

Matalaenergiapientalon öljylämmityksen kehittäminen

Krzysztof Klobut
VTT Rakennustekniikka

Torsti Siltanen
VTT Kemiantekniikka

Kari Vihersalo
Oilon Oy

Jorma Virkki
Neste Oy



ISBN 951-38-4997-X

ISSN 1235-0605

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1996

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka, talo- ja palotekniikka, Lämpömiehenkuja 3, PL 1804, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 455 2408

VTT Byggnadsteknik, Byggnadsfysik, hus- och brandteknik, Värmemansgränden 3, PB 1804, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 455 2408

VTT Building Technology, Building Physics, Building Services and Fire Technology, Lämpömiehenkuja 3,
P.O. Box 1804, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 9 4561, fax +358 9 455 2408

Tekninen toimitus Leena Ukskoski

VTT OFFSETPAINO, ESPOO 1996

Klobut, Krzysztof, Siltanen, Torsti, Vihersalo, Kari & Virkki, Jorma. Matalaenergiapientalon öljylämmityksen kehittäminen [Development of an oil fired heating for a small sized low energy house]. Espoo 1996. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes 1802. 52 s. + liitt. 53 s.

UDK 662.91:662.94:728.37

Avainsanat heating, oil fired heating, HVAC, small houses, energy saving, stoves, oil burners, exhaust emissions

TIIVISTELMÄ

Nykyiset laitteet matalaenergiapientalon lämmitysenergiantarpeen tuottamiseen ovat ylimitoitettuja. Julkaisu on loppuraportti hankkeesta, joka on ensimmäinen askel uuden laitesukupolven kehittämisessä Suomessa. Projektissa selvitettiin ole-massa olevan, öljyn höyrystykseen perustuvan laitekannan tekninen suoritustaso. Tämän perusteella valittiin soveltuvuudeltaan kehityskelpoisin laite ja määritettiin sille kehityskonsepti. Teoreettisilla analyyseilla selvitettiin uuteen laitteeseen perustuvan järjestelmän taloudellisuus, päästökuormitus ja toimivuus luonnon-kierrolla. Laboratoriokokein selvitettiin pienitehoisen laitteen toimivuus läm-mitysjärjestelmän osana. Painesumutukseen perustuvan tekniikan tuotekehityksessä saavutettiin tehotason pudotus, joka hyvän palamistuloksen rajoissa jäi vielä vaatimattomaksi.

Pienitehoinen lämmönlähde kykenee suoriutumaan matalaenergiapientalon lämmityksestä. Käyttövesi vaatii erillisen varaajasäiliön. Tällöin talousveden saatavuus ei ole nykyisen suuritehoisen öljylämmitysjärjestelmän veroinen vaan on verrattavissa suorassa sähkölämmitysjärjestelmässä käytettävän talousvesi-varaajan tuottavuuteen. Nykyisellä painesumutukseen perustuvalla öljykattila-tekniikalla päästiin alimmillaan noin 10 kW:n tehoon käyttämällä talvilaatuista kevyttä polttoöljyä. Tehon alentaminen suutinpainetta pienentämällä huononsi palamista. Tutkimuksessa kehitetyt koepalopäät toimivat jonkin verran paremmin perinteisiin verrattuna. Pienen tehon höyrystyspolttimista polttoteknisesti kehittyneimmän avulla on mahdollista automatisoitu lämmöntuotto tehoalueella 0,8 - 2,6 kW. Päästöt kamiinalämmityksessä ovat kuitenkin kaikkiaan vielä suurempia kuin nykyisellä painesumutukseen perustuvalla öljylämmitys-tekniikalla.

Nykyinen öljykamiina on verraten uusi konstruktio ja kehittämistä kaipaava tuote. Keskittämällä tuotekehitys esille tulleisiin tarpeisiin voidaan kamiinaa käyttäen laajentaa öljylämmityksen riippumattomuus ja käyttömukavuus uusiin matala-energiataloihin. Perinteiseen öljykattilaan verrattuna on öljykamiinan etuna sen pienempi pääomakustannus, helppo jälkiasennettavuus ja mahdollisuus kauko-käynnistykseen. Nykyisten suorasähkölämmitystalojen saneeraus- ja lisäläm-mitysjärjestelmäksi kamiina soveltuu edullisena laitteena erinomaisesti.

Klobut, Krzysztow, Siltanen, Torsti, Vihersalo, Kari & Virkki, Jorma. Development of an oil fired heating for a small sized low energy house [Matalaenergiapientialon öljylämmityksen kehittäminen]. Espoo 1996. Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes 1802. 52 p. + app. 53 p.

UDC 662.91:662.94:728.37

Keywords heating, oil fired heating, HVAC, small houses, energy saving, stoves, oil burners, exhaust emissions

ABSTRACT

Conventional oil fired boiler is over-dimensioned when applied as such to serve the reduced heating needs of a small sized low energy house. Solutions based on a low output heat source (LOHS) are needed for this purpose. This is a final report of the project that has been a first step towards developing a new generation of LOHS devices in Finland. In the first phase, the technical performance was evaluated of LOHS already available on the market. On this basis, a device with the highest potential for development was selected and the technical measures were proposed to further improve it. The investment costs were compared for different heating systems including LOHS. Air pollution emissions and performance of gravitational water circulation were estimated for a heating system with LOHS. Laboratory experiments were carried out to examine the functioning of LOHS as a part of the heating system. Product development efforts with pressure atomized burner allowed for a limited drop of the heat output.

The heating needs of a small sized low energy house can be served with LOHS. Domestic hot water requires a separate water tank storage. Hot water availability from such system is comparable with that of a direct electric heating system and is less than that of a conventional high output oil fired system. As low heat output as 10 kW was achieved with pressure atomized burning technique using light oil (winter quality) fuel. Decrease of the atomizing pressure deteriorated the quality of combustion process. The newly developed burner heads functioned slightly better than the conventional heads. Low level of heat output is easier achievable with fuel vaporization technique. The most advanced of the tested devices allows for automatic operation in the heat output range 0.8 - 2.6 kW. Air pollution emissions of this oil stove are, however, still higher when compared with conventional boilers using atomizing pressure burners.

The present oil stove is a fairly new construction and needs to be further developed, e.g. using recommendations proposed in this project. When this is done, the benefits of LOHS, independence and user friendliness, can be fully utilized in the new low energy small sized houses. Compared with the conventional oil fired heating, the new oil stove has considerably lower investment cost, it is easy to install and features remote start control. It can very well be applied in renovated houses with direct electric heating and as a supplementary heating device.

ALKUSANAT

Öljykattilan tehotason sovittaminen vähennettyyn lämmöntuottotarpeeseen matalaenergia-asuinpientalossa on eräs merkittävimpiä lähivuosien kehityshaasteita kattila-alalla. Nykyiset laitteet matalaenergiapientalon lämmitysenergiatarpeen tuottamiseen ovat ylimitoitettuja.

Kaksivuotinen (1994 - 1996) tutkimus "Matalaenergiapientalon öljylämmityskattila" on ensimmäinen askel uuden laitesukupolven kehittämisessä Suomessa. Hanke kuului valtakunnalliseen RAKET-tutkimusohjelmaan. Tämä on projektin loppuraportti.

Projektissa selvitettiin olemassa olevan, öljyn höyrystykseen perustuvan laitekanan tekninen suoritustaso, minkä perusteella valittiin soveltuvuudeltaan kehityskelpoisin laite ja määritettiin sille kehityskonsepti. Teoreettisilla analyyseilla selvitettiin uuteen laitteeseen perustuvan järjestelmän taloudellisuus, päästökuormitus ja toimivuus luonnonkierrolla. Laboratoriokokein selvitettiin pienitehoisen laitteen toimivuus lämmitysjärjestelmän osana. Painesumutukseen perustuvan tekniikan tuotekehityksessä saavutettiin tehotason pudotus, joka hyvän palamistuloksen rajoissa jäi vielä vaatimattomaksi.

Tutkimustyö on toteutettu Teknologian kehittämiskeskuksen TEKESin ja osallistuvien tutkimuslaitosten ja yritysten yhteisellä rahoituksella. Projektiryhmään kuuluivat

kehityspääll.	Pauli Lindén	Oy Jäspi & Mäkinen Ab
tutkimusins.	Timo Rahikainen	VTT Rakennustekniikka
erik.tutk.	Torsti Siltanen	VTT Kemiantekniikka
kehityspääll.	Kari Vihersalo	Oilon Oy
osastopääll.	Jorma Virkki	Neste Oy
kehitysjocht.	Jorma Wallasvaara	Wallasvaara Holding Oy (vuonna 1994).

Projektipäällikköinä toimivat tutkimusprofessori, tekn. tri Markku Virtanen (syksyyn 1994) ja tutkija, tekn. lis. Krzysztof Klobut (syksystä 1994) VTT Rakennustekniikasta.

Projektiryhmä haluaa kiittää kaikkia hankkeen toteutumiseen myötävaikuttaneita.

Espoossa, syyskuussa 1996.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
1 JOHDANTO	8
1.1 PROJEKTIN TAUSTA JA TAVOITE	8
1.2 TOTEUTUKSEN PAINOTUKSET.....	8
2 TUTKIMUSMENETELMÄT.....	10
3 TUTKIMUSTULOKSET.....	11
3.1 TEKNOLOGIASELVITYS.....	11
3.1.1 Taustaa	11
3.1.2 NykYTEKNOLOGIAN SELVITYS	11
3.1.3 Kokeiltavaksi hankitut laitteet	11
3.1.4 Järjestelmävaihtoehdot.....	11
3.2 TALOUDELLISUUSANALYYSI.....	12
3.3 PAINOVOIMAINEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ - LASKENTA- ANALYYSI	14
3.3.1 Kiertovoima	14
3.3.2 Putkiston painehäviö.....	15
3.3.3 Kiertovoiman ja putkistopainehäviön vertailu.....	16
3.3.4 Yhteenvedo	21
3.4 PÄÄSTÖJEN VERTAILU - LASKENTA-ANALYYSI.....	21
3.4.1 Tehontarpeen pysyvyyskäyrä	21
3.4.2 Öljylämmityksen hyötysuhde.....	22
3.4.3 Öljylämmityksen päästöt.....	25
3.5 PIENEN TEHON LÄMMITTIMET - LAITEKOKKEET.....	27
3.6 SUMUTUSPOLTTIMET - LAITEKOKKEET	28
3.6.1 Johdanto	28
3.6.2 Palopään kehitys.....	28
3.6.3 Polttokokeiden toteutus.....	28
3.6.4 Tulokset 1994.....	29
3.7 SUMUTUSPOLTTIMET - TUOTEKEHITYS.....	32
3.7.1 Palopään jatkokehitys.....	32
3.7.2 Polttokokeet uudella palopäällä, koejärjestelyt.....	32
3.7.3 Tulokset 1996.....	33
3.8 JÄRJESTELMÄKOKKEET	37
3.8.1 Kokeet lämmitysvesivaraajalla	38
3.8.2 Kokeet lämpimän käyttöveden varaaajalla	41
3.9 MATALAN TEHON KATTILAN KEHITTÄMINEN	44

4 TULOSTEN TARKASTELU	46
4.1 TEOREETTISTEN ANALYYSIEN TULOKSET	46
4.1.1 Teknologiaselvitys	46
4.1.2 Taloudellisuusanalyysi	46
4.1.3 Vesikeskuslämmitys.....	46
4.1.4 Lämmitysjärjestelmän päästöt.....	47
4.2 LAITEKOKEIDEN TULOKSET.....	47
4.2.1 Höyrystyspolttimet	47
4.2.2 Sumutuspolttimet	47
4.3 JÄRJESTELMÄKOKEIDEN TULOKSET.....	48
4.3.1 Lämmitysenergian varastointi varaajassa.....	48
4.3.2 Talousveden lämmitys	48
4.4 KAMIINAN KÄYTTÖ ERI JÄRJESTELMISSÄ	49
5 YHTEENVETO	50
LÄHDELUETTELO	52

LIITTEET

LIITE 1. OTTEET TIETOKANTAHAKUJEN TULOKSISTA.

LIITE 2. PAINOVOIMAINEN LÄMMITYS - LASKENTATULOKSET.

LIITE 3. SUMUTUSPOLTTIMIEN KEHITYS JA POLTTOKOKEIDEN TULOKSET.

LIITE 4. JÄRJESTELMÄKOKEET LÄMMITYSVESIVARA AJALLA - TULOKSET.

LIITE 5. JÄRJESTELMÄKOKEET KÄYTTÖVESIVARA AJALLA - TULOKSET.

1 JOHDANTO

1.1 PROJEKTIN TAUSTA JA TAVOITE

Nykyisten pienikokoisten öljypolttimien (on - off-toimisia) toimintatehoalue on 15 - 20 kW. Kattiloiden tulipinnat on niin ikään mitoitettu vastaamaan 15 - 20 kW:n lämmönsiirtotehoa. Käyttöveden lämmitysenergia on pääosin varastoitu +80 °C:n kattilaveteen, josta sitä käytetään talousveden lämmittämiseen käyttöhetkellä. Kattila toimii siten myös lämmönvaraajana.

Tulevaisuuden matalaenergia-asuinpientalossa, jossa lämmitystehontarve on vain neljäsosa nykynormien mukaisesta tasosta, huonelämmityksen huipputehontarve on ainoastaan 1 - 2 kW. Huonelämmityksen lisäksi tulee ottaa huomioon talousveden lämmitystarve, jonka suuruus matalaenergiatalossa on lähes nykytasoa. Tasaisesti ja jatkuvasti varaavassa järjestelmässä talousveden lämmitysteho on yhden perheen taloudessa keskimäärin 0,4 - 0,5 kW/vrk. Talousveden hetkellinen huipputehontarve on puolestaan noin 30 kW.

Matalaenergiapientalon alhaisen lämmitysenergiantarpeen tuottaminen nykyisillä laitteilla johtaa huonoon vuosihyötysuhteeseen ja heikkoon käyttövarmuuteen. Lisäksi tulisi varautua uusiutumattomien öljypolttoaineiden korvaamiseen uusiutuvista luonnonvaroista jalostetuilla öljypolttoaineilla. Keskeinen kehitystarve on pienitehoisten kattiloiden polttotekniikassa. Lähtökohtana polttotekniikan kehitystyölle lienee ns. maljapolttotekniikka, joka perustuu öljyn höyrystykseen.

Hankkeen tavoitteena on kehittää pienitehoinen öljylämmityskattila asuinpientaloon, jossa tilojen lämmitystarve on neljäsosa nykytasosta. Lähtökohtana kattilan kehitystyössä on jatkuva lämmön varastointi, jolloin tavoiteltava kattilan toimintatehoalue on 2,5 - 3,0 kW.

Tavoitteena on lämmöntuottolaite, joka on edullinen (hinta noin 3 000 mk), helppokäyttöinen, toimintavarma, energiansäästävä ja vähäpäästöinen. Lähtökohtana on myös, että kehitettävä kattila toimii, mikäli mahdollista, luonnonkiertoisen vesikeskuslämmityksen vedenkierrätyksen voimanlähteenä ja että se soveltuu käytettäväksi myös ilmalämmitysjärjestelmässä. Tavoitteena on lisäksi liukuva (moduloiva) kattilatehonsäätö alueella 50 - 100 % maksimitehosta.

1.2 TOTEUTUKSEN PAINOTUKSET

Yhtenä hankkeen alkuperäisistä tavoitteista oli kehittää pienitehoisen öljylämmityskattilan prototyyppi, joka soveltuisi matalaenergiapientalon lämmitysjärjestelmään. Lähtökohdistaan parhaaksi jatkokehitykseen todetun höyrystyspolttimen valmistaja joutui yllättäen, hankkeeseen kuulumattomista syistä, vetäytymään projektista. Projektin kuluessa syntyneet mittaustulokset ja käyttökokemukset käytettiin laitteen tuotekehityksen pääkohtien määrittämiseen, mutta niiden toteutus jätettiin yrityksen tehtäväksi.

Hankkeen jäljellä olevia tutkimusvoimavaroja ryhmiteltiin uudelleen kokeellisen tutkimuksen ja tuotekehityksen osalta. Koska pienitehoinen laite tulee toimimaan lämmitysjärjestelmän osana, kohdistettiin huomattava osa tutkimuspanosta itse järjestelmän toiminnan tutkimiseen. Perinteiseen painesumutukseen perustuvan laitetekniikan kehittäminen matalaenergiakohteeseen paremmin soveltuvaksi oli toinen hankkeen tuotekehityksen painopistealueista.

2 TUTKIMUSMENETELMÄT

Hankkeen kuluessa käytettiin lukuisia tutkimusmenetelmiä. Katsaus olemassa olevaan tietouteen toteutettiin suorittamalla hakusanakyselyjä useista tietokannoista. Tietoa markkinoilla tarjolla olevista laitteista kerättiin suorilla yhteydenotoilla niitä myyviin tai tuottaviin yrityksiin sekä perehtymällä tuote-esitteisiin.

Laitekokeet

Kokeiltavaksi saatujen laitteiden polttoteknisiä suoritusarvoja selvitettiin rutiininomaisessa testauksessa, jonka pääosana oli savukaasuanalyysi. Lämpöä veteen siirrettävien laitteiden tapauksessa testauksessa noudatettiin kattiloiden SFS 4916 -standardia [9]. Höyrystyspolttimien osalta kokeisiin sisältyi myös tehon säädettävyyden, huoltoystävällisyyden ja käyttöhelppouden arviointi.

Tuotekehitys

Painesumutuspolttimien tuotekehitysponnisteluissa tutkittiin eri toimenpiteiden vaikutusta palamistulokseen. Päämääränä oli tehotason pudotus nimellistehosta. Palamistulos analysoitiin savukaasuanalyysin avulla. Tutkittuja toimenpiteitä olivat mm. tavallista pienemmän palopään käyttö, palopään rakenteellinen muutos, sumutuspaineen muutos ja polttoaineen muutos.

Järjestelmäkokeet

Laboratoriotiloihin rakennetun koejärjestelmän avulla tutkittiin pienitehoisen kattilan toimintaa järjestelmän osana. Järjestelmä koostui lämmönlähteestä, varaajasta, lämmityspattereista ja laitteita yhdistävästä putkistosta. Päämääränä oli selvittää käyttöveden valmistukseen liittyen yhtäältä varaajan latausjaksojen kesto ja toisaalta tuotetun lämpimän talousveden määrää kahdessa varaajan kytkentätavassa. Lämpimän talousveden kokeet perustuivat SFS 4916 -standardiin [9]. Muuttujana kokeissa oli lämpimän talousveden juoksutusvirta, joka kuvasi kulutustasoa.

Teoreettiset analyysit

Analyytisesti selvitettiin luonnonkiertoisen alajakaisen vesilämmitysjärjestelmän toimintaedellytykset. Laskenta perustuu taulukkolaskentaohjelman käyttöön, johon ohjelmoitiin oppikirjoista tunnettuja kitkapainehäviöyhtälöitä ja veden tiheyseroista aiheutuvia paine-eroyhtälöitä.

Öljylämmityksen päästöjen vertailu toteutettiin laskennallisesti. Laskennan lähtökohtana olivat laitekohtaiset mittauserot polttoprosessin päästöistä ja aiemmista tutkimuksista saatu matalaenergiapientalon lämmitystehon pysyvyyskäyrä.

3 TUTKIMUSTULOKSET

3.1 TEKNOLOGIASELVITYS

3.1.1 Taustaa

Matalaenergiapientalojen suurimmaksi lämmitystehontarpeeksi on suunniteltu tarvittavan 1,5 - 3 kW. Nykyisellä painesumutukseen perustuvalla öljypoltintekniikalla päästään alle 10 kW:n kattilatehoon käytettäessä talvilaatuista kevyttä polttoöljyä. Matalaenergiatalon lämmitykseen etsittiin nykyistä kevyempää laitetekniikkaa ja pienempiä investointeja vaativia öljylämmitysratkaisuja.

3.1.2 Nykyteknologian selvitys

Nykyteknologiaa selvitettiin "Atmospheric burner" -hakusanalla tehdyllä kyselyllä tietokannoista Compendex ja Pascal /ESA-IRS, Energy /STN International, NTIS ja WILSON /CDROM sekä yhteydenotolla lämmityslaitteita myyviin yrityksiin. Kirjallisuustutkimus ei tuottanut tutkimuksessa hyödynnettävissä olevaa uutta tietoa. Haun tuottamat kirjallisuusviitteet ovat liitteessä 1.

Yhteydenotto yrityksiin selvitti ne lämmityslaitteiden tuotenimikkeet, jotka ovat myynnissä maassamme. Näistä pyydettiin kirjallista lisätietoa. Tuote-esitteet antoivat käsityksen eri laitteiden toiminnasta ja tekniikasta. Lisäksi tutustuttiin myynnissä oleviin laitemalleihin.

3.1.3 Kokeiltavaksi hankitut laitteet

Toimintakokeisiin haluttiin ensisijaisesti valita Suomessa valmistettuja laitteita. Kokeiltavien laitteiden valinta perustui pääosin käytettävissä oleviin tuote-esitteisiin. Alustavan kokeiluun valittiin 2,4 kW:n tehoinen UPO-lämmittimen poltinmalja, joka korvattiin sitten 6 kW:n tehoisella HELO-lämmittimellä. Seuraavaksi kokeiltiin 4 kW:n tehoista WALLAS-lämmittintä. Wallas Products Oy antoi projektin käyttöön teettämänsä selvityksen 2,6 kW:n tehoisen WALLAS-lämmittimen savukaasun pitoisuuksista.

Toimintakokeita tehtiin myöhemmin 4 kW:n tehoisella MIKUNI-lämmittimellä sekä 3,5 kW:n tehoisella KABOLA-lämmittimellä, joissa molemmissa lämpö siirtyy keskuslämmitysveteen.

3.1.4 Järjestelmävaihtoehdot

Lämmittimien lämmönsiirtoväliaineena on joko ilma tai vesi. Sekä ilma että vesi lämmönsiirtoväliaineina kiertävät joko luonnonkierrolla tai pumpulla tai puhaltimella pakkokiertoisesti. Laitekehityksen lähtökohdaksi valittiin luonnonkiertoinen vesikeskuslämmitysjärjestelmä. Täällä ei kuitenkaan haluttu sulkea pois muiden toimivien lämmönjakojärjestelmien mahdollista kehittämistä. Joillakin

lämmittimillä voidaan lämmittää myös talousvettä, joten perusteet eri lämmönjakojärjestelmille on toteutettu jo nykyisissä kaupallisissa kamiinoissa. Missään lämmittimessä ei kuitenkaan ollut kaikkia haluttuja ominaisuuksia.

3.2 TALOUDELLISUUSANALYYSI

Pientehoisien kamiinan ja siihen liittyvän lämmönjakojärjestelmän laitteiden investointikustannuksia verrattiin nykyisten lämmitysjärjestelmien, öljylämmityksen, suoran sähkölämmityksen ja varaavan sähkölämmityksen, investointikustannuksiin (taulukko 1).

Pientalojen nykyisellä energian kulutustasolla ja nykyisillä öljyn ja sähkön energiahinnoilla on höyrystyspolttimeen perustuva pienitehoinen lämmitysjärjestelmä kilpailukykyinen verrattuna nykyiseen öljylämmitysjärjestelmään ja sähkölämmitysjärjestelmiin. Nykyistä pienemmillä energian kulutustasoilla investointikustannuksen merkitys yhä korostuu kokonaistaloutta arvioitaessa.

Taulukko 1. Investointien kustannusvertailu.

Vesikiertoinen keskuslämmitys öljykattila	Vesikiertoinen keskuslämmitys sähkövaraaja	Suora sähkölämmitys käyttövesivaraaja	Vesikiertoinen keskuslämmitys öljykamiina käyttövesivaraaja				
mk	mk	mk	mk				
öljysäil-1500	3000	öljysäil	0	öljysäil	0	öljysäil-200	1000
täyttöputk ym	1000	täyttöputk ym	0	täyttöputk ym	0	täyttöputk ym	0
öljyputk ym	1000	öljyputk ym	0	öljyputk ym	0	öljyputk ym	0
ylitäytönest	500	ylitäytönest	0	ylitäytönest	0	ylitäytönest	0
asennustyö	2000	asennustyö	0	asennustyö	0	asennustyö	0
täyttövent	300	täyttövent	300	täyttövent	0	täyttövent	300
kattila	9000	kattila	0	sähkökeskus	1500	kamiina	6000
varaaja	0	varaaja	8000	varaaja	0	varaaja	0
termostaatti	300	termostaatti	300	termostaatti	0	termostaatti	0
varoventtiili	100	varoventtiili	100	varoventtiili	0	varoventtiili	100
paisunta-ast	700	paisunta-ast	2000	paisunta-ast	0	paisunta-ast	700
käyttövesivar	0	käyttövesivar	0	käyttövesivar	3000	käyttövesivar	4000
käyttövesiterm	500	käyttövesiterm	500	käyttövesiterm	500	käyttövesiterm	500
putkitarvikk	500	putkitarvikk	500	putkitarvikk	0	putkitarvikk	500
sähkötarvikk	200	sähkötarvikk	2000	sähkötarvikk	2000	sähkötarvikk	200
asennustyö	4000	asennustyö	4000	asennustyö	2000	asennustyö	3000
säätökeskus	1500	säätökeskus	1500	säätökeskus	0	säätökeskus	0
säätömoottori	500	säätömoottori	500	säätömoottori	0	säätömoottori	0
säätöventtiili	500	säätöventtiili	500	säätöventtiili	0	säätöventtiili	0
sähkötarvikk	200	sähkötarvikk	200	sähkötarvikk	0	sähkötarvikk	0
asennustyö	2000	asennustyö	2000	asennustyö	0	asennustyö	0
kont/lämpörel	300	kont/lämpörel	300	kont/lämpörel	0	kont/lämpörel	300
kiertopumppu	600	kiertopumppu	600	kiertopumppu	0	kiertopumppu	600
linjaputk 40m	1200	linjaputk 40m	1200	linjaputk 40m	0	linjaputk 40m	2000
venttiilit 4	600	venttiilit 4	600	venttiilit 4	0	venttiilit 4	800
sähkötarvikk	200	sähkötarvikk	200	sähkötarvikk	0	sähkötarvikk	200
putkitarvikk	300	putkitarvikk	300	putkitarvikk	0	putkitarvikk	400
asennustyö	2000	asennustyö	2000	asennustyö	0	asennustyö	2500
haaraputk 20m	400	haaraputk 20m	400	haaraputk 20m	0	haaraputk 20m	1200
patterit 10	4000	patterit 10	4000	patterit 10	6000	patterit 10	5000
patt. vent 10	500	patt. vent 10	500	patt. vent 10	0	patt. vent 10	500
termostaat 10	700	termostaat 10	700	termostaat 10	700	termostaat 10	0
paluuvent 10	300	paluuvent 10	300	paluuvent 10	0	paluuvent 10	300
savuhormi 7m	3500	savuhormi 7m	0	savuhormi 7m	0	savuhormi 7m	3500
putkitarvikk	300	putkitarvikk	300	putkitarvikk	0	putkitarvikk	300
asennustyö	4000	asennustyö	3000	asennustyö	2000	asennustyö	4000
YHT =	46700	YHT =	36800	YHT =	17700	YHT =	37900
Energ.kulutus kWh/a	5000		5000		5000		5000
Hinta mk/kWh	0.18		0.30		0.35		0.18
Energ.kustann mk/a	900		1500		1750		900

3.3 PAINOVOIMAINEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ - LASKENTA-ANALYYSI

3.3.1 Kiertovoima

Painovoimaisen lämmönjakojärjestelmän kiertovoima perustuu veden tiheyseroon meno- ja paluujohdossa. Veden tiheys pienenee lämpötilan kasvaessa. Tämä riippuvuus on epälineaarinen, mistä johtuen tiheyksien erotus eri lämpötilatasoilla on erisuuruinen, vaikka lämpötilaero sinänsä olisi vakio. Menojohdossa vesi on korkeamman lämpötilan vuoksi tilavuuspainoltaan kevyempää kuin paluujohdossa virtaava jäähtynyt vesi. Verkoston käyttöpaine eli kiertovoima saadaan yhtälöstä [2, 6, 7]

$$\Delta P = [\rho(T_p) - \rho(T_m)] g h \quad (\text{Pa}). \quad (1)$$

Jakamalla yhtälö (1) puolittain epäedullisimman piirin pituudella saadaan kiertovoimalle piirin juoksumetriin suhteutettu arvo

$$\frac{\Delta P}{L} = [\rho(T_p) - \rho(T_m)] g \left(\frac{h}{L}\right) \quad (\text{Pa/m}). \quad (2)$$

Yhtälöissä (1) ja (2) on h (m) korkeusero kattilan ja virtausteknisesti epäedullisimman patterin keskipisteiden välillä ja L (m) kattilan ja epäedullisimman patterin yhdistävien meno- ja paluuputkien yhteispituus. Virtausteknisesti epäedullisin patteri on se, joka sijaitsee matalimpana ja kauimpana kattilaan nähden [2, 6].

Parametrin h/L avulla kuvataan yhdistetysti yhtäältä verkoston kokoa (epäedullisimman piirin pituuden L kautta) ja toisaalta kattilan sijaintia (korkeuseron h kautta) verkostoon nähden. Painovoimaisesti toimivaa laitosta ei yleensä suunnitella kohteisiin, joissa $L > 50$ m, eli kattilan ja kaukaisimman patterin maantieteellisen etäisyyden ylärajana pidetään noin 25 m:ä [2]. Tavallisesti kattila sijaitsee kellarissa, jolloin tyypillinen korkeusero on noin $h = 2,5$ m. Näillä $h:n$ ja $L:n$ arvoilla saadaan verkoston koon parametrin arvoksi $h/L = 0,05$. Tällä tavalla arvioitu verkoston koko muodostanee eräänlaisen alarajan painovoimaisen laitoksen mielekkäälle käytölle. Sillä saavutettavissa olevat kiertovoiman arvot alittavat jo 10 Pa/m.

Kiertovoiman kasvattamiseksi tarvitaan siis joko verkoston lyhentämistä tai kattilan ja patterin välisen korkeuseron kasvattamista. Tämä päämäärä saavutetaan sijoittamalla kattila mahdollisimman keskelle taloa ja mahdollisimman alas.

Jos alajakoisessa painovoimaisessa lämmityslaitoksessa pohjajohdot on asennettu liian matalalle kattilaan nähden, käynnistysvaikeuksia saattaa esiintyä. Ne ilmenevät siten, että vesikierto häiriintyy tai jopa kääntyy päinvastaiseen suuntaan,

kun kattilasta kaukana sijaitsevat nousujohdot kytketään pois käytöstä pitkähköksi aikaa ja otetaan, esim. remontin jälkeen, uudelleen käyttöön. Tämäntyyppisten häiriöiden välttämiseksi suositellaan pohjajohdot asennettavaksi tasolle, joka on vähintään 2/3 kattilan ja epäedullisimman patterin keskipisteiden korkeuserosta (ns. Tichelmannin teoreema). [12]

Kiertovoiman suuruuteen voidaan vaikuttaa usealla tavalla:

- Tehokkain keino kiertovoiman kasvattamiseen on huolehtiminen siitä, että verkoston kokoa kuvaavan parametrin h/L arvo on mahdollisimman suuri.
- Toiseksi tehokkain keino kiertovoiman kasvattamiseen on menoveden lämpötilan nostaminen paluueden lämpötilan pysyessä vakiona.
- Vähiten tehokas toimenpide kiertovoiman nostamisessa on menoveden lämpötilan kasvattaminen, kun meno- ja paluueden lämpötilaero pidetään muuttumattomana. Tämän toimenpiteen vaikutus on suhteellisesti suurin suurilla h/L - ja ΔT -arvoilla.

3.3.2 Putkiston painehäviö

Painovoimaisissa laitoksissa tulee kunkin patterin kohdalla tarkistaa ko. kiertopiirissä vallitseva kiertovoima, jonka tulee aina olla suurempi kuin painehäviöt samassa kiertopiirissä. Kriittinen tässä suhteessa on edellä mainittu virtausteknisesti epäedullisimman patterin piiri, koska sen kiertovoima on pienin.

Jokaisen patterin kiertopiiri muodostuu haarasta haaraan ulottuvista putkiosuuksista. Putkiosuuden virtauksen kitkapainehäviö lasketaan yhtälöstä [7]

$$\Delta P = \frac{\lambda l v^2 \rho}{D} \quad (\text{Pa}), \quad (3)$$

missä putkiosuuden pituus l on meno- ja paluujohdon yhteispituus.

Jakamalla yhtälö (3) puolittain osuuden pituudella saadaan yksikköpainehäviö

$$\frac{\Delta P}{l} = \frac{\lambda v^2 \rho}{D} \quad (\text{Pa/m}). \quad (4)$$

Yhtälöissä (3) ja (4) λ on dimensioton kitkapainehäviökerroin, joka on Reynoldsin luvun funktio [5, 6, 7]:

$$\lambda_{\text{lam}} = \frac{64}{\text{Re}} \quad \lambda_{\text{turb}} = \frac{0.3164}{\text{Re}^{0.25}} \quad \text{Re} = \frac{v D}{\nu} \quad \nu = f(T). \quad (5)$$

Funktion muoto riippuu virtauksen luonteesta ja on erilainen laminaarisen ja turbulenttisen virtauksen tapauksissa, yht. (5). Lisäksi Reynoldsin luvussa esiintyvä veden kinemaattinen viskositeetti, ν , on lämpötilan funktio. Veden viskositeetti alenee epälineaarisesti lämpötilan kasvaessa.

Kitkapainehäviö putkistossa on siis riippuvainen kattilaveden lämpötiloista, putken halkaisijasta ja virtausnopeudesta. Toisaalta, putken halkaisija, virtausnopeus ja meno- ja paluuveden lämpötilaero sekä piirissä siirrettävä lämpöteho ovat sidoksissa toisiinsa seuraavasti:

$$v = \frac{4 Q}{\pi D^2 \rho c_p \Delta T} \quad (\text{m/s}). \quad (6)$$

Eli valitsemalla putken halkaisija ja kattilaveden parametrit (meno- ja paluuveden lämpötilojen taso) määritetään samalla virtausnopeus ja piirissä siirrettävä lämpöteho. Niiden mukaan määräytyy virtauksen painehäviö. Järjestelmää suunniteltaessa on valittava kaikki nämä parametrit niin, että piirissä tapahtuvat painehäviöt eivät ole kiertovoimaa suuremmat. Muuten suunniteltu lämmönsiirto ei toteudu.

Lämmitysjärjestelmän putkivirtaukselle on ominaista:

- Putkiosuuden virtausnopeus ja painehäviö kasvavat menoveden lämpötilan laskiessa, kun paluuveden lämpötila on vakio. Niiden kasvu on sitä jyrkempi, mitä suurempi lämpötehon siirto on kyseessä.
- Kun putkiosuuden lämpöteho on vakio, putkiosuuden painehäviö ja virtausnopeus kasvavat menoveden lämpötilan laskiessa. Niiden kasvu on sitä jyrkempi, mitä korkeampi on paluuveden lämpötila.
- Putkiosuuden painehäviö kasvaa siirrettävän tehon kasvaessa. Tämä kasvu on sitä voimakkaampi, mitä pienemmästä meno- ja paluuveden lämpötilaerosta ja lämpötilojen tasosta on kysymys. Painehäviön kasvu heikkenee putken halkaisijan kasvaessa.

3.3.3 Kiertovoiman ja putkistopainehäviön vertailu

Yhtälöstä (4) laskettu yksikköpainehäviö kannattaa pitää tuntuma-arvona eikä mitoitusarvona. Se ilmaisee ainoastaan kitkapainehäviötä. Kertavastuksista aiheutuvat painehäviöt muodostavat yleensä noin 25 - 30 % kokonaispainehäviöistä [2, 6, 7]. Lisäksi kannattaa varata jonkun verran paine-eroa patteriventtiilille. Näin ollen kannattaa kertoa yhtälön (4) antama painehäviö kahdella ja vasta sitten suorittaa vertaus kiertovoiman kanssa, yhtälö (2). Vastaavasti voidaan puolittaa yhtälöstä (2) saatu kiertovoima ja verrata suoraan kitkapainehäviöön yhtälöstä (4).

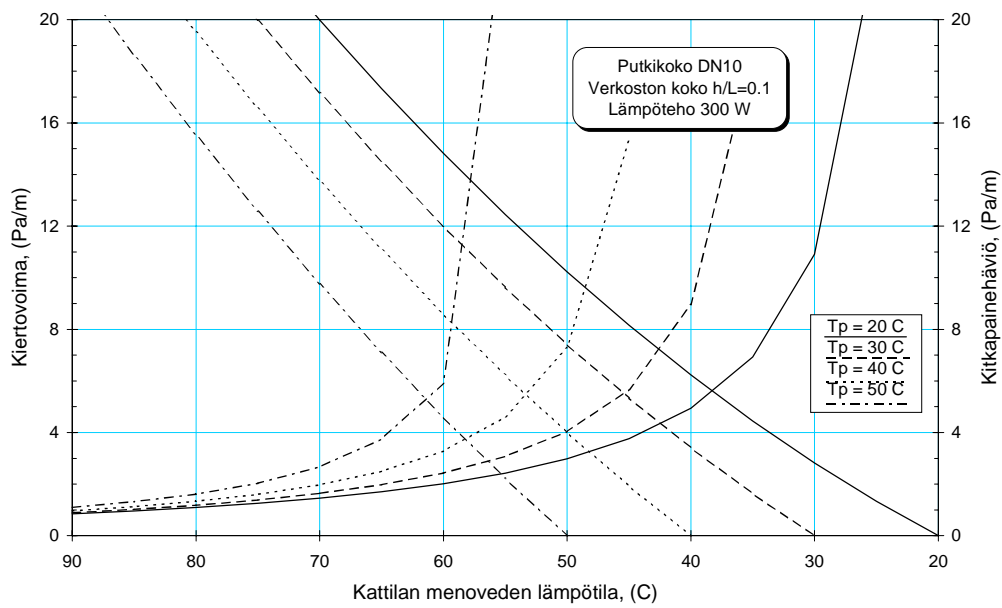
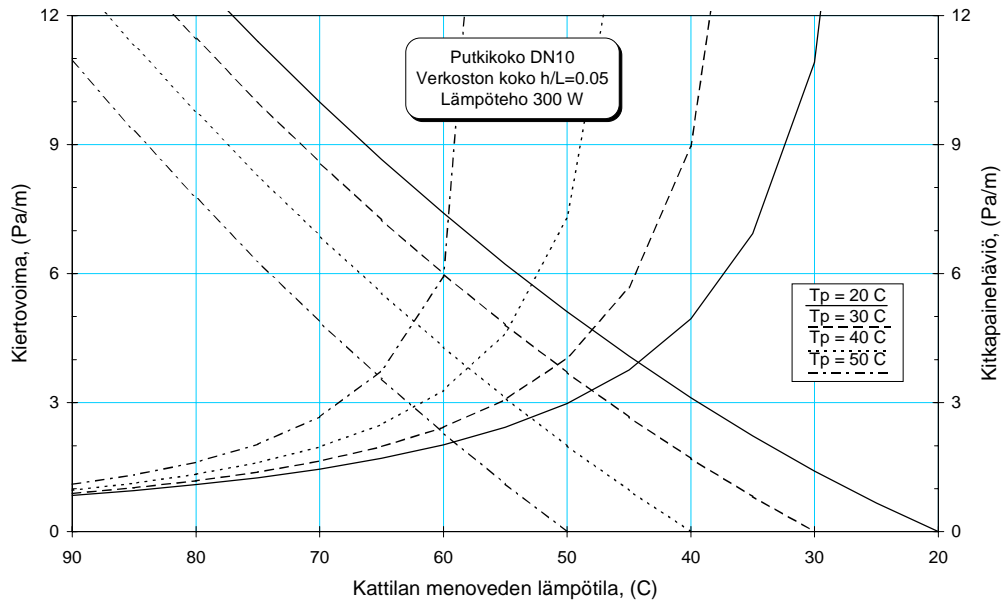
Putkikokoa valittaessa harvoin onnistutaan saavuttamaan kaikissa putkiosuuksissa tismalleen haluttu lämmönsiirto ja yksikköpainehäviö. Se ei ole haitaksi niin

kauan, kun koko piirin painehäviöiden summa ei ylitä kiertovoimaa. Pohjajohtojen mitoituksessa kannattaakin valita halkaisijat kattilan läheisille putkiosuuksille niin, että osuuksien yksikköpainehäviö on hieman suurempi kuin piirin pituuteen suhteutettu kiertovoima. Vastaavasti kattilasta etäisille putkiosuuksille valitaan väljemmät halkaisijat. Tällaisella menettelyllä rajoittuu käytettyjen putkikokojen määrä.

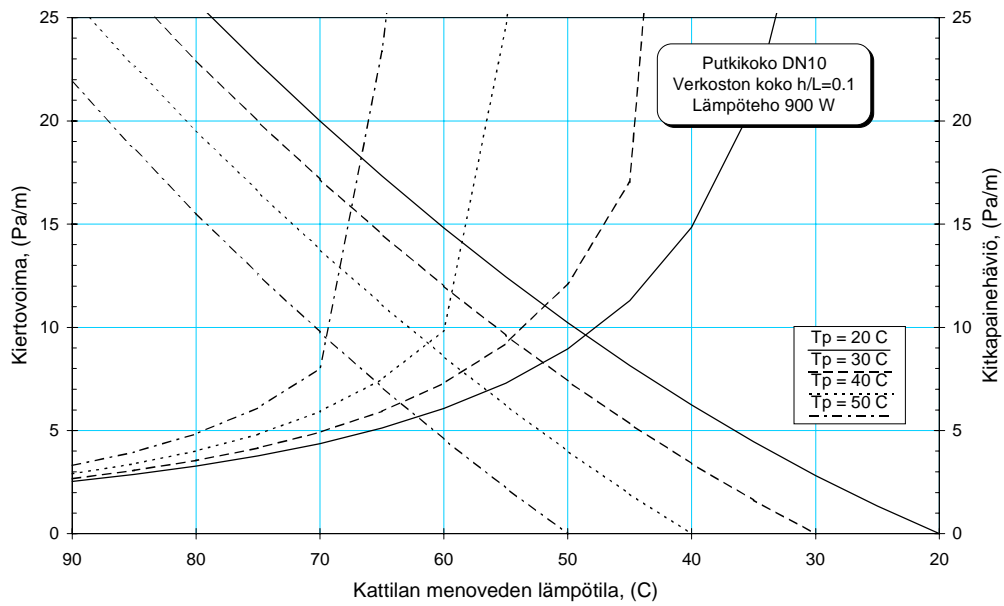
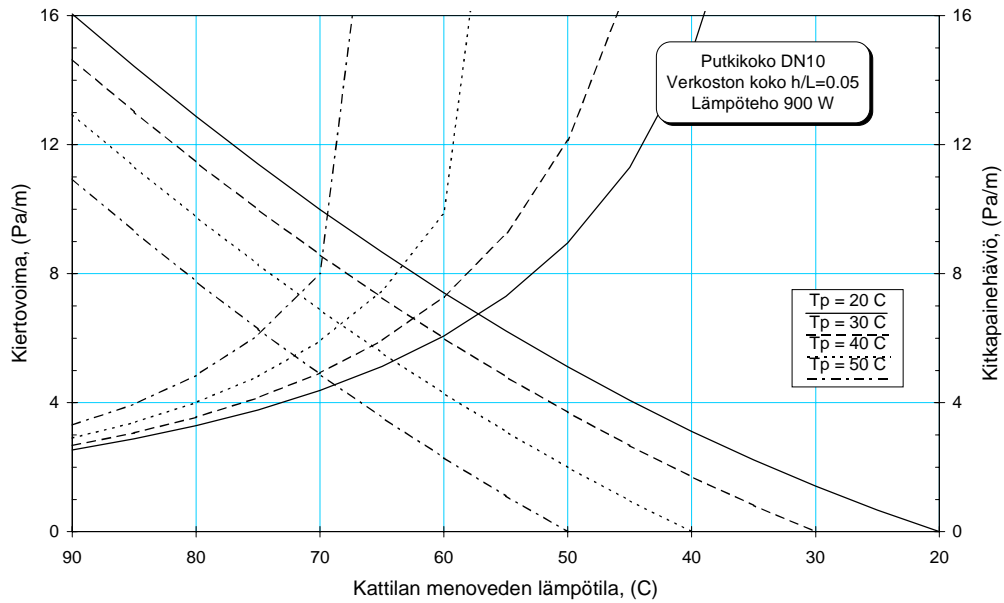
Kuvissa 1 - 3 esitetään kiertovoima ja kitkapainehäviö putkikoolle DN10 menoveden lämpötilan funktiona. Seuraavan neljän (DN15 - DN32) putkikoon vastaavat laskentatulokset ovat liitteessä 2. Laskelmissa pidettiin vakiona verkoston koko (parametri h/L). Kuvien käyrät on laskettu paluueden lämpötilan eri arvoille ja käyrästöt on muodostettu putkiosuudessa siirrettävän lämpötehon eri arvoille.

Kuvien 1 - 3 ja liitteen 2 käyrästöissä käytettiin kaksoisasteikkoa. Vasemman puolen asteikko koskee kiertovoimaa ja siihen kuuluvat käyrät ovat laskevia vasemmalta oikealle mentäessä. Oikean puolen asteikko koskee putkiosuuden kitkapainehäviötä ja siihen kuuluvat käyrät ovat nousevia vasemmalta oikealle mentäessä. Kummankin joukkoon kuuluu neljä käyrää, josta jokainen vastaa tiettyä paluueden lämpötilaa. Saman paluulämpötilan mukaan lasketut kiertovoiman ja painehäviön käyrät on piirretty samalla tyylillä. Näin ollen kussakin käyrästössä on neljä käyräparia, joiden avulla voidaan verrata kiertovoiman ja kitkapainehäviön käyttäytymistä menoveden lämpötilan funktiona.

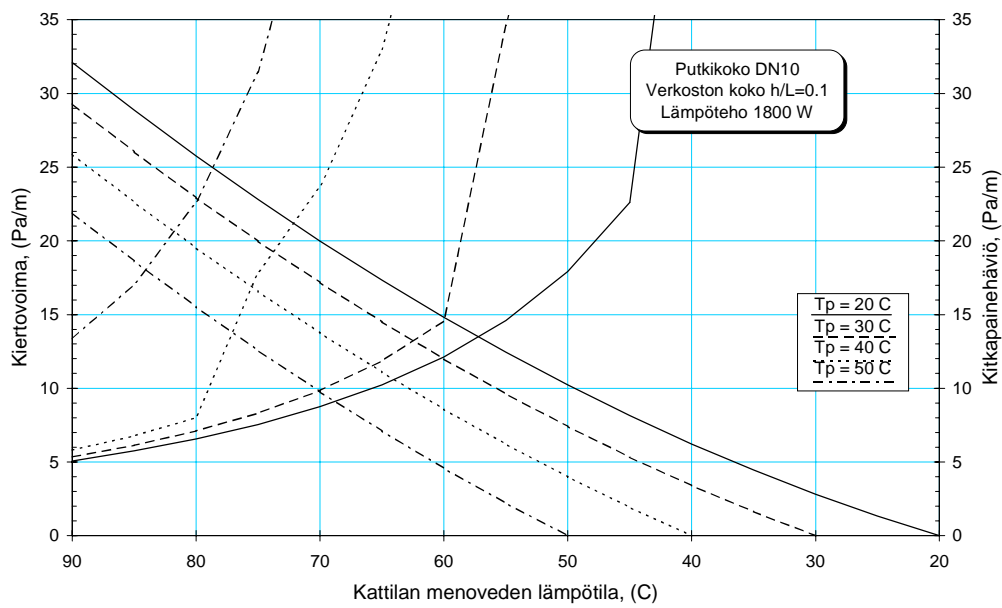
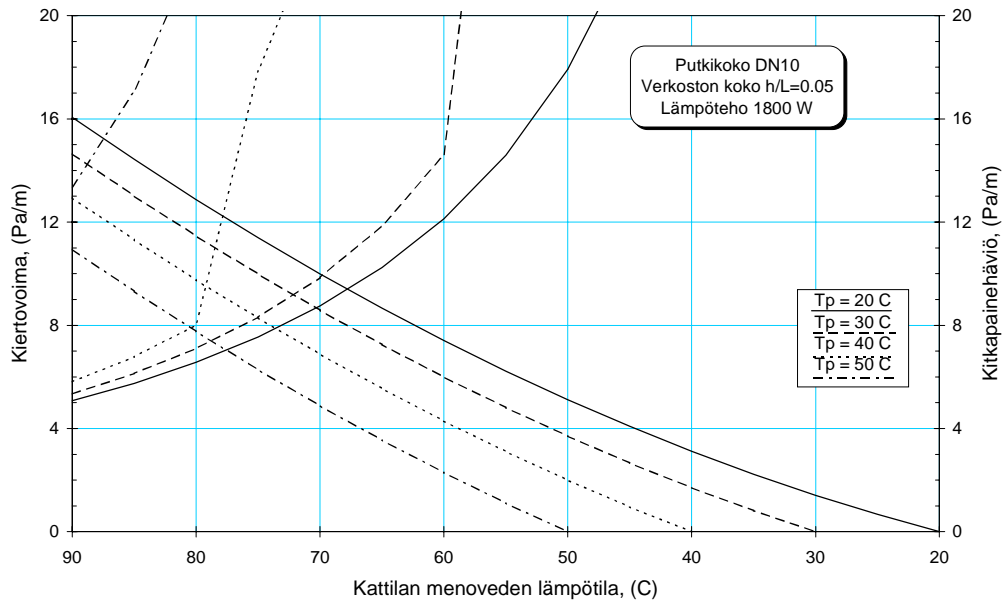
Tietyn paluueden lämpötilan käyräparien leikkauspisteet määrittävät menoveden minimilämpötilan, jonka alapuolella putkiston painehäviöt ovat kiertovoimaa suuremmat. Siis leikkauspisteestä oikealle päin ulottuvalla alueella suunniteltu lämmönsiirto ei toteudu. Käyräparin leikkauspisteessä kiertovoima ja putkiosuuden kitkapainehäviö ovat yhtä suuret. Mutta patterin kiertopiirissä on myös kertavastuksia ja venttiilejä. Näiden takia kannattaa suunnitella meno- ja paluuesien parametrit niin, että kiertovoima selvästi ylittää kitkapainehäviöt. Tämä tarkoittaa käyräparin leikkauspisteestä vasemmalle päin ulottuvaa aluetta.



Kuva 1. Kiertovoiman ja kitkapainehäviön riippuvuus menoveden lämpötilasta putkessa DN10. Verkoston koko $h/L = 0,05$ ja $0,1$. Putkiosuuden lämpöteho 300 W.



Kuva 2. Kiertovoiman ja kitkapainehäviön riippuvuus menoveden lämpötilasta putkessa DN10. Verkoston koko $h/L = 0,05$ ja $0,1$. Putkiosuuden lämpöteho 900 W.



Kuva 3. Kiertovoiman ja kittapainehäviön riippuvuus menoveden lämpötilasta putkessa DN10. Verkoston koko $h/L = 0,05$ ja $0,1$. Putkiosuuden lämpöteho 1 800 W.

3.3.4 Yhteenveto

Laskennallisesti selvitettiin painovoimaisessa järjestelmässä toimivan kattilan veden lämpötilatason vaikutus kiertovoimaan, joka aiheuttaa vedenkierron lämmönjakojärjestelmässä. Kiertovoiman suuruus esitettiin suhteellisena. Verkoston koko ja kattilan sijainti järjestelmässä on otettu huomioon kiertovoiman laskennallisessa esitysmuodossa.

Rakennuksen lämmöntarpeiden kattaminen vesikeskuslämmitysjärjestelmässä tapahtuu veden välityksellä. Tässä analyysissa ei otettu kantaa lämmöntarpeiden laskemiseen. Myös patterista huonetilaan tapahtuvan lämmönluovutuksen laskenta jätettiin analyysin ulkopuolelle. Sen sijaan paneuduttiin virtausteknisestä näkökulmasta lämpötehon siirtämiseen kattilasta pattereihin verkoston välityksellä. Veden kierrättäminen verkostossa aiheuttaa painehäviöitä. Analyysissa laskettiin kitkapainehäviöt, jotka aiheutuvat erisuuruisten lämpötehojen siirrosta verkostossa.

Analyysin painopiste on putkivirtauksen painehäviön ja kiertovoiman vertailussa. Tämä vertailu esitetään graafisesti liitteessä 2 (kuvat 1 - 14). Kuvissa esitetyt käyrästöt osoittavat tekniset rajat luonnonkiertoisen lämmitysjärjestelmän toiminnan mahdollisuudelle kattilaveden lämpötilatason funktiona.

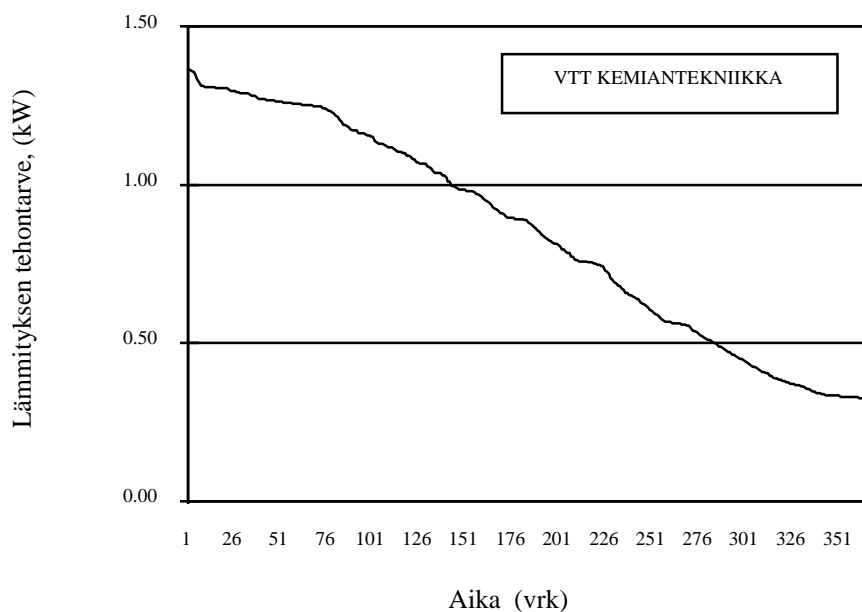
3.4 PÄÄSTÖJEN VERTAILU - LASKENTA-ANALYYSI

3.4.1 Tehontarpeen pysyvyyskäyrä

Matalaenergiapientalon öljylämmityksen päästöjen laskemiseksi määritettiin vuotuinen lämmitysenergian tarve. Aikaisempien tutkimusten mukaan on normaalin suurehkon omakotitalon bruttoenergiankulutus noin 32 000 kWh/a. Tästä on talousveden lämmityksen osuus noin 3 000 kWh/a ja taloussähkön osuus noin 7 000 kWh/a. [3, 8, 11]

Matalaenergiapientalon huonelämmityksen nettoenergiantarpeeksi valittiin 4 845 kWh/a ja talousveden lämmitysenergiantarpeeksi 2 555 kWh/a. Yhteensä laskennassa käytettiin vuotuisena nettoenergiantarpeena 7 400 kWh/a. Huonelämmityksen vuotuinen energiantarve laadittiin tehontarpeen pysyvyyskäyrän muotoon Helsingin pitkäaikaisen keskimääräisen ulkolämpötilan perusteella. Käyttöveden lämmitystarpeen oletettiin jakautuvan tasaisesti koko vuodelle ja vaativan jatkuvasti keskimääräisen 292 W:n tehon.

Energiantuotannon päästöt öljylämmityksessä määritettiin huonelämmityksen ja käyttövedenlämmityksen vuorokausitehojen summana saatua lämmitystehontarpeen pysyvyyskäyrää käyttäen. Pysyvyyskäyrä esitetään kuvassa 4.

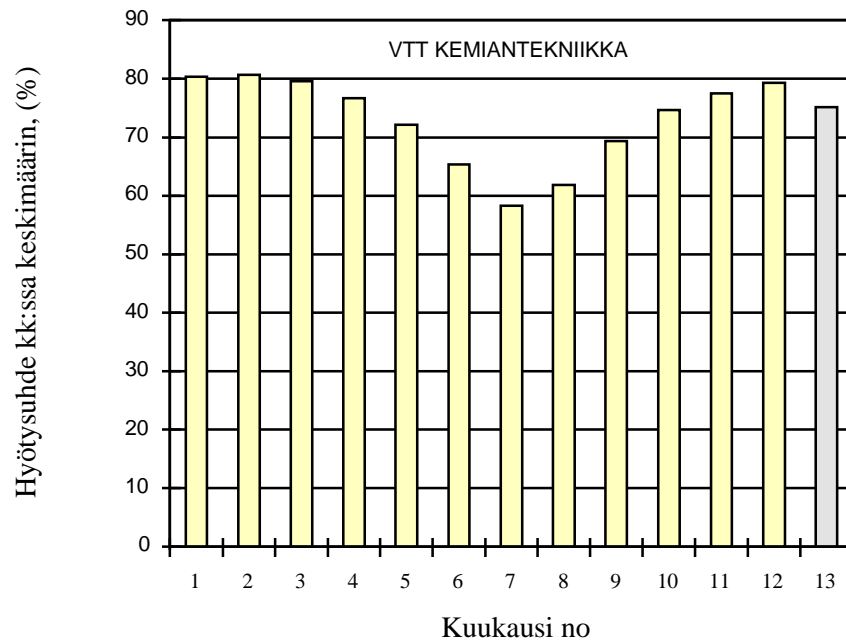


Kuva 4. Matalaenergiapientialon lämmitystehontarpeen pysyvyys (vuosienergia 7 400 kWh/a ilman taloussähköä).

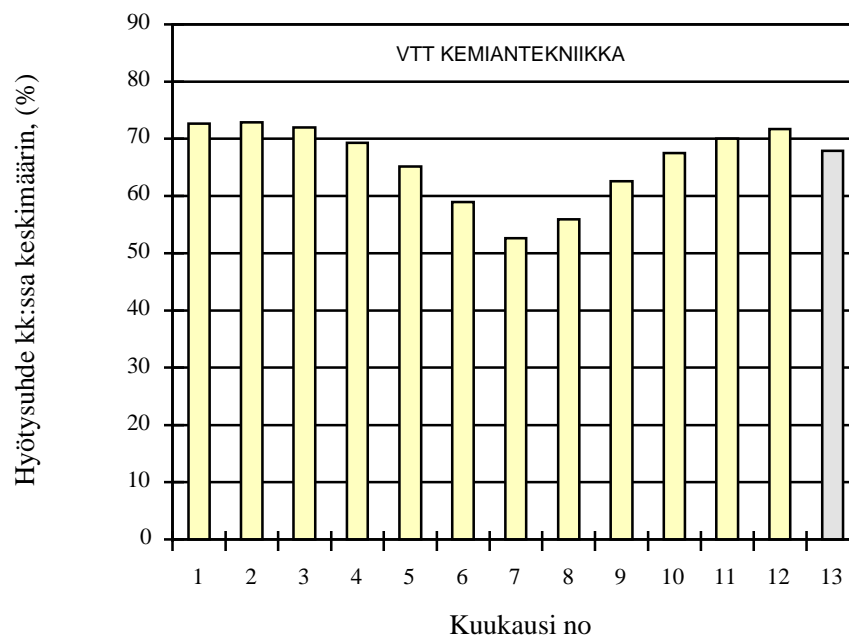
Lämmityksen vuotuinen keskiteho oli 845 W ja pelkän huonelämmityksen vuotuinen keskiteho oli 553 W. Suurin yhteinen vuorokausiteho oli 1 363 W, ja huonelämmityksen suurin vuorokausiteho oli 1 071 W.

3.4.2 Öljylämmityksen hyötysuhde

Öljylämmityksen hyötysuhde määritettiin laitteiden laboratoriotestien mittaustulosten perusteella. Tavanomaisen kattilan eristysväliksi oletettiin 200 W. Samaa arvoa käytettiin myös öljykamiinaan liitettävien, käyttöveden tuoton edellyttämien kaikkien lisälaitteiden eristysväliä yhteisenä arvona. Tavanomaisen kattilan poltintehona käytettiin 100 W:a ja patteriveden pumppaustehona 50 W:a. Öljykamiinan oma sähkön käyttö sekä käyttövesivaraajan toiminnan edellyttämän kierrätyksen arvioitiin tarvitsevan 50 W:n tehon. Patteriveden pumppaustehoksi arvioitiin öljykamiinaa käytettäessä myös 50 W. Molemmat lämmityslaitteet oletettiin on - off-säätöisiksi ja täydellä teholla toimiviksi. Nykyaikaisen öljykattilan vuosihyötysuhteeksi saatiin 75,2 % ja pienitehoisen öljykamiinan ja käyttövesivaraajan yhteiseksi vuosihyötysuhteeksi 67,9 %, kuvat 5 ja 6. Öljykamiinan heikompaan hyötysuhteeseen vaikutti osaltaan korkea savukaasun lämpötila.

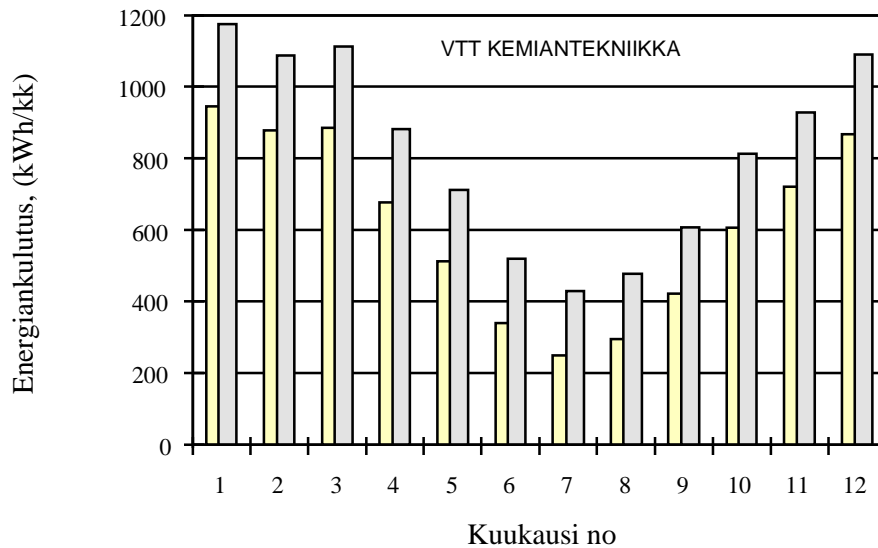


Kuva 5. 20 kW:n tehoisen öljykattilan hyötysuhde matalaenergiapientalossa (energiantarve 7 400 kWh/a netto, ilman taloussähköä).

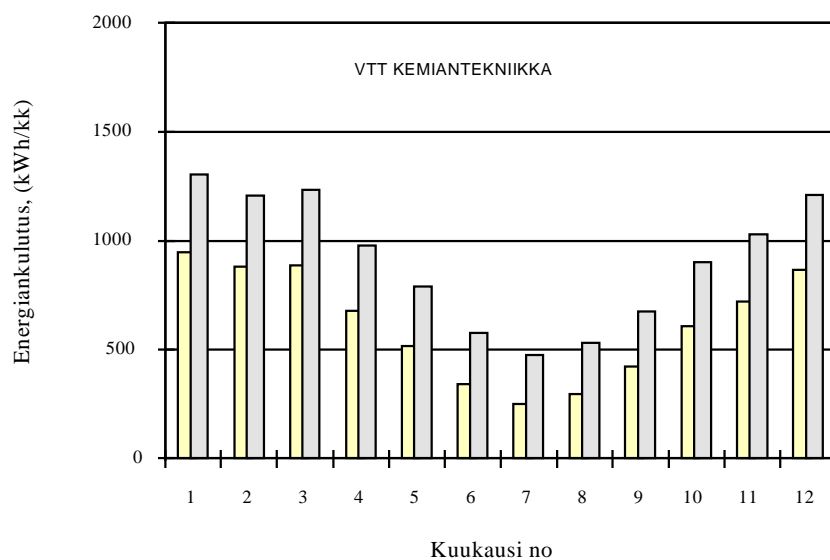


Kuva 6. 4 kW:n tehoisen öljykattilan hyötysuhde matalaenergiapientalossa (energiantarve 7 400 kWh/a netto, ilman taloussähköä).

Samasta vuotuisesta nettoenergiatarpeesta laskettiin vuotuinen bruttoenergian tarve kummallekin lämmityslaitteelle; vuosienenergia jaettiin lisäksi osiinsa kullekin kuukaudelle, kuvat 7 ja 8. Kun hyötysuhteet otetaan huomioon, saatiin tuotettavaksi bruttoenergiämääräksi 20 kW:n tehoisella kattilalla 9 841 kWh/a ja pienitehoisella kamiinalla 10 895 kWh/a.



Kuva 7. Netto- ja bruttoenergiakulutukset 20 kW:n öljykattilalla varustetussa matalaenergiatalossa (ei taloussähköä).



Kuva 8. Netto- ja bruttoenergiakulutukset 4 kW:n öljykamiinalla varustetussa matalaenergiatalossa (ei taloussähköä).

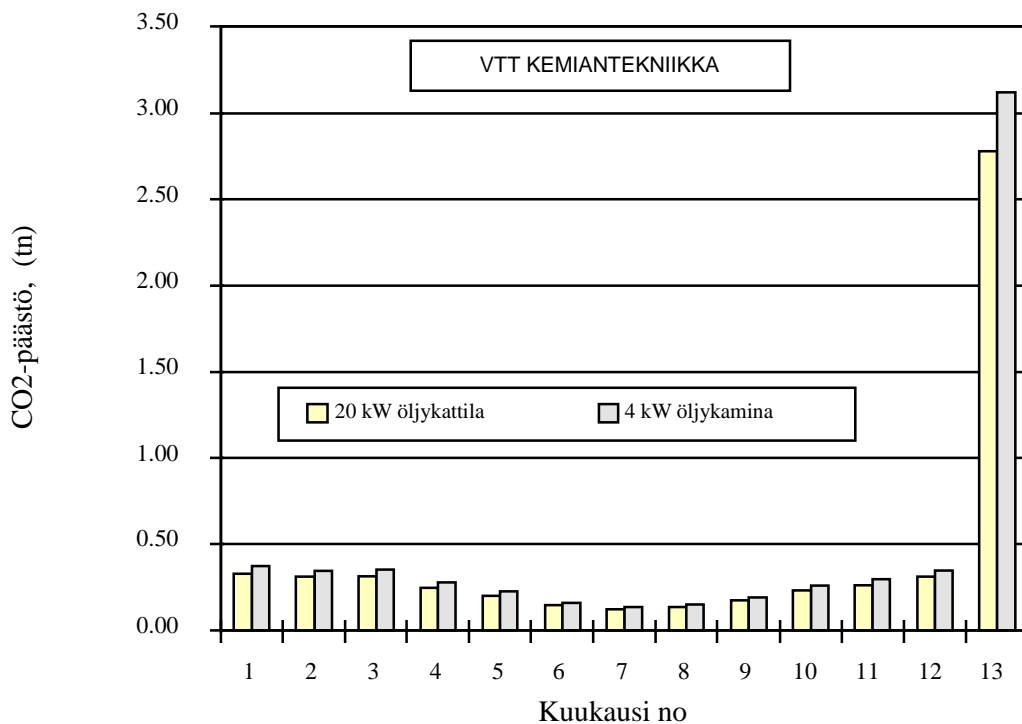
3.4.3 Öljylämmityksen päästöt

Laboratoriomittausten perusteella määritettiin laitteiden ominaispäästöt, joiden avulla laskettiin öljylämmityksen päästöt. Lämmitysjärjestelmien sähköenergian kulutuksen perusteella otettiin laskennassa huomioon myös tästä aiheutuvat päästöt. NO- ja NO_x-päästöt on yhdistetty sekä laskettu ja ilmoitettu NO₂-ekvivalentteina.

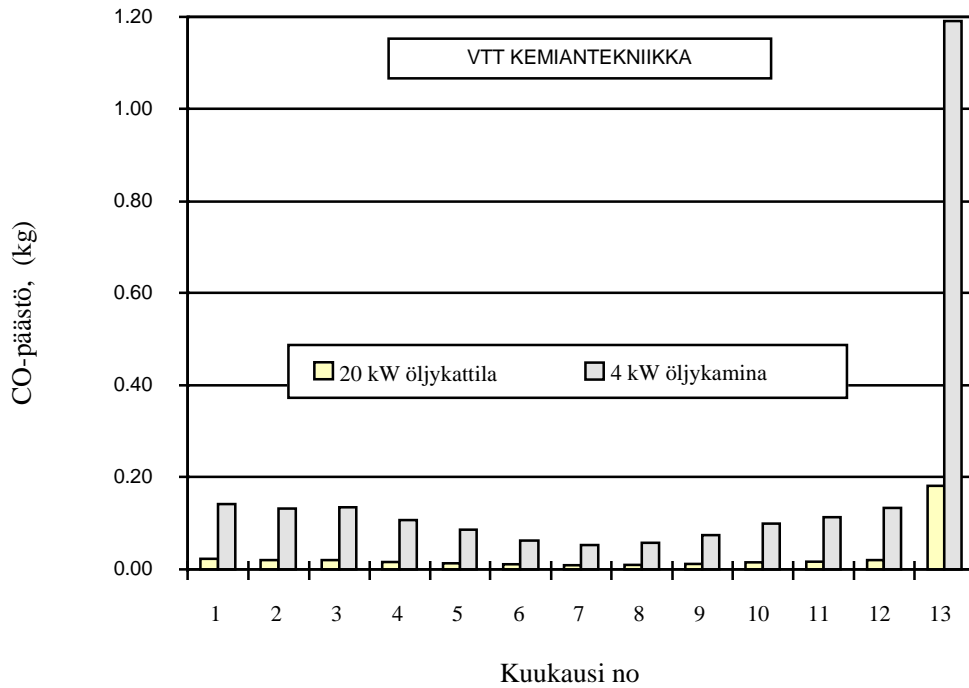
Taulukko 2. Lasketut vuotuiset päästöt.

		20 kW:n öljykattila	4 kW:n öljykamiina
CO ₂	tn/a	2,7	3,1
CO	kg/a	0,2	1,2
NO _x	kg/a	2,0	14,9

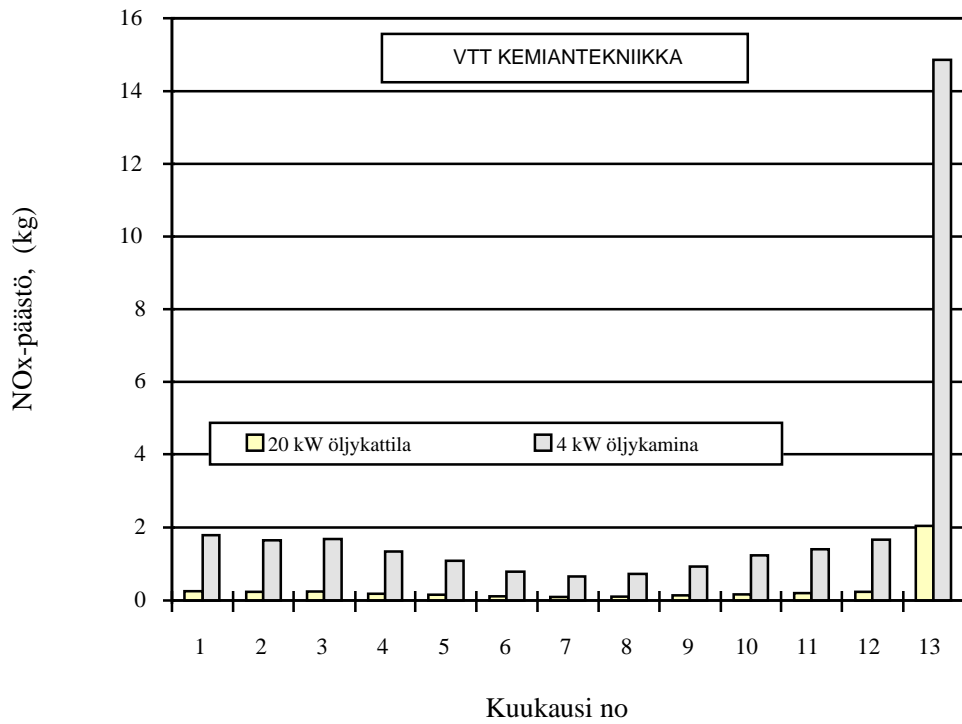
Laskennassa käytetyillä energiamäärillä saatiin matalaenergiapientalon öljylämmityksen vuotuiset päästöt kuvien 9, 10 ja 11 sekä taulukon 2 mukaisiksi.



Kuva 9. Öljylämmityksen CO₂-päästö matalaenergiapientalossa.



Kuva 10. Öljylämmityksen CO-päästö matalaenergiapientalossa.



Kuva 11. Öljylämmityksen NO_x-päästö matalaenergiapientalossa.

3.5 PIENEN TEHON LÄMMITTIMET - LAITEKOKKEET

Käyttöön oletettiin saatavan petrolilla toimivaksi suunniteltuja lämmittimiä, joiden toimintaa oli tarkoitus selvittää sekä petrolilla että polttoöljyllä. Kokeiltavaksi saatiinkin polttoöljylle suunniteltuja lämmittimiä, joten toimintakokeet voitiin tehdä pelkästään polttoöljyllä. Tarkoituksena oli selvittää lämmittimen pienin ja suurin toimintateho sekä mitata savukaasun lämpötilat, ilmakerroin (CO₂- tai O₂-pitoisuus) sekä CO-pitoisuus näillä tehoilla ja selvittää tarvittavat käyttötoimenpiteet ja mahdolliset toimintahäiriöt. Tulosten perusteella (taulukko 3) arvioitiin laitteen soveltuvuutta asuinrakennuksen lämmitykseen.

Koetuloksia käsiteltiin projektiryhmän kokouksissa. Matalaenergiapientalon lämmittimen kehittämisen lähtökohdaksi katsottiin parhaiten soveltuvan ilmaa lämmittävä Wallas m2600 -kamiina, jonka rakenne, toiminta ja palamistekniset arvot olivat jatkokehittämisen kannalta käyttökelpoisimpia. Kabola-lämmittimessä lämpö siirtyi keskuslämmitysveteen painovoimaisessa vedenkierrossa.

Taulukko 3. Testattujen lämmittimien koetulokset.

Koe n:o	Savuk. lämpöt. °C	Ilman lämpöt. °C	O ₂ %	CO %	CO ₂ %	noki n:o	Teho kW	Säätö n:o
Lämmitin n:o 1 (Helo)								
1	127	24	11,9	0,88		0	3,2	3
2	130	24	15,8	0,01		0	3,2	3
3	195	24	10-11	0,02		<9	3,2	3
4	170	24	12,3	0,02		<9	3,2	3
5	173	24	14	0,01		0-1	3,2	3
Lämmitin n:o 2 (Wallas m4000)								
1	212	23	12,3	<0,01		0	3,16	½
2	240	23	13,6	<0,01		0	3,92	max
3	203	23	12,8	<0,01		0	3,14	min
4	204	23	12,3	<0,01		0	3,01	min
5	239	23	14,3	<0,01		0	3,91	max
Lämmitin n:o 3 (Wallas m2600)								
1	333	23	10,1	0,0005	7,2		2,31	max
2	268	23	11,1	0,0015	6,5		1,59	2/3
3	178	23	12,9	0,0105	5,3		0,85	1/3
Lämmitin n:o 4 (Mikuni)								
1	311	19	5,2	0,0028	9,8		4,18	max
Lämmitin n:o 5 (Kabola)								
1	365	19	7,4	0,0152	10,6		2,21	max
2	301	21	5,4	0,0800	12,8		1,54	½
3	192	20	3,3	0,2800	15,4		0,91	min

3.6 SUMUTUSPOLTTIMET - LAITEKOKKEET

3.6.1 Johdanto

Sumutuspolttimissa käytetään yleisesti 0,5 gallonan (U.S.gall/h) suuttimia, joilla poltinteho on noin 17 kW. Tehon alentamista selvitettiin Oilon Oy:n ja Neste Oy:n tutkimuksessa, jossa Oilon Oy pyrki mitoittamaan tavallisen sumutus-hajoitteisen polttimen palopään rakennetta paremmin pienelle teholle sopivaksi. Neste Oy testasi polttimen toiminnan. Tuloksia verrattiin vakiopalopäällä varustettuun kevytöljypolttimeen. Ensimmäinen laitekoetehtiin vuoden 1994 lopulla ja lisäkehitys vuonna 1995 ja sille polttokokeet vuoden 1996 alkupuolella.

3.6.2 Palopään kehitys

Palopää F1 on kehitetty Oilon Junior -kevytöljypolttimeen, joka on varustettu öljyn esilämmittimellä. Kehitystyön tavoitteena on ollut saattaa tuotantoon pienitehoinen öljypoltin, joka sopii useimpiin markkinoilla oleviin 17 - 20 kW:n tehoisiin lämmityskattiloihin. Toiminnallisina tavoitteina olivat häiriötön käynti, vähäinen nokeaminen ja palamisen korkea hyötysuhde.

3.6.3 Polttokokeiden toteutus

Polttokokeet tehtiin Neste Oy:n Polttolaboratoriossa Teknologiakeskuksessa Kulloossa. Polttimien tehoa vähennettiin suutinkokoa pienentämällä (0,5 -> 0,4 U.S.gall/h) ja sumutuspainetta alentamalla.

Mittauksissa savukaasun happipitoisuutta säädettiin pienemmäksi, kunnes palaminen huononi. Paine-kokeissa sumutuspainetta muutettiin palamistuloksen mukaan välillä 6 - 13 bar.

Kokeissa käytettiin polttoaineena Neste Oy:n valmistamaa talvilaatuista kevyttä polttoöljyä Tempera 4:ää. Öljyn viskositeetti on tyypillisesti noin 3,2 mm²/s.

Kokeissa käytettiin seuraavia kattila-poltinlaitteistoja:

Kattila: Högfors 2000, valmistusnumero 60872

Poltin: Oilon Junior LF, numero 0418098

Suuttimet: 1. Danfoss 0,5 U.S.gall/h 60°S

2. Danfoss 0,4 U.S.gall/h 60°S

Palopää: 1. Normaali

2. Pienelle teholle tarkoitettu malli.

Mitattavat kohteet mittalaitteineen olivat:

Savukaasut:

- happipitoisuus Hartmann & Braun (H&B) Magnos 3, paramagneettinen (laitenro LEA.011)

- häkäpitoisuus H&B Uras 3, IR-absorptio (LEA.002)

- typen oksidit, AAL, kemiluminesenssi (LEA.007)

- nokiluku, Bacharach-nokipumppu, Macbeth RD 914 -tummuusmittari

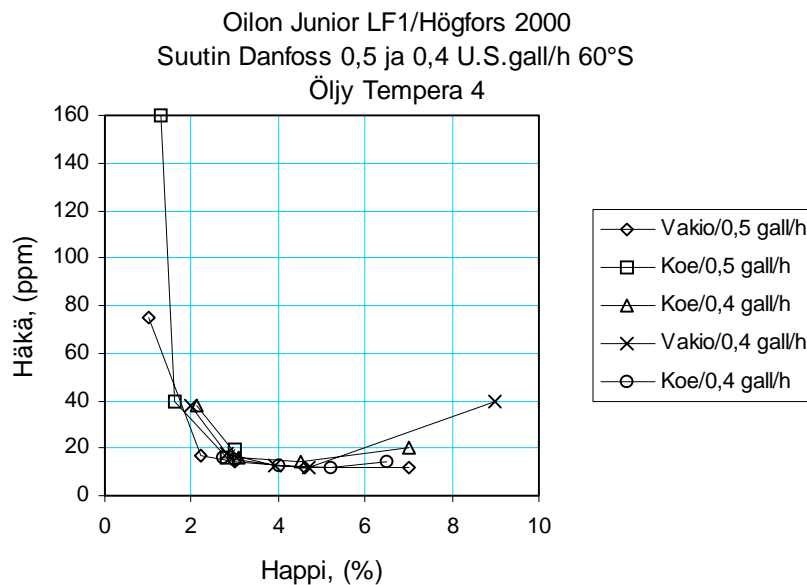
- lämpötilat (myös palamisilma) AT2 Digital (LTM.005), K-tyypin termoelementit.

Polttoainevirta mitattiin kellon ja vaa'an (Mettler PK60, LBA.004) avulla.

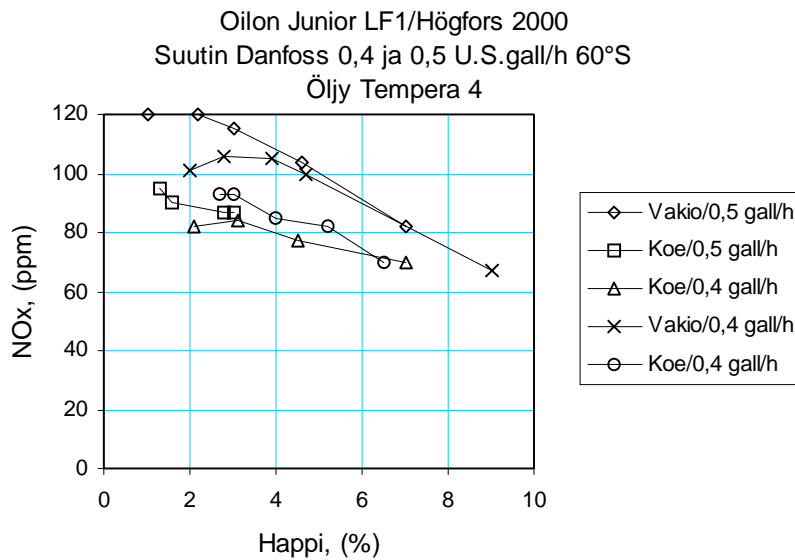
Öljyn paine, VDO 0 - 25 baarin painemittarilla.

3.6.4 Tulokset 1994

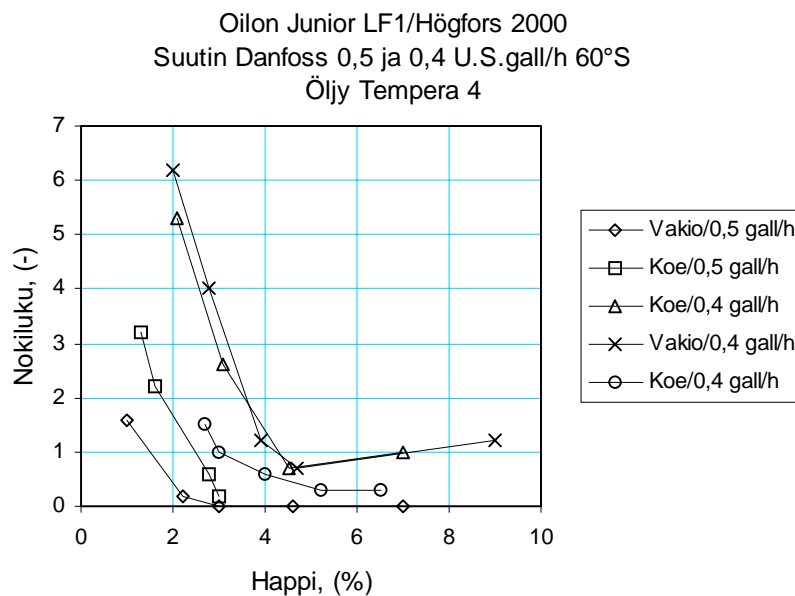
Tulokset osoittivat, että koepalopää ei merkittävästi vaikuttanut palamistulokseen. Pienemmällä suuttimella palaminen oli selvästi huonompaa kuin normaalikokoisella suuttimella. Mittaustulokset ovat graafisesti kuvissa 12 - 15 ja taulukoituna liitteessä 3. Hyvän palamisen kriteereinä ovat häkäpitoisuus, alle 85 ppm standardin SFS-EN 303-2 mukaan [10], sekä erityisesti nokiluku, jonka tulee olla alle yhden. Tulosten tarkastelu on tehty pääosin nokiluvun perusteella, sillä sen erot olivat selvimmät.



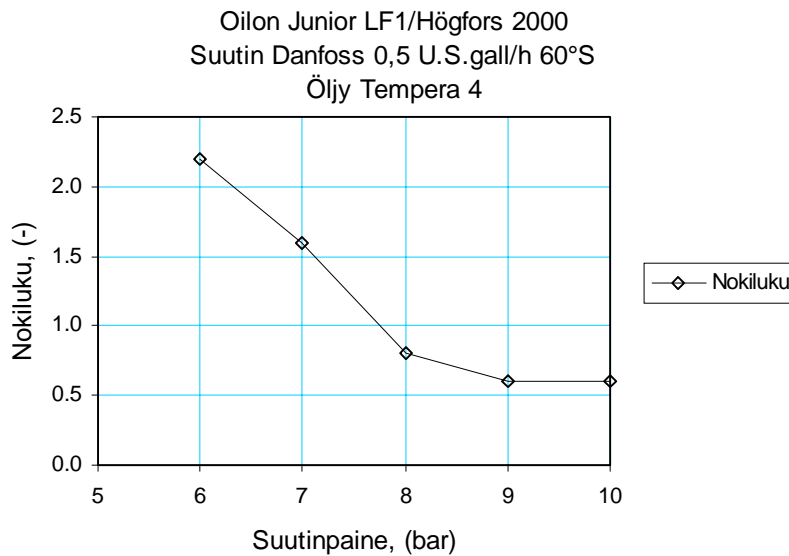
Kuva 12. Savukaasun happipitoisuuden vaikutus häkäpitoisuuteen eri suutin-paineilla ja eri suuttimilla. Poltin Oilon Junior LF1, polttoaine Tempera 4.



Kuva 13. Savukaasun happipitoisuuden vaikutus typpioksidipitoisuuteen eri suutin-paineilla ja eri suuttimilla. Poltin Oilon Junior LF1, polttoaine Tempera 4.



Kuva 14. Savukaasun happipitoisuuden vaikutus nokilukuun eri suutin-paineilla ja eri suuttimilla. Poltin Oilon Junior LF1, polttoaine Tempera 4.



Kuva 15. Suutinpaineen vaikutus nokilukuun. Suutin Danfoss 0,5 U.S.gall/h, poltin Oilon Junior LF1, polttoaine Tempera 4.

0,5 U.S.gall/h suuttimella palaminen on kummallakin palopäällä hyvää, vakiopalopäällä hapen säätöalue on 1,5 - yli 7 % nokiluvun ja häikäpitoisuuden pysyessä hyväksyttävällä tasolla. Koepalopää nokesi herkemmin ja sillä ei päästy alle 2,5 %:n happipitoisuuden.

0,4 U.S.gall/h suuttimella olivat palamistulokset aluksi huonoja. Kummallakin palopäällä nokiluku pysytteli parhaimmillaankin noin 0,5:ssä. Hapen säätöalue oli vakiopalopäällä 4 - 8 % ja pientehopalopäällä 4 - 7 %.

Suutinputkea säätämällä saatiin palamistulosta hieman paremmaksi ja hapen säätöalue parani 3 %:iin pienessä päässä. Normaali-alueella nokiluku jäi selvästi korkeammaksi kuin 0,5 gallonan suuttimella.

Sumutuspainetta pienennettiin tehon alentamiseksi. Kuvasta 15 näkyy, että nokeaminen lisääntyi, kun sumutuspaine laski alle 9 baarin. Tämän perusteella ei painehajoitteisen polttimen tehoa voida lähteä pienentämään sumutuspainetta alentamalla. Lisäksi paineen vaikutus polttoainetehoon on varsin vähäistä.

3.7 SUMUTUSPOLTTIMET - TUOTEKEHITYS

3.7.1 Palopään jatkokehitys

Palopää E on palopään F1 jatkokehittely, jossa erityistavoitteena on ollut vähäinen NO_x -pitoisuus nokeamisen lisääntymättä. Tavoitteena oli myös se, ettei palamisen hyötysuhde merkittävästi pienene palopäähän F1 verrattuna. Lisäksi pyrkimyksenä oli saavuttaa hyvät palamistulokset pienitehoisissa, noin 12 - 15 kW:n lämmityskattiloissa.

Palopään E tehoalue määritettiin testikattilassa "Niro 88" soveltaen standardia DIN 4787 T1. Lisäksi selvitettiin samassa testikattilassa palopään toimintaa määritetyn minimitehoalueen alapuolella. Polttoaineena käytettiin Nesteen kevytöljyalaatua Tempera POK 5. Tulokset on esitetty liitteessä 3 olevissa mittauspöytäkirjoissa.

Mittaustuloksista voidaan todeta, että palopäällä saavutetaan hyväksyttävät palamistulokset teholla 1,2 kg/h ja noeton palaminen saadaan teholla 1,5 kg/h. Palopäällä saavutettiin maksimiteho 1,9 kg/h.

Mittaustulosten mukaan E-palopäällä ja öljyn esilämmittimellä varustetun Junior polttimen voidaan olettaa toimivan luotettavasti kattiloissa, joiden nimellistehot ovat 15 - 20 kW.

3.7.2 Polttokokeet uudella palopäällä, koejärjestelyt

Näissä kokeissa käytettiin polttoaineina kesälaatuista kevytöljyä Tempera 5:tä ja erittäin vähärikkistä Tempera Greeniä. Tempera 5:n tyypillinen viskositeetti on 20 °C:ssa noin 5 mm²/s, Tempera Greenin viskositeetti on yleensä 2,5 mm²/s. Tempera Greenin rikkipitoisuus on korkeintaan 0,005 %, Tempera 5:llä se on tyypillisesti hieman alle 0,1 %:n.

Kattilan vaikutus palamiseen saatiin näkyviin tekemällä jälkimmäiset kokeet kaksitulipesäisellä Jämä Minitier -kattilalla. Väljätulipesäinen kattila ei toimi aivan yhtä hyvin kuin ahtaasti mitoitettu Högfors 2000 -kattila ja palamistuloksen parantamiseksi tehtiin mittauksia myös tavallista suuremmalla, 0,6 gallonan suuttimella.

Vuoden 1996 testeissä koelaitteina olivat:

Kattila: Jämä Minitier -kaksoispesäkattila, numero 1975/25K/225B.

Poltin: Vakiopalopää: Oilon Junior LF, numero 0418098

Koepalopää: Oilon Junior LE, numero 9307790

Suuttimet: 1. Danfoss 0,6 U.S.gall/h 60°S

2. Danfoss 0,5 U.S.gall/h 60°S

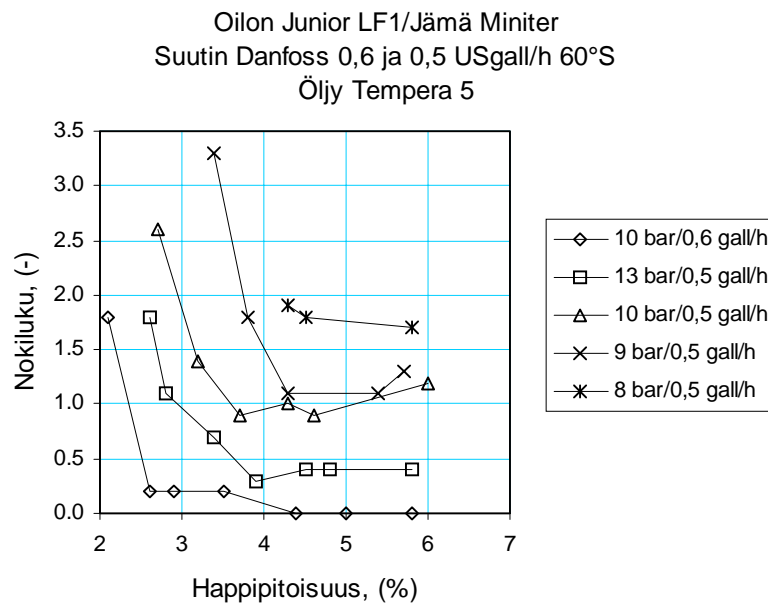
3. Danfoss 0,4 U.S.gall/h 60°S

- Palopää: 1. Normaali
2. Pienelle teholle tarkoitettu malli.

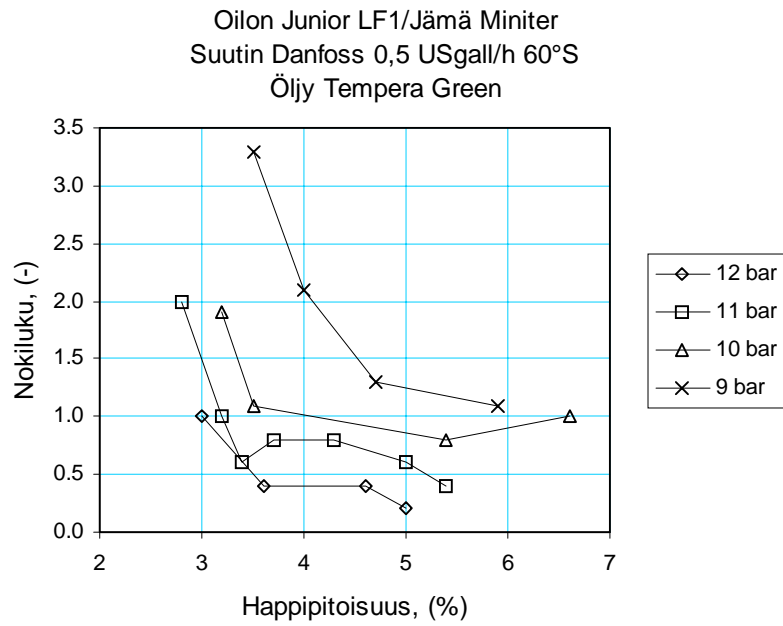
Kokeissa käytettiin samoja mittalaitteita ja analysaattoreita kuin edellisissä laitekokeissa.

3.7.3 Tulokset 1996

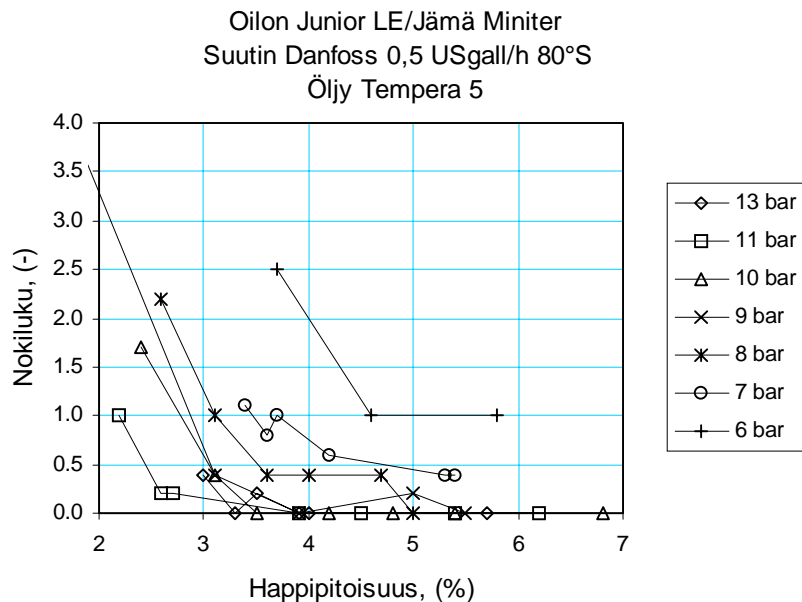
Koetulokset olivat eri muuttujien suhteen kuitenkin samansuuntaiset kuin edellisessäkin mittauksessa. Koepalopäällä saavutettiin vähäinen parannus palamiseen. Nokilukutulokset ovat graafisena esityksenä kuvissa 16 - 21 ja kaikki tulokset ovat taulukoituna liitteessä 3.



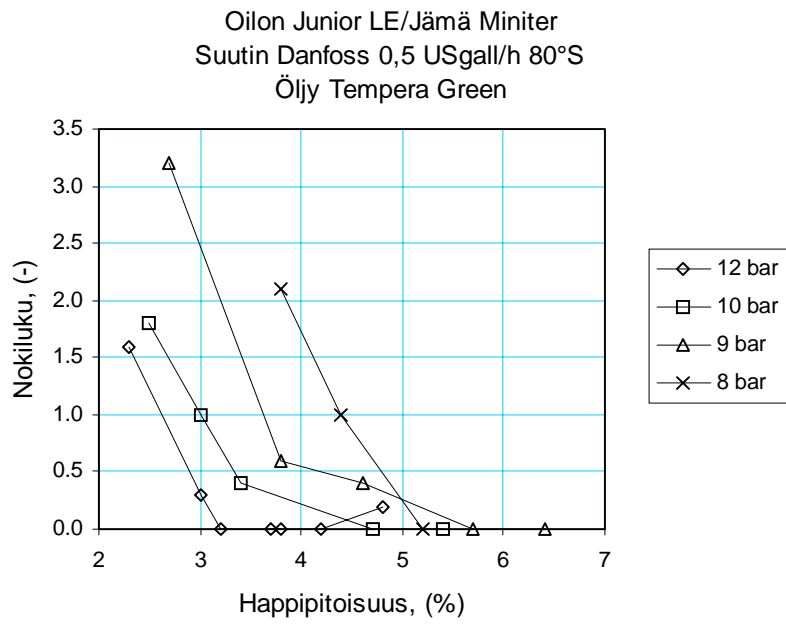
Kuva 16. Savukaasun happipitoisuuden vaikutus nokilukuun eri suutinpaineilla. Poltin Oilon Junior LF1, polttoaine Tempera 5.



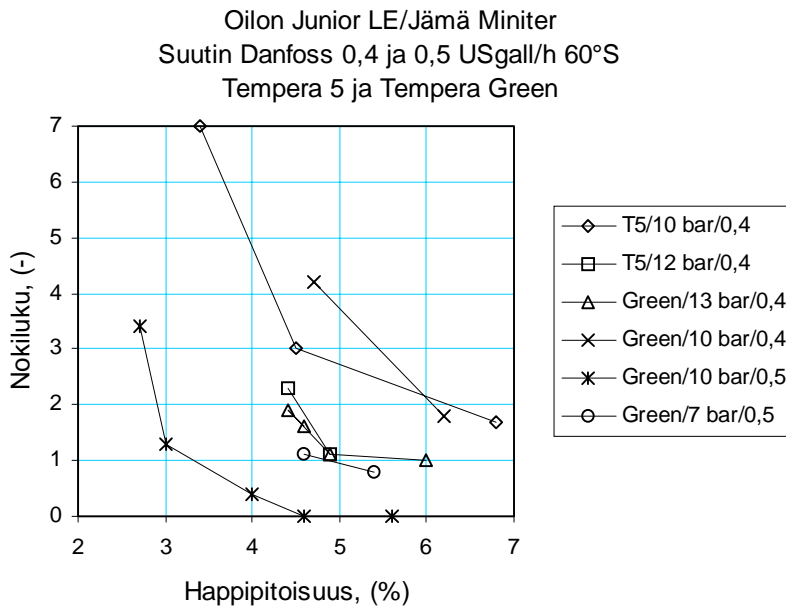
Kuva 17. Savukaasun happipitoisuuden vaikutus nokilukuun eri suutinpaineilla. Poltin Oilon Junior LF1, polttoaine Tempera Green.



Kuva 18. Savukaasun happipitoisuuden vaikutus nokilukuun eri suutinpaineilla. Poltin Oilon Junior LE, polttoaine Tempera 5.

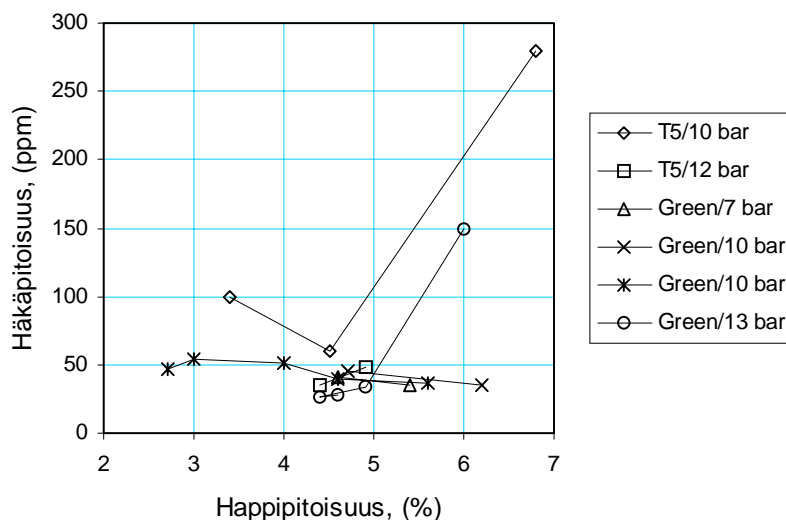


Kuva 19. Savukaasun happipitoisuuden vaikutus nokilukuun eri suutinpaineilla. Poltin Oilon Junior LE, polttoaine Tempera Green.



Kuva 20. Savukaasun happipitoisuuden vaikutus nokilukuun eri suutinpaineilla. Poltin Oilon Junior LE, polttoaine Tempera 5 ja Tempera Green.

Oilon Junior LE/Jämä Miniter



Kuva 21. Savukaasun happipitoisuuden vaikutus häkäpitoisuuteen eri suutinpainilla. Poltin Oilon Junior LE, polttoaine Tempera 5 ja Tempera Green.

Polttoaineella ei ollut näkyvää vaikutusta koetuloksiin. Kuvissa 16 ja 17 on esitetty hapen vaikutus nokikuvaan Tempera 5:llä ja Tempera Greenillä, kun poltin on tavallinen Oilon Junior LF1. Koepalopäällä varustetulla Oilon Junior LE:llä saadut tulokset ovat kuvissa 18 ja 19.

Koska esilämmitin lämmittää polttoaineen noin 80 °C:n lämpöiseksi, ei viskositeettierolla ole vaikutusta palamistulokseen. Polttoaineiden erot muiden ominaisuuksien suhteen eivät ole merkittävät.

Ison, 0,6 gallonan (U.S.gall/h) suuttimen palamista tehostava vaikutus näkyy selvästi kuvasta 16. Nokiluku oli selvästi alempi 0,6 gallonan suuttimella kuin 0,5 gallonan suuttimella. Hyvä toiminta-alue oli laajempi ja isommalla suuttimella nokiluku oli vielä 2,5 %:n happipitoisuudella 0,2.

Normaalikokoisella suuttimella saavutettiin koepalopäätä käytettäessä hieman parempi palamistulos kuin vakiopalopäällä. Tämä käy ilmi noki-arvoja esittävästä kuvasta 16 ja 18, joissa polttoaineena oli Tempera 5, ja kuvista 17 ja 19, joissa käytettiin Tempera Greeniä. Koepalopäällä mitatut nokipitoisuudet ovat alhaisemmat kuin normaalipalopäällä.

Pienempää 0,4 gallonan suutinta kokeiltiin vain koepalopäällä LE:llä, mutta sillä ei saavutettu kelvollista palamistulosta. Kuvasta 20 käy ilmi se, että kummallakaan polttoaineella nokilukua ei saatu 0,4 gallonan suuttimella alle 1:n, mikä on

vähimmäisvaatimuksena. Kuvassa 21 ovat vastaavissa pisteissä mitatut häikäpitoisuudet.

Sumutuspaine on parametrina kaikissa kuvissa, ja niistä voidaan havaita, että korkeampi paine parantaa palamistulosta. Suutinkoon ja tehon kasvaessa palamisilman nopeus kasvaa, mikä tehostaa sekoittumista, joka on hyvän palamisen edellytys. Korkeampi sumutusaine pienentää pisarakokoa, mikä puolestaan nopeuttaa öljypisaran loppuunpalamista.

3.8 JÄRJESTELMÄKOKKEET

Järjestelmäkokeiden avulla pyrittiin selvittämään, miten vesikeskuslämmitys-järjestelmä tulisi toteuttaa matalaenergiapientalossa, jotta pienen tehon kattilaan perustuva ratkaisu kykenisi sekä lämmittämään taloa että tuottamaan riittävästi lämmintä käyttövedettä.

Pienen tehon kattilalla varustetun järjestelmän lähtökohtana on se, että kattila toimii jatkuvasti ja tuotettua lämpöenergiaa varastoidaan varaajassa. Varaaja voidaan kytkeä järjestelmään usealla eri tavalla [1, 4]. Tässä raportoidaan tuloksia kahden kytkennän kokeista. Kokeiden tavoitteena oli selvittää järjestelmän lämpimän käyttöveden tuottokykyä, kun käytössä on myös patterilämmitys.

Kokeet suoritettiin laboratoriossa, missä rakennettiin pientalon lämmitystä simuloivaa järjestelmää. Kokeissa käytettiin Kabola-lämmönkehitysyksikköä, jossa on yksinkertaisesti toteutettu lämmönsiirto keskuslämmitysveteen. Pientehon kattila oli kytketty lämmitysvesivaraajaan (540 litraa), joka oli varustettu lämpimän käyttöveden kierukalla. Varaajan latauspiirissä oli kiertopumppu, sen sijaan lämmityspatteripiirissä ei ollut pumppua. Varaaja, latauspiirin putkisto ja lämmityspiirin nousujen alkuosat oli lämpöeristetty.

Käyttövesikokeet suoritettiin soveltamalla standardia SFS 4916 soveltuvin osin [9]. Kokeissa kattila on toiminut jatkuvasti. Käyttöveden juoksutusten aikana lämmityspiirin paluuv veden venttiili oli kiinni, latausten aikana se oli auki.

Mittausjärjestelyt:

Kokeissa mitattiin veden lämpötila kymmenessä järjestelmän eri pisteessä, sekä vesivirrat latauspiirissä ja käyttövesipiirissä. Lämpötilat ja vesivirrat rekisteröitiin Datatakeriin

- viiden minuutin välein latauksen aikana, ja
- viiden sekunnin välein käyttöveden juoksutuksen aikana.

Lämpötilan mittauksissa käytettiin Chromel/Alumel -termoelementtejä.

Mittauspisteet latauspiirissä:

- kattilasta lähtevän veden lämpötila, (NiCr/Ni, Datalogger 505)
- kattilaan palavan veden lämpötila, (NiCr/Ni, Datalogger 505)

- varaajan yläosan lämpötila, (NiCr/Ni, Datalogger 505)
- varaajan keskiosan lämpötila, (NiCr/Ni, Datalogger 505)
- latauspiirin vesivirta, (ALTOFLUX-X 1000, Datalogger 505)

Mittauspisteet lämmityspiirissä:

- varaajasta lähtevän (meno)veden lämpötila, (NiCr/Ni, Datalogger 505)
- varaajaan palavan (paluu)veden lämpötila, (NiCr/Ni, Datalogger 505)
- 1. kerroksen patterin menoveden lämpötila, (NiCr/Ni, Datalogger 505)
- 2. kerroksen patterin menoveden lämpötila, (NiCr/Ni, Datalogger 505)

Mittauspisteet käyttöveden piirissä:

- kylmän (tulevan) veden lämpötila, (NiCr/Ni, Datalogger 505)
- kuumaa (menevää) veden lämpötila, (NiCr/Ni, Datalogger 505)
- juoksuvesivirta, (ALTOMETER X-1000, Datalogger 505)

Lisäksi:

- savukaasun lämpötila, (NiCr/Ni, YEW-piirturi)
- varaajan yläosan pintalämpötila, (NiCr/Ni, YEW-piirturi)
- varaajan alaosan pintalämpötila, (NiCr/Ni, YEW-piirturi)
- polttoaineen virta, (digitaalivaaka ja kello)

Mittalaitteet:

Datalogger DATATAKER 505

ALTOFLUX-X 1000, kilpinumero 084 1697H1, Sliederecht-Holland

ALTOMETER X-1000, PTB Nr Ex-82/2094 X

GWB Sauter -digitaalivaaka

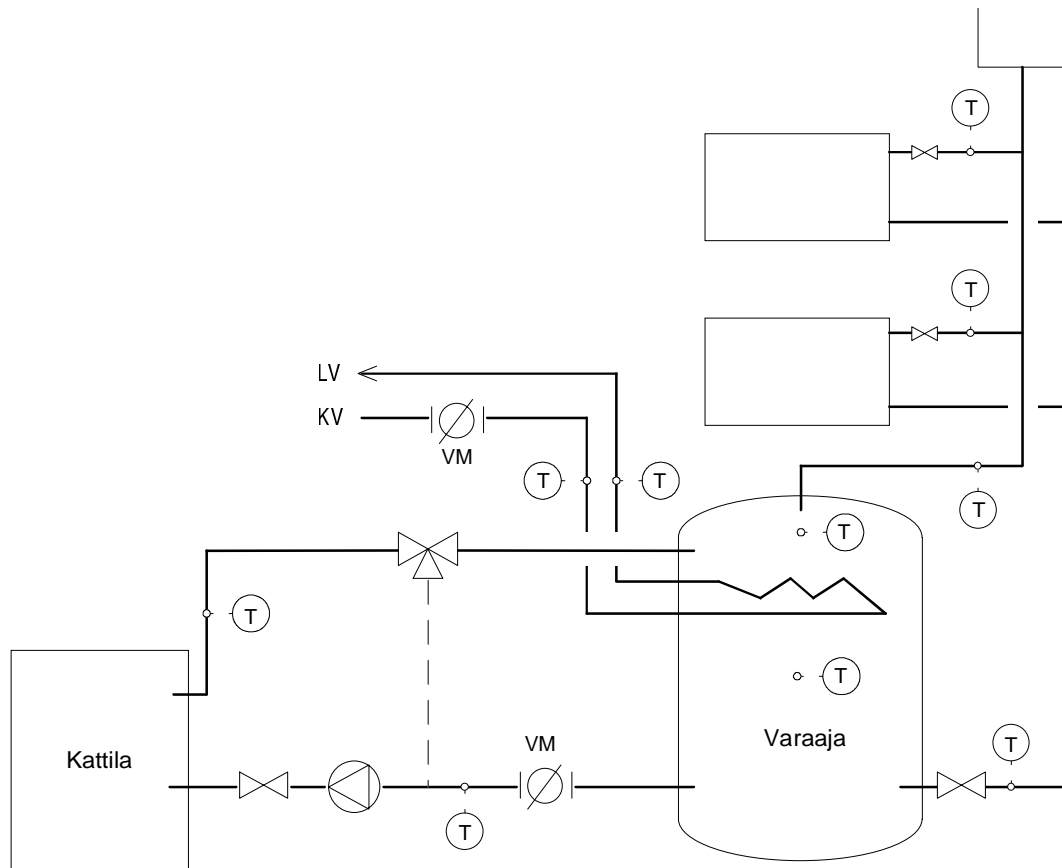
YEW Model 3088 Hybrid Recorder -piirturi Yokogawa Electric Works

Latauspumppu Grundfos Type UPS 25-40 180

3-tieventtiili Termomix, manuaalinen.

3.8.1 Kokeet lämmitysvesivaraajalla

Kokeissa käytetty mittausjärjestelmä ja varaajan kytkentätapa esitetään kuvassa 22.

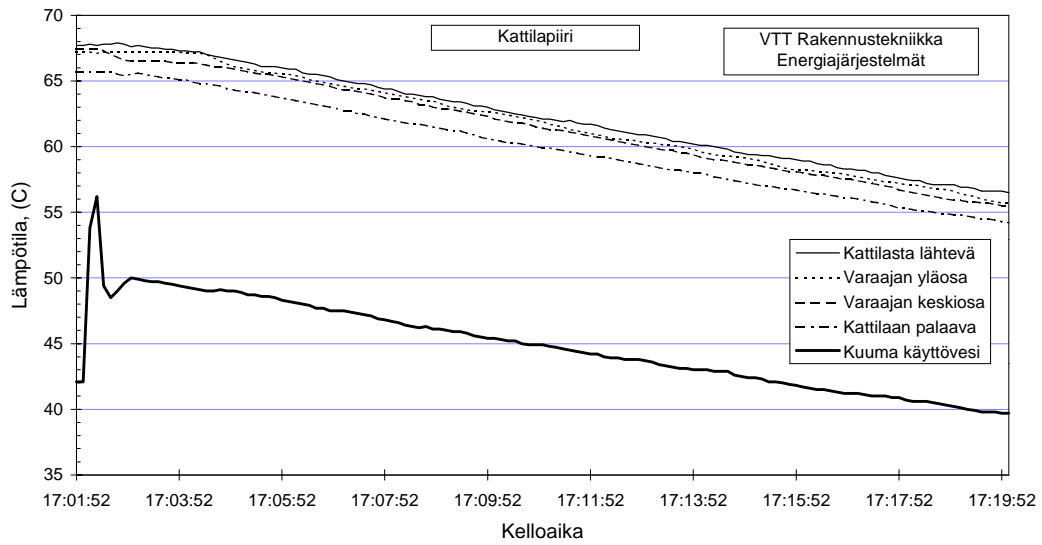


Kuva 22. Mittauksissa käytetty järjestelmä, joka simuloi pientalon lämmitysjärjestelmää.

Koetulokset

Koesarja muodostui vuorottelevista lataus- ja käyttöveden juoksutusjaksoista. Muuttujana kokeissa oli käyttöveden juoksutusvirta. Mitatuista vesivirroista ja lämpötiloista laskettiin myös energiavirrat. Yhteenveto koetuloksista on taulukossa 4. Kokeiden kaikki tulokset on esitetty graafisesti kuvassa 23 ja liitteessä 4 (kuvat 1 - 16).

Saadun lämpimän käyttöveden määrää oli riippuvainen ensisijaisesti juoksutusvirtaamasta ja vaihteli 160 litrasta (juoksutus 0,3 l/s) reiluun 300 litraan (juoksutus 0,15 l/s). Tunnin kuluttua edellisestä toteutetut toiset juoksutukset tuottivat noin viisi kertaa pienemmät vesimäärät. Kokeissa käytetyn kylmän veden lämpötila oli verraten korkea, 14 °C, mikä vaikutti osaltaan saadun lämpimän käyttöveden määrään. Toisaalta, käytettävissä olevalla laitteella (Kabola) ei voitu ladata varaajaa korkeampaan lämpötilaan kun noin 72 °C:seen tehdasasennetun turvakatkaisimen vuoksi.



Kuva 23. Järjestelmän lämpötilat käyttöveden juoksutuksen aikana (LKV = 0,203 L/s).

Taulukko 4. Yhteenveto mittaustuloksista lämmitysvesivaraajalla.

Koe	Kesto (min)	Keskimäär lataus- teho (kW)	Lataus- energia varaajaan (kWh)	LKV:n virta (L/s)	LKV:n energia varaajasta (kWh)	Varaajaveden lämpötila alussa (°C)	Varaajaveden lämpötila lopussa (°C)	Varaajan yli 40 °C:n energian muutos (kWh)	LKV:n määrä (L)
01	540	1,76	15,80	0	0	55,3	67,2	7,48	
02	18	2,01	0,60	0,204	-7,93	67,3	55,6	-7,35	220,3
03	52	1,92	1,66	0	0	55,3	56,7	0,88	
04	3,7	1,94	0,12	0,203	-1,42	56,7	55,7	-0,66	45,5
11	780	1,87	24,28	0	0	55,3	71,7	10,31	
12	33,8	1,99	1,12	0,151	-12,30	72,2	53,6	-11,69	306,2
13	55	1,91	1,75	0	0	53,1	54,7	1,01	
14	6	1,87	0,19	0,150	-1,68	54,8	53,0	-1,13	54,0
21	670	1,80	20,05	0	0	52,6	68,4	9,93	
22	9	2,13	0,32	0,299	-5,60	68,5	61,0	-4,68	161,5
23	52	1,97	1,71	0	0	60,2	61,3	0,69	
24	1,4	1,93	0,05	0,298	-0,84	61,4	60,9	-0,31	25,0
31	704	1,84	21,56	0	0	61,0	71,4	6,54	
32	13,6	2,11	0,48	0,305	-8,77	71,4	61,1	-6,47	248,9
33	52	1,91	1,66	0	0	60,0	60,8	0,50	
34	1,6	1,88	0,05	0,300	-0,96	60,9	60,7	-0,13	28,8

Lämmitysveden kierron keskeytys ensimmäisen käyttöveden juoksutuksen ajaksi (liite 4, kuva 2) aiheutti patteriverkoston epätasaista jäähtymistä siten, että paluujohtoon jäi lämpimämpää vettä kuin muualle järjestelmään. Paluueden venttiilin avaamisen jälkeen tilanne ei palautunut entiselleen, mikä viittaisi väärään kiertosuuntaan patteriverkostossa (liite 4, kuvat 3 - 16). Näin lämmityksen keskeytys saattaa aiheuttaa järjestelmän hallitsematonta käyttäytymistä, jos patterilämmitys on toteutettu ilman kiertopumppua.

Varaajan latauspiirissä siirretystä energiasta keskimäärin reilut 40 % varastoitui varaajaan ja loput kului lämmityspattereissa. Varaajan latausjaksot kestivät keskimäärin reilut 11 tuntia, jolloin varaajaveden lämpötila nousi noin 56 °C:n tasosta noin 70 °C:n tasolle. Silloin aloitettiin käyttövesikoe. Käyttöveden juoksutukset keskeytettiin siinä vaiheessa, kun lämpimän veden lämpötila alitti 40 °C.

Johtopäätökset

Kokeiden valossa voidaan todeta, että matalatehoinen lämmönlähde kykenee suoriutumaan lämpimän käyttöveden tuottamisesta tilanteissa, joissa käyttöveden kulutustaso ei ole korkea ja kulutusjaksot eivät seuraa toisiaan liian tiheään tahtiin. Koska lämmönlähteen tehotaso on matala, vaaditaan pidempiä latausjaksoja, jotta varaajaveden lämpötila nousisi riittävästi. Tämä taas on edellytys sille, että lämpimän käyttöveden lämpötila olisi riittävän korkea.

Varaajaveden lämpötila, jolla kuumen käyttöveden saatavuus "loppu", on riippuvainen käyttöveden juoksutusvirrasta seuraavasti:

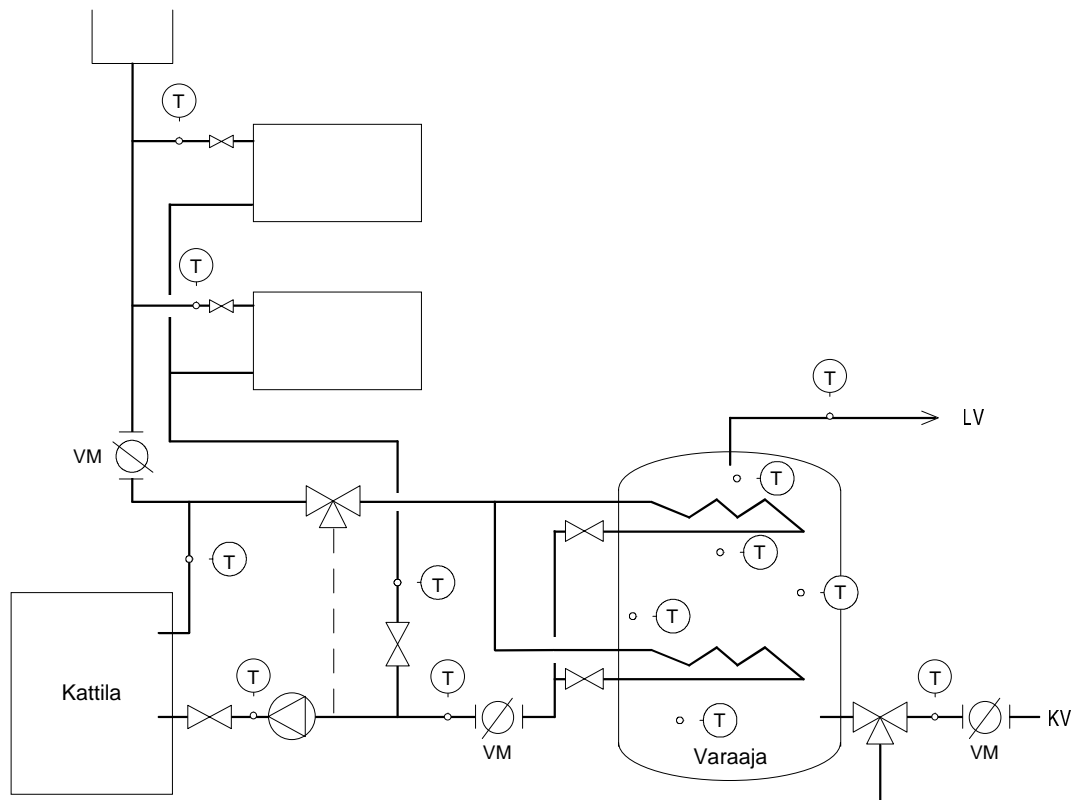
noin 61 °C juoksutuksella 0,30 l/s
noin 56 °C juoksutuksella 0,20 l/s
noin 53 °C juoksutuksella 0,15 l/s.

Varaajan tilavuudesta ja varaajaveden lämpötilasta juoksutuksen alkuvaiheessa riippuu, kuinka paljon vähintään 40-asteista käyttövettä on saatavissa.

Latausjaksojen kesto voidaan lyhentää pienentämällä varaajan vesitilavuutta, jolloin varaajaveden lämpötila nousee nopeammin. Tällöin kuitenkin kerralla saatavissa olevan lämpimän talousveden määrä pienenee varaajan pienemmän energiamäärän johdosta.

3.8.2 Kokeet lämpimän käyttöveden varaajalla

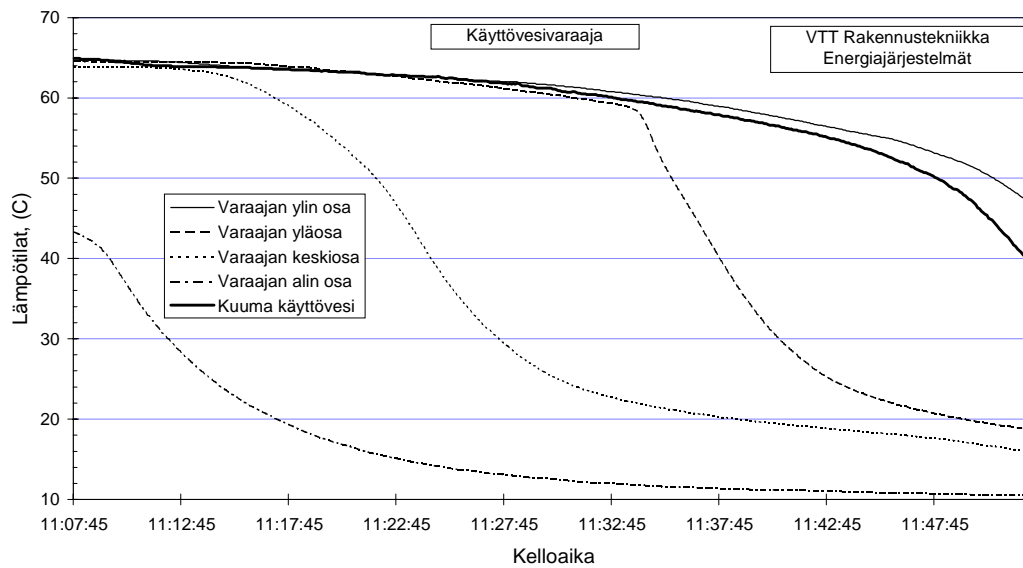
Kokeissa käytetty mittausjärjestelmä ja varaajan kytkentätapa esitetään kuvassa 24.



Kuva 24. Mittauksissa käytetty järjestelmä, joka simuloi pientalon lämmitysjärjestelmää ja lämpimän talousveden valmistusjärjestelmää.

Koesarja muodostui vuorottelevista lataus- ja käyttöveden juoksutusjaksoista. Kokeissa käytettiin samoja juoksutusvirtoja kuin edellisen kytkennän koesarjassa. Tämän sarjan tarkoituksena oli kuitenkin kahden läpivirtauskierukan soveltuvuuden selvittäminen talousveden lämmittämiseen varaajassa. Soveltuvuuden mittarina oli latausjakson kesto. Latauksen aikana lämmitysvettä ohjattiin ajoittain virtaamaan yläkierukan kautta, kuitenkin lataus tapahtui pääasiallisesti alakierukan kautta. Välilatauksen aikana oli vain yläkierukka käytössä.

Mitatuista vesivirroista ja lämpötiloista laskettiin energiavirrat. Yhteenveto koetuloksista on taulukossa 5. Kokeiden tulokset on esitetty graafisesti kuvassa 25 ja liitteessä 5 (kuvat 1 - 14).



Kuva 25. Käyttövesivaraajan lämpötilat käyttöveden juoksutuksen aikana (LKV = 0,167 L/s).

Taulukko 5. Yhteenveto mittaustuloksista talousvesivaraajalla.

Koe	Kesto (min)	Energia var:aan (kWh)	Energia pat:hin (kWh)	LKV:n virta (L/s)	LKV:n energia var:sta (kWh)	Varaajaveden lämpötila				yli 40°C:n LKV:n määrä (L)
						alussa YLÄosa (°C)	alussa ALAOsa (°C)	lopussa YLÄosa (°C)	lopussa ALAOsa (°C)	
21	1495	19,72	16,32	0	0	47,8	17,8	64,8	44,6	0
22	44,6	1,43	0	0,167	-24,57	64,7	43,3	46,5	10,5	447
31	3125	22,32	32,86	0	0	23,8	21,3	70,3	50,5	0
32	27,6	1,29	0	0,303	-34,41	75,0	55,7	52,1	11,6	501
33	55	1,51	0	0	0	48,4	11,6	55,3	11,2	0
34	3,8	0,22	0	0,294	-3,21	55,5	11,2	53,7	11,2	66
41	1720	17,23	17,76	0	0	30,5	24,3	76,4	46,6	0
42	40	1,16	0	0,203	-32,22	-	-	-	-	487
51	2550	23,09	25,65	0	0	54,8	9,0	72,7	48,4	0
52	42,5	1,19	0	0,201	-32,98	73,5	48,1	47,1	9,7	513
53	67	1,56	0	0	0	45,9	9,7	53,8	9,8	0
54	6	0,27	0	0,191	-3,11	54,1	9,8	48,1	9,8	69

Kokeissa käytetty varaaja oli muodoltaan kulmikas ja veden lämpötilan kerrostuminen oli heikko. Tuotetusta energiasta vajaa puolet varastoitui varaajaan ja loput kulutettiin lämmityspattereissa. Varaajan latausjaksot venyivät noin kolme kertaa pidemmiksi verrattuna edelliseen kytkentätavan tapaukseen, vrt. taulukot 4 ja 5. Latauksen loppuvaiheessa myös varaajan pohjaosan (alakierukan alapuolella) veden lämpötila nousi yli 40 °C:n, jolloin juoksutusvirrasta riippumatta varaajan liki koko tilavuus oli käytettävissä lämpimänä talousvetenä.

Lämmitysenergia siirtyy huonosti lämmönsiirtimen alapuolella olevaan varaajaveteen. Lämmitysveden ohjaaminen yläkierukan kautta selvästi nopeutti lämpötilan nousua varaajan yläosassa, liite 5 (kuvat 3, 5, 9 ja 11). Näin varsinkin juoksutusten välissä (välilatauksen aikana patteripiirin paluujohdon venttiili oli kiinni) saatiin tuotettua huomattavasti enemmän lämmintä talousvettä kuin edellisen kytkentätavan kokeissa. Tämän kytkentätavan eräänä piirteenä on lämmönsiirtotehon epätasaisuus. Latausteho on suurimmillaan, kun varaajan lämpötila on alhainen, ja pienenee varaajan lämpötilan kasvaessa, liite 5.

Käytön aikana lämmitettävän talousveden tuottoon tarkoitetut kierukat soveltuvat vain kohtalaisesti talousveden lämmittämiseen varaajassa (mm. kierukan rivat ovat lämmönsiirron kannalta “väärällä” puolella). Käyttökelpoisempi olisi vastavirtaperiaatteella toimiva lämmönsiirrin, jonka lämmönsiirtopinta on tasaisemmin jakautunut varaajan vesitilavuudessa. Nopeata talousveden lämpötilan nousua tavoittaessa varaajan yläosassa lämmönsiirtopinnan jako vyöhykkeisiin saattaisi olla tarpeen.

3.9 MATALAN TEHON KATTILAN KEHITTÄMINEN

Projektisuunnitelmassa oli alun perin mukana lämmittimen tuotekehitys. Projektiryhmä päätti kuitenkin jättää tuotekehityksen pois, koska sen katsottiin sitovan liikaa tutkimuksen voimavaroja. Yhden valmistajan laitteen kehittäminen olisi myös haitannut tutkimusyhteistyötä. Kamiinan jatkokehitys jätettiin kokonaan yrityksen tehtäväksi. Mittaustuloksia ja käyttökokemuksia käytettiin määrittämällä tavoitteita laitteen tuotekehitykselle.

Laboratoriokokeiden tulokset osoittavat, että polton ilmakerroin on öljykamiinalla suurempi kuin painehajoitteisella öljypolttimella. Tämä on eräs syy siihen, että öljykamiinan päästöt olivat suuremmat kuin painesumutusöljypolttimen ja hyötysuhde jäi pienemmäksi. Polttotekniikkaa on kehitettävä siten, että palaminen tapahtuu nykyistä pienemmällä ilmakertoimella ja vähemmän päästöin.

Tärkeä kehittämistavoite on öljykamiinan huollon helpottaminen. Puhdistettavien ja vaihdettavien osien tulee olla helposti irrotettavissa ja asennettavissa tarkasti takaisin kohdalleen.

Kamiinan nykyinen öljysäiliö on öljyntoimittajien mielestä liian pieni, ja se on kehitettävä sellaiseksi, että 1 000 litran öljymäärä voidaan toimittaa kerralla. Säiliön asennustila vaatii tällöin myös korkeutta. Öljyn pinta säiliössä tulee helposti

nousemaan polttomaljan yläpuolelle, kun se nyt on sen alapuolella. Öljyvuoto kamiinasta on vikatapauksessa estettävä, eikä nykyinen ohut muoviletku öljyputkena täytä paloturvallisuusvaatimuksia. Suuremman öljysäiliön sijoittaminen etäämmälle kamiinasta vaatinee myös öljypumpun toiminta-arvojen tarkistamista.

Kamiinan savuhormin asentamiseksi nykyistä helpommin ja edullisemmin seinän tai vaihtoehtoisesti katon läpi jälkiasennuksena tulisi kehittää valmiit työkalut, asennusohjeet ja kuvat malliasennuksista.

Kehittämiskohteeksi valitulla tyyppikamiinalla ei voi tuottaa lämmintä käyttövetä. Tarvittavat muutokset ja lisäykset kamiinaan tai lämmitysjärjestelmään, johon kamiina kytketään, tulee ottaa kehittämiskohteeksi. Laitekustannusten pitämiseksi pieninä tulisi talousvesi ja huonetila voida lämmittää yhdellä laitteella.

LVI-tekniikan järjestelmäsuunnittelun eräänä tavoitteena voidaan pitää asuinpien-talon lämmitysjärjestelmän kehittämistä sellaiseksi, että lämmityksen tavoitteet voidaan toteuttaa ja että öljykamiina voidaan kytkeä järjestelmään vaikeuksitta.

Nykyinen öljykamiina on verraten uusi konstruktio ja kehittämistä kaipaava tuote. Keskittämällä tuotekehitys esille tulleisiin tarpeisiin, voidaan kamiinaa käyttäen laajentaa öljylämmityksen riippumattomuus ja käyttömukavuus uusiin matalaenergiataloihin.

Pienitehoinen öljykamiina ei kykene tuottamaan lämmintä talousvettä yhtä suurina määrinä kuin nykyiset öljykattilat, vaan se vastaa toimintakyvyltään suoran sähkölämmityksen käyttövesivaraajan vedentuottoa. Käyttövesi vaatii kamiinalla lämmitettäessä erillisen varaaajasäiliön. Vallitseva pelko siitä, että uusi laite valtaisi nykyisen öljykattilatekniikan markkinoita, on aiheeton. Sen sijaan kamiina soveltuu edullisena laitteena erinomaisesti nykyisten suorasähkölämmitystalojen saneeraus- ja lisälämmitysjärjestelmäksi.

Perinteiseen öljykattilaan verrattuna öljykamiinan etuja ovat sen pienempi pääomakustannus, helppo jälkiasennettavuus ja mahdollisuus kaukokäynnistykseen. Myös kamiinan käynti on lähes äänetön.

4 TULOSTEN TARKASTELU

4.1 TEOREETTISTEN ANALYYSIEN TULOKSET

4.1.1 Teknologiaselvitys

Nykyisellä painesumutukseen perustuvalla öljykattilatekniikalla päästään alimmillaan noin 10 kW:n tehoon käyttämällä talvilaatuista kevyttä polttoöljyä. Painesumutuspoltin nykyisenä toteutuksena tai edelleen kehitettynä on toimiva ratkaisu myös matalaenergiatalojen öljylämmityksessä. Wallas m2600 -lämmittimen polttotekniikkaa käyttäen on automatisoitu lämmöntuotto tehoalueella 0,8 - 2,6 kW nykytekniikalla mahdollista. Lämmönsiirron jatkokehittäminen sekä ilma- että vesiväliaineiseen lämmönjakoverkoston sekä käyttöveden lämmitys ovat mahdollisia.

4.1.2 Taloudellisuusanalyysi

Nykyisellä pientalojen energiankulutustasolla ja nykyisillä öljyn ja sähkön energiahinnoilla on höyrystyspolttimeen perustuva pienitehoinen lämmitysjärjestelmä kilpailukykyinen verrattuna nykyiseen öljylämmitysjärjestelmään ja sähkölämmitysjärjestelmiin. Nykyistä pienemmillä energian kulutustasoilla investointikustannuksen merkitys yhä korostuu kokonaistaloutta arvioitaessa.

4.1.3 Vesikeskuslämmitys

Suoritettulla laskenta-analyysillä selvitettiin teknisiä rajoja luonnonkiertoisen alajakaisen vesilämmitysjärjestelmän toimivuudelle. Lämmitysjärjestelmä voi toimia painovoimaisesti, jos kiertovoiman arvo kaikissa piireissä ylittää painehäviöiden summan. Tästä seuraa, että lämmitysveden lämpötilan pitäisi olla verraten korkea ja järjestelmän putkien suurempia kuin pumppukiertoon perustuvissa ratkaisuissa. Toimiakseen luonnonkiertoisesti alajakainen vesikeskuslämmitys edellyttää korkeata asuinrakennusta. Se asettaa rajoituksia myös lämmityskeskuksen sijainnille ja lämmitysratkaisun toteutukselle. Esimerkiksi lattialämmitys ei tule toimimaan luonnonkierrolla. Tämä on tuntuva heikkous, koska lattialämmitys vähintään pesuhuoneissa ja muissa kosteissa tiloissa kuuluu nykyään lähes jokaisen talon varustukseen.

Painovoimaan perustuvan ns. luonnonkiertoinen järjestelmä voidaan toteuttaa yksinkertaisesti käyttämällä yhtä isoa nousuputkea ja yläjakoista patteriverkosta. Nousuputken lämpöeristäminen parantaa järjestelmän toimintaedellytyksiä. Luonnonkiertoinen järjestelmä asettaa vaatimuksensa myös verkoston osien mitoitukselle. Lämmittimen laaja toimintatehoalue ja hienostuneempi säätötekniikka ovat toivottavia, sillä patteriveden luonnonkierto toimii parhaiten, kun lämmönkehitys on jatkuvaa eikä keskeydy.

Pumppukiertoinen vesikeskuslämmitysjärjestelmä voidaan suunnitella monella tavalla. Lämmöntuottolaite ei aseta järjestelmälle merkittäviä vaatimuksia.

Järjestelmää ja sen automaatiota suunniteltaessa voidaan lämmittimen jatkuva käynti asettaa haluttaessa tässäkin järjestelmässä erääksi toimintatavoitteeksi.

4.1.4 Lämmitysjärjestelmän päästöt

Kun muut parametrit pidetään ennallaan, saadaan öljykamiinan hyötysuhde nousemaan perinteisen kattilan hyötysuhteen tasolle, jos kamiinaan liitettävien käyttöveden tuottolaitteiden eristyshäviö on enintään 100 W. Tällöin CO₂-päästöt muodostuvat yhtä suuriksi nykyisellä öljylämmityskattilatekniikalla ja kamiinalämmityksellä. Sen sijaan CO- ja NO_x-päästöihin on eristyshäviön pienentämisellä ja savukaasun lämpötilan alentamisella kummallakin vain noin 10 %:n suuruinen vaikutus.

4.2 LAITEKOKEIDEN TULOKSET

4.2.1 Höyrystyspolttimet

Testitulosten perusteella osoittautui Wallas-kamiinan polttotekniikka tällä hetkellä parhaaksi. Savukaasujen puhtaus höyrystyspolttimen tehoalueen alapäässä ei vielä ole samalla tasolla kuin tehoalueen yläpäässä, missä päästöt ovat pienempiä. Päästöt ovat kamiinalämmityksessä kuitenkin kaikkiaan vielä suurempia kuin nykyisellä painesumutukseen perustuvalla öljylämmitystekniikalla.

4.2.2 Sumutuspolttimet

Nykyisestä 0,5 gallonan (U.S.gall/h) suutimesta on vaikeata päästä pienempään tehoon palamisen huononematta. Riittävän hyvää palamisen tasoa ei saavutettu 0,4 gallonan suutinta käytettäessä.

Tehon alentaminen suutinpainetta pienentämällä huononsi palamista; syynä on sumutusta heikentävä pisarakoon kasvu. Tehoa pienennettäessä joudutaan myös ilmamääriä pienentämään, jolloin palopään rakenteen pitäisi olla sellainen, että ilman virtausnopeus säilyy riittävän korkeana hyvän sekoittumisen varmistamiseksi. Tutkimuksessa käytetyt koepalopäät toimivat jonkin verran paremmin kuin normaali palopää, ensimmäinen koepalopää tosin vasta säätämisen jälkeen.

Kattilalla on selvä merkitys palamistulokseen. Pelkkään öljynpoltoon suunnitellulla kattilalla (Högfors 2000) saavutettiin parempi palamistulos kuin kaksoispesäkattilalla (Jämä Miniter). Koska kaksoispesäkattilan tulipesää ei ole optimoitu öljypoltoon, kattilan palamistulos oli heikompi. Väljässä tulipesässä suurempi poltinteho paransi palamistulosta ja suutinkoon pienentäminen vastaavasti huononsi palamista selvästi.

NO_x-päästöt ovat hieman korkeammat uudenaikaisella kattilalla kuin perinteisellä kattilalla. Muuttujien vaikutus palamiseen oli kummallakin kattilalla samanlainen. Polttoaineen laatu ei vaikuttanut palamisen hyvytyteen.

4.3 JÄRJESTELMÄKOKOKEIDEN TULOKSET

Pienen tehon kattilalla varustetun järjestelmän lähtökohtana on se, että kattila toimii jatkuvasti ja tuotettu lämpöenergia varastoidaan varaajassa. Varaaja voidaan kytkeä järjestelmään usealla eri tavalla, joista kaksi tyypillisintä ovat lämmitysenergian varaaja ja käyttöveden varastovaraaja.

Joissakin kamiinoissa on talousveden lämmitysmahdollisuus. Yksinkertaisimmillaan on pesän peltivaippa ympäröity putkella, jossa talousvesi virratessaan lämpee. Talousveden lämmitykseen hetkellisesti käytettävissä oleva teho ei tietenkään voi ylittää lämmittimen kokonaistehoa ja jää siten verrattain pieneksi.

4.3.1 Lämmitysenergian varastointi varaajassa

Matalatehoinen lämmönlähde kykenee suoriutumaan sekä lämmityksestä että lämpimän käyttöveden tuottamisesta tilanteissa, joissa käyttöveden kulutustaso ei ole korkea ja kulutusjaksot eivät seuraa toisiaan liian tiheään tahtiin. Koska lämmönlähteen tehotaso on matala, vaaditaan pidempiä latausjaksoja, jotta varaajaveden lämpötila nousisi riittävästi. Tämä taas on edellytys sille, että käytön aikana läpivirtauskierukassa lämmitettävän lämpimän käyttöveden lämpötila olisi riittävän korkea.

4.3.2 Talousveden lämmitys

Jos vuorokauden aikana käytettävä lämmin talousvesi varastoidaan ja sitä lämmitetään tasaisella pienellä teholla koko vuorokauden aikana, on yhdessä perheessä tehontarve keskimäärin noin 0,4 kW. Tällöin riittää lämmöntuottolaitteen 2 - 3 kW:n teho huonelämmityksen lisäksi myös tarvittavan talousveden lämmittämiseen.

Lisäämällä lämmitysjärjestelmän automatiikkaa on mahdollista toteuttaa myös joitakin lisätoimintoja. Huonelämmityksen tehontarpeen ollessa huipputehoa pienempi tehoreservi voidaan ohjata talousveden lämmitykseen. Myös ns. korvauskytkentä, jossa suurin osa lämmittimen tehosta tai koko sen teho ohjataan tilapäisesti talousveden lämmitykseen, on mahdollinen.

Järjestelmässä voidaan kylmä talousvesi tuoda noin 200 - 400 litran käyttövesisäiliöön, jossa se lämmitetään kattilavettä sisältävällä virtauslämmittimellä. Oma-voimaisella termostaattiventtiilillä voidaan ohjata kattilaveden virtausta lämmityskierukan kautta tai sen ohitse.

Kun tavoitellaan lämpötilakerrostuneisuutta ja lämmönsiirtimen itsesäätävyyttä, talousvesivaraajaksi voidaan valita hyvin eristetty pystymallinen lieriösäiliö, jonka alaosaan kylmä talousvesi tuodaan. Vastavirtaan sijoitetun lämmittävän putken lämmönsiirtoteho muuttuu varaajassa olevan talousveden lämpötilan mukaan.

Kerralla saatavissa olevan lämpimän talousveden määrä riippuu varaajan tilavuudesta. Lämpimän talousveden saatavuus varaajajärjestelmässä ei ole nykyisen suuritehoisen (20 kW) öljylämmitysjärjestelmän veroinen. Lämpimän talousveden saatavuus on kuitenkin suorassa sähkölämmitysjärjestelmässä käytettävän talousvesivaraajan veroinen.

4.4 KAMIINAN KÄYTTÖ ERI JÄRJESTELMISSÄ

Tuotekehityksellä aikaansaattava tekniikka tulee kilpailemaan lämmityslaitteiden markkinaosuuksista sekä suoran että osittain varaavan sähkölämmityksen kanssa.

Wallas-lämmitin on suunniteltu toimimaan luonnonkiertoisen ilmalämmitysjärjestelmän yhteydessä, jollainen tulee kyseeseen esim. vapaa-ajan asunnoissa. Lämmitysilman kiertoa voidaan tehostaa puhaltimella, joten lämmittimen integrointi myös kehittyneempään ilmalämmitysjärjestelmään on mahdollista. Tuotannossa ei kuitenkaan vielä ole tällaista kamiinaa.

Kabola-kamiinan malleja voidaan kytkeä luonnonkiertoiseen vesipatterijärjestelmään, joten Wallas-kamiinan polttotekniikan kehittäminen tähän lämmönsiirtojärjestelmään lienee myös toteutettavissa.

Käytettäessä pumppukiertoista vesipatterijärjestelmää lämmittimen käyttömahdollisuus laajenee sellaisiin kohteisiin, joissa luonnonkierto ei riitä, kuten esimerkiksi lattialämmitykseen.

Wallas-lämmittimessä ei ole talousveden tuottotoimintoa. Toiminnon liittäminen tähän lämmittimeen on kuitenkin mahdollista. Koska hetkellisesti tarvittava talousveden lämmitysteho ylittää moninkertaisesti pienitehoisen Wallas-lämmitin maksimitohon, on tuotettava lämmin talousvesi varastoitava talousvesivaraajaan. Vastaavan lämpömäärän saamiseksi voidaan järjestelmä myös varustaa riittävän suurella keskuslämmitysvedelle tarkoitettulla varaajalla, jolloin talousvesi lämmitetään siirtämällä siihen lämpöä kuumasta keskuslämmitysvedestä vasta talousvettä tarvittaessa.

Jos lämmittimen toimintatehoalue on riittävän iso ja poltto halutaan pitää yllä mahdollisimman jatkuvasti, on asiaan kiinnitettävä erityistä huomiota jo järjestelmää suunniteltaessa.

5 YHTEENVETO

Nykyiset laitteet matalaenergiapientalon lämmitysenergiantarpeen tuottamiseen ovat ylimitoitettuja. Lisäksi tulisi varautua uusiutumattomien öljypolttoaineiden korvaamiseen uusiutuvista luonnonvaroista jalostetuilla öljypolttoaineilla. Keskeinen kehitystarve on pienitehoisten kattiloiden polttotekniikassa.

Nykyisellä pientalojen energiankulutustasolla ja nykyisillä öljyn ja sähkön energiahinnoilla höyrystyspolttimeen perustuva pienitehoinen lämmitysjärjestelmä on kilpailukykyinen verrattuna nykyiseen öljylämmitysjärjestelmään ja sähkölämmitysjärjestelmiin. Nykyistä pienemmillä energiankulutustasoilla investointikustannuksen merkitys yhä korostuu kokonaistaloutta arvioitaessa.

Vesikeskuslämmitysjärjestelmä voi toimia painovoimaisesti, jos kaikissa piireissä kiertovoiman arvo ylittää painehäviöiden summan. Toimiakseen luonnonkiertoisesti alajakoinen vesikeskuslämmitys edellyttää korkeata asuinrakennusta ja asettaa rajoituksia lämmityskeskuksen sijainnille ja lämmitysratkaisun toteutukselle. Lattialämmitys ei tule toimimaan luonnonkierrolla. Patteriveden luonnonkierto toimii parhaiten, kun lämmönkehitys on jatkuvaa eikä keskeydy.

Nykyisellä painesumutukseen perustuvalla öljykattilatekniikalla päästään alimmillaan noin 10 kW tehoon käyttämällä talvilaatuista kevyttä polttoöljyä. Nykyisestä 0,5 gallonan (U.S.gall/h) suutimesta on vaikeata päästä pienempään tehoon palamisen huononematta. Riittävän hyvää palamisen tasoa ei saavutettu 0,4 gallonan suutinta käytettäessä.

Tehon alentaminen suutinpainetta pienentämällä huononsi palamista; syynä on sumutusta heikentävä pisarakoon kasvu. Tehoa pienennettäessä joudutaan myös ilmamääriä pienentämään, jolloin palopään rakenteen pitäisi olla sellainen, että ilman virtausnopeus säilyy riittävän korkeana hyvän sekoittumisen varmistamiseksi. Tutkimuksessa käytetyt koepalopäät toimivat jonkin verran paremmin kuin normaali palopää, ensimmäinen koepalopää tosin vasta säätämisen jälkeen.

Kattilalla on selvä merkitys palamistulokseen. Pelkkään öljynpolttoon suunnitellulla kattilalla saavutettiin parempi palamistulos kuin kaksoispesäkattilalla. Koska kaksoispesäkattilan tulipesää ei ole optimoitu öljypolttoon, kattilan palamistulos oli heikompi. Väljässä tulipesässä suurempi poltinteho paransi palamistulosta ja suutinkoon pienentäminen vastaavasti huononsi palamista selvästi. Käytettyjen polttoaineiden laatu ei vaikuttanut näkyvästi palamisen hyvytyteen.

Pienen tehon höyrystyspolttimista osoittautui testitulosten perusteella Wallas m2600 -kamiinan polttotekniikka tällä hetkellä kehittyneimmäksi. Sen avulla on automatisoitu lämmöntuotto tehoalueella 0,8 - 2,6 kW nykytekniikalla mahdollista. Savukaasujen puhtaus polttimen tehoalueen alapäässä ei vielä ole samalla tasolla kuin tehoalueen yläpäässä, missä päästöt ovat pienempiä. Kamiinalämmityksen päästöt ovat kuitenkin kaikkiaan vielä suurempia kuin nykyisen painesumutukseen perustuvan öljylämmitystekniikan. Laboratoriokokeiden tulok-

set osoittivat, että polton ilmakerroin on öljykamiinalla suurempi kuin painehajoitteisella öljypolttimella. Tämä on eräs syy siihen, että päästöt muodostuivat öljykamiinalla suuremmaksi kuin painesumutusöljypolttimella ja hyötysuhde jäi pienemmäksi. Polttotekniikkaa on kehitettävä siten, että palaminen tapahtuu nykyistä pienemmällä ilmakertoimella ja vähemmin päästöin.

Pienitehoisen öljykamiinan hyötysuhde saadaan nousemaan perinteisen kattilan hyötysuhteen tasolle, jos kamiinaan liitettävien käyttöveden tuottolaitteiden eristystä parannetaan huomattavasti. Tällöin CO₂-päästöt muodostuvat yhtä suuriksi nykyisellä öljylämmityskattilatekniikalla ja kamiinalämmityksellä. Sen sijaan CO- ja NO_x-päästöihin on eristyshäviön pienentämisellä ja savukaasun lämpötilan alentamisella kummallakin vain noin 10 %:n suuruinen vaikutus.

Matalatehoinen lämmönlähde kykenee suoriutumaan lämmityksestä ja lämpimän käyttöveden tuottamisesta, tosin rajoitetusti. Käyttövesi vaatii kamiinalla lämmitettäessä erillisen varaajasäiliön. Talousveden lämmitykseen hetkellisesti käytettävissä oleva teho ei voi ylittää lämmittimen kokonaistehoa ja jää siten verrattain pieneksi. Lämpimän talousveden saatavuus varaajajärjestelmässä ei ole nykyisen suuritehoisen (20 kW) öljylämmitysjärjestelmän veroinen vaan on verrattavissa suorassa sähkölämmitysjärjestelmässä käytettävän talousvesivaraajan tuottavuuteen.

Wallas-lämmitin on suunniteltu toimimaan luonnonkiertoisen ilmalämmitysjärjestelmän yhteydessä, jollainen tulee kyseeseen esim. vapaa-ajan asunnoissa. Lämmitysilman kiertoa voidaan tehostaa puhaltimella, joten lämmittimen integrointi myös kehittyneempään ilmalämmitysjärjestelmään on mahdollista. Tuotannossa ei kuitenkaan vielä ole tällaista kamiinaa. Wallas-kamiinan polttotekniikan kehittäminen keskusvesilämmönsiirtojärjestelmään lienee toteutettavissa. Käytettäessä pumppukiertoista vesipatterijärjestelmää laajenee lämmittimen käyttömahdollisuus sellaisiin kohteisiin, joissa luonnonkierto ei riitä, esim. lattialämmitykseen.

Wallas-lämmitinissä ei ole talousveden tuottotoimintoa mutta sen liittäminen on kuitenkin mahdollista. Tuotettava lämmin talousvesi on varastoitava talousvesivaraajaan. Vastaavan lämpömäärän saamiseksi voidaan järjestelmä myös varustaa riittävän suurella keskuslämmitysvedelle tarkoitettulla varaajalla, jolloin talousvesi lämmitetään siirtämällä siihen lämpöä kuumasta keskuslämmitysvedestä vasta talousvettä tarvittaessa.

Nykyinen öljykamiina on verraten uusi konstruktio ja kehittämistä kaipaava tuote. Keskittämällä tuotekehitys esille tullessiin tarpeisiin voidaan kamiinaa käyttäen laajentaa öljylämmityksen riippumattomuus ja käyttömukavuus uusiin matalaenergiataloihin. Perinteiseen öljykattilaan verrattuna öljykamiinan etuja ovat sen pienempi pääomakustannus, helppo jälkiasennettavuus ja mahdollisuus kaukokäynnistykseen. Kamiinan käynti on myös lähes äänetön. Nykyisten suorasähkölämmitystalojen saneeraus- ja lisälämmitysjärjestelmäksi kamiina soveltuu edullisena laitteena erinomaisesti.

LÄHDELUETTELO

1. Heinonen, J. Rakennusten käyttövesiverkoston mitoitus. Espoo 1992. Teknillinen korkeakoulu, Koneinsinööriosasto, Diplomityö. 100 s. + liitt. 11 s.
2. Kolodziejczyk, K., Malicki, M., Wasilewski, W. & Zajaczkowski J. Ogrzewanie i klimatyzacja; poradnik (Lämmitys ja ilmastointi; käsikirja). Warszawa: Arkady, 1966. 903 s.
3. Korhonen, R. Nykyaikainen öljylämmitys. Espoo 1989. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 937. 34 s. + liitt. 15 s.
4. Määttä, J. Käyttöveden lämmityksen suunnittelu ja mitoitus. Espoo 1993. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 1440. 49 s. + liitt. 23 s.
5. Niskanen, E. Hydromekaniikka. Teoksessa: Jotuni, P. (päätoim.) Tekniikan käsikirja 1; yleiset perusteet. 8. uusittu ja lisätty painos. Jyväskylä: Gummerus Oy, 1965. S. 187 - 242.
6. Recknagel & Sprenger: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, 57. Ausgabe. München: Oldenbourg, 1972. Puolankielinen, täydennetty käännös: Rubik, M. (toim.). Ogrzewanie i klimatyzacja; poradnik (Lämmitys ja ilmastointi; käsikirja). Warszawa: Arkady, 1976. 1443 s.
7. Seppänen, O. Vesikiertoinen keskuslämmitys. Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, LVI-laboratorio, Opetusmonisteet. 152 s. + liitt. 27 s.
8. Siltanen, T. & Rantatalo, E. Pientalon energiankulutus. Osittain varaava sähkölämmitys. Espoo 1989. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 960. 44 s. + liitt. 34 s.
9. Standardi SFS 4916. Pienet öljylämmityskattilat. Testaus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto, 6.6.1983. 6 s. + liitt. 5 s.
10. Eurooppalainen Standardiehdotus prEN 303-2 Draft. Heating boilers - Heating boilers with forced draught burners. Part 2: Special requirements for boilers with atomizing oil burners. (Lämmityskattilat. Lämmityskattilat, joiden polttimet on varustettu palamisilmapuhaltimella. Osa 2: Sumutusöljypolttimilla varustettuja kattiloita koskevat erityisvaatimukset). 9 s.
11. Virtanen, M. Pientalojen energiankulutus. Suora sähkölämmitys. Espoo 1991. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 1246. 42 s. + liitt. 22 s.
12. Weber, A. P. Die Warmwasserheizung. Beiträge zur Berechnung und Konstruktion. München: Oldenbourg, 1970. Puolankielinen käännös: Kolodziejczyk L. Centralne ogrzewanie wodne. Obliczanie i konstrukcja. (Vesikeskuslämmitys. Laskenta ja rakenne.) Warszawa: Arkady, 1975. S. 189 - 208.

LIITE 1

OTTEET TIETOKANTAHAKUJEN TULOKSISTA

Kirjallisuusselvitys tietokannasta: Energy /STN International

fil energy

FILE 'ENERGY' ENTERED AT 12:57:53 ON 13 JUN 94
COPYRIGHT © 1994 USDOE for the IEA-Energy Technology Data Exchange
(ETDE)

FILE LAST UPDATED: 12 JUN 94 <940612/UP>
FILE COVERS 1974 TO DATE.

>>> ENERGY THESAURUS AVAILABLE IN FIELD /CT <<<

d his full

(FILE 'HOME' ENTERED AT 12:57:43 ON 13 JUN 94)

FILE 'ENERGY' ENTERED AT 12:57:53 ON 13 JUN 94

- L1 727 SEA ATMOSPHER?(L)BURNER#
- L2 2273 SEA LIGHT(2W)OIL#
- L3 2 SEA L1 AND L2
- L4 138 SEA L1 AND OIL#
- L5 92 SEA ATMOSPHER?(L)BURNER#/TI,CT
- L6 10 SEA L5 AND OIL#
- L7 55 SEA L5 NOT (GAS## OR BUTANE OR METHANE OR PROPANE OR MONOXIDE#)/TI,CT
- L8 42 SEA L7 AND 1985-1994/PY
- L9 32 SEA RAN=(1988-) L5 NOT (GAS## OR BUTANE OR METHANE OR PROPANE OR MONOXIDE#)/TI,CT
- L10 106 SEA L4 NOT (GAS## OR BUTANE OR METHANE OR PROPANE OR MONOXIDE#)/TI,CT
- L11 34 SEA L10 NOT (GAS## OR BUTANE OR METHANE OR PROPANE OR MONOXIDE#)/TI,CT
- L12 72 SEA L3 OR L6 OR L9 OR L11
- L13 13 SEA RAN=(1988-) L10 NOT (GAS## OR BUTANE OR METHANE OR PROPANE OR MONOXIDE#)/TI,CT
- L14 20 SEA RAN=(1984-) L10 NOT (GAS## OR BUTANE OR METHANE OR PROPANE OR MONOXIDE#)/TI,CT
- L15 4 SEA L9 NOT (GAS## OR BUTANE OR METHANE OR PROPANE OR MONOXIDE#)/TI,CT
- L16 13 SEA RAN=(1992-) L5 NOT (GAS## OR BUTANE OR METHANE OR PROPANE OR MONOXIDE#)/TI,CT
- L17 45 SEA L3 OR L6 OR L14 OR L15 OR L16

=> save temp l17 burner/a

ANSWER SET 'L17' HAS BEEN SAVED AS 'BURNER/A'

=> d 117 1-45 all

L17 ANSWER 1 OF 45 COPYRIGHT 1994 USDOE/IEA-ETDE

AN 94(10):66704 ENERGY

TI Rates of oxidation of millimetre-sized char particles: simple experiments.

AU Blackham, A.U.; Smoot, L.D.; Yousefi, P. (Brigham Young University, Provo, UT (United States). Advanced Combustion Engineering Research Center)

SO Fuel (United Kingdom) (Apr 1994) v. 73(4) p. 602-612.

CODEN: FUELAC ISSN: 0016-2361

DT Journal

CY United Kingdom

LA English

FA AB

AB Rates of oxidation of 5-10 mm particles of chars from six coals at various temperatures were measured in air at ambient pressure in simple devices: a muffle furnace, ... jne.

CC *014000; 010404

CT ATMOSPHERIC PRESSURE; BURNERS; CHARs; CHEMICAL REACTION KINETICS; COAL; COMBUSTION KINETICS; FURNACES; OXIDATION; PARTICLE SIZE

*CHARs; *OXIDATION; *OXIDATION: *CHEMICAL REACTION KINETICS; *COMBUSTION KINETICS

BT CARBONACEOUS MATERIALS; CHEMICAL REACTION KINETICS; CHEMICAL REACTIONS; ENERGY SOURCES; FOSSIL FUELS; FUELS; KINETICS; MATERIALS; PYROLYSIS PRODUCTS; REACTION KINETICS; SIZE

Kirjallisuusselvitys tietokannasta: Compendex ja Pascal /ESA-
IRS

File 255: QUEST CLUSTER SEARCH
 SET ITEMS DESCRIPTION +=OR;*=AND;-=NOT

--- -----
 Base*255: QUEST CLUSTER SEARCH
 Base 4:COMPENDEX*PLUS:1969-94,28
 Base 11:ENVIROLINE:1971-94,04
 Base 14:PASCAL : 1984-1994,05
 ? ds

SET ITEMS DESCRIPTION
 1 138 ATMOSPHER?(S)BURNER? ?
 2 2012 LIGHT(S)OIL? ?
 3 1 1 AND 2
 4 12 OIL? ? AND 1
 5 80 1 NOT GAS(S)BURNER? ?
 6 41 5 NOT GAS?? ?
 7 27 6/80-94
 8 38 4 OR 7
 9 35 (rd)
 ? t9/a/1-35

TYPE 9/A/1

Quest Accession Number : 94079438
 EIX9425-1275273 Compendex * Plus Issue: 9425
 Application of numerical simulation methods for atmospheric-pressure plasma
 burner optimization
 Author(s): Perminov, S.M.; Perminova, V.N.; Shakhanov, A.V.
 Corporate Source: Inst Mashinovedeniya im. A.A.Blagonravova RAN, Moscow,
 Russia
 Source Info: Inzhenerno-Fizicheskii Zhurnal v 65 n 3 Sep 1993. P 325-331
 Journal Name: Inzhenerno-Fizicheskii Zhurnal
 Publication Year: 1993
 CODEN: INFZA; ISSN: 0021-0285
 Language: Russian
 Document Type: Journal Article
 Treatment: Applications; Theoretical; Experimental

The problem of downsizing a plasma chemical burner an simplifying its design is
 solved. The plasma burners under investigation are used for plasma chemical
 synthesis of ... jne.

Classification: 932.3 (Plasma Physics) /
 Controlled Terms: /*Plasma torches / Optimization / Computer simulation /
 Plasma devices / Plasma applications / Plasma spraying / Optical fibers / Uncon-
 trolled Terms: / Plasmochemical synthesis /

Kirjallisuusselvitys tietokannasta: Ntis ja Wilson /CDROM

4/9/1 of 8

NTIS No: N93-16728/6/HDM

Title: Preliminary Definition of Experiments and Procedures for Terrestrial and Space Examination of Flame Structure; Final Report

Author(s): Saban, A.J.

Performing Organization: Concordia Univ., Montreal (Quebec). Dept. of Mechanical Engineering.

Report No: APRL-X13-8; CTN-93-60606

Contract No: DSS-31016-9-6058/01-SW

Date: 31 Mar 90 Pages: 83p NTIS Price Code: PC A05/MF A01

Language: English Country: Canada

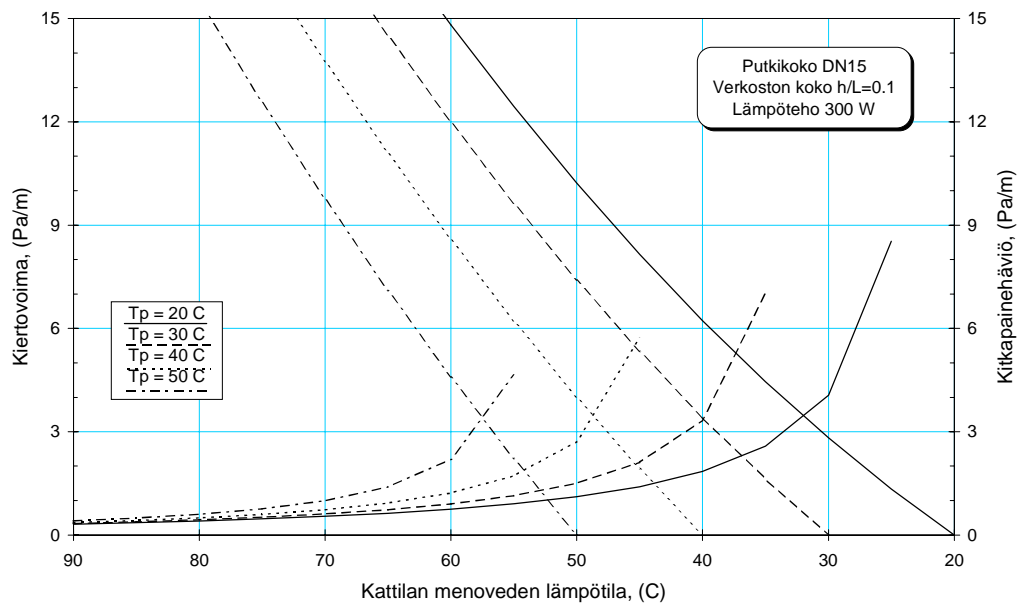
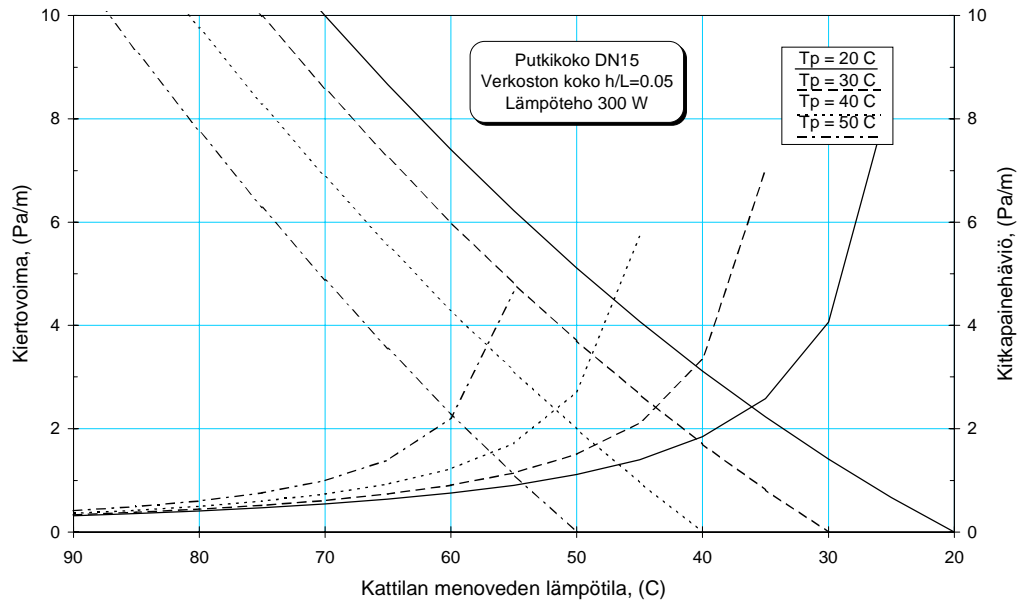
Abstract: Experiments and procedures were defined for use both terrestrially and in space to address the problem of combustion behaviour in milli- or micro-gravity environments... jne.

Descriptors: *Combustion; *Flames; *Reduced gravity; *Spaceborne experiments; Burners; Experiment design; Mathematical models; Propane

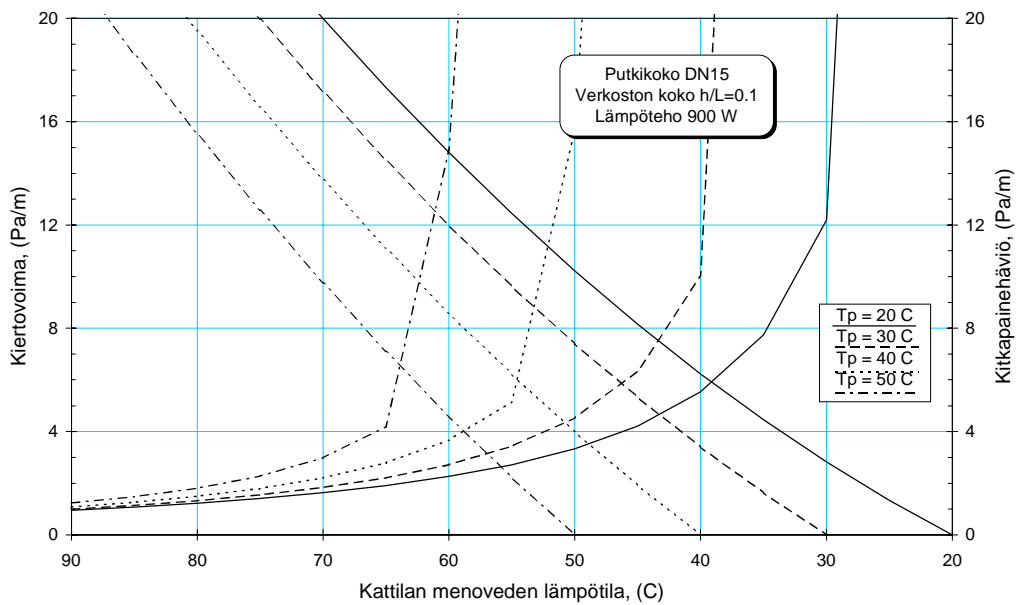
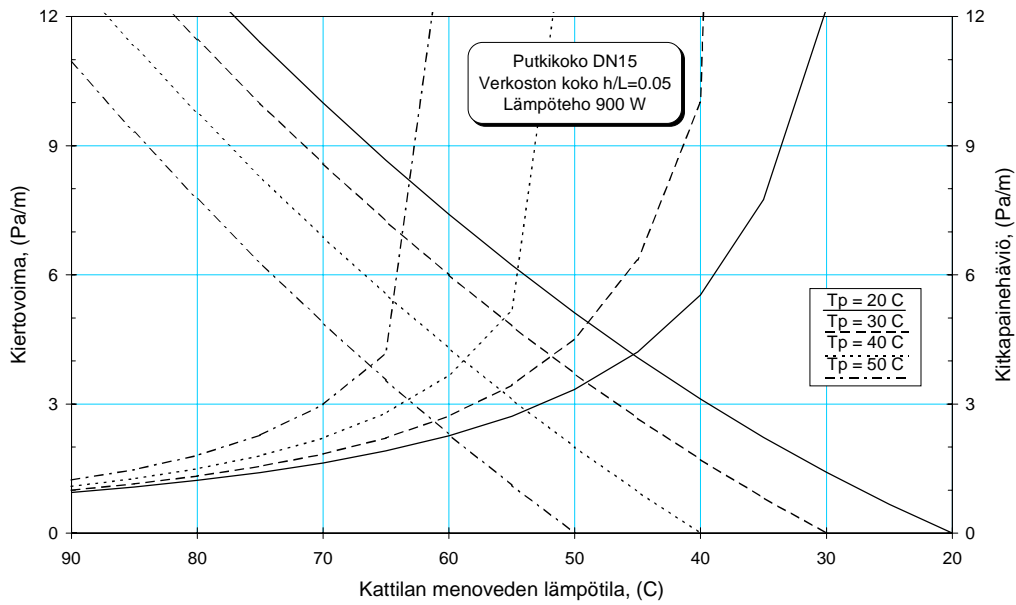
Identifiers: *Foreign technology; NTISNASAE

NTIS Subject Codes: 84A (Space Technology—Astronautics); 81A (Combustion, Engines, and Propellants—Combustion and Ignition)

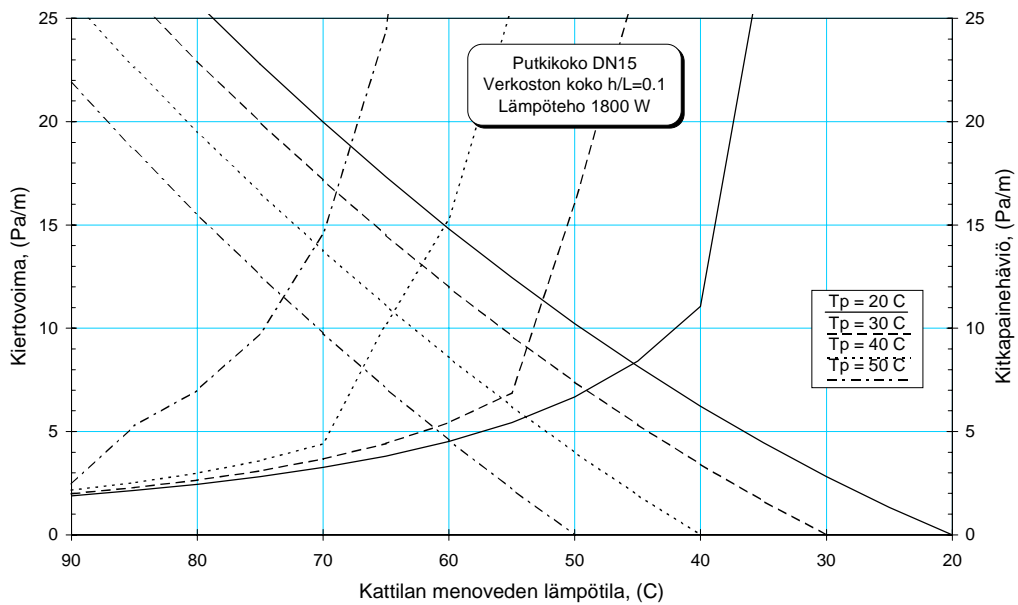
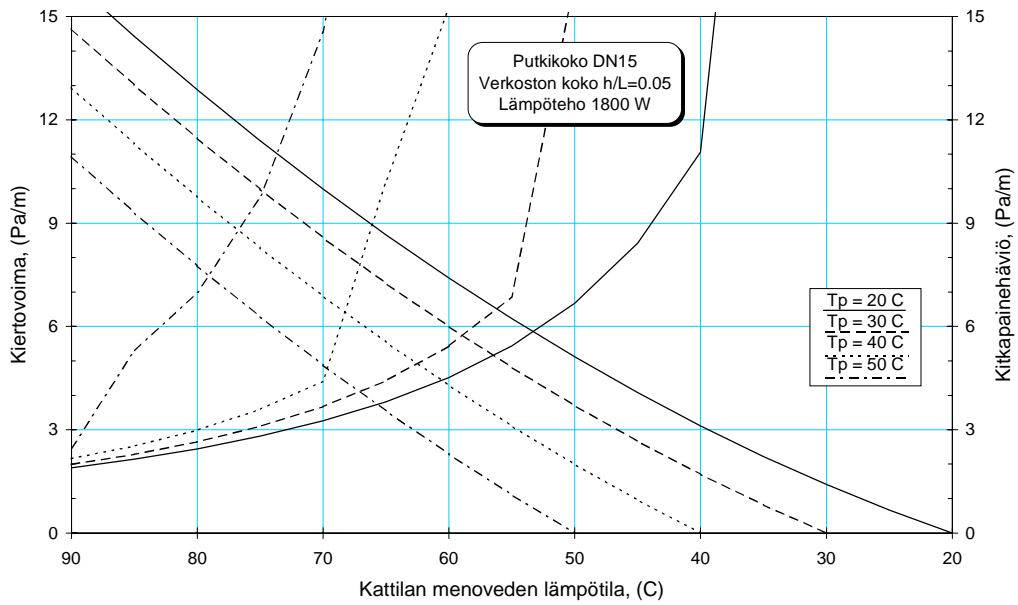
LIITE 2

PAINOVOIMAINEN LÄMMITYS - LASKENTA-
TULOKSET

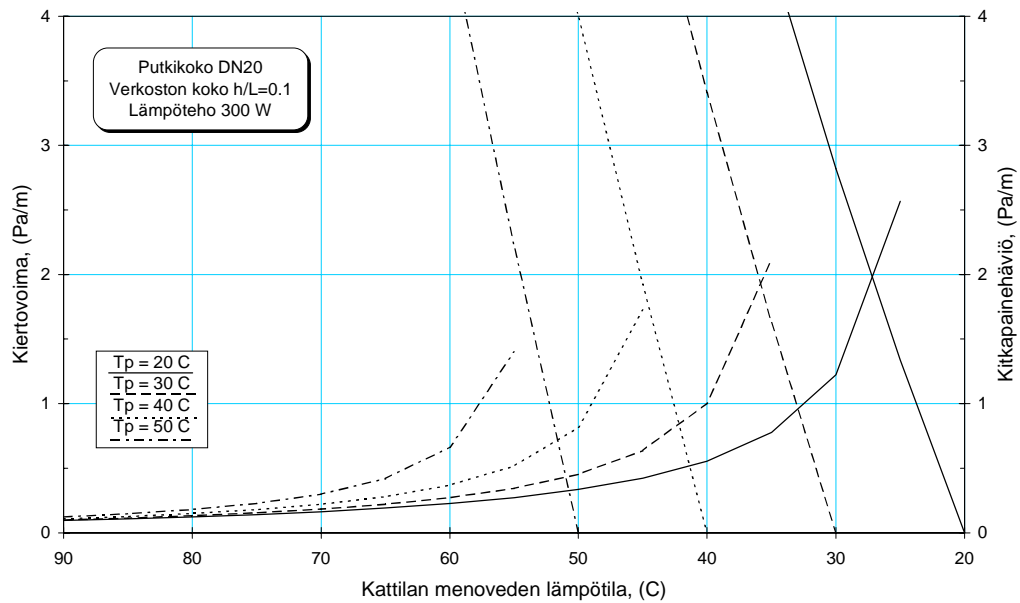
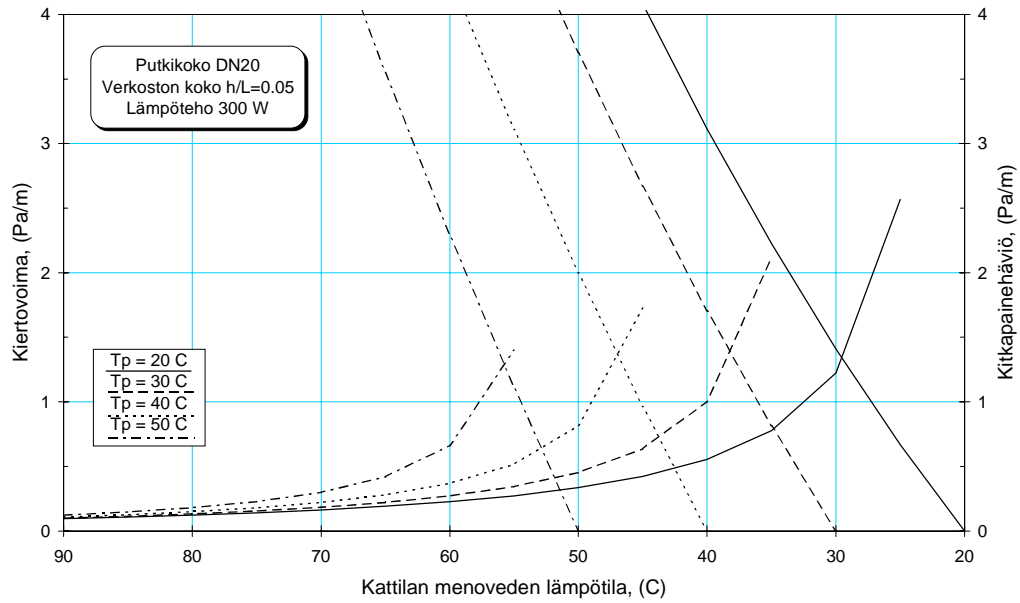
Kuva 1. Kiertovoiman ja kitkapainehäviön riippuvuus menoveden lämpötilasta putkessa DN15. Verkoston koko $h/L = 0,05$ ja $0,1$. Putkiosuuden lämpöteho 300 W.



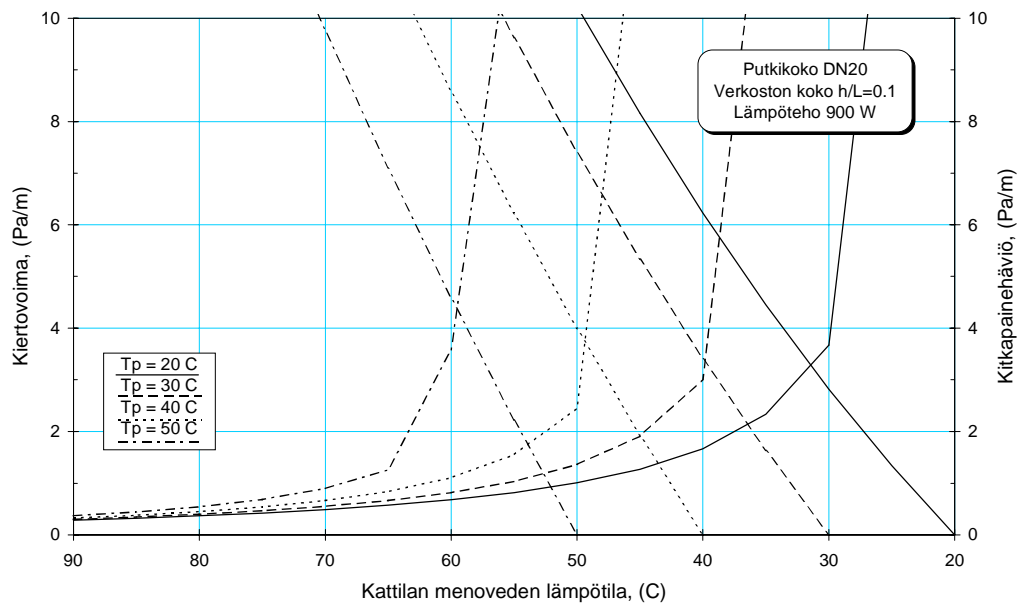
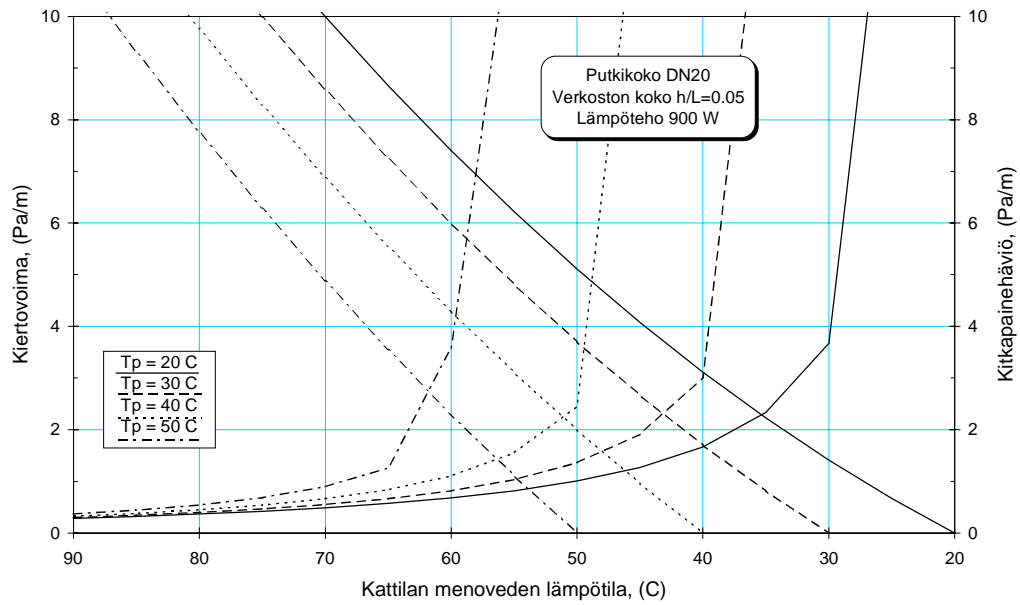
Kuva 2. Kiertovoiman ja kitkapainehäviön riippuvuus menoveden lämpötilasta putkessa DN15. Verkoston koko $h/L = 0,05$ ja $0,1$. Putkiosuuden lämpöteho 900 W.



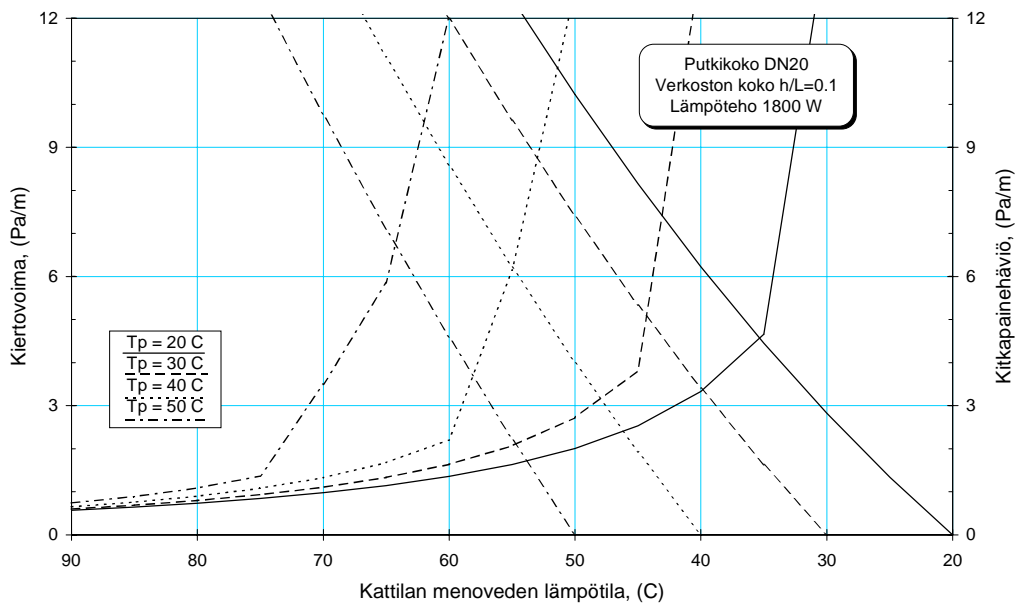
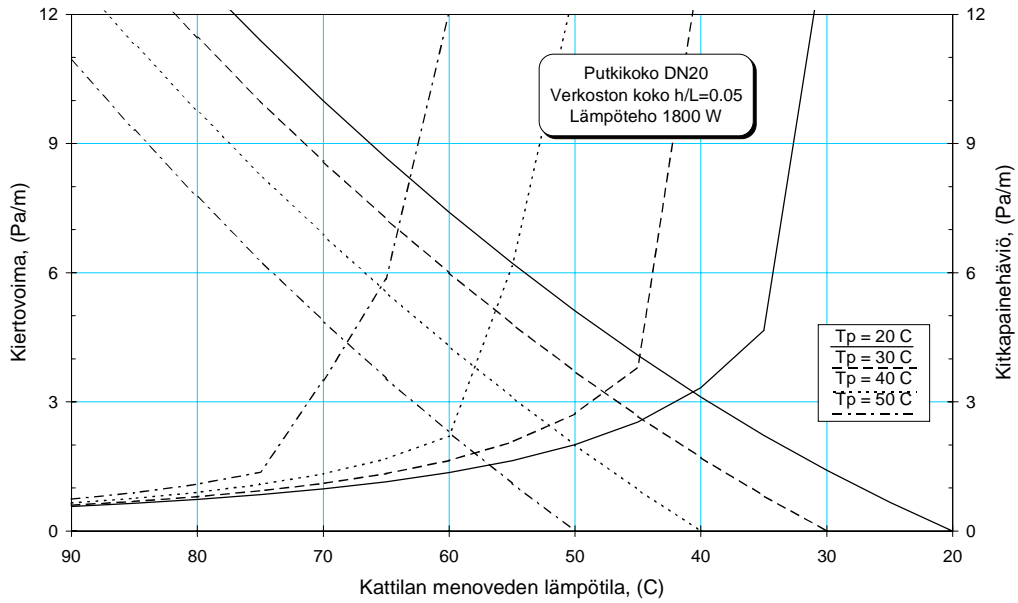
Kuva 3. Kiertovoiman ja kitkapainehäviön riippuvuus menoveden lämpötilasta putkessa DN15. Verkoston koko $h/L = 0,05$ ja $0,1$. Putkiosuuden lämpöteho 1 800 W.



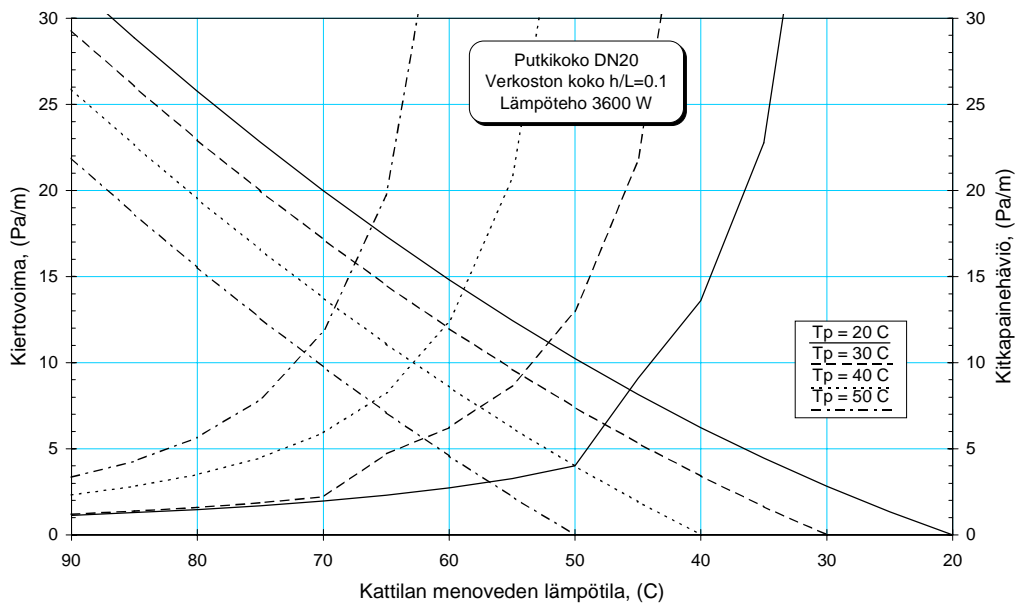
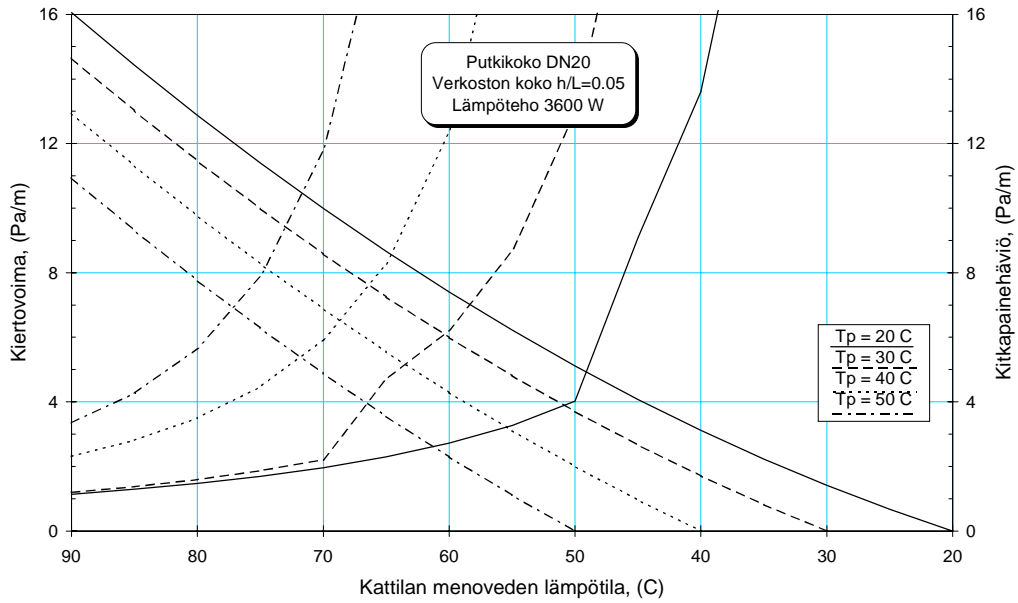
Kuva 4. Kiertovoiman ja kitkapainehäviön riippuvuus menoveden lämpötilasta putkessa DN20. Verkoston koko $h/L = 0,05$ ja $0,1$. Putkiosuuden lämpöteho 300 W.



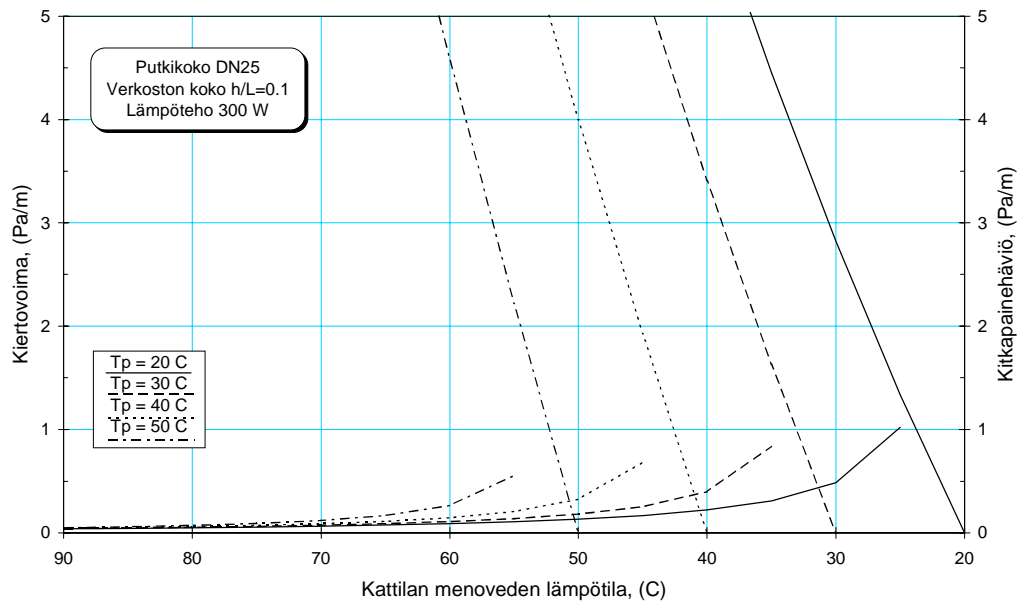
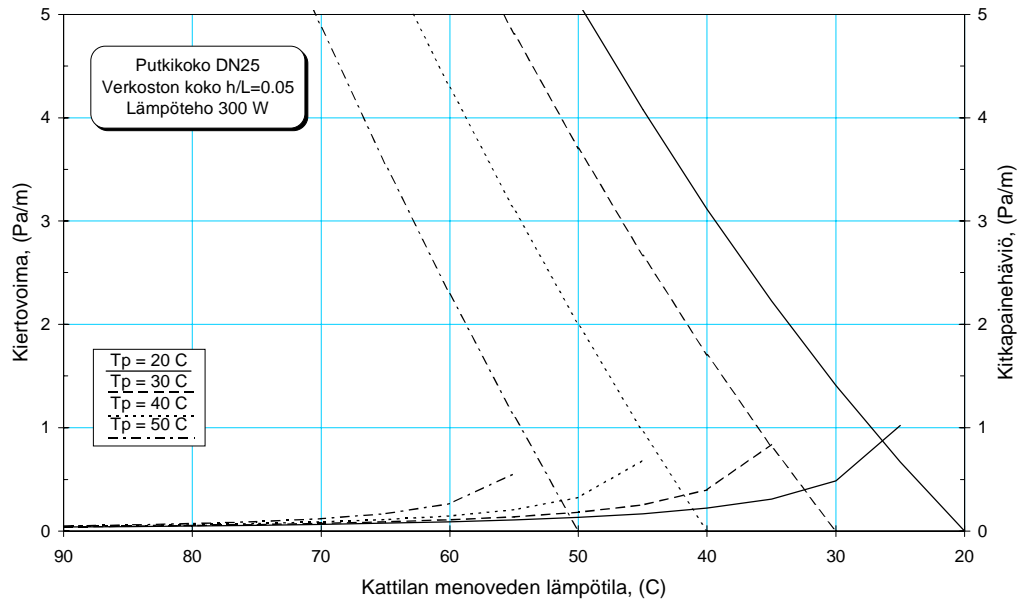
Kuva 5. Kiertovoiman ja kitkapainehäviön riippuvuus menoveden lämpötilasta putkessa DN20. Verkoston koko $h/L = 0,05$ ja $0,1$. Putkiosuuden lämpöteho 900 W.



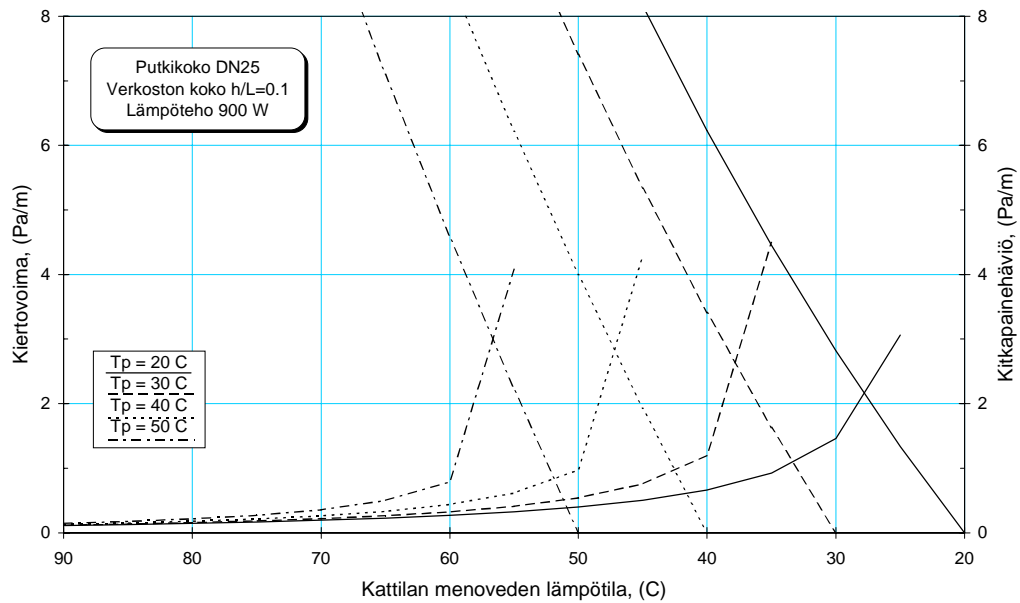
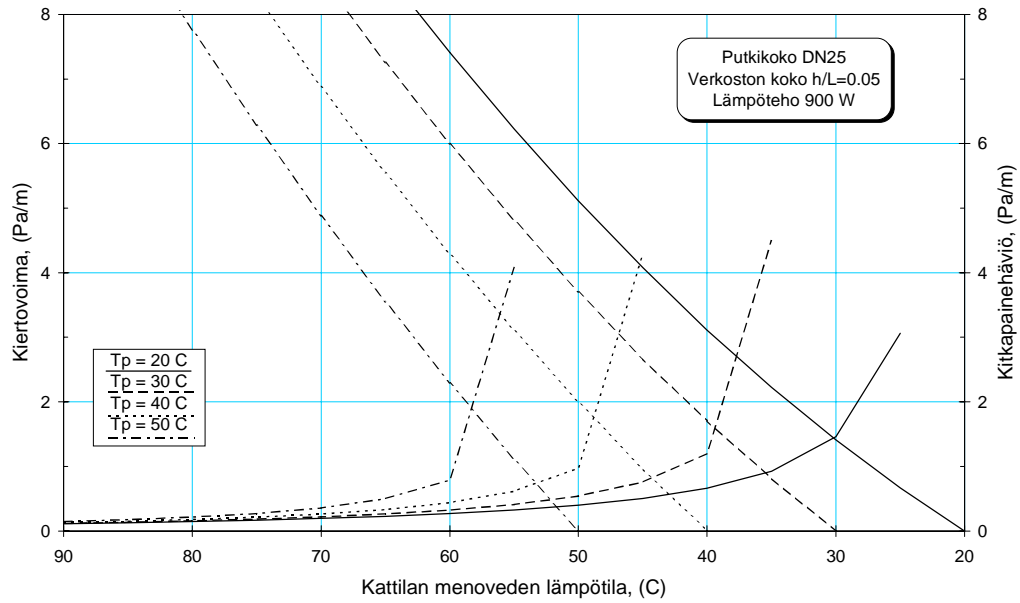
Kuva 6. Kiertovoiman ja kitkapainehäviön riippuvuus menoveden lämpötilasta putkessa DN20. Verkoston koko $h/L = 0,05$ ja $0,1$. Putkiosuuden lämpöteho 1 800 W.



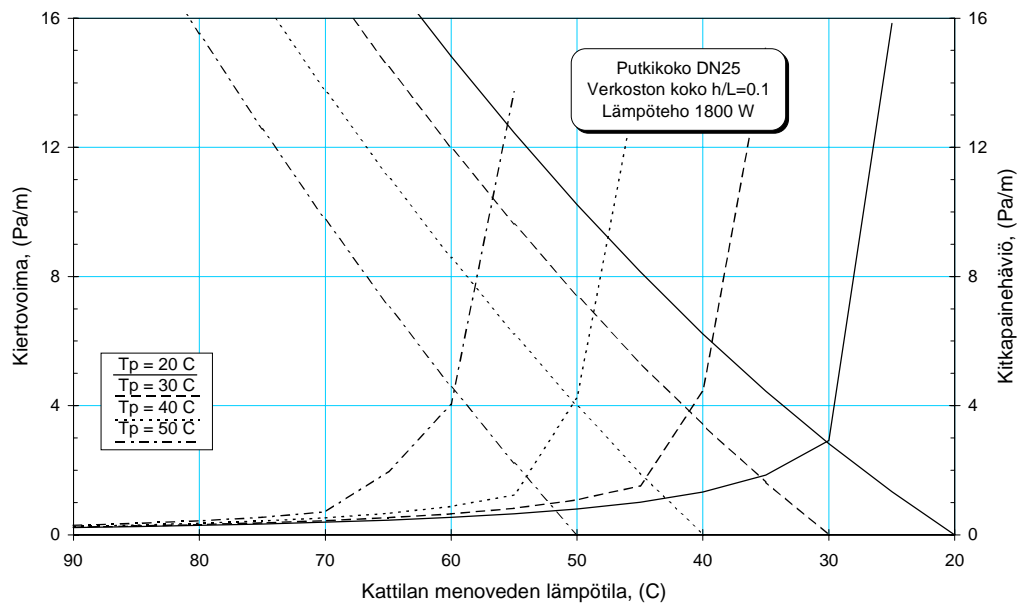
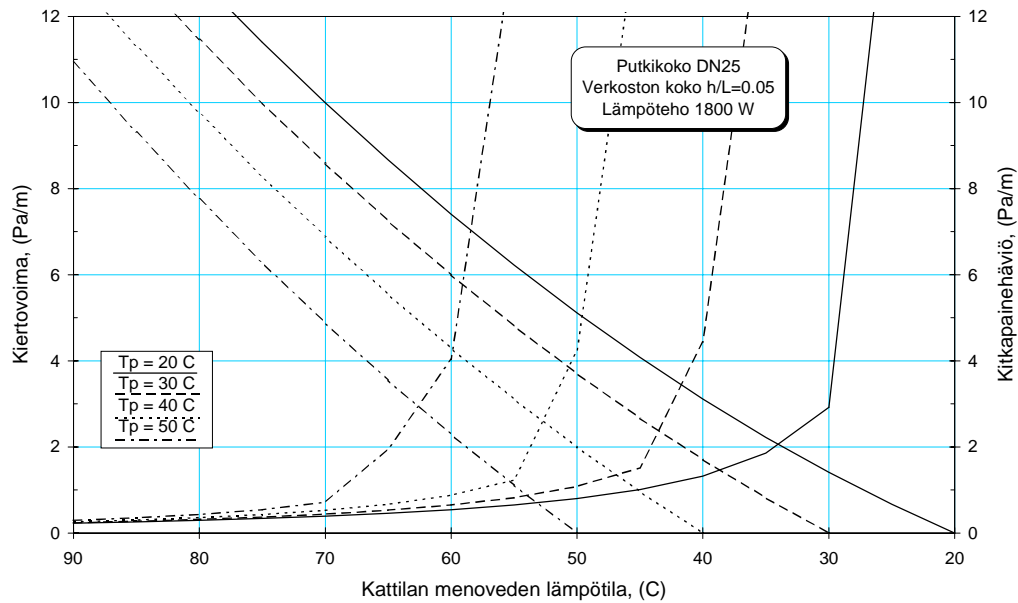
Kuva 7. Kiertovoiman ja kitkapainehäviön riippuvuus menoveden lämpötilasta putkessa DN20. Verkoston koko $h/L = 0,05$ ja $0,1$. Putkiosuuden lämpöteho 3 600 W.



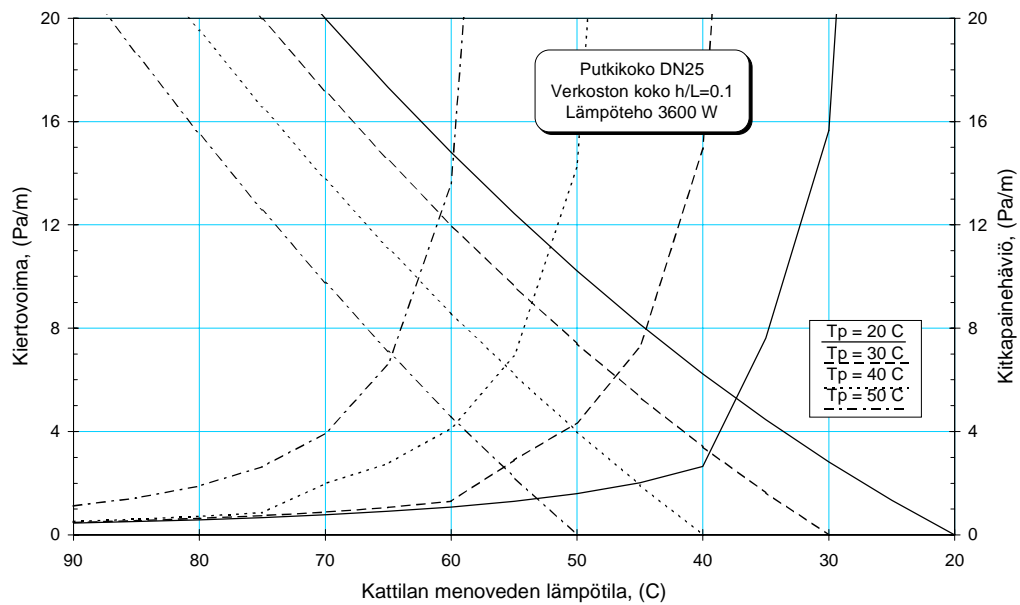
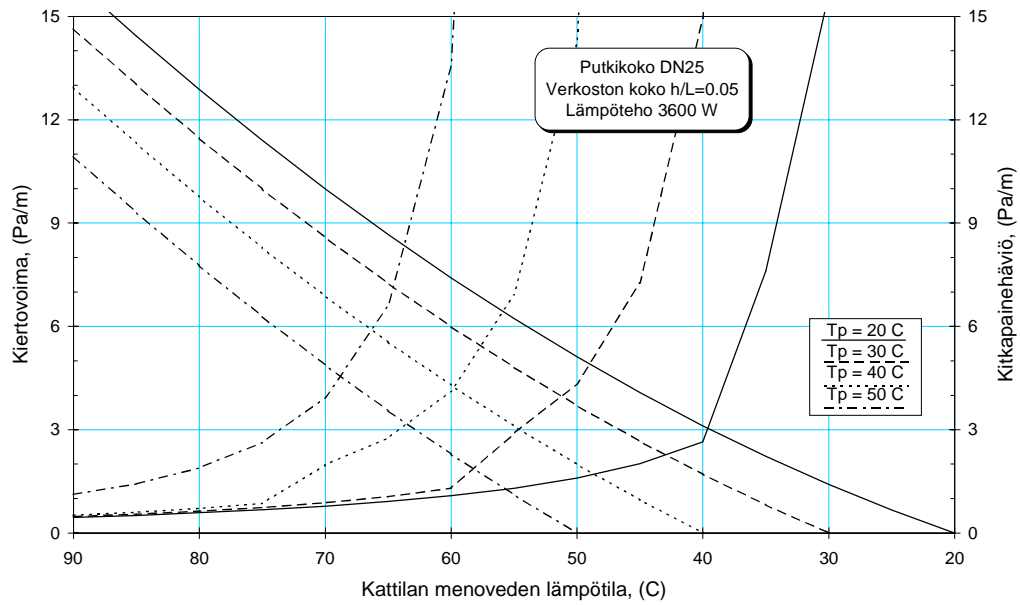
Kuva 8. Kiertovoiman ja kitkapainehäviön riippuvuus menoveden lämpötilasta putkessa DN25. Verkoston koko $h/L = 0,05$ ja $0,1$. Putkiosuuden lämpöteho 300 W.



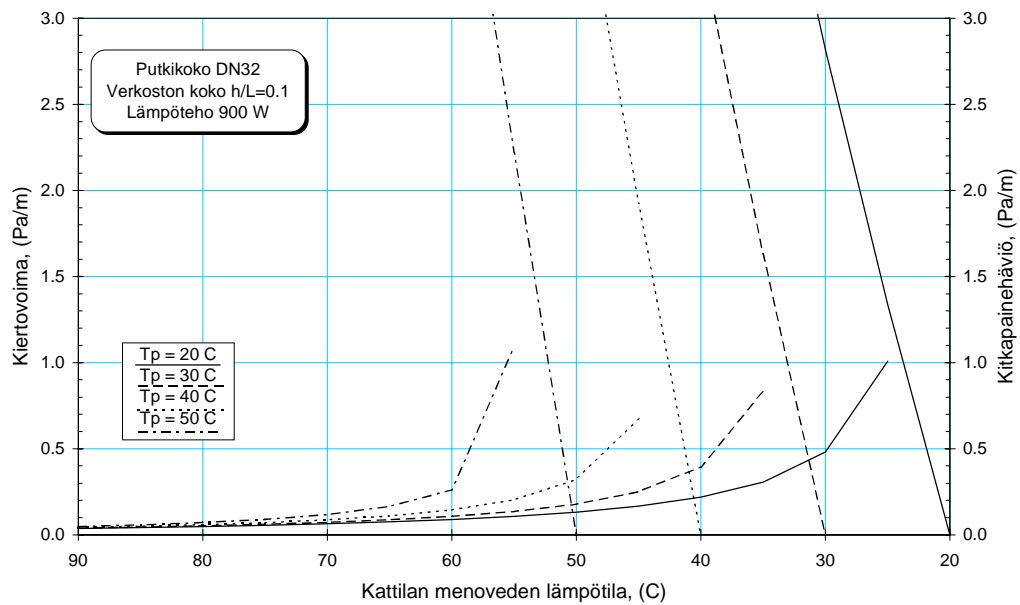
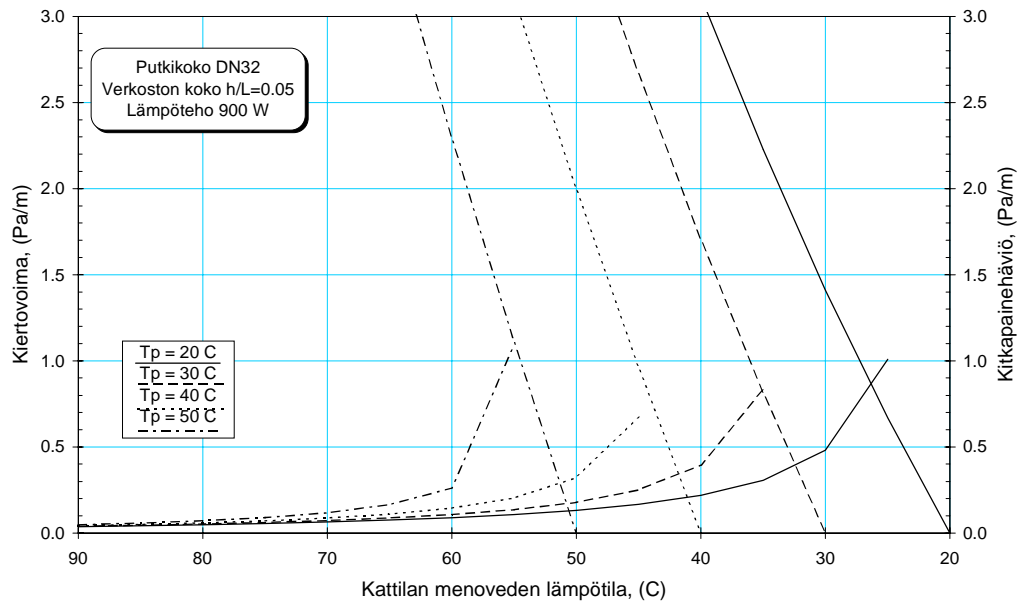
Kuva 9. Kiertovoiman ja kitkapainehäviön riippuvuus menoveden lämpötilasta putkessa DN25. Verkoston koko $h/L = 0,05$ ja $0,1$. Putkiosuuden lämpöteho 900 W.



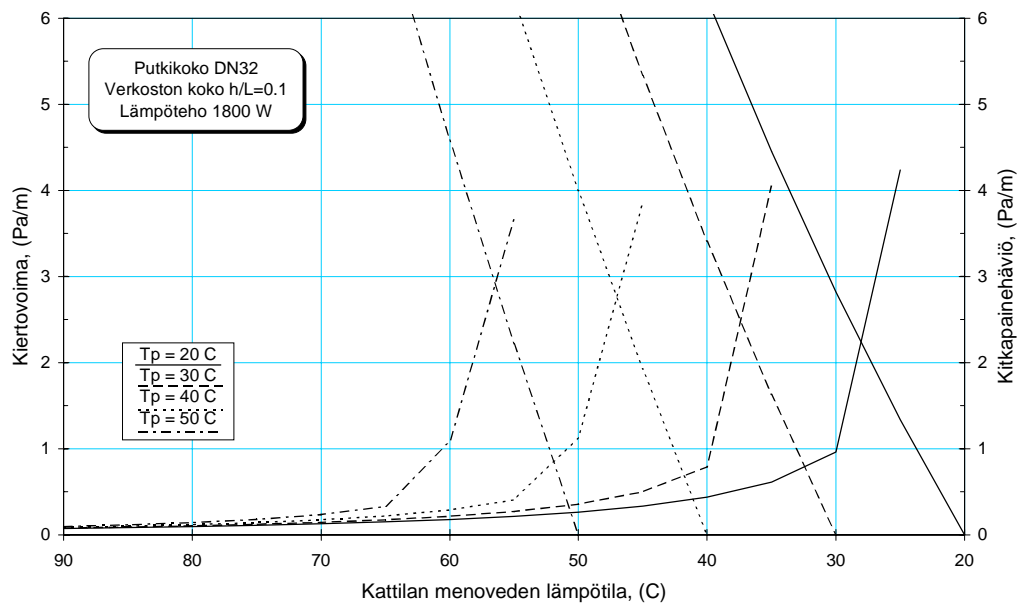
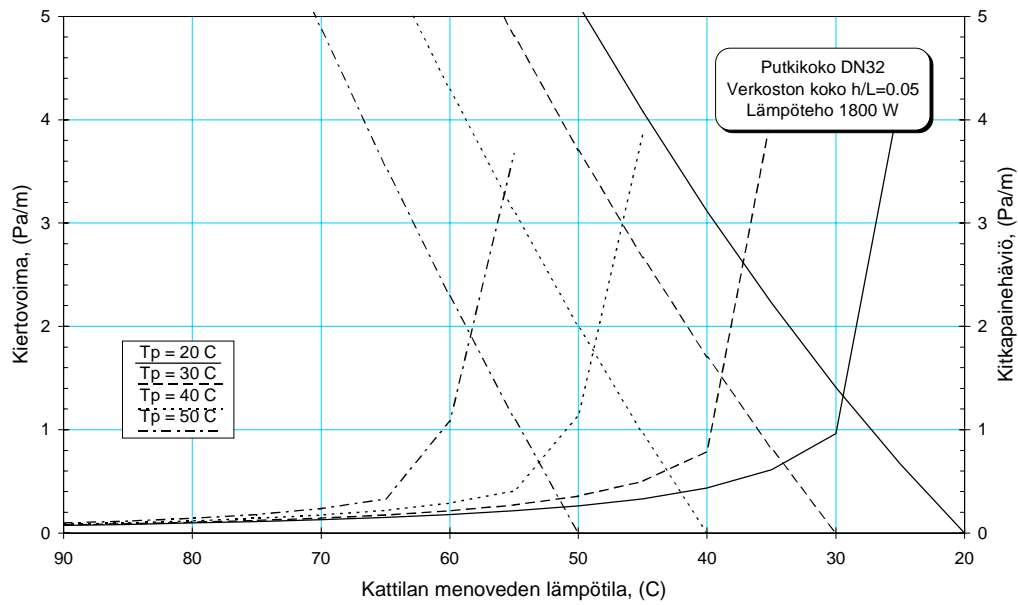
Kuva 10. Kiertovoiman ja kitkapainehäviön riippuvuus menoveden lämpötilasta putkessa DN25. Verkoston koko $h/L = 0,05$ ja $0,1$. Putkiosuuden lämpöteho 1 800 W.



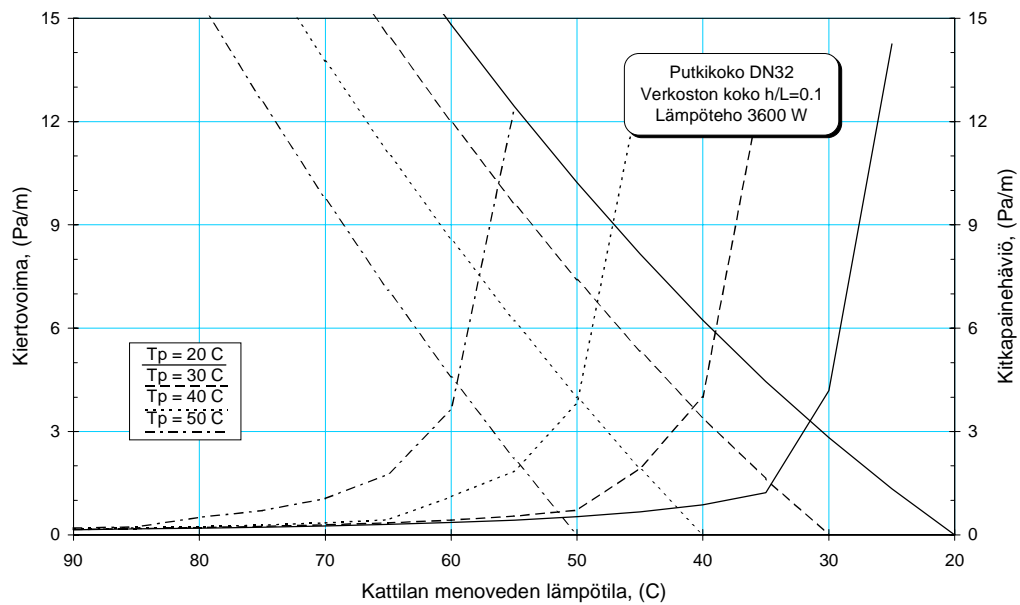
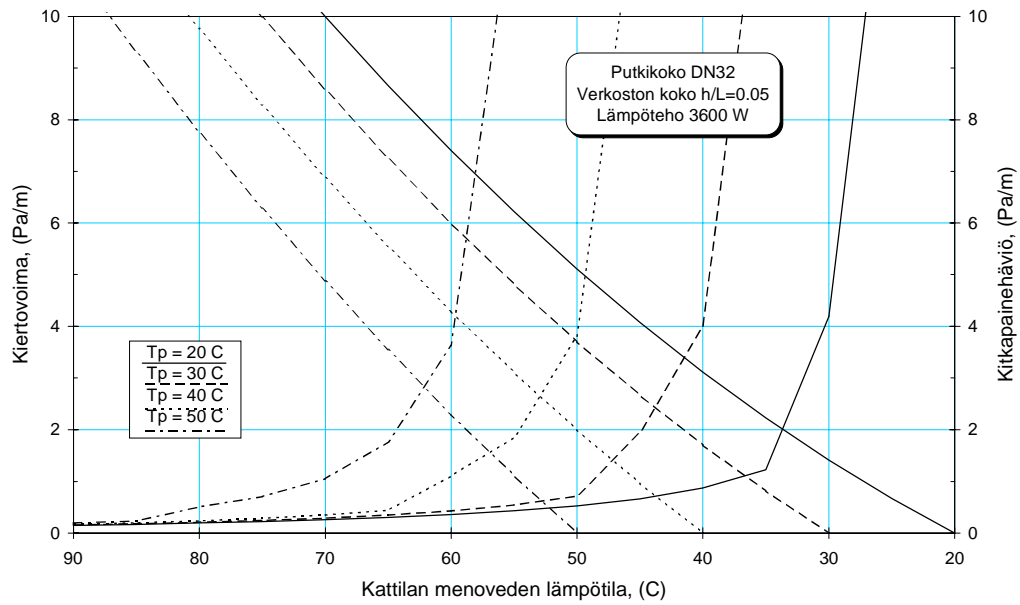
Kuva 11. Kiertovoiman ja kitkapainehäviön riippuvuus menoveden lämpötilasta putkessa DN25. Verkoston koko $h/L = 0,05$ ja $0,1$. Putkiosuuden lämpöteho 3 600 W.



Kuva 12. Kiertovoiman ja kitkapainehäviön riippuvuus menoveden lämpötilasta putkessa DN32. Verkoston koko $h/L = 0,05$ ja $0,1$. Putkiosuuden lämpöteho 900 W.



Kuva 13. Kiertovoiman ja kitkapainehäviön riippuvuus menoveden lämpötilasta putkessa DN32. Verkoston koko $h/L = 0,05$ ja $0,1$. Putkiosuuden lämpöteho $1\ 800\text{ W}$.



Kuva 14. Kiertovoiman ja kitkapainehäviön riippuvuus menoveden lämpötilasta putkessa DN32. Verkoston koko $h/L = 0,05$ ja $0,1$. Putkiosuuden lämpöteho 3 600 W.

LIITE 3

SUMUTUSPOLTTIMIEN KEHITYS JA POLTTO-
KOKKEIDEN TULOKSET

Taulukko 1. Polttokokeet muunnetulla palopäällä F1.

Pvm		Öljyn		O ₂		CO		NO _x		Noki-		Lämpötila		Ölly-	
Palopää	Suutin	paine	bar	%	ppm	ppm	Bach.	savu- kaasu	palamis- ilma	kattila- vesi	°C	°C	°C	g/h	virta
19.10.1994		10		4,6	12	104	0	154	28	74				1578	
Vakiopalopää		"		3,0	14	115	0	151	29	74				"	
D 0,5 60°S		"		1,0	75	120	1,6	146	27	73				"	
		"		2,2	17	120	0,2	146	27	73				"	
		"		7,0	12	82	0	157	30	73				"	
19.10.1994		10		3,0	19	87	0,2	144	29	72				1592	
Koepalopää		"		2,8	16	87	0,6	146	32	74				"	
D 0,5 60°S		"		1,3	160	95	3,2	143	32	73				"	
		"		1,6	40	90	2,2	143	32	73				"	
19.10.1994		"		7,0	20	70	1,0	118	33	73				1122	
Koepalopää		"		4,5	14	77	0,7	113	32	73				"	
D 0,4 60°S		"		3,1	16	84	2,6	110	32	73				"	
		"		2,1	38	82	5,3	109	32	73				"	
19.10.1994		9		5,0	13	80	0,6	110	33	73				1050	
Koepalopää		8		5,0	13	77	0,8	108	33	73				978	
D 0,5 60°S		7		5,0	13	78	1,6	105	33	73				952	
		6		4,7	16	78	2,2	103	33	73				886	
		10		5,0			0,6							1068	
20.10.1994		10		9,0	40	67	1,2	138	33	77				1149	
Vakiopalopää		"		4,7	12	100	0,7	122	34	92				"	
D 0,4 60°S		"		2,0	38	101	6,2	111	35	71				"	
		"		3,9	13	105	1,2	110	34	71				"	
		"		2,8	18	106	4,0	108	35	74				"	
20.10.1994		10		4,0	13	85	0,6	106	35	74				1098	
Koepalopää		"		3,0	15	93	1,0	108	35	74				"	
D 0,4 60°S		"		2,7	16	93	1,5	108	34	74				"	
		"		5,2	12	82	0,3	114	35	73				"	
		"		6,5	14	70	0,3	118	35	73				"	

Taulukko 2. Palopään E tehoalueen määrittäminen.

Aihe	TÜV-KOEAJO VALMISTELU	Poltin	JUNIOR L
Pvm	18.11.94	Palopää	E
Paikka	OILON-TEHDAS Oy	Huom!	PALOPÄÄN TEHOALUEEN MÄÄRITYS
Ilmanpaine	980 mbar		VTT-PROJEKTI
Kosteus	26 %	Kattila	"NIRO 88"
Lämpötila	21 °C	Polttoaine	POK 5

Suutin	Teho	Työp.	Noki	O2	CO	NOx	p/TP	p/Polt	t/SK	t/KAT	t/PI	I.P	Mit.no
	kg/h	bar	Bac.	%	ppm	ppm	Pa	Pa	°C	°C	°C	<)>	
													AS
DANF 0,4/80°S LE	1,23	12,5	1	3,1	29	73	10	180	186	90	34	2,3	1
DANF 0,5/80°S LE	1,51	10,0	0	3,0	10	55	10	240	190	95	36	2,9	2
DANF 0,5/80°S LE	1,81	15,0	0	3,1	12	51	10	370	215	95	29	4,8	3
DANF 0,5/80°S LE	1,73	13	0	3,0	8	54	10	320	205	85	28	3,9	4
DANF 0,6/80°S LE	1,77	8,0	0	3,1	23	47	10	350	209	85	30	4,3	5
DANF 0,6/80°S LE	1,92	9,5	0	3,0	26	45	13	420	218	90	30	5,7	6

Taulukko 3. Palopään E minimitehon määrittäminen.

Aihe	TÜV-KOEAJO VALMISTELU	Poltin	JUNIOR L
Pvm	1.12.94	Palopää	E
Paikka	OILON-TEHDAS Oy	Huom!	PALOPÄÄN MINIMITEHON MÄÄRITYS
Ilmanpaine	1009 mbar		VTT-PROJEKTI
Kosteus	26 %	Kattila	"NIRO 88"
Lämpötila	20 °C	Polttoaine	POK 5

Suutin	Teho	Työp.	Noki	O2	CO	NOx	p/TP	p/Polt	t/SK	t/KAT	t/PI	I.P	Mit.no
	kg/h	bar	Bac.	%	ppm	ppm	Pa	Pa	°C	°C	°C	<)>	
													AS
DANF 0,4/80°S LE	1,20	10,5	1	3,1	33	56	10	160	162		28	2,1	1
DANF 0,4/80°S LE	1,12	9,0	2	3,4	95	62	20	170	160		27	2,0	2
DANF 0,4/80°S LE	1,01	8,0	3	3,6	130	67	20	150	157		26	1,7	3
DANF 0,4/80°S LE	0,90	7,0	3-4	3,8	200	44	10	130	158		28	1,5	4

Taulukko 4. Polttokokeet palopäällä F1 ja kahdella polttoaineella.

Kattila: Jämä Miniter			Polttoaine: Tempera 5								
Poltin: Oilon Junior LF1			Suutin: D 0,6 60°S ja D 0,5 60°S								
Pvm	Öljy Poltin Suutin	Öljy Tem- pera	Öljyn paine bar	Lämpötila							Öljy- virta g/h
				O2 %	CO ppm	NOx ppm	Noki- luku Bach.	savu- kaasu °C	palamis- ilma °C	kattila- vesi °C	
2.2.1996		5	10	5,8	20	84	~0	194	26	74	2117
Oilon LF1		"	"	5,0	18	97	~0	190	26	"	"
D 0,6 60°S		"	"	4,4	20	103	~0	184	27	"	"
		"	"	3,5	20	107	0,2	178	26	"	"
		"	"	2,9	23	106	0,2	177	25	"	"
		"	"	2,6	32	103	0,2	177	27	"	"
		"	"	2,1	60	97	1,8	177	27	"	"
5.2.1996		5	13	5,8	25	78	0,4	168	24	73	1762
Oilon LF1		"	"	4,8	25	84	0,4	167	24	72	"
D 0,5 60°S		"	"	4,5	24	88	0,4	166	24	74	"
		"	"	3,9	22	90	0,3	164	24	74	"
		"	"	3,4	25	92	0,7	163	24	73	"
		"	"	2,8	26	89	1,1	161	24	"	"
		"	"	2,6	30	91	1,8	160	24	"	"
2.2.1996		5	10	6,0	55	81	1,2	158	28	74	1532
Oilon LF1		"	"	4,6	42	91	0,9	155	28	"	"
D 0,5 60°S		"	"	4,3	42	89	1	155	28	"	"
		"	"	3,7	39	93	0,9	153	28	"	"
		"	"	3,2	40	94	1,4	154	28	"	"
		"	2	2,7	50	87	2,6	152	28	"	"
2.2.1996		5	9	5,7	60	82	1,3	154	28	72	1443
Oilon LF1		"	"	5,4	53	85	1,1	153	28	72	"
D 0,5 60°S		"	"	4,3	62	82	1,1	152	28	73	"
		"	"	3,8	65	81	1,8	147	28	"	"
		"	2	3,4	64	80	3,3	148	28	"	"
2.2.1996		5	8	5,8	120	61	1,7	148	24	73	1363
Oilon LF1		"	"	4,3	120	67	1,9	144	25	"	"
D 0,5 60°S		"	"	4,5	120	66	1,8	144	24	"	"
8.2.1996	Green		12	5,0	26	87	0,2	158	25	74	1602
Oilon LF1	"		"	4,6	24	87	0,4	160	25	"	"
D 0,5 60°S	"		"	3,6	23	93	0,4	156	25	"	"
	"		"	3,0	27	93	1,0	154	25	"	"
8.2.1996	Green		11	5,4	36	78	0,4	158	25	73	1590
Oilon LF1	"		"	5,0	37	80	0,6	158	25	"	"
D 0,5 60°S	"		"	4,3	28	87	0,8	156	25	"	"
	"		"	3,7	27	90	0,8	156	25	"	"
	"		"	3,4	26	91	0,6	155	25	"	"
	"		"	3,2	25	90	1,0	154	25	"	"
	"		"	2,8	28	87	2,0	153	25	"	"
8.2.1996	Green		10	6,6	50	69	1,0	154	25	73	1526
Oilon LF1	"		"	5,4	36	78	0,8	152	25	"	"
D 0,5 60°S	"		"	3,5	32	87	1,1	149	25	"	"
	"		"	3,2	38	83	1,9	149	25	"	"
8.2.1996	Green		9	5,9	54	73	1,1	152	25	73	1435
Oilon LF1	"		"	4,7	42	76	1,3	150	26	"	"
D 0,5 60°S	"		"	4,0	47	76	2,1	147	26	"	"
	"		"	3,5	50	75	3,3	146	26	"	"

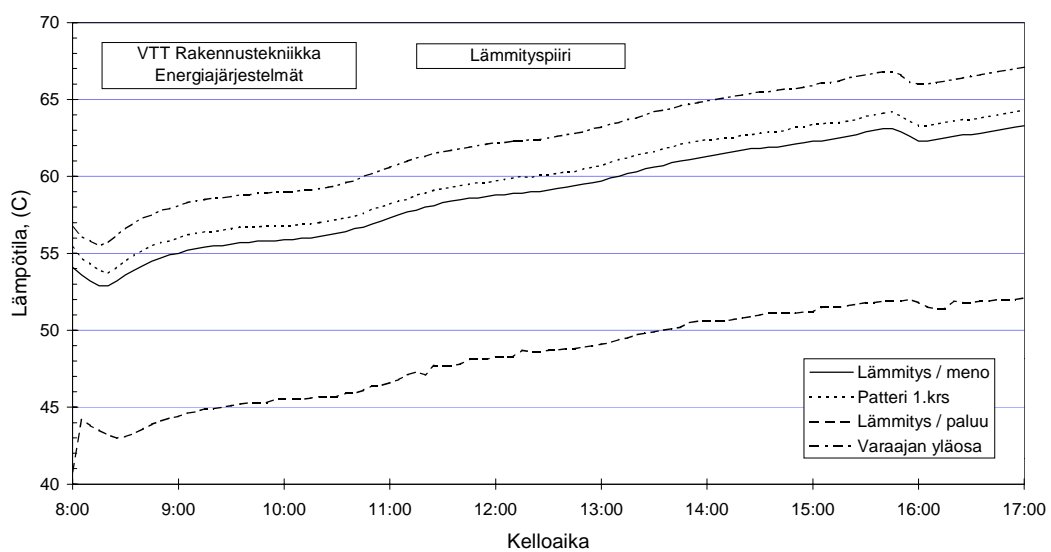
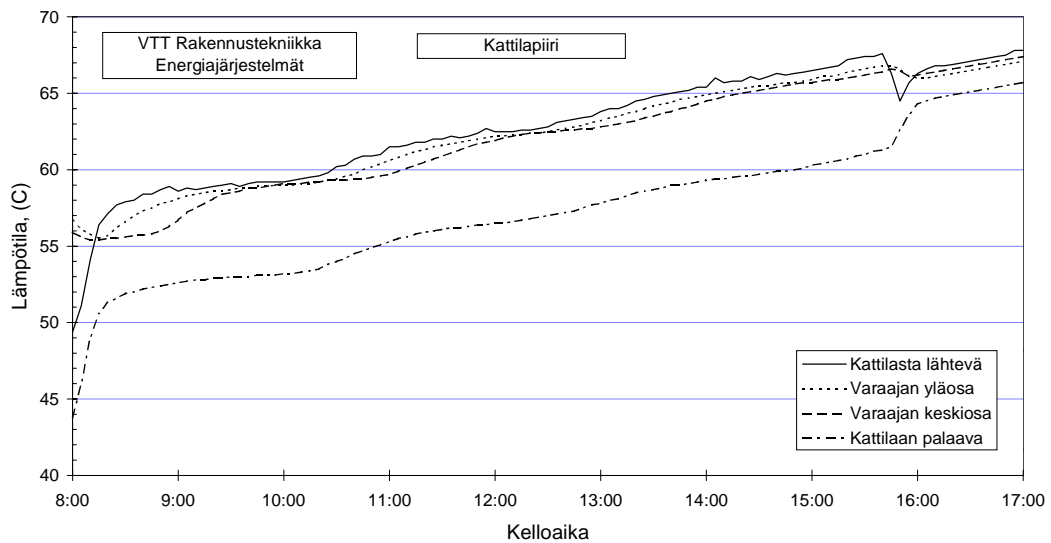
Taulukko 5. Polttokokeet palopäällä E.

Kattila: Jämä Miniter			Polttoaine: Tempera 5								
Poltin: Oilon Junior LE			Suutin: D 0,5 80°S, EN 100 II								
Pvm	Öljy	Öljyn					Lämpötila				Ölly-
Poltin	Tem-	paine	O2	CO	NOx	Noki-	savu-	palamis-	kattila-	virta	
Suutin	pera	bar	%	ppm	ppm	luku	kaasu	ilma	vesi	g/h	
						Bach.	°C	°C	°C		
5.2.1996	5	13	5,7	20	42	~0	182	25	78	1826	
Oilon LE	"	"	4,0	16	53	~0	180	26	73	"	
D 0,5 80°S	"	"	3,9	16	54	~0	181	26	"	"	
EN 100 II	"	"	3,5	18	55	-0,2	173	26	"	"	
	"	"	3,3	7	55	~0	179	26	"	"	
	"	"	3,0	17	59	0,4	176	26	"	"	
6.2.1996	5	11	6,2	26	35	~0	188	23	74	1834	
Oilon LE	"	"	5,4	20	39	~0	186	23	"	"	
D 0,5 80°S	"	"	4,5	17	46	~0	183	23	"	"	
EN 100 II	"	"	3,9	17	50	~0	181	23	"	"	
	"	"	2,7	18	54	-0,2	177	23	"	"	
	"	"	2,6	18	54	0,2	177	23	"	"	
	"	"	2,2	22	50	1,0	175	23	"	"	
6.2.1996	5	10	6,8	45	30	~0	187	23	74	1770	
Oilon LE	"	"	5,4	20	43	~0	183	23	"	"	
D 0,5 80°S	"	"	4,8	17	47	~0	181	24	"	"	
EN 100 II	"	"	4,2	16	50	~0	179	24	"	"	
	"	"	3,5	18	56	~0	176	24	"	"	
	"	"	3,1	18	55	0,4	174	24	"	"	
	"	"	2,4	26	49	1,7	173	24	"	"	
6.2.1996	5	9	5,5	26	38	~0	176	24	73	1679	
Oilon LE	"	"	5,0	18	46	0,2	174	25	"	"	
D 0,5 80°S	"	"	3,9	18	52	~0	170	25	"	"	
EN 100 II	"	"	3,1	18	56	0,4	167	25	"	"	
	"	"	1,8	150	43	3,8	163	25	"	"	
6.2.1996	5	8	5,0	26	43	~0	165	25	72	1577	
Oilon LE	"	"	4,7	24	45	0,4	164	25	"	"	
D 0,5 80°S	"	"	4,0	20	51	0,4	162	25	"	"	
EN 100 II	"	"	3,6	20	54	0,4	161	25	"	"	
	"	"	3,1	20	55	1,0	160	25	"	"	
	"	"	2,6	22	54	2,2	157	25	"	"	
6.2.1996	5	7	5,4	56	37	0,4	159	25	72	1465	
Oilon LE	"	"	5,3	50	37	0,4	160	25	"	"	
D 0,5 80°S	"	"	4,2	30	45	0,6	157	25	"	"	
EN 100 II	"	"	3,7	24	52	1,0	154	25	"	"	
	"	"	3,6	24	52	0,8	154	25	"	"	
	"	"	3,4	24	54	1,1	152	25	"	"	
6.2.1996	5	6	5,8	120	30	1,0	152	26	72	1347	
Oilon LE	"	"	4,6	40	46	1,0	148	26	"	"	
D 0,5 80°S	"	"	3,7	30	52	2,5	145	26	"	"	

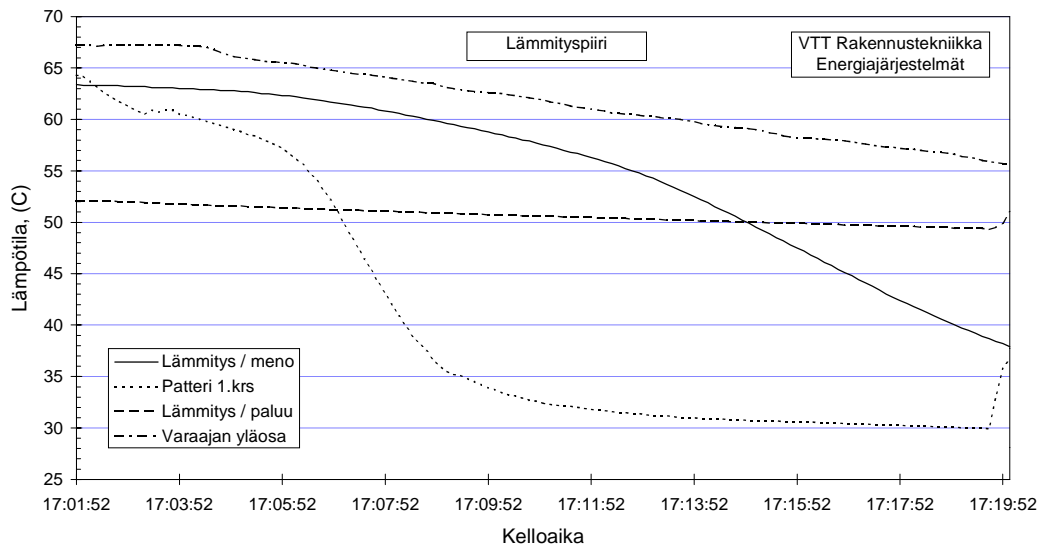
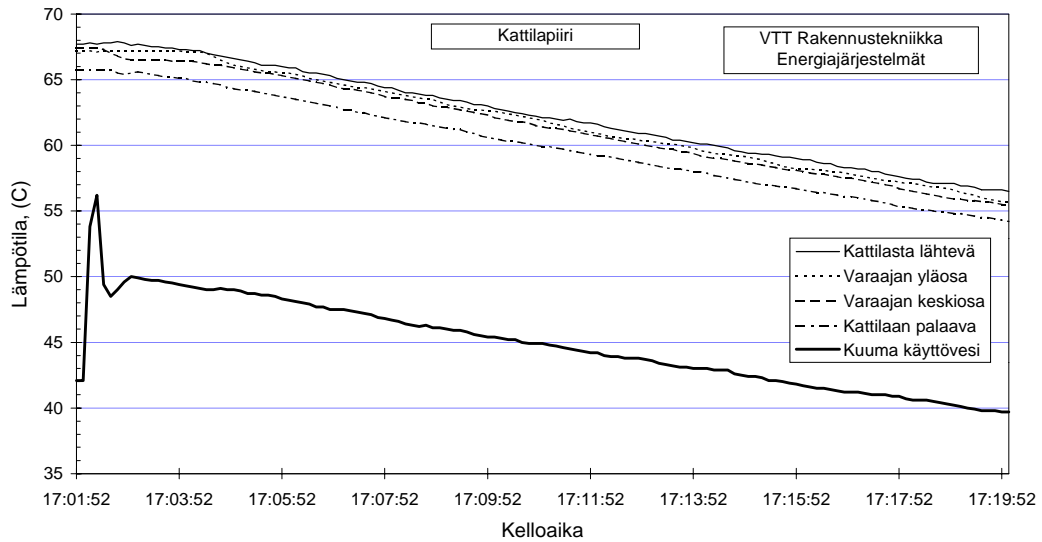
Taulukko 6. Polttokokeet palopäällä E eri suuttimilla ja polttoaineilla.

Kattila: Jämä Miniter			Polttoaine: Tempera Green								
Poltin: Oilon Junior LE			Suutin: D 0,5 80°S, EN 100 II								
Pvm	Öljy	Öljyn	Lämpötila								
			Poltin	Tem-	Öljyn	O2	CO	NOx	Noki-	savu-	palamis-
Suutin	pera	paine	bar	%	ppm	ppm	Bach.	kaasu	ilma	vesi	virta
								°C	°C	°C	g/h
7.2.1996	Green	12		4,8	16	47	0,2	178	26	73	1622
Oilon LE	"	"		4,2	17	50	~0	177	26	"	"
D 0,5 80°S	"	"		3,7	17	53	~0	175	26	"	"
EN 100 II	"	"		3,8	17	54	~0	174	26	"	"
	"	"		3,2	18	56	~0	173	26	"	"
	"	"		3,0	20	56	0,3	171	26	"	"
	"	"		2,3	26	53	1,6	169	26	"	"
8.2.1996	Green	10		5,4	18	43	~0	166	24	72	1572
Oilon LE	"	"		4,7	16	47	~0	164	25	"	"
D 0,5 80°S	"	"		3,4	18	52	0,4	160	25	"	"
EN 100 II	"	"		3,0	20	54	1,0	159	25	"	"
	"	"		2,5	22	53	1,8	158	25	"	"
8.2.1996	Green	9		6,4	44	32	~0	164	25	72	1481
Oilon LE	"	"		5,7	20	44	~0	160	25	"	"
D 0,5 80°S	"	"		4,6	18	50	0,4	156	25	"	"
EN 100 II	"	"		3,8	20	54	0,6	154	25	"	"
	"	"		2,7	24	54	3,2	152	25	"	"
8.2.1996	Green	8		5,2	24	42	~0	155	25	72	1393
Oilon LE	"	"		4,4	18	50	1,0	149	25	"	"
D 0,5 80°S	"	"		3,8	20	52	2,1	147	25	"	"
EN 100 II											
6.2.1996	5	10		6,8	280	26	1,7	135	26	72	1117
Oilon LE	"	"		4,5	60	46	3,0	127	27	"	"
D 0,4 60°S	"	"		3,4	100	49	7,0	125	27	"	"
6.2.1996	5	12		4,9	48	44	1,1	138	27	72	1216
Oilon LE	"	"		4,4	35	49	2,3	138	27	"	"
D 0,4 60°S											
8.2.1996	Green	13		6,0	150	30	1,0	136	26	72	1266
Oilon LE	"	"		4,9	33	46	1,1	140	26	"	"
D 0,4 60°S	"	"		4,4	26	49	1,9	140	26	"	"
	"	"		4,6	28	48	1,6	141	26	"	"
8.2.1996	Green	10		6,2	100	35	1,8	133	26	72	1120
Oilon LE	"	"		4,7	44	45	4,2	126	26	"	"
D 0,4 60°S											
8.2.1996	Green	10		5,6	30	36	~0	163	25	73	1603
Oilon LE	"	"		4,6	26	40	~0	157	25	"	"
D 0,5 60°S	"	"		4,0	17	51	0,4	162	25	"	"
	"	"		3,0	22	54	1,3	159	25	"	"
	"	"		2,7	50	47	3,4	158	25	"	"
8.2.1996	Green	7		5,4	80	35	0,8	153	25	73	1333
Oilon LE	"	"		4,6	46	41	1,1	151	25	"	"
D 0,5 60°S											

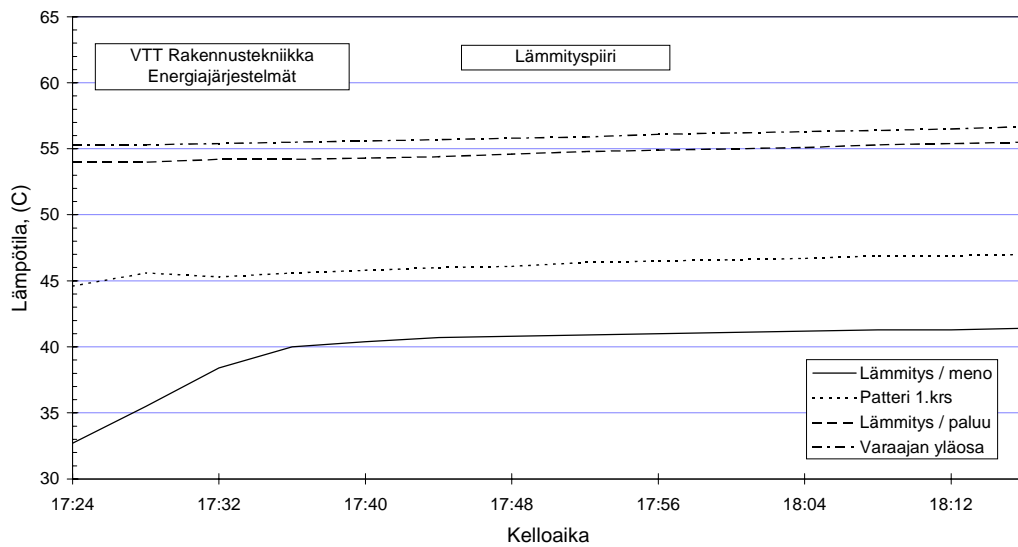
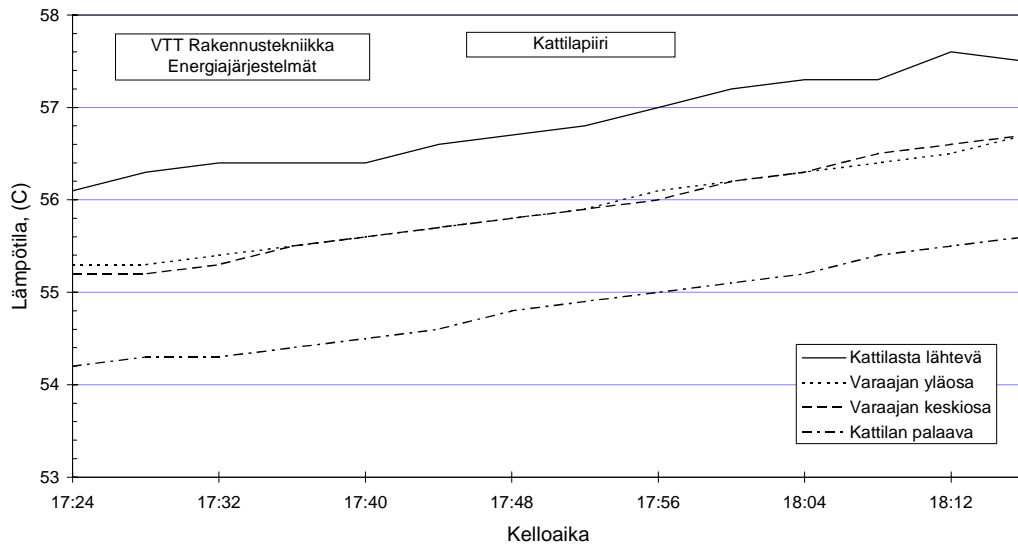
LIITE 4

JÄRJESTELMÄKOKEET LÄMMITYSVESI-
VARAAJALLA - TULOKSET

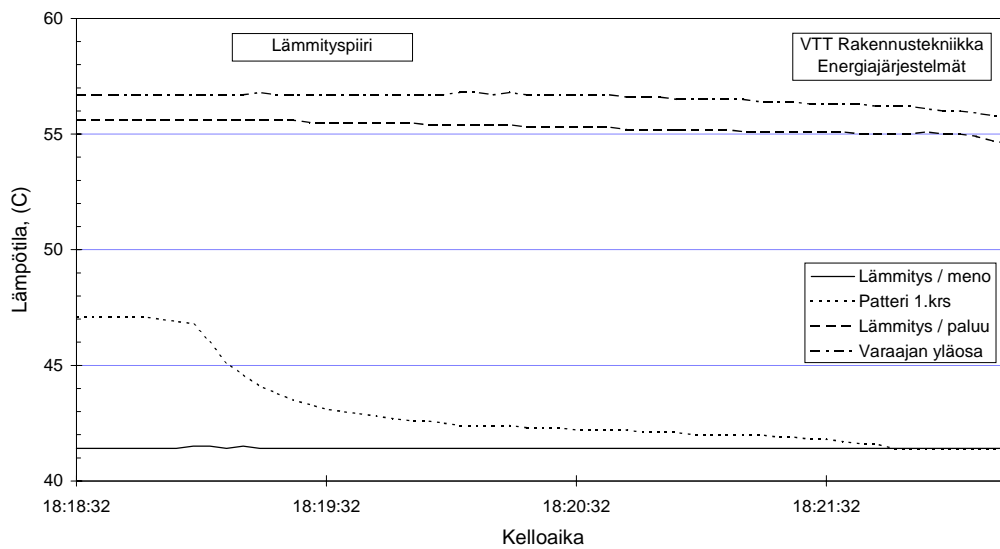
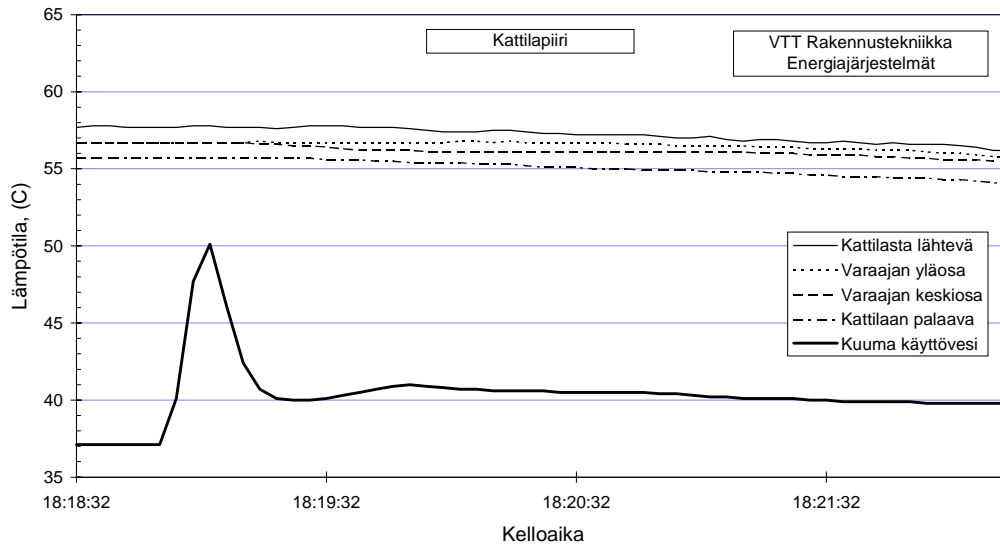
Kuva 1. Järjestelmän lämpötilat latausjakson aikana (mittaus 31.10.95).



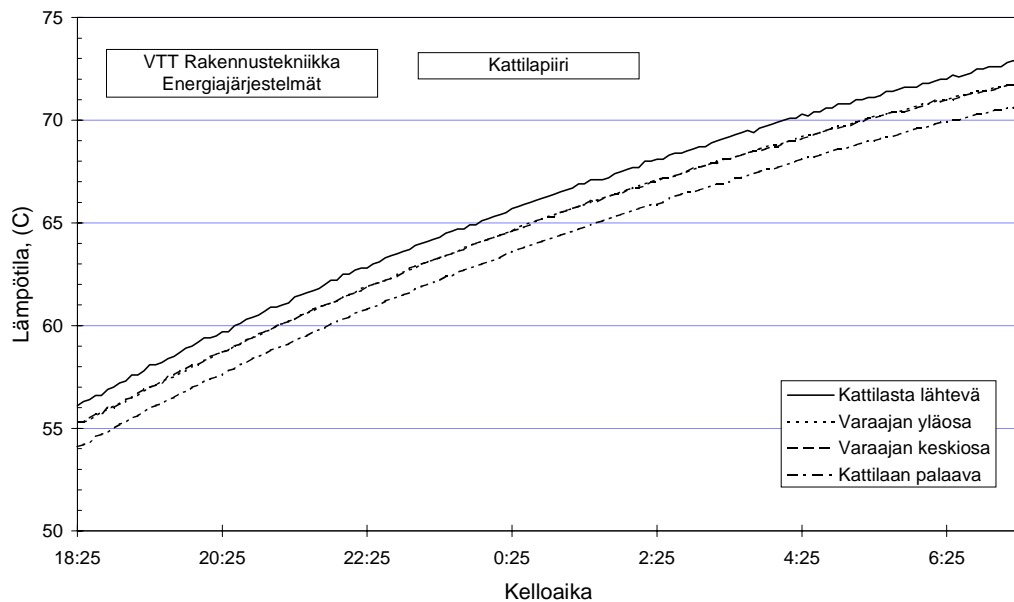
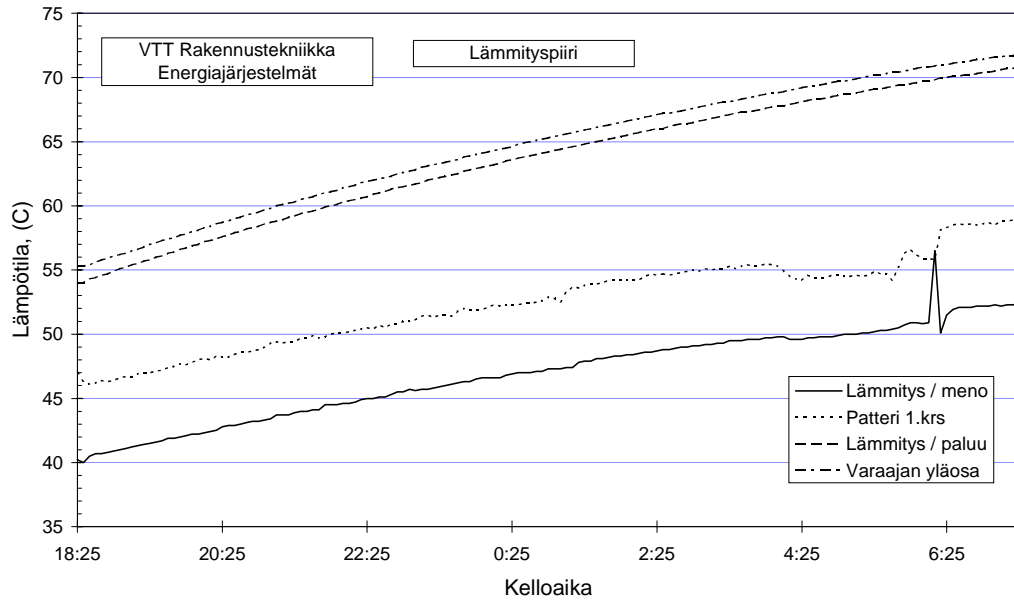
Kuva 2. Järjestelmän lämpötilat käyttöveden juoksutuksen aikana (mittaus 31.10.95, LKV = 0,204 L/s).



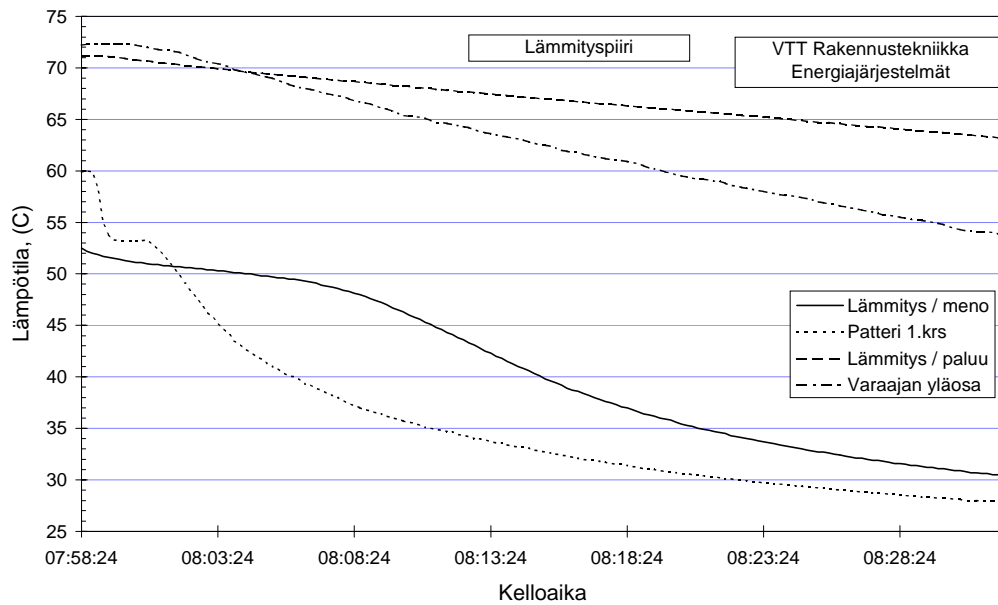
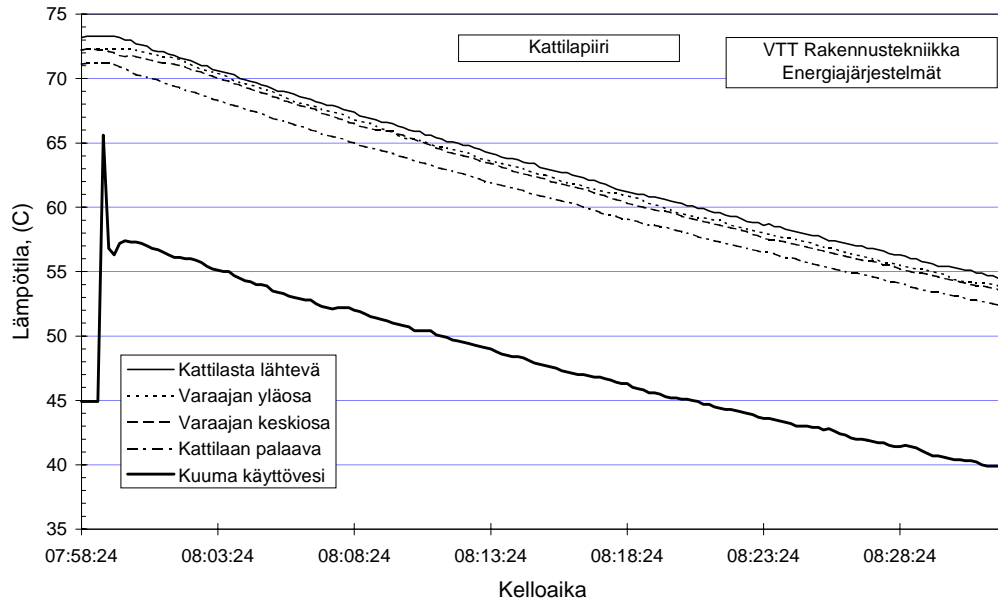
Kuva 3. Järjestelmän lämpötilat välilatausjakson aikana (mittaus 31.10.95).



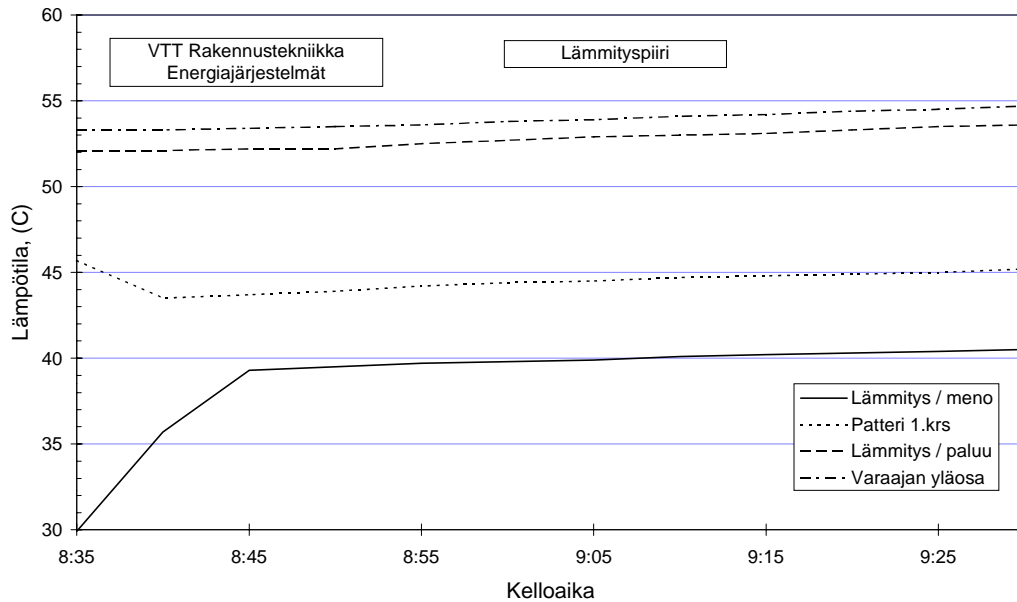
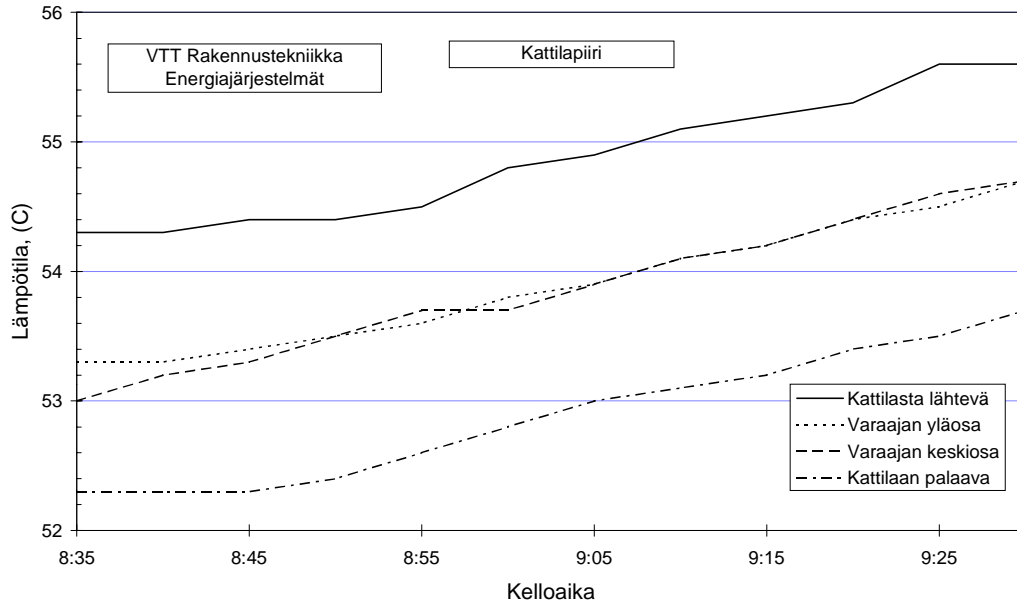
Kuva 4. Järjestelmän lämpötilat käyttöveden toisen juoksutuksen aikana (mittaus 31.10.95, LKV = 0,203 L/s).



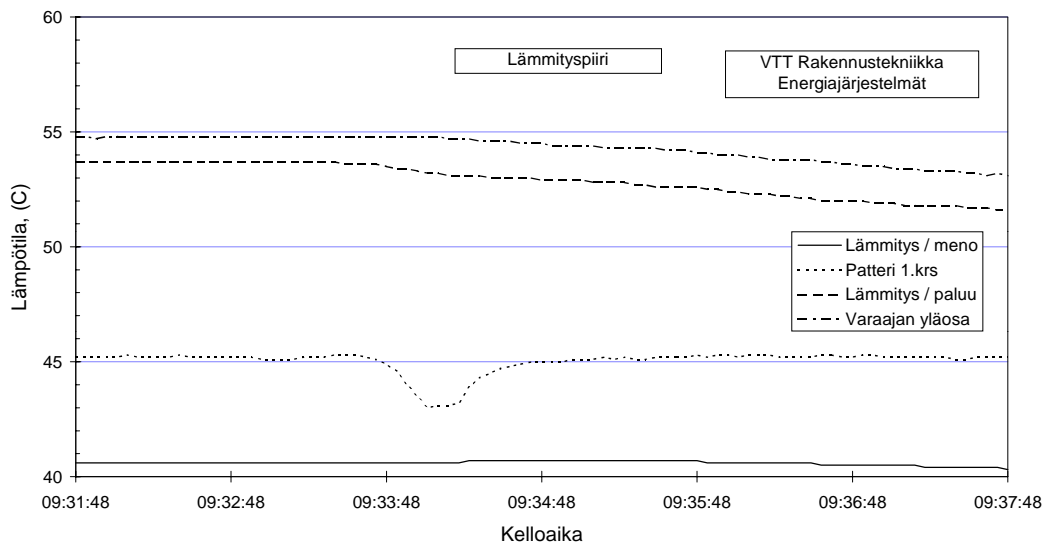
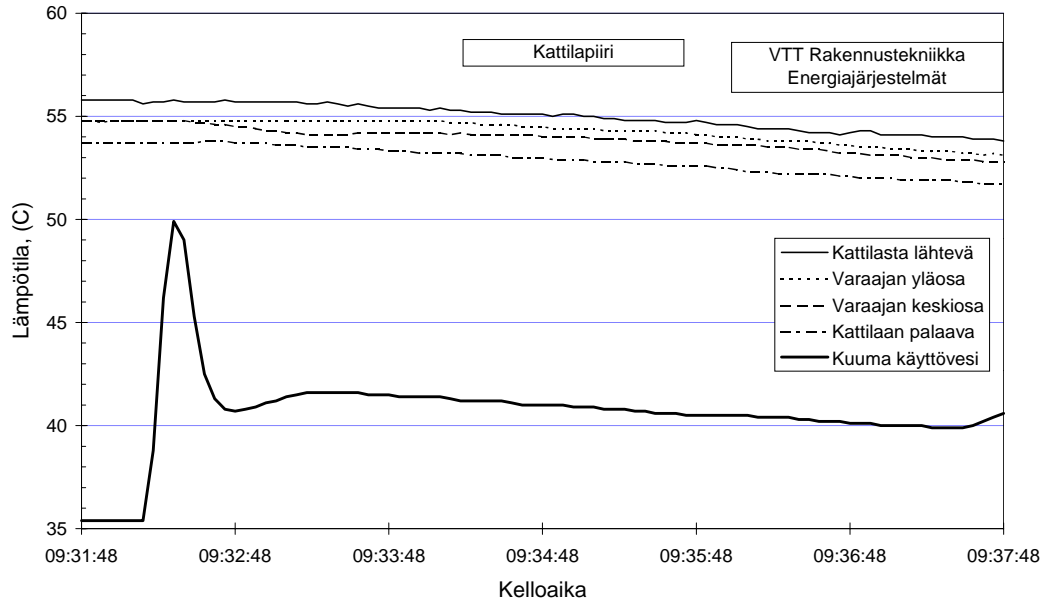
Kuva 5. Järjestelmän lämpötilat latausjakson aikana (mittaus 31.10. - 1.11.95).



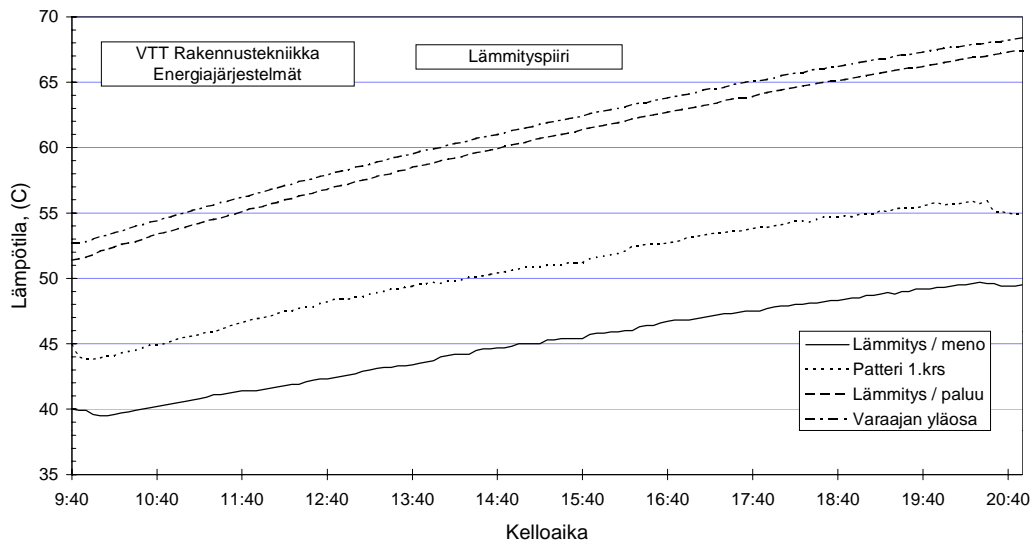
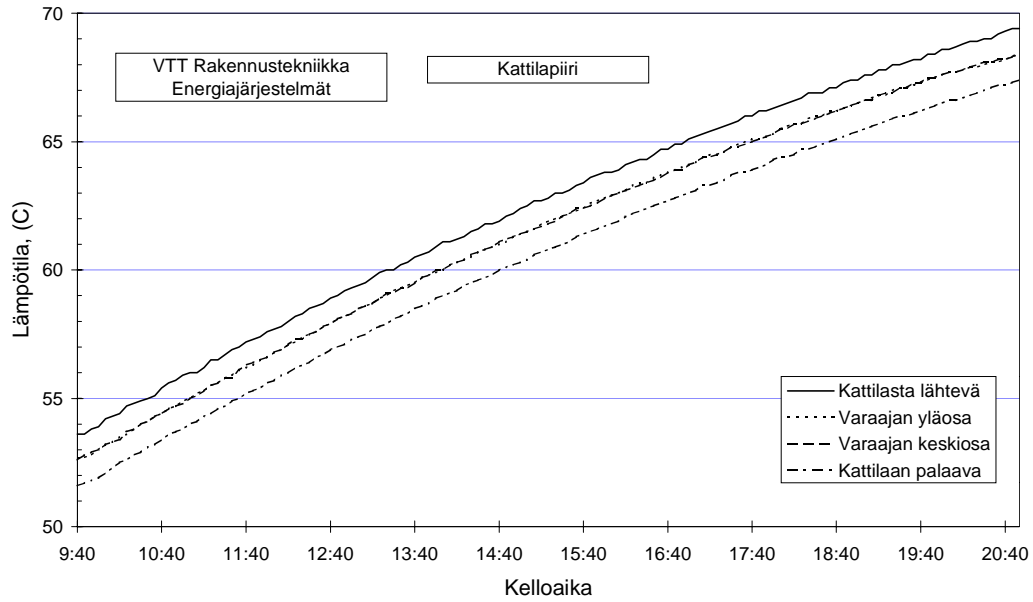
Kuva 6. Järjestelmän lämpötilat käyttöveden juoksutuksen aikana (mittaus 1.11.95, LKV = 0,151 L/s).



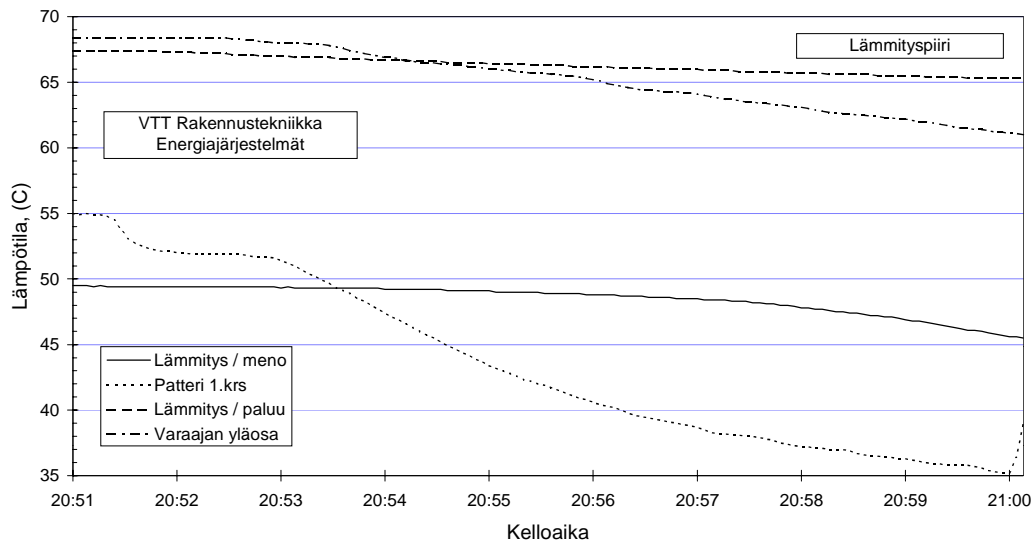
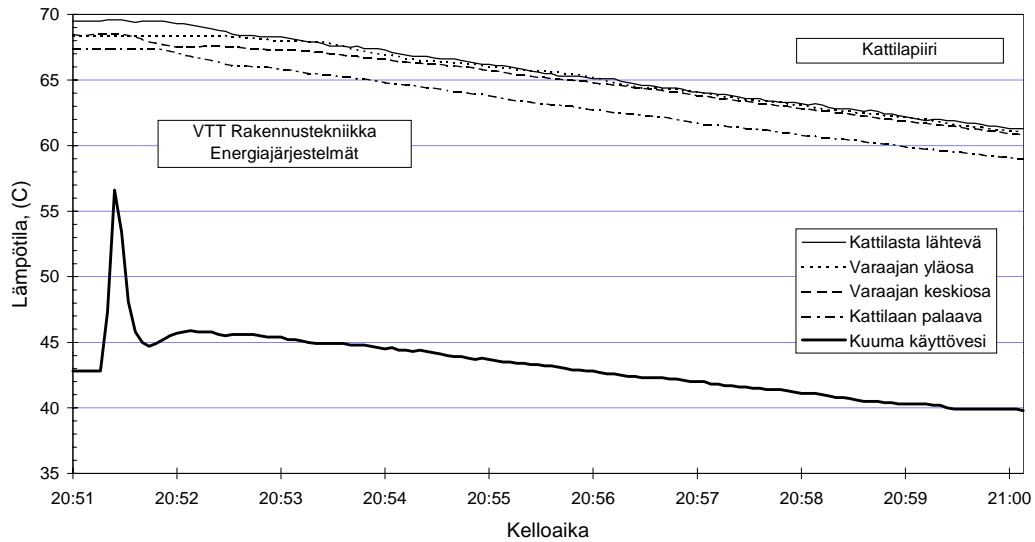
Kuva 7. Järjestelmän lämpötilat välilatausjakson aikana (mittaus 1.11.95).



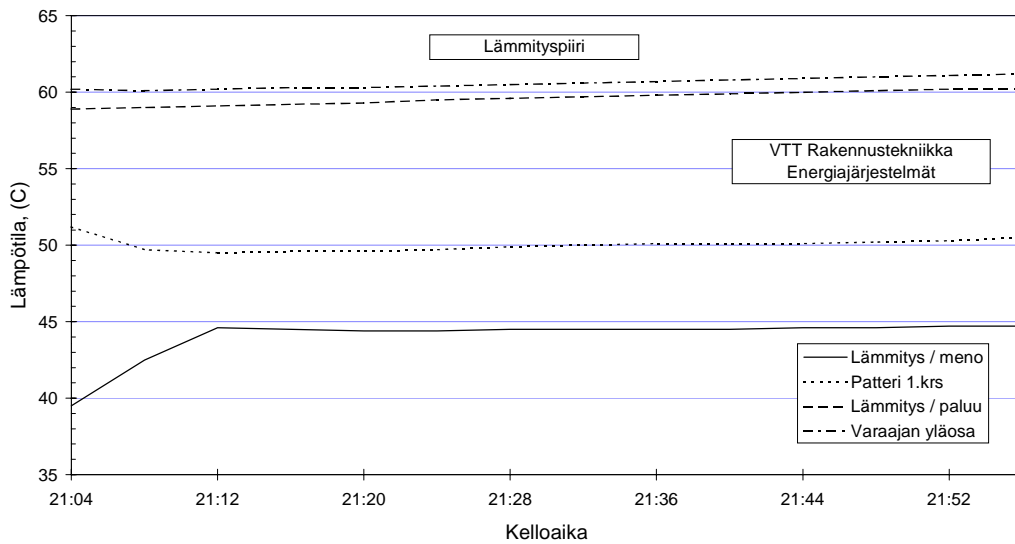
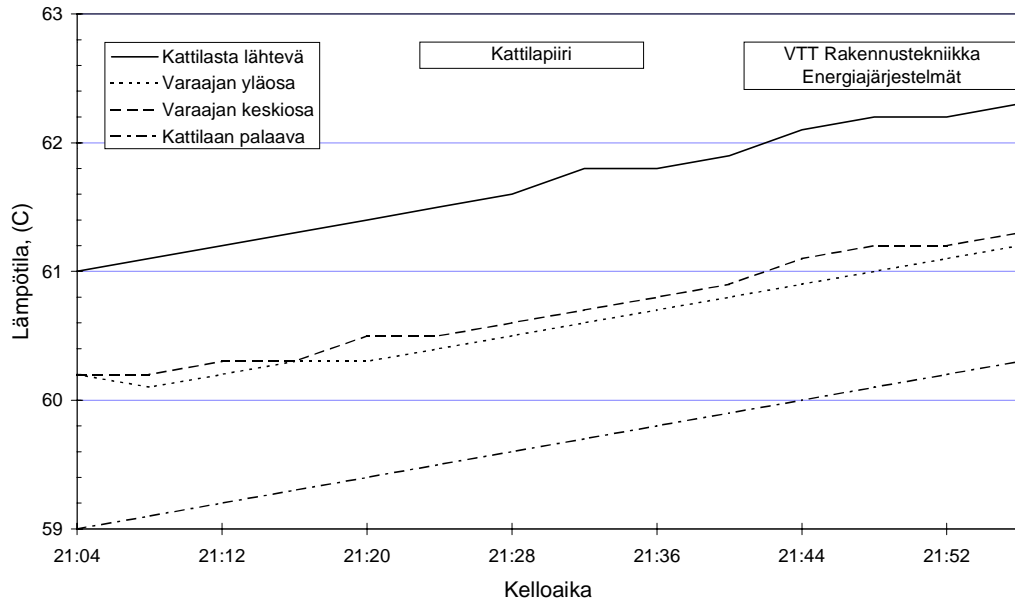
Kuva 8. Järjestelmän lämpötilat käyttöveden toisen juoksuksen aikana (mittaus 1.11.95, LKV = 0,150 L/s).



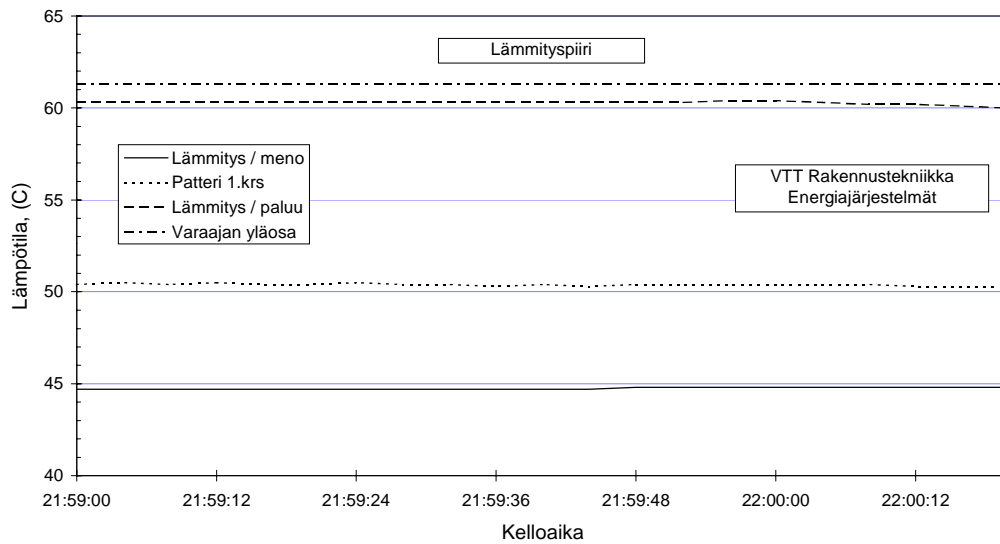
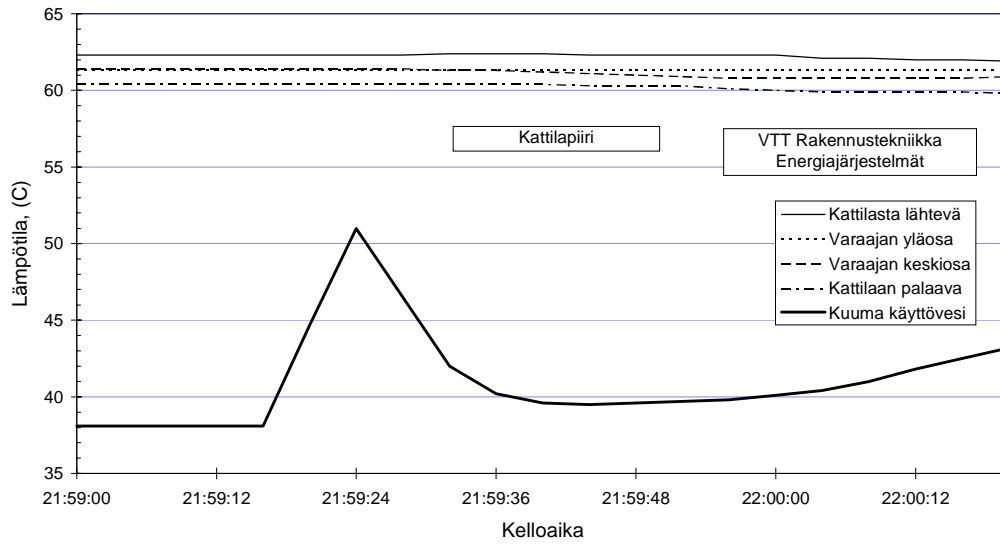
Kuva 9. Järjestelmän lämpötilat latausjakson aikana (mittaus 1.11.95).



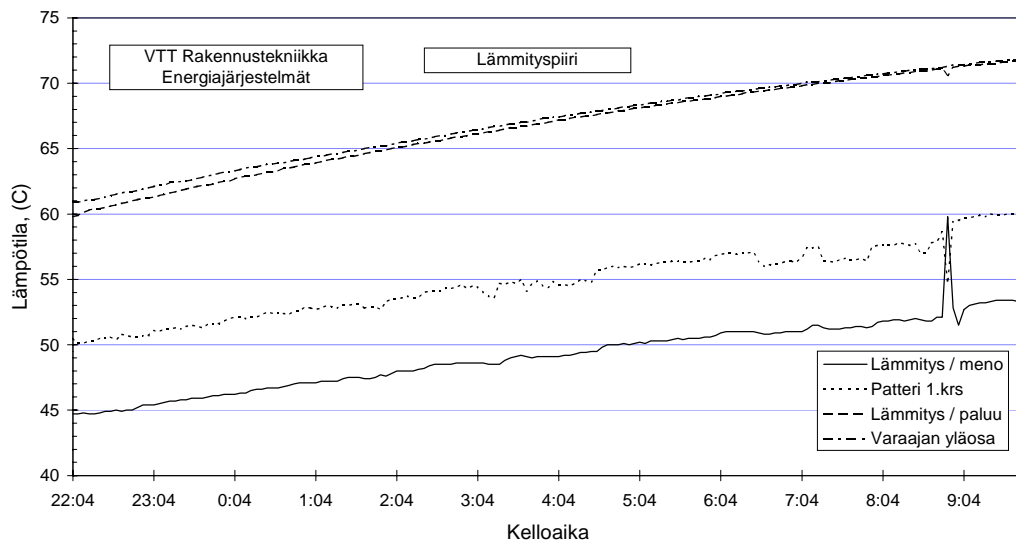
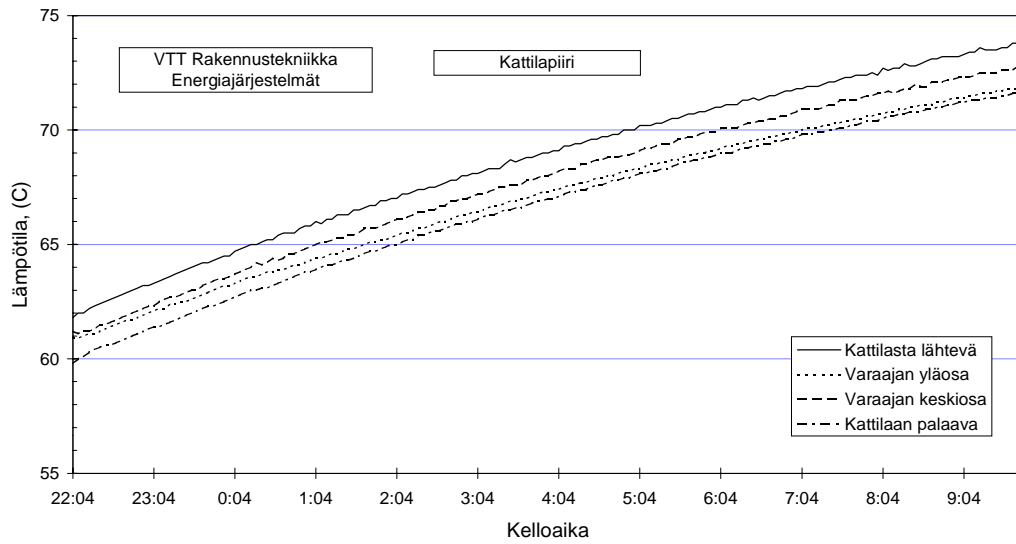
Kuva 10. Järjestelmän lämpötilat käyttöveden juoksutuksen aikana (mittaus 1.11.95, LKV = 0,299 L/s).



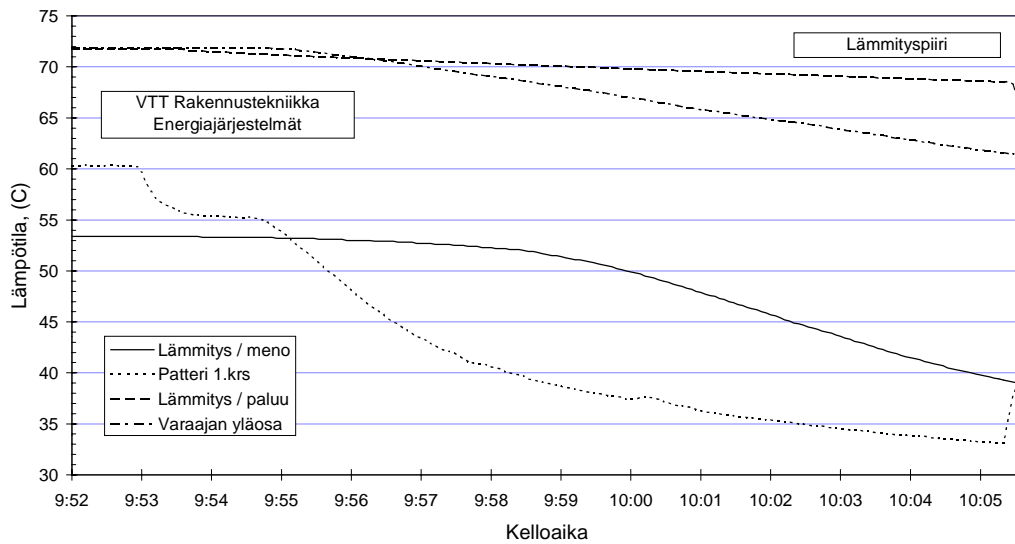
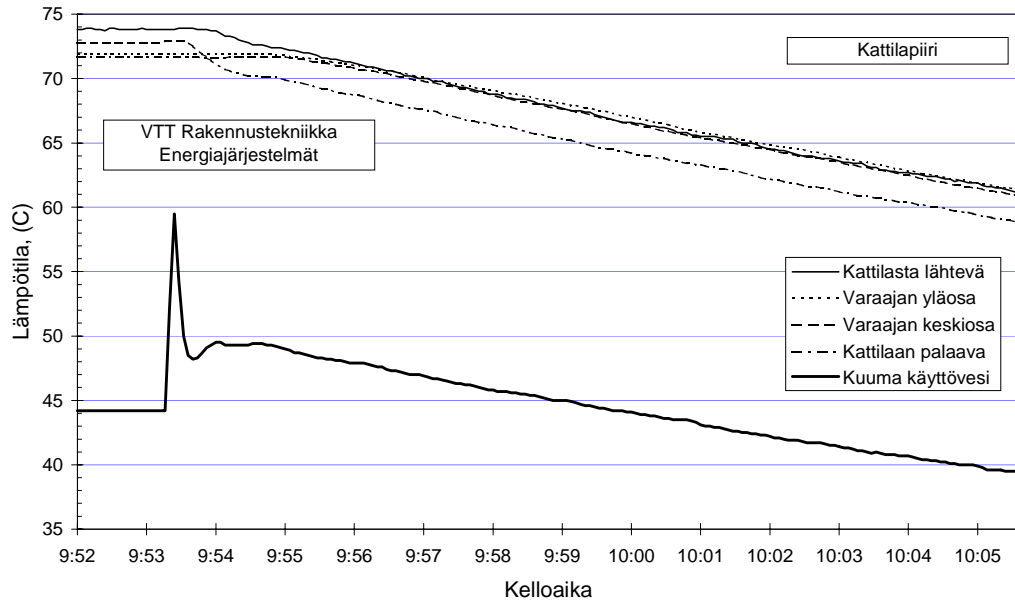
Kuva 11. Järjestelmän lämpötilat välilatausjakson aikana (mittaus 1.11.95).



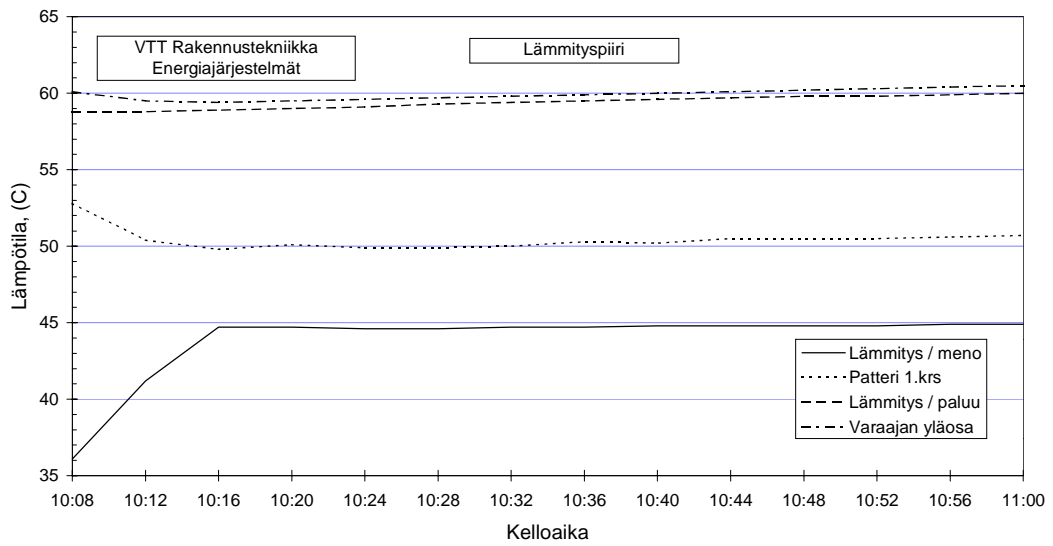
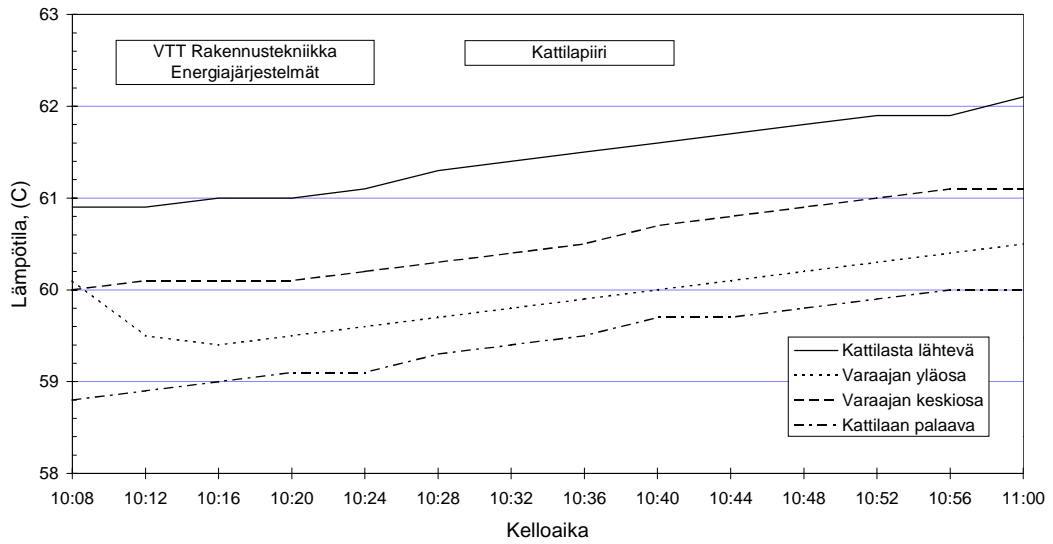
Kuva 12. Järjestelmän lämpötilat käyttöveden toisen juoksutuksen aikana (mittaus 1.11.95, LKV = 0,298 L/s).



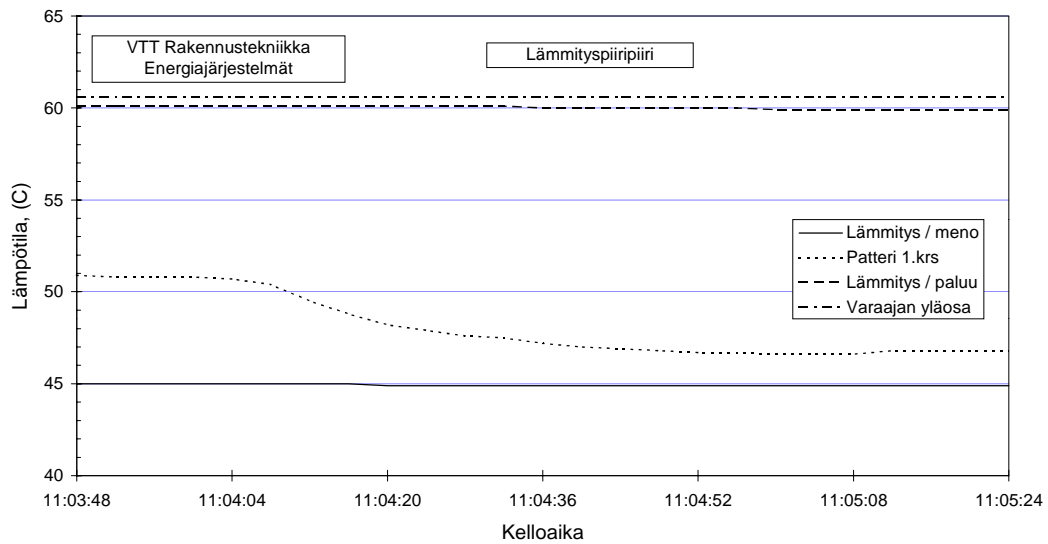
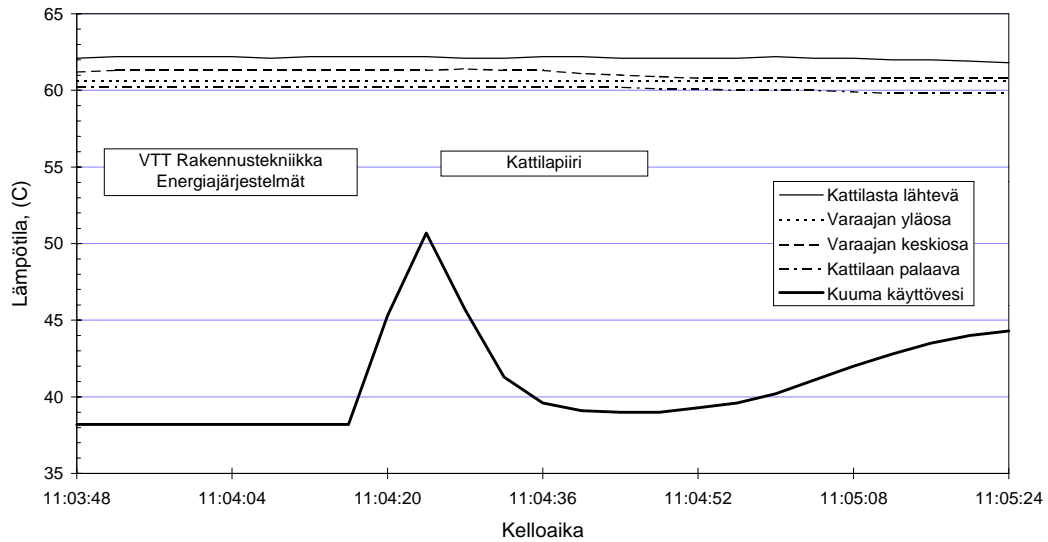
Kuva 13. Järjestelmän lämpötilat latausjakson aikana (mittaus 1. - 2.11.95).



Kuva 14. Järjestelmän lämpötilat käyttöveden juoksutuksen aikana (mittaus 2.11.95, LKV = 0,305 L/s).

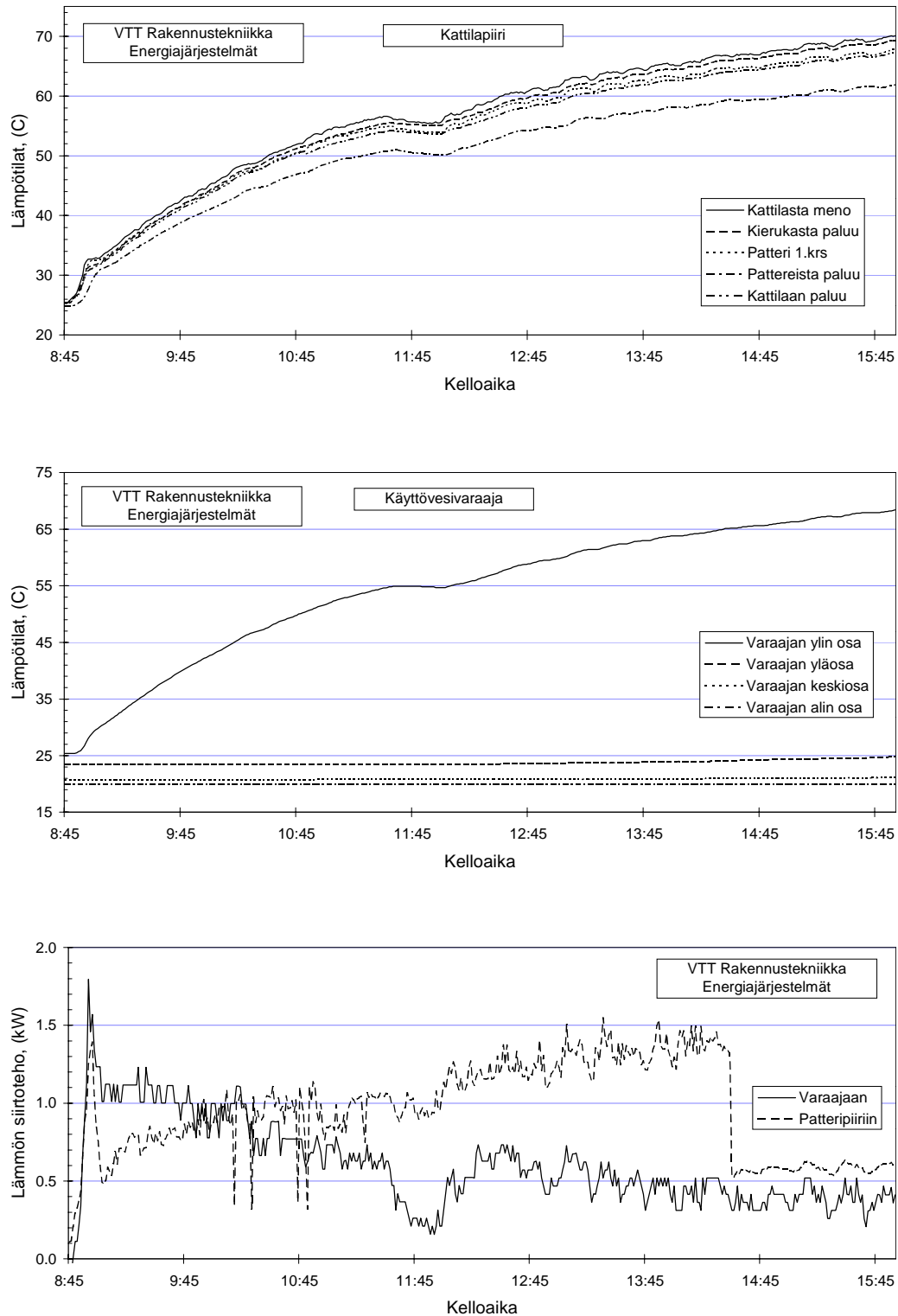


Kuva 15. Järjestelmän lämpötilat välilatausjakson aikana (mittaus 2.11.95).

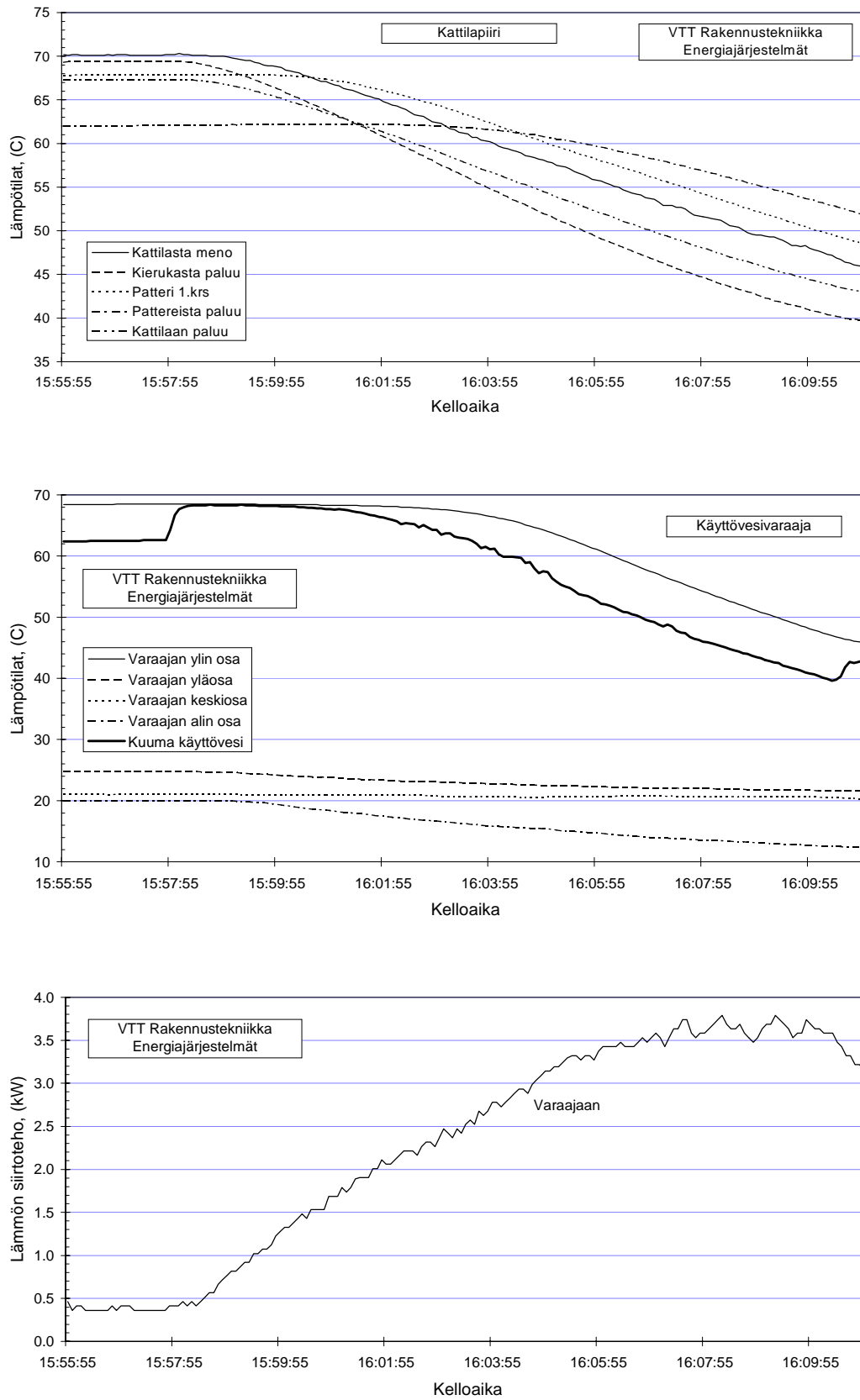


Kuva 16. Järjestelmän lämpötilat käyttöveden toisen juoksutuksen aikana (mittaus 2.11.95, LKV = 0,300 L/s).

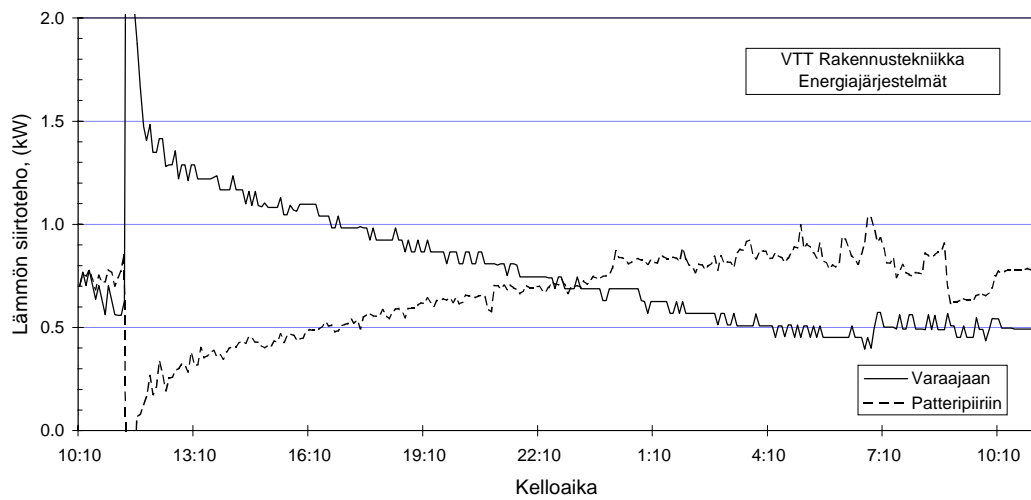
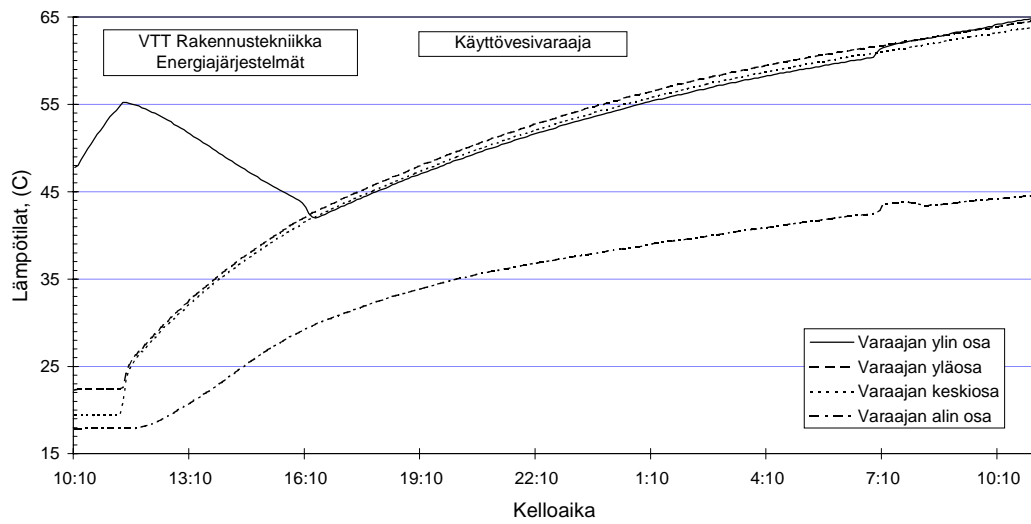
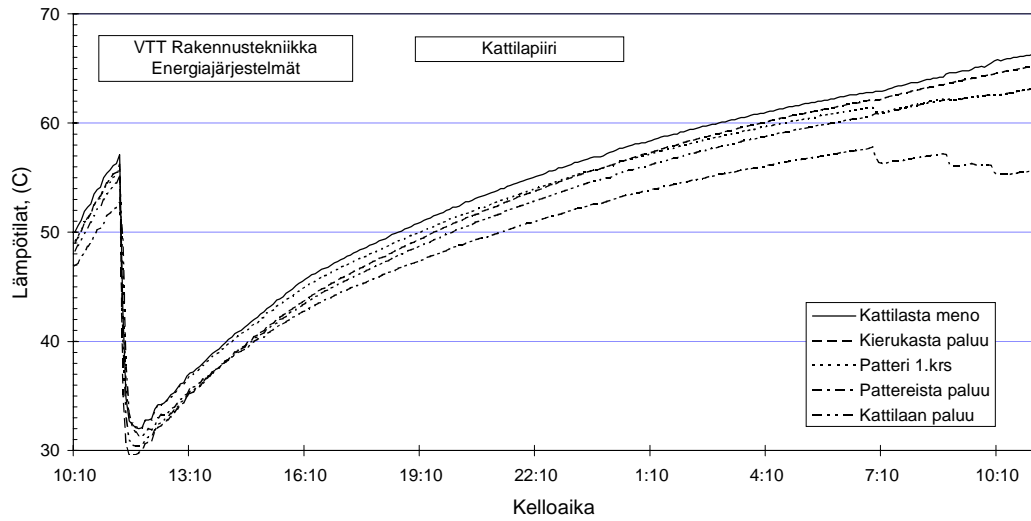
LIITE 5

JÄRJESTELMÄKOKEET KÄYTTÖVESI-
VARAAJALLA - TULOKSET

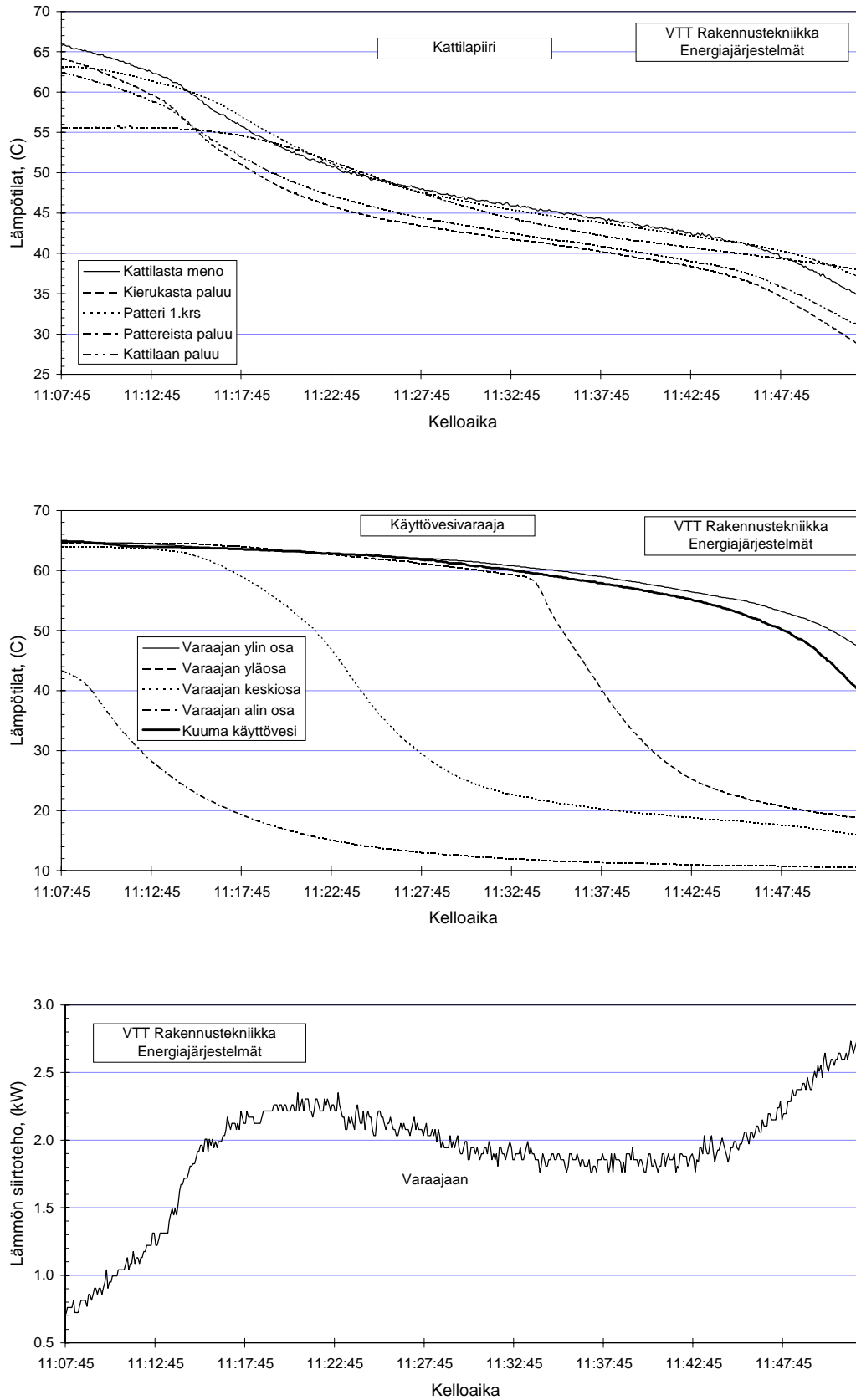
Kuva 1. Järjestelmän lämpötilat ja lämpötehot latausjakson aikana (mittaus 14.5.96).



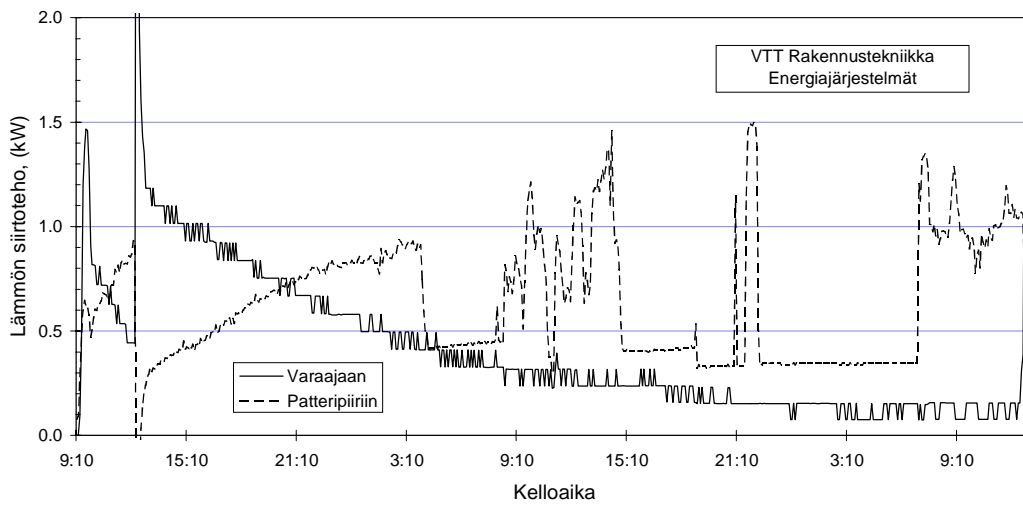
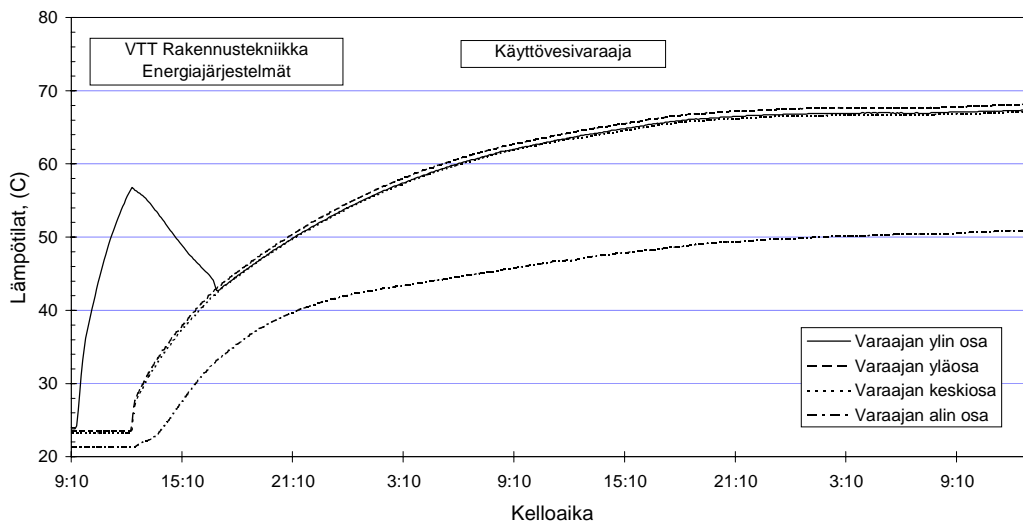
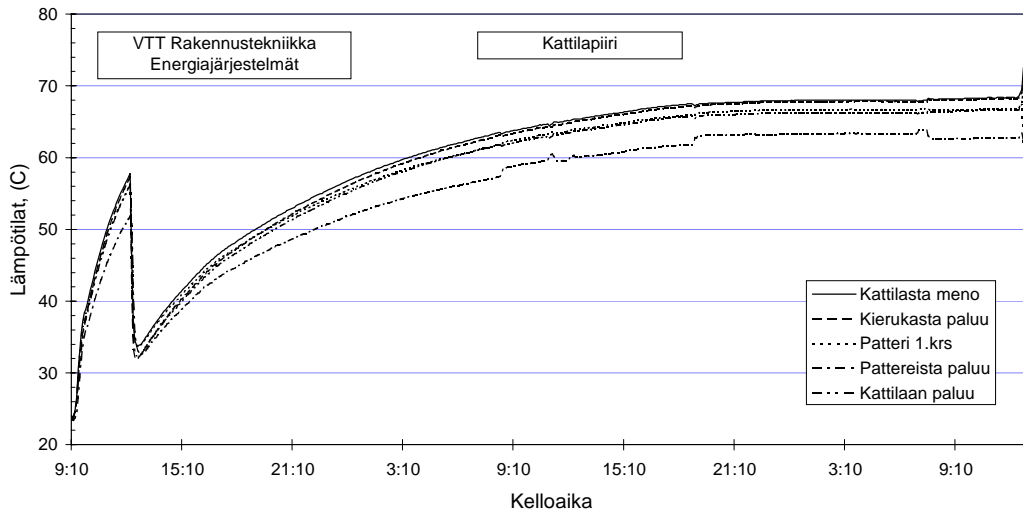
Kuva 2. Järjestelmän lämpötilat ja lämpötehot käyttöveden juoksutuksen aikana (mittaus 14.5.96, LKV = 0,150 L/s).



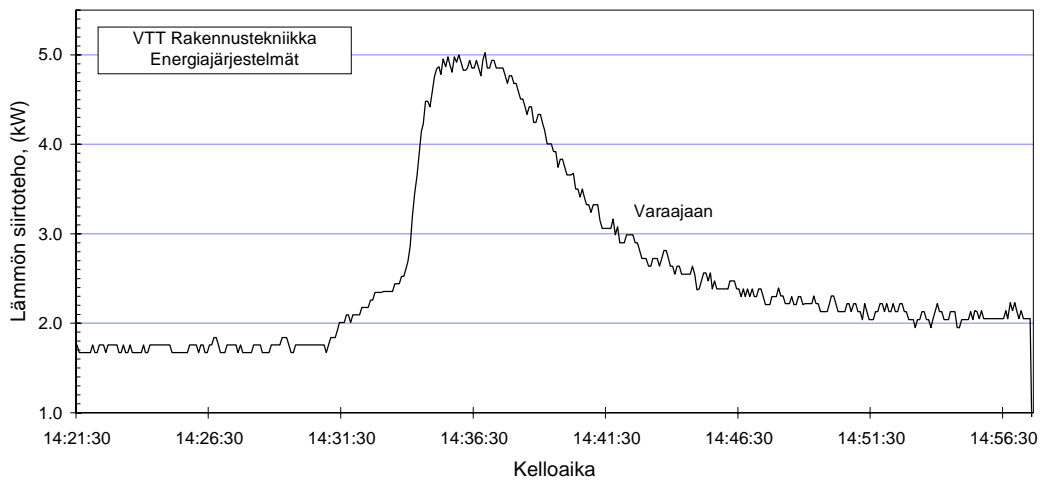
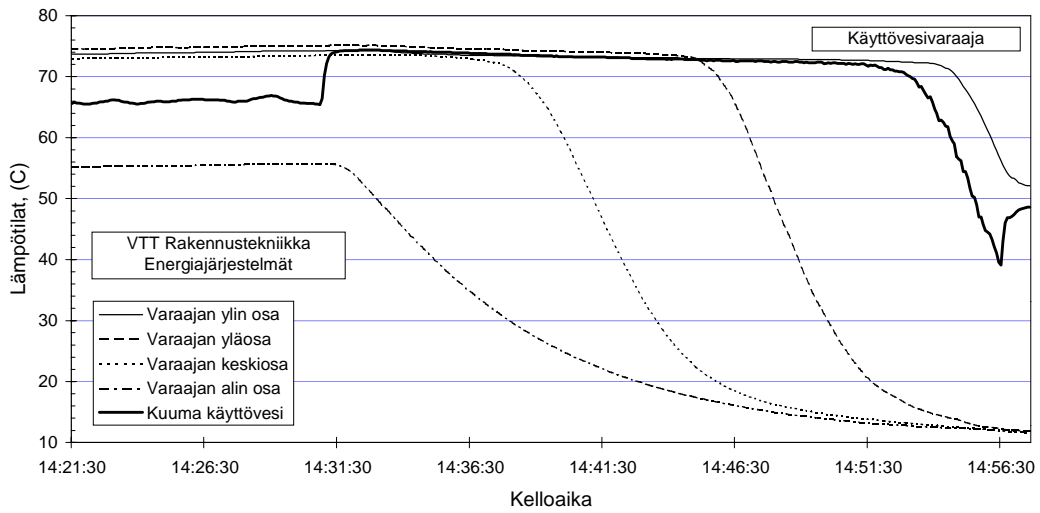
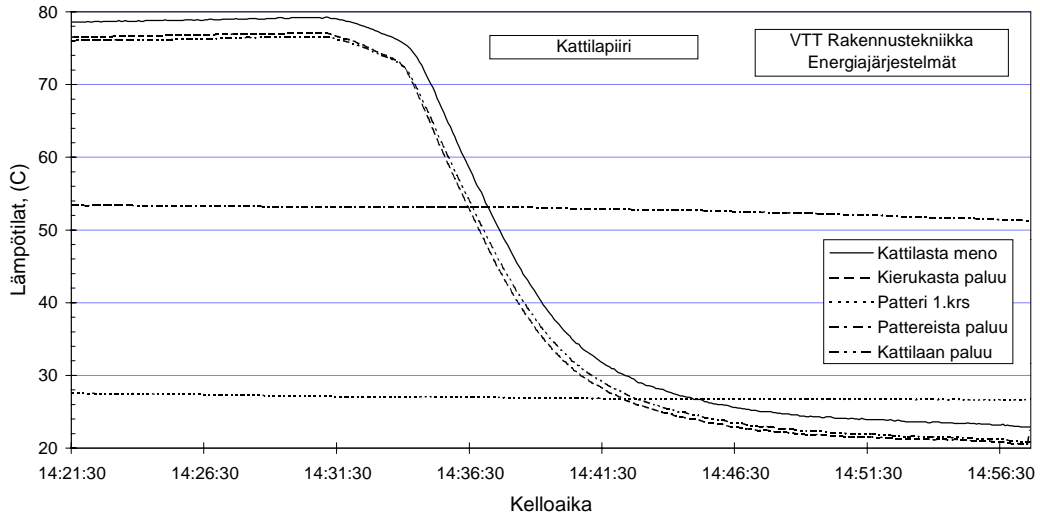
Kuva 3. Järjestelmän lämpötilat ja lämpötehot latausjakson aikana (mittaus 16. - 17.5.96).



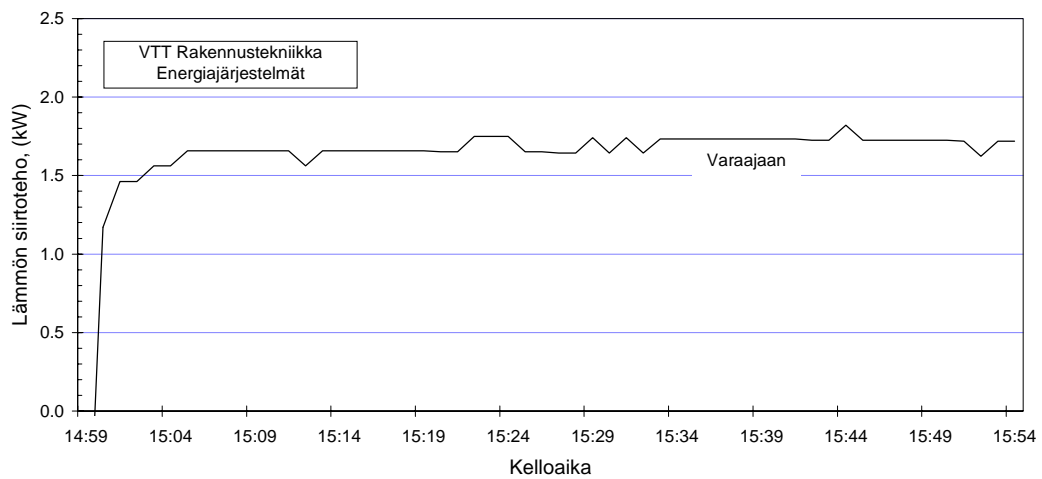
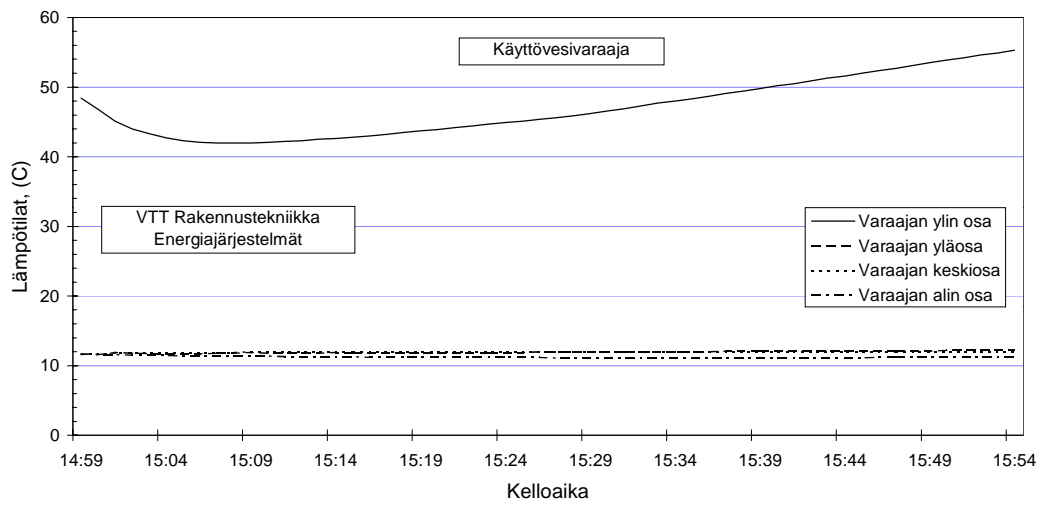
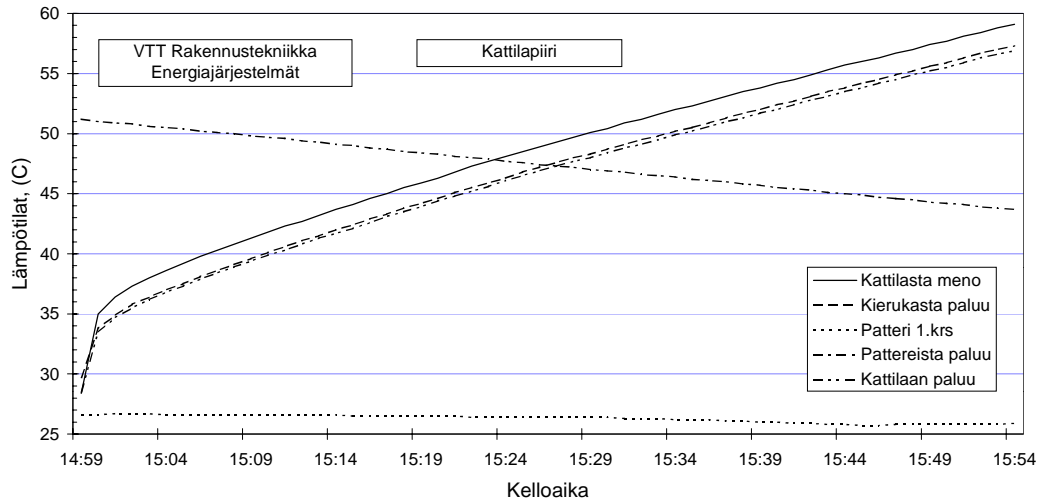
Kuva 4. Järjestelmän lämpötilat ja lämpötehot käyttöveden juoksutuksen aikana (mittaus 17.5.96, LKV = 0,167 L/s).



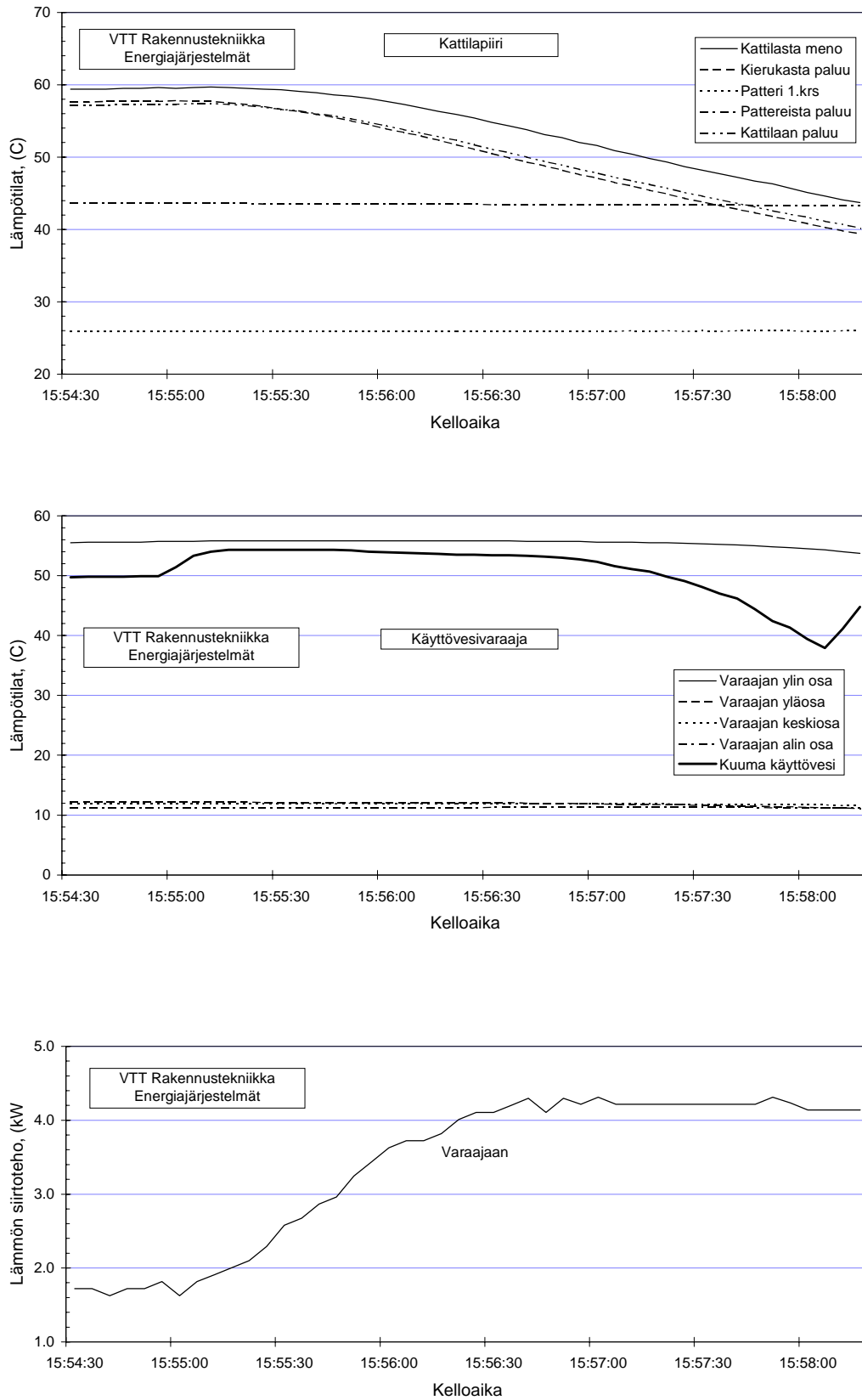
Kuva 5. Järjestelmän lämpötilat ja lämpötehot latausjakson aikana (mittaus 19. - 21.5.96).



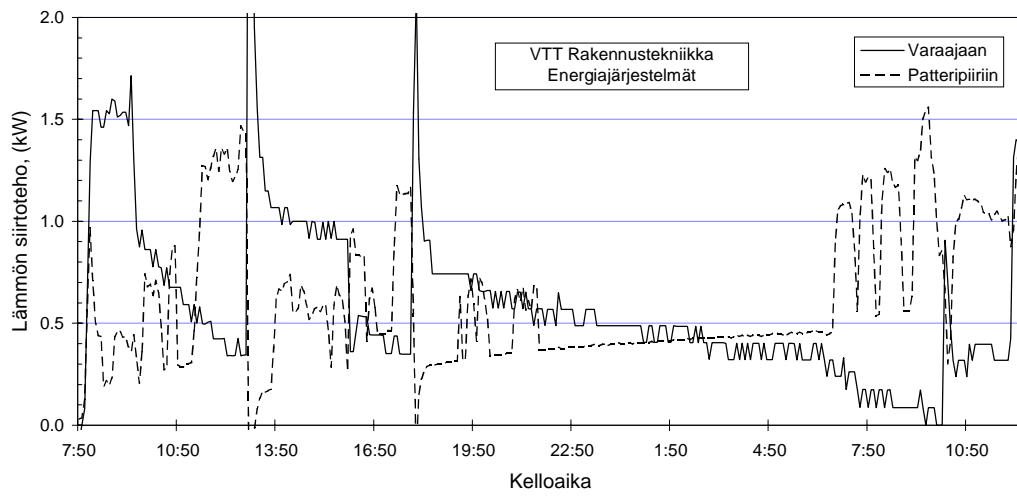
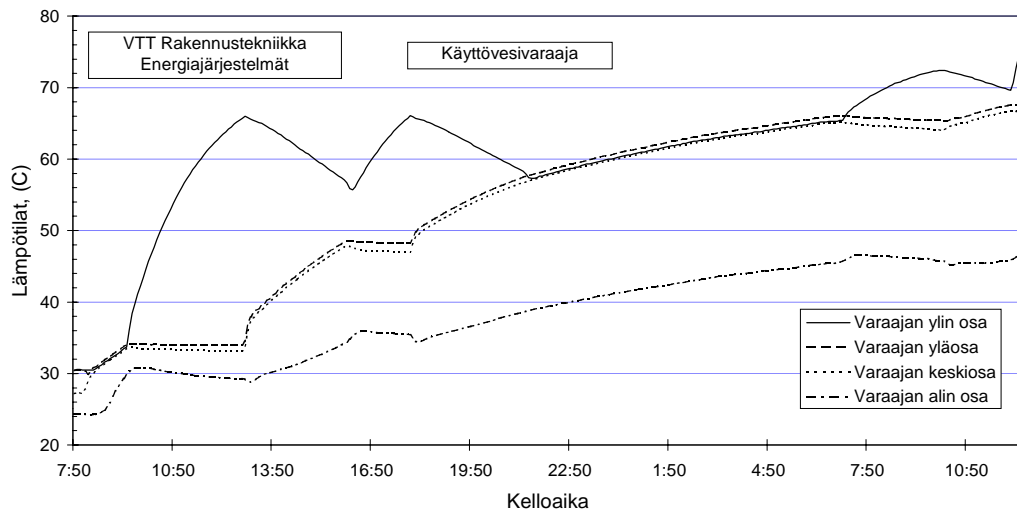
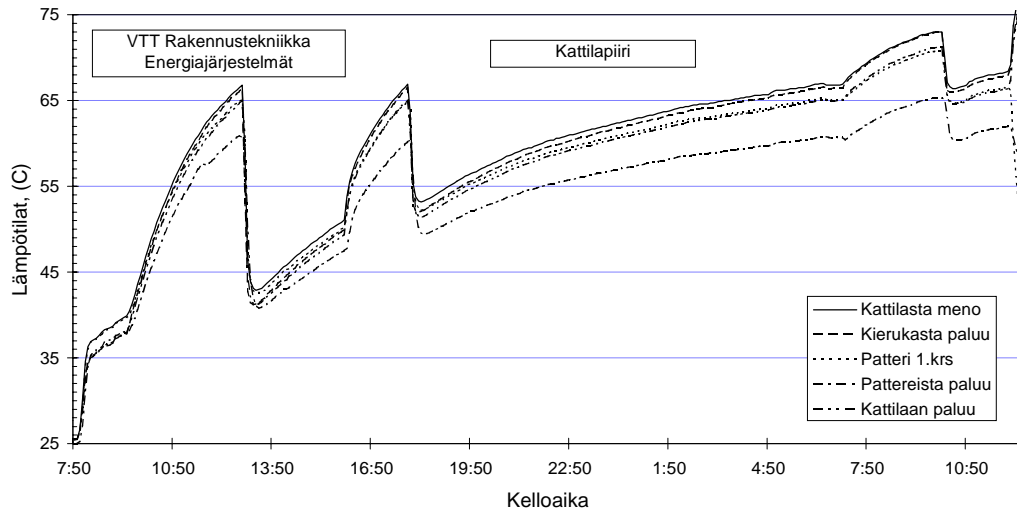
Kuva 6. Järjestelmän lämpötilat ja lämpötehot käyttöveden juoksutuksen aikana (mittaus 21.5.96, LKV = 0,303 L/s).



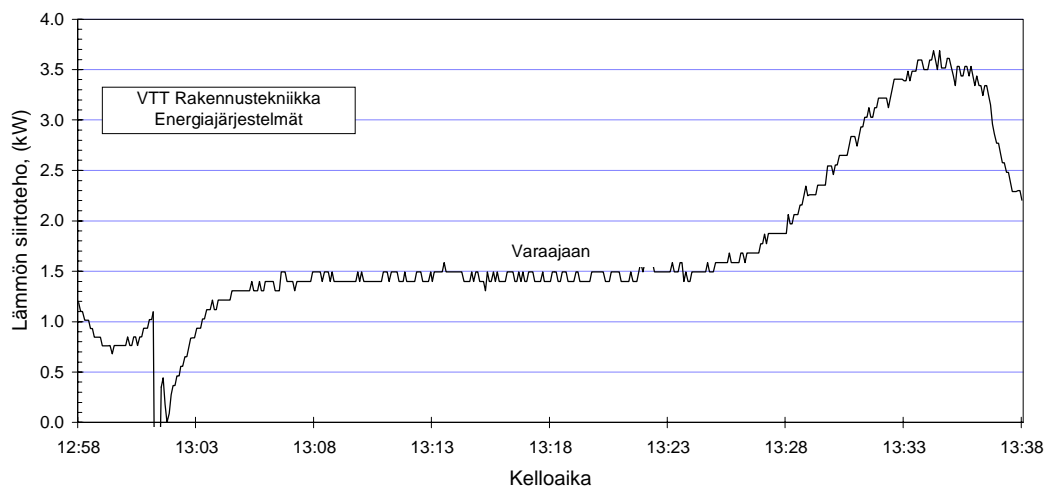
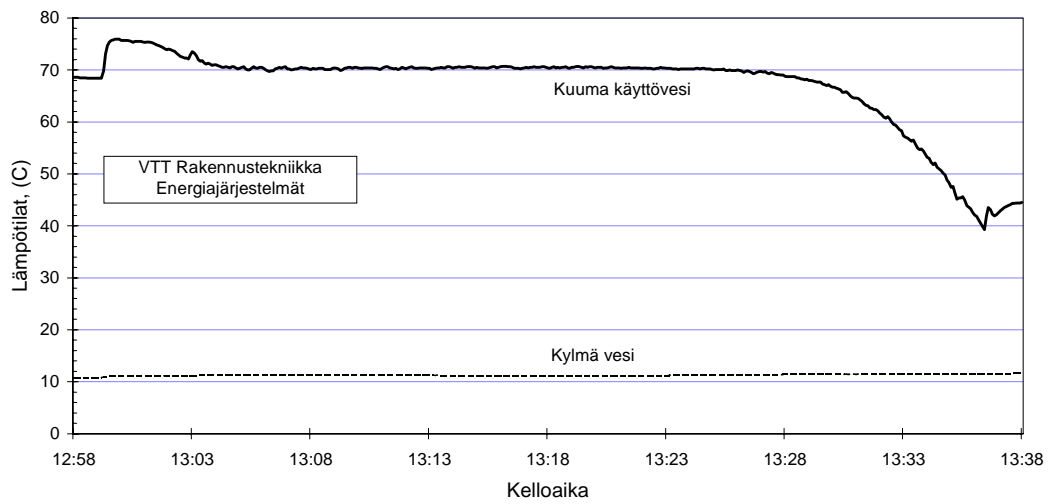
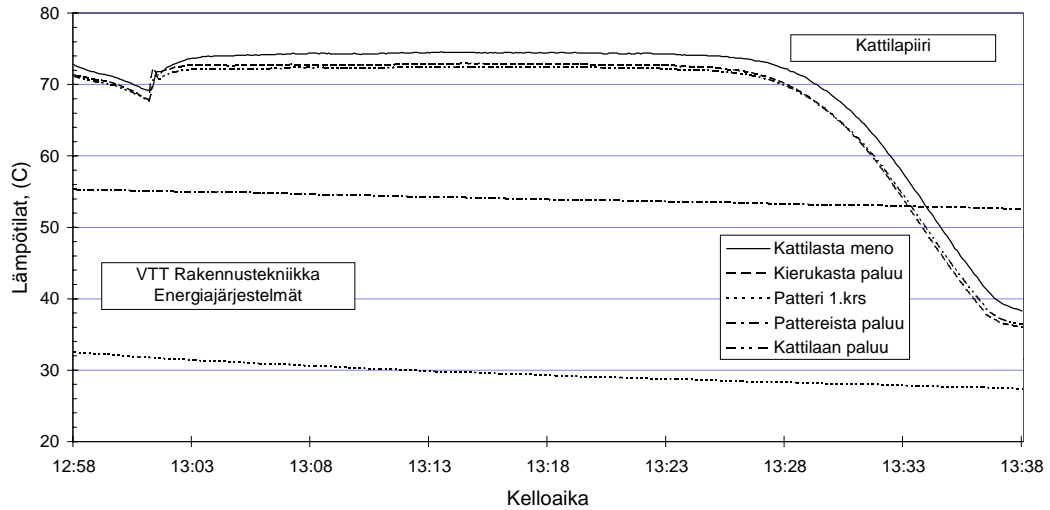
Kuva 7. Järjestelmän lämpötilat ja lämpötehot välilatausjakson aikana (mittaus 21.5.96).



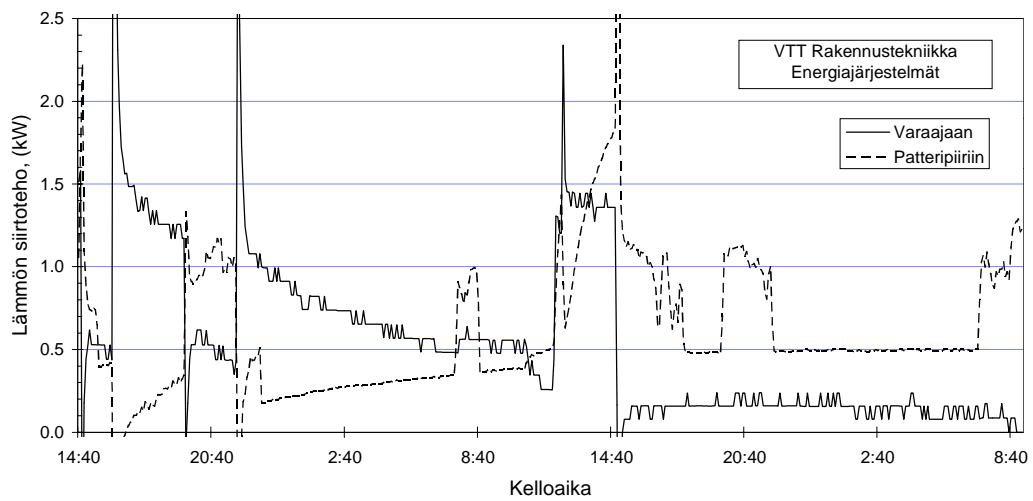
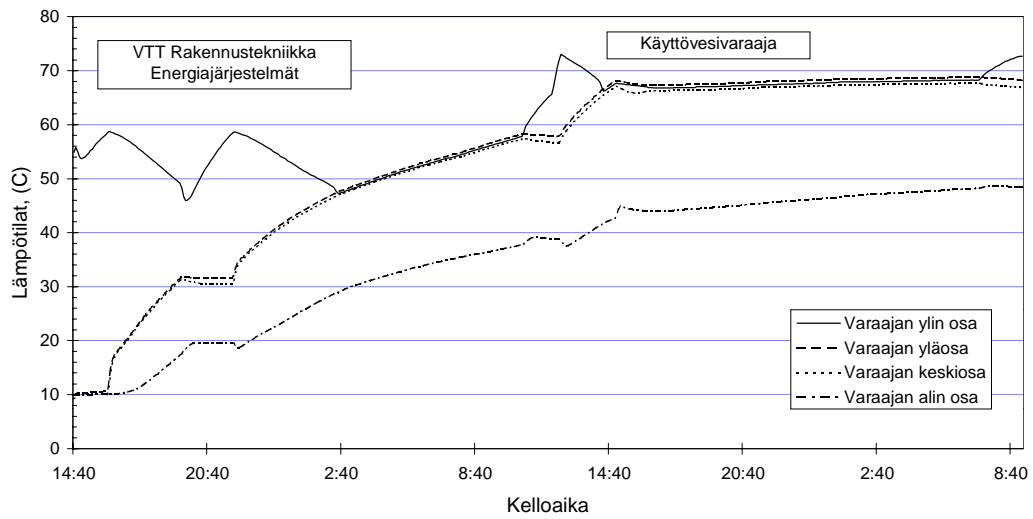
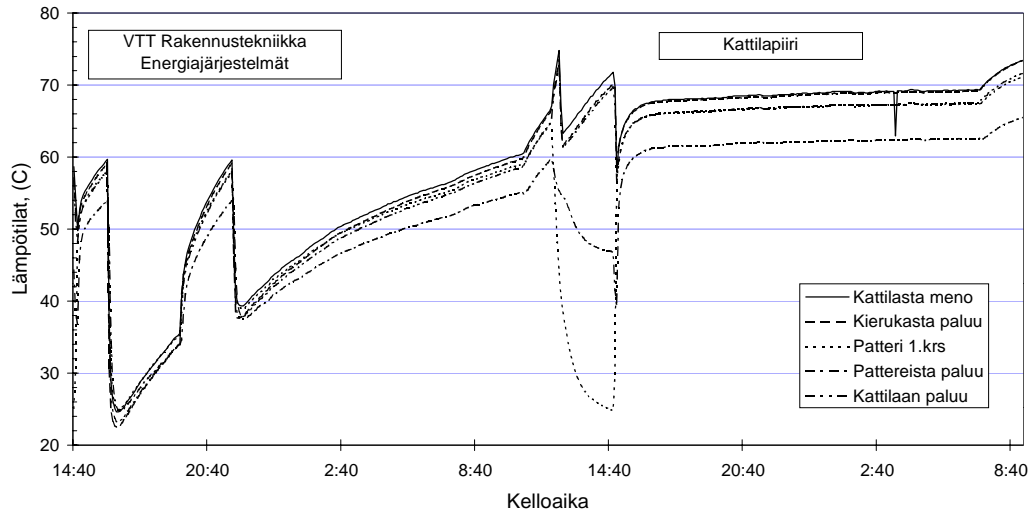
Kuva 8. Järjestelmän lämpötilat ja lämpötehot käyttöveden toisen juoksutuksen aikana (mittaus 21.5.96, LKV = 0,304 L/s).



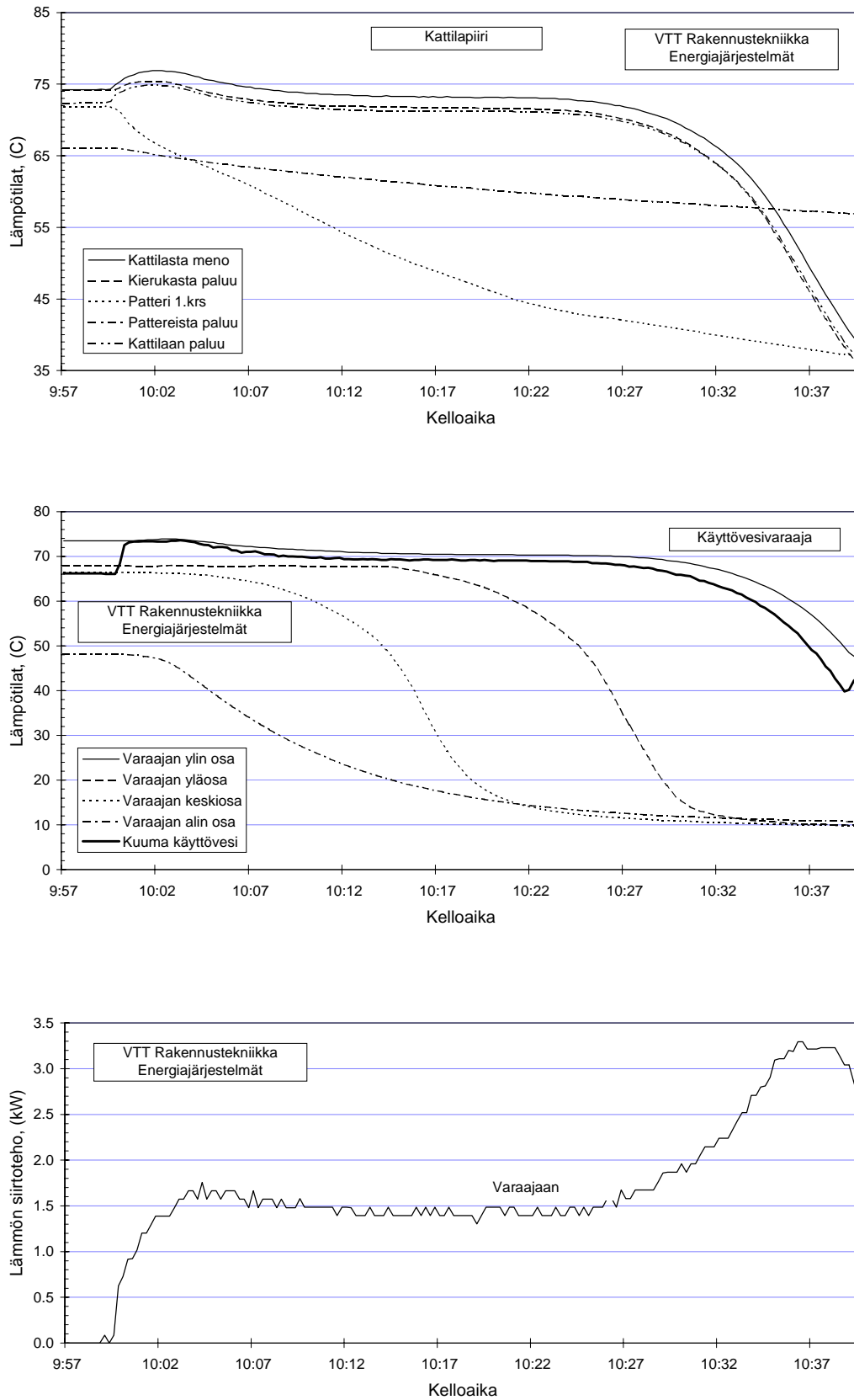
Kuva 9. Järjestelmän lämpötilat ja lämpötehot latausjakson aikana (mittaus 26. - 27.5.96).



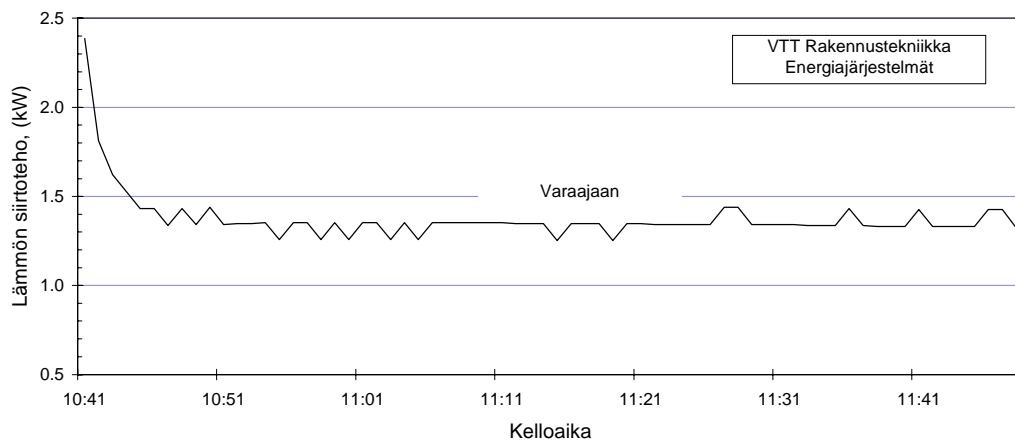
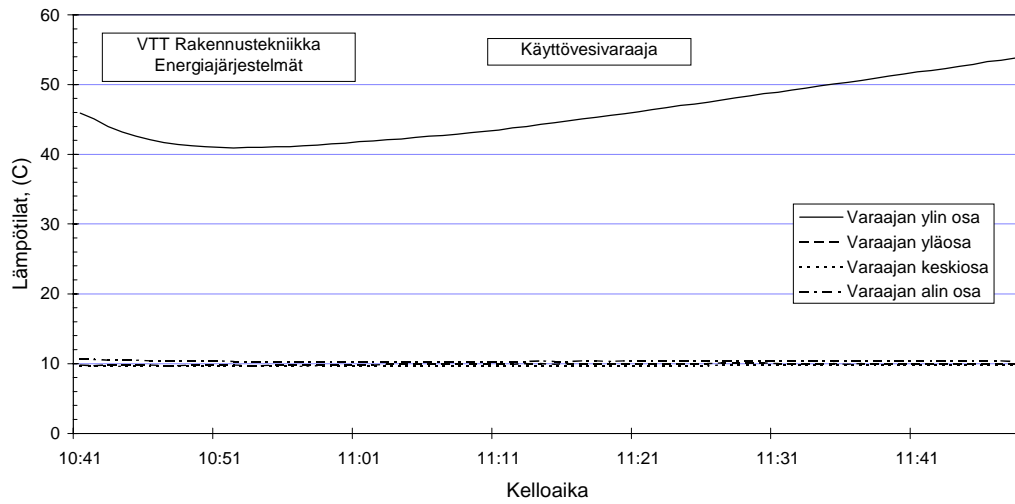
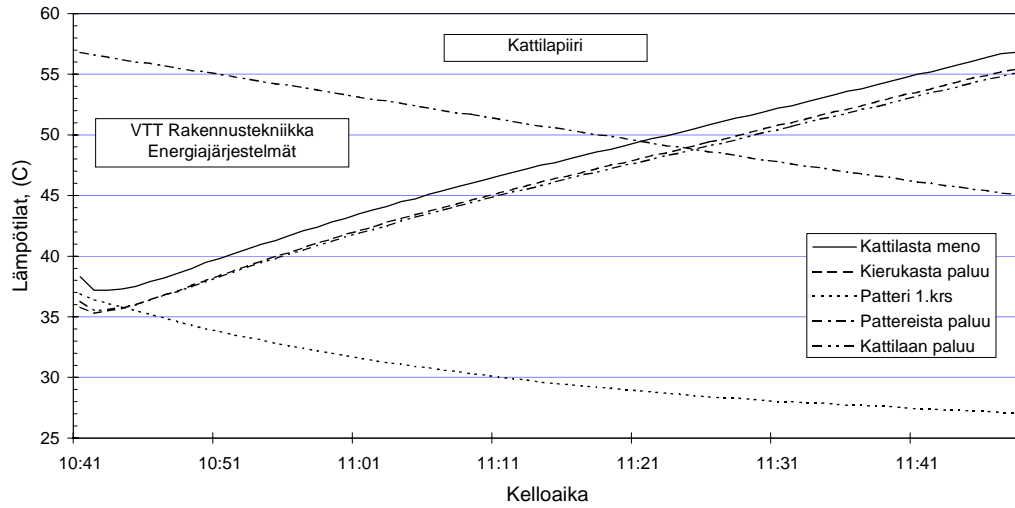
Kuva 10. Järjestelmän lämpötilat ja lämpötehot käyttöveden juoksutuksen aikana (mittaus 27.5.96, LKV = 0,203 L/s).



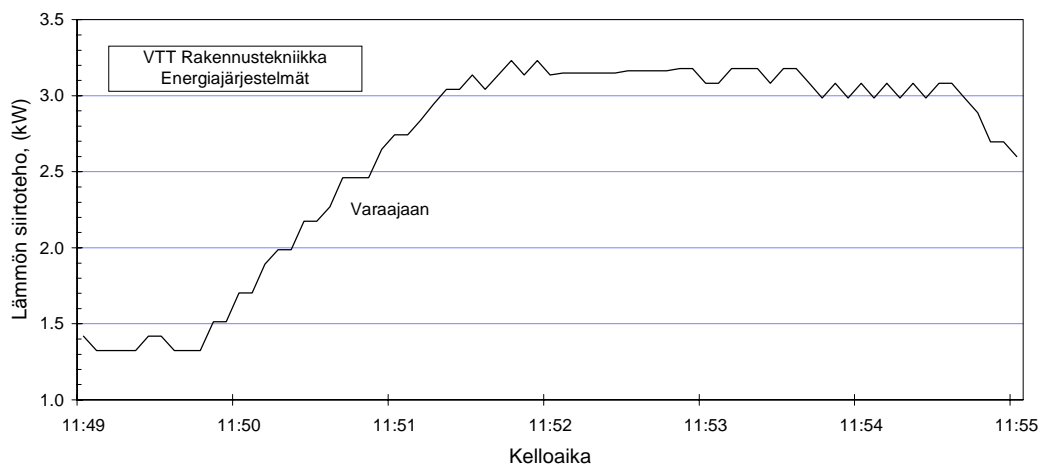
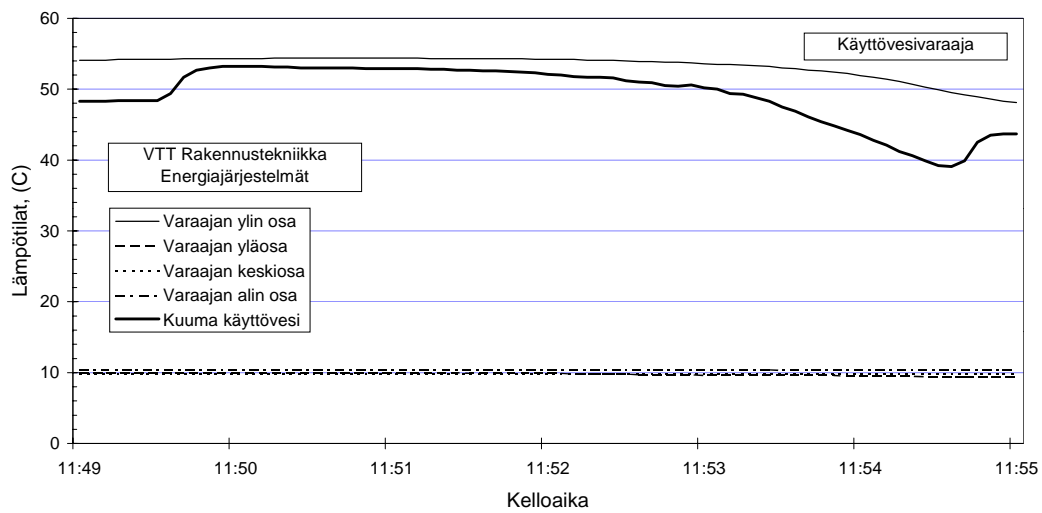
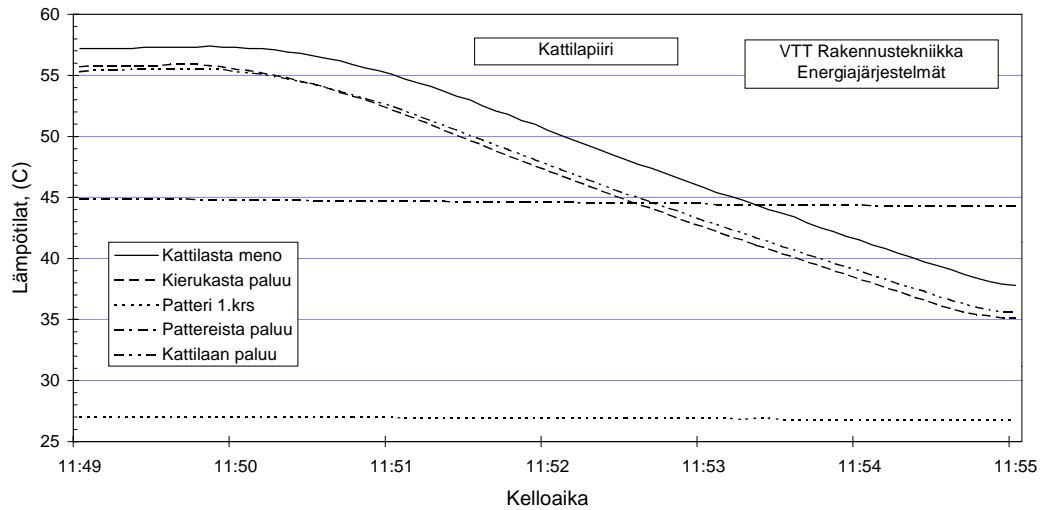
Kuva 11. Järjestelmän lämpötilat ja lämpötehot latausjakson aikana (mittaus 27. - 29.5.96).



Kuva 12. Järjestelmän lämpötilat ja lämpötehot käyttöveden juoksutuksen aikana (mittaus 29.5.96, LKV = 0,201 L/s).



Kuva 13. Järjestelmän lämpötilat ja lämpötehot välilatausjakson aikana (mittaus 29.5.96).



Kuva 14. Järjestelmän lämpötilat ja lämpötehot käyttöveden toisen juoksutuksen aikana (mittaus 29.5.96, LKV = 0,191 L/s).