

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA 230



METSÄTEKNOLOGIAN TUTKIMUSOSASTO
METSÄTYÖTIETEEN TUTKIMUSSUUNTA



HANNU KALAJA

TUHKAN LEVITTÄMINEN METSÄTRAKTORILLA

HELSINKI 1986

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 230

Metsäteknologian tutkimusosasto

Metsätyötieteen tutkimussuunta

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Jalostusosasto

Hannu Kalaja

TUHKAN LEVITTÄMINEN METSÄTRAKTORILLA

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	3
1. TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT	5
2. TUHKAN LEVITTIMEN TEKNISET TIEDOT	6
3. TULOKSIA LEVITYSKOKEISTA	9
4. TUHKAN LEVITYKSEEN LIITTYVÄT TERVEYDELLISET HAITAT	14
5. LEVITYKSEN KUSTANNUKSET	16
KIRJALLISUUS	18

ISBN 951-40-0878-2

ISSN 0358-4283

Helsinki 1986. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Uusien puunkorjuumenetelmien myötä korjataan biomassaa metsästä yhä tarkemmin talteen. Puubiomassan tarkka talteenotto saattaa aiheuttaa maaperän köyhtymistä.

Tuhka on monipuolinen lannoite, jonka palauttaminen luonnon kiertokulkuun on ekologisesti tärkeää. Tuhkasta tosin puuttuu poltossa ilmaan haihtuva typpi, mutta siinä on runsaasti fosforia, kalia, kalkkia ja hivenaineita. Tuhkan koostumus vaihtelee riippuen polttoaineen laadusta ja puhtaudesta, tuhkautumislämpötilasta, palamatta jäävän hiilen määrästä ja tuhkanerotuslaitteistosta.

Pääosa puun, kuoren ja turpeen tuhkasta syntyy suurilla ja keskisuurilla polttolaitoksilla, joilta se palautustekniikan puuttuessa viedään nykyisin kaatopaikalle. Levityskelpoista tuhkaa syntyy vuosittain ainakin 150 000 tonnia. Verrattaessa tarjolla olevaa tuhkamäärää metsiin nykyisin levitettäviin lannoitteisiin, noin 44 000 t/a, saadaan kuva työtehtävän suuruudesta.

Edullisin levityskohde tuhkalle on turvepohjaiset metsä- ja peltomaat, mikä asettaa ympärivuotiselle levitykselle erityisiä vaatimuksia. Kaatopaikalle toimitettaessa syntyy tuhkasta jo nykyisellään melkoiset kustannukset ja myös ympäristöongelmia.

Jo usean vuoden ajan on kajaanilainen urakoitsija Otto Korhonen levittänyt tuhkaa sekä kivennäis- että turvemaalle.

Tulokset tässä selvityksessä, joka kuuluu Metsäntutkimuslaitoksen PERA-projektiin, ovat Korhosen levitystyömailta. Levityskokeissa on ollut mukana Kajaanin kaupungin metsäosastolta metsäteknikko Heikki Partanen. Metsähallituksen mailla tuhkan levittämistä ovat edistäneet ylimetsänhoitaja Eero Heino ja metsänhoitaja Matti Karjula sekä käytännön työmaan vetäjinä aluemetsänhoitaja Tarmo Uusitalo ja kenttäpäällikkö Tapani Eskola Ilomatsin hoitoalueesta.

Tutkimusaineiston keruussa Metsäntutkimuslaitoksen puolesta ovat avustaneet työnjohtaja Tapio Nevalainen sekä tutkimusmestari Tapio Järvinen. Kuvat piirsi rouva Leena Muronranta. Konekirjoitustyön teki rouva Heidi Koskinen. Tuhkan palauttamisen tekniikasta on jo aiemmin julkaistu yleisselvitys Folia Forestaliassa 552 sekä tuhkan levityksen terveydellisten haittojen arviointi Metsäntutkimuslaitoksen tiedonannossa 62.

Painatukseen liittyvistä töistä vastasivat tutkimussihteeri Pirkko Kinnanen ja toimistos sihteeri Raija Siekkinen. Käsikirjoituksen tarkastivat professori Pentti Hakkila ja vs. professori S-E. Appelroth. Parhaat kiitokset kaikille mukana olleille.

Helsingissä toukokuussa 1986

Hannu Kalaja

1. TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT

Levitys tapahtui edellisenä talvena harvennushakkuussa avatuilta ajourilta käsin. Työmaa 1 oli ojitettua turve- maata Kajaanin kaupungissa. Levitys suoritettiin helmi- kuussa 1985 vahvan lumen aikaan. Tutkimusaineisto koostui suoraan lämpölaitokselta tuodusta turpeen ja puun arina- ja lentotuhkasta, joka ajettiin traktorilla noin 10 km:n päästä Kajaanin kaupungin lämpölaitokselta kaupungin omaan metsään. Tuhkan kuljetusta varten oli rakennettu kipattava metallinen vaihtolava, jolla tuhka tuotiin metsävarastolle.

Työmaa 2 oli hyväpuustoisella rämealueella, joka si- jaitsi Metsähallituksen maalla Ilomantsin Hattuvaarassa. A- lueelle oli tehty ojitussuunnitelma ja ojalinjat oli hakattu auki, mutta kaivuutyötä ei oltu vielä tehty. Levitys ta- pahtui ojalinjoilta käsin niinikään vahvan lumen aikaan maa- liskuussa 1985. Tuhka oli Enso-Gutzeit Oy:n Uimaharjun teh- taitten koivun kuorituhkaa, jota oli varastoitu pitkään suu- rassa kasassa tehtaan läheisyydessä. Varastoinnin yhtey- dessä tuhkaa oli kasattu telatraktorilla puskien, jolloin tuhkan joukkoon oli sekoittunut kiviä ja hiekkaa. Lisäksi tuhkan joukossa oli paljon pintakerroksen jäätymisestä syn- tyneitä "jääkameja". Tuhka oli ajettu metsäautotien varteen hakerekoilla.

Aikatutkimuksen kohteena oli tuhkan levitys seuraavaa työvaihejaottelua käyttäen: kuormaus valmisteluineen ja apuaikoinen, siirtymisaika kuormattuna varastolta levityk- seen, varsinainen levitysaika sekä levityksen jälkeen tyh-

jänä siirtymisaika takaisin varastolle. Ajat, kuljetut matkat ja tuhkamäärät mitattiin kuormakohtaisesti.

Kuljettajan ajankäytön rakennetta tutkittiin frekvenssimenetelmällä 20 cm:n havaintovälillä. Työn aikana sattuneita keskeytyksiä ei otettu huomioon kuljettajan työajan rakennetta määritettäessä.

Työmaalla 1 Kajaanissa tutkimusaineisto sisälsi 224 m³ tuhkaa. Lentotuhkan kuivapaino oli 492 kg/m³ ja palamattoman hiilen osuus 15,0 %. Kosteus oli vain 1 % levityshetkellä. Arinatuhkassa kuivapaino oli 260 kg/m³ ja hiilen osuus 30,4 % sekä kosteus 65 %. Työmaalla 2 ilomantsissa aineisto sisälsi 150 m³ sekatuhkaa, jonka kuivapaino oli 432 kg/m³, hiilipitoisuus 34,7 % ja kosteus 49 %.

Levityksen tasaisuus mitattiin Virtasen (1975) esittämällä menetelmällä levityskaistalle asetetuilla näytesuppiiloilla. Suppilon sisällä olleen muovipussin punnitustuloksesta laskettiin tuhkan määrä tonneina hehtaaria kohti eri etäisyyksillä urasta lukien.

2. TUHKAN LEVITTIMEN TEKNISET TIEDOT

Levittimen peruskoneena oli Volvo BM 868 -kuormatraktori, jonka kuormatilaan oli rakennettu 9,4 m³:n tuhkasäiliö. Säiliön etupuolella oli 260 kW:n moottori. Moottori pyöritti säiliön etuosassa olevaa kahta lietsoa, joille säiliön pohjalla olevat kolakuljettimet toivat tuhkaa.



Kuva 1. Metsätraktoripohjainen tuhkanlevitysyksikkö.

Kolakuljettimien päässä oli säädettävä luukku, jolla säädettiin tuhkan tulo lingoille. Lisäksi kuljettimien nopeudella saatiin säädettyä tuhkan määrää. Tuhkan kuormaus tapahtui traktorin omalla ÖSA 360 -kuormaimella, johon oli asennettu n. 400 dm³:n kourakauha. Moottorin pakokaasut kiersivät säiliön reunojen sisällä olevia kanavia pitkin tuhkan jäätyksen estämiseksi. Kaikkien toimintojen hallintalaitteet olivat peruskoneen ohjaamosta käsin säädettävissä.

Tutkimuksen aikana konetta kehitettiin, ja tältä pohjalta on urakoitsija Otto Korhonen rakentanut uuden levittimen. Se poikkeaa tutkimuksessa käytetystä siinä suh-

teessa, että nyt on vain yksi kolakuljetin säiliön pohjalla ja yksi linko kuljettimen päässä. Lingon siipien rakennetta on paranneltu ja vahvistettu.

Tuhka kuluttaa lingon osia hyvin nopeasti. Arinatuhkaa levitettäessä joudutaan lingon siivet uusimaan n. 250 m³:n ja lentotuhkaa levitettäessä n. 750-1300 m³:n levityksen jälkeen. Tuhka on osin hienorakeista, minkä vuoksi se pääsee helposti tunkeutumaan hyvinkin suojattuihin paikkoihin ja kuluttaa osia. Laakerit joutuvat levittimessä lujille juuri tuhkan aiheuttaman kulutuksen vuoksi. Ne on uusittava noin 750-1300 m³:n levityksen jälkeen. Samoin sekä peruskoneen että levittimen moottorit kuluvat nopeammin tällaisessa työssä kuin esim. normaalissa puutavaran metsäkuljetuksessa.



Kuva 2. Tuhkakasoja metsäautotien varressa levitystä odottamassa.

3. TULOKSIA LEVITYSKOKEISTA

Kuormatilan koko oli runsaat 9 m^3 , mutta kuormaamalla laitojen yläpuolelle märkää tuhkaa saatiin kuorman kokoa suurennetuksi jonkin verran n. 2 m^3 .

Työmaalla 1 Kajaanissa täytettiin säiliöön vuorotellen kuivaa ja märkää tuhkaa. Määrästä $2/3$ oli kuivaa ja $1/3$ märkää tuhkaa. Säiliön pohjalle pantiin kuivaa tuhkaa, jotta tuhka lähti paremmin liikkeelle säiliöstä. Kuorman täyttämiseen apuaikoinen kului lähes 14.5 minuuttia eli vajaa puolet levityksen tehollisesta ajankäytöstä liikuttaessa 300 m:n matkalla. Kuivaa tuhkaa valui kuormattaessa kauhan raoista pois. Kuorman keskimääräinen koko oli 11.2 m^3 .

Työmaalla 2 Iломantsissa, missä tuhka oli märkää, kului kuormaukseen vajaa 9,5 minuuttia eli lähes kolmannes tehollisesta työajasta. Tämän lisäksi kului pari minuuttia jääpaakkujen poistoon kuormasta, työajasta lähes 7 %. Kuorman keskimääräinen koko oli 11.5 m^3 . Seuraavassa taulukossa on esitetty tuhkan levityksen ajanmenekki.

Siirtymiseen kuormattuna ja tyhjänä 300 metrin matkalla meni Kajaanin työmaalla 1.5 minuuttia enemmän aikaa kuormaa kohti kuin Iломantsissa. Iломantsin työmaalla voitiin usein ajaa pitkät matkat samoja tieuria pitkin, kun taas Kajaanissa jouduttiin ajamaan useammin hangessa ja pehmeässä lumessa.

Taulukko 1. Tuhkan levityksen ajanmenekki

Työvaihe	Työmaa 1		Työmaa 2	
	cmin/ kuorma	%	cmin/ kuorma	%
Kuormaus apuaikoineen	1447	47.3	994	32.5
Siirtyminen levitykseen (300 m)	541	17.7	457	14.9
Levitys	427	14.0	817	26.7
Siirtyminen kuormaukseen (300 m)	492	16.1	412	13.5
Puhdistus ja rasvaus	150	4.9	170	5.6
Jääpaakkujen poisto	--	--	208	6.8
Teho aika yhteensä	3057	100.0	3058	100.0



Kuva 3. Levitysyksikön omalla kuormaimella kuormataan tuhka säiliöön.

Työmaalla 1 varsinaiseen levittämiseen kului vain 14 % ja työmaalla 2 lähes 27 %. Vaikka osa jääpaakuista poistettiin kuormauksen yhteydessä, niin työmaalla 2 jäi kuormaan vielä paakkuja, jotka tukkivat aina välillä tuhkantuloaukon

lingolle. Lisäksi työmaalla 1 levitettiin enemmän tuhkaa hehtaaria kohti, joten levitysmatkakin oli lyhyempi.

Varsinkin kuiva lentotuhka pölyää kovasti ja tunkeutuu helposti pienistäkin aukoista. Tästä syystä urakoitsija rasvasi lingon ja kuljettimien laakerit joka neljännen kuorman jälkeen. Tämän lisäksi kuljettaja joutui puhdistamaan ohjaamon lasit. Moottorin suodatin puhdistettiin pitemmin aikaväleihin. Näihin töihin kului noin 1,5 minuuttia kuormaa kohti eli 5 % tehollisesta työajasta. Kuormaus apuaikoinen, siirtyminen kuormattuna ja tyhjänä 300 metrin matkalla, levitys ja koneen puhdistus ja rasvaus kummallakin työmaalla veivät yhteensä hieman yli puoli tuntia kuormaa kohti.

Kuljettajan työajan jakaumaa kuormauksessa mitattiin Ilomantsin työmaalla. Tulokset on esitetty taulukossa 2.

Noin kolmannes työajasta kului kauhan siirtoon kuormattuna ja neljännes tyhjänä siirtoon. "Jääkamin" rikkomiseen kauhalla meni reilut kymmenen prosenttia kuormausajasta ja lisäksi 5 % paakkujen poistoon kuormasta kauhalla.

Levityksen tehoaikatuotos sisältää kuormauksen, siirtymisen kuormattuna sekä tyhjänä 300 metrin matkan, levityksen, koneen puhdistuksen ja rasvauksen sekä työmaalla 2 jääpaakkujen poiston kuormasta. Taulukossa 3 on esitetty levittimen tuotos tehoaikaa kohti laskettuna.

Taulukko 2. Kuljettajan työajan jakauma kuormauksessa Ilomantsin työmaalla.

Työvaihe	Jääkameja paljon	Ei jääkameja
	%	%
Kauhan siirto tyhjänä	24.8	24.2
Kauhaisu	17.3	22.1
Kauhan siirto kuormattuna	27.3	35.8
Kauhan tyhjennys	13.2	14.7
"Jääkamin" rikkominen kauhalla	12.4	--
Siirtyminen kuormauksen yhteydessä	--	3.2
Jääkamin poisto kuormasta kauhalla	5.0	--
Yhteensä	100.0	100.0

Taulukko 3. Levittimen tuotos tehoaikaa kohti 300 m:n ajomatalla.

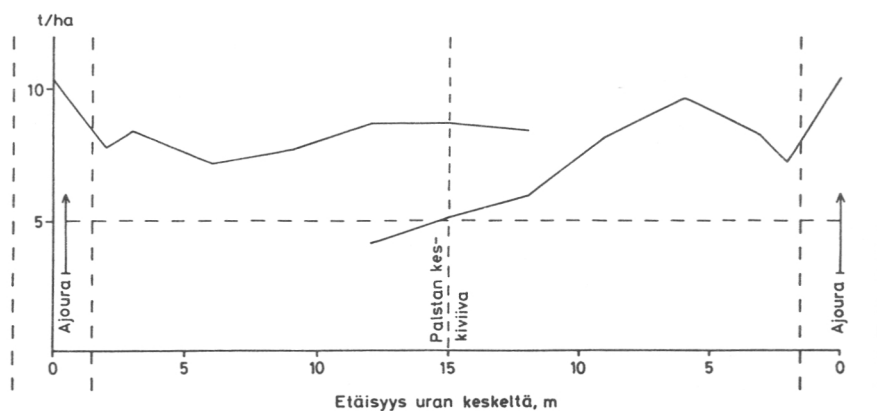
	Työmaa 1	Työmaa 2
Tuotos, m ³ /h	22,0	22,6
Tuotos, t/h	9,1	9,7
Kuorman koko, m ³	11,2	11,5
Levitysmatka, m	176,0	264,0
Kauhallisessa tuhkaa, m ³	0,2	0,3

Kajaanin työmaalla, missä levitettiin tuhkaa hehtaareille enemmän, oli tuotos 22 m³/h, kuivaksi massaksi muutettuna 9.1 t/h. Märän ja paakkuisen tuhkan levitystuotos Ilomantsissa oli hieman suurempi eli 22.5 m³/h ja kuivamassana 9.7 t/h. Hyvin palaneella tuhalla on kuutiometripaino korkeampi ja kuivamassan levitystuotos täten myöskin suurempi. Levitysmatka oli Kajaanissa lähes sata metriä lyhyempi kuin Ilomantsissa, missä levitettiin vähemmän tuhkaa hehtaareille.

Työjäljen tasaisuus

Vaikka tuhkaa levitetäänkin paljon enemmän hehtaarille kuin keinolannoitteita, on tuhkakin levitettävä mahdollisimman tasaisesti. Tuhkan levityskohteet ovat useassa tapauksessa harvennushakkuualoja, koska näillä on jo olemassa ajourat noin 30 m:n välein ja tuhkan levitys on tällöin helppoa. Tuhkan leviämisen pitäisi tuolloin tapahtua molemmin puolin tasaisesti 15 metrin leveydelle.

Kuvasta 4 nähdään tuhkamäärät tonneina hehtaaria kohti ajouran keskipisteestä mitatusta etäisyydestä riippuen, kun urien väli on 30 m ja levitystavoite n. 5 t/ha. Tuhkamäärät olivat lähes yhtäsuuret uran kummallakin puolella.



Kuva 4. Tuhkan määrä t/ha levityspalstan eri osissa. (Uraväli 30 m, levitystavoite n. 5 t/ha.)

Tasaisuuden mittaukset tehtiin uudella levittimellä, missä oli vain yksi linko. Yhdellä lingolla puhallusvoima on aina toiselle puolelle hieman voimakkaampi kuten tässäkin tapauksessa oikealle puolelle tuli lähes 600 kg/ha enemmän tuhkaa.

Levittimen puhallusvoima tuntui riittävältä. Usealla levittimellähän on juuri puhallusvoimassa vaikeuksia, jolloin levitysetäisyys ei ole 30 m:n ajouravälillä riittävä.

Tuhka-annostus oli keskimäärin lähes 8 t/ha. Tuhkan määrään voidaan säädellä tällä levittimellä luukkujen asennolla ja kolakuljettimen nopeudella. Lisäksi tietenkin ajonopeudella saadaan määrää säädettyä, mutta metsässä liikuttaessa kuorman kanssa ei voida kovin suuria nopeuksia käyttää.

Levityksen tasaisuuteen vaikuttavat kaikilla levittimillä puuston määrä, ajouran mutkittelu, maaston kaltevuus sekä tuhkan joukossa olevat epäpuhtaudet (jääpaakut ym) syöttöhäiriöiden kautta.

4. TUHKAN LEVITYKSEEN LIITTYVÄT TERVEYDELLISET HAITAT

Tuhkan pölyämisen aiheuttamista terveydellisistä haitoista on tehty aiemmin erillinen selvitys. Tulokset on julkaistu Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantona 62 (Juntunen 1982).

Eri tuhkalajit eroavat kemialliselta koostumukseltaan työhygieenisesti ajatellen toisistaan. Turvetuhkan vallitsevana komponenttina on silikaatti (SiO_2) ja puutuhkan kalsiumoksidi (CaO_2). Pääkomponenteista juuri nämä voivat aiheuttaa terveydellistä haittaa. Piioksidin vaarallisuus riippuu siitä, kuinka paljon sitä on vapaassa ja kiteisessä muodossa, lähinnä kvartsina ja kristobaliittina. Kvartsi on merkittävä silikoosin (kivipölykeuhko) aiheuttaja.

Aikaisemmat mittauskoot osoittavat metsätraktorisovitteisen tuhkanlevittimen ohjaamossa työskentelevän kuljettajan altistuvan haitalliseksi tunnettua 10 mg/m^3 korkeammalle kokonaispölypitoisuudelle. Pölypitoisuus ohjaamon sisällä oli mittauksissa keskimäärin puolet ohjaamon ulkopuolen pölypitoisuudesta. Traktorin ohjaamon tiiviyyden lisäämiseksi ei oltu tehty mitään, eikä ilmanotossa ollut myöskään minkäänlaisia suodattimia.

Ohjaamo on tehtävä niin tiiviiksi, ettei pöly pääse sinne tunkeutumaan. Sisäänottoilman suodatuksella, ohjaamon tiivistämällä ja lievällä ylipaineella saadaan estettyä pölyn pääsyä ohjaamoon. Ohjaajan on syytä vaihtaa suodatin riittävän usein. Henkilökohtaisten suojaamien käyttö voi olla tarpeellista huolto- ja korjaustöissä, varsinkin jos häiriön vuoksi joudutaan työskentelemään levittimen säiliössä. Asiallinen työvaatetus ja peseytyminen työn jälkeen vähentävät osaltaan haittoja.

5. LEVITYKSEN KUSTANNUKSET

Usealle laitokselle syntyy kustannuksia tuhkan kuljettamisesta kaatopaikalle. Täten monessa tapauksessa tuhkan kuljettamisesta metsään ei aiheudu juuri ylimääräisiä kustannuksia. Lisäkustannukset syntyvät silloinkin ensisijaisesti levityksestä. Levitystaksana on monin paikoin käytetty 2-metrisen lehtikuitupuun ajotaksaa uran varresta kourakasoista ajettuna maastoluokan ollessa 2 ja tiheyden 0.

Työmaalla 1 Kajaanissa tuhkan kuljetusmatka laitokselta välivarastolle metsätien varteen oli 10-15 km. Tuhka kerättiin laitoksella traktorin vaihtolavaan, joten kuormauksesta ei syntynyt kustannuksia. Kuorman koko oli määrällä arina-tuhkalla n. 10 m^3 ja kuivalla lentotuhkalla 15-17 m^3 .

Ajokustannukset kaatopaikalle olisivat olleet 15.30 mk/m^3 matkan ollessa n. 10 km. Koska levityskohde oli vähän kauempana kaatopaikkaa, jouduttiin tuhkan kuljettamisesta maksamaan hieman lisää eli 3.40 mk/m^3 . Kaukokuljetus tuli siis kaikkiaan maksamaan 18.70 mk/m^3 .

Varsinainen levityskustannus ajomatalla 100-200 m oli 22.50 mk/m^3 . Kustannukset laskevat, jos ajomatka metsäpäässä lyhenee. Matkan pidetessä 300 m:iin nousee levitystaksa 3.10 mk/m^3 . Tuhkan ravinnepitoisuudesta riippuen levitetään tuhkaa erilaisia määriä hehtaarille. Tässä tapauksessa, kun suurin osa tuhkasta oli puutuhkaa, tavoitteena oli 5 t/ha eli noin $12-14 \text{ m}^3/\text{ha}$. Hehtaarikustannukseksi

300 metrin ajomatalla, kun on kaikki työvaiheet mukana, saadaan tuolloin n. 580 mk/ha ilman tuhkan hintaa.

Työmaalla 2 Ilomantsissa vaihteli metsäkuljetusmatka vajaasta sadasta metristä aina 700 metriin. Levitystaksaksi oli sovittu 20 mk/m^3 .

Levitystyössä pelkälle peruskoneelle laskettu käyttötuntikustannus olisi 209 mk/h. Levittimen hankintahinta on n. 100 000 mk, pitoaika 3 vuotta, työmaa-aika 6 kk/a eli 1000 h/a. Työmaa-aika jää näin lyhyeksi, koska levitys tapahtuu enimmäkseen turvepohjaisilla mailla, joilla liikkuminen sulanmaan aikaan raskailla koneilla on vaikeata. Levittimen korjaus- ja huoltotyön osuus on normaalia suurempi eli 20 %. Levittimen tuntikustannuksiksi tulee näin ollen n. 65 mk/h. Metsätraktoripohjaisen tuhkanlevitysyksikön tavoiteansio olisi näin ollen yhteensä 274 mk/h.

Tutkimuksessa saatu tehotuntituotos oli 300 m:n ajomatalla $22.3 \text{ m}^3/\text{h}$. Käyttötuontituotos on 75 % tehtotuntituotoksesta eli $22.3 \times 75 \% = 16.7 \text{ m}^3/\text{h}$. Suuntaa-antavaksi yksikkökustannukseksi saadaan tämän tutkimuksen perusteella $274 \text{ mk} : 16.7 \text{ m}^3 = 16.40 \text{ mk/m}^3$, mikä edellyttäisi laskelman mukaista työllisyyttä sekä prototyyppikoneelle luonteenomaisten häiriöitten eliminoimista.

Tuhkasta on jo muodostunut paikoin kauppatavara, jonka hinta on ollut noin 25 mk/t tuottajan varastossa. Jos tuhkaa ei hyödynnetä, niin pidemmän päälle syntyy ongelmia kaatopaikoilla, jolloin ravinteet voivat kasaantuneina aiheuttaa ympäristöongelmia.

KIRJALLISUUS

- Hakkila, P. & Kalaja, H. Puu- ja kuorituhkan palauttamisen tekniikka. Summary: The technique of recycling wood and bark ash. Folia For. 552:1-37.
- Juntunen, M-L. 1982. Tuhkan levityksen terveydellisten haittojen arviointi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. 62:1-17.
- Virtanen, J. 1975. Lannoitustasaisuus metsänlannoituksessa. Summary: Spreading evenness in forest fertilization. Commun. Inst. For. Fenn. 86.1:1-72.

ISBN 951-40-0878-2

ISSN 0358-4283

Helsinki 1986. Valtion painatuskeskus