

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

**MUHOKSEN TUTKIMUSASEMAN
TIEDONANTOJA 20**



TUHKA METSÄNLANNOITTEENA

MUHOS 1980

ISBN 951-40-0482-5

Kansikuva: Metsätraktorisovitteinen yksikkö levittämässä turpeen tuhkaa (ylhäällä). Näkymä Leppiniemen tuhkalannoituskokeelta (alhaalla). Valokuvat M. Tervonen.

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

MUHOKSEN TUTKIMUSASEMA

TIEDONANTOJA 20

Toimittaneet

Pekka Pietiläinen ja Markku Tervonen

TUHKA METSÄNLANNOITTEENA

Metsänparannustutkimusten toimikunnan koulutus-
ja neuvottelupäivät 11. - 12.8.1980. Oulu.

Muhos 1980

ISBN 951-40-0482-5

SISÄLLYS

	sivu
1. ALKUSANAT	1
2. RETKEILYKOHTEET	1
21. Oulun kaupungin tuhkakokeet	1
22. Leppiniemen tuhkakoe	4
23. Pyhäkosken kokeilualan tuhka- ja hivenlannoitus- kokeet	9
3. ESITELMÄT	
31. Tuhkan tuotanto ja ominaisuudet, Kimmo Paarlahti	13
32. Tuhkalannoituksen vaikutus maaperän mikrobistoon, Marjut Karsisto ja Riikka Leppänen	16
33. Tuloksia vanhoista tuhkalannoituskokeista, Eero Paavilainen	20
34. Tuhkalannoituksen ekologiaa, Antti Reinikainen	24
35. Tuhka kasvuhäiriön torjunnassa, Heikki Veijalainen ..	28
36. Tuhkan palauttamisen tekniikka, Pentti Hakila	31
37. Tuhkan ja muiden maanparannusaineiden kuljetus ja levitys, Matti Aitolahti	38

1. ALKUSANAT

Kotimaisten energialähteiden, puun ja turpeen, käyttö lämpöenergian tuottamiseen on lisääntymässä. Suurissa lämpöenergialaitoksissa ja pienkattiloissa syntyy suuria määriä tuhkaa, joka tällä hetkellä menee pääosaltaan kaatopaikoille. Koska tuhkassa on runsaasti puiden helposti hyödynnettävissä olevia ravinteita, tulisi tuhka palauttaa takaisin luonnon kiertoon. Tuhkan hyötykäyttö onkin tällä hetkellä vilkkaan tutkimustoiminnan kohteena.

Julkaisuun on koottu metsänparannustutkimusten toimikunnan koulutus- ja neuvottelupäivien retkeilykohteista ja esitelmistä, joiden aiheena oli tuhkan käyttö erityisesti suometsien lannoitteena. Retkeilyn käytännön järjestelyistä vastasivat Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosasto ja Muhoksen tutkimusasema.

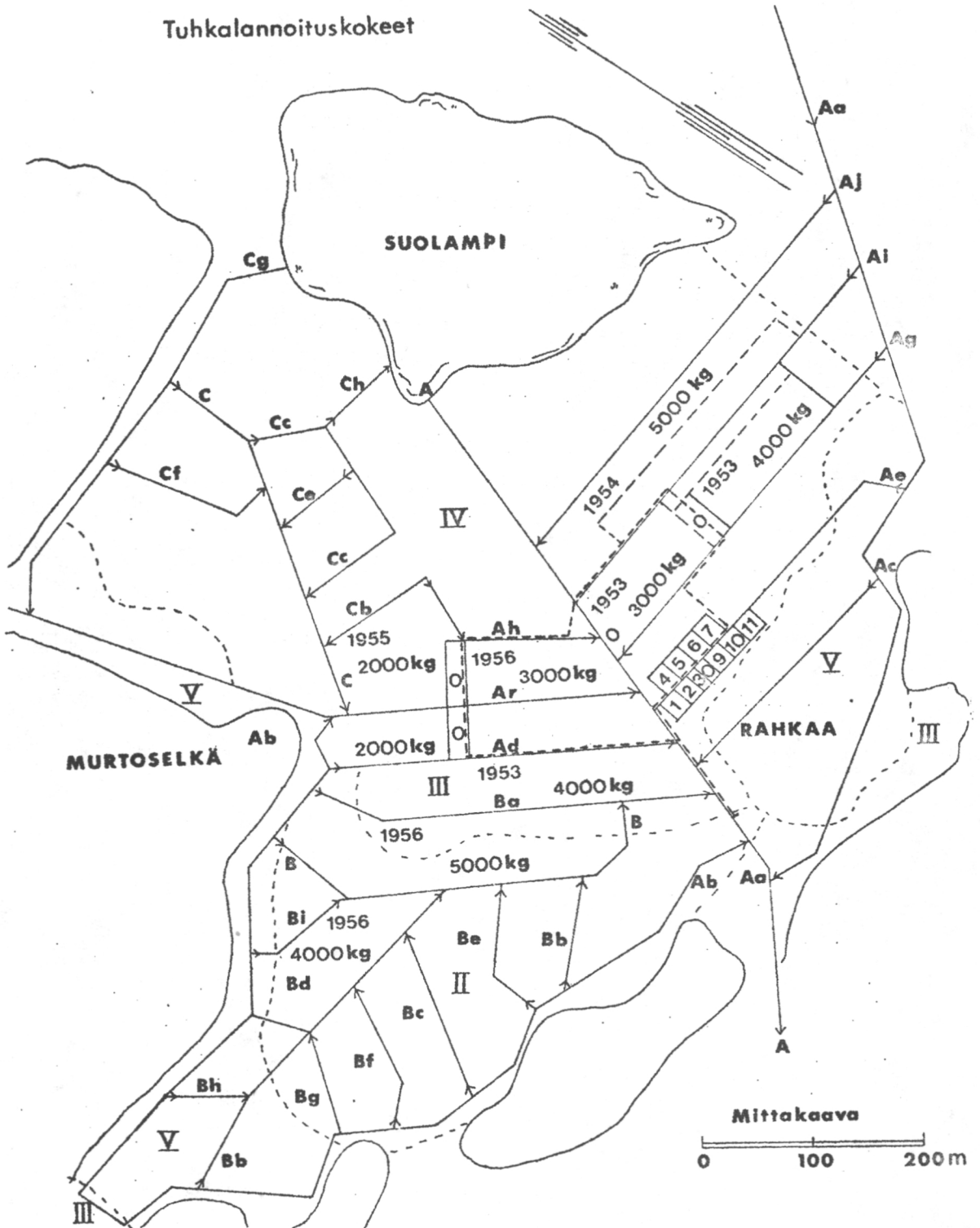
Retkeilykohteet ja esitelmät herättivät osanottajien keskuudessa vilkasta keskustelua, joka antoi uskoa jäte-tuhkan tarkempaan hyödyntämiseen tulevaisuudessa.

2. RETKEILYKOHTEET

22. Oulun kaupungin tuhkakokeet

Oulun kaupungin Isosuolla sijaitsevat tuhkalannoituskoealat perustettiin v. 1952 rahkaiselle nevalle, jossa on turvetta 1,5 - 2 metriä paksulti (kuva 1). Alue ojitetiin vuonna 1932 ja sarkaleveys on satametriä. Isosuolla oli määrä suorittaa täydennysojitus ja puuston harvennus, mutta kyseisiä metsänparannustoimia siirrettiin pyynnöstämme, jotta alueella nähtäisiin tuhkalannoituksen vaikutus vajaatehoisen ojitusalueen ylitieheässä puustossa.

ISOSUO , OULU
Tuhkalannoituskokeet



Kuva 1. Kartta Oulun kaupungin Isosuolla sijaitsevista tuhkalannoituskokeista.

Tuhkalannoituskoealat perustettiin K. Häkkisen toimesta vuonna 1952. Kokeessa käytettiin puuntuhkaa 1 000, 2 000, 4 000, 6 000 ja 8 000 kg/ha. Mukana oli myös kaksi turpeentuhkakäsittelyä 3 000 ja 9 000 kg/ha. Käytetyn puun- ja turpeentuhkan ravinnesisältö selviää taulukosta 1.

Taulukko 1. Oulun kaupungin Isosuon tuhkalannoituksissa käytetyn tuhkan ravinneanalyysitulokset.

	Puuntuhkaa %	Turpeentuhka %
K_2O, Na_2O	15,0	2,6
CaO	46,5	44,3
P_2O_5	0,8	0,3
MgO	10,5	11,4
Fe_2O_4	4,6	9,5
SiO_2	2,9	5,9
Vesiliukoista yht.	18,1	4,3

Edellä mainittujen käsittelyjen lisäksi alueelle perustettiin vuosina 1954 - 1956 kolme PK-ruutua, joiden pääravinnemäärä vastasi tuhkalannoitusten pääravinnemääriä. Väkilannoitemäärät ja lannoitelajit olivat oletettavasti seuraavat.

PK₁ = kalkkia 2 000 kg/ha + hienofosfaattia 1 000 kg/ha + kalisuolaa 500 kg/ha, PK₂ = kalkkia 1 000 kg/ha + hienofosfaattia 500 kg/ha + kalisuolaa 250, PK₃ = kalkkia 500 kg/ha, hienofosfaattia 250 kg/ha ja kalisuolaa 125 kg/ha

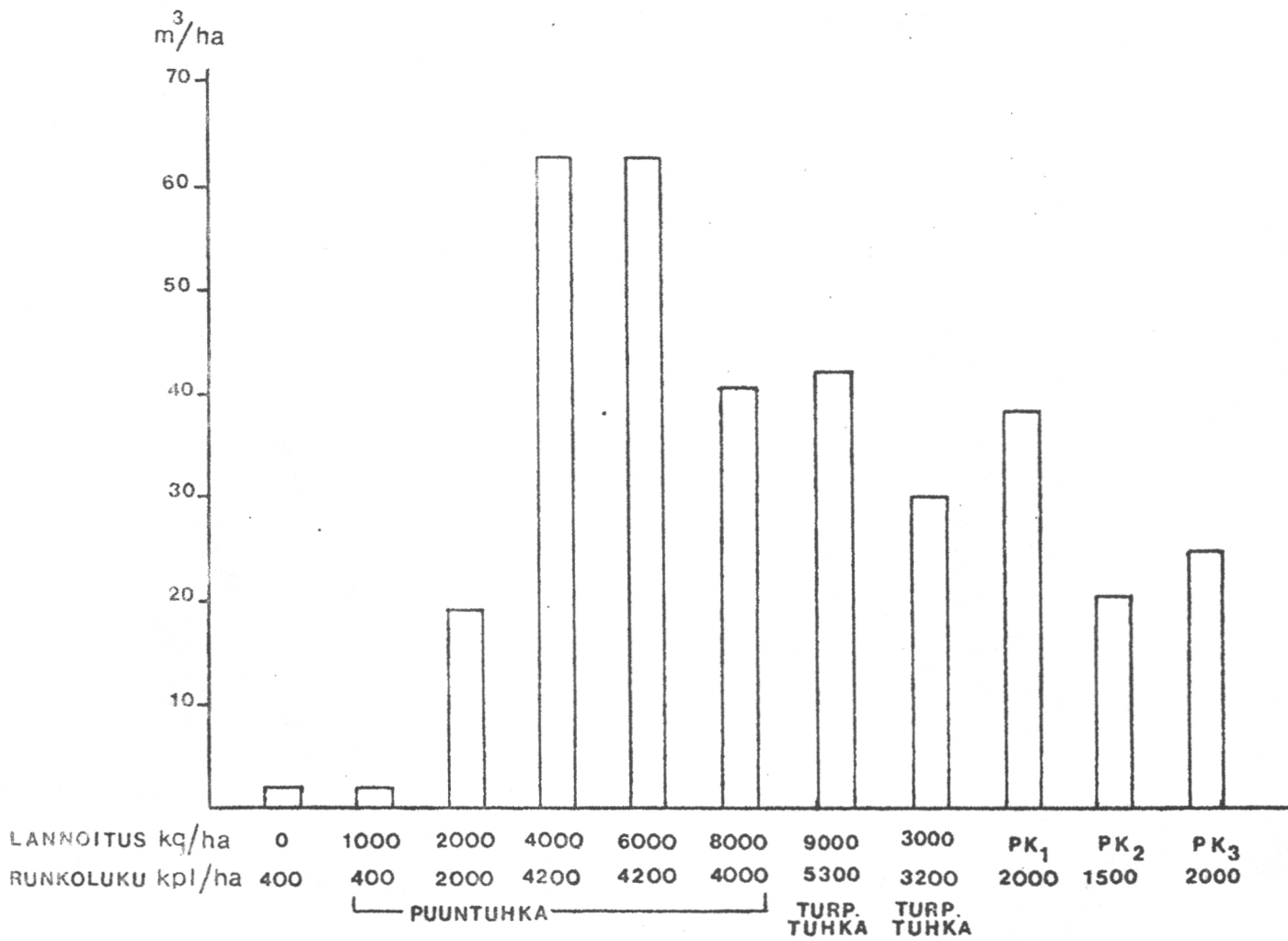
Lannoitettujen koeruutujen sekä käytännön mittakaavassa suoritettujen tuhkalannoitusalojen puuston pituus oli mittausvuonna (1977) 5 - 8 metriä. Lannoittamattomien ruutujen puusto oli harvaa ja mitattujen puiden pituus oli 2 - 3 metriä.

Lannoittamattoman alueen kokonaistuotos oli $2 \text{ m}^3/\text{ha}$ samoin kuin $1\ 000 \text{ kg}/\text{ha}$ tuhkalannoituksella (kuva 2). Kahdella tonnilla tuhkaa oli selvä puuston kasvua lisäävä vaikutus. Koealojen, joissa oli käytetty $4\ 000$ ja $6\ 000 \text{ kg}/\text{ha}$ tuhkamääriä oli saavutettu 63 m^3 kokonaistuotos, $8\ 000 \text{ kg}/\text{ha}$ tuhkalannoituksen heikkoa kokonaistuotosta en rupea kommentoimaan. Käytettäessä $3\ 000$ ja $9\ 000 \text{ kg}/\text{ha}$ turpeentuhkaa oli saatu kokonaistuotoksia, jotka ovat samaa suuruusluokkaa kuin väkilannoitteilla saavutetut tulokset.

22. Leppiniemen tuhkakoe

Koe on perustettu verraten runsastyypiselle tupasvilla-nevalle, jonka kokonaistypen määrä v. 1975 $0 - 10 \text{ cm:n}$ syvyydessä oli vertailuruudulla $2,7 \%$. Kokeessa on kolme perusruutua, jotka on sittemmin jaettu neljään osaruutuun. Alue ojitettiin 60 m:n sarkaleveydellä v. 1932 ja viljeltiin männyllä v. 1934 ruutu a istuttaen ja ruudut b ja c kylväen. Ruudut b ja c saivat kouvuhalon tuhkaa $8\ 000$ ja $16\ 000 \text{ kg}$ hehtaarille v. 1947. Puustoa harvennettiin viimeksi talvella 1975 - 76, jolloin osaruuduille jäi $1\ 500$ tai $3\ 000$ runkoa hehtaarille.

Tuhkalannoituksen vaikutuksesta on pää- ja hivenravinteiden määrä turpeen pintakerroksessa kohonnut selvästi (taulukko 2). Pääravinteista typen määrä turpeen pintakerroksessa on kuitenkin selvästi vähentynyt. Happamuus on vähentynyt $0 - 5 \text{ cm:n}$ ja $0 - 10 \text{ cm:n}$ kerroksessa yli kahdella pH-yksiköllä. Mikrobiologisten analyysien tuloksia selostetaan toisaalla tässä julkaisussa.



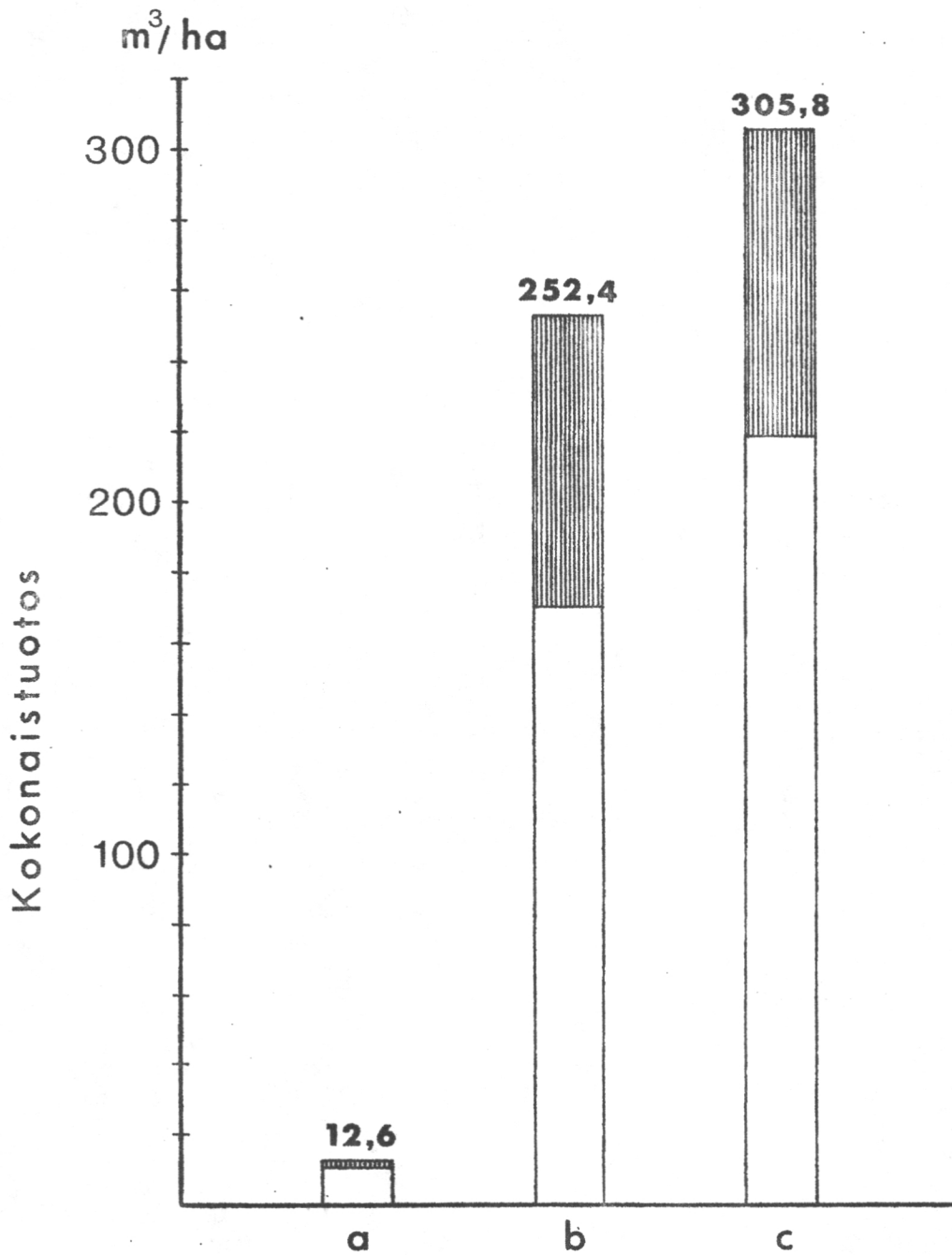
Kuva 2. Oulun kaupungin Isosuolla sijaitsevan vuonna 1971 mitatun lannoituskokeen kokonaistuotos eri lannoituskäsittelyissä. Lannoituskäsittelyt selvitetty tarkemmin tekstissä.

Taulukko 2. Lannoittamattoman ja tuhkalannoitetun turpeen ravinnepitousuus 30.10.1975 (M. Karsisto, julkaisematon aineisto).

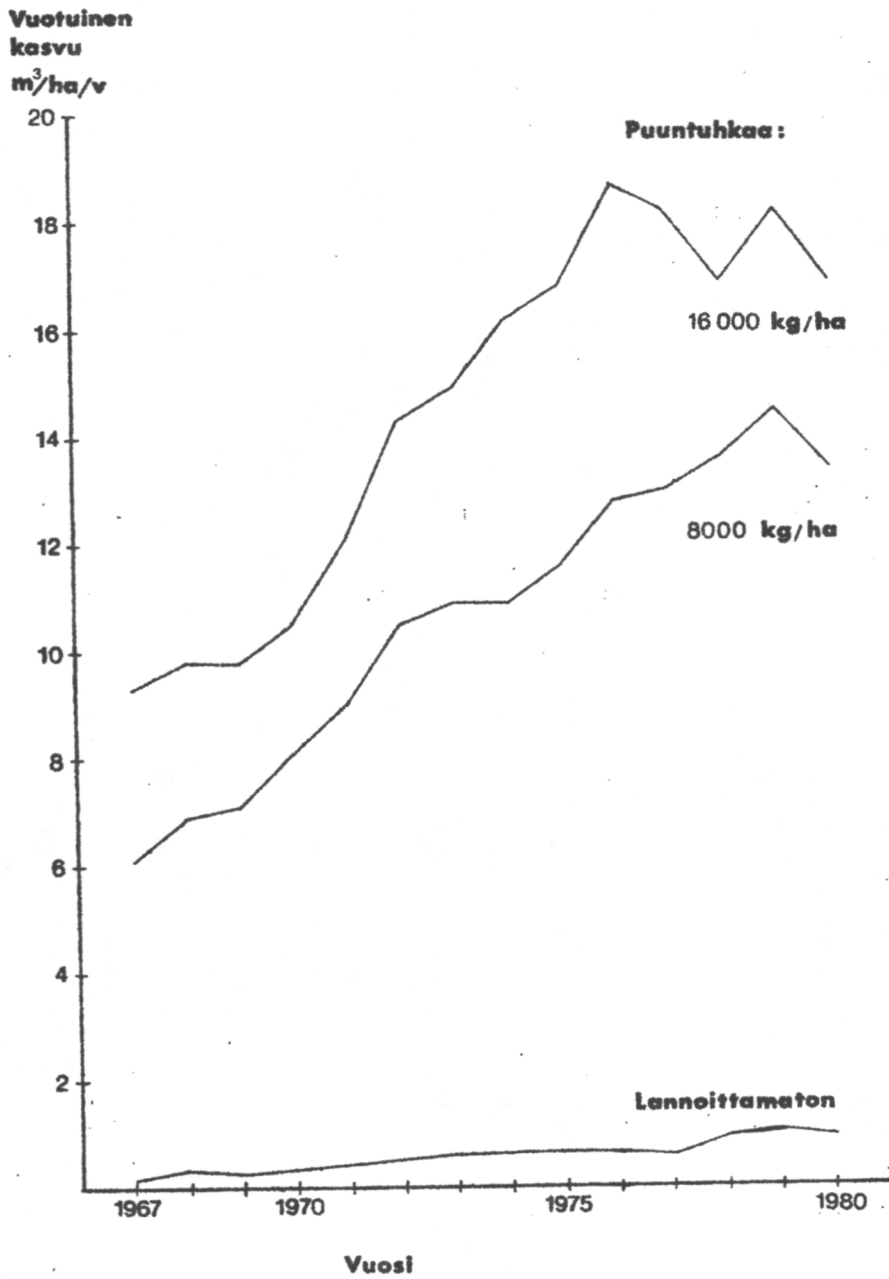
	0 - 5 cm		5 - 10 cm		10 - 15 cm		15 - 20 cm	
	0	Tuh.	0	Tuh.	0	Tuh.	0	Tuh.
pH	3,8	5,9	3,9	6,1	4,0	4,9	4,2	4,7
N tot %	2,7	1,3	2,7	2,4	2,4	3,0	2,3	3,1
P tot g/kg	1,26	5,87	0,88	4,27	0,63	1,13	0,64	0,88
K tot g/kg	0,15	1,35	0,10	0,65	0,09	0,24	0,19	0,25
Ca tot g/kg	1,68	31,0	2,14	36,7	2,82	7,21	3,07	6,93
Cu mg/l	2,2	12,8	3,0	8,8	2,0	2,5	2,0	2,0
Mn mg/l	2,5	-	9,5	41,0	5,0	10,0	8,0	8,5
B mg/l	0,2	0,8	0,2	0,5	0,2	0,3	0,2	0,3

Lannoittamattoman ruudun a kokonaistuotos vuoteen 1980 mennessä oli 12,6 m³/ha, josta poistuman osuus oli 1,1 m³/ha (kuva 3). 8 000 kg tuhkaa hehtaarille saaneen ruudun kokonaistuotos oli 252,4 m³/ha, josta poistuman osuus oli 82,4 m³/ha. Parhaiten puusto oli kasvanut 16 000 kg tuhkaa hehtaarille saaneilla ruuduilla, joka oli tuottanut kaikkiaan 305,8 m³/ha vuoteen 1980 mennessä. Edellä mainitut tuotosluvut ovat neljän osaruudun keskiarvoja. Parhaalla suuremman tuhka-annoksen saaneella osaruudulla kokonaistuotos oli 416 m³/ha.

Puuston vuotuinen kasvu 16 000 kg tuhkaa saaneella ruudulla parani vuoteen 1975 saakka ja 8 000 tuhkaa hehtaarille saaneella ruudulla vuoteen 1979 saakka, jolloin kasvu kulmineoitui (kuva 4). Kasvun tasaantuminen voi johtua yhtä hyvin puuston iästä kuin tuhkalannoituksen vaikutuksen loppumisesta, sillä puuston vuotuinen kasvu on maksimissaan 30 - 40 ikävuoden välillä. Vuotuinen kasvu oli suuremman tuhka-annoksen saaneella ruudulla parhaimmillaan lähes 19 m³/ha kun lannoittamattomalla ruudulla kasvu oli alle 1 m³/ha.



Kuva 3. Leppiniemen tuhkakokeen n:o 21 kokonaistuotos. Mittausvuosi 1980. Ruutu a = lannoittamaton, b = tuhkaa 5 000/ha, c = tuhkaa 16 000 kg/ha. Pylvään vläosa (viivoitettu) = harvennuspoistuma.



Kuva 4. Puuston vuotuinen kasvu Leppiniemen tuhkakokeen koealoilla, joiden runkoluku vuoden 1975 harvennuksen jälkeen oli 3 000 kpl/ha.

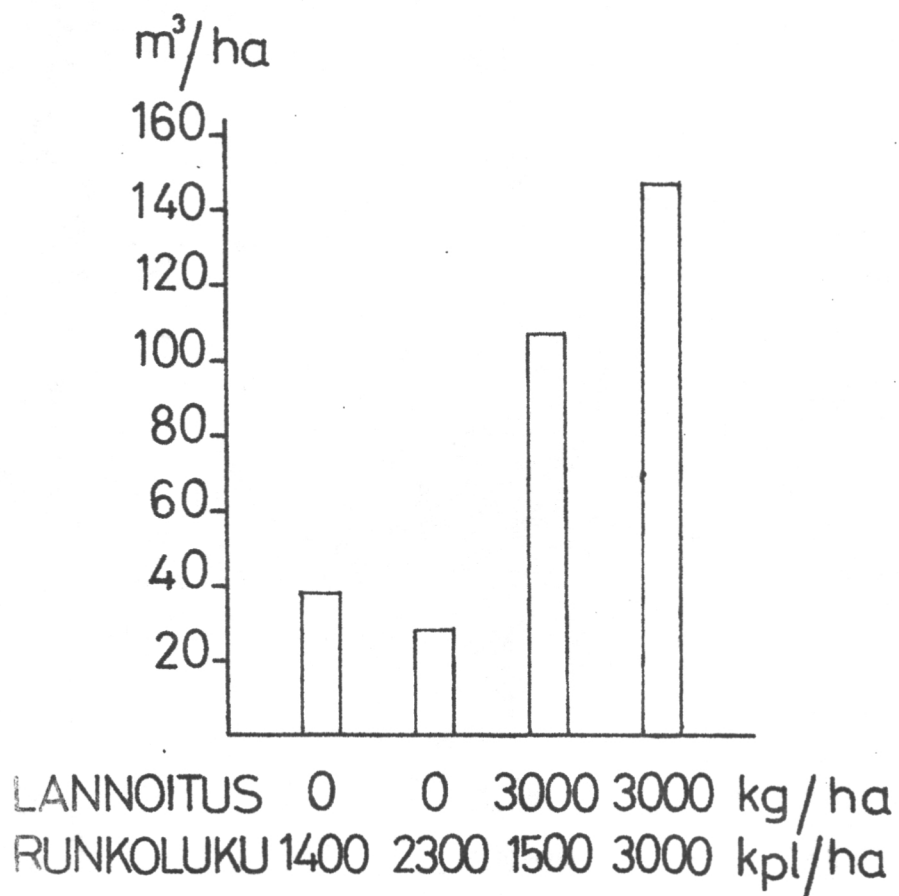
23. Pyhäkosken kokeilualueen tuhka- ja hivenlannoituskokeet

Pyhäkosken kokeilualueen Itkusuo ojitettiin vuosina 1931-32. Männyn hajakylvö suoritettiin vuonna 1936. Koealan alkuperäinen suotyyppi oli tupasvillaneva, jonka turpeen paksuus oli puoli metriä. Puun tuhkalannoitus (3 000 kg/ha) suoritettiin vuonna 1946. Tuhkasta ei ole analyysituloksia. Koealan lannoitettujen ruutujen puuston pituus on 10 metriä. Lannoittamattomilla ruuduilla puut ovat 3 - 5 metrin pituisia.

Lannoittamattomilla osaruuduilla on fosforin ja kaliumin puutosoireita, mutta tuhkalannoituksen saaneilla osaruuduilla puustossa ei ollut ravinnepuutosoireita. Koeruudut harvennettiin vuonna 1976, mutta poistuman tilavuutta ei ole tiedossa. Tuhkalannoitettujen osaruutujen runkoluvut ovat 1 500 ja 3 000 kpl/ha ja vastaavat kokonaistuotokset ovat 107 m³/ha ja 147 m³/ha. Lannoittamattomilla osaruuduilla runkoluvut ovat 1 400 ja 2 300 kpl/ha ja vastaavat kokonaistuotokset ovat 38 m³/ha ja 28 m³/ha (kuva 5).

Itkusuoan tuhkalannoitusta jäljittelevä koe perustettiin vuonna 1972. Alue on tupasvillanevaa, joka ojitettiin v. 1932. Turpeen paksuus on 60 cm. Koivutuhkaa käytettiin lannoitteena 5 600 kg/ha. Tuhkan sisältämä N-P-K-pitoisuusprosentit olivat 0-8-7. Muissa lannoituskäsittelyissä, NPK 300 kg/ha kolmen vuoden välein. PK 600 kg/ha, PK 600 kg/ha + Ks 600 kg/ha. Tuomaskuona 1 000 kg/ha + kaliumbikarbonaatti 800 kg/ha + magnesiumsulfaatti 400 kg/ha + hivenseos 75 kg/ha, pidettiin lisätty fosforimäärä tuhkaa vastaavalla tasolla.

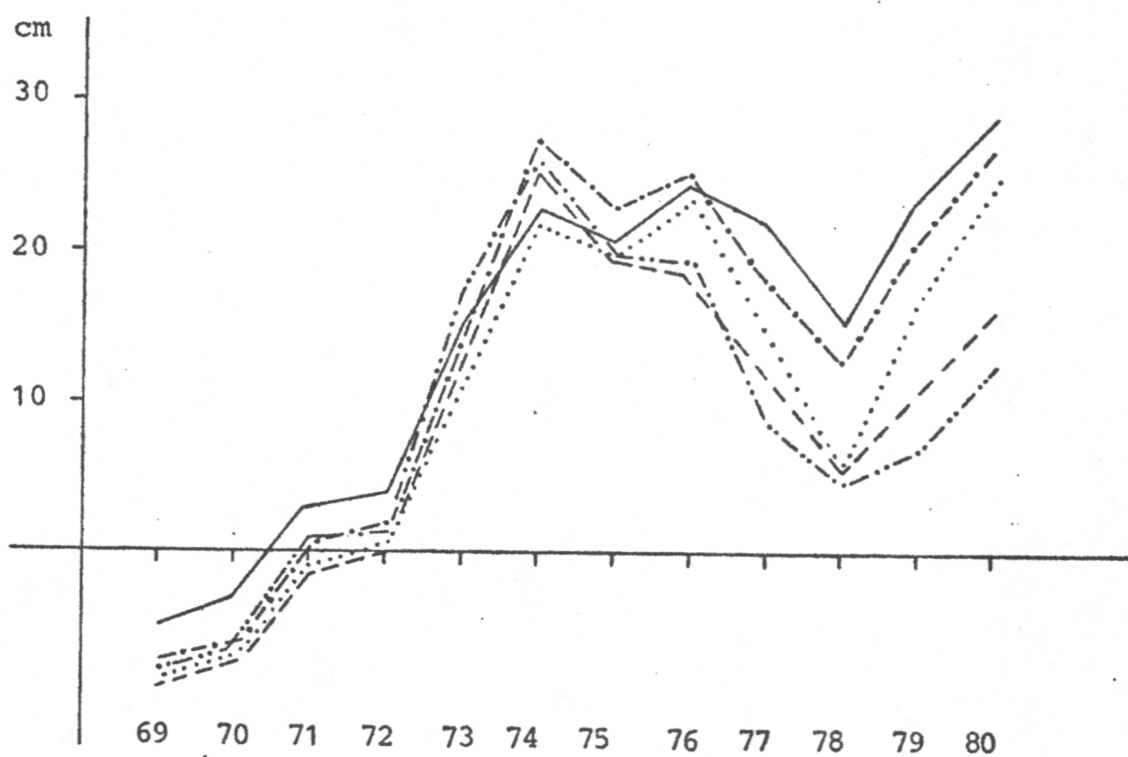
Lannoituskoealan puusto on n. 5 m:n pituista. Tuhkalannoituksen vaikutus pituuskasvuun on ollut aluksi suhteellisesti hitainta, mutta viisi vuotta lannoituksen jälkeen se on ohittanut muut lannoituskäsittelyt antaen parhaan pitkäaikaisimman lannoitusvaikutuksen. Tuhkalannoitusta jäljittelevällä lannoitusyhdistelmällä tuomaskuona, kaliumbi-



Kuva 5. Pyhäkosken kokeilualueella sijaitsevan vuonna 1946 perustetun lannoituskokeen 14 c kokonaistuotos.

karbonaatti, magnesiumsulfaatti ja hivenseos on saatu nopea ja pitkäaikainen lannoitusvaikutus.

Puustoissa, jotka ovat saaneet edellä mainitut lannoitteet, ympäristön vaikutus pituuskasvuun ei ole ollut niin jyrkkä kuin esimerkiksi NPK-lannoitetuissa puissa. PK ja PK + kalisuola lannoitusten isojen kerta-annosten vaikutus männyn pituuskasvuun on tässä kokeessa selvästi lyhytaikaisempi kuin NPK-lannoitus, joka annetaan pieninä annoksina kolmen vuoden välein (kuva 6).



Kuva 6. Pyhäkosken kokeilualueella sijaitsevan tuhkalannoitusta jäljittelevän kokeen keskimääräiset pituuskasvut vuosina 1969 - 1980.

(Tuhka —; NPK...; Tuomaskuona + hiv. - · -; PK ---; PK + Ks - · · -)

3. ESITELMÄT

Kimmo Paarlahti

31. TUHKAN TUOTANTO JA OMINAISUUDET

Maassamme käytössä olevia polttoaineita ovat lähinnä hiili, öljy, sulfiittijäteliemi, puu, kuori ja turve, joiden poltossa syntyvän tuhkan hyödyntämismahdollisuuksia on viime aikoina ruvettu eri tahoilla aktiivisesti tutkimaan. Näistä erityisesti puun ja kuoren ja myös turpeen tuhka on käyttökelpoista maanparannusaineena. Maamme massa- ja paperiteollisuuden sekä sahateollisuuden lämpöenergian tuottamiseksi polttamasta lähinnä puun kuoresta syntyvä tuhkamäärä on nykyisellään noin 50 000 - 60 000 tonnia vuodessa. Valtaosa tästä tuhkamäärästä syntyy suhteellisen harvalukuisissa suurissa lämpöenergialaitoksissa, joilla on selvää alueellista keskittymistä. Näiden lisäksi on ympäri maata varsin runsaslukuinen joukko pienempiä erilaisia lämpöenergialaitoksia lähinnä sahojen yhteydessä sekä lämpökeskuksina. Turpeen tuhkaa syntyy nykyisellään ehkä noin kymmenesosa edellä mainitusta määrästä, mutta sekä puun että turpeen käyttö polttoaineena on voimakkaasti lisääntymässä ja näin ollen myös syntyvät tuhkamäärät niin, että mikäli kotimaisten polttoaineiden käyttötavoitteisiin päästään, saattaa vuosittain syntyvän tuhkan määrä nousta aina 200 000 tonniin.

Seuraavassa asetelmassa on esitetty puun kuoren ja polttoturpeen tuhkan alkuainepitoisuuksia (Marjatta Pitkänen 1975).

	Kuoren tuhka	Turpeen tuhka
	kg/t, kuivaa tuhkaa	
P	10 (6...16)	10 (1...35)
K	30 (11...40)	3 (0,5...21)
Ca	270 (110...500)	35 (28...125)
Mg	30 (10...56)	7 (4...20)
S	20 (4...(190))	8 (1...19)
Mn	15 (4...24)	2 (0,5...3)
Fe	15 (11...36)	30 (14...(320))
Zn	3 (0,1...6)	
	g/t, kuivaa tuhkaa	
Cu	210 (95...300)	75 (9...100)
B	250 (100...580)	7 (3...40)
Co	(12...53)	(4...6)
Mo	(7...160)	(4...14)

Luvuista voidaan päätellä, että mikäli tuhkalannoituksessa pyritään esimerkiksi fosforin osalta nykyisen lannoitus-suosituksen mukaiseen annostukseen l. noin 45...50 kg P/ha tulisi tuhkaa antaa noin 5 000 kg/ha. Samoin osoittavat luvut, että alkuainepitoisuuksien vaihtelurajat ovat varsin väljät, joten käytettävästä tuhkasta tulisi tehdä ravinnepitoisuusanalyysi oikeaan annostukseen pääsemiseksi.

Erityisesti arinatuhka on koostumukseltaan varsin heterogeenista, minkä merkityksen selvittämiseksi tehtiin eräästä tuhkanäytteestä analyysi sen eri fraktioiden ravinnepitoisuudesta käyttäen liuottimina ammoniumasetaattia ja suolahappoa. Tulokset on esitetty oheisessa asetelmassa.

	P	K	Ca	Mg	Liukenem. jäännös
Liuotin		NH ₄ -asettaatti, pH 4,65			
Seulos	0,48	3,79	24,22	1,82	-
Murske	0,52	0,50	17,37	1,23	-
Karkea	0,22	0,35	7,00	0,50	-
Liuotin		Suolahappo			
Seulos	1,28	5,21	26,55	2,08	25,2
Murske	1,31	1,55	28,45	2,38	37,6
Karkea	0,60	1,72	15,02	1,14	65,4

Koska kyseessä on vain yhden näytteen suuntaa-antava analyysi, ei luvuista voida tehdä mitään yleispäteviä johtopäätöksiä. Erilaisten liuottimien käytön aiheuttama ero näkyy varsin selvänä lukuun ottamatta ehkä seuloksesta saatuja kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin pitoisuuksia. Verrattaessa karkeasta fraktiosta ja siitä tehdystä murskeesta saatuja pitoisuuksia, nähdään raekoon varsin huomattava merkitys lukuun ottamatta kaliumia. Edelleen näkyy selvästi, että seuloksessa 1. tuhkan hienoimmassa fraktiossa on kaliumia runsaammin kuin karkeassa fraktiossa.

Nykyisellä tuhkamäärällä olisi teoriassa mahdollista lannoittaa vuosittain yli 10 000 ha, mutta sekä tuhkan talteenotossa että levitystekniikassa on vielä ratkaisemattomia ongelmia, mikä lienee pääsyyntä siihen, että käytännössä tuhkan käyttö on vielä varsin vähäistä. Kuitenkin olisi erityisesti kokopuukorjuuta käytettäessä mitä tärkeintä palauttaa tuhkan sisältämät ravinteet takaisin perustuotantoon, jolloin voitaisiin entistä paremmalla syyllä puhua uusiutuvan luonnonvaran käyttöketjusta.

Marjut Karsisto ja Riikka Leppänen

32. TUHKALANNOITUKSEN VAIKUTUS MAAPERÄN MIKROBISTOON

Turpeen orgaanista ainesta hajoittavien mikrobien toimintaa lannoittamattomilla soilla haittaavat samat tekijät kuin puiden kasvua - turpeen happamuus ja ravinteiden niukkuus. Lannoituksella parannetaan myös mikrobiston elinmahdollisuuksia, jolloin turpeeseen sitoutuneet ravinteet palautuvat kiertoon.

Tässä esitetyt tulokset Muhoksen ja Tohmajärven vanhojen tuhkalannoitusalojen mikrobiologiasta ovat peräisin Marjut Karsiston viime vuosina suorittamista tutkimuksista. (Muhoksen tulokset ovat julkaisemattomia ennakkotuloksia, joita ei ole tilastollisesti käsitelty.)

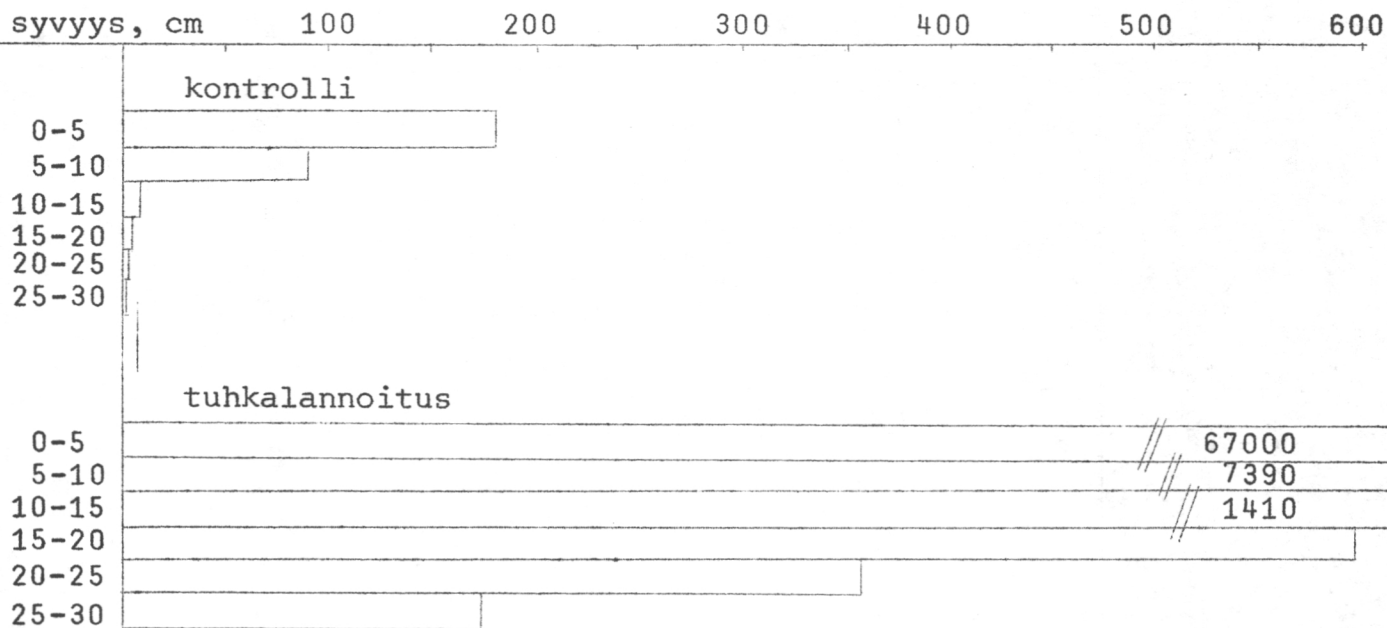
Mikrobiologiset analyysit Muhoksella on tehty 30 vuotta lannoituksen jälkeen. Tohmajärvellä lannoituksesta on kulunut 40 vuotta. Molemmille koealoille on istutettu mäntyä.

Puuston vuotuinen kasvu ja lannoitukseen käytetty tuhka määrä koealoilla on ollut seuraava:

Paikkakunta	Tuhkan määrä kg/ha	Puuston keskim. vuot. kasvu m ³ /ha/v
Tohmajärvi	0	<1
	10 000	>7
Muhos	0	0,3
	8 000	15,3
	16 000	18,8

Puuston kasvu lannoituksen jälkeen osoittaa, että tuhkalannoitus on ratkaisevasti parantanut turpeen ominaisuuksia kasvualustana.

Osan tuhkalannoituksella annetusta ravinnelisäyksestä kasvit käyttävät suoraan hyväkseen, osa kuluu vilkastuneeseen mikrobitoimintaan. Muhoksella lannoitus on lisännyt turpeen kokonaisbakteerimääriä pintakerroksessa jopa 300-kertaisiksi kontrolliruutuihin verrattuna. Lannoitusvaikutus ulottuu ainakin 25 - 30 cm:n syvyyteen; bakteereja on tuhkalannoitusruudulla tällä syvyydellä yhtä paljon kuin lannoittamattoman ruudun pintakerroksessa (kuva 1).



Kuva 1. Bakteerien kokonaismäärä (/1 g kuivaa turvetta) $\times 10^4$ turpeen eri syvyyskerroksissa. Muhos 25.8.1976.

Aktivoituneen mikrobitoiminnan tulokset näkyvät erityisen selvästi turpeen typpiyhdisteiden mobilisoitumisena. Tuhka ei sisällä lainkaan typpeä, joten puut ovat saaneet tarvitsemansa typen turpeesta (turve yleensä sisältää runsaasti typpeä, mutta se on kasveille käyttökelvottomassa organisessa muodossa).

Kemialliset analyysit Muhokselta osoittavat, että tuhkaruudun totaalityppiprosentti on pintakerroksessa vain puolet kontrolliruudun arvosta. Vastaavasti tuhkaruudulla ammonifioivien (hajottavat orgaanisia typpiyhdisteitä ammoniakiksi) ja proteolyyttisten (hajottavat valkuaisaineita ammoniakiksi) bakteerien määrät ovat 3-6-kertaisia lannoittamattomaan ruutuun verrattuna.

Muhoksella on tehty vuonna 1976 jatkolannoitus. Tällöin osalle tuhkaruuduista levitettiin ureaa 200 kg/ha. Urealannoituksen jälkeen proteolyyttisten bakteerien määrä lisääntyi lähes 50-kertaiseksi kontrolliruutuun verrattuna. Toisaalta on todettu, että urealannoituksella saatava puuston kasvureaktio on ainakin ensimmäisinä vuosina huonompi kuin muilla typpilannoitteilla. Vaikuttaa siltä, että ureatyyppi sitoutuu niin tehokkaasti mikrobistoon, että kasvit hyötyvät siitä vasta "toisella kierroksella" mikrobisolujen kuoltua; tällöin typpi taas vapautuu kasvien käyttöön. Tästä syystä tuhka + urea -lannoitus on paikallaan, mikäli on tarpeen lisätä totaalityypen määrää turpeessa. Typpirikkailla turvemaileda riittää pelkkä tuhkalannoitus; aktivoitunut mikrobisto huolehtii orgaanisen typpivaraston mineralisoitumisesta kasvien käyttöön.

Tohmajärvellä on tutkittu mikrobiston hajotusaktiiviteettia upottamalla maahan punnittuja selluloosanpalasia, joiden painon väheneminen on määritetty tietyn maassaoloajan kuluttua. Kuvassa 2 on tuloksia tästä kokeesta.

Ensimmäiset selluloosaliuskat nostettiin maasta kolmen kuukauden kuluttua. Lannoittamattomalla ruudulla selluloosan hajotus on merkitsevää vain 0 - 5 cm pintakerroksessa ja tätä syvemmissä kerroksissa erittäin vähäistä. Tuhkalannoitusruudulla sitävästoin selluloosan hajotusta on tapahtunut kaikissa tutkituissa syvyyskerroksissa aina 50 cm:n syvyyteen saakka: selluloosan hajotus jopa 40 - 50 cm:n syvyydessä on ollut nopeampaa kuin lannoittamattoman ruudun 5 - 10 cm:n kerroksessa.

Tohmajärvi

Lannoittamaton
Unfertilized

Tuhkalannoitus
Ash fertilization

Selluloosan hajoamisprosentit - Cellulose decomposition percentages



Kuva 2. Selluloosan hajoamisprosentit turpeen eri syvyyskerroksissa Tohmajärvellä 12.7. - 25.10.1977.

Voidaan siis todeta, että tuhkalannoituksella on pitkäaikainen aktivoiva vaikutus maaperän mikrobitöimintaan; vielä 30 - 40 vuoden kuluttua lannoituksesta mikrobitöiminta on selvästi vilkkaampaa tuhkalannoitusaloilla kuin lannoittamattomilla.

Eero Paavilainen

33. TULOKSIA VANHOISTA TUHKALANNOITUSKOKEISTA

Viime vuosien aikana on Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston toimesta perustettu runsaasti kokeita, joilla pyritään selvittämään tuhkan käyttöä metsänlannoitteena ja maanparannusaineena. Suuri osa näistä uusista kokeista perustetaan saman tutkimussuunnitelman mukaan. Kokeissa selvitetään paitsi erisuuruisten tuhkamäärien vaikutusta myös tuhkan merkitystä hivenlannoitteena yhdessä Suometsien PK-lannoksen kanssa käytettynä. Koeruutujen turpeen typpipitoisuus sekä neulasten typpi-, fosfori-, kalium-, boori- ja kuparipitoisuus analysoidaan ennen lannoitusta. Kokeessa käytettävästä tuhkasta analysoidaan fosfori, kalium, kalsium, boori, kupari, kosteus sekä kiintoaine.

Samalla kun uusia kokeita perustetaan mahdollisimman laajassa mitassa pyritään analysoimaan eri puolille maata perustettuja vanhoja tuhkalannoituskokeita. Vanhimmat niistä on perustettu vuonna 1937 Vilppulan Jaakkoinsuolle ja Kaakko-suolle. Vuonna 1977 mitattiin yhteensä 107 tuhkalannoituskoealaa ja vuonna 1979 vanhimmat Vilppulassa sijaitsevat kokeet sekä eräitä kokeita Juupajoella ja Kurussa.

Taulukossa 1 on esitetty vuoden 1977 mittausten perusteella tietoja kahdeltakymmeneltä koealalta, joiden puusto on kasvanut parhaiten tuhkalannoituksen jälkeen. Useimmat niistä sijaitsevat suursaraisilla ja sitä paremmilla eli alunperin typpirikkailla suotyypeillä. Myöskään suotyypiltään isovarpuista rämettä olleiden koealojen turve ei ole maa-analyysien perusteella arvosteltuna typpiköyhää.

Taulukko 1. 20 keskimääräisen kasvun mukaan parasta tuhkalannoituskoelaa. Suotyyppimääritteet: Ri = rimpinen, K = kalvakka-, Ps = piensarainen, SS= suursarainen, T = tupasvillainen / isovarpuinen.

No	Paikkakunta ja koeala	Suotyyppi	Sarkalev. m	Tuhkamäärä kg/ha	Lann. hetken k-m ³ /ha	Lann. jälk. kok. tuotto k-m ³ /ha	Kasvukausia lannoituksesta	Lann. jälk. keskim. kasvu k-m ³ /ha/v
1	Vilppula VI 10	RiSSN	40	7000	0	269,4	34	7,92
2	Tohmajärvi 13 F	TN	50	10000	0	280,0	37	7,57
3	Yläne 5A	SSN	60	5000	2,00	163,7	24	6,52
4	Parkano 18	PsKN	20	5000	6,00	140,0	23	6,09
5	Vilppula XIII 1	TR	20	5000	15,00	202,6	34	5,98
6	Vilppula XIII 2	TR	20	10000	15,00	202,3	34	5,95
7	Muhos 21 C	TKN	60	16000	4,00	127,7	23	5,55
8	Vilppula XII 2	TR	19	5000	15,00	192,5	35	5,50
9	Tuusula 32	TR	46	5000	25,00	147,7	27	5,45
10	Parkano 19	PsKN	40	5000	5,00	115,5	23	5,00
11	Alajärvi 4	RiSSN	35	7000	7,00	128,0	26	4,92
12	Alajärvi 1	RiSSN	35	5000	8,00	127,0	26	4,88
13	Alajärvi 3	RiSSN	35	5000	5,00	125,0	26	4,81
14	Kuru 1	TKN	40	7000	5,00	120,0	26	4,62
15	Muhos 21 b	RiTn	60	8000	4,00	104,1	23	4,53
16	Alajärvi 5	RiSSN	35	9000	5,00	115,0	26	4,42
17	Parkano 20	PsKN	50	7000	5,00	105,0	24	4,38
18	Muhos 14 C	TKN	50	3000	1,00	105,0	24	4,38
19	Alajärvi 2	RiSSN	35	3000	5,00	110,0	26	4,23
20	Parkano 21	PsKN	50	7000	5,00	105,0	25	4,20

Vanhimpien vuonna 1937 männikköön perustettujen tuhkalannoituskokeiden mukaan 5 000 kg:n suuruinen tuhkaerä on vaikuttanut kasvua parantavasti 40 vuoden ajan eikä selvää taantumista ole vieläkään havaittavissa. Jaakkoin suon koealoilla tuhkalannoituksella saavutettu puuntuotoksen lisäys 40 vuoden aikana nähdään seuraavasta jaotelmasta.

Koe- sarja	Puun- tuhkaa kg/ha	Kasvunlisäys v. 1937-77		Kasvu (kuorellinen) v. 1977 m ³ /ha/v
		kaikkiaan k-m ³ /ha	kuorineen k-m ³ /ha/v	
XII	5 000	125	3,13	9,2
XIII	5 000	133	3,33	10,4
XIII	10 000	128	3,20	9,6

On merkille pantavaa, että tuhkamäärän kaksinkertaistaminen 5 000 kg:sta 10 000 kg:aan ei ole lisännyt kasvua, vaikka lannoituksen vaikutus ilmenee vielä selvästi turpeen fosfori-, kalium- ja kalsiumpitoisuuksissa. On mahdollista, että runsaita tuhkamääriä käytettäessä käyttökelpoisen typen määrä muiden ravinteiden tasoon verrattuna muodostuu kasvua rajoittavaksi tekijäksi.

Vuonna 1948 tuhkalannoituksen (2 000 - 6 000 kg/ha) saaneella Viheriäisennevalla on puuston kasvu parantunut 31 vuoden aikana keskimäärin vain 0,77 k-m³/ha (kuorineen) vuodessa. Kuutiomäärän keskiarvo lannoitetuilla koealoilla oli 39 k-m³/ha. Kasvupaikka oli tässä tapauksessa alunperin typpiköyhä lyhytkortinen neva, jonka ojitus oli puutteellinen. Myös Jaakkoin-suolle v. 1949 perustetussa tuhkalannoituskokeessa XX:D on lannoituksesta johtuva kasvunlisäys jäänyt nähtävästi heikokosta ojituksesta johtuen vähäiseksi.

Vanhojen kokeiden antamien tulosten perusteella voidaankin typpilannoitusta suositella luontaisesti typpirikaille ja tehokkaasti ojitetuille soille. Ojituksen ollessa puutteellinen ja turpeen typpipitoisuuden alhainen ei tuhkalannoituksen voida olettaa antavan suuria kasvunlisäyksiä. Ongelma-alueita ovat eräät lettosuot, joilla tuhkalannoituksen vaikutus on maan runsaista typpivaroista huolimatta vähäinen.

Vuonna 1937 Jaakkoin-suolle perustetulla koivikon tuhkalannoituskokeella on lannoituksen vaikutus tällä hetkellä

selvästi loppunut. 1970-luvun alussa oli jo havaittavissa puuston kasvun taantuminen. Parin viime vuoden aikana on osa puista kuollut pystyyn. Tämän ilmiön syitä selvitellään parhaillaan. Suurta ravinteiden puutetta eivät maa-analyysit ole paljastaneet. Neulas-analyysien perusteella näyttäisi tuhkalannoitusruudulla olevan puutetta kaliumista.

Tuhkan hivenravinteilla on vanhojen kokeiden antamien tulosten mukaan merkittävä vaikutus puuston kasvun kannalta, kuten myöhemmin esitetään. Eräät jatkolannoituskokeiden tulokset viittaavat siihen, että hivenlannoitus vaikuttaa varsin nopeasti ravinteiden kiertoön, mm. karikkeiden ravinnepitoisuuteen.

Antti Reinikainen

34. TUHKALANNOITUKSEN EKOLOGIAA

Metsänlannoitus on ekosysteemin lannoitusta. Annetut ravinteet joutuvat koko eliöyhteisön ulottuville, ja puut voivat saada niistä käyttöönsä vain kilpailukykyensä edellyttämän osan. Ravinteita ei heti poisteta sadon mukana, vaan ne voivat jäädä ekosysteemin luontaiseen kiertoon. Tavoiteltu ekonomisen tuloksen, lannoituksella aikaansaattava runkopuun kasvunlisäys, riippuu metsissä huomattavasti enemmän erilaisista epäsuorista vaikutuksista kuin peltojen lannoituksessa. Hyvästä metsänlannoituksesta mahdollisimman vähän karkaa puiden ulottumattomiin (huuhtoutuminen, haihtuminen, kasvillisuuden käyttö) ja tehoisan osan vaikutus jakaantuu puiden ravinnetarvetta vastaavasti ja kasvurytmin mukaisesti. Hyvältä metsänlannoitteilta odotetaan myös lahjana tulevia sekundaarivaikutuksia, erityisesti kasvualustan luontaisten ravinnevarojen mobilisointia ja pysyviä ns. perusparannusvaikutuksia.

Lannoitus on merkittävä ekologinen prosessi myös laajemman mittakaavan luonnontaloudessa. Onhan useimmiten kyse elottomasta luonnosta (ilmakehästä, kallioperästä) peräisin olevien aineiden saattamisesta biologiseen kiertoon. Tähän tarvitaan avuksi suuria energia- ja ainepanoksia (valmistus, kuljetus, levitys). Tästä huolimatta on peltojen lannoituksessa miltei luovuttu lannoiteravinteiden uudelleenkäytöstä. Metsässä huomattava osa ravinteiden palautumisesta tapahtuu luonnostaan hakkuutähteiden jäädessä kasvupaikalle. Viljelmältä poistuvat ravinteet merkitsevät joka tapauksessa yhtäältä hukkaan joutuvia luonnonvaroja ja toisaalta jätettä, joka on voitava haitattomasti hoitaa.

Ilmeiset erot peltojen ja metsien lannoituksen välillä on tietenkin pyritty ottamaan huomioon metsissä käytettäviä lannoittelajeja kehitettäessä. Metsänlannoituksen kokeiluvaiheessa jouduttiin turvautumaan peltolannoitteisiin. Ne antoivat hyviä kasvureaktioita myös metsissä, joten oli luonnollista, että metsänlannoitteiden valmistuksen kemiallisena pohjana ovat edelleen peltolannoitteet ja niiden raaka-aineet. Varsinkin nykyisin myös metsien lannoitustarvetta tarkastellaan enimmälti olemassa olevien lannoittelajien pohjalta ja kehitys kohti metsällisempiä lannoitteita on eräällä tavalla pysähtynyt. On varmaa, että esim. suometsät tarvitsevat P- ja K-lannoitusta määrinä, jotka osataan kauppalannoitteissa niille oikein antaa. Voitaisiinko ravinteet jossakin tuiki toisessa lannoitteessa jakaa ekologisemmin, - mm. pienempinä määrinä, vähemmin tappioin ja häirtavaikutuksen sekä pidemmän vaikutusajan tuottavana - on kysymys, johon tässä tilaisuudessa pyritään vastaamaan yhden vaihtoehdon, tuhkan osalta. Keinolannoitteita ja tuhkaa vertailtaessa tarkoitetaan seuraavassa lähinnä sellaista biomassan tuhkaa, joka ravinnekoostumuksensa puolesta täyttää K. Paarlahden edellä esittämät metsänlannoitteen vaatimukset.

Tuhkan ja keinolannoitteiden biologisia vaikutuksia verrattaessa on huomio typpirikkailla ojitusaloilla kiintynyt seuraaviin seikkoihin: (1) tuhkan kasvua parantava vaikutus on usein tuntuvasti pitempi, jopa 30 - 40 v, (2) tuhkaruuduilla kasvu on useimmiten häiriötöntä eikä puutos-symptomeja näy, (3) pintakasvillisuus muuttuu tuhkaruuduilla pysyvämmiin ja ilmaisijalajien mukaan tapahtuu kasvupaikan 1 - 2 hyvyysluokan nousu, (4) turpeen maatumisasteen ojituksenjälkeinen muutos on tuhkaruuduilla nopeampi ja ulottuu selvästi syvemmälle kuin PK-NPK-ruuduilla. Kaikki em. näkyvät muutokset kielivät siitä, että tuhkalannoituksen seurauksena on tapahtunut muutakin kuin ravinnelisyksen joutuminen puuhun ja ohimenevä kasvun elpyminen. Edellä on jo kuultu tapahtumien biologisesta perustasta.

Parhaiden tuhkakokeiden, Vilppulan Kaakkosuo ja eilen nähdyt Pyhäkosken ruudut, tuloksista ei voi tulla muuhun päätelmään kuin että tuhkan avulla on puille saatu ravinteita käyttöön paremmin kuin keinolannoitteilla. Missä määrin on kyse lannoiteravinteen paremmasta tehosta, kierron nopeutumisesta ja kasvupaikan luontaisten ravinnevarojen käyttöön tulosta ei ole tiedossa, mutta kaikilla em. tekijöillä lienee osuutta asiaan. Jo arviot annetuista ja käytetyistä ravinnemääristä tuhkakokeilla osoittavat, että ravinteiden kierron on täytynyt tehostua. Tuhkan vaikutus ekosysteemin kestävän talouden perustan parantajana tulee täten ilmi monella tavalla.

Jo Malmström ja Lukkala ovat lausuneet julki ajatuksia tuhkan moniravinteisuuden ja ravinneharmonian positiivisesta merkityksestä. Sen jälkeen kun pääravinnelannoituksen on todettu pienentävän neulasten hivenravinnepitoisuuksia ja ääritapauksissa aiheuttavan kasvuhäiriöitä, on uudelleen ruvettu jäljittämään tuhkan hivenlannoitusvaikutuksia ja mahdollisuuksia kasvuhäiriöiden torjunnassa. Vaikkeivät tulokset olekaan aivan yksiselitteisiä voidaan jo todeta, että huomattava osa tuhkan paremmuudesta keinolannoitteisiin nähden on selitettävissä hivenainepitoisuuden ja tasapainoisten ravinnesuhteiden avulla. Lannoitusvirheen tekeminen näyttää tuhkalla olevan vaikeampaa kuin keinolannoitteilla.

Voitaisiinko tuhkaa käyttämällä vähentää lannoituksen ympäristöhaittaa, ravinteiden vesiin huuhtoutumista, on toistaiseksi epäselvää. Näyttää kuitenkin siltä, että lannoiteravinteiden tehokkaampi hyötysuhde voisi merkitä myös huuhtoutumistappioiden pienenemistä.

Tuhkalannoitus metsissä on mitä luonnollisin tapa palauttaa mm. sadonkorjuussa poistetut ravinteet takaisin kiertoon. Kun tekniset vaikeudet talteenotossa, kuljetuksessa ja levityksessä kuitenkin ovat suuret, on kysyttävä mitä

voidaan tuhkaa käyttämällä kokonaisekologisesti ja -ekonomisesti voittaa. Vielä on selvittämättä, miten lannoitteen valmistuspäässä saadut säästöt pystyisivät korvaamaan käyttöpään lisäkustannuksia. Kokonaishyötyihin olisi voitava lisäksi laskea mm. tuhkan käytön merkitys teollisuuden ja asutuskeskusten jäteongelmien ratkaisuna ja lannoitteiden valmistus- ja tuontitarpeen vähentäjänä.

Heikki Veijalainen

35. TUHKA KASVUHÄIRIÖN TORJUNNASSA

Puiden kasvuhäiriön on oletettu aiheutuvan paitsi hivenravinteiden puutteesta, myös ravinnetalouden tasapainottomuudesta. Jo kasvuhäiriötutkimuksen alkuvaiheessa prof. Olavi Huikari suositteli puun tuhkaa kasvuhäiriön torjuntaan ilmeisesti suoritettujen kemiallisten analyysien perusteella ja toisaalta perustamiinsa vanhoihin tuhkakokeisiin tukeutuen. Kasvuhäiriöitä ei yleensä ole todettu tuhkalannoitetuilla alueilla, vaikka viereisillä alueilla niitä esiintyy. Tämän on osoittanut myös Pekka Pietiläinen kasvualustan pH:ta käsittelevässä tutkimuksessaan.

Sittemmin on kyllä löytynyt vanhoja tuhkakoealoja, joissa joko koivun (Vilppula, Kaakkosuo) tai alikasvos (Yläne, Leijansuo) latvat ovat tuhkalannoituksesta huolimatta kuolleet. Myös männyllä on todettu vähäisiä häiriöitä tuhkasta huolimatta. Selityksenä tähän on pidetty tuhkalannoituksen vaikutuksen loppumista 30 - 40 vuotta kokeen perustamisen jälkeen. Jatkokokeita asian todistamiseksi on suunnitteilla; neulasanalyysi osoittaa lähinnä fosforin ja kalin loppuneen.

Varsinaisilla kasvuhäiriöalueilla tuhkakokeita on perustettu jokseenkin niukasti 1970-luvun lopulla. Tärkein niistä sijaitsee Pyhännällä, Iso-Lamujärven rannalla, missä kasvuhäiriö raivosi miehenmittaisessa istutusmännikössä entisellä suopellolla. Kasvuhäiriön ränsistämään taimikkoon oli iskenyt monia sienitauteja, joiden voitiin todeta hävinneen lähes kokonaan vuosi tuhkalannoituksen jälkeen, jolloin myös neulasten värissä ja koossa oli havaittavissa selvät positiiviset muutokset.

Elpyminen kasvuhäiriöstä oli alkanut. Koe mitattiin kesällä 1980, jolloin saatiin seuraavat tulokset:

Tuhkaa kg/ha	Pituuskasvu v. 1980, cm	Kasvuhäiriö-% v. 1978	Niistä parantuneita, % v. 1980
0	28,0	42,9	30,8
1 000	36,0	29,9	56,5
2 000	30,5	41,7	66,7
5 000	39,0	37,5	74,4
10 000	37,5	48,9	75,9
20 000	45,0	25,0	84,8

Tuloksista voidaan todeta, että jo kolmen kasvukauden jälkeen pituuskasvu on elpynyt täysin tyydyttäviin mittoihin jo 1 000:n kilon hehtaariannoksella. Lisäksi elpyneiden puiden osuus lisääntyy suurennettaessa tuhkaannosta. 0-ruuduilla ja kokeen laitamilla edelleen yleiset sienitaudit ovat hävinneet lähes kokonaan eniten tuhkaa saaneilta ruuduilta. Tuloksen saamiseksi on mitattu lähes 4 000 männyn tainta, jotka nyt ovat 3,5 - 4-metrisiä. Kokeessa käytetty tuhka ei ollut parasta mahdollista. Tässä käytetty 10 000 kilon taso vastaa n. 2 000 kiloa parasta kuorituhkaa, kun vertailu suoritetaan fosforipitoisuuksien perusteella.

Eräissä tapauksissa tuhkalannoituksen kasvuhäiriöpuustoa elvyttävä vaikutus on jäänyt epävarmaksi, kuten kävi Kivisuolla (Leivonmäki). Täällä tuhkalannoitus sattui ajankohtaan, jolloin myös viereisillä kontrolliruuduilla ja koko suolla tapahtui voimakasta elpymistä. Tällaisilla alueilla joudutaan odottamaan uutta kasvuhäiriöjaksoa, jotta eroja voitaisiin mitata. Tätä itsestään elpymistä on havaittu joillakin muillakin kokeilla, ja se tekeekin

kasvuhäiriöstä erittäin vaikean tutkimuskohteen, vaikka käytännön metsätalouden kannalta tällaiset itsestään elpymiset ovat pelkästään hyvä asia. Tänä päivänä ei vielä olla varmoja siitä, mikä tuhkan ominaisuus aiheuttaa puustossa yleisesti havaitut positiiviset reaktiot. Mahdollisia selityksiä on ainakin seuraavat neljä:

- 1) Tuhka on sopiva fosforin ja kalin lähde
- 2) Tuhkan sisältämät kalsium ja magnesium parantavat PK-vaikutusta ja neutraloivat kasvualustan pintaosat
- 3) Tuhkan lukuisat hivenravinteet ovat kemiallisesti sellaisessa muodossa, että ne estävät tehokkaasti hivenravinnepuutteet
- 4) Tuhka on kaikkien puuston tarvitsemien ravinteiden yhdistelmä; vain typpi puuttuu, mutta sitä on turpeessa ja tuhka näyttää elvyttävän sen mobilisoitumista

Lopuksi vielä esimerkki kuorituhkan vaikutuksesta pienten männyntaimien tuhkan sietoon kasvuhäiriöalueen turpeella: Kasvihuoneessa suoritetussa kokeessa todettiin jo 500 kg/ha vastaavan tuhkamäärän olevan riittävä (ks. kuva 3). Tosi-asiassa tässä kokeessa saatiin osoitetuksi, että optimi kuorituhkamäärä pienille männyntaimille esim. taimitarhaolosuhteissa on jossakin 0:n ja 1 000 kg:n välillä.

Näillä toistaiseksi varsin vaatimattomilla tuloksilla ei voida olla varmoja tuhkalannoituksen kaikkiparantavasta vaikutuksesta kasvuhäiriöalueilla, mutta jo aiemmin tehtyä suositustakaan tulokset eivät kaataneet. Täten aina, kun vain on mahdollista, kannattaa tuhkaan turvautua heti kasvuhäiriön ensimmäisten oireiden ilmaantuessa.

Pentti Hakkila

36. TUHKAN PALAUTTAMISEN TEKNIikka

PERA-projektin osatutkimus

Taustaa

Maamme energiapoliittinen ohjelma tähtää energian kotimaisuusasteen nostamiseen nykyisestä 29 %:sta vuoteen 1990 mennessä 34 - 40 %:iin. Tämän saavuttamiseksi puuperäisten polttoaineitten käyttö pyritään kohottamaan nykyiseltä 4 milj. öljytonnin tasolta 5 - 6 milj. tonniin vuodessa. Turpeen käyttö nostetaan vastaavasti 0,4 milj. öljytonnista 2 - 3 milj. öljytonniin vuodessa. Pitkällä tähtäyksellä sekä puun että turpeen polttoainekäyttöä on mahdollista lisätä enemmänkin.

Puun polttoainekäytön kasvu perustuu tällä vuosikymmenellä paljolta pienpuun ja hakkuutähteitten talteenoton tehostamiseen. Korjuun kohteiksi tulevat varsinaisen rungon ohella myös oksat, joihin huomattava osa puun ravinnevaroista keskittyy. Puun energiakäytön laajeneminen ja hakemenetelmään perustuva tehostuva talteenotto saattavat niin ollen lisätä metsämaan ravinnevaroihin kohdistuvaa painetta.

Metsäntutkimuslaitoksen PERA-projektin A-osassa, jonka tavoitteena on olemassa olevien polttopuureserviemme hyödyntäminen, kehitetään koneita ja menetelmiä pien- ja jätepuun korjuun tuottavuuden kohottamiseksi, kustannustason alentamiseksi, talteenoton tehostamiseksi sekä puun polttoaineominaisuuksien parantamiseksi. Samalla kiinnitetään huomiota siihen, että toiminnan tulee olla ekologisesti terveellä pohjalla. Viimeksi mainittuun päämäärään tähtäävät muun muassa seuraavat ohjelmakohdat:

- Viheraineen ravistaminen pienkokopuusta ja hakkuutähteistä kasvupaikalle kuivattamisen tietä
- Viheraineen erottaminen ja levittäminen metsämaahan palstahakkuriin rakennettavilla lisälaitteilla
- Poltossa syntyvän tuhkan palauttaminen luonnon kiertokulkuun

Tuhkan palauttaminen työtehtävänä

Kotimaisista polttoaineista syntyvän tuhkan määrästä ei ole saatavilla tyydyttäviä tietoja. Olettaen puhtaan tuhkan osuudeksi kuorellisella polttopuulla 0,8 %, puun kuorella 4 % ja turpeella 5 % kuiva-aineesta saadaan seuraava karkea arvio tämän vuosikymmenen lopulla vuosittain syntyvistä puun ja turpeen puhtaan tuhkan määristä.

	Poltetaan		Tuhkaa t/a
	milj. m ³ /a	milj. t/a	
Kuorellinen polttopuu	12,0	5,0	40 000
Kuori	4,0	1,6	64 000
Turve (i-m ³)	20,0	4,0	200 000
Yhteensä		10,6	304 000

Kun tuhkassa on aina lisäksi epäpuhtauksina toisaalta polttoaineen mukaan joutunutta hiekkaa ja muuta palamatonta epäorgaanista ainetta sekä toisaalta epätäydellisen palamisen seurauksena hiiltä, tuhka-jätteen määrä on vieläkin suurempi.

Osa varsinaisen polttopuun tuhkasta syntyy maatiloilla ja muissa yksityistalouksissa niin pieninä määrinä, että sen levittäminen takaisin luontoon ei aiheuta teknisiä ongelmia. Pääosa kuoren ja turpeen tuhkasta sekä kasvava osa kuorellisen polttopuun tuhkasta syntyy kuitenkin suurilla ja keskisuurilla polttolaitoksilla, joilta se palautustekniikan puuttuessa viedään nykyisin kaatopaikoille. Voidaan arvioida, että koneistettua palautustekniikkaa vaativaa tuhkaa syntyy vuonna 1980 ehkä 80 000 tonnia ja vuosikymmenen lopulla jo 250 000 tonnia.

Kun verrataan tarjolla olevia tuhkamääriä metsien nykyiseen lannoitukseen, saadaan kuva sen kuljettamisesta ja levittämisestä muodostuvan työtehtävän suuruudesta. Olettaen vuotuiseksi metsänlannoitusosalaksi 100 000 ha ja levitysmääräksi keskimäärin 450 kg/ha päädytään 45 000 lannoitetonniin vuodessa. Tuhkan kuljettaminen ja levittäminen olisi jo nykyisin työtehtävänä mittavampi. Toisaalta taas kuitenkin maatalous käyttää yli 1 milj. t/v.

Mikäli levitysyksikön kapasiteetti olisi esimerkiksi 5 tonnia päivässä, se kykenisi ympäri vuoden työskennellessään levittämään noin 1 000 tonnia tuhkaa. Tarjolla oleva tuhka riittäisi jo lähivuosina työllistämään arviolta 100 tällaista yksikköä. Koneita, joitten teho on 20 tonnia päivässä, olisi vastaavasti mahdollista työllistää 25 kappaletta. Vientimahdollisuudet huomioon ottaen määrä lienee riittävä myös koneenrakentajien kannalta.

Palauttamistekniikkaan vaikuttavia näkökohtia

Keinolannoitteisiin verrattuna tuhkaa levitetään hehtaaria kohti suuria määriä, esimerkiksi 5 t/ha. Vuosittain syntyvä tuhkamäärä riittäisi näin ollen ehkä 20 000 ha:lle.

Ei liene erityistä syytä pyrkiä palauttamaan tuhkan ravinteita tarkalleen lähtöpaikalleen. Tärkeintä on, että tuhka palaa luonnon kiertoon metsään, pellolle tai puutarhaan. Edullisin vaikutus tuhkalla on turvemaalla, mikä asettaa ympärivuotiselle levitykselle erityisiä vaatimuksia, sillä lentolevitys näyttää tuhkalle liian kalliilta. Lentolevitys näet on edullista silloin, kun kysymyksessä ovat laajat pinta-alat mutta pienet määrät hehtaaria kohti. Tuhkallahan tilanne on päinvastainen, kun levitetään suuria määriä pienelle alalle.

Alkuvaiheessa on tyydyttävä siihen, että tuhkaa levitetään paitsi pelloille ja suometsiin myös kangasmetsiin. Vain siten on mahdollista saattaa toiminta kelirikkoajoista lähes riippumattomaksi.

Koska tuhkaa tuotetaan useissa kymmenissä polttolaitoksissa maan eri osissa ja koska levitysala on oleellisesti pienempi kuin keinolannoitteilla, tuhkan kaukokuljetusmatkat voidaan rajoittaa verraten lyhyiksi. Ainakaan alkuvaiheessa ei liene pakottavaa tarvetta yli 50 - 60 km:n kuljetusmatkoihin, mikäli tuhkaa levitetään myös kangasmaille.

Tuhkan säkitys tuskin saa maksaa kiloa kohti yhtä paljon kuin keinolannoitteilla. Metsälevityksen osalta on joko käytettävä suursäkkejä tai luovuttava säkeistä kokonaan. Tämä puolestaan aiheuttaa vaikeuksia tuhkan välivarastoinnissa, jossa tuhkaa helposti hukkaantuu ja jossa tuhka saattaa myös kastua levityksen kannalta haitallisesti. Tuhkan siirtäminen välivarastolla levitysajoneuvoon lisää toiminnan kustannuksia.

Erään vaihtoehdon tuhkan palauttamiseksi muodostaa seuraava ratkaisu, jota paraikaa kehitellään PERA-projektin puitteissa. Työ on vasta suunnitteluvaiheessa, joten kuvaus menetelmästä on vain suuntaa-antava.

Kehitteillä oleva tuhkanpalauttamismenetelmä

Kustannusten säästämiseksi, pölyongelmien vähentämiseksi, varastohäviöitten supistamiseksi ja työn järjestelyn yksinkertaistamiseksi käsittelykertojen määrä palauttamisketjussa supistetaan mahdollisimman vähiin. Edullisin ratkaisu on tuolloin järjestelmä, jossa sama ajoneuvo suorittaa sekä kaukokuljetuksen että levityksen. Perusajoneuvoksi soveltuu Unimog-maastoauto, joka kykenee liikkumaan maantiellä 80 km:n tuntinopeudella ja selviytyy toisaalta verraten vaikeakulkuisessakin maastossa, kunhan maanpinnan kantavuus on tyydyttävä.

Ajoneuvo varustetaan irrotettavalla tuhkasäiliöllä, jonka kapasiteetti on 4 - 5 tonnia. Kun säiliö poistetaan paikaltaan, autoa voidaan käyttää normaaliin tapaan muuhun työhön. Säiliön kiinnityksen ja poiston tulee tapahtua mahdollisimman joutuisasti, niin että ajoneuvon käyttöä ei tarvitse rajoittaa yksinomaan tuhkan levitykseen. Tästä syystä ajoneuvo varustetaan Multilift koukkulaitteella lavojen vaihtamisen nopeuttamiseksi.

Säiliö voidaan täyttää polttolaitoksella tuhka-auton imurilla. Tämä edellyttää, että tuhka on kuivaa ja jäähtynyt. Täyttö voi tapahtua myös kuljettimella tai siilosta pudottamalla joko odottavaan ajoneuvoon tai vaihtosäiliöön, jolloin kuormausaika supistuu mahdollisimman lyhyeksi. Imuri lienee joustavin vaihtoehto erityisesti silloin, kun samaa ajoneuvoa käytetään tuhkan jakeluun usealta eri polttolaitokselta.

Tuhkan levitys tapahtuu vastikään harvennetun metsikön ajourilta käsin puhaltamalla. Metsään levitettäessä lienee eduksi, jos puhallus voi tapahtua samanaikaisesti kahteen suuntaan 15 - 20 m:n etäisyydelle ajouran kummallekin puolelle. Pellolla kaksipuolinen levitys tuskin tarjoaa merkittäviä etuja. Ajoneuvon suojaamiseksi tuhkapilveltä,

samoin kuin tuhkan pääsyn estämiseksi ojiin tai muihin tarpeettomiin paikkoihin, on tuhkasuihkun suuntausta voitava muuttaa ja rajoittaa se tarvittaessa yksipuoliseksi. Jos tuhka on rakeistettua, levitys voi haluttaessa tapahtua myös viskaamalla. Kuljettajan suojaamiseksi ajoneuvon hytiltä vaaditaan suurta tiiviyttä.

Tuhka-ajoneuvo varustetaan 2-säiliöisellä perävaunulla, joitten kummankin kapasiteetti on esimerkiksi 4 tonnia. Perävaunullisen ajoneuvon kokonaiskapasiteetti on tuhkan maantiekuljetuksessa niin ollen noin 12 tonnia. Perävaunu jätetään levitystyön ajaksi välivarastolle. Vetoauton tuhkäsäiliön tyhjennettyä se ottaa uuden kuorman välivarastolle jättämästään perävaunusta joko imurilla tai 4 tonnin säiliötä vaihtamalla Multilift vaihtolaitetta käyttäen.

Perävaunullinen tuhkanlevitysajoneuvo saattaa 40 - 50 km:n matkalla hyvinkin suoriutua 12 tonnin kuormasta 5 tunnissa (täyttö 1/2 h, maantieajot 2 h ja levitys 2 1/2 h). Kun ajouraverkosto on rakennettu 30 m:n välein, 12 tonnin kuormaa kohti tulee tuhkan hakua huomioon ottamatta varsinaista tehollista levitysajoa ainoastaan kilometrin verran.

Hahmoteltu yksikkö voi 10 h:n työpäivän aikana levittää 24 tonnia tuhkaa. Tämä merkitsisi erittäin kohtuullista kustannustasoa, sillä jo 10 pennin korvaus kiloa kohti tuotaisi ajoneuville 240 mk/h. Tällöin esimerkiksi 5 tonnin tuhkaerä merkitsisi 500 mk:n hehtaarikustannusta, jota niinkään voitaneen pitää kohtuullisena. Edullinen kustannustaso aiheutuu osittain siitä, että järjestelmä eliminoi kaikki koneitten siirrot ja varastokäsittelyn.

Esitetty tuhkan palauttamismenetelmä on kehitteillä työryhmässä, jossa ovat mukana Oy Algol Ab, Maa- ja Metsäkoneet Aalto & Halme Ky, Metsäntutkimuslaitos sekä Oy Veho Ab. Tälle pohjalle perustuva laitteisto pyritään rakentamaan PERA-projektin puitteissa vielä kuluvan vuoden aikana.

Tuhkan rakeistaminen

Siinä tapauksessa, että tuhkan levittäminen ei onnistu pölymäisenä tyydyttävällä tavalla, tuhka joudutaan rakeistamaan. Rakeistaminen saattaa tulla kysymykseen myös myytäessä säkitettyä tuhkaa pieninä erinä vähittäiskaupassa.

Metsäteknologian tutkimusosastolla on tehty PERA-projektin puitteissa tunnustelevia kokeita tuhkan rakeistamiseksi puristamalla. Tavoitteena on yksinkertainen menetelmä ja halpa siirrettävä laitteisto, joka soveltuu myös pienempien, vain muutamia kymmeniä tonneja tuhkaa vuodessa tuottavien laitosten käyttöön. Tässä suhteessa menetelmä poikkeaisi esimerkiksi Kemiran aikaisemmista kokeista kiinteillä rumpurakeistajilla, joitten taloudellisuuden edellytyksenä ovat suuret tuotantomäärät.

Alustavien kokeitten perusteella näyttää siltä, että vettä ja tiettyjä sideaineita käyttäen tuhkan pelletointi on mahdollista. Pelletointi merkitsee kuitenkin merkittävää lisäkustannusta sekä rakeistamisen osalta että kuljetuksessaakin silloin, kun rajoittavana tekijänä on kuorman paino. Jos kuorman koko sen sijaan määräytyy tilavuuden perusteella, pelletointi saattaa alentaa kuljetuskustannuksia.

Matti Aitolahti

37. TUHKAN JA MUIDEN MAANPARANNUSAINEIDEN KULJETUS JA LEVITYS

1. Kuljetuskysymyksistä

Vuoden 1977 tuhkatiedustelun perusteella 530 000 tonnin kokonaistuhkamäärästä meni hyötykäyttöön 11 % (VTT:n voimalaitostuhkaseminaari 29.5.1980). Ylivoimaisesta pääkäyttävasta - kuljetuksesta jättealueille - aiheutui kustannuksia 5 - 25 mk/t. Lisäksi useilla voimalaitoksilla esiintyi vaikeuksia löytää soveliaita kaatopaikka-alueita.

Helsingin kaupungille muodostuu n. 20 % kuiva-ainetta sisältävää "jätevesipuuroa" 70 000 m³/v, mistä maanviljelyskäyttöön saadaan voimakkain tukitoimin menemään vuosittain runsaat puolet. Kaupunki nimittäin kuljettaa ko. ravinnerikkaan jätteen täysin ilmaiseksi aina 30 km:n etäidyydelle ja kelirikkoaikoina kauemmaksikin. Lisäksi se lainaa korvauksetta levitintä tärkeimmille vastaanottajille (Kemetal Oy:n KEMET -levitinvaunu).

Kaatopaikoille tuhkaa kuljetetaan yleisesti sekä vaihtolavakuorma-autoilla että erikoisperävaunuilla varustetuilla traktoreilla. Molemmissa tapauksissa tuhkaa kastellaan ja lisäksi jälkimmäinen systeemi edellyttää tuhksiilon rakentamisen.

Metsä-Botnian kokemusten perusteella tavalliset maatalous- traktoriperävaunut kestivät varsin vähän aikaa jatkuvassa tuhkan kuljetuksessa (syöpyminen ja rikkoutuminen). Saatujen kokemusten perusteella rakennettuihin haponkestävällä 3 mm:n ploomuteräksellä vuorattuihin järeisiin teliperävaunuihin ollaan nyt ko. yrityksessä tyytyväisiä (Velsa Oy tuhka-perävaunut).

Kehittyneimmissä peltokalkitussysteemeissä (esim. Peruskalkitus Riihimäen - Hyvinkään alueella) on päädytty kalkin kuljetukseen säiliöautoilla ja siirtämiseen paineilmataytöllä levittimeen. Lentotuhkan kuljetukseen ja purkupäähän erityisesti teollista käyttöä ja tuhkan peltolevitystä varten olisi ilmeisesti sovellettavissa täysin samat järjestelmät. Tällöin päästäisiin ratkaisevasti pienentämään pölyämishaittaa.

Kalkin ja lentotuhkan kuljetuskustannuksia arvioitaessa voitaneen pohjana käyttää lähinnä irtolannoitteiden yleisiä kuljetusmaksuja (liite 1). Suuria määriä ja pitkää aikaväliä koskevilla kuljetussopimuksilla on kalkituksessa saatu käyttöön sekä sopivaa kuljetuskalustoa että toisaalta voitu alentaa hieman hintaa (50 kilometriin asti 20 - 23 mk/t). Puu- ja turvetuhkan kuljetuksessa vielä tätä merkittävämpi rationalisointikeino saattaisi olla paluukuljetukset.

Ravinnerikkaiden jätevesien kuljetusta ja levitystä varten lähinnä erityisiin energiametsiin on ollut toteuttamiskokeiluitaan odottamassa jo pitkään periaatteessa ideoituna MERTSA-jäteveden hyväksikäyttöjärjestelmä (liite 2). Se soveltuisi parhaiten pienehköjen kaupunkien ja kirkonkylien ongelmiin ja vaatisi toisaalta tuekseen voimaperäistä, lähinnä metsäbiologista tutkimustoimintaa.

2. Tuhkan ja kalkin levityskoneista ja kustannuksista

Metsäntutkimuslaitos on suorittanut erityyppisiä ja erivaruusteisia lannoitteiden levittämiä koskeneita levitystasaisuus- ja levitysetäisyysmittauksia sekä menetelmätestauksia viime vuosina varsin runsaasti (lähinnä Virtanen ja Aitolahti). Tutkimuksiin on luonnollisesti otettu mukaan myös tuhkaongelmien ratkaisujen etsiminen (esim. Virtasen esitelmä kuorituhkaseminaarissa 1975).

Kokeilujen perusteella vaikuttaa tuhkanlevitystä ajattel-
 len tällä hetkellä lupaavimmalta lannoitteenpuhaltaja
 SILVA ja erityisesti 5 000 litran säiliöllä varustettu
 mm. metsätraktorisovitteiseksi tarkoitettu tyyppi (Met-
 sänparannustekniikka ja koneet s. 98 - 99). Kyseisen
 laitteen kehittäjän (Erkki Halme) kanssa on tuhkan
 levityskokeilujen merkeissä oltu yhteistyössä lähes kolme
 vuotta. Lähinnä lannoitteiden ja herbisidien levitykseen
 tarkoitettu kone ei kuitenkaan vielä sellaisenaan ole
 valmis ja soveltuva lentotuhkan levitykseen. Siksi on
 päädytty laatimaan suunnitelma ja muutospiirustukset
 erityisestä "tuhka-SILVasta".

Oulun kaupungin suometsiin on metsätraktorisovitteisella
 myöskin lietsoperiaatteisella urakoitsijan (Martti Turkka)
 kehittämällä koneella levitetty turvevoimalan tuhkaa.
 Talviolosuhteissa palstateiltä tapahtuneessa levityksessä
 ajomatka oli 0 - 600 m ja 10 - 12 m³:n kuorman levittämi-
 seen kului parhaimmillaan aikaa 30 - 40 min. Kokeiluluon-
 toisena levitystaksana käytettiin samaa kuin koivupino-
 tavaralla eli 19,50 mk/m³. Tämä merkitsee vettyneellekin
 tuhkalle (paino ehkä 900 kg/m³) levityshintaa 17,55 mk/t.

Riihimäen - Hyvinkään seudun todella mittavassa peltokalki-
 tuksissa levitystaksa oli 16 - 22 mk/t. Kalkki, jonka
 paino vaihtelee välillä 1 400 - 2 000 kg/m³, on ilmeisesti
 levitettävänä aineena yhtä ongelmallista kuin lentotuhka.
 Siksi kyseinen yritys (Peruskalkitus) ilmoitti tarvitta-
 essa olevansa valmis hieman peltokalkitustaksaa korkeammin
 hinnoin kokeilemaan suurienkin tuhkamäärien levitystä pel-
 loille. Valitettavasti levittimen periaate (leveys 12 m)
 ei sellaisenaan sovellu metsälevityksiin.

Virtanen (Kuorituhkaseminaari v. 1975) on alkukokemusten
 perusteella päätenyt esittämään tuhkalle samoja levitys-
 kustannuksia kilogrammaa kohti kuin lannoitteilla. Tällöin
 työ tulisi peltolevitykseen verrattuna todella kalliiksi,

sillä nykyään esim. huippua edustava lentokonetaksa metsälevityksissä on tasolla 20 - 22 p/kg. Tulevaisuutta ajatellen, mikäli esim. konekehittelytavoitteet saadaan toteutettua suunnitelmien mukaisesti, vaikkapa kaksinkertainen hinta peltolevitykseen verrattuna tuntuisi edellistä paljon realistisemmalta. Vuoden 1980 hintatasolla tuhkan metsälevitys maksaisi silloin 40 - 50 mk/t.

3. Tuhkan levityksen ongelmista

Metsätraktori on sellaisenaan erinomainen peruskone isokokoiselle tuhkalevittimelle (yli 10 m³) suoalueillakin, jos levitystyö tapahtuu palstateiltä kantavissa talviolosuhteissa (vrt. Oulun kaupunki). Koska tähän on usein teknisesti varsin vaikea päästä, edellyttää tämä paneutumista myös levityksen peruskonekysymykseen. Mahdolliset tulevaisuuden soiden lannoituksen optimivetokoneet telamaasturit (esim. FINNCAT ja "Veto-Velsa") ovat mahdollisesti liian pienitehoisia kuljettamaan metsässä suuria tuhkamääriä. Täten apu tuntuisi olevan lähempänä esim. jyrsinoituksia varten kehitetyissä peruskoneratkaisuissa tai peräti kotimaisten turvetuotantotraktoreiden muunnoksissa (MERKO ja SUOKKO).

Tuhkassa on levitystutkimuksissa tiedostettu ongelmina lievä syövyttävyys, melko paha holvautuvuus kuljetin ja levitinlaitteissa sekä erittäin paha pölyäminen etenkin tuhkan ollessa kuivaa. Kaksi ensin mainittua on ratkaistavissa ja ratkaistu eri tavoilla jo siksi, että samat ongelmat esiintyvät useilla muilla yleisesti levitettävillä aineilla (turve, kalkki, jauheiset väkilannoitteet ja hiekka). Täten todella pahaksi ongelmaksi jää tuhkan osalta pölyäminen ja kulkeutuminen pölynä pitkiäkin matkoja.

Levitystapahtumassa jauhemaista tuhkaa kulkeutuu ojiin suoraan sekä hankikanto-olosuhteissa myöhemminkin tuulen kuljettamana. Vesistöjen saastumiskysymysten ohella tuhkassa väijyvät koko kuljetus- ja levitysketjun ajan ihmisille aiheutuvat pölyhaitat. Vähätehoisen orgaanisen ja epäorgaanisen pölyn suositeltu enimmäispitoisuus on Suomessa 10 mg/m^3 . Tällaisena pidetään esim. turvepölyä, minkä haitoista ja haittojen torjunnasta on tehty tutkimuksia Suomessa vuodesta 1977 lähtien (esim. Työterveyslaitoksen tutkimuksia 145). Tältä pohjalta on alustavasti sovittu tuhkapölymittausten ja analysointien aloittamisesta jo syksyllä 1980. Ennakkoon levityskokemusten perusteella tuhka vaikuttaa varsin peloittavalta. Se on yleensä pahemmin pölyävää kuin jyrsinturve. Pöly on myös eräiden kokemustenkin perusteella paljon vaarallisempaa kuin varsin neutraali turvepöly (esim. korkea pH). Tämä johtaa rakeistamis- tai pelletointivaatimuksiin.

Rakeistamisen on tutkimuksissa todettu hajanaisia pienehköjä tuhkan tuotantopisteitä ajatellen olevan melko mahdollon järjestää ja keskitetystikin tulevan varsin kalliiksi. Vuoden 1975 tuhkaseminaarissa Kemiran Hörkkö arvioi rakeistuskustannusten olevan 50 - 60 mk/t. Pelletointi vaikuttaa paljon lupaavammalta sillä esim. Suoninen on 1979 esittänyt Turveteollisuusliiton tutkimusten perusteella jyrsinturpeen pelletointikustannusten olevan 2 - 4 mk/GJ (nyt lähes 10 mk/m^3). Tuhkan pelletointiin ja yleensä laadun parantamiseen liittyen voidaan ainakin periaatteessa harkita, että puu- ja turvetuhkaa yritettäisiin sitoa lähellä olevan jätevesipuhdistamon lietteellä.

KULJETUSMAKSUT ALKAEN 15.5.1980

Lannoitteet irtotavarana

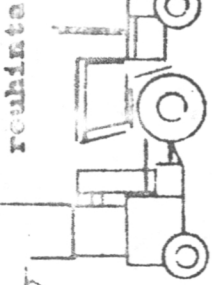
Jakeluvyöhykkeet km	Kuljetusmaksu mk/100 kg 24.000 ja yli	suhdel.
0 - 30	2,30	100
31 - 60	2,77	120
61 - 90	3,24	141
91 - 120	3,71	161
121 - 150	4,18	182
151 - 180	4,65	202
181 - 210	5,13	223
211 - 240	5,61	244
241 - 270	6,12	266
271 - 300	6,63	288
301 - 330	7,14	310
331 - 360	7,65	333
361 - 390	8,16	355
391 - 420	8,67	377

polyeteenin maahantuonti keräily

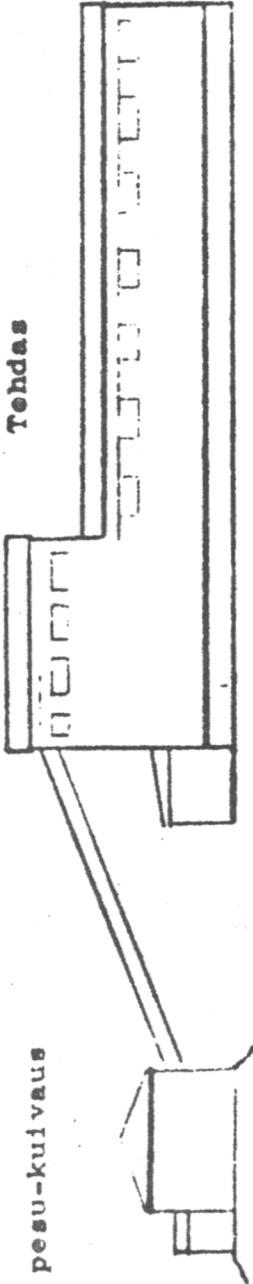
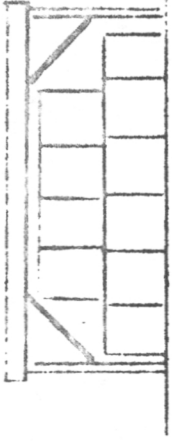
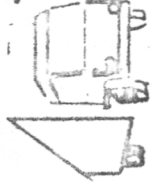
120.000 tonnia x 4000 = 480.000.000 m³

Jätepalautuma 50 %

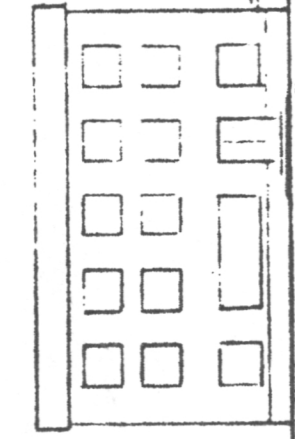
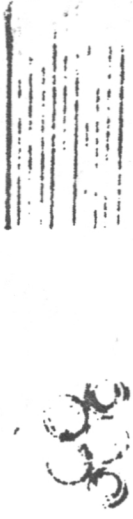
60.000/vuosi



reuhinta



kasteluputkia



esipuhdistus

talousvesik

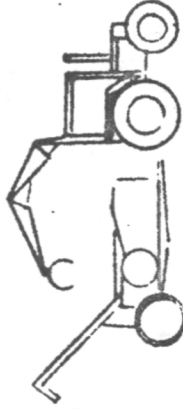
haitariiallasvarasto järjessä

pumppu

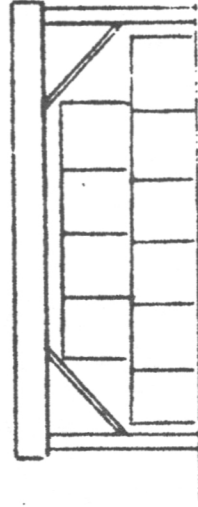
kasteluverkosto

ravinteiden antama lisäys 4-kertainen

liikkuva hakemylly



metsävarasto



Energiatuoton edistämisen MERTSA-menetelmällä, ravintorikkaiden vesien hyväksikäyttöä ainutkertaisen luonnonvaran, muovin, talteenotto uusiintuvan luonnonvaran, metsän, kasvun yhteydessä.

hakevoimala

sähköjohto

keskustasajamat

sähköjohto



Metsä tuottaa kasvaessaan energiaa ja tarvitsee vettä ja ravinteita, samalla jätevedet puhdistuvat ja vesistöjen tasapaino palautuu.

metsä paketti-peltoa



- N:o 1. Jukka Valtanen. Avoalan suuruuden vaikutus männynviljelyn tulokseen Pohjois-Suomessa. 1971.
- N:o 2. Tutkimuspäivän alustukset. 1972.
- N:o 3. Jukka Valtanen. Avoalan suuruuden vaikutus männynviljelyn tulokseen Pohjois-Suomessa. 1972.
- N:o 4. Kalevi Karsisto. Esituloksia suometsien fosforilannoitelajikokeista. 1973.
- N:o 5. Kalevi Karsisto. Lannoitteiden levitystasaisuudesta moottorikelkkaa käytettäessä. 1973.
- N:o 6. Kalevi Karsisto. Kokeita typpilannoitteiden häviämisestä säkeistä. 1973.
- N:o 7. Kalevi Karsisto. Isorakeisen typpilannoitteen uppoamisesta lumeen. 1975.
- N:o 8. Markku Turtiainen ja Jukka Valtanen. Metsänviljelytutkimuksen välituloksia Pohjanmaan ja Kainuun metsäaureausalueilta. 1974.
- N:o 9. Jukka Valtanen. Avoalan suuruuden vaikutus männynviljelyn tulokseen Pohjois-Suomessa. 1974.
- N:o 10. Esteri Ohenoja ja Niilo Takkunen. Alustavia tietoja lannoituksen vaikutuksesta kangasmetsien sienisatoon. 1974.
- N:o 11. Kalevi Karsisto ja Jorma Issakainen. Riistan tuottaminen metsänparannusalueilla. 1974.
- N:o 12. Kalevi Karsisto. Peatland forestry experiments in Pyhäkoski experimental area. 1974.
- N:o 13. Kalevi Karsisto. Ojituksen ja metsänlannoituksen vaikutus vesien saastumiseen. 1974.
- N:o 14. Tutkimuspäivän esitykset 1975.
- N:o 15. Metsäntutkimuspäivä Haapavedellä 1976.
- N:o 16. Metsäntutkimuspäivä Sotkamossa ja Ämmänsaaressa 1977.
- N:o 17. Metsäntutkimuspäivä Haukiputaalla ja Muhoksella 1978.
- N:o 18. Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 1980.
- N:o 19. Mikko Moilanen ja Matti Oikarinen. Perkausajankohdan vaikutuksesta hieskoivun ja haavan vesomiseen kangasmaalla. 1980.

