

IS

4 | 2024

ILMANSUOJELU

ARKTISEN MERILIIKENTEEn vaikutus ilmanlaatuun ja ilmastoon s. 4

LENTOKONEIDEN PÄÄSTÖJEN ilmastovaikutukset – selvää ja epäselvää tietoa s. 8

TIELIIKENTEEn päästövähennoystoimet ja niiden vaikutukset s. 12

ILMANSAASTEIDEN PITOISUUDET pääväylän ja meluseinän läheisyydessä s. 16

MAASÄHKÖN KÄYTTÖ vähentää tehokkaasti ilmapäästöjä satama-alueella s. 20

LIIKENNE
TEEMANUMERO

4

Arktisen alueen jääpeite vetäytyy, ja samalla laivaliikenne alueella vilkastuu. Liikenteen päästöjen pelätään uhkaavan alueen luontoa – ja ilmaa.

KUVA: ANNIE SPRATT / UNSPLASH



KUVA: JARKKO NIEMI / HSY

16

Uusia mittausteknologioita hyödyntänyt mittauskampanja selvitti melusteiden roolia tieliikenteen päästöjen leviämisessä ympäristöön.



8

Lentokoneiden energiatehokkuus on parantunut 70 prosenttia ensimmäisten matkustajasuihkukoneiden ajoista. Päästöjen vaikutusten arviointi on silti vielä nykyäänkin haastavaa.

KUVA: GARY LOPATER / UNSPLASH



KUVA: VEIKKO SOMERPURU / HELSINGIN SATAMA OY

20

Maasähkö on hyväksi havaittu keino pienentää laivojen päästöjä satamissa. Myös Helsingin satamien ilmanlaatu on parantunut.



SISÄLLYS 4 | 2024

- 4 **ARKTISEN MERILIIKENTEEN** vaikutus ilmanlaatuun ja ilmastoon
- 8 **LENTOKONEIDEN PÄÄSTÖJEN** ilmastovaikutukset – selvää ja epäselvää tietoa
- 12 **VIERASKYNÄ: TIELIIKENTEEN PÄÄSTÖVÄHENNYSOIMET** ja niiden vaikutukset
- 16 **ILMANSAASTEIDEN PITOISUUDET** pääväylän ja meluseinän läheisyydessä
- 20 **MAASÄHKÖN KÄYTTÖ** vähentää tehokkaasti ilmapäästöjä satama-alueella
- 24 **OPINNÄYTETYÖ:** Tieliikenteen ajoneuvojen renkaiden kulumisesta aiheutuvat mikromuovipäästöt
- 28 **VALOKEILASSA:** Saara Jääskeläinen
- 30 **OPINNÄYTETYÖ:** Laivamoottorin pienhiukkaspäästöjen valoa absorboivista ominaisuuksista
- 34 **VIERASKYNÄ: VOIKO LENTÄMISTÄ VÄLTÄÄ?** – Kokemuksia maa- ja merimatkailusta

Pääkirjoitus

Liikenteelle suitset!

Marraskuun ilmastollinen jännitysnäytelmä eli COP 29 -kous saatiin onneksi lopulta maaliin, mutta maailman maiden jokavuotinen dramaattinen vastakkainasettelu ilmastoasioissa ei totisesti lupaa hyvää ilmastotoimien varsin tarpeelliselle ja paljon puhutulle kiihdyttämiselle. EU:n tuore ilmanlaatudirektiivi on osaltaan hyvä ja tarvittava avaus lainsäädännön kautta tapahtuvaan tahdin kiristämiseen, mutta suurten päästöjen maiden toimettomuus on varsinainen elefantti ilmastokokouksessa. Tarvittaisiin kaikkien maiden hallitusten – eli poliitikkojen, eli äänestäjien – vihreää heräämistä, jotta tavoitteisiin päästäisiin, mutta surullisesti USA:n vaalien tuloksena länsimaiden kärki heittäytynee jälleen vapaamatkustajaksi.

Poliittinen laiskuus koskee myös liikennettä: Liikennemäärien kasvun rajoittaminen olisi tervetullut poliittinen trendi ainakin siihen asti, kunnes myös ei-etuoikeutetuilla on aitoja mahdollisuuksia vähäpäästöiseen liikkumiseen – tai kunnes yhtäkkiä viihdymmekin metaversumissa niin hyvin, ettei haluja matkustamiseen tai rahtiin enää ole.

Tämä lehti on Ilmansuojelun ensimmäinen teemanumero pitkään aikaan. Käsittelemme liikenteeseen liittyviä aiheita ilman- ja ilmansuojelun näkökulmasta. Ensimmäisessä artikkelissa tutustutaan arktisen merialueen tilanteeseen. Aluetta kuormittaa lisääntyvä liikenne ja ympäristöuhkien pelätään toteutuvan ilmansaasteiden lisäksi öljyvudon muodossa.

Toisessa artikkelissa lennämme yläilmoihin, sillä eläköitynyt lentoyhtiön kestävä kehityksen johtaja käy läpi, mitä tiedämme lentokoneiden päästöjen vaikutuksista tällä hetkellä.

Seuraavaksi Suomen ilmastopaneelin edustajat kirjoittavat Vieraskynä-palstallamme tieliikenteen päästövähennystoimista ja niiden vaikutuksista. Paneeli on kartoittanut eri toimien vaikutuksia sekä kasvihuonekaasupäästöihin että valtiontalouteen ja ehdottaa kartoituksen perusteella selkeitä toimenpiteitä.

Jatkamme tieliikenne-aiheella, sillä neljännessä artikkelissa esittelemme kiinnostavan tutkimuksen Turunväylän varrelta: Uusia teknologioita hyödyntävä tutkimus pyrki selvittämään, miten meluseinä vaikuttaa pakokaasujen ja katupölyn leviämiseen väylien lähistölle.

Lehden toisessa meriliikenneaiheisessa jutussa kerromme laivojen päästöistä ja satamien mahdollisuuksista vaikuttaa alueensa päästöihin. Maasähkön käyttö on yleistynyt ja toimii huomattavana päästövähentäjänä – myös Helsingin satamissa.

Tällä kertaa lehdestä pääsee lukemaan kahden ISY:n palkitseman tuoreen maisterin liikenneaiheiset opinnäytetyöartikkelit. Ensin käsitellään tieliikenteen rengaskulumista aiheutuvia mikromuovipäästöjä. Toinen opinnäyte luotaa laivamoottorien pienhiukkaspäästöjen valoja absorboivia ominaisuuksia.

Kirsikkana kakun päällä toisessa Vieraskynä-artikkelissa päästään kuulemaan, miten sujui lentomatkustamisen boikotointi matkalla Suomi–Alankomaat–Suomi. Matkakertomus toimikoon innoittajana ilmastotekoihin!

Raikasta ja ilmavaa joulua!

TYTTI RINTANEN

Päätoimittaja

Korjaus Ilmansuojelun 3/24-numeroon: Kerroimme Utön retken jutussamme virheellisesti ISY:n ensimmäisen puheenjohtajan olleen Matti Hahkala. Ensimmäinen puheenjohtaja oli kuitenkin Alec Estlander vuosina 1976–79 ja Hahkala seurasi häntä puheenjohtajana 1980–83.



ILMANSUOJELU-
YHDISTYS ry.

ILMANSUOJELU-LEHTI

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

Lehti ilmestyy neljä kertaa vuodessa.

Päätoimittaja / Redaktör

Tytti Rintanen
ilmansuojelulehti@isy.fi

Toimituskunta / Redaktionsråd

Suvi Haaparanta, Helsingin kaupunki
Petteri Haveri, Energiatieteiden keskus
Niina Kuittinen, VTT Oy
Katrianne Lehtipalo, Helsingin yliopisto
Hanna Pitkänen, Vantaan energia
Karri Saarnio, Ilmatieteen laitos
Laura Sokka, Suomen ympäristökeskus
Antti Tohka, Metropolia AMK
Jari Viinanen, Vantaan kaupunki
Outi Väkevä, HSY

Taitto / Ombrytning

Tytti Rintanen

Kannen kuva / Omslagsbild

Diego Vitali / Unsplash

Paino / Tryckeri

Scanseri Oy

ISSN-L 1239-8950

ISSN 1239-8950 (Painettu)

ISSN 2323-1211 (Verkkójulkaisu)

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

Ilmoitukset / Annonser

Ilmoitushinnat normaali tai yritysjäsen /
Annonspis vanligt eller för medlemmar:
1/1 sivu 420 € tai 350 €
1/2 sivu 320 € tai 270 €
1/3 sivu 250 € tai 210 €

Kestoilmottajille lisäksi 20 % alennus
Fortgående annons ger 20 % rabatt

Tilaukset / Beställningar

Myös yksittäisnumeroiden tilaukset ja
osoitteenmuutokset /
Beställning av enskilda nummer och
adressförändringarna:

Ilmansuojeluyhdistys ry

Sihteeri Hanne Hartikainen

PL 136,

00251 Helsinki

Puh. 045 1335989

sihteeri@isy.fi

ARKTISEN MERILIIKENTEEEN vaikutus ilmanlaatuun ja ilmastoon

Laivaliikenne arktisella alueella on vilkastunut viimeisen vuosikymmenen aikana. Jääpeitteen vetäytymisen, rikkaiden luonnonvarojen ja geopoliittisten paineiden seurauksena laivaliikenteen kasvu alueella tulee todennäköisesti jatkumaan myös tulevaisuudessa. Lisääntyvä laivaliikenne tarkoittaa myös laivojen aiheuttamien ympäristöpaineiden, esimerkiksi ilmansaastepäästöjen, voimistumista. Erityisesti laivaliikenteen aiheuttamat mustan hiilen päästöt ja mahdollisuus vakavaan öljyonnetto-muuteen huolestuttavat. Tänä vuonna alustavasti voimaan astunut raskaan polttoöljyn käyttökielto arktisella alueella on tarpeellinen sekä meriympäristön suojelemisen, että ilmanlaadun ja ilmaston kannalta.



KUVA: ANNIE SPRATT / UNSPLASH

Elisa Majamäki, tutkija, Ilmatieteen laitos

Ilmastomuutoksen seurauksena maapallon keskilämpötila nousee ja napa-alueilla tämä muutos tapahtuu globaalia keskiarvoa nopeammin (Rantanen et al. 2022). Lämpenemisen seurauksena arktisen alueen jäätiköt sulavat: Yhä suurempia merialueita on jäättömänä ja olemassa oleva jää on nuorempaa ja ohuempaa kuin ennen. Arktisen alueen muutokset ovat uhka paikallisille ekosysteemeille, mutta tarjoavat myös uusia taloudellisia mahdollisuuksia. Jääolosuhteissa ajaminen pakottaa laivat hidastamaan nopeutta ja kasvattaa niiden polttoaineenkulutusta. Lisäksi suuri osa maailman laivoista ei pysty turvallisesti kulkemaan jääolosuhteissa.

Jääpeitteen vetäytyessä, erityisesti kesäkauden aikana, laivoille aukeaa uusia liikennöintimahdollisuuksia arktisella alueella. Laivareitit arktisen alueen kautta voivat lyhentää merkittävästi rahtiliikenteen kulkemien matkoja esimerkiksi Itä-Aasiasta Eurooppaan ja Pohjois-Amerikkaan. Myös poliittiset paineet voivat lisätä kiinnostusta arktisen alueen merireitteihin. Alueella on runsaasti merkittäviä luonnonvaroja, joiden hyödyntäminen on yhä helpompaa ja kannattavampaa jään sulaessa. Näiden mineraali-, öljy- ja kaasuvarojen hyödyntämiseen liittyvä logistiikka lisää osaltaan laivaliikennettä.

Tällä hetkellä arktisella alueella on paljon kalastustoimintaa ja yleisin laivatyyppi siellä onkin kalastusalus. Muun liikenteen lisäksi ainutlaatuinen arktinen ympäristö

houkuttelee alueelle risteilyaluksilla matkustavia turisteja. Risteilyalusten aktiviteetti on pitkälti keskittynyt pohjoismaiden ja Pohjois-Amerikan rannikolle. Laivaliikenteen määrän on ennustettu kasvavan arktisella alueella tulevien vuosikymmenten aikana (Corbett et al. 2010) ja havaittu liikennemäärä onkin kasvussa. Esimerkiksi laivojen arktisella alueella kulkeman kokonaismatkan on arvioitu kaksinkertaistuneen viimeisen vuosikymmenen aikana (PAME 2024).

Meriliikenteen polttoaineet ja ympäristövaikutukset

Meriliikenteestä syntyy ilmakehään päästöjä, jotka voivat sekä heikentää ilmanlaatua että vaikuttaa ilmastoon. Laivaliikenteestä syntyy myös mereen päästöjä, kuten esimerkiksi jätevesi- ja öljypäästöjä, sekä melua. Näiden lisäksi laivojen rungon, sekä painolastiveden mukana arktiselle alueelle voi kulkeutua vieraslajeja, jotka ovat uhka paikallisille ekosysteemeille.

Perinteisesti laivaliikenne on käyttänyt öljypohjaisia polttoaineita, joista yleisin on ollut raskas polttoöljy. Raskaan polttoöljyn lisäksi laivaliikenne käyttää polttoaineena kevyttä polttoöljyä, meridieseliä ja nesteytettyä maakaasua (IMO 2022). Laivaliikenteen lainsäädäntö eroaa esimerkiksi maaliikennettä koskevasta lainsäädännöstä, koska suurin osa merialueista on kansainvälistä aluetta. YK:n alainen Kansainvälinen merenkulkujärjestö (IMO) on laivaliikenteen ympäristösäätelyn ylin taho, ja määrittelee muun muassa sallitut polttoaineet ja päästöraajat.

Vuonna 2020 meriliikenteen käyttämien polttoaineiden rikkipitoisuuden ylärajaa laskettiin 3,5 prosentista 0,5 prosenttiin. Raskasta polttoöljyä on kuitenkin voinut käyttää myös tämän jälkeen joko rikkipesurin kanssa tai käyttämällä vähärikkisiä versioita raskaasta polttoöljystä. Rikkipesurit puhdistavat rikkijhdisteitä savukaasuista. Tyypillisin laivaliikenteen käyttämä rikkipesuri käyttää savukaasun puhdistamiseen merivettä, joka lasketaan käytön jälkeen mereen. Rikkipesurien puhdistusvedet ovat hyvin happamia (pH noin 3–4) ja voivat laimennettuina sisältää merieliöstölle haitallisia yhdisteitä ja raskasmetalleja ja siitä syystä niiden käytön yleistymisen on uhka meren ekosysteemeille (Hermansson et al. 2024).

Arktisen laivaliikenteen yhteydessä erityisesti mahdollisuus öljyonnettomuuteen on herättänyt huolta. Arktisessa ympäristössä öljyntorjunta on haastavaa ja joissain tilanteissa jopa mahdotonta. Öljyonnettomuuden riski on ollut yksi tärkeimmistä kannustimista meriympäristölle erityisen haitallisen raskaan polttoöljyn käyttökiellon asettamiseksi arktisella alueella. Raskaan polttoöljyn käyttäminen ja kuljettaminen on ollut kielletty Etelämantereen merialueilla jo vuodesta 2011. Arktisella alueella vastaava kielto on tullut alustavasti voimaan kesällä 2024 ja lopullisesti käyttökielto astuu voimaan vuonna 2029.

Lakiesityksen valmistelun aikana julkaistun tutkimuksen (Comer et al. 2020) mukaan suuri osa arktisella alueella kulkevista aluksista voi jatkaa raskaan polttoöljyn käyttämistä vielä alustavan kiellon jälkeenkin vuoteen 2029 asti. Raskaan polttoöljyn käyttökiellosta on hyötyjä myös ilmanlaatua ja ilmastoa ajatellen, koska monen päästölajin kohdalla raskaan polttoöljyn käytöstä syntyy muita polttoaineita suuremmat päästöt. Lisäksi rikkipesurit ovat tarpeettomia, jos raskasta polttoöljyä ei käytetä.

Kasvihuonekaasupäästöt

Fossiilisella polttoaineella kulkevat laivat tuottavat kasvihuonekaasupäästöjä, jotka edistävät ilmaston lämpenemistä. Laivaliikenne tuottaa kokonaisuudessaan noin 3 prosenttia globaaleista ihmisen aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä (Faber et al. 2020). Kasvihuonekaasuja tarkasteltaessa arktisella alueella syntyy tällä hetkellä vain muutamia

prosentteja laivaliikenteen globaaleista päästöistä. Osuus voi toki kasvaa tulevaisuudessa, jos laivaliikenne arktisella alueella vilkastuu. Kasvihuonekaasupäästöjen ilmastoa lämmittävän vaikutuksen kannalta päästölähteen sijainnilla ei kuitenkaan ole yhtä suurta merkitystä kuin lyhytikäisillä ilmansaastepäästöillä, ja laivaliikenteen globaalit kasvihuonekaasupäästöt kiihdyttävät myös arktisen alueen lämpenemistä.

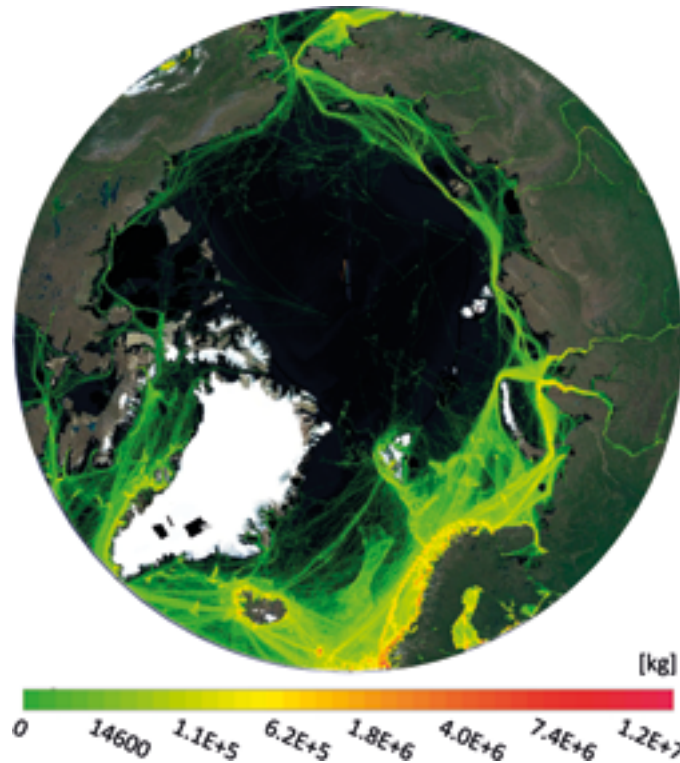
Merkittävimmät laivaliikenteen tuottamat kasvihuonekaasut ovat hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄) ja dityppioksidi (N₂O). Vuoden 2024 alusta kaikkien EU-alueen satamiin saapuvien tai sen satamista lähtevien suurten (bruttovetoisuus vähintään 5000) alusten hiilidioksidipäästöt sisältyvät EU:n päästökaupparjestelmään. Myös metaani ja typpioksiduuli lisätään järjestelmään vuonna 2026. Tämän lisäksi IMO on asettanut tavoitteekseen, että kansainvälisen laivaliikenteen netto-kasvihuonekaasupäästöt ovat nollassa vuoteen 2050 mennessä.

Hiilidioksidia syntyy kaikista perinteisillä polttoaineilla kulkevista laivoista. FMI-STEAM -päästömallilla lasketut laivaliikenteen hiilidioksidipäästöt vuonna 2023 (kuva 1) kuvastavat myös laivaliikenteen aktiivisuutta arktisella alueella. Ilmatieteen laitoksella kehitetty laivapäästömalli FMI-STEAM tuottaa arvioita globaalin laivaliikenteen aiheuttamista ilma-, vesi-, ja melupäästöistä perustuen Automatic Identification System (AIS) -dataan (Jalkanen et al. 2009; Johansson et al. 2017).

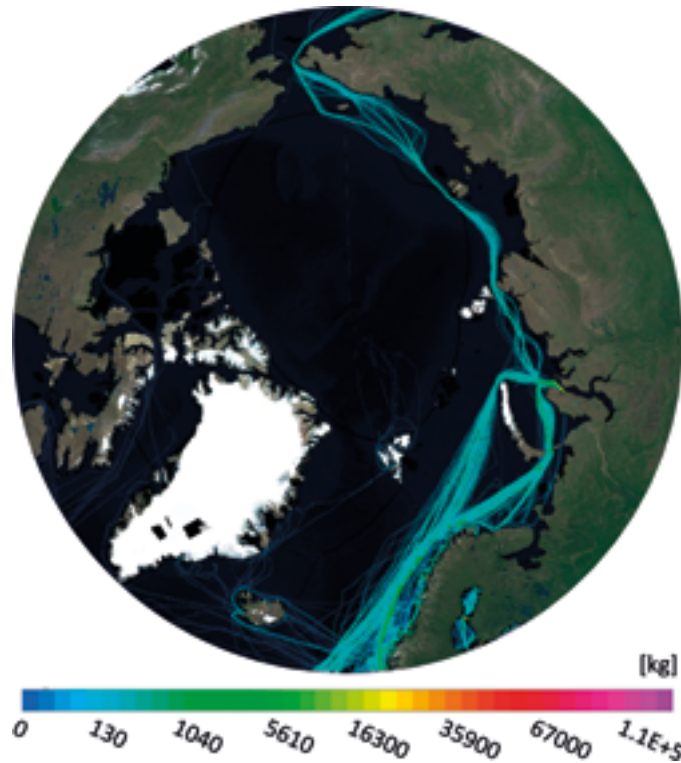
Metaanipäästöjä syntyy erityisesti nesteytettyä maakaasua polttoaineenaan käyttävistä aluksista. Nesteytetty maakaasu koostuu pääosin metaanista, joka on itsessään voimakas, noin 30 kertaa hiilidioksidia voimakkaampi, kasvihuonekaasu. Metaanin tulisi palaa moottorissa, jolloin sitä ei esiintyisi pakokaasussa, mutta palaminen voi jäädä epätäydelliseksi ja osa metaanista vapautuuikin sellaisenaan ilmakehään. FMI-STEAM -päästömallilla mallinetuissa laivaliikenteen metaanipäästöissä (kuva 2) korostuu Venäjän arktisella alueella kulkevien kaasutankkerien päästöt. Esimerkiksi Jamalin kaasukentältä pohjois-Siperiasta lähtee LNG:tä polttoaineenaan käyttäviä tankkereita kohti Eurooppaa ja Itä-Aasiaa.

KUVA: ANNIE SPRATT / UNSPLASH





Kuva 1. Laivaliikenteen kokonaishiilidioksidipäästöt pan-arktisella (latitudi >60°) alueella vuonna 2023. Päästöt on mallinnettu FMI-STEAM -laivapäästömallilla.



Kuva 2. Laivaliikenteen kokonaismetaanipäästöt pan-arktisella (latitudi >60°) alueella vuonna 2023. Päästöt on mallinnettu FMI-STEAM -laivapäästömallilla.

KUVA 1 JA 2 TAUSTAKARTAT: GOOGLE, LANDSAT COPERNICUS / IBCAO / U.S GEOLOGICAL SURVEY

Musta hiili

Kasihuonekaasupäästöjen lisäksi laivat tuottavat pienhiukkaspäästöjä, esimerkiksi mustaa hiiltä. Arktisella alueella syntyneet mustan hiilen päästöt nopeuttavat lumen päälle laskeutuessaan arktisen alueen lämpenemistä entisestään, koska jää- ja lumipinnat tummenevat. Tummentuneen lumen ja jään albedo, eli heijastavuus, on matalampi kuin puhtaan pinnan, jolloin jäätikkö heijastaa vähemmän auringon säteilyä. Lisäksi lumen ja jään sulaminen nopeutuu sen tummentuessa ja absorboidessa enemmän auringon lämpösäteilyä.

Musta hiili on ilmakehässä varsin lyhytikäinen ilmansaaste ja siksi paikalliset päästölähteet ovat merkittävässä roolissa. Laivaliikennettä voidaan tämän vuoksi pitää yhtenä tärkeimmistä päästölähteistä; laivathan pystyvät kulkemaan aivan jäätikön läheisyydessä. IMO:n neljäs kasviuonekaasuraportti arvioi, että jos laivaliikenteen mustan hiilen päästöt vuonna 2018 muutetaan hiilidioksidiekvivalentiksi, ne vastaisivat noin 7 prosenttia laivaliikenteen kasviuonekaasupäästöistä (Faber et al. 2020).

Mustan hiilen päästöjen suuruuteen vaikuttaa monta tekijää, kuten laivan polttoaine, moottorin tyyppi ja ikä, sekä laivan ajotapa. Esimerkiksi hitaalla nopeudella ja matalalla konekuormilla mustan hiilen päästöjä syntyy yleensä enemmän kuin laivan ajaessa korkeammalla kuormalla. Laivaliikenteen käyttämistä polttoaineista suurimmat mustan hiilen päästöt syntyvät raskaasta polttoöljystä.

Vaikka vähärikkisemmän raskaan polttoöljyn käytöstä syntyy vähemmän terveydelle haitallisia rikkioksideja, rikkipitoisuuden laskeminen vaikuttaa vain vähän syntyneisiin mustan hiilen päästöihin. Tästä syystä raskaan polttoöljyn käyttökielto auttaa myös vähentämään mustan hiilen

päästöjä. Puhtaasti palavan nesteytetyn maakaasun käytöstä ei synny juuri ollenkaan mustan hiilen päästöjä, mutta palamattoman metaanin päästöt tulisi saada minimoitua, jotta maakaasun käyttäminen polttoaineena on kannattavaa ilmastonäkökulmasta.

Meriliikenteen vaikutukset ilmanlaatuun

Laivaliikenteestä syntyy useita ilmanlaatua heikentäviä yhdisteitä, esimerkiksi typen ja rikin oksideja sekä pienhiukkasia. Laivaliikenteen vaikutus ilmanlaatuun näkyy ennen kaikkea satamakaupungeissa ja rannikoilla vilkkaiden laivareittien varrella. Harvaan asutulla arktisella alueella laivaliikenteen vilkastumisella voi olla huomattava vaikutus paikalliseen ilmanlaatuun, koska muita päästölähteitä on alueella rajallisesti.

Kuten laivaliikenteen päästökartoista (kuvat 1 ja 2) nähdään, laivaliikenne on hyvin voimakkaasti keskittynyt rannan läheisyyteen arktisella alueella. Vuonna 2020 voimaan astunut matalampi laivaliikenteen polttoaineen rikkiraja on vähentänyt laivaliikenteestä syntyneiden rikkidioksidien määrää, sekä jonkin verran myös hiukkaspäästöjen määrää. Arktiselle alueelle on tämän lisäksi suunniteltu kaksi uutta rikkipäästöjen erityisaluetta (SECA) ja typenoksidipäästöjen erityisaluetta (NECA) Norjan ja Kanadan rannikoille. Näillä alueilla laivaliikenteen käyttämän polttoaineen rikkipitoisuus saa olla enintään 0,1 prosenttia ja alueella operoivilta uusilta aluksilta vaaditaan aikaisempaa pienemmät typpioksidipäästöt. Uudet SECA- ja NECA-alueet tulevat voimaan aikaisintaan vuonna 2026. Vastaavia typenoksidien- ja rikkipäästöjen erityisalueita alueita on jo esimerkiksi Itämerellä ja Pohjanmerellä. ■

Lähteet:

- Comer, B., Osipova, L., Georgeff, E., and Mao, X. (2020) The international maritime organization's proposed arctic heavy fuel oil ban: Likely impacts and opportunities for improvement. ICCT. <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Arctic-HFO-ban-sept2020.pdf>
- Corbett, J. J., Lack, D. A., Winebrake, J. J., Harder, S., Silberman, J. A. and Gold, J. A. (2010) Arctic shipping emissions inventories and future scenarios. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 9689–9704, 2010. doi:10.5194/acp-10-9689-2010
- Faber, J., Hanayama, S., Zhang, S., Pereda, P., Comer, B., Hauerhof, E., van der Loeff, W. S., Smith, T., Zhang, Y., & Kosaka, H. (2020). Reduction of GHG emissions from ships—Fourth IMO GHG study 2020—Final report. IMO MEPC, 75(7), 15.
- Hermansson, L., Hassellöv, IM., Grönholm, T. et al. (2024) Strong economic incentives of ship scrubbers promoting pollution. *Nat Sustain* 7, 812–822 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01347-1>

- IMO. (2022) Report of fuel oil consumption data submitted to the IMO Ship Fuel Oil Consumption Database in GISIS (Reporting year: 2021). MEPC 79/6/1. 10 September 2022.
- Jalkanen, J.-P.P., Brink, A., Kalli, J., Pettersson, H., Kukkonen, J., Stipa, T., Kukkonen, (2009). A modelling system for the exhaust emissions of marine traffic and its application in the Baltic Sea area. *Atmos. Chem. Phys.* 9, 9209–9223. <https://doi.org/10.5194/acp-9-9209-2009>
- Johansson, L., Jalkanen, J.-P., Kukkonen, J. (2017). Global assessment of shipping emissions in 2015 on a high spatial and temporal resolution., *Atmos. Environ.*, 167, 403–415., doi:10.1016/j.atmosenv.2017.08.042
- PAME (2024) The increase in Arctic Shipping: 2013-2023. Arctic Shipping Status Report (ASSR) #1, Updated in January 2024. Protection of the Arctic Marine Environment (PAME). <https://hdl.handle.net/11374/2733.3>
- Rantanen, M., Karpechko, A.Y., Lipponen, A. et al. (2022) The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Commun Earth Environ* 3, 168. Linkki: <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>.

KUVA: ANNIE SPRATT / UNSPLASH



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

ILMANLAADUN JA UUSIUTUVAN ENERGIAN ASiantuntija

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

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



Kuva: Laura Karlin

LENTOKONEIDEN PÄÄSTÖJEN ILMASTOVAIKUTUKSET

– selvää ja epäselvää tietoa

KUVA: ARNO SENONER / UNSPLASH

Lentokoneiden päästöistä ja niiden vaikutuksista ilmaston lämpenemiseen esitetään ristiriitaisia ja maallikoille vaikeasti ymmärrettäviä tietoja. Tämä johtuu päästökomenttien erilaisista vaikutusteistä ja -ajoista, indikaattorien moninaisuudesta sekä termien sekoittamisesta. Tämä yleistason teksti pyrkii kuvaamaan, mitä vaikutuksista tiedetään ja mikä on epävarmaa.

Mikko Viinikainen, FM

PCC julkaisi vuonna 1999 ilmailun ilmastovaikutuksia koskeneen raportin (IPCC, 1999). Kun raportin julkaisuseminaarista Amsterdamista toi terveisiä ilmailuyhteisölle Suomeen, oli yleisin reaktio aiheeseen: ”Älä huoli, viimeinen pisara öljyä poltetaan kyllä suihkumootorissa”. Ilmastomuutos ei vielä silloin ollut toimialan fokuksessa, mutta tänä päivänä tunnustetaan, että päästöjen ja niiden vaikutusten hallinta ovat ratkaisevan tärkeitä alan tulevalle palvelukyvylle.

Lentokoneiden päästöjen lämmitysvaikutusta voidaan arvioida vain ilmakehämallien avulla. Eri vaikutuskanavien tutkimustieto on toistaiseksi vajavaista ja usein ei ole selvää käsitystä siitäkään, onko jokin kanava ilmastoa lämmittävä vai viilentävä. Viralliset ilmailuorganisaatiot nojaavat muun muassa professori David S. Leen tutkimuksiin ja koostejulkaisuihin. Tämä kirjoitus pohjaa hänen julkaisuihinsa (Lee D. S. et al 2021 sekä 2023) sekä esitelmiinsä (Lee D. S., 2023 sekä 2024) ja käsittelee vaikutuksia lavennettuna koko maapallon ilmastoon.

Lentokoneiden päästömäärät

Lentokoneiden turbiinimootorit käyttävät polttoaineenaan kerosiinia (lentopetroli, JET A-1), jonka palamistuotteet ovat samoja kuin muidenkin öljytuotteiden palamisessa: hiilidioksidi, typen ja rikin oksidit, hiilivedyt, hiukkaset ja vesihöyry.

Lentokoneiden energiatehokkuus on parantunut 70 prosenttia ensimmäisten matkustajasuihkukoneiden ajoista. Esimerkiksi Finnairin polttoaineen kulutus vuonna 2019 oli 3,7 litraa sataa myytyä matkustajakilometriä (RPK) kohden. Optimaalisilla reiteillä ja uudella kalustolla voidaan saavuttaa 2,3 litraa per 100 km RPK, kuten lentoyhtiö Norwegian Atlantin reiteillään vuonna 2018. Kulutuksen muistisääntönä

voidaan pitää kolme litraa per 100 km per istuin. Tyypillisessä henkilöautossa on siis oltava yli kaksi matkustajaa, jotta sen energiatehokkuus olisi parempi kuin lentokoneen.

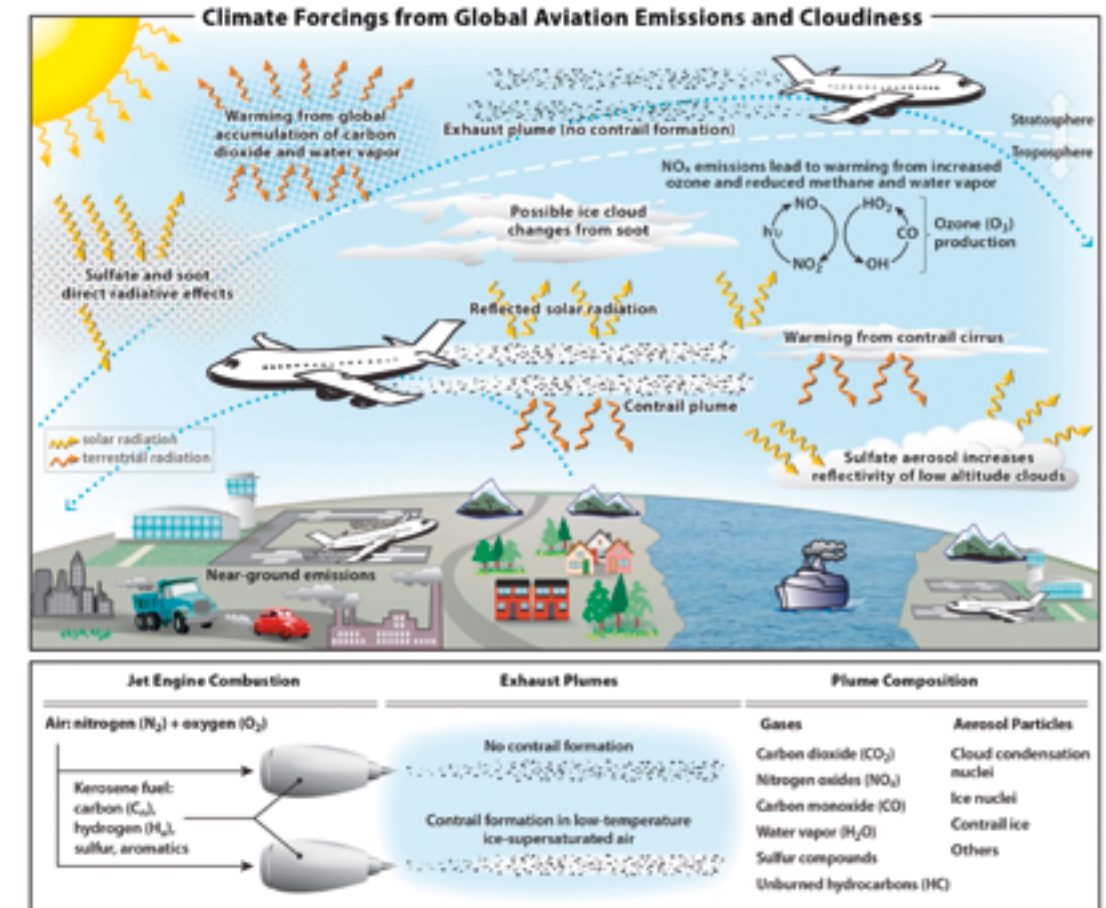
Globaalisti lentoliikenteen hiilidioksidipäästöt olivat 1034 Mt vuonna 2018, eli 2,4 prosenttia kaikista ihmistoimistominnan päästöistä (sisältäen maankäytön). Päästöistä 40 prosenttia aiheutuu valtioiden sisäisestä ja 60 prosenttia niiden välisestä liikenteestä. Pohjois-Amerikassa kotimaan liikenteen volyymi on suuri ja vastaa lähes viidesosaa maailman kaikesta lentoliikenteestä.

Lentokonepäästöjen vaikutukset

Lentokonepäästöjen ilmastovaikutuksia on yleisesti esitetty kuvassa 1. Lentokoneiden hiilidioksidipäästöjen lämmitysvaikutus on samanlainen kuin muidenkin hiilidioksidipäästöjen. Typenoksidipäästöt puolestaan muodostavat ilmakehämallisesti lyhytaikaista otsonia, jolla on lämmittävä vaikutus. Samalla vähentyvät metaani, stratosfäärin vesi ja pitkäaikainen otsoni, millä taas on viilentävä vaikutus. Päästöjen eri hiukkasilla on suoria ja epäsuoria vaikutuksia. Rikkihiukkaset vaikuttavat viilentävästi. Vesihöyry voi muodostaa tiivistymisvanvoja, jotka voivat olla lyhytaikaisia, tai vilkkaan lentoliikenteen välillä muodostua cirruspilviksi, jotka lämmittävät yöllä, mutta viilentävät päivällä.

Hiilidioksidi ja typen oksidit

Hiilidioksidipäästöjen vaikutus tunnetaan parhaiten. Lentokoneiden historiallinen vaikutus ilmakehän hiilidioksidipitoisuuteen voidaan laskea, ja johtaa siitä ilmastomallien avulla arvio niiden aiheuttamasta tehollisesta säteilypakotteesta (ERF). Paras estimaatti on 34 mW/m² (hyvä luotettavuus). Säteilypakote (RF) kuvaa maapallon sisääntulevan ja poistuvan lämpösäteilyn epätasapainoa (W/m²). Tehollinen säteilypakote kuvaa paremmin eri muuttujien lyhyt- ja pitkäikäisiä



KUVA: LEE D. S. ET AL 2021

Kuva 1. Lentokoneiden päästöjen sekä pilvien ja ilmakehän vuorovaikutussuhde on monimutkainen.

vaikutuksia ottamalla huomioon osan ilmastojärjestelmän takaisinkytkennöistä. Kuvassa 2 on laajasti siteerattu taulukko eri vaikutusmekanismien kumulatiivisesta suuruudesta vuodesta 1940 vuoteen 2018.

Typen oksidien yleiset ilmakehämalliset reaktiot tunnetaan kohtuullisen hyvin, mutta ne riippuvat ilmakehän olosuhteista. Näiden reaktioiden kautta lentokoneiden NO_x-päästöt johtavat troposfäärin otsonin nousuun (positiivinen pakote, eli lämmittävä vaikutus) ja samalla metaanin laskuun (negatiivinen pakote, eli viilentävä vaikutus). Metaanin vähentyminen merkitsee stratosfäärin vesihöyryn muodostumisen pienentymistä ja pitkäaikaisen otsonin vähentymistä, jotka molemmat aiheuttavat negatiivista pakotetta. Nämä reaktiot tunnetaan toistaiseksi huonosti. Typen oksidien ERF-kokonaisvaikutuksen paras estimaatti on 18 mW/m² (matala luotettavuus).

Käsitys taustapitoisuuksien merkityksestä typen oksidien vaikutuksiin on heikko. Typen oksidien ilmakehiästä päästönänsä sekä nitraattihiukkasten muodostumisesta on vain vähän tutkimustietoja. Näiden reaktioiden vaikutus säteilypakotteeseen arvioidaan kuitenkin olevan negatiivinen.

Vesihöyry, tiivistymisvanat ja cirruspilvet

Osa lentokoneiden vesihöyrypäästöistä vapautuu stratosfääriin. Säteilypakotevaikutuksen arviointi on monimutkaista johtuen troposfäärin korkeuden ja päästökorkeuden vaihtelusta sekä veden lyhyestä viipymääjasta. Paras estimaatti alastratosfäärin vesipitoisuuden kasvun ERF-vaikutukselle on 2 mW/m² (kohtuullinen luotettavuus).

Vesihöyrypäästöt muodostavat näkyviä tiivistymisvanvoja, kun ympäröivä ilma on jääpinnan suhteen ylikyllästynyt. Tiivistymisvanat voivat olla pitkäikäisiä, jos ympäröivä ilma on riittävän kostea, ja yhdistyä vilkkailla lentoreiteillä yhtenäiseksi cirruspilveksi. Vaikutusten arvioimisen epävarmuudet

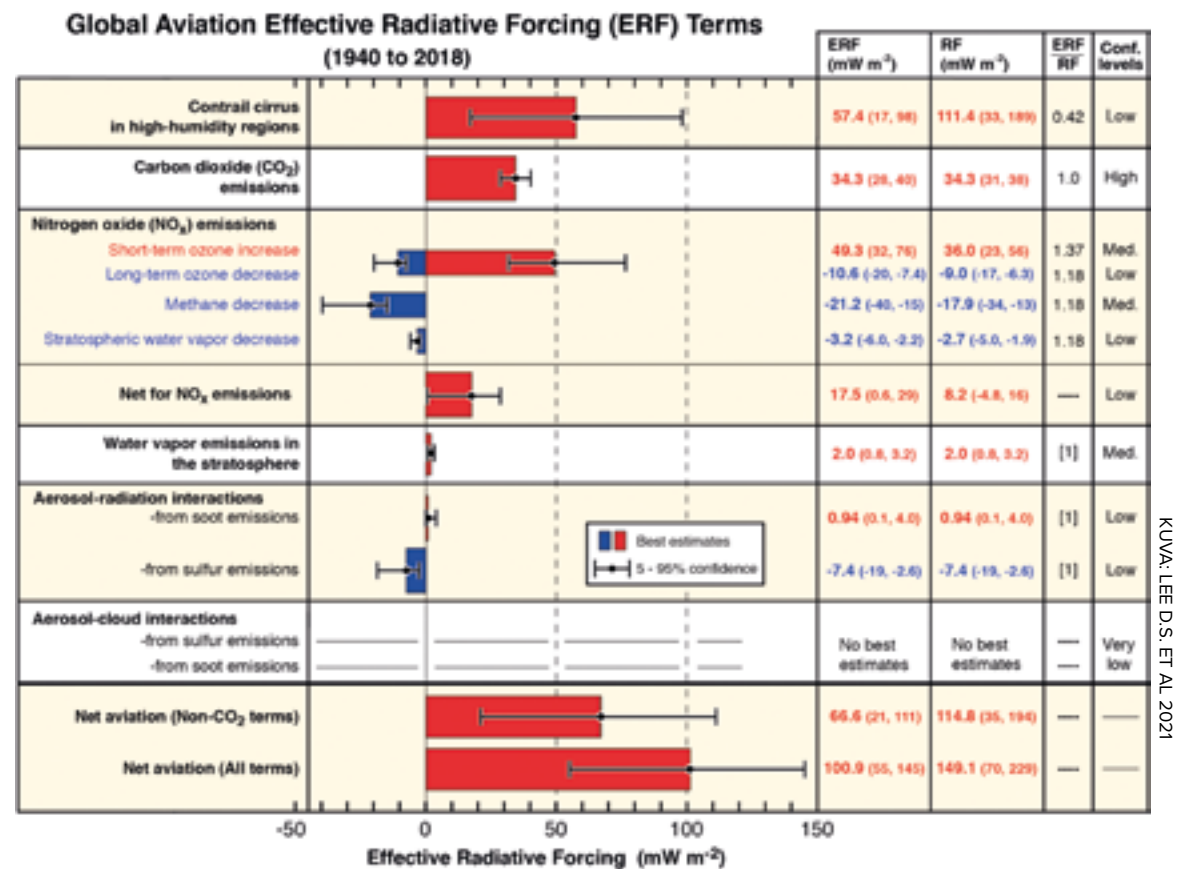
liittyvät muun muassa tiivistymisvanojen ja cirruspilvien muodostumiseen, niiden kestoon ja itse ilmiön vaikutukseen säteilypakotteeseen. Lisäksi ilmiöt, jotka liittyvät tiivistymisvanojen muodostumiseen luonnollisten pilvien sisällä, cirruspilvien vaikutukseen luonnollisten pilvien syntyisessä ja nokihiukkasten vaikutuksiin pilvien mikrofysiikkaan, ovat toistaiseksi vailla tarkempaa arviota.

Tiivistymisvanojen ja muodostuneiden cirruspilvien vaikutus on lämmittävä öisin, sillä pilvet estävät pitkäaaltosen lämpösäteilyn poistumista maasta. Aamun ja illan aikana vaikutus on pääasiassa viilentävä ja päivisin vaikutuksen arvioidaan olevan tasapainossa. Paras estimaatti globaalisti tasoitetulle ERF-vaikutukselle on 57 mW/m² (matala luotettavuus).

Pandemia vähensi lentoliikennettä keväällä 2020. Tämän vaikutusta cirruspilvien muodostumiseen on raportoitu useassa tutkimuksessa satelliittikuviin perustuen. Osassa tuloksista ei lentoliikenteen vaikutusta cirruspilviin voitu osoittaa. Tämä merkitsisi, että arviot lentokoneiden vaikutuksesta cirruspilvien muodostumiseen ja siten lämmitysvaikutukseen olisivat yliarvioituja. Tuloksista ei Leen mukaan voida vielä vetää johtopäätöksiä.

Aerosolit

Päästökaasun hiukkasilla on suora vaikutus säteilypakotteeseen. Hiukkaset ovat polttoaineen aromaattisten yhdisteiden (kerosiinissa tyypillisesti 20–25%) epätäydellisestä palamisesta muodostuvaa nokea tai rikki- ja typpipäästöistä pääosin ilmakehämallisesti muodostuvia sulfaatti- tai nitraattihiukkasia. Nokihiukkaset absorvoivat lyhytaaltoista säteilyä ja lämmittävät samalla, kun sulfaattihiukkaset sirottavat säteilyä, millä on viilentävä vaikutus. Paras ERF-estimaatti noen vaikutukselle on 1 mW/m² ja sulfaattihiukkasille –7 mW/m² (matala luotettavuus).



Kuva 2. Eri vaikutusmekanismien kumulatiivinen suuruus vuodesta 1940 vuoteen 2018. Taulukossa ei tutkimustiedon vähyysden vuoksi ole esitetty parasta estimaattia aerosolipilvi -reaktioiden säteilypakotteelle.

Päästöjen nokihiukkasten vaikutuksista pilvien muodostumiseen tai niiden ominaisuuksiin on vain vähän tutkimustietoa. Muiden epäpuhtauksien korkeissa pitoisuuksissa nokihiukkaset voivat lisätä suurten jääkiteiden muodostumista. Suuret kiteet poistuvat pilvistä nopeasti pienentäen pilvien vesipitoisuutta ja vähentävät niiden heijastavuutta (läpäisevät auringon säteilyä, lämmittävä), mutta myöskin vähentäen maasta poistuvan säteilyn sitoutumista (viilentävä). On tuloksia, joiden mukaan viilentävä vaikutus on näistä suurempi ja suuruudeltaan hyvin merkittävä.

Sulfaattiaerosolien vaikutukset pilviin ovat yksi suurimmista epävarmuuksista arvioitaessa ihmisen koko vaikutusta ilmastoon lämpenemiseen. Myös lentokonepäästöjen sulfaattihiukkaset vaikuttavat pilvien muodostumiseen ja niiden ominaisuuksiin, mutta asiasta on vielä vähän tutkimustietoa. Vaikutuksen arvioidaan olevan viilentävä. Päästöjen määrä vaikuttaa arvioon ja sen on arvioitu olevan polttoaineen 600 ppm rikkipitoisuudella noin 200 kt S/a.

Kokonaisvaikutus on yhä vaikeaselkoinen

IPPC:n arvio ihmisen toiminnan (1750–2011) aiheuttamasta vaikutuksesta teholliseen säteilypakotteeseen (ERF) oli vuoden 2011 tilanteessa 2290 mW/m². Kuvan 2 paras estimaatti lentokoneiden aiheuttamasta ERF-vaikutuksesta 1940–2018 on 101 mW/m² (vuoteen 2011: 80 mW/m²), josta CO₂-vaikutus on 34 mW/m² ja ei-CO₂ -vaikutus 67 mW/m². Vain hiilidioksidin vaikutus tunnetaan hyvin; osa muiden tekijöiden vaikutuksista tunnetaan huonosti, ja eräiden vaikutuskanavien merkitystä tutkitaan edelleen.

Lentokoneiden päästöjen vaikutuksia on yritetty kuvata yksinkertaistetusti kertoimella, joka ottaisi huomioon CO₂-vaikutusten lisäksi ei-CO₂ -vaikutukset. Tämä on ongelmallista, sillä esitetyt arviot lentokoneiden päästöistä kuvaavat kumulatiivisten päästöjen vaikutusta ja olettavat, että päästöt vaikutuksineen jatkavat kasvuaan. Mikäli lentoliikenteen

päästöt yhtäkkiä loppuisivat, ei-CO₂ -vaikutukset loppuisivat, mutta kumuloituneen hiilidioksidin vaikutukset jäisivät lähes ennalleen. Lee on esittänyt, että vuonna 2020 pandemian vähentäessä lentoliikennettä CO₂/ei-CO₂-ERF -suhde oli hetkellisesti 1:1.

Eri kaasujen lämmitysvaikutuksia suhteessa hiilidioksidin kuvataan GWPT-termillä (Global Warming Potential), missä T on yleisesti 20, 50 tai 100 vuotta. Valittu ajanjakso vaikuttaa suuresti lentokoneiden päästöjen vaikutusten kuvaamiseen yksinkertaistellulla CO₂e-tonnimäärällä. Lentokoneiden vuoden 2018 päästöjen hiilidioksidimäärä oli 1034 Mt ja päästöjen GWP₂₀ 3433 Mt, mutta vastaavasti GWP₁₀₀ oli vain 1666 Mt. Tämä johtuu ei-CO₂ -vaikutusten lyhyestä kestästä.

Kuvaamistapojen moninaisuudesta ja numerotarkkojen tietojen puutteesta huolimatta päästöjen vaikutus on yleisesti tunnettu ja Lee pitää tärkeänä, että CO₂ - ja ei-CO₂ -vaikutukset eritellään raportoinnissa ja tavoitteiden asettamisessa, jotta kokonaisvaikutusta voidaan laskea.

Päästökompensaatioita tarjoavien yritysten viestinnässä on yleistynyt tapa kuvata lentomatkojen päästöjä jollakin CO₂e-tonnimäärällä, jossa on mukana oletus ei-CO₂ -vaikutuksista. Hiilidioksidipäästö määrä, joka kuvaa palvelun energiatehokkuutta, sekoitetaan silloin päästöjen vaikutuksiin. Tämä tekee kuluttajille vaikeaksi ymmärtää kokonaisuutta, ja asettaa virallisten ilmailujärjestöjen (kuten ICAO) ja lentoyhtiöiden tarkat hiilidioksidipäästölaskurit aiheetta epäilyttävään valoon. Ilmailualan toimijat ylläpitävät Suomessa lentoliikennejailmasto.fi -sivustoa, jonka tarkoitus on antaa yleistajuista tietoa lentoliikenteen päästöistä ja vaikutuksista.

Päästöjen ja niiden vaikutusten hallinta

Kansainvälisen lento- ja laivaliikenteen hiilidioksidipäästöt käsitellään UNFCCC-ilmastositomustasolla erillisenä kokonaisuutena, ja niiden toimenpiteet on osoitettu alan kansainvälisten järjestöjen (ICAO, IMO) vastuulle. ICAO on luonut



KUVA: GARY LOPATER / UNSPLASH

kansainväliselle lentoliikenteelle CORSIA-järjestelmän, jossa lentoyhtiöiden tulee kompensoida vertailuarvon ylittävät hiilidioksidipäästöt käyttämällä kestäviä lentopolttoaineita sekä ostamalla CORSIA:ssa hyväksyttyjä ilmastoyksiköitä hiilimarkkinoilta. Vertailuarvo on 85 prosenttia vuoden 2019 päästöistä vuosina 2024–2035.

EU:ssa ETA-alueen sisäinen lentoliikenne on kuulunut hiilidioksidipäästökauppaan vuodesta 2012 alkaen. Päästökaupan ehtoja on juuri kiristetty ja kaikki päästöoikeudet huutokaupataan vuodesta 2026 alkaen. Tämän jälkeen päästöoikeuksia voi saada maksutta vain kestävien lentopolttoaineiden (Sustainable Aviation Fuel, SAF) käyttöä vastaan. Lisäksi EU:ssa tulee voimaan kestävä lentopolttoaineen jakeluvaihtoehto vuoden 2025 alusta alkaen. Aluksi vaihtoehto on kahden prosentin tasolla mutta kiristyy vuoteen 2050 mennessä 70 prosenttiin, josta synteettisten polttoaineiden osuus tulee olla 35 prosenttia.

Päästökauppadiirektiivin uudistamisen myötä lentoliikenteen muiden kuin hiilidioksidipäästöjen (typen ja rikin oksidit, nokihiukkaset sekä vesihöyry, ml. tiivistymisvanat) vaikutusten tarkkailu ja raportointi alkaa vuonna 2025. Komissio julkaisee tarkkailun perusteella raportin vuoden 2027 loppuun mennessä ja tekee tarpeelliseksi katsoessaan lainsäädäntöehdotuksen ei-CO₂ -päästöjen vaikutusten lieventämiseksi. Ainakin vuoteen 2028 asti muut kuin hiilidioksidipäästöt ovat varsinaisen päästökaupan ulkopuolella.

Ei-CO₂ -vaikutusten vähentämisen keinoja ovat NO_x - ja hiukkaspäästöjen vähentäminen sekä lentojen ohjaaminen ilmakerroksiin ja alueille, joissa tiivistymisvanat ei muodostu. Moottoreiden NO_x - ja hiukkaspäästöjä säädelään jo ICAO:n teknisillä vaatimuksilla. Toimenpiteiden nettovaikutuksista ilmastoon on kuitenkin vielä epävarmuutta. Moottorissa tehokas palaminen vähentää hiukkaspäästöjä mutta yleensä lisää typen oksidien muodostumista. Typen oksidien vähentäminen vastaavasti suurentaa polttoaineen kulutusta. On arvioitu, että kahden prosentin hiilidioksidipäästön kasvulla on saavutettava vähintään 43 prosentin vähennys NO_x-päästöissä, jotta ilmastovaikutukset olisivat tasapainossa.

Kestävä polttoaine ei sisällä aromeatteja eikä rikkiä ja vähentää noki- sekä sulfaattipäästöjä. Pääsääntöisesti SAF:n

käyttö vähentää ei-CO₂ -vaikutuksia. Toisaalta epäillään, että hyvin kylmässä pienentynyt määrä nokihiukkasia voisi jopa lisätä tiivistymisvanojen ilmenemistä. Lisäksi on arvioitu, että nokihiukkaset vaikuttavat pilvien koostumukseen viilentävällä tavalla. Rikin poistaminen polttoaineesta pienentäisi sulfaattihiukkasten suoraan viilentävää vaikutusta, jonka ERF on noin viidesosa hiilidioksidista.

Lentokoneiden päästöt tulevat tulevaisuudessa muuttamaan myös sähkö- ja vetilentokoneiden yleistymisen myötä. Molemmat käyttövoimat poistavat käytönaikaisen hiilidioksidipäästön, mutta vetilentokoneiden merkitys ei-CO₂ -vaikutuksille on laajasti tutkittavana.

Kirjoittaja on eläköitynyt lentoasemayhtiö Finavia Oyj:n kestävä kehityksen johtaja. Kirjoittaja kiittää Traficom:n johtava asiantuntija Katja Lohko-Sonera aineistosta ja tekstin kommentoinnista.

Lähteet:

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1999 (J.E.Penner, D.H.Lister, D.J.Griggs, D.J.Dokken, M.McFarland, Eds.): Aviation and the Global Atmosphere. pp 373, Cambridge University Press.
- Lee D. S. et al 2021: The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000–2018 Atmos. Environ. 244 117834
- Lee D. S. et al 2023: Uncertainties in mitigating aviation non-CO2 emissions for climate and air quality using hydrocarbon fuels Environ. Sci.: Atmos., 2023, 3, 1693
- Lee D. 2023: Status of knowledge on non-CO2 impacts of international aviation. Esitelmämateriaali, ECAC Environmental Forum, 6.6.2023
- Lee D. 2024: Status of knowledge on non-CO2 impacts of international aviation. Esitelmämateriaali, ECAC Environmental Forum, 29.5.2024



TIELIIKENTEEEN PÄÄSTÖVÄHENNYSOIMET ja niiden vaikutukset

Liikenteen päästöt tulee puolittaa vuoden 2005 tasosta vuoteen 2030 mennessä, jotta Suomi voisi varmistaa taakanjakosektorin päästövähennysvelvoitteen toteutumisen omilla toimillaan.

Eduskunnan käsittelyssä oleva uusiutuvien polttoaineiden jakeluvelvoitteen alentaminen yhdessä muiden toimien kanssa vaarantavat tieliikenteen päästövähennykset ja voivat johtaa merkittäviin kustannuksiin taakanjakosektorin päästöylitysten hyvittämisessä.

Heikki Liimatainen, professori, Liikenteen tutkimuskeskus Verne, Tampereen yliopisto, Suomen Ilmastopaneeli
Jyri Seppälä, professori, Suomen ympäristökeskus, Suomen Ilmastopaneeli (pj.)

Suomi on sitoutunut määrätietoiseen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen ilmastomuutoksen hillitsemiseksi. Suomen ilmastolain mukaan päästöjä tulee vähentää 90–95 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä ja Suomen tulee olla hiilineutraali vuonna 2035. Osana EU:ta Suomi on sitoutunut velvoitteeseen puolittaa taakanjakosektorin päästöt vuoden 2005 tasosta vuoteen 2030 mennessä.

Taakanjakosektorin päästöistä liikenteen osuus on yli 35 prosenttia ja liikenteen päästöistä yli 90 prosenttia aiheutuu tieliikenteestä, pääosin henkilö- ja kuorma-autoista. Liikenteen päästöt pitäisi puolittaa 2030 mennessä, alentaa yhteen kolmasosaan 2035 mennessä ja poistaa kokonaan 2045 mennessä, jotta päästövähennysvelvoitteet täytettäisiin. Lisäksi useilla suomalaisilla kaupungeilla on omia päästövähennystavoitteita, joiden täyttämiseksi liikenteellä on erittäin suuri merkitys.

Tieliikenteen tavoitteiden mukaisia nopeita päästövähennyksiä vaikeuttavat merkittävästi liikennejärjestelmän ja autokannan muutosten viiveet. Vuonna 2023 ensirekisteröidyistä henkilöautoista lähes 100 prosenttia tulee olemaan edelleen liikenteessä vuonna 2030 ja noin 80 prosenttia vielä vuonna 2035. Nämä autot tuottanevat tuolloin 1–1,5 Mt hiili-dioksidipäästöjä. Näin ollen kuorma-autoille, pakettiautoille, vuosina 2024–2035 rekisteröitäville henkilöautoille, sekä raide- ja vesiliikenteelle on jäämässä vuodeksi 2035 päästökiintiötä vähemmän kuin pelkästään kuorma-autojen päästöt ovat tällä hetkellä. Siten on jo nyt selvää, että:

- henkilö- ja kuorma-autojen liikennesuorite ei saa kasvaa nykytasosta,
- muiden kuin täyssähköisten henkilö-, paketti- ja kuorma-autojen myynti on saatava loppumaan mahdollisimman nopeasti ja
- uusiutuvien polttoaineiden jakeluvelvoitetta tulee korottaa nykyilmaisäädännön mukaisesta (34 %) tasosta vuonna 2030 ja sen jälkeen, mikäli sähköistyminen ei etene tieliikenteessä tarpeeksi.

Hallituksen toimet hidastavat päästöjen vähentämistä
Henkilöautojen liikennesuoritteiden kasvun pysäyttäminen näyttää Suomessa tapahtuneen ainakin hetkellisesti pandemian myötä lisääntyneiden etätöiden tekemisen ja etäpalvelujen käytön vuoksi. Pidemmällä aikavälillä yhdyskuntarakenteen tiivistämisellä ja joukkoliikenteen edistämällä on tärkein rooli liikennesuoritteiden kasvun estämisessä. Joukkoliikenteen matkustajamäärät ovat useilla kaupunkiseuduilla kasvaneet pandemiaa edeltäneen tason yläpuolelle, mutta hallituksen päätökset joukkoliikenteen arvonlisäveron korottamisesta ja ilmastoperusteisen valtionavun poistamisesta luovat merkittävän paineen nostaa lippuhintoja, mikä vaarantaa positiivisen kehityksen.

Täyssähköautojen osuus henkilöautojen ensirekisteröinneistä kasvoi suotuisasti vuoden 2023 aikana, mutta on jämähtänyt noin 25 prosentin tasolle vuoden 2024 aikana.

Koska uusien autojen myyntimäärät ovat samalla olleet poikkeuksellisen alhaisia, ei täyssähköautojen määrä ole kasvanut kappalemääräisesti toivotulla tavalla. Sähköautojen ajoneuvoveron korotus myös hieman hidastaa autokannan sähköistymistä, mutta sähkökuorma-autojen hankintatuki ja työsuhdeautojen veronalennus sähköautoille puolestaan tukevat sähköistymistä.

Liikenteen päästökehityksen kannalta merkittävin osaluokka on lyhyellä aikavälillä uusiutuvien polttoaineiden jakeluvelvoitteen taso. Hallitus on sopinut jo hallitusohjelmassa jakeluvelvoitteen tason alentamisesta 2024–2027. Lisäksi uusiutuvan julkisesti ladatun liikennesähkön sisällyttäminen jakeluvelvoitteeseen vähentää jaettavan uusiutuvan polttoaineen määrää, kasvattaen liikenteen päästöjä entisestään verrattuna aiemman lainsäädännön mukaiseen jakeluvelvoitteeseen. Uusiutuvan polttoaineen alempi taso alentaa polttoaineen hintaa, jota on laskettu myös polttoaineveron alentamisella. Polttoaineen alennettu hinta poistaa kannusteita vähentää liikennesuoritetta tai vaihtaa sähköautoon, jolloin päästöjä kasvattava vaikutus ei rajoitu pelkästään polttoaineen hiilidioksidisisältöön.

Taulukossa 1 on esitetty hallituksen linjausten vaikutukset. Jakeluvelvoitteen alentamisen seurauksena liikenteen kustannukset alenevat ja valtion verotulot kasvavat, kun tilannetta verrataan aiemman lainsäädännön mukaiseen jakeluvelvoitteen korottamiseen.

Liikenteen päästöt kuitenkin kasvavat noin 5 Mt vuosina 2025–2030, mikä johtaa ongelmiin taakanjakosektorin velvoitteisiin ylityksissä, jos korvaavia vähennystoimia ei tehdä muilla taakanjakosektoreilla, esimerkiksi maataloudessa. Suomi on päättänyt käyttää päästökaupparekisterin joustoa taakanjakosektorin mahdollisen päästövajeen kattamiseen. Suomella on tätä joustoa käytössä yhteensä 6,8 Mt edestä vuosille 2021–2030. Ilmaista tämä ei ole, koska valtiolta jää tällöin vastaava määrä päästökauppatuloja saamatta: Puhutaan satojen miljoonien euron tulomenetyksestä valtiolle.

Mikäli nyt vuosilta 2021–2023 kertyvät taakanjakosektorin päästökiintiöiden alitukset ja päästökaupan joustot eivät riitä taakanjakosektorin vuoden 2030 tavoitteiden saavuttamiseen, Suomi joutuu ostamaan päästöyksiköitä muilta EU-mailta. Ei ole kuitenkaan varmaa, onko päästöyksiköitä

saatavilla, eikä ole tietoa, mihin hintaan. Ministeriöiden käytämän arvioin mukaan päästöyksikön hinta voi olla 30–300 €.

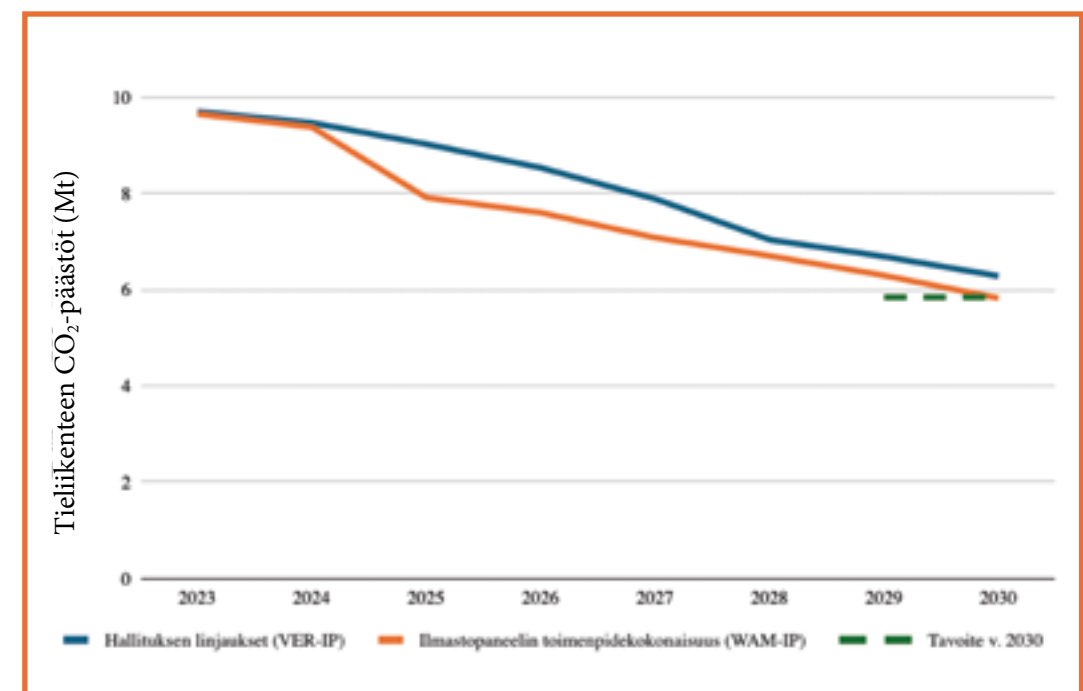
Taulukossa 1 esitetty päästöyksiköiden hankintatarpeen kuluerät edustavat siis potentiaalista suuruusluokkaa tilanteessa, jossa eri toimenpiteiden päästövähennysten hidastuminen realisoituisi päästöyksiköillä hyvittäväksi. Näillä näkymin tällainen täysimääräinen tilanne voisi syntyä, jos maankäyttösektorin hiilibudjetin ylitystä ei saada hyvitettyä kokonaan muilta mailta ostettavilla nieluyksiköillä, ja hyvittämättä jäänyt merkittävä osa ylityksestä siirtyisi EU:n pelisääntöjen mukaan taakanjakosektorin hoidettavaksi. Tällainen riski on olemassa, jos maankäyttösektorin korjausyritysten lopputulos on hyvin heikko.

Ilmastopaneelin toimenpidesuosituks

Liikenteen päästöjen vähentäminen taakanjakosektorin velvoitteiden edellyttämällä tavalla vaatii pitkäjänteisiä ja määrätietoisia toimenpiteitä. Suomen Ilmastopaneeli esittää politiikkaskenaarion, jolla päästöjen puolitus on mahdollista (kuva 1).

Hallitus on päättänyt yleisen arvonlisäveron korottamisesta 25,5 prosentin tasolle ja Suomen liittymisestä EU:n polttoaineiden jakelijoiden päästökauppaan vuodesta 2027 alkaen. Näiden lisäksi Ilmastopaneelin politiikkaskenaarioon sisältyvät seuraavat toimenpiteet:

- jakeluvelvoitteen tason nostaminen seuraavasti: bio- sekä sähköpolttoaineiden ja vedyn energiasisällön osuus on 29 prosenttia jaettavassa liikennepolttoaineessa vuosina 2025–2026, 30 prosenttia vuonna 2027 ja tason nostaminen siitä edelleen niin, että vuonna 2030 taso on 34 prosenttia
- jakeluvelvoitteen tason nostaminen jakeluvelvoitteeseen sisällytettävien julkisilta latausasemilta ladatun uusiutuvan liikennesähkön ja välituotevedyn energiamäärien verran
- erillistankattavien biopolttoaineiden poistaminen jakeluvelvoitteen piiristä



Kuva 1. Suomen tieliikenteen päästökehitys hallituksen linjausten ja Ilmastopaneelin suositusten mukaisissa skenaarioissa.

Toimenpide	Vaikutus liikenteen kustannuksiin kotitalouksille ja yrityksille	Vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin	Vaikutus valtiontalouden tuloihin	Mahdollinen päästöyksiköiden hankinnan kustannusrasite valtiolle
1. Jakeluvoitteen alentaminen	-1,4 mrd. € (2024–2030)	+3,9 Mt (2024–2030)	+0,52 mrd. € (2024–2030)	0,12–1,2 mrd. €
2. Liikennesähkön jakeluvoittoeseen	-1,8 mrd. € (2025–2030)	+5,0 Mt (2025–2030)	+0,67 mrd. € (2025–2030)	0,15–1,5 mrd. €
3. Jakeluvoitteen seuraamusmaksun alentaminen	-1,9 mrd. € (2025–2030)	+4,9 Mt (2025–2030)	+0,54 mrd. € (2025–2030)	0,15–1,5 mrd. €
4. Jakeluvoitteen joustomekanismi	vähentää hieman	lisää hieman (liikenteessä)	vähentää hieman	lisää hieman
5. Lisävoitteen ja vähimmäisosuusvoitteen muutokset	vähentää hieman	+0,2 Mt (2028–2030)	ei arviota	0,007–0,6 mrd. €
6. Polttoaineveron alentaminen	-1,2 mrd. € (2024–2030)	+0,6 Mt (2024–2030)	-1,2 mrd. € (2024–2030)	0,02–0,19 mrd. €
7. Suuripäästöisten autojen ajoneuvoveron alentaminen	vähentää hieman	lisää hieman	vähentää hieman	lisää hieman
8. Matkakuluvähennyksen omavastuun nostaminen	lisää hieman	vähentää hieman	lisää hieman	vähentää hieman
9. Joukkoliikenteen ilmastoperusteisen valtionavustuksen poistaminen	lisää hieman	lisää hieman	vähentää hieman	lisää hieman
10. Kävelyn, pyöräilyn ja joukkoliikenteen edistämisen rahoituksen alentaminen	ei vaikutusta	lisää hieman	vähentää hieman	lisää hieman
11. Vinjettimaksun käyttöönotto raskaalle liikenteelle	ei vaikutusta, jos korvataan suomalaisille	vähentää hieman	lisää hieman (ulkomaiset)	vähentää hieman
12. Sähköautojen ajoneuvoveron korotus	lisää hieman	lisää hieman	lisää hieman	lisää hieman
13. Arvonlisäveron korotus	n. +0,4 mrd. € (2025–2030)	n. -0,2 Mt (2025–2030)	n. +0,4 mrd. € (2025–2030)	vähentää hieman
14. Ammattieselin käyttöönotto	päästökaupan kanssa +/- 0	+0,1 Mt (2027–2030)	-0,67 mrd. € (2027–2030)	lisää hieman
15. Noilapäästöisten työsuhteautojen verotuki	vähentää hieman	vähentää hieman	vähentää hieman	vähentää hieman

Taulukko 1. Hallituksen toimenpiteiden vaikutukset kustannuksiin ja päästöihin.

- julkisen pikalatausverkoston tukeminen
- sähköisten kuorma-autojen hankintatuki
- joukkoliikenteen ilmastoperusteinen valtionavustus
- kävelyn ja pyöräilyn edistämishjelma

Näillä toimenpiteillä liikenteen päästötavoite voi olla saavutettavissa, mutta se edellyttää nopeaa sähköistymistä, joka on saavutettavissa vain voimakkaalla ja yhtenäisellä viestinnällä sähköistymisen puolesta. Hidas sähköistyminen johtaa tarpeeseen nostaa jakeluvoitteen tasoa vielä enemmän.

Ilmastopaneelin suosituksen mukaisessa kehityksessä liikenteen kustannukset ovat aluksi hieman suuremmat verrattuna hallituksen päätösten mukaiseen vertailuskenaarioon, mutta pidemmällä aikavälillä kustannukset ovat pienemmät, erityisesti, jos samalla vältetään tarve hankkia taakanjako-sektorin päästöyksiköitä. ■

Lähteet:

Seppälä, J. et al. Tielikenteen päästövähennystoimet ja niiden vaikutukset. Suomen Ilmastopaneelin raportti 1/2024. <https://ilmastopaneeli.fi/hallinta/wp-content/uploads/2024/08/ilmastopaneelin-raportti-1-2024-tielikenteen-paastovahennystoimet-ja-niiden-vaikutukset.pdf>



GRIMM EDM 280

HUIPPUTARKKUUDEN UUSI STANDARDI

Tekniset tiedot

Detection principle	Light scattering at single particles with diode laser: detection volume aerodynamically focused (ISO 21501-1), no border zone error
Measured mass fractions	TSP, PM10, PM4, PM2.5, PM1, PMcoarse
Particle size range	0,178 µm < Do < 29,4 µm (Do = optical latex equivalent diameter)
Size channels	72, channel boundaries equidistant, 32 channels per decade
Mass concentration	0 ... 12,000 µg/m³ for PM10 0 ... 5,100 µg/m³ for PM2.5 (with 10 % coincidence error for Arizona Dust A1 ultrafine)
Detection limit	0.1 µg/m³ for PM10

Ota yhteyttä

Maahantuoja
Ekonia Oy

+358 50 522 7757
www.ekonia.fi



ekonia

ILMANSAASTEIDEN PITOISUUDET pääväylän ja meluseinän läheisyydessä

Turunväylän varrella tutkittiin, miten liikenteen pakokaasut ja katupöly vaikuttavat ilmanlaatuun avoimessa paikassa ja korkean meluseinän lähistöllä eri etäisyyksillä väylästä. Mittauskampanjassa hyödynnettiin poikkeuksellisen laajasti uusia mittausteknologioita ja ilmanlaatusensoreita sekä myös liikkuvia mittauksia ja mallintamista. Näin saatiin kattava kokonaiskuva ilmanlaatuun vaikuttavista tekijöistä. Tutkimukseen osallistuivat Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY, Ilmatieteen laitos, Helsingin yliopisto ja Tampereen yliopisto.

Jarkko Niemi, erityisasiantuntija, Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY



Kuva 1. Sensoripylväiden ja passiivikeräinten sijainnit kartalla Turunväylän varrella. Kartalla on esitetty myös passiivikeräimillä mitatut typpidioksidin pitoisuuskeskiarvot kolmen kuukauden jaksolla. Karttakuvan alla on tarkempi poikkitaaisprofiili kolmen mittauspylvään sijainnista meluseinän takana.

Suomalaiskaupungeissa erityisen haasteellinen on uusi hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvo, joka ylittyy nykytilassa katupölyn vuoksi paikoin vilkasliikenteisissä ympäristöissä.

Liikenteen päästöt aiheuttavat korkeita ilmansaasteiden pitoisuuksia vilkkaiden maanteiden ja katujen varsilla. Maailman terveysjärjestön (WHO, 2021) ilmanlaatusuosituksot ylittyvät myös Suomessa vilkasliikenteisissä ympäristöissä pakokaasujen ja katupölyn vuoksi. Liikenteen pakokaasupäästöt vähentyvät autokannan uudistuessa ja sähköistyessä, mutta katupöly säilyy ongelmana pitkään tulevaisuudessa.

Tänä syksynä hyväksytty EU:n uusi ilmanlaatudirektiivi tuo lisähaasteita kaupunkien ilmansuojelutyöhön. Ilmanlaadun sitovat raja-arvot kiristyvät ja ne tulee saavuttaa vuoteen 2030 mennessä. Suomen kaupunkien näkökulmasta erityisen haasteellinen on hengitettävien hiukkasten uusi vuorokausiraja-arvo, joka ylittyy nykytilassa katupölyn vuoksi paikoin vilkasliikenteisissä ympäristöissä (Korhonen ym., 2024).

Osana Teknologiateollisuuden 100-vuotissäätiön rahoittamaa Urbaani ilmanlaatu 2.0 -hanketta (www.parempa-ilmaa.fi) toteutettiin laaja tutkimuskampanja, jossa saatiin uutta tietoa ilmanlaadusta pääväylän ja meluseinän lähiympäristössä. Kampanjassa hyödynnettiin monia ilmanlaadun mittausteknologioita, liikkuvia mittauksia ja mallintamista, jotta liikenteen kaasu- ja hiukkasmaisten päästöjen ilmanlaatuvaikutuksista saatiin kattava kokonaiskuva. Tutkimustulokset tuovat uutta tietoa kaupunkisuunnittelun ilmanlaatuvarvioiden tueksi (Airola ja Myllynen, 2015; Vuorinen ym., 2015). Mittauksista saatiin myös lisäkokemusta sensoritekniikoiden jatkokehittämistä varten.

Mittauskampanja Turunväylän varrella

Ilmanlaadun mittauskampanja toteutettiin vilkasliikenteisen (63 000 ajoneuvoa/arkivuorokausi) Turunväylän varrella Espoon Sepänpölkässä helmi–toukokuussa 2023. Kampanjan päätavoitteena oli selvittää, kuinka korkeita katupölyn ja pakokaasujen pitoisuudet ovat vilkasliikenteisen pääväylän lähiympäristössä. Mittauksilla tutkittiin myös korkean (6,5 m) meluseinän vaikutuksia ilmansaasteiden pitoisuuksiin eri etäisyyksillä ja korkeuksilla tiestä verrattuna avoimeen paikkaan ilman meluseinää. Turunväylän varrella toteutettu tutkimus on ensimmäinen laaja mittauskampanja meluesteen vaikutuksista ilmanlaatuun Suomessa.

Turunväylän varrelle asennettiin tutkimuksen ajaksi eri etäisyyksille useita mittalaittepylväitä (kuva 1), jotka varustettiin uuden teknologian mittalaitteilla ja suuntaa antavilla ilmanlaatusensoreilla (kuva 2). Mittauksilla saatiin tietoa katupölyn hengitettävistä hiukkasista (PM_{10}) ja pienhiukkasista ($PM_{2.5}$) sekä pakokaasujen typpidioksidista (NO_2), hiukkasten lukumääräpitoisuudesta (PNC), keuhkokeposoituvasta pinta-alasta (LDSA) ja mustasta hiilestä (BC). Typpidioksidia mitattiin myös passiivikeräimillä yhteensä 14 mittauspaikassa. Lisäksi ilmanlaatumittauksen alueellista kattavuutta täydennettiin drooneilla ja mobiililaboratoriolla.

Katupölyn pitoisuudet ylittivät EU:n uuden raja-arvon

Mittauskampanja ajoitettiin niin, että saatiin ilmanlaatu-tietoa mahdollisimman pitkältä aikaväliltä eri vuodenaajoilta – talvi, kevät ja alkukesä. Terveystietojen näkökulmasta pitkäaikainen altistuminen korkeille pitoisuuksille on erityisen haitallista. Mittauskampanjan pitkäkestoiset pitoisuuskeskiarvot on koottu taulukkoon 1 ja samoja tuloksia on myös esitetty normalisoituna pitoisuusgradientteina kuvassa 3.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat erittäin korkeita Turunväylän vieressä avoimessa ympäristössä kevään katupölykaudella. Korkean meluseinän takana, suojan puolella, katupölyn pitoisuudet olivat huomattavasti matalampia (taulukko 1 ja kuva 3). Hengitettävien hiukkasten pitoisuuslasku jatkui edelleen sadan metrin etäisyydelle saakka, mikä oli kauimmainen mittauspaikka Turunväylän varrella. Vielä sadan metrin etäisyydellä katupölyä oli ilmassa runsaasti verrattuna maaseutumaiseen ympäristöön Espoon Luukissa (taulukko 1).

Mittautuloksia verrattiin myös vuorokausitason ilmanlaatu-normeihin. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olisivat voineet ylittää EU:n uuden vuorokausiraja-arvon ($45 \mu g/m^3$, sallitaan 18 ylityspäivää/vuosi) avoimessa ympäristössä jopa 40 metrin etäisyydelle saakka väylän laidasta. Sadan metrin etäisyydellä pitoisuudet olivat noin WHO:n vuorokausiohje-arvon tasolla ($45 \mu g/m^3$, sallitaan 3 ylityspäivää/vuosi). Tulosten tulkinnassa on kuitenkin tärkeä huomioida, että hiukkasmittaukset tehtiin suuntaa antavalla sensorimenetelmällä eikä virallisella referenssitasoisella analysaattorilla.

Etäisyys (m)	PM_{10} ($\mu g/m^3$)		NO_2 ($\mu g/m^3$)		LDSA ($\mu m^2/cm^3$)		PNC (kpl/cm ³)		BC ($\mu g/m^3$)	
	aukea	meluseinä	aukea	meluseinä	aukea	meluseinä	aukea	meluseinä	aukea	meluseinä
10	50	23	28	23	14,1	11,3	–	–	0,79	–
20	39	26	22	20	11,5	9,5	10700	7800	0,49	0,37
40	31	26	21	20	10,4	9,0	8400	6700	0,51	–
100	–	18	–	16	–	–	–	–	–	–
Luukki tausta	7		3		6,8		3900		0,15	

Taulukko 1. Sensoreilla mitatut suuntaa antavat pitoisuuskeskiarvot eri etäisyyksillä Turunväylästä aukeassa paikassa ja meluiden takana. Taulukossa on myös esitetty pitoisuudet HSY:n alueelliselta tausta-asemalta Espoon Luukista. PM_{10} - ja PNC-tulokset ovat maaliskuu–toukokuun ajalta ja muut tulokset ovat noin kuukauden pituisilta mittausjaksoilta (eivät samanaikaisia jaksoja).



Kuva 2. Pylväissä mitattiin ilmanlaatua ja säätä monilla erilaisilla laitteilla: AQT530 ja GMP343 (Vaisala), AQ Urban (Pegasor), Par-tector (Naneos), A30 CPC (Airmodus), 1720 CPC (Brechtel), AE51 (AethLabs), ObservAir (DSTech), HOPE-hankkeen sensori, typpi-dioksidin passiivikeräin, 3D-anemometri ja sääasema.

Myös muissa mittauspaikoissa tehtyt referenssitasoiset mittaukset ovat osoittaneet, että hengitettävien hiukkasten uusi vuorokausiraja-arvo ylittyisi nykytilassa paikoin vilkasliikenteisten pääväylien ja katujen varsilla (Korhonen ym., 2024). Katupölyn torjuntaan tarvitaan jatkossa nykyistä tehokkaampia toimenpiteitä. Turunväylän mittaustulokset korostavat myös sitä, että ilmansaasteille altistumista voidaan vähentää merkittävästi sijoittamalla asunnot ja herkäät kohteet riittävän kauas väylistä (Airola ja Myllynen, 2015).

Pakokaasuista typpidioksidia ja ultrapieniä hiukkasia

Passiivikeräimillä mitatut typpidioksidin pitoisuudet (kuva 1) ylittivät selvästi WHO:n vuosiohjearvotason ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kolmen kuukauden mittausjakson aikana Turunväylää lähimmissä mittauspisteissä. Typpidioksidin pitoisuus oli selvästi korkein mittauspaikassa, joka oli meluseinän väylänpuoleisella sivulla (kuva 1). Toisin sanoen, meluseinä nostaa pitoisuuksia meluseinän ja tien välissä, koska seinä estää päästöjen leviämistä ja laimenemista.

Typpidioksidin pitoisuusgradientit olivat avoimessa ympäristössä selvästi loivempia verrattuna PM_{10} -katupölygradientteihin (taulukko 1 ja kuva 3). Meluaidan takana typpidioksidin pitoisuuslasku oli myös pienempi verrattuna katupölyn melko voimakkaaseen vähennykseen.

WHO (2021) on antanut mittaussuosituksia uusille pienhiukkasuureille, hiukkasten lukumääräpitoisuudelle ja mustalle

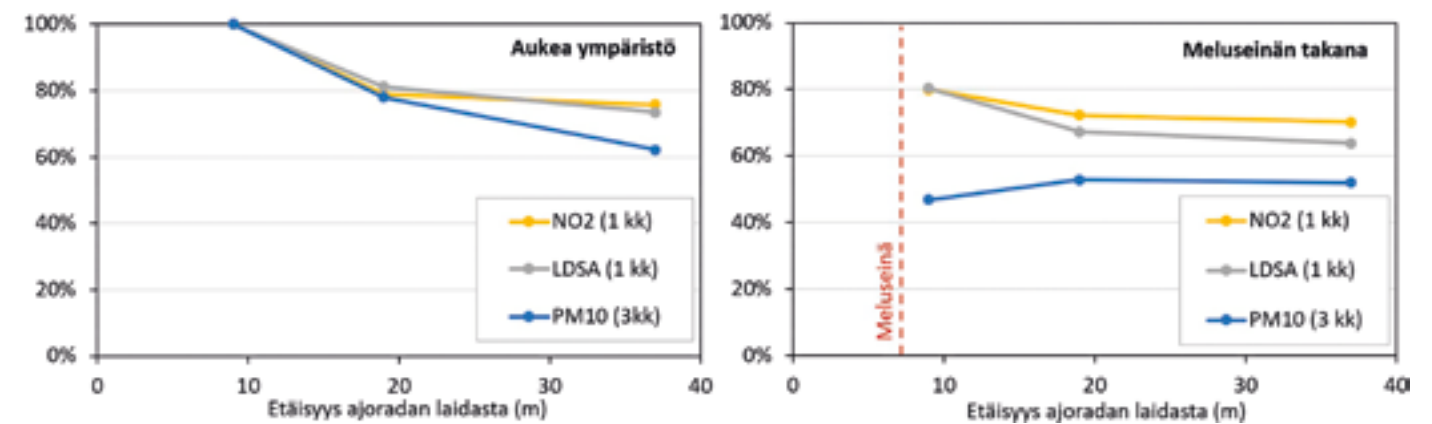
hiilelle. EU:n ilmanlaatudirektiivissä näille uusille pienhiukkasuureille säädettiin mittausvelvoitteita. Hiukkasten lukumääräpitoisuudelle ja mustalle hiilelle ei ole kuitenkaan annettu vielä ohje- tai raja-arvoja, ja mittaustuloksia hyödynnetään terveyshaittatutkimuksissa ja ilmansuojelutyön tukena (Niemi, 2022). Myös hiukkasten keuhkokeposoituva pinta-ala on nykyään usein mukana pienhiukkasten terveyshaittatutkimuksissa.

Turunväylän varrella mitattiin melko korkeita hiukkasten lukumäärän, mustan hiilen ja LDSA:n pitoisuuksia verrattuna pitoisuuksiin Espoon Luukissa (taulukko 1) ja muualla pääkaupunkiseudulla (Korhonen ym., 2024). Liikenteen pakokaasut nostavat voimakkaasti näiden uusien pienhiukkasuureiden pitoisuuksia. Meluseinän takana pitoisuudet olivat matalampia kuin avoimessa ympäristössä. Meluseinän suojaava vaikutus oli kuitenkin heikompi pakokaasuperäisillä hiukkasilla verrattuna katupölyyn (taulukko 1 ja kuva 3).

Uusissa autoissa pakokaasujen puhdistustekniikat vähentävät tehokkaasti musta hiilen päästöjä, minkä vuoksi mustan hiilen pitoisuudet ovat laskeneet huomattavasti 15 vuoden kuluessa vilkasliikenteisissä ympäristöissä pääkaupunkiseudulla (Korhonen ym., 2024). Hiukkasten lukumääräpitoisuudet ovat laskeneet selvästi hitaammin kuin typpidioksidin ja mustan hiilen pitoisuudet, koska pakokaasujen päästösäätely on vielä puutteellista kaikkien pienempien hiukkasten ja niiden esiastekeasujen osalta.

Meluseinä nostaa pitoisuuksia meluseinän ja tien välissä, koska seinä estää päästöjen leviämistä ja laimenemista.

Etäisyydellä väylästä on suurempi vaikutus pitoisuuksiin kuin meluseinällä, minkä vuoksi suojaetäisyydet sekä muut altistumisen ja päästöjen vähentämiskeinot ovat edelleen tärkeitä kaupunkisuunnittelussa. Kaupunkien kasvu ja tiivistyminen luo paineita sijoittaa uutta rakentamista yhä lähemmäksi vilkasliikenteisiä väyliä.



Kuva 3. Ilmanlaatusensoreilla mitatut PM_{10} -, NO_2 - ja LDSA-pitoisuudet normalisoituna niin, että avoimessa paikassa 10 metrin etäisyydellä mitattu pitoisuustaso on 100 prosenttia.

Liikkuvat mittaukset ja leviämismallit kuvaajina

Turunväylä mittauskampanjassa hyödynnettiin myös liikkuvia mittauksia. Ilmatieteen laitoksen droneilla kartoitettiin ilmanlaatua korkeus- ja vaakasuunnassa. Vaakasuntaisia mittauksia tehtiin lisäksi seilometrillä, joka mittaa eri etäisyyksillä esiintyvää hiukkasprofiilia. Tampereen yliopiston mobiililaboratorio mittasi liikenteen päästöjä ja pitoisuuksia ajamalla Turunväylän liikennevirrassa. Lisäksi meteorologisia olosuhteita seurattiin useilla menetelmillä. Kaikkia edellä mainittuja mittaustuloksia hyödynnetään päästöjen leviämismallintamisessa ja mallien kehitystyössä.

Leviämismallit ovat hyödyllisiä työkaluja kaupunkisuunnittelussa, koska niiden avulla voidaan arvioida erilaisten suunnitteluvaihtoehtojen ilmanlaatuvaikutuksia. Turunväylän mittausaineistoa hyödynnetään ainakin Ilmatieteen laitoksen ENFUSER-mallin jatkokehittämisessä ja Tampereen yliopistolla LES-virtausmallin tulosten validoinnissa. Mallinnustulosten perusteella meluseinä suuntaa liikenteen päästöt korkeammalle, minkä vuoksi pitoisuudet nousevat meluseinän yläpuolella ja laskevat lähellä maanpintaa meluseinän takana, suojan puolella.

Johtopäätöksiä kaupunkisuunnitteluun

Turunväylän mittauskampanjan perusteella korkeilla meluseinillä voidaan parantaa ilmanlaatua esteen takana suojan puolella, lähellä maanpintaa. Meluseinän suojaa enemmän katupölyltä verrattuina pakokaasuihin. Meluseinän suojaava vaikutus liikenteen päästöille heikkenee kuitenkin nopeasti kauempana meluaidan takana. Mitä korkeampi meluseinä on, sitä voimakkaampi ja laajempi vaikutusalue sillä on pitoisuuksiin. Meluseinä nostaa pitoisuuksia ajoradan ja esteen välissä, meluesteen päädyssä ja päällä, sekä suuntaa liikenteen päästöviuhkan ylemmäksi.

Yleisenä johtopäätöksenä voi todeta, että etäisyydellä väylästä on suurempi vaikutus pitoisuuksiin kuin meluseinällä, minkä vuoksi suojaetäisyydet sekä muut altistumisen ja päästöjen vähentämiskeinot ovat edelleen tärkeitä kaupunkisuunnittelussa. Kaupunkien kasvu ja tiivistyminen luo paineita sijoittaa uutta rakentamista yhä lähemmäksi vilkasliikenteisiä väyliä. Katupölyyn ja sen tehokkaampaan torjuntaan on tarpeen kiinnittää entistä enemmän huomiota kaupunkisuunnittelussa. EU:n uudet vuorokausiraja-arvot hengitettävälle hiukkasille ylittävät edelleen paikoin vilkasliikenteisissä ympäristöissä Suomessa. Nämä raja-arvot tulee saavuttaa vuoteen 2030 mennessä. ■

Lähteet:

- Airola, H., Myllynen, M. 2015. Ilmanlaatu maankäytön suunnittelussa. Uudenmaan ELY-keskus. Opas 2/2015.
- Korhonen, S., Loukkola, K., Portin, H., Niemi, J. 2024. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2023. HSY:n julkaisuja 5/2024.
- Niemi, J. 2022. Musta hiili ja ultrapienet hiukkaset kaupunki-ilmassa – seurannan hyödyt ja WHO:n suositukset. Ilmansuojelu 4/2022: 4–9.
- Vuorinen, J., Niemi, J., Kousa, A. 2015. Kasvillisuuden ja meluesteiden vaikutus ilmanlaatuun liikenneympäristöissä. HSY:n julkaisuja 4/2015.
- WHO (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter ($\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization.



KUVA: VEIKKO SOMERPURO / HELSINGIN SATAMA OY

Kuva 1. M/S Finnmaid kiinnitettynä maasähkijärjestelmään Vuosaaren sataman C-laiturilla.

MAASÄHKÖN KÄYTTÖ vähentää tehokkaasti ilmapäästöjä satama-alueella

Merikuljetus on kuljetusmuodoista ympäristön kannalta tehokkain, joskaan ei täydellinen. Merikuljetusten osuus maailmankaupasta on 90 prosenttia, ja merenkulun osuus CO₂-päästöistä on globaalisti 2,7 prosenttia. Laivojen pakokaasujen haitalliset päästöt ovat vähentyneet viime vuosina lainsäädännön tiukentuessa. Varustamot ja muut meriliikenteen toimijat ovat ryhtyneet myös vapaaehtoisin ilmastotoimiin.

Andreas Slotte, vastuullisuus- ja HSEQ-päällikkö, Helsingin Satama Oy

Satamatoiminnan ja alusliikenteen ilmapäästöistä keskeisimpiä ovat typen- ja rikinoksidit sekä kasvihuonekaasut. Fossiilisten polttoaineiden eli hiilen, öljyn ja maakaasun käyttäminen liikenteessä on merkittävä päästölähde. Meriliikenteen ratkaiseva kysymys onkin se, millä energialla laivat tulevaisuudessa liikkuvat, eli miten niiden käyttämä energia on tuotettu. Yhtä selkeää ”parasta vaihtoehtoa” ei ainakaan vielä ole löytynyt. Näyttää siltä, että tulevaisuudessa fossiiliset polttoaineet tullaan korvaamaan laajalla kirjolla eri polttoaineita, ja sopivan valinta riippuu esimerkiksi liikennetypistä, etäisyyksistä ja polttoaineen saatavuudesta.

Sääntely tiukentuu

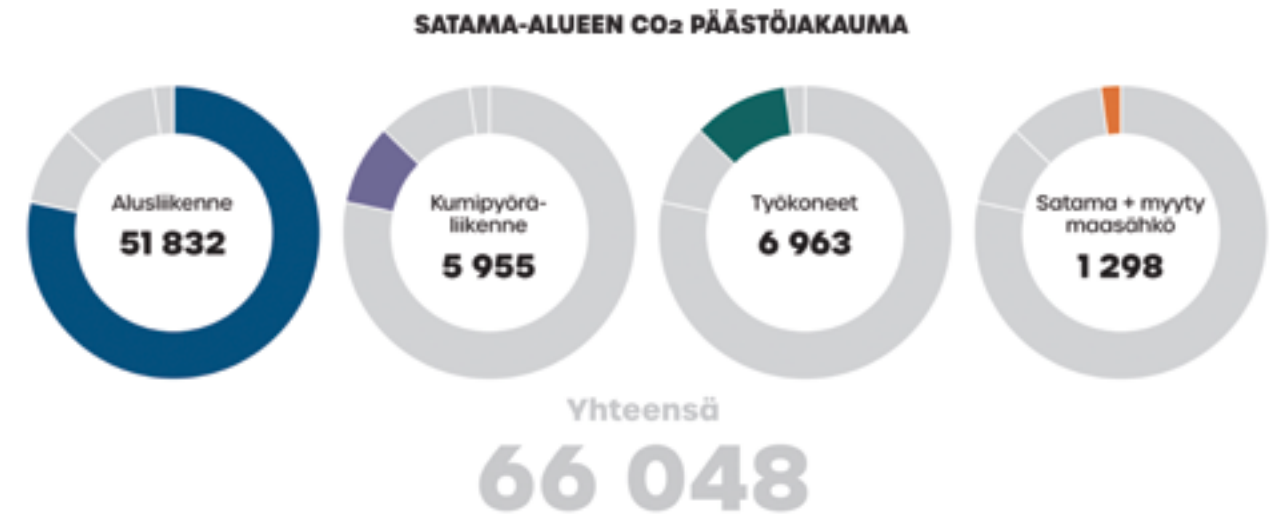
Merenkulkuelinkeino on sitoutunut vähentämään osaltaan kasvihuonekaasupäästöjä. Merenkululle asetetaan entisestään tiukentuvaa sääntelyä myös elinkeinon ulkopuolelta. Kansainvälisen merenkulujärjestö IMO:n tavoitteena on, että meriliikenne on kasvihuonekaasupäästötöntä vuoteen

2050 mennessä.

Laivaliikenteen rikkipäästöt Itämerellä ovat entisestään pienentyneet vuonna 2015 voimaan tulleen Euroopan unionin rikkidirektiivin myötä. Laivojen rikkipäästöjä rajoitettiin 0,1 prosenttiin koko Itämerellä, mikä oli huomattava tiukennus. Käytännössä tämä merkitsee tällä hetkellä, että aluksen pitää käyttää poistokaasujen pesuria, vähärikkistä polttoainetta tai vaihtoehtoisia polttoaineita, kuten nesteytettyä maakaasua (LNG).

Vuoden 2024 alussa meriliikenne liitettiin EU:n päästökauppajärjestelmään. Päästökauppa toteutetaan vaiheittain. Toteutuneeseen kulutukseen perustuva tiedonkeruujärjestelmä koskee aluksi hiilidioksidipäästöjä ja 2026 alkaen myös metaani- ja dityppioksidipäästöjä.

Vuonna 2025 voimaan astuu polttoainestandardi, jonka tavoitteena on lisätä vähähiilisten ja uusiutuvien polttoaineiden käyttöönottoa meriliikenteessä. LNG-käyttöisten alusten lisäksi maailmalla tilataan myös merkittävä määrä uusia aluksia, jotka käyttävät polttoaineenaan metanolia.



Kuva 2. Helsingin satama-alueiden CO₂-päästöjakauma vuonna 2023

Mitä satama voi tehdä?

Helsingin Satama pyrkii oman toimintansa osalta hiilineutraaliuteen jo ensi vuonna ja tukee myös satama-alueella toimivia yhteistyökumppaneitaan vähähiilisyyteen. Helsingin satama-alueiden hiilidioksidipäästöt muodostuvat alus- ja työkonepäästöistä, kumipyöräliikenteen päästöistä sekä satamayhtiön oman toiminnan päästöistä. Selvästi merkittävin rooli on alusliikenteellä.

Helsingin Satama on myöntänyt vuodesta 2018 lähtien alennusta alusmaksuista laivaliikenteelle, joka vähentää ympäristövaikutuksiaan. Alennus kannustaa varustamoja tekemään lainsäädännön minimitasoa ylittävää ympäristövaikutusten vähentämistä erityisesti satama-alueella. Viime vuonna 7–10 prosenttia ympäristöalennuksen sai 19 alusta. Kaikkiaan satama myönsi alennusta lähes 667 000 eurolla. Vuonna 2024 maksimialennus aluskäyntimaksusta on nostettu 11 prosenttiin.

Alennuksen myöntämisen edellytyksenä toimii muun muassa environmental ship index eli ESI-sertifikaatti, joka perustuu erityisesti ilmanlaatuun vaikuttaviin päästöihin. Alin alennukseen oikeuttava ESI-pistemäärä on 65/100 pistettä ja maksimialennuksen saa, kun pisteitä on vähintään 80/100. ESI-indeksi pisteyttää typen- ja rikinoksidipäästöt suoraan ja suhteellisesti, suosii energiatehokkuuden dokumentointia ja hallintaa sekä esimerkiksi maasähkön käyttöä.

Lisäksi satamien tulee varmistaa uusien, ympäristöystävällisempien polttoaineiden jakeluinfrastruktuuri. Jo kesällä 2014 Rajavartiolaitoksen Turva ensimmäistä kertaa tankkasi, tai merenkulun termin bunkrasi, Helsingissä LNG:tä, ja nyt LNG on yleisesti myös linjaliikenteen käytössä. Vaikka LNG:n vaikutus ilmastoon on kiistanalainen, siinä ei ole lainkaan rikkiä, ja lisäksi sen käyttäminen vähentää paikallisesti myös tyyppipäästöjä jopa 85 prosenttia ja hiilidioksidipäästöjä 25 prosenttia. Selvää on, että LNG on fossiilisenä polttoaineena vain väliaikainen ratkaisu. On todennäköistä, että esimerkiksi uusiutuva ammoniakki ja metanoli ovat tulevaisuuden polttoaineita, kun varustamot etsivät päästöttömiä tapoja kuljettaa lasteja. Lisäksi myös täyssähköiset laivat tekevät tuloaan, joskin aikahorisontti on pitkä ja epävarma.

Satamat voivat osaltaan vaikuttaa laivaliikenteen päästöihin myös varmistamalla, että alusten satamakäynnit ovat sujuvia ja nopeita. Automaattiset laivojenkiinnityslaitteet (automooriing) lyhentävät aluskäyntien satamassaoloaika, mikä tarkoittaa, että erityisesti nopean reittiliikenteen aluksilla on mahdollisuus kulkea merellä hitaammin. Tämä kuluttaa vähemmän polttoainetta, säästää rahaa ja vähentää ilmanpäästöjä. Helsingissä on käytössä alukset kiinnittävä automooriing

kahdella erittäin vilkkaasti liikennöidyllä laivapaikalla Länsisatamassa. Kun automooriingia käytetään vilkkaasti liikennöidyllä paikalla, silloin myös edellä mainitut hyödyt ovat suurimmat.

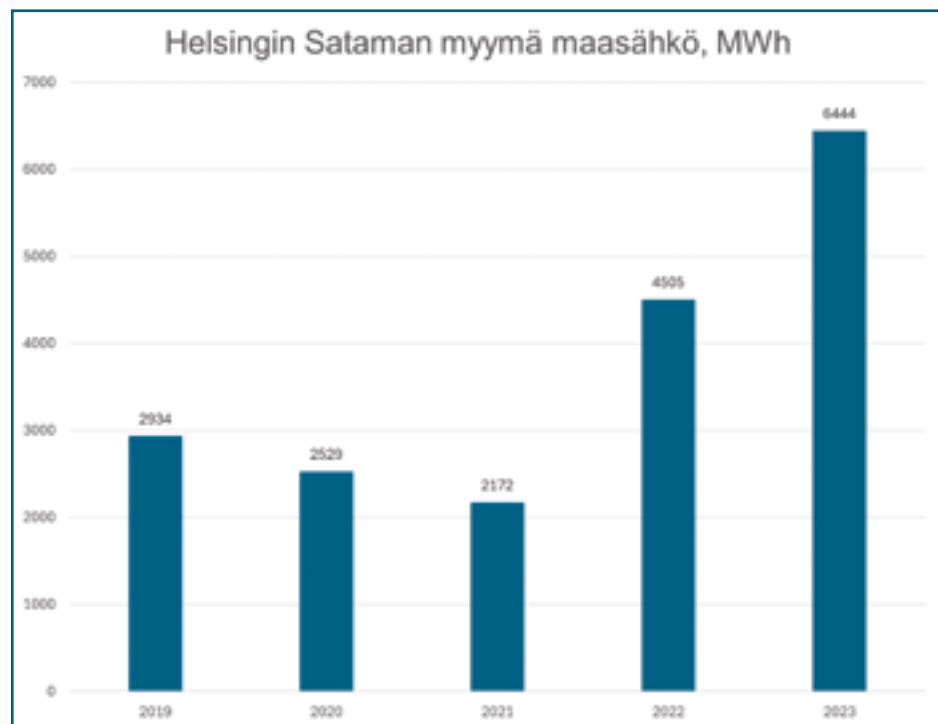
Maasähköllä vaikuttavia tuloksia

Maasähkijärjestelmiin investoiminen käy kuumana niin varustamoissa kuin satamissa. Voimakas kannustin on EU:n Fit for 55 -lainsäädäntö, jonka mukaan isommissa merisatamissa on vuoteen 2030 mennessä oltava lähes kaikille matkustaja- ja konttialuksille maasähköliitännät tai uusiutuvan polttoaineen käyttömahdollisuudet. Tähänastiset investoinnit sekä varustamoiden että sataman puolelta ovat olleet vapaaehtoisia.

Aluksille tarjottavan maissa tuotetun sähkön tarjoaminen on sataman kannalta vaikuttavin suora ilmastoinvestointi, joka vaikuttaa satama-alueen hiilineutraaliustavoitteisiin. Kun alus kytkeytyy satamaan saavuttuaan maasähkijärjestelmään, aluksen ei tarvitse pitää apukoneitaan käynnissä sähköä tuottamassa. Maasähkön käyttö voi vähentää laivan ilmapäästöjä satama-alueella merkittävästi, jopa 50–80 prosentilla, muun muassa alustyyppistä ja kytkennöistä riippuen. Käytäntö on, että heti kun laiva on kiinnitetty laituriin, se liitetään myös maasähkөөn. Kaikista ilmapäästöistä ei tällä kuitenkaan päästä eroon, sillä kylmällä kaudella alusten lämmitys hoidetaan boilerilla, jotka edelleen käyttävät perinteisiä polttoaineita. Tulevaisuudessa seuraavan sukupolven laivoihin tullaan todennäköisesti asentamaan sähköboilereita.

Maasähkön osalta on tärkeää ottaa huomioon, miten tarjottu sähkö on tuotettu. Helsingin Satama on hankkinut sähkön hiilivapaista lähteistä vuodesta 2020 alkaen. Satama aloitti maasähköinvestoinnit linjaliikenteestä. Säännöllisten aikataulujen mukaan satamassa vierailevat alukset käyvät satamassa liki päivittäin, ja osa niistä viipty satamassa useita tunteja kerrallaan. Suurimmat maasähköllä saatavat päästövähennykset syntyvät, kun nämä alukset liittyvät maasähkөөn ja sammuttavat omat apukoneensa ja sähkögeneraattorinsa.

Helsingin Satamassa rakensimme ensimmäiset maasähköliitännät keskustan satamanosiin, missä ilmapäästöjen vähennyksillä on lähellä sijaitsevan asutuksen kannalta merkittävimmat vaikutukset. Ensimmäinen maasähkijärjestelmä valmistui Katajanokalla jo vuonna 2012. Seuraavaksi järjestelmän sai Olympiaterminaalin laiturin koronavuonna 2020, ja kaksi vuotta myöhemmin Länsisataman laituripaikat Lj7 ja Lj8. Tänä vuonna valmistui Vuosaaren tavarasataman ensimmäinen maasähkijärjestelmä, jota käyttävät ropax-liikenteen alukset eli yhdistetyt rahti- ja matkustaja-alukset.



Kuva 4. Ensimmäinen linjaliikenteen maasähkölaitantä valmistui Katajanokan satamaan vuonna 2012. Eteläsatamassa maasähkölaitantä otettiin käyttöön vuonna 2021. Luvuissa näkyy myös koronapandemian vaikutukset. Kun laivakäynnit vähenivät, myös maasähköä myytiin vähemmän.

Kaikkiaan maasähkölaitantä on Helsingin satamassa kuudella laituripaikalla, kaikissa satamanosissa. Kyseisiä laituripaikkoja käyttää yli puolet aluskäynneistämme. Kuitenkaan kaikilla laivakäynneillä ei maasähköä käytetä joka kerralla, muun muassa lyhyiksi hiottujen kääntöaikojen takia.

Haasteitakin riittää, sillä käytännössä maasähkölaitantä räätälöidään kullekin alustyyppille sopivaksi. Myös

sähkön riittävyys ja sähköverkon kapasiteetti saattavat olla kovilla, sillä iso alus tarvitsee sähköä kuin pieni kylä. Lataus-tehot vaihtelevat linjaliikenteen aluksen 2,5 MW ja kansainvälisen risteilyaluksen vaatiman 16 MW välillä. Merikonttien lastauslaitureilla taas pitää vielä ratkaista, miten laitteet saa mahtumaan liikkuvan konttikraanin ja laiturilinjan väliin.

Helsingissä valmistellaan parhaillaan RoRo- ja LoLo-konttiliikenteen maasähkölaitantä ja alustavasti näitä maasähkölaitantä järjestelmiä päästään käyttämään Vuosaaren satamassa vuoden 2026 aikana.

Kohti hiilineutraaliutta

Hiilidioksidi (CO₂) on ihmisen tuottamista kasvihuonekaasuista ilmastoon lämpenemisen kannalta merkittävin ja kansainvälisessä logistiikassa sen tuottamisesta ei vielä ole pystytty irtautumaan. Siksi hiilineutraaliustavoitteet on valittu ohjaamaan myös Helsingin Sataman kestävä kehitykseen pyrkiviä valintoja.

Vuonna 2023 satama-alueiden päästöjen kokonaismäärä oli 66 048 CO₂ tonnia. Edelliseen vuoteen verrattuna määrä laski 15 prosenttia. Lasku johtui erityisesti alusliikenteen päästöjen vähentymisestä.

Helsingin Sataman operatiivisen toiminnan merkittävimmät ympäristötavoitteet ovat (vertailuvuosi on 2015):

- Aluspäästöjä vähennetään 25 prosenttia vuoteen 2030 mennessä.
- Raskaan liikenteen päästöjä vähennetään 60 prosenttia vuoteen 2030 mennessä.
- Satama-alueiden työkalujen päästöjä vähennetään 60 prosenttia vuoteen 2030 mennessä.
- Helsingin Satama on hiilineutraali omien päästöjensä osalta vuonna 2025.



Kuva 3. HSY:n siirrettävä ilmanlaadun mittausasema Vuosaaren satama-alueella vuonna 2024.

Ilmanlaatu on parantunut Helsingin satamissa

Helsingin seudun ympäristöpalveluilla (HSY) on pääkaupunkiseudulla 11 ilmanlaadun mittausasemaa. Helsingin satama osallistuu pääkaupunkiseudun ilmanlaadun yhteistarkkailuun. Mittaukset aloitettiin vuonna 2008 ja satama-alueiden ilmanlaadun seurataan yhdellä siirrettävällä mittausasemalla. Mittauksia on tehty Eteläsatamassa, Länsisatamassa ja Vuosaaren satamassa. Tänä vuonna siirrettävä mittausasema sijaitsee Vuosaaren satamassa.

Saija Korhonen, ilmansuojeluasiantuntija, Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY

Satama-alueiden ilmanlaatuun vaikuttavat pääasiassa auto- ja laivaliikenteen päästöt. Sekä laivaliikenteen että satama-alueiden autoliikenteen päästöt ovat selkeästi vähentyneet viimeisen 15 vuoden aikana. Tämä näkyy myös HSY:n ilmanlaadumittauksissa – ilmansaasteiden pitoisuudet ovat laskeneet ja satamien ilmanlaatu on nykyään pääsääntöisesti hyvä.

Ulkoilmassa oleva rikkidioksidi on enimmäkseen peräisin energiantuotannosta ja satamien lähellä hieman myös laivojen päästöistä. Satama-alueiden rikkidioksidin pitoisuuksissa on näkynyt selkeä lasku laivaliikenteen päästönormien tiukentumisen seurauksena. Satamien lähellä ei enää yleensä esiinny korkeita lyhytaikaispitoisuuksia, jotka haittaisivat lähistön asukkaita.

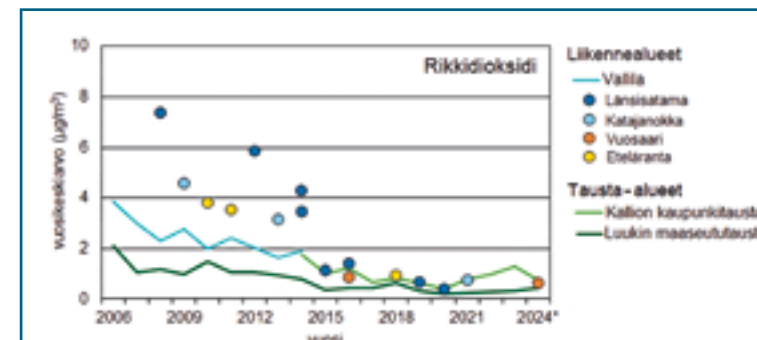
Edellisen kerran ilmanlaadun mitattiin Katajanokan satama-alueella vuonna 2021. Tuolloin rikkidioksidin vuosipitoisuus oli 0,8 mikrogrammaa kuutiosta (µg/m³). Vastaava pitoisuus vuonna 2013, ennen viimeisintä päästönormien tiukentamista, oli 3,2 mikrogrammaa kuutiosta.

Myös typpidioksidin vuosipitoisuudet ovat laskeneet Helsingin satamissa. Pakokaasujen typpidioksidin pitoisuuksia on seurattu passiivikeräimillä Länsisatamassa, Etelärannassa ja Katajanokalla jo 15 vuotta. Typpidioksidin pitoisuudet ovat satamissa melko matalia verrattuna Helsingin vilkasliikenteisiin mittauspaikkoihin. Hengitysilmassa olevat typen oksidit ovat peräisin liikenteen, erityisesti dieselautojen ja raskaan liikenteen, päästöistä. Pitoisuuksien lasku johtuu pääosin autokannan uudistumisesta ja pakokaasupäästöjen puhdistumisesta. Lisäksi muutokset matkustaja- ja tavaraliikennemäärissä vaikuttavat typpidioksidin pitoisuuksiin.

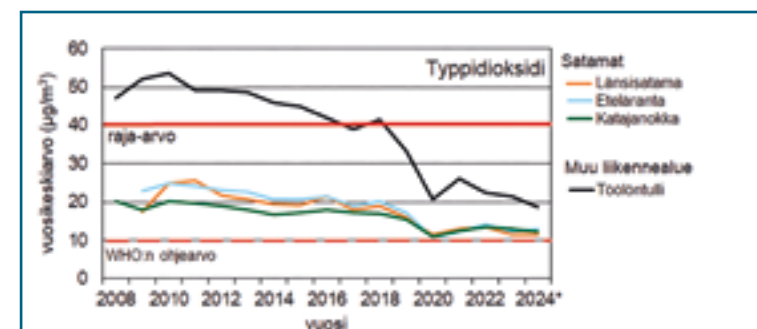
Satama-alueilla on mitattu myös pienhiukkasten ja niiden sisältämän mustan hiilen pitoisuuksia. Musta hiili eli noki on peräisin epätäydellisestä palamisesta. Päästölähteitä ovat vanhat dieselajoneuvot ja -työkoneet, puunpoltto tulisijoissa ja laivaliikenne. Mustan hiilen pitoisuuksia on seurattu Länsisatamassa vuosina 2019–2020, ja pitoisuudet olivat hieman matalampia kuin muilla vilkasliikenteisillä alueilla Helsingin keskustassa. ■

Lähteet:

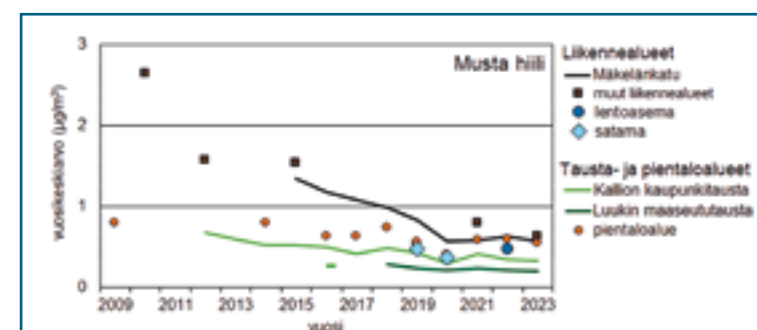
Korhonen, S., Loukkola, K., Portin, H., Niemi, J. 2024. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2023. HSY:n julkaisu 5/2024



Kuva 5. Rikkidioksidin vuosipitoisuudet pääkaupunkiseudulla HSY:n mittausasemilla. Laivaliikenteen päästönormit ovat tiukentuneet vuosina 2010 ja 2015. Vuoden 2015 tammikuussa astui voimaan alusten polttoaineen rikkipitoisuuden tiukennus 1 prosentista 0,1 prosenttiin koko Itämerellä, mikä näkyy satamien ja niiden lähialueiden ilmanlaadussa. Rikkidioksidin raja-arvot eivät ylitä pääkaupunkiseudulla. *Vuoden 2024 mittaukset tammi-syyskuulta.



Kuva 6. Passiivikeräinmenetelmällä mitatut typpidioksidin vuosipitoisuustrendit Helsingin satamissa ja vilkasliikenteisessä Töölön-tullissa Mannerheimintieellä. *Vuoden 2024 mittaukset tammi-elokuulta.



Kuva 7. Mustan hiilen vuosikeskiarvot vuosina 2009–2023 eri mittausasemilla. Mustan hiilen pitoisuudelle ulkoilmassa ei ole toistaiseksi olemassa normeja.



ILMANSUOJELUYHDISTYS MYÖNTÄÄ VUOSITTAIN STIPENDEJÄ
ANSIOITUNEIDEN OPINNÄYTETÖIDEN TEKIJÖILLE.

KUVA: IMTHAZ AHMED / UNSPLASH

Tieliikenteen ajoneuvojen renkaiden kulumisesta aiheutuvat MIKROMUOVIPÄÄSTÖT

Tieliikenne on yksi suurimmista ilmansaasteiden ja siten myös hiukkaspäästöjen aiheuttajista. Tieliikenteen ajoneuvojen renkaiden kulumisen on arvioitu olevan merkittävin ympäristöön vapautuvan mikromuovin yksittäinen lähde globaalisti. Tutkielmassani tein arvion Suomen tieliikenteen ajoneuvojen renkaiden kulumisesta aiheutuvien mikromuovipäästöjen määrästä sekä nykyhetkessä että tulevaisuudessa.

Mirka Pili, FM, Itä-Suomen yliopisto

Tieliikenteen ajoneuvojen modernisoituessa ja kehityksessä yhä vähäpäästöisemmiksi pakokaasupäästöjen osalta, huomiota on viime vuosina alettu kiinnittää yhä enemmän ajoneuvojen muihin kuin pakokaasupäästöihin. Tutkimukset ovat osoittaneet, että tieliikenteessä syntyvät muut hiukkaspäästöt ovat kokonaisuudessaan yhtä suuria tai jopa suurempia kuin ajoneuvoista aiheutuvat pakokaasupäästöt.

Tieliikenteestä peräisin olevat muut kuin pakokaasuhiukkaset koostuvat pääasiassa renkaiden, jarrujen, teiden ja tiemerkintöjen kulumishiukkasista. Jarrujen kulumisesta vapautuu ympäristöön hiukkaspäästöjen muodossa muun muassa (raskas)metalleja ja hiiltä, kun taas tiemerkinnöistä ja asfaltista joskus käytettävästä polymeerimodifioidusta bitumista päätyy mikromuoveja ympäristöön. Myös renkaiden kulumishiukkaset, jotka syntyvät renkaan kulutuspinnan hankautuessa tien pintaa vasten, luokitellaan fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksiensa vuoksi mikromuoveiksi. Globaalisti rengaskulumasta aiheutuvia mikromuovipäästöjä on arvioitu syntyvän miljoonia tonneja vuodessa. Taulukossa 1 on esitetty Euroopassa tehtyjä arvioita vuosittaista rengaskulumapäästöistä.

Mikromuovien hallitsemiseksi ei ole toistaiseksi asetettu merkittävää sääntelyä. EU:n komissio kuitenkin antoi marraskuussa 2022 nyt jo hyväksytyn ehdotuksen ajoneuvojen Euro 7 -päästönormeista, joiden on suunniteltu astuvan voimaan vuonna 2025. Uudet Euro 7 -päästönormit tulevat sisältämään pakokaasupäästöjen lisäksi raja-arvoja myös jarrujen hiukkaspäästöille ja renkaiden mikromuovipäästöille. Näillä uusilla päästönormeilla pyritään vähentämään nykyisten Euro-päästönormien monimutkaisuutta, asettamaan ajantasaiset raja-arvot kaikille merkityksellisille ilman epäpuhtauksille sekä parantamaan todellisten ajonaikaisten päästöjen valvontaa.

Hiukkasten ominaisuudet ja renkaiden kulumistekijät
Kumiosan lisäksi renkaat sisältävät lukuisia erilaisia täyte-, vahvistus- sekä lisäaineita, ja kulutuspinnan kemiallinen koostumus vaihtelee eri rengastyypin ja renkaan käyttötarkoituksen mukaan. Todellisissa olosuhteissa muodostuvat renkaiden kulumishiukkaset ovat pitkänomaisia, sylinterimäisiä hiukkasia, joissa on tien pinnasta peräisin olevia mineraali- ja metallikerrostumia. Hiukkasten koko vaihtelee keskimäärin kymmenestä nanometristä millimetreihin. Vapautuvien hiukkasten määrään ja kokoon vaikuttavat muun muassa renkaan tyyppi, koko, asento, materiaali-koostumus,

Tieliikenteestä aiheutui noin 8 152–10 711 tonnia renkaiden kulumisesta aiheutuvia mikromuovipäästöjä vuonna 2022.

kulutuspinnan kuviointi, rengaspaine, kunto ja ikä, samoin kuin ajoneuvon paino, vetotapa ja kuorma. Lisäksi ajotyyli (nopeus, kiihdytykset, jarrutukset, kaarreajot), tienpinnan materiaali ja kunto sekä ympäristöolosuhteet (lämpötila, kosteus) ovat merkittäviä tekijöitä. Myös ajoneuvokannan sähköistyminen vaikuttaa osaltaan rengaskulumapäästöihin. Sähkökäyttöisten autojen on arvioitu tuottavan polttomoottoriautoja keskimäärin enemmän rengaskulumapäästöjä, johtuen muun muassa painavista ajoakuista sekä suuremmasta hetkellisestä vääntömomentista. Sähkökäyttöisten ajoneuvojen rengaskuluman päästökertoimet riippuvat kuitenkin suuresti esimerkiksi regeneratiivisen jarrutuksen voimakkuudesta (Woo ym. 2022).

Rengashiukkasten vaikutuksia ei tunneta

Renkaiden kulumishiukkaset kulkeutuvat laajasti ympäristön eri osa-alueisiin esimerkiksi jätevesien, ilmakehän ja sadevesien mukana, ja niiden on todettu aiheuttavan haitallisia vaikutuksia ja kuolleisuutta eliöille niin vesiympäristössä kuin maaperässä. Tien pinnalle tai tienvarteen kerääntyneet hiukkaset voivat poistua muualle ympäristöön myös muun muassa teiden lakaisun, lumenkaadon ja katupölyn poiston yhteydessä. Tutkimukset viittaavat siihen, että rengashiukkaset voivat esimerkiksi kertyä eliöiden kudoksiin ja sisäelimiin (Farrell ja Nelson 2013), aiheuttaa mikromuovikerrostumia merenpohjaan (Cozar ym. 2014) sekä toimia taudinaiheuttajien levittäjinä (Song ym. 2020). Niiden on myös todettu vaikuttavan maaperässä veden ja hapen saatavuuteen sekä aiheuttavan haitallisia vaikutuksia kasvien suorituskäytön ja maaperän hajottajayhteisöön (Leifheit ym. 2022).

Rengashiukkasista aiheutuvien terveysriskien katsotaan liittyvän ensisijaisesti ilmakehään vapautuvien hiukkasten hengittämiseen, ja vaikutusten on päätelty koostuvan pääasiassa tulehdusta edistävästä reaktiosta ja oksidatiivisesta stressistä (Baensch-Baltruschat ym. 2020). Tällä hetkellä ei kuitenkaan ole saatavilla tietoa esimerkiksi renkaiden kulumishiukkasten ravintoketjussa kulkeutumisen ja imeytymisen aiheuttamista terveysriskeistä, kun taas yleisesti mikromuovien mahdollisesti aiheuttamat uhat ihmisravinnossa on laajasti tunnistettu. Olemassa oleva rengashiukkasten ympäristö- ja terveysvaikutuksiin liittyvä tutkimus onkin vielä vähäistä ja osittain ristiriitaista. Tutkimuksissa on monesti hyödynnetty keinotekoisesti valmistettuja tai hankittuja rengashiukkasia, mahdollisesti epärealistisen korkeina pitoisuuksina, jolloin myös niiden vaikutukset voivat olla erilaisia.

Laskentamenetelmät

Tein tutkielmassani arvion Suomen tieliikenteessä muodostuneiden rengaskulumapäästöjen määrästä vuonna 2022, eritellen sekä kokonaiskuluman että PM_{2,5}- ja PM₁₀-hiukkasten määrät. Lisäksi tein arvion siitä, miltä nämä päästömäärät voisivat näyttää vuonna 2050. Tutkielmassa tieliikenteen ajoneuvoilla tarkoitetaan henkilö-, paketti-, kuorma- ja

Lähde/arvioija	Maa/alue	Arviointivuosi	Päästö määrä (tonnia/vuosi)	Arviointimenetelmä
Prenner ym. (2021)	Itävalta	2018	21 200	MFA / EF
Baensch-Baltruschat ym. (2021)	Saksa	2014	79 200–98 400	EF
Wagner ym. (2018)	Saksa	2014	133 000	EF
Kole ym. (2017)	Saksa	2013	125 188	EF
Hillenbrand ym. (2005)	Saksa	2001/2002	111 420	EF
Kole ym. (2015)	Alankomaat	2012	15 030 (8 768*)	EF
Verschoor ym. (2016)	Alankomaat	2012	17 238 (8 900*)	EF
Lassen ym. (2015)	Tanska	2014	4 200–6 600	RL
Kole ym. (2017)	Tanska	2014	7 660	EF
Magnusson ym. (2016)	Ruotsi	2015	7 674	EF
Sundt ym. (2014)	Norja	2013	6 560–7 520	EF
Sundt ym. (2014)	Norja	2013	9 571	RL
Setälä ja Suikkanen (2020)	Suomi	2017	5 348–10 528	EF
Setälä ja Suikkanen (2020)	Suomi	2017	9 200	RL
Unice ym. (2019)	Seine-joen valuma-alue (Ranska)	2008	27 607	EF
Unice ym. (2019)	Ranska	2008	75 291	EF
Unice ym. (2019)	Belgia	2008	14 973	EF
Hann ym. (2018)	Euroopan Unioni	2012/2016	503 586	EF
Kole ym. (2017)	Globaali	< 2017	5 917 518	-

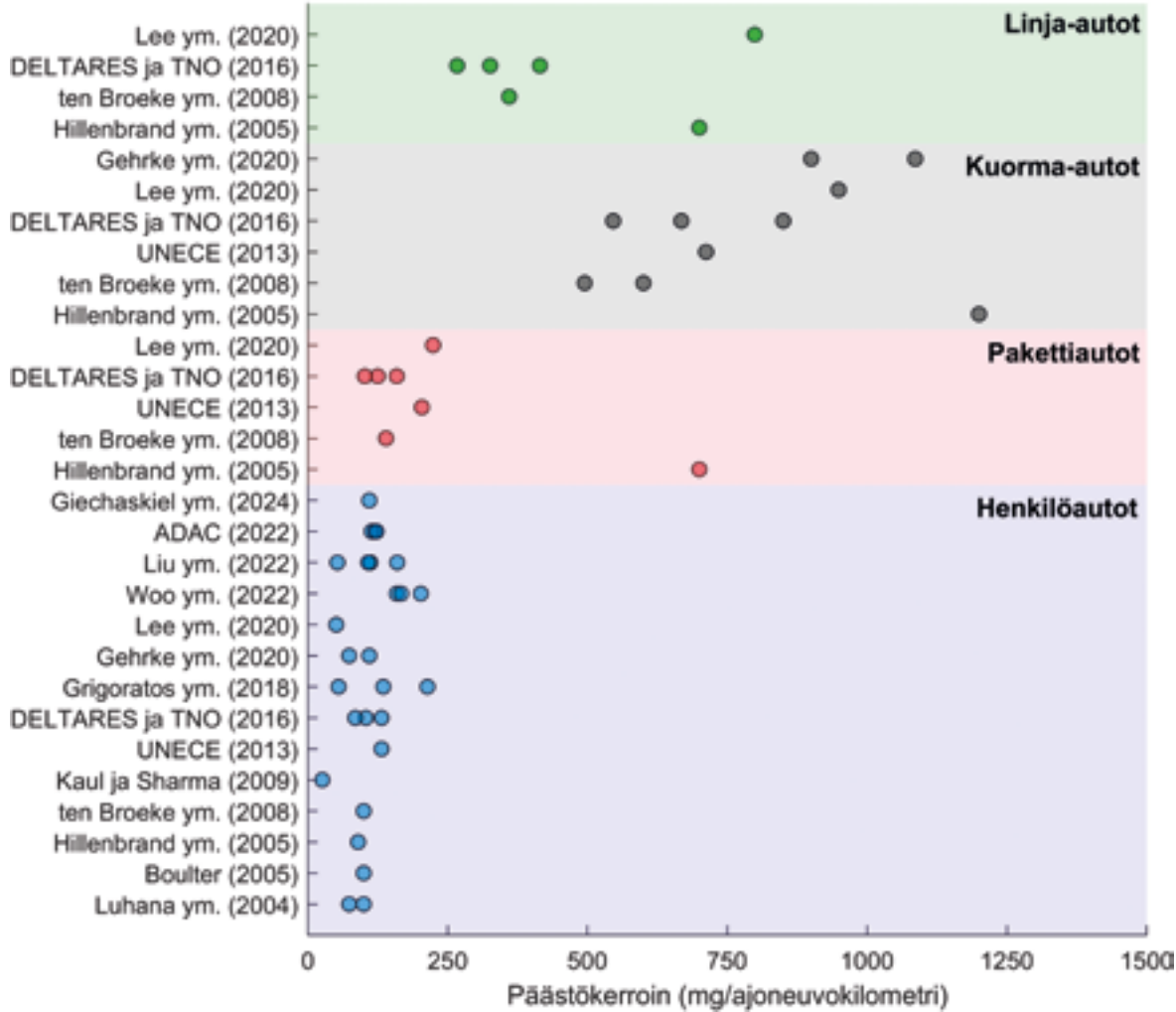
* Arvioissa on oletettu, että 95 % rengaskulumasta katoaaan jäätävien hyvin avoimen asfaltibetonin huokosiin.

Taulukko 1. Euroopassa tehtyjä arvioita vuosittaista rengaskulumapäästöistä. EF viittaa päästökertoimiin perustuvaan arviointiin, MFA materiaalivirta-analyysiin perustuvaan arviointiin ja RL renkaiden lukumäärään ja paino-häviöön/elinkaarianalyysiin perustuvaan arviointiin.

linja-autoja. Muut ajoneuvoluokat kuten mopot, moottoripyörät ja mopopuutot on jätetty tarkastelun ulkopuolelle, sillä niiden liikennesuoritteista ei ole saatavilla valtakunnallisia tilastoja.

Toteutin arvion laatimalla liikennesuoritteisiin ja päästökertoimiin perustuvan datapohjaisen laskentamallin. Kuvasa 1 on esitetty kirjallisuudesta löydettyjä päästökertoimia renkaiden kokonaiskulumalle. Päästökertoimien määrittämiseksi hyödynnetään erilaisia menetelmiä, minkä takia päästökertoimissa esiintyy vaihtelua. Käytännössä rengaskulumamittauksia suorittavat tutkimukset perustuvat suurilta osin joko laboratoriosimulaatioihin, kenttätesteihin tai reseptorimallinnukseen. Iso osa päästökertoimia esittävistä julkaisuista kuitenkin perustuu muihin kirjallisuuslähteisiin ja niistä johdettuihin arvioihin. Tutkielman laskentamallissa hyödynnettävät päästökertoimet valittiin suosien ensisijaisesti uudempia, varsinaisiin mittauksiin perustuvia ja vertailukelpoisimpia päästökertoimia, joiden taustalla olevat tutkimukset on toteutettu Euroopassa. Näistä valituista päästökertoimista johdettiin geometriset keskiarvot laskentamallissa käytettäväksi. Laskennassa hyödynnettiin Tilastokeskuksen virallisia suoritetilastoja sekä tieliikenteen perusennusteen eli WEM-skenaariota suorite-ennusteita.

Työssä halusin arvioida myös sähkökäyttöisten henkilöautojen rengaskulumapäästöjä. Sähköautoille päästökertoimia esittäviä tutkimuksia löytyi hyvin vähän, mutta olemassa olevaan tutkimustietoon perustuen laskennassa hyödynnettiin oletusta, jonka mukaan sähkökäyttöisten henkilöautojen päästökertoimet ovat keskimäärin 20 prosenttia suuremmat kuin polttomoottoriautojen. Lisäksi oletettiin, että



Kuva 1. Kirjallisuudesta löytyviä päästökertoimia renkaiden kokonaiskulumaalle.

sähköautojen osuus henkilöautojen kokonaissuoritteesta Suomessa oli noin 6,7 prosenttia vuonna 2022.

Kokonaispäästömäärästä vuonna 2022 tehtiin myös erillinen arvio rengaskierrätystilastoja ja renkaiden elinkaari-arvioita hyödyntäen. Laskenta suoritettiin samalla tavalla kuin Suomen ympäristökeskus teki vuonna 2020 (Setälä ja Suikkanen 2020). Arviossa hyödynnettiin tietoja kierrätykseen tulneiden renkaiden massa tietyllä aikavälillä, renkaiden keskimääräisestä eliniästä sekä renkaiden elinkaaren aikana tapahtuvasta arvioidusta massan menetyksestä.

Tulokset

Laskentamallilla tehdyn arvion mukaan tieliikenteen ajoneuvojen renkaiden kulumisesta muodostui arviolta noin 8 152 tonnia mikromuovipäästöjä Suomessa vuonna 2022. Vuoden 2050 päästömääräksi arvioitiin noin 11 750 tonnia (taulukko 2). Päästömäärän kasvu johtuisi pääosin ennustetusti suuremmista liikennesuoritteista sekä sähköautojen suuremmasta määrästä. PM₁₀- sekä PM_{2,5}-kokoluokan rengaskulumahiukkasten päästömääräksi arvioitiin puolestaan 252 ja 78 tonnia vuonna 2022, sekä 356 ja 110 tonnia vuonna 2050. Rengaskierrätystilastoja ja renkaiden elinkaariarvioita hyödyntävän arvion mukaan rengaskulumapäästöjä muodostui puolestaan noin 10 711 tonnia vuonna 2022.

Arvion tekemistä Suomen talvi- ja kesäajon vuosittaisista kulumaosuuksista ei katsottu mielekkääksi, sillä tutkimuksissa esitetyt päästökertoimet talvirenkaille eivät todennäköisesti vastaa rengaskulumaa Suomelle tyypillisissä talviajo-olosuhteissa. Lisäksi tarkkaa tietoa siitä, kuinka paljon talvirenkailla ajetaan vuosittain, ei ole saatavilla.

Tutkimuksissa talvirenkaiden kulumaa on monesti testattu kitkarenkailla, eivätkä arvot todennäköisesti päde nastarenkasiin. Yleisesti ottaen ei myöskään voida sanoa yksiselitteisesti, kumpi talvirengastyyppi kuluisi enemmän kaikissa tilanteissa. Lisäksi, vaikka talvirenkaiden ominaisuudet, kuten tyypillisesti kesärenkaita pehmeämpi kumiseos, suurempi luonnonkumipitoisuus sekä syvä kulutus pintakuviointi tekevät niistä myös alttiimpia kulumiselle, lumiset ja kosteat tienpinnat kuitenkin vähentävät renkaan ja tien välistä kitkakerrointa. Tästä syystä on haastavaa tehdä yleispätevää päätelmää myöskään siitä, kuluvatko kesä- vai talvirenkaat enemmän, kun niitä käytetään niille tarkoitetuissa olosuhteissa. Esimerkiksi eräissä Keski-Euroopassa tehdyissä laajoissa testeissä on kuitenkin havaittu, että kesärenkaiden kuluminen on yleensä vastaavan kokoisia talvi(kitka)renkaita keskimäärin vähäisempää (ADAC 2022).

Loppupäätelmät

Laskelmieni mukaan Suomen tieliikenteestä aiheutui arviolta 8 152–10 711 tonnia renkaiden kulumisesta aiheutuvia mikromuovipäästöjä vuonna 2022. Arvio on verrattain lähellä aiemmin Suomessa sekä muualla pohjoismaissa tehtyjä arvioita vuosittaisista päästömääristä (taulukko 1), ja toimii hyvänä suuntaviivana. On kuitenkin huomioitava, että tieliikenteen todelliset rengaskuluman aiheuttamat mikromuovipäästöt ovat suuremmat, kun otetaan huomioon kaikki tieliikenteessä esiintyvät ajoneuvotyypit. Tästä syystä rengaskierrätystilastoihin ja renkaiden elinkaariarvioihin perustuva arvio ei ole täysin vertailukelpoinen päästökerroin- ja suoriteperusteisen arvion kanssa, sillä kierrätykseen päätyvien

	Kuluma (mg/km)	Suorite 2022 (milj. km) (TK)	Päästöt 2022 (tonnia)	Suorite 2050 (milj. km) (WEM)	Päästöt 2050 (tonnia)
Henkilöautot (pl. sähkökäyttöiset)	113	35 813**	4 047	8 808	995
Sähkökäyttöiset henkilöautot	135*	2 572**	347	47 166	6 367
Pakettiautot	188	5 598	1 052	6 788	1 276
Kuorma-autot	776	3 190	2 475	3 673	2 850
Linja-autot	440	522	230	594	261
Yhteensä			8 152		11 750

* Oletus: sähköajoneuvojen rengaskuluma on noin 20 % polttomoottoriautojen rengaskulumaa suurempaa
** Oletus: sähkökäyttöisten henkilöautojen osuus henkilöautojen kokonaissuoritteesta oli noin 6,7 % vuonna 2022

Taulukko 2. Arvio rengaskuluman kokonaismikromuovipäästöistä vuosina 2022 ja 2050. TK = Tilastokeskus, WEM = tieliikenteen perusennuste.

renkaiden joukossa on myös muita kuin tässä tutkielmassa käsiteltyjen ajoneuvotyyppien renkaita. Myös renkaiden elinkaariarviot voivat erota huomattavasti eri ajoneuvotyyppien välillä.

Lisätutkimukselle on akuutti tarve tarkemman ymmärryksen saavuttamiseksi. Jatkossa lisätietoa tarvittaisiin erityisesti rengashiukkasten muodostumis- ja vapautumismekanismeista, sähköajoneuvojen vaikutuksesta rengashiukkaspäästöihin, pienhiukkasten ja nanokokoluokan hiukkasten päästöjen määrästä, talvirenkaiden kulumasta Suomelle tyypillisissä talviolosuhteissa sekä rengaskumin ja sen komponenttien ympäristölle ja terveydelle vaarallisista ominaisuuksista. Lisäksi, jotta renkaiden kulumisen voidaan ottaa huomioon sääntelyssä, standardoitujen rengaskulumatestien kehittäminen ja vakiinnuttaminen on ratkaisevan tärkeää. Tulevaa Euro 7 -asetusta varten kehitetään parhaillaan asianmukaisia ja standardisoitavia testimenetelmiä renkaiden tyypinhyväksyntää koskevaa sääntelyn asettamiseksi niiden kulumisen osalta.

Hallinnollisilla ja teknologisilla toimenpiteillä, kuten kullattajatietyyppien renkaiden seurannan ja alan toimijoiden yhteistyön lisäämisellä, innovatiivisten renkaiden ja ympäristöstävällisten kumiseosten kehittämisellä sekä kevyempien materiaalien hyödyntämisellä ajoneuvojen valmistuksessa voitaisiin vähentää rengashiukkasten vapautumista ympäristöön ja parantaa renkaiden kierrätettävyyttä. Esimerkiksi kehittämällä ja ottamalla käyttöön teknologioita, jotka mahdollistavat rengashiukkasten talteenoton muodostumisen jälkeen, voitaisiin mahdollistaa rengaskulumapäästöjen huomattava vähentyminen. Kunkin toimenpiteen potentiaalinen määrittäminen vaatisi kuitenkin tarkempia selvityksiä. ■

Maisterintutkielma toteutettiin Itä-Suomen yliopistossa Kuopiossa, ympäristötieteen koulutusohjelmassa ja se on tehty Liikenne- ja viestintävirasto Traficomille. Koko tutkielma ja täydellinen lähdeluettelo ovat saatavilla osoitteessa: <http://urn.fi/urn:nbn:fi:uef-20240369>

Lähteet

ADAC. (2022). Tyre abrasion: wear and burden on the environment. ADAC e.V. 81360 München. Verkkojulkaisu, saatavilla: https://assets.adac.de/image/upload/v1639663105/ADACeV/KOR/Text/PDF/Tyre_wear_particles_in_the_environment_zkmd3a.pdf
Baensch-Baltruschat, B., Kocher, B., Stock, F. ja Reifferscheid, G. (2020). Tyre and road wear particles (TRWP) - a review of generation, properties, emissions, human health risk, ecotoxicity, and fate in the environment. Science of the Total Environment 733: 137823. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137823>
Cozar, A., Echevarria, F., Gonzalez-Gordillo, J.I., Irigoien, X., Ubeda, B., Hernandez-Leon, S., Palma, A.T., Navarro, S., Garcia-de-Lomas, J., Ruiz, A., Fernandez-de-Puelles, M.L. ja Duarte, C.M. (2014). Plastic debris in the open ocean. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 111 (28): 10239–10244. <https://doi.org/10.1073/pnas.1314705111>
Farrell, P. ja Nelson, K. (2013). Trophic level transfer of microplastic: Mytilus edulis (L.) to Carcinus maenas (L.). Environmental Pollution 177: 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.01.046>

Leifheit, E.F., Kissener, H.L., Faltin, E., Ryo, M. ja Rillig, M.C. (2022). Tire abrasion particles negatively affect plant growth even at low concentrations and alter soil biogeochemical cycling. Soil Ecology Letters 4: 409–415. <http://dx.doi.org/10.1007/s42832-021-0114-2>
Setälä, O. ja Suikkanen, S. (toimittaja). (2020). Suomen merialueen roskaantumisen lähteet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 9/2020. Suomen ympäristökeskus (SYKE), Helsinki. Saatavilla: <https://helda.helsinki.fi/items/6d970a86-7a2f-421e-ab62-07d0d773d45e>
Song, J., Jongmans-Hochschulz, E., Mauder, N., Imirzalioglu, C., Wichels, A. ja Gerdt, G. (2020). The travelling particles: investigating microplastics as possible transport vectors for multidrug resistant E. coli in the Weser estuary (Germany). Science of the Total Environment 720: 137603. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137603>
Woo, S.-H., Jang, H., Lee, S.-B. ja Lee, S. (2022). Comparison of total PM emissions emitted from electric and internal combustion engine vehicles: An experimental analysis. Science of the Total Environment 842: 156961. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156961>

VALOKEILASSA

Sarjassa haastattemme ilmansuojelualalla toimivia ihmisiä heidän urastaan ja ajatuksistaan ilmansuojelun ja ilmastotyön tulevaisuudesta



KUVA: TOMI PARKKONEN

Saara Jääskeläinen

Työskenteletkö ilmansuojelun, ilmastokysymysten vai molempien parissa?

Tällä hetkellä työskentelen pääsääntöisesti ilmastokysymysten parissa. Aikaisemmin olen työskennellyt myös ilmansuojelukysymysten parissa. Liikenteessä on toki huomattava, että näillä kysymyksillä on vahvat kytkennät myös keskenään, ja usein yhdellä politiikkatoimella voidaan vaikuttaa molempiin asioihin.

Kuinka kauan olet työskennellyt ilmansuojelualalla / ilmastokysymysten parissa?

Aloitin työt liikenne- ja viestintäministeriössä heti yliopistosta valmistumisen jälkeen eli syksyllä 1999. Työtehtäviini kuuluivat alusta alkaen liikenteen erilaiset ympäristökysymykset: melu, ilmanlaatu, luonnon monimuotoisuus, pohjavedet, maaperä, ilmastomuutos ja muu vastaava. Liikenne- ja viestintäministeriössä tehtiin systemaattista strategia-työtä näihin liittyen jo vuosituhaten vaihteessa. Olen siis työskennellyt liikenteen eri ympäristökysymysten parissa jo 25 vuotta.

Mitä ovat olleet merkittävimmät murroskohdat ilmansuojelualalla / ilmastonsuojelussa oman urasi aikana?

Ilmastoasioissa tapahtui mielestäni jonkinlainen läpimurto 2010-luvulla IPCC:n viidennen arviointiraportin valmistumisen jälkeen. Pariisin ilmastopöytäkirja solmittiin joulukuussa 2015 ja se astui voimaan marraskuussa 2016. Suomen keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmaan (KAISU) kirjattiin vuonna 2017 tavoite hiilineutraalista Suomesta vuonna 2035 ja eduskuntapuolueet yhtä lukuun ottamatta päättivät yhteisistä, kunnianhimoisista ilmastopolitiikan tavoitteista.

Ilmastomuutos ja sen torjunta nousivat noihin aikoihin myös liikennepolitiikan keskiöön. Ministeriön kansliapäällikkö puhui ilmastomuutoksesta ”ei vain kansakunnan, vaan koko ihmiskunnan kysymyksenä”, ja liikennepolitiikan osaston ylijohtaja ilmoitti, että jokaisen virkamiehen on työssään huomioitava myös valmisteltavien asioiden vaikutukset liikenteen kasvihuonekaasupäästöihin. Ministeriöön perustettiin vuonna 2018 myös erillinen ilmasto- ja ympäristöyksikkö, jolloin ympäristökysymyksille saatiin yksi selkeä ”omistaja”, eli ilmasto- ja ympäristöyksikön johtaja.

Ministeriön näkyvin ponnistus noihin aikoihin oli Ilmastopolitiittinen työryhmä (ILMO 45). Työryhmän tehtävänä oli selvittää ja arvioida keinoja, joilla liikenteen kasvihuonekaasupäästöt voitaisiin vuoteen 2030 mennessä puolittaa ja pitemmällä aikavälillä kokonaan poistaa. Media seurasi työryhmän työtä niin tarkkaan, että loppuraportti esiteltiin YLE:n klo 20.30 uutisissa jo ennen sen julkaisemista.

Mitä ovat olleet viimeisimpiä työtehtäviäsi tai projektejasi?

Edellisellä hallituskaudella liikenne- ja viestintäministeriössä valmisteltiin silloisen hallitusohjelman mukaisesti strategia liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen puolittamiseksi vuoteen 2030 mennessä – eli niin sanottu Fossiilittoman liikenteen tiekartta. Tiekartan valmistelun yhteydessä toteutettiin valtava määrä erilaisia tutkimus- ja selvityshankkeita, joissa tuotettiin yksityiskohtaista tietoa liikenteen päästövähennystoimista, niiden päästövähennyspotentiaaleista, kustannuksista ja muista vaikutuksista. Tiekartasta tehtiin valtioneuvoston periaatepäätös toukokuussa 2021. Toimet sisällytettiin osaksi myös vuoden 2022 KAISU:a, jossa määritellään toimet

koko taakanjakosektorin päästöjen puolittamiseksi vuoteen 2030 mennessä. Pääministeri Petteri Orpon hallituskaudella keskeisin työtehtäväni on liittynyt Fossiilittoman liikenteen tiekartan päivittämiseen osana uuden KAISU:n valmistelua.

Mitä näet suurimpina tulevana trendeinä ja haasteina ilmansuojelualalla / ilmastoalalla?

Uskoakseni suurin tuleva muutos liikenteen päästöjen vähentämisessä liittyy vuonna 2027 alkavaan jakelijoiden päästökauppaan. Uusi päästökauppa vastaa toimintaperiaatteiltaan pitkälle nykyistä päästökauppaa. Päästökauppaan kuuluvien tahojen päästöille asetetaan EU-tasolla katto, jota vastaava määrä päästöoikeuksia lasketaan liikkeelle markkinoille. Polttoaineen jakelijat voivat käydä päästöoikeuksilla kauppaa ja niille muodostuu markkinoilla hinta. Jakelijat sisällyttävät tämän hinnan myymiensä polttoaineiden hintoihin, jolloin polttoaineiden hinnat nousevat. Kun polttoaineiden hinnat nousevat, niiden kysyntä pienenee ja päästöt vähenevät.

Uuden päästökaupan suurimpana haasteena on varmasti se, että kukaan ei osaa varmuudella sanoa, mikä tulee olemaan päästöoikeuden ja sitä kautta esimerkiksi bensiinin hinta päästökaupan alettua. EU:n komissio on omista arvioinneistaan käyttänyt päästöoikeuden hintaa 50 €/CO₂t, mutta korkeampiakin arvioita on esitetty. 50 euron tonnihinalla bensiinin hinta Suomessa nousisi arvioiden mukaan noin 16 senttiä litralta ja dieselin hinta noin 11 senttiä litralta. Polttoaineiden hintojen noustessa on huolehdittava siitä, että

tilanne ei muodostu kohtuuttomaksi pienituloisemmille kotitalouksille tai pienemmille yrityksille, joilla ei välttämättä ole varaa hankkia itselleen uutta vähemmän kuluttavaa ajoneuvoa. Tätä varten komissio on perustanut niin sanotun sosiaalisen ilmastorahaston, jonka kautta hinnannousun haitallisia vaikutuksia voidaan eri EU-maissa lieventää.

Mitä haluaisit saada aikaan urasi aikana?

Tämän hetken arvion mukaan eläkeikäni koittaa joskus vuoden 2036 paikkeilla. Jos saataisiin sitä ennen Suomi hiilineutraaliksi, niin se olisi mahtava juttu se! Sen jälkeen voisin siirtyä eläkkeelle hyvin mielin. ■

Liikenneneuvos Saara Jääskeläinen työskentelee liikenne- ja viestintäministeriössä, ilmasto- ja ympäristöyksikössä. Hänen tehtäviinsä kuuluu muun muassa liikenteen ilmastopolitiikan valmistelu ja yhteensovittaminen muun kansallisen ilmastopolitiikan kanssa. Hänen erityisalaansa ovat liikenteen kasvihuonekaasupäästökkenaariot ja päästövähennystoimenpiteiden vaikutusarvioinnit. Jääskeläinen on työskennellyt liikenne- ja viestintäministeriössä vuodesta 1999 alkaen. Hän on koulutukseltaan maa- ja metsätieteiden maisteri, pääaineenaan ympäristönsuojelutiede.

Dekati® Oxidation Flow Reactor DOFR™



DEKATI® Oxidation Flow Reactor DOFR™

- Helppokäyttöinen läpivirtauskammio aerosolien ikäännyttämiseen
- Simuloi sekundääristen aerosolien muodostumisen alle minuutissa
- Erittäin pienet hiukkashäviöt



► Dekati Oy on maailman johtava pienhiukkasmittalaitteiden kehittäjä ja valmistaja. Kaikki Dekatin tuotteet suunnitellaan ja valmistetaan Suomessa, ja ne ovat saatavilla jopa viiden vuoden takuulla.



Excellence in particle measurement

Dekati Oy Tykkitie 1, 36240 Kangasala Puh. +358 3 3578 100 Sähköposti: sales@dekati.com

www.dekati.com

ILMANSUOJELUYHDISTYS MYÖNTÄÄ VUOSITTAIN STIPENDEJÄ
ANSIOITUNEIDEN OPINNÄYTETÖIDEN TEKIJÖILLE.

LAIVAMOOTTORIN pienhiukkaspäästöjen valoa absorboivista ominaisuuksista

KUVA: LEVI MEIR CLANCY / UNSPLASH

Polttoöljyjä käyttävät laivat vapauttavat ilmakehään huomattavia määriä ilmastoa lämmittävää mustaa ja ruskeaa hiiltä. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin laivamoottorin tuoreiden ja valokemiallisesti ikäännytettyjen pienhiukkaspäästöjen valoa absorboivia ominaisuuksia ja havaittiin, että käytetty laivapolttoaine ja moottorin kuorma vaikuttavat merkittävästi mustan hiilen päästökertoimiin. Matalarikkisellä raskaalla polttoöljyllä (0,5 % S) mustan hiilen päästökertoimet olivat keskimäärin kolminkertaiset verrattuna merikaasuöljyyn (0,01 % S). Riippuvuus moottorin kuormasta viittaa siihen, että mustan hiilen päästöt voivat olla korkeimmillaan satamissa ja rannikoiden läheisyydessä alhaisilla kuormilla, kun taas suuremmilla kuormilla, esimerkiksi avomerellä, mustan hiilen päästöt suhteessa tuotettuun energiaan pienenevät.

Tuukka Kokkola, projektitutkija, Itä-Suomen yliopisto

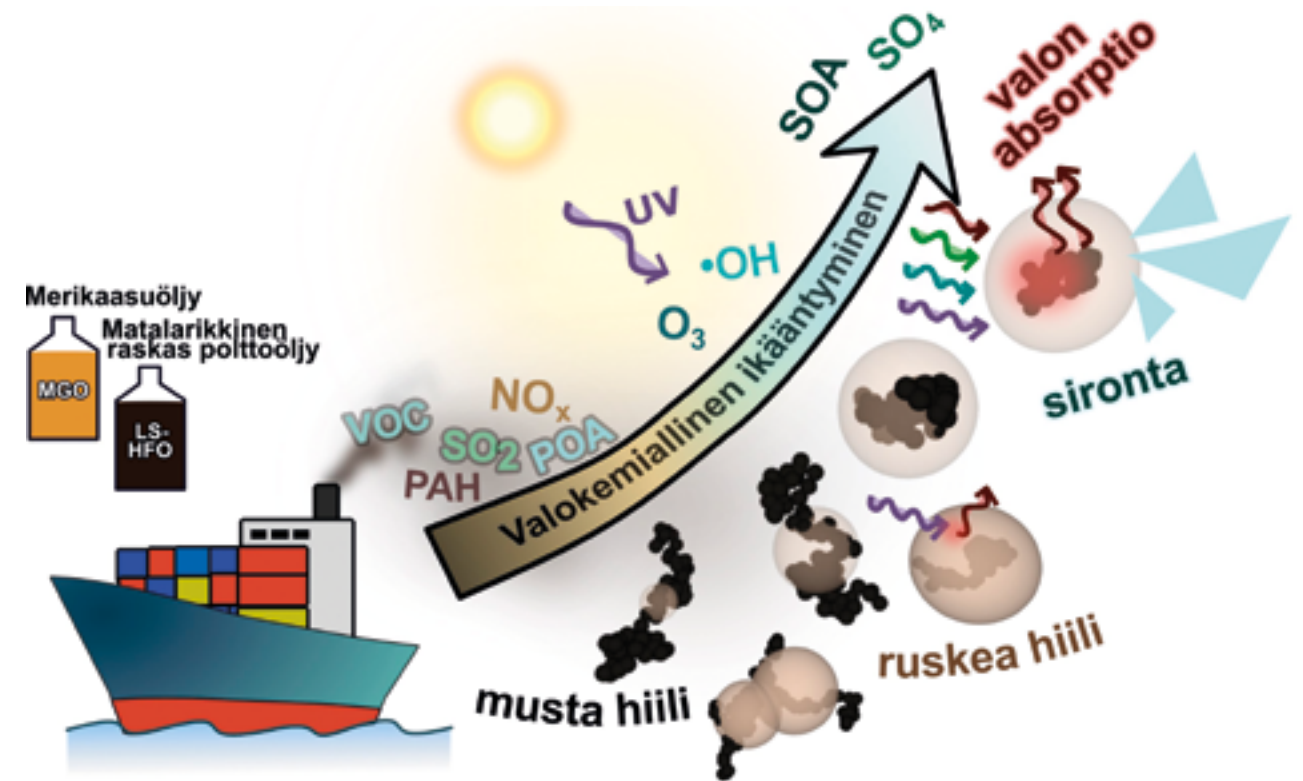
Viiime vuosikymmenen aikana merenkulun päästörajoitukset ovat keskittyneet rikkidioksiidiin (SO_2), jolla on haitallisia terveys- ja ympäristövaikutuksia. Suurin keino hallita rikkidioksidipäästöjä on matalarikkisten polttoaineiden käyttö, joten rajoitukset ovat ensisijaisesti kohdistuneet laivoissa käytettävien polttoaineiden rikkipitoisuuksiin (S). Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO (International Maritime Organization) määräsi vuonna 2015 rikkipitoisuuden enimmäismääräksi 0,10 prosenttia laivapolttoaineille SECA (Sulfur Emission Control Area) -alueilla (ennen 1 % S). SECA-alueet tarkoittavat rikkipäästöjen rajoitusalueita, joihin kuuluvat muun muassa Pohjois-Amerikkaa ympäröivät vesistöt, Pohjanmeri ja Itämeri.

Rikkirajoituksia laajennettiin myöhemmin vuonna 2020, kun IMO asetti 0,5 prosentin rikkipitoisuusrajan laivapolttoaineille maailmanlaajuisesti SECA-alueiden ulkopuolella (ennen 3,5 % S). Kuitenkin korkeamman rikkipitoisuuden sisältävien polttoaineiden käyttö on edelleen sallittu laivoissa, joiden päästöt käsitellään rikkipesurin avulla. Nämä säädökset kohdistuivat erityisesti raskaaseen polttoöljyyn, koska raskas polttoöljy on halvan hintansa takia ollut käytetyin laivapolttoaine maailmanlaajuisesti ja sen rikkipitoisuus on

luonnostaan korkea. Sen sijaan, että kaikki laivat vaihtaisivat puhtaampiin polttoaineisiin noudattaakseen rikkirajoituksia, on matalarikkisten raskaan polttoöljyn seosten käyttö yleistynyt. Näiden uusien matalarikkisten raskaspolttoöljyjen vaikutuksista muihin säätelemättömiin päästöihin ei tiedetä vielä paljoa.

Laivojen pienhiukkaspäästöjen tiedetään viilentäneen meri-ilmastoa, sillä rikkipitoiset hiukkaset sirottavat auringonvaloa takaisin avaruuteen sekä muodostavat pilviä, jotka myös viilentävät ilmastoa. Vuoden 2020 rikkirajoitusten seurauksena sulfaattipäästöjen (SO_4) määrä on vähentynyt, ja tämän muutoksen on arvioitu jo vähentävän viilentävää vaikutusta (Yuan ym. 2022). Lisäksi polttoöljyillä kulkevien laivojen päästöt sisältävät merkittäviä määriä valoa absorboivia pienhiukkasia eli niin sanottua mustaa hiiltä (BC) ja ruskeaa hiiltä (BrC).

Musta hiili on grafiittimainen hiilen muoto, joka säilyy kemiallisesti stabiilina jopa korkeissa lämpötiloissa (Bond ym. 2013). Mustalle hiilelle on ominaista voimakas valon absorptio ultraviolettiaallonpituuksilta (UV) infrapunalle (IR) asti. Ruskea hiili puolestaan viittaa monimuotoiseen joukkoon orgaanisia yhdisteitä, mukaan lukien esimerkiksi polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä, joiden yhdistävä tekijä on valon absorptio (Laskin ym. 2015). Ruskean hiilen valon absorptio



Kuva 1. Laivojen päästöjen seurauksiin vaikuttavat monet eri tekijät.

poikkeaa kuitenkin mustan hiilen absorptiosta. Ruskean hiilen absorptio painottuu UV-aallonpituuksille sekä lyhyille näkyvän valon aallonpituuksille, kun taas pidemmillä aallonpituuksilla absorptio on vähäistä tai olematonta.

Mustan ja ruskean hiilen tunnusomaiset absorption aallonpituusriippuvuudet mahdollistavat niiden erottelun toisistaan. Absorption aallonpituusriippuvuus ilmaistaan tyypillisesti absorption Ångströmin eksponentteina (AAE) – mitä korkeampi Ångströmin eksponentti on, sitä enemmän absorptio painottuu lyhyille aallonpituuksille, jolloin ruskean hiilen osuus absorptiosta on suurempi. Valoa absorboivat hiukkaset aiheuttavat positiivisen säteilypakotteen erityisesti, jos ne päätyvät jää- ja lumipintaisille alueille, joilla on korkea heijastavuus eli albedo – oleellisena esimerkkinä pohjoinen arktinen alue, jonka tilanteesta kerrotaan myös tämän lehden sivuilla 4–7.

Mustalla ja ruskealla hiilellä on siis ilmakehää lämmittävä vaikutus, johon liittyy myös monimutkaisia ilmastoa lämmittäviä takaisinkytkentöjä. Lämmittävistä ilmastovaikutuksista huolimatta mustalle ja ruskealle hiilelle ei ole toistaiseksi määritetty päästörajoituksia. Heinäkuussa 2024 IMO asetti raskaan polttoöljyn käyttö- ja kuljetuskiellon arktisille alueille, mikä todennäköisesti vähentää arktisen alueen mustan hiilen päästöjä. Tämä lainsäädäntö ei kuitenkaan tule koskemaan kaikkea arktista laivaliikennettä ennen heinäkuuta 2029.

Laivamoottorissa vapautuvat kaasut ja hiukkaset ikääntyvät ilmakehässä, eli reagoivat hapettavien radikaalien, kuten hydroksyyliaradikaalin (OH), otsonin (O_3) ja nitraattiradikaalin (NO_3) kanssa, mikä muuttaa niiden kemiallisia ja fyysisiä ominaisuuksia. Ilmakehäikääntymisessä voi muodostua uusia niin sanottuja sekundäärisiä hiukkasia esimerkiksi reakti- otuotteiden tiivistyessä. Tutkimustieto siitä, miten ilmakehän ikääntymisreaktiot vaikuttavat hiukkasten valoa absorboiviin ominaisuuksiin on toistaiseksi rajallista. Ilmakehäikääntymisen voi sekä lisätä hiukkasten valon absorptiota, esimerkiksi muodostamalla ruskeaa hiiltä, että vähentää valon

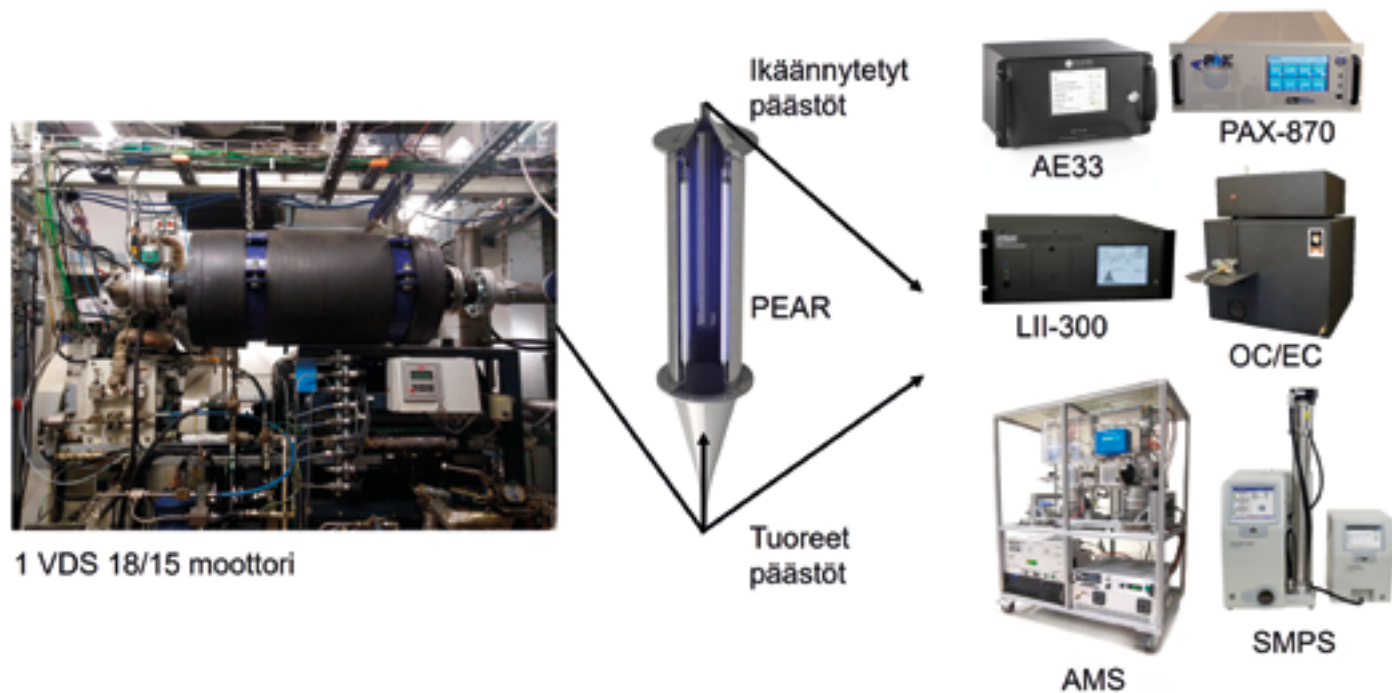
absorptiota esimerkiksi auringonsäteilyn aiheuttaman valkaisun vuoksi (Laskin ym. 2015). Sekundääriset aerosolihiukkaset voivat myös viilentää ilmastoa sirottamalla auringonsäteilyä. Tässä opinnäytetyössä selvitettiin, mitä vaikutuksia valokemiallisella ikääntymisellä on laivamoottorin hiukkaspäästöjen valoa absorboiviin ominaisuuksiin (kuva 1).

Menetelmät

Tämän pro gradu -työn mittaukset toteutettiin osana EU Horizon 2020 ULTRHAS-projektin mittauskampanjaa (Ultra-fine particles from TRansportation – Health Assessment of Sources). Kokeellinen osuus suoritettiin Saksassa, Rostockin yliopiston polttomoottoreiden tutkimuslaitoksessa (Institute of Piston Machines and Internal Combustion Engines). Mittauskampanjassa tutkittiin päästöjä laivamoottorista, jota operoitiin matalarikkisellä raskaalla polttoöljyllä (Low-Sulfur Heavy Fuel Oil, LS-HFO, 0,5 % S) sekä merikaasuöljyllä (Marine Gas Oil, MGO, 0,01 % S). LS-HFO vastaa rikkipitoisuudeltaan maailmanlaajuisesti hyväksyttävää polttoainetta ja MGO vastaa SECA-alueille sopivaa polttoainetta. Tutkimuksessa käytettiin pientä laivamoottoria vastaavaa laboratorioon sijoitettua yksisylinteristä 80 kW nelitahtidieselmoottoria (1 VDS 18/15, kuva 2), jota operoitiin ISO 8178 E2 (international standard for exhaust emission measurement from non-road engines) standarditestisyklin mukaisesti.

Näytteenottoa varten moottorin savukaasupäästöt laimennettiin ensisijaisesti huokaisen putken laimentimen ja ejektorilaimentimen yhdistelmällä, sekä lisälaimennuksella herkimille mittalaitteille. Päästöjä syötettiin PEAR-läpivirtausreaktoriin (Photochemical Emission Aging flow tube Reactor, Ihalainen ym. 2019), jossa päästöjä prosessoitiin valokemiallisilla ikääntymisreaktioilla. PEAR:ssa luotiin minuutin vasteajalla valokemialliset olosuhteet, jotka vastasivat päivästä muutamaan päivään ikääntymistä ilmakehässä.

Päästöistä mitattiin muun muassa valon absorptiota etalometrillä (Magee Scientific AE33-7) ja fotoakustisella



Kuva 2. Moottori, näytteenottojärjestelmä, valokemiallinen ikääntymisreaktori sekä mittauslaitteisto.

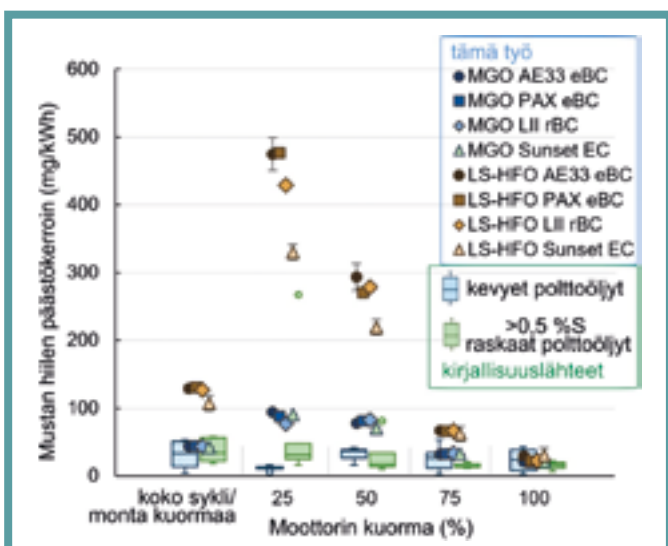
ekstinktiometrillä (Droplet Measurement Inc. PAX-870). Mustaa hiiltä mitattiin sekä edellä mainituilla laitteilla että laserhehkutuksella (Artium LII-300) ja määrittämällä alkua-inehiili (elemental carbon, EC) suodattimilta. Lisäksi mitattiin hiukkasten kemiallista koostumusta aerosolimassaspektrometrillä (Aerodyne Inc. HR-ToF-AMS) ja hiukkaskokojakaumaa skannaavalla liikkuvuuskokoluokittelijalla (TSI SMPS). Mustalle hiillelle, eli menetelmän mukaan eBC:lle (equivalent black carbon, AE33 ja PAX-870), rBC:lle (refractory black carbon, LII-300) ja EC:lle, laskettiin päästökertoimet tuotettua energiaa kohti, jonka jälkeen eri mustan hiilen määritysmenetelmiä vertailtiin keskenään. Lisäksi etalometrillä tarkasteltiin valon absorption aallonpituusriippuvuutta, eli Ångströmin eksponentteja ja ruskean hiilen osuutta absorptiosta.

Eri laitteilta samanaikaisesti kerätyn datan avulla määritettiin mustan hiilen massa-absorptiokertoimet ja monisironatkerroimet laivamoottoripäästöistä. Massa-absorptiokerroin kuvastaa hiukkasen absorptiotehokkuutta suhteessa sen massaan, ja tällä suhdeluvulla voidaan esimerkiksi kääntää absorptiomittaus mustan hiilen massaksi. Se laskettiin suhteuttamalla PAX:n mittaamaa valon absorptiota ja LII:n mittaamaa mustan hiilen massaa. Monisironatkerroin puolestaan kuvaa etalometrin mittaaman valon vaimenemisen ja PAX:n mittaaman absorption suhdetta, jota käytetään etalometrin tulosten korjaamiseen – eli käytännössä etalometri kalibroitiin PAX:n mukaan.

Tulokset

Koostumukseltaan laivapäästöt olivat nokirikkaita eli valtaosa tuoreesta hiukkasmassasta oli mustaa hiiltä. Mustan hiilen päästökertoimet olivat vahvasti riippuvaisia moottorin kuormasta ja polttoaineesta (kuva 3). Matalarikkisen raskaspolttoöljyn mustan hiilen päästökertoimet olivat keskimäärin kolme kertaa suuremmat kuin merikaasuöljyllä. Päästökertoimet olivat korkeimmillaan matalimmilla moottorin kuormituksilla ja laskivat kuormaa nostettaessa, jolloin myös päästökertoimien erot polttoaineiden välillä pienenevät. Eri mittausmenetelmien välillä havaittiin suurimmat erot matalimmilla moottorin kuormilla sekä valokemiallisen ikääntymisen jälkeen.

Kirjallisuuslähteisiin verrattaessa huomattiin, että matalarikkisellä raskaalla polttoöljyllä mustan hiilen päästökertoimet olivat jopa suurempia kuin on aiemmin raportoitu, myös tutkimuksissa, joissa oli käytetty samaa moottoria. Olennainen ero aiempien tämän tutkimuksen ja aiempien kirjallisuuslähteiden välillä on polttoaineen rikkipitoisuudessa: tässä tutkimuksessa käytettiin matalarikkistä (0,5 % S) raskasta polttoöljyä, kun taas suurin osa raportoiduista päästökertoimista oli määritetty ennen vuotta 2020, jolloin maailmanlaajuinen polttoaineen rikkipitoisuusraja oli vielä 3,5 prosenttia. Tulokset viittaavat siihen, että matalarikkisen raskas polttoöljy voi tuottaa enemmän mustaa hiiltä kuin aiemmat korkearikkiset versiot. On kuitenkin huomioitava, että tuloksia ei voida suoraan yleistää kaikkiin laivamoottoreihin, sillä



Kuva 3. Tuoreen päästön sisältämät mustan hiilen päästökertoimet eri mittausmenetelmillä määritettynä jaoteltuna moottorin kuorman mukaan tai koko ISO 8178 E2 testisyklille. Lisäksi kuvaajassa verrataan BC-päästökertoimia kirjallisuudessa raportoituihin päästökertoimiin. Kuvan luomisessa käytetyt lähteet löytyvät tutkielman lähdeluettelosta.

erilaisten moottorien päästöprofiilit voivat poiketa merkittävästi toisistaan.

Suurin osa valon absorptiosta oli mustan hiilen aiheuttamaa ja ruskean hiilen absorptio-osuus oli samankaltainen molemmilla polttoaineilla. Ruskeaa hiiltä havaittiin lähinnä matalimmalla moottorin kuormalla, jolloin ruskean hiilen osuus absorptiosta 370 nm aallonpituudella oli noin 10–25 prosenttia. Ruskean hiilen absorptio-osuus raskaalla polttoöljyllä oli matalampi kuin aiemmissa tutkimuksissa, kun taas merikaasuöljyllä ruskean hiilen absorptio oli samankaltaista kuin kirjallisuudessa (Corbin ym. 2018).

Valokemiallinen ikääntäminen lisäsi hiukkasmassaa keskimäärin kymmenkertaisesti, orgaanista hiukkasmassaa 9–11-kertaisesti ja sulfatteja jopa 80–90 -kertaisesti. Ikääntymisen myötä mustan hiilen massa-absorptiokertoimet kasvoivat, mikä viittaa niin sanottuun linssivaikutukseen: ei-absorboiva hiukkasmassa ikään kuin ohjaa valoa absorboiviin hiukkasiin ja kasvattaa näin kokonaisabsorptiota (Lack & Cappa 2010). Valokemiallinen ikääntyminen lisäsi myös ruskean hiilen valon absorptiota keskimääräisesti viisi prosenttia ja tietyillä moottorin kuormilla jopa kymmenen prosenttia. Työssä siis havaittiin, että valokemiallisella ikääntymisellä on lievä valon absorptiota kasvattava vaikutus. Mustan hiilen päästöt kuitenkin vallitsivat absorptiota, joten moottorin käyttötavalla ja laivapolttoaineella oli kaikista suurin vaikutus hiukkasten valon absorptioon. ■

Maisterintutkielma tehtiin Itä-Suomen yliopistossa Kuopiossa, ympäristötieteen koulutusohjelmassa. Koko tutkielma ja täydellinen lähdeluettelo löytyvät kampuskirjastosta.

English summary

Light-absorbing properties of fresh and photochemically aged particulate emissions from a marine engine

Marine transportation is a major anthropogenic contributor to particulate matter (PM) over marine environments and coastal areas. PM emitted from ships interacts with solar radiation and clouds and ultimately influences the radiative balance. Ships operated with fossil fuel oils, like heavy fuel oil and marine gas oil, produce light-absorbing particulate matter (black and brown carbon) exerting a warming effect on climate, especially if deposited on icy and snowy areas with a high reflectivity, such as the Arctic. The radiative properties of PM can be further altered by atmospheric aging. The goal of this work was to characterize light-absorbing properties of fresh and photochemically aged exhaust emissions from a research marine engine, operated using low-sulfur heavy fuel oil (LS-HFO) and marine gas oil (MGO). Further, the ship emissions were photochemically aged in an oxidizing flow tube reactor. Emission factors of black carbon were strongly dependent on the engine load and marine fuel. Brown carbon was only observed at certain engine loads with both fuels, otherwise absorption was mainly attributed to black carbon. Photochemical aging slightly increased the brown carbon contribution to absorption at shorter wavelengths.

Lähteet:

Corbin J.C., Pieber S.M., Czech H., Zanatta M., Jakobi G., Massabò D., Orasche J., El Haddad I., Mensah A.A., Stengel B., Drinovec L., Mocnik G., Zimmermann R., Prévôt A.S.H., Gysel M. 2018. Brown and Black Carbon Emitted by a Marine Engine Operated on Heavy Fuel Oil and Distillate Fuels: Optical Properties, Size Distributions, and Emission Factors. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 123, 6175–6195. doi:10.1029/2017JD027818

Bond T.C., Doherty S.J., Fahey D.W., Forster P.M., Bernsten T., DeAngelo B.J., Flanner M.G., Ghan S., Kärcher B., Koch D., Kinne S., Kondo Y., Quinn P.K., Sarofim M.C., Schultz M.G., Schulz M., Venkataraman C., Zhang H., Zhang S., Belloquin N., Guttikunda S.K., Hopke P.K., Jacobson M.Z., Kaiser J.W., Klimont Z., Lohmann U., Schwarz J.P., Shindell D., Storelvmo T., Warren S.G. & Zender C.S.. 2013. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 118: 5380–5552. doi:10.1002/jgrd.50171

Ihalainen M., Tiitta P., Czech H., Yli-Pirilä P., Hartikainen A., Kortelainen M., Tissari J., Stengel B., Sklorz M., Suhonen H., Lamberg H., Leskinen A., Kiendler-Scharr A., Harndorf H., Zimmermann R., Jokiniemi J. & Sippula O. 2019. A novel high-volume Photochemical Emission Aging flow tube Reactor (PEAR). *Aerosol Science and Technology*. 53: 276–294. doi:10.1080/02786826.2018.1559918.

Lack D.A. & Cappa C.D. 2010. Impact of brown and clear carbon on light absorption enhancement, single scatter albedo and absorption wavelength dependence of black carbon. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 10: 4207–4220. doi:10.5194/acp-10-4207-2010

Laskin A., Laskin J. & Nizkorodov S.A. 2015. Chemistry of Atmospheric Brown Carbon. *Chemical Reviews*. 115: 4335–4382. doi:10.1021/cr5006167.

Yuan T., Song H., Wood R., Wang C., Oreopoulos L., Platnick S.E., Von Hippel S., Meyer K., Light S. & Wilcox E. 2022. Global reduction in ship-tracks from sulfur regulations for shipping fuel. *Science Advances*. 8: eabn7988. doi:10.1126/sciadv.abn7988.



VIERASKYNÄ

Vieraskynässä alan ammattilaiset pohtivat päivänpolttavia teemoja ja ilmiöitä.

VOIKO LENTÄMISTÄ VÄLTÄÄ?

Kokemuksia maa- ja merimatkailusta

Ympäristötutkijana joutuu välillä vaikean valinnan eteen: Lentääkö kiinnostavaan ympäristöalan konferenssiin jakamaan ja saamaan uusia ideoita siitä, miten ympäristöä kuormittavaa toimin-taa – kuten lentämistä – voidaan vähentää, vai vähentääkö kuormitusta omalta osaltaan? Onneksi maata ja meriä pitkin matkustaminen on osoittautunut toimivaksi käytännöksi, josta on saatu hyviä kokemuksia. Seuraavassa kuvaus eräästä onnistuneesta “toisenlaisesta matkasta”.

Suvi Huttunen, johtava tutkija, Suomen ympäristökeskus
Annika Lonkila, erikoistutkija, Suomen ympäristökeskus
Heli Saarikoski, johtava tutkija, Suomen ympäristökeskus

Matkustimme kollegoiden kesken elokuun lopulla Utrechtissa järjestettyyn International Sustainability Transitions -konferenssiin laiva- ja junayhteyksillä. Finnlinesin rahtilaiva lähti Vuosaaren satamasta elokuisenä sunnuntaina kello 15 ja oli Travemündessä maanantai-iltana kello 21. Satamasta matkustimme joutuisalla bussiyhteydellä Lyypekkiin, jossa yövyimme sijainniltaan optimaalisessa, bussiaseman ja rautatieaseman välissä olevassa Niu Rig -hotellissa. Tiistai-iltana matka jatkui junalla. Junamatka kesti yhteensä noin seitsemän tuntia ja vaihtoja oli kolme, joten saavuimme Utrechtiin tiistai-iltapäivällä kello viiden aikoihin illansuussa.

Paluumatka puolestaan kesti lauantai-iltana maanantaiamuun. Laiva lähti satamasta sunnuntain puolella kello kaksi yöllä, mutta laivaan nousu tapahtui jo noin kello 23 aikoihin lauantai-iltana. Laivalla oltiin siis kaksi yötä ja yksi kokonainen päivä. Perillä kotimaassa olimme kello 10 maanantai-iltana.

Yhteensä kolmen päivän konferenssimatka kesti viikon maitse ja meritse matkat. Lentämiseen verrattuna aikaa kului neljä päivää enemmän. Aina ei ole mahdollista viipyä matkalla näin pitkään. Toisaalta meidän tapauksessamme matkalla vietetty aika ei mennyt hukkaan: Työstimme menomat-kalla yhteistä artikkelia laivalla, ja kerrankin oli aikaa myös käydä perusteellisia keskusteluja.

Mukanamme oli Syken työntekijöiden lisäksi myös Jyväskylän yliopiston tutkija, filosofi **Teea Kortetmäki**, joten poikkitieteellinen ajatustenvaihto alkoi jo matkalla. Lisäksi olosuhteet keskittyneeseen työntekoon olivat etenkin laival-la täydelliset: Ei internet-yhteyttä ja keskeytyksiä aiheuttavia sähköpostiviestejä. Lisäksi silmien edessä oli ainoastaan avara merimaisema. Junamatka oli vaihtojen takia katkonaisempi, mutta sen aikana pystyi lukemaan artikkeleita, ja takaisin tullessa reflektoimaan konferenssin antia.

Toinen vaihtoehtoinen matkareitti olisi matkustaa Ruot-sin kautta. Junamatka kestäisi lyhyimmillään noin 17 tun-tia, mutta laiva-aikataulujen vuoksi tuollakin reitillä pitäisi viettää yksi hotelli-yö matkan varrella. Viking Linen mukaan uusi LNG-alus Glory on ”yksi maailman ilmastoviisaimpia matkustaja-aluksia”. Toisaalta Helsinki–Travemünde -välillä kulkevat laivat ovat rahtilaivoja, jotka kuljettavat rekkoja ja automatkailijoita riippumatta siitä, onko mukana jalkamat-kustajia vai ei. Tällä elinkaarianalyysin rajauksella yksittäi-sen jalkamatkustajan polttoaineesta aiheutuvat hiilijalanjäl-ki on olematon. Travemündén matkalla jalkamatkustajia oli molempiin suuntiin mentäessä kymmenkunta.

Matkakustannukset olivat henkilöä kohden noin 450 euroa (edestakainen laivamatka jaetussa kolmen hengen hytissä 263 euroa, yksi ylimääräinen hotelli-yö 100 euroa ja edestakai-nen junamatka noin 80 euroa). Lentäen matka olisi maksa-nut halvimmillaan noin 400 euroa. Suurin ylimääräinen kus-tannuserä verrattuna lentomatkailuun oli päivärahat, noin 70 euroa päivässä per henkilö, eli yhteensä 280 euroa per henki-lö enemmän kuin lentomatalla.

Toisaalta matkan pituuden takia tulee ehkä harkittua tar-kemmin, mihin konferenssiin tai kokoukseen lähtee paikan päälle ja mihin voi osallistua etänä tai jättää kokonaan väliin. Näin ollen matkailun kokonaiskustannukset voivat tutkimu-sorganisaatioissa jopa vähentyä hitaan matkustamisen seu-rauksena.

Kestävyysmurros käynnistyy usein kokeiluista, joissa uusia käytäntöjä testataan suotuisassa ympäristössä ennen kuin ne kertaautuvat ja johtavat systeemitason muutoksiin. Vastaavasti vanhoja, kestävämpiä toimintatapoja, säästöjä ja sääntö-jä on haastettava ja purettava, jotta uusi tulee mahdolliseksi. Tutkimuslaitoksilla on erinomainen tilaisuus luoda kannus-tava ympäristö maata pitkin matkustamiseen ja toimia siten edelläkävijänä ympäristöystävällisen liikkumisen edistämi-ässä, ei vain omassa organisaatiossaan vaan valtionhallin-nossa yleensä. Kestävyysmurros ei tapahdu itsestään vaan se tehdään! ■



ILMANSUOJELUYHDISTYS

Ilmansuojeluyhdistys (ISY) toimii alansa valtakunnallisena ympäristönsuojelujärjestönä. Ilmansuojeluyhdistyksen tarkoituksen on edis-tää ilmansuojelua ja ilmansuojelun tutkimusta Suomessa sekä toimia yhdysseiteinä ilman-suojelun parissa työskentelevien henkilöiden ja yhteisöjen välillä Suomessa ja ulkomailla. Ilmansuojeluyhdistys pyrkii toiminnallaan edistämään ilmansuojelualalla toimivien henkilöiden ammattitaitoa. Ilman-suojeluyhdistys on perustettu vuonna 1976.

Ilmansuojeluyhdistys:

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

HALLITUS / STYRELSE

Puheenjohtaja / Ordförande
Anu Kousa

Varapuheenjohtaja / Viceordförande
Maija Leino

Jäsenet / Medlemmar
Jouni Ahtiainen
Helena Kivi-Koskinen
Ville-Veikko Pauunu
Johanna Vainiomäki

Varajäsenet / Suppleanter
Tuula Pellikka
Janne Ruuth
Topi Rönkkö
Hilkka Timonen

LUFTVÅRDSFÖRENINGEN

Luftvårdsföreningen fungerar som nationell miljöförvaltningsförening. Luftvårdsföreningens syfte är att främja luftvården och luftvårds- forskningen i Finland och fungera som förbindelselänk mellan personer och samfund som arbetar med luftvårdsfrågor i Finland och utomlands. Luftvårdsföreningen strävar att främja yrkesskickligheten hos personer som arbetar med luftvårdsfrågor. Luftvårdsföreningen är grundad år 1976.

Luftvårdsföreningen:

1. följer med den vetenskapliga, forsknings-mässiga, tekniska samt förvaltnings- och lagstiftningsmässiga utvecklingen i sin bransch
2. planerar och ordnar skolningstillfällen samt diskussionstillfällen
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

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

HNU Nordion Kaikki ilmanlaadun mittaukseen

HNU Nordion Ltd. Oy
Atomitie 5 B 6, 00370 Helsinki
Puh. 09 565 7240
info@hnuNordion.fi
www.hnuNordion.fi

 HNU Nordion Ltd. Oy

KIRJOITTAJAT 4 I 2024

SUVI HUTTUNEN

johtava tutkija
Suomen ympäristökeskus
suvi.huttunen@syke.fi

SAARA JÄÄSKELÄINEN

liikenneneuvos
liikenne- ja viestintäministeriö
saara.jaaskelainen@gov.fi

TUUKKA KOKKOLA

projektitutkija
Itä-Suomen yliopisto
tuukka.kokkola@uef.fi

SAIJA KORHONEN

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

HEIKKI LIIMATAINEN

professori
Tampereen yliopisto, Suomen ilmastopaneeli
heikki.liimatainen@tuni.fi

ANNIKA LONKILA

erikoistutkija
Suomen ympäristökeskus
annika.lonkila@syke.fi

ELISA MAJAMÄKI

tutkija
Ilmatieteen laitos
elisa.majamaki@fmi.fi

JARKKO NIEMI

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

MIRKA PILLI

filosofian maisteri
mirka.pilli@gmail.com

HELI SAARIKOSKI

johtava tutkija
Suomen ympäristökeskus
heli.saarikoski@syke.fi

JYRI SEPPÄLÄ

professori
Suomen ympäristökeskus, Suomen ilmastopaneeli
jyri.seppala@syke.fi

ANDREAS SLOTTE

vastuullisuus- ja HSEQ-päällikkö
Helsingin Satama Oy
andreas.slotte@portofhelsinki.fi

MIKKO VIINIKAINEN

kestävän kehityksen johtaja (eläköitynyt)
mikko.viinikainen@luukku.com

