

ITÄ-SUOMEN YLIOPISTO
YMPÄRISTÖ- JA BIOTIETEIDEN LAITOS
Pienhiukkas- ja aerosolitekniiikan laboratorio
PL 1627
70211 KUOPIO

KIUKAIDEN PÄÄSTÖT JA NIIDEN VÄHENTÄMINEN (KIUAS)



Loppuraportti

Jarkko Tissari, Jani Leskinen, Heikki Lamberg, Valteri Nieminen,
Sampsä Väätäinen, Hanna Koponen, Maria Myllynen, Mikko Savolahti,
Niko Karvosenoja

15.4.2019

UNIVERSITY OF EASTERN FINLAND
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL AND BIOLOGICAL SCIENCE
P.O.Box 1627, FIN-70211 KUOPIO, FINLAND

Julkaisija:

Itä-Suomen yliopisto, Pienhiukkas- ja aerosoliteknikan laboratorio
PL 1627, 70211 Kuopio

Julkaisuaika: 4/2019

Tekijät Jarkko Tissari, Jani Leskinen, Heikki Lamberg, Valtteri Nieminen, Sampsa Väättäinen, Hanna Koponen, Maria Myllynen, Mikko Savolahti, Niko Karvosenoja	Tutkimuksen nimi KIUKAIDEN PÄÄSTÖT JA NIIDEN VÄHENTÄMINEN		
	Rahoittajat Itä-Suomen yliopisto, Ympäristöministeriö, Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsingin seudun ympäristöpalvelut, Turun kaupunki, Helsingin kaupunki, Kuopion kaupunki		
Julkaisun nimeke KIUKAIDEN PÄÄSTÖT JA NIIDEN VÄHENTÄMINEN			
Tiivistelmä Tämä loppuraportti on tehty osana tutkimushanketta "Kiukaiden päästöt ja niiden vähentäminen" (KIUAS). Hankkeessa kehitettiin mittauskonsepti, joka on tehokas, nopea ja luotettava tapa verrata kiukaiden toimintaa, tehokkuutta ja todellisia pienhiukkas- ja kaasupäästöjä. Mittauksissa havaittiin, että jokaisella kiuasmallilla on yksilöllisiä ominaisuuksia polttoajan, lämpötilojen, ilmakertoimen, hyötysuhteen ja päästöjen osalta. Myös käyttötapa vaikutti kiukaisiin yksilöllisesti. Lisäksi havaittiin, että hyötysuhde ei ole yhteydessä saunan lämpötilaan, lämmitysaikaan eikä päästöihin. Keskimääräinen hyötysuhde tutkituilla kiukailla oli 64,7 %. Pienhiukkasten massapäästöissä (PM ₁) oli 7-kertaisia eroja ja polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen (PAH) päästöissä yli 100-kertaisia eroja kiukaiden välillä, joten kiukaissa näyttäisi olevan suuri kehityspotentiaali. Puun kosteudella oli merkittävä vaikutus sekä päästöihin että saunan toimintaan, joten kosteus olisikin ehdottomasti huomioitava tarkemmin testausstandardeissa ja vertailtaessa päästötuloksia. Kiukaiden CE –merkintätiedot ja testausmenetelmä näyttävät olevan nykyisessä muodossaan riittämättömiä kiukaiden väliseen vertailuun. PM ₁ -pitoisuus oli keskimäärin 181 mg/m ³ , joka on selkeästi pienempi kuin päästöinventaarioissa tähän mennessä käytetty arvo. Vanhoihin kiuasmittausten tuloksiin verrattuna erityisesti kaikkein korkeimmat pitoisuudet näyttäisivät jääneen pois. Alustavien arvioiden mukaan Suomen kiukaiden pienhiukkaspäästöarvio alenee noin kolmanneksella, mutta kiukaat ovat silti suurin yksittäinen päästölähde sekä pienhiukkasten massalle että mustahiilihiukkasille. Aihepiiri on yhteiskunnallisesti kiinnostava, mikä näkyi laajana huomiona erilaisten medioiden artikkeleissa ja kansalaisten yhteydenottoina hankkeen aikana.			
Avainsanat Puun pienpoltto, pienhiukkaset, PAH, musta hiili, päästöt, standardi, menetelmä, mittaustekniikka	Luokitus ja/tai indeksointi		
Kokonaissivumäärä 57 + 19 liites.	Kieli Suomi	Hinta suus	Luottamuksellisuus Julkinen
		Lisätietoja Jarkko Tissari, Itä-Suomen yliopisto jarkko.tissari@uef.fi	

Publisher:

University of Eastern Finland, Fine Particle
and Aerosol Technology laboratory
P.O.Box 1627, FI-70211 Kuopio, Finland

Date: 4/2019

Authors Jarkko Tissari, Jani Leskinen, Heikki Lamberg, Valtteri Nieminen, Sampsa Väätäinen, Hanna Koponen, Maria Myllynen, Mikko Savolahti, Niko Karvosenoja	Name of project EMISSIONS AND REDUCTION OF EMISSIONS OF SAUNA STOVES
	Financed by University of Eastern Finland, Ministry of Environment, Ministry of Social Affairs and Health, Helsinki Region Environmental Services Authority HSY, City of Turku, City of Helsinki, City of Kuopio
Title EMISSIONS AND REDUCTION OF EMISSIONS OF SAUNA STOVES	
Abstract <p>This report is part of a project "Emissions and reduction of emissions of sauna stoves" (KIUAS). In this project efficient, fast and reliable measurement concept for comparing the operation, efficiency and real-life fine particle and gaseous emissions was developed. It was found that each sauna stove was an individual in relation to stove features: combustion time, temperatures, air-to-fuel ratio, efficiency and emissions. Also the operational practice affected these features individually. It was also observed that the efficiency is not connected to the temperature of sauna, heating time or emissions. Average efficiency of stoves was 64,7 %. Between the sauna stoves, 7-fold differences in fine particle mass (PM₁) concentrations, and more than 100-fold differences in polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) concentrations was found and thus, there is a huge potential to develop stoves. The moisture content of wood logs had an remarkable effect on the emissions of stoves and characteristics of the sauna room. Thus, it should be take into account in more accuracy way in testing standard and when comparing the emission results. It seems that CE-testing method in existing form, is insufficient for comparing the sauna stove properties. PM₁-concentration was averagely 181 mg/m³, which is clearly lower than used in emission inventories at the moment. The highest emission factors were not as high as previously measured, but the lowest emission factors were in same level than in the older studies. According to the preliminary estimation, the total emissions of fine particle mass for sauna stove decreases about 30 %, but sauna stoves are still the highest individual emission source of fine particles and black carbon in Finland. The project theme is socially interesting and thus, the project was noted in several contacts and articles by media and individual citizens during the project.</p>	
Keywords Small-scale wood combustion, fine particles, PAH, BC, emissions, standard, method, measurement techniques	Classification and/or index
Pages 57 + 19 app.	Language Finnish
	Price Confidentiality Public
Additional information Jarkko Tissari, University of Eastern Finland, jarkko.tissari@uef.fi	

ESIPUHE

Tämä loppuraportti on tehty osana tutkimushanketta "Kiukaiden päästöt ja niiden vähentäminen" (KIUAS). Hankkeen päätavoitteena on ollut selvittää tällä hetkellä myynnissä olevien kiukaiden päästötasot. Hankkeessa tuotettua tietoa on hyödynnetty jo hankkeen aikana Kansallisen ilmansuojeluohjelman 2035 valmistelussa ja puun polton pienhiukkaspäästösojen arvioinnissa ja raportoinnissa. Hankkeen pitkän tähtäimen tavoitteena on ollut kehittää ympäristömerkintä kiukaille siten, että kuluttajien olisi mahdollista valita vähäpäästöinen kiuas. Tavoitteiden saavuttamiseksi, hankkeessa kehitettiin uusi toimintamalli kiukaiden testaukseen. Toimintamalli mahdollistaa kiukaiden päästöjen, toiminnan ja hyötysuhteiden vertailun todellisessa saunassa.

Hankkeen rinnalla on ollut Itä-Suomen yliopistossa (UEF) toteutettava investointi- ja kehityshanke "Pienpolttosimulaattori" (SIMO-I ja SIMO-K -hankkeet), jossa on rakennettu merikontteihin pienpolton tutkimusyksikkö. KIUAS -hankkeen tuella yksikköön saatiin rakennettua tutkimussauna sekä hankittua KIUAS -hankkeessa tarvittavia pienhiukkasten näytteenotto- ja keräyslaitteistoja. KIUAS -hankkeen toteuttajina ovat olleet UEF:n lisäksi Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä (HSY) ja Suomen ympäristökeskus (SYKE). Hanke on UEF:n, HSY:n, Ympäristöministeriön (YM), Sosiaali- ja terveysministeriön (STM), Helsingin kaupungin, Kuopion kaupungin ja Turun kaupungin rahoittama. Hankkeen ohjausryhmän puheenjohtajana toimi Maria Myllynen (HSY) ja sihteerinä Jarkko Tissari (UEF). Muut ohjausryhmän jäsenet olivat Maarit Haakana (YM, varalla Sirpa Salo-Asikainen), Miika Meretoja (Turun kaupunki), Eeva Pitkänen (Helsingin kaupunki, varalla Suvi Haaparanta), Outi Väkevä (HSY varajäsen), Niko Karvosenoja (SYKE), Mikko Paunio (STM) ja Erkki Pärjälä (Kuopion kaupunki).

Tutkijat kiittävät hankkeen rahoittajia sekä ohjausryhmän jäseniä ja muita hanketta tukeneita tahoja hankkeen aikana saaduista arvokkaista neuvoista ja loppuraportin kommentteista.

Kuopiossa huhtikuussa 2019

Tekijät

Sisällysluettelo

1	LÄHTÖKOHTA JA TAVOITTEET	13
2	KIUKAIDEN MITTAUSKONSEPTIN KEHITTÄMINEN	15
2.1	JOHDANTO	15
2.2	TAUSTASELVITYS	15
2.3	MITTAUSKONSEPTIN KRITEERIT	18
2.4	MITTAUSKONSEPTI	19
3	PUUKIUKAIDEN PÄÄSTÖMITTAUKSET	21
3.1	JOHDANTO	21
3.2	PIENPOLTTO-SIMULAATTORI	21
3.3	MITTAUSMATRIISI.....	23
3.4	TULOKSET	24
3.4.1	Parametrien väliset yhteydet koko mittaussarjan osalta.....	24
3.4.2	Puukiukaiden keskimääräiset päästöt	26
3.4.3	Puun kosteuden vaikutus päästöihin.....	28
3.4.4	Kiukaiden väliset erot päästöissä, hyötysuhteessa ja toiminnassa	29
3.4.5	Ilmanvaihdon ja löylynheitön vaikutus päästöihin	40
3.4.6	Puulajin, panoskoon ja ilman syötön vaikutus päästöihin.....	43
3.4.7	Koivun polton toistosarjojen vertailu.....	45
3.4.8	Muut tekijät ja päästöjen vähentämismahdollisuudet.....	47
3.4.9	Ehdotus ympäristömerkiksi	48
4	VAIKUTTAMINEN JA VIESTINTÄ.....	53
5	PÄÄSTÖINVENTAARIOIDEN PÄIVITTÄMINEN	57
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	59
	LÄHDEVIITTEET	62
	LIITE 1. Mittaustuloksia	
	LIITE 2. Standardit, menetelmät ja merkinnät	

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

B(a)P	Bentso(a)pyreeni, yksi PAH-yhdisteistä, jota mitataan myös ilmakehästä ilmanlaadun mittausasemilla.
BC, EC, noki	Musta hiili (BC), alkuainehiili (EC) ja noki kuvaavat osin samaa asiaa. BC mitataan valon absorptioon perustuen, EC termisoptisesti. Noki on yleistermi hiukkasista, jotka sisältävät pääosin alkuaine- tai mustaa hiiltä.
CE -hyötysuhde	CE -merkintään liittyvän standardin mukaisesti määritetty keskimääräinen hyötysuhde, jonka laskennassa on käytetty CE-mittauspisteestä (n. 1,5 m kiukaan lähtöhormin jälkeen) mitattua lämpötilaa.
CE-merkintä	Merkintä osoittaa, että tuote on testattu EN standardin mukaisesti ja alittaa EN tuotestandardissa esitetyt vaatimukset.
CO	Hiilimonoksidi, häkä, epätäydellisestä palamisesta tuleva kaasu.
CO ₂	Hiilidioksidi, palamisen lopputuote
CPC	Kondensaatiodinlaskuri, jolla mitataan hiukkasten lukumääräpitoisuutta.
DR, laimennuskerroin	Kertoo, missä suhteessa savukaasusta otetaan näytettä verrattuna käytettyyn laimennusilman määrään.
ELPI	Sähköinen alipaineimpaktori, jolla mitataan hiukkasten lukumääräkokojakaumaa. Datasta voidaan laskennallisesti määrittää hiukkasten lukumäärä-, massa-, tilavuus- ja pinta-alapitoisuuksia ja kokojakaumia.
FTIR	Fourier muunnos infrapuna spektrometria. Laitteistolla voidaan määrittää erilaisten kaasumaisten yhdisteiden pitoisuuksia.
Hormi -hyötysuhde	CE -merkintään liittyvän standardin mukaisesti määritetty keskimääräinen hyötysuhde, jonka laskennassa lämpötilana on käytetty kiukaan lähtöhormista (n. 0,5 m kiukaan lähtöhormin jälkeen) mitattua lämpötilaa.
Ilmanvaihtokerroin, IV-kerroin	Kertoo, kuinka monta kertaa huoneen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa.
NO	Typpimonoksidi, pääosin polttoaineen tyypestä muodostuva palamisen lopputuote.
O ₂	Happikaasu, palamisreaktioon tarvittava kaasu.
OC	Orgaaninen hiili, termisoptisella analyysillä määritettävä hiukkasissa olevan orgaanisen aineen kokonaismäärä hiilenä.
Orgaaniset yhdisteet, OGC	Puun kaasuuntuessa puuaineesta muodostuneita yhdisteitä, jotka eivät ole palaneet loppuun tulipesässä. OGC määritetään liekki-ionisaatiodetektorilla ja kuvaa yhdisteiden kokonaismäärää

	<p>laskettuna hiileksi (mgC/m³) tietyinä orgaanisena yhdisteenä (yleensä metaani tai propaaniekvivalenttina).</p>
PAH	<p>Polysykliset aromaattiset hiilivedyt, syöpävaarallisia orgaanisia palamistuotteita. Tässä tutkimuksessa mitattiin 30 erilaisen yhdisteen pitoisuuksia (ks. kpl 3.2).</p>
PM ₁ , PM _{2.5} , PM ₁₀	<p>Sellaisten hiukkasten massapitoisuus, joiden aerodynaaminen hiukkaskoko on alle 1 µm (PM₁), 2,5 µm (PM_{2.5}) tai 10 µm (PM₁₀). Kun puhutaan pienhiukkasista, tarkoitetaan yleisesti PM_{2.5}. Tässä raportissa on mitattu pelkästään PM₁, koska se kuvastaa paremmin poltosta kaasufaasin kautta syntynyttä haitallista hiukkasosuuutta kuin PM_{2.5}. PM_{2.5}:ssa voi olla mukana myös pohjatuhkahiukkasia. PM₁₀ hiukkaset ovat "hengitettäviä" eli pääsevät kulkeutumaan keuhkoihin. Raportissa pienhiukkasista puhuttaessa tarkoitetaan yleensä PM₁. Puun poltossa PM_{2.5} on tyypillisesti 1–2 % suurempi kuin PM₁, ja PM₁₀ 3–5 % suurempi kuin PM₁, mutta palamisolosuhteet ja polttolaite vaikuttavat osuuksiin.</p>
Reaaliaikainen hyötysuhde	<p>Reaaliaikainen hyötysuhde on laskettu jokaiselle mittaushetkelle (10 s välein) erikseen. Raportissa on esitetty myös näiden reaaliaikaisista mittaustuloksista laskettuja keskiarvoja ja verrattu niitä muilla tavoilla mitattuihin hyötysuhteisiin.</p>
Sauna Max normeerattu	<p>Saunan loppulämpötila, jossa saunan alkulämpötila on huomioitu. Mikäli saunan alkulämpötila on poikennut 20 °C lämpötilasta, loppulämpötilaan on lisätty tai lämpötilasta on vähennetty poikkeava määrä lämpöasteita.</p>
Savukaasun lämpötila, hormilämpötila, CE-lämpötilan mittauspiste	<p>Savukaasun lämpötila on määritetty CE –lämpötilan mittauspisteestä (n. 1,5 m kiukaan lähtöhormin jälkeen). Hormilämpötila on määritetty noin 0,5 m kiukaan lähtöhormin jälkeen.</p>
Veto	<p>Savupiipun ja sisäilman välinen paine-ero.</p>
Ympäristömerkki	<p>Ympäristömerkillä tarkoitetaan yleisesti tuotteelle annettavaa tunnusta, jolla osoitetaan, että tuote täyttää elinkaarensa aikana merkissä asetetut ympäristövaatimukset. Merkin saamisen kriteeristö on yleensä laaja, huomioiden polttolaitteissa mm. päästöt, hyötysuhteen, materiaalien käytön ja käyttöohjeet. Kriteerit ovat yleensä määräaikaista ja niitä tiukennetaan muutaman vuoden välein. Tässä hankkeessa tuotettu ympäristömerkkiehdotus poikkeaa tavanomaisista ympäristömerkeistä siinä, että merkki sisältää ainoastaan päästöihin liittyviä tekijöitä, ei tuotteen elinkaaren aikaisia ja tuotteen valmistamiseen liittyviä tekijöitä.</p>

1 LÄHTÖKOHTA JA TAVOITTEET

Ulkoilman pienhiukkasilla on merkittäviä ilmastovaikutuksia ja terveyshaittoja (mm. *Pope ja Dockery, 2006; Jakobson, 2010*). Pienhiukkaset aiheuttavat Euroopan tasolla miljardiluokan terveysvaikutukset ja Suomessa noin 2000 kuolemantapausta vuosittain. Lisäksi tulisijojen käytöstä aiheutuu noin 1000 tulipaloa ja 5–15 häkäkuolemaa vuodessa. Pienhiukkaset viilentävät ilmastoa, mutta mustahiili (BC) eli nokihiukkaset vaikuttavat erityisesti Arktista aluetta lämmittävästi (*AMAP, 2011; Laaksonen ym., 2014*).

Puun pienpoltto on lisääntynyt 2000-luvulla merkittävästi. Päästökattodirektiiviehdotus edellyttää Suomelta pienhiukkaspäästöjen rajoitustoimia vuoteen 2020 mennessä. Noin 35 % Suomen pienhiukkaspäästöistä ja yli puolet nokipäästöistä on peräisin tulisijojen käytöstä. Suurin osa puun polton päästöistä tulee toissijaisesta lämmityksestä ja saunan kiukaista (*Suoheimo ym., 2015*). Eri pienpolttolaitteista kiukaat ovat suurin haitallisten päästöjen aiheuttaja; kiukaiden osuus pienpolton päästöistä on 35 % pienhiukkasille ja 45 % nokipäästöille. Erityisesti talviaikaan pienpoltosta aiheutuvat hiukkaspitoisuudet voivat nousta korkeiksi taajaan asutuilla pientaloalueilla.

Ilmakehämittausten mukaan Helsingin alueella 40 % ilmassa olevista hiukkasista on talvella peräisin puun pienpoltosta (*Saarnio ym., 2012*). Puun pienpoltto tuottaa orgaanisia yhdisteitä ilmakehään, joista mm. bentso(a)pyreenille (B(a)P) on asetettu tavoitearvoja. B(a)P:n tavoitearvon ylityksiä on mitattu joinain vuosina pääkaupunkiseudun pientaloalueilla, ja tavoitearvo voi ylittyä muissakin kaupungeissa tiiviisti rakennetuilla pientaloalueilla, joilla käydetään runsaasti puuta. Myös päästöinventaarioiden perusteella tulisijojen käyttö ja saunan kiukaat ovat merkittävä päästölähde. Pääkaupunkiseudulla on noin 68 800 pientaloa, joista arviolta 28 %:ssa on puukiuas. Tulisijojen käytöstä arvioidaan tulevan noin 40 % seudun polttoperäisistä pienhiukkaspäästöistä. Seudun pienpolton hiukkaspäästöistä 49 % on peräisin takoista, 44 % saunan puukiukaista ja 7 % lämmityskattiloista. B(a)P:n päästöistä 67 % on peräisin saunan puukiukaista ja 31 % takoista (*Aarnio ym. 2016, Kaski ym., 2016*).

Kiukaiden osalta on havaittavissa kaksi erityistä ongelmakohtaa: hyötysuhde on usein alhainen, joten polttopuuta kuluu turhan paljon saatavaan hyötyyn verrattuna. Toiseksi, tarvittava hetkellinen polttoteho on suuri suhteessa kiukaiden verrattain yksinkertaisiin rakenteisiin, jolloin päästöt helposti kasvavat suuriksi (*Tissari ym., 2009*). Kiukaiden päästöjen vähentämisellä on erityinen merkitys, koska i) päästökertoimet (mukaan lukien polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH-yhdisteet) ja B(a)P) ovat niissä muita laitteita selvästi korkeammat (*Tissari ym., 2007; Lamberg ym., 2011; Kaivosoja ym., 2012*), ii) hiukkaspäästöt ovat toksisempia kuin muissa laitteissa (*Tapanainen ym., 2012*), ja iii) kiukaat uusiutuvat suhteellisen nopeasti. Siten kiukaiden päästöjen vähentäminen toisi kansantaloudellisia terveyshyötyjä ja alentaisi tehokkaasti monien haitallisten yhdisteiden päästöjä. Erityisesti taajama-alueille kohdistetut toimet olisivat hyödyllisiä sekä ilmaston että terveyden kannalta (*Laaksonen ym., 2014*). Viime vuosina kiukaisiin on tullut puhtaampia polttotekniikoita ja hyötysuhdetta on saatu parannettua lämmönvaihtopintoja kehittämällä. Toisaalta kansalliset määräykset sallituista korkeimmista lämpötiloista testeissä ovat johtaneet siihen, että tehoa rajoitetaan palamisilmasaantia heikentämällä. Tämä on saattanut lisätä päästöjä uusimmissa kiuasmalleissa. Tietoa uusimpien kiukaiden hiukkaspäästökertoimista ja päästöjen vähentämispotentiaalista on kuitenkin erittäin vähän.

Helsingin ilmansuojelusuunnitelmassa vuosille 2017–2024 yhtenä tavoitteena on vähentää tulisijojen ja kiukaiden käytön päästöjä pääkaupunkiseudulla (*Helsinki, 2016*). Tämä hanke on osa kyseisen suunnitelman toteutusta.

KIUAS –hankkeen tavoitteina olivat

- kehittää uusi toimintamalli, joka mahdollistaa vertailun eri kiuasmallien todellisten päästöjen ja standardien vaatimuksien välillä,
- selvittää tällä hetkellä myynnissä olevien uusimpien kiukaiden (myös yleisimmin käytössä olevien) kaasu- ja pienhiukkaspäästökertoimet ja niiden vaihtelu erilaisilla polttotavoilla ja –aineilla,
- arvioida kiukaiden päästöjen vähentämismahdollisuuksia pienhiukkas- ja nokipäästöjen (BC) osalta ottaen huomioon vaikutukset muihin päästöihin,
- tuottaa tutkimustuloksia aineistoksi kiukaiden ja yleisemmin pienpolton päästöihin liittyvään viestintään
- päivittää päästökerrointulokset kansainvälisiin raportointeihin,
- pitkällä tähtäimellä kehittää ympäristömerkintä kiukaille siten, että kuluttajien olisi mahdollista valita vähäpäästöinen kiuas.

Hanke jakaantui neljään työpakettiin:

TP1 Saunankiukaiden todellisia päästöjä kuvaavan toimintamallin kehittäminen,

TP2 Markkinoilla olevien puukiukaiden päästömittaukset,

TP3 Vaikuttaminen ja viestintä, ja

TP4 Päästökerrointen päivitys kansainvälisiin raportointeihin.

2 KIUKAIDEN MITTAUSKONSEPTIN KEHITTÄMINEN

2.1 JOHDANTO

Hankkeessa Itä-Suomen yliopiston pienpolttosimulaattorin yhteyteen rakennettiin sauna-kontti, jossa kiukaiden päästöjä voidaan tutkia lähes todenmukaisissa olosuhteissa. Tavoitteena oli kehittää yksinkertainen, toistettava ja edullinen konsepti puukiukaiden päästöjen ja hyötysuhteen mittaamiseen, jossa saunan todellinen käyttö huomioidaan. Tavoitteena oli myös, että konseptia voitaisiin hyödyntää ympäristömerkkikriteerien päivityksessä tai mahdollisen uuden kansallisen vapaaehtoisen merkin kehittämisessä sekä tuote- ja kuluttajaviestinnässä.

2.2 TAUSTASELVITYS

Nykyiset velvoitteet. Konseptin kehitystyön pohjaksi tehtiin taustaselvitys myynnissä olevien kiukaiden ominaisuuksista pääasiassa kiuasvalmistajien nettisivuilta saataviin tietoihin perustuen. Puulämmitteisille kiukailla on ollut oma tuotestandardi (EN 15821) vuodesta 2013. Standardi määrittää jatkuvalämmitteiselle kiukaalle ominaisuudet, jotka tuotteen on saavutettava CE –merkintää varten. Standardissa määritetään lisäksi CE –merkintään vaadittavat testausolosuhteet. Standardissa määritellään raja-arvot kiukaan hiilimonoksidipitoisuudelle ja hyötysuhteelle. Standardin EN 15821 lisäksi Suomessa käytössä olevassa kansallisessa soveltamistandardissa SFS 7021 vaaditaan, ettei savukaasun lämpötila saa ylittää 600 °C, näin asettaen kiukaiden savukaasukanavat T600 –luokkaan. CE –merkintä on valmistajan ilmoitus siitä, että tuote täyttää sitä koskevat Euroopan unionin vaatimukset. Vaikka CE –merkintä mahdollistaa tuotteiden vapaan liikkumisen Euroopan sisämarkkinoilla, ei se kiukaiden kohdalla tarkoita sitä muiden maiden omien lisästandardien takia (TUKES, 2016). Kiukaisiin liittyviä velvoitteita, raja-arvoja ja mittausmenetelmiä on esitetty tarkemmin liitteessä 2.

Kiuasmallit. Kiuasvalmistajat luokittelevat kiukaat yleisesti kolmeen luokkaan: pieniin (alle 16 m³), keskisuuriin (16–25 m³) ja suuriin (25–50 m³) (Liikkanen, 2016a). Toiminnan perusteella kiukaat voidaan jakaa kerta- ja jatkuvalämmitteisiin, joista jatkuvalämmitteiset kiukaat ovat yleisempiä. Jatkuvalämmitteiset kiukaat voidaan jakaa malliltaan neljään eri kategoriaan: peruskiukaat, verkkokiukaat (katiskakiukaat), tunnelikiukaat ja erikoiskiukaat. Peruskiukaat ovat sivuilta suljettuja, pienellä kivimäärällä varustettuja kiukaita. Verkko- tai katiskakiuas on nimensä mukaisesti kiuas, jonka sivut ovat avointa verkkoa ja kivimäärä yleensä suurempi kuin peruskiukaissa. Tunnelikiukaat ovat seinän läpi lämmitettäviä kiukaita, joista usein puhutaan myös takkakiukaina. Näiden lisäksi on olemassa myös erikoiskiukaita. Yksi esimerkki erikoiskiukaasta on vuolukivestä valmistettu vinopintainen kiuas.

Kertalämmitteisissä kiukaissa on suuri kivimäärä, joka lämmitetään yhdellä kerralla kuumaksi ja tämä vaatii aikaa yleensä noin 2-3 tuntia. Tämän jälkeen poltto lopetetaan ja tuhkat poistetaan tulipesästä. Kertalämmitteisistä kiukaista riittää lämpöä pidemmän ajan. Kertalämmitteisiä kiukaita on markkinoilla huomattavasti vähemmän kuin jatkuvalämmitteisiä, eikä niiden valmistajia ei ole Suomessa kuin kaksi (Liikkanen, 2016b).

Peruskiukaiden rakenteiden erot. Kiukaiden rakenteellisissa ominaisuuksissa on merkittäviä eroja jo yksittäisten kiuasmallien välillä. Esimerkiksi pienten peruskiukaiden osalta ari-

noiden ilmarakojen koko vaihtelee noin 80 cm³:sta aina 300 cm³:een saakka. Tulipesän koossa ja muodossa on eroja: Tulipesä voi olla suorakaide, sylinteri, kulmikas tai kaareva eri suuntiin. Tulipesä voi olla eteen tai taakse laajeneva korkeuden suhteen ja arinaa kohti supistuva. Savukanavien lähtöaukkojen koossa, muodossa, lukumäärässä ja paikoissa on eroja. Lisäksi savukanavien koossa, pituudessa, muodossa ja pinta-aloissa on eroja. Joissakin malloissa kanavissa on supistuksia. Palamisilmansyöttöratkaisut ovat erilaisia. Osassa kiukaita palamisilmaa syötetään ainoastaan arinan kautta. Joissakin kiukaissa on toisioilmareikiä tulipesässä, mutta ilmansyöttöaukkojen paikat ja lukumäärät vaihtelevat. Toisioilma saatetaan syöttää tulipesän kautta tai aukot saattavat olla yhteydessä suoraan saunailmaan.

Kiukaiden käyttöohjeet. Eri kiuasvalmistajien käyttöohjeet poikkeavat toisistaan. Useimmat kiuasvalmistajat neuvovat käyttöohjeissaan latomaan puut päällekkäin siten, että isommat puut ovat alimpana, keskikokoiset puut niiden päällä ja pienet puut sekä sytykkeet päällimmäisinä. Yleistä käyttöohjeissa on myös maininta päältäsytyttämisestä perusteluna päästöjen pienentäminen. Kaikilla suomalaisilla kiuasvalmistajilla näitä asioita ei kuitenkaan mainita vaan ohjeet ovat epämääräisiä. Kiuasvalmistajat ilmoittavat vaihtelevasti käyttöohjeissaan, millaisia materiaaleja saa polttaa tulipesässä. Yleinen ohje hyväksi polttoaineeksi on kuiva koivuklapi. Polttoaineet, joita ei kuuluisi polttaa ovat sellaisia, joiden lämpöarvo on korkea (esimerkiksi lastulevy, muovi, hiili, briketit, pelletit), maalatut tai kyllästetyt puut, jätteet, puutarhajätteet sekä nestemäiset polttoaineet.

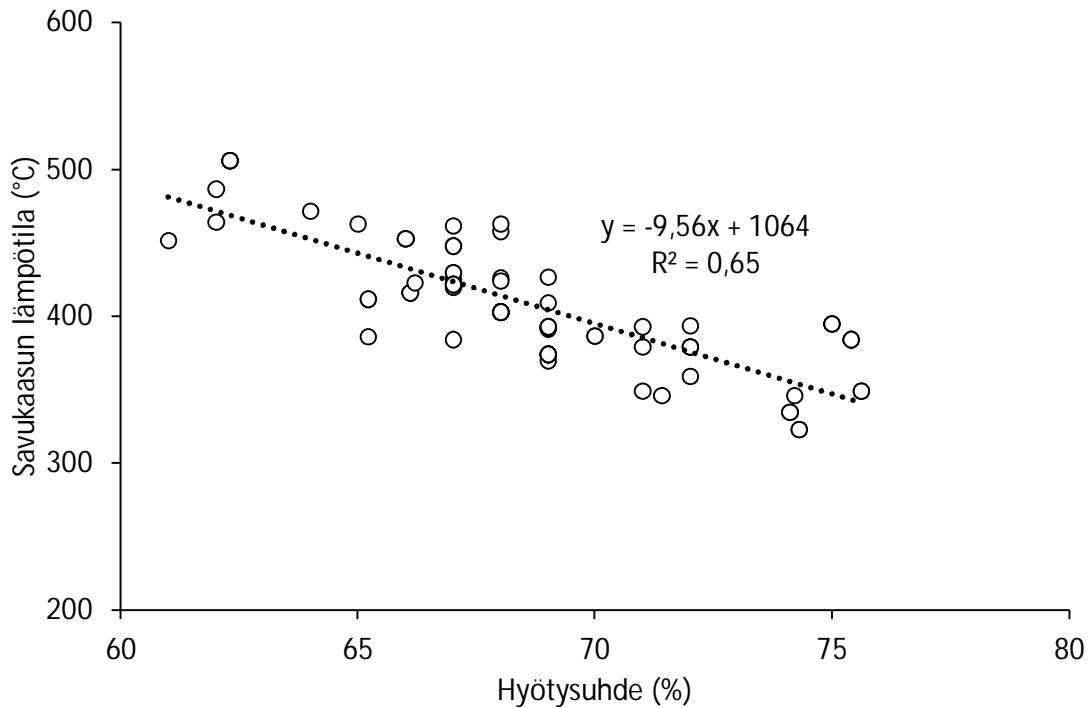
Kiuasvalmistajat. Suomessa toimii tällä hetkellä ainakin 11 kiuasvalmistajaa (Taulukko 1), jotka tarjoavat enemmän kuin sata erilaista kiuasmallia, joko vesisäiliöllisenä tai ilman. Eniten kiukaita valmistavat Narvi ja Harvia, joista Harvialla on ylivoimaisesti suurin valikoima kiukaita. Yleisimmät jatkuvalämmitteiset kiuasmallit Suomessa ovat perusmallin kiuas sekä verkkokiuas.

Taulukko 1. Kiuasvalmistajien kiukaiden hiilimonoksidipitoisuuden (CO, %, 13 % O₂) ja hyötysuhteen keskiarvot (Lähde: kiuasvalmistajien www-sivut).

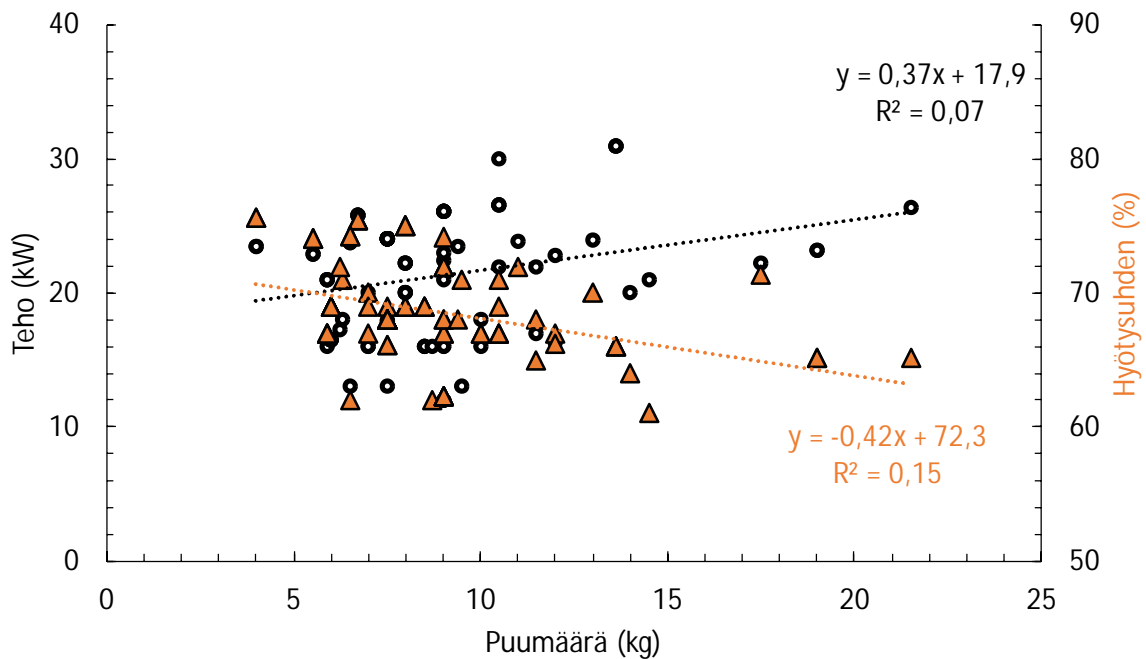
Yritys	Hiilimonoksidin keskiarvo (%)	Hyötysuhteen keskiarvo (%)
Narvi	0,30	68,0
Harvia	0,72	67,0
Helo	0,25	71,0
IKI	0,30	68,5
MISA	0,32	72,0
Hehku	-	-
Mondex	0,51	71,0
MUKO	0,56	72,0
Teuvan Keitintehdas	0,32	64,0
Warmheart	0,14	75,2
Vuolux	0,72	68,0

Tulosten vertailu CE -merkintätietojen perusteella. Suomessa tarjolla olevien kiukaiden hyötysuhteiden keskiarvo on CE -merkintätietojen perusteella 69 % ja korkein 75,2 %, mitkä ovat selvästi korkeampia kuin kiukaiden hyötysuhteille asetettu raja-arvo (>50 %). Kiukaiden

hiilimonoksidipitoisuuden raja-arvo on < 1 % (normeerattuna 13 % savukaasun happipitoisuuden). Tämän hetken markkinoilla olevien kiukaiden hiilimonoksidipäästöt ovat keskiarvoltaan 0,49 % ja pienimmillään 0,07 %. Kiuasvalmistajien välillä on suuria eroja hiilimonoksidipäästöjen välillä (Taulukko 1).



Kuva 1. Savukaasun lämpötilan ja hyötysuhteen välinen korrelaatio CE -testien perusteella.



Kuva 2. Kiukaiden teho ja hyötysuhde puumäärän funktiona. Aineisto kerätty kiuasvalmistajien nettisivuilta.

Kiukaiden hyötysuhteet näkyvät kääntäen verrannollisesti savukaasun lämpötiloissa (Kuva 1). EN 15821 nominaalisen tehon testauksen mukaisen saunahuoneen lämpötilan 90 °C saavuttamisessa on puun kulutuksessa ja käytetyissä panoksissa kiuasvalmistajien ja kiukaiden välillä eroja (Kuva 2). Pienet kiukaat saavuttavat vaaditun 90 °C lämpötilan keskimäärin kolmen panoksen ja kokonaispuumäärän 9,5 kg jälkeen. Suurille tiloille tarkoitetut kiukaat taas tarvitsevat vain kaksi panosta ja lähes saman kokonaismäärän puuta (noin 9 kg) eli suuremman panoskoon. Kiukaat lämmittävät saunahuoneen siis käytännössä samalla puumäärällä 90 °C lämpötilaan tilavuudesta riippumatta. Kiukailla on lähes sama hyötysuhde, joten ilmiö ei voi johtua siitä, vaan mahdollisesti kiukaiden erilaisista ilmakertoimista, joista dataa ei ole saatavilla. Myöskään lämmitykseen kulunutta aikaa ei ilmoiteta CE –merkintätiedoissa. Testi on kuitenkin saatava suoritettua kolmen tunnin aikana.

Kokonaisuudessaan CE –merkintään liittyvien testien tulosten vertailussa nousee esille muutamia erityisiä huomioita: 1) CO –pitoisuuksien vaihtelu on hyvin suurta ja pienimmät mitatut keskimääräiset pitoisuudet ovat hyvin pieniä. 2) Hyötysuhteet ovat selvästi korkeampia kuin vaadittu taso 50 % ja parhaimmilla kiukailla lähellä varaavien tulisijojen arvoja. 3) Polttotapojen erot (mm. tätiedoissaeto), puumäärä ja panoskoot vaihtelevat merkittävästi, eikä puumäärä ole yhteydessä saunan lämpötilaan tai tehoon. CE –merkintään liittyvien testien perusteella esimerkiksi 20 kW teho voidaan saavuttaa 5–20 kg puumäärällä saunan lämmitessä 90 °C:een. Vastaavasti 8 kg puumäärällä voidaan saavuttaa 12–26 kW teho ja sama saunan lämpötila (Kuva 2).

2.3 MITTAUSKONSEPTIN KRITTEERIT

Syksyn 2017 ja kevään 2018 aikana tehtiin vertailumittauksia mittauskonseptiluonnoksen määrittämiseksi. Pääosin mittauksissa yritettiin mahdollisimman pitkälle mukaila CE -merkintään liittyvän standardin olosuhteita, mutta asetuksia myös muuteltiin, jotta havaittaisiin eri tekijöiden mahdollinen vaikutus sekä päästöihin ja energiatehokkuuteen että saunan toimintaan. Muuttujia, joita selvitettiin, olivat mm. saunan tilavuus, ilmanvaihtokerroin, saavutettava saunan sisälämpötila, veto-olot, saunan alkulämpötila ja polttotapa. Kaikki em. parametrit vaikuttivat kehitettävään toimintamalliin. Tulokset mittauksista on esitetty päästömittaustulosten yhteydessä kappaleessa 3. Esimittausten päästökeskiarvoja on esitetty liitteessä 1 (Kuva L1).

Mittauskonseptille asetettiin kolme pääkriteeriä, joiden pohjalta konsepti luotiin. Pääkriteerit olivat realistisuus, vertailukelpoisuus ja toistettavuus. Tulosten pitää olla todenmukaisia, ts. vastata mahdollisimman hyvin todellisissa olosuhteissa esiintyvää tilannetta, jolloin tuloksia voidaan hyödyntää päästöinventarioissa ja kansainvälisissä raportoinneissa. Konseptissa saunan täytyy toimia todenmukaisesti, ts. saunan täytyy lämmitä riittävän nopeasti, ilman vaihtua ja polttotavan vastata mahdollisimman pitkälle tyypillistä polttotapaa. Eri kiukaiden tulosten täytyy olla vertailukelpoisia, ts. polttotavat eivät saa poiketa liikaa toisistaan samantyyppisillä kiukailla. Tulosten on oltava toistettavia riippumatta siitä, milloin kokeet kiukaalla on tehty tai vähintään tulosten vaihteluvälin on oltava riittävän pieni, jotta eri kiukaiden tuloksia voidaan verrata toisiinsa. Lisäksi konseptissa pyrittiin mahdollisimman pitkälle jäljittelemään CE –merkintään liittyvässä standardissa esitettyjä olosuhteita ja mittauksia, huomioiden myös simulaattorikonttien asettamat rajoitukset mittaukselle. Seuraavassa esitettävä konsepti on kompromissi näiden asioiden suhteen.

2.4 MITTAUSKONSEPTI

Hankkeessa saatiin kehitettyä mittauskonsepti, joka on esitetty seuraavassa. Pääasialliset poikkeukset CE-merkinnän mukaisiin testeihin ja myös KIUAS- hankkeessa käytettyihin mittauksiin on esitetty huomioina.

Polttoaika:

- Polttoaika raportoidaan sytytyksestä siihen hetkeen saakka, jolloin CO₂-pitoisuus alittaa 25 % toisen panoksen maksimipitoisuudesta tai 3 % CO₂-pitoisuuden.
- Polttoajan pituudelle ei aseteta vaatimuksia.

Veto-olot:

- Aluksi saunan ilmanvaihto säädetään siten, että kiukaan veto on 0 Pa, ts. mitataan siipipyöräänemometrillä tulipesäluukusta, että ilma ei liiku kiukaan läpi. Tämän jälkeen asetetaan savukaasuimurin avulla pakotettu veto 6 Pa savukanavaan, kiukaan luukut siinä asennossa, jossa ne käyttöohjeen mukaisesti täytyy pitää. Luukkuja ei säädellä polton aikana ja vedon annetaan kehittyä luonnollisesti savukanavien ja savukaasun lämmitessä.

HUOM 1: CE –testissä pidetään veto 12 Pa:ssa koko polton ajan.

Ilmanvaihto:

- Saunan ilmanvaihto tapahtuu ilmanvaihtokoneen avulla. Ilmanvaihtokerroin (IV-kerroin = kuinka monta kertaa saunan ilmatilavuus vaihtuu tunnissa) mittausten alussa säädetään kolmeksi. Kertoimen annetaan pienentyä luonnollisesti saunan lämmitessä.

HUOM 2: CE –testissä IV -kerroin on 6.

- Tuloilman syöttöpaikka on kiukaan takana alhaalla. Paikka on vallitsevan käytännön ja RT suosituksen mukainen, vaikkakin huonompi vaihtoehto kuin kiukaan päältä.
- Poistoilman otto paikka on katossa (yleisin tapa).

Lämpötilat:

- Saunan lämpötila mitataan keskeltä saunaa, 300 mm katosta alaspäin.
- Saunan alkulämpötila saa vaihdella eri mittauksissa.

HUOM 3: CE –testissä alkulämpötila on oltava 20 ± 5 °C, mutta konttimittauksissa vaatimusta ei voida saavuttaa.

- Saunan loppulämpötila ilmoitetaan siten, että alkulämpötila on normeerattu 20 °C :een.

- Saavutettavalle saunan lämpötilalle ei aseteta vaatimusta.

HUOM 4: CE –testissä saunan on lämmitävä 90 °C lämpötilaan.

- Savukaasun lämpötila mitataan 1,5 m kiukaan hormilähdöstä.

HUOM 5: KIUAS –hankkeessa savukaasun lämpötila mitattiin myös n. 0,5 m hormilähdöstä.

Polttotapa

- Polttopuu kuiva (kosteus alle 10 %) koivu.

HUOM 6: CE –testissä puun kosteus saa vaihdella 12–20 % välillä. KIUAS –hankkeessa tehtiin testejä eri kosteuksilla. Puun kosteus vaikuttaa sekä saunan toimintaan että päästöihin, joten kosteus testeissä on vakioitava.

- Polttotapa, puumäärä ja lisäykset pidetään vakiona.

HUOM 7: CE –testissä kiuasta käytetään käyttöohjeen mukaisesti. Kiukaiden käyttöohjeet ja puumäärät vaihtelivat kuitenkin niin paljon, että käyttöohjeiden mukaisilla käyttötavoilla saunan toiminnan ja kiukaiden päästöjen vertailu olisi ollut mahdotonta. Jatkossa kokonaispuumäärä pitäisi vakioida, mutta käyttötapa voisi muuten olla valmistajan ohjeen mukainen, mikäli ohje on riittävän yksityiskohtainen.

- Kokonaispuumäärä on 6 kg (alle 20 m³ saunat) ja 9 kg (yli 20 m³ saunat).

HUOM 8: KIUAS –hankkeen mittauksissa käytettiin 3 + 3 + 1 kg puumäärää, mikä on tyypillinen 10–20 m³ saunoihin tarkoitetuille kiukaille.

HUOM 9: KIUAS –hankkeessa käytettiin seuraavaa ladontaa: Ensimmäisen panokset ladonta pitkittäin: 3 × 500 g (alle), 3 × 250 g, 4 × 100 g, 150 g klapi jaettuna neljään ja sytykkeet 200 g päälle. Toinen panos 6 × 500 g. Kolmas panos 2 × 500 g.

- Panoksen lisäys, kun CO₂ –pitoisuus alittaa 25 % maksimipitoisuudesta tai 3 % CO₂ –pitoisuuden.

Päästöt ja hyötysuhde

- Hyötysuhde määritetään CE –merkintään liittyvän standardin mukaisesti.
- Kaikki päästöt määritetään koko polton ajalta (1 min sytytyksestä polton loppuun).
- Reaaliaikaisista mittaustuloksista poistetaan 1 min alusta ja 2 min lisäysten ajalta (vähentää laskennan epävarmuutta luukkuja aukaistaessa).
- CO, OGC (orgaanisesti sitoutunut hiili), NO (typpimonoksidi) mitataan CE –merkintään liittyvän standardin testin mukaisesti.
- Hiukkaset mitataan laimennetusta savukaasusta, laimennuskerroin 50–100.
- Savukaasu laimennetaan huokoisen putken ja ejektorilaimentimen yhdistelmällä käyttäen esisyklonia karkeiden hiukkasten poistoon ja lämmitettyä putkea ennen laimentimia. Hiukkaslaskentakerroin määritetään mittaamalla CO₂ –pitoisuus näytekaasusta ja laimennusilmasta. Herkimmille analysaattoreille (pois lukien orgaanisia yhdisteitä analysoivat), voidaan käyttää tarvittaessa lisälaimennusta, jonka laimennussuhde on määritettävä erikseen.
- Pienhiukkasten massa määritetään suodatinkeräyksellä (1–2 näytettä / poltto, riippuu pitoisuustasosta) käyttäen impaktoria hiukkasten fraktiointiin. Suodattimen vaihto ajoitetaan hiillosvaiheeseen.
- Lisäksi mitataan hiukkasten lukumäärä, BC ja tarvittaessa PAH –yhdisteiden pitoisuudet.

Toistot

- Testi toistetaan kolme kertaa ja tulokset ilmoitetaan kolmen polton keskiarvona (+ hajonta). Mikäli toistoja tehdään samana päivänä useampia, on sauna jäähdytettävä välillä.

Löylyt

- Kiukaalle heitettävän veden siirtyminen saunailmaan olisi hyvä määrittää. Määrittäminen pitäisi miettiä erikseen.

3 PUUKIUKAIDEN PÄÄSTÖMITTAUKSET

3.1 JOHDANTO

Päästömittausten päätavoitteena oli tuottaa tietoa, jonka perusteella pystyttäisiin tarkentamaan kiukaiden päästöarvioita nykyhetken päästöinventaariorvioissa ja tulevaisuuden skenaarioarvioissa. Tarkemmat ja varmemmat päästöarviot ovat avainasia arvioitaessa eri päästövähennyskeinojen (esim. viestintä polttotavoista) tarpeellisuutta ja tehokkuutta. Päästöarvioiden tarkentuminen on erittäin tärkeää myös kansainvälisten päästövähennysvaatimusten arvioinnissa.

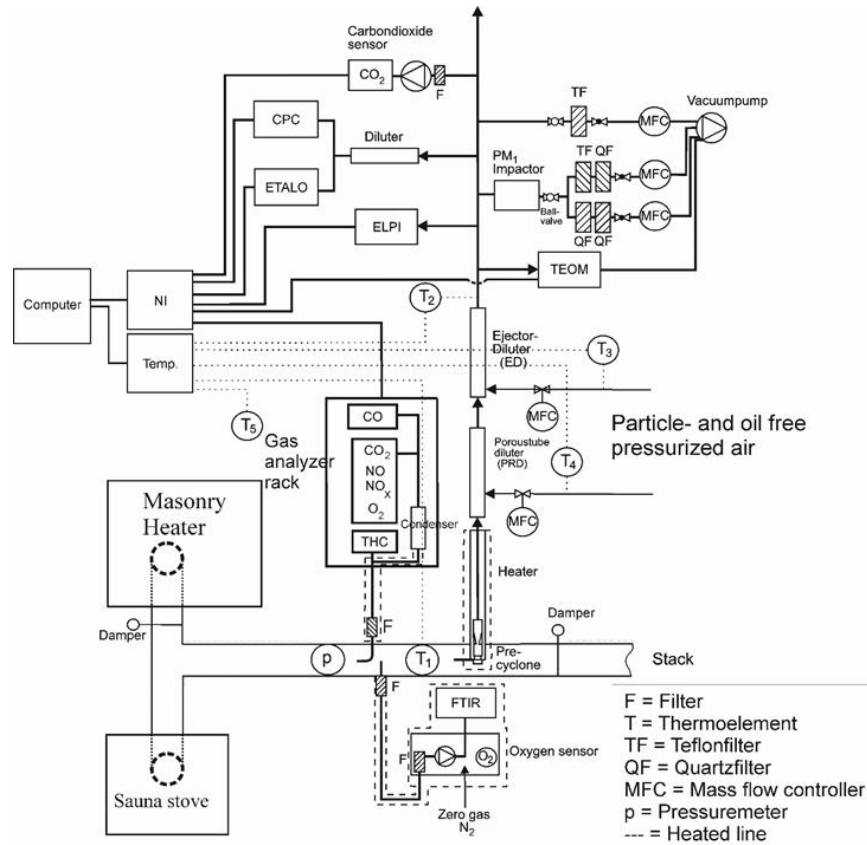
Puukiukaiden päästömittaukset suoritettiin huhti-heinäkuussa 2018. Perusmittausten lisäksi käyttötapaan, polttoaineeseen ja saunan olosuhteisiin liittyviä mittauksia tehtiin marraskuuhun 2018 saakka. Mittauksissa havaittiin, että kehitetty konsepti toimi erittäin hyvin ja hajonnat eri toistomittausten välillä olivat pääsääntöisesti pienet. Toistomittassarjojen eroja on esitetty tarkemmin kappaleessa 3.3.7.

3.2 PIENPOLTTOSIMULAATTORI

Itä-Suomen yliopistolla on korkealaatuiset mittausmenetelmät ja laboratorio puun panospolton päästöjen mittauksiin (*www.uef.fi/fine ja mm. Tissari ym., 2007; 2015; Leskinen ym., 2014*). Mittaukset suoritettiin uudessa pienpolttosimulaattorissa (SIMO). Simulaattori koostuu kahdesta merikontista, joista toisessa on mittalaitteet ja tulisijojen testausmahdollisuus ja toisessa sauna. Saunatilan takaseinää voidaan siirtää, mikä mahdollistaa eri kokoisten kiukaiden testauksen. Saunan ilmanvaihto toimii mittauskontin ilmanvaihtokoneen kautta. Kiukaan savukaasut johdetaan 180 mm halkaisijaltaan olevaa vaakasuoraa piippua pitkin mittauskontin kautta katolle ja vetoa voidaan säätää savukaasuimurin avulla. Lämpötiloja mitataan yhteensä 44 mittauspisteestä. Ilmanvaihtoa säädellään käsikäyttöisten ja moottorisäätöisten peltien avulla ja ilmanvirtaukset mitataan ilmanvaihtoputkista. Paine-ero mitataan savukaasukanavan ja sisäilman väliltä ("veto") ja sisä- ja ulkoilman väliltä. Päästömittaukset tehdään savukanavasta mittauskontin puolelta peräkkäisistä näytteenottoyhteistä. Kaaviokuva mittausjärjestelystä on esitetty kuvassa 3.

Kaasujen mittaaminen: Savukaasuissa esiintyviä kaasumaisia yhdisteitä mitattiin Siemens – kaasuanalysaattoreilla ja Gasmeter DX4000 FTIR –kaasuanalysaattorilla. Siemens Fidamat 6 analysaattoria käytettiin kokonaishiilivetyjen (OGC) pitoisuuden määrittämiseen ja Siemens Ultramat 23 –kaasuanalysaattoreita häkäkaasun, hiilidioksidin, hapen ja typpioksidin määrittämiseen. FTIR –analysaattorilla mitattiin 40 yleisimmän kaasukomponentin pitoisuuksia (mm. yksittäisiä hiilivety-yhdisteitä).

Pienhiukkasten mittaaminen: Hiukkasmittaukset tehtiin laimennetusta savukaasusta todellisen päästökertoimen määrittämiseksi. Pienhiukkasten mittaamisesta laaditiin standardiluonnos, joka on parhaillaan arvioitavana TC295 kansallisessa seurantaryhmässä. Laimennusmenetelmä koostuu esierottimesta, lämmitetystä näytteenottoyhteestä, huokoisen putken laimentimesta ja ejektorilaimentimesta. Laimennussuhde pidetään vakiona ja valitaan siten, että tarvittavat mittaukset saadaan tehtyä. Laimennussuhde määritetään savukaasun, laimennusilman ja näytekaasun hiilidioksidipitoisuuksien perusteella.



Kuva 3. Kaaviokuva mittausjärjestelystä.

Pienhiukkaspäästöistä mitattiin seuraavia parametreja reaaliaikaisesti (laitteisto suluissa):

- Hiukkasten kokonaislukumääräpitoisuus (kondensaatioydinlaskuri CPC (3776 TSI Inc.)).
- Hiukkasten kokonaislukumääräpitoisuus, PM₁-massapitoisuus ja lukumääräkojo-kauma (sähköinen alipaineimpaktori ELPI (10 lpm, sintratut alustat, Dekati Oy)).
- Mustahiilipitoisuus (etalometri AE33, MageScientific Inc.).

Reaaliaikaisten pitoisuuksien lisäksi kerättiin näytteitä suodattimille. Analyysija tehtiin seuraavasti:

- Pienhiukkasmassapitoisuus PM₁ (punnitusmenetelmä).
- Orgaanisen hiilen (OC) ja epäorgaanisen hiilen (EC) pitoisuus (termis-optinen analyysi).
- PAH –yhdisteiden pitoisuudet (Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene, 1-Methylphenanthrene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo[c]phenanthrene, Benzo[a]anthracene, Cyclopenta[c,d]pyrene, Triphenylene, Chrysene, 5-Methylchrysene, Benzo[b]fluoranthene, Benzo[k]fluoranthene, Benzo[j]fluoranthene, Benzo[e]pyrene, Benzo[a]pyrene, Perylene, Indeno[1,2,3-cd]pyrene, Dibenz[a,h]anthracene, Benzo[g,h,i]perylene, Anthanthrene, Dibenz[a,l]pyrene, Dibenz[a,e]pyrene, Coronene, Dibenz[a,i]pyrene, Dibenz[a,h]pyrene ja yhdisteiden kokonaispitoisuus).

- Metallin ja ionipitoisuuksia (IC ja ICP-MS, muutamista näytteistä).

Laimennuskerroin oli pääsääntöisesti 90, mutta CPC :lle ja etalometrille käytettiin lisälaimennusta, jolloin laimennus oli tyypillisesti noin 800 –kertainen.

Laskenta: Mittausdata kerättiin Labview –pohjaisella järjestelmällä. Savukaasun päästökomponenttien happiredusoitujen pitoisuuksien laskenta tapahtui reaaliaikaisesti ja automaattisesti. Lopullinen aineiston käsittely ja jaksottaisnäytteiden tulosten käsittely tehtiin taulukkolaskentaohjelmistolla.

3.3 MITTAUSMATRIISI

Kiukailla tehdyt mittausarjat on esitelty taulukossa 2. Perustestit tehtiin 8 kiukaalla. Perustesti kuvaa kiukaiden mittauskonseptin mukaisesti määritettyjä päästöjä ja ominaisuuksia. Kahdella kiukaalla tehtiin perustestien lisäksi kokeita erilaisilla ilmanvaihtoasetuksilla ("IV – testi"), eri puulajeilla ("puulajivertailu"), eri puun kosteuksilla ja erilaisilla polttotavoilla (täysi pesä, optimointitesti). Lisäksi kiukaalla 8 tehtiin kaksi erillistä testisarjaa kuivalla koivulla (polttopuu eri lähteestä: mittausarjat 12 ja 13) testien vaihtelun selvittämiseksi. Näiden lisäksi kokeita tehtiin roskien polttoon liittyen (Veka Tolosen Pro Gradu työ) ja erilaisilla kiuas- ja puhdistinprototyypeilla (pääosin SIMO –hankkeeseen liittyen). Viimeksi mainittujen osalta tuloksia on hyödynnetty KIUAS –hankkeen johtopäätöksiä tehtäessä.

Taulukko 2. kiukailla tehdyt mittausarjat, sarjojen koodit sekä kuvaukset.

Mittaus-sarja	KOODI	Toistojen lukumäärä	testi	IV-kerroin	Polttopuun kosteus	PAH	Huomioita
1	KIUAS 1_18	3	Perustesti	3	18 %	X	Ensimmäiset testit, joissa mittaus jatkui pidempään kuin seuraavissa testeissä. Kosteaa puu.
2	KIUAS 1_IV6	3	IV-testi	6	11 %	-	
3	KIUAS 1_11, KIUAS 1_IV0	3	IV-testi	0	11 %	X	
4	KIUAS 1_IV3K	3	IV-testi	3	11 %	-	Kiusta käytettiin ilman kiviä
5	KIUAS 1_TP	1	Täysi pesä	3	11 %	-	Polttoaine-erä poltettiin yhdellä kertaa.
6	KIUAS 2_17	3	Perustesti	3	17 %	X	Kosteaa puu
7	KIUAS 3_17	3	Perustesti	3	17 %	X	Vesisäiliöllinen kiuas, kostea puu
8	KIUAS 4_11	3	Perustesti	3	11 %	X	
9	KIUAS 5_11	3	Perustesti	3	11 %	X	
10	KIUAS 6_11	3	Perustesti	3	11 %	X	Verkkokiuas
11	KIUAS 7_11	3	Perustesti	3	11 %	X	Verkkokiuas
12	KIUAS 8, KIUAS 8_11	3	Perustesti	3	11 %	X	
13	KIUAS 8_koivu	2	Puulajivertailu	3	11 %		Vertailudata koivuklapista
14	KIUAS 8_18	3	Puun kosteus	3	18 %	X	Kosteaa puu
15	KIUAS 8_28	3	Puun kosteus	3	28 %	X	Märkä puu
16	KIUAS 8_mänty	2	Puulajivertailu	3	11 %		Mänty
17	KIUAS 8_kuusi	2	Puulajivertailu	3	11 %		Kuusi
18	KIUAS 8_leppä	4	Puulajivertailu	3	11 %		Leppä
19	KIUAS 8_OPT	3	Optimointitesti	3	11 %	X	Osa ilmansyötöstä tapahtui tulipesäluukun kautta.
20	KIUAS 8_TP	3	Täysi pesä	3	11 %		Polttoaine-erä poltettiin yhdellä kertaa.

3.4 TULOKSET

3.4.1 Parametrien väliset yhteydet koko mittausarjan osalta

Koko mittausarjan kaikkien tulosten välisiä yhteyksiä on esitetty kuvassa 4 ja liitteen 1 korrelaatiokuvissa (L1–L8). Kuvista voidaan päätellä seuraavia asioita:

Hyötysuhde:

- Lämmitysaika ja saunan loppulämpötila eivät olleet yhteydessä hyötysuhteeseen (Kuva L2_{AB}).
- Savukaasun lämpötila ja ilmakerroin korreloivat hyötysuhteen kanssa (Kuva L2_{CDF}). Hyötysuhde aleni n. 2,8 % jokaista keskimääräistä 50 °C lisäystä kohden ja karkeasti n. 1% jokaista 1 % keskimääräistä happipitoisuuslisäystä kohden.
- Polttoainevirta, teho ja polttoaineen kosteus eivät olleet yhteydessä hyötysuhteeseen (Kuva L3_{ABC}).
- Eri tavalla laskettujen hyötysuhteiden korrelaatiot olivat erinomaiset (Kuva L3_{EF}), joten mitä tahansa laskettua hyötysuhdetta voidaan käyttää polttokokeiden välisissä vertailuissa. Tässä on kuitenkin huomioitava, että lukuarvot voivat poiketa esim. mittauspisteen sijainnista johtuen, mikä tulisi huomioida myös raja-arvojen asettamisessa.
- Hyötysuhteen ja päästöjen välinen riippuvuus oli heikko. Yleisesti, mitä korkeammat olivat päästöt (BC, PM₁, CO), sitä parempi oli hyötysuhde (Kuva L4_{ABC}). PAH-yhdisteiden osalta yhteyttä ei havaittu (Kuva L8_A).

Lämpötilat:

- Mitä korkeampi oli savukaasun lämpötila, sitä korkeampi oli myös saunan lämpötila (Kuva L2_E).
- Hormilämpötilan ja savukaasun lämpötilan (CE –mittauspiste) ero kasvoi lämpötilojen kasvaessa (Kuva L3_D, muutos lämpötilaerossa n. 4 °C jokaista 50 °C hormilämpötila-astetta kohden).
- Savukaasun lämpötilan ja päästöjen välinen riippuvuus oli heikko (Kuva L5).

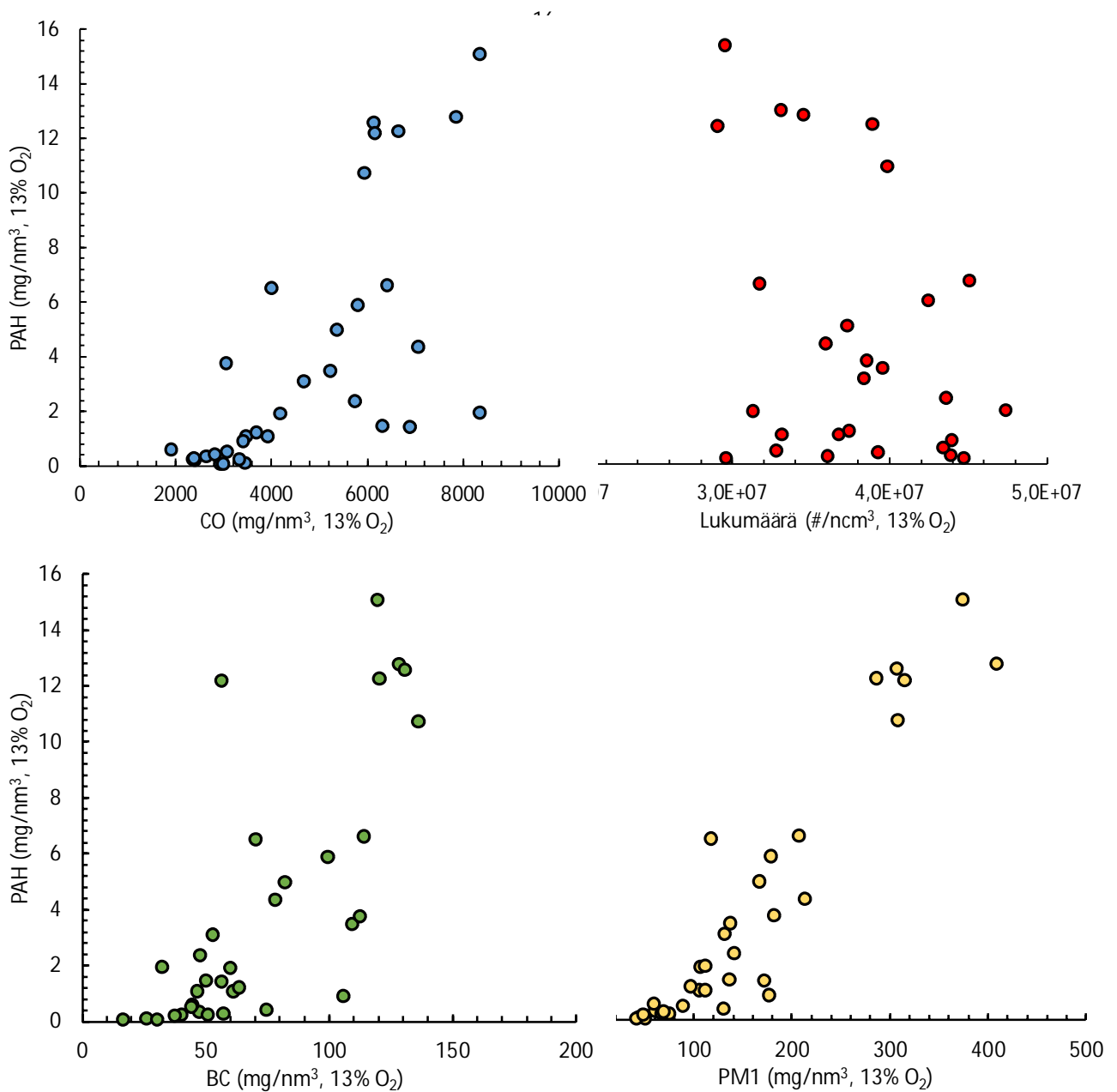
Ilmakerroin:

- Savukaasun päästökomponenteilla (hiukkaslukumääräpitoisuutta lukuun ottamatta) ja ilmakertoimella oli yhteys (Kuva L6). Päästökomponenttien pitoisuuksiin vaikuttaa kokonaisilmakertoimen lisäksi myös primääri- ja sekundääri-ilman suhde, josta johtuen hajonta tuloksissa oli kuitenkin suuri.

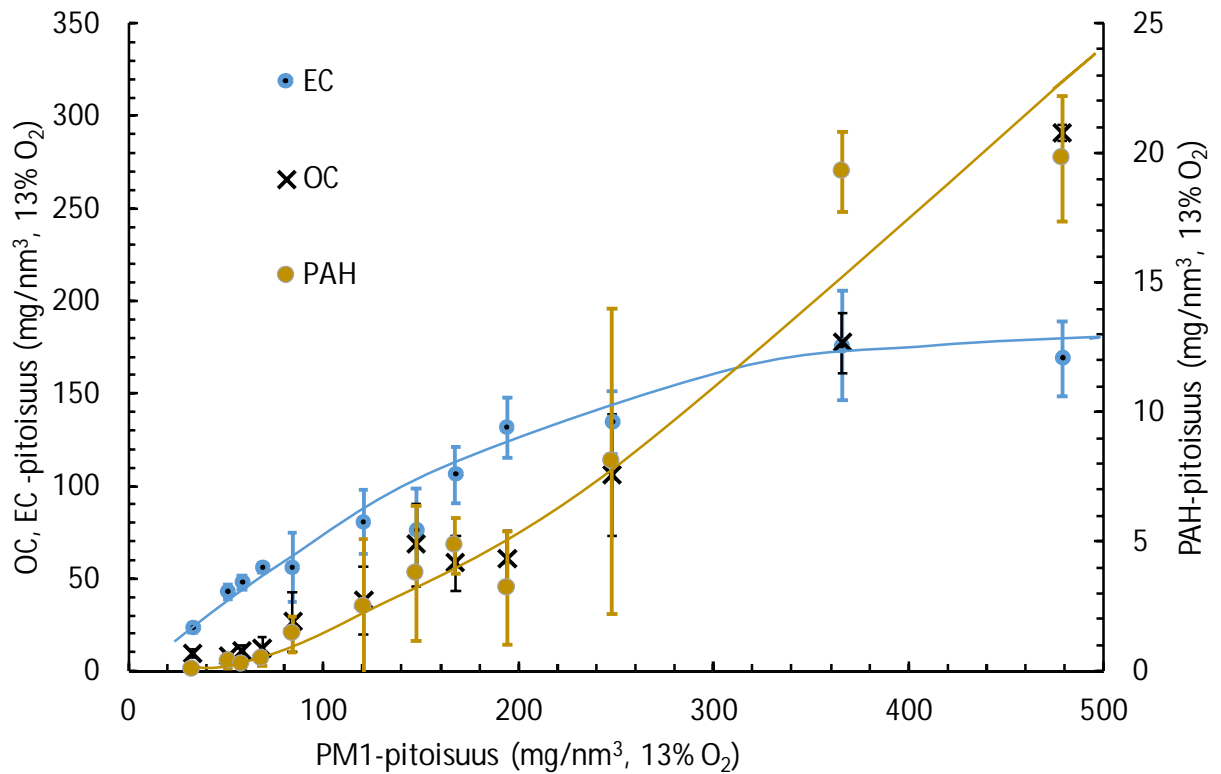
Päästökomponenttien väliset yhteydet:

- Yleisesti, häkäkaasun ja hiukkaspitoisuuksien välillä on nähtävissä yhteys (Kuva L4_{DEF}), lukuun ottamatta PAH –pitoisuuksia (Kuva 4). Tuloksissa on kuitenkin huomioitava, että mittauspisteiden välinen hajonta oli kuitenkin suurta, joten yksittäisien mittausten hiukkaspitoisuuksia ei voi ennustaa CO –pitoisuuden perusteella.
-

- Hiukkaslukumäärä ei ollut yhteydessä muihin epäpuhtaispitoisuuksiin (esim. PAH, Kuva 4).
- PM₁ -pitoisuudella ja muilla hiukasmassaan liittyvillä parametreilla (OC, EC, PAH) oli selkeä korrelaatio (Kuva L7), mutta yhteydet eivät olleet lineaarisia (Kuva 5).
- Yksittäiset PAH-yhdisteet (mm. B(a)P) korreloivat hyvin PAH pitoisuuksien kanssa (Kuva L8).



Kuva 4. PAH -yhdisteiden ja muiden päästökomenttien välinen korrelaatio kaikkien mittausten osalta.



Kuva 5. Pienhiukkasmassan (PM_1) ja kemiallisen koostumuksen (OC, EC, PAH) yhteys kaikkien mittaussarjojen osalta.

3.4.2 Puukiukaiden keskimääräiset päästöt

Kahdeksan kiukaan keskimääräiset tulokset on esitetty Taulukoissa 3–5. Jokaiselle kiukaalle laskettiin keskimääräiset tulokset sisältäen kaikki kiukaalla tehdyt mittaukset, joissa aineisto on ollut riittävän kattavaa (PAH mukana). Keskituloksista on jätetty pois märällä polttopuulla (28 %) tehdyt mittaukset. Taulukoiden tulokset ovat näiden kahdeksan kiukaan keskimääräisten tulosten keskiarvoja. Taulukoihin on lisäksi laskettu keskihajonta, ilmoitettu matalin ja korkein keskiarvo sekä laskettu näiden suhdeluku.

Taulukko 3. Olosuhteet ja hyötysuhteet kiuasmittauksissa. Reaaliaikainen hyötysuhde on laskettu simulaattorin antamien hetkellisten (CE) lukujen keskiarvona, CE –hyötysuhde on määritetty CE –lämpötilan mittauspisteestä (1,5 m kiukaan jälkeen) standardin mukaisesti ja Hormi –hyötysuhde lämpötilasta n. 0,5 m kiukaan jälkeen. Erotus sarake kertoo CE- ja Hormi –hyötysuhteiden erotuksen (ks. lyhenneluettelo).

	Olosuhteet					Hyötysuhteet			
	Aika	Veto	Polttoaine- virta	Teho	Ilma- kerroin	Reaaliaikainen	CE	Hormi	Erotus
	[min]	[Pa]	[kg/h]	[kW]		[%]	[%]	[%]	[%]
Keskiarvo	89	7,6	4,8	16	2,5	63,2	64,7	61,2	3,6
Keskihajonta	11	0,4	0,6	2	0,2	4,7	4,6	5,0	1,1
Min	78	7,1	3,9	13	2,2	57,2	58,5	55,5	2,0
Max	109	8,3	5,5	19	2,7	70,4	72,2	70,1	5,8
Min-Max-suhde	1,4	1,2	1,4	1,5	1,2	1,2	1,2	1,3	2,9

Keskimäärin polttoaika oli 89 minuuttia ja sauna lämpesi keskimäärin 94 °C :een (kun lähtötilanne normeerattiin 20 °C :een). Ilmakerroin oli 2,6, mikä vastaa hyvin lähelle päästöjen redusoinnissa käytettävää 13 % happipitoisuutta. Keskimääräinen hyötysuhde oli 64,7 % ja ero heti kiukaan jälkeen mitatun ja CE –merkinnässä käytettävän standardin mukaisen mitauspisteen (n. 1 m kauempana) välillä 3,6 %. Todellisuudessa ero riippuu paljaan savuputken pituudesta saunassa. Virallisiin CE –merkintätuloksiin verrattuna KIUAS –hankkeessa mitatut hyötysuhteet olivat keskimäärin 7 % pienempiä (vastaa 5 % –yksikköä hyötysuhteessa).

Taulukko 4. Kiuasmittausten lämpötilat: Savukaasun keskimääräiset lämpötilat CE- ja Hormi –mittauspisteistä, savukaasun korkeimmat lämpötilat, saunan lämpötila alussa ennen mittauksia, saunan keskimääräinen lämpötila ja saunassa saavutettu korkein lämpötila. Sauna Max (normeerattu) kuvaa lämpötilaa, joka olisi saavutettu, jos alkulämpötila olisi ollut 20 °C.

	Lämpötilat							
	Savukaasu (CE)	Savukaasu (hormi)	Savukaasu Max (CE)	Savukaasu Max (hormi)	Sauna, alussa	Sauna	Sauna Max	Sauna Max (normeerattu)
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
Keskiarvo	362	398	479	531	27	71	100	94
Keskihajonta	43	45	74	81	6	6	8	8
Min	298	318	386	409	18	59	83	83
Max	436	464	616	665	33	81	109	103

Keskimäärin savukaasun lämpötila oli 362 °C ja heti liitinhorminjälkeen mitattuna 36 °C korkeampi. Yhden testausarjan keskimääräinen lämpötila oli korkeimmillaan 665 °C (mittausarja 4, testi ilman kiuaskiviä). T600 luokka ylittyi kiukaalla 1 (mittausarjat 2–4), kun käytettiin kuivaa puuta. Kosteammalla puulla (mittausarja 1) savukaasun maksimilämpötila oli 564 °C. CE –testituloksiin verrattuna savukaasun keskimääräinen lämpötila oli 6 % pienempi KIUAS –hankkeen testeissä (vastaa 23 °C).

Taulukko 5. Kiuasmittausten hiukkas- ja kaasupitoisuudet.

	Hiukkas- ja kaasupitoisuudet (13 % O ₂)									
	PM ₁	OC	EC	BC	Lukumäärä (CPC)	CO ₂	CO	NO	Benzo [a] pyrene	PAH
	[mg/nm ³]	[mg/nm ³]	[mg/nm ³]	[mg/nm ³]	[#/ncm ³]	[%]	[mg/nm ³]	[mg/nm ³]	[mg/nm ³]	[mg/nm ³]
Keskiarvo	181,0	56,1	82,3	82,5	3,8E+07	8,3	4900	91	410	4540
Keskihajonta	107,9	59,6	33,6	30,9	5,7E+06	0,6	1910	10	450	4500
Min	56,4	8,8	36,9	37,4	3,1E+07	7,4	2460	73	5	100
Max	392,1	190,1	131,8	130,6	4,9E+07	9,2	7860	101	1400	13900
Min-Max-suhde	6,9	21,6	3,6	3,5	1,6	1,2	3,2	1,4	299,9	139,1

Hiukkas- ja kaasupitoisuuksien osalta erot kiukaiden välillä olivat selvästi suuremmat kuin muiden mitattujen parametrien osalta. Suurimmat erot haettiin orgaanisten yhdisteiden, erityisesti PAH –yhdisteiden osalta (keskimäärin 139 –kertaiset erot, yksittäisten yhdisteiden ja yksittäisten polttojen osalta vielä suuremmat). Pienhiukkasmassan osalta ero oli noin 7–kertainen. Keskimäärin CO –pitoisuus oli 14 % pienempi (vastaa 630 ppm tai 785 mg/m³) virallisiin CE –testituloksiin verrattuna.

Määritettyjä keskimääräisiä hiukkaspitoisuuksia on verrattu aiempien mittausten tuloksiin Taulukossa 6. Mitatut pitoisuudet olivat keskimäärin selvästi pienempiä kuin aiemmissa tutkimuksissa saadut tulokset. Esimerkiksi tutkimuksessa Savolahti *ym.* (2016) käytetty pienhiukkasmassapitoisuus oli 580 mg/m³ (vaihteluväli 50–2340), kun tässä tutkimuksessa keskipitoisuus oli 181 mg/m³ (vaihteluväli 56–392). Siten ero tulee esille erityisesti korkeimpien päästökerrointen osalta ja näkyy erityisesti mustahiilen päästökertoimissa (Taulukko 6). Tuloksia analysoitaessa on huomioitava, että ennen KIUAS –hanketta viimeisimmät hiukkasmittaukset on tehty 2010 –luvun alkupuolella, ennen kuin CE –merkintä tuli voimaan. Lisäksi aiemmat tulokset ovat yksittäisistä kiukaista (n. 7 kiukaan tuloksia ajalta 2002–2012) ja hiukkasten mittaustekniikat ovat kehittyneet merkittävästi alkuajoista. Mahdollista on kuitenkin, että kaikkein suuripäästöisimmät kiukaat ovat jääneet pois markkinoilta CE –merkinnän tullessa voimaan vuonna 2013.

Taulukko 6. KIUAS –hankkeen tulosten ja aiemmin mitattujen pienhiukkasmassa- ja mustahiilipitoisuuksien vertailu.

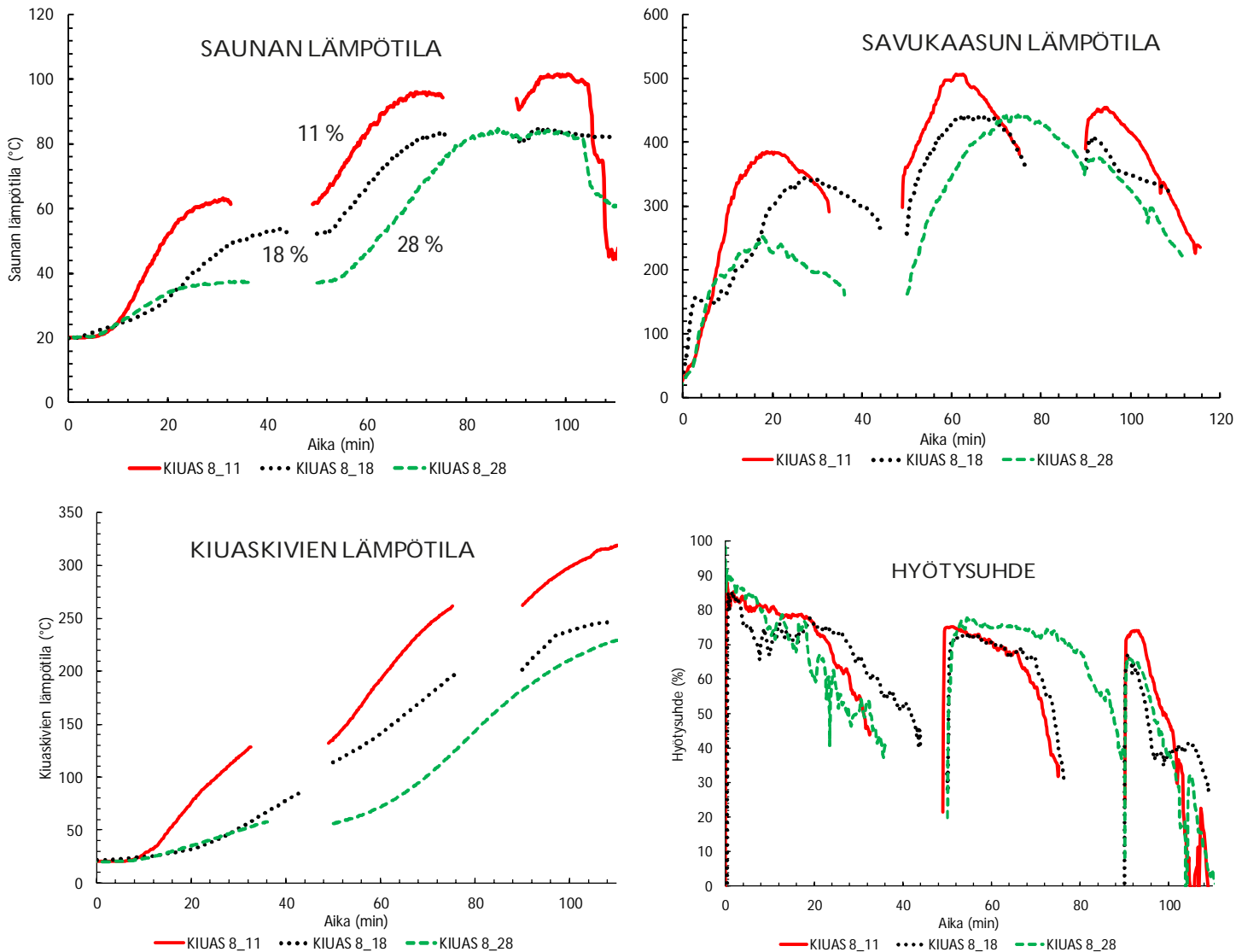
	PM ₁ Tämä tutkimus	PM _{2,5} Savolahti <i>ym.</i> , 2016	BC Tämä tutkimus	BC Savolahti <i>ym.</i> , 2016	PM ₁ Tissari <i>ym.</i> , 2009	PM ₁ Tissari <i>ym.</i> , 2007	PM ₁ Lamberg <i>ym.</i> , 2011	PM ₁ Hukkanen <i>ym.</i> , 2013
Keskiarvo	181	580	82	260	260	250	830	
Min	56	50	37	10	220		340	520
Max	392	2340	131	490	300		1360	750

3.4.3 Puun kosteuden vaikutus päästöihin

Puun kosteuden havaittiin vaikuttavan sekä saunan olosuhteisiin että kiukaan päästöihin. Koska kosteus vaihteli eri kiuasmallien polttojen välillä, seuraavassa esitettävään kuvaan puun kosteus on merkitty kiuasmallin jälkeen numerona (esim. KIUAS 1_11 tarkoittaa testisarjaa, jossa puun kosteus oli 11 %). Kiukaalla 1 ja 8 tehtiin mittauksia useammalla eri kosteudella.

Puun kosteuden vaikutus tuloksiin:

- Kostean (18 %) puun käyttäminen pidensi polttoaikaa (Kuvat 6 ja 7) ja alensi savukaasun lämpötilaa ja saavutettua saunan lämpötilaa (Kuvat 6–11). Kostealla puulla myös ilmakerroin oli korkeampi (Kuva 12). Polton laskennalliseen kokonaishyötysuhteeseen (Kuvat 6, 13 ja 14) puun kosteudella ei ollut merkittävää vaikutusta, mutta kiuaskivet lämpenivät selvästi huonommin kosteaa puuta käytettäessä (Kuvat 6 ja 15).
- Kostean (18 %) puun käyttö vaikutti päästökomponenttien pitoisuuksiin. Kosteaa puuta lisäsi CO –pitoisuuksia (Kuva 16) ja hiukkasten lukumääräpitoisuutta (Kuva 17), mutta alensi kaikkien muiden pienhiukkaspäästökomponenttien pitoisuuksia (Kuvat 18–24). Erityisesti kostean puun käyttö näkyi BC- ja PAH –pitoisuuksien alenemisena (Kuvat 20–22). PAH –pitoisuudet kuitenkin kasvoivat hieman, kun poltettiin märkää puuta (28 %) verrattuna kosteaan (18 %) puuhun.



Kuva 6. Puun kosteuden vaikutus saunan lämpötilaan, savukaasun lämpötilaan, kiuaskivien lämpötilaan ja polton hyötysuhteeseen kiukaalla 8.

3.4.4 Kiukaiden väliset erot päästöissä, hyötysuhteessa ja toiminnassa

Kiukaiden välisessä vertailussa puun kosteus on otettava huomioon. Tässä kappaleessa on esitetty eri kiuasmodellien vertailutulokset (ns. "perustesti", mittausarjat 1 ja 6–12). Tuloksista voidaan päätellä seuraavia asioita:

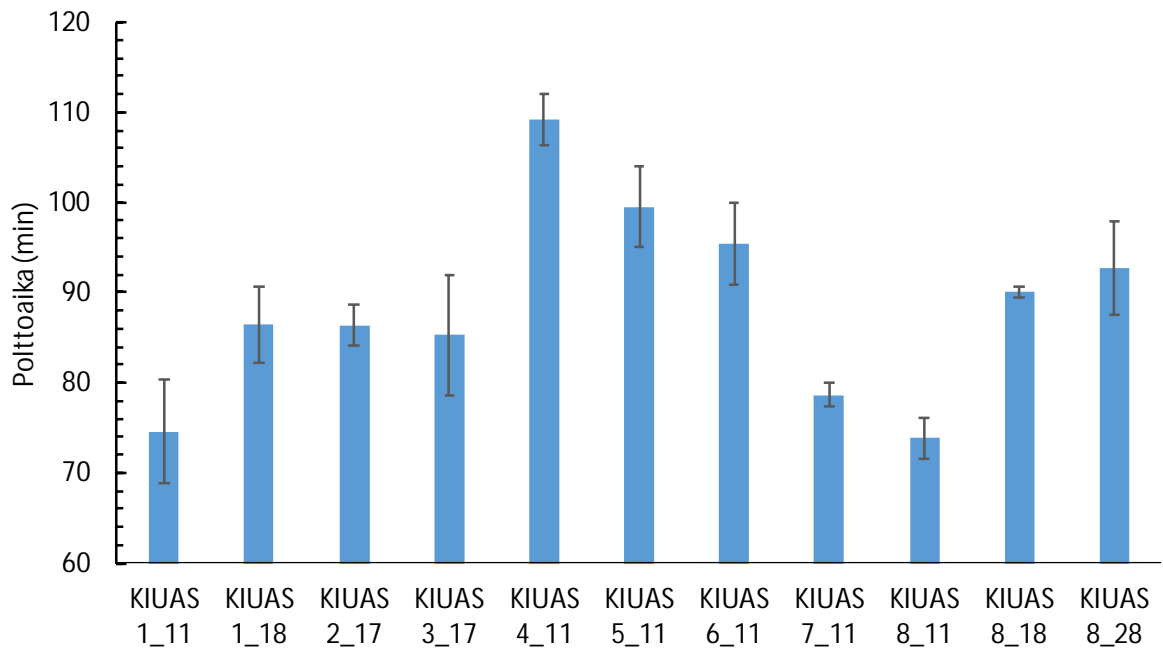
Kiukaiden väliset erot:

- Erot kiukaiden välillä olivat suuria kaikkien mitattujen parametrien osalta.

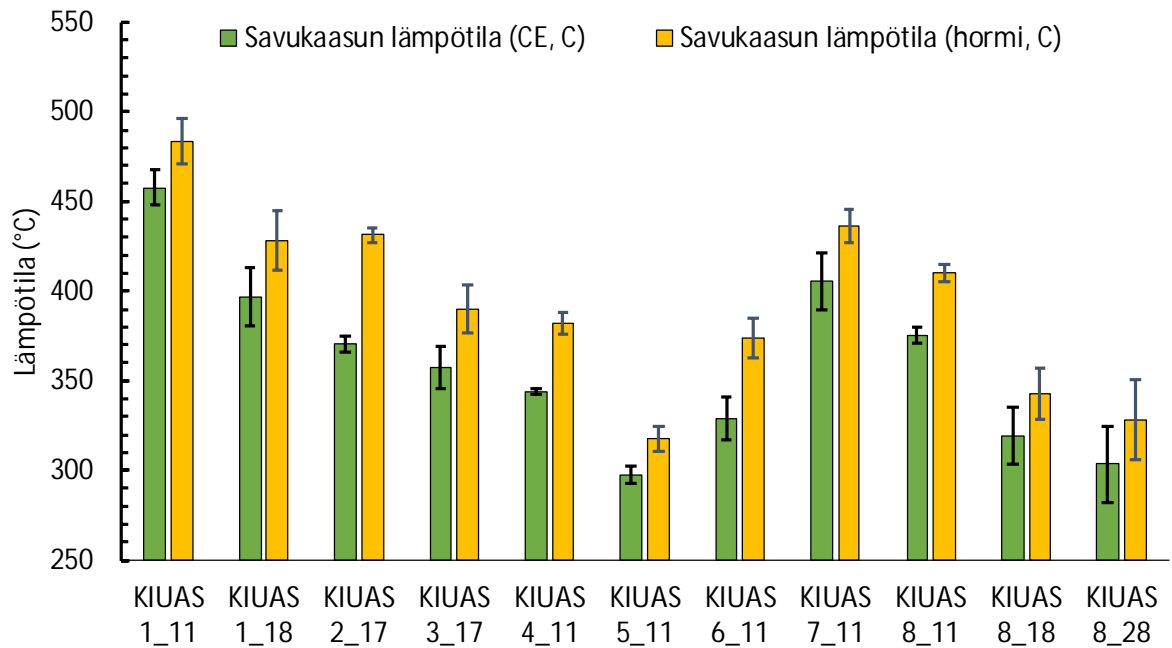
- Kiukaissa 4–6 polttoaika oli pidempi ja savukaasun lämpötila matalampi kuin muissa kiukaissa (Kuvat 7 ja 8). Matala lämpötila kiukaalla 4 voi johtua korkeasta ilmaker-toimesta. Kiukaan 5 osalta vaikuttavana tekijänä ovat pitkät savukanavat ja kiukai-den 5–6 osalta suuri kivimäärä.
- Saunan lämpötila oli matalin vesisäiliöllisellä kiukaalla (3) kosteaa puuta poltettaessa sekä kiukaalla 6 (Kuva 10). Huolimatta suuresta kivimäärästä, kiuas 6 lämmitti kivet tehokkaasti ja vastaavasti saunan lämpötila jäi alhaisemmaksi (Kuvat 11 ja 15).
- Hyötysuhteen osalta erot olivat melko pieniä. Korkeimmat hyötysuhteet (n. 70 % luokkaa) mitattiin kiukailla 5 ja 6 (Kuva 13).
- Kauttaaltaan muita korkeammat päästöt (CO, PM₁, OC, EC, PAH) mitattiin kiukaista 2, 6 ja 8. Näistä erottui erityisesti kiuas 6, jossa hyötysuhde oli kuitenkin erinomainen.
- Selkeästi pienimmät päästöt kaikkien parametrien osalta oli kiukaalla 1, erityisesti kostempaa puuta käytettäessä. Päästöt olivat keskitasoa kiukailla 4 ja 5.
- NO- ja pienhiukkasten lukumääräpitoisuuteen kiuastyypillä ei ollut merkittävää vai-kutusta (Kuvat 17 ja 24).

Kiukaiden välisistä eroista voidaan tehdä seuraavia johtopäätöksiä:

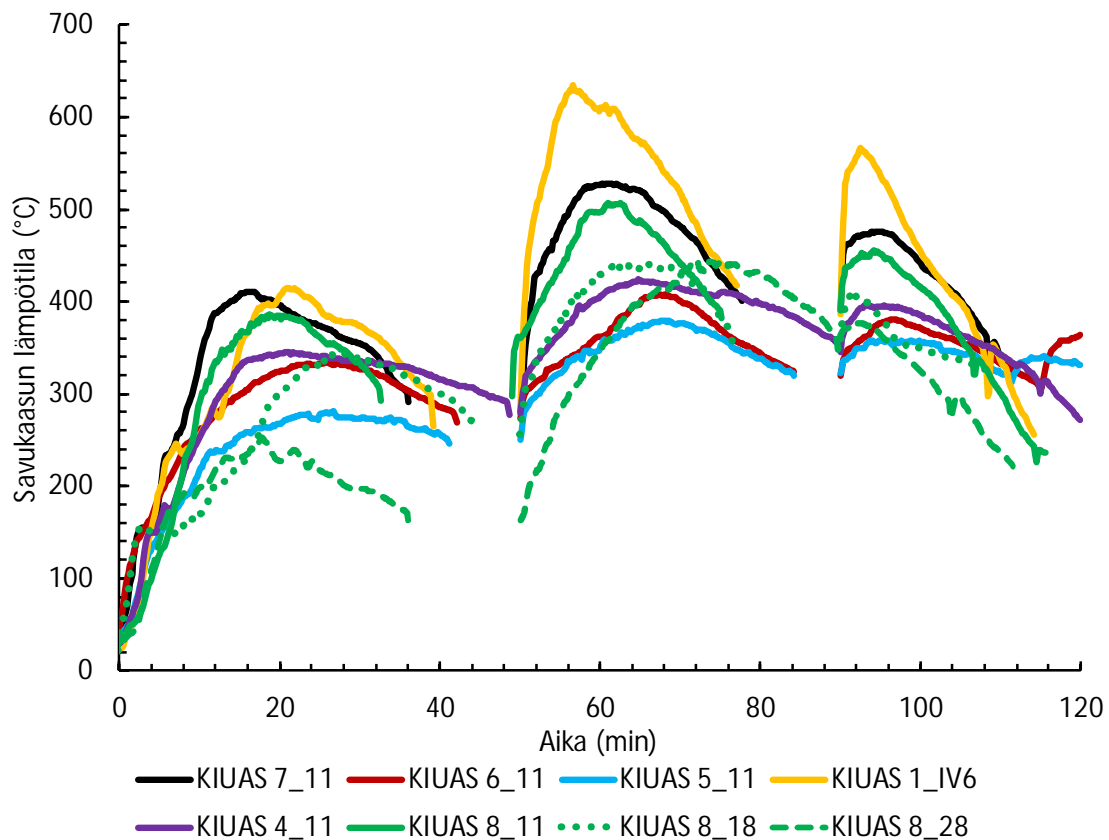
- Jokainen kiuasmalli on yksilö polttoajan, lämpötilojen, ilmaker-toimen, hyötysuhteen ja päästöjen osalta. Myös käyttötapa vaikuttaa kiukaisiin yksilöllisesti.
 - Kiukaiden rakenteelliset ominaisuudet (tulipesä, arinan koko, savukanavien koot, supistukset, kanavien pituudet jne) vaikuttavat kiukaan toimintaan ja sitä kautta mm. ilmaker-toimeen, polttoaikaan ja hyötysuhteeseen, mutta ei yksiselitteisesti päästöihin.
 - Tärkein pieniä päästöjä selittävä tekijä on todennäköisesti kiukaalla 1 riittävän toi-sioilmamäärän mahdollistaminen oikeaan kohtaan palamisprosessia ja suuria päästö-jä selittävä tekijä toisioilman puute ja sitä kautta voimakkaampi kaasutus kiukailla 2 ja 6.
 - Kiuas 7 ei toiminut päästöjen kannalta järkevästi, vaikka tulipesässä toisioilman syöt-tö olikin suunniteltu. Kiuasta 1 lukuun ottamatta, ensimmäisen panoksen päästöt oli-ivat alhaisemmat kuin toisen panoksen päästöt (Kuva 23), mikä myös kertoo kaasuun-tumisen voimistumisesta ja palamisprosessin huononemisesta tulipesän lämmitessä.
 - Kiukaiden 4 ja 5 keskimääräisiä päästöjä selittää osaltaan rauhallinen polttoprosessi, mutta myös osittainen toisioilman syöttö tulipesään.
 - Vesisäiliöllisen kiukaan tulokset eivät merkittävästi eronneet vesisäiliöttömän kiu-kaan tuloksista (mittaussarja 7 vs. mittaussarja 14). Ainoastaan mustahiilipitoisuudet olivat vesisäiliöllisellä kiukaalla hieman korkeammalla tasolla kuin vesisäiliöttömällä kiukaalla.
-



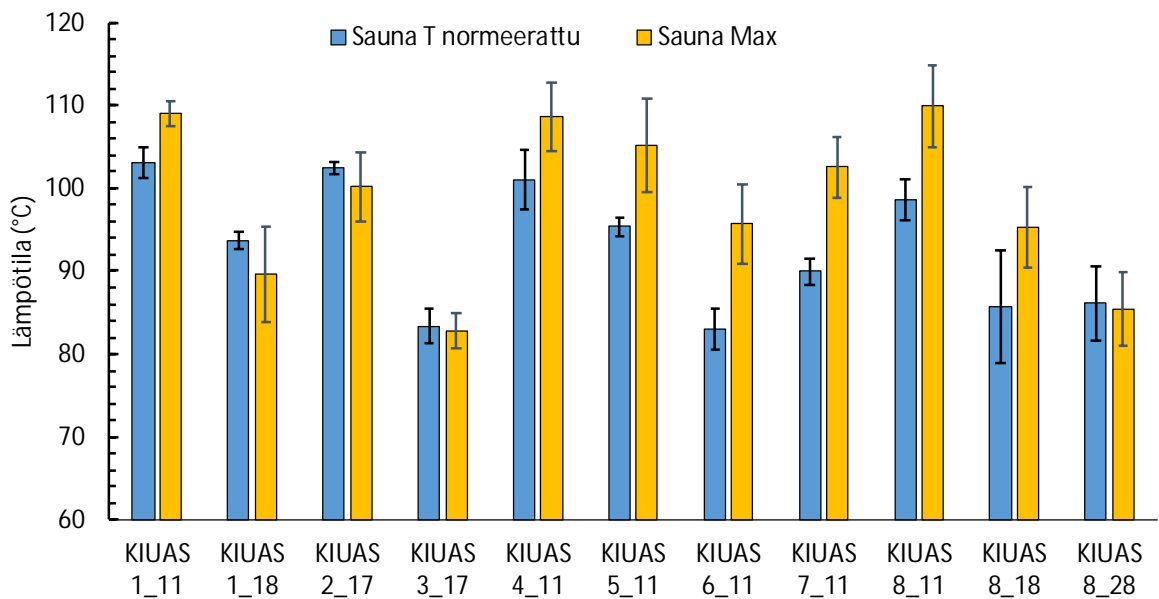
Kuva 7. Keskimääräinen polttoaika (\pm keskihajonta) mittausarjoissa 1, 3, 6–12, 14 ja 15.



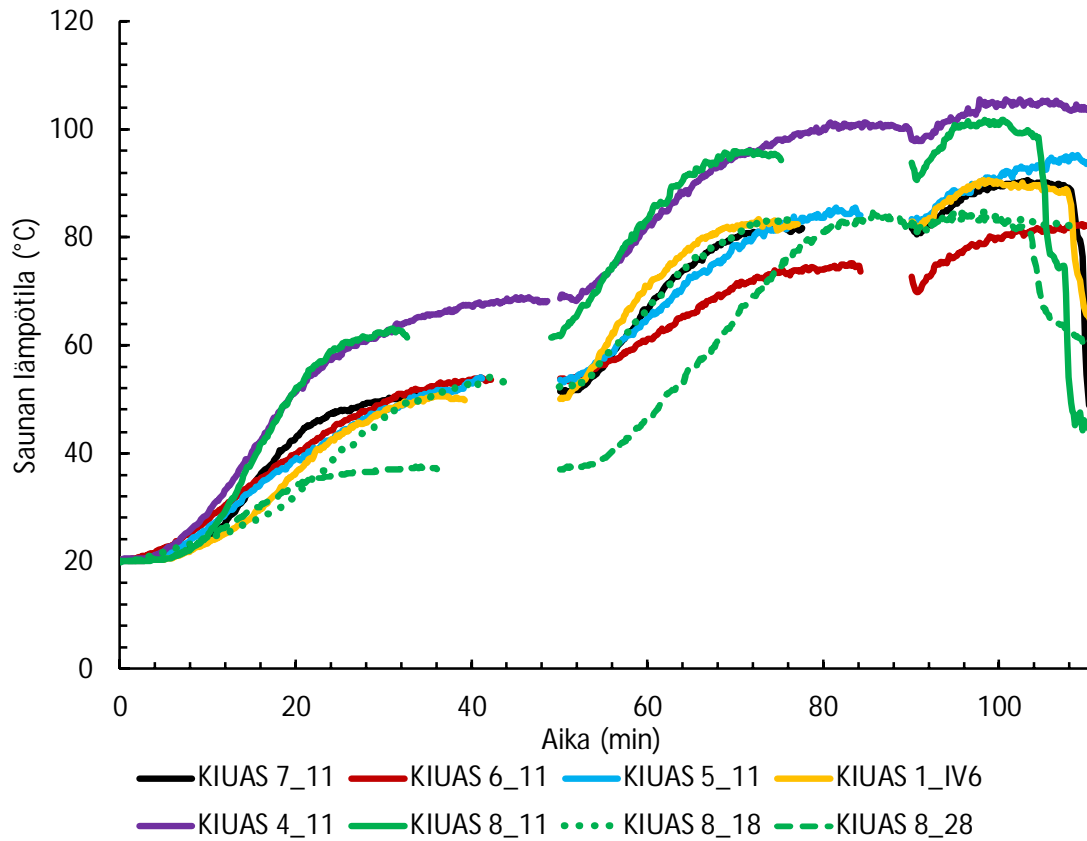
Kuva 8. Keskimääräinen savukaasun lämpötilä (\pm keskihajonta) mittausarjoissa 3, 1, 6–12, 14 ja 15.



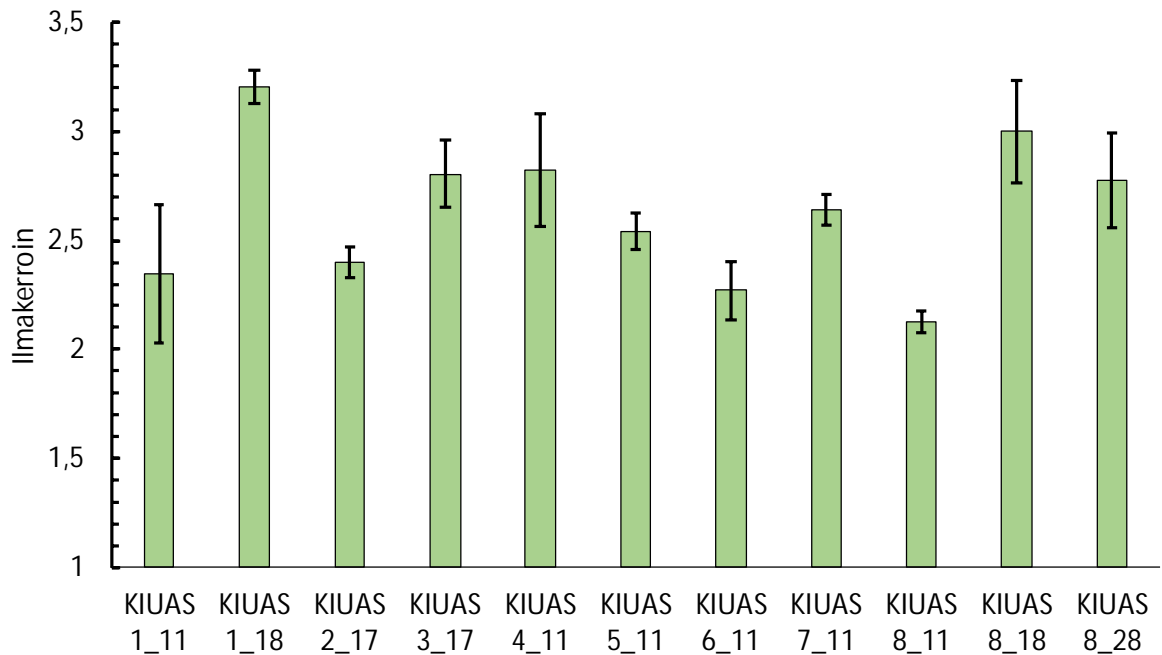
Kuva 9. Savukaasun lämpötilan kehittyminen eri kiuasmalleilla sekä puun kosteuden vaikutus lämpötilaan (KIUAS 8). Kuvan selkeyttämiseksi toinen panos on ajoitettu alkavaksi jokaisessa poltossa 50 min kohdalta ja kolmas panos 90 min kohdalta (jos kestänyt lyhemmän aikaa, käyrässä katkos).



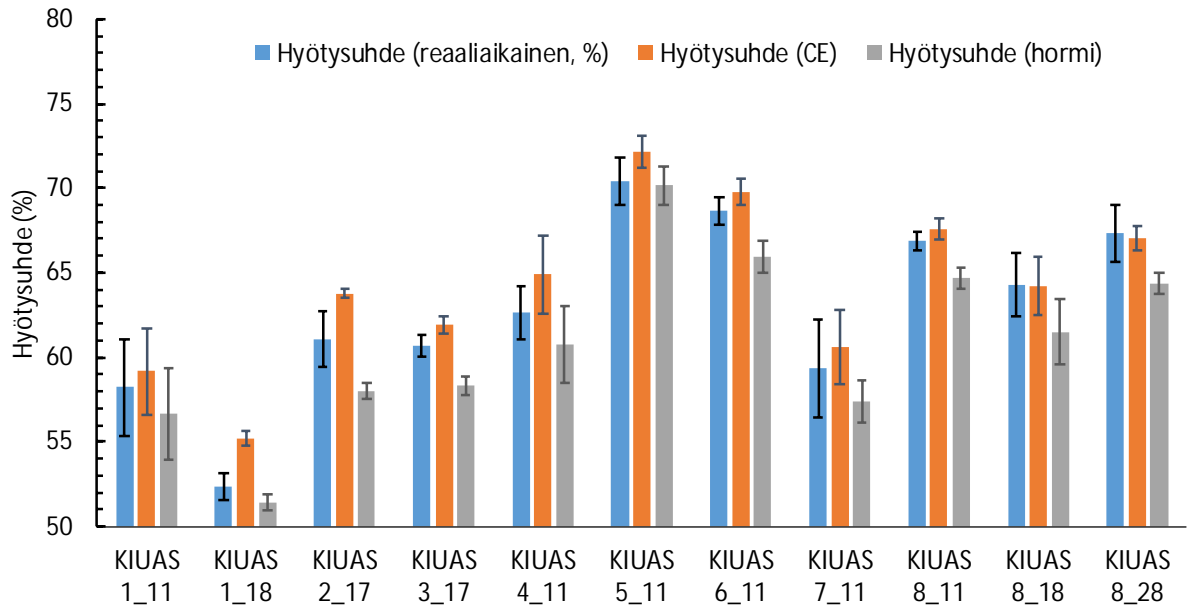
Kuva 10. Keskimääräinen saunan todellinen lämpötila (Sauna Max) alkulämpötilalla huomioitu saunan lämpötila (Sauna T normeerattu) (\pm keskihajonta) mittausarjoissa 1, 3, 6–12, 14 ja 15.



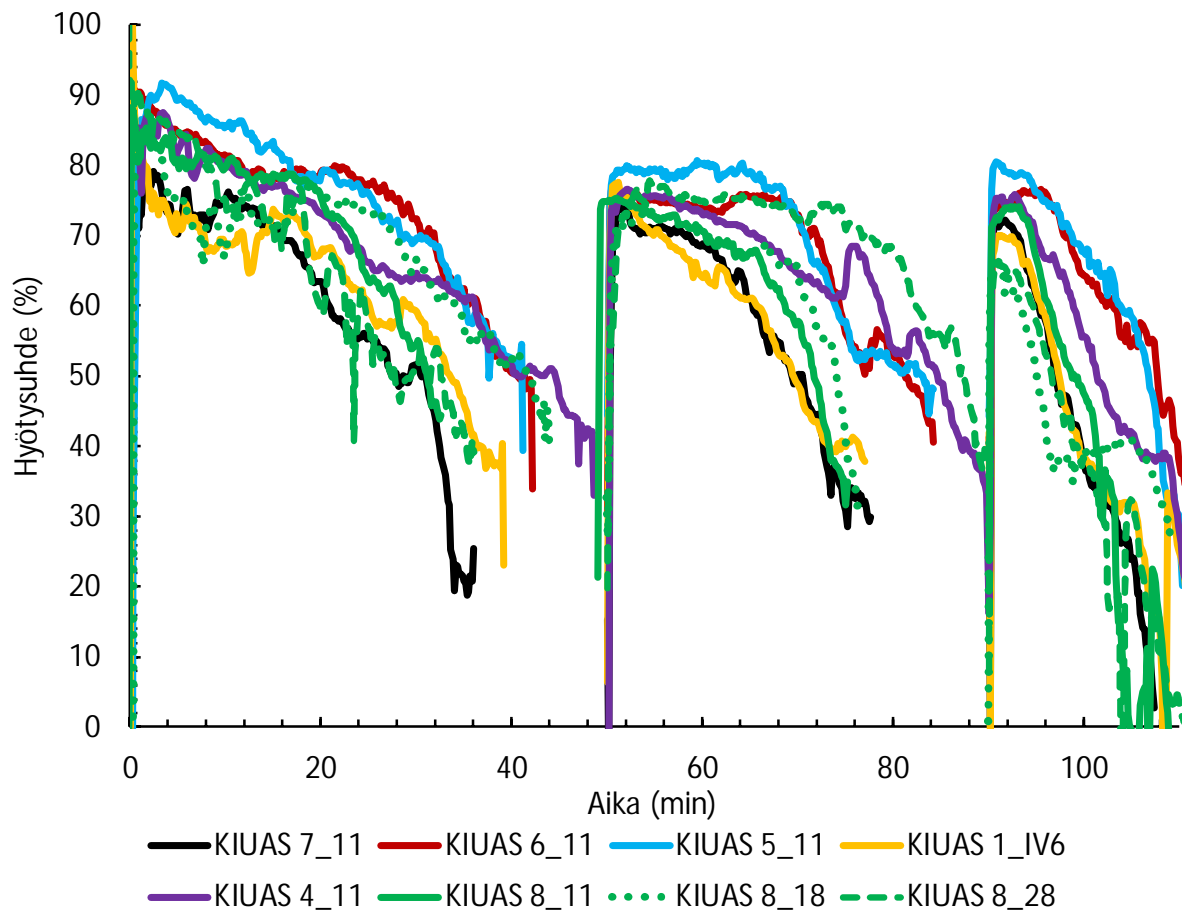
Kuva 11. Saunan lämpötilan (lähtötilanne normeerattu 20 °C lämpötilaan) kehittyminen eri kiuasmalleilla sekä puun kosteuden vaikutus lämpötilaan (KIUAS 8). Kuvan selkeyttämiseksi toinen panos on ajoitettu alkavaksi jokaisessa poltossa 50 min kohdalta ja kolmas panos 90 min kohdalta (jos kestänyt lyhemmän aikaa, käyrässä katkos).



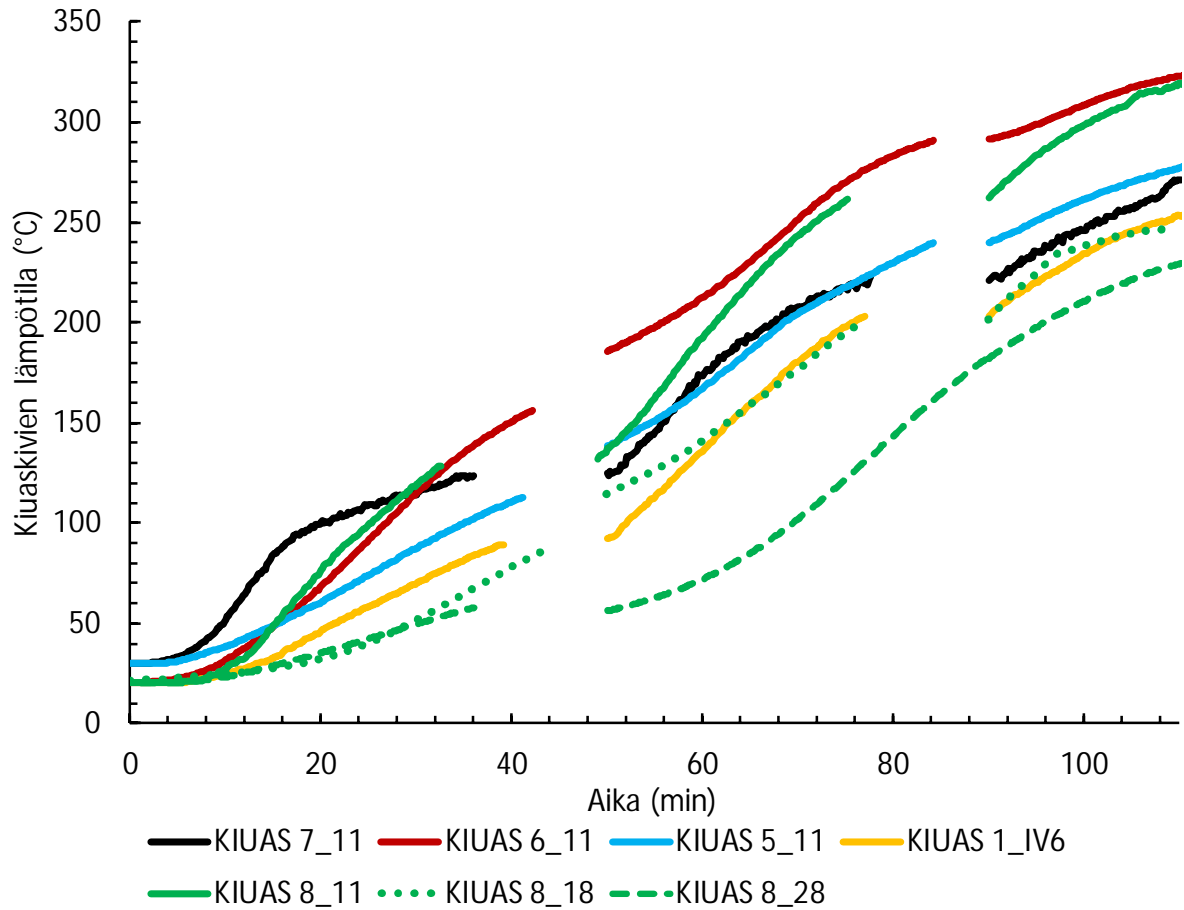
Kuva 12. Keskimääräinen ilmakerroin (\pm keskihajonta) mittaussarjoissa 1, 3, 6–12, 14 ja 15.



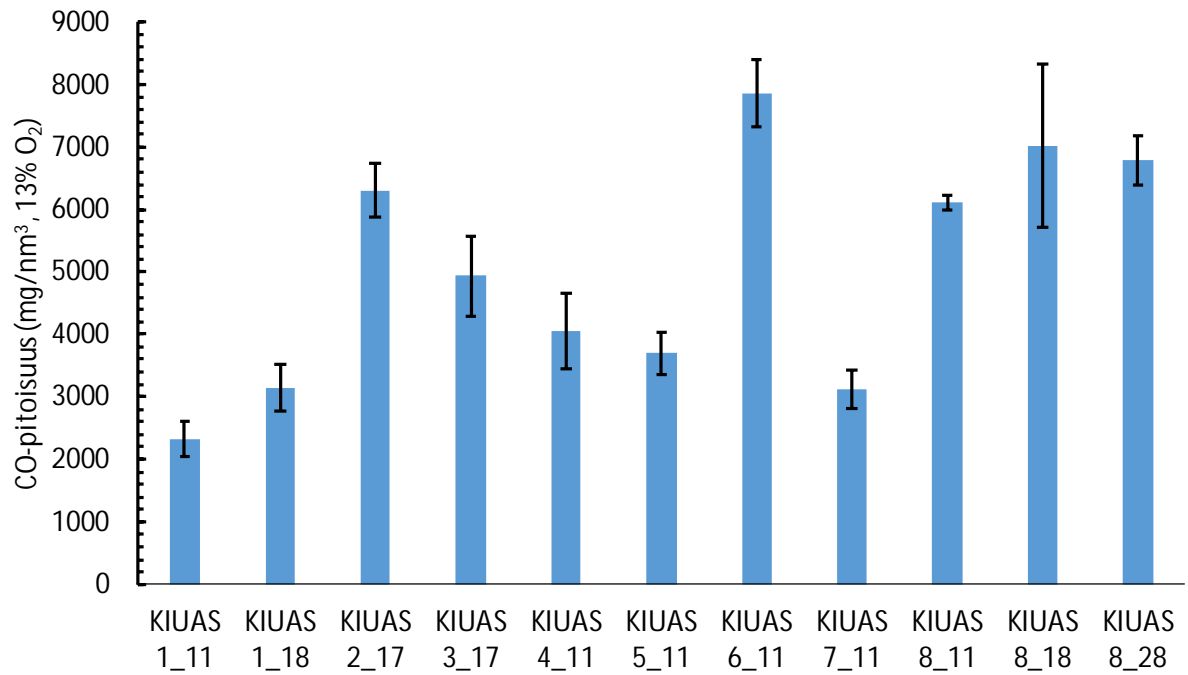
Kuva 13. Keskimääräinen hyötysuhde (\pm keskihajonta) mittausarjoissa 1, 3, 6–12, 14 ja 15. Sininen palkki kuvaa reaaliaikaisesti laskettua hyötysuhdetta, punainen hyötysuhdetta, joka on määritetty CE –lämpötilan mittauspisteestä ja harmaa suoraan hormilähdöstä määritettyä hyötysuhdetta.



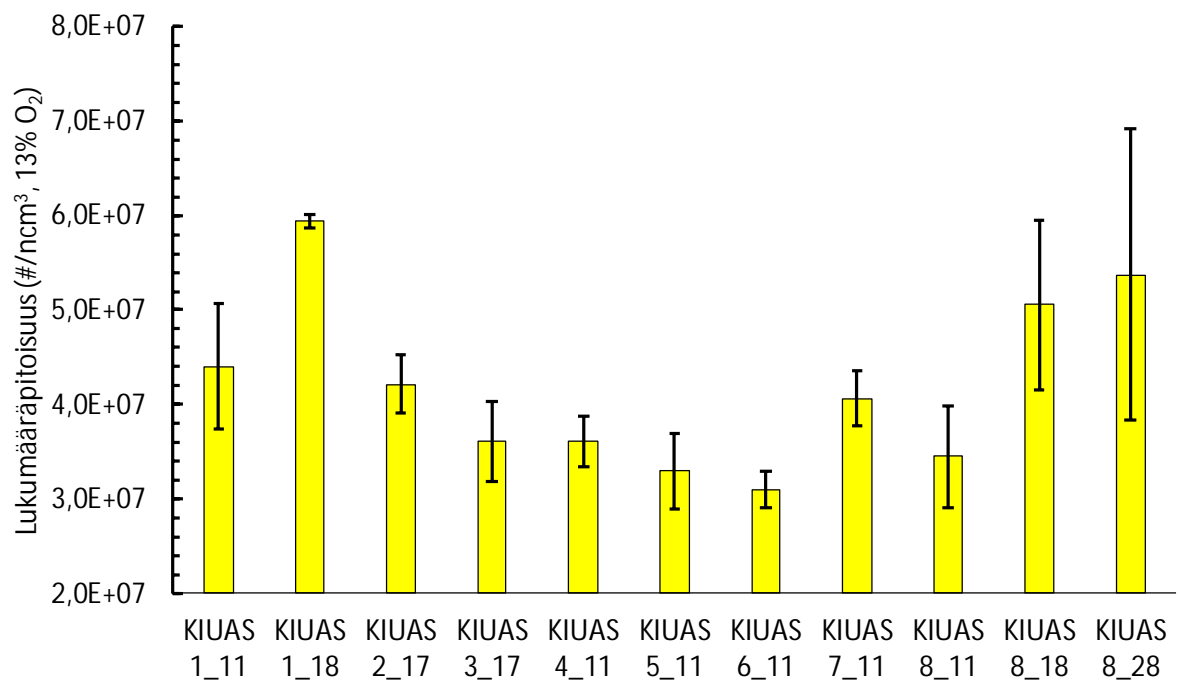
Kuva 14. Hyötysuhde ajan funktiona eri kiuasmalleilla sekä puun kosteuden vaikutus hyötysuhteeseen (KIUAS 8). Kuvan selkeyttämiseksi toinen panos on ajoitettu alkavaksi jokaisessa poltossa 50 min kohdalta ja kolmas panos 90 min kohdalta (jos kestänyt lyhemmän aikaa, käyrässä katkos).



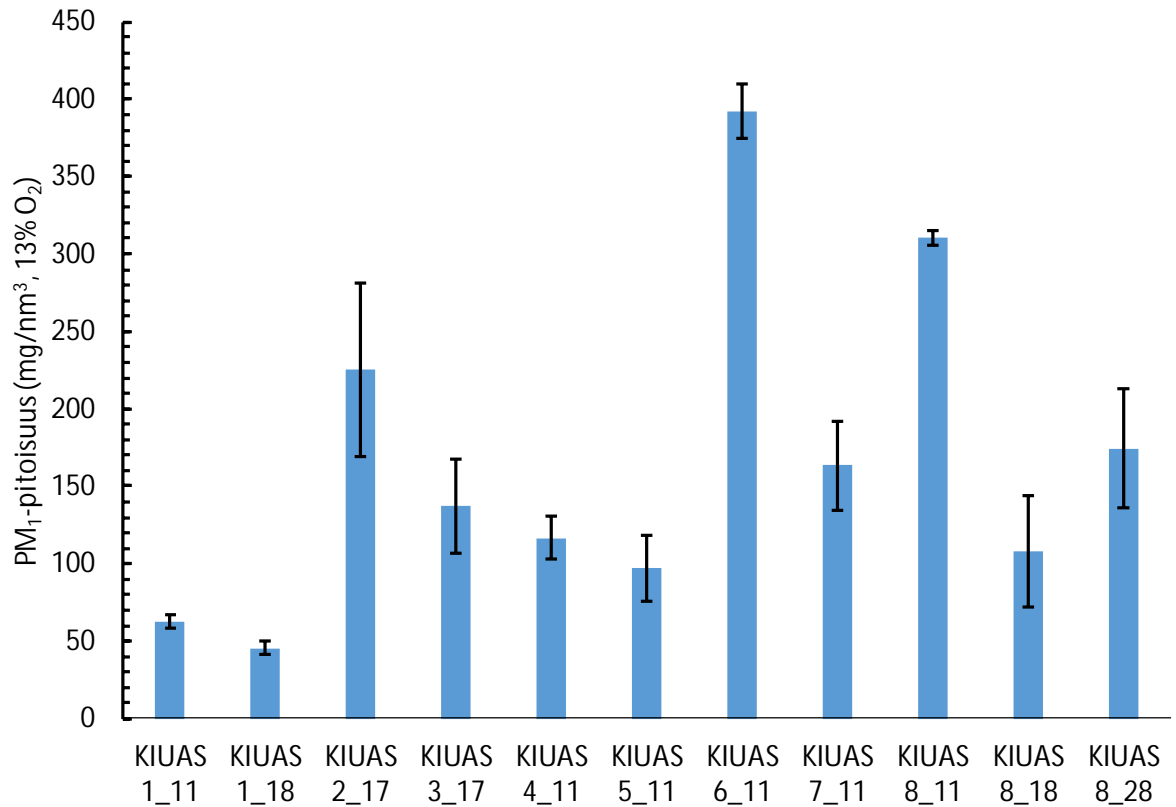
Kuva 15. Kiuaskivien lämpötilan kehittyminen eri kiuasmalleilla sekä puun kosteuden vaikutus lämpötilaan (KIUAS 8). Kuvan selkeyttämiseksi toinen panos on ajoitettu alkavaksi jokaisessa poltossa 50 min kohdalta ja kolmas panos 90 min kohdalta (jos kestänyt lyhyemmän aikaa, käyrässä katkos. Huom! Kiukaalla 1 IV –kerroin oli 6, muissa mittauksissa 3).



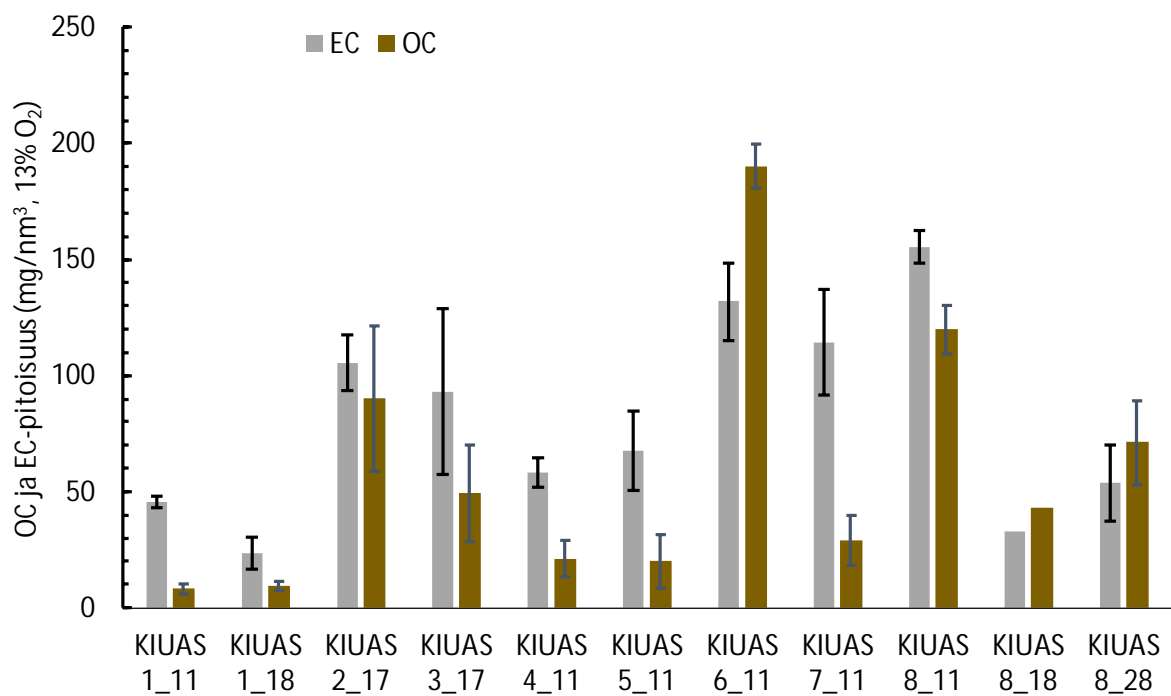
Kuva 16. Keskimääräinen häkäpitoisuus (\pm keskihajonta) mittaussarjoissa 1, 3, 6–12, 14 ja 15.



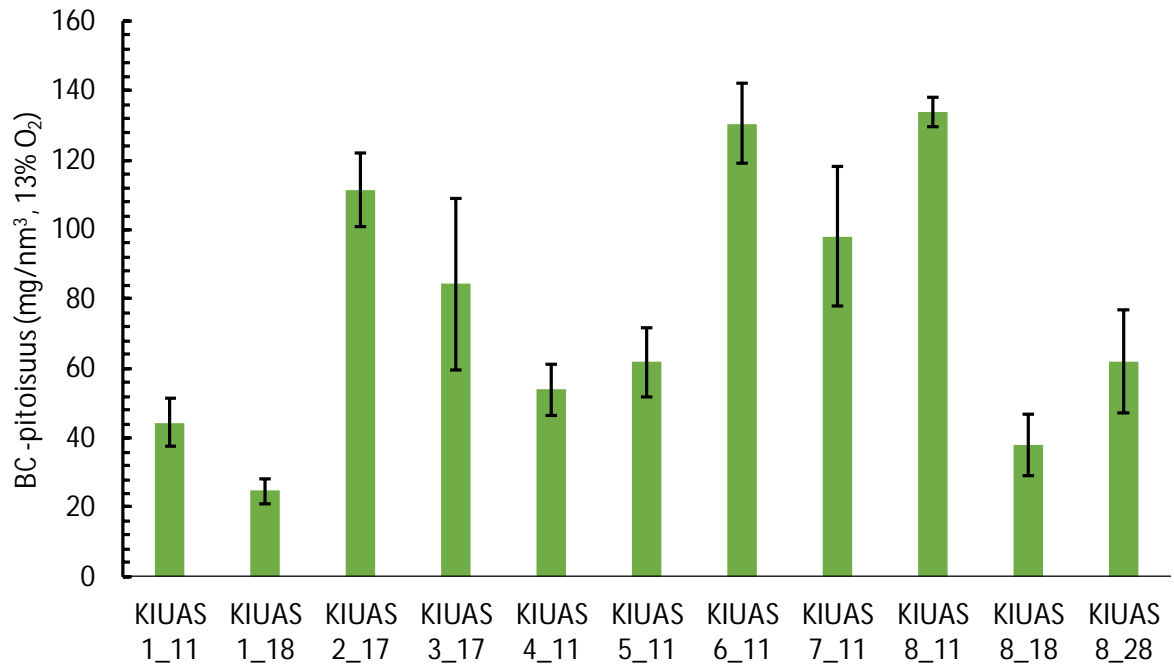
Kuva 17. Keskimääräinen hiukkasten lukumääräpitoisuus (\pm keskihajonta) kondensaatiodydilaskurilla (CPC) määritettynä mittaussarjoissa 1, 3, 6–12, 14 ja 15.



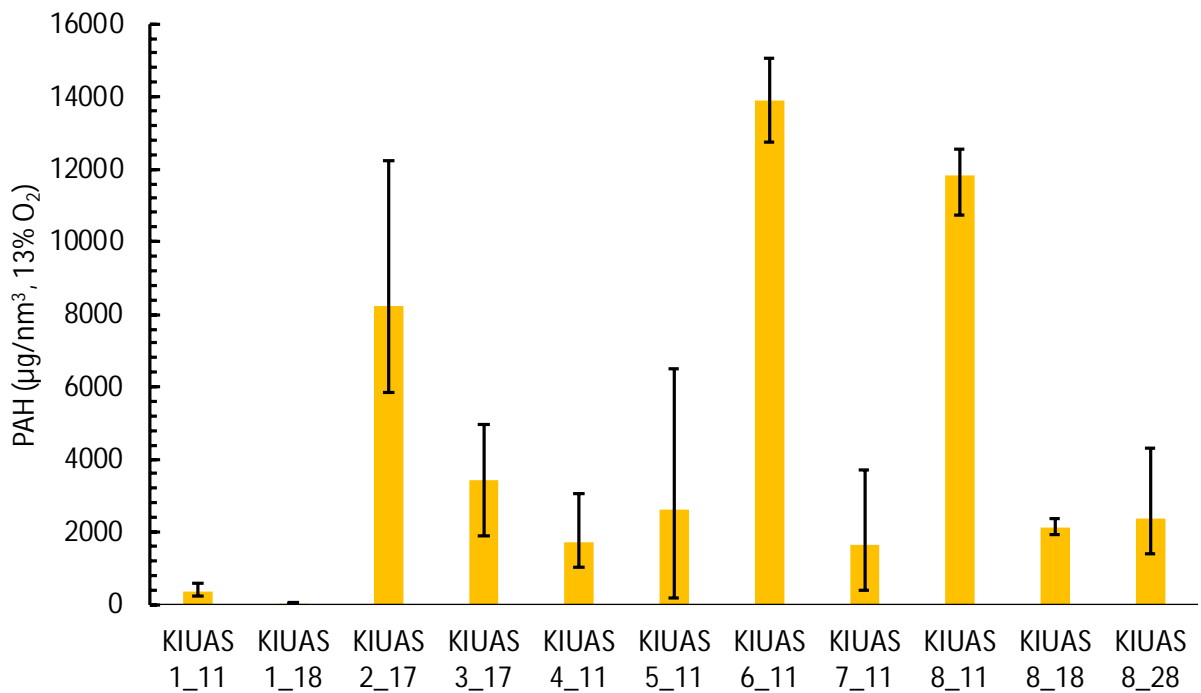
Kuva 18. Keskimääräinen pienhiukkasten massapitoisuus (\pm keskihajonta) jaksottaisella suodatinkeräyksellä (PM_{1,T} määritettynä mittaussarjoissa 1, 3, 6–12, 14 ja 15).



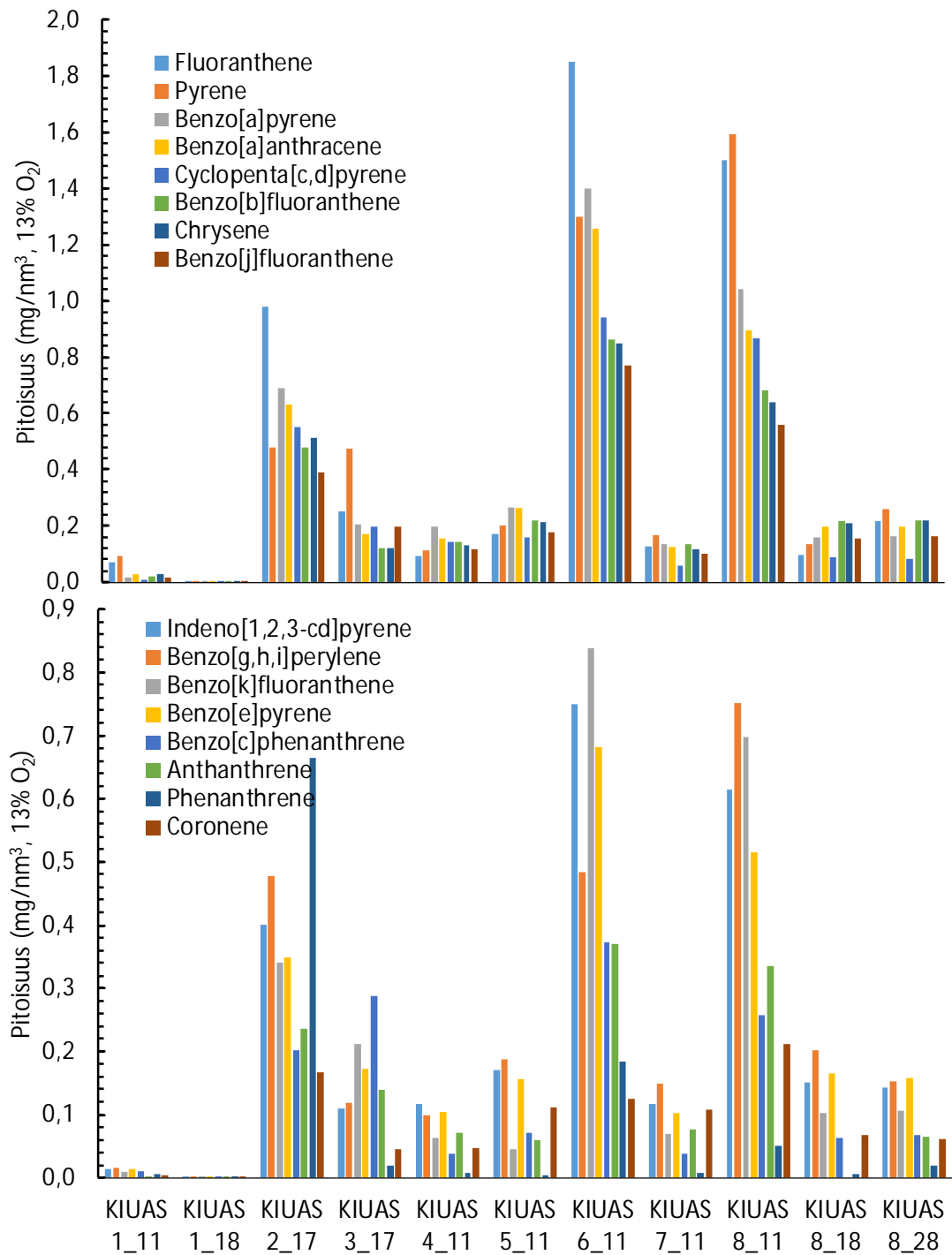
Kuva 19. Keskimääräinen pienhiukkasten orgaanisen hiilen (OC) ja epäorgaanisen hiilen (EC) pitoisuus (\pm keskihajonta) mittaussarjoissa 1, 3, 6–12, 14 ja 15 (KIUAS 8_20 OC ja EC pitoisuudet yhdestä näytteestä).



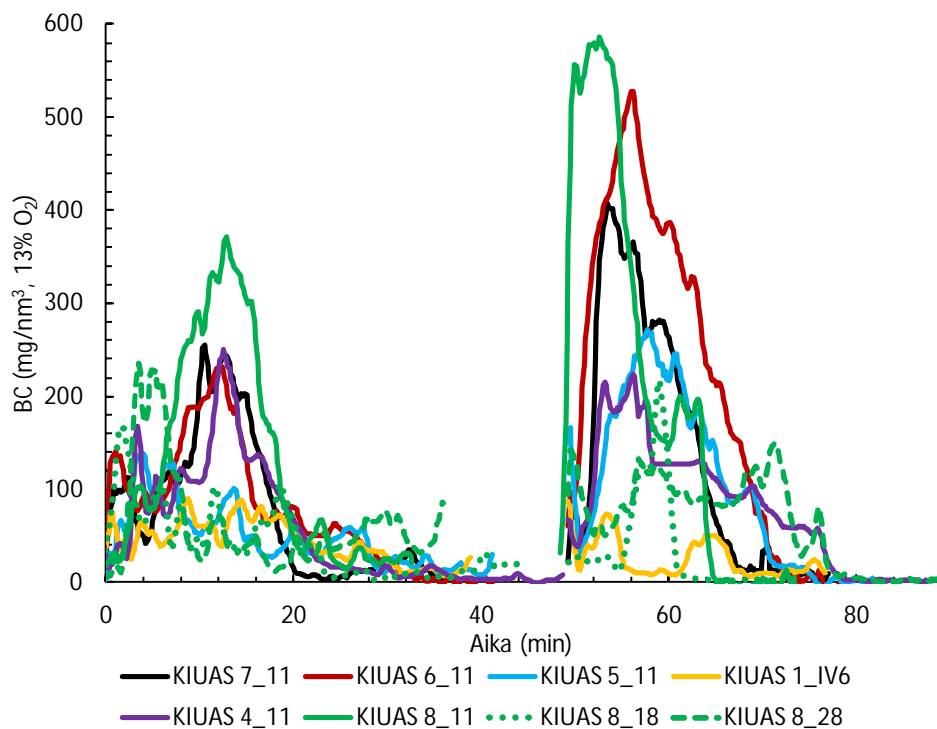
Kuva 20. Keskimääräinen mustahiilen (BC) pitoisuus (\pm keskihajonta) mittaussarjoissa 1, 3, 6–12, 14 ja 15.



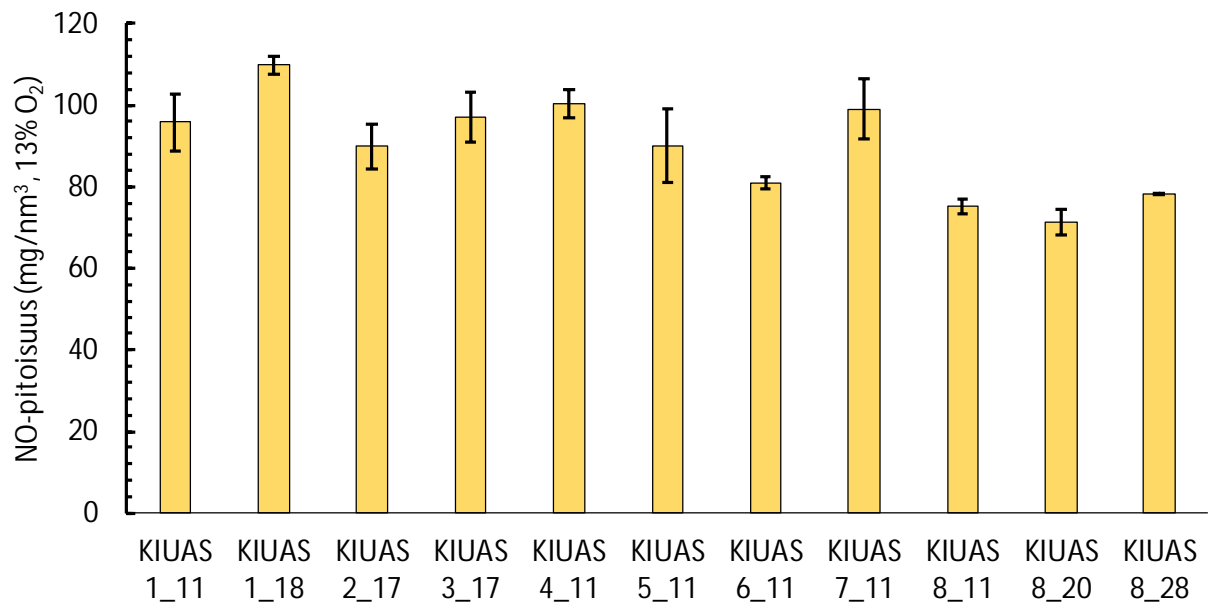
Kuva 21. Keskimääräinen PAH-yhdisteiden pitoisuus (\pm keskihajonta) mittaussarjoissa 1, 3, 6–12, 14 ja 15.



Kuva 22. Yleisimpien PAH –yhdisteiden keskimääräisiä pitoisuuksia mittaussarjoissa 1, 3, 6–12, 14 ja 15.



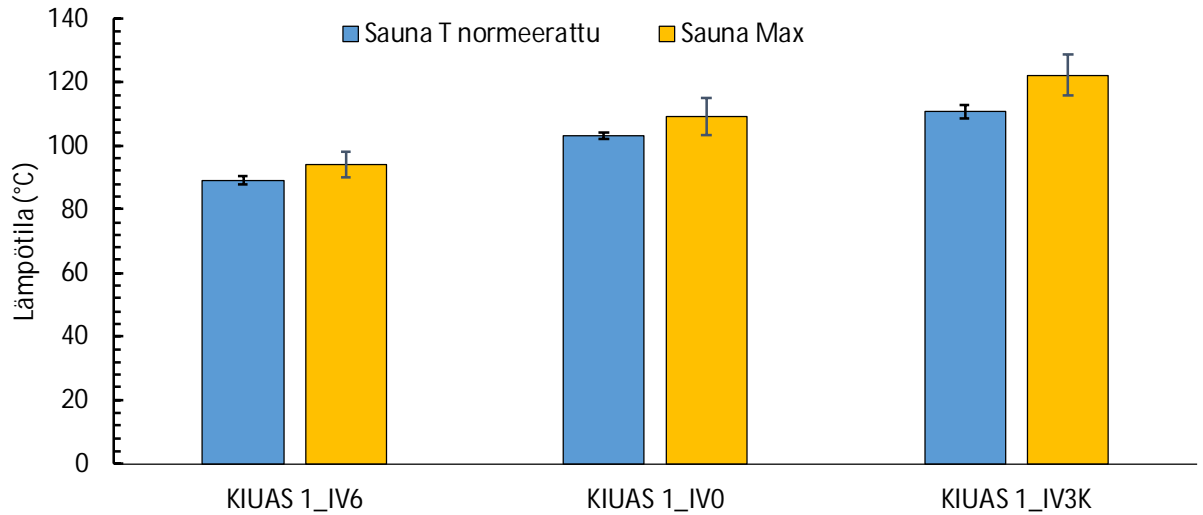
Kuva 23. Mustahiilipitoisuus ajan funktiona eri kiuasalleilla sekä puun kosteuden vaikutus mustahiilipitoisuuteen (KIUAS 8). Kuvan selkeyttämiseksi toinen panos on ajoitettu alkavaksi jokaisessa poltossa 50 min kohdalta (jos kestänyt lyhemmän aikaa, käyrässä katkos) ja kolmas panos on jätetty pois kuvasta.



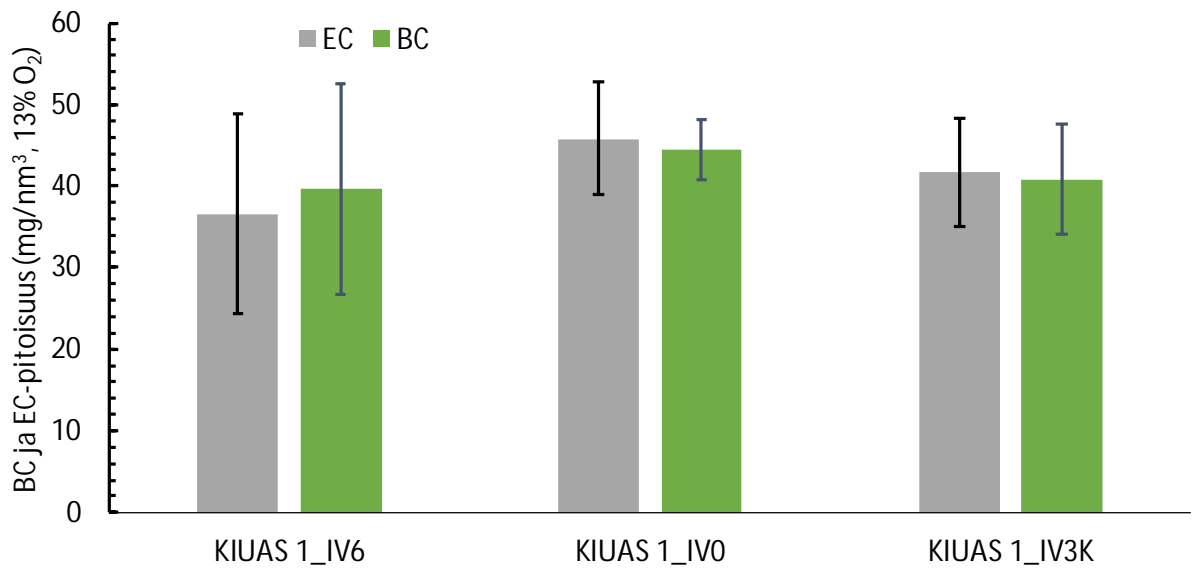
Kuva 24. Keskimääräinen typpimonoksidin pitoisuus (\pm keskihajonta) mittaussarjoissa 1, 3, 6–12, 14 ja 15.

3.4.5 Ilmanvaihdon ja löylynheitön vaikutus päästöihin

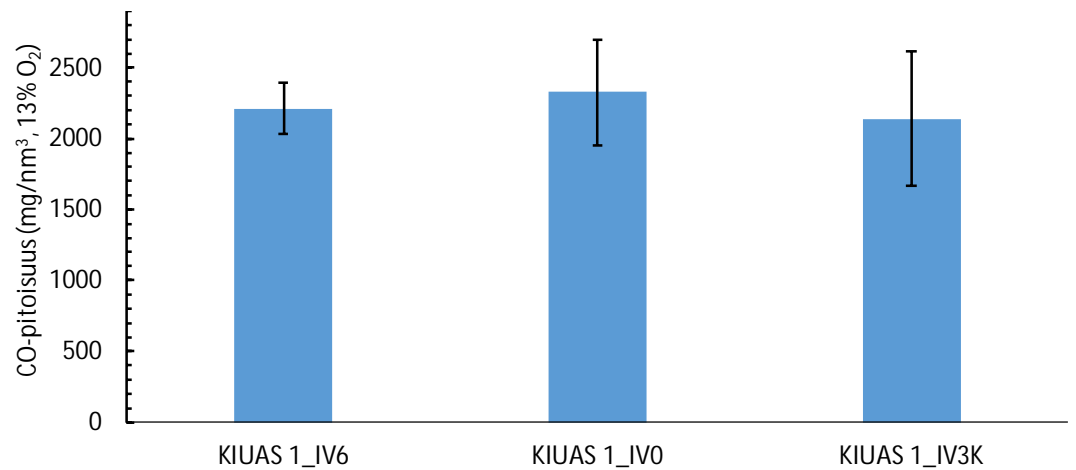
Ilmanvaihtokertoimen vaikutusta saunan toimintaan ja kiukaan päästöihin selvitettiin mittaussarjoissa 2–4 kiukaalla 1. Ilmanvaihto vie saunasta lämpöä, mikä näkyi IV -kertoimella 6



Kuva 25. Keskimääräinen saunan loppulämpötila (\pm keskihajonta) mittaussarjoissa 2–4.



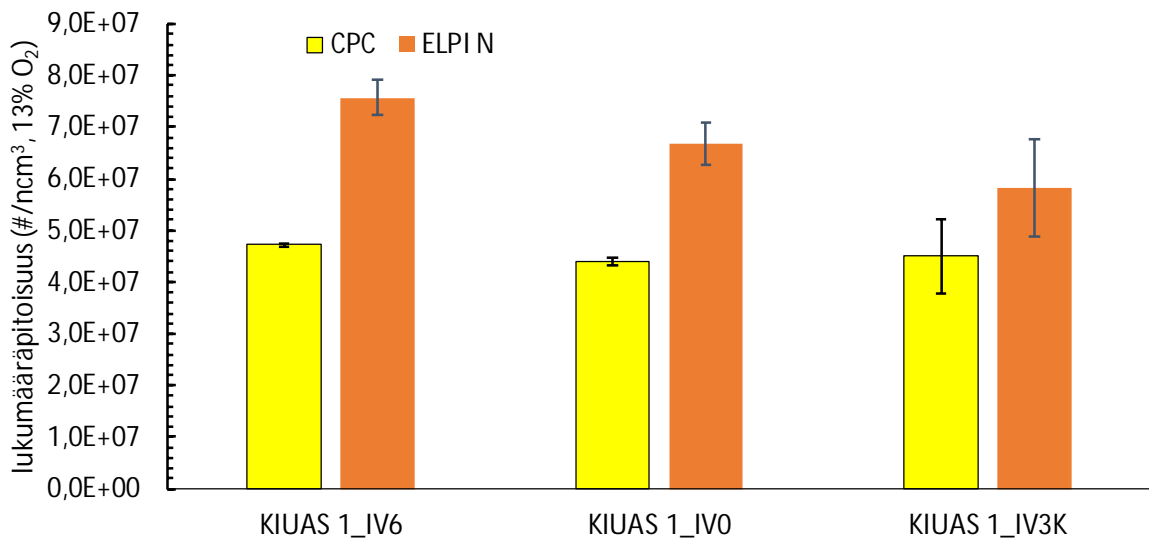
Kuva 26. Keskimääräinen EC- ja BC -pitoisuus (\pm keskihajonta) mittaussarjoissa 2–4.



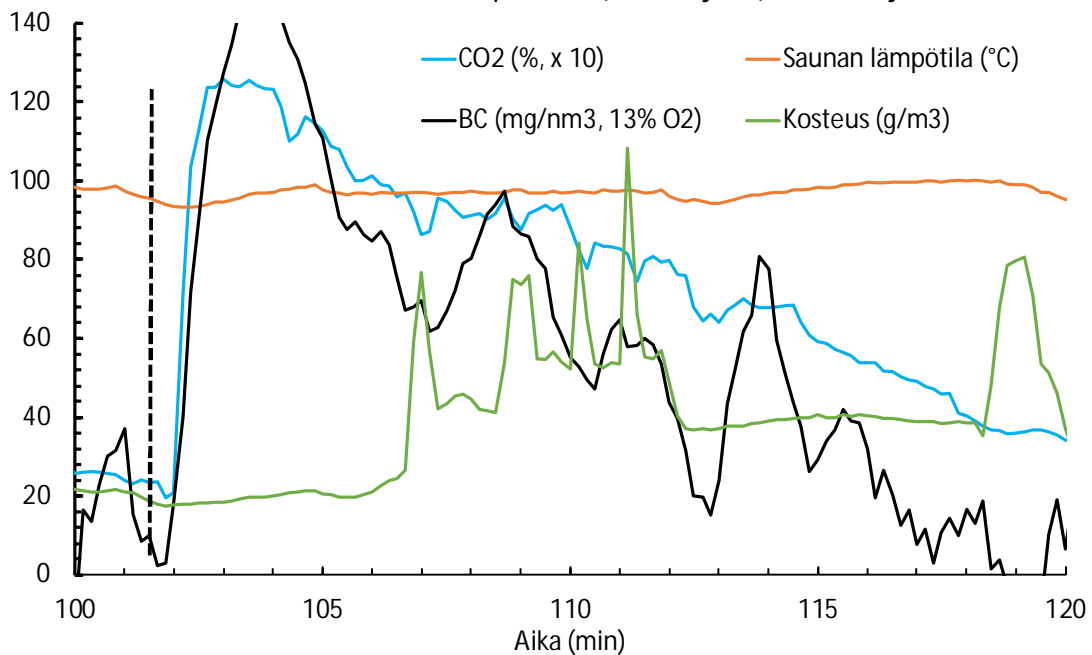
Kuva 27. Keskimääräinen CO -pitoisuus (\pm keskihajonta) mittaussarjoissa 2–4.

tehdyn mittaussarjan matalimpana saunalämpötilana (Kuva 25). Sauna lämpeni tehokkaammin, kun ilmanvaihto oli pieni ja kun kiuaskivia ei käytetty. Kiuaskivien merkitys perusmittauksissa eri kiukaiden välillä sekoittui muiden ominaisuuksien vaikutusten alle, mutta tämän mittaussarjan perusteella myös kivimäärällä on vaikutusta saunan toimintaan. Suuri kivimäärä saattaa osittain olla syynä kiukaan 6 matalaan saunan lämpötilaan ja toisaalta pieni kivimäärä kiukaan 4 korkeaan saunan lämpötilaan. Siten kivimäärä tulisi huomioida kiukaiden CE -merkintään liittyvässä testausstandardissa. Sen sijaan päästöihin ilmanvaihdolla tai kivimäärällä ei ollut juurikaan vaikutusta (Kuvat 26–28).

Löylynheitto ei myöskään alustavien testien perusteella vaikuttanut kiukaan päästötasoihin. Kiukaalla 6 tehdyn testin tuloksia (CO₂-pitoisuus kuvaa palamista, kosteus löylynheittoa, rinnalla mustahiilikäyrä) on esitetty Kuvassa 29.



Kuva 28. Keskimääräinen lukumääräpitoisuus (\pm keskihajonta) mittaussarjoissa 2–4.



Kuva 29. Saunan olosuhteet ja mustahiilipitoisuus saunomisen aikana. Puun lisäys on esitetty pystykatkovivalla. Kosteuspitoisuudessa tapahtuvat muutokset kertovat löylynheitosta.

3.4.6 Puulajin, panoskoon ja ilman syötön vaikutus päästöihin

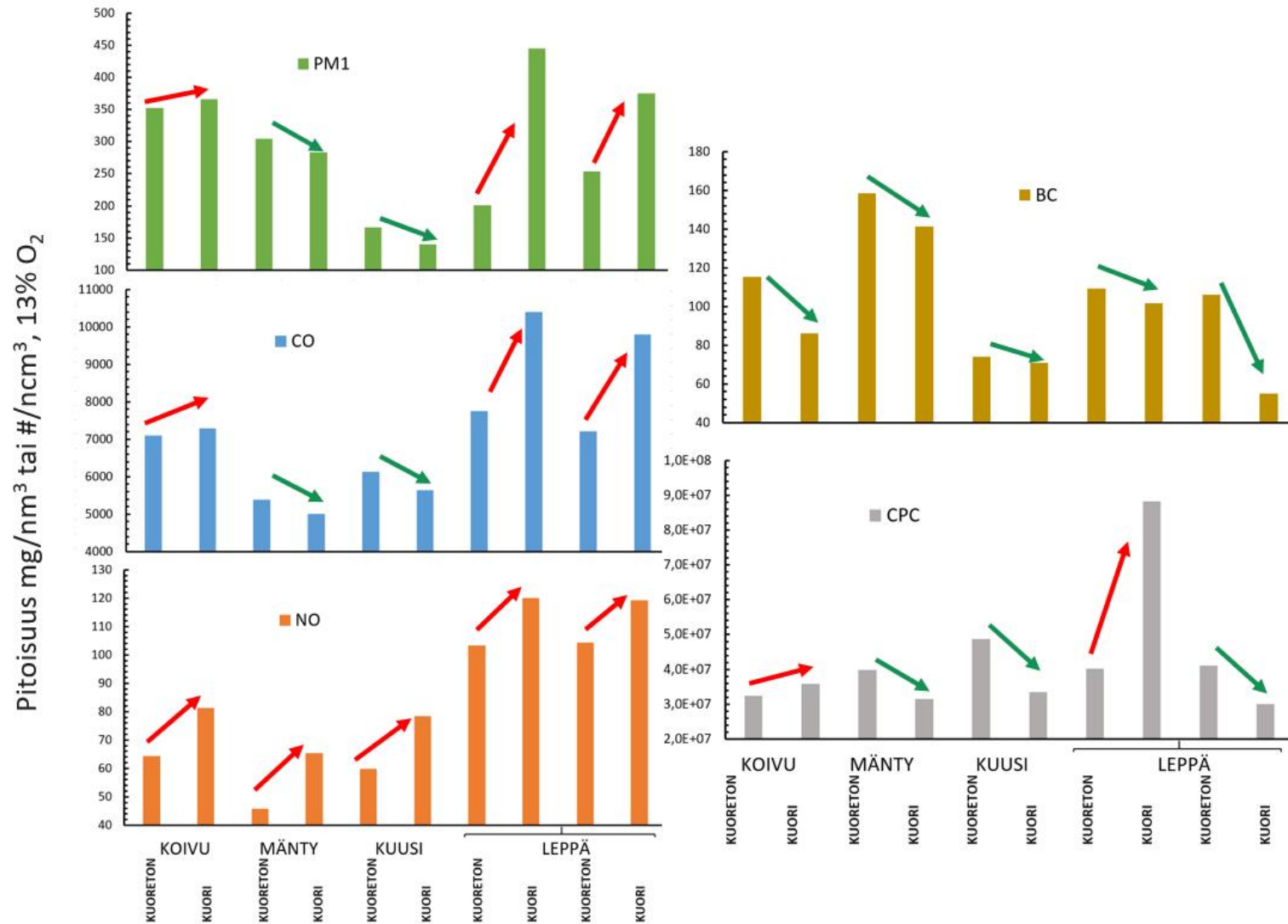
Kiukaalla 1 ja kiukaalla 8 tehtiin mittauksia, joissa selvitettiin panoskoon, puulajin ja ilman syötön vaikutusta kiukaiden toimintaan. Kokeissa "TP" (Täysi Panos), puumäärä poltettiin yhdessä panoksessa. KIUAS 8_koivu on vastaava testisarja kuin KIUAS 8, mutta tehty eri koivulaadulla eli tuloksia hyödynnettiin eri aikoina tehtyjen toistosarjojen vertailtavuuden arvioinnissa (Kappale 3.3.7). "OPT" kuvaa mittaussarjaa, jossa palamisilmaa syötettiin tulipesäluukun kautta enemmän kuin perustilanteessa. Tässä kappaleessa analysoidaan puulajien ja panoskoon vaikutusta tuloksiin sekä toistosarjojen eroja. Optimointipolttojen tulokset on esitetty kappaleessa 3.3.8. Mittaussarjojen päätulokset ovat seuraavat:

Panoskoon vaikutus:

- Panoskoko vaikutti tuloksiin monitahoisesti. Kiuas 1 ja kiuas 8 toimivat keskenään eri tavalla.
- Polttot olivat nopeampia ja teho 10 % (kiuas 1) ja 25 % (kiuas 8) suurempi kuin normaalipanoksella.
- Suurin vaikutus näkyi hiukkaslukumäärässä, joka oli täydellä panoksella nelinkertainen molemmilla kiukailla. Myös häkäpitoisuudet kasvoivat merkittävästi, 25 % kiukaalla 1 ja lähes 80 % kiukaalla 8.
- Kiukaalla 1 panoskoko ei merkittävästi vaikuttanut kiukaan toimintaan polttoaikaa ja ilmakerrointa lukuun ottamatta (Liitekuva L11 ja kuvat 31–34). Ilmakerroin kasvoi ja todennäköisesti suuri panoskoko entisestään vähensi arinailman (primääri-ilma, kaasutus) vaikutusta polttoprosessiin.
- Kiukaalla 8 puu paloi nopeammin ja pienemmällä ilmakertoimella ja savukaasun lämpötila oli myös korkeampi täydellä panoksella. Nokipitoisuuteen (Kuva 32) panoskoolla ei ollut merkittävää vaikutusta.
- Kiukaissa panoskoko ei ehkä ole yhtä merkittävä tekijä kuin tulisijoissa, koska tulipesät ovat pieniä ja jo normaalikäytöllä ladataan melko täyteen. Sen sijaan lisäyksen panoskoolla todennäköisesti on suurempi merkitys, kun tulipesä on jo valmiiksi kuuma ja puu kaasuuntuu nopeasti. Panoskoon merkitystä toisen panoksen osalta tulisi tutkia erikseen.

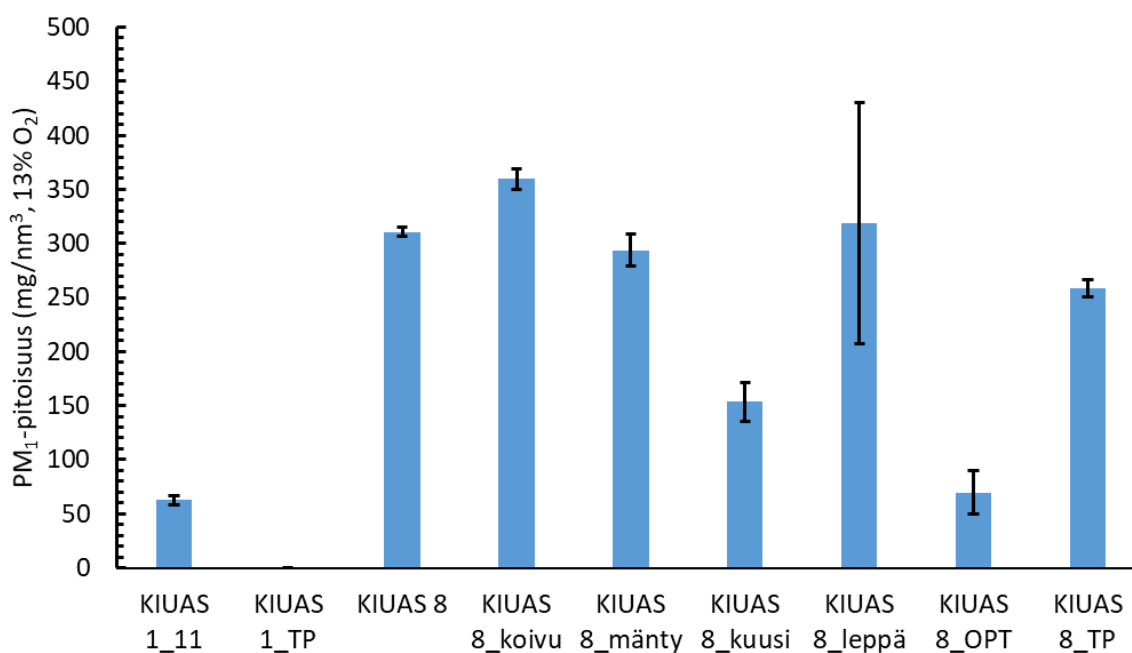
Puulajin ja kuoren vaikutus päästöihin:

- Pienhiukkasten massapitoisuus (Kuva 30) oli suurin kuorellisella lepällä ja koivulla, pienin kuusella.
- Nokipitoisuus oli suurin männyllä, pienin kuusella.
- Häkäpitoisuus oli suurin lepällä, pienin männyllä.
- Typpimonoksidipitoisuus oli suurin lepällä.
- Yleisellä tasolla kuoren merkitys polttoon ja päästöihin oli vähäinen (tosin pääosin vain yhdet toistot).
- Savukaasun lämpötilat olivat matalampia (erityisesti koivu ja kuusi) ja ja ilmakerroin 5–17 % suurempi kuorettomilla puilla.



Kuva 30. Kuorellisten ja kuorittujen puulajien vaikutus päästöihin. Lepällä vertailu on toistettu kahteen kertaan. Punainen nuoli kuvissa kuvaa tilannetta, jossa pitoisuudet ovat isommat kuorellisella puulla ja vihreä tilannetta, jossa pitoisuudet ovat isommat kuorettomalla puulla.

- Päästöjen osalta NO_x-pitoisuudet olivat 13–30 % alempia kuorettomilla puilla, mustahiilipitoisuudet suurempia kuorettomilla puilla (koivulla n. 30 %, lepällä lähes 40 %), mutta PM₁₀-pitoisuuksien osalta ainoastaan lepän osalta oli vaikutusta (kuoreton jopa puolet pienempi kuin kuorellinen).
- Lukumääräpitoisuudet olivat 30–40 % suurempia kuorettomilla männyillä ja kuusella, mutta 40 % pienempi kuorettomalla lepällä verrattuna kuorellisiin puihin. Kuoreton koivu tuotti noin 10 % pienempiä lukumääräpitoisuuksia kuin kuorellinen koivu.



Kuva 31. Keskimääräinen PM₁₀-pitoisuus (\pm keskihajonta) puulaji- ja polttotapatesteissä.

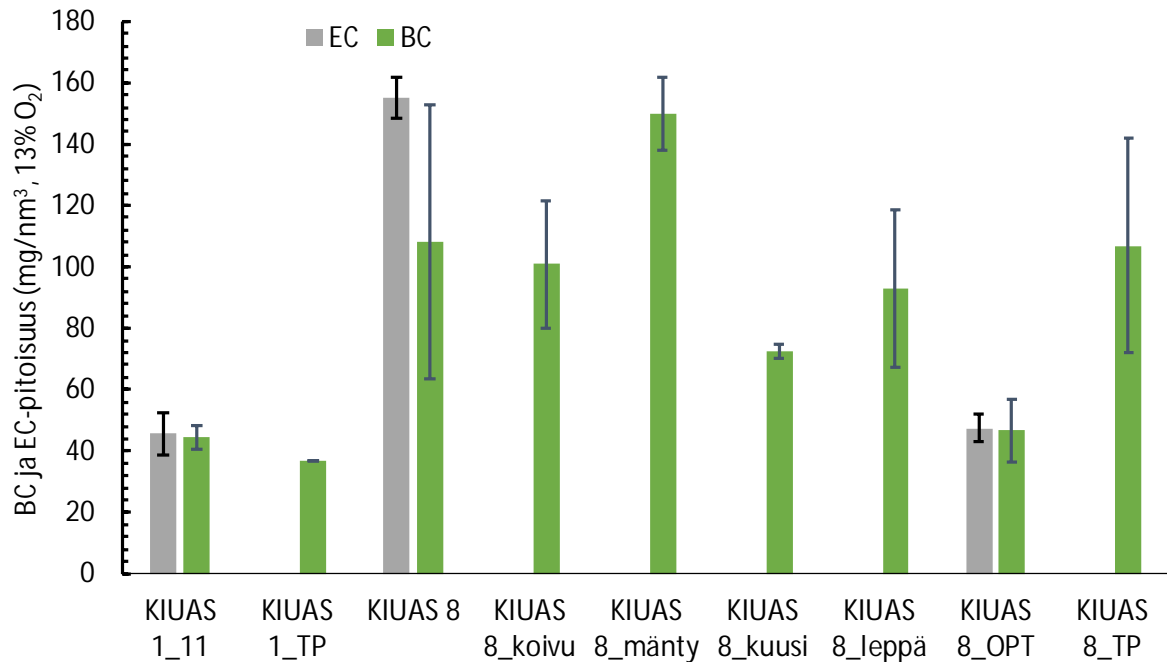
3.4.7 Koivun polton toistosarjojen vertailu

Kiukaalla 8 tehtiin kaksi erillistä toistosarjaa eri koivulaaduilla (KIUAS 8_koivu: 2 polttoa, KIUAS 8: 3 polttoa), joiden pohjalta on mahdollisuus arvioida testin luotettavuutta. Tulokset olivat seuraavat:

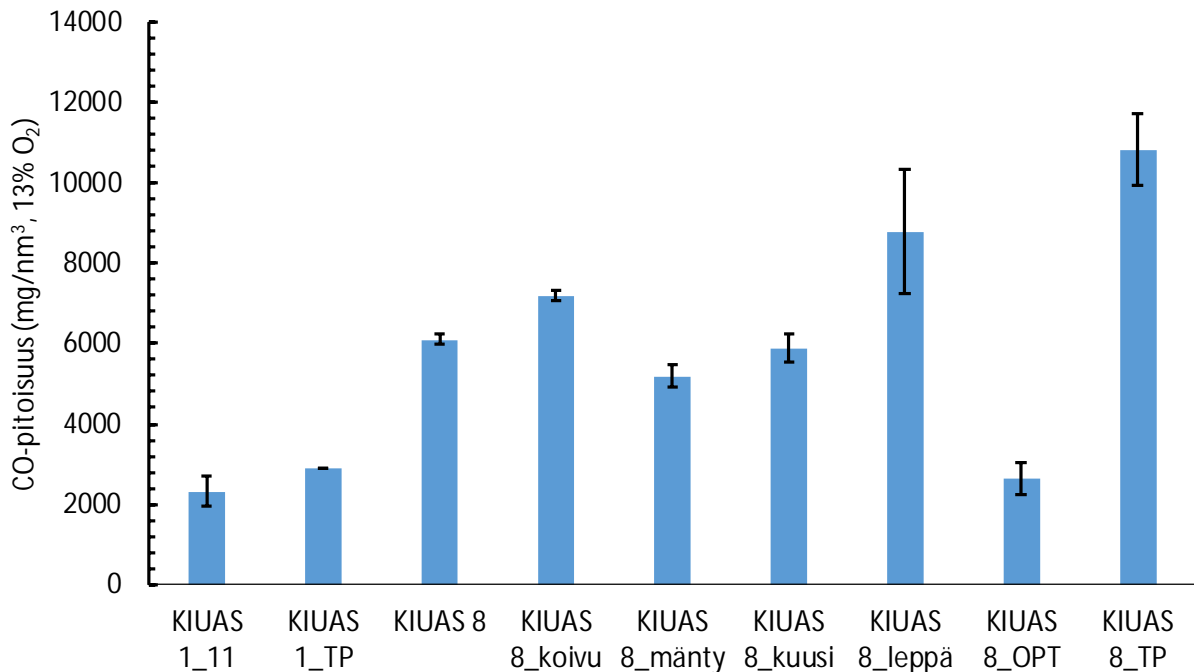
Polttosarjojen vertailtavuus:

- mm. polttoajan, veto-olojen, tehon, ilmakertoimen, savukaasun lämpötilan ja hyötysuhteiden osalta mittausarjojen välinen ero tuloksissa oli alle 2 %.
- IV-kertoimen osalta ero oli -10% (referenssi pienempi) ja savukaasun maksimilämpötilojen osalta 3–4 % luokkaa.
- Saunan alkulämpötilassa oli 30 % ero, joka aiheutti saunan loppulämpötilaan noin 6 % eron. Alkulämpötilan huomioiminen soveltui hyvin saunan lämpenemisen arviointiin. Normeeratussa saunan lämpötilassa ero oli vain 1,1 %.
- Laimennuskertoimessa ero oli vain 0,2 %, joten laitteiston säätö näyttäisi toimivan. Poltot eivät olleet ilmakertoimen ja muunkaan toiminnan osalta kuitenkaan aivan samanlaisia, mikä näkyy hiukkaskertoimen noin 5 % erossa.

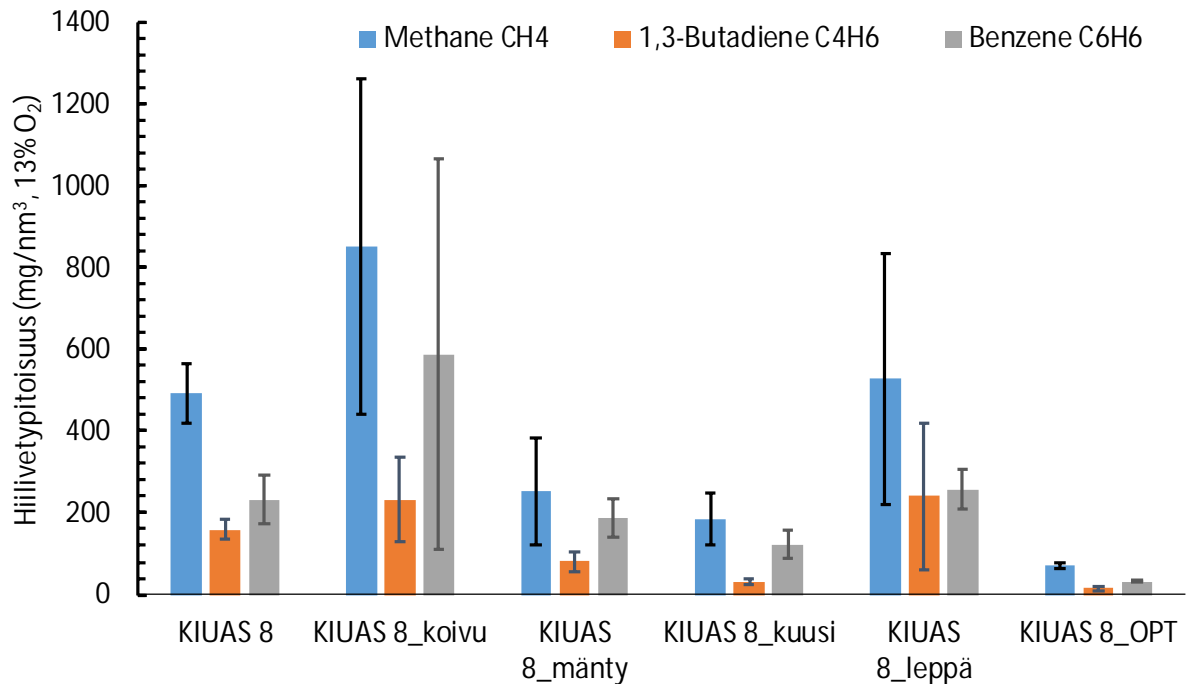
- CO₂-pitoisuudessa ja lukumääräpitoisuudessa (CPC) ero oli 1 % luokkaa, NO:n osalta 3 % luokkaa, BC:n osalta 7,3 %, PM₁₁:n osalta 13,6 % ja CO:n osalta 15,2 %.



Kuva 32. Keskimääräinen EC- ja BC -pitoisuus (\pm keskihajonta) puulaji- ja polttotapatesteissä.



Kuva 33. Keskimääräinen CO -pitoisuus (\pm keskihajonta) puulaji- ja polttotapatesteissä.



Kuva 34. Keskimääräisiä hiilivetyjen pitoisuuksia (\pm keskihajonta) puulaji- ja polttotapatesteissä.

3.4.8 Muut tekijät ja päästöjen vähentämismahdollisuudet

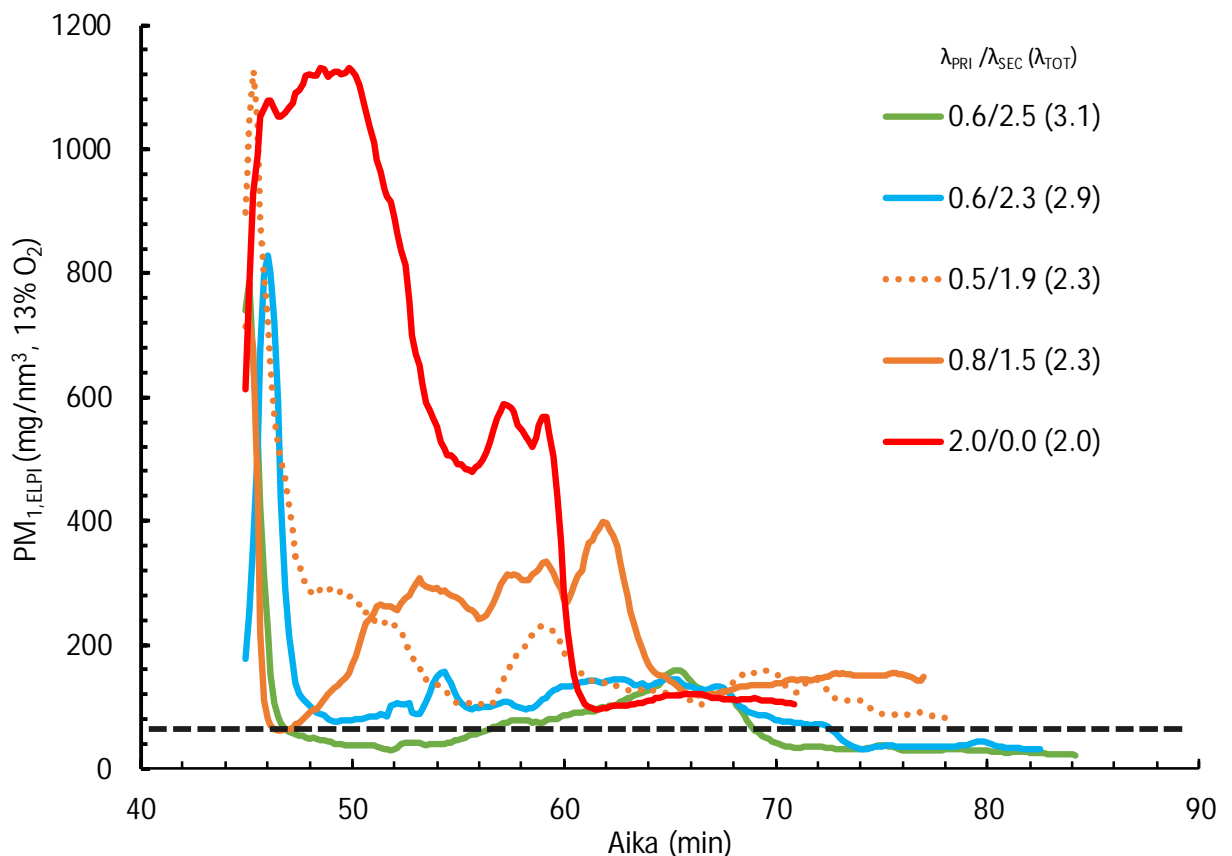
Edellä esitettyjen mittausten lisäksi pienpolttosimulaattorissa tehtiin testejä käynnissä olevaan SIMO-kehityshankkeeseen liittyen testaten roskien polttoa (Veka Tolosen Pro-Gradu työ), kertalämmitteistä kiuasta, kiukaiden prototyyppejä sekä KIUAS-hankeeseen liittyen testaten sähkösuodatusta.

Yhteenveto näiden mittausten tuloksista on esitetty seuraavassa:

- Ruskea aaltopahvi ja maitopurkit sytytyspanoksen yhteydessä lisäsivät hiukkaslukumäärää (koostumusta ei selvitetty) moninkertaisesti puhtaan puun polttoon verrattuna. Ne lisäsivät myös hiilimonoksidi- ja typpioksidipäästöjä ja päästöjen vaihtelu oli myös suurempaa kuin puhtaan puun poltossa. Pahvien ja maitopurkkien poltto tuottaa tulipesään merkittävät määrät tuhkaa, mikä voi vaikuttaa päästöihin pidempiaikaisessa käytössä. Siten roskaa ei saa polttaa tulisijoissa.
- Kiukaiden päästöissä on merkittävä päästöjenvähennyspotentialiaali. Tutkitulla sähkösuodatusprototyypillä päästiin -30 ja -40 % vähennykseen PM₁₀:n ja BC:n osalta, vaikka testit olivat alustavia kyseisellä prototyypillä. Yleisesti, puhdistuslaitteistoissa on kuitenkin monia käyttöön liittyviä epäkohtia (mm. huolto, puhdistus, toiminta pitkäaikaisesti), joten puhdistustekniikat eivät todennäköisesti ole ratkaisu kiukaiden päästöihin ainakaan lyhyellä aikavälillä.
- Mitatulla kertalämmitteisellä kiukaalla, savukaasun lämpötila oli huomattavasti alempi kuin jatkuvalämmitteisillä malleilla. Keskimäärin lämpötila oli noin 250 °C ja korkeimmat hetkellisetkin lämpötilat olivat alle 400 °C. Siten kiukaan hyötysuhde oli

kohtalaisen hyvä, n. 70 % luokkaa, vaikka ilmakerroin oli korkea 3,5. Hiukkas- (PM_{10} 120 mg/m^3) ja häkäpitoisuudet (3000 mg/m^3) olivat jatkuvalämmitteisten kiukaiden keskimääräistä pitoisuutta alempia.

- Kiukaalla 8 tehtyjen ”optimointi” testien perusteella suuripäästöisten kiukaiden ongelmana on toisio-ilmän puute palamisprosessissa. Kiukaan 8 päästöjä saatiin merkittävästi (Kuva 35) vähennettyä pelkästään pitämällä tulipesänluukku raollaan polton ajan. Tämä ei ole kuitenkaan suositeltavaa yleisesti, koska luukun raollaan pitäminen aiheuttaa tulipalovaaran, vaan tällaisten kiukaiden rakenteita tulisi muuttaa.



Kuva 35. Ilmanjaon vaikutus kiukaan 8 toimintaan toisen panoksen aikana. Katkoviiva kuvaa EcoDesing raja-arvoa tulisijoille 2022. Punainen käyrä kuvaa perustestiä, jossa käytössä on pelkästään primääri-ilma (ilmakerroin 2.0). Oranssit käyrä kuvaavat tilannetta, jossa ilmakerroin on matala, mutta sekundääri-ilman osuus merkittävä (65 ja 79 %). Sininen ja vihreä käyrä kuvaavat tilannetta, jossa kokonaisilmakerroin on korkeampi, ja toisioilman osuus suuri (n. 80 %)

3.4.9 Ehdotus ympäristömerkiksi

Päästöihin liittyvän ympäristömerkin tulisi kertoa selkokielellä ja vertailukelpoisella tavalla kuluttajille, kiuasvalmistajille ja tuotekehittäjille, kuinka suuret päästöt mitatussa kiukaassa ovat, vaikka päästöjä ja niiden muodostumista ei sinänsä ymmärtäisikään. Ehdotus pohjautuu pelkästään suodattimelta kerättyyn pienhiukasmassapitoisuuteen, koska useamman hiukkas- ja kaasuparametrin huomioiminen osoittautui liian monimutkaiseksi ja toisaalta

pienhiukkasmassa kuvastaa kaikkein parhaiten polttolaitteesta tulevaa kokonaiskuormitusta. Mitatuista päästökomponenteista lukumääräpäästöt eivät ole yhteydessä palamisen hyvyteen ja muihin päästöihin. Häkäpäästö korreloi pienhiukkasten massan kanssa erityisesti silloin, kun päästötasot ovat korkeat, mutta esimerkiksi hiillosvaiheessa korrelaatio on huono. Kosteaa puu tuotti korkeat häkäpäästöt, mutta matalat hiukkaspäästöt. Hiukkasten koostumus (BC, OC, PAH) kuvastavat osaltaan hiukkaspäästöjen ominaisuuksia, mutta sisältyvät pienhiukkasmassaan, eivätkä anna selkeästi parempaa informaatiota ympäristömerkkiin kuin pelkkä pienhiukkasmassa. Kaikkien edellämainittujen päästökomponenttien mittaaminen on tärkeää päästöjen kokonaiskuvan määrittämisen ja tuotekehityksen kannalta, mutta ympäristömerkki voidaan määrittää pelkästään pienhiukkasmassan perusteella. Polttolaitteen hyötysuhde on kuitenkin hyvä huomioida ympäristömerkissä, koska hyötysuhde vaihtelee eri polttolaitteilla ja huonompi hyötysuhteisella laitteella täytyy polttaa enemmän puuta saman energiamäärän saamiseksi, joten kokonaispäästöt ovat tällöin korkeammat.

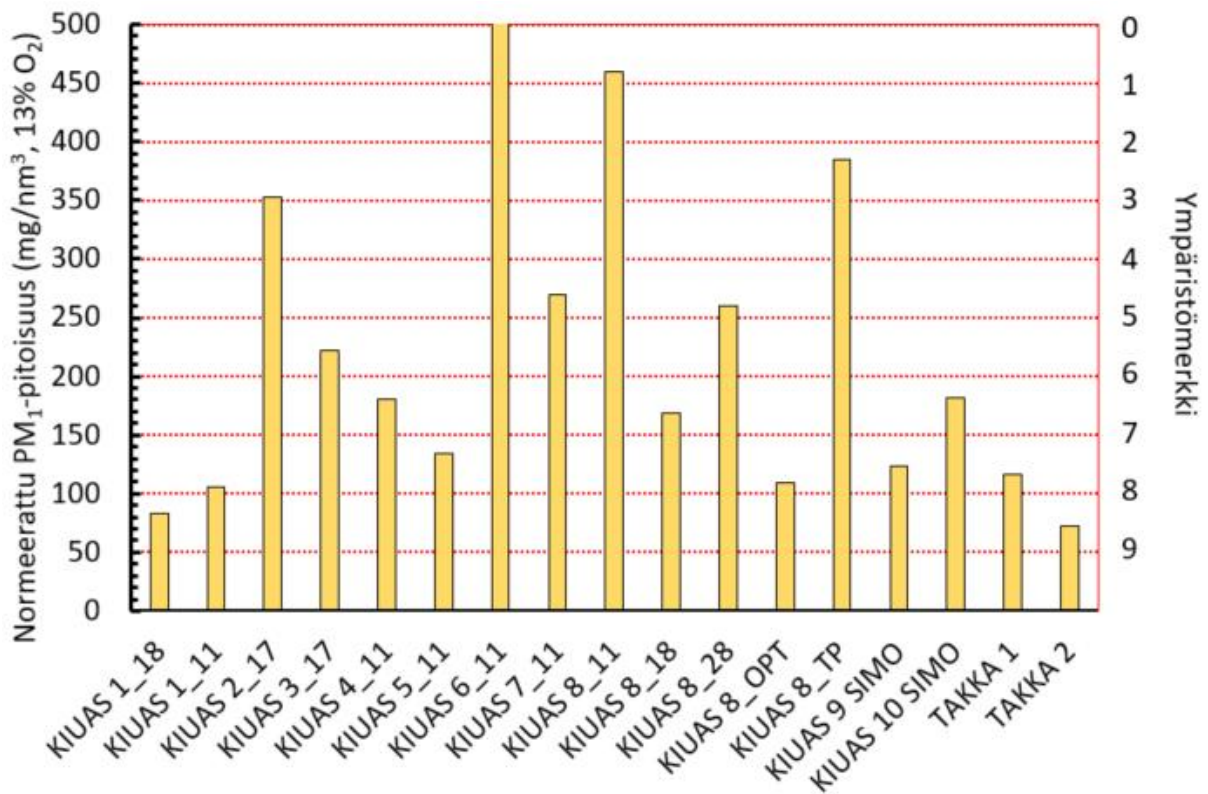
Päästöihin liittyvä ympäristömerkkiluonnos on esitetty kuvassa 36. Pienhiukkaspäästöjä kuvaava arvosana vaihtelee asteikolla 0–10. Vuonna 2022 voimaan tuleva EcoDesign raja-arvo (koskettaa pelkästään varaavia tulisijoja ja kamiinoita) on 40 mg/nm³ (13 % O₂. HUOM: kokonaispöly PM, mitattu suoraan kuumasta savukaasusta, vrt. LIITE 2), 80 %:n hyötysuhteella normeerattuna 50 mg/nm³, antaa arvosanaksi kiitettävä 9.0. Pitoisuuden kaksinkertaisuudessa ympäristömerkin pienhiukkasluku pienenee yhdellä eli esim. luku 6 tarkoittaa, että laitteessa on nelinkertaiset päästöt EcoDesign –tasoon verrattuna. Kymmenkertaisella pitoisuudella (500 mg/nm³, 80 % hyötysuhde) arvosana on nolla.



	KIUIAS X	KIUKAAT KESKIMÄÄRIN	
PUUMÄÄRÄ:	7		kg
LÄMMITYSAIKA:	52	89	min
LÄMPÖTILAT			
SAUNA:	86	94	°C
SAVUKAASU:	427	362	°C
SAVUKAASU, MAKSIMI:	593	479	°C
ILMAKERROIN:	2,5	2,6	
HYÖTYSUHDE:	59,4	64,7	%
PIENHIUKKASTEN PITOISUUDET:			
PM1 MASSA:	56	181	mg/m ³
LUKUMÄÄRÄ:	4,5 × 10 ⁷	3,8 × 10 ⁷	#/cm ³
MUSTAHIILI:	41	83	mg/m ³
PAH-YHDISTEET:	0,36	4,5	mg/m ³
KAASUPITOISUUDET			
HÄKÄ:	2900	4900	mg/m ³
TYPEN OKSIDIT:	90	91	mg/m ³
HIILIVEDYT:	30	60	mg/m ³

Kuva 36. Luonnos ympäristömerkistä. Merkin rinnalla olisi mahdollista julkaista saunan toimintaan, hyötysuhteeseen ja päästöihin liittyvää yksityiskohtaisempaa tietoa mittausten tuloksista.

Eri testisarjojen pitoisuudet ja arvosanat on esitetty kuvassa 37. Mukana on myös SIMO hankkeessa mitattuja takkoja ja kiukaita. Samaa merkkiä olisi mahdollista soveltaa kaikille eri polttolaitetyypeille (vrt. kuvassa takka 1 ja takka 2).



Kuva 37. Hyötysuhteella normeerattu pienhiukkasten massapitoisuus ja arvosana ympäristömerkissä (oikea akseli).

Arviot mitatuista kiukaista:

- KIUAS 1: Kiuas ja sauna lämpenivät hyvin ja nopeasti. Savukaasun lämpötila oli korkein, ilmakerroin maltillinen, hyötysuhde alhaisin. Vähäpäästöisin kiuas. Kosteaa puuta alensi savukaasun lämpötilaa, hyötysuhdetta sekä päästöjä. Käyttötapa vaikutti vain vähän päästöihin. Vähäpäästöinen kiuas monenlaisille käyttäjille, jossa savupiipun lämpötilakesto on kiinnostava erityishuomio. Ympäristömerkki: 7,9.
- KIUAS 2: Sauna lämpeni hyvin, savukaasun lämpötila ja hyötysuhde olivat keskitasoa, korkeat päästöt. Ympäristömerkki: 2,9.
- KIUAS 3: Vesisäiliöllinen kiuas, jossa saunan lämpötila jäi matalimmaksi. Savukaasun lämpötila ja hyötysuhde keskitasoa. Melko suuret päästöt, erityisesti nokipäästöt korkeat. Ympäristömerkki: 5,6.
- KIUAS 4: Hitain kiuas. Sauna lämpeni hyvin. Ilmakerroin melko korkea, savukaasun lämpötila alhaisimmasta päästä. Hyötysuhde ja päästöt keskitasoa. Ympäristömerkki: 6,4.
- KIUAS 5: Kiuas hitaimmasta päästä. Sauna ja kivet lämpenivät melko hyvin. Savukaasun lämpötila alhaisin, ilmakerroin melko korkea. Hyvä hyötysuhde, päästöt keskitasoa. Ympäristömerkki: 7,3.
- KIUAS 6: Kiuas hitaimmasta päästä. Kiviä kiukaassa on paljon, mutta ne lämpenivät parhaiten. Sauna lämpeni maltillisesti. Savukaasun lämpötila matalimmasta päästä ja ilmakerroin maltillinen, joten hyötysuhde hyvä. Selkeästi kaikista korkeimmat päästöt. Ympäristömerkki: 0,0.

- KIUAS 7: Sauna lämpeni kohtuullisen hyvin ja nopeasti. Savukaasun lämpötila korkea ja ilmakerroin melko korkea, joten hyötysuhde toiseksi matalin. Päästöt keskittaisia, nokipäästöjen osuus hiukkasista keskimääräistä suurempi. Ympäristömerkki: 4,6.
 - KIUAS 8: Lämmitti nopeasti saunahuoneen ja kivet kohtuullisella savukaasun lämpötilalla. Ilmakerroin maltillinen ja hyötysuhde hyvä. Päästöt suurimmasta päästä. Käyttötapa ja polttoaine vaikuttivat merkittävästi päästöihin ja toimintaan. Ympäristömerkki: 0,8.
-

4 VAIKUTTAMINEN JA VIESTINTÄ

Tavoitteena oli vaikuttaa viestinnällä siihen, että kuluttajien tietoisuus polttotapojen vaikutuksesta kiukaiden ja tulisijojen päästöihin lisääntyisi. Tuotetun tiedon avulla oli pyrkimys vaikuttaa yhteiskunnallisesti siten, että standardit, ympäristömerkinnät ja muu luotettava tieto ohjaisivat entistä paremmin vähäpäästöisten kiukaiden hankintaan.

Hankkeen kuluessa on pyritty vaikuttamaan alan kehitykseen. Hankkeessa on osallistuttu TC295 kansallisen seurantaryhmän työhön, hiukkasstandardin suunnitelmatyöhön sekä ilmansuojeluohjelman suunnitelutyöhön pitämällä esityksiä ympäristöministeriön järjestämissä tilaisuuksissa, ilmansuojelupäivillä ja kansainvälisissä Saunakongressissa ja Liekkipäivillä. Hankkeessa käytetty hiukkasmittausmenetelmä on ollut pohjana kansalliseksi pienhiukkasen mittausstandardiksi. Nykyisten ympäristömerkintöjen ja standardien osalta on keskusteltu Rakennusteollisuuden ja Motivan kanssa.

Itä-Suomen yliopistolla järjestettiin Puun pienpolton päästöt: ilmanlaatu, ilmasto ja terveys -seminaari 23.5.2018. Tilaisuuteen osallistui yli 90 kiuasvalmistajaa, tutkijaa ja asiantuntijaa. Ohjelma ja alustukset: <http://www.uef.fi/web/fine/seminaarit>.

Hankkeesta tehtiin kaksi mediatiedotetta:

- Tiedote 8.2.2018: Puukiukaiden päästöt huonontavat hengitysilmaa omakotialueilla – KIUAS-hanke selvittää saunan kiukaiden päästöjä.
<https://www.hsy.fi/fi/tietoa-hsy/uutishuone/2018/Sivut/Puukiukaiden-paastot-huonontavat-hengitysilmaa-omakotialueilla.aspx>
- Tiedote 26.2.2019: Puukiukaiden pienhiukkas päästöissä suuria eroja – KIUAS-hanke selvitti saunan kiukaiden päästöjä.
<https://www.hsy.fi/fi/tietoa-hsy/uutishuone/2019/Sivut/Puukiukaiden-pienhiukkaspaastoissa-suuria-eroja-KIUAS-hanke-selvitti-saunan-kiukaiden-paastoja.aspx>

Mittauskontteja esiteltiin seuraavissa tapahtumissa:

- Eurooppa –päivä, avoimet ovet Kuopio 9.5.2017.
- Tieteiden päivä, Kuopion tori 30.9.2018.
- Ampumahiihdon MC, Kontiolahti 8.-11.3.2018.
- Puun pienpolton päästöt: ilmanlaatu, ilmasto ja terveys –seminaari, Kuopio 23.5.2018.
- Valoa- ja iloa Savilahdessa –tapahtuma, Kuopio 8.9.2018.

Puun polton päästöjä ja KIUAS –hankkeen tuloksi on esitelty seuraavissa tapahtumissa:

- CEN TC 295 kansallinen seurantaryhmä, Helsinki 30.5.2017.
- ESCHFOE –Euroopan Nuohoojamestarien liiton tekniset koulutuspäivät, Laukaa 25.8.2017.
- Nuohoojien täydennyskoulutuspäivät, Laukaa 25.8.2017.
- Polttopuuuyrittäjyyden teemapäivä, Joensuu 10.11.2017.

- Puun pienpolton päästöt: ilmanlaatu, ilmasto ja terveys –seminaari, Kuopio 23.5.2018.
- Ympäristöministeriö, puun polttotyöpaja, Helsinki 7.6.2018.
- Kansainvälinen Saunakongressi, Haaparanta 8.–9.6.2018.
- CEN TC 295 kansallinen seurantaryhmä, Helsinki 13.6.2018.
- Ilmansuojelupäivät, Lappeenranta 22.8.2018.
- Kansallinen Liekkipäivä, Espoo 23.10.2018.
- Ympäristöministeriö, Green Deal kokous, Helsinki 31.10.2018.
- Puulämmityspäivä, Helsinki 6.2.2019.

Hanketta on käsitelty mm. seuraavissa aikakauslehtiartikkeleissa:

- Kiukaiden päästötutkimus aloitettu, Sauna –lehti 2/2018.
https://issuu.com/sauna-lehti/docs/sauna_2_2018_verkkoon
- Herkkä kuin saunan kiuas, Rakentaja –lehti 14.9.2018.
- Puun polton suosiosta päästöraja-aineita, Tekniikan Maailma –lehti 28.12.2018.

Hanketta on käsitelty mm. seuraavissa radio- tai TV –ohjelmissa tai haastatteluissa:

- Yle Puhe, Aspekti 12.5.2017
- Metsäradio 6.6.2018
- Radio Suomen torstai 31.8.2017 <https://areena.yle.fi/1-4190071#autoplay=true>
- Yle Uutiset, 18.2.2019
- Yle Uutiset 26.2.2019
- MTV3 Huomenta Suomi -lähetys 27.2.2019

Hanketta on käsitelty mm. seuraavissa internet tai sanomalehtiartikkeleissa:

- Saunan lämmittäminen oikein on ilmastoteko – tunne edes nämä viisi nyrkkisääntöä, Yle Uutiset 13.5.2017, <https://yle.fi/uutiset/3-9606586>.
 - Päästörajat vaativat uutta tekniikkaa tulisijoihin, Savon Sanomat 26.8.2017.
 - Maailman ainoa – kuopiolainen tutkimussauna paljastaa kiukaiden päästöt, Yle Uutiset 31.8.2017, <https://yle.fi/uutiset/3-9808865>.
 - Pienhiukkasten vähentäminen hankalaa, Karjalainen 10.11.2017,
<https://www.karjalainen.fi/uutiset/uutis-alueet/maakunta/item/161843>
 - Takat ja kiukaat Suomen pahin nokipölyn lähde, Helsingin Sanomat 20.2.2018.
 - Saunologi.fi-sivusto: Uusi kiuaslaboratorio selvittää puukiukaiden päästöt 13.08.2018,
<https://saunologia.fi/simo-laboratorio/>.
 - Vaihda puukiuas ajoissa uuteen –käyttöikä on yllättävän lyhyt, Iltä-Sanomat 9.2.2019,
<https://www.is.fi/asuminen/art-2000005559827.html>.
 - Hyvä, paha löyly. Saunomisen ilmastovaikutuksista ei juuri puhuta. Länsi-Savo 16.2.2019.
 - Vain pönttö polttaa maitotölkkejä kiukaassa – uudet mittaustulokset omakotitalojen hiukkaspäästöistä ovat hälyttäviä, Yle Uutiset, 18.2.2019, <https://yle.fi/uutiset/3-10644819>.
-

-
- Puukiukaiden hiukkaspäästöissä satakertaiset erot – ostaja saa vielä arvailla, mistä kiukaasta on vähiten vaaraa terveydelle, Yle Uutiset, 26.2.2019, <https://yle.fi/uutiset/3-10663789>.
 - Puusaunassa piilee vakava terveysriski – näin vähennät pienhiukkaspäästöjä, MTV3, 27.2.2019, <https://www.mtvuutiset.fi/artikkeli/puusaunassa-piilee-vakava-terveysriski-nain-vahennat-pienhiukkaspaaostoja/7301592>.
 - Tutkimuksessa yllätystulos: Puukiukaiden päästöissä isot erot, mutta puulajilla ei juuri merkitystä, Helsingin Sanomat 27.2.2019, <https://www.hs.fi/kotimaa/art-200006015391.html>.
 - Kiukaita kehittämällä voidaan vähentää hiukkaspäästöjä, Savon Sanomat 28.2.2019.
 - Puukiukaiden päästöissä hurjia eroja, TM Rakennusmaailma 13.3.2019.
 - Puukiuas on päästöpommi–"Älä tee niin kuin on aina tehty", Apu 20.3.2019, <https://www.apu.fi/artikkelit/puukiuas-on-paastopommi-ala-tee-niin-kuin-on-aina-tehty>.
 - Saunakansan uusavuttomuus–Kaupunkilaisille tulossa polttopuukurssit, Apu 20.3.2019, <https://www.apu.fi/artikkelit/saunakansan-uusavuttomuus-kaupunkilaisille-tulossa-polttopuukurssit>.
 - Jokainen pitoisuus on haitallinen. Aamulehti 26.3.2019.
 - Asiantuntija saunojen puu-lämmittämisestä Aamulehdelle: Ei ole turvallista raja-arvoa, jokainen pitoisuus on haitallinen, Ilta-Sanomat 27.3.2019, <https://www.is.fi/kotimaa/art-200006049626.html?cs=email>.

Jatkohanke viestintäosiosta: Hankkeen kuluessa koottiin erillinen viestintäbudjetti, jolla parannetaan KIUAS –hankkeen vaikuttavuutta ja viestittää tuloksista hankkeen jälkeen. Jatkohankkeessa tuotetaan viestintämateriaalia ja toteutetaan viestintäkampanja KIUAS –hankkeen jatkoksi. Tavoitteena on lisätä kuluttajien tietoisuutta siitä, miten voi itse vaikuttaa kiukaiden päästöihin kiukaan käyttötavoilla. Jatkohankkeessa on valmistunut 25.2.2019 video "Sauno hiukkasen puhtaammin", joka on nähtävissä <https://youtu.be/C9HLBMvPwQg>. Videon on 3 viikossa (11.3. mennessä) nähnyt 4497 katsojaa. Viestintäkampanjaa varten tehdään myös lyhennetty video ja esite mm. jakoon nuohoojille. Viestintäkampanja toteutetaan huhti–elokuussa 2019.

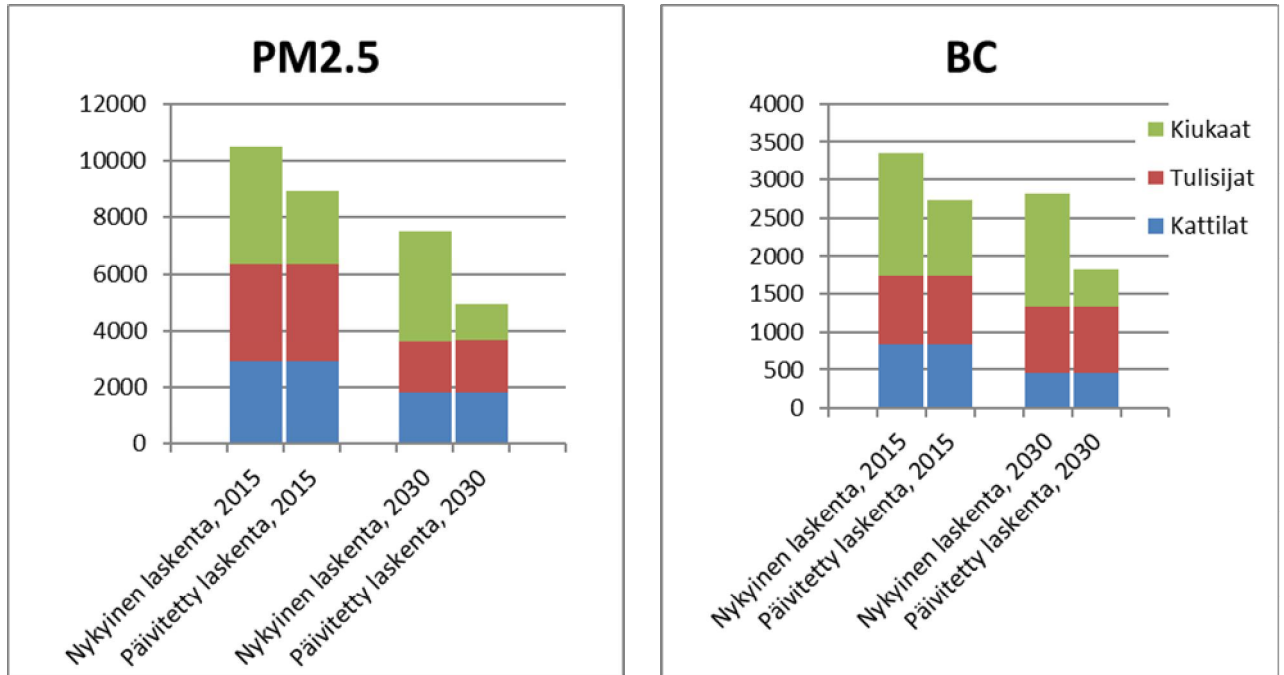
5 PÄÄSTÖINVENTAARIOIDEN PÄIVITTÄMINEN

Suomen ympäristökeskus SYKE arvioi ja raportoi kansallisia ilmansaastepäästöjä mm. EU:n päästökattodirektiivin (2016/2284) ja YK:n Euroopan talouskomission kaukokulketumissopimuksen puitteissa. Toteutuneet päästöt (vuodelle n-2) lasketaan ja raportoidaan vuosittain (EEA, 2019). Lisäksi tehdään päästöprojektioita tulevaisuuteen, joilla voidaan arvioida mm. päästökattodirektiivin velvoitteiden toteutumista, ja mahdollisia tarvittavia lisätoimenpiteitä päästöjen vähentämiseksi. Päästöjen arvioinnissa käytettävät laskentamenetelmät uudistuvat jatkuvasti mm. uuden mittaustiedon myötä. Laskentamenetelmien uudistumisen seurauksena myös arviot menneiden vuosien päästöille voivat muuttua, ja nämä muutokset sisältyvät vuosittaiseen raportointiin.

Puun polttaminen tulisijoissa, kiukaissa ja kiinteistöjen lämmityskattiloissa on kansallisesti merkittävä päästölähde monille ilmansaasteille, kuten pienhiukkaset, musta hiili ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Kansallisissa päästöarvioissa käytetyt pienpolton päästölaskentamenetelmät on esitetty julkaisussa Savolahti ym. (2016). Laskennassa käytettiin taulukossa 6 esitetyjä päästökertoimia, jotka perustuivat tuoreimpiin kotimaisiin mittaustuloksiin. Näitä laskentamenetelmiä on käytetty myös Kansallisessa ilmansuojeluohjelmassa 2030 (*Ympäristöministeriö, 2019*), arvioitaessa päästöjen historiallista ja tulevaa kehitystä. Ilmansuojeluohjelmassa todetaan puun pienpoltolla olevan merkittävä ilmanlaatua alentava vaikutus ja esitetään toimenpiteitä tulisijojen ja puukiukaiden pienhiukkaspäästöjen vähentämiseksi.

Kuten luvussa 3.4.2. esitetään, KIUAS-hankkeessa mitatut päästöt ovat keskimäärin selvästi alhaisempia kuin kansallisessa päästölaskennassa käytetyt. Tämä on todennäköisesti seurausta kiukaiden teknisestä kehityksestä 2010 –luvun aikana, ja muutos on huomioitava päästölaskennassa, erityisesti tulevaisuuden päästökkehitystä arvioitaessa. Lisäksi KIUAS-hankkeen yhteydessä todettiin, että aiemmin päästölaskennassa käytetyt kertoimet (*Savolahti ym. 2016*) eivät välttämättä kuvanneet edustavasti vanhojen kiukaiden keskimääräisiä päästöjä suppean mittausotannan vuoksi. KIUAS-hankkeen tulosten pohjalta päästölaskentaa päivitetään niin, että CE-merkintää edeltävään kiuaskantaan sovelletaan kattavammin aikaisempia päästömittaustuloksia, ja uusiin kiukaisiin sovelletaan hankkeen tuloksia. Päästölaskennassa arvioidaan kunkin polttolaitteen kannan muutosnopeutta, perustuen vuosittaisiin myynteihin ja keskimääräiseen käyttöikään.

Alustavien tulosten mukaan kiukaiden päästökertoimien päivitys alentaisi vuoden 2015 päästöjä noin kolmanneksen (Kuva 38). Vuonna 2030 vaikutus olisi suurempi, koska lähes koko kiuaskanta olisi arvion mukaan ehtinyt uudistua CE-merkinnän voimaantumisen jälkeen. Käytetyt päästökertoimet saattavat vielä muuttua laskentaa päivitettäessä, jos kiuaskannan nykytilasta saadaan tarkempaa tietoa. Alustavan arvion mukaisessa tilanteessa kiukaat olisivat yhä suurin yksittäinen päästölähde sekä pienhiukkasille että mustalle hiilelle (tulisijat ja kattilat jaetaan useisiin alaluokkiin laitteiden toimintaperusteen mukaan). Toisaalta tulevaisuudessa kiukaiden osuus ei enää korostuisi yhtä selvästi kuin nykyisessä laskentatavassa, joka arvioi kiukaiden tuottavan noin puolet pienpolton päästöistä vuonna 2030.



Kuva 38. Alustava arvio päästökertoimien päivityksen vaikutuksesta vuosille 2015 ja 2030 (kt/vuosi). Laskennän päivitys on kesken.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

KIUAS –hankkeen tavoitteena oli kehittää uusi mittauskonsepti, joka mahdollistaa kiuasmitaukset ja tulosten vertailun eri kiuasmallien todellisten päästöjen välillä. Lisäksi hankkeessa selvitettiin tällä hetkellä myynnissä olevien uusimpien kiukaiden kaasu- ja pienhiukkaspäästökerroimet ja niiden vaihtelu erilaisilla polttotavoilla ja –aineilla, arvioitiin kiukaiden päästöjen vähentämismahdollisuuksia, tuotettiin aineistoa kiukaiden ja yleisemmin pienpolton päästöihin liittyvään viestintään, päivitettiin päästökerrointulokset kansainvälisiin raportointeihin, ja selvitettiin mahdollisuutta kehittää päästöihin liittyvä ympäristömerkintä kiukaille siten, että kuluttajien olisi mahdollista valita vähäpäästöinen kiuas.

Kiukaiden mittauskonsepti saatiin luotua ja se sisältää sekä päästömittaukset että kiukaan toiminnan saunassa. Konsepti on tehokas, nopea ja luotettava tapa verrata kiukaiden toimintaa, tehokkuutta ja päästöjä ja antaa realistisen kuvan kiukaiden pienhiukkas- ja kaasupäästöistä. Hiukkasten mittaustekniikka toimi erinomaisesti kiuasmittauksissa ja sitä ehdotetaan kansalliseksi polttoprosessien pienhiukkaspitoisuuksien mittausstandardiksi. Kiukaiden CE –merkintään liittyvään testausstandardiin verrattuna konseptissa vakioitiin polttoainemäärä, polttotapa ja olosuhteet (mm. ilmanvaihtokerroin) eikä saavutettavalle saunan lämpötilalle asetettu vaatimusta. Konsepti antoi CE –testeihin verrattuna jonkin verran pienempiä tuloksia seuraaville parametreille: Ero kiukaiden savukaasun lämpötilojen osalta oli keskimäärin 6 %, häkäpitoisuuden osalta 14 % ja hyötysuhteen osalta 7 %, mutta erot vaihtelivat kiuasmallien välillä. Vaikka saunan ja kiukaan ominaisuudet (mm. ilmanvaihto, kiuaskivien määrä, löylynheitto) vaikuttivat saunan olosuhteisiin, ne eivät kuitenkaan merkittävästi vaikuttaneet päästöihin. Kokonaisuudessaan kiukaiden CE –merkintätiedot ja testausmenetelmä ovat nykyisessä muodossaan riittämättömiä kiukaiden väliseen vertailuun sekä päästöjen että kiukaan toiminnan osalta, koska testus ei huomioi riittävällä tarkkuudella puun kosteutta, polttotapaa eikä erilaisten kiukaiden erilaisia ominaisuuksia päästöjen kannalta. CE –merkintään liittyvää standardia tulisikin kehittää pienhiukkaspäästömittaukset huomioiden.

KIUAS –hankkeessa mitattiin kahdeksan kiukaan toimintaa, tehokkuutta ja päästöjä. Mittauskonseptin mukaisten perustestien lisäksi kahdella kiukaalla tehtiin kokeita erilaisilla ilmanvaihtoasetuksilla, eri puulajeilla, eri puun kosteuksilla ja erilaisilla polttotavoilla. Lisäksi Pienpolttosimulaattori (SIMO) –hankkeessa tehtiin testejä roskien polttoon liittyen, erilaisilla kiuas- ja puhdistinprototyypeillä ja takoilla. SIMO –hankkeen mittauksen tuloksia on hyödynnetty KIUAS –hankkeen johtopäätöksiä tehtäessä.

Mittauksissa havaittiin, että jokainen kiuasmalli on yksilö polttoajan, lämpötilojen, ilmakerroimen, hyötysuhteen ja päästöjen osalta. Myös käyttötapa vaikuttaa kiukaisiin yksilöllisesti, joten optimaalinen käyttötapa pitäisi selvittää kiuaskohtaisesti. Kiukaiden rakenteelliset ominaisuudet (tulipesä, arinan koko, savukanavien koot, supistukset, kanavien pituudet jne.) vaikuttivat kiukaan toimintaan ja sitä kautta mm. ilmakerroimeen, polttoaikaan ja hyötysuhteeseen, mutta ei yksiselitteisesti päästöihin.

Hyötysuhteen havaittiin olevan ongelmallinen parametri säänneltäväksi, koska se ei ole yhteydessä saunan lämpötilaan, lämmitysaikaan eikä päästöihin. Suuripäästöisillä kiukaille oli

jopa tyypillisempää, että hyötysuhde oli niissä hyvä. Hyötysuhde liittyy kuitenkin ilmaker-toimeen ja savukaasun lämpötilaan. Standardinmukaisesta mittauspisteestä mitattu keski-määräinen hyötysuhde kiukailla oli 64,7 % (58–72,2 %) ja ero liitinhormista (heti kiukaan jälkeensä savukanavasta) mitattuun hyötysuhteeseen oli 3,6 %-yksikköä suurempi. Keskimää-räinen savukaasun lämpötila oli 362 °C, (298–436 °C), liitinhormista mitattuna 36 astetta kor-keampi. Savukaasun maksimilämpötila oli 479 °C (386–616 °C).

Päästöissä oli kiukaiden välillä ja polttotapojen välillä erittäin suuria eroja. Pienhiukkasten massapäästöissä oli 7–kertaisia eroja ja PAH-päästöissä yli 100–kertaisia eroja vähäpäästöi-simmän ja suuripäästöisimmän kiukaan välillä. Samalla kiukaalla saatiin 5–10 –kertaisia ero-ja pienhiukkasten pitoisuuksissa (PM₁, OC, EC, lukumäärä) ja PAH-yhdisteiden osalta n. 80 –kertaisia eroja. Nokipäästöt käyttäytyivät ennalta arvaamattomasti (mm. puun kosteuden suhteen) ja niiden vähentämistä tulisikin tutkia systemaattisesti. Kokonaisuudessaan havait-tiin, että huono palaminen lisää nokipäästöjä, mutta kun palaminen menee riittävän huonok-si, noen määrä ei enää lisäännä.

Keskimääräinen pienhiukkasten massapitoisuus (PM₁) 181 mg/m³ (56,4 – 392,1 mg/m³) oli selkeästi pienempi kuin päästöinventaarioissa tähän mennessä käytetty arvo. Vanhoihin kiu-asmittausten tuloksiin verrattuna erityisesti kaikkein korkeimmat pitoisuudet näyttäisivät jääneen pois. Alustavien arvioiden mukaan uusien mittaustulosten käyttäminen päästöarvi-oissa alentaisi Suomen kiukaiden pienhiukkaspäästösuutta noin kolmanneksella. Kiukaat ovat silti suurin yksittäinen päästölähde sekä pienhiukkasille että mustalle hiilelle.

Mittauksissa selvitettiin noin 10 %, 18 % ja 28 % kosteuksisten koivuklapien vaikutusta sau-nan toimintaan ja kiukaan päästöihin. Kosteudella oli merkittävä vaikutus sekä päästöihin ja saunan toimintaan. Kostean puun käyttö lisäsi lievästi häkä- ja hiukkaslukumääräpitoisuuksia, mutta alensi selvästi pienhiukkasten massa- ja erityisesti nokipitoisuuksia. Kostean puun käyttö ei vaikuttanut hyötysuhteeseen, mutta näkyi kuitenkin alempana saunan-, kiuaski-vien-, ja savukaasun lämpötiloina. Siten standardinmukaisesti määritetty hyötysuhde ei ker-ro todellisesta hyötysuhteesta saunaolosuhteissa. Puun kosteus olisi ehdottomasti huomioi-tava määritettäessä mittausstandardeja ja vertailtaessa tuloksia kiukaan käyttäytymisen, hyötysuhteiden ja erityisesti päästöjen osalta. Puun kosteus vaikutti tuloksiin erityisesti kiu-kailla, joissa ei ollut toisioilmaa, jolloin puun kaasutus saattaa kasvaa liian voimakkaaksi.

Testejä tehtiin koivu-, kuusi-, mänty- ja leppäklapeilla, joista jokaisesta oli sekä kuorelliset että kuorettomat klapi mittauksissa. Klapeja poltettiin testeissä kilomääräisesti sama määrä, joten puulaji tai puun laatu (kuorellinen/kuoreton) ei vaikuttanut saunan toimintaan. Puulaji vaikutti päästöihin, mutta kuoren vaikutus päästöihin vaihteli. Kokonaisuudessaan pienim-mät päästöt olivat kuusella. Leppä tuotti eniten häkää ja typpimonoksidia. Mänty tuotti no-kea eniten. Pienhiukkasten massapitoisuus oli suurin kuorellisella lepällä ja koivulla, pienin kuusella. Kuorelliset puut tuottivat enemmän typpimonoksidia ja vähemmän nokea kuin kuorettomat puut. Muiden parametrien osalta kuoren vaikutus vaihteli puulajeittain.

Polttotapatesteissä havaittiin, että kiukaissa panoskoko ei ehkä ole yhtä merkittävä tekijä päästöjen osalta kuin tulisijoissa yleensä, koska tulipesät ovat pieniä ja jo normaalikäytöllä ladataan melko täyteen. Sen sijaan lisäyksen panoskoolla on todennäköisestisuurempi merki-tys, kun tulipesä on jo valmiiksi kuuma ja puu kaasuuntuu nopeasti. Panoskoon merkitystä

toisen panoksen osalta tulisi tutkia erikseen. Puunpoltto-ohjeita ei kuitenkaan muuteta tämän hankkeen pohjalta. Jokaisen on savun määrän avulla mahdollista kehittää omia käyttötapojaan vähäpäästöisimmiksi tiettyyn rajaan saakka.

Suuripäästöisten kiukaiden ongelmana näyttäisi olevan kaasutuksen säätelyn lisäksi sekä kokonaisilmamäärän mutta erityisesti toisioilman puute palamisprosessissa. Kiukaassa oleva toisioilman syöttö ei välttämättä toiminut toivotulla tavalla. Ilmanjakotestien perusteella jo pienillä muutoksilla kiukaissa voitaisiin saavuttaa suuria hyötyjä etenkin päästöjen osalta. Peruskiukaissa näyttäisikin olevan suuri kehityspotentiaali, mutta niitä pitäisi kehittää yksilöllisesti. Hyötysuhteita tulisi parantaa, mutta tehokkuuden parantaminen olisi tehtävä siten, että päästöt eivät lisäänty. Lämmönvaihdon tehostamista tulisi myös selvittää erikseen. Mittauksissa havaittiin, että kiukaat voivat tuottaa merkittäviä määriä hiukkasia myös saunan sisäilmaan. Kiukaiden rakenteita tulisikin kehittää siten, että saunan sisäilma pysyisi mahdollisimman puhtaana.

Hankkeessa tuotettiin aineistoa puun pienpolton päästöihin liittyvään viestintään. Aihepiiri on kansalaisia ja mediaa kiinnostava, mikä näkyi laajana huomiona erilaisten medioiden artikkeleissa ja kansalaisten yhteydenottoina hankkeen loppupuolella.

LÄHDEVIITTEET

- Aarnio, P., Kousa, A., Malkki, M. (2016). Ilmanlaatu ja siihen vaikuttavat tekijät pääkaupunkiseudulla vuosina 2006 – 2015. Ilmansuojelusuunnitelman taustaraportti. HSY:n julkaisuja 9/2016
- AMAP (2011). The impact of black carbon on the Arctic climate (2011). By: Quinn, P.K., Stohl, A., Arneth A. et al. The Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo.128 p.
- EEA (2019). LRTAP Convention - National emission inventories.
<http://cdr.eionet.europa.eu/fi/un/clrtap/inventories/envxiliq8w>
- Helsinki (2016). Helsingin kaupungin ilmansuojelusuunnitelma 2017–2024. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 11/2016.
- Jacobson, M.Z. (2010). Short-term effects of controlling fossil-fuel soot, biofuel soot and gases, and methane on climate, Arctic ice, and air pollution health. *J. Geop. Res.* 115.
- Kaivosoja, T., Virén, A., Tissari, J., Ruuskanen, J., Tarhanen, J., Sippula, O., Jokiniemi, J. (2012). Effects of a catalytic combustor on PCDD/F, chlorophenol and PAH emissions and profiles in residential wood combustion. *Chemosphere* 88, 278–285.
- Kaski, N., Vuorio, K., Niemi, J., Myllynen, M., Kousa, A. (2016). Tulisijojen käyttö ja päästöt pääkaupunkiseudulla vuonna 2014. HSY:n julkaisuja 2/2016.
- A. Laaksonen, K. Kupiainen, V.M. Kerminen, N. Karvosenoja, J.-P. Pietikäinen, M. Savolahti, V.-V. Paunu, I. Savolainen, M. Airaksinen, M. Järvelä, K. Kokko, M. Kulmala, J. Seppälä, P. Taalas (2014). Musta hiili ilmastopakotteena: Päästöjen ja mahdollisten päästövähennysten globaalit ja alueelliset vaikutukset. Suomen ilmastopaneeli, Raportti 3/2014.
- Lamberg, H., Nuutinen, K., Tissari, J., Ruusunen, J., Yli-Pirilä, P., Sippula, O., Tapanainen, M., Jalava, P., Makkonen, U., Teinilä, K., Saarnio, K., Hillamo, R., Hirvonen, M.-R., Jokiniemi, J. (2011). Physicochemical characterization of fine particles from small-scale wood combustion. *Atmospheric Environment* 45, 7635–7643.
- Leskinen, J., Ihalainen, M., Torvela, T., Kortelainen, M., Lamberg, H., Tiitta, P., Jakobi, G., Grigonyte, J., Joutsensaari, J., Sippula, O., Tissari, J., Virtanen, A., Zimmermann, R., Jokiniemi, J. (2014). Effective density and morphology of particles emitted from small-scale combustion of various wood fuels. *Environmental Science & Technology* 48, 13298–13306.
- Liikkanen, L. (2016a). <https://saunologia.fi/blogi/puukiukaat/> Luettu 2.8.2017
- Liikkanen, L. (2016b). Puukiukaan ostajan opas, <https://saunologia.fi/blogi/puukiukaan-valinta/> Luettu 25.7.2017.
- Pope, C.A. and Dockery D.W. (2006). Health effects of fine particulate pollution: Lines that connect, *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 56, 709–752.
- Saarnio, Karri; Niemi, Jarkko V.; Saarikoski, Sanna; et al. (2012). Using monosaccharide anhydrides to estimate the impact of wood combustion on fine particles in the Helsinki Metropolitan Area. *Boreal Environment Research* 17, 163–183.
-

Suoheimo, P., Grönroos, J., Karvosenoja, N., Petäjä, J., Saarinen, K., Savolahti, M., Silvo, K. (2015). Päästökattodirektiiviehdotuksen ja keskiuurten polttolaitosten direktiiviehdotuksen toimeenpanon vaikutukset Suomessa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 6/2015.

Tapanainen, M., Jalava, P.I., Mäki-Paakkanen, J., Hakulinen, P., Lamberg, H., Ruusunen, J., Tissari, J., Jokiniemi, J., Hirvonen, M.-R. (2012). Efficiency of log wood combustion affects the toxicological and chemical properties of emission particles. *Inhalation toxicology* 24, 343–355.

Tissari, J., Sippula, O., Torvela, T., Lamberg, H., Leskinen, J., Karhunen, T., Paukkunen, S., Hirvonen, M.-R., Jokiniemi, J. (2015). Zinc nanoparticle formation and physicochemical properties in wood combustion – experiments with zinc-doped pellets in a small-scale boiler. *Fuel* 143, 404–413.

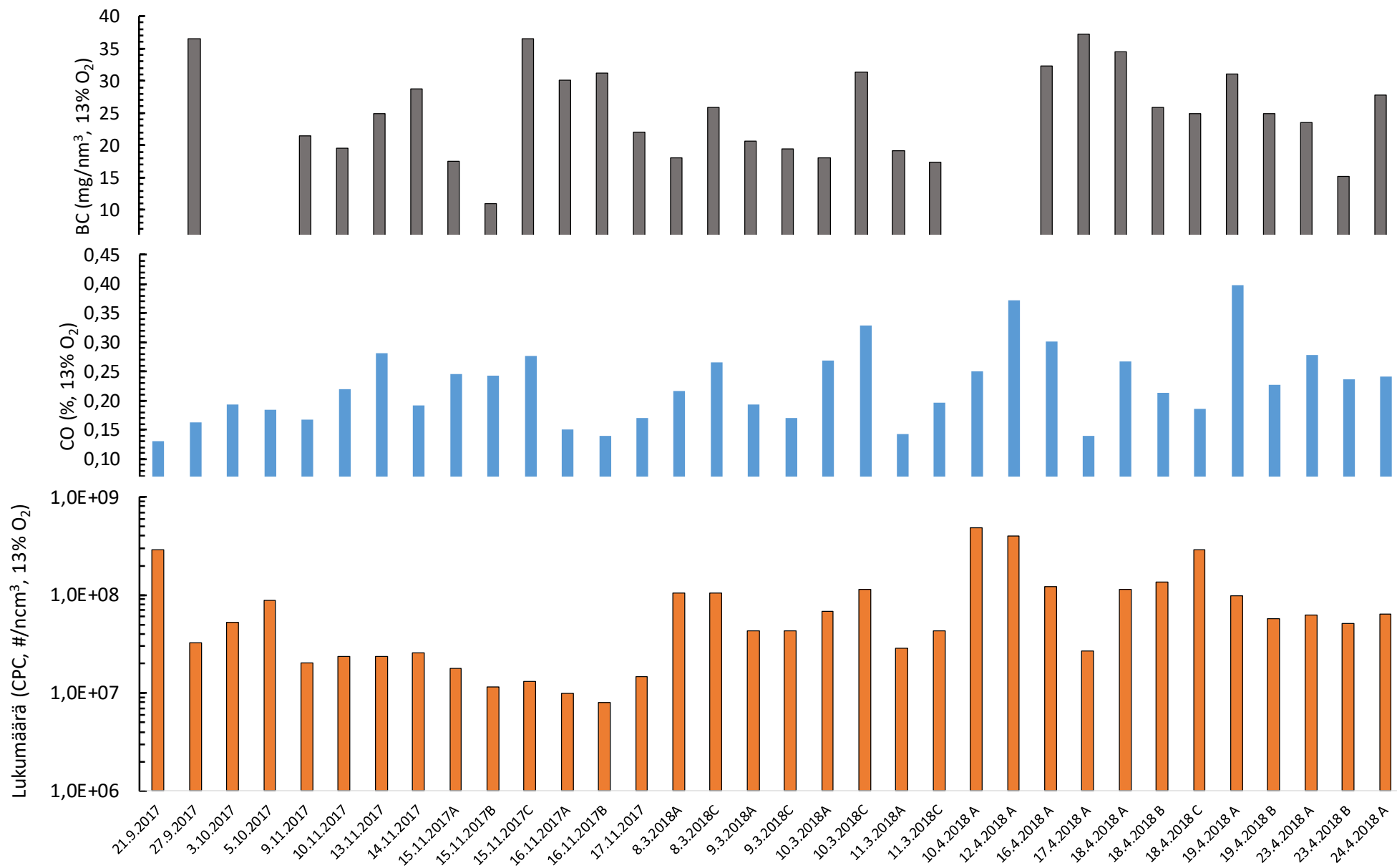
Tissari, J., Hytönen, K., Lyyränen, J., Jokiniemi, J. (2007). A novel field measurement method for determining fine particle and gas emissions from residential wood combustion. *Atmospheric Environment* 41, 8330–8344.

Tissari, J., Hytönen, K., Sippula, O., Jokiniemi, J. (2009). The effects of operating conditions on emissions from masonry heaters and sauna stoves. *Biomass and Bioenergy* 33, 513–520.

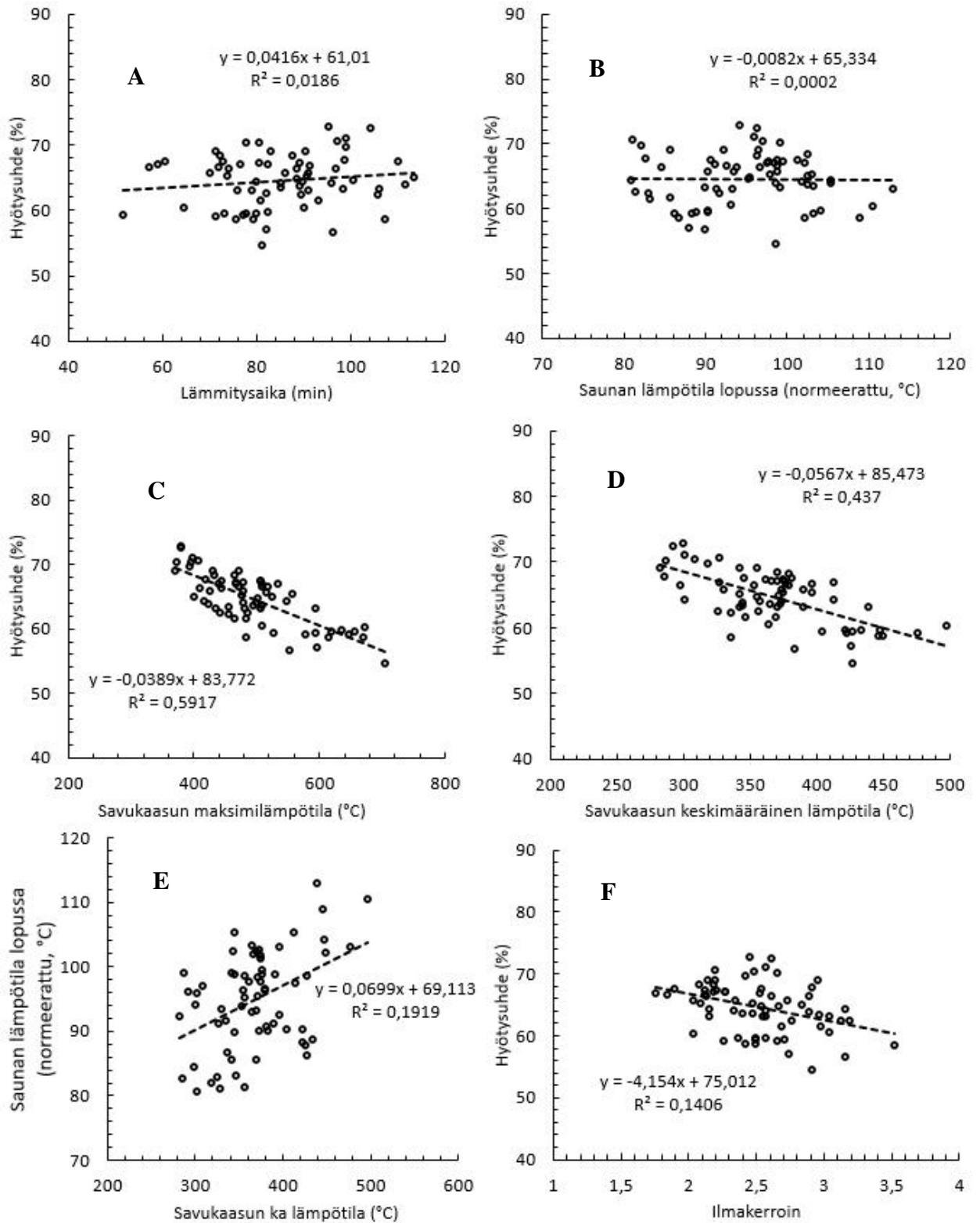
TUKES (2016). CE-merkintä, <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kuluttajaturvallisuus/Kulutustavarat/CE-merkki/> Luettu 25.7.2017

Ympäristöministeriö (2019). Kansallinen ilmansuojeluohjelma. Ympäristöministeriön julkaisuja 7/2019, Helsinki.

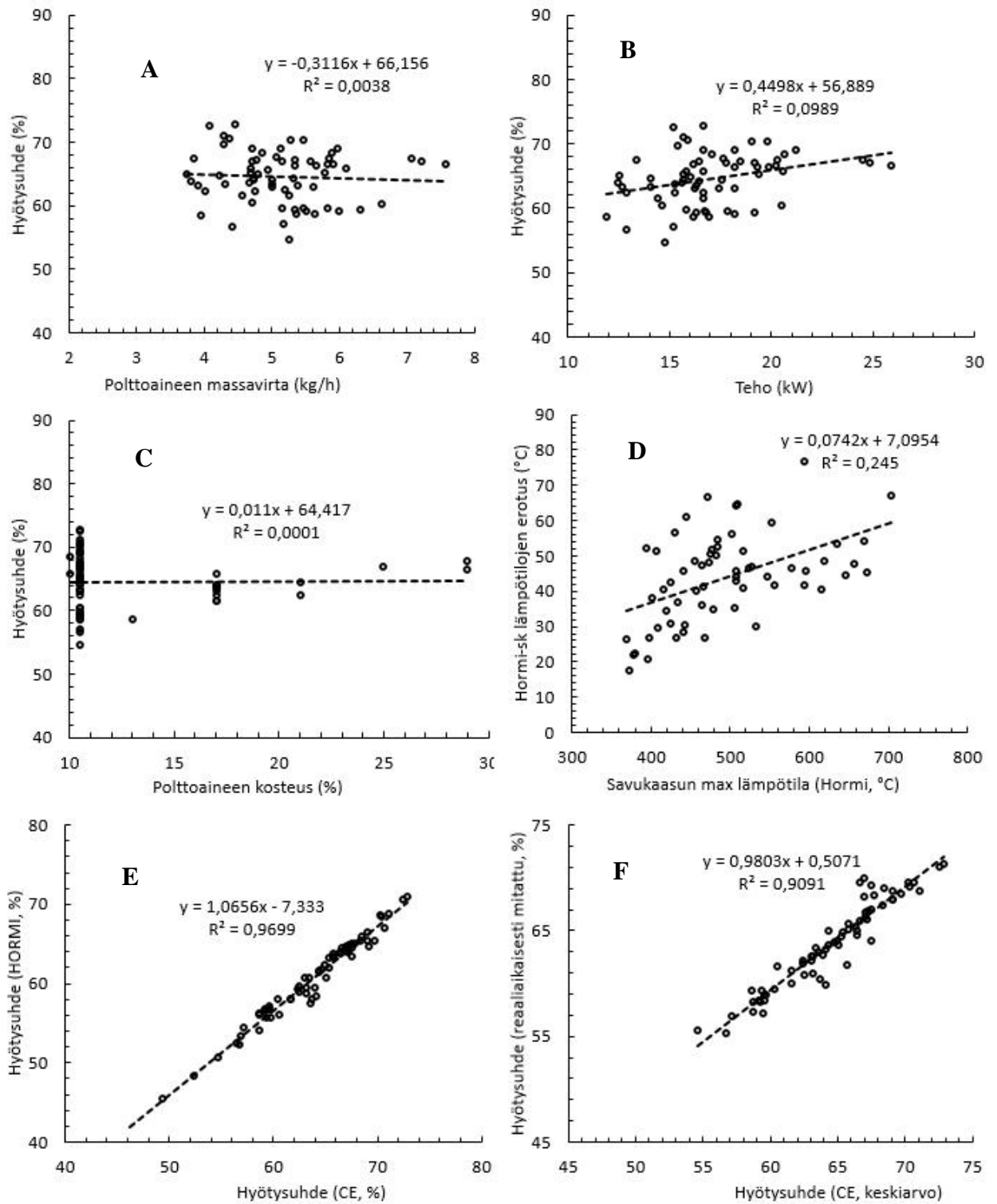
LIITE 1: Tarkentavia mittaustuloksia.



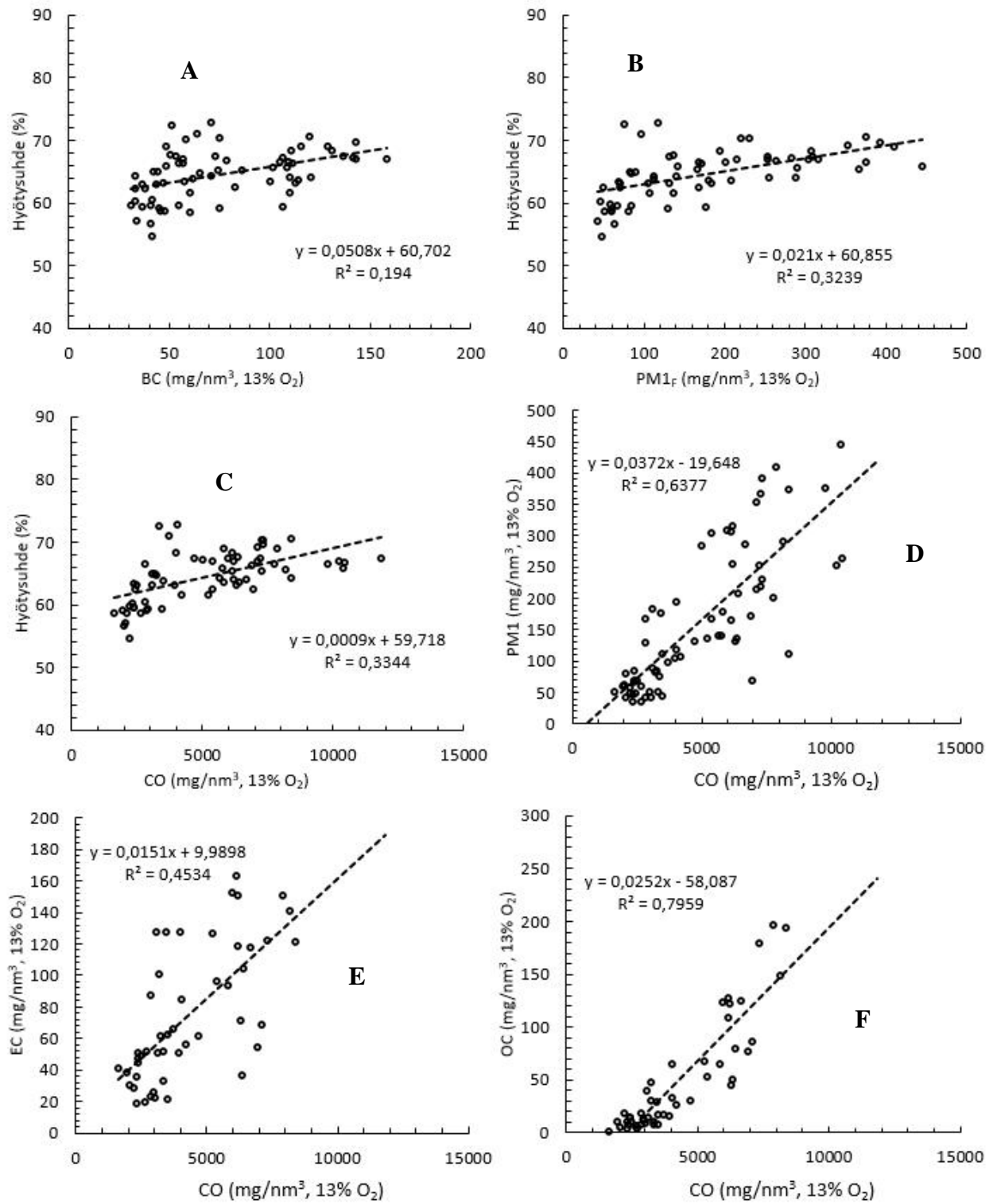
Liitekuva L1. Kiukaiden testausmenetelmän ja Pienpolttosimulaattorin testaukseen liittyvien mittausten pitoisuuksia yhdellä kiukaalla.



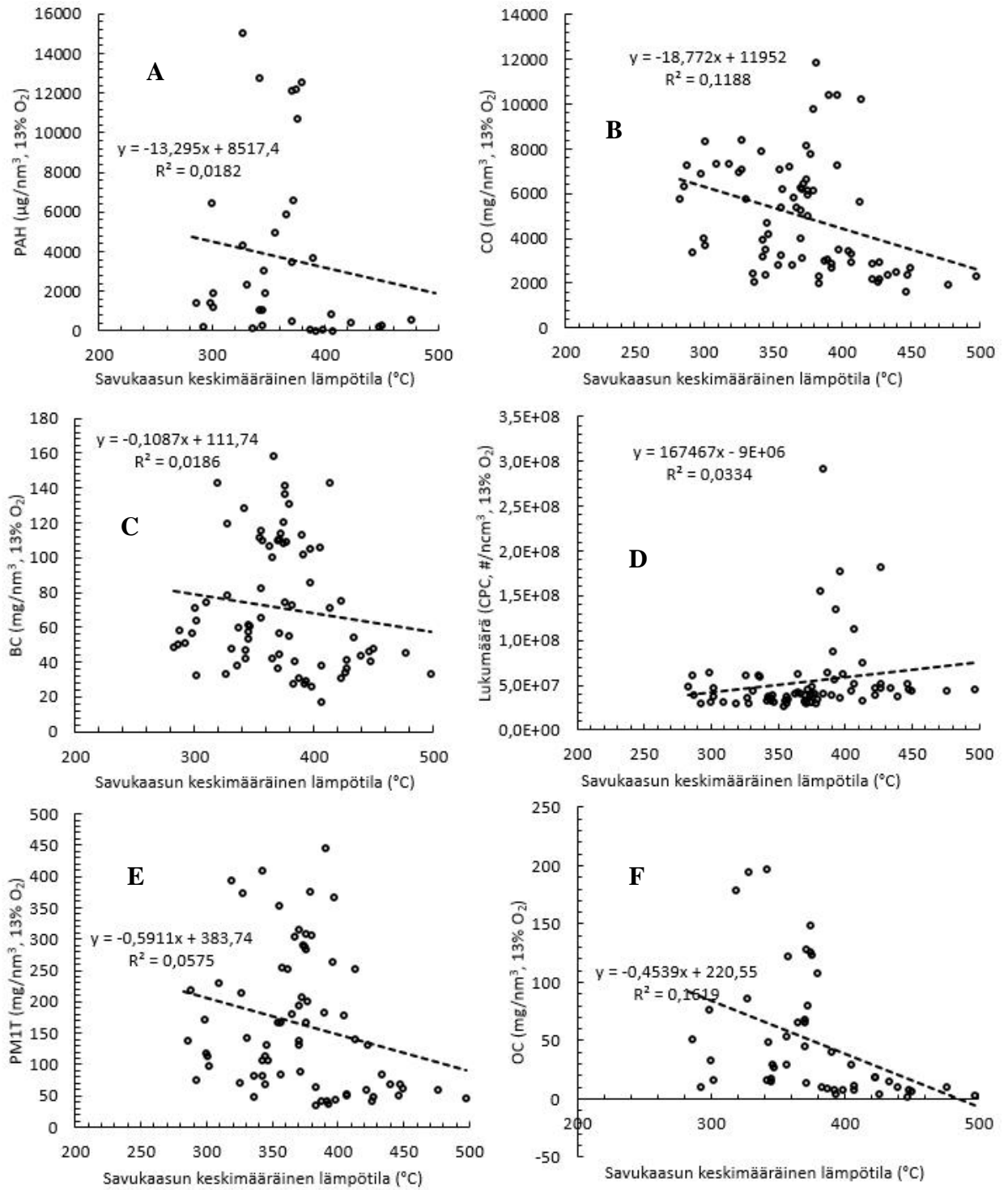
Liitekuva L2. Kiuasmittausten erilaisten parametrien korrelaatioita.



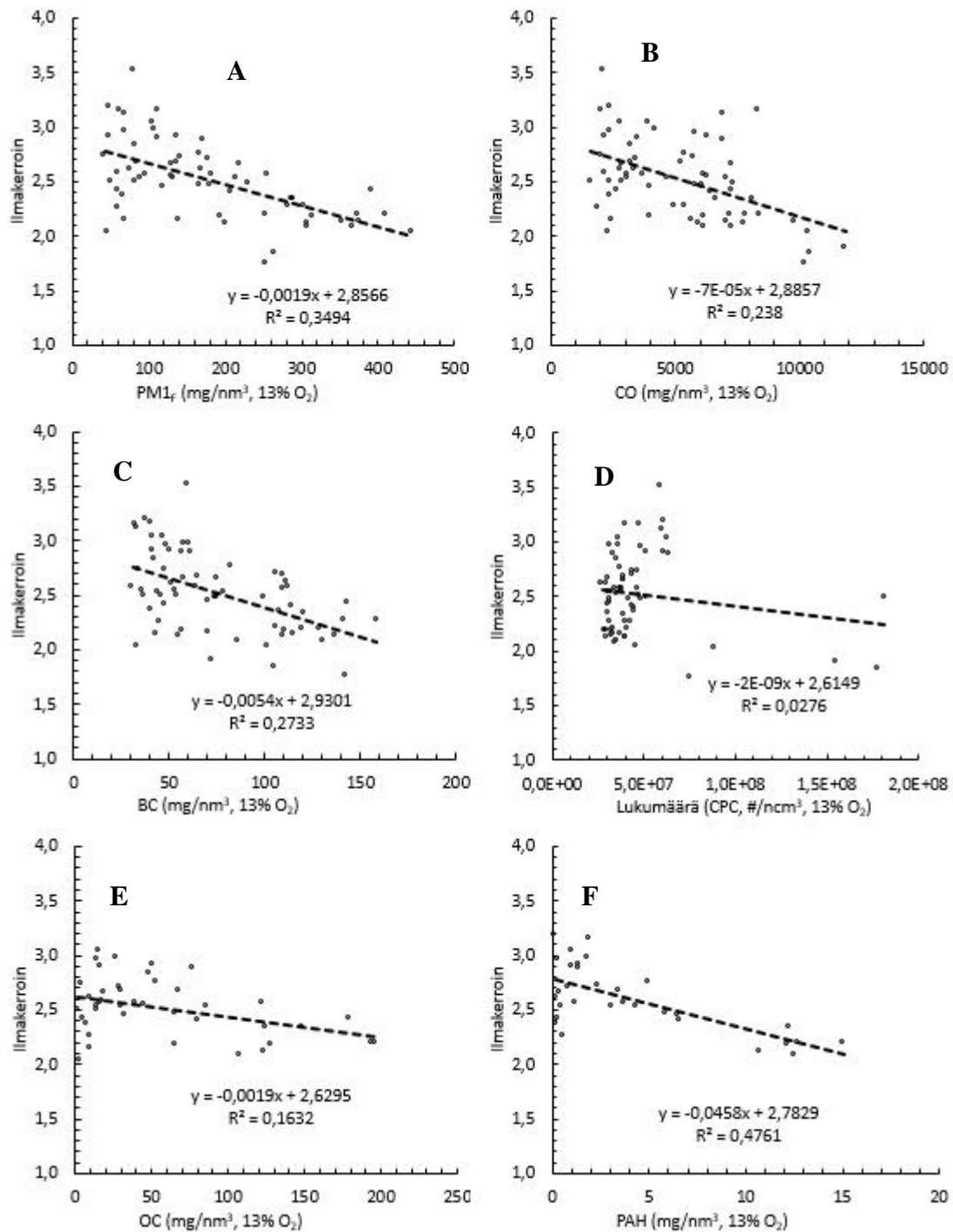
Liitekuva L3. Kiuasmittausten erilaisten parametrien korrelaatioita.



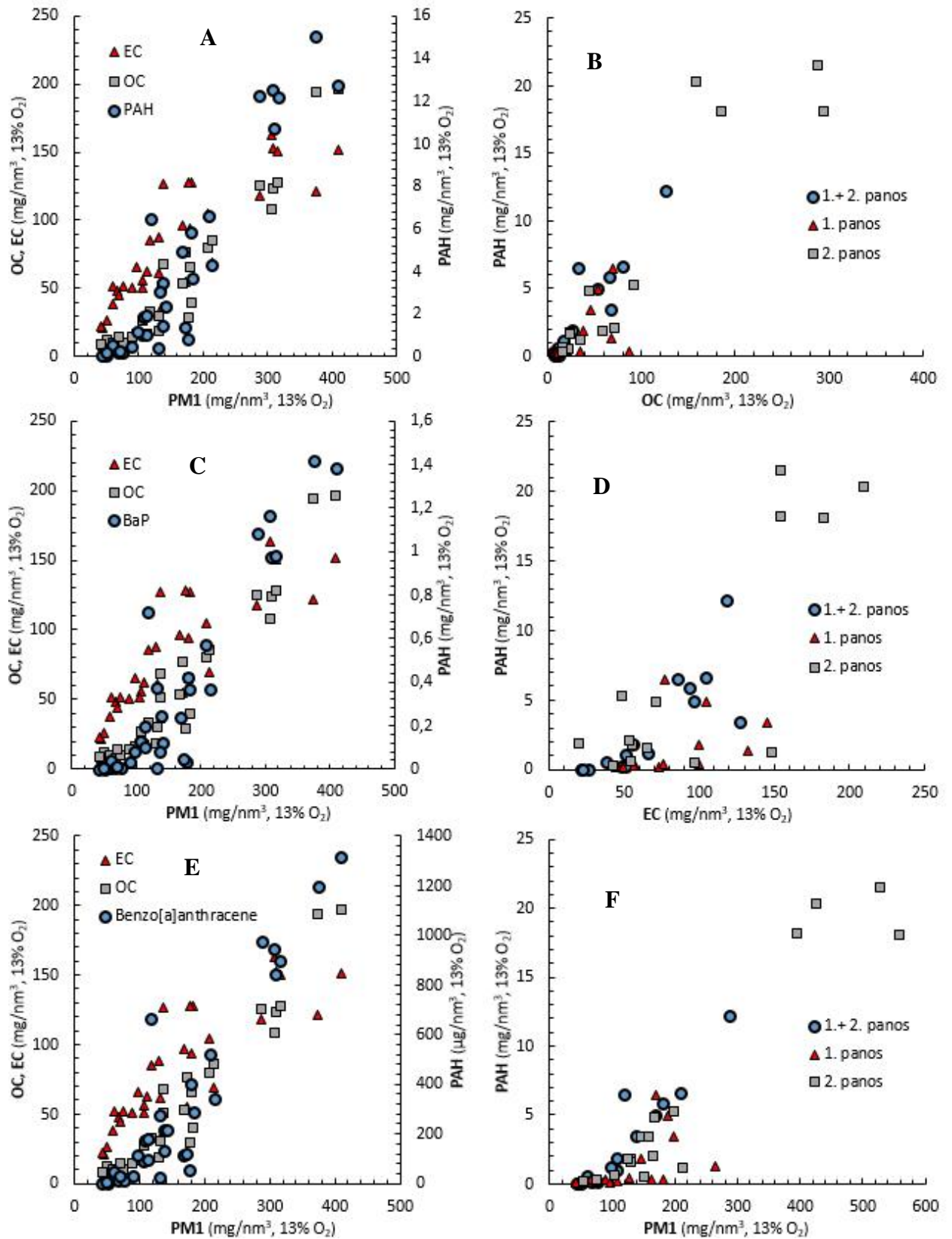
Liitekuva L4. Kiuasmittausten erilaisten parametrien korrelaatioita.



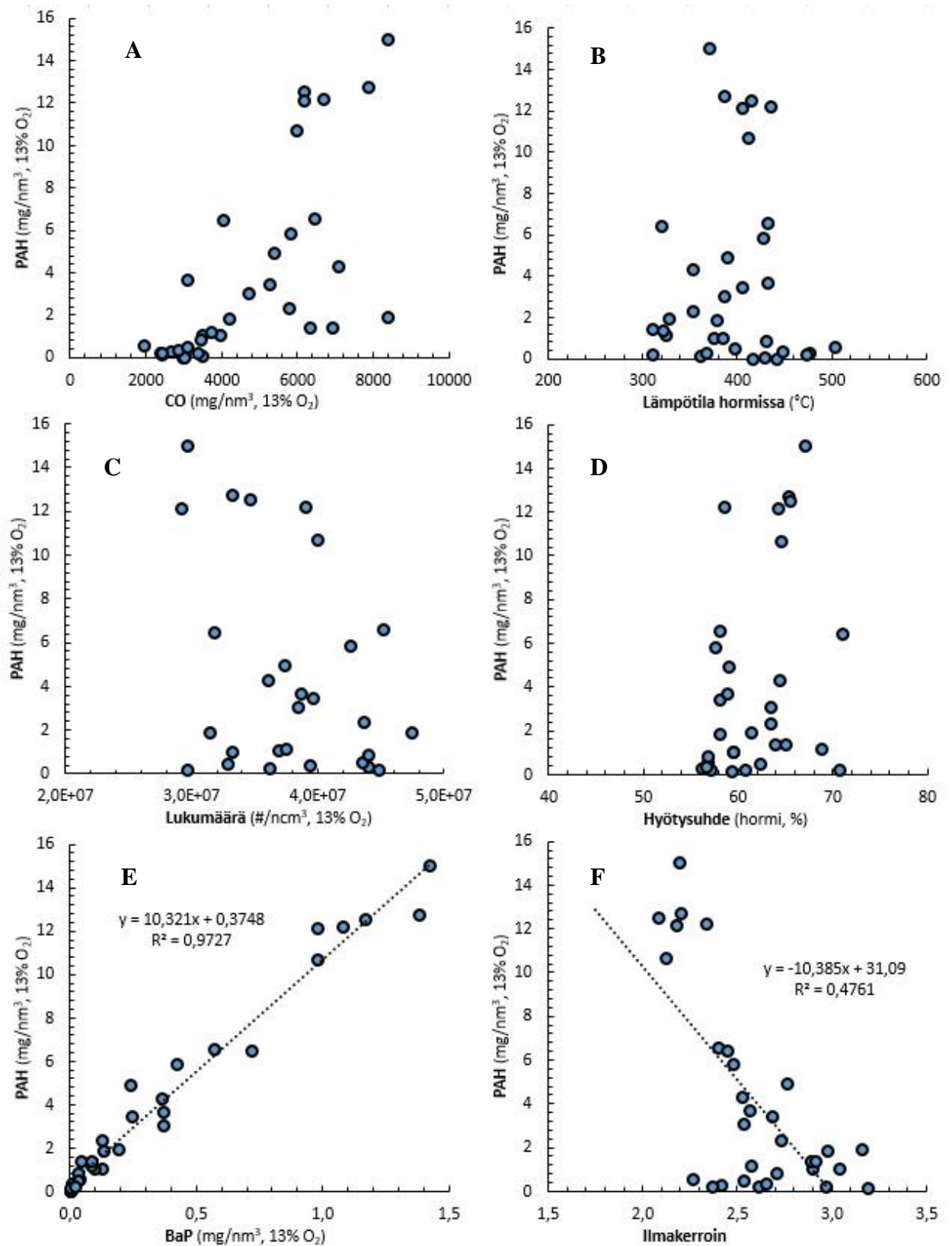
Liitekuva L5. Kiuasmittausten erilaisten parametrien korrelaatioita.



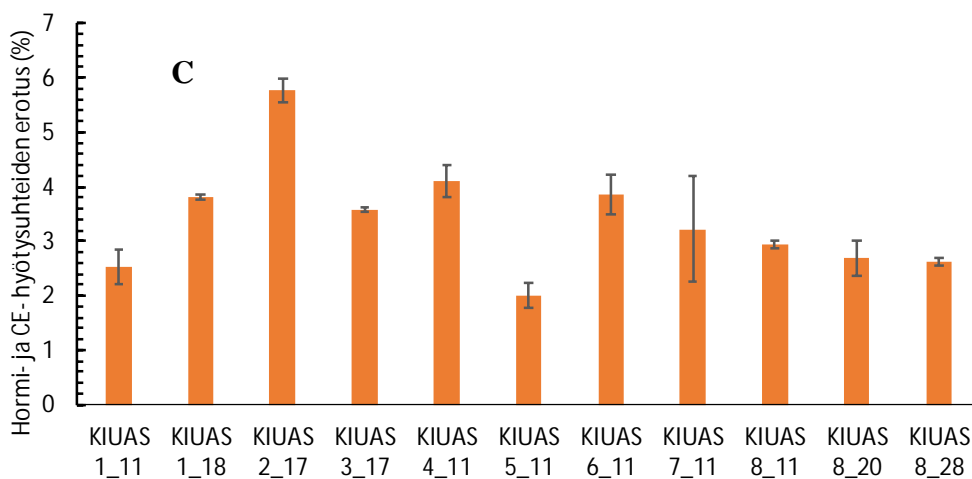
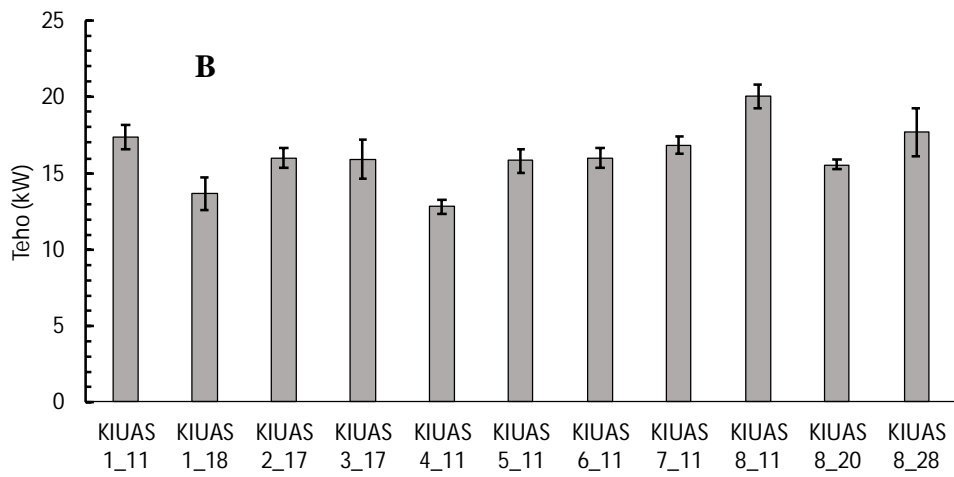
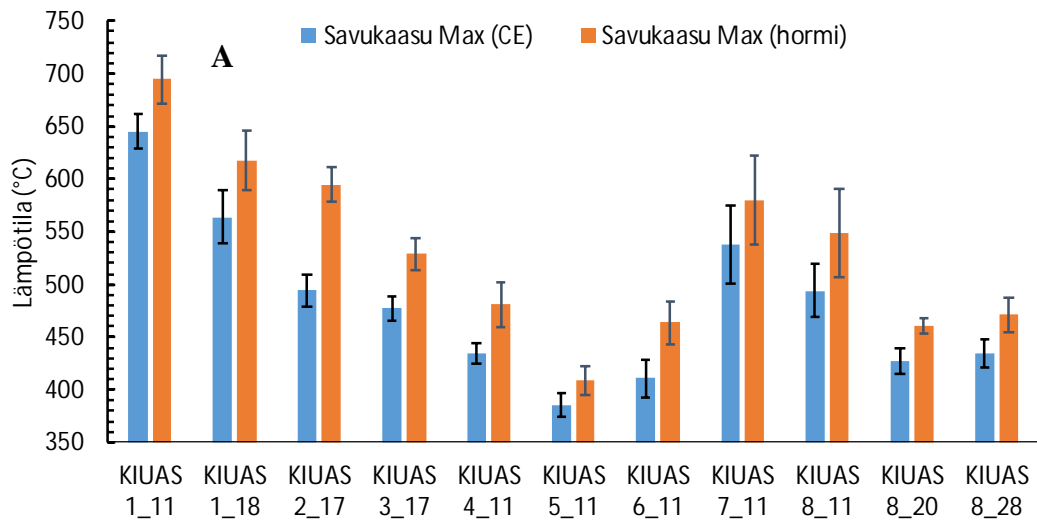
Liitekuva L6. Kiuasmittausten päästöjen ja ilmakertoimen välisiä korrelaatioita.



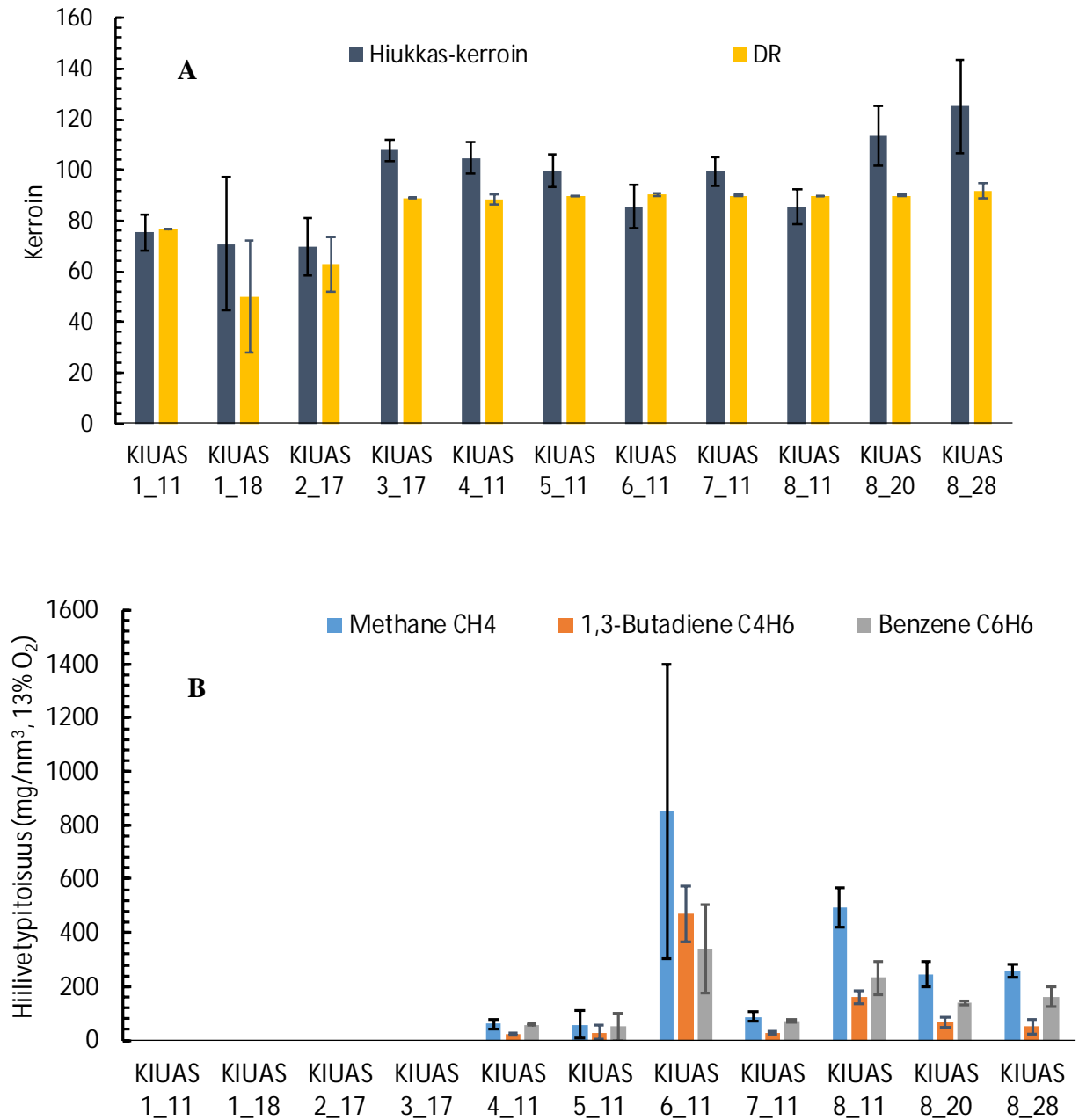
Liitekuva L7. Kiuasmittausten eri pienhiukkaspäästöparametrien välisiä korrelaatioita.



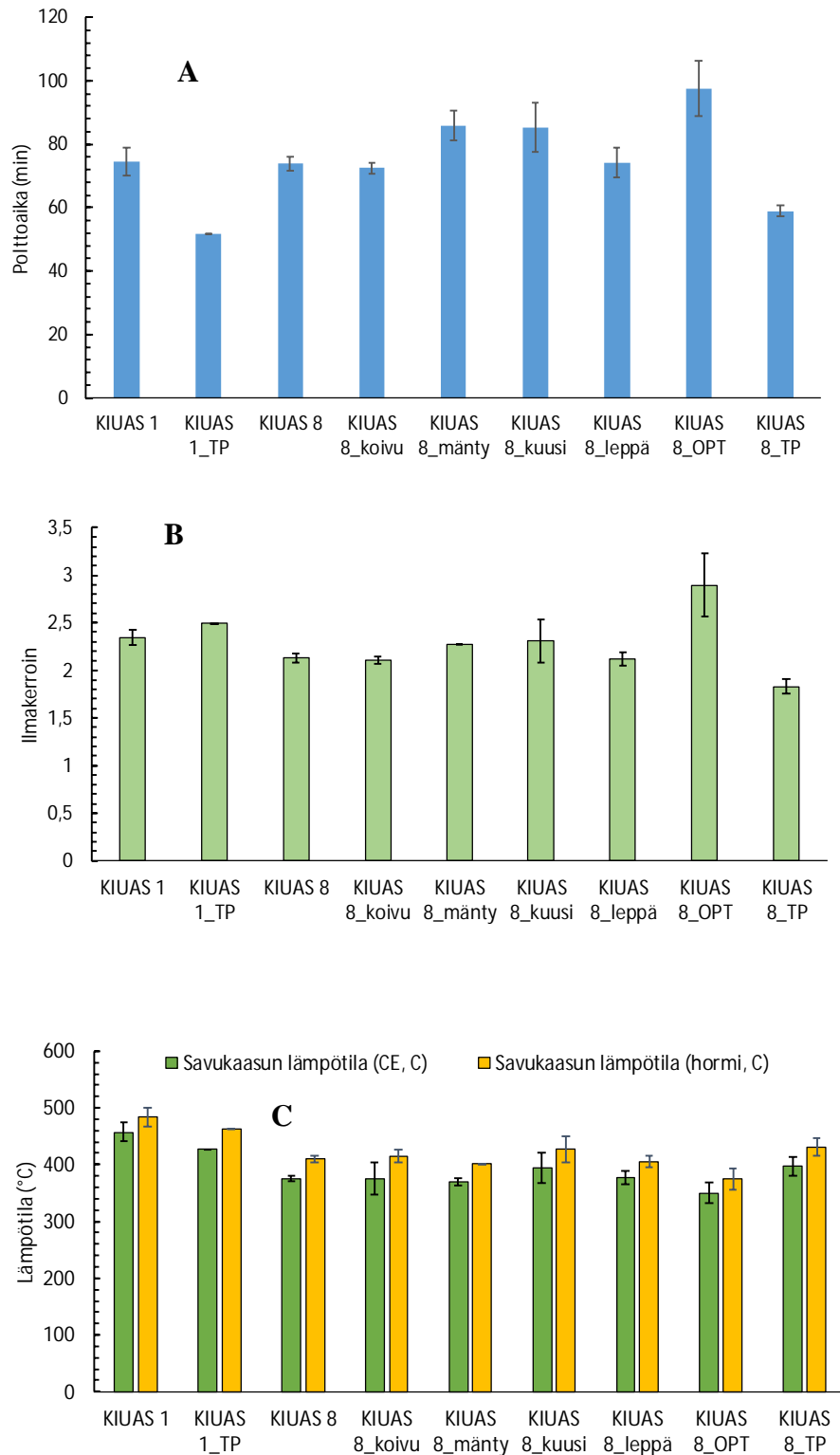
Liitekuva L8. PAH -pitoisuuden ja muiden kiuasmittaustulosten välisiä korrelaatioita.



Liitekuva L9. Kiuasmittausten erilaisten parametrien keskiarvoja ja keskihajonta.



Liitekuva L10. Kiuasmittausten erilaisten parametrien keskiarvoja ja keskihajonta.



Liitekuva L11. Kiuasmittausten erilaisten parametrien keskiarvoja ja keskihajonta.

LIITE 2: Kiukaisiin liittyvät standardit, menetelmät, merkinnät ja päästörajat Tilannekatsaus hiukkaspäästöjen osalta

1. CE-merkintä, ja merkintään liittyvät tuotestandardit

Rakennustuotteiden CE-merkintäjärjestelmä perustuu EU:n rakennustuoteasetukseen (CPR, Construction Products Regulation), jossa määritetään, miten rakennustuotteiden CE-merkintää tulee käyttää. Eurooppalaisten standardien laadinta tehdään CENin (European Committee for Standardization) teknisissä työryhmissä (Technical Committee, TCt, joiden alaisuudessa Working Group, WGt). Suomessa standardit hyväksyy Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Tehdasvalmisteisille tulisijoille on CEN TC 295 'Tulisijat' laatinut harmonisoidut tuotestandardit, joihin perustuen CE-merkintävaatimus on ollut niille pakollinen 1.7.2013 lähtien. CE –merkintä osoittaa, että tuote on testattu ilmoitetussa laitoksessa (<http://ec.europa.eu/enterprise/newapproach/nando/>) harmonisoidun tuotestandardin (hEN) mukaisilla testimenetelmillä ja tuote on suoritusasoilmoituksen (DoP) mukainen. CE –merkinnän päätarkoituksena on, että laitteet ovat turvallisia käyttää ja DoP:n perusominaisuustietojen perusteella voidaan arvioida, soveltuuko laite aiottuun käyttökohteeseen. Menetelmät sisältävät testejä eri tehoilla (esim. turvallisuustesti, osateho, nimellisteho), eri polttojaksoissa (esim. sytytysosa, poltto-osa) ja päästömittauksia ei tehdä välttämättä kaikista osioista. Myös päästöjen mittausjaksot varsinaisen poltto-osion aikana vaihtelevat polttolaitetyypeittäin ja mittausparametreittain. Tulisijan CE –merkintä ja DoP pätevät suoraan kaikissa EU:n jäsenmaissa. Kuitenkin EU:n jäsenvaltioilla on oikeus asettaa kansalliset vaatimustasot tuotteen olennaisiin vaatimuksiin perustuville perusominaisuuksille, jotka on mainittu tuotestandardin liitteessä ZA. Laittevalmistajat saattavat joutua siten edelleen muokkaamaan tuotteitaan jäsenvaltioiden erilaisten vaatimustasojen takia. Rakennustuotteiden CE –merkintä poikkeaa merkittävästi muiden tuotteiden CE –merkinnöistä, koska se ei automaattisesti takaa kansallisten viranomaismääräysten täyttymistä.

Suomessa on julkaistu kansallinen soveltamisstandardi (NAS) SFS 7021, joka sisältää varaavat tulisijat, kamiinat, liedet, takkasydämet ja kiukaat. Soveltamisstandardin päivitys on käynnissä, koska se ei huomioi 1.1.2018 voimaan tulleen pieniä savupiippuja koskevan YM:n asetuksen kaikkia vaatimuksia. Standardi päivitetään vielä mahdollisesti uudelleen, kun tulisijojen ekosuunnitteludirektiivin (EcoDesign, 2009/125/EC) hiukkaspäästörajat 1.1.2022 astuvat voimaan.

Tuotestandardit ovat voimassa kotitalousliesille (EN 12815), takkasydämille (EN 13229), kamiinoille (EN 13240), varaaville tulisijoille (EN 15250), puupellettikamiinoille (EN 14785) ja puulämmitteisille saunankiukaille (EN 15821). Standardeja ollaan päivittämässä yhtenäiseksi standardiperheeksi EN 16510. Näistä yleisosa *SFS-EN 16510-1:2018 Residential solid fuel burning appliances. Part 1: General requirements and test methods* on julkaistu 7.8.2018. Uuden standardiperheen yleisosa sisältää vaatimukset ja testimenetelmät, jotka ovat yhteisiä kaikille tuoteryhmille. Tuotestandardeja ollaan laatimassa prEN 16510-2 sarjassa. Niihin kirjoitetaan kunkin tulisijatyypin erityispiirteet ja yleisten asioiden osalta viitataan yleisosaan. Tuotekohtaiset osat ovat prEN 16510-2-1: Kiinteän polttoaineen kamiinat, prEN 16510-2-2: Takkasydämet, prEN 16510-2-3: Liedet, prEN 16510-2-4: Vesikierrolla varustetut huoneenlämmittimet, prEN 16510-2-5: Varaavat tulisijat ja prEN 16510-2-6: Pelletin polttolaitteet. Osa 16510-2 sarjan standardeista on julkaistu CENin toimesta jo maaliskuussa

2016, mutta niitä ei voi käyttää CE –merkintään, koska komissio ei ole julkaissut niitä EU:n virallisessa lehdessä. Komission nykyisen tulkinnan mukaan tuotestandardeihin ei enää saa laittaa esimerkkejä CE –merkistä tai suoritusasoilmoituksesta, ja näiden osalta on suunniteltu CENin teknisen raportin julkaisemista. Ongelmana kuitenkin on, että tekniset raportit eivät sido jäsenmaita mitenkään.

Saunan kiukaiden sisällyttämisestä uuteen standardiperheeseen on keskusteltu, mutta päätöstä ei ole tehty. Kiuasstandardin päivitys on joka tapauksessa käynnissä. Standardin päivitysvastuu on CEN TC 295/WG3:lla, jonka puheenjohtajuus ja sihteeristö ovat Suomella. Uutta standardiluonnosta laaditaan Suomen TC 295 seurantaryhmässä, jonka sihteerinä toimii Rakennustuoteteollisuus RTT. Tuotestandardit puuttuvat kokonaan mm. leivinuuneilta ja paikalleen muurattavilta uuneilta.

2. Päästömittausmenetelmät

Voimassaolevissa tuotestandardeissa on asetettu vaatimuksen päästöjen osalta ainoastaan häkäkaasulle (CO). EN 16510-1 sisältää päästöjen osalta testausmenetelmät CO:n lisäksi kokonaishiilivetytitoisuudelle (OGC), typen oksideille (NOx) ja hiukkasille (PM ja PME). Standardi ei kuitenkaan sisällä mitään raja-arvoja näille päästöille.

Hiukkasmittausten osalta EN16510-1 (liite F) sisältää välivaiheena kaksi erilaista menetelmää. Ensimmäisessä savukanavasta otetaan 30 minuutin pituinen näyte (3 min puun lisäämisestä lähtien) lämmitetylle suodattimelle eli määritetään ns. ”kuivien” hiukkasten (PM) massapitoisuus. Toisessa menetelmässä hiukkasnäyte otetaan ns. laimennustunnelista huoneenlämpötilassa eli menetelmässä hiukkasnäyte sisältää myös savukaasusta hiukkasfaasiin kondensoituvat orgaaniset yhdisteet (PME = PM + kondensoituvat). Näytettä kerätään koko panoksen ajan lisäyksestä hiillosvaiheeseen saakka.

NOx- ja OGC –menetelmät löytyvät myös CEN:in teknisestä spesifikaatiosta CEN/TS 15883, jonka TC 295 on päättänyt kumota. Kyseisen asiakirjan opastavassa liitteessä A on esitetty seuraavat hiukkasmittausmenetelmät: Saksalainen/itävaltalainen menetelmä, norjalainen menetelmä ja britannialainen menetelmä. Menetelmistä saksalainen/itävaltalainen menetelmä vastaa EN16510-1 standardin PM menetelmää ja norjalainen PME-menetelmää. Britannialainen menetelmä ei ole enää käytössä EN16510-1 standardissa. Sen sijaan CEN/TS 15883 menetelmissä käytettävät polttolaitteiden testaustavat poikkeavat erityisesti norjalaisen menetelmän osalta. Norjassa polttolaitteet testataan NS 3058 ja NS 3059 mukaisesti ja polttotapa poikkeaa merkittävästi Keski-Euroopassa käytetyistä menetelmistä.

CEN TC 295 on kehittämässä uutta EN-PME-hiukkasten mittausmenetelmää, joka tulisi jatkossa kaikkien polttolaitteiden testaukseen. Menetelmä on esitelty asiakirjassa CEN/TC 295/WG5 N221 ja on PM menetelmästä kehitetty edistyneempi versio. Tällä hetkellä on menossa vertailumittaukset olemassa olevien ja uuden menetelmän välillä. Suomen osuutena olisi tehdä vertailumittauksia varaavilla uuneilla ja saunankiukailla, mutta rahoitusta hankkeelle ei ole eikä mittauksia ole tehty. Uutta menetelmää on aikomus käyttää tulevaisuudessa myös kiinteällä polttoaineella lämmitettävien kattiloiden hiukkasten mittaamiseen.

Itä-Suomen yliopistossa on kehitetty pienhiukkasten mittausmenetelmä, joka soveltuu kaikenlaisten polttoprosessien mittaamiseen. Menetelmä on kirjoitettu

standardiluonnokseksi, joka on parhaillaan TC 295 kansallisen seurantaryhmän käsittelyssä. Menetelmä on joustava eli soveltuu sekä reaaliaikaisten että jaksottaisten näytteiden keräämiseen, soveltuu sekä pienille että suurille pitoisuuksille, soveltuu sekä lyhytaikaiseen että pitkäaikaiseen näytteenottoon, mahdollistaa hiukkasten kokoluokittelun ja on laimentava eli ottaa huomioon myös kondensoituvat orgaaniset yhdisteet. Menetelmällä on tyypillisesti mitattu reaaliaikaisesti hiukkasten lukumäärä- ja massapitoisuutta, kokojakaumia ja mustahiilipitoisuutta ja jaksottaisilla keräyksillä hiukkasten massaa ja kemiallista koostumusta (OC, EC, PAH-yhdisteet).

3. Polttolaitteiden testaus ja päästöt

Kiukaiden testaus. EN 15821 mukaisesti testaaminen tapahtuu saunahuoneessa, jonka kokoa voidaan muuttaa. Menetelmä vastaa sähkökiukaiden testausta, josta on Suomessa pitkä kokemus. Laittevalmistaja ilmoittaa tilavuusvälin, jonka kokoiseen saunaan kiuas on tarkoitettu. Kiukaalla tehdään turvallisuustesti saunan minimikooilla ja nimellistehotesti tilavuuden maksimikooilla. Nimellistehotesti kuvaa tilannetta, jossa sauna lämmitetään saunomisvalmiuteen.

Poltto toistetaan kahdesti ja testin tulos on näiden rinnakkaiskokeiden keskiarvo. Polttokoe jakaantuu sytytykseen ja varsinaiseen polttoon. Sytytyspanos (500 g tai max 10 % polttoainemäärästä) sytytetään ensin, jonka jälkeen välittömästi lisätään ensimmäinen varsinainen panos tulipesään ja aloitetaan mittaukset. Muuten kiuasta käytetään valmistajan käyttöohjeiden mukaisesti. Kiukaassa poltetaan käyttöohjeen mukainen polttoainemäärä jaettuna ohjeen mukaisiin panoksiin. Panosten lisäys tapahtuu käyttöohjeen mukaisesti. Yhden panoksen koko ei saa olla pienempi kuin 20 % puiden kokonaispainosta. Polttoaineena on koivu, pyökki tai valkopyökki ja polttoaineen kosteuden on oltava välillä 12–20 %. Veto pidetään keinotekoisesti vakiona koko polton ajan ja sen on oltava vähintään -12 ± 1 Pa (ja valmistajan ilmoittaman mukainen). Saunan lämpötilan on noustava nimellistehotestissä 90 °C lämpötilaan ja turvallisuustestissä 110 °C lämpötilaan ilmanvaihdon ollessa 6 kertaa saunan tilavuus tunnissa. CO –pitoisuus ja hyötysuhde määritetään koko polton ajalta nimellistehotestin aikana. CO –pitoisuusraja on 1 % ja hyötysuhteraja 50 %. Hyötysuhteen määrittäminen perustuu savukaasumittauksiin, mutta on laskennallinen. Koneellista vetoa käytettäessä puumäärän valinnalla ja savukanavan vedolla on suuri vaikutus lopputulokseen. Koneellinen veto mahdollistaa kuitenkin standardien peruseriaatteen eli testien vertailukelpoisuuden, vaikka eri kiukaiden tulokset eivät olekaan päästöjen osalta keskenään vertailukelpoisia. Kansallisen soveltamisstandardin SFS 7021 mukaisesti tulisijan normaalikäytön testissä määriteltyä keskilämpötilaa ei voi käyttää savupiipun mitoituslämpötilana, vaan se tulee perustua käyttöturvallisuustestin korkeimpaan savukaasulämpötilaan.

Muiden laitteiden testaus. Muiden tulisijojen testaus menee hyvin pitkälle samalla kaavalla kiukaiden testauksen kanssa. Mittaukset tehdään erillisessä laboratoriotilassa (ei saunassa). Varaavien tulisijojen osalta mitataan lisäksi uunin hetkellistä lämmönluovutusta polton aikana ja sen jälkeen. Polttoainepanoksen saa jakaa enintään 5 erilliseen panokseen ja sytytyspanosta ei käytetä. Kamiinoiden testauksessa polttoainemäärä valitaan laittevalmistajan ilmoittaman nimellistehon mukaisesti ja turvallisuustestissä tulipesän pohjan pinta-alaan perustuen. Päästö määritetään samalla tavalla kuin varaavilla uuneilla ja kiukailla,

mutta päästömittaukset tehdään tasaisen palamisen aikana. Sytytysvaihe ei siis tule mukaan tuloksiin. Hyötysuhde määritetään kaikissa tuotestandardeissa samalla tavalla. Nk. norjalainen menetelmä (NS 3058 ja NS 3059) poikkeaa merkittävästi muista testausmenetelmistä. Menetelmässä poltetaan 49 × 49 mm sahapuuta (kuusi, kosteus 16–20 %) ristikkäin tulipesään asetettuna ja mittaus toistetaan neljällä eri palamisnopeudella.

Päästöihin vaikuttavat tekijät. Polttolaitteiden testaus- ja mittausmenetelmiä on verrattu Taulukossa 1. Menetelmillä on hyviä ja huonoja puolia. Kuumasta kaasusta mitattaessa hiukkaspitoisuudet ovat selvästi pienempiä kuin laimennetusta kaasusta mitattaessa. Lyhyt näyte keskeltä polttoa lämmitetystä laitteesta ei kuvasta laitteen todellisia päästöjä, mutta antaa vertailukelpoisen kuvan eri laitteiden päästöistä samoissa olosuhteissa. Testien tekeminen eri tehoalueilla kuvastaa kamiinoiden toimintaa kitupoltosta tehokkaaseen polttoon, mutta ei välttämättä vastaa käytännön olosuhteita varsinkaan Suomessa. Testit sahatuilla puupalikoilla eivät vastaa todellisuutta. Eri puulajeilla (pyökki vs. koivu, M. Kortelaisen väitöskirja 2019; koivu vs. kuusi, KIUAS –hanke) ja puun kosteuksilla (KIUAS –hanke) saadaan erilaisia hiukkaspitoisuustuloksia ja vieläpä siten, että päästöt vaihtelevat eri tavalla eri puulajeilla eri polton vaiheissa. Vertailukelpoisia ja todenmukaisia tuloksia saadaan kiukailla, kun testit tehdään todellisessa saunassa, polttoainemäärä vakioidaan, poltto tehdään käyttöohjeen mukaisesti, veto-olojen annetaan kehittyä luonnollisesti ja päästöt mitataan koko polton ajalta sytytyksestä hiillosvaiheeseen asti laimennetusta savukaasusta.

Esimerkki näytteenottomenetelmän vaikutuksesta hiukkaspitoisuuksiin. Todelliseen hiukkaspitoisuuteen vaikuttaa siis polttotavan lisäksi hiukkasten näytteenottotapa ja näytteen keräysaika (Taulukko 1, Kuvat L12 ja L13). Kuvassa L12 on esitetty todellinen hiukkaspitoisuus savukaasussa ja eri mittausmenetelmillä saatavat hiukkaspitoisuudet (esimerkinomaisesti). Todellinen hiukkasmassa koostuu mustahiilihiukkasista (BC), hiukkasmaisesta orgaanisesta aineesta (POM), pienhiukkastuhkasta ja karkeasta pohjatuhkasta, jota saattaa kulkeutua piippuun virtausten mukana. Pohjatuhkan määrä savukaasussa riippuu täysin savukanavien pituudesta ja virtausnopeuksista. Pohjatuhkan hiukkaskoko on >1 µm. PM_{2.5} on tyypillisesti 1–2 % suurempi kuin PM₁, ja PM₁₀ 3–5 % suurempi kuin PM₁, mutta polttolaitteen olosuhteet vaikuttavat osuuksiin.

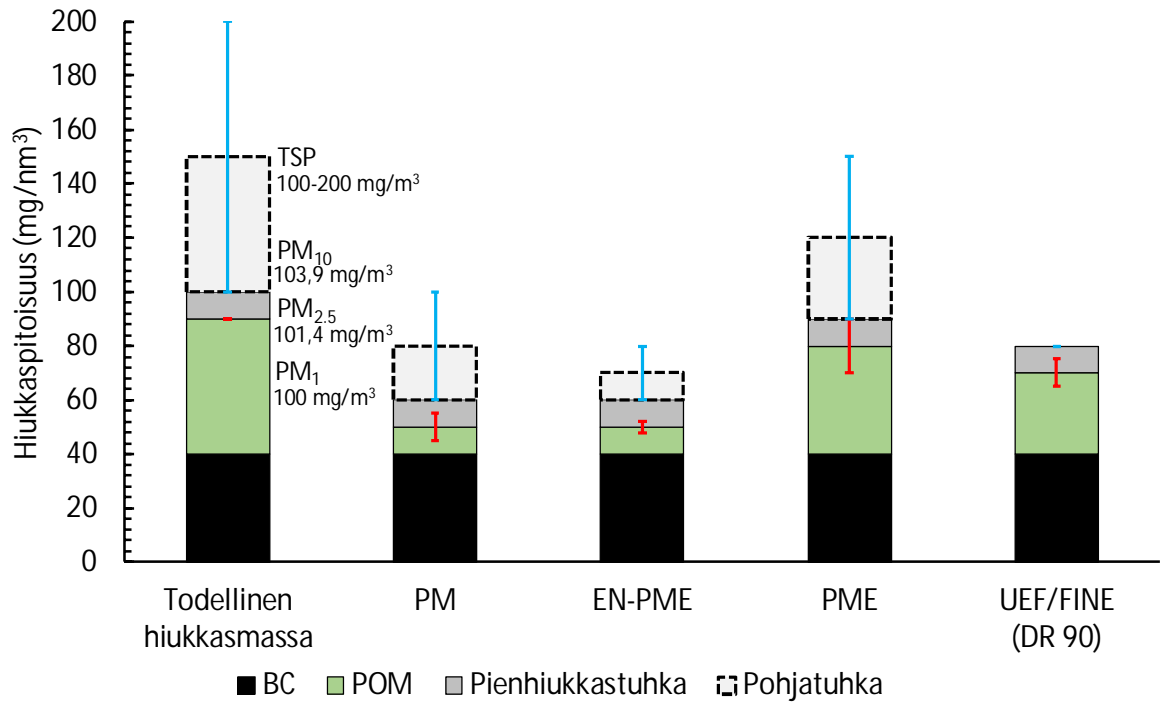
Kuumasta kaasusta PM menetelmällä mitattaessa mustahiili- ja pienhiukkastuhka saadaan näytteeseen lähes kokonaisuudessaan, mutta osa orgaanisista hiukkasista jää kerääntymättä suodattimelle ja osa satunnaisesti savukaasussa esiintyvistä pohjatuhkahiukkasista tulee näytteeseen mukaan.

Kuumasta kaasusta EN-PME menetelmällä mitattaessa pohjatuhkahiukkasia kerääntyy vähemmän (hajonta pienenee) ja orgaanisten hiukkasten mittauksen hajonta pienenee (tasaiset lämpötilat).

Laimennustunnelista PME-menetelmällä mitattaessa orgaaniset hiukkaset saadaan mitattua lähes kokonaisuudessaan (pieni laimennussuhde), mutta satunnaisesti esiintyvistä pohjatuhkahiukkasista voi aiheutua hajontaa tuloksiin.

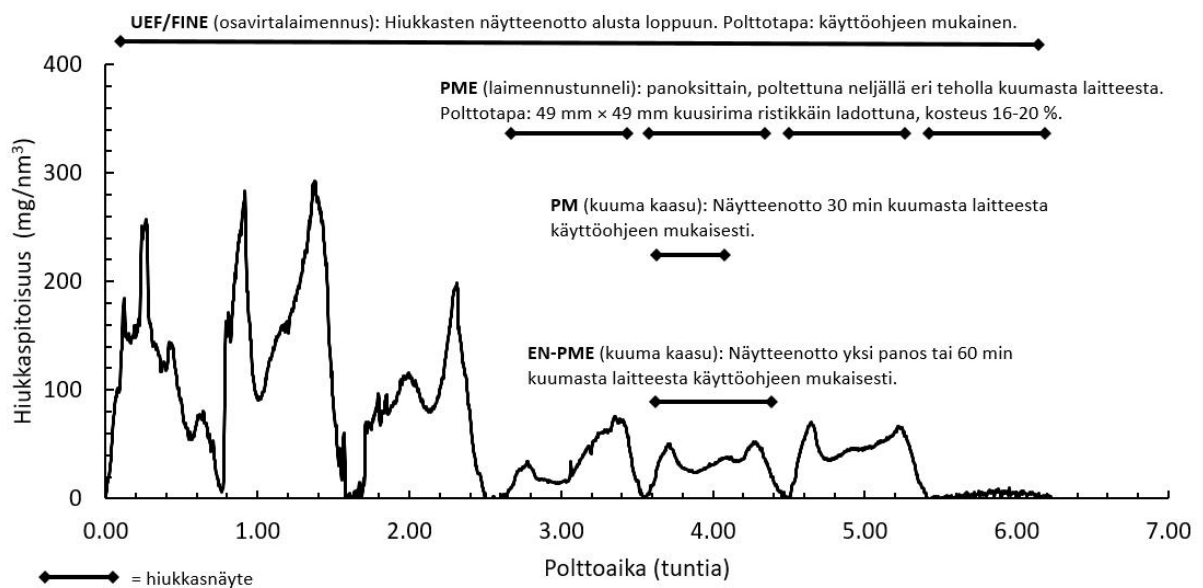
Itä-Suomen yliopiston menetelmässä (UEF/FINE) laimennussuhde on korkeampi (KIUAS –mittauksissa 90) kuin PME:ssä, joten osa orgaanista hiukkasista jää kerääntymättä

suodattimelle. Näytteenotto on kuitenkin lähes häviötön ja karkeat tuhkahiukkaset saadaan jätettyä pois hiukkasnäytteestä, jolloin tuloksista saadaan toistettavia ja hajonta on pieni.



Kuva L12. Todellinen hiukkaspitoisuus savukaasussa ja siihen vaikuttavat tekijät.

Kuvassa L13 on esitetty savukaasun pienhiukkasten massapitoisuus polttoajan funktiona. Vaakaviivat kuvastavat hiukkasnäytteiden keräysaikaa. Kuten kuvasta huomataan, eri menetelmät eivät ole vertailukelpoisia keskenään.



Kuva L13. Pienhiukkaspitoisuus savukaasussa polton aikana ja eri menetelmien näytteenottoajat.

4. Vapaaehtoiset ympäristömerkit

Joutsenmerkki eli Pohjoismainen ympäristömerkki voidaan myöntää tulisijalle, jossa poltetaan kiinteää biopolttoainetta. Tällaisia ovat kamiinat, uunit, varaavat uunit, takkasydämet ja saunankiukaat. Joutsenmerkkiä voi hakea tulisijan valmistaja, maahantuojaja tai jälleenmyyjä tekemällä hakemuksen Ympäristömerkinnälle. Merkin saamisen kriteeristö on laaja huomioiden mm. päästöt, hyötysuhteen, materiaalit ja käyttöohjeet (<http://joutsenmerkki.fi/kriteerit/tulisijat/>). Kriteerit ovat määräaikaista ja uusiutuvat muutaman vuoden välein. Seuraava uusinta on tulossa 30.6.2022. Kriteerien yhteydessä on esitetty, minkä standardien ja ohjeiden perusteella vaatimusten täyttyminen osoitetaan ja rinnakkain voi olla useita menetelmiä ja raja-arvoja esimerkiksi hiukkaspäästöille. Kriteereihin on myös kohtuullisen helppo lisätä uusia menetelmiä ja niihin perustuvia raja-arvoja päivitysten yhteydessä, kunhan ne on luotettavasti määritelty.

Allergiatunnus (www.allergiatunnus.fi) kertoo tuotteesta, joka täyttää tarkat tuotekohtaiset vaatimuskriteerit ja allergianäkökulman. Allergiamerkin saamisen edellytyksenä on hakemus ja tulisijan ominaisuuksien selvitys, josta ilmenee tarkat puolueettomat tutkimustulokset ja tiedot teknisistä ominaisuuksista, materiaalitiedot, käyttöohjeet ja esitteet. Tulisijojen tulee alittaa CO-, OGC- ja hiukkaspäästöille sekä hyötysuhteelle asetetut rajat. Mikäli hakemus läpäisee asiantuntijakäsittelyn, tehdään allergiatunnuksen käyttöoikeussopimus, joka on voimassa kerrallaan kaksi vuotta ja antaa tuotteille rajattoman Allergiatunnuksen käyttöoikeuden.

Euroopassa on käytössä erilaisia ympäristömerkkejä. Näitä ovat mm. Ruotsissa P-merkki, Saksassa DIN+ ja Itävallassa Umweltzeichen 37.

5. Päästörajat

Vaikka tuotestandardeissa ei kaikkia päästöjen mittaustapoja ole esitettykään, eri maissa on erilaisia päästövaatimuksia (Taulukko 2). Hiilivedyt on mitattava Ruotsiin ja Itävaltaan myytävistä laitteista. Hiukkaspäästöjen mittaamista vaaditaan useissa maissa. PM tyyppinen menetelmä on käytössä mm. Saksassa, Itävallassa ja Iso-Britanniassa. Laimennustunneli (PME) on käytössä mm. Norjassa ja hyväksytään myös vaihtoehtoiseksi menetelmäksi Tanskassa ja Iso-Britanniassa. Suomessa ei ole vaatimuksia tulisijojen päästöille. Terveysviranomaiset voivat rajoittaa polttamista STTV:n ohjeen perusteella, mikäli haitta voidaan todeta. Kansalliset päästörajat vaihtelevat siis eri maissa ja jopa osavaltioittain ja niissä ei välttämättä ole kerrottu, miten hiukkasia on mitattava. EcoDesign –regulaatiossa kuvataan sekä PM että PME menetelmä, mutta suoraa viittausta standardeihin ei ole. Lisäksi hyväksytään myös ”vastaavat” muut menetelmät. Direktiivi luo puitteet asettaa ekosuunnitteluvaatimukset energiaan liittyviin tuotteisiin. Tavoitteena energiatehokkuuden parantaminen ja tuotteiden ympäristövaikutusten vähentäminen niiden elinkaaren aikana. Päästövaatimusten osalta keskustelua on käyty myös siitä, että päästösäätelyä tulee sekä rakennustuoteasetuksen että ekosuunnitteludirektiivin kautta ja säätely ei välttämättä ole yhtenevä.

Taulukko 1. Eri testaus- ja päästömittausmenetelmien vertaailu.

Menetelmät	Polttopuu- ja -tapa*	Veito	Huikkasten mittaus	Kaasujen mittaus	Muut
Takat ja kamiinat, kuuman kaasun mittaus	EN 13240, CEN/TS 15883, EN16510-1	12-20 % kovu, pyökki tai valkopyökki. Poltto käyttöohjeen mukaisesti. Puunäärä tehon mukaisesti.	Lämmitystä uunista, 30 min näyte, 3 min lisäyksestä	Sama kuin huikkaset	
Varaavat tulisijat, kuuman kaasun mittaus	EN 15250, CEN/TS 15883, EN16510-1	12-20 % kovu, pyökki tai valkopyökki. Poltto käyttöohjeen mukaisesti.	Toisesta panoksesta eteenpäin, 30 min näyte, 3 min lisäyksestä	Koko poltto	
Tulisijat, kuuman kaasun mittaus	CEN/TC 295/WG5 N221	Sama kuin ed.	Koko jakso (max 60 min), heti lisäyksestä.	Sama kuin huikkaset	
Kiukaat, kuuman kaasun mittaus	EN 15821, CEN/TS 15883, EN16510-1	12-20 % kovu, pyökki tai valkopyökki. Pieni syytyspanos, jonka jälkeen poltto käyttöohjeen mukaisesti.	Lämmitystä uunista, 30 min näyte, 3 min lisäyksestä	Koko poltto	Ilmanvaihtokerron 6, saunan lämmettävä 90 °C lämpötilaan
Kamiinat, laimennustunneilla	NS 3058/9 ja NS 3059	49 x 49 mm kuusirima (kosteus 16 - 20 %) Vakioladonta (kappien väli 10 mm) ja poltto neljällä eri lehoasutuksella.	Koko jakso. Tulos neljän eri tehoalueen keskiarvona	Sama kuin huikkaset	
KIUS -hankkeen mittauskonsepti, laimennettu näyte	KIUS -mittauskonsepti, kansallinen pienhuikkasten panokset. mittaustandardiehdotus	Kuiva kovu. Vakio polttoainemäärä. Vakio polttopuuta ja polton edetessä.	Kaikki panokset syytyksestä hiilokseen. 1 min syytyksestä. Lisäyksen alajata jätetään 2 min pois. Mitataan pienhuikkaset!	Sama kuin ed.	Ilmanvaihtokerron 3, ei saunan tilavuus. Tehon mukaisesti luokiteltiin.
KIUS -pienhuikkastunus, laimennettu näyte	Päivitetty KIUS -mittauskonsepti	Kuiva kovu. Vakio polttoainemäärä. Syytys ja polttopuuta muuten käyttöohjeen mukainen.	Sama kuin ed.	Sama kuin ed.	Sama kuin ed.

*puun kosteus, puulaji ja polttopuuta vaikuttavat merkittävästi huikkaspiroisuuksiin.

Taulukko 2. Takoille ja kiukaalle asetettuja huikkasten raja-arvoja ja niiden testimenetelmät. Vahvennetun esitetty raja-arvo ja vinoilla vahvennettämättöminä raja-arvoista laskettu laskennallinen arvo.

	mg/m ³ , 13% O ₂	mg/MI	g/kg	Testi/mittausmenetelmä
Art. 15a B-VG (Itävalta)	90	60	1,11	EN 13240
1-Bimsch Stufe 2, Saksa	40	27	0,50	EN 13240
1432/2007, Tanska	30	20	0,37	EN 13240 / DIN +
P-merkki, Ruotsi	100	67	1,24	EN 13240
DIN+, Saksa (kamiinat)	40	27	0,50	DIN EN 13240
DIN+, Saksa (varaavat takat)	75	50	0,93	DIN EN 15250
Umweltzeichen 37, Itävalta	45	30	0,56	EN 13240
Joutsenmerkki (varaavat takat)	50	34	0,62	EN 15250 / CEN TS 15883
Joutsenmerkki (kiukaat)	120	80	1,49	EN 15883 / CEN TS 15883
1432/2007, Tanska	322	216	4	NS 3058/9
SBE 2007, Norja	403	270	5*	NS 3058/9
SBE 2007, Norja	807	541	10**	NS 3058/9
Joutsenmerkki (kamiinat)	161/403	108/270	2/5***	NS 3058/9
Allergia-tunus (takat)	75			
Allergia-tunus (kiukaat)	100			
EcoDesign	40		5	Ei määritelty
Kiuas- hankkeen vaihteluväli	56-392	38-263	0,7-4,9	KIUS -hankkeen mittauskonsepti

*katalyyttitakat (4 tehon keskiarvo), **muut takat (kullakin yksittäisellä tehoalueella), ***kamiinat (eri tehojen keskiarvo / jokaisella tehoalueella erikseen). Kiuas-hankkeessa mitattiin pienhuikkaset.

6. Yhteenveto

Polttolaitteiden testaaminen ja niihin liittyvä päästöjen mittaaminen on hyvin monimutkainen kokonaisuus, johon on vaikea löytää yhtä helppoa ratkaisua koko Eurooppaan. Tuotestandardien ongelmana on, että niiden päivittäminen on erittäin hidasta ja kaikille sopivaa ratkaisua on hyvin usein vaikea löytää. Euroopan tasolla eri maissa on ollut käytössä monia erilaisia menetelmiä ja ne näkyvät edelleen sekä normeissa että erilaisissa ympäristömerkeissä. Pitkään käytössä olleista menetelmistä on vaikea luopua. Suurena lähtökohtaisena ongelmana on ollut, että testausstandardeja ei ole alun perin luotu kuvaamaan todellisia päästöjä, joiden vähentämistä esimerkiksi lainsäätäjä tavoittelee. Kiukaiden osalta järkevin tapa olisi edetä muokkaamalla kiukaiden tuotestandardista mahdollisimman realistinen, lisäämällä standardiin pienhiukkasten mittausvelvoite, mutta pitämällä standardi erillään EN 16510 standardiperheestä, jolloin raja-arvot olisi mahdollista asettaa järkevästi ja kiukaita olisi mahdollista kehittää ympäristöystävällisemmiksi Euroopan tasolla, kansallisesti ja erilaisten ympäristömerkkien osalta. Kiuashankeen testimenetelmä tulisi kuvata sellaisella tarkkuudella, että sitä voisi käyttää esim. Joutsenmerkin testausmenetelmänä omine raja-arvoineen. Tämä mahdollistaisi myös mm. BC tai B(a)P –raja-arvojen asettamisen kiukaille.
