

# ITÄ-SUOMEN YLIOPISTO

YMPÄRISTÖ- JA BIOTIETEIDEN LAITOS

Pienhiukkas- ja aerosolitekniiikan laboratorio

PL 1627

70211 KUOPIO



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

## Warmhearth Oy "Sydänkiuas 30"

### Mittausraportti



**Jarkko Tissari**

SIMO-Raportti Nro 2022-04-01\_1

**1.4.2022**

UNIVERSITY OF EASTERN FINLAND

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL AND BIOLOGICAL SCIENCES

P.O.Box 1627, FIN-70211 KUOPIO, FINLAND

---

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>1</b>	<b>MITTAUSTEN SUORITUSPAIKKA JA TAVOITTEET</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>POLTTOKOKKEET</b>	<b>3</b>
2.1	Polttoaine	3
2.2	Polttotapa	3
2.3	Mittausmenetelmät	3
2.3.1	Pienpolttosimulaattori	3
2.3.2	Kaasujen mittaukset	4
2.3.3	Hiukkasmittaukset	4
2.3.4	Laskenta	5
<b>3</b>	<b>TULOKSET</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>HUOMAUTUKSET</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>KIRJALLISUUS</b>	<b>7</b>

---

## 1 MITTAUSTEN SUORITUSPAIKKA JA TAVOITTEET

Mittaukset (SIMO-Nrot 508-510) tehtiin 28.2.-1.3.2022 Itä-Suomen yliopiston Pienpolttosimulaattori - tutkimusyksikössä (<https://sites.uef.fi/fine/front-page/simo/>) Kuopiossa. Mittauksen vastuuhenkilönä oli Jarkko Tissari. Testien tavoitteena oli selvittää Sydänkiuas 30 -kiukaan päästötasoja ja toimintaa.

## 2 POLTTOKOKEET

### 2.1 POLTTOAINE

Polttoaineena kokeessa käytettiin koneellisesti kuivattua koivuklapia (pituus n. 30 cm), jonka kosteusprosentti oli keskimäärin 13,8 %.

### 2.2 POLTTOTAPA

Savuhormin veto oli testeissä ensimmäiset viisi minuuttia 6 Pa, jonka jälkeen veto pidettiin koneellisesti 12 Pa:ssa koko testin ajan. Kussakin testissä poltettiin kaksi 3 kg panosta. Ensimmäinen panos koostui kolmesta n. 500 g klapista, kolmesta n. 250 g klapista, neljästä n. 125 g klapista sekä 250 grammasta pienempiä tikkuja (7 kpl). Polttopuut ladottiin ensimmäisessä panoksessa väljästi, suurimmat puut alle, pienimmät päälle. Toinen panos koostui kuudesta n. 500 g klapista, jotka ladottiin tiiviisti vastakkain. Sytytys tapahtui päältä kahdella n. 25 g puu/parafiini sytytyspalalla. Tuhkaluukku oli 30 mm auki koko polton ajan. Polttoaineen lisäykset tehtiin, kun CO<sub>2</sub> -pitoisuus oli noin 4 %. Päästöjen mittaus lopetettiin, kun CO<sub>2</sub> -pitoisuus oli noin 4 %. Poltossa 1 tuhkalaatikon takailma oli auki. Poltossa 2 tuhkalaatikon takailma oli kiinni. Poltossa 3 tuhkalaatikon takailma oli noin puolet auki.

### 2.3 MITTAUSMENETELMÄT

#### 2.3.1 Pienpolttosimulaattori

SIMO-pienpolttosimulaattori on rakennettu kahteen merikonttiin. Mittauskontissa on testauspaikka varaaville tulisijoille, mittalaitteet ja niiden valvonta, sekä hallinta- ja tiedonesitysjärjestelmä. Saunakontissa on saunatila, jonka tilavuutta voidaan muuttaa kiukaan vaatimusten mukaisesti. Tutkimusympäristö soveltuu lähes kaiken tyyppisten takkojen ja kiukaiden testaamiseen. SIMO-pienpolttosimulaattori ei ole akkreditoitu testauslaboratorio, mutta testaus ja mittaukset tapahtuvat

---

lähes vastaavissa olosuhteissa. Päästökomponentteja mitataan monipuolisemmin kuin sertifiointitesteissä vaaditaan ja näin ollen mittaustulosten perusteella voidaan tarkemmin analysoida laitteen toimintaa ja mahdollisia kehitysratkaisuja.

### 2.3.2 Kaasujen mittaukset

Pienpolttosimulaattorissa voidaan suorittaa savukaasun pitoisuuksien mittaaminen jatkuva-toimisilla mittalaitteilla (tässä mittauksessa käytetyt menetelmät **vahvennettuna**):

- happi (O<sub>2</sub>) (Siemens, ULTRAMAT 23)
- **hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>) (Siemens, ULTRAMAT 23)**
- **häkä (CO) (Siemens, ULTRAMAT 23)**
- **typpimonoksidi (NO) (Siemens, ULTRAMAT 23)**
- **kaasumaiset hiilivedyt (THC, kokonaismäärä, FID) (Siemens, FIDAMAT)**
- **haihtuvat orgaaniset hiilivedyt (VOC:t, yksittäiset yhdisteet eriteltyinä; Fourier Transform Infrared Spectroscopy, DX4000, Gaset Oy)**

### 2.3.3 Hiukkasmittaukset

Hiukkasmittaukset tehdään laimennetusta savukaasusta, mikä antaa luotettavimman mahdollisen tuloksen määrittäessä hiukkaspitoisuuksia polttoprosessien savukaasuista. Laimennukseen käytetään huokoisen putken laimenninta ja ejektorilaimenninta. Laimennusilmana käytetään puhdasta ja kuivaa ilmaa. Laimennuksen määrä (laimennuskerroin) lasketaan savukaasun ja laimennetun näytteet CO<sub>2</sub>-pitoisuuksista (Tissari ym., 2019a).

Hiukkasista mitataan seuraavia asioita (tässä mittauksessa käytetyt menetelmät **vahvennettuna**, suluissa mittausmenetelmä):

- hiukkasten lukumäärä (**CPC ja ELPI**), jatkuvatoiminen (Condensation Particle Counter, Model 3775, TSI Inc; Electrical Low Pressure Impactor, Dekati Oy)
- hiukkasten lukumääräkokojakauma (**ELPI**), jatkuvatoiminen
- mustahiilipäästö (BC) ja Ångström exponentti (AAE), (**AE33-7**) jatkuvatoiminen (Aethalometer, AE33-7, Magee Scientific)
- **PM<sub>2.5</sub>-hiukkaspitoisuus (suodatinkeräys)**
- PM-pölypitoisuus (suodatinkeräys, laimentamaton lämmitetylle suodattimelle)
- **PM<sub>1</sub>-pitoisuus** (laskennallinen, ELPI)
- Keuhkodepositioituva pinta-ala LDSA (**NSAM-analysaattori**, TSI Inc.)

Tuloksista esitetään mittauksen tavoitteiden kannalta oleelliset parametrit.

### 2.3.4 Laskenta

Raportissa esitetään tulokset koko polton keskiarvoina ja verrataan tuloksia tulisijojen Ecodesign direktiiviin ja rakennustuotedirektiiviin. Hyötysuhteen laskenta löytyy mm. standardeista SFS-EN 15250 ja SFS-EN 15821 ja päästölaskenta on tehty standardin SFS 5624 ja julkaisun Tissari ym., 2019 mukaisesti. Kaasu- ja hiukkaspitoisuudet on esitetty yksikössä mg/Nm<sup>3</sup> (13 % O<sub>2</sub>) kuivassa savukaasussa. Tämä tarkoittaa, että savukaasun happipitoisuus on normalisoitu 13 %:iin ja tilavuus on kuivassa kaasussa 0 °C:ssa ja normaali-ilmanpaineessa. Reaaliaikaisten hiukkas- ja kaasumittausten laskenta aloitettiin 1 minuutti sytyttämisestä, ja laskenta lopetettiin, kun hiilidioksidipitoisuus laski alle 4 %:n. Lisäyksen ajanhetkeltä reaaliaikaisista pitoisuusdatoista poistettiin 1 min ajanjakso. Suodatinkeräys hiukkasmassan gravimetrista määrittystä varten aloitettiin 1 minuutti sytyttämisestä, ja lopetettiin, kun hiilidioksidipitoisuus laski alle 4 %:n.

## 3 TULOKSET JA YHTEENVETO

Testien tulokset on esitetty seuraavassa taulukossa ja liitteenä (Liite 1) olevissa kuvissa. Keskimääräiset olosuhde- ja päästötulokset on esitetty Taulukossa 1. Polttoaika oli 72-76 minuuttia. Ilmakerroin oli 2,3-2,4 ja savukaasun keskimääräinen lämpötila noin 260 °C, joten hyötysuhteeksi saatiin 77-78 %. Sauna lämpeni noin 96 °C:een polttojen aikana. Tuhkalaatikon takailman määrällä ei ollut selkeää merkitystä polttoparametreihin.

Kaasupäästöjen osalta häkäpitoisuus vaihteli 1570 ja 2158 mg/m<sup>3</sup> välillä ja oli pienin, kun tuhkalaatikon takailma oli osin auki. Kauttaaltaan korkeimmat kaasupäästöt (erityisesti hiilivetyypäästöt) mitattiin poltossa, jossa tuhkalaatikon takailma oli kiinni. Hiilivetyjen osalta pitoisuudet olivat noin kaksinkertaiset verrattuna polttoon, jossa takailma oli auki. Voimassa olevaan kiasstandardiin verrattuna sekä hyötysuhde että häkäpitoisuus alittavat selvästi standardin vaatimukset.

Hiukkaspäästöjen osalta pienhiukkasten massapitoisuus vaihteli välillä 29,3 – 50,0 mg/m<sup>3</sup>. Korkein pitoisuus mitattiin, kun tuhkalaatikon takailma oli kiinni. Mustahiilipitoisuus vaihteli vähemmän kuin massapitoisuus ja oli korkein tilanteessa, jossa takailma oli osin auki. Vaikka mustahiilipitoisuus onkin kohtuullinen, näyttää siltä, että poltossa, jossa takailma oli kiinni, palamisilma ei ole ohjautunut yhtä

tehokkaasti tulipesään hiukkas- ja kaasupäästöjä hapettamaan, mikä on lisännyt kaasupäästöjä ja näkyy myös Ångströmxponentin korkeampana arvona. Ero hiukkasmassapitoisuudessa polttojen 1 ja 2 välillä johtuneekin suuremmasta orgaanisten hiukkasten määrästä poltossa 2. Lukumääräpitoisuudet olivat tyypillisiä pienpoltosta mitattavia pitoisuuksia ja korkeimmillaan muiden päästöjen osalta parhaimmassa tilanteessa eli poltossa 1.

Taulukko 1. Polttoaika, keskimääräinen veto, polttoaineen massavirta, laskennallinen hyötysuhde, keskimääräinen ilmakerroin sekä savukaasun keskimääräinen ja maksimilämpötila.

Parametri	Poltto 1	Poltto 2	Poltto 3	Yksikkö
Polttoaika	76,3	72,0	72,5	min
Veto	11,5	11,7	11,8	Pa
Polttoaineen massavirta	4,7	5,0	5,0	kg/h
Polttoainen kosteus	13,8	13,8	13,8	%
Teho	18,7	19,8	20,0	kW
Hyötysuhde	77,1	77,1	78,2	%
Ilmakerroin	2,4	2,3	2,3	-
Laimennuskerroin	89,9	89,9	90,0	-
Saunan normeerattu maksimilämpötila	95,7	97,2	97,0	(°C)
Savukaasun lämpötila	260	258	258	(°C)
Savukaasun maksimilämpötila	334	329	332	(°C)
Hiukkasten massapitoisuus (PM2.5)	29,3	50,0	33,0	mg/Nm <sup>3</sup> , 13% O <sub>2</sub>
Mustahiilipitoisuus (AE33)	18,6	23,2	26,8	mg/Nm <sup>3</sup> , 13% O <sub>2</sub>
Ångström exponentti (AE33)	1,2	1,4	1,3	mg/Nm <sup>3</sup> , 13% O <sub>2</sub>
Lukumääräpitoisuus (CPC)	1,9E+08	7,9E+06	3,0E+07	#/Ncm <sup>3</sup> , 13% O <sub>2</sub>
Lukumääräpitoisuus (ELPI)	7,7E+07	5,8E+07	3,1E+07	#/Ncm <sup>3</sup> , 13% O <sub>2</sub>
Häkäpitoisuus	2068	2158	1570	mg/Nm <sup>3</sup> , 13% O <sub>2</sub>
Typpimonoksidipitoisuus	74,4	68,5	71,8	mg/Nm <sup>3</sup> , 13% O <sub>2</sub>
Kokonaishiilivetyypitoisuus (propaani)	63,0	112,6	56,8	mgC/Nm <sup>3</sup> , 13% O <sub>2</sub>
Hiilidioksidipitoisuus	8,5	8,8	8,9	%
Metaanipitoisuus	43,5	47,7	32,9	mg/Nm <sup>3</sup> , 13% O <sub>2</sub>
Asetyleenipitoisuus	7,3	23,2	11,6	mg/Nm <sup>3</sup> , 13% O <sub>2</sub>
Etyleenipitoisuus	14,8	34,0	16,7	mg/Nm <sup>3</sup> , 13% O <sub>2</sub>
Propeenipitoisuus	24,1	39,5	20,9	mg/Nm <sup>3</sup> , 13% O <sub>2</sub>
1,3-butadieenipitoisuus	11,2	4,6	4,0	mg/Nm <sup>3</sup> , 13% O <sub>2</sub>
Bentseenipitoisuus	22,7	33,2	20,5	mg/Nm <sup>3</sup> , 13% O <sub>2</sub>
Etikkahappopitoisuus	38,5	81,4	55,3	mg/Nm <sup>3</sup> , 13% O <sub>2</sub>
Formaldehydipitoisuus	21,1	35,4	23,7	mg/Nm <sup>3</sup> , 13% O <sub>2</sub>
Asetaldehydipitoisuus	11,4	20,6	10,8	mg/Nm <sup>3</sup> , 13% O <sub>2</sub>

---

Tulisijojen Ecodesign vaatimukseen verrattuna häkäpitoisuus ylittää Ecodesign rajan (raja 1500 mg/m<sup>3</sup>) lievästi ja typen oksidien pitoisuus (raja NO:na noin 130 mg/m<sup>3</sup>) ja kokonaishiilivetyypitoisuus (raja 120 mg/m<sup>3</sup>) alittavat rajat, joskin polton 2 hiilivetyypitoisuus on lähellä raja-arvoa. Hiukkaspitoisuuden osalta mitattua PM<sub>2.5</sub>-pitoisuutta ei voi suoraan verrata raja-arvoon (40 mg/m<sup>3</sup>), mutta hyvin todennäköisesti raja olisi alittunut poltoissa 1 ja 3 ja ylittynyt poltossa 2.

#### **4 HUOMAUTUKSET**

Tämän asiakirjan osittainen kopiointi on kielletty ilman Itä-Suomen yliopiston lupaa. Yliopiston nimen käyttäminen markkinoinnissa on kielletty ilman erillistä lupaa. Raportti on lupa esittää yrityksen nettisivulla tai jakaa sähköisten järjestelmien kautta, kun se on ladattavissa kokonaisuudessaan. Päästölukuja voi käyttää DoC asiakirjassa yrityksen oman harkinnan mukaisesti. Tulokset pätevät ainoastaan tässä raportissa esitetyissä testausolosuhteissa ja käytetyillä mittaustekniikoilla.

#### **5 KIRJALLISUUS**

Tissari ym. 2019. Fine particle emissions from sauna stoves: Effects of combustion appliance and fuel, and implications for the Finnish emission inventory. *Atmosphere* 2019, 10, 775; doi:10.3390/atmos10120775.

SFS-EN 15250 Slow heat release appliances fired by solid fuel. Requirements and test methods. Suomen standardoimisliitto 2007.

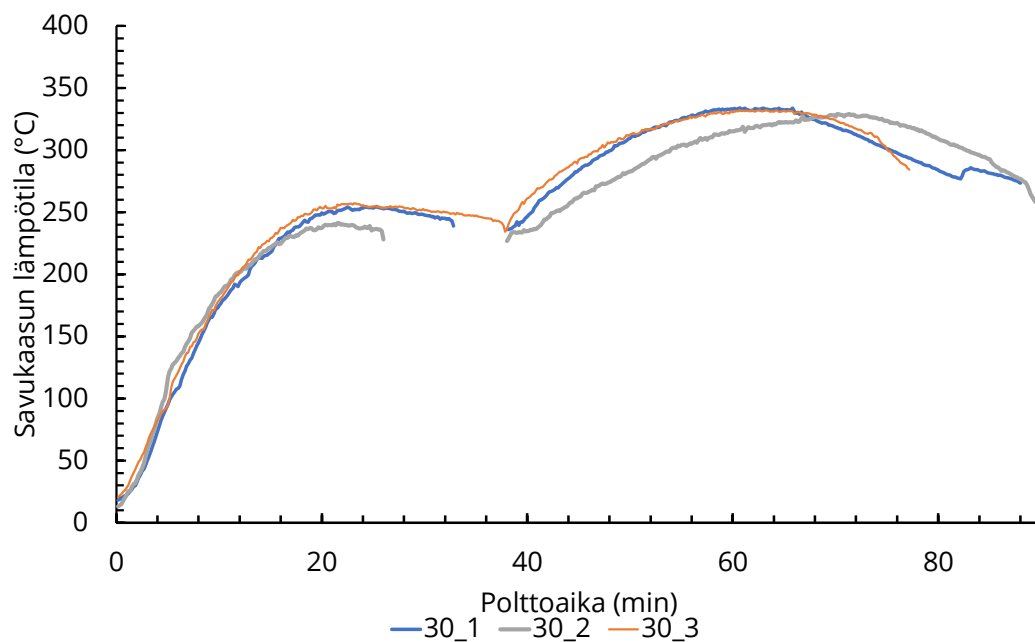
SFS-EN 15821 Jatkuvalämmitteiset saunan puukiukaat, vaatimukset ja testausmenetelmät. Suomen standardoimisliitto 2011.

#### **6 LIITTEET**

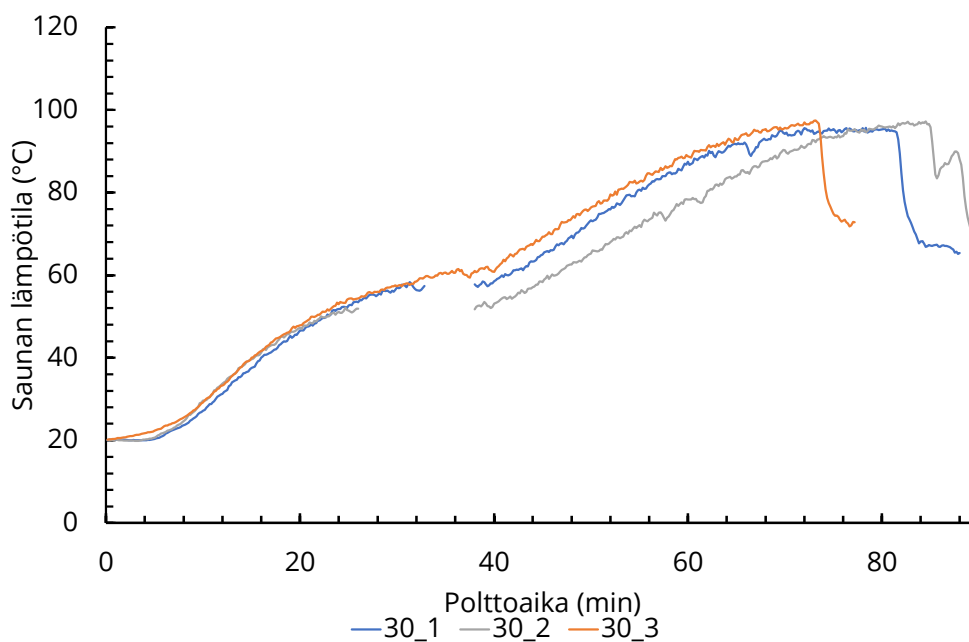
LIITE 1. Polttotestien raaliaikaisia laskenta- ja pitoisuuskäyriä.

### LIITE 1. Polttotestien raaliaikaisia laskenta- ja pitoisuuskäyriä.

Jokaisessa kuvassa on esitetty polttojen raaliaikaiset käyrät (Poltto 1 = 30\_1, Poltto 2 = 30\_2 ja Poltto 3 = 30\_3). Huomioi, että vertailun helpottamiseksi lisäyshetki on ajoitettu kaikissa poltoissa samaksi (n. 38 min -lyhemmissä poltoissa käyrä katkeaa 1. panoksen lopussa).

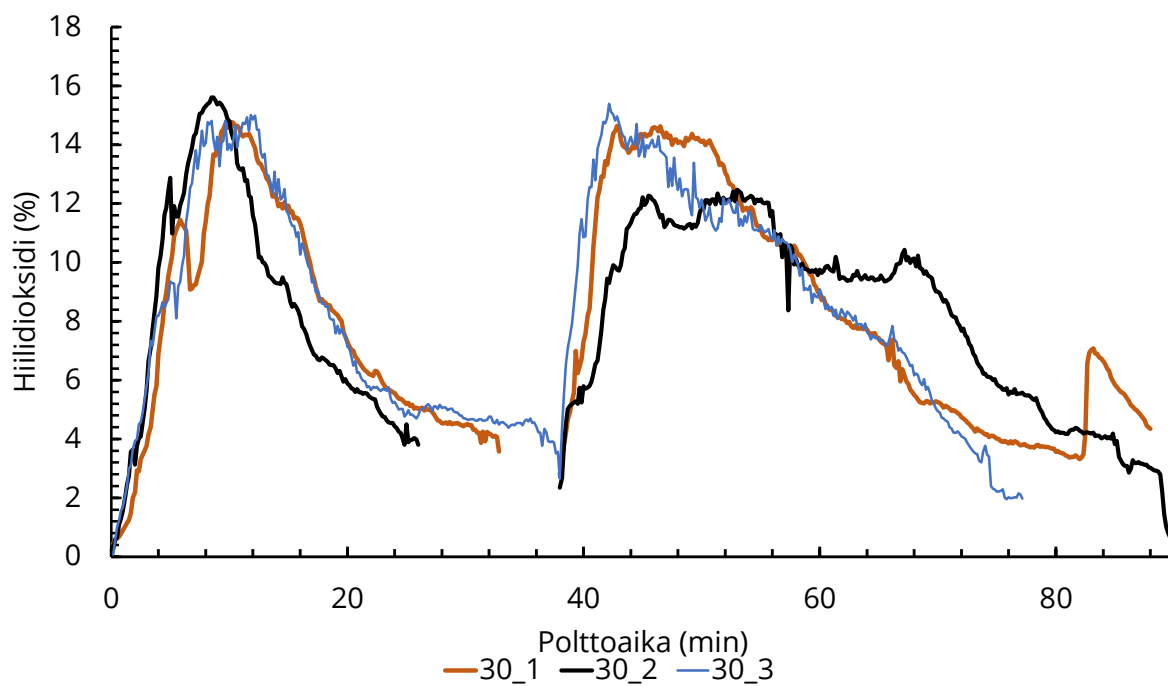


**Kuva 1.** Savukaasun lämpötilä.

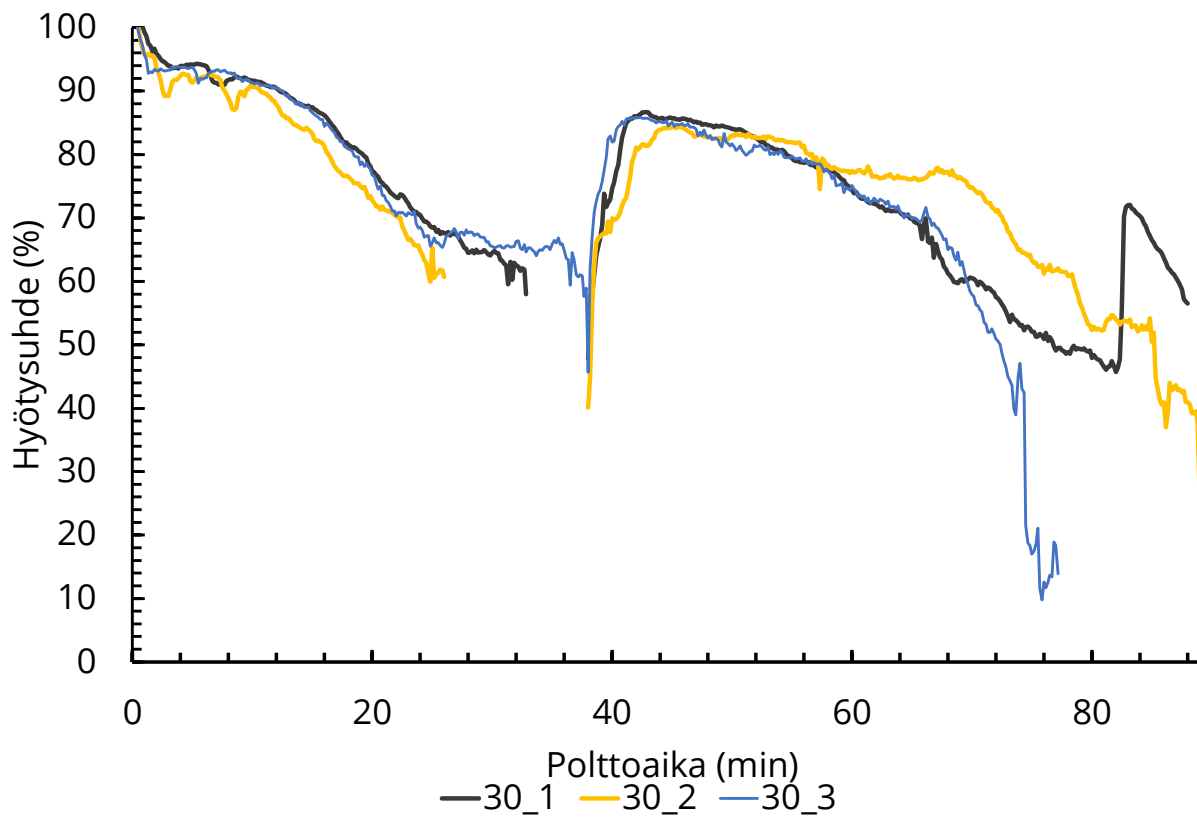


**Kuva 2.** Saunan normeerattu lämpötilä (lähtötilanne asetettu 20 °C :een).

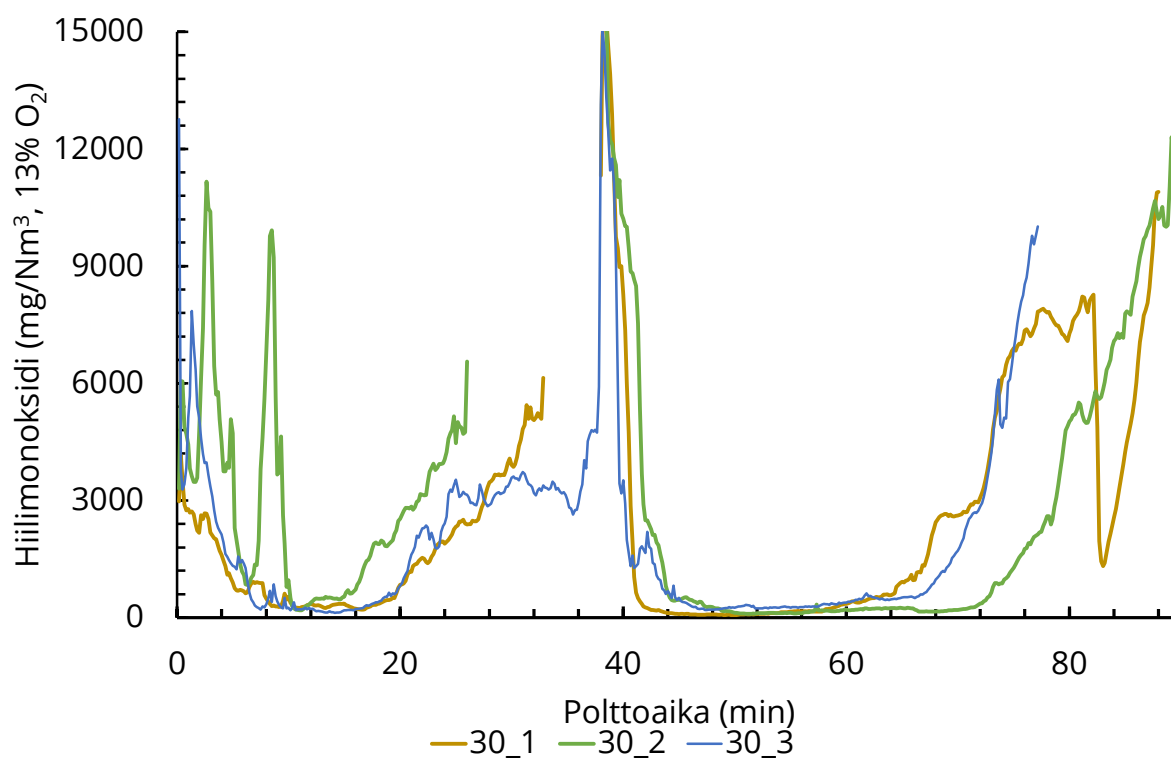




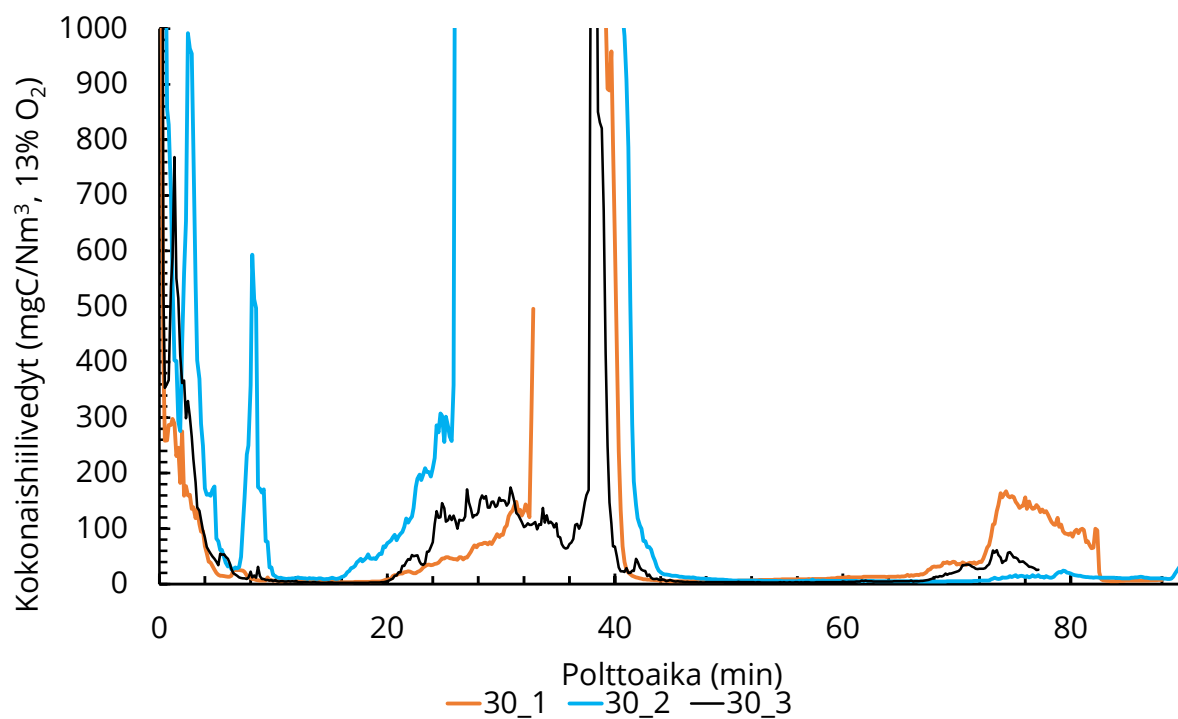
**Kuva 3.** Hiilidioksidipitoisuus.



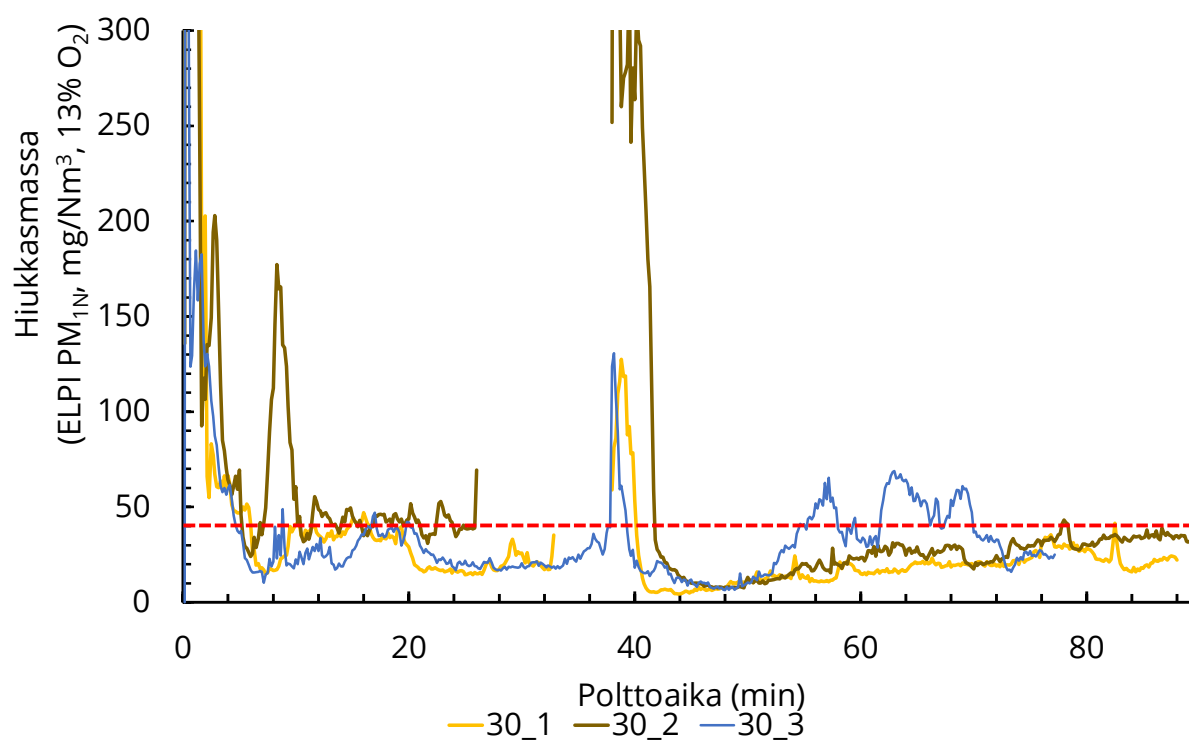
**Kuva 4.** Hyötysuhde.



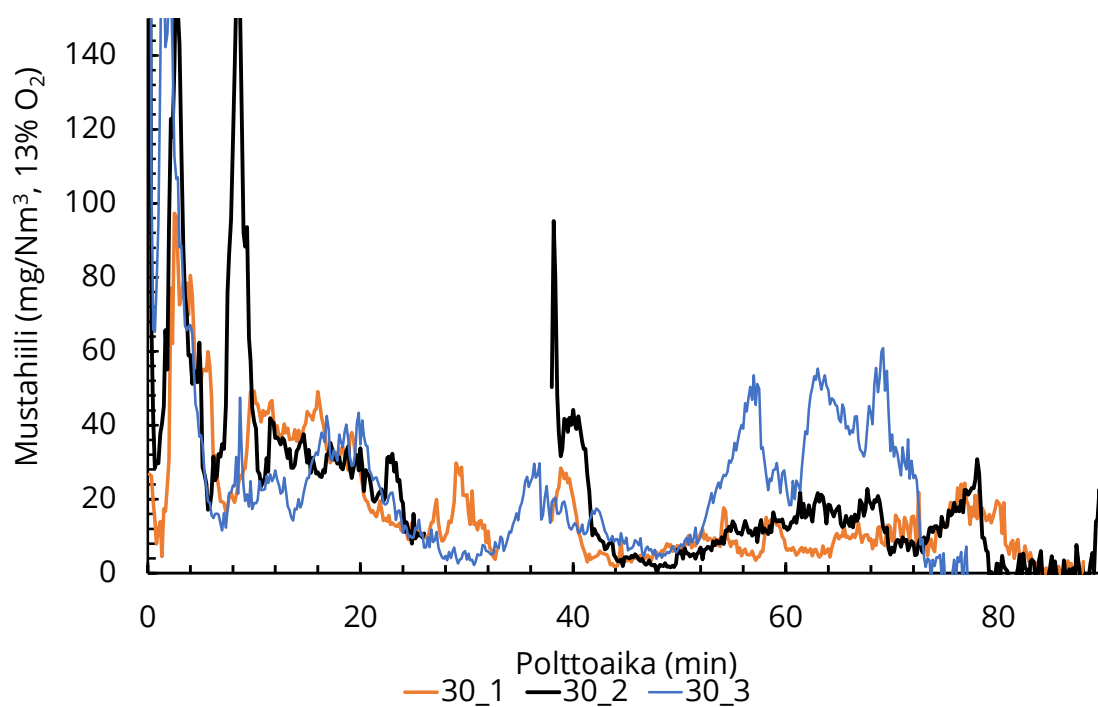
**Kuva 5.** Hiilimonoksidipitoisuus.



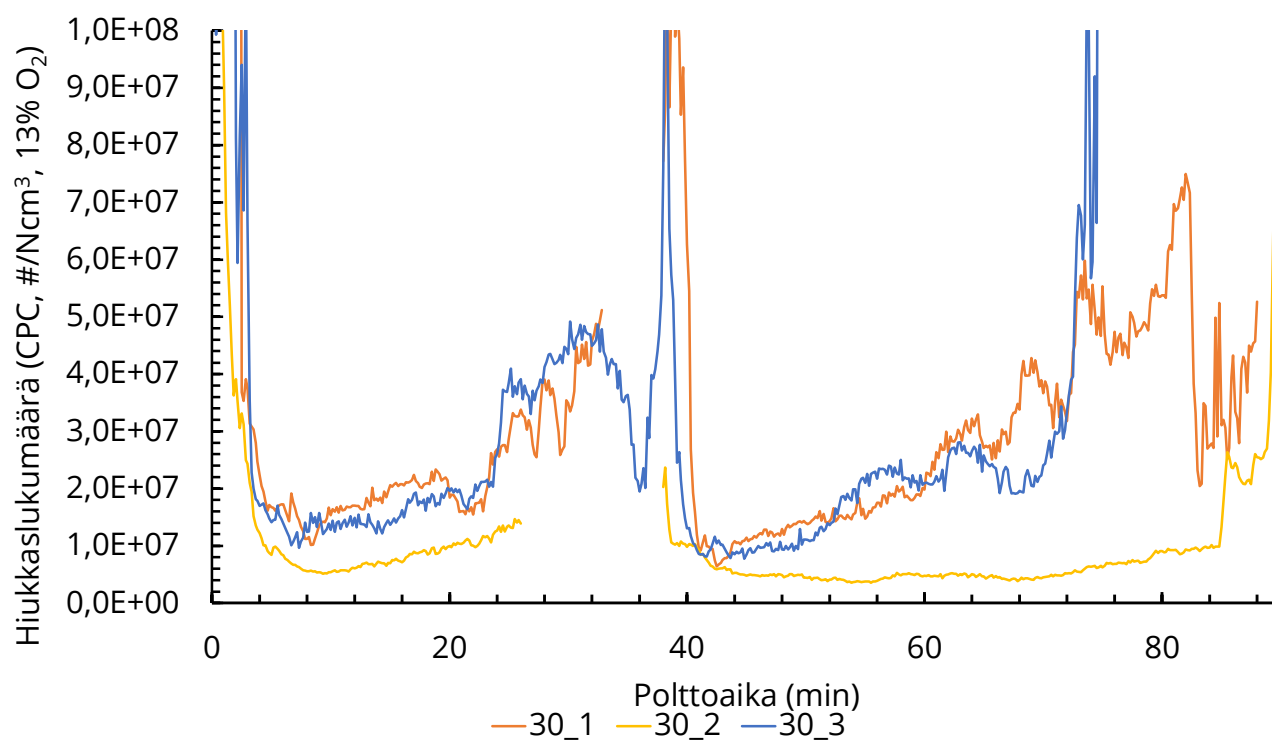
**Kuva 6.** Kokonaishiilivetyypitoisuus.



**Kuva 7.** Pienhiukkasten massapitoisuus (normeerattu suodattimelta kerätyllä hiukkasmassalla). Punaisella Ecodesign raja 40 mg/m<sup>3</sup>.



**Kuva 8.** Mustahiilipitoisuus.



**Kuva 9.** Kokonaislukumääräpitoisuudet.