

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
PYHÄKOSKEN TUTKIMUSASEMAN
TIEDONANTOJA 5

Oulun salpiet.



7.5m

5m

2.5m

1m

KALEVI KARSISTO

LANNOITTEIDEN LEVITYSTASAISUUDESTA
MOOTTORIKELKKAÄ KÄYTETTÄESSÄ

MUHOS 1973

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

PYHÄKOSKEN TUTKIMUSASEMAN
TIEDONANTOJA 5

Kalevi Karsisto

LANNOITTEIDEN LEVITYSTASAISUUDESTA
MOOTTORIKELKKAÄ KÄYTETTÄESSÄ

Muhos 1973

AIKUSANAT

Lannoitukseen liittyvien biologisten ilmiöiden selvittäminen metsäpuiden kohdalla saattaa viedä vuosikymmeniä. Tämä on yleisesti tunnustettu vaikeus. Kuitenkin tällä hetkellä on jo käytettävissä tutkimuksiin perustuvat lannoitussuositukset, joissa yksityiskohtaisesti annetaan erilaisia lannoitemäärä- ja ravinnesuhdeohjeita. Jos työn käytännöllisessä toteuttamisessa ei laitteiden tai menetelmien puutteellisuudesta johtuen kyetä näitä ohjeita noudattamaan, tutkimuspuolen on turha pyrkiä lisäämään suositusten tarkkuutta.

Moottorikelkan maasto-ominaisuudet sekä puustoa säästävä koko ja ketteryys tekevät siitä ihanteellisen vetokoneen talviaikaiseen lannoitteen levitykseen, josta syystä Pyhäkosken tutkimusaseman suorittamiin konetutkimuksiin on ensimmäisenä otettu yleisimmin käytetty tämäntyyppinen työyksikkö. Esitettävistä tuloksista on käytännön toimintaa varten julkaistu pääkohdat joulukuussa 1972 ilmestyneessä Metsä ja Puu -lehdessä.

Tutkimuksen käytännön toteutuksesta on huolehtinut metsäteknikko Jorma Issakainen. Hänelle sekä muille työn suorittamisessa avustaneille henkilöille parhaimmat kiitokset.

Muhoksella huhtikuun 10. päivänä 1973

Kalevi Karsisto

Sisällysluettelo

	Sivu
1. JOHDANTO	1
2. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	2
3. TULOKSET TYÖJÄLJEN TASAISUUDESTA	5
31. Eri lannoitteet	5
32. Tuuli	8
33. Levittimen rakenne	9
4. TULOSTEN TARKASTELUA	9
41. Näytteenkeräysmenetelmä	9
42. Rakeiden lajittuminen	12
43. PK-lannosten osien lajittuminen	13
44. Tasaisuuden vaikutus kasvuun	13
45. Päätelmiä käytäntöä varten	16
5. TIIVISTELMÄ	17
KIRJALLISUUTTA	20
SUMMARY	22

1. JOHDANTO

Metsälannoitteiden levitys on maassamme toistaiseksi suoritettu pääosin miestyönä. Tällöin saadaan haluttaessa syntymään riittävän tasainen peitto. Talviaikaan levityksen valvontaa helpottaa vielä lumipeite, jonka johdosta työskentelyjälki on helposti havaittavissa. Ihmistyön kustannus on viime aikoina kuitenkin noussut erittäin voimakkaasti. Toisaalta työvoiman saaminen levitystehtäviin on tuottanut vaikeuksia. Erityisesti työskentely lumiolosuhteissa käytettäessä suometsien PK-lannosta, joka sisältää luntasulattavaa ja vaatteet kastelevaa kalisuolaa, on todettu jopa epäinhimilliseksi. - Kaikki edellä oleva on lisännyt koneellistamisen tarvetta.

Toistaiseksi on oman maamme osalta ollut käytettävissä niukalti materiaalia erityyppisten metsään soveltuvien koneiden levitysjäljen tasaisuudesta. Eräissä ruotsalaisissa ja norjalaisissa tutkimuksissa on kuitenkin todettu sekä lentokoneen että traktoripuhaltimen työjäljen olleen melko epätasaista (mm. Andréason 1967, Eriksson 1966, Erken - Fahlroth 1967, Gustavsson 1971 ja Noer 1968). Arvelut epätasaisuuden vaikutuksesta saatavaan lannoitusreaktioon ovat vaihdelleet melkoisesti. Eräissä tutkimuksissa kasvutulokset käsilevitykseen verrattuna ovat alentuneet keskimäärin jopa 23 % (4,3 - 47,2 %) koneellisesta levityksestä johtuen (Erken - Fahlroth 1967). Toisaalta useissa yhteyksissä, jolloin ei ole ollut esitettävänä mittaustuloksia, puuston juuriston laaja-alaisuuden on päätelty sallivan suurtakin epätasaisuutta tuloksen huonontumatta (mm. Eriksson 1966, Häggström 1967 ja Noer 1968).

Koneellisista menetelmistä maahamme yksityismetsätalouden puolelle parhaiten soveltuvat traktori ja moottorikelkka, sillä lentokoneen käyttöä rajoittaa kenttien puute ja yleinen

lannoituskohteen pienalaisuus. Esimerkiksi ruotsalaisten käsityksen mukaan lentolannoitukseen soveltuvalla hankkeella täytyisi olla samalta lastauspaikalta levitettävissä alle kolmen kilometrin säteellä vähintään 360 hehtaarin lannoitteet (Sterner Aero AB 1972).

Turvemaiden lannoitukset on suoritettu suurelta osin talvi-aikaan, mikä tarjoaakin huomattavia etuja säkkien jakelun, maaston kuljettavuuden, valvonnan ja työruuhkan tasaamisen kannalta. Moottorikelkan ominaisuudet tekevät siitä lumikelillä tapahtuvaa levitystä ajatellen ihanteellisen vetokoneen. Tästä syystä metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston aloittamiin levitystasaisuustutkimuksiin ensimmäisenä on otettu yleisimmin käytetty työyksikkö, jossa moottorikelkan perään kytkettynä on ollut levitinosa keskipakolevittimeen.

2. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tutkimuksessa käytettiin työyksikköä, jossa vetokoneena oli "Lynx 40" (20 hv DIN) ja levittimenä edellisen peräänkytketty ja siitä voimansa saava "Lynx-lannoitteenlevitin". Levitinosa käsitti pulkan ja varsinaisen levittimen, jossa oli kierukkakuljetin ja keskipakolevitin. Laitteessa oleva säätö oli koko kokeen ajan maksimissa. Voimansiirto tapahtui taipuvalla akselilla kelkasta levittimeen.

Koska lannoitteen raekoolla oli odotettavissa selvä vaikutus työskentelynopeuteen ja levitysjälkeen, suoritettiin kokeilut viidellä eri lannoitteella. Nämä olivat:

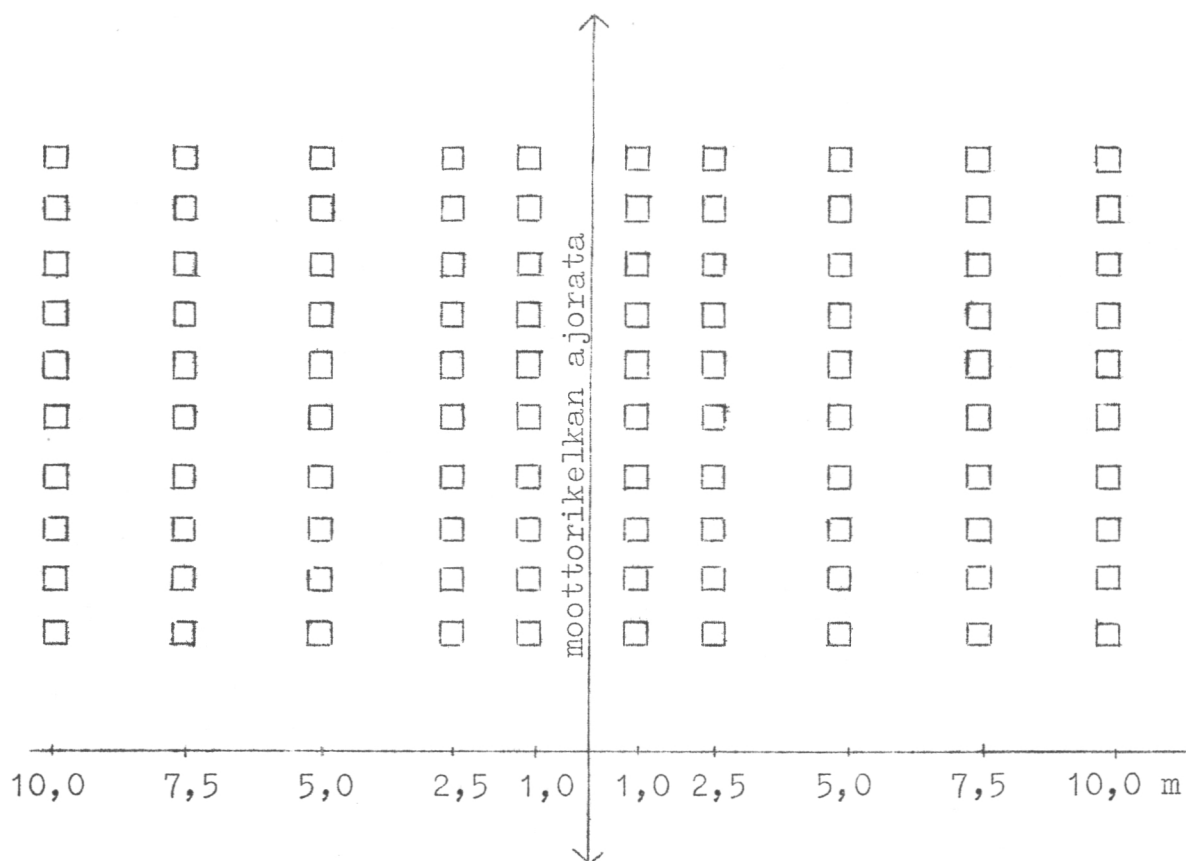
- suometsien PK-lannos, joka on varsinainen talvilevityksessä kyseeseen tuleva lannoite. Fosforiosana on laivauskarkea raakafosfaatti, johon on mekaanisesti sekoitettu kalisuola. Ravinnesuhteet olivat 24 % P_2O_5 ja 15 % K_2O .

- kotimaisesta Sokliojan löydöksen fosforiitista valmistettu PK-lannos, joka samoin oli mekaaninen fosforiosan ja kali-suolan seos. Ravinnesuhteet olivat 20 % P_2O_5 ja 14 % K_2O .
 - hienofosfaatti, joka on osittain pölymäiseksi jauhettua raakafosfaattia (yli 90 % rakeista pienempiä kuin 0,05 mm), edusti kokeessa erittäin hienorakeista lannoitetta.
 - oulunsalpietari (26 % N), jota ei normaalitapauksissa suositella levitettäväksi lumelle, edusti kokeessa rakeista lannoitetta. (Nykyinen rakeinen suometsien PK-lannos vastaa melko hyvin raekooltaan oulunsalpietaria.)
 - metsänitraatti (32 % N) vastaavasti oli kokeessa mukana mahdollisimman suurirakeisena lannoitteena. Suurimpien rakeiden koko nousi yli yhden senttimetrin (\emptyset).
- Seuraavassa asetelmassa esitetään pelkistetyt seula-analyysitulokset eri lannoitteiden osalta hienoimmasta karkeimpaan:

Lannoitteesta	hieno-	suomet-	Sokli-	oulun-	metsä-
noin 80 % oli	fosf.	sien PK	ojan PK	salp.	nitr.
pienempää kuin:	0,05 mm	0,4 mm	1,2 mm	3,6 mm	9,3 mm

Näin ollen kokeessa lannoitteiden raekoon vaihteluväli oli katkoton pölymäisestä aina sormenpäänkokoisiin, mikä haluttiinkin lähtökohdaksi levittimen ominaisuuksien monipuolisemman testaamisen takia.

Varsinainen työjäljen tutkiminen tapahtui käyttäen useita näytteiden keräämiseksi rakennettuja "koeratoja". Tällaisen kaavio esitetään kuvassa 1 (s. 4). Levittimellä ajettiin hangelle merkittyä linjaa pitkin kentän lävitse kiihdyttäen kelkka ensin täyteen työskentelyvauhtiin. Lannoitteet kerättiin käyttäen 1 dm²:n suuruisia muovirasioita, jotka oli sijoitettu yläpinnaltaan hangen pinnan tasolle. Levityskertoja suoritettiin useita aina ennen näytteiden keräämistä. Samalla etäisyydellä ajolinjasta sijainneiden 10 rasian sisältämät lannoitteet koottiin valmiiksi numeroituun pussiin



Kuva 1. Näytteiden keräämisessä käytetty "kenttä".

Moottorikelkalle oli merkitty ajolinja, jota myöten levittimellä ajettiin aina kunkin asian selvittämiseksi useampia kertoja ennen näytteiden keruuta. Kuvassa esiintyvät neliöt vastaavat näytteiden keruuastioita, jotka sijaitsivat 1 - 10 m päässä ajolinjasta.

ja punnittiin yhdellä kertaa. Osa ajoista tapahtui samaan suuntaan, osa edestakaisin. Kenttiä rakennettiin useita vaihdellen samalla ajolinjan sijaintia tuuleen nähden.

Näytteenkeräämismenetelmän testaamiseksi käytettiin edellä mainittujen 1 dm²:n rasioiden ohella myös suurempia 25 dm²:n muovipohjaisia puukehikolla varustettuja laatikoita (5 kpl). Nämä sijoitettiin eri etäisyyksille ajolinjasta, ja niiden sisältämät lannoitemäärät kerättiin erikseen myöhemmin tapahtuvia menetelmävertailuja varten.

Kokeilujen suorituksesta pidettiin maastossa pöytäkirjaa käyttäen apuna kentän pohjapiirrosta. Samalla merkittiin ylös tuulen suunta, ajokerrat ja ajosuunnat sekä kaikki laitteiden toimintaan liittyvät havainnot ja silmämääräiset toteamukset levitysjäljestä.

3. TULOKSET TYÖJÄLJEN TASAISUUDESTA

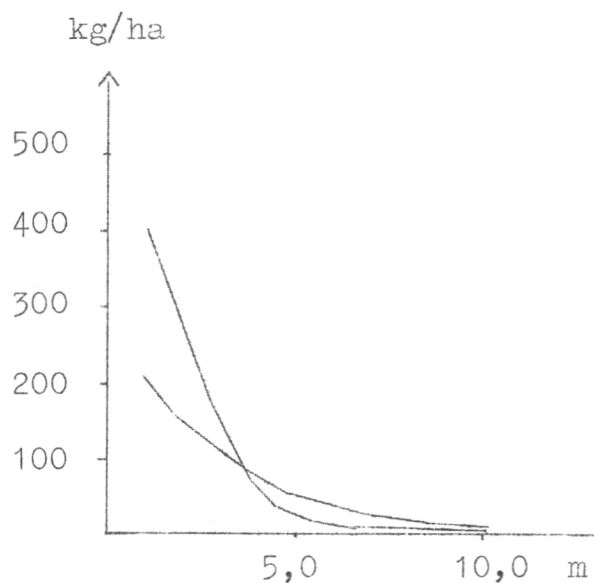
Kokonaisuutena tarkastellen saatu aineisto näytti hyvin epätasaiselta, sillä kertyneissä näytemäärissä oli suuria eroja. Nämä kuitenkin selittyivät melko hyvin seuraavien työjälkeen selvimmän vaikuttaneiden tekijöiden avulla:

31. Eri lannoitteet

Lannoitteiden väliset erot työjäljen leveydessä ja tasaisuudessa johtuivat niiden erilaisista raakoostumuksista. Rae-
koko oli erilainen ja toisaalta eri kokoluokkien prosentuaaliset jakaantumukset poikkesivat toisistaan.

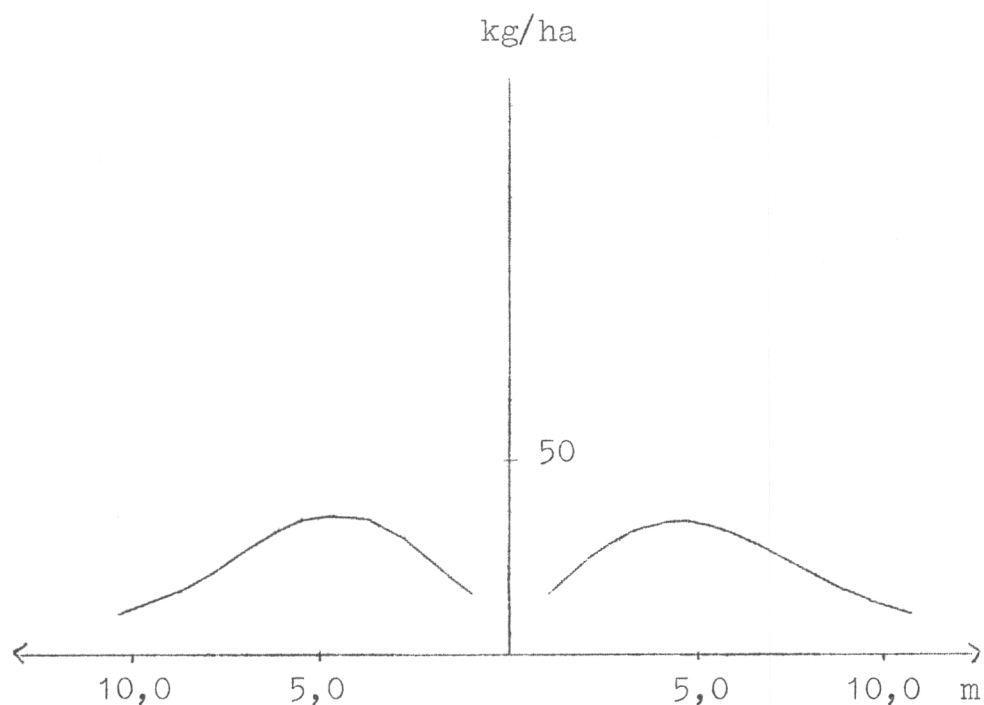
Saatuja tuloksia lannoitelajeittain tarkasteltaessa havaittiin hienofosfaatin, suometsien PK-lannoksen ja Sokliojan PK-valmisteen kohdalla levitysjäljen olleen periaatteessa

samantyyppisen. Pääosa lannoitteesta on tullut levittimen välittömään läheisyyteen ja vain murto-osa lannoitemäärästä on levinnyt yli 5 metrin päähän. Erityisesti kannattaa mainita se, etteivät silmämääräiset havainnot lumenpinnan värjäytymisestä antaneet kuvaa näin jyrkistä eroista. Seuraavassa kuvassa 2 esitetään useiden ajokertojen keskiarvoina eri etäisyyksillä ajolinjasta havaitut lannoitemäärät suometsien PK-lannoksen ja Soklin PK-lannoksen osalta.



Kuva 2. Lannoitteen leviäminen eri etäisyyksille ajolinjasta hienorakeisten lannoitteiden, Soklin PK:n ja suometsien PK-lannoksen osalta. Tuuli ollut ajoradan suuntainen. Suo-PK:n tulos on 8 ajon ja Soklin PK:n 12 ajon keskiarvo.

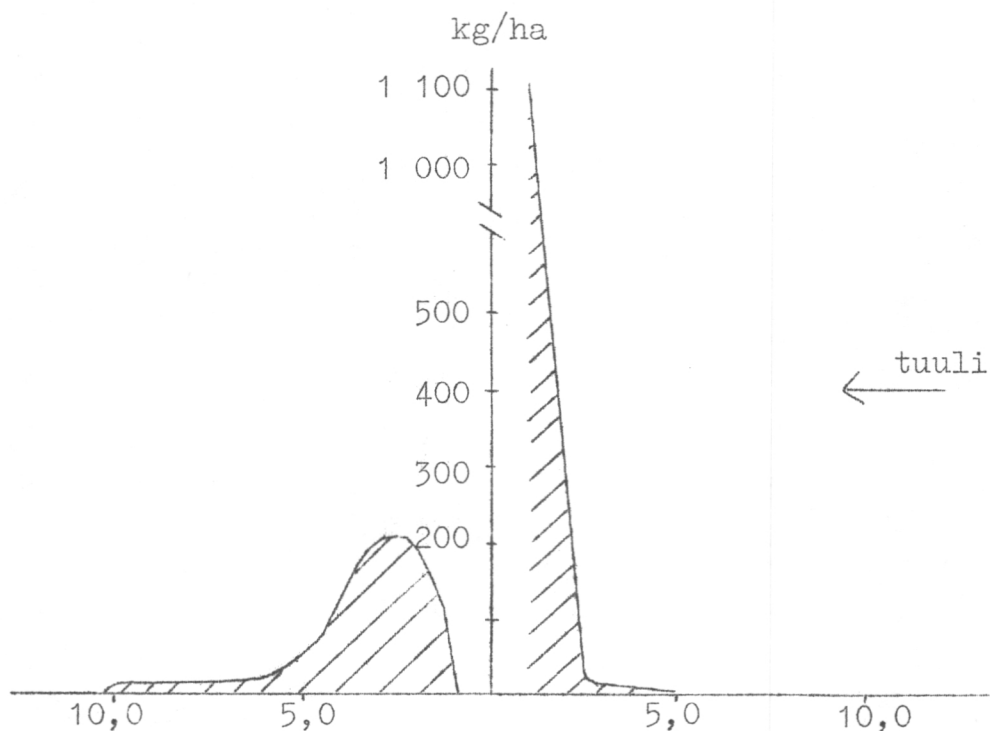
Molempien rakeisten lannoitteiden työjälki poikkesi edellisistä hyvin selvästi. Ensinnäkään lannoitemäärän maksimi ei tullut levittimen välittömään läheisyyteen vaan 5 - 7 metrin päähän. Toisaalta johtuen osittain lannoitteen leviämisestä suuremmalle alalle lannoitemäärät hehtaaria kohden jäivät alhaisiksi. Eräänä syynä vähäisiin lannoitemääriin kuitenkin metsänitraatin kohdalla voidaan mainita levittimen joutuneen kierukkakuljettimella murskaamaan suurimman osan rakeista. Tämä vei selvästi voimaa ja alensi pyörimisnopeutta. Levittimen työjälki metsänitraatin osalta esitetään seuraavassa kuvassa 3.



Kuva 3. Lannoitteen leviäminen eri etäisyyksille käytettäessä suurirakeista metsänitraattia. Tuuli ajoradan suuntainen. Tulos seitsemän ajon keskiarvona ajaen molempiin suuntiin, jolloin laitteen itsensä aiheuttama epätasaisuus on saatu eliminoitua.

32. Tuuli

Tutkimusta suoritettaessa (4 - 5.4.72) vallitsi koealueella kohtalainen tuuli, jonka nopeudeksi arvioitiin lannoitepölyn ja keveiden roskien kulkeutumisen avulla 2 - 3 m/s. (Oulun-salon lentokentällä 45 km päässä vastaavina päivinä suoritetuissa mittauksissa tuulenopeus vaihteli 2,5 m/s - 4 m/s.) Tuulella havaittiin olevan erittäin selvä vaikutus lannoitteen leviämiseen. Erityisesti hienorakeisten lannoitteiden levittäminen vastatuuleen todettiin lähes mahdottomaksi. Myös ulkolaisissa lentolevitystä koskevissa selvityksissä on esitetty tuloksia tuulen osalta (Agricultural Aviation 1967) todeten lannoitteiden kasautuvan jo vähäisenkin tuulen vaikutuksesta. Esimerkkinä tuulen vaikutuksesta moottorikelkan työjälkeen esitetään kuvassa 4 suometsien PK-lannoksen leviäminen tuulen puhaltaessa sivulta.



Kuva 4. Esimerkki sivulta puhaltaneen tuulen (2 - 3 m/s) vaikutuksesta suometsien PK-lannoksen leviämiseen. Vastatuuleen ei lannoitetta ole levinnyt juuri 2,5 metriä kauemmaksi.

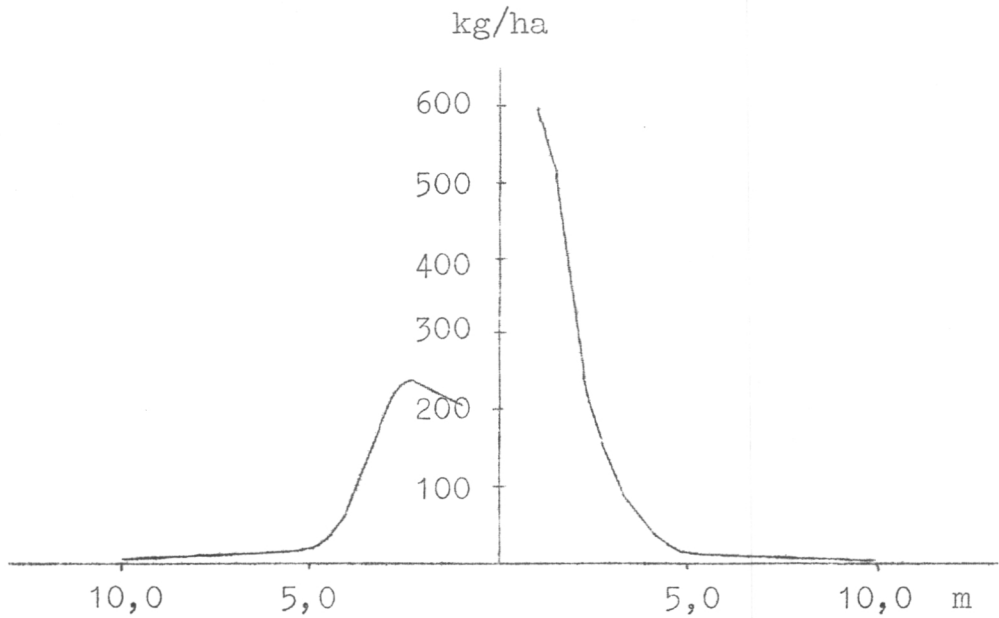
33. Levittimen rakenne

Levittimen rakenteen todettiin aiheuttavan suurta epätasaisuutta työjäljessä. Kierukkakuljettimen avulla lannoite joutuu keskipakolevittimeen, jossa on kaksi suutinta. Takaa katsoen lannoitetta oikealle heittävä suutin saa lannoitteen ensin ja ylhäällä oleva vasemman puolen suutin saa lannoitteesta loput. Tämä jäljelle jäänyt määrä näytti olevan selvästi oikealle puolelle tulevaa määrää pienempi. Levittimen itsensä aiheuttaman epätasaisuuden selvittämiseksi suoritettiin eri lannoitteilla useita ajoja siten, että kelkka ajoi näytteenkeruukentän halki aina samaan suuntaan. Tuuli oli tällöin ajoradan suuntainen. Kuvassa 5 (s. 10) esitetään levittimen rakenteen vaikutus suometsien PK-lannoksen työjälkeen sekä kuvassa 6 (s. 10) vastaava oulunsalpietarin osalta.

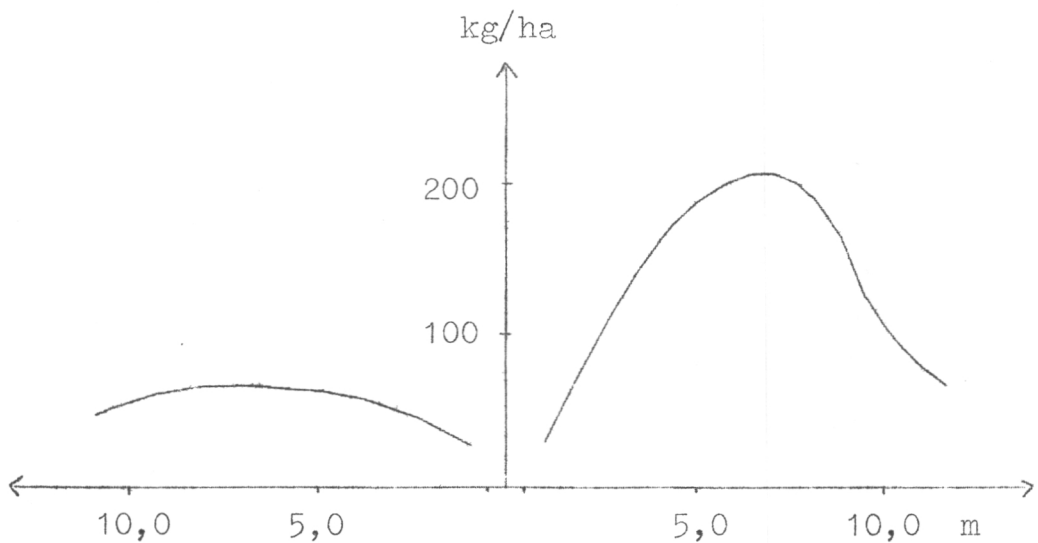
4. TULOSTEN TARKASTELUA

41. Näytteenkeräysmenetelmä

Näytteiden keruu tapahtui kuvassa 1 (s. 4) esitettyä "rasia-verkosta" käyttäen. Rasian pinta-ala oli $1,05 \text{ dm}^2$. Yläpinta asetettiin hangen pinnan tasoon, jolloin pohja tuli 10 cm syvyyteen. Lannoiterakeiden pomppimista pois rasioista ei havaittu. Kokeiluaikana vallitsi hankikeli, josta syystä isompien rakeiden kohdalla havaittiin vähäistä liikkumista vielä hangelle putoamisen jälkeen. Näin ollen on mahdollista, että rasioista pois pompanneiden tilalle vastaavasti on tullut hangen pinnasta kimmokkeen saaneita rakeita. Tämä tilanne tulee kyseeseen erityisesti oulunsalpietarin ja metsänitraatin kohdalla. Muiden lannoitteiden rakeet olivat hyvin pieniä ja epäsäännöllisen mallisia eivätkä liikkuneet hangen pinnalla putoamisensa jälkeen.

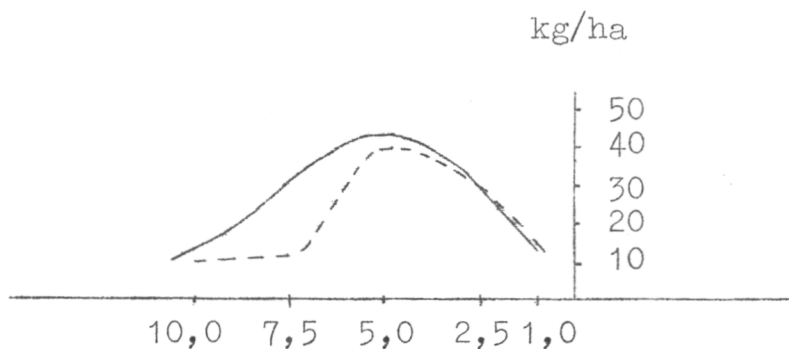


Kuva 5. Levittimen rakenteen aiheuttama epätasaisuus. Ajot suoritettu koekentän lävitse aina samaan suuntaan käyttäen suometsien PK-lannosta. Tuuli ajoradan suuntainen.



Kuva 6. Levittimen rakenteen aiheuttama epätasaisuus. Ajot koekentän lävitse samaan suuntaan käyttäen oulunsalpietaria. Tuuli ajoradan suuntainen. Tulos kuuden ajon keskiarvo.

Rinnakkaisena kontrollimenetelmänä käytettiin 10 cm:n korkeisilla puulaidoilla varustettuja laatikoita, joiden pinta-ala oli $0,25 \text{ m}^2$. Nämä sijoitettiin samoille etäisyyksille pikkurasioiden muodostamaan verkostoon, mutta pidettiin näytteiden keruussa omana yksikkönään. Lasketut tulokset käyvät erittäin hyvin yksiin pikku rasioiden antamien tulosten kanssa, joskin laatikoiden antamissa tuloksissa näyttäisi olevan enemmän epäjohdonmukaista vaihtelua, kuten esimerkiksi valitusta kuvasta 7 havaitaan. Laatikon pinta-ala oli 25 dm^2 ja vastaavalla etäisyydellä metrin välein sijainneiden 10 rasioiden muodostaman rivin pinta-ala $10,5 \text{ dm}^2$. Jälkimmäisen näytteenottomenetelmän pinta-ala oli pienempi, mutta edustavuus kuitenkin parempi. Toisaalta huomattiin myös näiden laatikoiden keskiosaan osuneiden ousunsalpietari- ja metsänittraattirakeiden joissakin tapauksissa päässeensä kimmahdamaan laidan yli.



Kuva 7. Useiden samalla etäisyydellä sijainneiden pienempien rasioiden (1 dm^2) antama kuva työjäljestä verrattuna yksittäisten suurempien laatikoiden antamaan tulokseen. Edellisiä oli kullakin etäisyydellä kymmenen kappaletta, joiden yhteinen pinta-ala oli 10 dm^2 . Jälkimmäisiä sijaitsi aina yksi laatikko kullakin näytteenottoetäisyydellä. Pinta-ala oli 25 dm^2 . Rasioita käytettäessä tuli kukin tulos olemaan täten kymmenen näytteen keskiarvo. Katkoviiva edustaa laatikoiden ja yhtenäinen viiva rasioiden antamaa tulosta lannoitteen leviämisestä.

Käytetty näytteenkeruumenetelmä osoittautui nopeaksi ja tasaisia sekä johdonmukaisia tuloksia antavaksi. Lähtökohtana koko tutkimuksessa pidettiin työjäljen teoreettista selvittämistä laitteen, eri lannoitteiden ja eri tekijöiden osalta. Tästä syystä katsottiin paremmaksi "tuhlata" lannoitteita käyttäen koeratoja kuin yrittää suorittaa tutkimus käytännön lannoitustyömaan yhteydessä. Näin ollen voitiin samaa näyteastioiden muodostamaa kenttää hyväksi käyttäen suorittaa useita ajoja aina ennen näytteiden keruuta. Ennakolta valmiilla numero- ym. merkinnöillä varustettuihin pusseihin kerätyt samalla etäisyydellä sijainneiden rasioiden näytteet antoivat punnitustuloksen, joka oli jo valmiiksi esimerkiksi 10 ajon ja 10 rasian, ts. sadan toiston keskiarvo.

42. Rakeiden lajittuminen

Eri lannoitteiden kohdalla havaittiin selvästi tapahtuvan lajittumista raekoon mukaan. Kauimmaksi lensivät suurikokoisimmat ja lähimmäksi jäivät pienikokoisimmat rakeet. Kansikuvassa esitetään oulunsalpietarin näyterivittäiset lannoite-erät, jotka poikkeavat toisistaan selvästi määrällisesti, mutta myös rakeiden keskiläpimiteltä. Lajittuminen selittyy levittimen keskipakovoimaan perustuvan toimintaperiaatteen ja ilman vastuksen avulla.

Pyrittäessä keskipakolevittimellä mahdollisimman tasaiseen työjälkeen pitäisi teoreettisesti ajatellen lähteä liikkeelle lannoitteen raekoostumuksen jakaantumasta, joka tulisi saattaa sellaiseksi, että esimerkiksi keskimäärin 3 metrin päähän lentävää raekokoa olisi yhtä paljon kuin 7 metrin päähän lentävää. Käytännössä lienee vaikeata toteuttaa tätä lannoitteen valmistusvaiheessa. Esimerkiksi oulunsalpietarin raekokojakaantuma on aiheuttanut melko laaja-alaisen leviämisen, jonka maksimi on 5 - 7 metrin etäisyydellä, kuten aikaisemmin esitetystä kuvasta 6 (s. 10) havaitaan.

43. PK-lannosten osien lajittuminen

Koska molemmissa käytetyissä PK-lannoksissa olivat fosfori- ja kaliosa vain mekaanisesti toisiinsa sekoitettuina, voitiin pelätä lajittumista tapahtuvan myös siten, että kalisuola kasautuu määrätylle etäisyydelle ja fosforiosa toisaalle. Eri etäisyyksiltä kerätyistä näytteistä analysoitiin tästä syystä fosfori- ja kalipitoisuudet. Tulokset käyvät selvimmän ilmi seuraavasta taulukosta 1.

Taulukko 1. Eri etäisyyksillä ajolinjasta havaitut PK-lannosten fosfori- ja kalipitoisuudet

Lannoite	Etäisyys ajolinjasta					
	1 m		2,5 m		5 m	
	% P ₂ O ₅	% K ₂ O	% P ₂ O ₅	% K ₂ O	% P ₂ O ₅	% K ₂ O
Soklin PK	15,4	28,0	23,1	13,9	30,0	0,6
Suo PK	25,1	15,0	24,6	18,0	31,3	1,0

Tuloksista havaittiin - kuten seula-analyysituloksetkin sivulla 3 osoittavat - että Sokliojan PK-valmisteessa fosforiosa oli huomattavasti karkeampaa kuin suometsien PK-lannoksessa. Tästä johtuen fosfori ja kali kasautuivat selvästi erilleen. Suometsien PK-lannoksessa fosforiosa vastasi rakeiltaan keskimäärin edellistä paremmin kalisuolaa, josta syystä erilleen joutuminen ei ollut yhtä voimakasta.

44. Tasaisuuden vaikutus kasvuun

Tarkasteltaessa levittimen työjälkeä voidaan todeta lannoitteen tulleen leviteteksi yllättävän epätasaisesti, jopa siten, ettei vastatuuleen suometsien PK-lannos levinnyt edes 2,5 metrin päähän eikä kalisuola normaalioloissakaan 5 metriä kauemaksi ajolinjasta. Aikaisemmin mainitussa ruotsalaisessa

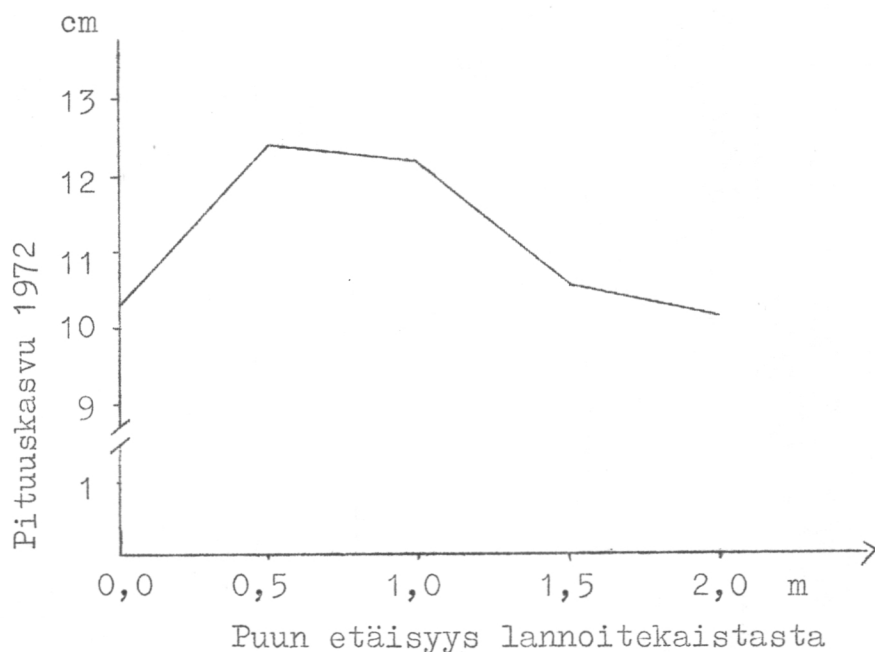
tutkimuksessa todettiin kasvutuloksen voivan pudota jopa 23 % levityksen epätasaisuuden johdosta (Erken - Fahlroth 1967). Pyrkimättä selvittämään sitä, kuinka suureksi saataisi muodostua kasvutappio ravinteiden erilleen joutumisen johdosta, voidaan kysymystä tarkastella puhtaasti epätasaisuuden vaikutuksen osalta metsäntutkimuslaitoksen Pyhäkosken kokeilualueeseen keväällä 1968 perustetun levitystasaisuuskokeen avulla. Tälle koekentälle, joka käsittää 56 ruutua sisältäen 8 toistoa, pyrittiin käsilevityksenä toteuttamaan erilaisia lannoituksia vaihdellen mahdollisimman tasaisesta äärimmäisen epätasaiseen työpöjälkeen. Jälkimmäinen merkitsi käytetyn lannoitemäärän (super Y-lannos 800 kg/ha) levittämistä 0,5 m levyisiin raitoihin 5 metrin välein. Koekentän tulokset viidennen lannoituksen jälkeisen kasvukauden (1972) osalta esitetään seuraavassa asetelmassa:

	Lannoit- tamaton	Äärimmäi- sen tasai- nen levi- tys	Normaali käsi- levitys	Puustoa noudatte- leva lai- kuttainen levitys	Lannoit- teen ka- saaminen raitoihin
Pituus- kasvu (cm)	17,9	24,8	26,5	24,9	19,8

Tuloksista havaitaan, että jo vajaan viiden metrin levyiset lannoittamattomat kaistaleet ovat selvästi alentaneet lannoituksella saatua kasvunlisäystä, vaikka ruudulleen pinta-ala-yksikköä kohden tulleet lannoitemäärät ovat olleet samat. Kasvutulos on esitetyssä tapauksessa pudonnut noin 20 prosenttia.

Eri tutkimuksissa on korostettu sitä, etteivät lannoitemäärien suuretkaan vaihtelut aiheuta välttämättä taloudellista tappiota, sillä määrätyissä rajoissa saatu reaktio korreloi suoraan annettuun lannoitemäärään (mm. Eriksson 1966: urealla toleranssiraja 100 - 500 kg/ha). Vasta täysin lannoittamattomiksi jäävät välikaistat pudottavat ratkaisevasti tulosta

(mm. Noer 1968). Tästä esimerkkinä edellä mainitulta Muhoksen koekentältä esitetään kuvassa 8 raitoihin lannoitetulta osalta saatu tulos, josta käy ilmi puiden reaktio eri etäisyyksillä 0,5 metriä leveästä lannoitusjuovasta. Lannoitejuovassa kasvaneiden puiden kohdalla on tulos heikentynyt yliannostuksen takia. Tämä haitta on mahdollinen epätasaisen levityksen seurauksena varsinkin kivennäismailla, missä maanesteen konsentraatio helposti nousee kasautumisen seurauksena puille vaaralliseksi (mm. Hausser 1965). Paras kasvu on ollut puilla, jotka ovat sijainneet alle metrin päässä lannoitteesta ja jo 1,5 - 2 metrin etäisyydellä on kasvu selvästi pudonnut. Muunnettuna tulos lannoittamattoman kaistan leveydeksi se merkitsee sitä, että jo 3 - 4 metriä leveän lannoittamattoman alueen keskellä kasvu on noin 20 % heikentynyt. Esitetyt tulokset perustuvat turvemaan taimistoon, josta syystä kookkaan kangasmetsän kohdalla tilanne saattaa olla toinen.



Kuva 8. Yksittäisen puun pituuskasvun riippuvuus etäisyydestä lannoitejuovaan.

45. Päätelmiä käytäntöä varten

Moottorikelkka on periaatteessa ihanteellisesti talvilevitykseen soveltuva vetokone. Tutkitussa työyksikössä on ollut kuitenkin kehittämisen varaa. Samoin valmistajan mainoslehtisen antama kuva työskentelyjäljestä on ollut harhauttava. Jos ko. yksiköllä olisi noudatettu annettuja ohjeita, ajolinjojen välimaastoon olisi jäänyt noin 10 metrin lannoittamaton kaista. Sittemmin vetokonetta on parannettu asentamalla siihen vaihteisto. Lisäksi levitinosaan on ilmoitettu tehdyn muutoksia. Valmistaja on laatinut myös yksityiskohdaisemmat käyttöohjeet.

Ajatellen suometsien lannoituksen tulevaisuutta olisi levitysmenetelmiä kehitettävä siten, että lannoitteiden joutuminen ojaan estettäisiin täysin. Toisaalta käytettävän lannoitteen pitäisi työjäljen takia olla rakeistettu. Normaali-levyisten sarkojen lannoituksen tulisi tapahtua kolmella ajolla siten, että keskisarkaa ajettaessa lannoite leviäisi molemmin puolin, muttei lentäisi 20 metrin päässä olevaan ojaan asti. Ravinteita eniten tarvitsevat laitaosan puusotot lannoitettaisiin ojasta päin siten, ettei lannoitteen ojaan joutuminen olisi mahdollista. Vesistöjen suojelun lisäksi tällä olisi merkitystä ojien perkaamistarpeen vähentämisen kannalta.

Lannoitteiden levityskysymystä kokonaisuudessaan tarkasteltaessa tulisi työjäljen tasaisuuden ohella selvittää, mitkä ovat kulloinkin käytetyn menetelmän edut ja haitat. Itse asiassa levitystasaisuus aiheuttaa tutkimusten mukaan suurempia menetyksiä vasta, kun alueelle jää täysin lannoittamattomia kaistoja. Tässä mielessä hyvinkin erilaisen työjäljen antavat menetelmät ovat lähellä toisiaan. Sitä vastoin levitystyössä käytettyjen koneiden - lähinnä traktorin - puusotolle aiheuttamat vauriot (vrt. Gustavsson 1971) sekä ravinteiden suoraan ojaanjoutumisesta seurauksena oleva ojien umpeenkasvu saattavat aiheuttaa huomattavaa taloudellista vahinkoa.

5. TIIVISTELMÄ

Metsäntutkimuslaitoksen Pyhäkosken tutkimusasemalla suoritettiin kevättalvella 1972 lannoitteiden levitystasaisuustutkimuksia käyttäen moottorikelkkaan kytkettyä keskipakoislevitintä. Koska lannoitteen raekoolla on selvä vaikutus työskentelyn nopeuteen ja levitysjälkeen, kokeilut suoritettiin viidellä eri lannoitteella, jotka olivat:

- suometsien PK-lannos, joka on varsinainen talvilevityksessä kyseeseen tuleva lannoite.
- kotimaisesta Sokliojan löydöksen fosforiitista valmistettu PK-lannos.
- hienofosfaatti, joka edusti kokeessa erittäin hienorakeista lannoitetta.
- oulunsalpietari, jota normaalisti ei levitetä lumelle, edusti puolestaan rakeista lannoitetta (nykyinen rakeinen suometsien PK-lannos on raekooltaan vastaava).
- metsänitraatti vastaavasti oli mukana mahdollisimman suurirakeisena lannoitteena.

Nämä yhdessä muodostivat raekoon suhteen katkottoman vaihteluvälän pölymäisestä lannoitteesta aina sormenpäänkokoisiin rakeisiin.

Työjäljen tutkiminen tapahtui käyttäen useita näytteiden keräämiseksi rakennettuja "koeratoja", jotka muodostuivat ajo-
linjan molemmin puolin hangen pinnan tasoon eri etäisyyksille asetetuista 1 dm:n suuruisista muovirasioista. Levityskertoja suoritettiin useita aina ennen näytteiden keräämistä. Osa ajoista tapahtui samaan suuntaan, osa edestakaisin. Ajolinjan asentoa vaihdeltiin tuulen suhteen.

Raekoko vaikutti hyvin selvästi työjälkeen siten, että hienorakeisista lannoitteista pääosa jäi levittimen välittömään läheisyyteen. Sitä paitsi tuulella oli tällöin voimakas

vaikutus tasaisuuteen. Rakeiset lannoitteet levisivät taiseemmin ja kauemmaksi.

Levittimen rakenteen itsessään todettiin aiheuttavan epätasaisuutta levitysjäljessä. Takaa katsoen oikea suutin saa lannoitteen ensin ja ylempi vasemman puolen suutin loput. Tämä jäljelle jäänyt määrä näytti olevan selvästi oikealle puolelle tulevaa määrää pienempi.

Sen lisäksi, että kaikkien lannoitteiden kohdalla havaittiin selvästi tapahtuvan lajittumista raekoon mukaan, kiinnitettiin huomiota ravinteiden erilleen joutumiseen. Koska suometsien PK-lannoksessa ovat fosfori- ja kaliosa vain mekaanisesti toisiinsa sekoitettuina, tapahtui myös lajittumista siten, että kalisuola kasaantui määrätylle etäisyydelle ja fosforiosa toisaalle.

Tarkasteltaessa levittimen työjäljen epätasaisuuden vaikutusta puiden kasvuun voidaan todeta laitteen ajolinjojen etäisyyden oikean valinnan olevan ratkaisevan tärkeän. Jo 3 - 4 metrin täysin lannoittamattomat välikaistat aiheuttaisivat suoritettujen erillisselvitysten mukaan jopa 20 prosentin kasvutappion. Sitä vastoin pinta-alayksikköä kohden tulevan lannoitemäärän vaihtelulla ei ole niin suurta merkitystä.

Metsälannoituksen koneellistaminen on lähitulevaisuudessa välttämätöntä. Suoritettaessa levitys lumikelillä näyttäisi moottorikelkka soveltuvan suometsien lannoitukseen erityisen hyvin. Tulokset osoittivat itse levittimessä sekä levitysmetodiikassa olevan vielä kehittämisen varaa ja toisaalta antoivat selvät viitteet käytettävien lannoitteiden rakeistamisen suuntaan.

Tutkimuksen jälkeen valmistaja on tehnyt levittimeen parannuksia, jonka lisäksi vetokone on saatavissa vaihteistolla varustettuna. Samoin on laitteella pääasiassa levitettävä suometsien PK-lannos saatavana myös rakeisena. Ojitettujen turvemaiden erikoisvaatimukset vesistöjen saastumismielessä olisi kuitenkin otettava nykyistäkin paremmin huomioon kehittämällä koneelliset lannoitteenlevitysmenetelmät sellaisiksi, että lannoitteiden suora ojaan joutuminen tulisi täysin estetyksi.

KIRJALLISUUTTA

- Agricultural Aviation Research Section of Mississippi State University, USA. 1967. Evaluation of two fertilizer distributor systems on the CallAir A-9 agricultural aircraft. Agricultural Aviation. Vol. 9, n:o 1.
- ANDREASON, OVE. 1967. Undersökningar av spridningsjämnheten vid gödsling av skog från flygplan. Växtnäringsnytt 3: 27 - 30.
- ERIKSSON, LARS G. 1966. Traktorgödsling på försöksförvaltning. Skogen 9: 210 - 211.
- ERKEN, T - FAHLROTH, S. 1967. Gödslingsförsök på fastmark. Skogen 24: 626 - 628.
- GUSTAVSSON, RUNAR. 1971. Metoder vid skogsgödsling. Traktor Journalen 8: 458 - 466.
- 1972. Fastnar gödseln i trädkronorna? Skogen 8: 272 - 274.
- HAUSSER, KARL. 1965. Zur Ausbringung von Stickstoffdüngemitteln im Walde. Allgemeine Forstzeitschrift 49.
- HÄGGSTRÖM, BÖRJE. 1967. Spridningsmetoder vid skogsgödsling. Växtnäringsnytt 2: 23 - 26.
- IKKELÄ, PAULI - LUKINMAA, ANTERO. 1973. Moottorikelkka-levitintä osattava käyttää oikein. Metsä ja Puu 2: 24 - 25.

- KARSISTO, KALEVI. 1973. Vielä lannoitteen moottorikelkka-levityksestä. Metsä ja Puu 4.
- KARSISTO, KALEVI - ISSAKAINEN, JORMA. 1972. Lannoituksen levitykseen enemmän huomiota. Metsä ja Puu 12: 17 - 20.
- MEAD, J. D. 1968. A Growth Study in an Aeriallytopdressed Pinus radiata Stand at Riverhead Forest. New Zealand Journal of Forestry. Vol. 13:2: 229 - 238.
- NOER, HALVOR. 1968. Hvor jevnt blir gjødsla spredd ved flyggjødsling? Norsk Skogbruk 20: 457 - 458.
- Sterner Aero AB. 1972. Skogsgödsling med flyg. Leksand.
- Traktor Journalen. 1971. Sprider handelsgödselspridaren ojämnt? Traktor Journalen 5: 296. (Anonymi)
- WÜNCH, WOLFGANG. 1965. Die pneumatische Stickstoffdüngung im Walde. Allgemeine Forstzeitschrift 49.

SUMMARY

Some experiments concerning the even spreading of fertilizers were set up at the Pyhäkoski experimental station of the Forest Research Institute in the early spring of 1972. The spreading was carried out by using a centrifugal spreader attached to a snowmobile. Five different fertilizers were applied, as it was known that the size of fertilizer particles affected the working speed and spreading outcome:

- A PK-fertilizer for swamp forests, fit for winter spreading.
- A PK-fertilizer made of Finnish apatite from Soklioja deposit.
- Rock phosphate represented a very finely granulated fertilizer.
- Oulu saltpeter, which is not usually spread on snow, represented a granular fertilizer.
- Ammonium nitrate was included as an example of a very coarsely granulated fertilizer.

As regards the size of granules these fertilizers formed a continuum from dustlike granules to those of the size of fingertips.

The investigation of the spreading outcome was performed by using "test lines" designed for sampling. Plastic cubes (size 1 dm²) were placed at varying intervals on both sides of the driveway on the level of snow surface. Several spreadings were done before sampling. On each line some drives occurred one way, the others both ways. The position of the driveway was changed with regard to the wind.

The size of the granules affected the outcome so that the finest granules remained mainly in the immediate neighbourhood of the spreader. Moreover, the wind had a strong influence on the evenness. The granular fertilizers were spread more evenly and farther.

The spreader itself proved to create unevenness. It seemed, when looking from behind, that the right nozzle received the fertilizer before the upper left one. The amount received by the left nozzle seemed to be considerably smaller than that received by the right one.

There seemed to be a distinct sorting out according to the size of granules in all fertilizers. The biggest granules few farthest and the smallest remained closest, due to the properties of the centrifugal spreader. Since in the PK-fertilization of swamp forests phosphorus and potassium are only mechanically blended with each other, there occurred sorting out in the following way muriate of potash was heaped at a certain distance and phosphorus at another.

When investigating how the unevenness of the spreading affects the growth of trees, it can be shown that a correct choice of space between driveways is vital. Completely unfertilized space of even 3 - 4 meters would cause a clear growth loss according to independent studies. Whereas a change in the amount of fertilizers per areal unit was of lesser importance.

The mechanization of forest fertilization will be necessary in the near future. When the spreading occurs on snow-covered ground, it seems that the snowmobile is very well suited for the fertilization of swamp forests. The results obtained showed that the spreader itself and the spreading method still require improvement. On the other hand the results showed distinctly that the use of fertilizers with bigger granules was more beneficial.

Explanations of the pictures

- Picture 1. Test lines designed for sampling. Plastic cubes (size 1 dm^2) were placed at intervals of 1 - 10 m on both sides of the snowmobile driveway on the level of snow surface. Several spreadings were done before sampling.
- Picture 2. Spreading of finely granulated PK- and Soklioja PK-fertilizers to different distances from the driveway. The direction of the wind was the same with the driveway.
- Picture 3. Spreading of the fertilizer to different distances from the driveway when using very coarsely granulated ammonium nitrate. The direction of the wind was the same with the driveway. The result is an average value of seven drives driven to and fro, when unevenness created by the spreader itself has been eliminated.
- Picture 4. An example of the spreading result of PK-fertilizer for swamp forests, when the wind has been blowing sideways. The fertilizer has not spread against the wind much farther off than 2,5 m.
- Picture 5. Unevenness created by the spreader. Drives occurred through the field to the same direction, used fertilizer was PK-fertilizer for swamp forests. The direction of the wind was the same with the driveway.
- Picture 6. Unevenness created by the spreader. Drives through the test field using Oulu saltpeter. The direction of the wind was the same with the driveway. The result is an average value of six drives.

Picture 7. The result given by several cubes at same distance from the driveway compared to the result given by bigger boxes (the broken line). The formers were placed ten at every distance, the latters were placed one at each sampling distance.

Picture 8. The correlation between the heigh growth of a lonely tree and the fertilized space.

