



VAKOLA

Uusi osoite:
03450 OLKKALA
puh 013-46211
RUKKILA
00001 HELSINKI 100
90-563 3133

VALTION MAATALOUSKONEIDEN TUTKIMUSLAITOS
FINNISH RESEARCH INSTITUTE OF ENGINEERING IN AGRICULTURE AND FORESTRY

TUTKIMUSSELOSTUS N:o 21

Tapio Ketola

KOTIMAISET POLTTOAINEET, NIIDEN KÄYTTÖÖN
SOVELTUVAT KATTILATYYPIT JA KATTILOIDEN
KOETUSMENETELMÄ

Helsinki 1979

ISSN 0506-3841

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
JOHDANTO	
TIIVISTELMÄ	
SAMMANFATTNING	
1. LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN VALINTANÄKÖKOHTIA	1
2. POLTTOAINEET JA NIIDEN OMINAISUUDET	4
3. KATTILATYYPIT JA ERI POLTTOAINEIDEN SOVELTUVUUS NIIHIN	10
4. PALOTURVALLISUUS	13
5. KIINTEÄTÄ KOTIMAISTA POLTTOAINETTA KÄYTTÄVIEN KATTILOIDEN KOETUSMENETELMÄ	15
LÄHDELUETTELO	27

JOHDANTO

Maatalouskoneiden tutkimuslaitos sai vuodelle 1979 maatilatalouden kehittämisrahastosta apurahan "monipolttoainekattiloiden koetus"-tutkimusta varten. Koetusmenetelmän lisäksi laitos velvoitettiin tekemään suunnittelijoita ja käyttäjiä palveleva ohjekirjanen. Tutkimuksen johtajana on ollut VAKOLAn johtaja, prof. Alpo Reinikainen. Valvojakunnan puheenjohtajana on ollut DI Jorma Puustinen ja sihteerinä DI Jukka Ahokas sekä jäsenenä teknillinen johtaja Pertti Hallio ja DI Teuvo Tuominen. Tutkimus on tehty valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitoksen ja valtion teknillisen tutkimuskeskuksen LVI-tekniikan laboratorion kanssa yhteistyössä ja päätutkijana on ollut DI Tapio Ketola.

Tutkimuksen alkuperäisestä nimestä on luovuttu, koska tutkimus sisälsi koetusmenetelmän lisäksi ohjeiden teon ja koska käsite monipolttoainekattila on harhaanjohtava. Jos kattila on suunniteltu usealle polttoaineelle, se on yleensä keskinkertainen ominaisuuksiltaan.

Koska kattilamarkkinoilla on teknisesti, paloturvallisesti ja varusteiltaan hyvinkin erilaatuisia laitteita ja koska kattiloiden käyttöohjeet ovat useasti puutteelliset, valvojakunta suosittelee, että julkista rahoitusta myönnettäisiin vain sellaisten kattiloiden hankintaan, joista on saatavissa virallinen koetusselostus.

TIIVISTELMÄ

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on ollut selvittää kotimaisia kiinteitä polttoaineita ja niiden käyttöön soveltuva polttotekniikka, koota paloturvallisuusasioita sekä saada aikaan sopiva koetusmenetelmä.

Jos kattilaa aiotaan käyttää suoraan lämmitykseen, on otettava huomioon, että keskimääräinen tehontarve vuoden aikana on 20...25 % nimellistehosta. Tällöin on varmistuttava, että kattila toimii moitteettomasti myös pienillä tehoilla.

Varaajakäytössä kattilaa kuormitetaan jaksoittain täydellä teholla ja lämpö varastoituu varaajaan. Etuna on, että kattilaa voidaan aina käyttää parhaalla hyötysuhteella. Haittana ovat varaajan lämpöhäviöt.

Kotimaisten polttoaineiden, puun, turpeen ja oljen suuri haihtuvien aineiden osuus tekee ne poltto-ominaisuuksiltaan aivan erilaisiksi kuin esimerkiksi koxin ja antrasiitin. Jälkipalotilan on oltava sitä suurempi mitä enemmän polttoaine sisältää haihtuvia aineita.

Kotimaisille polttoaineille soveltuvat kattilatyyppit ovat yläpalo-kattila, alapalokattila, käänteispalokattila ja etupesä. Yläpalo-kattila vaatii pienin erin ja lyhyin väliajoin tapahtuvaa polttoaineen lisäystä. Alapalo- ja käänteispalokattiloissa on useimmiten varastopesä ja ne toimivat panossyöttöisinä. Etupesää voidaan käyttää tavallisten öljykattiloiden yhteydessä. Etupesässä polttoaine kaasutetaan ja johdetaan kattilaan, jossa se palaa.

Tällä hetkellä ei ole olemassa pienten kiinteiden polttoaineiden kattiloiden paloturvallisuusohjeita ja -määräyksiä. Kattiloissa ja kattilahuoneissa pitäisi kiinnittää huomiota kotimaisten polttoaineiden helpompaan syttyvyyteen, polttoainesäiliön aiheuttamaan palovaaraan, polttoainesyötön turvallisuuteen, hormin oikeaan kokoon, epätäydellisen palamisen vaaroihin, kattilan luukkuihin ja palamissäädön nopeuteen.

Käytön ja koetuksen kannalta on tärkeää, että käyttöohjeet ovat riittävät. Koetus on tehtävä kattilan käyttöohjeiden mukaisesti. Koetuksessa mitataan kattilan suurin teho, 1/2-teho ja 1/4-teho sekä lasjetaan kattilan hyötysuhde. Tämän lisäksi tarkataan kattilan sytyttämistä, polttoaineen syöttöä, nokeentumista, tuhkanpoistoa, puhdistusta, kattilanhoitoon kuluvaa aikaa ja paloturvallisuutta.

SAMMANFATTNING

Projektets syfte har varit att utreda inhemska bränslen och för dessa lämpliga förbränningstekniker, sammanställda aspekter på brandsäkerheten samt åstadkomma ett lämpligt provningsprogram.

Om pannan används till direkt värmning måste man beakta, att det genomsnittliga effektbehovet under ett helt år är 20...25 % av nominella effekten. Därför måste man i detta fall säkerställa en klanderfri funktion även vid små effekter.

Vid användande av värmeaccumulatorer eldas pannan frekvent med full effekt, varvid värmen tas upp i accumulatorn. Fördelen härmed är, att pannan alltid kan eldas med en hög verkningsgrad. En nackdel är accumulatorns värmeförluster.

Den stora andelen av flyktiga ämnen i våra inhemska bränslen trä, torv och halm medför att de till sina förbränningsegenskaper mycket skiljer sig från t.ex. koks och antrasit. Den sekundära förbränningskammaren måste vara ju större ju högre andel flyktiga ämnen bränslet innehåller.

Lämpliga panntyper för inhemska bränslen är underförbränningspannan, överförbränningspannan, pannan med omvänd bränning och förugn. Överförbränningspannan kräver en tät bränsletillförling i små portioner. Underförbränningspannorna och överförbränningspannorna är oftast försedda med lagerkammare och de fungerar med satsmatning. Förugn kan användas i konventionella oljepannor. I förugnen flyktas bränslet och leds till pannan, där det förbränns.

För tillfället finns det inga brandsäkerhetsanvisningar eller föreskrifter för små pannor för fasta bränslen. I pannorna och pannrummen borde man fästa uppmärksamhet vid följande föranlett av användandet av inhemska bränslen: bränslen är lättare antändbara, bränsleförrådet innebär en brandrisk, säker bränsletillförsel, rökkanalernas rätta dimensionering, faror medförda av ofullständig förbränning, pannans öppningar (luckor mm.) och hastigheten av förbränningens inställning.

Bruksanvisningen bör vara utförlig med tanke på användningen och provningen, vilken bör utföras enligt anvisningen. Vid provningen mätes pannans högsta effekt, 1/2-effekt och 1/4-effekt och pannans verkningsgrad bestäms. Dessutom iakttas pannans tändning, bränsletillförsel, nedosning, avlägsnande av förbränningsrester, rengöring, pannskötselns tidåtgång samt brandsäkerhet.

1. LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN VALINTANÄKÖKOHTIA

Yleistä

Suunniteltaessa lämmitystä kotimaisilla polttoaineilla tulee ensimmäiseksi eteen kysymys lämmitysjärjestelmästä. Riittääkö pelkkä kattila ilman varaajaa eli suora lämmitys vai pitäisikö hankkia myös varaaja?

Ennen kattilan hankintaa on myös selvitettävä, mitä polttoainetta ensisijaisesti aiotaan käyttää. Vaikka esitteessä useimmiten mainitaan kattilan sopivan kaikille kotimaisille polttoaineille, ei tämä merkitse sitä, että kattila toimii jokaisella polttoaineella yhtä hyvin tai edes tyydyttävästi. Siksi on varmistettava, että hankittava kattila toimii moitteettomasti juuri sillä polttoaineella, mitä käyttäjä itse aikoo siinä polttaa. Käytettävän polttoaineen kosteuden ja palakoon sopivuus kannattaa myös varmistaa.

Ennenkuin vanha öljykattila vaihdetaan, ja useimmiten melko kalliiseen kiinteään polttoaineen kattilaan, kannattaa ottaa huomioon etupesän käyttömahdollisuudet. Etupesän voi asentaa vanhan öljykattilan yhteyteen, jolloin voidaan päästä halvemmalla kuin ostamalla kokonaan uusi kattila.

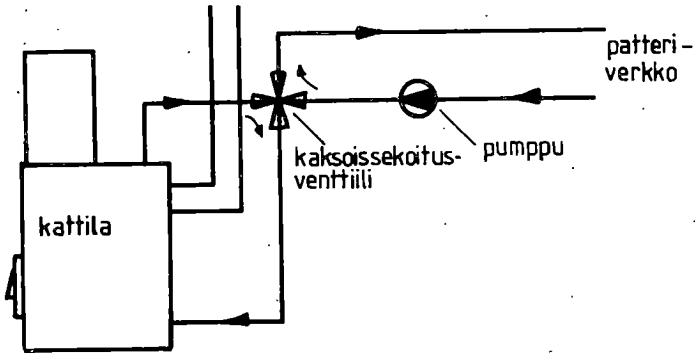
Suora lämmitys

Jos päädytään suoraan lämmitykseen tämä on otettava huomioon myös kattilaa valittaessa. Yksi kriteeri on kattilan teho. Nimellisteho valitaan vuoden suurimman kuormituksen mukaan. On kuitenkin otettava huomioon, että kattila toimii nimellistehollaan vain muutaman päivän vuodessa. Keskimääräinen tehontarve vuoden aikana on 20...25 % nimellistehosta. On siis syytä varmistaa, että kattila toimii moitteettomasti myös pienillä tehoilla. Tämä selviää koetusselostuksesta, jos kattila on koetettu.

Myös kattilan hoitovälin pitäisi olla riittävän pitkä, ettei lämmittäminen muodostuisi rasitteeksi.

Ongelmallisinta suorassa lämmityksessä on kesäaika, jolloin lämmitykseen tarvitaan tuskin ollenkaan tehoa ja lämpimän käyttöveden

kulutus on hyvin epätasaista. Kattilan pitäisi toimia lähellä tyhjäkäyntitehoa. Tämä on harvoin edes mahdollista nykyisissä kiinteän polttoaineen kattiloissa. Lisäksi hyötysuhde on lähes olematon ja kattila likaantuu nopeasti. Pieni, hyvin eristetty varaaja lämpimän käyttöveden valmistamiseksi helpottanee lämmitystä kesäaikana.



Kuva 1. Alapalokattila ja suora lämmitys. Patteriverkko on kytketty kattilaan kaksoissekoitusventtiilin avulla.

Varaaja

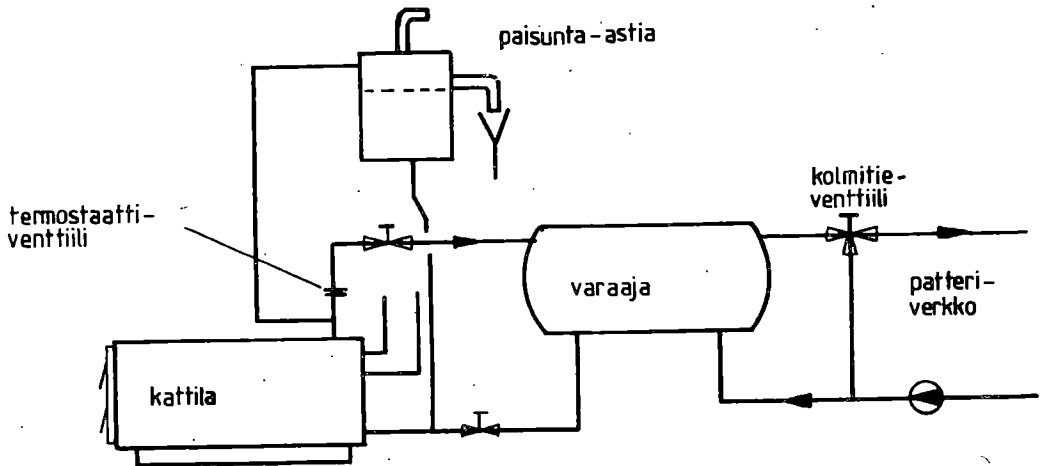
Varaajan käyttö perustuu siihen, että kattilaa kuormitetaan täydellä teholla määrättyissä jaksoissa ja lämpö varastoituu riittävän tilavaan varaajaan. Sieltä lämpö siirtyy pattereihin. Etuna on se, että kattilaa voidaan käyttää sen parhaalla hyötysuhteella, eikä likaantumistakaan tapahdu niin paljon kuin pienillä tehoilla. Myöskään pienillä kuormituksilla ei esiinny samoja hankaluuksia kuin suorassa lämmityksessä.

Käsitäyttöisissä yläpalokattiloissa varaaja on lähes välttämätön, ettei lämmitystyö muodostuisi kohtuuttomaksi. Alapaloisissa kattiloissa varastopesä kuitenkin jo varmistaa pitkän paloajan, joten se, hankitaanko varaaja varastopesälliseen kattilaan, on jokaisen omalla kohdallaan punnittava erikseen.

Varaajan koon valintaan vaikuttaa lämmitettävän tilan suuruus ja se kuinka pitkäksi ajaksi kuumaksi lämmitetyn varaajan lämmön pitää riittää. Varaajan minimikoko määräytyy siten, että se pystyy vastaanottamaan kiehumatta kattilan kertapanostuksen energian. Toi-

saalta varaajan kokoa rajoittaa tila, johon se sijoitetaan ja se, että varaajan koon kasvaessa sen lämpöhäviöt kasvavat samassa suhteessa kuin sen pinta-ala. Varaajan lämpöhäviöiden kannalta onkin tärkeätä, että eristys on tarpeeksi paksu. Suositeltava eristyspaksuus käytettäessä mineraalivillaa on 200...300 mm. Varaajahäviöiden vähentämiseksi voidaan kesäajan pientä lämmöntarvetta varten hankkia toinen pienempi varaaja.

Jos varaaja jäädyttää kattilaa liian voimakkaasti, kattilaveden lämpötilan nousu normaaliksi kestää kauan. Siitä seuraa, että kattila jäähtyy liikaa ja polttoaineen palaminen kylmässä kattilassa ei ole täydellistä. Siksi kattila-varaaja-lämmitysjärjestelmän lämmönsiirto on hyvä järjestää termostaattiohjatuksi siten, että lämpö siirtyy kattilasta varaajaan vain silloin, kun kattilavesi on vähintään 80 asteista. Termostaatti ohjaa kattilan ja varaajan välillä olevaa pumppua tai luonnonkierrossa venttiiliä.



Kuva 2. Esimerkki liitännästä, jossa yläpalokattilan ja varaajan välillä ei ole pumppua. Patteriverkko on kytketty varaajaan. Lämmitystä säädetään kolmitieventtiilillä. Kattilan ja varaajan lämmönvaihtoa säätelee termostaattiventtiili, joka aukeaa kun lämpötila on kohonnut vähintään 80°C:een.

Ilmalämmitys

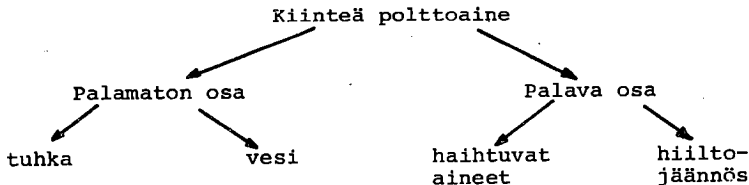
Suora ilmalämmitys soveltuu huonosti kiinteään polttoaineen kattiloille, koska suuret lämmönvaihtelut ovat mahdollisia esimerkiksi sähkökatkoksen aikana, kun puhallin pysähtyy. Tämä rasittaa tulipesää ja saattaa aiheuttaa halkeamia.

2. POLTTOAINEET JA NIIDEN OMINAISUUDET

Puun, turpeen ja oljen palamisominaisuudet ja niiden vaikutus kattilan rakenteeseen

Kiinteiden polttoaineiden polttoarvo määräytyy monen ominaisuuden perusteella. Näistä tärkeimpiä ovat:

- tehollinen lämpöarvo
- hiilipitoisuus
- haihtuvien aineiden määrä
- hiiltojäännös
- tuhkapitoisuus
- tuhkan sulamispiste
- kosteuspitoisuus
- polttoaineen laadun tasaisuus niin palakoon kuin kosteuden suhteen



Kuva 3. Yksinkertaistettu kaavio kiinteään polttoaineen rakenteesta.

Kotimaisten polttoaineiden, puun, turpeen ja oljen suuri haihtuvien aineiden osuus tekee ne poltto-ominaisuuksiltaan aivan erilaisiksi kuin esimerkiksi kooksi ja antrasiitti. Haihtuvien aineiden osuus on puussa 75...85 %, turpeessa 60...70 %, oljessa 70...80 %, koksi- sissa 18...27 % ja antrasiitissa 3...8 %.

Palamistapahtuman aikana haihtuu ensin vesi, sen jälkeen muut haihtuvat aineet ja viimeiseksi palaa hiiltojäännös.

Mitä suurempi on polttoaineen haihtuvien aineiden osuus sitä enemmän ne vaativat jälkipalotilaa.

Polttoaineen tuhkapitoisuus ja tuhkan sulamispiste vaikuttavat kattilan arinan ja tuhkapesän rakenteeseen.

Polttoaineen kosteus vaikuttaa hyvin paljon polttotekniikkaan ja lämpöarvoon. Kosteuden aiheuttamia haittoja ovat:

- Polttoaineen tehollinen lämpöarvo laskee.
- Palamislämpötila laskee, josta seuraa, etteivät haihtuvat aineet pala täydellisesti ja kattilan teho laskee. Tämän estämiseksi toisioilma on lämmitettävä.
- Lisääntynyt vesimäärä savukaasuissa aiheuttaa lisääntyvän syöpymisvaaran.
- Kattila pikeentyy, jolloin teho laskee edelleen.
- Kattilan puhdistustyö vaikeutuu.
- Nokipalovaara savuhormissa.
- Kostea hake jäätyy talvella kylmässä varastossa.

Polttopuu

Tuoreen havupuun rungon kosteus on 50...55 % ja tuoreen lehtipuun rungon noin 45 %. Tuorehakkeen (runkopuu + lehdet + neulaset) kosteus saattaa olla yli 55 %.

Kaatamalla puu rasiin 4...6 viikoksi saadaan sen kosteuspitoisuus laskemaan jopa 30:een prosenttiin.

Lehtipuun paras rasiinkaatoaika on maaliskuusta elokuun puoliväliin asti, havupuun maaliskuusta kesä-heinäkuun vaihteeseen ja huonoiten rasiin kaadettavaksi soveltuvan männyn maaliskuusta kesäkuun puoleenväliin.

Rasiin kadon etuja:

- nopea ja halpa kuivatus
- havut ja suurin osa lehdistä jää metsään
- hakekuutiometrin painonvähennys on 50...100 kg, mikä helpottaa sen käsittelyä
- saadaan riittäisempää polttoainetta

Rasiin kaadon varjopuolia:

- työ pitää tehdä kahdessa erässä
- puuta on jonkin verran vaikeampi hakettaa

Hakkeen kosteuspitoisuuden pitäisi olla alle 30 %, jotta se säilyisi pilaantumatta varastossa. Se kuivuu huonosti ilman erikoisjärjestelyjä. Sen sijaan halkovajaan varastoidun halon kosteus alenee jopa n. 15 %:een asti.

Puun kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo on koivun 19,4 MJ/kg, kuuseñ 19,0 MJ/kg, männyn 19,4 MJ/kg, lepän 18,5 MJ/kg ja haavan 18,4 MJ/kg. Kosteuden vaikutus teholliseen lämpöarvoon saadaan kaavasta:

$$H_a = H_{ak} (1 - w) - 2,443 w \text{ (MJ/kg)}$$

w = vesipitoisuus, massaosuus (kg/kg) = polttoaineen kosteusprosentti/100

H_{ak} = kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo (MJ/kg)

Esimerkiksi koivulle saadaan 15 % ja 30 % kosteuksia vastaaviksi lämpöarvoiksi

$$15 \% : 19,4 (1 - 0,15) - 2,443 \cdot 0,15 = 16,1 \text{ MJ/kg}$$

$$30 \% : 19,4 (1 - 0,30) - 2,443 \cdot 0,30 = 12,8 \text{ MJ/kg}$$

Hakkeen tilavuuspaino on koivun 200...400 kg/m³, kuusen 160...320 kg/m³ ja männyn 175...350 kg/m³. Halkojen tilavuuspaino riippuu niiden kosteudesta, paksuudesta ja suoruudesta. Koivuhalkojen tilavuuspaino on 400...500 kg/m³, kuusihalkojen 350...450 kg/m³ ja mäntyhalkojen 350...420 kg/m³.

Polttoturve

Poltoon soveltuvat jyrsinturve, palaturve ja briketti.

Jyrsinturpeen kosteus on 40...55 %. Tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa on noin 10 MJ/kg. Jyrsinturvetta ei yleensä polteta kattiloissa, joiden teho on alle 5 MW. Tilavuuspaino käyttökosteudessa on 300...400 kg/m³.

Palaturpeen kosteus on 30...45 % ja lämpöarvo käyttökosteudessa noin 13 MJ/kg. Tilavuuspaino käyttökosteudessa on 300...400 kg/m³.

Turvebriketin kosteus on 10...15 % ja lämpöarvo käyttökosteudessa noin 18 MJ/kg. Briketin tiheys on 1,2...1,4 kg/dm³. Irtotilavuuspaino on noin 750 kg/m³ ja ladottuna noin 1000 kg/m³.

Turpeen kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo vaihtelee hieman maatumisasteen ja tuhkapitoisuuden mukaan, mutta keskimäärin se on noin 20 MJ/kg (ks. liite 1).

Olki

Oljen kosteus on korjuuajan säistä riippuen 20...60 %. Polttoaineksi tarkoitetun oljen kosteus olisi pyrittävä pitämään alle 30 prosentin. Tätä kosteamman oljen poltto on yleensä kannattamatonta, koska palamislämpötila useimmissa kattiloissa ei pysy riittävän korkeana. Tämän seurauksena palaminen ei ole täydellistä ja kattila pikeentyy nopeasti. On laskettu, että Suomessa voidaan joka toisena vuonna odottaa vähintään 11...12 sellaista päivää, jolloin oljen kosteus leikkuupuintikarholla laskee alle 30 prosentin. Yhtenä vuonna 12:sta näitä päiviä on odotettavissa alle 6 tai yli 19.

Oljen kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo on viljalaadusta ja kasvuolosuhteista riippuen 16,0...19,0 MJ/kg. Oljen, jonka kosteus on 30 %, lämpöarvo on 11,0...12,0 MJ/kg.

Oljen pieni tilavuuspaino ja suuri tilantarve tuottaa vaikeuksia suunniteltaessa kattilan luokkuja ja tulipesää sekä palamisilman syöttöä. Irto-oljen tilavuuspaino varastossa on 30...50 kg/m³, särmäpaalien noin 70 kg/m³ ja pyöröpaalien noin 100 kg/m³.

Tukilämmitys

Useimpiin kiinteän polttoaineen kattiloihin on varattu mahdollisuus käyttää myös öljypoltinta ja/tai sähkövastuksia. Mutta jos kattila ja savupiippu on suunniteltu jotakin kiinteää polttoainetta varten, ei öljyn tai sähkön käyttö siinä ole kannattavaa, sillä hyötysuhde jää useimmiten huonoksi. Tämän vuoksi on alettu tehdä kaksoispesä-kattiloita, joissa sekä kiinteälle polttoaineella että öljylle on oma tulipesä. Paras ratkaisu on, että öljy ja kiinteä polttoaine poltetaan täysin erillään siten, että kummallakin on myös oma savuhormi.

Öljyä tai sähköä voidaan kuitenkin käyttää kuormitushuippujen aikana, varalämmönlähteenä ja talon jäädessä tyhjilleen esimerkiksi loman ajaksi. Niitä voidaan käyttää myös termostaattiohjattuna siten, että ne kytkeytyvät kun kiinteä polttoaine loppuu tai sen teho ei riitä.

Polttoaineen syöttö

Kattilat voidaan jakaa käsisyöttöisiin, panossyöttöisiin ja automaattisyöttöisiin.

Käsisyöttöisissä kattiloissa polttoaine pannaan suoraan palotilaan. Ne ovat yleensä yläpalokattiloita, joihin polttoaine syötetään pienissä erissä ja usein, jotta palaminen sujuisi moitteettomasti.

Automaattisyöttöisissä kattiloissa polttoaine syötetään koneellisesti joko ruuvi- tai kolakuljettimella. Syöttöruuvi sopii hyvin yläpalokattiloihin, jotka käsisyöttöisinä olisivat työläitä sekä palaisivat epätasaisesti ja huonolla hyötysuhteella. Ruuvisyöttöön sopii vain hyvin tasalaatuinen polttoaine, esimerkiksi hake tai puru, jotta ruuvi toimisi häiriöttä.

Kolakuljetin sopii alapaloiisiin kattiloihin, jotka täytetään päältäpäin.

Panossyötössä polttoaine valuu itsestään painovoiman vaikutuksesta palamisen edistyessä palotilaan. Sitä käytetään alapalo- ja käänteispalokattiloissa. Erikorkuisilla varastopesillä saadaan kattilalle eripituisia yhtäjaksoisia paloajoja.

Palamisen kannalta on kuitenkin syöttötavasta riippumatta tärkeintä, että syöttö on mahdollisimman tasaista.

Poltto

Kattiloiden, joissa poltetaan puuta, turvetta tai olkea, on täytettävä seuraavat perusvaatimukset, jotta palaminen olisi tyydyttävää.

- Palamisilmajärjestelmän on oltava lämmöntarpeen mukaan ohjattava, jotta voidaan säätää palamisilman kokonaismäärä sekä primääri ja sekundääri-ilman keskinäistä suhdetta.
- Palamisilman ja polttoaineen on sekoitettava kunnollisesti.
- Palamisilma tulisi esilämmittää hyvän palamisen varmistamiseksi varsinkin kosteita polttoaineita käytettäessä.

- Polttoaineen kiinteän ja haihtuvan osan syttymisen edellyttämien vähimmäislämpötilojen on vallittava sekä tuli- että lieskapesässä oikeilla kohdilla.
- Tuli- ja lieskapesien lämpötilojen tulee pysyä syttymisen edellyttämissä lämpötiloissa.
- Tuli- ja lieskapesien tilavuuksien tulee olla riittävän suuret, jotta varsinkin haihtuville aineille jäisi riittävästi tilaa ja aikaa palaa täydellisesti ennen konvektiopintoja.
- Polttoaineen syötön tulipesään tulee olla tasaista.
- Tuhkanpoiston tulee tapahtua siten, että kerääntyvä tuhka ei vaikeuta polttoaineen eikä palamisilman virtaamista.
- Kattilan ja kattilaluukkujen tulee olla riittävän tiiviit, jotta palaminen voitaisiin hyvin hallita, eikä kattilavesi pienellä kuormalla kiehuisi.

Tuhkanpoisto

Tuhkan määrä, koostumus ja käyttäytyminen palon aikana määräävät arinan rakenteen. Puun tuhkapitoisuus on 0,4...0,7 %, turpeen 2...10 % ja oljen n. 4 %.

Puun tuhka on helppo hallita sen pienen määrän ja hienojakoisuuden vuoksi. Se varisee helposti melko tiheänkin arinan läpi. Lisäksi se on suhteellisen vaikeasti sulavaa. Sen sulamispiste on 1200...1400°C.

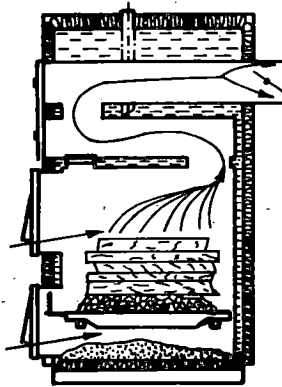
Turpeen- ja oljenpoltossa sen sijaan syntyy melko runsaasti tuhkaa, joka saattaa sulaa ja kovettua paakuiksi, jotka helposti tukkeavat arinan. Turpeen tuhkan sulamispiste on 1100...1200°C ja oljen noin 700°C. Turve- ja varsinkin olkikattiloissa on siis erityisesti kiinnitettävä huomiota arinan toimivuuteen ja tuhkapesän riittävään kokoon.

3. KATTILATYYPIT JA ERI POLTTOAINEIDEN SOVELVUTUUS NIIHIN

Yläpalokattilat

Yläpalokattilassa palaminen tapahtuu samanaikaisesti koko polttoainekerroksessa. Osa ilmasta tulee polttoainekerroksen läpi ja osa johdetaan palavaan vyöhykkeeseen. Tasainen paloteho vaatii pienin erin ja lyhyin väliajoin tapahtuvaa polttoaineen lisäystä. Menetelmä sopii vain pieniin tulipesiin. Ruuvisyöttimellä varustettuja yläpalokattiloita voidaan tehdä suurillekin tehoille.

Yläpalokattilat soveltuvat yleensä kaiken kiinteän polttoaineen polttamiseen roskista turpeeseen.

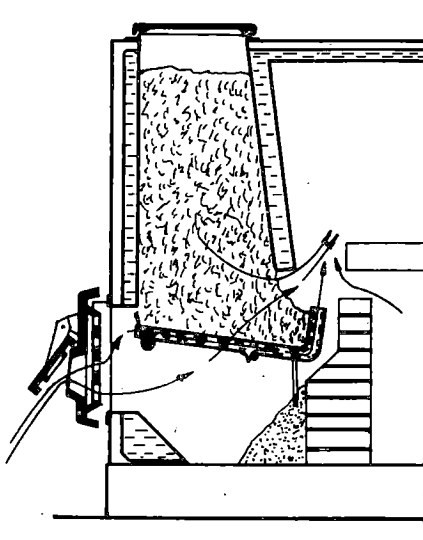


Kuva 4. Yläpalokattila

Alapalokattilat

Alapalokattilassa on tavallaan kaksi tulipesää; toinen toimii pääasiassa polttoaineen varastona, toinen puolestaan lieskapesänä, missä tapahtuu kaasujen lopullinen palaminen. Palamista tapahtuu vain polttoainekerroksen alaosassa. Näin palaminen jatkuu verrattain tasaisena koko täytöksen ajan. Lämmitystyö on huomattavasti vähäisempää yläpalokattilaan verrattuna.

Alapaloperiaatetta voidaan soveltaa kaikkien kotimaisten polttoaineiden polttoon.



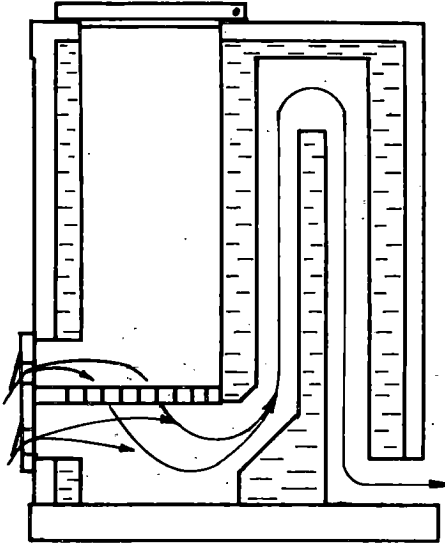
Kuva 5. Alapalokattila

Käänteispalokattilat

Kuten alapaloperiaatekin, mahdollistaa käännetyin palamisen periaate jatkuvan tasaisen palamisen. Nimensä mukaisesti palaminen suuntautuu alaspäin. Polttoaineen varastopesän ja lieskapesän välissä on tulenkestävästä materiaalista tehty raakoarina. Palaminen tapahtuu välittömästi arinan päällä olevassa polttoainekerroksessa. Primääri-ilma johdetaan tähän kerrokseen, minkä jälkeen palamistuotteet ja polttoaineen kaasuuntumisesta syntyneet kaasut tunkeutuvat arinarakojen läpi lieskapesään. Lieskapesässä kaasut palavat sinne syötet-

tävän sekundääri-ilman avulla. Palamista edistää kuuma arina, jonka läpi kulkiessaan kaasut kuumenevät voimakkaasti.

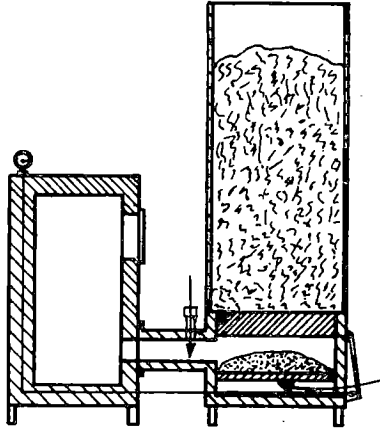
Myös käänteispolttoa voidaan soveltaa kaikkien kotimaisten polttoaineiden polttoon.



Kuva 6. Käänteispalokattila

Etupesä

Etupesän avulla voidaan tavallista öljykattilaa käyttää hyödyksi kiinteän polttoaineen poltossa. Etupesä vastaa polttoaineen varastosiiiloa, jonka alaosassa olevan ns. tuliharjan ja arinan päälle polttoaine valuu. Primääri-ilma johdetaan arinan alta polttoaineeseen, joka kaasuuntuu. Kaasu johdetaan tuliharjan alta tulitorveen, jonne johdetaan myös sekundääri-ilmaa. Tulitorvesta kaasu johdetaan kattilaan, missä se palaa. Etupesää asennettaessa on syytä kiinnittää huomiota etupesän ja tulitorven tiiveyteen, ettei kattila-huoneeseen pääse häkää. Etupesä soveltuu parhaiten pienen palakoon omaaville polttoaineille kuten hakkeelle ja sahajauholle.



Kuva 7. Etupesä

4. PALOTURVALLISUUS

Tällä hetkellä ei pienistä kiinteän polttoaineen kattiloista ja lämpökeskuksista ole selviä ohjeita ja määräyksiä. Seuraavassa on kuitenkin esitetty asioita, jotka pitää kattilan paloturvallisuudessa ottaa huomioon.

Kotimaiset polttoaineet syttyvät normaalilämpötilassa herkemmin kuin polttoöljy. Öljyn syttymisvaara keskittyy lähinnä tulipesään ja kotimaisten polttoaineiden myös tämän ulkopuolelle: varastopesään, savupiippuun ja kattilahuoneeseen.

Kotimaisista polttoaineista leviää helposti roskaa ja pölyä kattilahuoneeseen ja polttoainevarastoon, mikä lisää syttymisvaaraa. Mitä hienojakoisempaa polttoaine on, sitä herkemmin se syttyy. Kattilahuone ja polttoainevarasto on pyrittävä pitämään mahdollisimman puhtaana roskista ja pölystä.

Polttoaineen syöttö polttoainesäiliöstä painovoimaisesti voi päästää palamisen tulipesästä säiliön ulkopuolelle ja aiheuttaa palon. Polttoainesäiliön pitäisi olla erotettu tulipesästä luukulla, joka säiliön tyhjentessä sulkeutuu tiiviisti, ja säiliössä pitää olla tiivis kansi.

Jos säiliö on niin korkea, että se lävistää kattilahuoneen välikatkon pitäisi säiliön olla tehokkaasti eristetty palava-aineisista rakennusosista. Säiliön pää on tällöin kattilahuoneen osa, mikä edellyttää vastaavaa suojausta.

Säiliön koko ei saisi ylittää 5 m^3 . Mikäli kattilassa ei ole syöttösäiliötä, saataisiin kattilahuoneessa säilyttää enintään 5 m^3 polttoainetta seinämän takana, joka eristää sen kattilasta. Rakentamismääräyskokoelman määräykset E 1 "Rakenteellinen paloturvallisuus" edellyttävät, että osastoivat rakennusosat paloahdistavassa ja pidättävässä rakennusluokassa omaavat vähintään 30 minuutin palonkestoajan.

Säiliöllä varustetun kattilan savuhormin pitää olla niin korkea, että veto säilyy oikeana säiliötä täytettäessä. Kun kansi avataan hitaasti, savuhormin vedon tulee imeä säiliössä olevat palavat kaasut. Kattilan käyttöohjeista tulee selvästi ilmetä, miten pitää toimia kattilaa sytytettäessä ja polttoainetta lisättäessä, ettei syntyisi turhia vaaratilanteita.

Polttoaineen syöttö varastosta kuljettimen siirtämänä tulipesään voi varsinkin kuljetushäiriöiden sattuessa siirtää palamisen kuljettimen kautta varastoon. Kuljetin tulisi suojata niin, ettei palo pääse sen kautta siirtymään. Sprinkler-suuttimella varustettu vesisammutus lienee yksinkertaisin ratkaisu. On myös hyvä varmistaa, etteivät elevaattorin, hihnakuljettimen tai vetopyörän hihnat luista.

Jos polttoaineen palaminen on epätäydellistä, muodostuu tervamaisia aineita, jotka muodostavat tulipesän ja savuhormin seinämiin kiiltoononkeaa. Tämä syttyy helposti, kehittää suuren kuumuuden ja saattaa palaa pitkään. Hormi voi myös palaa tukkoon. Nokipalo voi rapauttaa tiilihormin tai kuumentaa teräshormin kantavan osan sortumisvaaraan asti. Nokipalon seurauksena saattaa myös ympäristö syttyä kipinöistä.

Hormien lämmöneristyksen palava-aineisiin rakenneseisiin täytyy olla riittävä.

Kattilat, joissa varapolttaineena on öljy, eivät aikaansaa kunnollista palamista toisella polttoaineista. Tulipesä ja savuhormit ovat toiselle polttoaineelle sopimattomat. Kotimaiselle polttoaineelle suunnitellun kattilan tulipesä on liian suuri öljylikelle.

Tästä aiheutuu savukaasun liiallista jäähtymistä, jolloin rikkihappopitoiset kondenssituotteet syövyttävät savuhormia nopeasti. Öljylle suunnitellun kattilan palotila puolestaan ei ole riittävän suuri kotimaisille polttoaineille, jolloin palaminen ei ole täydellistä ja kattilan sekä savuhormin pinnoille muodostuu rakkulatai kiiltonokea. Öljyn käyttö varapolttoaineena tulisi ratkaista varakattilalla, jolla on oma horminsa tai yhteisen hormin pitäisi kestää rikkihappopitoiset kondenssituotteet.

Suomen rakentamismääräyskokoelman ohje E 3 "Pienet savuhormit" sallii enintään 120 kW:n tulisijat yhdistettäväksi pieneen savuhormiin edellyttäen, ettei savukaasujen lämpötila ylitä +350°C eikä normaaliikäytössä alita +150°C. Poikkeamat näistä raja-arvoista edellyttävät erikoisrakenteita.

Kattilan luukkujen täytyy olla niin tiiviit, ettei sula tuhka pääse valumaan ulos. Tuhkanpoisto ja -käsittely pitää järjestää niin, ettei kuuma tuhka ja siihen jääneet palavat aineet aiheuta syttymisvaaraa.

Palamisen säädön pitäisi toimia niin nopeasti, että kuorman äkillinen lasku ei aiheuta kattilaveden kiehumista. Tämä edellyttää kattilan ja säätöluukkujen riittävää tiiviyyttä.

5. KIINTEÄTÄ KOTIMAISTA POLTTOAINETTA KÄYTTÄVIEN KATTILOIDEN KOETUSMENETELMÄ

Koetusolosuhteet

Käyttöohjeet

Kattilan asennuksen ja koestuksen kannalta on käyttöohjeista selvittävä ainakin seuraavat asiat:

- kattilan luukut, käyttötarkoitus
- kattilahuoneen ilma-aukon suuruus
- kattilan yhteet, käyttötarkoitus
- LVI-kytkentäohjeet
- sähkölaitteiden kytkentäohjeet ja -kaaviot
- luettelo puhdistusvälineistä ja niiden käyttötapa
- säätölaitteet ja puhallin, ohjeet
- termostaatti, säätöohjeet
- savuhormi, poikkipinta, korkeus/veto
- polttoaineet, joilla kattila toimii
- polttoaine, jota varten kattila on ensisijaisesti suunniteltu

- kuinka kosteaa tai kuivaa polttoainetta kattilassa kannattaa vielä polttaa
- lisälaitteet eri polttoaineita varten, ohjeet
- säädöt sytytyksen, lämmityksen ja täytön aikana eri polttoaineille
- polttoaineen syöttöohjeet ja syötön ajoitus
- sytytysohjeet
- tuhkanpoiston sekä puhdistuksen ohjeet ja ajoitukset
- nimellisteho eri polttoaineilla

Kattila

Ennen kokeiden aloittamista ja vaihdettaessa polttoainelaatua kattila puhdistetaan sen mukana seuraavilla puhdistusvälineillä.

Säätölaitteet ja puhallin

Kokeissa käytetään kattilan mukana seuraavia tai valmistajan suosittelemia säätölaitteita ja puhallinta.

Kattilan säätö

Kattila säädetään sen mukana seuraavien käyttöohjeiden mukaan. Käyttöohjeista pitää selvästi ilmetä ilmaläppien ja vetopeltien asennot eri polttoaineille sytytyksen, polton ja täytön aikana.

Savupiipun veto

Savupiipun poikkipinta ja korkeus/veto asetetaan käyttöohjeiden tai valmistajan suositusten mukaan.

Jatkuvuustila

Kokeet suoritetaan kattilan ollessa jatkuvuustilassa.

Polttoaine

Kokeissa on pyrittävä käyttämään polttoaineita, joiden ominaisuudet kuten kosteus, palakoko ja koostumus ovat mahdollisimman lähellä normaalien kauppalaatujen tai normaalisti käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia.

Kattilahuoneen lämpötila

Kattilahuoneen keskimääräinen lämpötila kokeiden aikana on $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Savukaasun lämpötila

Savukaasun lämpötilan pitää olla niin korkea, etteivät konvektio-pinnat tai savupiippu kohtuuttomasti syövy tai pikeenny. Lämpötila ei kuitenkaan saa ylittää 350°C . (ks. Suomen rakentamismääräysko-koelma E 3:n "Pienet savuhormit").

Savukaasun CO + H₂-pitoisuus

Kuivien savukaasujen CO + H₂-pitoisuus on pyrittävä pitämään alle 1,5 %. Jos CO + H₂-pitoisuus ylittää 2,5 % on syytä olettaa, että kattilan toiminnoissa on vajavaisuuksia tai, että kattilan säädöt eivät ole kohdallaan.

Kattilaveden lämpötila

Kattilatermostaatti säädetään käyttöohjeiden mukaan. Luonnonveto-kattiloille säätö on hyvä suorittaa kattilaveden ylemmän asetusarvon mukaan, jolloin ilmanottoaukkojen pitää olla kiinni. Puhallinkattiloille on ilmoitettava termostaatin ylempi asetusarvo, jossa puhallin pysähtyy ja alempi asetusarvo, jossa puhallin käynnistyy.

Kokeen aikana verrataan kattilan oman mittarin lämpötila-arvoja menoveden lämpötiloihin. Näiden tulisi olla mahdollisimman lähellä toisiaan.

Kattilavesi ei saa kiehua kuormituksen loppuessa kattilaveden lämpötilan ollessa ylemmässä asetusarvossaan. Tämä pitäisi myös kokeissa todeta.

Kattilaveden lämpötilan pitää kokeen alussa ja lopussa olla sama.

Kokeiden suoritus

Suora menetelmä

Kokeissa mitataan kattilaan viety ja siitä lämmönvaihtimen kautta hyödyksi saatu teho (ns. suora menetelmä). Koe aloitetaan kattilan saavutettua jatkuvuustilan. Jotta voitaisiin määrittää hyötysuhde tehon funktiona, suoritetaan kokeet nimellisteholla, 1/2-teholla

ja 1/4-teholla. Kunkin kokeen kesto on 4 tuntia.

Jos kattilan on tarkoitus toimia vain varaajan yhteydessä ja valmistajan ilmoittama minimiteho on suurempi kuin 1/4 tai 1/2 nimellistehosta, ajetaan viimeinen koeajo tällä minimiteholla. Tällöin kattilasta mitataan myös sen omaan lämpiämiseen kulunut aika ja polttoainemäärä.

Lisäksi suoritetaan lämpimän käyttöveden koe.

Kokeissa selvitetään myös kattilan käyttöominaisuudet kullakin teholla.

Nimellisteho

Koeajetaan kattila valmistajan ilmoittamalla nimellisteholla tai suurimmalla teholla.

Savukaasun lämpötila ei saa ylittää 350°C.

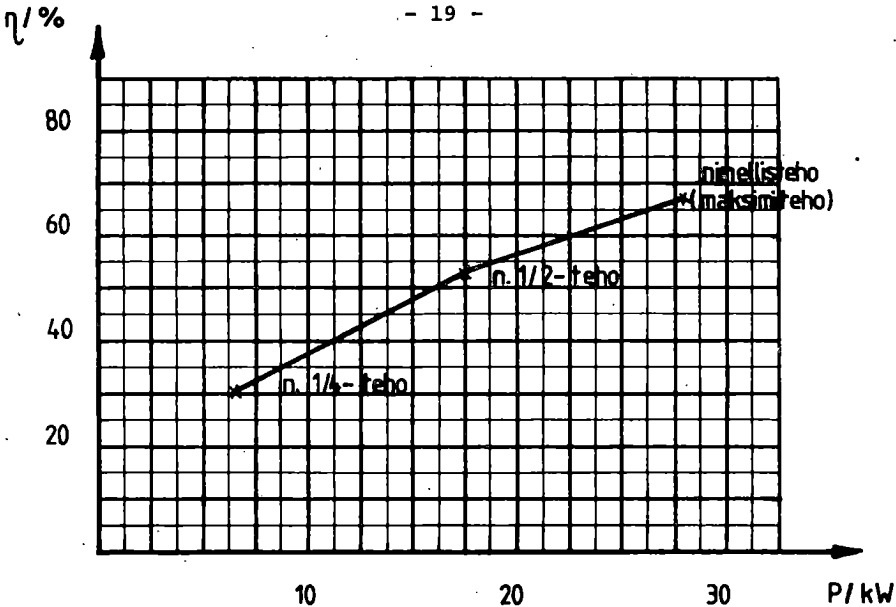
Kattilaveden lämpötila ei saa laskea alle 60°C.

1/2-teho

Koeajetaan kattila teholla, joka on 50 ± 10 % nimellistehosta tai mitatusta suurimmasta tehosta. Tehoa pienennetään kuormitusta muuttamalla.

1/4-teho

Koeajetaan kattila teholla, joka on 25 ± 5 % nimellistehosta tai suurimmasta mitatusta tehosta.



Kuva 8. Erään alapalokattilan hyötysuhde-tehokäyrä hakkeenpolto:ssa

Lämmin käyttövesi

Koe suoritetaan kattilan käydessä nimellistehollaan. Kokeen aikana kattilasta ei oteta lämmitystehoa. Lämminvesikierukan läpi lasketaan 170 litraa vettä, jonka virtausnopeus on 0,3 l/s. Mitataan kierukan kylmän ja lämpimän käyttöveden sekä kattilaveden lämpötilat.

Kattilan käyttöominaisuudet

Kattilan sytyttäminen

- sytyttämiseen kuluva aika
- sytyttämisen helppous

Polttoaineen syöttö

- tulipesän tai varastopesän täyttöön kuluva aika
- täyttöväli ja mahdollisen varastopesän vaikutus siihen
- polttoainevirran tasaisuus (mahdolliset holvaantumiset)

Nokeentuminen

- tarkataan kattilan nokeentumista koetuksen aikana

Tuhkanpoisto

- tuhkanpoistoon kuluva aika
- tuhkanpoistoväli
- tuhkan virtaaminen tuhkapesään
- tuhkan mahdollinen sulaminen ja sen vaikutukset

Puhdistus

- puhdistukseen kuluva aika
- puhdistustyön helppous

Kattilanhoitoon kuluva aika

- kattilan hoitoväli eli kuinka kauan kattila toimii häiriöttä ilman hoitoa. On suositeltavaa, että automaattisyyttöisen kiinteän polttoaineen kattilan paloaika nimellisteholla on vähintään 4,5 tuntia ja minimiteholla vähintään 16 tuntia
- kuinka usein kattilaa pitää vuorokauden aikana hoitaa
- kuinka kauan kestää kukin hoitokerta ja kuinka pitkä on hoitokertojen yhteenlaskettu pituus vuorokauden aikana
- varastopesän ja sen korkeuden vaikutus edellisiin kohtiin

Paloturvallisuus

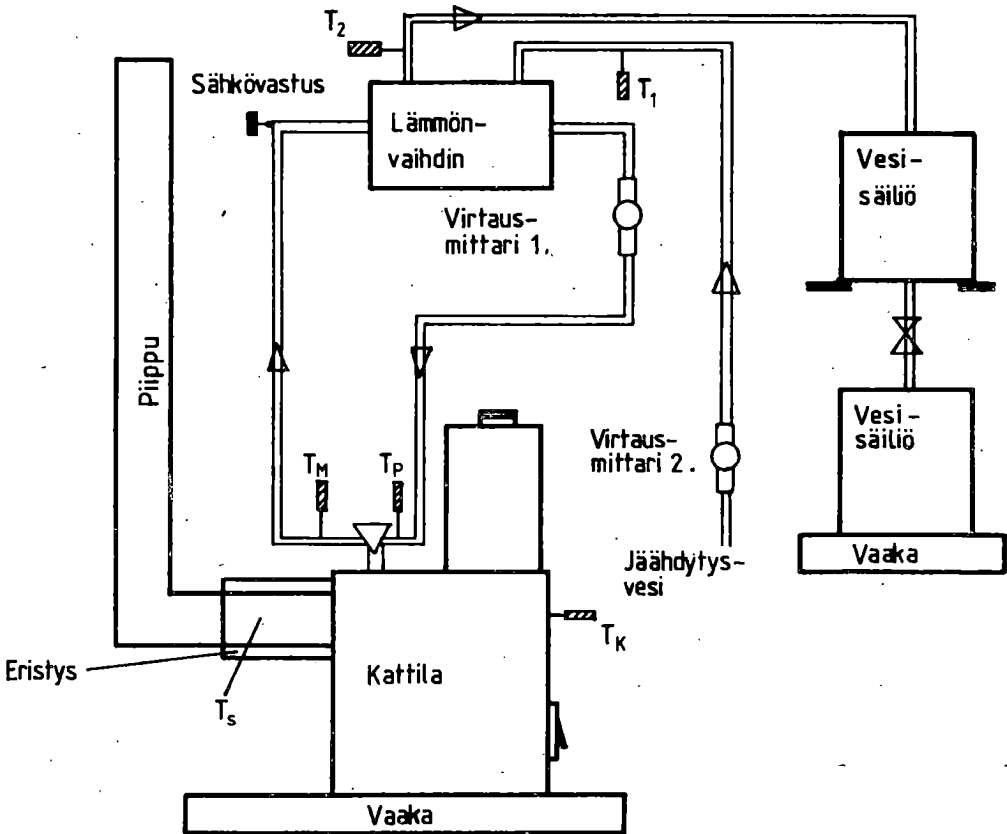
- eristyksen riittävyys, pintalämpötilat
- polttoaineen syötön turvallisuus
- savuhormin korkeuden riittävyys ja varastopesän vaikutus siihen
- väliluukkujen tarpeellisuus ja niiden toimivuus
- luukkujen tiiveys
- mekaanisen syöttölaitteen turvalaitteiden riittävyys ja toimivuus
- tuhkan pysyminen pesässä ja tuhkanpoiston turvallisuus

Kattilan raaka-aine

- valmistaja on velvollinen ilmoittamaan koetuksen suorittavalle laitokselle kattilan eri osien raaka-aineet.

Koejärjestely ja mittauslaitteisto

Kuvassa 9 esitetään periaatepiirros hyötysuhteen suorista mittausmenetelmästä. Kattilaa kuormitetaan lämmönvaihtimella, jonka jäädytysvesimäärällä säädetään teho. Hyötysuhde voidaan mitata joko kattilavesipiiristä tai lämmönvaihtimesta. Kattilavesipiirimittauksessa tarvitaan lämpötilamittarit T_M ja T_P sekä virtausmittari 1. Lämmönvaihdinmittauksessa tarvitaan lämpömittarit T_1 ja T_2 ja joko virtausmittari 2 tai vesisäiliö ja vaaka. Putkistohäviöiden toteutiseksi tarvitaan myös sähkövastus.



Kuva 9. Kattilan mittausjärjestely

Lämpötilamittaukset

Lämpötilat voidaan mitata joko elohopeamittarilla tai esim. termo-elementeillä. Tarkassa mittauksessa on syytä käyttää piirtureita.

- Kattilan meno- ja paluuveden lämpötilat (T_w , T_p)
- Kattilaveden lämpötilaa (T_K) seurataan kattilan omalla mittarilla
- jäähdytysveden lämpötilat lämmönvaihtimen meno- ja paluupuolella (T_1 , T_2)
- savukaasun lämpötila mitataan eristetyistä savuhormista poikkipinnan eri kohdista
- kattilahuoneen lämpötila mitataan paikasta, joka on 1,5 m lattiasta ja 1,0 m kattilan etuseinästä

Painemittaukset

- mitataan tulipesässä ja savuhormissa vallitsevat paineet

Vesimäärän mittaukset

- kattilan kiertovesimäärä mitataan vesimittarilla
- jäähdytysvesimäärä mitataan vesimittarilla ja/tai punnitsemalla käytetty vesimäärä

Polttoainemäärän mittaus

- polttoaineen kulutus mitataan vaa'alla, jolle kattila asetetaan
- huomattavasti epätarkempi tapa on mitata polttoaineen tilavuuden muutos varastopesässä
- käytetty polttoainemäärä on mitattava niin, ettei kosteuden, haihtuvien aineiden ja hiiltojäännöksen eriaikainen haihtuminen ja palaminen johda väärään tulokseen laskettaessa kattilaan vietyä tehoa

Savukaasuanalyysit

- savukaasujen CO_2 ja $CO+H_2$ -pitoisuudet mitataan rekisteröivällä savukaasuanalysaattorilla tai Orsat-kojeella, jonka avulla voidaan tarkistaa analysaattorin mittaustuloksia

Aikamittaukset

- kokeen kokonaisaikaa seurataan sekunttikellolla

Vaihtoehtoja kattilasta hyödyksi saadun tehon mittaamiseksi

Tehon mittaus lämmönvaihtimen jäähdytysvedestä

- tarkin tapa tehon mittaamiseksi on punnita käytetty jäähdytysvesimäärä ja rekisteröidä termoelementtimittauksena meno- ja paluuveden lämpötilat tai lämpötilaero
- vesimäärä voidaan mitata myös virtausmittarilla
- jos halutaan tietää vain suurin piirtein millä tehoalueella liikutaan, voidaan meno- ja paluuveden lämpötilat mitata lukemalla elohopealämpömittarit määrätysin väliajoin

Tehon mittaus kattilan kiertovesipiiristä

- teho voidaan mitata myös kattilan kiertovesipiiristä, mittaamalla kattilan meno- ja paluuveden lämpötilat tai lämpötilaero ja virtaava vesimäärä
- kattilasta hyödyksi saatu lämpömäärä voidaan mitata myös suoraan kalorimetrillä

Tehon ja hyötysuhteen laskeminen

Kattilaan viety teho

Kattilaan viety teho saadaan kokeen aikana kuluneesta polttoainemäärästä

$$P_p = \dot{m}_p \cdot H_a$$

P_p kattilaan viety teho (MW)

\dot{m}_p polttoaineen kulutus (kg/s)

H_a polttoaineen tehollinen lämpöarvo (MJ/kg)

Kattilasta hyödyksi saatu teho

Mitattaessa teho lämmönvaihtimesta, kattilan hyötysuhde saadaan lisäämällä lämmönvaihtimesta saatuun tehoon kattilan kiertovesipiirin häviöt eli ns. putkistohäviö. Lämmönvaihtimesta saatu teho saadaan kokeen aikana käytetystä jäähdytysvesimäärästä ja sen keskimääräisestä lämpötilannoususta lämmönvaihtimessa.

$$P_{LV} = c_v \cdot \dot{m}_v \cdot \Delta T$$

P_{LV} lämmönvaihtimesta hyödyksi saatu teho (kW)

c_v meno- ja paluueden keskiarvolämpötilaa vastaava veden ominaislämpö (kJ/kg °C)

\dot{m}_v vesivirta (kg/s)

ΔT keskimääräinen lämpötilannousu (°C)

Jos vesivirta mitataan tilavuusvirtamittarilla, muutos laadusta l/s laatuun kg/s täytyy laskea käyttäen tiheysarvoa, joka vastaa vesimittarin lämpötilaa (ks. liite 5).

Kiertovesipiirin häviöt voidaan mitata lämmittämällä kuvassa näkyvällä sähkövastuksella putkistossa kiertävä vesi käytön aikaiseen meno- ja paluueden keskimääräiseen lämpötilaan. Mittauksessa kattilan meno- ja paluujohto yhdistetään toisiinsa ilman kattilaa. Mitataan sähköteho, joka tarvitaan veden pitämiseksi tässä lämpötilassa.

$$P_K = P_{LV} + P_H$$

P_K kattilasta hyödyksi saatu teho (kW)

P_{LV} lämmönvaihtimesta hyödyksi saatu teho (kW)

P_H putkistohäviöt (kW)

Kattilahyötysuhde

Kattilahyötysuhteeksi saadaan edellisten kohtien perusteella

$$\eta_K = \frac{P_K}{P_P} = \frac{P_{LV} + P_H}{P_P}$$

Kattilahäviöt

Kattilahäviöt muodostuvat seuraavista osahäviöistä

- savukaasuhäviöt vapaan lämmön muodossa q_s
- epätäydellisen palamisen aiheuttamat häviöt q_p
- johtumis- ja säteilyhäviöt q_i
- tuhkahäviöt q_t

Puupolttoaineen savukaasuhäviöt vapaan lämmön muodossa ja epätäydellisen palamisen aiheuttamat häviöt saadaan savukaasun CO₂ + CO-pitoisuuden funktiona useimmiten riittävän tarkasti käyrästäistä

(Liite 2 ja 3). Myös turpeelle ja oljelle samoja käyrästäjä voidaan käyttää suuntaa-antavina.

Johtumis- ja säteilyhäviöihin vaikuttaa hyvin voimakkaasti kattilan, varastopesän ja luukkujen eristys. Myös kattilan pohjan lämpöhäviöt saattavat olla merkittäviä.

Tuhkahäviöt saadaan keräämällä kattilasta sinne jäänyt tuhka, joka punnitaan. Tuhkasta otetaan näyte, josta palavien aineiden osuus määritetään hehkuttamalla. Myös kattilan tulipinnoille ja savupiipun seinämille kertyvät terva- ja pikikerrostumat saattavat aiheuttaa huomioonotettavan häviöryhmän. Tätä on kuitenkin vaikea mitata ja se jätetään useimmiten huomiotta. Tuhkassa oleva palamatta jäänyt aine oletetaan hiileksi, jonka lämpöarvo $H_a = 33,8$ MJ/kg.

Esimerkkikoe

Erään kattilan nimellistehokokeesta saatiin 4 tunnin ajalta seuraavat mittaustulosten keskiarvot:

Käytetty polttoainemäärä	40,7 kg/4 h
Jäähdytysvesimäärä \dot{m}_v	8,025 kg/min
Lämmönvaihtimen jäähdytysvesi, menolämpötila	16,0°C
- " - paluulämpötila	64,2°C
Savukaasun lämpötila T_s	281°C
Savukaasun CO ₂ -pitoisuus	17,0 %
Savukaasun CO + H ₂ -pitoisuus	1,7 %

Käytetty polttoaine oli haketta, jonka kosteus oli 28,5 % ja tehollinen lämpöarvo 12,88 MJ/kg.

Kattilaan viety teho:

$$\dot{m}_p = 40,7 \text{ kg/4 h} = 0,00283 \text{ kg/s}$$

$$P_p = 0,00283 \text{ kg/s} \cdot 12,88 \text{ MJ/kg} = 36,5 \text{ kW}$$

Lämmönvaihtimesta hyödyksi saatu teho:

veden ominaislämpö lämpötilassa 40,1°C, (16 + 64,2)/2 (ks. liite 4)

$$c_v = 4,178 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Lämpötilannousu $\Delta t = 64,2^\circ\text{C} - 16^\circ\text{C} = 48,2^\circ\text{C}$

$$P_{LV} = 4,178 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot 8,025 \text{ kg/60 s} \cdot 48,2^\circ\text{C} = 26,9 \text{ kW}$$

Kiertovesipiirin häviöt:

$$P_H = 0,6 \text{ kW}$$

Kattilasta hyödyksi saatu teho:

$$P_k = P_{LV} + P_H = 26,9 \text{ kW} + 0,6 \text{ kW} = 27,5 \text{ kW}$$

Kattilahyötysuhde

$$\eta_{Lk} = \frac{P_k}{P} = \frac{27,5 \text{ kW}}{36,5 \text{ kW}} = 0,753 = 75,3 \%$$

Kattilahäviöt:

- Savukaasuhäviöt vapaan lämmön muodossa

Kun savukaasun lämpötila on 281°C , CO_2 -pitoisuus 17,0 % ja $\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2$ -pitoisuus 18,7 %, saadaan liitteen 3 käyrästä häviöksi $q_s = 12,8 \%$

- Epätäydellisen palamisen aiheuttamat häviöt

Kun $\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2$ -pitoisuus on 18,7 % ja $\text{CO} + \text{H}_2$ -pitoisuus 17 %, saadaan liitteen 2 käyrästä häviöksi $q_p = 5,7 \%$

- Savukaasuhäviöt yhteensä

$$q_{sav} = q_s + q_p = 12,8 \% + 5,7 \% = 18,5 \%$$

- Johtumis- ja säteilyhäviöt + tuhkahäviöt muodostavat jäljelle jäävän häviöryhmän, joka tässä tapauksessa on 6,2 %.

LÄHDELUETTELO

Suomen Itsenäisyyden Juhlavuoden 1967 Rahasto, Suomen Metsäteollisuuden Keskusliitto. Energian hankinta ja hinta. Metsäteollisuuden energiatutkimus 2. Helsinki 1976.

VUORELAINEN, O., Puu polttoaineena ja puun polttolaitteet. Valtion Teknillinen tutkimuslaitos, Tiedotus. Sarja III - rakennus 25. Helsinki 1958.

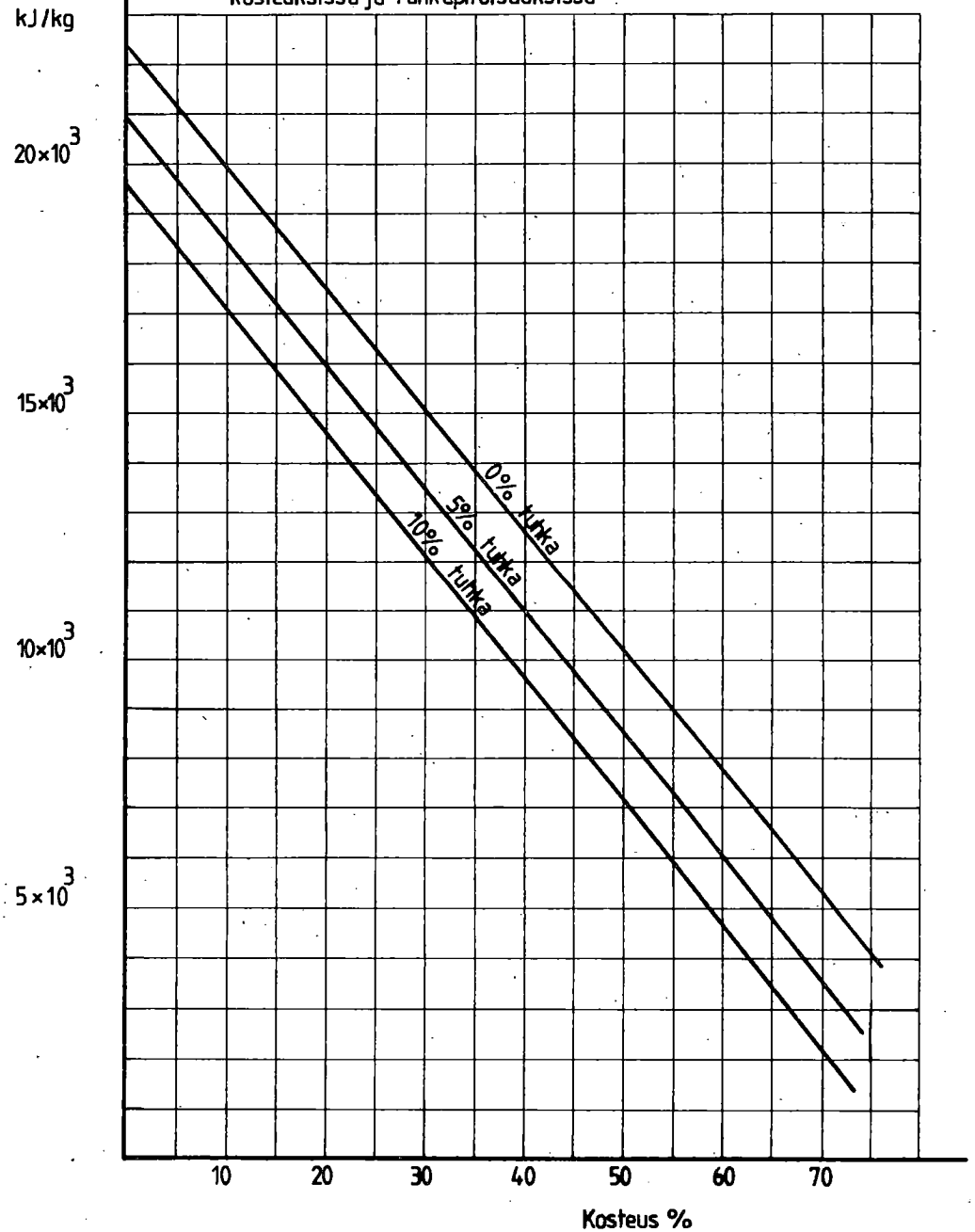
Tekniikan käsikirja 2. 8 p. Gummerus, Jyväskylä 1975.

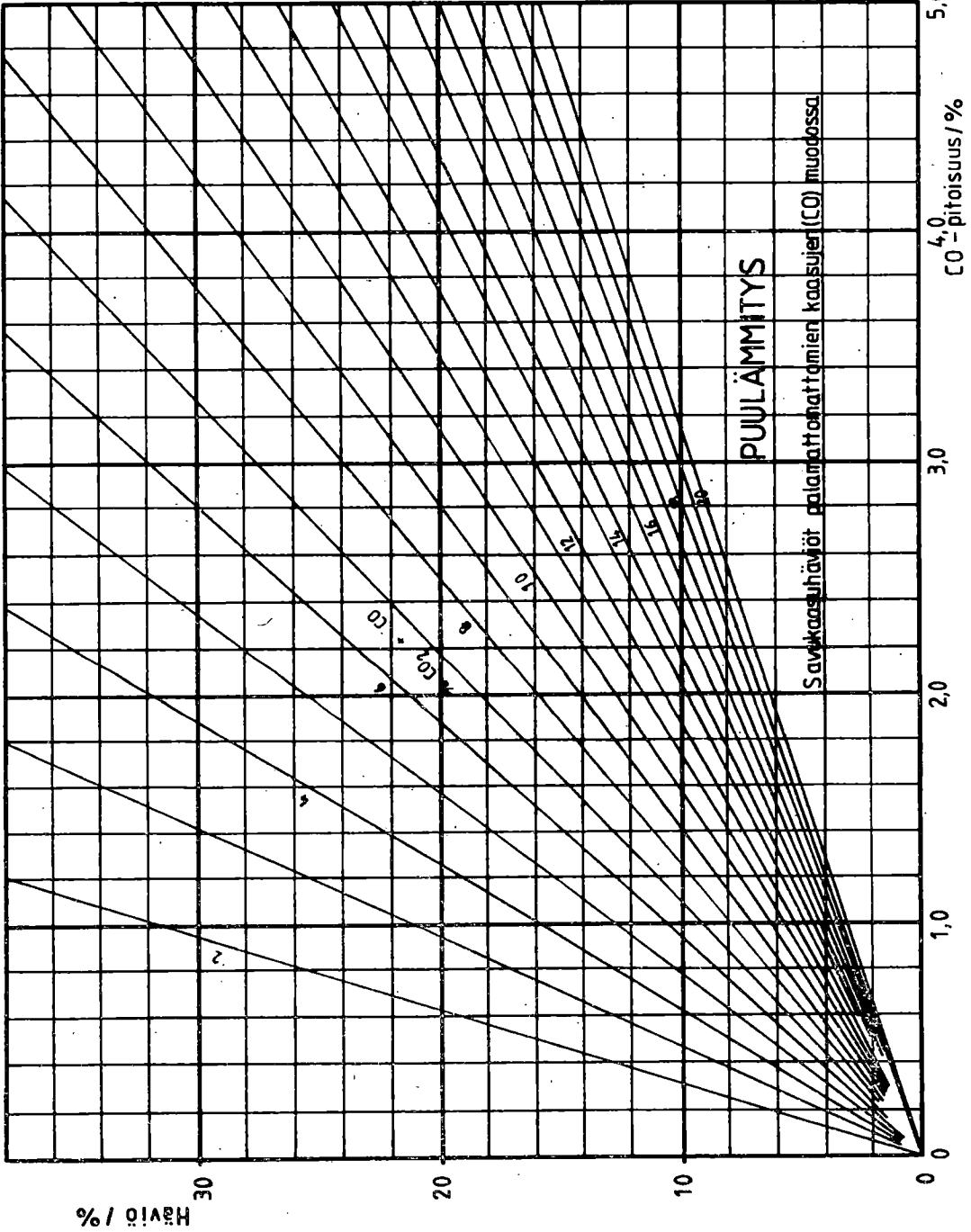
ORAVA, Reijo, Olki maatilán polttoaineena. Käytännön Maamies 8/79.

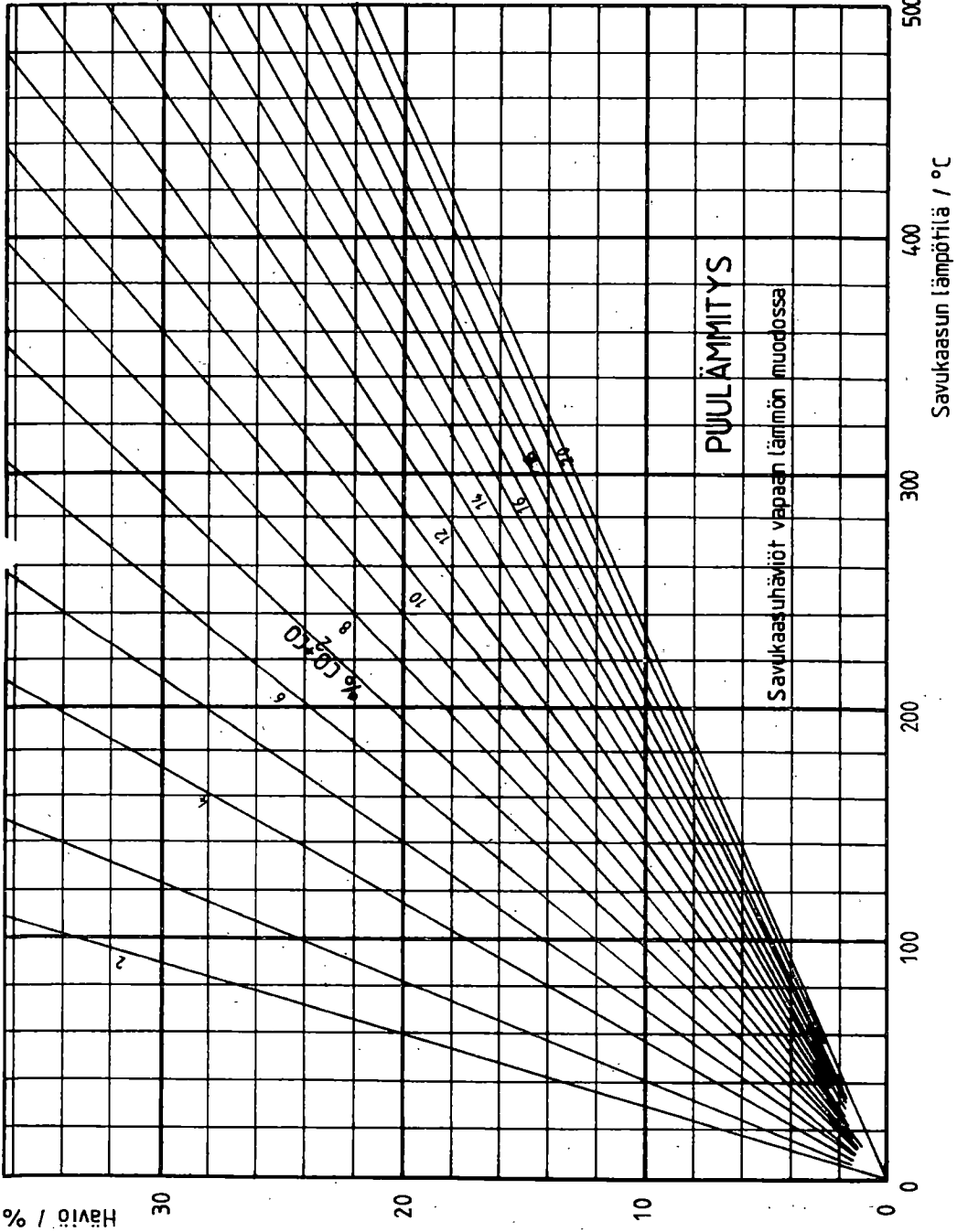
LESKINEN, O., VUORELAINEN, O., Tutkimus keskuslämmityslaitosten eri polttoaineiden taloudellisen käytön alueellisesta jakautumisesta Suomessa. Pienpuualan toimikunta. Helsinki 1957.

ANDERSSON, KARLSSON, CLAESSION & LOHM, Lantbruket och energin, LTs förlag, Stockholm 1978.

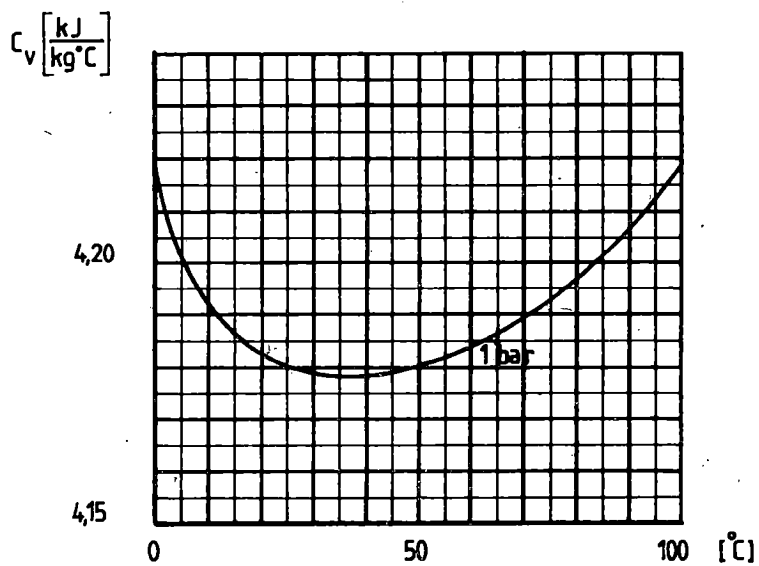
Turpeen keskimääräinen tehollinen lämpöarvo eri kosteuksissa ja tuhkapitoisuuksissa







Veden ominaislämpö



Veden suhteellinen riheys 0–100 °C

