

ODC

812.144-
839.81

FOLIA FORESTALIA 293

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1977

IRJA LEHTONEN

PUU POLTTOAINEENA
KIRJALLISUUTEEN
PERUSTUVA TARKASTELU

WOOD AS A FUEL
A STUDY BASED ON
LITERATURE

- 1974 No 214 Veijo Heiskanen ja Jorma Riikonen: Tukkien lajittelu sahaukseen kuoren päältä mitarun läpimitan perusteella.
Sorting of logs according to the top diameter on bark. 4,—
- No 215 Perttu Harstela ja Sauli Takalo: Kokeita oksaraaka-aineen kuormauksesta ja kuljetuksesta.
Experiments on loading and transportation of branch raw material. 1,50
- No 216 Gunnar Wilhelmson. Puutavaran käsittely 7,—.
- No 217 Pentti Rikkinen. Koivuvaneritukkien kuutiointi. 1,50.
Calculation of the volume of birch veneer logs.
- No 218 Pentti Nisula: Makroilmaston vaikutus varastoidun pinotavaran painoon.
Effect of macroclimate on the weight of stored cordwood 2,50
- No 219 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1972—74.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland in 1972—74. 6,—
- No 220 Pentti Nisula. Eräs herbisidien levityslaitte.
An apparatus for the application of herbisides. 2,50
- No 221 Simo Penttilä ja Jouko Hämäläinen: Päiväansio ja työn tuotos urakkapalkkaisessa istutustyössä 1972.
Daily earnings and work output in piece rate planting in Finland 1972. 4,—
- 1975 No 222 Veli-Pekka Jarveläinen. Yksityismetsänomistajien metsätaloudellinen käyttäytyminen.
Forestry behaviour of private forest owners in Finland 20,—
- No 223 Jan Heino. Finlands stadsägda skogar betraktade speciellt ur friluftssynvinkel. 5,—
- No 224 Pentti Hakkilä. Kanto- ja juuripuum kuoriprosentti, puuaineen tiheys ja asetoniuut-
teitten määrä
Bark percentage, basic density, and amount of acetone extractives in stump and root
wood 1,50
- No 225 Metsätalustollinen vuosikirja 1973.
Yearbook of forest statistics 1973.
- No 226 Bo Långström: Eräiden insektisidien testaus tukkimiehentäin, *Hylobius abietis* L.
(Col., Curculionidae), tuhojen torjumiseksi
Testing of some insecticides for the control of damages caused by the large pine
weevil, *Hylobius abietis* L. (Col., Curculionidae) 1,50
- No 227 Veijo Heiskanen: Kuitupuun latvaläpimitaan perustuva työmittaumenetelmä ("pölkky-
menetelmä")
A wage- payment measuring method based on pulpwood top diameter (Bolt method).
4,—
- No 228 Pentti Nisula: Liikkuva sadetuslaitteisto.
Revolving Sprinkler 3,—
- No 229 Veijo Heiskanen ja Pentti Rikkinen: Sahatukkien todellisen kiintomitan määrit-
tämismenetelmat.
Methods for the measurement of softwood sawlogs. 3,—
- No 230 Aulikki Kauppila ja Erkki Lähde Koetuloksia maan käsittelyn vaikutuksesta metsä-
maan ominaisuuksiin Pohjois-Suomessa
On the effects of soil treatments on forest soil properties in North-Finland. 3,—
- No 231 Olli Uusvaara ja Kari Loytyniemi. Tikaskuoriaisen (*Trypodendron lineatum* Oliv.,
Col., Scolytidae) aiheuttaman viotuksen vaikutus sahatavaran laatuun ja arvoon.
Effect of injury caused by the ambrosia beetle (*Trypodendron lineatum* Oliv., Col.,
Scolytidae) on sawn timber quality and value 1,50
- No 232 Seppo Ervasti ja Kullervo Kuusela Suomen metsätase vuosina 1965—72 ja metsä-
teollisuuden raaka-ainenäkyvät vuoteen 2000.
Forest balance of Finland in 1965—72 and the prospects of industrial wood until
2000. 1,50
- No 233 Jouko Laasasenaho: Runkopuun saannon riippuvuus kannon korkeudesta ja latvan
karkaisuläpimitasta.
Dependence of the amount of harvestable timber upon the stump height and the top-
logging diameter 2,—
- No 234 Olli Uusvaara ja Veijo Heiskanen: Sahanhakkeen valmistus, käsittely, mittausta ja laadun-
määrittäminen Suomessa
Preparation, handling, measurement and quality determination of sawmill chips in
Finland 3,—
- No 235 Seppo Kaunisto: Jyrsintämuokkaus ja lannoitus männyn ja kuusen kylvön yhteydessä
turvemaalla.
Rotavation and fertilization in connection with direct seeding of Scots pine and Norway
spruce on peat greenhouse experiments 1 50
- No 236 Veijo Heiskanen ja Juhani Salmi: Kuitupuupinon kiintotilavuuden määrittäystä koskevia
tutkimuksia. Mutkainen lehtikuitupuu, järea kuitupuu sekä likipituinen havukuitupuu.
Studies on the determination of the solid volume of a pulpwood pile. Crooked
broadleaved pulpwood, large-sized pulpwood and coniferous pulpwood of approximate
length. 3,—
- No 237 Markku Mäkelä: Oksaraaka-aineen kasaus ja kuljetus.
Bunching and transportation of branch raw material. 2,—

Muutos Folia Forestalian numeroon 293.
Taulukko 1 sivulla 7 korvataan oheisella taulukolla.

The correction for Folia Forestalia 293.
The Table 1 on the page 7 is replaced with the enclosed table.

Taulukko 1. Kuoretoman runkopuun tehollisia lämpöarvoja, MJ/kg.
Table 1. Effective heating values of stemwood without bark, MJ/kg.

Puulaji Tree Species	Kosteus Moisture content %	Kiinto- ainetta Solid material %	Irttoheijä tuoreena Apparent density, unseasoned wood kg/m ³	Lämpöarvo (W _{eff}) Heating value		Irttolavuusyksikön suhteellinen lämpö- arvo Relative heating value of apparent density
				MJ/kg	MJ/m ³ 1)	
Koivu Birch	25	63	435	13,61	6029	100 2)
Männi Pine	20	65	380	14,91	5652	94 2)
Kuusi Spruce	20	67	345	14,82	5108	85 2)
Haapa Aspen	25	57	355	13,02	4731	78 2)
Leppä Alder	25	62	3810	.. 3)

FOLIA FORESTALIA 293

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1977

Irja Lehtonen

PUU POLTTOAINEENA

Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu

Wood as a fuel

A study based on literature

ODC 812.144-839.81
ISBN 951-40-0254-7
ISSN 0015-5543

LEHTONEN, IRJA. 1976. Puu polttoaineena. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.

(Abstract: Wood as a fuel. A study based on literature.) Folia For. 293: 1-16.

Julkaisussa tarkastellaan kirjallisuuden perusteella puun lämpöarvoihin liittyviä kysymyksiä. Polttopuun käyttö on viime vuosina vähentynyt. Kuitenkin puu on varteenotettava kotimainen lämmönlähde fossiilisten polttoaineiden lisäksi.

Puun eri osista alhaisimmat lämpöarvot ovat runkokuussa. Painoysikköä kohti ilmaistuna suurin lämpöarvo on männyllä. Seuraavina tulevat kuusi, koivu, haapa ja leppä. Tilavuusyksikköä kohti eniten lämpöä saadaan sen sijaan koivusta.

Kuoren lämpöarvot ovat suuremmat kuin runkokuussa. Korkein mitattu lämpöarvo on koivun tuohessa. Havupuiden oksien lämpöarvot ovat suuremmat kuin runkokuussa ja kuoren. Lehtipuilla oksien lämpöarvot ovat suuremmat kuin runkokuussa mutta pienemmät kuin kuoren. Neulasten lämpöarvot ovat suuremmat kuin kuoren.

Hakkuutähteiden ja raivauspuun sekä kokopuuhakkeen lämpöarvot ovat suurempia kuin runkokuussa, oksien, kuoren ja neulasten korkean lämpöarvon ansiosta.

The paper is a review of literature concerning various aspects of the heating values based on the relevant literature. The burning of wood has decreased during the last few years. However wood is a worthy of consideration domestic fuel in addition to the fossil fuels.

Of the different parts of a tree stemwood has the lowest heating values. Pine has the highest heating value when expressed per unit mass. Spruce, birch, aspen and alder are the following. However, birch has the highest heating value when expressed per volume unit.

The heating values of bark are higher than those of stemwood. Birch bark has the highest observed heating value. The heating values of softwood branches are higher than those of stemwood or bark. The heating values of hardwood branches are higher than those of stemwood but lower than those of bark. The heating values of needles and stumps are higher than those of bark.

The heating values of various types of logging waste and clearing wood and whole tree chips are higher than those of stemwood owing to the higher proportion of branches, bark and needles.

ISBN 951-40-0254-7
ISSN 0015-5543

Helsinki 1977. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Valtion v. 1976 tulo- ja menoarvion perusteissa mainitaan, että ”energiapolitiikan keskeinen tavoite lähivuosina on energian kulutuksen kasvun hillitseminen mikä vähentää energian tuonnin kasvua ja kansantaloudelle lähivuosina joka tapauksessa erittäin raskaaksi muodostuvan energiantuotanto- ja -jakeluintensiteettien tarvetta.” Niinpä ”kotimaista energiantuotantoa on edelleen mahdollisuuksien mukaan lisättävä.”

Mielenkiinto puun poltto-ominaisuuksia kohtaan on lisääntynyt. Käsillä oleva kirjallisuustutkimus kokoaa yhteen tietoa puun lämpöarvoista ja siihen vaikuttavista tekijöistä.

Käsikirjoituksen ovat lukeneet professori VEIJO HEISKANEN ja MMT MATTI KÄRKÄKÄINEN sekä MH JUHANI SALMI ja kenttämestari KARI SAUVALA. Kuvat on piirtänyt puhtaaksi rva LEENA MURONRANTA ja konekirjoituksesta ovat huolehtineet rva AUNE RYTKÖNEN ja nti LEENA TURUNEN. Englanninkielisen tekstin on tarkastanut JOHN DEROME, B.Sc.

Kiitän avusta.

Helsingissä joulukuussa 1976

Irja Lehtonen

SISÄLLYS

	Sivu
1. JOHDANTO	5
2. POLTTOPUUN KÄYTÖN KEHITTYMINEN	5
3. LÄMPÖARVOON JA PUUHUN LIITTYVIÄ KÄSITTEITÄ	6
4. PUUN ERI OSIEN LÄMPÖARVOJA	7
41. Kuoreton runkopuu	7
42. Kuori	8
43. Kantopuu	8
44. Hakkuutähteet	9
45. Raivauspuu	10
46. Muu polttoaineena käytettävä puu	10
5. LÄMPÖARVOON VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ	10
51. Puulaji	10
52. Kosteus	10
53. Irtotilavuusyksikön massa	11
54. Tiheys	11
6. KAUPALLISTEN YKSIKÖIDEN TEHOLLISIA LÄMPÖARVOJA	12
7. PUUN POLTTOLAITTEITA	12
8. TARKASTELUA	13
9. KIRJALLISUUS	15

Käytetyt lyhennykset

Irtotiheys: irtotilavuusyksikön massa

Abbreviations

Apparent density: mass per apparent volume

1. JOHDANTO

Aika ajoin puun polttoon liittyvät ongelmat saavat osakseen uutta huomiota: 1950- ja 1960-luvuilla Pienpuualan Toimikunta tutki pienpuun käyttöön liittyviä teknisiä ja taloudellisia ongelmia. Tällöin toimikunta käsitteli myös puun polttoon liittyviä kysymyksiä. Ongelma on jälleen tullut ajankohtaiseksi puun tarkemman talteenoton – mm. kokopuun korjuu – ja ulkomaisten polttoaineiden hintojen nousun takia.

1960-luvun alussa, jolloin raaka-ainepulaa ei ollut, JOKIHAARA (1960) toteaa, että puunjaloitusteollisuuden raaka-ainetarpeen tyydyttäminen ja puun polttoainekäytön järkipäinen lisääminen eivät ole ristiriidassa keskenään. Päin vastoin voidaan todeta, että jalostettavan puun saannin turvaaminen edellyttää polttokäytöksen pikaista, myönteistä ratkaisemista. Nämä

sanat pätevät vieläkin, vaikka tilanne on muuttunut.

KUUSELA (1974) toteaa kuitenkin, että ”energia-poliittinen ohjelma ei ota energiakriisistä ja öljyn hinnan kohoamisesta huolimatta huomioon puun asemaa muuttuneessa hintatilanteessa. Kuitenkin energian hinnan nousu tekee puusta tähänastista kilpailukykyisemmän lämmönlähteen ja ainakin hidastaa polttopuun käytön pienenemistä. Teollisuuden hinnan ollessa ylimmillään teollisuudelle olisi monessa tapauksessa ollut edullista käyttää perinteistä kuitupuuta, jopa massateollisuuden kemiallisia sivutuotteitakin polttoon. Toinen vieläkin tärkeämpi tekijä on se, että puusadosta tähänastisen käytön ulkopuolelle jäävä osuus sekä puun kasvun lisäysmahdollisuus muodostavat joko lämpöenergiareservin tai raaka-aineen, jonka jalosteilla voidaan maksaa tuontien energian nousuvia kustannuksia.”

Tässä työssä tarkastellaan kirjallisuuden perusteella puun eri osien lämpöarvoja.

2. POLTTOPUUN KÄYTÖN KEHITTYMINEN

Suomessa on vanhastaan käytetty puuta lämmittämiseen. Kiinteistöjen ja teollisuuden polttopuun käyttö on kuitenkin selvästi vähentynyt viime vuosien aikana (Metsätalastollinen vuosikirja 1972):

	Polttoaineena käytetyn puun kiintotilavuus, milj. m ³		
	Kiinteistöt	Teollisuus	Yhteensä
1964	11,45	0,81	12,26
1974	8,10	0,10	8,2

Kiinteistöjen polttopuun käyttö on tänä 10-vuotiskautena koko ajan ylittänyt teollisuuden polttopuun käytön (vrt. HUTTUNEN 1974).

Kiinteistöissä käytetään toki muitakin lämpöenergian antajaa kuin varsinaista runkopuuta. ERK-KILÄ (1943) totesi jo aikanaan, että runkopuun käyttö polttoaineena on vähentynyt jätteen valatessa yhä enemmän sen asemaa. Esim. vuosina 1939 ja 1965 käytettiin kiinteistöissä lämmön kehittämiseen metsäjätteen koko maassa seuraavat määrät (ERK-KILÄ 1943, ERVASTI ja SALO 1967):

Polttoaineena käytetyn jätteen kiintotilavuus, m³

	1939	1965
Oksat ja risut	663 000	444 300
Juurakot	216 000	110 500
Kävyt		100
Kuoret		3 900
Uppopuu (tuore, kuoreton puu)		1 800

Teollisuuden jätteenpuuta käytettiin kiinteistöissä kaikkiaan 1 661 800 m³. Lisäksi käytettiin puubrikettejä 8 300 m³.

Teollisuudessa halkojen käytön huippu saavutettiin sota-aikana: v. 1947 halkojen käyttö kohosi yli 2,6-kertaiseksi v:n 1936 arvoihin verrattuna ja oli tällöin 5,34 milj. m³ (SALO 1960). Teollisuuden polttopuun käytöllä on aikaisemmin ollut myös metsänhoidollista merkitystä menekki-suhteiden vaikuttaessa metsänomistajien metsänhoitoharrastukseen. Mainittakoon, että halkojen hankinnalla on ollut merkitystä myös talvi-työttömyyden torjunnassa.

1960-luvulla energiatarpeen kasvu lisäsi voimakkaasti tuontienergian käyttöä. Tällöin arvioitiin, että energiatarve tyydytetään 1970-luvulla lähes kokonaan öljyllä ja maakaasulla ja 1980-luvulla yhä enenevässä määrin ydinenergialla. Polttoturpeen ja -puun osuuden energialähteistä arvioitiin kehittyvän seuraavasti (Komiteamietintö 1972: A 11):

Osuus energialähteistä, %	
1960	31
1970	12
1980	5

Tuontienergian hinnan kohoaminen on kuitenkin parantanut puun kilpailukykyä polttoaineena. Vuositain metsiin jäävää puusatoa ja hakkuutähteitä voitaisiin sopia korjuumenetelmiä kehittämällä käyttäen hyväksi myös polttoainepulan helpottamisessa (KUU-SELA 1974).

3. LÄMPÖARVOON JA PUUHUN LIITTYVIÄ KÄSITTEITÄ

SI-järjestelmässä polttoaineen energiasisällöstä käytetään yksikköä Joule/kg. Muuntokertoimet vanhojen ja uusien yksikköjen välillä ovat seuraavat:

$$1 \text{ kcal/kg} = 4,1868 \text{ kJ/kg}$$

$$1 \text{ kJ/kg} = 0,23885 \text{ kcal/kg}$$

Puun lämpöarvokäsitteistä puhuttaessa on tarpeen mainita, mitä lämpöarvoa kulloinkin tarkoitetaan:

Kalorimetrinen lämpöarvo (W_k) ilmaisee sen lämpömäärän, joka syntyy poltettaessa yksi kilo absoluuttisen kuivaa puuta, ja kun kaikki palamisessa syntynyt vesi tiivistyy nesteeksi.

Kuivan puun tehollinen lämpöarvo (W_a) ilmaisee sen lämpömäärän, joka syntyy poltettaessa yksi kilo kuivaa puuta, ja kun palamisessa muodostunut vesimäärä poistuu höyrynä.

Kostean puun tehollinen lämpöarvo (W_{eff}) ilmaisee sen lämpömäärän, joka syntyy poltettaessa yksi kilo puuta, ja kun palamisessa syntyvä vesimäärä ja puun sisältämä vesi höyrystyvät (SALMI 1964).

Kuivan puun tehollisen lämpöarvon ja kalorimetrin lämpöarvon välillä vallitseva yhteys voidaan myös laskea (vrt. IMMONEN 1961). Kyseisen kaavan käyttäjän on kuitenkin tiedettävä polttoaineen vety-pitoisuus. Kaavasta voidaan johtaa myös kostean puun tehollisen lämpöarvon laskemiseksi tarvittava kaava. Tällöin tehollinen lämpöarvo saadaan kuivan puun tehollisen lämpöarvon, veden höyrystymislämmön ja puun kosteuden avulla.

Polttopuun hakkuumäärä oli Suomessa 1970 vielä 7,7 milj. m³. Vaikka polttopuuta ei kannatakaan kuljettaa pitkiä matkoja, vaan se käytetään lähellä hakkuupaikkoja, polttoaineeksi joutuvaa puuta kuitenkin tuodaan myös Suomeen. Polttopuun tuonnin määrä kasvoi 1950-luvun puolivälistä 1970-luvulle siirryttäessä vain 0,36 milj. m³ (Metsätilastollinen vuosikirja 1971, 1972). Suomesta vietiin vastaavasti halkoja, teollisuuden haketta ja jätettä, joskin näiden arvo oli puutavaran ja metsäteollisuuden tuotteiden viennin arvosta 1960–1972 vain 0,01–0,07 % (Metsätilastollinen vuosikirja 1974).

Maailman koko pyöreän puun tuotannosta käytettiin v. 1973 46 % polttopuuna. Suurimman osan tästä käyttivät kehitysmaat. Teollisuusmaissa sen sijaan käytetään runsaammin teollisuuden jättepua (esim. WOODWARD 1958). Polttopuun tuotanto laajenee kuitenkin vain vajaan puoli prosenttia vuosittain (STONE ja SAEMAN 1976).

VUORELAISEN (1958) esittämässä kaavassa kostean puun tehollisen lämpöarvon laskemiseksi on tunnettava polttoaineen vety-, hiili-, happi- ja rikkipitoisuus sekä puun kosteus. Kaava antaa kuitenkin n. 5 % liian pienen tuloksen, koska tehollinen lämpöarvo riippuu niistä kemiallisista yhdisteistä, joissa em. alkuaineet esiintyvät. Polttoaineen lämpöarvo onkin helpompi määrittää kalorimetrisesti, koska tällöin ei tarvitse tuntea polttoaineen alkuainekoostumusta.

Kuoren lämpöarvon laskemisessa käytettyjä kaavoja ovat esittäneet mm. JOHANSSON (1946), WILEN (1950) ja WAHLMAN (1962).

Puun lämpöarvoihin vaikuttavista tekijöistä puhuttaessa mainitaan myös kosteus, jolla tarkoitetaan veden osuutta prosentteina veden ja puun yhteisestä massasta.

Tässä julkaisussa käsitellään puun eri osien kuten kuorettoman runkopuun, kuoren ja kantopuun sekä hakkuutähteiden ja raivauspuun lämpöarvoja. Hakkuutähteillä tarkoitetaan korjuussa metsään käyttämättöminä jääviä oksia, latvuksia, ainespuuta sekä raivauspuuta. Raivauspuu sisältää korjuussa metsään käyttämättömänä jäävät, yleensä talteen otettavan puun minimimitat alittavat puut (runkopuu + oksat). Raivauspuu saattaa koostua osaksi myös pystyyn jääneistä kasvatuskelvottomista puista. Muun polttoaineena käytettävän puutavaran yhteydessä käsitellään lisäksi kokopuu- ja teollisuushaketta sekä tasauspätkiä, rimoja, kutterilastua, puristettua kuorta sekä polttopuristeita eli puubrikettejä ja sahajauhoa.

4. PUUN ERI OSIEN LÄMPÖARVOJA

41. Kuoreton runkopuu

Taulukossa 1 esitetään tavallisimpien kotimaisten puulajien kuorettoman runkopuun tehollisia lämpöarvoja (W_{eff}). Kosteuspitoisuuden pysyessä samana puulajimme voidaan asettaa seuraavaan järjestykseen eniten lämpöenergiaa sisältävästä lajista lähtien: mänty, kuusi, koivu, haapa ja leppä. OLOFSSON (1975) on tutkinut männyn, kuusen ja koivun lisäksi myös raitaa ja todennut juuri raidalla alhaisimmat lämpöarvot. Em. puulajeista haapaa pidetään huonona polttoaineena, koska se palaa pihisten ja levittää huoneeseen omalaatuista hajua. Vain täysin kuivana sitä on mahdollista käyttää lämmitykseen (Handbok I Skogsteknologi 1922).

Teoksessa Handbok I Skogsteknologi (1922) on esitetty myös erilaatuisten halkojen tehollisia lämpöarvoja (s. 116). Runsaasti sydänpuuta sisältävien tukkipuuhalkojen lämpöarvot ovat selvästi korkeammat kuin muiden halkojen.

Runkopuun lämpöarvoon ei ainakaan lievä laho vaikuta oleellisesti, kun lämpöarvoa tarkastellaan massaa eikä tilavuutta kohti. Esim. SALMI (1964) totesi, että silmävaraisesti määritelty lahoaste ei korreloinut koivupuun lämpöarvon kanssa. Tutkimuksessa voitiin kuitenkin havaita, että pitkälle lahonneen puun lämpöarvo on tavanomaista alhaisempi.

Puun iän ja massayksikköä kohti lasketun lämpöarvon välillä ei ole todettu korrelaatiota. Myöskään maantieteellinen sijainti ei näytä vaikuttavan puun lämpöarvoihin (MILLIKIN 1955). Tämä johtuu siitä, että lämpöarvon muutokset/massayksikkö ovat pieniä, koska selluloosan ja ligniinin suhde ei muutu. Reaktiopuussa tilanne on toinen, esim. lylypuussa on selvästi suurempi ligniinipitoisuus kuin normaalipuussa (OLLINMAA 1961). Tällöin ligniini (lämpöarvo 25,54 MJ/kg) vaikuttaa puun lämpöarvoihin voimakkaammin kuin selluloosa, jonka lämpöarvo on 17,38–18,21 MJ/kg (VIR-TANEN 1963).

Taulukko 1. Kuorettoman runkopuun tehollisia lämpöarvoja, MJ/kg.
Table 1. Effective heating values of stemwood without bark, MJ/kg.

Puulaji <i>Tree species</i>	Kosteus <i>Moisture content</i> %	Kiintoainetta <i>Solid material</i> %	Irto tiheys tuoreena <i>Apparent density, unseasoned wood, kg/m³</i>	Lämpöarvo (W_{eff}) <i>Heating value</i>		Irtotilavuusyksikön suhteellinen lämpöarvo <i>Relative heating value of apparent volume</i>
				MJ/kg	MJ/m ³ 1)	
Mänty <i>Pine</i>	25	63	435	14,91	5652	100 2)
Kuusi <i>Spruce</i>	20	65	380	14,82	5108	94 2)
Koivu <i>Birch</i>	20	67	345	13,61	6029	85 2)
Haapa <i>Aspen</i>	25	57	355	13,02	4731	78 2)
Leppä <i>Alder</i>	25	62	3810	.. 3)

- 1) Lämpöarvot laskettu haloille irtotilavuusyksikköä kohti.
Heating values calculated per apparent volumes of different types of firewood.
2) VUORELAINEN (1958).
3) LUNDBERG (1943).

42. Kuori

Taulukossa 2 esitetään kuoren tehollisia lämpöarvoja. Kuorijätteen arvot vaihtelevat välillä 17,12–20,14 MJ/kg ja arvot ovat selvästi suuremmat kuin kuorettomassa ainespuussa (VUORELAINEN 1959). Havupuiden kuoren energia-arvot ovat n. 7 % suuremmat kuin lehtipuiden, ja männyllä arvot ylittävät kuusen lämpöarvon (CHOW ym. 1975). Lehtipuista lepällä kuoren lämpöarvot ovat suuremmat kuin koivulla. Kuitenkin koivun tuohiosan lämpöarvo on selvästi suurempi kuin muiden puulajien kuoren.

Kuoren kemialliset ominaisuudet poikkeavat selvästi runkopuun ominaisuuksista. Tämä selittää lämpöarvojen vaihtelun ja suuruuden. Kuorisassa on runsaasti mm. rasvoja, joiden lämpöarvot vaihtelevat 35,59–38,10 MJ/kg. Myös ligniiniä on kuoressa enemmän kuin runkopuussa.

Joissakin tapauksissa uuteaineet nostavat kuoren lämpöarvoja. Niinpä koivun tuohiosan lämpöarvojen suuruus johtuu pääasiassa tuohen soluseiniä korkeasta suberiinipitoisuudesta. Toisaalta jotkut uuteaineet saattavat alentaa lämpöarvoja. HULSART (1940) mainitsee, että uittamisen aikana hemlokin kuoresta uutuu tanniinia. Tällöin kuoren lämpöarvo kasvaa, koska tanniinin lämpöarvo on alhaisempi kuin kuoren veteen liukenemattomien aineosien lämpöarvot.

Taulukko 2. Kuorten tehollisia lämpöarvoja, MJ/kg.
Table 2. Effective heating values of different types of bark, MJ/kg.

Puulaji Tree species	Lämpöarvo (W_{eff}) Heating value MJ/kg	
Mänty Pine	18,55...19,80	1)–2)
Kuusi Spruce	17,84...18,84	1)–2)
Koivu, kaarna Birch, rough bark	17,12...18,42	1)–2)
Koivu, tuohi Birch, bark	30,15	1)–2)
Leppä Alder	20,14	3)

- 1) VUORELAINEN (1959).
- 2) BERGSTRÖM ja WESSLEN (1918).
- 3) Handbok I Skogsteknologi (1922).

Tuhka laskee kuoren lämpöarvoja. Havupuiden tuhkapitoisuus, n. 2 %, onkin pienempi kuin lehtipuiden kuoren, jossa vastaava arvo on 5 % (CHOW ym. 1975).

43. Kantopuu

Kantopuun lämpöarvot ovat suhteellisen korkeat. Kuusen kannoilla lämpöarvo on 21,65 MJ/kg ja männyn kannoilla 22,65 MJ/kg (Handbok I Skogsteknologi 1922). Kuusen tervaslastun lämpöarvo on hieman korkeampi eli 22,86 MJ/kg (LUNDBERG 1943). Kantojen lämpöarvot ovat näin ollen hieman suuremmat kuin rungon, latvuksen ja oksien lämpöarvot (OLOFSSON 1975).

Taulukko 3. Hakkuutähteiden tehollisia lämpöarvoja, MJ/kg.
Table 3. Effective heating values of different types of logging waste, MJ/kg.

Puulaji Tree species	Hakkuutähteen osa Part of logging waste	Lämpöarvo (W_{eff}) Heating value MJ/kg
Mänty Pine	Latvus Top	20,56 1)
	Oksat Branches	19,39...20,93 2)–1)
	Risut Fallen branches	19,68...21,40 2)–1)
	Kävyt Cones	18,84 2)
	Neulaset Needles	21,05...21,07 2)
	Kuusi Spruce	Latvus Top
Oksat Branches		21,14 1)
Risut Fallen branches		20,26 1)
Kävyt Cones		18,63...19,80 2)
Neulaset Needles		19,80...20,00 3)
Koivu Birch		Risut Fallen branches

- 1) Handbok I Skogsteknologi (1922).
- 2) LUNDBERG (1943).
- 3) OLOFSSON (1975).

Taulukko 4. Teollisuuden jätepuun tehollisia lämpöarvoja, MJ/kg. ¹⁾Table 4. Effective heating values of different types of industrial wood waste, MJ/kg. ¹⁾

Puulaji Tree species	Laatu Quality	Kosteus Moisture content %	Kiintoainetta Solid-material %	Irtotiheys tuoreena Apparent density, unseasoned wood kg/m ³	Lämpöarvo (W_{eff}) Heating value		Irtotilavuusyksikön suhteellinen lämpöarvo ³⁾ Relative heating value of apparent volume
					MJ/kg	MJ/m ³ ²⁾	
Havupuu Softwood	Tasauspätkät End trimmings	25	40	210	14,99	3140	52
Havupuu Softwood	Rimat Edgings	25	44	190	13,78	2596	43
Havupuu Softwood	Sahanhake Sawmill chips	40	38	280	10,47	2931	49
Koivu Birch	Sahanhake Sawmill chips	40	38	320	10,47	3349	56
Havupuu Softwood	Sahajauho Sawdust	25	31	170	13,78	2345	39
		50	31	250	8,33	2093	35
	Kutterilastu Shavings	20	17	90	14,82	1340	22
	Puubriketit Wood briquettes	6	..	700	18,00	12560	208
	Kuoret (puristetut) Bark (pressed)	55	..	330	5,82	1926	32

1) VUORELAINEN (1958)

2) Lämpöarvot laskettu irtotilavuusyksikköä kohti.
Heating values calculated per apparent volumes.3) Koivun suhteellinen lämpöarvo = 100.
Relative heating value of birch = 100.Taulukko 5. Kokopuuahakkeen irtotilavuusyksikön tehollisia lämpöarvoja, MJ/m³. Neulasten lämpöarvot oletettu samaksi kuin kuorellisen puun. ¹⁾Table 5. Effective heating values of whole-tree chips, MJ/m³. The heating values of needles is assumed to be the same as that of unbarked wood. ¹⁾

Puulaji Tree species	Kuivumisaste Seasoning	Kosteus Moisture content %	Lämpöarvo (W_{eff}) Heating value MJ/m ³
Mänty Pine	Tuore Green	55	2617
Kuusi Spruce	»	55	2470
Koivu Birch	»	45	3035
Leppä Alder	»	40	2282
Mänty Pine	Rasituore Leaf-seasoned	45	2742
Kuusi Spruce	»	35	2742
Koivu Birch	»	35	3182
Leppä Alder	»	40	2407

1) HAKKILA, KALAJA ja MÄKELÄ (1975).

44. Hakkuutähteet

Taulukossa 3 esitetään hakkuutähteisiin kuuluvien puun osien lämpöarvoja. Koko latvuston sekä elävien ja kuolleiden oksien ja käpyjen lämpöarvot ovat kuusella suurimmat. Neulasten lämpöarvot ovat taas männyllä suuremmat kuin kuusella. Koivun kuolleiden oksien ja männyn käpyjen lämpöarvot ovat alhaisimmat.

Latvusten lämpöarvot ovat suuremmat kuin runkopuun. Tätä selittää latvustoon kuuluvan kuoren paljous sekä neulasmassa. Oksien suureen lämpöarvoon vaikuttaa korkea ligniini- ja uuteainepitoisuus. Havupuiden oksapuu onkin runkopuuta parempaa polttoainetta. Lehtipuilla tilanne on päinvastainen (Handbok I Skogsteknologi 1922).

Neulasten lämpöarvot ovat sangen korkeita. Tämä johtuu neulasten suuresta hartsipitoisuudesta. OLOFSSONin (1975) mukaan neulasten lämpöarvot ovatkin selvästi suuremmat kuin muiden tutkittujen puun osien. Ainoastaan koivun tuohiosa voittaa tässä suhteessa neulaset.

45. Raivauspuu

Taimistojen perkauksessa saatavan mänty-, kuusi-, koivu- ja raitakokopuun lämpöarvot ovat selvästi suuremmat kuin harvennuksissa saatavan. Ero näiden kahden välillä on 0,45–0,85 MJ/kg. Tähän on syynä taimistovaiheen puiden suurempi kuoren ja oksien määrä harvennuspuuhun verrattuna (OLOFSSON 1975).

46. Muu polttoaineena käytettävä puu

Taulukossa 4 esitetään teollisuuden jätteen (VUORELAINEN 1958) ja taulukossa 5 kokopuuhakkeen (HAKKILA ym. 1975) tehollisia lämpöarvoja. Teollisuuden jätteen puubriketeillä selvästi suurin lämpöarvo. Havupuun taseuspätkät ja risuhake sekä kutterilastu antavat likimain yhtä paljon lämpöenergiaa. Seuraavana tulevat rimat ja sahajauho sekä sahanhake. Painoyksikköä kohti ilmaistu lämpömäärä kasvaa kosteuden aletessa.

5. LÄMPÖARVOON VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

51. Puulaji

Absoluuttisen kuivan puuaineen lämpöarvo riippuu pääasiassa sen hiilivety- ja tuhkapitoisuudesta. Niinpä havupuilla on korkean pihkapiitoisuuden ansiosta suurempi lämpöarvo kuin lehtipuilla. VUORELAINEN (1959) mukaan puulajin vaikutus tilavuusyksikön sisältämään lämpömäärään tulee näkyviin vain tiheyden kautta, koska eri puulajien teholliset lämpöarvot massayksikköä kohti ilmoitettuna ovat likimain yhtä suuret.

52. Kosteus

Kostean puun tehollinen lämpöarvo muuttuu kosteuden muuttuessa (esim. HEISKANEN ja JOKIHAARA 1961, STEVENSON ja AROLA 1976). Kosteuden noustessa lämpöarvo laskee, eli polttoaineen vaikutusaste alenee. Vaikutusasteella BEIJBOM (1959) ilmaisee sen lämpömäärän, joka poltossa voidaan käyttää hyväksi:

$$\text{vaikutusaste} = \frac{\text{hyödyllinen lämpömäärä}}{\text{siirtynyt lämpömäärä}} \times 100$$

Eri puulajien antama hyödyllinen lämpömäärä riippuu selvästi kosteudesta ja vaikutusasteesta (taulukko 6 ja 7). Niinpä 30 %:n kosteudessa ja 75 %:n vaikutusasteessa puiden antama hyödyllinen lämpö on 30 % suurempi kuin 50 %:n kosteudessa ja 65 %:n vaikutus-

asteessa. Kosteuden pysyessä samana lämpömäärä tilavuusyksikköä kohti kuitenkin vaihtelee puulajin tiheyden vaihtelun mukaan.

Kosteus vaihtelee polttoaineena käytetyssä halossa, hakkeessa tai muussa puutavarassa varastointiajasta riippuen (esim. VUORELAINEN 1959). Niinpä metsätuoreen koivun kosteus on 40–45 %, uitetussa puussa jopa 50 %. Markkinahalon kosteus ylittää harvoin 30 % (HEISKANEN ja JOKIHAARA 1961). Keskuslämmitys-

Taulukko 6. Tehollisen lämpöarvon riippuvuus puun kosteudesta ja polton vaikutusasteesta. ¹⁾
Table 6. Effect of moisture content of wood and effect of burning on the effective heating values of wood. ¹⁾

Puulaji <i>Tree species</i>	Lämpöarvo (W_{eff}), MJ/m ³ <i>Heating value</i>	
	Kosteus 30 % <i>Moisture content</i> Vaikutusaste 75 % <i>Efficiency</i>	Kosteus 50 % <i>Moisture content</i> Vaikutusaste 75 % <i>Efficiency</i>
Mänty <i>Pine</i>	2680	1645
Kuusi <i>Spruce</i>	2303	1738
Koivu <i>Birch</i>	2680	2114

- 1) BEIJBOM (1959).
- 2) Lämpöarvot laskettu irtotilavuusyksikköä kohti. Tilavuusyksikössä 40 % kiintoainetta. Heating values calculated per apparent volumes. 40 % of the apparent volume is solid material.

Taulukko 7. Kosteuden vaikutus puun irtotiheyteen ja teholliseen lämpöarvoon. ¹⁾
 Table 7. Effect of moisture content on the apparent volume and the effective heating values of wood. ¹⁾

Puulaji Tree species	Kosteus 0 % Moisture content		Kosteus 50 % Moisture content		Kosteus 30 % Moisture content	
	kg/m ³	W _{eff} (MJ) ²⁾	kg/m ³	W _{eff} (MJ) ²⁾	kg/m ³	W _{eff} (MJ) ²⁾
Mänty Pine	152	2931	220	2805	302	2529
Kuusi Spruce	160	3077	230	3580	320	2680
Koivu Birch	195	3768	280	2931	300	3266

1) BEIJBOM (1959).

2) Lämpöarvot laskettu irtotilavuusyksikköä kohti. Tilavuusyksikössä 40 % kiintoainetta.
 Heating values calculated per apparent volumes. 40 % of the apparent volume is solid material.

laitteissa käytettävän halon kosteus ei saisi olla suurempi kuin 40 %.

Myös kuoressa kosteus on otettava huomioon lämpöarvoihin vaikuttavana tekijänä. ISOMÄEN (1963) mukaan maitse kuljetetussa puussa kuoren kosteus on kyllin alhainen, jotta kuorta voidaan polttaa sellaisenaan. Uitetun puun kuori sen sijaan on tarpeen puristaa ja tarvittaessa lisäksi kuivata termisillä laitteilla (esim. CHOW ym. 1975, JOHANSSON 1946, ISOMÄKI 1963). Mikäli kuorimisessa syntyneen jätteen kosteus on yli 65 %, sen katsotaan olevan polttoaineeksi melko kelvotonta.

Sahajauhun kosteus on 50–60 %. Kun kutterilastun kosteus on vain 5–15 %, palaa se paljon paremmin ja kiihkeämmin kuin sahajauho. Kuivasta viilujätteestä ja vanerisyrjästä tulevan sahanhakkeen kosteus on myös vajaa 10 %, mutta märästä viilusta tulevan hakkeen kosteus on jopa yli 60 %. Myös hieno hiomapöly on kuivaa (kosteus 4–8 %). Mainittakoon vielä vaneritehtaiden yhteydessä olevan liimalevyteollisuuden puujätteen kosteus, 40–60 % (ISOMÄKI 1963).

Taulukossa 7 esitetään kosteuden vaikutus puun irtotilavuusyksikön teholliseen lämpöarvoon. Kun kosteus kasvaa 0 %:sta 60 %:iin, pienenee lämpöarvo yli kolminkertaisesti kaikilla tutkituilla puulajeilla. Kaikilla puulajeilla

ja puun osilla on 60–70 % kosteudessa havaittavissa selvä lasku lämpöarvoissa (esim. OLOFSSON 1975).

53. Irtotilavuusyksikön massa

Tilavuusyksikköön sisältyvän aineen määrä vaihtelee tavaralajeittain. Niinpä halkojen koko, suoruus, oksaisuus ja ladonta vaikuttavat halkokuution lämpösisältöön.

Hakkeen ja sahajauhon kohdalla on myös syytä huomata kuljetuksen aikana tapahtuva tiivistyminen. Irtotilavuusyksikön sisältämän kiintoaineen määrän kasvaessa nousevat myös kaupallisten yksiköiden teholliset lämpöarvot (vrt. taulukko 1).

54. Tiheys

Puun tuoretiheys vaihtelee varsin selvästi puun sisältämän vesimäärän mukaan. Mikäli tiheys ilmoitetaan samalla tavoin mitattuna, voidaan havaita selviä eroja eri puulajien välillä. Puulajin kuivatustiheys ei kuitenkaan sanottavasti vaikuta sen keskimääräiseen massayksikköä kohti ilmaistuun lämpöarvoon (VORREITER 1949, SALMI 1964).

6. KAUPALLISTEN YKSIKÖIDEN TEHOLLISIA LÄMPÖARVOJA

Kun polttopuuta myydään tavallisesti sen pinotilavuuden perusteella, on syytä huomata, että pinotilavuusyksikön lämpöarvo riippuu polttopuun kiintotilavuudesta sekä polttoaineen tiheydestä.

Taulukossa 1 esitetään kuorettoman ainespuun tehollisia lämpöarvoja kaupallisia yksiköitä kohti. Tämän mukaan eniten lämpöä saadaan kuutiometristä koivuhalkoa ja vähiten kuutiometristä haapaa. Mikäli koivuhalon tilavuusyksikön lämpömäärälle annetaan suhteellinen arvo 100, saa haapa vastaavasti arvon 78. Koivun irtotilavuusyksikön suureen lämpöarvoon vaikuttaa korkea kiintoaineprosentti.

Taulukossa 1 esitetään erilaisen puupolttoaineen tehollisia lämpöarvoja VUORELAISEN (1958) mukaan. Kun koivuhalon tilavuusyksikön lämpömäärä saa edelleen suhteellisen arvon 100, havaitaan puubrikettien olevan selvästi koivuhalkoa parempia lämmön tuottajia. Koivun sahanhake ja havupuiden tasauspätkät jää-

vät lämpöarvoltaan koivuhalkoa huonommiksi, mutta ovat kuitenkin parempia kuin muu teollisuuden jätepuu.

VUORELAINEN (1958) on kuvannut eri puupolttoaineiden kuutiometriin sisältyvän tehollisen lämpöarvon ja kosteuden välistä riippuvuutta. Tämän mukaan eri kosteuspitoisuuksissa eniten lämpöä tilavuusyksikköä kohti antaa järeä koivuhalko. Seuraavana järjestyksessä ovat tavallinen koivuhalko, mäntyhalko, kuusi-halko, haapahalko, havupuurima, koivuhake, sahajauho ja kutterilastu, jonka lämpöarvo on vain 1/5 järeän koivuhalon lämpöarvosta. Saha-jauhon ja hakkeen sekä kuoren irtotilavuusyksikön lämpöarvoja ovat esittäneet mm. ISO-MÄKI (1963) ja WAHLMAN (1962).

Kokopuuhakkeen (taulukko 5) teholliset lämpöarvot irtotilavuusyksikköä kohti ilmaistuna ovat suhteellisen korkeat. Tähän vaikuttaa kokopuuhakkeeseen sisältyvä kuori, oksat sekä neulaset.

7. PUUN POLTTOLAITTEITA

Puun polttaminen kotitalouksissa jää yhä enemmän taka-alalle. Tähän on vaikuttanut siirtyminen öljykäyttöiseen, automatisoituun keskuslämmitykseen. Viime vuosina on myös sähkölämmitys tullut varteenotettavaksi lämmitysmuodoksi, joskin sen käyttökustannukset ovat korkeat. Paikoitellen ja ennen kaikkea maaseudulla käytetään huonetilojen lämmitykseen vielä muurattuja uuneja, joilla hyötysuhde on sangen korkea, 80–85 %, sekä keittiöliesiä ja leivinuuneja. Muita puulla lämmitettäviä laitteita ovat kotitalouksissa saunankiukaat, suurten vesimäärien kuumentamiseen tarkoitettut uunipadat sekä takat, joilla hyötysuhde on kaikkein pienin, 25–40 %. Myös keskuslämmityskattilat voidaan rakentaa puukäyttöisiksi

(VUORELAINEN 1959). Uutta yksityistalouksien lämmityksessä ovat turpeella ja tarvittaessa oljilla toimivat keskuslämmityslaitteet (NEVALAINEN 1976).

Teollisuus pyrki aikaisemmin puuta polttamalla ratkaisemaan puujätteen hävittämisiongelmat. Nyt sen sijaan käytetään hyväksi palamisessa syntyvä lämpöenergia. Puuta voidaan polttaa pölypolttona, arinapolttona ja syklonipolttona. Uunityyppin valinta riippuu osittain polttoaineesta ja sen määrästä, osittain uunilta vaaditusta polttokapasiteetista.

Pölypoltto soveltuu lähinnä suuriin kattilayksiköihin, joissa vaaditaan suuri kattilateho, ja joissa arinan koko kasvaisi liian suureksi. Puupölyä saa kuitenkin käyttää vain lisäpoltto-

aineena puhaltamalla sitä riittävään tukiliekkiin, jona voi olla arinalämmitys, öljy- tai kaasupoltin (EKMAN 1974).

Arinapoltossa karkeaa polttoainetta lisätään polttolaitteeseen syöttötorvea myöten joko painovoiman avulla tai pakkosyöttölaitteita käytetään (esim. EKMAN 1974). Arinatyyppejä ovat tasoarina, porrasarina, Z-arina ja nykyisin yleisimpänä jäähdytetty vinoarina, joka voi olla porras-, vino- tai Z-arinatyypinen.

Sykloniuuneja voidaan käyttää kostean puujätteen polttamiseen. Polttoainetta syötetään alhaalta uuniin esim. ruuvistokerin avulla. Arinan läpi puhallettava kuuma ensiöilma kuivattaa

polttoainekerrosta. Kylmä, sivuilta uuniin puhallettava toistoilma saa uunissa aikaan voimakkaan kaasumassan kierron. Syklonipesää käytettäessä kosteasta polttoaineesta saadaan suurempi hyöty, sillä kaasumassan kierto antaa polttoainehiukkasille riittävästi aikaa täydelliseen palamiseen.

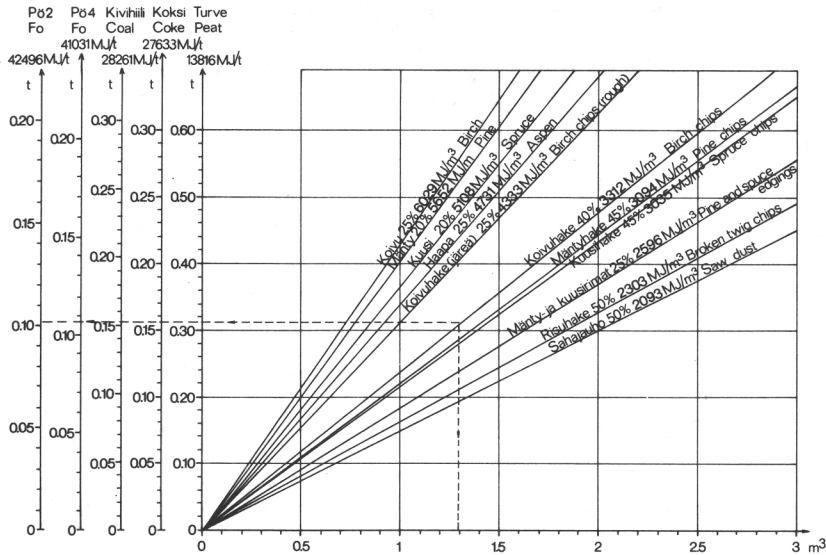
Nykyaikaiset puunpolttolaitteet varustetaan suodattimilla. Tällöin tehokkaimpaan pölynerotukseen päästään sähkösuotimilla, joilla pölynerotus on jopa 99 %. Muita pölyn erottamiseen käytettyjä ratkaisuja ovat sykloniperiaatteella toimivat erottimet, multisyklonit ja märkäsuotimet (LING 1975).

8. TARKASTELUA

Polttoaineita keskenään verrattaessa on tarpeen tietää, mitkä määrät eri polttoaineita vastaavat toisiaan. Tämä voidaan tehdä kuvassa 1 esitetyn diagrammin avulla (VUORELAINEN 1958). Esimerkiksi yhtä kuutiometriä halkorangasta tehtyä, kuivaa (kosteus 25 %) koivuhaketta vastaa 0,157 t koksia ja 0,105 t polttoöljyä n:o 4:ää. Lisäksi voidaan todeta, että yksi

kuutiometri em. haketta vastaa 1,29 m³ tuoretta (kosteus 40 %) koivuhaketta.

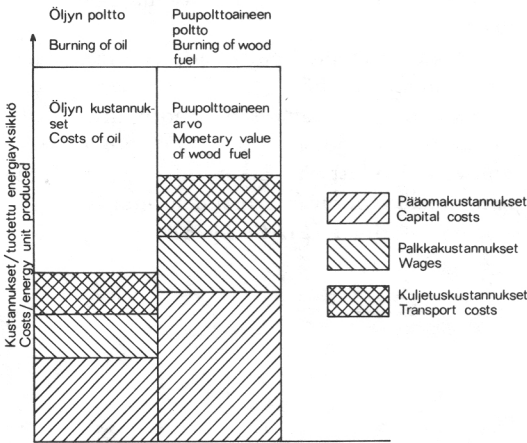
Vertailudiagrammista saadut arvot vastaavat toisiaan myös käytännön lämmityksessä, mikäli polttoaineita poltetaan samalla hyötysuhteella. Jollei näin ole, on polttoaineen määrää osoittava luku kerrottava hyötysuhteiden suhteella. Esim. poltettaessa koksia 70 %:n hyötysuhteella ja



Kuva 1. Eri polttoaineiden lämpöarvojen ja määrien vertailudiagrammi (VUORELAINEN 1958).

Fig. 1. A comparison diagram for the heating values and quantities of different fuels (VUORELAINEN 1958).

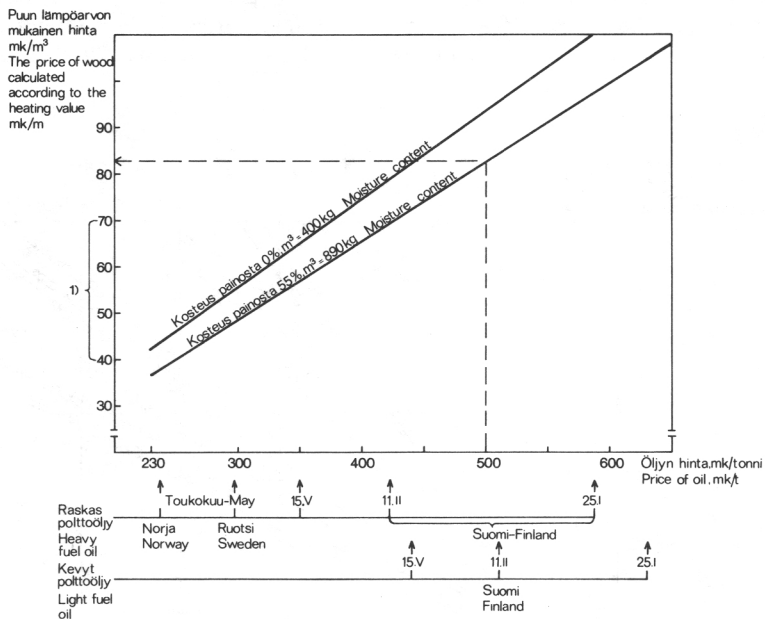
koivuhalkoja 60 %:n hyötysuhteella, vastaa 1 t koksia: $(70:60) \times 4,6 \text{ m}^3 = 5,37 \text{ m}^3$ koivuhalkoja, joiden kosteus on 25 %.



Kuva 2. Periaatepiirros puupolttoaineen ja öljyn kustannuksista (LING 1975).
Fig. 2. A principle drawing about the costs of fuel and oil (LING 1975).

Polttoaineeksi käytettävän puun on oltava kyllin kuivaa, jotta poltossa saadaan riittävä vaikutusaste. Esim. sahajauhon polttoa häiritsee sen liika kosteus (ISOMÄKI 1963). WILEN (1950) mainitsee myös, että kuoren kosteuspitoisuuden ollessa 50 % on lämpöarvo 8,37 MJ/kg. Kun kuutiometri kuorta painaa n. 300 kg, on lämpöarvo n. 2 512 MJ/m³. Kun hiilen lämpöarvo on n. 29 308 MJ/t, vastaa tätä 11,7 m³ kuorta. Kuoren poltossa saattaa kosteuden lisäksi olla haittana kuoren myötä arinalle kulkeutuva hiekka (ELLENWANGER 1958). Suomessa hiekan merkityksestä ei ole tietoa.

Nykyisin teollisuuslaitokset polttavat pääasiassa kuorta. Tähän on syynä kuorijätteen hävittämisongelmat. Kuoren ja muun karkean polttoaineen sekä pölyn käyttö lämpöenergian tuottamiseen vaatii kuitenkin omat varastointi-, syöttö- ja polttolaitteensa (EKMAN 1974, SOMMARBERG 1974). Näiden kustannukset saman lämpötehon antavaan öljynpolttolaitteeseen verrattuna ovat kuitenkin selvästi suuremmat. Tämä johtuu puupolttoaineen öljyyn verrattuna suuremmista kuljetus-, palkka- ja pääomakustannuksista samansuuruisista, tuotettua



Kuva 3. Vertailudiagrammi puun ja öljyn polton kannattavuudesta (KUUSELA 1974).

- 1) Tukkia pienemmän kuitupuun hinta tehtaalla v. 1974 alussa.
- 2) 40612 MJ/tonni.

Fig. 3. Comparison diagram for costs of wood fuel and oil. (KUUSELA 1974).

- 1) The price of pulpwood.
- 2) 40612 MJ/ton.

energiämäärää ja kokonaiskustannuksia kohti (kuva 2, OLOFSSON 1975).

Eräs tapa kuvata lämpöenergian tuottamisen kustannuseroja on laskea, kuinka korkea hinta puupolttoaineesta voidaan maksaa ja kuitenkin tuottaa lämpöä halvemmalla kuin vastaavassa öljynpolttolaitoksessa (kuva 2). Puun polton kannattavuus riippuu tällöin puupolttoaineen

tehollisesta lämpöarvosta tilavuusyksikköä kohti, polton vaikutusasteesta, öljyn hinnasta ja puun polttoaineiden aiheuttamista lisäkustannuksista (OLOFSSON 1975). KUUSELAN (1974) laskelman mukaan (kuva 3) puuta kannattaa polttaa öljyn sijasta vielä, jos puun kosteus on 55 % ja sen hinta on 80 mk/m³ ja öljyn hinta vastaavasti 500 mk/t.

9. KIRJALLISUUS

- BEIJBOM, L. 1959. Fliseldningen — Skogsmomentet. Skogen, 46 (2): 27–30.
- BERGSTRÖM, H. & WESSLEN, G. 1918. Om träkolning. 322 s. Stockholm.
- CHOW, S., CORDER, S.E., KENNEDY, R.W., PORTER, L.J. & WAHLGREN, H.E. 1975. Properties and uses of bark. In. Proc. XVI IUFRO World Congress. Division V. Norway. p. 125–135.
- EKMAN, E. 1974. Puun ja karkeiden polttoaineiden polton turvallisuusnäkökohtia. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus. Moniste 98 (V): 1–15.
- ELLENWANGER, R. 1958. Preparation, conveying, storage and burning of bark refuse. Tappi 41 (11): 150–151.
- ERKKILÄ, E. 1943. Maaseutuväestön puunkäytön kokonaisuus ja sen kehitys. Referat: Der Gesamt-holzverbrauch der Landbevölkerung und seine Entwicklung. Commun. Inst. For. Fenn. 32 (1): 1–375.
- ERVASTI, S. & SALO, E. 1967. Kiinteistöillä lämmön kehittämiseen käytetyt polttoaineet v. 1965. Summary: Fuels used by real estates for the generation of heat in 1965. Folia For. 33: 1–17.
- HAKKILA, P., KALAJA, H. & MÄKELÄ, M. 1975. Kokopuunkäyttö pienpuuongelman ratkaisuna. Summary: Full-tree utilization as a solution to the problem of small-sized timber. Folia For. 240: 1–78.
- Hallituksen esitys Eduskunnalle valtion tulo- ja menoarvioiksi vuodelle 1976. s. 1–551. Helsinki. Valtion painatuskeskus.
- Handbok I Skogsteknologi. 1922. 939 s. Stockholm. C.E. Fritzes Bokförlag Aktiebolag.
- HEISKANEN, V. & JOKIHAARA, L. 1961. Puupolttoaineiden lämpöarvoista. Pienpuualan Toimik. Tied. 33: 1–5.
- HULSART, C.A. 1940. Bark burning furnaces for the pulp and paper industry. Paper Trade J. 111: 65–71.
- HUTTUNEN, T. 1974. Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1972–74. Summary: Wood consumption, total drain and forest balance in Finland 1972–74. Folia For. 219: 1–49.
- IMMONEN, V. 1961. Hakkeen varastointia ja halkojen laatua koskevia tutkimuksia Turengin Sokeriteh-
taalla v. 1958 ja 1959. Pienpuualan Toimik. Julk. 96: 1–30.
- ISOMÄKI, O. 1963. Puujätteen poltosta ja poltto-laitteista. Pienpuualan Toimik. Tied. 91: 1–11.
- JOHANSSON, A.G. 1946. Om barkens tillgodogörande som bränsle. Svensk Papp. Tidn. 54 (21): 257–360.
- JOKIHAARA, L. 1960. Puun merkitys polttoaine-huollossamme. Pienpuualan Toimik. Tied. 19: 1–2.
- Komiteanmietintö 1972:A 11. Suomen energiantarve 1970-luvulla. Energiapolitiikan neuvottelukunnan mietintö 1: 1–38.
- KUUSELA, K. 1974. Metsäpolitiikan energiapolitiit-tinen tausta. Kansallis-Osake-Pankin Taloudellinen Katsaus 3: 3–8.
- LING, C.H. 1975. Förbränningsanläggningar för trä-bränsle. Summary: Firing equipment for wood residues. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsskötsel Skogs-högsk. 85: 1–58.
- LUNDBERG, H.A. 1943. Värmeinhållet i en kubik-meter ved. Svensk. Papp. Tidn. 46 (13): 293–300.
- Metsätilastollinen vuosikirja 1971. SVT XVII A:4. Folia For. 165: 1–228.
- Metsätilastollinen vuosikirja 1972. SVT XVII A:5. Folia For. 195: 1–229.
- Metsätilastollinen vuosikirja 1974. SVT XVII A:7. Folia For. 255: 1–214.
- MILLIKIN, D.E. 1955. Determination of bark volumes and fuel properties. Pulp Paper Mag. Can. 56 (13): 106–108.
- NEVALAINEN, M. 1976. Olki palaa turvekattilassa. Tekniikan maailma 22: 102–103.
- OLLINMAA, P. 1961. Reaktiopuututkimuksia. Sum-mary: Study on reaction wood. Acta For. Fenn. 72 (1): 1–54.
- OLOFSSON, L. 1975. Värmevärden för olika delar av tall, gran och björk. Summary: Heating values for different parts of pine, spruce and birch. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsteknik Skogshögsk. 90: 1–47.
- SALO, E. 1960. Teollisuuden polttopuun käyttö Suomessa vuosina 1927–1957. Summary: Indus-trial utilization of firewood in Finland in 1927–1957. Commun. Inst.For.Fenn. 52 (6): 1–105.
- SALMI, J. 1964. Lahovikaisuuden vaikutus koivu-

- puun lämpöarvoon. Summary: The influence of decay on the heat value of birch wood. Pienpuualan Toimik. Julk. 168: 1-27.
- SOMMARBERG, S. 1974. Kuoren ja turpeen poltto. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus. Moniste 98 (X): 1-26.
- STEVENSON, A.E. & AROLA, R. 1976. Residue fuels for the U.S. forest industry. In. Proc. XVI IUFRO World Congress. Division V. Norway. p. 213-234.
- STONE, R.N. & SAEMAN, J.F. 1976. Future world demands and cost of supply of timber products. In. Proc. XVI IUFRO World Congress. Division V. Norway. p. 11-23.
- WAHLMAN, M. 1962. Sahausjätteet polttoaineena. Pienpuualan Toimik. Tied. 63: 1-6.
- WILEN, R. 1950. Barkning och barken som bränsle. Papperi ja Puu 32 (11): 252-353.
- VIRTANEN, P. 1963. Fuel properties of barking refuse from Finnish tree species. Papperi ja Puu 45 (5): 313-330.
- WOODWARD, T.F. 1958. Wood refuse burning. Tappi 41 (11): 151.
- VORREITER, I.L. 1949. Holztechnologisches Handbuch I. 548 s. Wien. Verlag Georg Fromme & Co.
- VUORELAINEN, O. 1958. Puu polttoaineena ja puun polttolaitteet. Pienpuualan Toimik. Julk. 49: 1-115.
- VUORELAINEN, O. 1959. Hakkeenpolton viimeaikaisesta kehityksestä. Pienpuualan Toimik. Julk. 74: 1-7.

ODC 812.144-839.81
ISBN 951-40-0254-7
ISSN 0015-5543

LEHTONEN, IRJA. 1977. Puu polttoaineena. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.
(Abstract: Wood as a fuel. A study based on literature.) Folia For. 293: 1-16.

The paper is a review of literature concerning various aspects of the heating values.

Of the different parts of a tree stemwood has the lowest heating values. The heating values of bark are higher than those of stemwood. The heating values of softwood branches are higher than those of stemwood or bark. The heating values of hardwood branches are higher than those of stemwood but lower than those of bark. The heating values of needles are also very high.

The heating values of various types of logging waste and clearing wood are high owing to the high proportion of branches, bark and needles.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17.

ODC 812.144-839.81
ISBN 951-40-0254-7
ISSN 0015-5543

LEHTONEN, IRJA. 1977. Puu polttoaineena. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.
(Abstract: Wood as a fuel. A study based on literature.) Folia For. 293: 1-16.

The paper is a review of literature concerning various aspects of the heating values.

Of the different parts of a tree stemwood has the lowest heating values. The heating values of bark are higher than those of stemwood. The heating values of softwood branches are higher than those of stemwood or bark. The heating values of hardwood branches are higher than those of stemwood but lower than those of bark. The heating values of needles are also very high.

The heating values of various types of logging waste and clearing wood are high owing to the high proportion of branches, bark and needles.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17.

ODC 812.144-839.81
ISBN 951-40-0254-7
ISSN 0015-5543

LEHTONEN, IRJA. 1977. Puu polttoaineena. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.
(Abstract: Wood as a fuel. A study based on literature.) Folia For. 293: 1-16.

The paper is a review of literature concerning various aspects of the heating values.

Of the different parts of a tree stemwood has the lowest heating values. The heating values of bark are higher than those of stemwood. The heating values of softwood branches are higher than those of stemwood or bark. The heating values of hardwood branches are higher than those of stemwood but lower than those of bark. The heating values of needles are also very high.

The heating values of various types of logging waste and clearing wood are high owing to the high proportion of branches, bark and needles.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17.

ODC 812.144-839.81
ISBN 951-40-0254-7
ISSN 0015-5543

LEHTONEN, IRJA. 1977. Puu polttoaineena. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.
(Abstract: Wood as a fuel. A study based on literature.) Folia For. 293: 1-16.

The paper is a review of literature concerning various aspects of the heating values.

Of the different parts of a tree stemwood has the lowest heating values. The heating values of bark are higher than those of stemwood. The heating values of softwood branches are higher than those of stemwood or bark. The heating values of hardwood branches are higher than those of stemwood but lower than those of bark. The heating values of needles are also very high.

The heating values of various types of logging waste and clearing wood are high owing to the high proportion of branches, bark and needles.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17.

- 1975 No 238 Mirja Ruokonen: Lehtien kautta annetun fenoksiherbisidin käyttäytyminen kasvilla. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu
The behaviour of leaf-applied phenoxy-herbicides in plants. A study based on literature. 2,50
- No 239 Eero Paavilainen: Koetuloksia lannoituksen vaikutuksesta korpikuusikossa.
On the response to fertilizer application of Norway spruce growing on peat. 1,—
- No 240 Pentti Hakkila, Hannu Kalaja ja Markku Mäkelä: Kokopuunkäyttö pienpuuongelman ratkaisuna
Full-tree utilization as a solution to the problem of small-sized trees. 8,—
- No 241 Victor Ipatiev & Eero Paavilainen: Lannoituksen vaikutuksen kesto aika vanhassa tupasvillarämeen männikössä.
Duration of the effect of fertilization in an old pine stand on a cottongrass pine swamp. 1,50.
- No 242 Pertti Harstela: Työn tuotos ja työntekijän kuormittuminen vyöhykekasausten menetelmää käytettäessä.
The effect of bunching into zones on productivity and strain of the worker cutting pulpwood. 2,—
- No 243 Paavo Valonen: Tekomiehen fyysinen kuormitus kehittyneissä työvaltaisissa kuitupuun tekomenetelmissä.
The physical strain on the logger in advanced labour intensive pulpwood preparation methods 4,—
- No 244 Eero Lehtonen: Kourakuormauksen oppiminen.
Learning of grapple loading. 4,—
- No 245 Pentti Nisula: Kantoloukku.
Stump Crusher 3,—
- No 246 Hans G. Gustavsen ja Erkki Lipas: Lannoituksella saatavan kasvunlisäyksen riippuvuus annetusta typpimäärästä
Effect of nitrogen dosage on fertilizer response. 2,—
- No 247 Yrjö Vuokila: Nuoren istutuskuusikon harvennus puuntuotannollisena ongelmana.
Thinning of young spruce plantations as a problem of timber production. 2,50
- No 248 Timo Kurkela ja Yrjö Norokorpi: Kuusen lumikaristesien (*Lophophacidium hyperboreum* Lagerb.) esiintyminen Suomessa
Occurrence of spruce snow blight fungus, *Lophophacidium hyperboreum* Lagerb. in Finland. 1,—
- No 249 Pentti Hakkila ja Markku Mäkelä: Pallarin vesakkoharvesteri.
Pallari Bushharvester 2,—
- No 250 Veijo Heiskanen ja Pentti Rikkinen: Havusahatukien kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät.
Bark amount in coniferous sawlogs and factors affecting it. 7,—
- 1976 No 251 Veijo Heiskanen: Havusahatukkeja koskevia arvolaskelmia vuosina 1974—1975.
Value calculations for softwood sawlogs in 1974—1975 7,—
- No 252 Jyrki Raulo ja Eino Mälkönen: Koivun luontainen uudistuminen muokatulla kangasmaalla.
Natural regeneration of birch (*Betula verrucosa* Ehrh. and *B. pubescens* Ehrh.) on tilled mineral soil. 1,50
- No 253 S.-E. Appelroth: Työntutkimus Lamu-kylvökoneesta.
Work Study of the Lamu Seeding Machine. 2,50
- No 254 Matti Kärkkäinen: Havutukien kiintomittausmenetelmän seurantajärjestelmä.
A control method for the measurement of pine and spruce logs. 2,—
- No 255 Metsätalastollinen vuosikirja 1974.
Yearbook of forest statistics 1974.
- No 256 Pentti Hakkila, Hannu Kalaja ja Yrjö Schildt: Bobcat M-721 kaatokasauskone männikön ensiharvennuksessa.
Bobcat M-721 feller-buncher in early thinning of Scots pine. 2,—
- No 257 Pirkko Velling: Mänty- ja kuusiprovenienssien puuaineen tiheyden vaihtelusta.
The wood basic density variation of pine and spruce provenances. 4,—
- No 258 Nisula Pentti: Muovihuoneen sadetuskuone.
A sprinkler for a plastic greenhouse 1,50
- No 259 Matti Uusitalo: Puun kasvatuksen kulut vuosina 1972 ja 1973.
Costs of timber production in Finland in 1972 and 1973 5,—
- No 260 Harstela Pertti: Työn tuotos ja työntekijän kuormittuminen tehtäessä liuku-puomikuormausta varten.
Work output and the worker's strain in cutting pulpwood for slide-boom loading. 2,50
- No 261 Eero Lehtonen: Pienpuun kaato moottori- ja raivaussahoihin perustuvilla laitteilla.
Felling of small-size trees with felling devices based the chain saw and clearing saw. 3,—
- No 262 Olli Saikku ja Pentti Rikkinen: Kuitupuun kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät.
Bark amount of pulpwood and factors affecting it 2,—
- No 263 Reino Saarnio: Viljeltyjen visakoivikoiden laatu ja kehitys Etelä-Suomessa.
The quality and development of cultivated curly-birch (*Betula verrucosa* f. *carelica* Sok.) stands in southern Finland. 3,—

- 1976 No 264 Yrjö Vuokila: Ensiharvennuskertymä.
Yield from the first thinning. 1,50
- No 265 Olavi Huuri: Kallistumisilmio istutusmänniköissä; tiedustelun tuloksia.
Tilting of planted pines; survey results. 2,50
- No 266 Proposed tree breeding programme in Finland 1976—1985.
Abbreviation of the report issued by the Tree Breeding Committee (Committee Report 1975:25).
- No 267 Jari Parviainen: Taimien juurten leikkaaminen kasvatuksen ja istutuksen yhteydessä.
Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.
Root pruning in the nursery and at planting. A study based on literature. 3,—
- No 268 Jari Parviainen: Mannyn eri taimilajien juuriston alkukehitys.
Initial development of root systems of various types of nursery stock for Scots pine. 2,50
- No 269 Heikki Seppälä: Metsäsektorin alueellinen merkitys Suomessa.
Regional importance of the forest sector in Finland. 3,—
- No 270 Jaakko Virtanen: Metsänomistaja tienrakennuttajana.
The role of the forest owners in logging roads construction. 3,—
- No 271 Pertti Elovirta: Metsätalouden työvoiman tarjonta Suomessa 1945—1974 ja ennuste vuosille 1975—1985.
Forest labour supply in Finland 1945—1974 and a forecast to years 1975—1985. 5,—
- No 272 Eero Paavilainen: Typpilannoitus ohutturpeisilla piensararämeillä
Nitrogen fertilization on shallow-peated *Carex globularis* pine swamps. 2,—
- No 273 Paavo Simola ja Markku Mäkelä: Rasiinkaato kokopuiden korjuussa.
Leaf-seasoning method in whole-tree logging. 2,—
- No 274 Kullervo Kuusela ja Sakari Salminen. Pohjois-Karjalan metsävarat vuosina 1973—74, Etelä-Pohjanmaan, Vaasan ja Keski-Pohjanmaan vuonna 1974 sekä Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan vuonna 1975.
Forest resources in the Forestry Board Districts of Pohjois-Karjala in 1973—74, Etelä-Pohjanmaa, Vaasa and Keski-Pohjanmaa in 1974, Kainuu and Pohjois-Pohjanmaa in 1975 5,—
- No 275 L. Runeberg: Driftsresultatet från Skogsforskningsinstitutets företagsekonomiska forskningsskogar åren 1945—74.
The business economics result from the Forest Research Institute's research forests 1945—74. 5,—
- No 276 Pentti Iisalo, Jukka Sorsa ja Paavo Tiihonen: Suomen metsien rakenteen seuranta-menetelmä.
Eine Methode zur laufenden Überprüfung der Struktur der Wälder Finnlands. 2,50
- No 277 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1973—75.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1973—75. 5,—
- No 279 Jyrki Raulo ja Erkki Lähde: Ennakkotuloksia rauduskoivun kyvykokeista Lapissa.
Preliminary results on sowing experiments with *Betula pendula* Roth in Finnish Lapland. 1,50
- No 280 Veijo Heiskanen: Havusahatukki kuorelliset keskusmuotoluvut.
Middle form factors of pine and spruce sawlogs. 2,50
- No 281 Yrjö Vuokila: Karsimisen vaikutus männyn ja koivun terveystilaan.
Effect of green pruning on the health of pine and birch. 1,50
- No 282 Yrjö Vuokila: Pystypuun kairaus vikojen aiheuttajana.
The boring of standing trees as a source of defects. 1,50
- No 283 Leevi Pajunen: Metsurin työvälinekustannukset 1975—1976.
Forest worker's equipment costs 1975—1976. 2,50
- No 284 Paavo Juutinen, Timo Kurkela ja Sakari Lilja: Ruohokaskas, *Cicadella viridis* (L.), lehtipuun taimien vioittajana sekä vioitusten sienisaastunta.
Cicadella viridis (L.), as a wounding of hardwood saplings and infection of wounds by pathogenic fungi. 1,50
- No 285 Timo Nyrhinen: Kaksivaiheisen metsän investoinnin koe Lounais-Suomessa.
A test of two-step forest inventory in South-West Finland. 2,50
- No 286 Matti Kärkkäinen: Pohjoissuomalaisen koivukuitupuun tilavuusmittauksia.
Volume measurement of birch pulpwood in Northern Finland. 2,50
- No 287 Veijo Heiskanen ja Juhani Salmi: Koivutukki latvamuotoluvut ja yksikkökuutiot.
Top form factors and unit volumes of birch logs. 5,—
- No 288 Matti Leikola: Taimitarhamaan lämpöolot muovihuoneessa ja avomaalla.
Soil temperature conditions in plastic greenhouse and in open nursery. 2,—
- No 290 Veijo Heiskanen: Tarkistetut havusahatukki kuorelliset yksikkökuutioluvut.
The checked unit volumes for pine and spruce sawlogs. 1,50
- No 291 Matti Uusitalo: Puun kasvatuksen kulut vuosina 1972—74.
Costs of timber production in Finland in 1972—74. 3,—
- 1977 No 292 Hakkila, Pentti: Kantopuu metsäteollisuuden raaka-aineena.
Stumpwood as industrial raw material.
- No 293 Irja Lehtonen: Puu polttoaineena. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.
Wood as a fuel. A study based on literature.

Myynti — Available for sale at: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, p. 645 121
Merkintä ODC tarkoittaa metsäkirjallisuuden kansainvälistä Oxford-luokitusjärjestelmää