

TUTKIMUKSIA
KOIVUHALKOJEN PAINOSTA JA KOSTEUEDESTA

VEIJO HEISKANEN

SUMMARY:
STUDIES ON THE WEIGHT AND MOISTURE OF
SPLIT BIRCH FUELWOOD

HELSINKI 1961

Alkusanat

Pienpuualan Toimikunnan tutkimustoiminnassa on puupolttoaineita käsittelevillä tutkimuksilla ollut jatkuvasti tärkeä asema. Niissä on päähuomio kiinnitetty polttohakkeeseen ja sen ominaisuuksiin, mutta myös halot ovat olleet tutkittavana. Tämä tutkimus muodostaa erään osan halkoja koskevista tutkimuksista, joiden tarkoituksena on ollut selvittää halkojen varastointiin ja lämpöarvoon liittyviä kysymyksiä.

Tutkimuksen onnistumisen on tehnyt mahdolliseksi Valtionrautateiden polttoainetoimiston myönteinen suhtautuminen asiaan. Haluankin tässä yhteydessä kiittää kaikkia VAPOn henkilökuntaan kuuluvia, jotka ovat osallistuneet tutkimuksen kenttätöihin. Erityisesti osoitan kiitokseni metsänhoitaja O. WARSTALLE, joka on valvonut kenttätöitä ja joka on myös käsikirjoitusvaiheessa esittänyt varteenotettuja näkökohtia. Käsikirjoitukseen ovat myös tutustuneet ylimetsänhoitajat J. KLAMI ja M. LUOMI, joille esitän kiitokseni.

Helsingissä 29 p:nä joulukuuta 1960

Veijo Heiskanen

Sisällys

	Sivu
Johdanto	5
Tutkimusmenetelmä ja -aineisto	6
Tutkimuksen tulokset	8
Halkojen paino	8
Halkojen kosteus	14
Yleistä	14
Kosteus pinon eri osissa	15
Varastoitavan vaikutus	18
Varastoisajan vaikutus	20
Keskilukuja	21
Yhdistelmä	23
Kirjallisuutta	25
Summary	26
Liitetaulukot	28

Johdanto

Halkojen paino ja kosteus ovat erittäin tärkeitä perustietoja halkojen lämpöarvoa laskettaessa. Puu poikkeakin muista polttoaineista varsin huomattavasti siinä, että sen lämpöarvo vaihtelee tuntuvasti laajemmissa rajoissa kuin muiden aineiden, esim. kivihiilen tai öljyn.

Ensinnäkin puulaji vaikuttaa polttopuuerän lämpösisältöön hyvin paljon. Puulajin vaikutus on kuitenkin varsin helposti todettavissa, mutta myös kunkin puulajin lämpöarvo saattaa vaihdella verraten paljon. Puulajin vaikutus painoyksikön lämpöarvoon ei ole suuri ja se jätetäänkin yleensä käytännön laskelmissa huomioon ottamatta. Kunkin puulajin tilavuusyksikön lämpöarvo sen sijaan vaihtelee hyvin paljon, ja eniten siihen vaikuttaa puun kosteus. Kun polttopuiden kaupparmittana käytetään pinokuutiometriä, siis tilavuusmittaa, kohdistetaan tämänkin tutkimus tilavuusyksikön lämpöarvon selvittämiseen. Halkojen lämpöarvolla tarkoitetaan tässä pinokuutiometrin tehollista lämpöarvoa, ellei ole toisin mainittu.

Tähän lämpöarvoon vaikuttavat mittayksikön paino ja puun kosteus. Kosteuden vaikutus tilavuusyksikön lämpöarvoon on kuitenkin vähäisempi kuin painoyksikön lämpöarvoon, koska kosteuden lisääntyessä myös tilavuuspaino kasvaa. Pinokuutiometrin paino riippuu paitsi puulajista ja puuaineksen tilavuuspainosta myös pinotiheydestä ja, kuten jo tuli mainituksi, puun kosteudesta. Kosteuden vaihteluihin taas vaikuttavat varastois aika, varastois tapa sekä puiden järeys ja tietenkin varastoisajan ilmasto tärkeimpinä.

Halkojen varastoisinnista ja kosteudesta Pienpuualan Toimikunta on jo julkaissut muutamia tutkimuksia. HEISKASEN (1959) työssä tarkastellaan eri tavoin käsitellyn polttopuun kuivumista ja säilymistä metsävarastoissa sekä kosketellaan lyhyesti myös polttopuun painoa. Kahdessa tutkimuksessa taas on selvitetty koivuhalkojen kosteutta pesäänpanohetkellä (VUORELAINEN ja TUPOLA 1959, HEISKANEN 1960). Edellisessä on tehty myös mittauksia halkojen painosta, mutta aineisto ei ole kovin suuri. Polttopuun kuivumista on käsitelty lisäksi eräissä muissa kotimaisissa tutkimuksissa, joista mainittakoon Pienpuukomitean (1933), HEISKASEN (1953) sekä LUOMEN (1955, 1959) ja AULAMON (1960) työt. Sitä vastoin halkojen painoa koskevia, laajoja tutkimuksia ei ole tehty, vaan käsi- ja oppikirjoissa esiintyvät tiedot lienevät kokemusperäisiä lukuja.

Polttopuun käytön kannattavuutta selvitetessä on kuitenkin varsin tärkeä tuntee myös halkojen keskimääräiset painoluvut, joiden avulla voidaan laskea luotettavat lämpöarvot haloille. Tämän tutkielman yhtenä tarkoituksena onkin selvittää koivuhalkojen painon vaihtelut sekä keskimääräiset painot. Samasta aineistosta on lisäksi voitu selvittää eri varastointitapojen vaikutus halkojen kosteuteen. Näiden tietojen perusteella voidaan oikealla tavalla arvostella eri tavoin varastoitujen halkojen lämpöarvoja ja myös eri varastointitapojen edullisuutta.

Tutkimus on suoritettu yhteistoiminnassa Valtionrautateiden Polttoainetoimiston kanssa siten, että kenttätyöt on tehty VAPON toimesta metsänhoitaja O. WARSTAN johdolla. Tutkimussuunnitelma on tehty yhteistyönä ja kenttätöitä on valvottu toimikunnan puolesta.

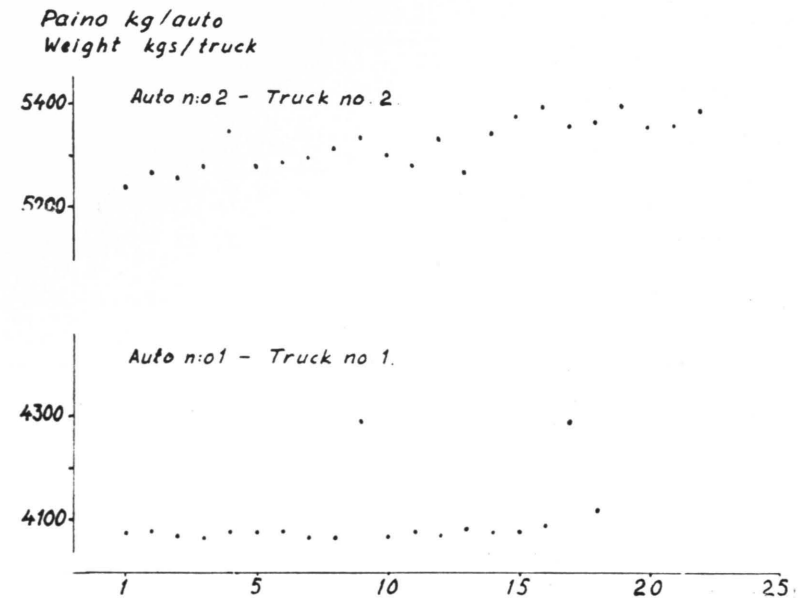
Tutkimusmenetelmä ja -aineisto

Tutkimus tehtiin kuudessa Valtionrautateiden Polttoainetoimiston hankintapiirissä marraskuulta 1959 huhtikuulle 1960 punnitsemalla halkokuormia ja ottamalla niistä kosteusnäytteitä. Aineiston suuruus oli eri tutkimuspaikoilla seuraava.

Tutkimus- paikka	Punnittu		Otettu kosteusnäytteitä
	kuormia	p-m ³	
Kouvola	50	879.9	500
Oulu	14	454.9	140
Kokkola	51	1 160.0	510
Tampere	50	959.7	500
Hämeenlinna	40	744.0	400
Outokumpu	50	1 219.3	500
Yhteensä	255	5 417.8	2 550

Punnitut kuormat jakautuvat halkojen varastointitavan ja -ajan mukaan seuraavasti: Yhden kesän avopinot 50, kahden kesän avopinot 50, paperilla peitetyt pinot 50, kahden kesän aumat 53 ja yli kahden kesän aumat 52 kuormaa. Kustakin kuormasta otettiin kymmenen kosteusnäytettä, joten niiden lukumäärä kussakin tapauksessa on kymmenkertainen.

Punnitukset suoritettiin eri liikkeiden ja teollisuuslaitosten autovaaissa siten, että ensin auto punnittiin kuormineen ja heti kuorman purkamisen jälkeen suoritettiin tyhjän auton punnitus. Yleensä purkamispaikka sijaitti verraten lähellä vaakaa, joten auton polttoainekulutus punnitusten välillä ei voinut aiheuttaa suuria virheitä tyhjäpainon ja kuormattuna painon eroihin. Vain joissakin harvoissa tapauksissa käytettiin yhdelle autolle aina samaa tyhjäpainoa, josta on aiheutunut pieniä virheitä. Esimerkkinä auton tyhjä-



Kuva 1. Auton tyhjäpainojen vaihteluja.

Figure 1. Variations of empty weight of a truck.

painojen vaihteluista esitettäkään seuraavat sarjat kahden auton painoista Outokummussa eri punnituskertoilla. Nämä kuvassa 1 esitetyt painot osoittavat seuraavia keskiarvoja ja vaihtelurajoja

Auto 1. 5 305 (5 240—5 400) kg

Auto 2. 4 102 (4 070—4 290) kg

Virhelähteenä on myös kuorman kuutiomäärän mittaus, joka suoritettiin normaalisti autossa ajon päättyessä. Tulokset osoittavat siis automittausten mukaisten pinokuutiometriin painot, eivätkä pinossa mitatun polttopuun painoja. Pinotiheys onkin autokuormassa todennäköisesti hieman pienempi kuin varastopinoissa, joten tutkimuksen osoittamat painot ovat jonkin verran pienemmät kuin pinossa mitatun pinokuutiometrin painot. Hyvin varovaisesti arvioiden voidaan eroksi olettaa 1 %, jota käytetään laskelmissa vertailuarvojen laskemisessa.

Jokaisesta kuormasta otettiin kymmenestä halosta kosteusnäytteet, niinkuin jo mainittiin. Näytehaloiksi valittiin jo varastopinosta ao. kuorman puiden keskiläpimitan suuruisia halkoja, siten, että koepuita tuli pinon eri osista samassa suhteessa kuin pinon eri osien halkoja autokuormaankin. Näytteitä otettiin aisatuista pölkyistä siinä suhteessa kuin niitä sisältyi autokuormaan. Aisattuja näytteitä oli aina joko 0, 1 tai 2 kpl.

Näytteeksi saatiin jokaisesta valitusta halosta n. 25 cm:n etäisyydeltä latvasta 1 cm:n vahvuinen kiekko, joka suljettiin heti ilmatiiviiseen muovipussiin. Kiekko otettiin sellaisesta paikasta, jossa poikkileikkauspinnan vaikutus kuivumiseen ei tunnu enää (vrt. VUORELAINEN ja TUPOLA 1959). Kun halkojen kuivuus on käytännöllisesti katsoen sama kaikkialla aivan päitä lukuunottamatta, saadaan kosteus näin yhdellä näytteellä riittävän tarkasti selville (vrt. HEISKANEN 1959). Tosin halon pään syksyllä tai talvella muuta halkoa usein suurempi kosteus jää tällä tavoin huomioon ottamatta, joten ilmeisesti halkojen kosteus on voitu saada hieman oikeaa alhaisemmaksi varsinkin avopinoissa ja paperipeittopinoissa. Sitä vastoin aumoissa halkojen päät eivät pääse sanottavammin kostumaan sateillakaan. Kesällä ja varhaisryksyllä halot ovatkin päästään kuivimpia, ja se koskee aumahalkoja kaikkina vuodenaikoina. On siis mahdollista, että aumahalkojen kosteus on tullut käytetyllä menetelmällä todellista korkeammaksi. Erot ovat kuitenkin varmasti hyvin vähäisiä. Avopinoissa suhde saattaa olla päinvastainen. Kun kaikissa muissakin tutkimuksissa on yleensä käytetty samantapaista menetelmää, ovat tulokset joka tapauksessa vertailukelpoisia aiempiin tutkimuksiin nähden.

Näytteet lähetettiin kohta ottamisen jälkeen kylmässä vaunussa Helsinkiin punnittavaksi, joten märkämpainoa ei määritetty heti näytteen saamisen jälkeen. Tällä tavoin, kun lisäksi pussin seinämiin jäänyttä kosteutta ei punnittu, ellei sitä ollut selvästi nähtävissä, märkämpaino muodostui jonkin verran todellista alhaisemmaksi. Virhe oli kuitenkin varsin pieni, silloin kun kysymyksessä ovat kuivat halot, kuten tässä tutkimuksessa on ollut laita. On kuitenkin mahdollista, että tapauksissa, joissa näytteet ovat seisseet lämpimässä paikassa pari-kolme viikkoa ennen punnitusta, käytetyllä menetelmällä on saatu $1/2$ — 1 % liian alhainen kosteus (HEISKANEN 1960). Keskimääräinen virhe on kuitenkin pienempi, sillä punnitukseen ei kulunut niin pitkää aikaa ja näytekiekot säilytettiin talvella lumeen upotettuina ja keväämmällä muutoin kylmissä paikoissa, jottei haihtumista olisi päässyt tapahtumaan. Lisäksi, kuten jo mainittiin, osassa tapauksista punnittiin myös muovipussin seinämiin haihtunut vesi, mitä ei tehty tarkistuskokeissa.

Lopuksi mainittakoon, että kaikki kosteussadannekset on laskettu kokonais(märkä)painosta, kuten on tapana polttopuusta puhuttaessa.

Tutkimuksen tulokset

Halkojen paino

Aineiston keskiluvut tutkimuspaikoittain on esitetty taulukossa 1. Koko aineiston keskimääräinen paino on siis 418.1 kg/p-m³ ja kosteus 20.1 %. Kun halkojen paino vaihtelee kuitenkin hyvin paljon, on syytä tarkastella tekijöitä,

T a u l u k k o 1. Koivuhalkojen keskimääräiset kuutiometripainot eri tutkimuspaikoilla.
Table 1. Average weight of split birch fuelwood per cubic metre at different places of study.

Tutkimuspaikka Place of study	Kuormia No. of loads	Keskim. läpim. cm Aver. diam. cm	Aisattuja, % Stripbarked per cent	Kosteus % Moisture content per cent	Paino kg/p-m ³ Weight kgs per cu. m
Kouvola	50	15.2	22.4	19.7	406.3
Oulu	14	15.8	10.7	19.8	438.4
Kokkola	51	14.6	26.7	20.8	445.1
Tampere	50	13.6	19.8	19.3	399.7
Lahti	40	14.8	13.8	20.9	412.8
Outokumpu	50	14.4	21.1	19.9	416.1
Yhteensä — Total	255		19.1	20.1	418.1

T a u l u k k o 2. Koivuhalkojen pinokuutiometripainot eri kosteusluokissa tutkimuspaikoittain.

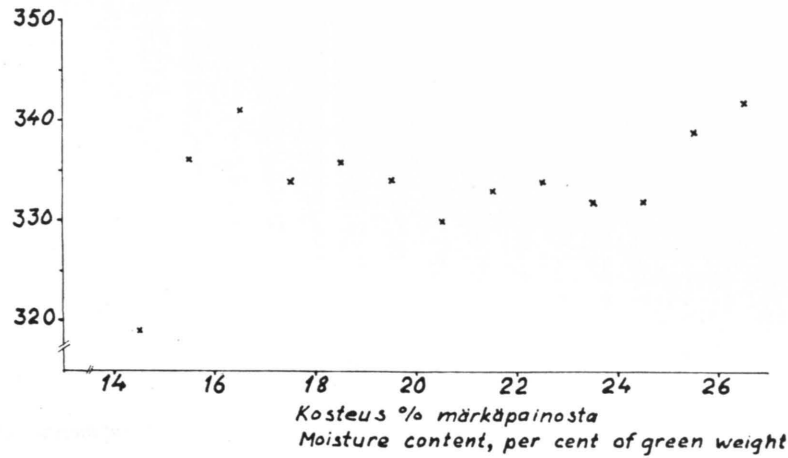
Table 2. Weight of split birch fuelwood by cubic metre piled measure in different moisture classes, according to places of study.

Kosteus % Moisture per cent	Kouvola	Oulu	Kokkola	Tampere	Hämeen- linna	Outo- kumpu	Keskim. Average
	kg/p-m ³ — kgs/cu. m. piled measure						
14.5	—	—	—	373	—	—	373
15.5	395	—	455	382	395	—	398
16.5	399	—	445	385	—	405	409
17.5	398	—	405	402	390	432	405
18.5	405	427	438	401	400	411	413
19.5	408	438	429	411	401	416	415
20.5	401	445	444	408	409	405	415
21.5	405	455	450	388	398	440	424
22.5	424	460	458	401	410	—	431
23.5	410	—	465	428	425	425	434
24.5	440	—	445	—	453	425	440
25.5	425	—	465	—	468	435	455
26.5	—	—	465	—	—	—	465

jotka siihen vaikuttavat. Tärkeimmistä tekijöistä mainittakoon halkojen kosteus ja niiden pinotiheys, joista jälkimmäistä ei kuitenkaan ole mittauksia tehtäessä määritetty. Myöskään puun tilavuuspainon vaikutusta halkokuutiometrin painoon ei ole voitu tällaisessa käytännöllisluonteisessa tutkimuksessa selvittää. Tutkimus onkin kohdistettava yksinomaan kosteuden ja painon välisen riippuvuuden selvittämiseen.

Taulukosta 2 nähdään keskimääräiset kuutiometripainot eri tutkimuspaikoilla kosteusluokittain.

Kuiva-ainepaino kg/p-m^3
Dry weight kgs/cu.m.



Kuva 2. Tasoittamattomat koivuhalkojen kuiva-ainepainot kosteusluokittain.

Figure 2. Average dry material weights not rounded off, according to moisture classifications of split fuelwood.

Taulukosta ilmenee, että suurissa puitteissa halkojen kosteus vaikuttaa kuutiometripainoihin erittäin selvästi, niinkuin sopii odottaa. Aineistossa on kuitenkin melko suuriakin vaihteluja ja epäsäännöllisyyksiä, jotka johtunevat ensi sijassa puuaineksen tilavuuspainon vaihteluista sekä pinotiheyden erilaisuudesta. Näiden tekijöiden vaikutus tasoittuu kuitenkin jonkin verran yhdistettäessä koko aineisto, jonka keskiarvo nähdään taulukon yhteensäsarakeesta. Laskettaessa eri kosteusluokkien kuiva-ainepainot havaitaan silti koko aineiston keskiarvojen kohdallakin suurta vaihtelua. Se ilmenee kuvasta 2.

Pienin kosteusluokittainen kuiva-ainepaino on 319 kg/p-m^3 ja suurin 342 kg/p-m^3 . Koko aineiston keskiarvoksi muodostuu 333 kg/p-m^3 . Lukuunottamatta kosteusluokan 14.5 % hyvin alhaista arvoa on havaittavissa, että sekä kuivimpien että kosteimpien halkojen painot ovat korkeat. Keskellä, 19–23 %:n kosteuksissa, painot ovat äärikosteusluokkien painoja alhaisemmat.

Tällainen vaihtelu johtuu kaiken todennäköisyyden mukaan aineistosta aiheutuvista seikoista. Tuntuu näet siltä, että kuiva-ainepainon tulisi olla kaikissa kosteusluokissa samansuuruinen. Piirrookseen onkin merkitty vaakasuoralla viivalla em. 333 kg :n keskimääräinen paino. Tämä luku tarkoittaa siis autossa mitatun halkokuutiometrin painoa, mikä on aina jonkin verran pienempi kuin pinossa mitatun kuutiometrin paino. Jos ero oletetaan vaikkapa vain 1 %:ksi, saadaan pinossa mitatun koivuhalkokuutiometrin painoksi n. 336 kg .

T a u l u k k o 3. Koivuhalkojen pinokuutiometrin kuiva-ainepainojen jakautuminen painoluokkiin.

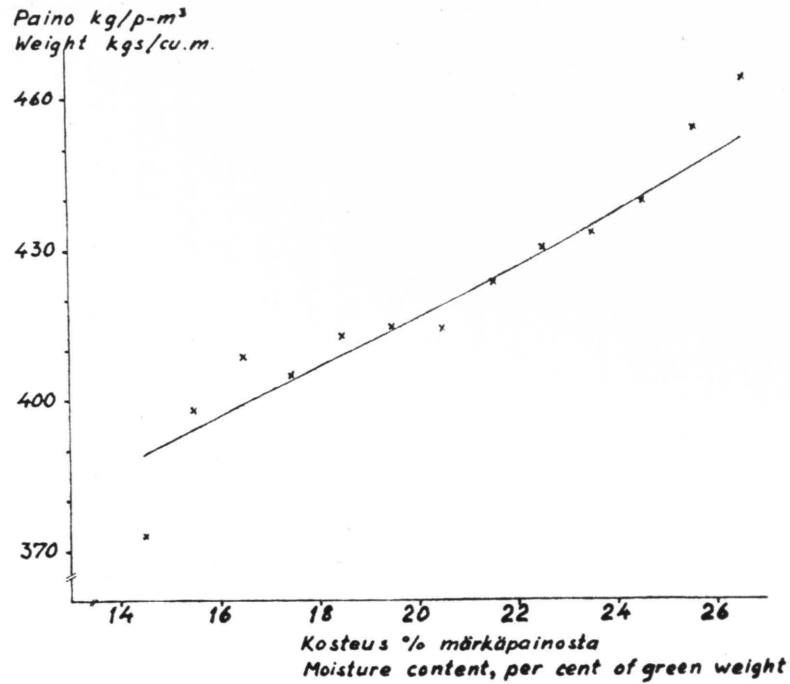
Table 3. Distribution into dry weight classes of split birch fuelwood.

Kuiva-ainepaino, kg/p-m^3 Dry weight, kgs per cu.m.	Kuormia — Loads	
	kpl — number	% — per cent
280	1	0.4
290	4	1.6
300	13	5.1
310	25	9.8
320	59	23.2
330	41	16.0
340	41	16.0
350	36	14.1
360	23	9.0
370	5	2.0
380	4	1.6
390	3	1.2
Yhteensä — Total	255	100.0

T a u l u k k o 4. Koivuhalkojen kokonais- ja kuiva-ainepainot eri kosteusluokissa

Table 4. Total and dry weights of split birch fuelwood in different moisture classes.

Kosteus % Moisture per cent	Aineiston keskiarvot Averages of material		Tasoitetut keskiarvot Smoothed averages	
	kokonaispaino total weight	kuiva-ainepaino dry weight	kokonaispaino total weight	kuiva-ainepaino dry weight
	kg/p-m^3 — kgs per cu.m.		kg/p-m^3 — kgs. per cu.m.	
14.5	373	319	389	333
15.5	398	336	394	333
16.5	409	341	399	333
17.5	405	334	404	333
18.5	413	336	409	333
19.5	415	334	414	333
20.5	415	330	419	333
21.5	424	333	424	333
22.5	431	334	430	333
23.5	434	332	435	333
24.5	440	332	441	333
25.5	455	339	447	333
26.5	465	342	453	333



Kuva 3. Koivuhalkojen kuutiometripainot kosteusluokittain.

Figure 3. Weights of cubic metre piled measure according to moisture classifications of split fuelwood.

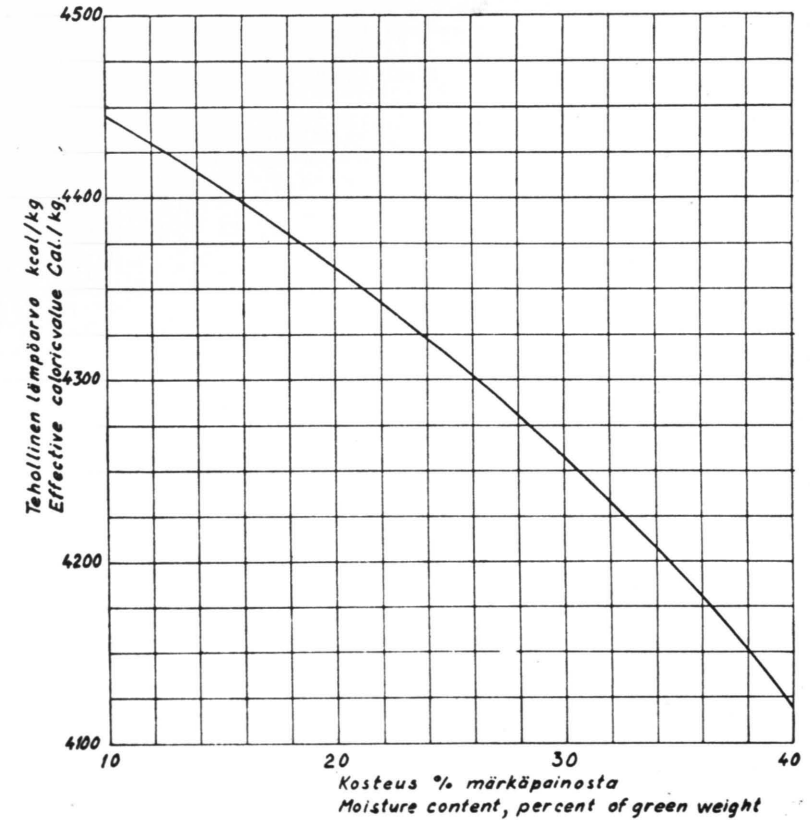
Vuorelainen (1958)	326 kg/p-m ³
Jalava (1959)	314—333 kg/p-m ³
Vuorelainen ja Tupola (1959)	345 kg/p-m ³
Heiskanen (1959)	309—310 kg/p-m ³
Ebeling (1958)	300—308 kg/p-m ³

Vertailun vuoksi esitettäkään muissa tutkimuksissa sekä käsi- ja oppikirjoissa mainittuja tai niissä esitetyistä tiedoista laskettuja koivuhalkojen kuiva-ainepainoja.

VUORELAISEN (1958), JALAVAN ja EBELINGIN luvut lienevät kokemusperäisiä, kun taas muut perustuvat verraten pieniin, yhden pinokuutiometrin erinä punnittuihin aineistoihin.

Kuiva-ainepainojen jakautuminen painoluokkiin on esitetty taulukossa 3.

Keskiarvoisen kuiva-ainepainon avulla tasoitettujen pinokuutiometripainot nähdään taulukosta 4 ja kuvasta 3 rinnan aineiston tasoittamattomien keskiarvojen kanssa.



Kuva 4. Koivuhalkojen tehollinen lämpöarvo kuiva-ainekiloa kohden eri kosteusluokissa.
Figure 4. Dependence of effective heat value on moisture in split birch fuelwood as calculated per dry material kilogram.

Taulukosta nähdään, että kuivien halkojen pinokuutiometripaino on 20 %:n kosteudessa 418 kg/p-m³ ja 25 %:n kosteudessa 446 kg/p-m³.

JALAVA (1960) on ilmoittanut kuivien halkojen (20 % k.p.) painoksi 400 kg/p-m³, HEISKANEN (1959) metsäkuivien halkojen (25—31 % k.p.) 383—418 kg/p-m³, VUORELAINEN (1958) 25 %:sten halkojen 435 kg/p-m³ ja VUORELAINEN ja TUPOLA (1959) kuivien halkojen (23.5 %) 451.4 kg/p-m³.

Esitettyjen tutkimustulosten perusteella voidaan laskea myös halkokuutiometrin lämpöarvo eri kosteusasteissa. Laskelmien pohjana on käytetty kuvaa 4, johon on kuvattu halkopinokuutiometrin kosteuden mukaiset lämpöarvot kuiva-ainekiloa kohden. Kuvasta saadut arvot on kerrottu keskimääräisellä kuiva-ainepainolla, 333 kg/p-m³, jolloin on saatu seuraavat lämpöarvot. Suluissa on

ilmoitettu arvioidut pinossa mitattujen koivuhalkokuutiometriä lämpöarvot lähtemällä em. 1 %:n painoerosta.

Kosteus, %	Lämpöarvo Mcal/m ³	
15	1 467	(1 480)
20	1 452	(1 465)
25	1 435	(1 448)
30	1 417	(1 430)
(35)	1 397	(1 410)

Pienpuualan Toimikunnan julkaisuissa on aiemmin käytetty lämpöarvoa 1 440 Mcal/p-m³, jonka katsotaan vastaavan 25 %:n kosteutta (VUORELAINEN 1958). Se näyttää siis tämän tutkimuksen mukaan melko oikealta. Uusissa lämpöteknillisissä käsikirjoissa ilmoitetaan sitä vastoin hyvin alhaisia lämpöarvoja, 30 %:n kosteudessa 1 350 Mcal/p-m³ ja 1 300 Mcal/p-m³ (esim. OKSANEN 1958, EBELING 1958.)

On kuitenkin vielä selvitettävä koivuhalkojen keskim. kosteus ennenkuin lopullisesti voidaan ottaa kanta koivuhalkojen keskim. lämpöarvoon. Koko aineiston keskiarvoinen kosteus oli 20 %, mutta, kun kosteus riippuu monista tekijöistä, on kysymystä tarkasteltava yksityiskohtaisesti.

Halkojen kosteus

Yleistä

Käsillä olevan aineiston mukaan VAPON kulutukseen toimittamien halkojen kosteus oli talvella 1959—60 keskimäärin 20.1 % ja se vaihteli eri tutkimuspaikoilla 19.3 %:sta 20.9 %:iin. Nämä keskiarvot osoittavat kuitenkin vain suuren, karkeana keskilukuna VAPON halkojen kosteuden. Kuten aiemmin mainittiin, on puun kosteutta tarkasteltaessa kiinnitettävä erityistä huomiota siihen vaikuttaviin tekijöihin, jotta saataisiin selville perustellut keskiluvut.

Tärkeimmät halkojen kuivumiseen vaikuttavat tekijät ovat seuraavat (esim. HEISKANEN 1959).

— Hakkuu-aika, joka ei kuitenkaan enää tunnu hakkuuta seuraavan vuoden syksyllä, jolloin kaikki halot kaatoajasta riippumatta voivat teoriassa olla yhtä kuivia. Hakkuuajan vaikutus voidaan siis jättää käsittelemättä.

— Varastopaikan laadulla ja järjestelyllä on myös oma tietty vaikutuksensa, mikä ei kuitenkaan ole niin suuri, että sillä olisi huomattavaa merkitystä näin suuressa aineistossa.

— Halkojen läpimitta vaikuttaa myös varsin selvästi kuivumiseen, vaikka senkin vaikutus käy sitä vähäisemmäksi mitä kauemmin puut ovat varastoi-

tuna. Poikkeuksena ovat hyvin suuret halot, jotka alkavat pitkän varastoinnin aikana lahota. Tässä aineistossa läpimitan vaikutus tuloksiin on tavallaan eliminoitunut siten, että eri tavoin varastoitujen näytehalkojen keskim. läpimitat ovat käytännöllisesti katsoen samat, kuten seuraavasta asetelmasta ilmenee.

Varastointitapa ja -aika	Läpimitta, cm
Avopinot 1 kesä	14.8
—»— 2 kesää	14.7
Peittopinot 2 kesää	14.6
Aumat 2 kesää	14.3
—»— yli 2 kesää	14.5

— Jäljelle jää näin ollen vain varastoimistapa ja -aika, joiden vaikutuksen tarkasteluun aineisto antaa mitä parhaat mahdollisuudet.

Kosteus pinon eri osissa

Aluksi on syytä tutkia halkojen kosteutta varastopinojen eri osissa. Näytehilot näet otettiin, niinkuin on mainittu, pinon eri osista samassa suhteessa kuin niitä tuli autokuormiin, joten aineistoon saattaa sisältyä halkoja jossain määrin epätasaisesti pinon eri osista. Tämän aineiston mahdollisen epätasaisuuden eliminoimiseksi on mainittu tarkastelu katsottu tarpeelliseksi.

Jokaisesta näytehiloista mainittiin, oliko se ollut pinon alaosassa, keskiosassa vai yläosassa. Pino ajateltiin tällöin jaetuksi vaakasuorassa suunnassa kolmeen yhtä korkeaan osaan. Aumassa varastoiduista haloista erotettiin vielä kattohalot omaksi ryhmäkseen.

Taulukossa 5 on esitetty keskimääräiset kosteussadannekset pinon eri osissa. Liitetaulukkoista 1—5 taas ilmenee kosteussadanneksten jakautuma eri tapauksissa.

Yhteisenä suuntana kaikissa varastomuodostelmissa on se, että pinon keskiosan halot ovat keskimäärin kuivimpia. Kosteuksien hajonta on myös keskiosissa aivan selvästi pienin. Tämä onkin varsin hyvin ymmärrettävissä, sillä pinon keskiosiin ei pääse vaikuttamaan ylhäältä valuva sadevesi eikä myöskään alhaalta, maasta nouseva kosteus.

Sekä avopinoissa että paperilla peitetyissä pinoissa ylimmät halot ovatkin märimpiä ja niiden kosteuksien hajonta on yllättävän suuri. Avopinoissa on tähän syynä, kuten voidaan helposti ymmärtää, sadevesi ja lumi sekä jää. Myös peittopinoissa on sama selitys ainoa mahdollinen. Osa, tosin varsin pieni osa haloista on paperipeitteen päällä ja siten hyvin alttiina sateille ym. kosteudelle. Lisäksi paperi rikkoutuu melko usein ja reiistä pääsee valumaan vettä myös itse pinoon.

T a u l u k k o 5. Erilaisten varastopinojen eri osien koivuhalkojen keskimääräiset kosteudet.
Table 5. Average moistures in different parts of dissimilarly stored piles of split birch fuelwood.

Varastointitapa Way of storage	Aika, v. Time, years	Pinon — Piles			
		alaosan ower part	keskiosan middle part	yläosan upper part	katon roof
		kosteus % — moisture content per cent			
Avopino — Open pile	1	22.9	22.4	24.2	—
—»— —»—	2	20.2	19.1	22.2	—
Peittopino — Pile covered with paper	2	20.1	18.6	20.9	—
Auma — Roofed multiple pites ..	2	19.6	18.1	18.2	25.3
—»— —»—	yli over 2	18.0	16.8	17.6	26.9



Kuva 5. Avopinossa lumi ja jää tunkeutuvat syvälle pinoon. Valok. VAPO.

Figure 5. In an open pile the snow and ice gets deeply into the pile. Photo VAPO.

Kosteuserot yläosan ja muun pinon välillä ovat avopinoissa suuremmat kuin peittopinoissa. Kaksi kesää varastoiduissa avopinoissa se on 3.1 % ja peittopinoissa 2.3 %. Avopinoissa on lisäksi havaittavissa varastossa oloajan vaikutusta pinon yläosan ja muun pinon kosteuseroissa. Yhden kesän ajan varastoitujen kohdalla tämä ero on vain 1.8 % ja kaksi kesää varastoitujen kohdalla 3.1 %, kuten jo mainittiin.

Alaosan halot ovat olleet kaikissa pinotyypeissä jonkin verran kosteampia kuin keskellä pinoa olleet halot. Ero on selvin kaksi vuotta varastoiduissa puissa. Samaan tulokseen on tultu myös muissa tutkimuksissa.



Kuva 6. Halkopinoa peitetään peittopaperilla. Valok. VAPO.

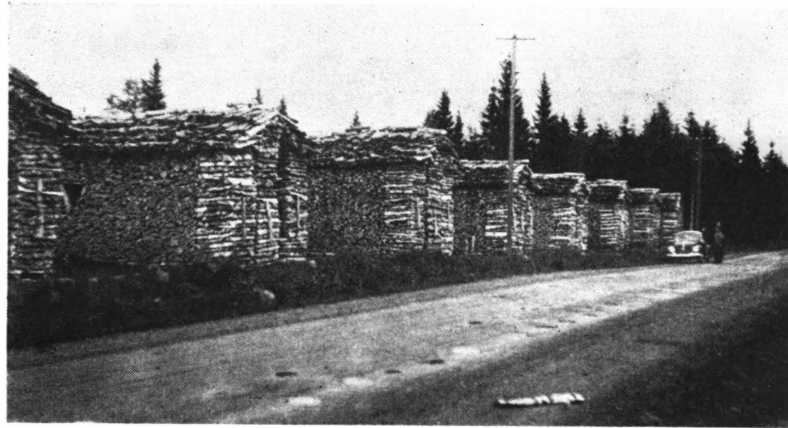
Figure 6. A protective covering of paper is being put on a pile of split fuelwood. Photo VAPO.

Aumoissa kattohalot ovat, kuten onkin luonnollista, kaikkein kosteimpia. Ero itse pinoissa olevien halkojen kosteuksiin on n. 6—10 %. Tämä on selitettävissä siten, että kun katto on rakennettu hyvin tiiviiksi vesi jää kokonaisuudessaan kattohalkoihin lahottaen ja kostuttaen ne. Eroa suurentaa varastoisajan pituus, sillä mitä kauemmin halot ovat sateille alttiina, sitä enemmän puut lahoavat ja sitä kosteampina ne pysyvät. Kaksi kesää aumoissa olleiden kattohalkojen ja muiden halkojen kosteusero oli keskimäärin 6.7 % ja yli kaksi kesää aumoissa olleiden 9.4 %.

VAPOssa suoritetuissa tutkimuksissa on ero kattohalkojen ja varsinaisessa pinossa olevien halkojen kosteuksien välillä saatu vielä suuremmaksi. Eräässä elokuussa 1953 aumatassa pinossa kattohalkojen kosteus oli keväällä 1959 keskimäärin 30.1 % ja muiden halkojen 17.1 % (VAPO 1959).

AULAMO (1960) puolestaan esittää seuraavia eroja kolmesta aumasta joulukuulta 1959.

Auma	Aumaus- aika	Katto- halot	Muut
Saarijärvi	1955	35.7 %	17.5 %
Hankasalmi	1953	35.7 »	16.2 »
Kontiolahti	1953	26.4 »	16.0 »



Kuva 7. Kolmipinoinen halkoauma. Valok. VAPO.

Figure 7. Split-wood roofed multiple-piles of split fuelwood with 3 piles. Photo VAPO.

Kattohalkojen kosteusjakautuma on, kuten liitetaulukoista nähdään, hyvin laaja. Kostuminen riippuukin hyvin paljon siitä, missä osassa kattoa halko on. AULAMO (1960) mainitsee asiasta seuraavaa: »Kattohalot ovat sienettyneet ja lahoneet yleensä sängen pahoin ja kosteus aumahalkoihin verrattuna on n. kaksinkertainen. Räystäsuomu ja etenkin sen alapää on eniten lahonut ja kostein. Yleensäkin näkyvissä oleva osa kattohaloista on huomattavasti kosteampi ja heikommin säilynyt kuin suomun alla oleva osa». Nämä halot, joihin Aulamon em. päätelmä perustuu, olivat olleet aumattuina neljästä seitsemään vuoteen.

Varastoimistavan vaikutus

Tutkittaessa varastoimistavan vaikutusta halkojen kosteuteen on siis otettava huomioon puiden jakautuminen pinon eri osiin. Taulukon 5 luvuista onkin laskettavissa eri tavoin varastoitujen halkojen keskimääräiset kosteudet painottamalla ala-, keski- ja yläosan halkojen kosteusluvut kukin 1/3:lla. Aumojen kohdalla oletetaan laskelmissa, että katon osuus on n. 10 % pinon kokonaiskuutiomäärästä. Nykyisissä aumatyypeissä katon osuus on usein vieläkin pienempi.

Näin korjatut eri varastotyyppien halkojen keskimääräiset kosteudet on esitetty seuraavassa asetelmassa rinnan aineiston korjaamattomien keskiarvojen kanssa. Aineiston mukaiset kuormittaiset kosteudet on esitetty taulukossa 6.

T a u l u k k o 6. Eri tavoin varastoitujen koivuhalkojen kosteudet eri kuormissa.

Table 6. Moistures of differently stored split birch fuelwood by loads.

Kosteus % Moisture content per cent	Avopinot — Open piles		Peittopinot Paper covered piles	Aumat —	
	1 vuosi — year	2 vuotta years		2 vuotta years	yli 2 vuotta over 2 years
	% kuormista — per cent of loads				
11.5					
12.5					
13.5					
14.5					
15.5				5.9	1.9
16.5			2.0	3.9	9.6
17.5	2.0	4.0	2.0	5.9	11.5
18.5	4.0	12.0	12.0	5.9	15.4
19.5	—	30.0	22.0	9.8	19.2
20.5	10.0	24.0	26.6	27.4	23.2
21.5	4.0	16.0	18.0	23.5	13.5
22.5	14.0	12.0	6.0	5.9	3.8
23.5	30.0	2.0	8.0	9.8	1.9
24.5	24.0		4.0	2.0	
25.5	10.0				
26.5	2.0				

	Aineisto kosteus %	Korjattu kosteus %
Avopino, 1 v	23.1	23.2
—, 2 v	20.3	20.5
Peittopino, 2 v	19.7	19.9
Auma, 2 v	19.3	19.3
—, yli 2 v	18.4	18.4

Aumahalkojen keskimääräinen kosteus ilman kattohalkoja oli kaksi vuotta vanhoissa aumoissa 18.6 % ja yli kaksi vuotta vanhoissa 17.5 %.

Varastoimistapaja vertailtaessa on tarkastelu kohdistettava kaksi vuotta varastoituihin halkoihin. Niissä havaitaankin verraten selvät erot: avopinoissa halot ovat kosteimpia ja aumoissa kuivempia. Erot ovat kuitenkin vain 0.6 % siirryttäessä varastoimistavasta toiseen.

Auma- ja avopinohalkojen kuivumisesta on käsitelty myös monissa muissa tutkimuksissa ja kaikissa on päädytty suunnilleen samanlaisiin tuloksiin.

Pienpuukomitean (1933) mietinnössä mainitaan, että »halot, jotka säilytetään 2 m korkuisissa pinoissa ovat yleensä osoittautuneet märemmiksi kuin aumoissa olleet halot». Myös peittopinot ovat osoittautuneet yleensä avopinoja edullisemmiksi (vrt. HEISKANEN 1953).

VAPOn viime vuosina suoritettut tutkimukset antavat myös lisätietoja tähän kysymykseen. LUOMI (1959) mainitsee, että talvella avopinohalot ovat olleet aumahalkoja kosteampia, mutta kuivan kauden jälkeen ei ole havaittavissa suuria eroja. Onkin ilmeistä, että myös tämän tutkimuksen vähäiset erot johtuvat osaltaan vuoden 1959 erittäin edullisista kuivumisolosuhteista. VAPON (1955) halkojen aumausta koskevassa tutkimuksessa todetaan, että avovaras-tojen halot ovat yleensä olleet syksyllä 4—5 % vastaavia aumahalkoja kosteampia. Kysymyksessä olivat kaksi vuotta tai kauemmin varastoidut halot.

Varastoimisajan vaikutus

Varastoimisajan vaikutus halkojen kosteuteen voidaan tämän aineiston perusteella tutkia vain avopinojen ja aumojen osalta. Edellä esitetystä asetelmasta voidaankin todeta, että sekä avopinoissa että aumoissa puut ovat kuivuneet varastoimisajan pidetessä.

Kaksi vuotta avopinossa olleet halot ovat 2.7 % kuivempia kuin vain yhden kesän varastoidut puut. Taulukosta 5 ilmenee, että toisena kesänä on tapahtunut eniten kuivumista pinon keskiosissa ja vähiten yläosassa.

Monissa aiemmissä tutkimuksissa varastoimisajan vaikutus kuivumiseen on todettu huomattavasti selvemäksi. HEISKANEN (1959) metsävarastointia koskevat tutkimukset osoittavat halkojen kosteuden alenevan toisena varastoimisvuotena 3—6 %:lla kuiva-ainepainosta laskettuna. Pienpuukomitean (1933) mietinnön mukaan VR:n varastoilla oli v. 1929 kaksi vuotta tai kauemmin varastoitujen halkojen kosteus 5.4 % ja v. 1930 5.0 % alhaisempi kuin yhden vuoden varastoitujen. LUOMI (1959) on todennut kaksi vuotta varastoitujen halkojen kosteuden olevan n. 5 % alhaisemman kuin vain yhden kesän varastossa olleiden puiden (vrt. myös HEISKANEN 1953).

Aumattujen halkojen kuivuminen kolmantena ja sitä seuraavina vuosina on osoittautunut melko vähäiseksi. Asetelmasta sivulla 19 ilmenee vain 0.9 %:n kosteuden aleneminen.

Myös metsävarastoinnissa on todettu, että puiden kuivuminen kolmantena kesänä on avopinoissakin melko vähäistä, ja se riippuu hyvin selvästi halkojen järeydestä. Järeät halot kuivuvat vielä kolmantenakin vuotena melko paljon, mutta pienet halot ovat jo toisena kesänä saavuttaneet miltei lopullisen kuivuuden (HEISKANEN 1959).

Myös aumahalkojen kohdalla lienee niin, että kolmantena ja sitä seuraavina vuosina tapahtuu kuivumista vain erittäin edullisissa olosuhteissa. Halot ovat viimeistään kolmantena vuotena savuttaneet melko pysyvän kuivuuden, joka vaihtelee jossain määrin ilman kosteudesta riippuen. Sitä osoittavat myös AULAMON (1960) tutkimusten seuraavat tulokset, joista nähdään kolmen auman kosteudet eri aikoina.

Aumattu 1955			Aumattu 1953			Aumattu 1953		
Aika	Kosteus		Aika	Kosteus		Aika	Kosteus	
VIII. 55	28.3		VI. 54	23.4		VII. 54	22.4	
V. 56	26.8		IX. 54	24.2		XII. 54	20.5	
IX. 56	20.4		VIII. 55	17.5		III. 59	17.1	
II. 58	21.5		II. 56	20.4		XII. 59	16.5	
XII. 59	17.5		IX. 58	16.2				
			XII. 59	16.2				

Kaikissa tapauksissa kosteus on laskenut vielä vuonna 1959, mikä johtunee kesän kuivuudesta ja lämpimyydestä. Tulosten vaihtelevuudesta huolimatta on siis todettava, että aumoissa halot säilyvät usean vuodenkin ajan erittäin kuivina. On mahdollista, että vielä kolmantenakin vuonna tapahtuu kuivumista. Näin on varmuudella laita silloin, kun kesä on kuivumisen kannalta edullinen. Aumaus on siis osoittautunut päteväksi keinoksi halkojen kuivana pitämisessä myös pitkäaikaisen varastoinnin ollessa kysymyksessä.

Keskilukuja

Tutkimusten tulosten mukaan eri tavoin varastoitujen halkojen keskimääräinen kosteus on lämmityskauden aikana, siis talvella, seuraava. Luvut esitetään jonkin verran pyöristettyinä täysiin prosenttilukuihin. Korkeampi kosteusluvuista on ottanut huomioon jo tutkimusmenetelmästä mahdollisesti johtuvan pienen virheen.

		Kosteus, %
Avopino.....	1 vuosi	23—24
—→.....	2 vuotta	20—21
Peittopino....	2 —→	20
Auma.....	2 —→	19—20
—→.....	yli 2 —→	18—19

Vertailun vuoksi mainittakoon muissa tutkimuksissa esitettyjä keskimääräisiä kosteuslukuja. Pienpuukomitean tutkimukset osoittivat yhden kesän varastoitujen halkojen kosteuden 26 %:ksi ja kaksi kesää varastoitujen 20—21 %:ksi. HEISKANEN (1959) on saanut 2—3 vuotta metsässä varastoitujen halkojen kosteudeksi 19—20 %. VUORELAINEN ja TUPOLA (1959) esittävät Helsingin keskuslämmityslaitoksista kerätyn aineiston, jossa halkojen keskim. kosteus oli 23.5 %. Halkojen alkuperä ei ole kuitenkaan selvillä. VAPON tutkimukset ovat osoittaneet perusteellisesti kuivuneiden aumahalkojen kosteuden vaih-

televan 16 %:sta 20 %:iin. LUOMI (1958) on saanut myös jonkin verran korkeampia arvoja 2 vuotta tai kauemmin varastossa olleille aumahaloille. Raja-arvot ovat n. 18 % ja 23 %. HEISKANEN (1960) on ilmoittanut auma- ja peitto-pinohalkojen kosteudeksi kattilahuoneessa 18—19 %.

Voidaan siis todeta, että yhden vuoden ajan varastoitujen halkojen kosteus on muissa tutkimuksissa todettu olevan 25 %:n suuruusluokkaa, mutta kaksi vuotta tai kauemmin varastoidut halot ovat kaikkien tutkimusten mukaan kosteudeltaan alle 23 %, useimmissa tutkimuksissa kosteus on selvästi alle 20 %:n.

Käsi- ja oppikirjoissa käytetään usein haloille kosteustilua 25—30, jonka katsotaan kuvaavan siis halkojen keskimääräistä kosteutta (esim. VUORELAINEN 1958). Tämä tutkimus sekä myös kaikki aiemmin suoritettut tutkimukset osoittavat, että ko. sadannes on liian korkea. Se sopii vain yhden kesän varastoiduille haloille, mutta on niillekin todennäköisesti hieman liian korkea. Sitä vastoin 2 vuotta ja kauemmin varastoiduille haloille on keskimääräisenä kosteutena sopiva 20 %, joka sekin on katetuissa pinoissa pidetyille puille keskiarvona korkeahko. Varovuuden vuoksi voidaan kuitenkin tyytyä siihen. Varmuustekijänä vaikuttaa vielä sekin, että puut kuivuvat yleensä jonkin verran vielä keskuslämmityslaitoksen sisävarastossa (HEISKANEN 1960, VUORELAINEN 1960). Toisaalta kesä 1959 oli kuivumisedellytyksiltään normaalia huomattavasti edullisempi.

Em. keskimääräisten kosteustilujen perusteella saadaan seuraavat lämpöarvot eri tavoin varastoiduille puille. Suluissa on jälleen esitetty arvioitujen pinoissa mitattujen koivuhalkojen lämpöarvot.

		Mcal/p-m ³	
Avopino,	1 vuosi	1 442	(1 455)
—»—	2 vuotta	1 451	(1 463)
Peittopino,	2 vuotta	1 453	(1 466)
Auma,	2 vuotta	1 455	(1 468)
—»—	yli 2 vuotta	1 466	(1 472)

Erot ovat siis itse asiassa melko vähäiset, eivätkä ne osoita, että pinojen peittäminen olisi kannattavaa. On kuitenkin huomattava, että peitetyissä pinoissa, ennen kaikkea aumoissa puut säilyvät myös pitkäaikaisessa varastoinnissa kuivina ja hyvinä. Avopinoissa ne sitä vastoin voivat käytännössä saattujen kokemusten mukaan pilaantua. Aumaus onkin suositeltava ennen kaikkea siksi, että puut säilyvät hyvinä, vaikka joutuisivatkin seisomaan varastossa useampiakin vuosia.

Keskimääräisinä lämpöarvoina olisi koivuhaloille käytettävä seuraavia arvoja, jotka vastaavat em. keskimääräisiä kosteuksia.

Yhden vuoden varastointi	.....	1 435 (1 450)	Mcal/p-m ³
Kahden vuoden varastointi	.....	1 455 (1 470)	—»—

Verrattaessa näitä arvoja käytännössä sovellettuun 1440 Mcal:iin, voidaan todeta hyvien halkojen tulleen laskelmissa yleensä aliarvostetuiksi. Arvot 1300 Mcal/p-m³ ja 1350 Mcal/p-m³, joita näkee myös käytetyt, ovat ehdottomasti vääriä.

Mainittakoon, että VUORELAINEN ja TUPOLAN (1959) tutkimuksen mukaan keskim. lämpöarvo olisi peräti 1490 Mcal/p-m³ (vrt. VUORELAINEN 1960). Se perustuu verraten korkeaan kuiva-ainepainoon. Todettakoon kuitenkin, että jos autossa mittaus antaa esim. vain 2 % liian suuren kuutiomäärän haloille, mikä tuntuu todennäköisemmältä kuin käytetty 1 %, nousevat pinoissa mitattujen halkojen lämpöarvot 1465 Mcal:iin ja 1485 Mcal:iin, jotka ovat jo varsin lähellä Vuorelaisen lukuja.

Yhdistelmä

Tässä tutkimuksessa, joka perustuu kuudessa eri paikassa talvella 1959—60 tehtyihin 255 autokuorman punnituksiin sekä kuormista otettujen kosteusnäytteidien analysointiin, tarkastellaan koivuhalkojen painoa ja kosteutta sekä tehdään laskelmia halkojen lämpöarvosta. Tärkeimmät tulokset ovat seuraavat.

1. Autokuormassa mitattujen koivuhalkojen kuiva-ainepaino oli keskimäärin 333 kg/p-m³. Alhaisin kosteusluokan keskiarvo oli 319 kg/p-m³ ja korkein 341 kg/p-m³ (ks. taulukot 3 ja 4).

2. Halkojen kosteus pinon eri osissa vaihtelee hyvin selvästi. Kuivimpia ovat pinon keskiosissa olevat halot. Ala- ja yläosan halot ovat suunnilleen yhtä kosteita, vaikka yläosassa kosteuksien hajonta on paljon suurempi. Aumojen kattohalot ovat varsinaista pinoa tuntuvasti märempiä.

3. Varastoimistapa vaikuttaa jossain määrin halkojen kuivumiseen, kuten seuraavat kaksi kesää varastossa olleiden puiden kosteussadannekset osoittavat.

Avopinot	.....	20.5 %
Paperipeittopinot	.....	19.9 »
Aumat	.....	19.3 »

Muissa tutkimuksissa avopinojen ja peitettyjen pinojen kosteuserot on yleensä saatu suuremmiksi.

4. Varastoimisajan vaikutus on myös varsin selvä, kuten seuraavat keskiarvoluvut osoittavat.

Avopinot,	1 vuosi	23.2 %
—»—	2 vuotta	20.5 »
Aumat,	2 —»—	19.3 »
—»—	yli 2 —»—	18.4 »

Myös varastoimisajan vaikutus on aiemmissä kokeissa saatu yleensä jonkin verran korkeammaksi kuin tässä työssä. Pienet erot johtuvat tässä työssä ilmeisesti v:n 1959 edullisesta ilmastosta.

5. Käytäntöä varten suositellaan käytettäväksi seuraavia kosteussadaneksia, jotka on varovaisuuden vuoksi otettu jonkin verran tutkimuksen osoittamia korkeammiksi.

Yhden kesän varastoidut	25 %
Kaksi kesää peitetyissä pinoissa varastoidut	20 %

6. Näiden kosteuksien ja esitettyjen keskimääräisen kuiva-ainepainon avulla laskettaessa saadaan autossa mitatun koivuhalon lämpöarvoksi vastaavasti 1435 Mcal/p-m³ ja 1455 Mcal/p-m³. Pinossa mitatun koivuhalon lämpöarvot ovat varovaisestikin arvioiden 1 % korkeammat eli 1450 Mcal/p-m³ ja 1470 Mcal/p-m³.

7. Kaikki esitetyt tiedot perustuvat suuren hankintaorganisaation hyvin varastoidusta ja verraten korkeiden laatuvaatimusten mukaan tehdyistä haloista tehtyihin mittauksiin.

Kirjallisuutta

- AULAMO, OLAVI 1960. Halkojen säilymisestä aumoissa (jatkotutkimus).
EBELING, OLAVI 1958. Tilastotietoja polttoaineista. Polttoaineet. s. 26. Helsinki.
Halkojen säilymisestä aumoissa. VAPO. Rationalisoimistoimikunta. Seloste n:o 10/1959. Moniste.
HEISKANEN, VEIJO 1953. Polttopuiden kuivumisesta ja huomioon ottamisesta varastoinnissa. Metsäntutk.lait. julk. 41. 4.
HEISKANEN, VEIJO 1959. Halkaistun, aisatun ja kuorellisen koivupinotavaran kuivuminen ja säilyminen metsävarastossa. Pienpuualan Toimikunnan julk. 79.
HEISKANEN, VEIJO 1960. Halkojen kosteus keskuslämmityslaitoksissa Kokkolassa ja Tampereella keväällä 1960. Pienpuualan Toimikunnan tied. 27.
JALAVA, MATTI 1959. Puun mekaanis-teknillisiä ominaisuuksia. Tapion taskukirja.
LUOMI, MARTTI 1955. Halkojen aumauksesta. Moniste.
LUOMI, MARTTI 1959. Koivuhalkojen kuivumisesta eräissä varastoissa. Konekirjoite.
OKSANEN, ANTTI 1958. Lämmitystekniikka. Taulukkoja ja käyrästäjä suunnittelijoille. Helsinki.
Pienpuukysymys 1933. Silva Fennica 31.
VUORELAINEN, O. 1958. Puu polttoaineena ja puun polttolaitteet. Pienpuualan Toimikunnan julk. 49.
VUORELAINEN, O ja TUPOLA, R. 1959. Halkojen kosteus käyttöhetkellä eräissä keskuslämmityslaitoksissa lämmityskautena 1958—59. Pienpuualan Toimikunnan julk. 84.
VUORELAINEN, O. 1960. Koivuhalkojen lämpösisältö. Pienpuualan Toimikunnan julkaisu n:o 110.

SUMMARY:

STUDIES ON THE WEIGHT AND MOISTURE OF SPLIT BIRCH FUELWOOD

This study is based on studies made at six different locations during the winter of 1959—60 when 255 truck loads were weighed and an analysis was made of the moisture specimens taken from them. The purpose here is to examine the weight and moisture of split birch fuelwood and to make calculations of its heat values. The most important results are as follows.

1. The dry material weight of split birch fuelwood measured in a truck load was an average 333 kg/m³ piled measure. The lowest measured weight was 319 kg/m³ piled measure and the highest 341 kg/m³ piled measure (refer to tables 3 and 4).

2. The moisture in the different parts of the pile varies very distinctly. The driest split fuelwood is found in the middle parts of the pile. The fuelwood in the upper and the lower parts have about the same moisture, although the standard deviation of moisture is much more extensive in the upper part. The split fuelwood that provides the roof for the roofed multiple-pile is considerably more moist than the actual pile.

3. The manner of storage has some effect in the drying process of split fuelwood, as can be shown by the following moisture percentage figures of wood stored for 2 summers.

Open piles	20.5 %
Paper-covered piles	19.9 »
Roofed multiple-piles of split fuelwood	19.3 »

In other studies the moisture differences of open piles and covered piles have generally been greater.

4. The effect of storage time is also quite apparent, as the following average figures show.

Open piles, 1 year	23.2 %
» » 2 years	20.5 »
Roofed multiple-piles of 2 years	19.3 »
over 2 »	18.4 »

In former studies the effect of storage time has generally been a little higher in percentage figures than in this one. The small differences in this study are apparently due to the favourable weather conditions of 1959.

5. The following moisture percentages are recommended for practical use. To be on the safe side, they have been marked a little higher than what the study figures disclose.

After 1 summer's storage	25 %
After 2 summers' storage in covered piles	20 %

6. A calculation by means of these moisture percentages and the presented average dry material weight gives the heat value of 1435 Mcal/m³ piled measure and respectively, 1455 Mcal/m³ piled measure for split birch fuelwood measured in a truck. Even by cautious estimation the heat values of split birch fuelwood measured in piles are 1 % higher or 1450 Mcal/m³ piled measure and respectively, 1470 Mcal/m³ piled measure.

7. All the presented information is based on measurements of well-stored and comparatively high quality split fuelwood from a large procuring organization.

Liitetaulukko 1. Avopinossa 1 vuoden varastoitujen halkojen kosteusjakautuma.
Supplement table 1. Distribution of moisture of split fuelwood stored in open piles after 1 years' storage.

Kosteus, % Moisture content, per cent	Halon asema — Place of billet			Yhteensä Total
	alaosa lower part	keskiosa middle part	yläosa upper part	
	% — per cent			
12	—	—	—	—
14	—	—	—	—
16	2.8	3.0	0.6	2.2
18	5.7	5.5	5.1	5.4
20	9.2	15.9	13.4	13.2
22	34.8	37.3	16.5	30.1
24	30.5	26.8	28.7	28.5
26	12.1	8.5	16.5	12.0
28	2.1	2.5	6.4	3.6
30	2.1	0.5	7.0	3.0
32	0.7	—	4.6	1.6
34	—	—	0.6	0.2
36	—	—	0.6	0.2
Yhteensä — Total	100.0	100.0	100.0	100.0

Liitetaulukko 2. Avopinossa 2 vuotta varastoitujen halkojen kosteusjakautuma.
Supplement table 2. Distribution of split fuelwood stored in open piles after two years' storage.

Kosteus, % Moisture content, per cent	Halon asema — Place of billet			Yhteensä Total
	alaosa lower part	keskiosa middle part	yläosa upper part	
	% — per cent			
12	—	—	—	—
14	—	—	—	—
16	1.5	4.7	1.4	2.8
18	27.9	51.2	24.3	36.9
20	42.6	31.6	26.3	33.1
22	18.4	8.8	18.2	14.2
24	7.4	1.4	8.1	5.0
26	0.7	0.9	4.7	2.0
28	1.5	1.4	6.1	2.8
30	—	—	3.4	1.0
32	—	—	2.7	0.8
34	—	—	3.4	1.0
36	—	—	0.7	0.2
38	—	—	—	—
40	—	—	—	—
42	—	—	0.7	0.2
Yhteensä — Total	100.0	100.0	100.0	100.0

Liitetaulukko 3. Paperipeittopinoissa 2 vuotta varastoitujen halkojen kosteusjakautuma.

Supplement table 3. Distribution of moisture of split fuelwood stored in paper-covered piles after two years' storage.

Kosteus, % Moisture content, per cent	Halon asema — Place of billet			Yhteensä Total
	alaosa lower part	keskiosa middle part	yläosa upper part	
	% — per cent			
12	—	—	—	—
14	—	—	—	—
16	5.4	18.0	9.9	11.8
18	30.0	51.5	30.3	38.8
20	37.4	19.5	19.0	24.7
22	16.3	5.0	20.4	12.9
24	6.1	4.5	7.1	5.7
26	2.7	1.0	4.9	2.7
28	1.4	0.5	3.5	1.6
30	0.7	—	1.4	0.7
32	—	—	2.1	0.7
34	—	—	—	—
36	—	—	—	—
38	—	—	0.7	0.2
40	—	—	0.7	0.2
Yhteensä — Total	100.0	100.0	100.0	100.0

Liitetaulukko 4. Aumoissa 2 vuotta varastoitujen halkojen kosteusjakautuma.
Supplement table 4. Distribution of moisture of split fuelwood stored in split-wood roofed multiple-piles after 2 years' storage.

Kosteus, % Moisture content, per cent	Halon asema — Place of billet				Yhteensä Total
	alaosa lower part	keskiosa middle part	yläosa upper part	katto roof	
	% — per cent				
12	0.7	1.1	1.4	—	1.0
14	3.4	7.6	10.7	—	6.4
16	10.2	17.8	18.6	—	13.9
18	27.2	38.9	34.3	12.1	31.4
20	34.7	28.1	22.2	13.8	26.7
22	15.6	4.4	10.0	10.4	9.6
24	5.4	1.1	1.4	17.2	4.2
26	0.7	0.5	0.7	10.3	1.7
28	1.4	0.5	0.7	15.5	2.5
30	—	—	—	8.6	1.0
32	—	—	—	1.7	0.2
34	—	—	—	3.5	0.4
36	0.7	—	—	—	0.2
38	—	—	—	1.7	0.2
40	—	—	—	3.5	0.4
42	—	—	—	1.7	0.2
Yhteensä — Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Liitetaulukko 5. Aumoissa yli 2 vuotta varastoitujen halkojen kosteusjakautuma.
 Supplement table 5. Distribution of moisture of split fuelwood stored in open piles after more than two years' storage.

Kosteus, % Moisture content, per cent	Halon asema — Place of billet				Yhteensä Total
	aliosa lower part	keskiosa middle part	yläosa upper part	katto roof	
	% — per cent				
12	—	0.8	—	—	0.2
14	3.3	9.4	6.8	—	6.0
16	27.8	43.4	42.5	4.0	34.6
18	45.7	39.6	32.5	6.0	36.0
20	17.9	7.0	10.0	4.0	10.8
22	4.6	—	3.1	14.0	3.6
24	—	—	1.3	20.0	2.3
26	0.7	—	1.3	4.0	1.0
28	—	—	1.3	8.0	1.2
30	—	—	0.6	8.0	1.0
32	—	—	0.6	18.0	1.9
34	—	—	—	8.0	0.8
36	—	—	—	2.0	0.2
38	—	—	—	—	—
40	—	—	—	4.0	0.4
Yhteensä — Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0