessa keskityttiin kesien kuumuuden ja talvikauden kelin muuttumiseen kaduilla. Tässä artikkelissa tarkastelemme kesäkauden kuumien jaksosten muuttumista nykyoloista 2050-luvulle. Tiedolle on tarvetta erityisesti siitä syystä, että niin sanottu kaupunkien lämpösaareke voimistuu osaltaan kuumarasitusta, kaupungistuminen jatkuu ja helteelle haavoittuvimpien ikääntyneiden ihmisten osuus väestöstä kasvaa.

Kaupunkimallinnuksen etenemisvaiheet

Tärkeä perusidea hankkeessa oli, että kaupunkitasolla tulevaisuuden skenaarioissa täytyy ottaa huomioon sekä kaupungin spatiaalinen kehitys että ilmastonmuutoksen vaikutus. Koska kyseessä ovat vaikutuk-

Muuttuvan ilmaston vaikutuksia **KEHITTYVÄSSÄ KAUPUNGISSA**

PKS alueen kehitysskenaariot (SLEUTH)



Kuva 1. Pääkaupunkiseudun kasvuskenaariot kaupunkirakenteen tyypeittäin.

set, jotka toteutuvat useiden vuosikymmenien kuluessa, ei ole realistista tarkastella kaupungin maankäyttöä vain nykyisen kaltaisessa kaupungissa, vaan myös erilaisissa kaupunkikehitysskenaarioissa. Tämä pätee erityisesti, jos kaupunki kasvaa jatkuvasti, kuten pääkaupunkiseudulla tapahtuu.

Kaupungin sääoloja simuloitiin HARMONIE-AROME-säämallin ja siihen sisältyvän kaupunkimallin (TEB) avulla. TEB on energiatasemalli, joka simuloi jatkuvasti muuttuvan säätilan mukaisia rakennetun ympäristön eri pintojen (kadut, puistot, seinät, katot) lämpötilojen sekä muiden sääsuureiden kulkua rakennetussa ympäristössä.

Kaupungin kehitystä kuvaava malli, SLEUTH, on soluautomaattimalli, jonka avulla voidaan simuloida kaupungin maankäytön ja kaupunkirakenteen kehitystä eri aluekehitysratkaisujen mukaan. Malli ottaa huomioon sekä kaupungin historiallisen kehityksen että nykytilanteen. URCLIM-hankkeessa simuloimme pääkaupunkiseudun (PKS-alue) kehitystä.

Malli sallii estimoitujen parametrien muuttamisen, jos kaupungin spatiaalinen kasvustrategia muuttuu päätöksenteon ohjauksella. Näin on mahdollista simuloida kaupungin erilaisia kasvuvaihtoehtoja: tiivistetäänkö olemassa olevaa kaupunkirakennetta, laajeneeko kaupunki reunoilta tai pääliikenneinfrastruktuuria pitkin vai jopa satelliittitaajamien avulla. Lopulta tarkasteluun otettiin kaksi eri kaupunkikehitysskenaariota vuoteen 2055 asti. Ensimmäinen noudattaa nykykehitykseen perustuvaa kehityskulkua (vasen) ja toinen korostaa tiheämpää kaupunkirakennetta (oikea) (kuva 1). Paikkatietorasterit perus-

tuvat rakennettuun ympäristöön soveltuvaan paikalliseen ilmastoluokitukseen (local climate zone LCZ).

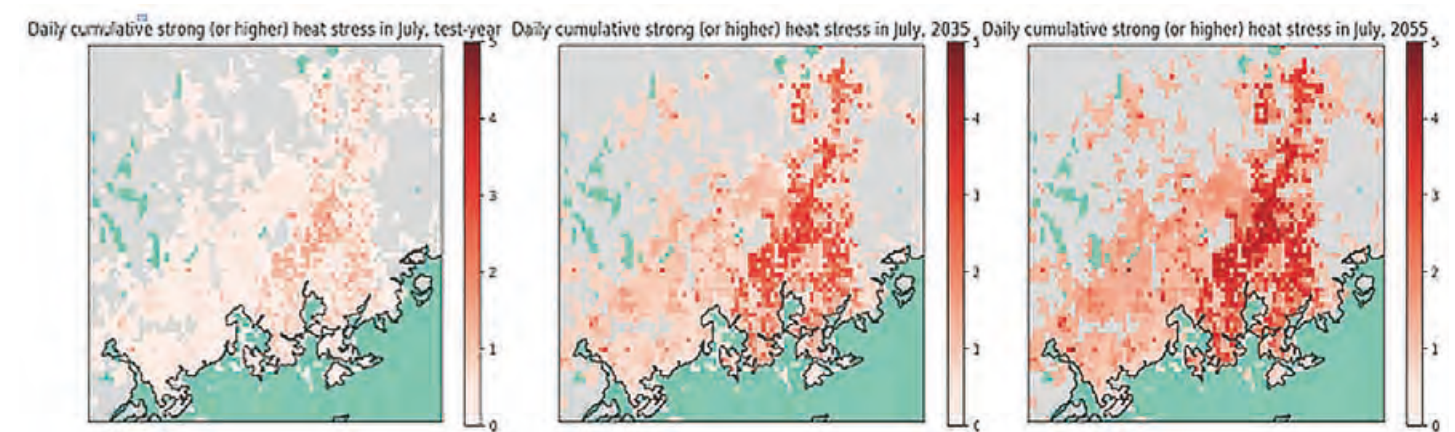
Lämpenevä ilmasto ja tiivistyvä kaupunki lisäävät kuumarasitusta

Säämallilaskelmat suoritettiin molemmille kaupunkikasvuskenaarioille sekä kuumarasituksen että katukelin osalta. Tulokset saatiin kuumarasitusten kehitys ilmastomuutoksen ja kaupunkikehityksen seurauksena tyypillisinä kesinä. 'Tyypillinen' kesä on lähihistorian havaintojen perusteella syntetisoitu keskimääräinen kesä, jossa ei aluksi ole paljon hyvin korkeita lämpötiloja.

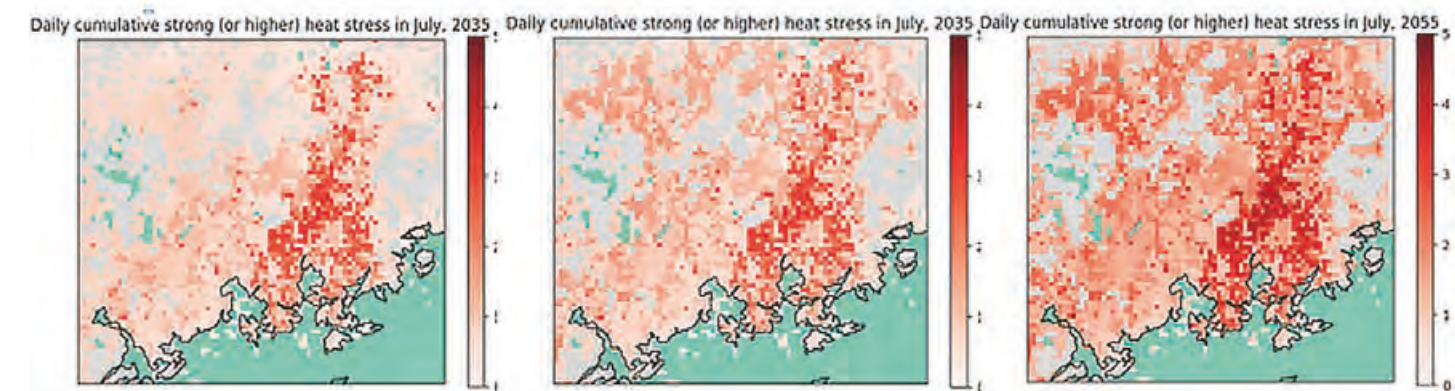
Tässä tapauksessa käytettiin voimakasta ilmastomuutosskenaariota RCP8.5. Kansainvälisen ilmastopolitiikan toimeenpanon kehitys viittaa siihen, että maltillisempi RCP4.5 skenaario on toistaiseksi nykyistä kasvihuonepäästöjen kehitystä todennäköisempi (Carbon Action Tracker 02.02.2022). Kun tyypilliseen kesään sovelletaan RCP8.5-skenaariota, syntyy kohtuullisen hyvä indikaatio kuumarasituksen kehityksestä 2050-luvulle.

2030- ja 2050-luvuilla ankan kuumarasituksen määrä kesäisin tulee lisääntymään nykyisiin verrattuna: 2050-luvulla ankaria kuumarasitustunteja voi olla jopa kolminkertaisesti. Pääasiassa tähän vaikuttaa ilmastomuutos, mutta tiivistyvä kaupunkirakenne pahentaa tilannetta entisestään.

Lievennystä kuumuuteen voi saada hyvällä kaupunkisuunnittelulla. Puistot ja puistikot, viherkatot, rakennusten vaihtelevat korkeudet ja hyvin tuuletuvat katukuilut vähentävät kuumarasitusta. Viheralu-



Kuva 2. Ilmastomuutoksen aiheuttama voimakkaan kuumarasituksen kehitys nykyisessä kaupunkitilassa: lähihistoria (vasen), v.2035 (keskellä), v.2055 (oikea) tyypeittäin.



Kuva 3. Ilmastomuutoksen aiheuttama voimakkaan kuumarasituksen kehitys muuttuvassa kaupunkitilassa: v.2035 trendi (vasen), v.2035 tiheämpi (keskellä), v.2055 tiheämpi (oikea) tyypeittäin.

eiden vaikutusta kaupunki-ilmastoon ovat Suomen oloissa tutkineet muun muassa Saranko työryhmineen. Aivan rantaviivan läheisyydessä on tulevaisuudessaakin viileämpää.

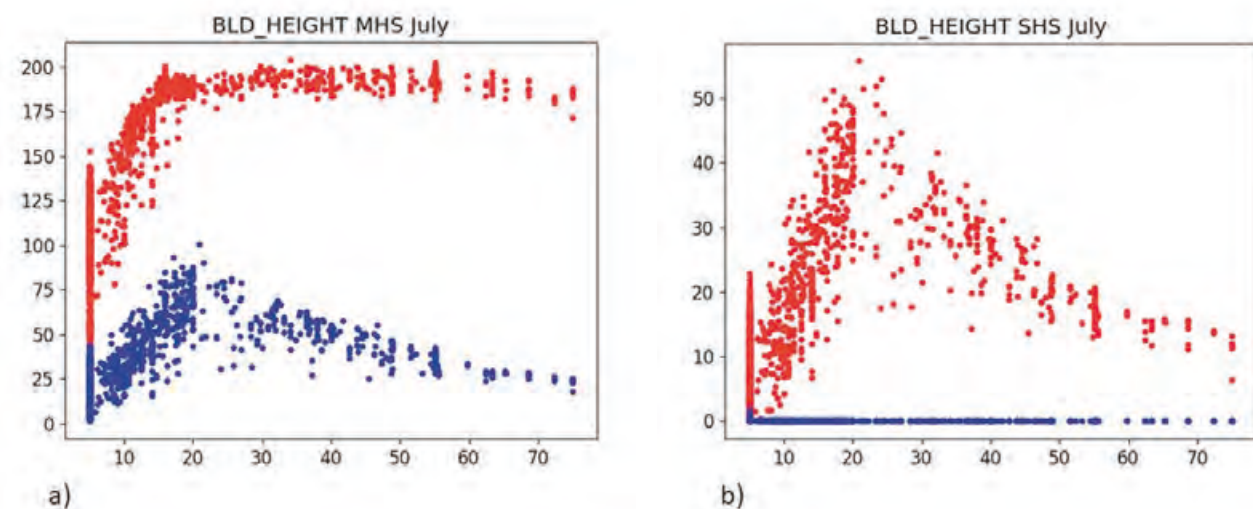
Tiheän kaupunkirakentamisen kuumarasitusta lisäävä vaikutus näkyy selvästi kuvissa 2 ja 3. Ne esittävät ankan kuumarasituksen tunteja päiviksi muunnettuina nykyisessä ja muuttuvassa kaupunkitilassa lähihistoriassa, vuonna 2035 sekä vuonna 2055. Kaikissa osakuvissa suhteellisen kuuma vyöhyke myötäilee tiheän rakentamisen alueita, kun taas lähiöt, pientaloalueet ja rakentamaton maisema (kuviissa harmaata) pysyvät viileämpinä. Lähempi tulosten analyysi mahdollistaa myös erilaisten rakennuksiin ja maankäyttöön liittyvien tekijöiden vaikutusten arvioinnin (kuva 4). Rakennusten tiheydellä, korkeudella ja myös seinäpinta-alan suhteella rakennuksen kokoon on vaikutusta. Esimerkiksi suurempi raken-

nuskorkeus liittyy yleensä lisääntyneeseen kuumarasitukseen. Kuitenkin noin 20 metrin keskimääräisen rakennuskorkeuden jälkeen, kuumentava vaikutus ei enää lisäännä, vaan saattaa jopa erityisesti ankan kuumarasituksen osalta vähentyä. Tämä voi johtua rakennusten aiheuttamasta varjostuksesta.

Puistojen viilentävä vaikutus sen sijaan näkyy mallilaskelmissa vasta melko suurella osuudella. Pinta-alasta pitää olla puistoa noin puolet tai jopa enemmän ennen kuin viilentävä vaikutus alkaa tuntua. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että pienet puistikot tai puut ja pensaat teiden varrella olisivat turhia. Mallin erotuskyky ei vain riittä laskemaan niiden luoman varjon paikallista viilentävää vaikutusta.

Paikkatietoaineistot vapaasti saatavilla HSY:n karttapalvelussa

URCLIM-hankkeen tarkoituksena oli myös kokeil-



Kuva 4. Kuumarasitusten tuntimäärät (y-akseli) rakennuskorkeuden (metriä, x-akseli) suhteessa auringossa (punainen) ja varjossa (sininen) heinäkuussa.

la uudenlaisia ilmastotietotuotteita käyttäjäryhmi-
en kanssa. Helsingin Seudun Ympäristöpalveluiden
(HSY) kanssa sovittiin kuumarasitusaineistojen tuot-
tamisesta HSY karttapalveluun (<https://kartta.hsy.fi/>),
jossa ne ovat kaikille saatavilla. Tulokset löytyvät valitsemalla valikosta Karttatason > Ilmasto ja energia >
Kaupunkisäämallin tulokset. Ensi vuoden alussa ar-
vioimme yhdessä kokemuksia palvelun käytöstä se-
kä käytön kehitystä.

Johtopäätökset ja kehitysperspektiivit

Rakennettu ympäristö vaikuttaa alueen pienilmas-
toon ja vaikutuksia pystytään simuloimaan erityy-
sillä kaupunkisäämallilla. Pitkän aikavälin kehitys-
skenaarioissa on otettava huomioon sekä muuttuva
ilmasto että kehittyvä kaupunki. Tällaisia simuloi-
nteja ja skenaarioita voidaan hyödyntää erilaisten kau-
punkien kehitysstrategioiden vaikutusten arvioinnissa
päättökseen tukena. Kaupunkisäämalli osana ope-
ratiivista sääennustetta antaa mahdollisuuksia myös
kehittää muun muassa varautumista helleaaltoihin
kaupunkialueilla.

Kuumarasituksen vähentämiskeinot ovat osittain
myös sellaisia, jotka nostavat lähellä olevien asun-
tojen markkinahintaa. Tämä hintavaikutus luo hyvän
perspektiivin sopeutumiskeinojen rahoituspohjal-
le, mutta toimeenpanon tasolla on tärkeä tietää täs-
mällisemmin tietyn ratkaisun viilentävä teho, kus-
tannus ja vaikutus asuntojen hintaan. Jos havainto-
ja ratkaisujen kyvystä ja kustannuksista sekä kyseis-
sä olevien asuntojen hintaherkyydestä riittää, olisi
lopulta mahdollista kehittää mittarit eri ratkaisuille
mallinnuksen avulla. Tällöin jo kaupunkisuunnitel-
lunvaiheessa pystyttäisiin huomioimaan sopivat koh-
tuuhintaiset reunaehdot tämän ilmastoriskin osalta.

Kirjallisuus

Bengtsson, L., Andrae, U., Aspelien, T., Batrak, Y., Calvo, J., de
Rooy, W., Gleeson, E., Hansen-Sass, B., Homleid, M., Hortal,
M., Ivarsson, K., Lenderink, G., Niemelä, S., Nielsen, K. P., Onv-
lee, J., Rontu, L., Samuelsson, P., Muñoz, D. S., Subias, A., Tijm,
S., Toll, V., Yang, X., & Költzow, M. Ø. (2017). The HARMONIE-
AROME Model Configuration in the ALADIN-HIRLAM NWP
System, Monthly Weather Review, 145(5), 1919-1935. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-16-0417.1>

Carbon Action Tracker, <https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer/>, vierailu 02.02.2022

Chitu, Z., Bojariu, R., Dascalu, S., Gothard, M., Velea, L.,
Votsis, A., Fortelius, C., Hamdi, R., Masson, V., Ruuhela, R., Sa-
ranko, O., Siljamo, P., Rautio, T., Van Schaeybroek, B., Perrels,
A. (2021), Impact simulation for combined urban and climate
change scenarios, URCLIM Deliverables 5.3 and 5.4 combin-
ed report

Masson, V. A (2000), Physically-Based Scheme For
The Urban Energy Budget In Atmospheric Models.
Boundary-Layer Meteorology 94, 357–397. <https://doi.org/10.1023/A:1002463829265>

Nurmi, V., Votsis, A., Perrels, A., Lehvävirta, S. (2016), Green
Roof Cost Benefit Analysis: Special Emphasis on Scenic
Benefits, Journal of Benefit-Cost Analysis, Volume 7, Issue 3,
pp.488-522, doi:10.1017/bca.2016.18

Saranko, O., Fortelius, C., Jylhä, K., Ruosteenoja, K.,
Brattich, E., Di Sabatino, S., Nurmi, V. (2020), Impacts of town
characteristics on the changing urban climate in Vantaa. Sci.
Total Environ. 727, 138471. <https://doi.org/10.1016/j.scitoenv.2020.138471>

Votsis, A. (2017), Utilizing a cellular automaton model to
explore the influence of coastal flood adaptation strategies on
Helsinki's urbanization patterns, Computers, Environment and
Urban Systems, Vol.64, pp. 344-355. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.04.005>



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

www.hnunordion.fi

hnu NORDION

HNU Nordion Ltd Oy

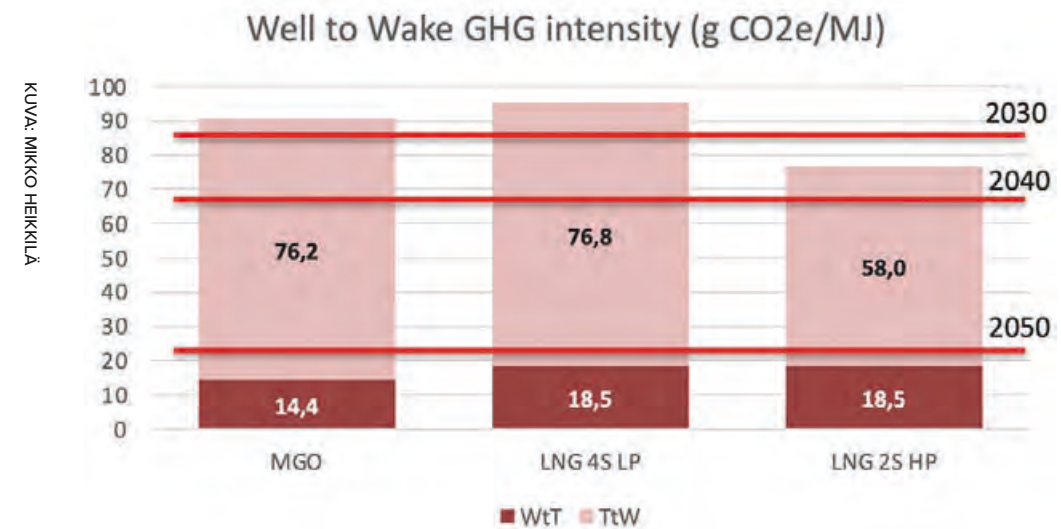
PL 1 (Atomitie 5 B 6), 00371 HELSINKI
Puh 09 - 565 7240, fax 09 - 565 724 30
myynti@hnunordion.fi

LNG-LAIVOJEN YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISYYTTÄ ON SYYTÄ TARKASTELLA

**Pelkät CO₂-päästöt saavat
LNG:n näyttämään hyvältä
– metaanivuoto kääntää
numerot toisin päin**

Nesteytettyä maakaasua käyttäviä laivoja on pidetty puhtaan merenkulun muotona pienempien hiilidioksidi-, typpioksidi- ja pienhiukkaspäästöjen vuoksi. On kuitenkin selvinnyt, että LNG-laivojen moottoreista pääsee läpi voimakasta kasvihuonekaasua metaania. Häkä- ja formaldehydipäästöt ovat myös moninkertaisesti suuremmat kuin diesellaivoilla.

Mikko Heikkilä, merikapteeni ja väitöskirjatutkija



Marine Gas Oil:n (MGO) ja nesteytetyn maakaasun elinkaari- ja polttointensiteetti (g CO₂e / MJ) matalapaine 4-tahtimoottorilla (LNG 4S LP) ja korkeapaine 2-tahtimoottorilla (LNG 2S HP). Kuvaajassa eroteltu tuotannon ja kuljetuksen (WtT) sekä polton (TtW) aikana syntyvät kasvihuonekaasupäästöt sekä EU:n Fitfor55-ilmastopakettien intensiteettirajat vuosille 2030, 2040 ja 2050.

Satukirjoissa laivojen savupiipuista tupruaa aina valkoista puhtaan näköistä kumpupilvettä. Totuus on kuitenkin tarua karmumpaa. Vaikka lämmittäjät eivät enää lapioi kivihiiltä laivojen höyrykattiloihin, merenkulku tuottaa maailman typpioksidipäästöistä 15 % ja rikkioksidipäästöistä 13 %. Siitäkin huolimatta, että meriliikenteen osuus maailman ihmisperäisistä kasvihuonekaasupäästöistä on vain noin 3 %.

Kansainvälisen laivaliikenteen haasteet

Tähän on kaksi pääasiallista syytä. Ensinnäkin laivoilla saa käyttää moninkertaisesti saastuttavampia polttoaineita kuin tieliikenteessä tai energiantuotannossa. Vuonna 2015 Itämerellä astui voimaan laivanpolttoaineiden 0,1 % rikkiraja, mutta se on edelleen 100 kertaa enemmän kuin mikä tieliikenteen dieselille on

EU:ssa sallittu (10 ppm). Sulfur Emission Control Area (SECA), joihin Itämeri, Pohjanmeri ja Pohjois-Amerikan rannikko kuuluu, ulkopuolella rikkiraja on 0,5 % eli 500 kertaa enemmän kuin maanteillä. Rikkioksidien (SO_x) ohella skorsteeneista tupruaa muun muassa häkää (CO), mustaa hiiltä (BC) ja muita hiukkasia (PM), haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (NMVOC), typen oksideja (NO_x) ja metaania (CH₄).

Toiseksi kansainvälinen merenkulku on monelta osin kansallisen ja alueellisen lainsäädännön ulottumattomissa, YK:n alaisen merenkulkujärjestö IMO:n yleissopimusten alla. Mukavuuslippujärjestelmän takia laivanvarustamojen ääni kuuluu IMO:ssa voimakkaasti. Maailman suurimmilla merenkulkumahdeilla kuten Panamalla, Liberialla ja Marshall-saarilla on paljon valtaa. Kolmikosta jälkimmäinen on alkanut tosin kallistua vihreämmän merenkulun puolelle siitä syystä, että valtiosta iso osa jää ilmastomallinnusten mukaan nousevan meriveden alle ilman todella voimakkaita toimia.

LNG-laivat ovat olleet suosittuja

Palataan metaaniin. Nesteytetty maakaasu (LNG) on yleistynyt laivan polttoaineratkaisuna, vaikka sitä markkinoitiin alun perin väliaikaisratkaisuna. Kuinka väliaikaiseksi tuo ratkaisu jää, on oma kysymyksensä.

Laivan keskimääräinen käyttöikä on 28 vuotta, ja matkustajaliikenteen alukset seilaavat tyypillisesti huomattavasti pidempään. Suomen lähiliikenteessä on käytössä useita aluksia, jotka on rakennettu 1980-luvulla. Telakoilta nyt valmistuvat uunituoreet LNG-alukset halkonevat aaltoja vielä 2050-luvulla, mutta kulkevatko ne tuolloin vielä fossiilisella LNG:llä, sitä on vaikea ennustaa.



LNG:n suosio perustuu siihen, että se täyttää voimassa olevat SO_x- ja NO_x-säätelyt ilman lisäteknologiaa. Lisäksi uusien laivojen on täytettävä jatkuvasti kiristyvä energiatehokkuusindeksi (EEDI), jonka laskukaavassa otetaan huomioon pelkästään hiilidioksidipäästöt (CO₂). LNG-laivan CO₂-päästöt jäävät 15–25 % pienemmiksi kuin diesellaivalla.

Laivanpolttoaineen ilmastojalanjälki muodostuu kuitenkin muistakin kasvihuonekaasuista kuin CO₂:sta. Euroopan unionin heinäkuussa 2021 esittelemässä Fitfor55-ilmastopakettissa laivan vuosittainen kasvihuonekaasuintensiteetti muodostuu jakamalla polttoaineen koko elinkaaren päästöt (Well to Wake) energiamäärällä (g CO₂e / MJ). Well to Wake muodostuu polttoaineen tuotannossa ja kuljetuksessa (Well to Tank) sekä itse poltossa (Tank to Wake) syntyvistä päästöistä. Tank to Wake -päästöissä otetaan huomioon poltossa syntyvä CO₂, CH₄ ja N₂O, jotka kerrotaan kunkin lämmityspotentialilla (GWP) 100 vuoden katsannolla ja saadaan näistä päästölajeista hiilidioksidiekvivalentteja.

Metaanivuodot heikentävät LNG-laivojen ilmastojalanjälkeä

LNG-moottorista vuotaa metaania ilmakehään pääasiassa sen takia, että kaikki polttoaine ei pala sylinterissä. Metaanivuoto on ollut merenkulun kuuma peruna viime vuodet: tutkijoille asia on ollut ilmiselvä, mutta sekä moottorinvalmistajat että laivanomistajat ovat olleet

vaitonaisia. Metaanivuodon määrä riippuu moottorin iästä, tyypistä ja koneen kuormasta. Matkustajalaivoilla nykyään käytössä olevat matalapaine 4-tahtimoottorit vuotavat enemmän kuin rahtilaivojen korkeapaineiset 2-tahtikoneet. Mitä pienempi koneen kuorma, sitä suurempi metaanivuoto.

Suomessa metaanivuoto herätti keskustelua marraskuussa 2021, kun Ilmatieteen laitoksen tutkimuksesta uutisoitiin Helsingin Sanomissa. Tutkimuksessa mitattiin Utössä ohi kulkevien LNG-laivojen metaanivuotoa 2015–2021. Johtopäätöksessään tutkijat toteavat, että jos LNG-laivan metaanipäästön osuus ylittää 2 % CO₂-päästöstä, nettoefekti on huonompi kuin perinteisillä polttoaineilla. Mitatut suhteet olivat nelitahtimoottorilaivoilla 1–9 % ja kaksitahtikoneilla 0,1–0,5 %.

Toisin sanoen pelkät CO₂-päästöt saavat LNG:n näyttämään hyvältä, mutta metaanivuoto kääntää numerot toisin päin. Well to Wake -laskennassa LNG:n ilmastojalanjälki huononee entisestään, koska maakaasun tuotannossa ja kuljetuksessa syntyy dieseliä enemmän kasvihuonekaasupäästöjä.

LNG:n puolestapuhujat nostavat usein esiin maakaasun pienemmät ilmanlaatuun vaikuttavat päästöt, mutta nekin kaipaavat lähempää tarkastelua. Peng työryhmiin mittasi LNG-laivan päästöjä moottorin käydessä maakaasulla ja diesellillä. Maakaasulla PM, BC ja NO_x-päästöt olivat > 90 % dieseliä pienemmät ja CO₂-päästö 18 % pienempi. Toisaalta formaldehydi (HCHO), CO ja

CH₄-päästöt olivat 5–12 kertaa dieseliä suuremmat. Maakaasulla laivan pitkäaikaisia terveysvaikutuksia aiheuttavat ilmapäästöt ovat pienemmät, mutta lyhytaikaisia terveysvaikutuksia aiheuttavat päästöt ovat suuremmat.

LNG-laivat käyttävät myös dieselpolttoainetta

Ilmanlaatuun vaikuttavat päästöt ovat sitä merkittävämmät, mitä lähempänä ihmisasutusta ollaan. Siksi on otettava myös huomioon, ettei LNG-laiva käy satamassa välttämättä maakaasulla. Tyypillisessä rahtilaivassa on propulsiovoiman kehittävä päämoottori sekä yksi tai useampia apumoottoreita sähköntuotantoon. Maakaasua saatetaan käyttää pelkästään propulsioon, ja apukoneet käyvät diesellillä. Satamassa päästöt ovat siis samat kuin diesellaivan.

Metaani ei syty mäntämoottorin sylinterissä ilman apua. Tämän vuoksi suurin osa LNG-laivamoottoreista on dual fuel -koneita, jossa sytytys varmistetaan pilttipolttoaineella, useimmiten perinteisellä laivadieselillä (MGO).

Kumipyöräliikennettä kuljettavat roro-alukset, matkustaja-autolautat sekä risteilylaivat ovat monimoottorisia ja tätä nykyä usein dieselsähköisiä, eli laivan kaikki moottorit tuottavat sähköä ja ovat pääkoneiden kokoisia. Satamassa on tyypillisesti käynnissä yksi pääkone vajaakuormalla. Andersonin työryhmän tutkimuksessa selvisi, että LNG-käyttöinen matkustaja-autolautta käy pelkällä diesellillä satamassa, kun konekuorma oli 16 %. Varustamot punnitsevat operointiaan lähtökohtaisesti taloudellisin motiivein, mikä näkyy muun muassa siinä, että maakaasun hinnan noustua talvella 2021–2022 voimakkaasti, monet siirtyivät käyttämään dieseliä LNG:n sijaan.

Helsingin satamien ilmapäästöt

Tarkastelen omassa väitöstutkimuksessani laivaliikenteen ilmapäästöjen vaikutusta Helsingissä. Pääkaupunki on poikkeuksellinen satama maailmassa, sillä 80 % laivakäynneistä tapahtuu matkustajia kuljettavilla aluksilla, joista suuren osan mukana kulkee myös lastia. Tämä ei ole tehokkain kuljetustapa, ja yksi tutkimushypoteeseistani on, että rahdin ja matkustajien jakaminen niistä tehokkaimmin kuljettaville alustyypeille todennäköisesti vähentäisi myös Helsingin meriliikenteestä muodostuvia päästöjä.

Satama-ajan päästöjä voidaan karsia kytkemällä laivat maasähköön laiturissa olon ajaksi. Fitfor55 edellyttää maasähköä tai vastaavaa järjestelmää matkustaja- ja konttilaivoille vuoteen 2030 mennessä, jos satamakäynti kestää yli kaksi tuntia. Vaikka suuri osa Helsingin laivaliikenteestä on pikaliikennettä, maasähkövaatimus vähentää laivojen satamapäästöjä arviolta 75–80 %.

Helsinki on maantieteellisesti merelle työntyvä niemennokka, ja vallitsevat lounaistuulet puhaltavat merellä sekä satamissa syntyvät päästöt kaupunkiin. Sen takia ilmanlaatu satamissa on varsin hyvä; keskimäärin parempi kuin muilla pääkaupunkiseudun mittausasemilla. Itse laivojen tuottamia ilmansaasteita on vaikea erottaa satamien ilmanlaatumittaustuloksista, mihin lienee useampia syitä: ensinnäkin itse päästölähde, eli laivan savupiippu, sijaitsee useita kymmeniä metrejä mittausaseman yläpuolella, laivan pakokaasu on kuumaa, joten se ehtii kohota yhä korkeammalle ennen kuin tuulet puhaltavat kaasut eteenpäin. Voimakkaan lämpötilainversion vallitessa laivan pakokaasut erottuvat kuitenkin ihan paljaalla silmällä keltaisena patjana Suomenlahden yllä.

Sataman ilmanlaatumittausten ja alusten liikkeiden välillä on todennettavissa oleva tilastollisesti merkitsevä assosiaatio. Epäselvää on kuitenkin se, kuinka suuri osa johtuu laivojen omista päästöistä ja toisaalta mikä on laivaan kulkevan kumipyöräliikenteen osuus. Typpioksidipitoisuudet korreloivat laivojen liikkeiden, siis lähtöjen ja saapumisien kanssa, ja rikkioksidin sekä pienhiukkaspitoisuudet sen kanssa miten monta laivaa on laiturissa.

Olisi mielenkiintoista tutkia ilmanlaatua laivojen savupiipun korkeudella, varsinkin kun monella satamalueella on nykyään asutusta, ja laivan savupiiput voivat olla suoraan parvekkeiden ja ilmanottojen tasalla.

Lähteet

- Anderson, M., Salo, K., & Fridell, E. (2015). Particle- and Gaseous Emissions from an LNG Powered Ship. *Environmental Science & Technology*, 49(20), 12568–12575. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02678>
- Grönholm, T., Mäkelä, T., Hatakka, J., Jalkanen, J.-P., Kuula, J., Laurila, T., Laakso, L., & Kukkonen, J. (2021). Evaluation of Methane Emissions Originating from LNG Ships Based on the Measurements at a Remote Marine Station. *Environmental Science & Technology*, 55(20), 13677–13686. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03293>
- Peng, W., Yang, J., Corbin, J., Trivanovic, U., Lobo, P., Kirchen, P., Rogak, S., Gagné, S., Miller, J. W., & Cocker, D. (2020). Comprehensive analysis of the air quality impacts of switching a marine vessel from diesel fuel to natural gas. *Environmental Pollution*, 266, 115404. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.115404>



KUVA: VIKING LINE



ISY:n uusi sihteeri esittäytyy

Olen innoissani päästessäni mukaan Ilmansuojeluyhdistyksen toimintaan. Ilmansuojeluyhdistys on tehnyt jo pitkään arvokasta työtä ilmastoon ja ilmanlaadun eteen. Koen olevani oikeassa paikassa, sillä Suomen luonto, ympäristö ja ilmasto ovat minulle tärkeitä elementtejä.

Lempipaikkani Helsingissä on keskuspuisto ja vapaa-aikaani kulutankin siellä paljon koiran kanssa ulkoillen. Kesäisin vietän paljon aikaa mökillä, jossa lempipuhani on kalastus ja luonnosta nauttiminen. Lisäksi olen intohimoinen tennisharrastaja.

Minulla on useiden vuosien kokemus asiantuntijatyöstä lääkeyhtiö Orionilla ja tällä hetkellä viimeistelen myös kandidointia Helsingin yliopiston ympäristö- ja luonnonvarataloustieteiden parissa.

Olen iloinen ja kiitollinen saamastani luottamuksesta ja toivon, että tapaamme mahdollisimman monen kanssa Ilmansuojeluyhdistyksen toiminnan parissa!

-Hanne Hartikainen -



ILMANLAADUN JA UUSIUTUVAN ENERGIAN ASIAANTUNTIJA

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

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



Kuva: Laura Kadlin



HALLITUS / STYRELSE

Puheenjohtaja / Ordförande
Anu Kousa

Varapuheenjohtaja / Viceordförande
Maija Leino

Jäsenet / Medlemmar
Suvi Haaparanta
Helena Kivi-Koskinen
Ville-Veikko Paunu
Kari Wellman

Varajäsenet / Suppleanter
Antti Hyvärinen
Rea Oikkonen
Tuula Pellikka
Janne Ruuth

ILMANSUOJELUYHDISTYS

Ilmansuojeluyhdistys (ISY) toimii alansa valtakunnallisena ympäristönsuojelujärjestönä. Ilmansuojeluyhdistyksen tarkoituksena on edistää ilmansuojelua ja ilmansuojelututkimusta Suomessa sekä toimia yhdyssteinä ilmansuojelun parissa työskentelevien henkilöiden ja yhteisöjen välillä Suomessa ja ulkomailla. Ilmansuojeluyhdistys pyrkii toiminnallaan edistämään ilmansuojelualalla toimivien henkilöiden ammattitaitoa. Ilmansuojeluyhdistys on perustettu vuonna 1976.

Ilmansuojeluyhdistys:

1. seuraa alansa tutkimuksen, koulutuksen, tekniikan sekä hallinnon ja lainsäädännön kehitystä
2. suunnittelee ja järjestää koulutusta sekä keskustelutilaisuuksia
3. järjestää ekskursioita kotimaassa ja ulkomaille
4. tiedottaa ajankohtaisista ilmansuojeluasioista jäsenlehdessään
5. antaa lausuntoja ja tekee esityksiä alansa kuuluvista asioista
6. harjoittaa julkaisutoimintaa
7. osallistuu kansainväliseen tiedonvaihtoon

LUFTVÅRDSFÖRENINGEN

Luftvårdsföreningen fungerar som nationell miljöförädlingsförening. Luftvårdsföreningens syfte 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 yrkeskvalitet hos personer som arbetar med luftvårdsfrågor. Luftvårdsföreningen är grundad år 1976.

Luftvårdsföreningen:

1. följer med den vetenskapliga, forskningsmässiga, tekniska samt förvaltnings- och lagstiftningsmässiga utvecklingen i sin bransch
2. planerar och ordnar skolningstillfällen samt bedriver publikationer
3. ordnar excursionsbåda 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

YHTEYSTIEDOT / KONTAKT

ILMANSUOJELUYHDISTYS RY

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

www.isy.fi

@ISY_fi

www.facebook.com/ilmansuojeluyhdistys

FINNISH AIR POLLUTION PREVENTION SOCIETY

Finnish Air Pollution Prevention Society (FAPPS) is the national air pollution prevention association. The purpose of FAPPS is to prevent air pollution and to promote the research of air protection in Finland. FAPPS connects people and communities working with air protection issues in Finland and abroad. FAPPS aims to further the professional skills of the people working in the field. FAPPS was founded in 1976.

FAPPS:

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



Ilmansuojelu-lehden lukijatutkimus oli avoinna ISY:n verkkosivuilla lokamarraskuussa 2021. Kiitämme kaikkia vastaajia.

LUKIJATUTKIMUS 2021

Lukijatutkimuksessa kiiteltiin Ilmansuojelu-lehden asiantuntevia artikkeleita

Lehteä lukevat oletetusti ilmansuojelun ja ilmastonsuojelun asiantuntijat. 75 % vastajista lukee lehden mieluummin paperisena kuin sähköisenä. Lehden aiheita pidetään mielenkiintoisina ja lehdestä saadaan uutta tietoa. IS-lehteä pidetään erittäin luotettavana. Helppolukuisuuteen tulee jatkossa kiinnittää huomiota, sillä tässä osiossa vastauksissa oli eniten hajontaa.

Avoimissa vastauksissa saimme kiitoksia kiinnostavista ja monipuolisista artikkeleista. IS-lehteä pidetään ammatillisesti tärkeänä. Vastauksissa mainittiin myös lehden teks-

tin pieni koko, joten olemme nyt suurentaneet tekstiä tämän vuoden alusta alkaen. Toivottavasti muutos parantaa artikkelien luettavuutta.

Viime vuoden kolmen ensimmäisen lehden jutuista kiinnostavimpana pidettiin numerossa 3 ollutta juttua: Ilmakehän musta hiili vaikuttaa ilmanlaatuun, terveyteen ja ilmastoon. Jutun kirjoittivat Hilka Timonen, Topi Rönkkö ja Sanna Saarikoski.

Ilmansuojelu-lehden ulkoasua pidetään miellyttävänä. Lehti sai kouluarvosanaksi hienot 8 ½. Tästä on hyvä jatkaa.

KIRJOITTAJAT 1/2022

PIA ANTILA

erikoistutkija
Ilmatieteen laitos
pia.anttila@fmi.fi

CARL FORTELIUS

tutkimuspäällikkö
Ilmatieteen laitos
carl.fortelius@fmi.fi

MIKKO HEIKKILÄ

ilmakehätieteen väitöskirjatutkija
mikko.heikkila@helsinki.fi

OTTO HÄNNINEN

erikoistutkija
Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitos
otto.hanninen@thl.fi

ANTTI KORHONEN

tutkija
Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitos
ja Itä-Suomen yliopisto
antti.korhonen@thl.fi

EMMA LILJESTRÖM

projektipäällikkö
Sitowise Oy
emma.liljestrom@sitowise.com

SUVI MONNI

johtava asiantuntija
Sitowise Oy
suvi.monni@sitowise.com

ADRIAAN PERRELS

tutkimusprofessori
Ilmatieteen laitos
adriaan.perrels@fmi.fi

TUUKKA RAUTIO

tutkija
Ilmatieteen laitos
tuukka.rautio@fmi.fi

MARJUT ROPONEN

apulaisprofessori
Itä-Suomen yliopisto
marjut.roponen@uef.fi

ISABELL RUMRICH

tutkija
Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitos
ja Itä-Suomen yliopisto
isabell.rumrich@thl.fi

REIJA RUUHELA

erikoistutkija
Ilmatieteen laitos
reija.ruuhela@fmi.fi

OLLI SARANKO

tutkija
Ilmatieteen laitos
olli.saranko@fmi.fi

PILVI SILJAMO

tutkija
Ilmatieteen laitos
pilvi.siljamo@fmi.fi

ATHANASIOS VOTSIS

Assistant Professor
Twente yliopisto,
Enschede, Alankomaat
a.votsis@utwente.nl

