

Päivi Pulkkinen ja Antti Asikainen

Hakkuutähteen, karsijan puujätteen, sahan kuorijätteen ja kantojen murskaaminen Morbark 1200 -murskaimella

Pulkkinen, P. & Asikainen, A. 1996. Hakkuutähteen, karsijan puujätteen, sahan kuorijätteen ja kantojen murskaaminen Morbark 1200 -murskaimella. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1996(1): 17–26.

Tutkimuksessa selvitettiin Morbark 1200 -murskaimen soveltuvuutta hakkuutähteen, karsijan puujätteen ja sahan kuorijätteen sekä kantojen murskaamiseen. Murskattava materiaali kuormataan Morbark 1200 -murskaimen suppilomaisen syöttölaitteen kautta ylhäältä päin. Syöttäminen voidaan tehdä omalla kuormaimella tai erillisellä pyöräkuormaajalla. Parhaiten murskaimella pystyttiin käsittelemään ketjukarsija-kuorija-hakkurin jätettä ja sahan kuorijätettä. Päätehakkuualojen hakkuutähteiden murskauksessa tuottavuus oli selvästi alhaisempi. Tämä johtui pitkien latvakappaleiden aiheuttamista tukoksista syöttölaitteessa. Kantojen murskaukseen tutkittu murskain ei sovellu, sillä syöttölaite ei läpäise kunnolla kantoja. Kaikilla tutkituilla polttoaineilla saavutettiin hyväksyttävä palakokojaukauma. Kuitenkin jos murskaus tapahtui suoraan hiekkakentälle, murskeeseen sekoittui paljon hiekkaa, mikä alensi sen käyttökelpoisuutta polttoaineena.

Asiasanat: puupolttoaine, murskaus, bioenergia, kotimainen polttoaine, energiapuu.

Kirjoittajien yhteystiedot: *Pulkkinen*, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, PL 111, 80101 Joensuu. Faksi (973) 151 3590, sähköposti paivi.pulkkinen@forest.joensuu.fi *Asikainen*, Metsäosaamiskeskus, Länsikatu 15, 80110 Joensuu. Faksi (973) 163 7111, sähköposti antti.asikainen@carelian.fi

Hyväksytty 22.5.1996

1 Johdanto

Suomessa on moniin muihin maihin verrattuna aina tuotettu paljon energiaa puuta polttamalla. Puun käyttöä energian tuotannossa on mahdollista

lisätä entisestäänkin, vaikka sen kilpailukyky fossiilisten polttoaineiden vaihtoehtona on toistaiseksi heikko. Tämä johtuu puun korkeista korjuukustannuksista ja polton vaatimista kalliista laitosrakenteista (Hakkila 1992). Puu on kuitenkin kotimainen polttoaine ja sillä on monia etuja fossiilisiin poltto-

aineisiin verrattuna. Puu on uusiutuva luonnonvara eikä sen poltto kuormita ilmakehää kasvihuonekaasujen osalta. Lisäksi puunkorjuulla on merkittävä vaikutus työllisyyteen ja metsien kuntoon (Hakkila 1978).

Pienikokoisen puun korjuu on kallista tavanomaisilla menetelmillä pienen rungon koon vuoksi. Yksi ratkaisu tehokkaampaan ensiharvennuspuun käsittelyyn on ketjukarsija-kuorija-haketusyksikkö, joka on osoittautunut kilpailukykyiseksi selluhakkeen tuottamisessa (Kuitto ja Rieppo 1993). Selluhakkeen lisäksi yksikkö tuottaa jätettä, joka koostuu oksista, neulasista, kuoresta ja runkopuusta. Nykyisin tämä materiaali jää pääosin käyttämättä. Lisäksi metsiin jää miljoonia kuutiometrejä polttoon kelpaavaa hakkuutähdettä. Sahaat ja selluteollisuus eivät polta kaikkia jätteitään, koska niiden käsittely polttoon kelpaavaan muotoon olisi liian kallista. Samasta syystä hakkuutähteet ja kannot jätetään

pääosin korjaamatta. Kaadetun puun biomassasta hyödynnetään nykyisin vain hieman yli puolet (Hakkila 1978). Puupitoisen raaka-aineen polttokäyttöä olisi mahdollista lisätä lähinnä suurissa lämpölaitoksissa, jotka sietävät myös heikompileatuista raaka-ainetta. Erityisesti leijupetipoltossa vaatimukset palakoon, kosteuden ja tuhkan määrän suhteen eivät ole liian tiukat (Koistinen ym. 1983).

Erityyppiset murskaimet soveltuvat parhaiten epäpuhtauksia sisältävän puupolttoaineen hienontamiseen polttoprosessille sopivaan palakokoon. Morbark 1200 on suurtehomurskain, joka soveltuu epäpuhtauksia sisältävän materiaalin murskaukseen. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää murskaimen tuottavuuksia hienonnettaessa hakkuutähteitä, ketjukarsija-kuorija-haketusyksikön jätettä, sahan kuorijätettä sekä kantoja. Samalla selvitettiin syntyvän murskeen ominaisuudet (palakokoja-kauma, kosteus, tuhkapitoisuus).



Kuva 1. Morbark 1200-murskain.

2 Tutkimusmenetelmä ja aineisto

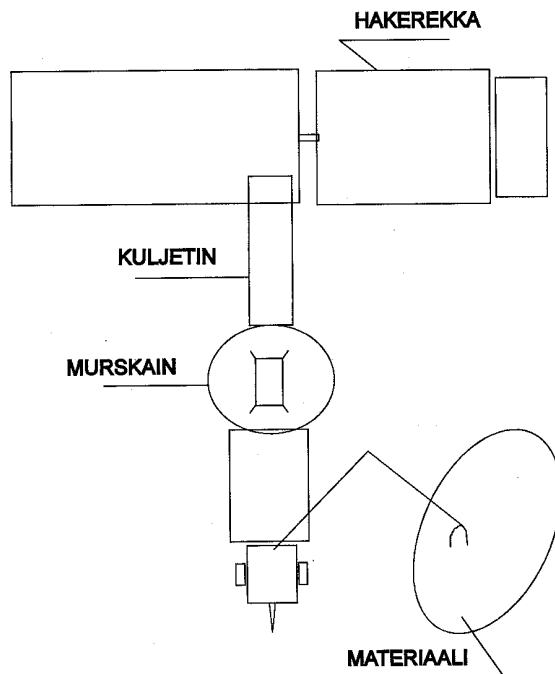
2.1 Murskain

Jätepuumateriaalin suuren laatuvariaation vuoksi hakettavalta yksiköltä vaaditaan lujuutta, toimintavarmuutta, suurta tehoa ja epäpuhtauksien sietoa. Syöttöaukon tulee olla suuri riittävän tuotoksen aikaansaamiseksi ja syöttölaitteen tulee soveltua erimuotoisten ja -kokoisten taakkojen syöttämiseen (Vehmas ym. 1983). Hakkurit soveltuvat leikkaavan työtapsansa vuoksi lähinnä vain puhtaan raaka-aineen hienontamiseen.

Murskaimiksi sanotaan laitteita, joissa raaka-aine pienennetään muuten kuin leikkaavilla terillä. Murskaus perustuu levyjen tai vasaroiden iskuihin. Murskeeseen palakokoa säädetään vastaterinä toimivilla välppäristikoilla eli pohjaseuloilla, ja joillakin murskaimilla myös puun syöttönopeutta tai murskaimen terien pyörimisnopeutta muuttamalla. Tässä tutkimuksessa käytetty murskain oli amerikkalainen Morbark 1200 Tub Grinder -vasaramurskain (kuva 1). Murskaimen tärkeimmät tekniset tiedot ovat seuraavat:

Kokonaispituus	11,25 m
Korkeus	4,00 m
Kuljetusleveys	3,60 m
Voimansiirto	hydraulinen
Moottoritelo	650 hv
Polttoainetankin tilavuus	1140 litraa
Hydrauliöljyä	470 litraa
Paino kuormaimen kanssa	25 000 kg
Nivelpuomikuormaimen ulottuvuus	7,80 m
Syöttösuppilon halkaisija ylhäällä	3,60 m
Syöttösuppilon korkeus	1,50 m
Syöttösuppilon pohja	0,65 m × 1,30 m
Vasaroita	32 kpl
Pohjaseulat	8 × 13 cm
	7 × 7 cm
	5 × 5 cm
Hihnakuljetin, leveys	0,90 m
Max korkeus	5,10 m

Materiaali syötetään pyöräkuormaajalla tai murskaimen omalla nivelpuomikuormaimella. Materiaali syötetään murskaimen syöttösuppiloon ylhääl-



Kuva 2. Murskauksen järjestely työmaalla.

tä päin. Suppilo pyörii, jolloin materiaali valuu suppilon pohja-aukon läpi murskaaville terille. Murskaimen 40 cm:n läpimittaisessa roottorissa on neljä vasarariviä, joissa kussakin on 8 teräpalaa eli vasaraa. Teräpalat painavat puun teräksisten pohjaseulojen läpi. Syntyvä murske joutuu kuljetinhihnalle, jonka magneettierotin poistaa murskeen joukkoon mahdollisesti joutuneet metalliesineet. Kuljetinhihnalla murske ohjataan suoraan odottavan hakeauton kuormatilaan tai kasoiksi maahan. Murskaimen toimintakaavio on esitetty kuvassa 2.

Tutkimuksessa seurattiin murskaimen työskentelyä yhteensä kuudella työmaalla ja neljällä eri materiaalilla 19.4.–15.11.1994 välisenä aikana. Tutkittavat materiaalit olivat hakkuutähde (330 i-m³), ketjukarsija-kuorija-haketusyksikön jäte (Uimaharju: 340 i-m³, Joensuu: 660 i-m³), sahan kuorijäte (1 300 i-m³) ja kannot (40 i-m³). Kokeissa toimineilla kuljettajilla oli pitkä kokemus kuljetus ja haketusöistä muilla hakkureilla. He olivat myös käyttäneet useiden vuorojen ajan kyseistä konetta ennen aineiston keruuta.

2.2 Tutkimusmenetelmä

Murskaimen ja kuormaajan ajankäytön rakenteet selvitettiin aikatutkimuksella. Murskaimen osalta aikatutkimus tehtiin tuotantoajasta, joka jakaantui tehoaikaan ja keskeytyksiin. Tehoaika jaettiin seuraaviin työvaiheisiin: valmistelu, murskaus, murskaimen tyhjänä pyöriminen, työpistesiirot ja jälki-työ. Keskeytyksiä olivat organisatoriset, hakeauton aiheuttamat, tutkimuksen aiheuttamat ja muut keskeytykset sekä huolto ja korjaus. Käyttöaika sisältää tehoajan ja kaikki alle 15 minuutin keskeytykset.

Pyöräkuormaajan osalta aikatutkimus tehtiin vain käyttöajasta. Se jaettiin vaiheisiin ajo tyhjänä, kuorman otto, ajo kuormattuna, kuorman tyhjennys, murskaimen odottaminen ja muu. Nivelpuomikuormaimelle sovellettiin samaa työvaihejakoa.

Tuotoksen laskemista varten murskekuormien irtotilavuus ja massa mitattiin aina, kun se oli mahdollista. Lisäksi murskeesta otettiin jokaisella työmaalla näytteitä palakokojakauman, kosteuden ja tuhkan määrän selvittämiseksi. Murske seulottiin Wennberg-laboratorioseulalla, ja samalla mitattiin näytteen sisältämien yli 15 cm pitkien tikkujen osuus. Kosteus mitattiin lämpökaappimenetelmällä ja tuhkapitoisuus polttamalla kuivuneet kosteusnäytteet 550 asteessa.

3 Tulokset

3.1 Hakkuutähteet

3.1.1 Aikatutkimus

Tuoreita hakkuutähteitä murskattiin keskimääräistä tilavammalla välivarastolla, joka oli kuitenkin murskaimelle ahdas. Samana syksynä hakatun päätehakuukuusikon tähteet oli aumattu metsäautotien varteen siten, että murskain saattoi työskennellä tieltä käsin. Tähteet syötettiin nivelpuomikuormaimella. Aumat oli paikoitellen tehty niin leveiksi, ettei koura ulottunut ottamaan kaikkia tähteitä molemmilta puolilta tietä. Murskainta oli siirrettävä aina, kun koura ei enää ulottunut tähteisiin, ja

toisinaan siirrot veivät tilanpuutteen takia paljon aikaa. Murskaimessa käytettiin 7×7 cm:n pohjaseulaa.

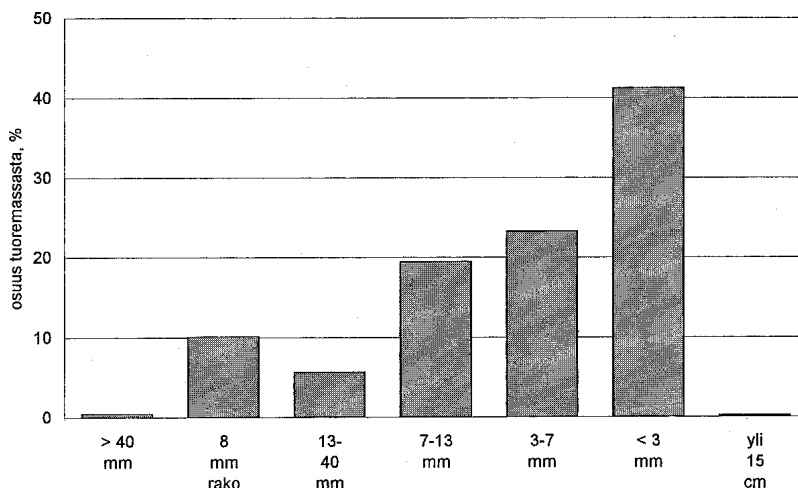
Työmaalla ei ollut tilaa hakeautolle, joten murske tehtiin maahan ja kuormattiin myöhemmin pyöräkuormaajalla hakeautoon. Murskaus jouduttiin usein keskeyttämään kokonaan murskekuorman oton ajaksi, mikä vei 70...90 minuuttia. Tuottavuus määritettiin tehtyjen murskekasojen perusteella, ja se jäi edellä mainittujen seikkojen takia alhaiseksi: tehotuntia kohti mursketta tehtiin 60...70 i-m^3 , mikä vastasi 50...60 $\text{i-m}^3/\text{käyttötunti}$ ja 25...30 $\text{i-m}^3/\text{tuotantoaikatunti}$. Murskaimen tuotantoajasta tehoajan osuus oli 42 % ja käyttöajan 50 %. Mitattujen autokuormien perusteella murskeirtokuutiometrin kuivapainoksi saatiin 140...160 kg.

Kouran käyttöajasta 88 % meni kuormaamiseen ja 12 % murskaimen odottamiseen tai muuhun. Yhden kourallisen käsittelyyn kului keskimäärin 36 sekuntia. Pitkät latvakappaleet jouduttiin syöttämään murskaimeen yksitellen, mikä hidasti työtä. Lisäksi taakan irrottaminen aumasta oli toisinaan niin hidasta, että murskain ehti välillä pyöriä tyhjänä. Hakkuutähteet saivat syöttösuppilon joitakin kertoja tukkoon, mutta tukos purkautui helposti, kun tähteitä nosteltiin kouralla. Tukkeutuminen ei aiheuttanut keskeytyksiä työhön.

3.1.2 Kosteus, tuhkapitoisuus ja palakoko

Tähteet olivat tuoreita, joten murskeen kosteus jäi korkeaksi: keskimäärin 57,2 % tuoremassasta. Kosteuden vaihteluväli oli 53,2...60,1 % keskihajonnan ollessa 2,23 prosenttiyksikköä. Näytteistä mitattu tuhkapitoisuus vaihteluväli oli 2,4...7,0 %. Keskiarvo oli 4,1 % ja hajonta 1,51. Ilmeisesti tähteisiin oli korjuuvaiheessa sekoittunut hieman hiekkaa. Murskaushetkellä maa oli jo jäässä ja lumen peitossa. Kesällä murskattaessa tuhkapitoisuus kohonnee tähteiden mukana nousevan hiekan takia korkeammaksi.

Tuoreen hakkuutähdemurskeen palakokojakauma näkyy kuvassa 3. Alle 3 mm:n jakeiden suuri määrä johtuu neulasten suuresta osuudesta. Näytteiden välinen hajonta oli suurinta yli 40 mm:n ja 8 mm:n palakokoluokissa, koska niihin kertyi vain vähän jakeita ja yksittäiset kappaleet saivat suuren mas-



Kuva 3. Hakkuutähdemurskeen palakokojakauma.

Taulukko 1. Yhteenvetotyömaista.

Työmaa	Murskaus	Alusta	Kuormaus
Uimaharju	Autoon	Hiekkakenttä	Pyöräkuormaaja
Tainionkoski	Kentälle	Asfalttikenttä	Pyöräkuormaaja
Joensuu	Kentälle	Hiekkakenttä	Pyöräkuormaaja + koura

sansa vuoksi ison painoarvon. Murske ei sisältänyt juuri lainkaan yli 15 cm:n paloja, joten ylisuuret kappaleet eivät tule aiheuttamaan ongelmia polttolaitoksella. Suurimman (8 × 13 cm:n) pohjaseulan käyttö olisi ollut täysin mahdollista. Tällöin palakoko olisi ollut jonkin verran suurempaa, mutta myös tuottavuus olisi noussut.

tiin Uimaharjussa ja Joensuussa, murskeen ominaisuudet kaikilla työmailla. Uimaharjussa käytettiin 8 × 13 cm:n ja Joensuussa 7 × 7 cm:n pohjaseulaa. Tainionkoskella suurin osa murskeesta tehtiin suurimmalla pohjaseulalla, mutta myös pienempiä keuhkettiin niillä saatavan murskeen palakoon selvittämiseksi.

3.2 Ketjukarsija-kuorija-haketusyksikön jäte

3.2.1 Työmaat

Ketjukarsijan jätteen murskausta seurattiin kolmella työmaalla, joiden yleistiedot on koottu taulukoon 1. Karsijan jäte oli Uimaharjussa ja Tainionkoskella tuoretta ja Joensuussa 2,5 kuukautta vanhaa. Tehdyn murskeen määrä ja tuottavuus mitat-

3.2.2 Aikatutkimus

Uimaharjussa murskauksen tuottavuudeksi saatiin 149 i-m³/tehotunti, mikä vastaa 21 500 kuivakiloa. Käyttötuntituotos oli 128 i-m³ eli 19 100 kuivakiloa/tunti. Tuotantoaika tuotosta ei selvitetty, koska aikatutkimusaineistoa saatiin vain kolmelta työtunnilta. Murskeirtokuutiometrin keskimääräiseksi kuiva-ainepainoksi mitattiin 149 kiloa.

Joensuussa tuottavuus oli 20 300 kuivakiloa/tehotunti, mikä vastaa noin 105 irtokuutiometriä. Käyttötuntituotos oli samansuuruinen, sillä alle 15 minuutin keskeytyksiä ei ollut. Tuotantoaikatuotokseksi mitattiin 18 800 kuivakiloa tunnissa (noin 95 i-m³). Tehoajan osuus tuotantoajasta oli varsin suuri, 93 %, sillä työssä pidettiin vain yksi tauko eikä työhön tullut lainkaan muita keskeytyksiä.

Tainionkoskella tuotosta ei selvitetty, mutta murskeirtokuutiometrin keskimääräiseksi kuiva-ainepainoksi mitattiin 144 kiloa. Murskaimen tuotantoajasta tehoajan osuus oli 71 % ja käyttöajan 76 %.

Ketjukarsijan tähteen kuljetusmatka jätekasalta murskaimelle oli 10...60 metriä. Kuormaajan käyttöajasta varsinaiseen kuormaamiseen kului Uimaharjussa 80 % ja yhden taakan käsittelyyn keskimäärin 67 sekuntia, Tainionkoskella 73 % (77 sekuntia) ja Joensuussa 67 % (71 sekuntia). Joensuussa kuormaaja joutui usein odottamaan murskaimen tyhjennmistä ja Tainionkoskellakin jonkin verran. Uimaharjussa odotusta tuli huomattavasti vähemmän. Pyöräkuormaajan keskimääräiseksi kuormauskapasiteetiksi saatiin 250...300 i-m³/käyttötunti.

3.2.3 Kosteus ja tuhkapitoisuus

Murskeen kosteudessa oli eroja työmaittain. Uimaharjussa karsijan jätteen seassa oli lunta ja murskeen kosteus nousi korkeaksi: 66,2 %. Tainionkoskella kosteus oli keskimäärin 46,3 % ja Joensuussa 32,8 %. Joensuun murskenäytteet otettiin kasan pintaosien kuivuneesta karsijan jätteestä tehdystä murskeesta, ja murskeen todellinen keskimääräinen kosteus lienee ollut lähes 40 prosenttia.

Hiekkakentillä varastoidusta jätteestä tehdyn murskeen tuhkapitoisuus nousi erittäin korkeaksi. Uimaharjussa tuhkaa jäi keskimäärin 8,6 % kuivamassasta vaihteluvälin ollessa 6,0...11,5 % ja hajonnan 2,62 yksikköä. Joensuussa tuhkapitoisuus oli keskimäärin 18,9 %, vaihteluväli 9,5...28,7 % ja hajonta 7,12 yksikköä. Lisäksi on huomattava, että Uimaharjussa murskattiin suoraan autoon, mutta Joensuussa kentälle. Murske kuormattiin kentältä myöhemmin, jolloin mukaan nousi vielä lisää hiekkaa. Käyttöpaikalla keskimääräiseksi tuhkapitoisuudeksi oli mitattu peräti 29 %.

Joensuun murskeen suuri hiekkapitoisuus nosti

tonneina mitattua tuotosta huomattavasti. Karkeasti laskien hiekkaa oli neljännes murskeen kuivapainosta, kun Uimaharjussa sitä oli vain noin 5 %. Ilman hiekkaa lasketut tuotokset olivat Joensuussa 15 200 kuivakiloa ja Uimaharjussa 20 400 kuivakiloa/tehotunti.

Asfalttikentillä tehdyn murskeen tuhkapitoisuus jäi matalaksi. Tainionkoskella tuhkaa jäi vain 1,4 % vaihteluvälin ollessa 1,1...1,7 % ja hajonnan 0,23 yksikköä. Tämä osoittaa selvästi, että ainoa keino tuhkapitoisuuden pitämiseen alhaisena on kesäaikaisen toiminnan keskittäminen asfalttialustalle tehtaan terminaaliin.

3.2.4 Palakoko

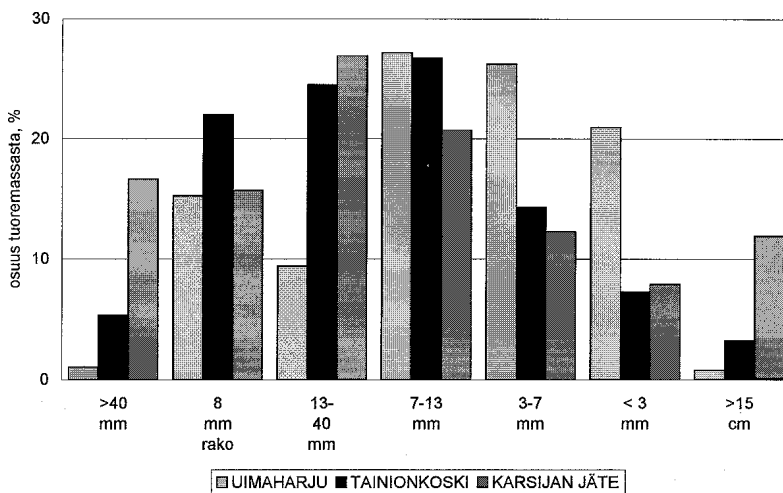
Suurimmalla pohjaseulalla tehdyn murskeen palakokojakaumat työmaittain esitetään kuvassa 4. Samassa kuvassa on myös ketjukarsijan jätteen palakoko ennen murskausta. Ero murskeeseen tulee näkyviin lähinnä suurimmissa palakokoluokissa. Työmaittaiset erot palakokojakaumissa johtuvat raaka-aineen erilaisesta koostumuksesta, eroista teräpalojen kunnossa ja materiaalin kosteudessa. Kuiva puu murskautui helpommin ja hienoainesta ja pölyä syntyi enemmän. Toisaalta kostea materiaali murskautui hitaammin ja jauhautui keskimäärin pienemmäksi. Hyväkuntoisilla teräpaloilla materiaali meni nopeammin läpi eikä jäänyt jauhautumaan murskaimeen. Näytteiden välinen hajonta oli suhteellisen vähäistä ja suurimmillaan yli 40 mm:n palakokoluokassa.

Pienimmillä (7 × 7 cm:n ja 5 × 5 cm:n) pohjaseuloilla tehdyn murskeen palakokojakaumat näkyvät kuvassa 5. Joensuussa teräpalat olivat erittäin kulu-neet ja murskeesta lähes puolet (48,3 % tuorepainosta) oli alle 7 mm:n jakeita, kun niitä vastaavankokoisella pohjaseulalla Tainionkoskella tuli vain 26,9 %.

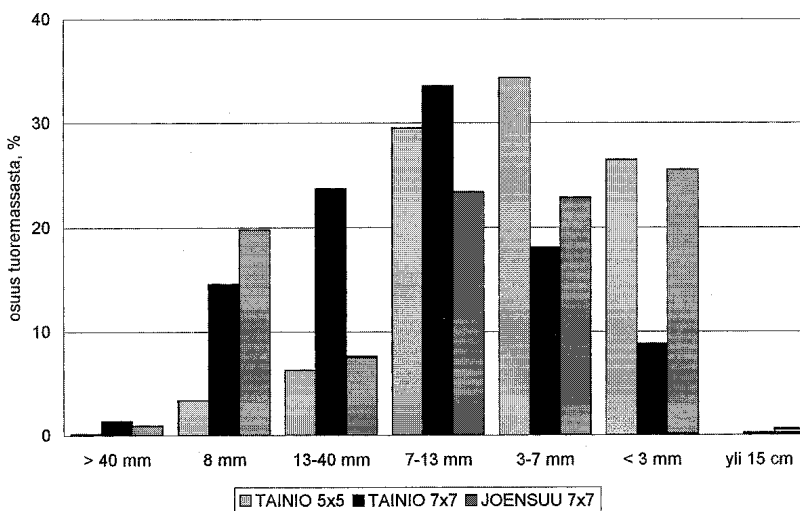
3.3 Sahankuorijäte

3.3.1 Aikatutkimus

Sahan kuorijätteen murskaus- ja alustana oli hiekkakenttä, jolle saha oli kasannut kuorijätettään jo vuosia. Tutkimushetkellä murskaukseen ei saatu tuo-



Kuva 4. 8×13 cm:n pohjaseulalla tehdyn murskeen sekä ketjukarsijan jätteen palakokojakaumat.

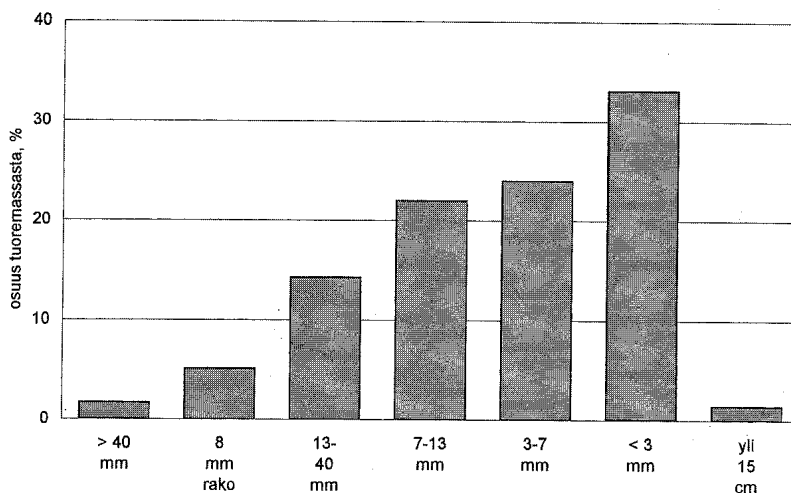


Kuva 5. 5×5 cm:n ja 7×7 cm:n pohjaseuloilla ketjukarsijan jätteestä tehdyn murskeen palakokojakaumat.

reinta tavaraa, mikä näkyy palakokojakaumassa. Osa materiaalista oli jo maatonutta. Murske tehtiin suurimmalla pohjaseulalla suoraan hakeautoon. Kuorijäte kuormattiin pyöräkuormaajalla, jonka kuljetusmatka oli enimmillään noin 50 metriä. Kuorijätteen joukossa oli metalliromua, jonka poistaminen murskaimesta keskeytti työn aika ajoin. Pienempiä metallikappaleita (nippulankaa, ketjunpät-

kiä, pultteja) kulki murskaimen läpi aiheuttamatta häiriöitä. Teräpaloja jouduttiin kuitenkin huoltamaan normaalia useammin.

Murskaimen osalta aikatutkimus tehtiin vain tuotanto- ja käyttöajasta. Käyttöajan osuus tuotantoajasta oli keskimäärin 76 % ja se sisälsi huomattavan määrän lyhyitä alle 15 minuutin keskeytyksiä, jotka aiheutuivat hakeautojen siirtelystä ja vaihta-



Kuva 6. Sahan kuorijätteestä tehdyn murskeen palakokojakaumat, pohjaseula 8×13 cm.

misesta. Käyttötuntituotos oli keskimäärin 115 i-m³ ja tuotantoaikatuuotos 87 i-m³/tunti.

Kuormaajan käyttöajasta 73 % meni varsinaiseen kuormaamiseen ja yhden taakan käsittely vei keskimäärin 95 sekuntia. Aikaa kului enemmän kuin karsijan jätteen käsittelyssä, mutta se aiheutui lähinnä pidemmästä keskimääräisestä kuljetusmatkasta. Pyöräkuormaaja ehti hyvin syöttää murskainta. Sen keskimääräiseksi kuormauskapasiteetiksi saadaan 190...230 i-m³/tunti.

3.3.2 Kosteus, tuhkan määrä ja palakoko

Kuorimurskeen keskimääräinen kosteus oli 62,8 % (171,8 % kuivamassasta). Vaihteluväli oli 55,3...67,6 % ja hajonta 3,65 prosenttiyksikköä. Kasan pintaosien kuorimurske oli keskimääräistä hieman kuivempaa, 57,5 %, mutta syvempää kassasta otettu kuori ei ollut kuivunut. Tuhkaa jäi keskimäärin 9,4 % vaihteluvälin ollessa 5,6...12,2 % ja hajonnan 2,73 prosenttiyksikköä. Kuorijätettä kuormattaessa pyöräkuormaajan kauhaan oli nousut myös hiekkaa.

Murskeen tuoremassasta yli puolet oli alle 7 mm:n ja kolmannes alle 3 mm:n jaetta, vaikka murskaimessa käytettiin suurinta pohjaseulaa (kuva 6). Alle 7 mm:n jakeita oli lähes yhtä paljon kuin ketjukarsijan jätteestä 5 × 5 cm:n seulalla tehdyssä murs-

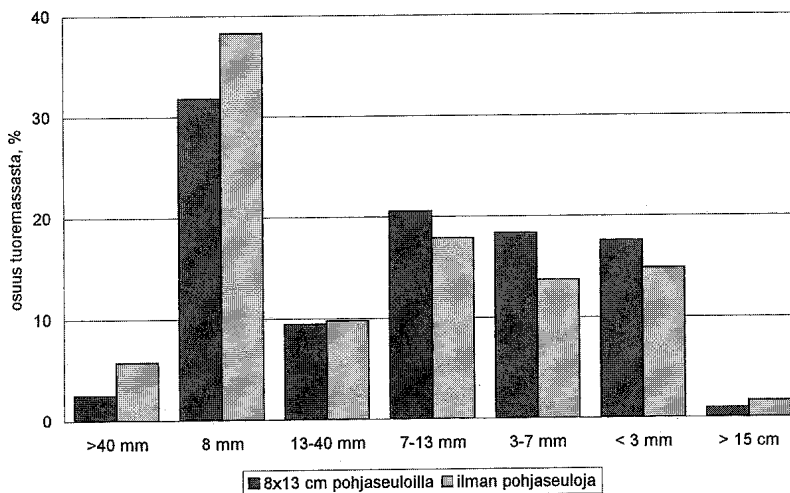
keessa. Sahan kuorijätteen korkea maatuneisuusaste vaikutti palakokojakaumaan. Tuoreen kuorijättemurskeen palakokojakauma todennäköisesti painottuisi 7...13 mm:n jakeisiin.

3.4 Kannot

3.4.1 Aikatutkimus

Kannot oli koottu metsästä kuusi vuotta aiemmin ja ne oli aumattu kapean hiekkatien varteen. Kannot nosteltiin murskaimeen kourakuormaimella. Murskaimessa käytettiin aluksi suurinta pohjaseulaa, mutta kun murske ei käyttöpaikan edustajan mielestä sisältänyt ylisuuria kappaleita, otettiin seulat kokonaan pois. Tämä nopeutti työtä vain hieman. Työmaan ahtauden ja työn hitauden takia murske tehtiin pääosin maahan.

Käyttöajan osuus murskaimen tuotantoajasta oli 60 % ja tehoajan vain 50 %, sillä tutkimuspäivänä sattui yksi pitkä huoltokeskeytyks. Myös murskaimen siirtely vei paljon aikaa tilanpuutteen takia. Työpistesirtojen, huollon ja hakeauton aiheuttamien keskeytysten osuus tuotantoajasta olikin peräti 64 %. Tehotuntituotos oli 27 i-m³, käyttötuntituotos 22 i-m³ ja tuotantoaikatuuotos ainoastaan 13 i-m³. Tuottavuus jäi erittäin alhaiseksi, koska hankalan muotoiset juurakot eivät painuneet kunnolla



Kuva 7. Kantomurskeen palakokojakaumat.

murskaimen teriin saakka. Pienet kannot menivät selvästi paremmin läpi kuin suuremmat. Työn tuottavuus paransi huomattavasti, jos kannot pilkottaisiin pienemmiksi ennen murskausta.

3.4.2 Kosteus, tuhkapitoisuus ja palakoko

Murskeen kosteus oli 41,9 % (73,0 % kuivamassasta). Vaihteluväli oli 34,7...47,5 % ja keskihajonta 4,63 prosenttiyksikköä. Tuhkapitoisuus vaihteli työmaalla (ennen kuljetusta) välillä 2,5...9,6 % keskiarvon ollessa 5,2 % ja hajonnan 2,44 prosenttiyksikköä. Suurta vaihtelua selittää se, että auman pohjimmaisat kannot olivat hiekkaisia ja päällimmäiset puhtaita. Hiekka jakaantui epätasaisesti murskeeseen. Kuormauksen yhteydessä hakeautoon oli noussut lisää hiekkaa, sillä kuljetuksen jälkeen tuhkapitoisuuden keskiarvo oli 8,8 %. Vaihteluväli oli 3,2...14,6 % ja hajonta 3,53 prosenttiyksikköä. Ero oli tilastollisesti merkitsevä.

Kantomurske sisälsi paljon paksuja ja lyhyitä kappaleita ja vähemmän tikkuja. Murskeen palakokojakaumat 8×13 cm:n pohjaseulalla ja ilman seula tehtynä ovat kuvassa 7. Ero on melko pieni mutta selvä. Ilman seula tehtyä mursketta kertyi jokaiseen yli 13 mm:n palakokoluokkaan suhteellisesti enemmän ja jokaiseen alle 13 mm:n palakokoluokkaan vähemmän kuin seulan läpi tehtyä mursketta.

Ero näkyi selvimmin isoilla paloilla. Murske sisälsi ilman pohjaseulaakin tehtynä varsin vähän yli 15 cm:n kappaleita.

Kantomurskeen painoksi oli mitattu käyttöpaikalla keskimäärin 270 kg/i-m^3 , mikä vastaa kuivana 175 kg/i-m^3 . Murskeen lämpöarvoksi oli saatu $0,86 \text{ MWh/i-m}^3$ eli $17,8 \text{ MJ/kuivakilo}$. Murskeen sisältämä hiekka ilmeisesti laski lämpöarvoa hieman.

3.5 Murskauskustannukset

Murskauksen kustannukset laskettiin Metsätehon ja Metsäalan kuljetuksenantajien Kuormatraktori-kustannuslaskentaohjelmaa soveltaen. Kustannuksiin on sisällytetty murskauksen välittömät ja välilliset kustannukset, mutta ei avustavan pyöräkuormaajan tai murskeen kuljetuksen kustannuksia. Murskaimen käyttöasteena eli käyttötuntien osuutena työmaa-ajasta käytettiin arvoa 80 % ja keskimääräisenä käyttötuntituotoksena 30 m^3 , joka kertoimella 0,38 vastaa 79 irtokuutiometriä. Vuotuisen työmäärän oletettiin olevan $50\,000 \text{ m}^3$ (noin $130\,000 \text{ i-m}^3$). Murskaimen veroton hankintahinta oli $1\,970\,000 \text{ mk}$. Murskauksen verottomaksi kustannukseksi saatiin näillä lähtöarvoilla $14,90 \text{ mk/m}^3$. Kun kiintokuutiometrissä mursketta saadaan keskimäärin 2 MWh , jää murskauksen hinnaksi noin $7,45 \text{ mk/MWh}$. Keskimääräisellä käyttötunti-

tuotoksella on kustannuksiin suhteellisesti suurempi vaikutus kuin vuotuisella työmäärällä.

4 Tulosten tarkastelu

Tutkittu murskain soveltuu erinomaisesti ketjukarsija-kuorija-haketusyksikön jätteen ja sahojen kuorijätteen murskaukseen ja kohtalaisen hyvin tuoreiden hakkuutähteiden murskaukseen. Kanadassa tehdyssä tutkimuksessa (Desrochers 1993) saatiin samansuuntaiset tulokset Morbark 1100 -murskaimella: Ketjukarsija-kuorija-haketusyksikön jäte murskautui parhaiten (65 i-m³/tehotunti), kuivat hakkuutähteet hyvin (61 i-m³/tehotunti) ja tuoreet hakkuutähteet heikoimmin (14...24 i-m³/tehotunti). Kantojen murskauksessa tuottavuus jää alhaiseksi nykyisellä tekniikalla. Jotta kantojen murskaus olisi kannattavaa, kannot olisi pilkottava etukäteen pienemmiksi tai sitten koneen syöttölaitteen rakennetta pitäisi muuttaa.

Tässä tutkimuksessa saatuja tuottavuuslukuja voidaan pitää vasta suuntaa antavina, sillä kerätyt aineistot kutakin materiaalia kohti eivät mahdollistaneet olosuhdekijöiden vaikutuksen luotettavaa mallittamista. Morbark 1200 -vasaramurskaimen tehotuntituotos hakkuutähteitä murskattaessa (60...70 i-m³) on lähellä vasaramurskain Lokomo MS 9:n tuotosta (70 i-m³) sekä Mårgårdshammar SK 2800:n tuotosta (82 i-m³) ja selvästi korkeampi kuin SIM-murskaimella (34 i-m³) (Kyttälä ja Larsson 1981, Kuitto ja Nissi 1984, Alexandersson ja Jonsson 1985). Tässä tutkimuksessa murskausta tehtiin sekä terminaalissa että tienvarsivarastolla. Tutkittua murskainta kannattaa käyttää terminaalissa, jos se vain on mahdollista. Tällöin murskaimen tuotos kohoaa merkittävästi, sillä työn valmistelu ja työpaikkasiirrot vievät vähemmän aikaa kuin tienvarsivarastolla.

Jos murskaus tehdään kentälle, on kentän oltava päällystetty tai hyvin roudassa. Muuten kuormausvaiheessa mukaan voi tulla runsaasti hiekkää, mikä nostaa kuljetuskustannuksia sekä huonontaa murskeen poltto-ominaisuuksia. Esimerkiksi hiekkakentällä varastoitu ketjukarsija-kuorijan jäte oli polttokelvotonta suuren tuhkapitoisuuden vuoksi.

Jos murskainta joudutaan käyttämään tienvarsivarastoilla, on purkuhinnaa muutettava siten, että sivulle kuormaus on mahdollista. Nyt autot joutuvat ajamaan poikittain tielle, sillä autojen kuormaus tapahtuu murskaimen peräpäästä. Tämän vuoksi työskentely välivarastolla on erittäin hankalaa, jos tilaa ei ole riittävästi.

Palakokojakaumaltaan polttolaitoksille soveltuva raaka-ainetta kyetään tuottamaan jo karkeimmalla pohjaseulalla kaikista materiaaleista. Karkeinta seulaa käytettäessä myös tuottavuus on korkein.

Kirjallisuus

- Alexandersson, H. & Jonsson, T. 1985. Sönderdelning av trädrester med SIM-krossen. Skogsarbeten, Resultat 6. 4 s.
- Desrochers, L. 1993. Recovery of residues from delimiting and delimiting-debarking using tub grinders. FER-IC. Technical note TN-209. 8 s.
- Hakkila, P. 1978. Pienpuun korjuu polttoaineksi. Summary: Harvesting small-sized wood for fuel. Folia Forestalia 342. 38 s.
- (toim.). 1992. Metsäenergia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 422. 51 s.
- Koistinen, R., Pyykkönen, M., Heiskanen, V-P. & Paakinen, K. 1983. Hakkuutähdemurskeen soveltuvuus aluelämpölaitoksen polttoaineksi. Abstract: The suitability of crushed logging residues to the fuel of district heating stations. SITRA, Tutkimusraportti 24. 100 s.
- Kuitto, P-J. & Nissi, I. 1984. Hakkuutähdehakkurit ja -murskaimet: Algol Hem 300-1000 WEA, Lokomo MS 9, TT 910 R ja Morgårdshammar SK 2800. Metsätehon katsaus 8. 6 s.
- & Rieppo, K. 1993. Peterson Pasific DDC 5000 -ketjukarsinta-kuorinta-haketusyksikkö ensiharvennuspuiden hankinnassa. Metsätehon katsaus 3/1993. 8 s.
- Kyttälä T. & Larsson, M. 1981. Sönderdelning av trädrester med Morgårdshammars skivkross SK 2800 och Bruks-Svedala Arbrå hammarkvarn KHA 12/12. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten 6. 8 s.
- Vehmas, T., Hakala, T. & Ritala, P. 1983. Hakkuutähdehakkurin korjuuteknikka ja ominaisuudet. Abstract: Harvesting technique and properties of logging waste chips. SITRA, Tutkimusraportti 23. 95 s.

9 viitettä