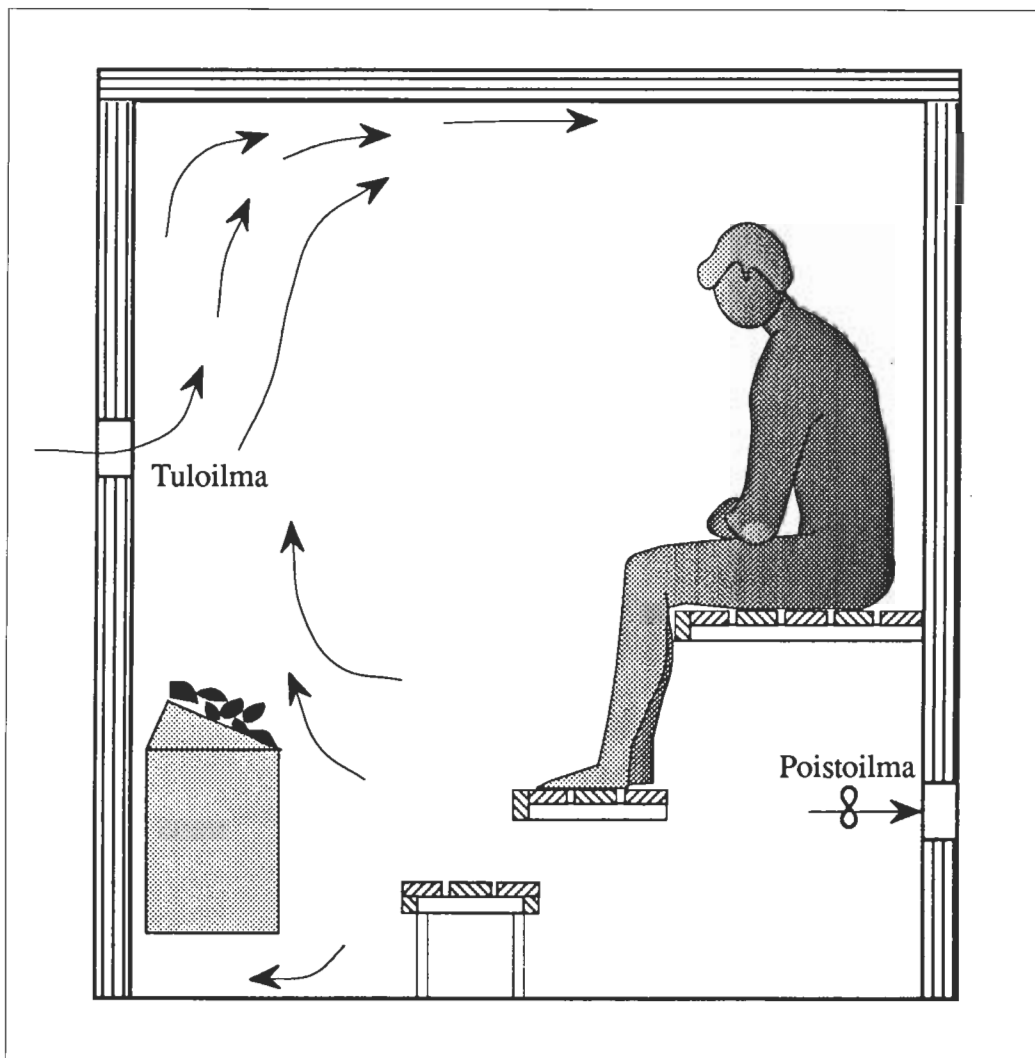


Erkki Äikäs & Rolf Holmberg

Saunan lämpötilat ja ilmanvaihto



Saunan lämpötilat ja ilmanvaihto

Erkki Äikäs & Rolf Holmberg

LVI-tekniikan laboratorio



ISBN 951-38-4325-4
ISSN 1235-0605
Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1992

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 42, 02151 ESPOO
puh. vaihde (90) 4561, telekopio 456 4374, teleksi 122972 vttha sf

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 42, 02151 ESBO
tel. växel (90) 4561, telefax 456 4374, telex 122972 vttha sf

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 42, SF-02151 ESPOO, Finland
phone internat. + 358 0 4561, telefax + 358 0 456 4374, telex 122972 vttha sf

VTT, LVI-tekniikan laboratorio, Lämpömiehenkuja 3, PL 206, 02151 ESPOO
puh. vaihde (90) 4561, telekopio (90) 455 2408

VTT, VVS-tekniska laboratoriet, Värmemansgränden 3, PB 206, 02151 ESBO
tel. växel (90) 4561, telefax (90) 455 2408

VTT, Laboratory of Heating and Ventilation, Lämpömiehenkuja 3, P.O.Box 206, SF-02151 ESPOO, Finland
phone internat. + 358 0 4561, telefax + 358 0 455 2408

Tekninen toimitus Maini Manninen

VTT OFFSETPAINO, ESPOO 1992

Äikäs, Erkki & Holmberg, Rolf. Saunan lämpötilat ja ilmanvaihto [Temperature and ventilation of the Finnish sauna]. Espoo 1992, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1431. 34 s.

UDK 725.73:643.52:697.9

Keywords saunas, ventilation, temperature measurement, temperature distribution, air circulation, air flow, air intake, baths, ducts, outlets, vents, humidity, heating, HVAC

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin ilmanvaihtoaukkojen sijoituksen vaikutusta saunan lämpötilajakaumaan ja ilmanvaihdon toimivuuteen. Kosteuden jakautumista saunassa löylynheiton yhteydessä selvitettiin myös. Kokeissa käytettiin koneellista poistoilmanvaihtoa.

Tasainen pystysuuntainen lämpötilajakauma saunassa edellyttää saunailman hyvää sekoittumista. Käytännössä saunailman lämpötilaa kylmempi tuloilma pyrkii aina "valumaan" alaspäin. Saunassa saunomistilanteessa normaalilämpöinen huoneilma on jo "kylmää ilmaa", joka valuu alas saunan lattialle, ellei sitä saada sekoittumaan saunan sisällä kiertävään ilmassaan. Talvipakkasilla ilmiö on vielä voimakkaampi, mikäli tuloilmaa ei ole esilämmitetty. Jotta saunan alaosaan ei muodostuisi kylmää ilmavyöhykettä, on tuloilma johdettava kiukaan yläpuolelle, josta se sekoittuu saunan kiertoilmaan. Tällöin myös löylynheiton vaikutukset ulottuvat saunan alaosaan. Saunan yläosan ilman sekoittumista saunan alaosaan ilmaan edistää poistoilma-aukon sijoittaminen saunan alaosaan. Lattian lämmöneristys parantaa saunan alaosaan lämpenemistä.

Äikäs, Erkki & Holmberg, Rolf. Saunan lämpötilat ja ilmanvaihto [Temperature and ventilation of the Finnish sauna]. Espoo 1992, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1431. 34 p.

UDC 725.73:643.52:697.9

Keywords saunas, ventilation, temperature measurement, temperature distribution, air circulation, air flow, air intake, baths, ducts, outlets, vents, humidity, heating, HVAC

ABSTRACT

Measurements were taken in a sauna in order to study how the positions of the air inlets and outlets affect the temperature distribution and the functioning of the ventilation. The distribution of humidity when throwing water on the stove in a sauna was also measured. The sauna was equipped with mechanical exhaust air ventilation.

A good mixing of the air in the sauna is a prerequisite for an even vertical temperature distribution. In practice, air which is colder than the sauna air tends to flow downwards. In a bathing situation, air of normal room temperature is cold and flows down towards the sauna floor unless it is forced to mix with the air circulating in the sauna. During cold winter days the phenomenon is even more prevalent unless the inlet air is heated. In order to prevent the formation of a cold air zone in the lower part of the sauna, the inlet air must be supplied above the stove, where it is mixed with circulating sauna air. In this way, the effect of steam from water thrown on the stove also reaches the lower part of the sauna. The mixing of air from the upper part of the sauna with air from the lower part is further increased by placing the air outlet in the lower part of the sauna. Insulating the floor also increases the warming of the lower part of the sauna.

ALKUSANAT

Saunan lämpötiloja ja ilmanvaihtoa koskeva tutkimus tehtiin Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen LVI-tekniikan laboratoriossa allekirjoittaneen ohjauksella. Tutkimus liittyy suurempaan kokonaisuuteen, jolla on tarkoitus selvittää saunojen rakennus- ja lämpöfysikaaliseen toimivuuteen vaikuttavia tekijöitä.

Laboratoriomittaukset ja tulosten raportoinnin esillä olevassa tutkimuksessa ovat suorittaneet tutkija Rolf Holmberg ja laboratoriomestari Risto Pitkänen. Tutkimusta ovat taloudellisesti tukeneet Harvia Oy, Honkarakenne Oy, Oy Saunatec Ltd, Suomalaisen Saunan Tutkimussäätiö sekä UPO Oy.

Kaikille edellä mainituille lausun parhaat kiitokset.

Espoo, lokakuu 1992

Erkki Äikäs

SISÄLLYSLUETTELO

| | Sivu |
|--|------|
| TIIVISTELMÄ | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| ALKUSANAT | 5 |
| 1 JOHDANTO | 7 |
| 2 KOESAUNA | 8 |
| 2.1 Rakenne | 8 |
| 2.2 Kiuas | 10 |
| 2.3 Ilmanvaihto | 10 |
| 2.4 Lämpötilojen mittaus | 10 |
| 2.5 Kosteuden mittaus | 10 |
| 2.6 Löylynheitto | 12 |
| 2.7 Koeolosuhteet | 13 |
| 2.8 Kokeiden suoritustapa | 13 |
| 3 ILMAN LIIKKEET | 17 |
| 3.1 Yleistä | 17 |
| 3.2 Tuloilma-aukko lähellä lattiaa | 19 |
| 3.3 Tuloilma-aukko kiukaan takana | 19 |
| 3.4 Tuloilma-aukko aivan kiukaan yläpuolella | 19 |
| 3.5 Tuloilma-aukko kiukaan ja katon keskivälillä | 19 |
| 4 LÄMPÖTILAJAKAUMAT | 20 |
| 4.1 Yleistä | 20 |
| 4.2 Saunassa betonilattia | 20 |
| 4.3 Saunassa lämpöeristetty lattia | 23 |
| 4.4 Suurennettu ilmanvaihto | 25 |
| 5 LÖYLYKOKKEET | 26 |
| 5.1 Yleistä | 26 |
| 5.2 Löylykokeiden tulokset | 27 |
| 6 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ | 31 |
| LÄHDELUETTELO | 34 |

1 JOHDANTO

Saunojen, mm. savusaunojen, rakentamistapa Suomessa on ollut hyvin perinteistä ja on sitä edelleenkin. Nykyisten rakentamistapojen ja materiaalien tullessa käyttöön on ryhdytty kiinnittämään entistä enemmän huomiota saunan rakennus- ja lämpöfysikaaliseen toimivuuteen, kuten rakenteiden kestävyys, saunailman lämpötiloihin ja kosteuteen, lämmönsäteilyyteen, ilmanvaihtoon jne.

Saunan ilmanvaihdon ja asianmukaisen lämpötilan tarkoituksena on ylläpitää terveellistä ja miellyttävää sisäilmaa saunassa sekä pitää saunatilat kuivina ja estää rakenteiden pilaantuminen. Entisajan hirsirakenteisissa saunoissa ilmanvaihto toteutui luonnollisella tavalla harvojen hirsiseinien takia. Saunassa oli tällöin yleensä aina riittävä ilmanvaihto ja raitisilma jakaantui tasaisesti koko saunatilaan. Nykyiset tiiviit rakenteet ovat tuoneet ilmanvaihtoon omat ongelmansa. Saunojen tilavuus on myös melkoisesti pienentynyt, mikä vaikeuttaa lisää ilmanvaihdon järjestelyä. Ilmanvaihdolta vaaditaan lisäksi toimivuutta hyvin erilaisissa käyttötilanteissa sekä saunan sisälämpötilan että ulkoilman sään suhteen.

Nykyisten ympäristöministeriön määräysten mukaan saunan ilmanvaihdon tulisi olla vähintään $2 \text{ dm}^3/\text{s}$ ($7,2 \text{ m}^3/\text{h}$) neliometriä kohden, kuitenkin vähintään $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ ($21,6 \text{ m}^3/\text{h}$). Tämä merkitsee n. 3 - 8 -kertaista ilman vaihtuvuutta tunnissa.

Saunan ilmanvaihtoaukot on perinteisesti sijoitettu siten, että tuloilma-aukko on lattian rajassa ja ilman poisto tapahtuu katon rajasta. Käytettäessä painovoimaista ilmanvaihtoa esim. kesäsaunoissa tämä ratkaisu onkin toiminnallisesti luotettavin. Usein tästä on ollut kuitenkin haittana se, että ulkoilman lämpötilan ollessa alhainen saunan lattia- ja jalkalaudealueet pysyvät viileinä.

Tässä tutkimuksessa on selvitetty tulo- ja poistoilma-aukkojen vaihtoehtoisten sijoitusten vaikutusta saunan ilmanvaihdon toimivuuteen ja ilman virtauksiin sekä lämpötilajakaumiin. Saunailman kosteuden vaihteluja löylynheiton yhteydessä on myös tutkittu käytettäessä eri ilmanvaihtoratkaisuja.

2 KOESAUNA

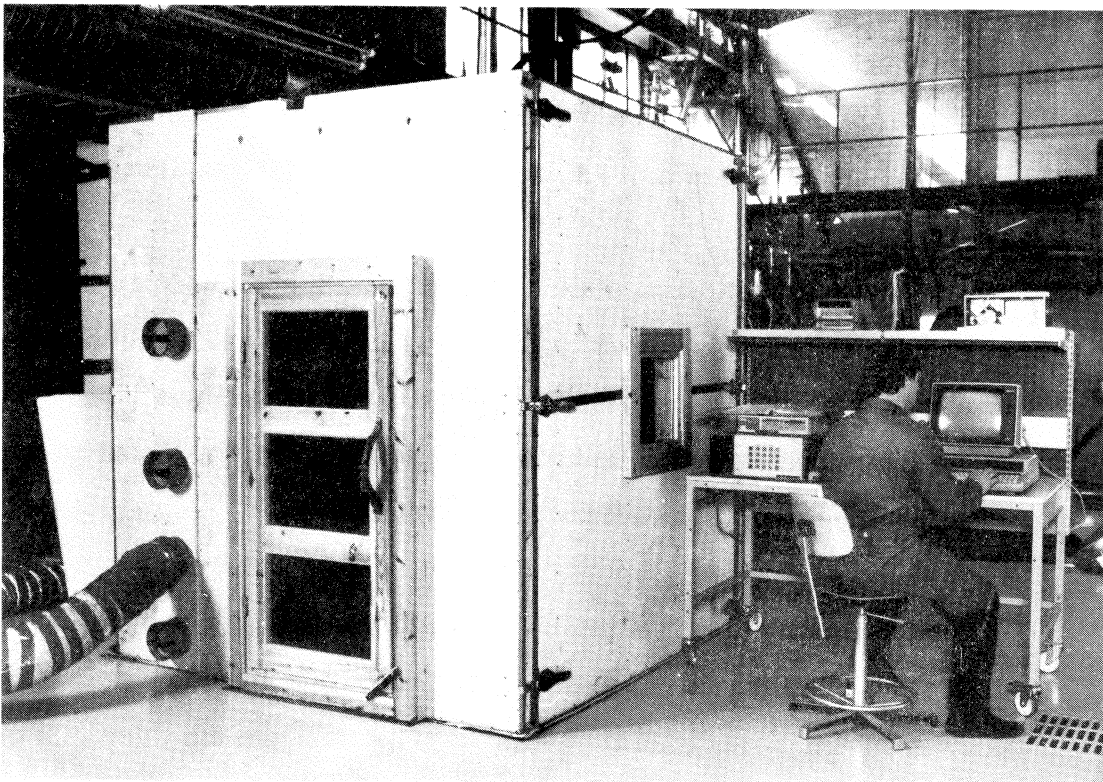
2.1 Rakenne

Koesauna oli elementtirakenteiden (kuvat 1 ja 2) ja se pystytettiin koehalliin, jonka betonilattia toimi saunan lattiana.

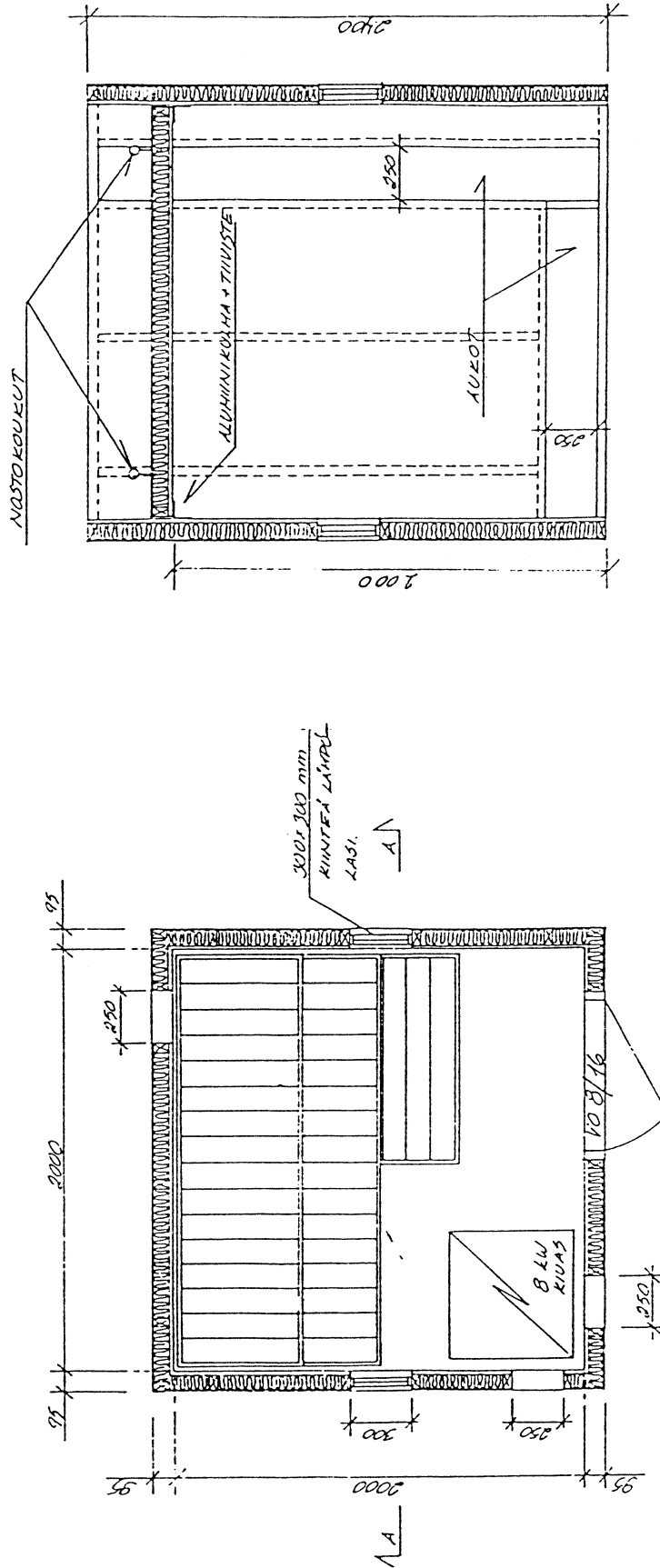
Seinissä oleviin aukkoihin asennettiin erilliset elementit, joihin ilmanvaihtoaukot oli sijoitettu.

Saunasta pyrittiin tekemään mahdollisimman tiivis. Tätä varten ovi varustettiin omilla tiivisteillä ja lukkosalvoilla. Saunan vuotoilmavirrasta johtuva ilmanvaihtokerroin oli koepaineella 5 Pa 0,08 1/h ja koepaineella 10 Pa 0,5 1/h.

Saunan katto oli liikuteltava, jolloin saunan sisäkorkeutta voitiin muuttaa. Tämän tutkimuksen kokeiden aikana saunan sisämitat olivat kiinteät 2 x 2 x 2 m ja tilavuus siis 8 m³.



Kuva 1. Koesauna sekä lämpötilojen tietokonepohjaiset keruu- ja käsittelylaitteet.



Kuva 2. Koesaunan rakenne. Seinien ja katon rakenne sisältäpäin lukien oli:

- 19 mm:n kimpilevy
- Al-paperi
- 75 mm:n mineraalivilla, tiheys 40 - 50 kg/m³
- 4 mm:n vaneri.

2.2 Kiuas

Kokeissa käytetyn kiukaan tyyppi oli HELO SKSM 80D, jonka teho oli 8 kW ja kivien massa 25 kg. Kiuas oli asennettu valmistajan ohjeiden mukaisesti. Lämpötilansäätimenä käytettiin kuitenkin laboratoriolaitetta, jonka tuntoelin oli sijoitettu kuvan 3 mittauspisteeseen 7.

2.3 Ilmanvaihto

Saunassa oli koneellinen poistoilmanvaihto. Poistoilman massavirta mitattiin mittalaipalla poistoilmakanavasta.

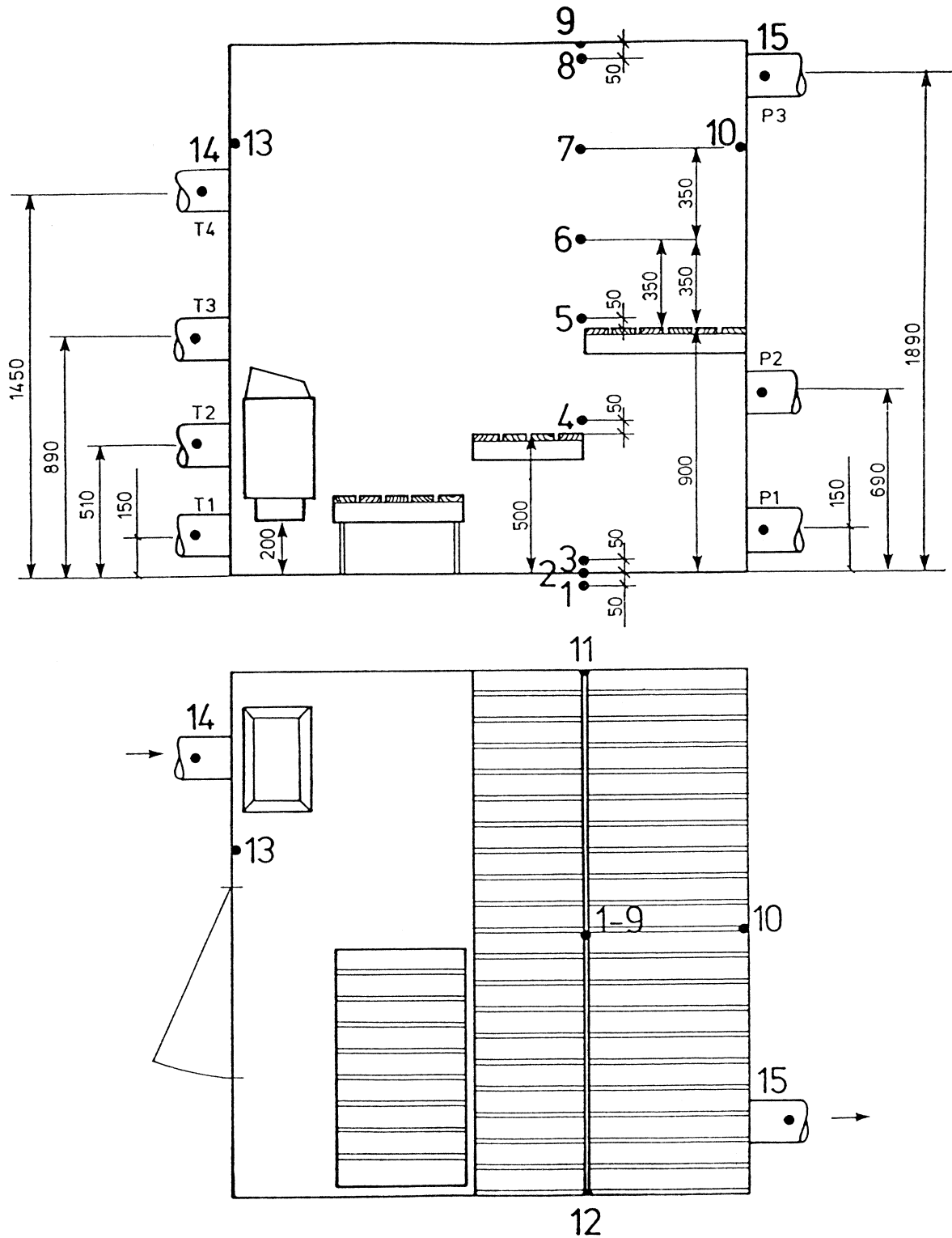
Saunaan tehtiin neljä tuloilma-aukkoa ja kolme poistoilma-aukkoa, joista haluttu yhdistelmä voitiin valita. Tuloilma-aukot on nimetty kuvassa 3 esitetyillä koodeilla T1 - T4, ja poistoilma-aukot koodeilla P1 - P3. Aukkojen koko oli ϕ 160 mm. Aukot olivat täysin avoimet ilman pääte-elimisiä.

2.4 Lämpötilojen mittaus

Saunan ilman ja pintojen lämpötilat mitattiin termoelementeillä kuvassa 3 esitetyistä pisteistä. Lämpötilojen mittaus ja keräys toteutettiin tietokoneen avulla.

2.5 Kosteuden mittaus

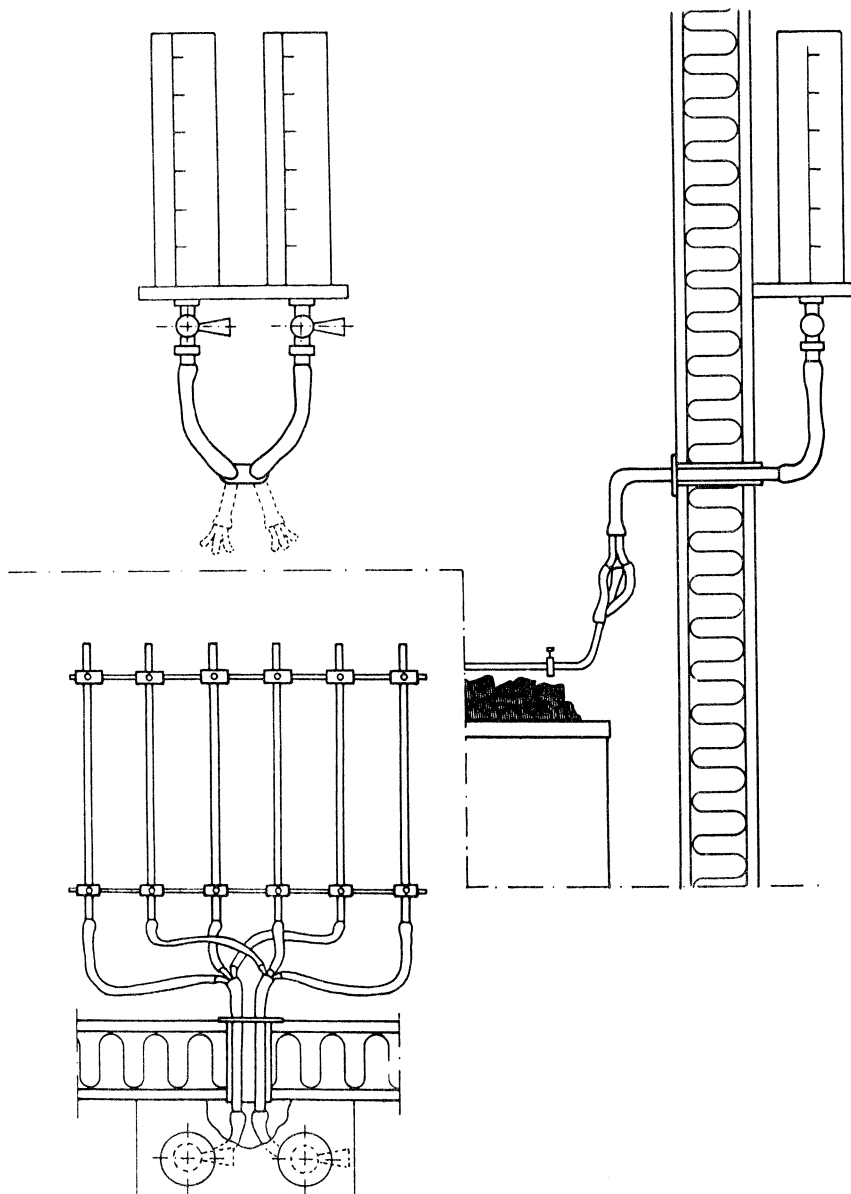
Löylykokeissa mitattiin saunailman kosteus psykrometrillä, jossa termoelementit oli asennettu kuiva- ja märkälämpötilaa mittaavan elohopeamittarin pintaan. Kosteudet mitattiin pääasiassa kuvan 3 mittauspisteen 7 vierestä, sekä joissakin kokeissa pisteen 4 vierestä ja 150 mm lattiasta.



Kuva 3. Koesaunan ilmanvaihto-aukkojen ja lämpötilojen mittauspisteiden sijainti.

2.6 Löylynheitto

Löylynheitto ohjattiin saunan ulkopuolelta löylyveden hajotinlaitteen kautta kiuaskiville (kuva 4). Löylyvesi jaettiin kahteen mittalasiin. Löylynheitto tapahtui avaamalla mittalasiin sulkuhanat, jolloin löylyvesi valui hajotinputkien rei'istä kiukaalle noin 5 sekunnin aikana. Kussakin löylyveden hajotinputkessa oli kolme $\phi 1$ mm:n kokoista reikää 50 mm:n etäisyydellä toisistaan. Löylyveden määrä oli 125 g ja löylynheitto toistettiin 5 minuutin välein.



Kuva 4. Löylyveden hajotinjärjestelmä.

2.7 Koeolosuhteet

Saunan lämpötilasäätimen asetusarvo oli 90 °C ja sen tuntoelin oli mittauspisteessä 7.

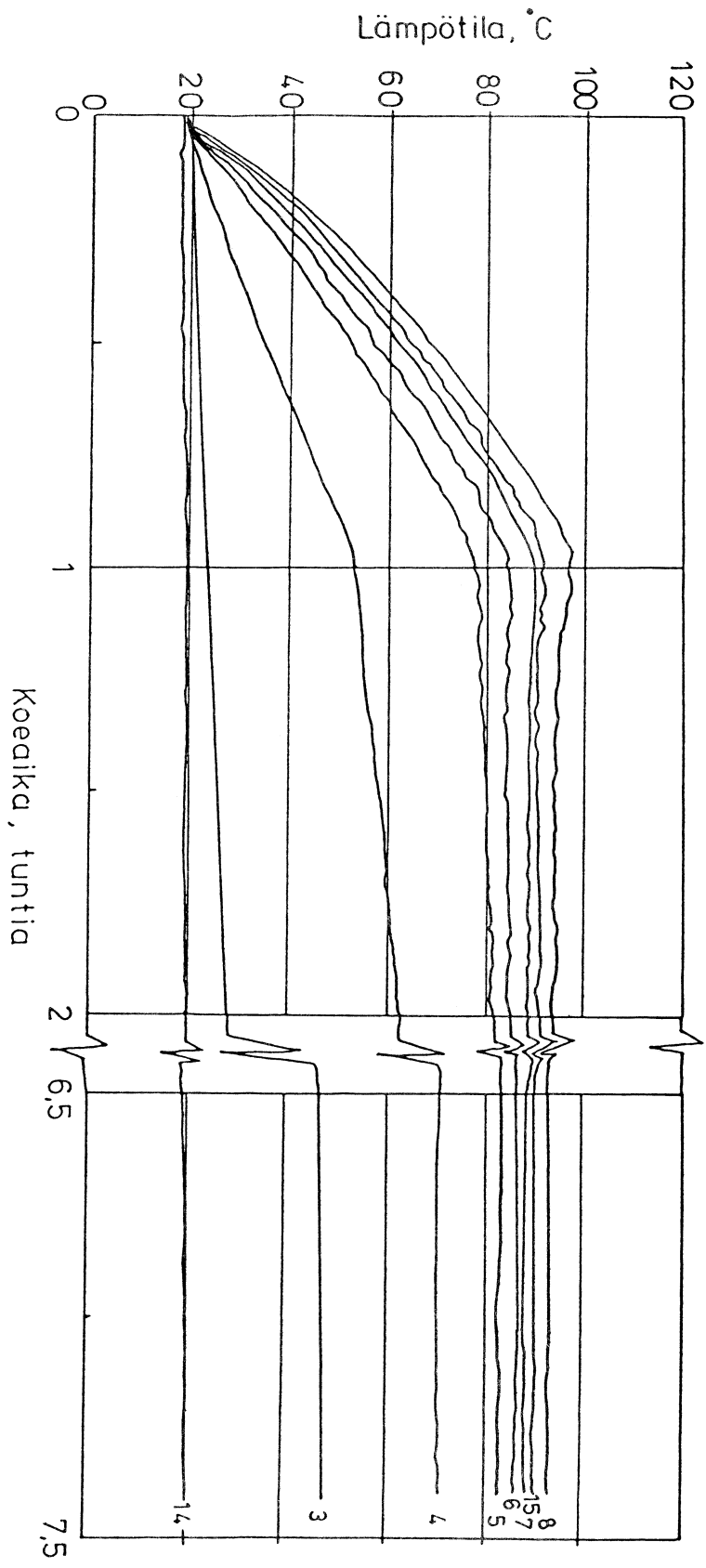
Saunan poistoilman massavirta oli normaalisti 48 kg/h (13,3 g/s), mikä vastaa ilmanvaihtokerrointa $n = 5$ l/h huonelämpötilassa 20 °C. Lämpimässä saunassa ilmanvaihtokerroin on hieman suurempi. Osa kokeista suoritettiin myös suuremmalla ilmanvaihdolla.

2.8 Kokeiden suoritustapa

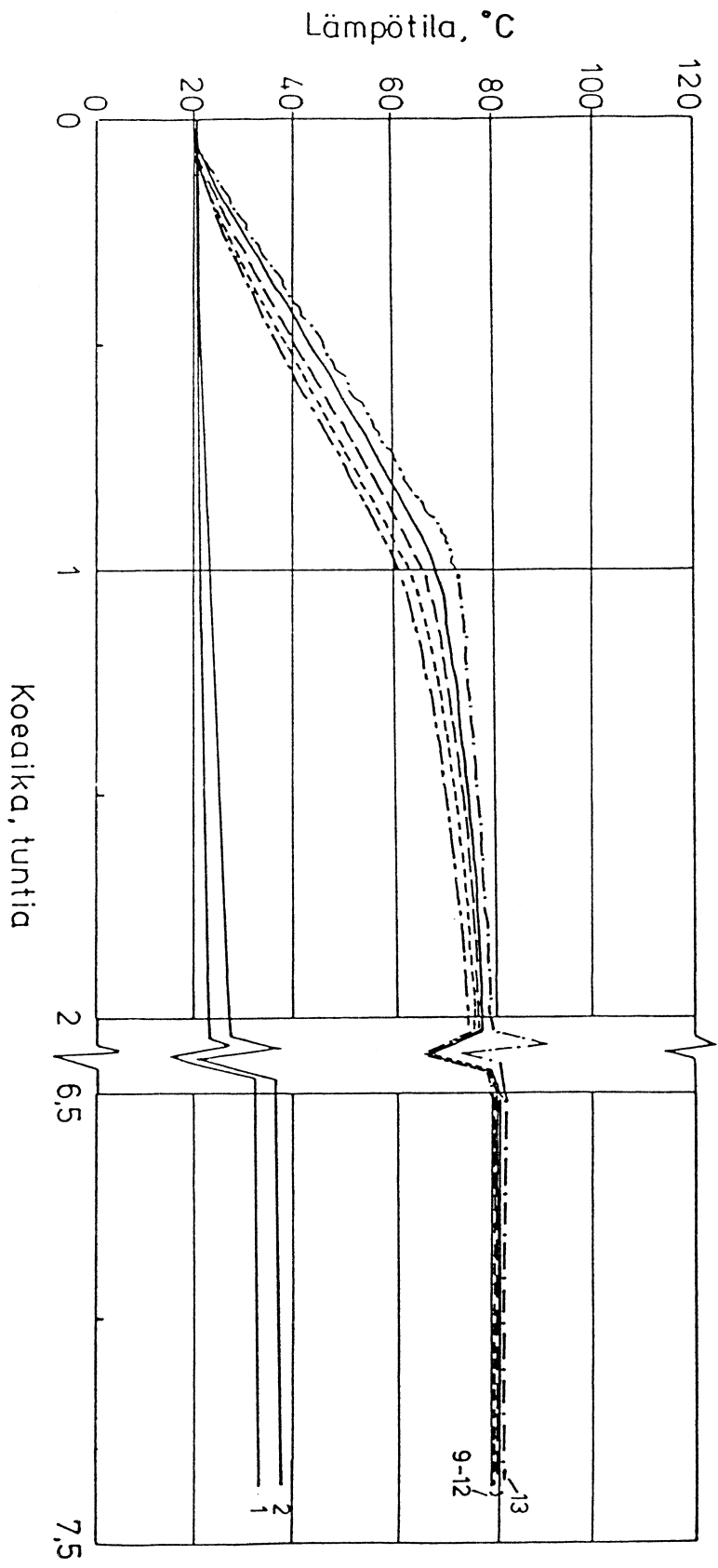
Ennen varsinaisten mittausten suoritusta lämmitettiin koesaunaa vähintään kaksi tuntia, jotta lämpötilat tasaantuisivat ja mittaukset olisivat toistettavia. Varsinkin saunan alaosissa havaittiin tästä huolimatta lämpötilan nousua tasaantumiskäytön jälkeen, kuvat 5 - 9. Kuvissa 5 ja 6 on esitetty ilman ja pintojen lämpötilojen muuttuminen lämmitysajan mukana. Kuvan 7 lämpötilajakaumat on samasta kokeesta kuin kuvat 5 ja 6.

Ilman lämpötilat istuinlauteen yläpuolella tasaantuivat noin tunnin pituisen lämmitysajan aikana. Pintalämpötilojen tasaantuminen oli hitaampaa. Saunan alaosien lämpötilojen tasaantuminen vaatii usean tunnin lämmityksen.

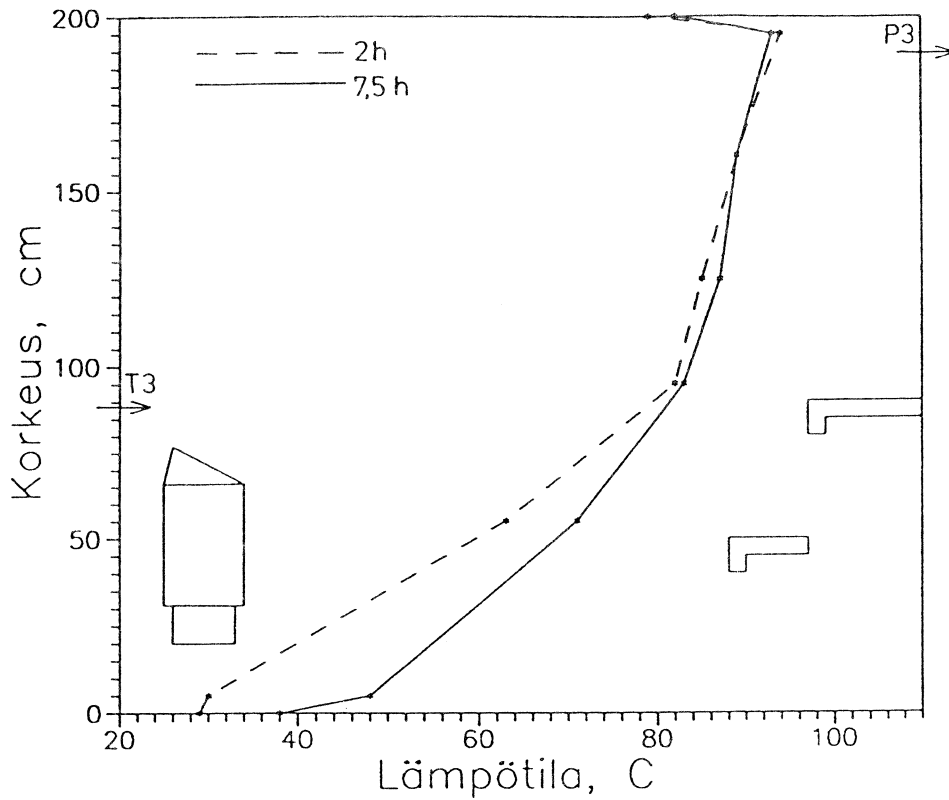
Muutettaessa ilmanvaihdon tulo- tai poistoilma-aukon sijaintia annettiin uuden tilanteen tasaantua 0,5 - 1 tuntia ennen mittauksia.



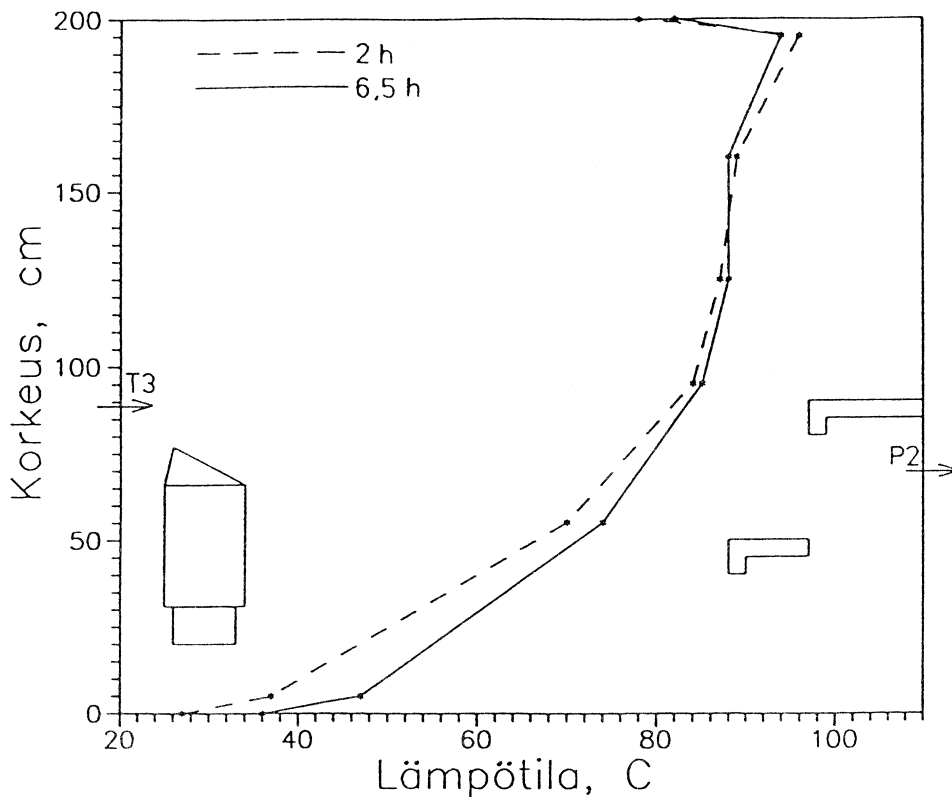
Kuva 5. Koesaunan ilman lämpötilat lämmityksen aikana. Tulolima-aukko oli kiukaan yläpuolella (T3) ja poistolima-aukko katon rajassa (P3). Ilmavirta oli 48 kg/h.



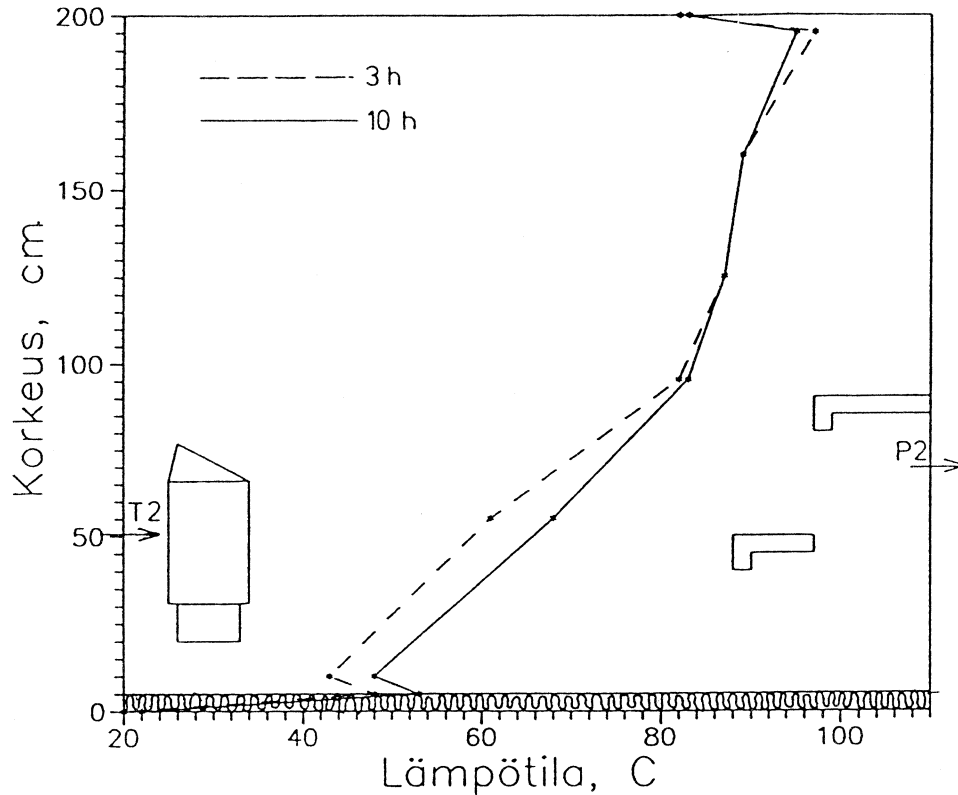
Kuva 6. Koesaman pintalämpötilat lämmityksen aikana. Tulolima-aukko oli kiukaan yläpuolella (T3) ja poistolima-aukko katon rajassa (P3). Ilmavirta oli 48 kg/h.



Kuva 7. Lämmitysajan vaikutus saunailman lämpötilojen pystyjakaumaan. Tuloilma-aukko oli kiukaan yläpuolella (T3) ja poistoilma-aukko katon rajassa (P3). Tuloilman lämpötila oli n. 20 °C ja ilmavirta 48 kg/h.



Kuva 8. Lämmitysajan vaikutus saunailman lämpötilojen pystyjakaumaan. Tuloilma-aukko oli kiukaan yläpuolella (T3) ja poistoilma-aukko istuinlauteen alapuolella (P2). Tuloilman lämpötila oli n. 20 °C ja ilmavirta 48 kg/h.



Kuva 9. Lämmitysajan vaikutus saunailman lämpötilojen pystyjakaumaan. Tuloilma-aukko oli kiukaan takana (T2) ja poistoilma-aukko katon rajassa (P3). Tuloilman lämpötila oli n. 19 °C ja ilmavirta 48 kg/h. Saunan lattia oli lämpöeristetty 50 mm:n paksuisella styroksilla.

3 ILMAN LIIKKEET

3.1 Yleistä

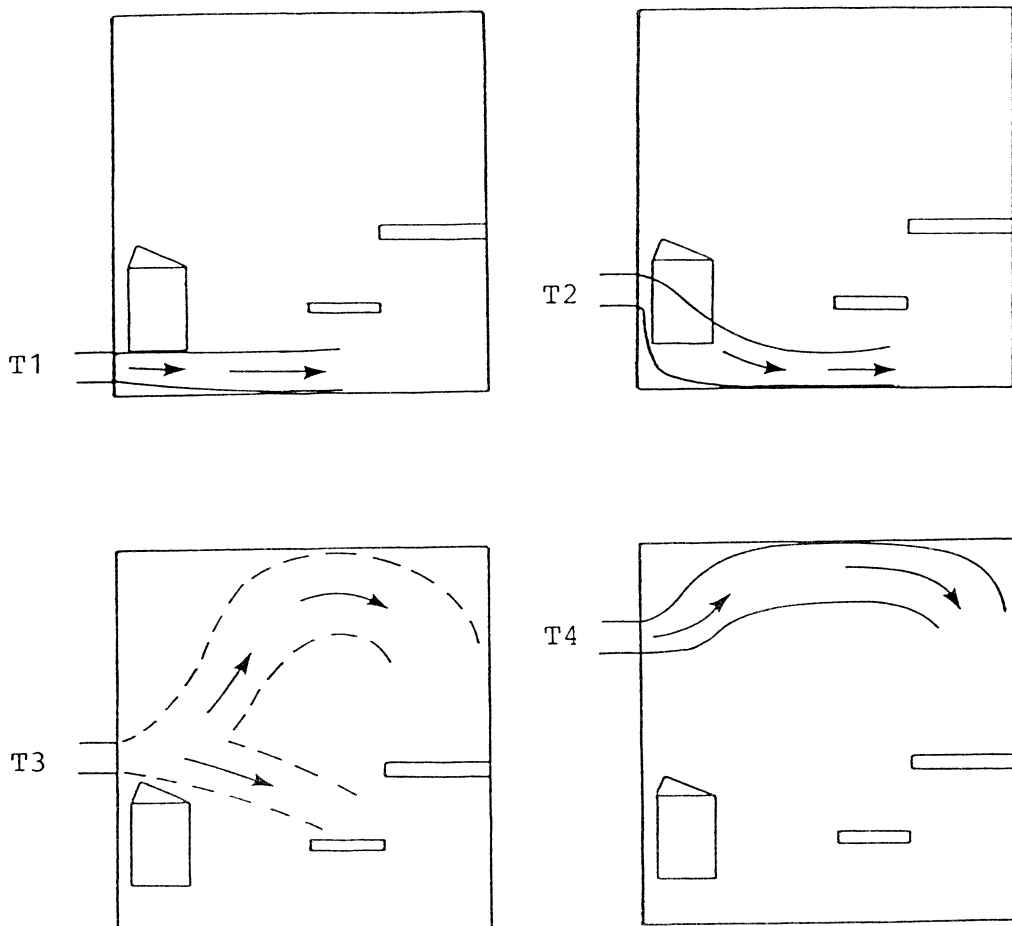
Ilman liikkeitä havainnollistettiin savun avulla. Savu kehitettiin palavilla savupatruunoilla, jotka olivat tuloilmakanavassa.

Ilman liikkeitä seurattiin koesaunan sivuseinässä olleesta tähytysikkunasta. Seurannan helpottamiseksi saunan seinät oli maalattu mustiksi ja apuna käytettiin pieniä kohdevalaisimia. Ilman liikkeitä kuvattiin myös videokameralla.

Savukokeet ilmensivät varsin selvästi mihin suuntaan ilmavirta purkautui tuloilma-aukosta. Sitä seuraava, vähitellen tapahtuva savun sekoittuminen saunaan oli epämääräisempää.

Kiukaan virtauskenttä aiheuttaa kivitason yläpuoliseen saunatilaan ilman voimakkaan kiertoilmaliikkeen. Kivitason alapuolisessa saunatilassa ilman liike on varsin rauhallista, ellei sitä häiritä tuloilmavirralla.

Tuloilman kulkeutuminen koesaunaan tuloilma-aukkojen eri sijoituksilla on esitetty kuvassa 10. Havainnot tehtiin ilmanvaihto-aukkojen kaikilla yhdistelmillä. Poistoilma-aukon sijainti ei vaikuttanut ilman purkautumiseen tuloilma-aukosta. Tämän takia kuvan 10 tuloksia ei ole esitetty poistoilma-aukkojen sijainnin mukaan.



Kuva 10. Tuloilmavirran purkautuminen saunatilaan tuloilma-aukon ollessa eri korkeudella (T1 - T4). Tuloilman lämpötila oli n. 20 °C ja ilmavirta 48 kg/h.

3.2 Tuloilma-aukko lähellä lattiaa

Kun tuloilma-aukko on kiukaan alapuolella (T1), leviää tuloilma saunailmaa kylmempänä lattialle ja muodostaa saunan alaosaan viileän ilmakerroksen.

Jos poistoilma-aukko on myös alhaalla, todettiin syntyvän oikosulkuvirtauksen, jolloin ilman vaihtuvuus kiukaan yläpuolisessa saunatilassa huononee eikä vastaa poistoilmavirran mukaan laskettua keskimääräistä ilman vaihtuvuutta.

Kun poistoilma-aukko on katon läheisyydessä, nousee ilma mäntävirtauksena alaosasta ylöspäin. Kiukaan kivitason tienoilla tapahtuu sekoittuminen vähitellen saunan yläosan ilmavirtauskenttään.

3.3 Tuloilma-aukko kiukaan takana

Kun tuloilma-aukko oli sijoitettu kiukaan taakse (T2), laskeutui tässäkin tapauksessa suurin osa kylmästä tuloilmavirtauksesta lattialle eikä näin ollen poikennut oleellisesti edellisestä tapauksesta, jossa tuloilma johdettiin kiukaan alle.

3.4 Tuloilma-aukko aivan kiukaan yläpuolella

Jos tuloilma-aukko on avoin ja sijoitettu aivan kiukaan yläpuolelle (T3), riippuvat ilman liikkeet ensisijaisesti tuloilmavirran nopeudesta ja lämpötilasta. Jos virtausnopeus on suuri, lentää ilmasuihku kiukaan yli lauteiden alle ja laskeutuu ympäröivää ilmaa kylmempänä lattialle. Kun tuloilman virtausnopeus on riittävän alhainen, sekoittuu tuloilma kiukaasta ylös nousevaan ilman virtaukseen ja tästä saunan yläosan virtauskenttään, josta se vähitellen leviää myös saunan alaosaan. Joissakin mittauksissa havaittiin tuloilman virtauksen jakautumista siten, että osa kulki ylöspäin ja osa laskeutui lauteiden alle.

3.5 Tuloilma-aukko kiukaan ja katon keskivälillä

Kun tuloilma-aukko sijaitsee reilusti kiukaan yläpuolella (T4), on kiukaan synnyttämä ylöspäin kulkeva virtaus niin voimakas, että tuloilma välittömästi sekoittuu kiukaasta nousevaan ilmavirtaukseen.

4 LÄMPÖTILAJAKAUMAT

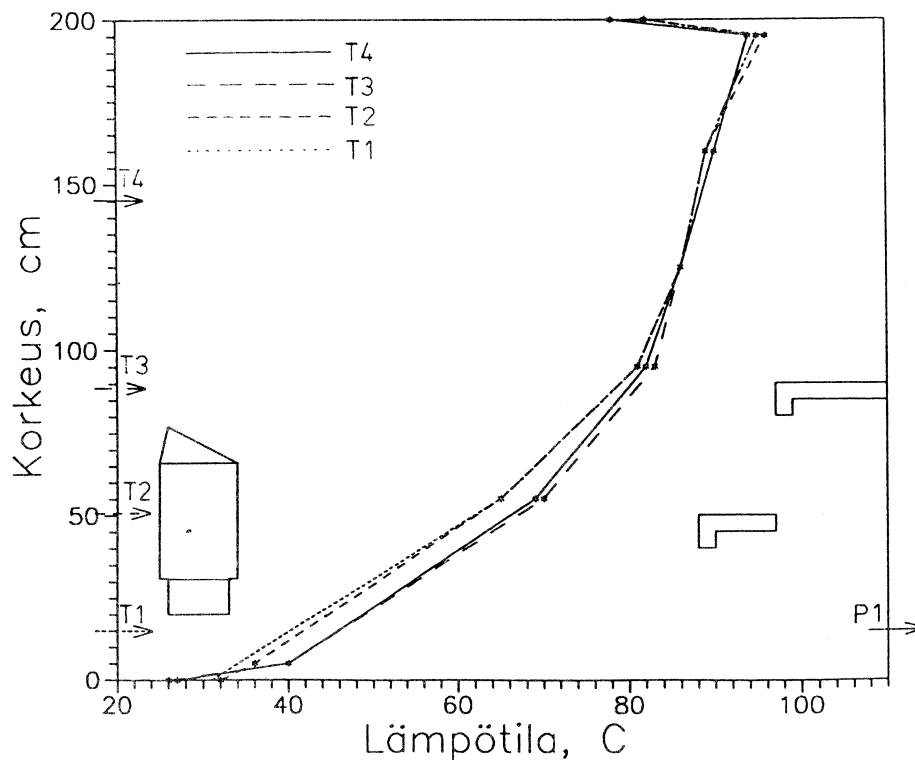
4.1 Yleistä

Saunan pystysuuntainen lämpötilajakauma mitattiin istuinlauteen edestä, mittauspisteet 2 - 9 kuvassa 3. Mittaukset suoritettiin tuloilman ollessa n. 20 °C ja n. 0 °C tulo- ja poistoilma-aukkojen sijaintia vaihdellen. Poistoilman lämpötilan todettiin olevan suunnilleen sama kuin saunailman lämpötila oli poistoilma-aukon korkeudella.

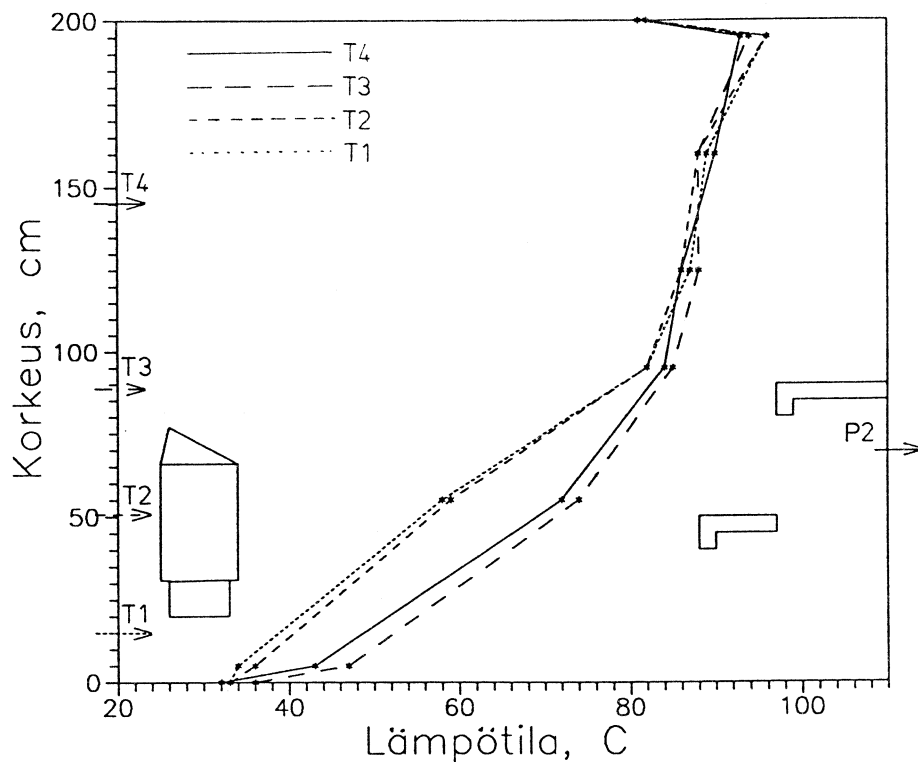
Lämpötilajakaumat mitattiin myös tapauksessa, kun saunan betonilattia oli lämpöeristetty 50 mm:n paksuisella styroksilla.

4.2 Saunassa betonilattia

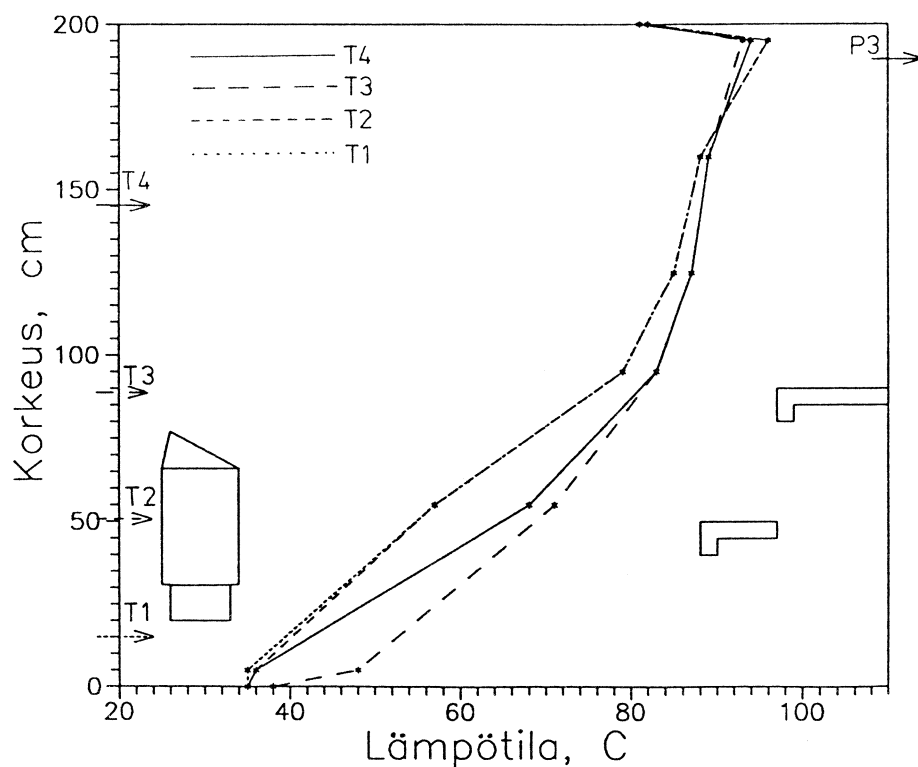
Kuvissa 11 - 13 on esitetty lämpötilajakaumat, kun tuloilman lämpötila on noin 20 °C ja saunan lattiana on eristämätön betoni.



Kuva 11. Saunailman lämpötilojen pystyjakauma, kun tuloilma johdettiin saunaan eri korkeudelta (T1 - T4) ja poistoilma-aukko oli lattian rajassa (P1). Tuloilman lämpötila oli 19 - 21 °C ja ilmavirta 48 kg/h.



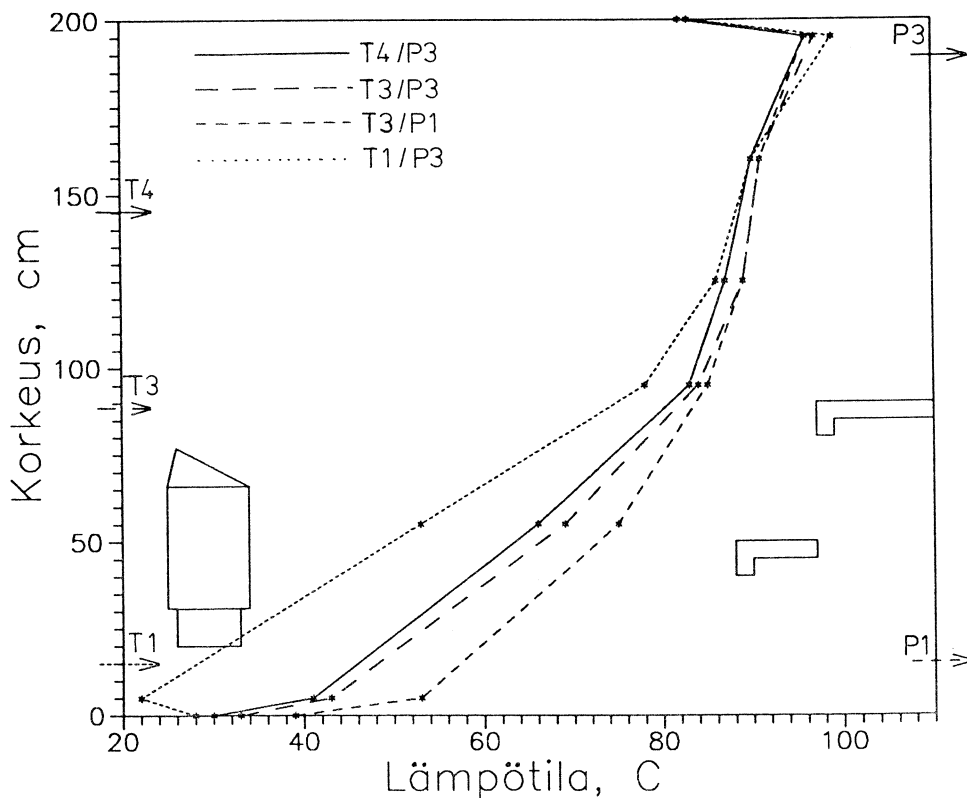
Kuva 12. Saunailman lämpötilojen pystyjakauma, kun tuloilma johdettiin saunaan eri korkeudelta (T1 - T4) ja poistoilma-aukko oli istuinlauteen alapuolella (P2). Tuloilman lämpötila oli 18 - 20 °C ja ilmavirta 48 kg/h.



Kuva 13. Saunailman lämpötilojen pystyjakauma, kun tuloilma johdettiin saunaan eri korkeudelta (T1 - T4) ja poistoilma-aukko oli katon rajassa (P3). Tuloilman lämpötila oli 18 - 20 °C ja ilmavirta 48 kg/h.

Ilmanvaihtoaukkojen eri sijoituksilla eivät lämpötilat istuinlauteen yläpuolella poikkea merkittävästi toisistaan saunan yläosan ilman voimakkaan virtauksen ja sekoittumisen takia.

Saunan alaosassa tapahtuu jalkalauteen kohdalla lämpötilan nousua, kun tuloilma-aukko siirretään kiukaan yläpuolelle. Korostetummin ero ilmenee kuvasta 14, jossa tuloilman lämpötila on n. $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jalkalauteen kohdalla on lämpötila n. $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ korkeampi, kun tuloilma on tuotu saunan yläosaan ja poistettu alhaalta verrattuna tilanteeseen, jossa tuloilma johdetaan lattian lähelle ja poistetaan katon läheltä.



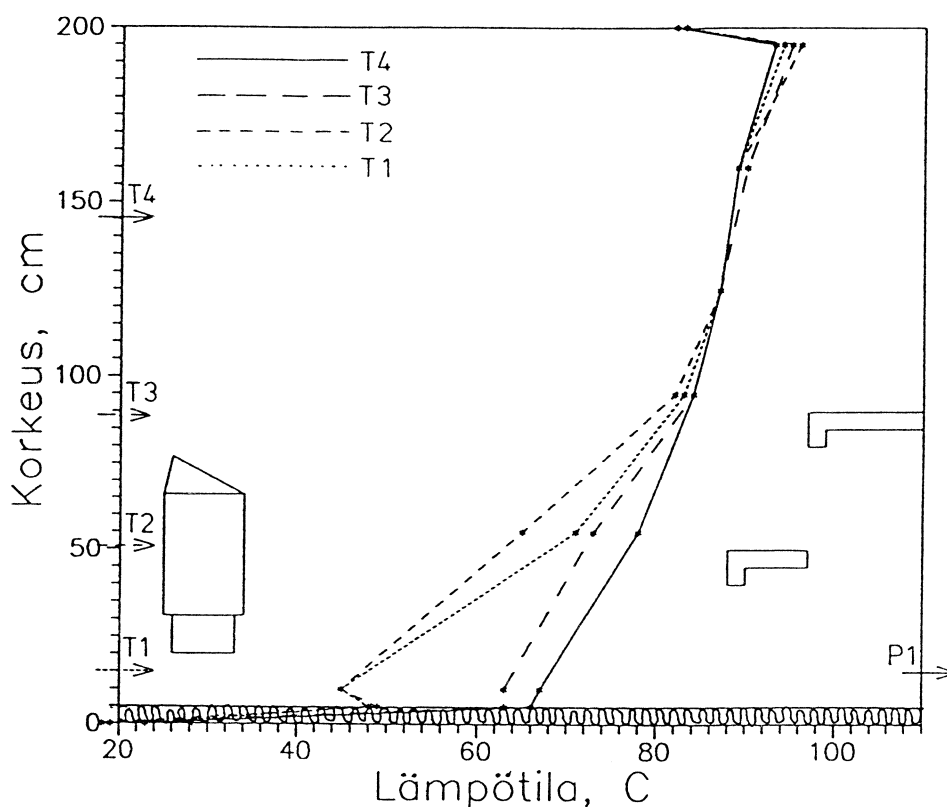
Kuva 14. Saunailman lämpötilojen pystyjakauma, kun tuloilma johdettiin saunaan eri korkeudelta (T1, T3 ja T4) ja poistoilma-aukko oli lattian tai katon rajassa (P1 ja P3). Tuloilman lämpötila oli $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja ilmavirta 48 kg/h .

4.3 Saunassa lämpöeristetty lattia

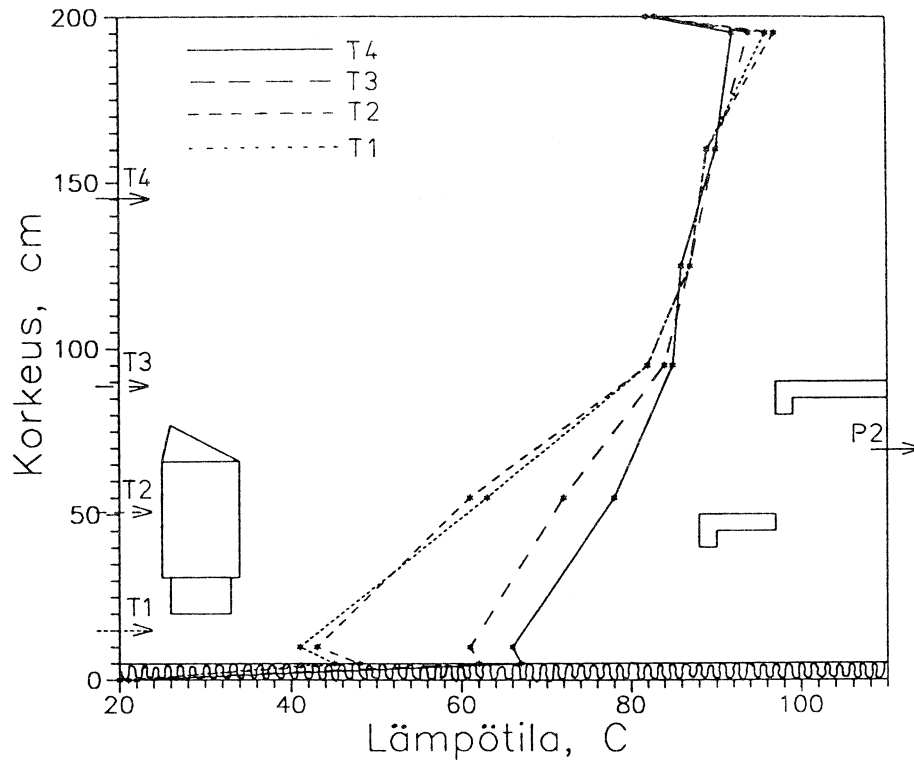
Kuvissa 15 - 17 on esitetty lämpötilajakaumat, kun tuloilman lämpötila on noin 20 °C ja saunan betonilattia on lämpöeristetty 50 mm:n paksuisella styroksilla.

Lämpötilajakaumista ilmenee selvästi saunan alaosien lämpötilan nousu, kun tuloilma johdetaan kiukaan yläpuoliseen tilaan ja poistoilma-aukko sijoitetaan saunan alaosaan. Alaosa pysyy myös lämpimämpänä kuin tapauksessa, jossa on eristämätön lattia.

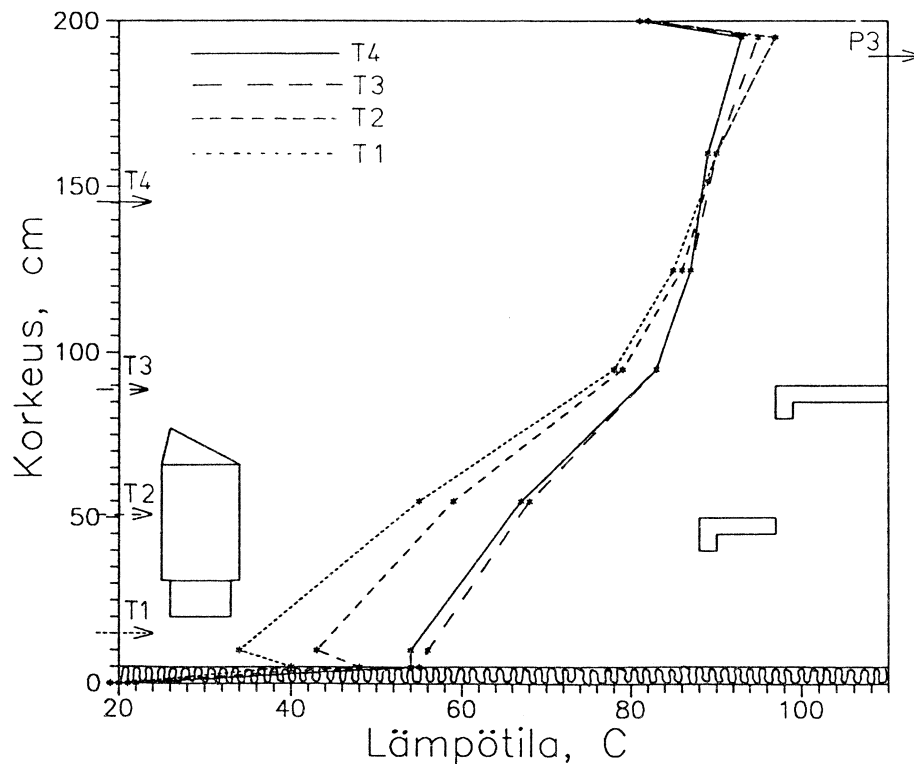
Kokeissa, joissa tuloilman lämpötila oli 7 - 9 °C, lämpötilajakaumissa ei esiintynyt mainittavia eroja em. jakaumiin.



Kuva 15. Saunailman lämpötilojen pystyjakauma, kun tuloilma johdettiin saunaan eri korkeudelta (T1 - T4) ja poistoilma-aukko oli lattian rajassa (P1). Tuloilman lämpötila oli 19 - 25 °C ja ilmavirta 48 kg/h. Lattia oli lämpöeristetty 50 mm:n paksuisella styroksilla.



Kuva 16. Saunailman lämpötilojen pystyjakauma, kun tuloilma johdettiin saunaan eri korkeudelta (T1 - T4) ja poistoilma-aukko oli istuinlauteen alapuolella (P2). Tuloilman lämpötila oli 19 °C ja ilmavirta 48 kg/h. Lattia oli lämpöeristetty 50 mm:n paksuisella styroksilla.



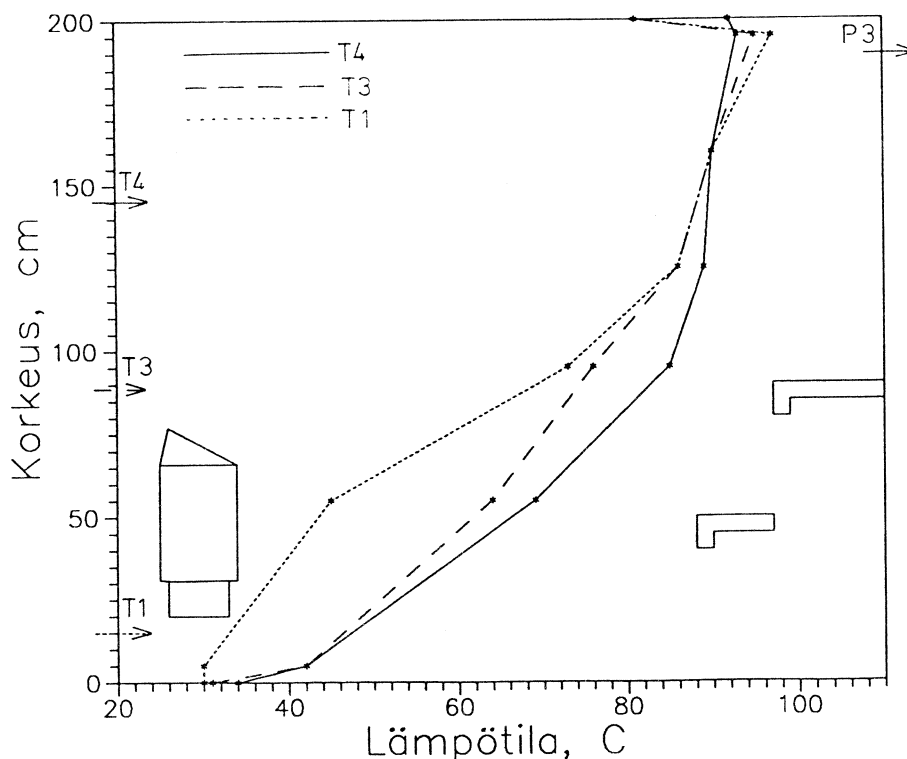
Kuva 17. Saunailman lämpötilojen pystyjakauma, kun tuloilma johdettiin saunaan eri korkeudelta (T1 - T4) ja poistoilma-aukko oli katon rajassa (P3). Tuloilman lämpötila oli 16 - 19 °C ja ilmavirta 48 kg/h. Lattia oli lämpöeristetty 50 mm:n paksuisella styroksilla.

4.4 Suurennettu ilmanvaihto

Kuvissa 18 ja 19 on esitetty lämpötilajakaumat, kun saunan ilmanvaihto on normaalisti käytetyn ilmanvaihdon (48 kg/h) sijasta kaksinkertainen (96 kg/h).

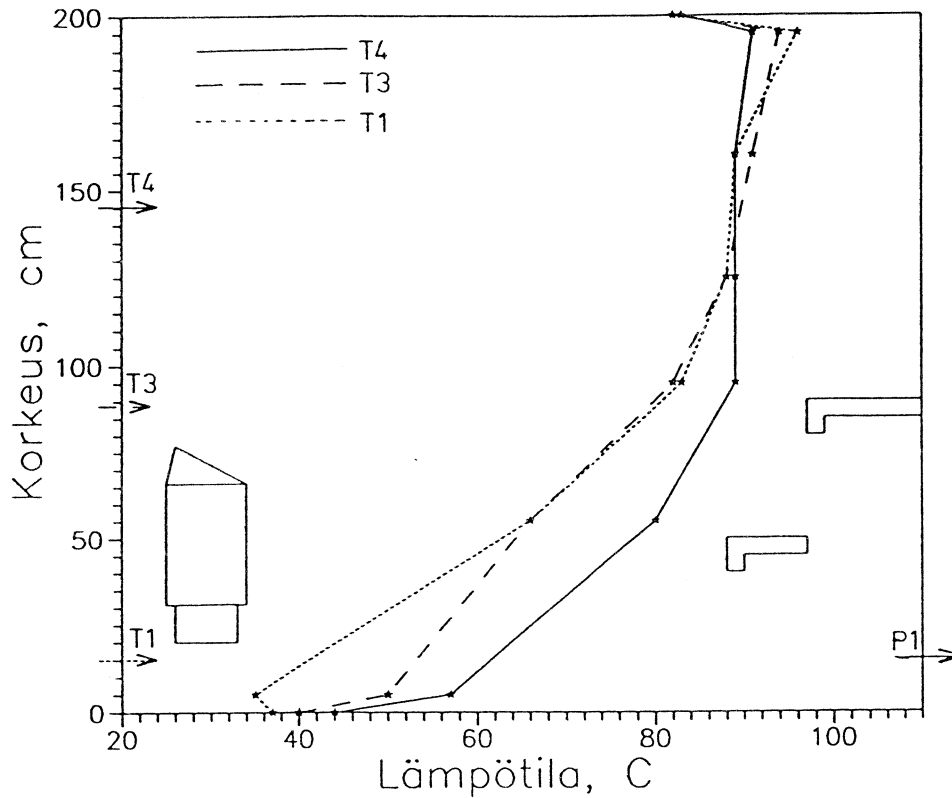
Kun tuloilma tuodaan ylimmästä tuloilma-aukosta (T4), on virtaus niin voimakas, että saunan yläosan ilma sekoittuu voimakkaasti ja lämpötilajakauma on lähes pystysuora istuinlauteen yläpuolella. Saunan alaosan lämpötilat nousevat jonkin verran, kun poistoilma-aukko sijoitetaan saunan alaosaan.

Kuvissa 18 ja 19 erottuvat ääriarvot selvästi. Kun tuloilma-aukkona on ylin aukko (T4) ja poistoilma-aukko on lattian lähellä (P1), on ilman lämpötila jalkalauteen kohdalla noin 35 °C lämpimämpi kuin tapauksessa, jossa tuloilma-aukko on lähellä lattiaa ja poistoilma-aukko lähellä kattoa.



Kuva 18. Saunailman lämpötilojen pystyjakauma suurennetulla ilmanvaihdolla. Tuloilma johdettiin saunaan eri korkeudelta (T1, T3 ja T4) ja poistoilma-aukko oli katon rajassa (P3). Tuloilman lämpötila oli 17 - 19 °C ja ilmavirta 96 kg/h.

Kokeessa käytetty ilmanvaihto (ilmanvaihtokerroin 10) ylittää jossain määrin käytännön arvot. Koe selvittää kuitenkin ilmanvaihto-aukkojen sijoituksen ja ilman sekoittumisen merkitystä.



Kuva 19. Saunailman lämpötilojen pystyjakauma suurennetulla ilmanvaihdolla. Tuloilma johdettiin saunaan eri korkeudelta (T1, T3 ja T4) ja poistoilma-aukko oli lattian rajassa (P1). Tuloilman lämpötila oli 16 - 18 °C ja ilmavirta 96 kg/h.

5 LÖYLYKOKKEET

5.1 Yleistä

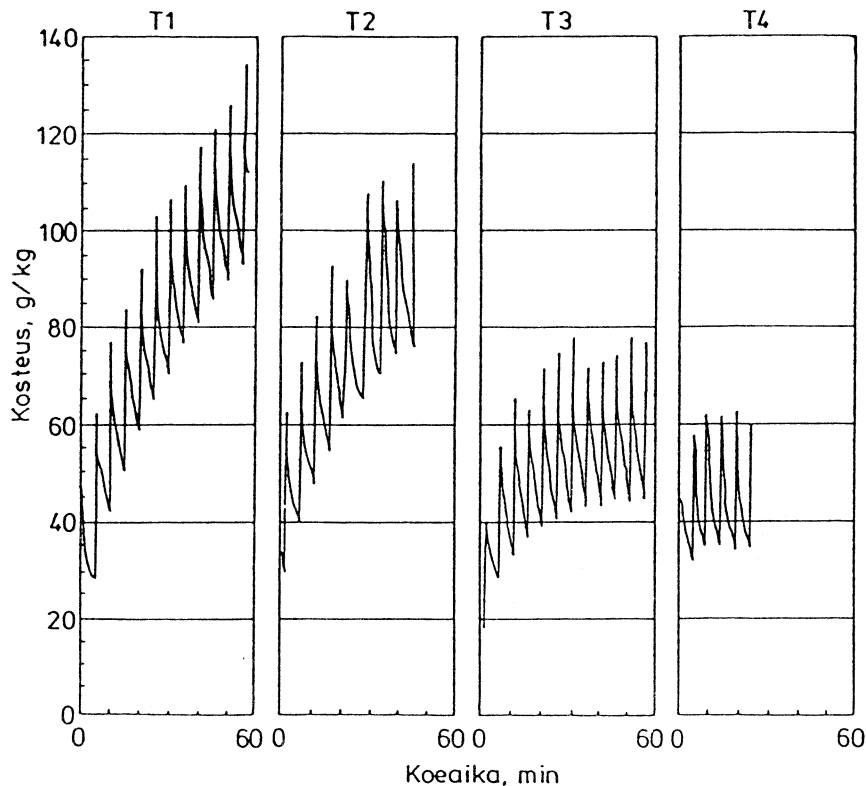
Löylykokeiden tarkoituksena oli selvittää ilmanvaihtoaukkojen sijainnin vaikutusta saunailman kosteuteen löylynheiton yhteydessä.

Ensimmäisissä mittauksissa seurattiin kosteutta kylpijoiden pään korkeudella (70 cm istuinlauteen yläpuolella). Myöhemmissä mittauksissa mitattiin kosteus eri korkeuksilta, jolloin voitiin kosteuden avulla selvittää ilman sekoittuminen saunassa. Kosteuden mittaustapa on esitetty kohdassa 2.5.

Lölyvettä heitettiin 125 g viiden minuutin välein toistettavaa menettelytapaa käyttäen. Lölyveden määrä oli valittu siten, että absoluuttinen kosteus kylpijän pään korkeudella asettuisi pääosin alueelle 40 - 50 g/h normaalilla ilmanvaihdolla (ilmanvaihtokerroin 5).

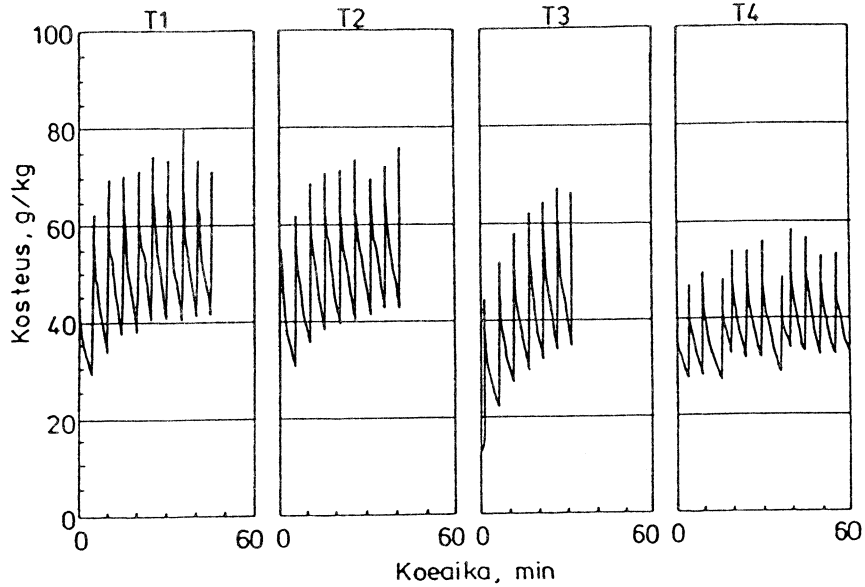
5.2 Lölykokeiden tulokset

Lölykokeiden tulokset on esitetty kuvissa 20 - 24. Ilman liikkeitä kuvaavien savukokeiden yhteydessä todettiin, että kun sekä tulo- että poistoilma-aukot sijaitsevat lähellä lattiaa, syntyy oikosulkuvirtausta, jolloin ilmanvaihto saunassa on huono eikä vastaa poistoilmavirran mukaista keskimääräistä ilmanvaihtoa. Samaa osoittavat myös lölykokeet kuvassa 20, jossa saunailman kosteus nousee jatkuvasti, kun poistoilma-aukko on lähellä lattiaa ja tuloilma-aukko on joko lattian lähellä (T1) tai myös kiukaan takana (T2). Oikosulkuvirtaus ilmenee selvästi kuvan 23 tapauksesta (T1, P1). Lölynheiton jatkuessa kosteus nousee jatkuvasti sekä saunan yläosassa että jalkalauteen kohdalla.

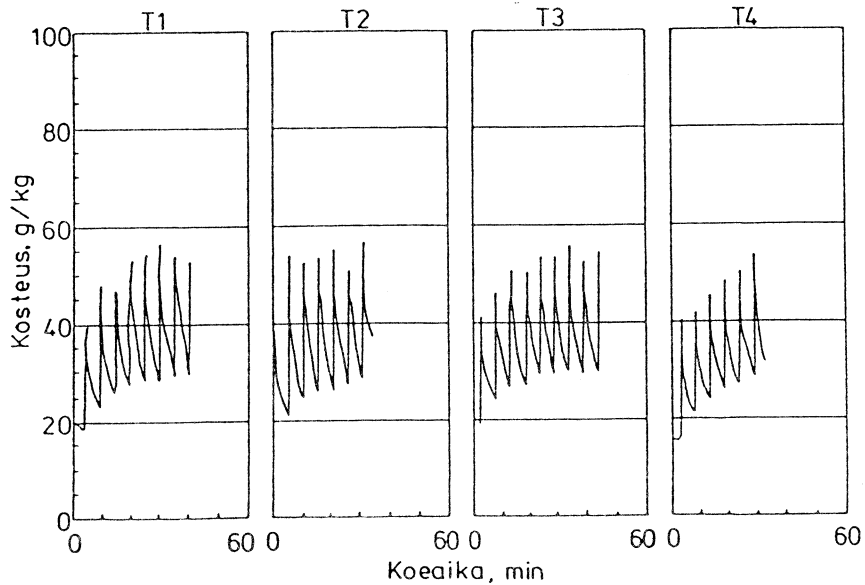


Kuva 20. Saunailman kosteuden vaihtelut lölykokeissa. Tuloilma johdettiin saunaan eri korkeudelta (T1 - T4) ja poistoilma-aukko oli lattian rajassa (P1). Ilmavirta oli 48 kg/h. Mittauspiste oli 70 cm istuinlauteen yläpuolella.

Poistoilma-aukon nostaminen istuinlauteen alle (P2), kuva 21, parantaa ilmanvaihdon tehokkuutta saunan yläosassa, vaikka tuloilma-aukot edelleen ovat kiukaan alla (T1) tai takana (T2). Tilannetta saunan muissa osissa ei ole mitattu.



Kuva 21. Saunailman kosteuden vaihtelut löylykokeissa. Tuloilma johdettiin saunaan eri korkeudelta (T1 - T4) ja poistoilma-aukko oli istuinlauteen alapuolella (P2). Ilmavirta oli 48 kg/h. Mittauspiste oli 70 cm istuinlauteen yläpuolella.

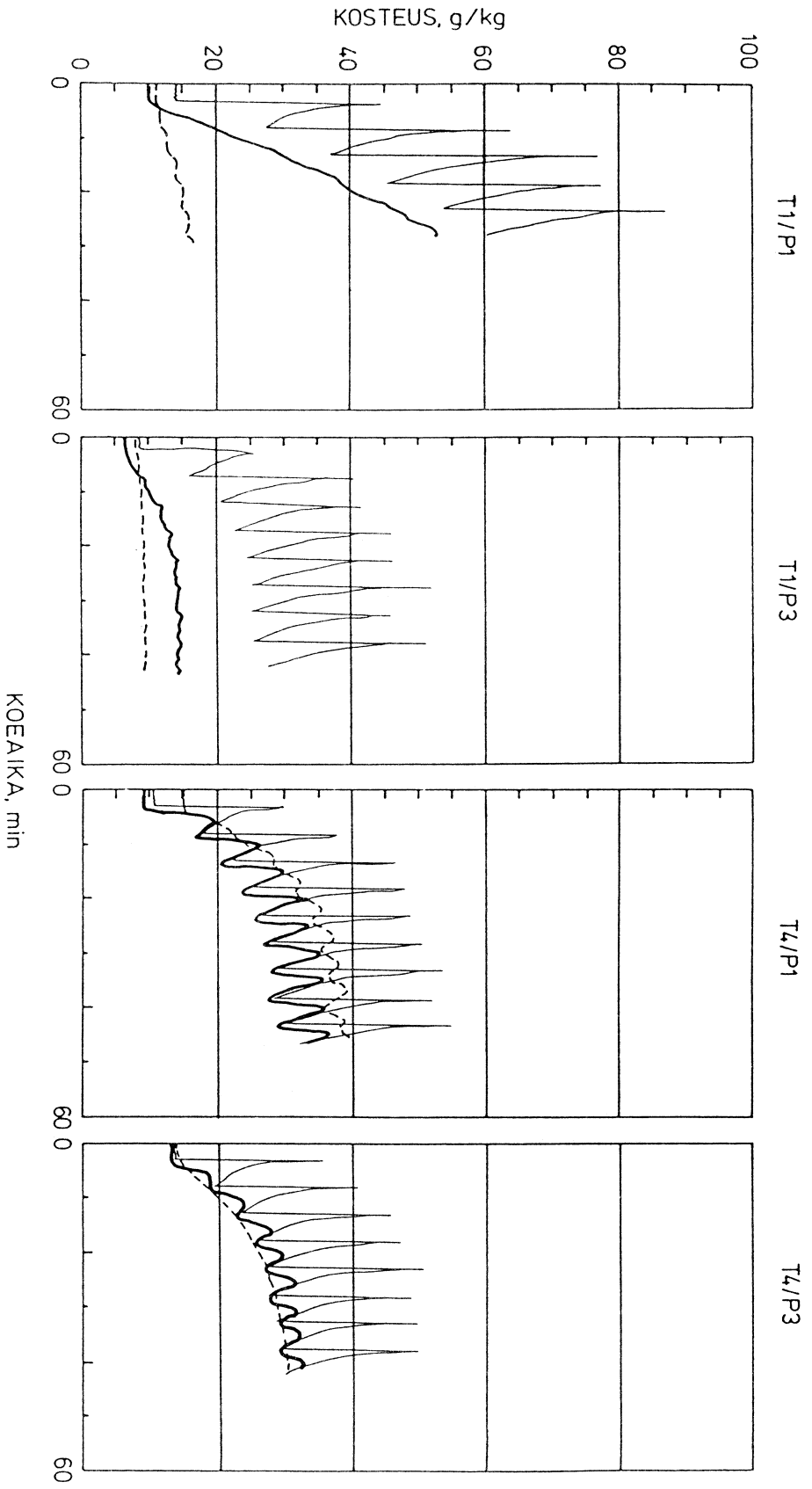


Kuva 22. Saunailman kosteuden vaihtelut löylykokeissa. Tuloilma johdettiin saunaan eri korkeudelta (T1 - T4) ja poistoilmaaukko oli katon rajassa (P3). Ilmavirta oli 48 kg/h. Mittauspiste oli 70 cm istuinlauteen yläpuolella.

Kun poistoilma-aukko sijaitsee lähellä katon rajaa, kuva 22, eivät tuloilma-aukon eri sijoitukset aiheuta juuri eroja kosteuteen kylpijään pään kohdalla. Suunnilleen samat kosteusarvot saavutetaan myös poistoilma-aukon sijoituksesta riippumatta, kun tuloilma-aukko on kiukaan yläpuolella lähellä katon rajaa (tapaus T4 kuvissa 20 - 22). Näissä tapauksissa ilmanvaihdon tehokkuus saunan yläosassa on hyvä.

Kuvassa 23 esitetään kosteuden vaihteluja löylykokeissa istuinlauteen yläpuolella, jalkalauteen kohdalla ja lattian rajassa. Havaitaan, että tuloilma-aukon sijoittaminen saunan yläosaan (T4) saa aikaan löylynheiton vaikutuksen ulottumisen myös jalkalaudetasolle ja jopa lattianrajaan. Selvimmin tämä näkyy tapauksessa, jossa poistoilma sijaitsee lattian läheisyydessä (T4/P1).

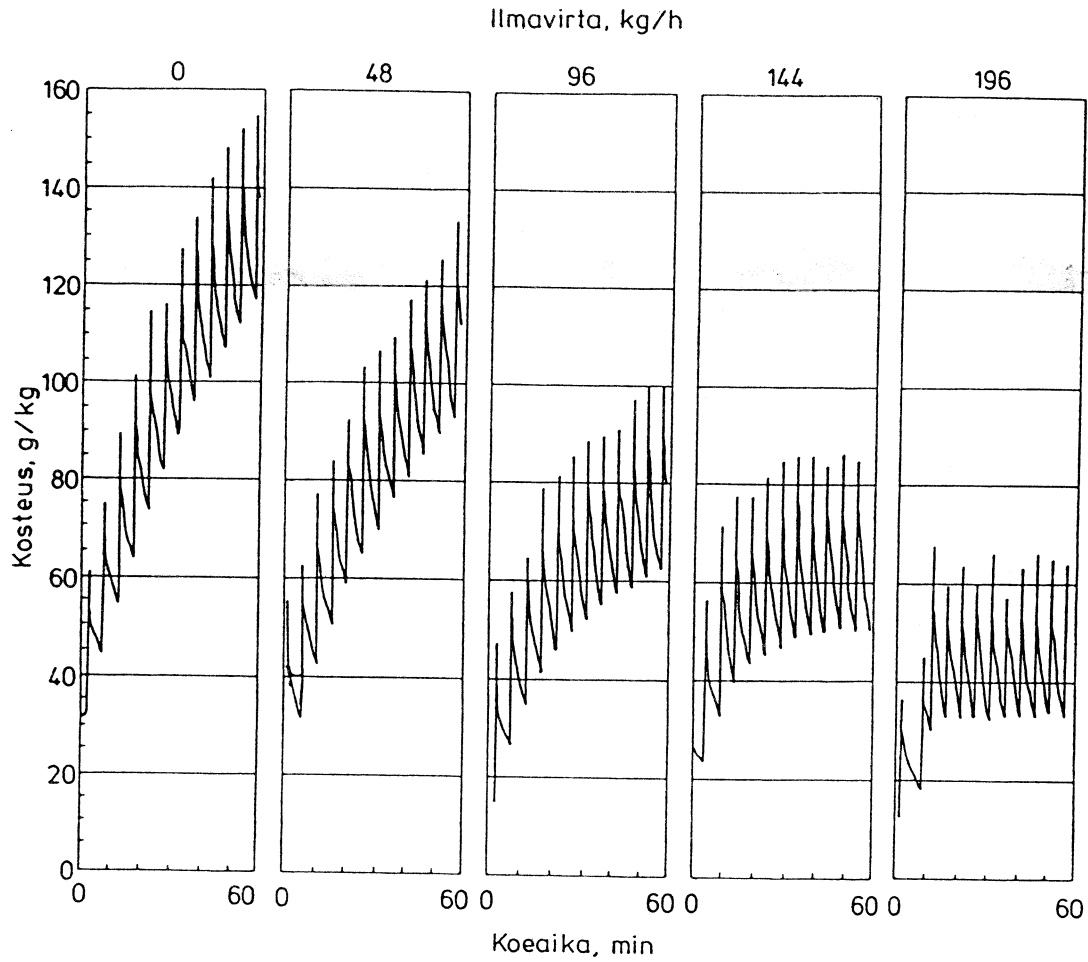
Edellä on todettu, että saunan alaosassa syntyy oikosulkuvirtausta, kun tulo- ja poistoilma-aukot sijaitsevat lattian rajassa (T1 ja P1). Erillisellä löylykoesarjalla haluttiin selvittää, kuinka paljon saunan poistoilmavirtaa mainitussa tapauksessa on suurennettava, jotta saunan yläosan ilmanvaihto lisääntyisi vastaamaan suunnilleen kuvien 20 - 21 tapauksista T4, joissa ilmanvaihtuvuutta saunan yläosassa voidaan pitää hyvänä. Kuvassa 24 esitetään saadut mittaustulokset saunailman kosteuden vaihteluista erilaisilla poistoilmavirroilla (0 - 196 kg/h). Ilmanvaihdon ollessa täysin suljettu (ilmavirta = 0) nousi kosteus huomattavan korkealle. Koesaunan ilmavuodot ja kosteuden tiivistyminen pinnoille ja imeytyminen pintakohteisiin vähensi nousun jyrkkyyttä. Ilmanvaihtoa lisättäessä kosteuden vaihtelutasot alenivat. Kun poistoilmavirta oli 196 kg/h eli neljä kertaa ns. normaalimäärä (48 kg/h), saavutti kosteuden vaihtelutaso suunnilleen kuvien 20 - 21 tapauksen T4 arvot. On siis todettava, että ilmanvaihdon tehokkuus istuinlauteen yläpuolella on varsin huono, mikäli tulo- ja poistoilma-aukot ovat lähellä lattian rajaa.



Kuva 23. Saunailman kosteuden vaihtelut löylykokeissa. Tuolilma johdettiin saunaan eri korkeudelta (T1 ja T4) ja poistettiin eri korkeudelta (P1 ja P3). Ilmavirta oli 48 kg/h.

Mittauspisteet:

- 70 cm istuinlauteen yläpuolella
- 5 cm jalkalautteen yläpuolella
- 15 cm lattiasista



Kuva 24. Saunailman kosteuden vaihtelut lölykokeissa eri ilmavirroilla. Tuloilma-aukko ja poistoilma-aukko olivat lattian rajassa (T1 ja P1). Mittauspiste oli 70 cm istuinlauteen yläpuolella.

6 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Suoritetuilla mittauksilla on selvitetty ilmanvaihtoaukkojen sijoituksen vaikutusta saunan lämpötilajakaumaan, kosteuden jakautumiseen saunaan lölynheiton yhteydessä sekä ilmanvaihdon paikalliseen tehokkuuteen istuinlauteen yläpuolella. Kaikissa kokeissa käytettiin koneellista poistoilmanvaihtoa. Saunan painovoimaista ilmanvaihtoa on käsitelty aikaisemmissa tutkimuksissa, joiden tuloksia on selvitetty mm. lähteissä /1, 2/.

Ilman sekoittuminen

Tasainen pystysuuntainen lämpötilajakauma saunassa edellyttää saunailman tasaista sekoittumista. Käytännössä kuitenkin ympäröivää lämpötilaa kylmempi tuloilma pyrkii aina "valumaan" alaspäin. Saunassa on saunomistilanteessa jo normaalilämpöinen huoneilma "kylmää ilmaa", joka valuu alas saunan lattialle ellei sitä saada sekoittumaan saunan sisällä kiertävään ilmamassaan. Talvipakkasilla ilmiö on vielä voimakkaampi, mikäli tuloilmaa ei ole esilämmitetty. Jotta saunan alaosaan ei muodostuisi kylmää ilmavyöhykettä, tuloilma on johdettava kiukaan yläpuolelle, josta se sekoittuu välittömästi saunan kiertoilmaan. Tällöin myös löylynheiton vaikutukset ulottuvat saunan alaosaan. Saunan yläosan ilman sekoittumista saunan alaosaan ilmaan edistää poistoilma-aukon sijoittaminen saunan alaosaan.

Lämpötilat

Lämpötilamittauksista havaitaan, että saunailman lämpötiloissa on pystysuunnassa suuri vaihtelu. Tyypillisinä arvoina voidaan todeta, että lauteilla istuvan henkilön pään korkeudella on lämpötila 90 °C, istuinlauteen korkeudella 80 - 85 °C ja jalkalauteen korkeudelle n. 60 - 65 °C. Jalkaterien ja pään välinen lämpötilaero oli siis n. 25 - 30 °C. Ilman lämpötilaan jalkalauteen korkeudella ja lattian rajassa vaikuttaa huomattavasti tuloilma-aukon sijainti, tuloilman lämpötila sekä ilmanvaihdon suuruus. Edellä mainittujen seikkojen takia saattoi lämpötila jalkalauteen kohdalla vaihdella 50 - 80 °C. Korkein lämpötila saavutettiin, kun tuloilma-aukko oli kiukaan yläpuolella ja poisto lattian rajassa ja lisäksi lattia lämpöeristetty. Viimeksi mainitulla ilmanvaihtojärjestelyllä oli pystysuuntainen lämpötilajakauma tasaisin.

Ilmanvaihto

Sijoittamalla tuloilma-aukko kiukaan yläpuolelle ja poistoilma-aukko istuinlauteen ja lattian väliin ulottuvat löylynheiton vaikutukset myös saunan alaosaan. Lisäksi tuloilma sekoittuu suoraan saunan yläosan ilmaan eli kylpijoiden hengitysilmaan.

Jos sekä tulo- että poistoilma-aukot sijaitsevat saunan alaosassa, syntyy alaosassa oikosulkuvirtaus, eikä raitisilma sekoitu kylpijöiden hengitysilmaan.

Kun tuloilma johdetaan lattian rajaan, pysyvät lattian rajan ja jalkalaudetason lämpötilat alhaisina, kylmänä vuodenaikana jopa liian viileinä. Tällä on vaikutusta myös saunan alaosien kuivumiseen, mikä voi estää mm. lahovaurioita ja hajuhaittoja.

Tämän tutkimuksen yhteydessä suoritettut lämpötila- ja kosteusmittaukset sekä tehdyt visuaaliset havainnot tukevat sellaista ilmanvaihtojärjestelyä, jossa tuloilma johdetaan saunaan kiukaan yläpuolelle ja ilman poisto tapahtuu istuinlauteen ja lattian rajan väliseltä korkeudelta. Tämä edellyttää, että saunassa on koneellinen poistoilmanvaihto.

Muita huomioita

- Edellä olevat tulokset perustuvat koesaunassa suoritettuihin mittauksiin eikä toistaiseksi ole vielä tutkittu kylpijöiden omakohtaisia havaintoja esitetyistä asioista.
- Käytännössä saunojen tiiviys poikkeaa oleellisesti koesaunan tiiviydestä. Esimerkiksi löylyhuoneen oven alla oleva rako voi muuttaa oleellisesti tilannetta sen mukaan, mihin suuntaan ilma kulkee raossa.
- Tuloilma-aukot saunassa tulee varustaa sopivilla päätte-elimillä (ilman hajottimilla), jotta ilma saadaan hyvin sekoittumaan ja vältetään kylmän tuloilman aiheuttama "vedon" tunne. Ilmanvaihdon määrää tulee voida helposti säätää.
- Jos termostaatin anturi on kiukaassa, saunan alaosan kylmä ilmakerros vaikeuttaa termostaatin toimintaa, varsinkin, kun tuloilma tuodaan kiukaan taakse termostaatin viereen.

LÄHDELUETTELO

- /1/ Äikäs, E. Saunan tärkeät tekijät: Sisäilmasto ja ilmanvaihto. Sauna 1986:4, s. 12 - 19.
- /2/ Äikäs, E. Saunan ilmanvaihto. Sauna 1987:1, s. 39.

| | | |
|---|---|--------------------|
| Tekijät Äikäs, Erkki Holmberg, Rolf | Projektin nimi Sauna 2000 | |
| Nimeke Saunan lämpötilat ja ilmanvaihto | Toimeksiantaja Harvia Oy, Honkarakenne Oy, Oy Saunatec Ltd, Suomalaisen Saunan Tutkimussäätiö, UPO Oy, Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) | |
| Tiivistelmä <p>Tutkimuksessa selvitettiin ilmanvaihtoaukkojen sijoituksen vaikutusta saunan lämpötilajakaumaan ja ilmanvaihdon toimivuuteen. Kosteuden jakautumista saunassa löylynheiton yhteydessä selvitettiin myös. Kokeissa käytettiin koneellista poistoilmanvaihtoa.</p> <p>Tasainen pystysuuntainen lämpötilajakauma saunassa edellyttää saunailman hyvää sekoittumista. Käytännössä saunailman lämpötilaa kylmempi tuloilma pyrkii aina "valumaan" alaspäin. Saunassa saunomistilanteessa normaalilämpöinen huoneilma on jo "kylmää ilmaa", joka valuu alas saunan lattialle, ellei sitä saada sekoittumaan saunan sisällä kiertävään ilmamassaan. Talvipakkasilla ilmiö on vielä voimakkaampi, mikäli tuloilmaa ei ole esilämmitetty. Jotta saunan alaosaan ei muodostuisi kylmää ilmavyöhykettä, on tuloilma johdettava kiukaan yläpuolelle, josta se sekoittuu saunan kiertoilmaan. Tällöin myös löylynheiton vaikutukset ulottuvat saunan alaosaan. Saunan yläosan ilman sekoittumista saunan alaosaan ilmaan edistää poistoilma-aukon sijoittaminen saunan alaosaan. Lattian lämmöneristys parantaa saunan alaosaan lämpenemistä.</p> | | |
| Toimintayksikkö LVI-tekniikan laboratorio, Lämpömiehenkuja 3, PL 206, 02151 ESPOO | | |
| ISSN ja avainnimeke 1235-0605 VTT TIEDOTTEITA - MEDDELANDEN - RESEARCH NOTES | | |
| ISBN 951-38-4325-4 | Kieli suomi, engl. tiiv. | |
| Luokitus (UDK) 725.73:643.52:697.9 | Avainsanat saunas, ventilation, temperature measurement, temperature distribution, air circulation, air flow, air intake, baths, ducts, outlets, vents, humidity, heating, HVAC | |
| Myynti: VTT, Informaatiopalvelulaitos PL 42, 02151 ESPOO Puh. (90) 456 4404 Telekopio (90) 456 4374 | Sivuja 34 s. | Lisätietoja |
| Hinta A | | |



| | | |
|---|---|-------------|
| Authors Äikäs, Erkki Holmberg, Rolf | Name of project Sauna 2000 | |
| Title Temperature and ventilation of the Finnish sauna | Commissioned by Harvia Oy, Honkarakenne Oy, Oy Saunatec Ltd, Suomalaisen Saunan Tutkimussäätiö, UPO Oy, Technical Research Centre of Finland (VTT) | |
| Abstract <p>Measurements were taken in a sauna in order to study how the positions of the air inlets and outlets affect the temperature distribution and the functioning of the ventilation. The distribution of humidity when throwing water on the stove in a sauna was also measured. The sauna was equipped with mechanical exhaust air ventilation.</p> <p>A good mixing of the air in the sauna is a prerequisite for an even vertical temperature distribution. In practice, air which is colder than the sauna air tends to flow downwards. In a bathing situation, air of normal room temperature is cold and flows down towards the sauna floor unless it is forced to mix with the air circulating in the sauna. During cold winter days the phenomenon is even more prevalent unless the inlet air is heated. In order to prevent the formation of a cold air zone in the lower part of the sauna, the inlet air must be supplied above the stove, where it is mixed with circulating sauna air. In this way, the effect of steam from water thrown on the stove also reaches the lower part of the sauna. The mixing of air from the upper part of the sauna with air from the lower part is further increased by placing the air outlet in the lower part of the sauna. Insulating the floor also increases the warming of the lower part of the sauna.</p> | | |
| Activity unit Laboratory of Heating and Ventilation, Lämpömiehenkuja 3, P.O.Box 206, SF-02151 ESPOO, Finland | | |
| ISSN and series title 1235-0605 VTT TIEDOTTEITA - MEDDELANDEN - RESEARCH NOTES | | |
| ISBN 951-38-4325-4 | Language Finnish, Engl. abstr. | |
| Class (UDC) 725.73:643.52:697.9 | Keywords saunas, ventilation, temperature measurement, temperature distribution, air circulation, air flow, air intake, baths, ducts, outlets, vents, humidity, heating, HVAC | |
| Sold by VTT, Information Service P.O.Box 42, SF-02151 ESPOO, Finland Phone internat. + 358 0 456 4404 Fax + 358 0 456 4374 | Pages 34 p. Price group A | Note |

