

Tutkimusselostus
PRO/T6035/02

TULIPIIPPU-PELLETTIPOLTTIMEN MITTAUKSET

Luottamuksellinen

Heikki Oravainen

Jyväskylä, 27.3.2002

Tutkimusselostus
PRO/T6035/02

TULIPIIPPU-PELETTIPOLTTIMEN MITTAUKSET

Luottamuksellinen

Heikki Oravainen

VTT Prosessit
PL 1603, 40101 JYVÄSKYLÄ
puh. (014) 672 611, telefax (014) 672 597

Jyväskylä, 27.3.2002

1. JOHDANTO

VTT Prosessit suoritti polttokokeet Tulipiippu Ay:n valmistamalla, TULIPIIPPU-nimisellä pellettipolttimella. Kokeiden tarkoituksena oli tutkia laitteen soveltuvuutta puupellettien polttoon varaavassa tulisijassa. Vertailun vuoksi tehtiin myös yksi koe polttamalla tavallisia koivupilkkeitä pellettejä vastaava energiamäärä. TULIPIIPPU-polttolaitetta ei tässä kokeessa käytetty. Kokeen tarkoituksena oli vertailla palamisen päästöjä ja hyötysuhdetta.

2. MITTAUSTEN SUORITUS

2.1 PELLETTIKOKEEN SUORITUS

TULIPIIPPU-polttolaitteeseen punnittiin 12 kg pellettejä, joka vastasi energiana 56 kWh:ia. TULIPIIPPU asetettiin varaavan takkauunin sisään arinan päälle. Takkauuni oli Kivia Oy:n vuolukivestä valmistama takkauuni, malli Linda. Liitteenä 1 on kuva Titania uunista, josta on saman tyyppinen uuni. Kuva on kopioitu Kivia Oy:n www-sivuilta.

Pellettipolttimen sytyttämistä varten kostutettiin pieni määrä pellettejä sytytysnesteeseen ja pudotettiin nämä polttolaitteen keskellä olevan tilan pohjalle. Polttoaine sytytettiin alhaalla olevasta sytytysreiästä. Sytytyksessä noudatettiin valmistajan antamia ohjeita. Sytytystä selviää kuvista 1 ja 2.



Kuva 1. Sytytysnesteellä kostutetut pelletit kaadetaan polttolaitteeseen.



Kuva 2. Polttolaitteen keskiosan pohjalle pudotetut pelletit sytytetään tulitikulla.

Sytytyksen jälkeen uunin luukku suljettiin ja takkauunin palamisilman säätö asetettiin suurimpaan arvoon. Savukaasuista mitattiin jatkuvatoimisesti savukaasujen CO₂, O₂, CO ja kokonaishiilivetyjen määrä (OGC = organic bound carbon). Samoin mitattiin savukaasujen lämpötila sekä alipaine uunin jälkeisestä savukanavasta. Kokeissa alipaine pidettiin vakiona automaattisen säätölaitteiston avulla. Uunin pintalämpötilan muuttumista mitattiin käsimittarilla. Mittaustulokset on esitetty graafisina kuvina raportin liitteissä 2...4.

2.2 PILKEKOEEN SUORITUS

Pilkekokeen tarkoituksena oli verrata palamisen puhtautta ja tehokkuutta takkauunin arinalla puupellettien palamiseen TULIPIIPPU-laitteessa. Kokeen avulla verrattiin myös suuntaa-antavasti polton kokonaishyötysuhdetta polttoaineen sytytyksestä seuraavaan aamuun saakka.

Tässä vertailussa käytettiin kriteerinä tulisijan keskimääräisen pintalämpötilan muuttumista ja loppulämpötilaa yön yli tapahtuneen jäähtymisen jälkeen.

Pilkekokeessa savukanava tukittiin sen jälkeen kun puut olivat palaneet täydellisesti. Tämä kuvaa normaalitilannetta pilkelämmityksessä, jolloin savupiipun pelti suljetaan polton jälkeen. Näin estetään lämpöhukka savupiipun kautta.

Puupellettien poltossa savupeltiä ei voi laittaa kiinni, koska hiillosvaiheen palaminen jatkuu pitkään varsinaisen liekkipalon jälkeen. Hiillos palaa hitaasti suurella yli-ilmamäärällä, jonka oletettiin alentavan kokonaishyötysuhdetta normaaliin puunpolttoon verrattuna.

Pilkkeitä poltettiin sama energiamäärä kuin oli puupellettien polttokokeessa (56 kWh). ja verrattiin uunin pintalämpötilojen kehittymisen perusteella polton kokonaishyötysuhdetta.

Mittaustulokset-kohdassa molempien kokeiden hyötysuhde on laskettu perustuen mittaustulosten keskiarvoon siltä ajanjaksolta, jossa pilkkeet ehtivät palaa loppuun ja savupelti suljettiin. Ajanjakso oli 4 tuntia 43 minuuttia. Puupellettien tapauksessa hiilloksen palaminen jatkuu vielä tämän ajankohdan jälkeen, mutta sitä ei ole otettu hyötysuhteen laskemisessa huomioon. Hiillos tuottaa vielä energiaa, mutta suorilla mittauksilla ei pystytty määrittämään, saadaanko tästä energiasta mitään hyödyksi vai meneekö se savukaasuvirtauksen mukana ulos savupiipusta. Tämä johtuu siitä, että pienen savukaasuvirtauksen mittaaminen on liian epätarkkaa. Asiaa tutkittiin epäsuorasti tulisijan pintalämpötilan mittauksilla.

Mittaustulokset pilkekokeesta on esitetty graafisina kuvina raportin liitteissä 5...7.

3. MITTAUSTULOKSET

3.1 PÄÄSTÖT, HÄVIÖT JA HYÖTYSUHDE

Taulukossa 1 esitetään savukaasujen keskimääräiset pitoisuudet sytytyksestä ajankohtaan 4 tuntia 43 minuuttia, jolloin pilkkeet olivat palaneet täydellisesti ja savukanava suljettiin. Taulukossa 1 esitetään myös näiden arvojen ja polttoainetietojen perusteella lasketut häviöt sekä kokonaishyötysuhde. Hyötysuhde laskettiin standardin DIN 1942 mukaisesti. Polttoaineista ei tehty tarkkoja analyysyjä. Laskennassa käytettiin polttoaineominaisuuksille kirjallisuudesta löytyviä arvoja. Puupelletin kosteutena käytettiin 8 %:ia ja pilkkeen kosteutena 12 %:ia.

Taulukko 1. Päästöt, häviöt ja hyötysuhde.

Mitattu suure	Puupelletti	Koivupilke
Savukaasun pitoisuudet		
• CO ₂ -pitoisuus (%)	2,83	2,89
• O ₂ -pitoisuus (%)	18,5	17,7
• CO-pitoisuus (%)	0,09	0,18
• OGC-pitoisuus (mgC/nm ³)	169	644
Savukaasun lämpötila (°C)	150	186
Päästöt redusoituna happipitoisuuteen 13 %		
• CO-pitoisuus @13 % O ₂	0,29	0,44
• OGC-pitoisuus @13 % O ₂	541	1561
Hyötysuhteen laskenta (DIN1942)		
• savukaasun entalpia (%)	35,24	34,20
• palamiskelpoisten entalpia (%)	2,36	3,51
• hyötysuhde (%)	62,4	62,3

3.2 UUNIN KESKIMÄÄRÄINEN PINTALÄMPÖTILA AJAN FUNKTIONA

Taulukossa 2 esitetään tulisijan pinnan lämpötila ajan funktiona. Tulos ilmoitetaan keskiarvona 16 mittauspisteestä eri puolilta takkauunia.

Taulukko 2. Keskimääräinen takkauunin pintalämpötila eri polttokokeissa.

Polttoaine	2 h 15 min sytytyksestä	5 h	19 h
pelletti	51 °C	62 °C	41 °C
koivupilke	73 °C	80 °C	41 °C

4. TULOSTEN TARKASTELU

Puupellettien palaminen TULIPIIPPU-pellettipolttimessa on hieman erilaista kuin pilkkeiden palaminen tulisijan arinalla. Ero selviää hyvin liitteinä olevista kuvista, joissa esitetään savukaasun lämpötila molempien polttoaineiden polttokokeista. Huom! kuvien aika-akselit poikkeavat hieman toisistaan. Pysty akseli, joka kuvaa savukaasun lämpötilaa on molemmissa kuvissa sama.

Pilkeen polton savukaasun lämpötilakuvassa näkyy neljä huippukohtaa, jotka kuvaavat sitä, että polttoaine jaettiin neljään lisäyspanokseen. Klapipanokset olivat 3,02 kg, 3,00 kg, 3,12 kg ja 3,16 kg eli yhteensä 12,3 kg. Viimeisen huipun kohdalla lämpötila kohoaa yli 300 °C:n. Pellettien palaminen on tasaisempaa. Polttoainemassa syttyy aika hitaasti, aikaa meni noin 50 minuuttia voimakkaan palamisen alkamisvaiheeseen. Polttoaine palaa kuitenkin tasaisemmalla teholla, joka näkyy tasaisempaan savukaasun lämpötilana liitteen kuvaajassa. Savukaasun huippulämpötila on noin 80 °C alhaisempi kuin pilkkeen poltossa. Se vaikuttaa edullisesti hyötysuhteeseen voimakkaimman palamisen vaiheessa.

Liitteen 3 kuvassa esitetään pellettien polttokokeesta savukaasun hiilimonoksidi (CO) ja happipitoisuus (O₂) koko mittausjaksolta polttoaineen sytyttämisestä seuraavaan aamun asti. Siitä näkee, että savukaasuissa on koko ajan hiilimonoksidia. Se tarkoittaa, että jäännöshiilloksen palaminen on hyvin hidasta eikä savukanavaa voi sulkea ennenkuin hiillos on varmasti palanut loppuun asti. Tämä johtaa siihen, että hiilloksen palamisesta syntyvä lämpöenergia virtaa ainakin osittain savukaasun mukana ulkoilmaan.

Taulukon 2 pintalämpötilamittausten perusteella voidaan päätellä, että pilkkeitä poltettaessa tulisija luovuttaa nopeammin suuremman tehon, koska pintalämpötila kohoaa korkeammalle 2 tunnin 15 minuutin ja 5 tunnin jälkeen. Sen sijaan 18 tunnin jälkeen pintalämpötila on laskenut molemmissa polttokokeissa 41 °C:een, joka tarkoittaa, että lämmönluovutusteho on siinä vaiheessa sama. Takkauunin pintalämpötilan mittauksista voidaan päätellä, että pilkeitä poltettaessa saadaan enemmän energia hyödyksi huonetilaan.

Taulukossa 1 esitettyjen päästömittausarvojen perusteella päästöt ovat suuremmat pilkkeitä poltettaessa. Hiilimonoksidipitoisuus on 1,5-kertainen ja hiilivetyjen pitoisuus 2,9-kertainen puupellettien päästöihin verrattuna.

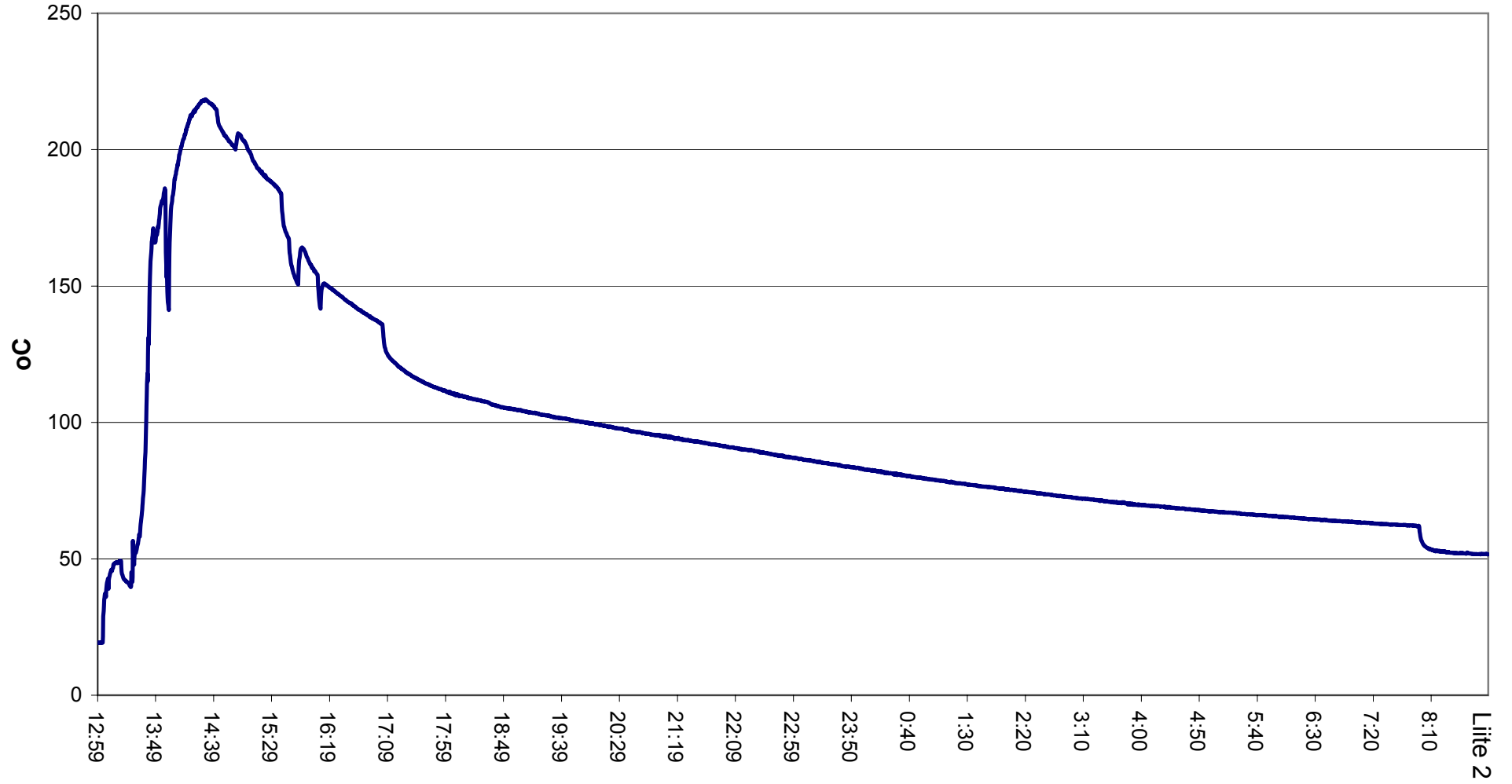
Puupellettiä poltettaessa savukaasujen keskimääräinen lämpötila on alhaisempi, mutta keskimääräinen ilmakerroin suurempi, jonka takia savukaasujen entalpiahäviö on puupellettien poltossa hieman suurempi (34,20 % ja 35,24 %). Sen sijaan savukaasujen hiilimonoksidipitoisuus on pellettejä poltettaessa alhaisempi, jonka vuoksi palamiskelpoisten kaasujen aiheuttama häviö on pienempi (2,36 % ja 3,51 %). Nämä häviöt kompensoivat toisiaan ja lopputuloksena on että hyötysuhde on molemmilla polttotavoilla mittauksarkkuus huomioonottaen sama. Tässä on huomioitava, että hyötysuhde on tässä laskettu savukaasuhäviön perusteella. Pintalämpötilojen perusteella tehty arvio osoitti, että pilkkeiden poltossa uunin lämmönluovutuksen kokonaishyötysuhde on parempi. Tarkkaa eroa ei voida sanoa näiden suppeiden mittausten perusteella.

Pellettihiilloksen palaminen on TULIPIIPPU-polttolaitteessa hidasta. Sen takia on ehdottaman tärkeää, että savukanavaa ei suljeta pellillä kokonaan liian aikaisin. Savupeltti voidaan sulkea kokonaan vasta kun polttolaite on otettu pois uunista seuraavana päivänä. Polttolaitteen ohjeessa onkin kerrottu, että savupelttiä ei saa sulkea kokonaan ennenkuin ollaan varmoja siitä, että pellettihiillos on palanut loppuun asti.

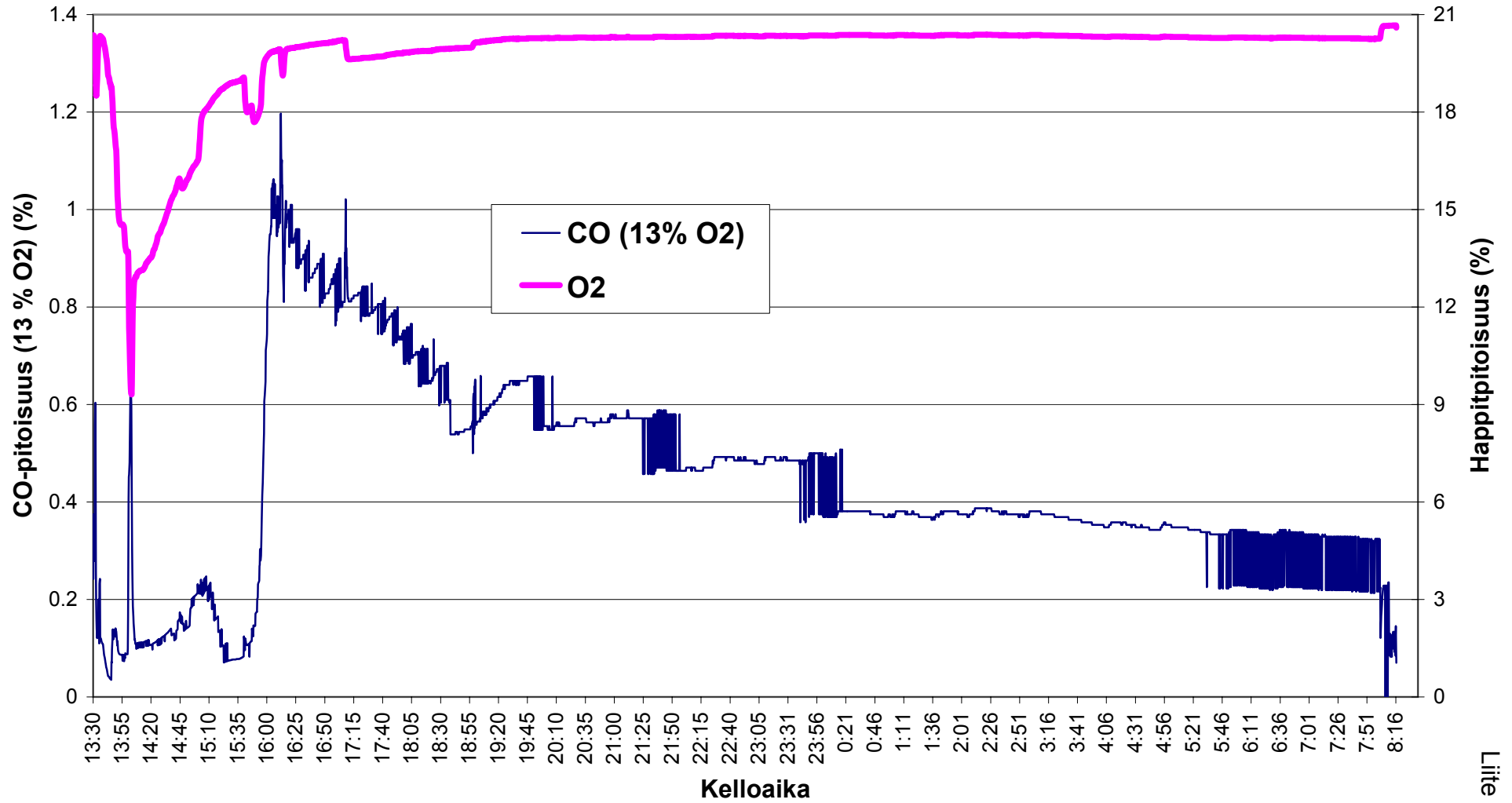
TULIPIIPPU-polttolaitteeseen mahtuu kerrallaan 56 kWh:n sisältämä energiamäärä puupellettejä. Jos lämmittäminen tehdään kerran päivässä, vastaa se n. 1,5 kW:n keskitehoa vuorokauden aikana. Laskelmassa on otettu hyötysuhde huomioon. Riippuu tulisijasta, miten tämä teho tulee hyödyksi huonetilan lämmittämiseen. Massiivinen tulisija luovuttaa energian tasaisemmin ja hitaammin, kevytrakenteisempi nopeammin ja alussa suuremmalla teholla. 1,5 kW:n keskimääräinen lämmitysteho on hyvin sovitettu suomalaiseen tulisijakantaan.



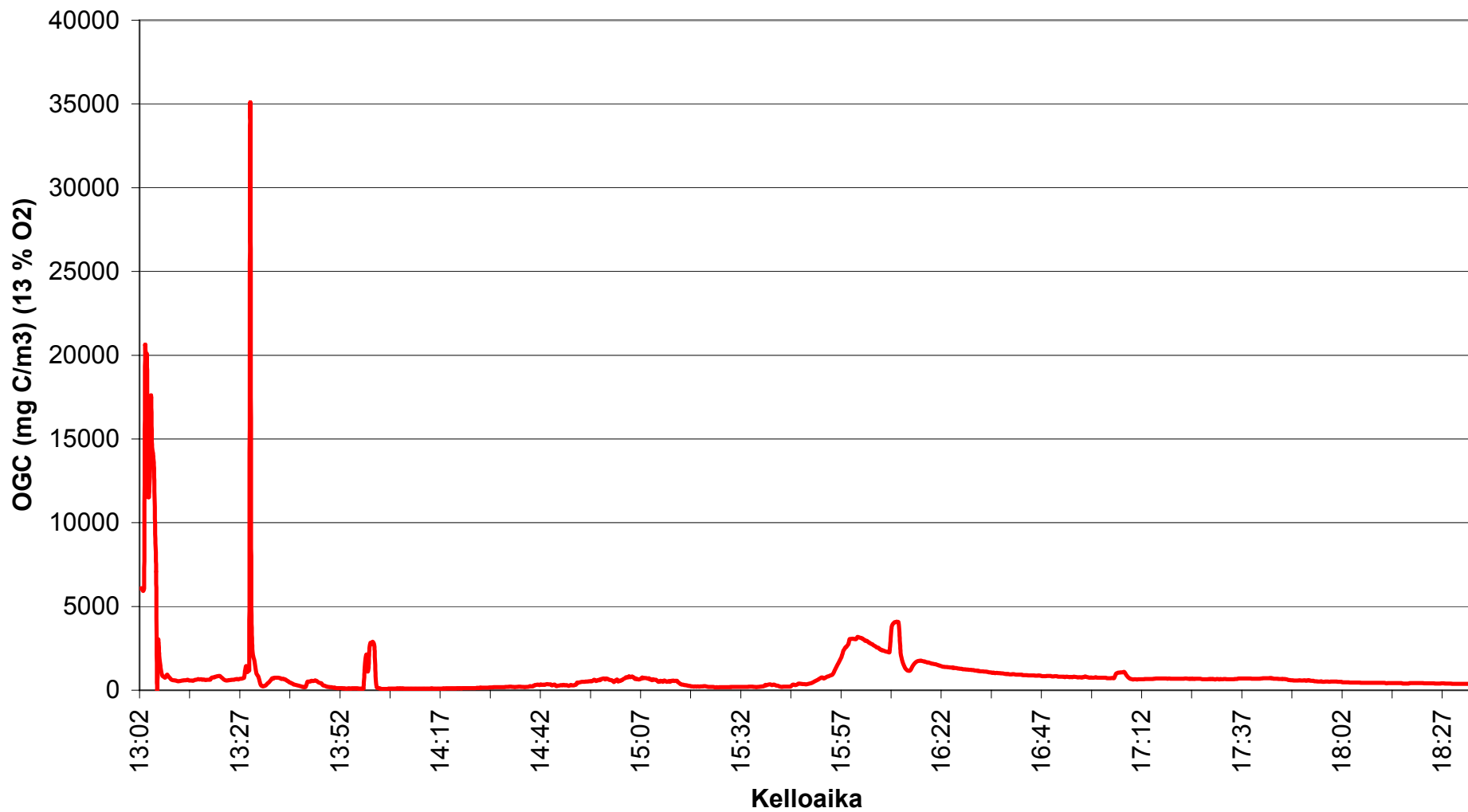
TULIPIIPPU-pellettipoltin Savukaasun lämpötila



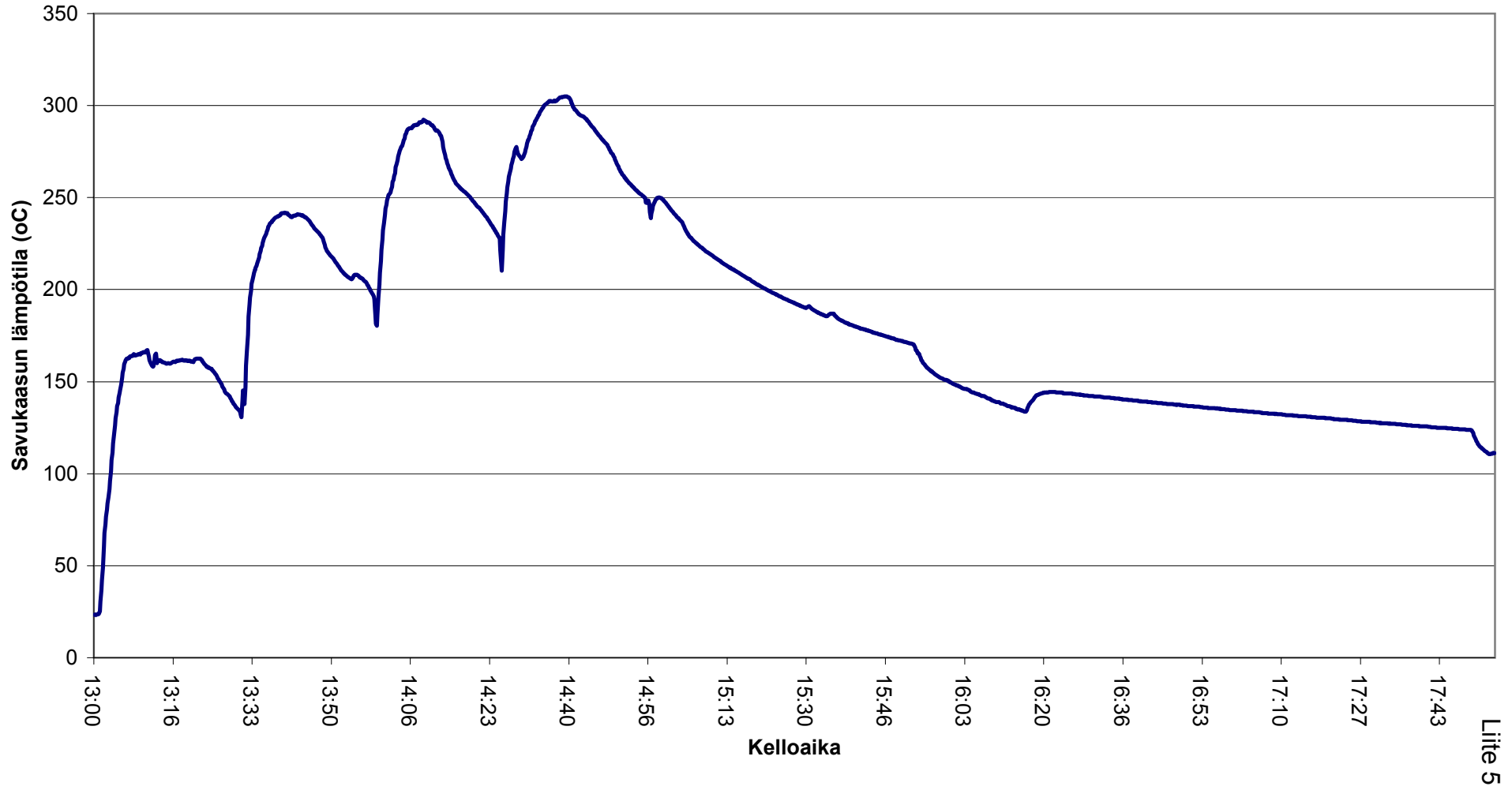
TULIPIIPPU-pellettipoltin Savukaasun CO- ja happipitoisuus



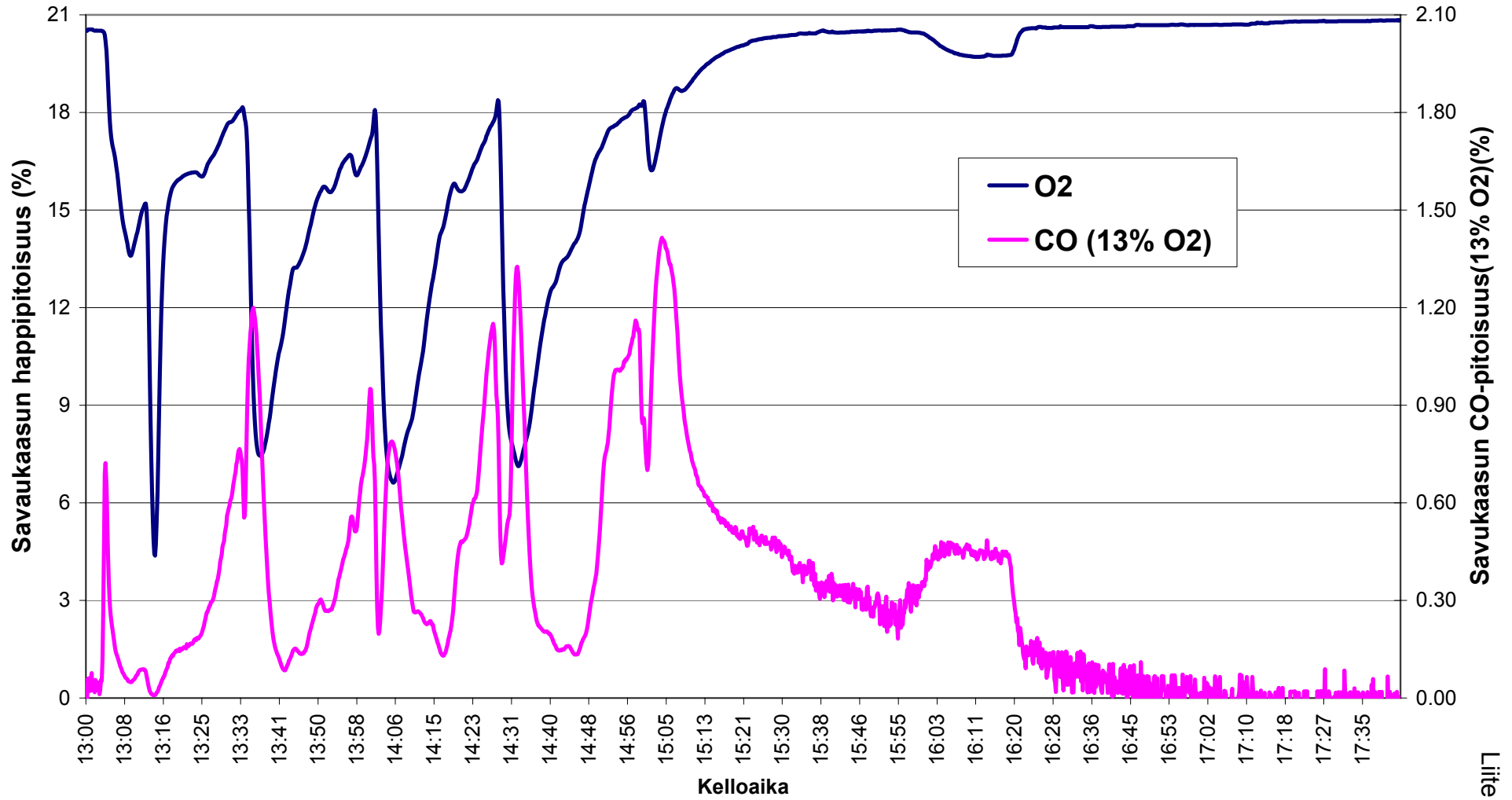
TULIPIIPPU-pellettipoltin Savukaasujen kokonaishiilivetyjen määrä



**Koivupilkkeiden palaminen arinalla.
Savukaasun lämpötilä.**



Koivupilkkeiden palaminen arinalla Savukaasun CO- ja happipitoisuus



Koivupilkkeiden palaminen arinalla. Savukaasujen kokonaishiilivetyjen määrä

