

PETRI KAPUINEN

LANNAN LEVITYS KASVUSTOON

APPLICATION OF SLURRY IN GROWING CROPS

OSA 2. Lietelannan levitysmahdollisuudet kasvavaan viljanoraaseen

PART 2. Application of slurry in growing cereals



VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS 73

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

VIHTI 1996

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
Agricultural Research Centre of Finland

VAKOLA

Maatalousteknologian tutkimuslaitos

Osoite
Vakolantie 55
03400 VIHTI

Puhelin
(90) 224 6211
12.10.1996 lähtien:
(09) 224 6211
Telefax
(90) 224 6210
12.10.1996 lähtien:
(09) 224 6210

Institute of Agricultural Engineering

Address
Vakolantie 55
FIN-03400 VIHTI
FINLAND

Telephone int.
+358 0 224 6211
After 12 October 1996:
+358 9 224 6211
Telefax int.
+358 0 224 6210
After 12 October 1996:
+358 9 224 6210

PETRI KAPUINEN

LANNAN LEVITYS KASVUSTOON

APPLICATION OF SLURRY IN GROWING CROPS

OSA 2. Lietelannan levitysmahdollisuudet kasvavaan viljanoraaseen

PART 2. Application of slurry in growing cereals

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS 73

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

VIHTI 1996

SISÄLLYSLUETTELO

KUVAILULEHDET

ALKULAUSE

1	JOHDANTO	8
2	KIRJALLISUUSKATSAUS	10
2.1	Karjanlannan eri ravinteiden häviöt ja niiden eri muotojen tärkeys suomalaisissa olosuhteissa	10
2.2	Levitysajan vaikutukset lannoitettaessa viljakasvustoja karjanlannalla ...	14
2.3	Levitysmenetelmien vaikutukset satoon, typen tappioihin ja maahan levitettäessä lietelantaa viljakasvustoon	15
2.4	Ajotekniikan ja levityskaluston vaikutus satotappioiden muodostumiseen levitettäessä lietelantaa viljakasvustoon sen eri kasvuvaiheissa	18
2.4.1	Ajotekniikan vaikutus satotappioiden muodostumiseen	18
2.4.2	Levityskaluston pyörien pintapaineiden vaikutus satotappioiden muodostumiseen	22
2.4.3	Vetopyörien luiston vaikutus satotappioiden muodostumiseen	23
2.4.4	Sijoitusvantaiden vaikutus satotappioiden muodostumiseen viljakasvustossa	24
2.4.5	Lannoituksen riittävän tasaisuuden asettamat vaatimukset lannanlevityskalustossa käytettävälle rivivälille	25
2.5	Lietelannan kasvustoon levittämisen taloudellinen mielekkyys viljelijän kannalta	26
2.6	Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto	27
3	AINEISTO JA MENETELMÄT	29
3.1	Kokeissa käytetty levityskalusto	29
3.2	Kokeet ja koejäsenet	30
3.3	Koekenttien perustaminen	31
3.4	Säätila kokeiden aikana ja sen vaikutus kokeisiin	32
3.5	Tehollinen lämpösumma ja sadanta	33
3.6	Satotappioiden ja puintikosteuden määrittäminen	34
3.7	Tuhannenjyvän painon ja rikkapitoisuuden määrittäminen	34
4	TULOKSET	35
4.1	Mahdollisuudet kasvustoon levittämiseen koevuotena ja yleensä	35
4.2	Tallauskoe	38

4.2.1	Tallaustappiot	38
4.2.2	Tallauksen vaikutus puintikosteuteen	42
4.2.3	Tallauksen vaikutus tuhannen jyvän painoon ja rikkapitoisuuteen	43
4.3	Sijoitusvyvyyskoe	44
5	TULOSTEN TARKASTELU	45
6	JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	50
7	TUTKIMUSTARPEITA	52
8	SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER	53
9	SUMMARY AND CONCLUSIONS	55
10	KIRJALLISUUS	58

Maatalouden tutkimuskeskus
Maatalousteknologian tutkimuslaitos
MTT/VAKOLA

Julkaisun päivämäärä
1.4.1996

Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri)		Julkaisun laji	
Petri Kapuinen		Tutkimusselostus	
		Toimeksiantaja	
		Maatilatalouden kehittämisrahasto	
		Toimielimen asettamispvm	
		21.2.1994	
Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)			
Lannan levitys kasvustoon Osa 2. Lietelannan levitysmahdollisuudet kasvavaan viljanoraaseen			
Julkaisun osat			
Osa 1. Lietelannan sijoituslaitteen rakenteelliset vaatimukset suomalaisissa olosuhteissa Osa 2. Lietelannan levitysmahdollisuudet kasvavaan viljanoraaseen			
Tiivistelmä			
<p>Lietelannan levityksestä kevätiljan oraalle aiheutuvat tallaustappiot ovat varsin kohtuulliset pintalevityksessä. Siinä kannattaa pyrkiä mahdollisimman suureen työleveyteen. Työleveyden ollessa 10 metriä ja lietevaunun telipainon 8 tonnia tallaustappiot jäävät runsaaseen 4 %:iin. Telipainon kasvu lisää satotappioita. Tallaustappioiden pienentämiseksi ei kannata hankkia entistä leveämpiä renkaita, koska pintapaineiden alentaminen renkaita leventämällä lisää satotappioita nopeammin kuin pintapaineen pienentäminen pienentää satotappioita tallatulla alueella. Myöskään entisiä kapeampia renkaita ei kannata hankkia vartavasten viljakasvustoon levittämistä varten, koska ero satotappioissa on niin pieni, että sen arvo ei kata renkaiden hankkimisesta aiheutuvia kustannuksia. Leveiden renkaiden ilmanpaine kannattaa kuitenkin alentaa niiden kantavuuden rajoissa mahdollisimman alas. Sopiva rengaspaine on noin 140 kPa. Pienimpiin tallaustappioihin päästään kalustolla, jossa renkaiden leveys ja raideleveydet ovat yhtä suuret kaikilla akseleilla. Traktorin takarenkaiden ja lietevaunun renkaiden tulisi olla mahdollisimman korkeat parhaan kantavuuden saavuttamiseksi suhteessa tallattuun alueeseen. Lietevaunu tulisi olla varustettu teliakselistolla. Akselipainojen tulisi olla yhtä suuret traktorin taka-akselilla ja kummallakin lietevaunun akseleista. Jotta tähän tilanteeseen päästään on yksiakselisen lietevaunun akseli sijoitettava taaemmaksi kuin vastaava telin keinuakseli. Teliakselisen lietevaunun aisapainon tulisi olla noin 20 % sen kokonaispainosta, yksiakselisen noin 35 %. Tällöin sekä lietevaunussa että traktorin taka-akselilla voidaan käyttää samanlaista rengasvarustusta.</p> <p>Työleveyden ollessa 10 metriä totaalituho renkaiden tallaamalla alueella merkitsee korkeintaan 7,5 %:n satotappiota. Tallaustappioiden suuruutta voidaan arvioida ennakolta syntyvien pyöränjalkien syvyyden avulla. Versomisvaiheessa syntyneiden tallausvaurioiden aiheuttama sadonalennus pyöränjalkien alueella on noin 20 %-yks./cm. Jos tallaustappioita ei voida tästä merkittävästi pienentää, lannan sijoittaminen viljan oraaseen ei ole taloudellisesti mielekäästä. Sijoitusvantaat sinällään eivät aiheuta kohtuuttomia tallaustappioita, mutta sijoittamisessa työleveys jää niin pieneksi, että sijoitukseen liittyvät levityskaluston pyörien aiheuttamat tallaustappiot muodostuvat kohtuuttomiksi. Laatutappioita ei muodostu, jos tallausvauriot syntyvät viimeistään versomisvaiheessa.</p>			
Avainsanat (asiasanat)			
Lietelannan levitys oraalle, tallaustappiot, levityskalusto, rengasvarustus, akselipaino, telipaino, rengaspaine			
Muut tiedot			
Saatavana Maatalouden tutkimuskeskuksen maatalousteknologian tutkimuslaitokselta (MTT/VAKOLA)			
Puhelin (90) 224 6211			
Telekopio (90) 224 6210			
Sarjan nimi ja numero		ISSN	ISBN
VAKOLAN tutkimusselostus 73		0782-0054	
Kokonaissivumäärä	Kieli	Hinta	Luottamuksellisuus
	Tiivist. englanti, ruotsi		Julkinen
Jakaja		Kustantaja	
VAKOLA, Vakolantie 55, 03400 VIHTI			

Authors (if organ: name of organ, chairman, secretary) Petri Kapuinen	Type of publication Study report 73	
	Comissioned by	
	Date of setting up organ 21.2.1994	
English and Swedish title of publication Application of slurry in growing crops Part 2. Application of slurry in growing cereals		
Parts of publication Part 1. Structural requirements for a slurry injector in Finnish conditions Part 2. Application of slurry in growing cereals		
Abstract <p>The losses caused by wheeling are very moderate when applying slurry on the soil surface in growing spring cereals. The working width should be as big as possible. With 10 m working width and 8 t load on the tandem wheels of the tanker, the wheeling losses are slightly more than 4%. The wheeling losses increase with increased tandem load. It is not worth to buy wider tyres to reduce the wheeling losses, because reduction of the ground pressure by changing to wider tyres increase the wheeling losses faster than the reduction of ground pressure decreases the losses on the wheeled area. Nor is it worth to buy narrower tyres just for applying slurry in cereals, because the difference in yield loss is so small that the value of it does not cover the purchase costs for the tyres. However, it is recommended to reduce the tyre pressure of wide tyres as much as their carrying capacity allows. Suitable tyre pressure is about 140 kPa. The yield losses are minimized if the tyre width and the track width is the same on all axles. To achieve the biggest possible carrying capacity for the tyres in relation to the wheeled area, the diameter of the tyres should be as big as possible, both on the rear axle of the tractor and on the tanker. The tanker should have tandem wheels. The load on the rear axle of the tractor and the axle or axles of the tanker should be equal. To achieve this, the axle of a one-axled tanker should be located further back than the central axle of a tandem. The contribution of a tandem-wheeled tanker to the load on the rear axle of the tractor should be about 20% of the total weight of the tanker, and about 35% for a one-axled tanker. Then the same size of tyres can be used on both the tanker and the rear axle of the tractor.</p> <p>With 10 m working width, total yield loss in the ruts means 7.5% yield loss for the whole field. The yield losses due to wheeling can be approximated on the basis of the rut depth; the yield loss in the ruts caused by wheeling at the tillering stage is about 20 percentage points per cm rut depth. If the wheeling losses can not be significantly reduced from this level, injection of slurry in growing cereals is not economical. The injector coulters do not cause unreasonably big yield loss, but the working width of injectors is so small that the wheeling losses become unreasonable. The quality of the harvested grain, like moisture content and grain size, is not negatively affected by wheeling and injection, if the damages are caused at the latest at the tillering stage.</p>		
Key words Application of slurry in growing cereals, wheeling losses, application equipment, tyres, axle load, tandem load, tyre pressure		
Additional information Available at from the Institute of Agricultural Engineering (ARC/VAKOLA) Phone +358 0 224 6211 Fax +358 0 224 6210		
Name of series, number: VAKOLAn tutkimusselostus 73		ISSN 0782-0054
Name of series, number: VAKOLAn tutkimusselostus 73		ISBN
Pages	Language Finnish, tables and figures: English, Summaries: English, Swedish	
Sold by VAKOLA, Vakolantie 55, FIN 03400 VIHTI, FINLAND		Price FIM

ALKULAUSE

Maatalouden tutkimuskeskuksen maatalousteknologian tutkimuslaitos (MTT/VAKOLA) sai Maatilatalouden kehittämisrahastolta yksivuotiseen Lannan levitys kasvustoon -nimiseen tutkimukseen 200 000 markan rahoituksen. Tutkimus alkoi huhtikuussa 1994 ja päättyi elokuussa 1996. Tutkimus käsitti kaksi osaa: Lietelannan sijoituslaitteen rakenteelliset vaatimukset suomalaisissa olosuhteissa ja Lietelannan levitysmahdollisuudet kasvavaan viljanoraaseen. Kummastakin osasta on julkaistu oma erillinen raportti, joista jälkimmäinen on nyt kädessäsi. Ensimmäinen osa käsittelee sijoituslaitteen konstruointia ja mitoitusta erityisesti ajatellen lietelannan sijoitusta kasvavaan nurmeen suomalaisissa olosuhteissa. Tässä jälkimmäisessä osassa käsitellään levityskaluston pyörien ja sijoitusvantaiden aiheuttamia vaurioita viljakasvustossa ja keinoja niiden vähentämiseksi. Se käsittää kirjallisuuteen pohjautuvan tarkastelun olemassa olevasta tiedosta ja kokeellisen osan. Kirjallisuusosassa tarkastellaan kasvustoon levityksen tarpeellisuutta ja taloudellista merkitystä sekä sopivan levitysmenetelmän, haja-, letku- vai sijoituslevitys, sekä levityskaluston varusteiden ja ajotekniikan valintaa eri tilanteissa. Kokeellisessa osassa vertaillaan yksityiskohtaisesti levityskaluston eri rengasvaihtoehtojen ja akselipainojen sekä talousajankohdan sekä sijoitussyvyyden vaikutusta ohrasatoon ja sen laatuun. Lopuksi annetaan johtopäätöksissä arvio kirjallisuuteen ja kokeelliseen osaan perustuen menetelmän käyttökelpoisuudesta sekä suositus käytettävästä kalustosta ja ajotekniikasta.

Tutkimuksen vastuullisena tutkijana toimi agr., MMM Petri Kapuinen. Tutkimuksen ensimmäisen osan, Lietelannan sijoituslaitteen rakenteelliset vaatimukset, tekemiseen osallistui myös agr.yo. Anssi Manninen. Tutkimuksen valvojakunnan puheenjohtajana toimi ylitarkastaja Sini Wallenius maa- ja metsätalousministeriöstä. Muut jäsenet olivat tutkimusjohtaja Erkki Kemppainen ja professori Markus Pyykkönen Maatalouden tutkimuskeskuksesta sekä vt. lehtori Ilkka Sipilä Helsingin yliopiston maa- ja kotitalousteknologian laitokselta. Käsikirjoituksen tarkastamiseen on osallistunut lisäksi MML Laura Alakukku ja tutkimusassistentti Risto Sinisalo. Julkaisun ulkoasusta vastaa Tuovi Laaksonen.

Maatalouden tutkimuskeskuksen maatalousteknologian tutkimuslaitos kiittää maa- ja metsätalousministeriötä sekä tutkimuksen valvojakuntaa, jotka omalta osaltaan ovat edistäneet tutkimuksen tekoa ja onnistumista.

Vihdissä, 1. huhtikuuta 1996

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
Maatalousteknologian tutkimuslaitos

1 JOHDANTO

Kasvustoon levitetyn lietalannan fosforin ja kaliumin lannoitusvaikutus on täysin kilpailukykyinen väkilannoitteen vastaavien ravinteiden lannoitusvaikutuksen kanssa. Sen sijaan lietalannan typen lannoitusvaikutus on selvästi pienempi kuin väkilannoitteen typen. (RODHE ja SALOMON 1992a, s. 9.) Tämä johtaa siihen, että karjanlannan käyttö lannoitteena saastuttaa ympäristöä aina enemmän kuin lannoitusvaikutukseltaan vastaavan väkilannoitemäärän käyttö. Parhaillakin menetelmillä levitetyn karjanlannan liukoisen typen hyväksikäyttö vastaa väkilannoitteen typen hyväksikäyttöä levitettiin väkilannoite millä menetelmällä hyvänsä. Väkilannoitteen veroisen karjanlannan liukoisen typen lisäksi karjanlannassa on runsaasti orgaanista typpeä. Käytettiin mitä levitysmenetelmää hyvänsä, joutuu lannan orgaaninen typpi suurimmaksi osaksi ennemmin tai myöhemmin hallitsemattomaan tilaan luontoa saastuttamaan. Varmaa on kuitenkin, että lantaa muodostuu niin kauan kuin kotieläintuotteita tuotetaan ja käytetään. Samoin on varmaa, että karjanlanta saastuttaa ympäristöä käytettiin sitä lannoitteena tai ei. Kuitenkin, jos sitä ei käytetä lannoitteena, saastuttaa se vielä enemmän kuin lannoitteena käytettäessä. Ympäristön kannalta kaikkein haitallisimpia lannan ilmenemismuotoja ovat ne, joissa suuri osa tuestä on orgaanisessa muodossa yhdistettynä avoviljelyyn. Merkittävä osa lietalannan mutta varsinkin palaneen kuivikelannan tuestä on orgaanisessa muodossa, joka ei ole ainakaan suoraan kasvien hyödynnettävissä, ja karjanlannan liukoinenkin typpi, joka on suoraan kasvien hyödynnettävissä ja väkilannoitteiden typen kanssa samanlaisessa muodossa, on alttiina haihtumiselle levityksen yhteydessä tai sen jälkeen, huuhtoutumiselle pintavalunna pintavesiin tai vajoveden mukana pohjavesiin tai denitrifikoitumiselle. Typen lisäksi keskeisiä maasta ylimäärin annosteltuna pohjavesiin huuhtoutuvia ravinteita ovat vain kalsium ja natrium. (CATT 1993.) Käytännössä tämä johtaa siihen, että kaikki lannan ravinteiden hyväksikäytön parantamiseen tähtäävät toimenpiteet kohdistuvat typen häviöiden pienentämiseen.

Vaikka viljelijä ei aina kykenekään mieltämään lannan ravinteiden, erityisesti typen, arvoa, on ravinnehäviöiden arvo kuitenkin keskeinen tekijä motivoimaan häntä käyttämisen lannanlevitysmenetelmien kehittämiseen tai kehittämättä jättämiseen. Nykyistä parempien lannanlevitysmenetelmien omaksumista käytäntöön haittaa se, että yleensä väkilannoitteen typen hinta on pieni verrattuna niihin kustannuksiin, joita aiheutuu karjanlannan typen hyödyntämisestä. Ja mitä pienemmäksi karjanlannan levityksessä muodostuvan liukoisen typen tappio-osuutta pienennetään, sitä kalliimmaksi muodostuu säästettyjen typpikilojen yksikkökustannus. Ensimmäisten typpihäviöprosenttiyksiköiden poistaminen lannanlevitysmenetelmää kehittämällä on kohtuullisen edullista, viljelijälle jopa taloudellisesti kannattavaa. Viimeiset säästetyt typpikilot maksavat lähes äärettömästi. Kun typpikilon veroton hinta väkilannoitteessa on noin 2,50 mk/kg ja väkilannoitetyypeä käytetään Suomessa keskimäärin 100 kg/ha, typpilannoituksen arvo on keskimäärin vain noin 250 mk/ha (KAPUINEN 1994a, s. 27, KAPUINEN 1994b, s. 184, ANON. 1992a).

Vaikka karjanlannan kaikki liukoinen typpi menetettäisiin käytetyn levitysmenetelmän takia, kuten yleensä käy levitettäessä lanta syksyllä hajalleen, sen korvaaminen väkilannoitetyypellä maksaa keskimäärin vain 250 mk/ha. Tällöin kaiken tuon liukoisen typen säästymiseen johtavat investoinnit saavat maksaa keskimäärin vain noin 1 900 mk/ha, jotta ne olisivat taloudellisesti mielekkäitä. Tämä ei käytännössä riitä edes lantavaraston rakentamiseen (ANON. 1992b, s. 6). Ympäristönsuojelullisten tavoitteiden saavuttamiseksi pitäisi viljelijän toimintaympäristö saattaa sellaiseksi, että viljelijän olisi yksityistaloudellisesti mielekästä toimia lannankäsittelyssä ympäristönsuojelullisesti hyväksyttävällä tavalla.

Taloudellisessa mielessä viljelijän ei kannata kehittää lannanlevitysmenetelmää suuntaan, jossa vuodessa säästettyä typpikiloa kohti joudutaan investoimaan koneisiin ja laitteisiin yli 20 markkaa. Jos lannoitustaso on 100 kg/ha, yhden prosenttiyksikön liukoisen typen tappioiden pieneminen saa maksaa investointikuluina vain tuon 20 mk/ha. Tämä edellyttää tietysti, että sato ei muutu levitysmenetelmän muuttumisen takia. Yhdellä typpikilolla saadaan keskimäärin noin 20 rehuyksikköä. Tällöin lannanlevitysmenetelmää ei kannata kehittää suuntaan, joka laskee satoa enemmän kuin 20 ry säästettyä typpikiloa kohti, vaikka kehitys ei maksaisi mitään. Typen häviöiden pienentäminen 1 prosenttiyksiköllä saa siten aiheuttaa korkeintaan noin 0,6 %:n satotappiot, jos pienentäminen ei maksa lainkaan kiinteiden tai muuttuvien kustannusten kasvuna. Jokainen hehtaaria kohti investoitu marka pienentää hyväksyttävää satotappiota 0,03 %-yksikköä.

Koska lannan typen arvo ei yleensä kata sen säästämiseen tähtäävien toimenpiteiden aiheuttamia kustannuksia, koska lannan muut ravinteet tulevat lähes kokonaan hyödynnettyä myös syyslevityksessä, koska häviävä typpi voidaan korvata lisäämällä levitysmäärää tai käyttämällä väkilannoitetyppitäydennystä ja koska tpestä ravinteena ei ole perinteisessä viljelyssä saatavuusongelmaa, yksittäisen viljelijän tavoitteena esimerkiksi kasvustoon levittämisessä on ainoastaan kasvustoon levittämisestä aiheutuvien satotappioiden ja kustannusten minimoiminen ympäristön kannalta hyväksyttävällä typpitappioiden lannanlevityksen aikana ja välittömästi sen jälkeen. Tämä hyväksyttävä taso voi perustua ympäristömääräyksiin tai vaikka ympäristötuen saamisen ehtoihin. Häviävä typpi aiheuttaa ympäristöongelmia, mutta yksittäisellä viljelijällä ei ole taloudellisia mahdollisuuksia toimia ympäristönsuojelulliselta pohjalta, vaan hän joutuu toimimaan yksityistaloudelliselta pohjalta minimivaatimusten puitteissa. Kun viljasta maksettava tuottajahinta aleni EU-jäsenyyden myötä ja vastaavasti hehtaari pohjainen tuki kasvoi, pieneni esimerkiksi kasvustoon levityksestä aiheutuvien kasvustovaurioiden aiheuttaman sadonalennuksen markkamääräinen arvo lähes puoleen entisestä. Siten kasvustoon levittämisen aiheuttamat tallastappiot eivät vähennä viljelijän ansioita siinä määrin kuin ennen, mutta kuitenkin niin paljon, että typen säästäminen tällä keinoin ei ole viljelijälle taloudellisesti mielekästä. Jos kasvustoon levittämistä halutaan käyttää ympäristöhaittojen vähentämisen keinona, on sen käyttämisen tuotava viljelijälle taloudellisia etuja esimerkiksi ympäristötuen muodossa. Tuen suuruuden tulisi olla runsaat sata markkaa hehtaaria kohti vuodessa, jotta se kattaisi aiheutetut noin 5 %:n satotappiot.

Kasvustoon levittämisestä aikaisemmin tehdyt tutkimukset ovat kohdistuneet pääasiassa lietalannan aiheuttamien satovaikutusten tutkimiseen. Kasvustoon levittämistä koskevien tutkimusten yhteydessä on jonkin verran selvitetty myös sijoitusvantaiden ja levitysvaunun pyörien aiheuttaman kasvuston tallautumisen vaikutuksia. Lisäksi joitakin suppeita tutkimuksia on tehty vetävien pyörien luiston aiheuttamista satotappioista. Ensimmäisenä mainittujen tutkimusten, joissa eri satotappiokomponentteja ei ole selvitetty erikseen ja joihin yhdistyy lannan mukanaan tuomat epämääräiset ravinnemäärät, tuloksista ei voi sanoa mitään satotappioiden suuruudesta tai edes sadon laadun tappioista, koska vaikuttavia tekijöitä ei ole erotettu toisistaan. Lietelannan ravinteiden vaikutusta kasvustoon tulee tutkia erillään levityskaluston vaikutuksista ja päinvastoin. Lisäksi levityksen vaikutuksia tutkittaessa on eriteltävä sijoitusvantaiden, kasvuston talleantumisen ja vetopyörien luiston vaikutukset. Talleantumisen ja vetopyörien luiston vaikutuksista on selvittävää yksittäiset todelliset tekijät erikseen. Esimerkiksi useissa rengaskoon vaikutuksia selvittävässä tutkimuksissa, jotka on tehty lähinnä joidenkin rengastyypin myyminenestämistarkoituksissa, on yhdistetty keskenään ilmatilan korkeus, renkaan leveys, renkaan ilmanpaine ja ripojen korkeus, jolloin todellisen vaikuttavan tekijän esille saaminen on vaikeaa tai mahdotonta. Tutkimuksissa on aivan yleisesti muutettu kahta tai useampaa tekijää yhtäaikaan, jolloin tuloksilla ei ole useinkaan mitään virkaa muussa tarkoituksessa kuin kahden tuotteen välisessä vertailussa. Näin ollen esimerkiksi vetopyörän luiston vaikutuksia tutkittaessa on kaikki edellä mainitut tekijät tutkittava erikseen eli yhtä tekijää kerralla muuttamalla. Keskeisin sija kasvustoon levittämisen tutkimuksessa on juuri tallausvaikutusten ja vetopyörän luiston vaikutusten tutkimisessa, koska se on pohjana kaikessa kasvustoon levittämisessä tapahtui se sitten sijoittamalla tai pinnalle levittämällä levitysvaunulla tai vieläpä sadettimella. Samalla tapaa koko kasvustoon levittämisen pohjana on itse lannan satovaikutukset, mutta niistä on poistettava levitystavan vaikutukset. Tässä tutkimuksessa on keskitytty juuri tallauksen ja vetopyörien luiston vaikutuksiin.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Karjanlannan eri ravinteiden häviöt ja niiden eri muotojen tärkeys suomalaisissa olosuhteissa

Pellolle levitetyn karjanlannan tyyppi voi hävitä neljällä tavalla: haihtumalla ammoniakkinä ilmaan, huuhtoutumalla pintavalunton mukana pintavesiin, painumalla vajovesien mukana pohjaveteen tai haihtumalla denitrifikaation kautta ilmaan. Eri häviämistapojen merkitys riippuu pellon topografiasta, maalajista, maanmuokkauksesta, sääolosuhteista ja kasvustosta.

Ammoniakin haihtuminen riippuu lähinnä sääolosuhteista ja pellon kasvustosta. Ammoniakin haihtuminen keskittyy levityksen jälkeisiin lähitunteihin. Kasvusto vähentää

ammoniakin haihtumista merkittävästi. Kylmä ja kuiva maa vähentää ammoniakin haihtumista, samoin kylmä ja kostea säätila. Sijoittamalla ammoniakin häviöt pienevät lähes olemattomiin. (McGARITY ja RAJARATNAM 1973, s. 126, BEAUCHAMP ym. 1978, s. 143 - 146, LAUR ym. 1976, s. 140, MOLLOY ja TUNNEY 1983, s. 44.) Pintalevitys johtaa pahimmassa tapauksessa lähes kaiken ammoniumtyypen haihtumiseen.

Vaikka maatalouden aiheuttama vesistöjen typpikuorma on Suomessa pienempi kuin esimerkiksi Tanskassa, maatalous on kaikissa Pohjoismaissa suurin yksittäinen vesistöjen typpikuormituksen aiheuttaja. Sen osuus vesistöjen typpikuormasta, 65 %, on lähes sama kaikissa Pohjoismaissa. (KAUPPI 1993.) Viljapeltojen pintavalunnassa typpi kulkeutuu fosforin ja kaliumin tavoin pääasiassa maa-aineksen mukana. Vain pieni osa tuestä kulkeutuu pintavalunnoissa veteen liuenneena. Esimerkiksi kun syysvehnän typpilannoituksesta menetettiin hyvin sateisena talvena 6 - 10 % pintavaluntana, tästä veteen liennut typpi vastasi vain 1 % typpilannoituksesta. (CATT 1993.) Merkittävää typen pintavaluntaa voi olla vain silloin, kun merkittävä määrä maa-ainesta kulkeutuu pintavaluntana vesien mukana. Tämä johtaa siihen, että typen pintavalunnat ovat suurimmat siellä missä fosforinkin.

Pohjavesiin typpi joutuu nitraattina (JAAKKOLA 1986, s. 6). Maalaji vaikuttaa huuhtoutumien määrään. Nitraatin huuhtoutuminen pohjavesiin on merkittävintä läpäisevillä maalajeilla (RODHE ja SALOMON 1992a, s. 16). Niinpä typen joutuminen pohjaveteen on Suomessa vähäisempää kuin Tanskassa (KAUPPI 1993). Jäykillä maalajeilla pintavalunnat ja ilman saasteet ovat vallitsevia. Ravinteiden huuhtoutuminen pohjavesiin on lähinnä keveiden maiden ongelma. Kun niillä lannan ammoniumtyppi imeytyy maahan nopeammin kuin jäykillä maalajeilla, aiheutuu läpäisevillä keveillä maalajeilla pohjavesien saastumista suhteessa ilman saastumiseen enemmän kuin jäykillä maalajeilla. Kokeissa, joissa karkeilta hietamailta huuhtoutui jopa 30 kg/ha typpeä vuodessa, hiesu-, savi- ja turvemaista huuhtoutui vain 1 - 4 kg/ha vuodessa. Runsaat sateet lisäävät huuhtoutumia karkeilla hietamailta enemmän kuin jäykillä maalajeilla. Niillä 200 mm:n sadetus kesän kuluessa nosti huuhtoutumat yli 40 kg:n typpeä hehtaaria kohti vuodessa. Muilla mainituilla maalajeilla sadetus lisäsi huuhtoutumia vain vähän. Lisäksi pellon kasvusto vaikuttaa huuhtoutumiin. Savisilta kevätiljapelloilta huuhtoutuu typpeä yleensä 5 - 15 kg/ha vuodessa, nurmilla vain puolet tästä. Kun lannoitus on kohtuullista, viljapelloilla korkeintaan 100 kg/ha ja nurmilla 200 kg/ha, lannoitus ei juuri lisää nitraattityypen huuhtoutumia, vaan nitraattityypen huuhtoutumat ovat lähes yhtä suuria lannoituksesta riippumatta. Sen sijaan kesannointi kasvattaa nitraattityypen huuhtoutumat yli 50 kg:n hehtaaria kohti. (JAAKKOLA 1986, s. 6.) Suomessa nitraattityypen huuhtoutumat ovat selvästi pienemmät kuin esimerkiksi Tanskassa, jossa vesistöihin valuu 57 - 72 kg N/ha vuodessa. Suomessa vesistöihin valuu nitraattityppeä keskimäärin vain 7,6 - 20 kg N/ha vuodessa (KAUPPI 1993). Karjanlannan orgaaninen aines käyttäytyy samalla tavalla kuin muustakin lähteestä tullut maan orgaaninen aines. Karjanlannan orgaaninen typpi joutuu nitraattina vesistöön vuosikymmenien kuluessa, jos maa ei ole kaiken aikaa kasvipeitteinen. Esimer-

kiksi avokesannosta huuhtoutuu orgaanisesta aineesta hajonnutta nitraattia pohjavesiin vuosikymmeniä. Lisäksi pelloilla, joilla viljellään yksivuotisia kasveja, nitraattitypen huuhtoutumat pohjavesien kautta vesistöön ovat suuria syksyllä sadonkorjuun jälkeen, koska orgaaninen aines hajoaa maassa pitkään sadonkorjuun jälkeen kasvukauden vielä jatkuessa ja sateiden ollessa runsaita.

Denitrifikoituminen on merkittäväntä jäykillä maalajeilla (RODHE ja SALOMON 1992a, s. 16). Pellosta denitrifikaation kautta häviävän typen määrä on 10 - 200 kg/ha vuodessa maan kosteus- ja nitraattipitoisuudesta riippuen (RODHE ja SALOMON 1992a, s. 19). Arviot sen määrästä vaihtelevat kuitenkin paljon. Esimerkiksi JAAKKOLA (1986, s. 7) esittää, että ne olisivat vain 5 - 40 kg/ha vuodessa. Suomessa denitrifikaatio on kuitenkin merkityksellisempi kuin nitraattitypen huuhtoutuminen vesistöihin (JAAKKOLA 1986, s. 7). Hyvin jäykillä mailla karjanlannan typen tappiot ovat ensisijaisesti ilmansaasteita. Maalajin muuttuessa karkeammaksi karjanlannan typen tappioiden luonne muuttuu pintavesiä saastuttavan kautta pohjavesiä saastuttavaksi.

Ammoniakin haihtuminen ja denitrifikaation kautta ilmaan kaasuna vapautuva typpi yhdessä aiheuttavat sen, että Suomessa lannan typen ilmaa saastuttava merkitys on suurempi kuin sen vesistöjä saastuttava vaikutus ainakin vertailtaessa typpitappioita määrällisesti. Typpitappioiden muodot saattavat poiketa toisistaan vaarallisuudessaan siten, että tilanne kääntyy toisinpäin tarkasteltaessa haittavaikutusten suuruutta.

Karjanlannan typpi on sen helpoimmin häviävä ravinne. Samalla se on keskeisimmin sadonmuodostukseen vaikuttava ravinne, jolloin levitysmäärät useimmiten määritetään kasvien käytettävissä olevan typen mukaisesti. Jos karjanlannan typen annetaan suurelta osaltaan hävitä levityksen yhteydessä ja välittömästi sen jälkeen ammoniakkinä ilmaan ja myöhemmin pintavaluntana ja pohjavesien kautta vesistöihin, joutuvat kasvien saamat ravinmäärät epätasapainoon. Ne saavat, levitysmäärien ollessa edellä esitetyllä tavalla määritetty, typpitappioista huolimatta riittävästi typpeä, mutta selvästi liikaa fosforia ja kaliumia. Vaikka viime mainitut ravinteet eivät haihdukaan typen tavoin ilmaan eivätkä myöskään huuhtoudu helposti pohjavesiin, kertyy niitä viljelysmaille tarpeettoman suurina määrinä. Kun kertymä on tarpeeksi suuri, huuhtoutuvat myös nämä ravinteet pohjaveteen. Samalla niiden pitoisuus pintamaassa ja pintavalunnan mukana kulkeutuvassa maa-aineksessa kasvaa. Typen häviöt johtavat siten ajan myötä myös vesistöjen fosfori- ja kaliumkuormien kasvuun. KAUPIN (1993) mukaan pohjoismaista juuri Suomen maatalouden aiheuttama fosforikuorma on suurin, 0,9 - 1,8 kg/ha viljelysmaata vuodessa. Tanskassa, Ruotsissa ja Norjassa fosforipäästöt ovat vastaavassa järjestyksessä: 0,2 - 0,4 kg/ha, 0,4 - 0,5 kg/ha ja 0,7 - 1,4 kg/ha viljelysmaata vuodessa. Suomessa 41 % makean veden fosforisaasteista on peräisin maataloudesta. Tanskassa vastaava osuus on vain 15 %. Suomessa meriveden fosforikuormasta 45 - 91 % on peräisin maataloudesta, Ruotsissa vain 13 %. Suomen ilmasto, maalajit ja topografia aiheuttavat yhdessä sen, että pintavalunnan riski Suomessa on selvästi suurempi kuin esimerkiksi Tanskassa.

Pintavaluntojen määrä vaihtelee viljelykasvin ja viljelytekniikan suhteen. Suurikaan pintavalunta ei yleensä ole haitallista, jos se ei johda suuriin maa-aineksen menetyksiin. Nurmi menettää yhtä suurilla pintavalunnoillakin vähemmän maa-ainesta kuin syysviljapelto, kynnetty kevätiljapelto tai kesanto. Lisäksi yhtä suuret sadannat aiheuttavat nurmissa pienemmän pintavalunnon kuin syysviljapellossa, kynnetyssä kevätiljapellossa tai kesannossa. Syysviljapelto saattaa menettää pintavalunnassa maata 25 tn/ha, kesanto 15 tn/ha ja kynnetty maakin 5 tn/ha vuodessa. Nurmet voivat menettää korkeintaan noin 1 tn/ha maata vuodessa. Yhden tonnin huuhtoutumisen mukana huuhtoutuu noin 1,2 kg fosforia. Pintaan levitetyn lannan typen häviöistä aiheutuva haitta on pienin nurmissa, koska lannan mukana tuleva ylimääräinen fosfori ja kalium säilyvät nurmessa paremmin kuin muissa viljelyksissä, mutta yleisesti ottaen esimerkiksi pintaan levitetty väkilannoitefosfori lisää fosforin pintavalumia, koska se aiheuttaa maan pinnan fosforipitoisuuden kasvua ja fosforin huuhtoutumista pintavalunnon mukana suoraan väkilannoiterakeista (TURTOLA ja JAAKKOLA 1985, s. 2). Koska nurmet yleisesti lannoitetaan pintaan, ovat niiden fosforipäästöt eroosion pienuudesta huolimatta suuremmat kuin sijoituslannoitettujen viljeltojen. Esimerkiksi Tanskassa vähämultaisilla hietamailla, joiden kaltevuus on noin 10 %, pahimmat pintavalumat tulevat avokesannoista. Vastaavasti pienimmät pintavalumat tulevat nurmista. Syysviljeltojen pintavalunnat ovat suuremmat kuin kynnöksellä olevien. Korjuun jälkeen sänkeen kasvamaan jäävän aluskasvin käyttö kevätiljapellossa vähentää pintavaluntaa kyntöön verrattuna. Poikkirinteen muokkaus pienentää pintavaluntaa verrattuna rinteen suuntaiseen muokkaukseen. Nurmilla ja kevätiljapelloilla, joille aluskasvi on jätetty kasvamaan sadonkorjuun jälkeen, pintavalunton määrän vaihtelu on myös varsin pieni vuosien ja peltolohkojen välillä. Kynnetyllä pellolla vaihtelu on hieman nurmien ja aluskasvustollisten kevätiljakasvustojen valunton vaihtelua suurempaa, mutta syysvilja- ja kesantopeltojen pintavalunnon määrän vaihtelu on erittäin suurta vuosien ja maan läpäisykyvystä riippuen. Yleisesti ottaen on kolme syytä, jotka voivat laukaista pintavalunnon: 1) yli 10 mm sade yhtenä päivänä, jos sitä seuraa sadetta muutamana päivänä, 2) vähän sadetta useana päivänä peräkkäin ja 3) sadetta tai sulamisvettä jäätyneellä maalla. Maalajilla ja sen käsittelyllä on kuitenkin suuri vaikutus pintavalunton suuruuteen. Savespitoisuuden kasvu vähentää pintavalunton aiheuttamaa eroosiota. Erityisen alttiita eroosiolle ovat hiesu- ja hienot hiekkamaat, joiden savespitoisuus on alle 5 %. (SIBBESEN ym. 1993, SCHJØNNING 1993.)

Suomessa sijoitustekniikan käyttöönotolla voidaan vähentää erityisesti typen ja fosforin pintavalunton, koska sijoitetun lannan ravinteet eivät jää aivan pintaan pintavesien huuhtottavaksi. Sijoitustekniikasta on etua muilla kuin karkeilla mailla, joilta sijoituksen aiheuttama pohjavesiin huuhtoutuvan nitraattitypen määrän lisäys voi olla yhtä suuri kuin mitä valunton ja ilmansaasteiden vähentyminen. Muilla kuin karkeilla maalajeilla nitraattitypen huuhtoutumat pohjavesiin voivat jopa vähentyä sijoitustekniikan käyttöönotosta, koska suurempi osa lannan liukoisesta tyydestä tulee hyödynnettyä kasvien kasvuun ja pyrittäessä siihen, että kasvit saavat tietyn suuruisen liukoisen typen annoksen

käyttöön, maahan tulevan orgaanisen typen määrä vähenee. Märissä olosuhteissa sijoitustekniikan käyttö saattaa kuitenkin lisätä denitrifikaatiota, jolloin joudutaan ojasta allikkoon myös muilla kuin karkeilla maalajeilla. Tätä haittaa voidaan kuitenkin pienentää muun muassa käyttämällä sijoitusvantaassa siipeä.

2.2 Levitysaajan vaikutukset lannoitettaessa viljakasvustoja karjanlannalla

Levitysaika on sadonmuodostuksen kannalta merkittävämpi tekijä kuin levitystekniikka. Jos eri levitystekniikoita verrataan keskenään samana levitysaikana, niiden välillä on hyvin vähän merkitseviä eroja. Vaihtelu sadossa on kuitenkin pienempää esimerkiksi letkulevitystä kuin hajalevitystä käytettäessä. (SALOMON ym. 1993.) Karjanlannan syyslevitys antaa selkeästi huonompia satotuloksia kuin levitykset kasvukauden aikana. Savimailla suurempi osa syksyllä levitetyn lannan tyydestä säilyy keväeseen kuin läpäisevillä maalajeilla. Kaikkein huonoimmat sadot saadaan, jos lanta levitetään kasvukauden ulkopuolella sulaan, märkään ja levityskalustoa upottavaan maahan, koska tämä johtaa siihen, että levityskaluston pyörien urat poutivat kuivan maan joutuessa niihin kylvömuokkauksen yhteydessä ja maan tiivistyessä pyöränjäljissä. (KEMPPAINEN 1985, s. 15.)

Parhaat kevätsadot saavutetaan levittämällä lietelanta kylvöpäivänä ennen kylvöä. Pyöränjälkien aiheuttamien satotappioiden lisäksi kasvustoon levittämässä satotappioita aiheuttaa ravinteiden saannin viivästyminen. Paras lietelannanlevitysaika keväällä on syysvehnälle pidempi kuin ohralle ja kauralle. Tämä johtuu lähinnä siitä, että syysvehnän vegetatiivinen kasvuvaihe on pidempi kuin kevätiljojen. Syysviljakasvustoja lietelannalla lannoittamalla saavutetaan satoja, jotka ovat yhtä suuria kuin vastaavalla väkilannoituksella vastaavana aikana lannoittamalla saatu sato; kun lanta levitetään aikaisesta kevästä aina siihen asti, että kasvusto saavuttaa 15 cm:n pituuden. Lannan levitys juuri ennen tähkimistä johtaa merkittävään sadonalennukseen verrattuna vastaavaan väkilannoitukseen. Koska syysvehnän kevätlannoitusta ei voida antaa ennen kylvöä, paras sato saavutetaan, kun liete levitetään kasvuston ollessa keväällä 15 cm pitkä. Aiemmassa vaiheessa kasvustoon tehty levitys johtaa edellä mainittua huonompaan satotulokseen. (RODHE ja SALOMON 1992b, RODHE ja SALOMON 1992a, s. 10 - 11, 17, 43.) Varsin todennäköistä on, että myös kevätsadon kohdalla tilanne on samankaltainen. Jos pintalevitystä ei tehdä ennen kylvöä, se kannattaa tehdä vasta, kun kasvusto on jo noin 15 cm:n mittainen. Tämä edellyttää kuitenkin starttityypilannoituksen käyttöä.

KEMPPAINEN (1985, s. 27 - 29) mukaan lietteen levitys kylvön jälkeen viivästyttää esimerkiksi ohran tuleentumista. Tämä johtuu siitä, että aikaisella levityksellä saavutetaan parempi ammoniumtypen hyväksikäyttö kuin myöhäisellä (SALOMON ym. 1993). Eri viljalajien ja jopa lajikkeiden väliset kasvurytmit poikkeavat toisistaan (RODHE ja SALOMON 1992a, s. 17). Tämä johtaa siihen, että oikea lannan levitysaika vaihtelee kasvilajeittain, jopa lajikkeittain.

SALOMONin ym. (1993) ja KEMPPAISEN (1985, s. 38) mukaan levityksellä ei yleensä ole vaikutusta sadon typpipitoisuuteen, mutta levitys tähkien tullessa esiin nostaa syysvehnäsadon typpipitoisuutta. Koska levitysaika ei vaikuta kevätiljan valkuaispitoisuuteen merkittävästi ennen tähkimistä tehtynä, johtaa aikaisella levityksellä saavutettava suurempi sato myös suurempaan valkuaispitoisuuteen. Kuitenkin KEMPPAISEN (1985, s. 17) mukaan lietelannan levitys kylvöjen jälkeen nostaa sadon typpipitoisuutta verrattuna ennen kylvöjä tehtyihin. Sillä on myös pintikosteutta lisäävä vaikutus. Levittäminen viikko kylvön jälkeen ei ole vielä kohtalokkaan haitallista pintikosteuden kannalta, jos typpimäärät ovat kohtuullisia (ANON. 1984, s. 26, 36). Tuhannen jyvän paino ja hehtolitraino sen sijaan ovat suurimmat levitettäessä liete ennen kylvöä (KEMPPAINEN 1985, s. 17).

2.3 Levitysmenetelmien vaikutukset satoon, typen tappioihin ja maahan levitettäessä lietelantaa viljakasvustoon

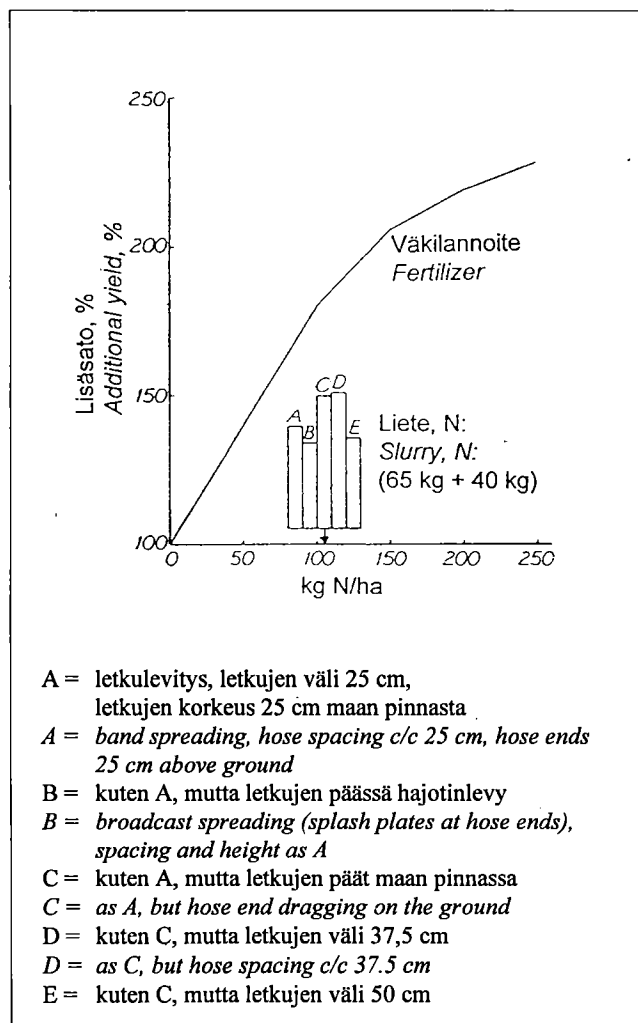
Lannan hajalevityksen suurin haitta viljelijän kannalta on typen lannoitusvaikutuksen vaikea ennustettavuus. Pintaan levitetyn lietelannan ammoniumtypen teho sadonmuodotuksessa on 40 - 60 % väkilannoitetypen vastaavasta. Aikaista kevätlevitystä lukuunottamatta erot samana levitysaikana eri levitysmenetelmien välillä ovat kuitenkin pienet. Aikaisin keväällä tehtynä hajalevitys antaa huomattavan kevätiljasadon kuin muut levitysmenetelmät 75 %:n todennäköisyydellä. Tämä on kuitenkin ravinteiden hyödyntämisen kannalta paras levitysaika, johon karjanlannan levitys olisi keskitettävä. Kevätiljakasvuston ollessa 2 - 3 -lehtivaiheessa liete kannattaa sijoittaa noin 5 cm:n syvyyteen, koska kasvuston kärsimät vauriot ovat tässä vaiheessa vielä vähäiset, mutta ammoniakkihäviöt pintalevityksessä vielä liian suuret. Kevätiljoille liete kannattaa levittää pintaan, kun kasvuston pituus on noin 15 cm. (PEDERSEN ja ØSTERGAARD 1991, s. 99 - 100, RODHE ja SALOMON 1992a, s. 21.)

Sijoitusvantaiden viljakasvustossa aiheuttamia vaurioita voidaan vähentää sijoittamalla lanta kylvörivien väliin. PETERSEN ym. (1993) mukaan sijoitusvantaat, joiden leveys oli 15 mm, väli 240 mm ja sijoitussyvyys 5 cm, eivät vaurioittaneet syysvehnäkasvustoa, joka oli kylvetty 24 cm:n riviväleihin. Syysviljakasvustoon levitettäessä levitysmenetelmien välillä ei ole eroja samoina levitysaikoina, koska myös aikainen kevätlevitys tehdään syysviljassa joka tapauksessa kasvustoon. (SALOMON ym. 1993.) HOFFMANNin ja HEGEn (1985, s. 19) mukaan syysohrasta saadaan yhtä hyviä satoja levittämällä sille letkulevittimellä lietelantaa kuin väkilannoitettakin jaettuina annoksina. Kasvustoon levittäminen soveltuukin viljoista parhaiten syysviljoille, koska ne pystyvät hyödyntämään lannan typen paremmin myös silloin, kun lanta levitetään ammoniakkin haihtumisen estämisen kannalta riittävän korkeeseen kasvustoon. Syysviljoille levitys voidaan aloittaa heti, kun maa on sulamisen jälkeen kuivunut niin paljon, että se kantaa lietelannanlevityskaluston, ilman pelkoa liian suurista ammoniakkihäviöistä. Aikaisin keväällä syysviljakasvustoon tehtävän levityksen aikana vallitseva sää vaikuttaa kuitenkin sadon typpipitoi-

suuteen. Mitä korkeampi lämpötila levityspäivänä vallitsee, sitä alemmaksi muodostuu sadon typpipitoisuus ja siten myös typpisato. (PETERSEN ym. 1993.)

Pintalevityksellä saatavat hyvät tulokset kasvustoon levitettäessä johtuvat siitä, että kasvit eivät ota typpeä pelkästään maan kautta, vaan myös kasvien lehdet ottavat ammoniakkia suoraan kaasumuodossa ja veteen liuenneina ammonium-ioneina, kuten esimerkiksi lehtilannoksena annetun urean (HUTCHINSON ym. 1972, DENMEAD ym. 1976, s. 163). Niinpä kasvustoon levitetyn lietalannan ammoniakkihäviöt voivat jäädä varsin kohtuullisiksi, jos sää on viileä, tyyni ja kostea. Lisäksi lietalannan johtaminen kasvien lehtien alle pienentää entisestään ammoniakkihäviöitä. Tämän takia on ryhdytty käyttämään letkulevitystekniikkaa. Letkulevitys antaa yleensä paremman satotuloksen kuin hajalevitys, kuten kuviosta 1 voidaan todeta. Niinpä esimerkiksi letkulevittimen letkujen päässä ei pidä käyttää hajoituslevyä, koska se johtaa selvästi huonompaan satotulokseen kuin lannan johtaminen suoraan letkusta kasvustoon hajoituslevyjen korkeutta vastaavalta korkeudelta. (SALOMON ym. 1993.) Tämä johtuu siitä, että kaistoihin levitetyssä lannassa on vähemmän pintaa, josta ammoniakkia haihtuisi. MORKENin (1991, s. 35) mukaan kaistat kuitenkin vain hidastavat ammoniakin haihtumista, eikä eroa letkulevityksen ja hajalevityksen välillä haihtuvan ammoniakin kokonaismäärässä ole.

Ensimmäiset sijoituslaitteet olivat syväsjoitukseen tarkoitettuja. Syväsjointus vähentää tehokkaasti hajuhaittoja, mutta sen suosiota rajoittaa menetelmän hitaus. Syväsjoituksessa käytetään suhteellisen harvaa noin 50 cm:n vannasväliä ja 12 - 18 cm:n sijoitusvyvyttä. Toisen sukupolven sijoituslaitteet ovat matalaan sijoittavia tai avoimeen vakoon sijoittavia. Matalasijoituksessa vannasväli on vain 20 - 30 cm ja sijoitusvyvyys 5 - 8 cm. Eräs mahdollisuus on aurata kaksoiskiekkovantaalla matalasijoitusta vastaava avoin vako, johon lan-



Kuvio 1. Eri pintalevitystapojen vaikutus satoon ammoniumtyppilannoituksen ollessa 65 kg/ha lannasta ja 40 kg/ha starttityppeä väkilannoitteena (SALOMON 1992).

Figure 1. Effect of different surface application methods on the yield, when the application rate regarding ammonium nitrogen has been 65 kg/ha from slurry and 40 kg/ha from fertilizer given as a starter fertilization.

ta johdetaan. (LINDVALL ym. 1972, s. 32, SALOMON ym. 1993.) Nämä toisenkin sukupolven sijoituslaitteet vähentävät hajuhaittoja huomattavasti, vaikkakaan ne eivät yllä tässä samalle tasolle kuin syvälle sijoittavat sijoituslaitteet (Anon. Ref. SALOMON ym. 1993, NIELSEN 1991, s. 27).

Lannan sijoittaminen kasvustoon nostaa kevätiljasatoa ja sen typpipitoisuutta pintalevitykseen verrattuna (KEMPPAINEN 1993, KEMPPAINEN 1985, s. 27 - 29). PETERSENin ym. (1993) mukaan sijoittamalla saavutetaan 5 % korkeampi sato kuin pintalevityksellä kasvuston ollessa suhteellisen lyhyttä. Naudan lietelannan sijoittaminen 6 - 16 päivää kylvön jälkeen nosti suomalaisissa tutkimuksissa ohrasatoa 5 - 42 % pintalevitykseen verrattuna (KEMPPAINEN 1989, s. 208 - 209). Tuloksissa on kuitenkin suurta vaihtelua. Yhteispohjoismaisessa tutkimuksessa sadonlisä oli Jokioisten kokeissa vain 11 %. Askovissa sadonlisä oli 22 %, ja Upsalassa sato jopa laski 5 %. Sikalalietettä sijoitettaessa vastaavat sadonlisät olivat: Jokioinen 24 %, Askov 7 % ja Upsala 0 %. Vastaavia tuloksia on saatu myös syysviljan kevätlannoituksista. (KEMPPAINEN 1993.)

Sijoitus on ympäristöystävällisempi lannanlevitysmenetelmä kuin pintalevitys, koska se vähentää ammoniakkin haihtumista ja hajuhaittoja sekä pintavalumia pintalevitysmenetelmiin verrattuna. Sijoitusmenetelmän käyttö estää ammoniakkin haihtumisen pellon pinnalta lähes kokonaan. Sijoitetun lannan tyypin haihtumistappiot jäävät alle 0,5 %:n levitetystä ammoniumtypestä. Pintalevitysmenetelmiä käytettäessä jopa 70 % ammoniakista haihtuu levityksen aikana tai välittömästi sen jälkeen. Sijoitusmenetelmän käytöstä saatava hyöty suhteessa pintalevitysmenetelmien käytöstä saataviin riippuu lannan ominaisuuksista, säästä levityksen aikana ja sen jälkeen sekä maan ominaisuuksista ja kosteustilasta. Sijoituksen edut pintalevitykseen nähden kasvavat sitä suuremmiksi mitä suurempi lietteen kuiva-aine- ja ammoniumtyppipitoisuus ovat. Ammoniakkin haihtumiseen vaikuttaa levitystavan lisäksi lannan kuiva-ainepitoisuus. Kun lietelannan kuiva-ainepitoisuus on pieni, myös ammoniakkihäviöt ovat pienet. Koska lietelanta, jossa on pieni kuiva-ainepitoisuus, imeytyy maahan nopeammin kuin lietelanta, jossa on suuri kuiva-ainepitoisuus, pieni kuiva-ainepitoisuus pienentää samalla eri levitysmenetelmien välisiä eroja. Kun lietelannan kuiva-ainepitoisuus on alle 5 %, on hajalevityksen ja letkulevityksen välinen ero ammoniakkihäviöissä varsin pieni ja ammoniakkihäviö kohtuullinen. Myös kasvuston sadettaminen lietelannan levityksen jälkeen tai lietelannan laimentaminen ennen levitystä alentaa ammoniakkihäviöt kohtuullisiksi. (PEDERSEN ja ØSTERGAARD 1991, s. 102, SOMMER ja CHRISTENSEN 1990, s. 412 - 417, RODHE ja SALOMON 1992a, s. 22, Klarenbeck ja Bruins Ref. RODHE ja SALOMON 1992a, s. 25, CHRISTENSEN 1985, s. 39, KOLENBRANDER 1981, VETTER ja STEFFENS 1981, AMBERGER 1991, s. 31, NIELSEN 1991, s. 29.) Laimennus suhteessa 1:0,5 ei johda vielä parempaan satotulokseen, vaan laimennoksen on oltava 1:1,5 (Klarenbeck ja Bruis Ref. RODHE ja SALOMON 1992a, s. 11, RODHE ja SALOMON 1992a, s. 11).

Pintalevityksestä aiheutuvat ammoniakkipäästöt riippuvat voimakkaasti levityksen aikana vallitsevista olosuhteista. Lämmin, kuiva ja tuulinen sää lisäävät sijoituksen edullisuutta

pintalevitysmenetelmiin nähden. Myös maan lämpötilan nousu lisää ammoniakkin haihtumista. Maan suuri ammoniakinsitomiskyky ja läpäisevyys pienentävät sijoitustekniikan edullisuutta. Kivennäismaiden ammoniakinsitomiskykyä selittää eniten niiden savespitoisuus. Maan suuri kosteuspitoisuus heikentää sen läpäisevyyttä. (KEMPPAINEN 1993, CHRISTENSEN 1985, s. 39.)

Sijoittaminen parantaa liukoisen typen hyväksikäyttöä 9 %-yksiköllä pintalevitykseen nähden (KEMPPAINEN 1993) ja nostaa syysvehnän typpipitoisuutta 10 % (PETERSEN ym. 1993). Levityspäivän sää ei vaikuta syysvehnän satoon, mutta maan lämpötila levityspäivänä vaikuttaa typen ottoon. Siten maan lämpötilan nousu 5 cm:n syvyydessä alentaa sadon typpipitoisuutta. 5 °C:n lämpötilaero johtaa noin 0,6 -1,0 %:n eroon valkuaispitoisuudessa. (PETERSEN ym. 1993.) Vastaavasti sade levityksen jälkeen pienentää eroa pintalevityksen ja sijoituksen välillä. (ANON. 1984, s. 23.) Peltoja, joille on levitetty lietettä sijoittamalla, ei pidä sadetta, koska sadetus lisää erityisesti denitrifikaatiota sijoitusvaossa (KEMPPAINEN 1985, s. 32).

Sijoitustekniikka ei ole yhtä edullinen jäykällä savimaalajeilla ja karkeilla kivennäismaalajeilla kuin tältä väliltä olevilla maalajeilla. Sijoitetun karjanlannan tyyppi kulkeutuu kasvukauden aikana syvemmälle maahan kuin pintaan levitetyn. Osa syynä tähän saattaa olla se, että sijoitetun lannan tuestä haihtuu ilmaan vähemmän kuin pintaan levitetyn, joten sitä myös riittää syvemmälle. Samalla lietelannan sijoittaminen edistää juuriston kasvua syvälle maassa kuivina vuosina, mikä edistää niiden veden saantia. Lietteen sijoittaminen parantaa myös maan mururakennetta verrattuna pintalevitykseen. Maan pH laskee sijoitusvaon kohdalla nitrifikaation takia. Vastaavaa ilmiötä ei pintalevityksen yhteydessä ole, koska suuri osa tuestä haihtuu jo pinnalla. Lisäksi sijoitus alentaa rikkakasvien määrää pintalevitykseen verrattuna. (ANON. 1984, s. 23, 29, 30, 33.)

2.4 Ajotekniikan ja levityskaluston vaikutus satotappioiden muodostumiseen levitettäessä lietelantaa viljakasvustoon sen eri kasvuvaiheissa

2.4.1 Ajotekniikan vaikutus satotappioiden muodostumiseen

Lietelannan levityksessä käytettävä kalusto on raskasta ja siten alentaa satoa maan tiivistymisen ja kasvuston talleantamisen kautta (SALOMON ym. 1993). Lisäksi levitettävä lietelanta itsessään painaa melkoisesti. Kasvuston talleantapioit kasvavat sitä suuremmiksi, mitä myöhemmäksi levitys viivästyy. Maan tiivistymisen aiheuttama satotappio on vain noin 0,1 %, kun sekä maan tiivistymisen ja kasvuston talleantamisen aiheuttamat tappiot yhdessä ovat noin 0,7 %. Näin ollen maan tiivistymisen vaikutukset ovat varsin vähäiset verrattuna pyörien suoraan vaikutukseen kasvustoon. (OLVÅNG ja JOHNSSON 1981, BRUNDIN ja RODHE 1990, s. 28.) Lisäksi lanta voi sinällään alentaa satoa peittämällä tai polttamalla kasvustoa (ARNOLD 1981, Boer, Kolenbrander ja Lande Cremer Ref. PRINS ja SNIJDERS 1987, s. 127 - 129, KÜNTZEL ym. 1987, s. 333 - 335).

Itse lietalannan levityskalustolla tallaamalla saatujen tulosten lisäksi levityskaluston aiheuttamia vaurioita viljakasvustossa voidaan arvioida niiden kokeiden tulosten perusteella, joita on tehty vastaavista vaurioista kasvinsuojeluruiskutusten yhteydessä. NILSSONIN ym. (1981, s. 175) mukaan ohrakasvusto nousee varhaisten ruiskutusten jälkeen käytännöllisesti katsoen kokonaan pystyyn, mutta myöhäisempien ruiskutusten jälkeen huonosti. OLVÅNGIN ja JOHNSSONIN (1990, s. 178) mukaan syysvehnä kärsii tallauksista myöhäisessä kasvuvaiheessa enemmän kuin ohra, mutta varhaisessa vaiheessa näiden kahden viljalajin välillä ei ole eroa tallauksensietokyvyssä. Siten varhaisessa vaiheessa tehdystä tallauksesta ei pitäisi olla haittaa kummassakaan tapauksessa. 12 - 15 cm:n syvyyteen sijoittavien sijoitusvantaiden ja lietevaunun pyörien aiheuttama jyväsadon alentuminen oli 100 kg/ha ajonopeuden ollessa 6 km/h ja 125 kg/ha ajonopeuden ollessa 12 km/h, kun levitys tehtiin 10 päivää kylvön jälkeen ohran orastuessa. Vastaavasti 20 päivää kylvön jälkeen tehdyn levityksen aiheuttamat satotappiot olivat 250 ja 295 kg/ha. (SKRIVER 1975, s. 2094.) Sijoitettaessa lietettä kylvettyyn viljapeltoon kasvustovauriot ovat ilmeisestikin pienimmät kasvuston ollessa mahdollisimman pientä, ehkä vielä maanpinnan peitossa (PEDERSEN ja ØSTERGAARD 1991, s. 99 - 100). Kun ammoniakki sitoutuu RODHEN ja SALOMONIN (1992a, s. 21) mukaan maahan tehokkaammin sijoitettuna kuin pinnalle levitettynä, sijoitustekniikan käyttäminen on mielekkäintä levitettäessä lietalantaa kasvustoon kylvön jälkeen, orastumisen aikaan ja vähän sen jälkeen. Kasvuston peitettyä maan sijoituksen aiheuttamat kasvustovauriot lisääntyvät verrattuna aikaisemmin tehtyyn levitykseen. Myös sijoituksen mukanaan tuoma kapea työleveys johtaa kohtuuttomiin tallaustappioihin pitkäksi venähtäneen kasvussa (SALOMON ym. 1993). Tällöin esimerkiksi levitys letkulevittimellä pellon pinnalle tulee kannattavammaksi suhteessa sijoitukseen, koska lannanlevittimen pyörien tallausvaikutus on tällöin pieni suhteessa sijoitusvantaiden aiheuttamiin kasvustovaurioihin ja kasvit suojaavat lannan ammoniakkia haihtumasta ottamalla sitä suoraan lehtien kautta ja maan pintakerroksesta vähentämällä auringon maata lämmittävää sekä tuulen maata kuivaavaa ja ammoniakkin haihtumista edistävää vaikutusta (HUTCHINSON ym. 1972, DENMEAD ym. 1976, s. 163).

Pintalevityksestä aiheutuva suurin mahdollinen tallaustappio syntyy, kun pyöränjalkien alueen kasvusto tuhoutuu täydellisesti. Esimerkiksi, jos pyöränjalkien leveyden oletetaan olevan 50 cm, edustavat ne 10 %:n osuutta 10 m:n työleveydestä. Tämä tarkoittaa sitä, että jos pyöränjalkien aluetta kohtaisi täystuho, tallaustappio olisi juuri 10 %:n suuruinen. Vastaavasti, jos pyöränjalkien leveys olisi vain 35 cm, pyöränjalkien alueen täystuho merkitsisi vain 7 %:n satotappiota. Esimerkit edustavat tyypillistä pintalevitystilannetta. Kummankin esimerkin mukaista satotappiota voidaan pitää jo hyvin merkittävänä. Käytännössä kasvusto ei kuitenkaan tuhoudu pyöränjalkien alueelta kokonaan, ja vaikka tuhoutuisikin, pyöränjalkien ympäristö kompensoi tallatun alueen sadonalennusta merkittävästi. Pyöränjalkien ympäristön kasvusto pystyy kompensoimaan jopa 80 % pyöränjalkien aiheuttamista tappioista, jos pyöränjaljet syntyvät hyvin varhaisessa vaiheessa. Kasvustoon

levittämisen kannalta mielekkäänä aikana syntyneiden pyöränjälkien satotappioita pyöränjälkien ympäristö voi kompensoida 30 - 65 %. Kompensaatio syntyy vain pyöränjälkiin rajoittuvissa kahdessa ensimmäisessä kylvörivissä, joten kompensaatioaste on kapean pyöränjäljen yhteydessä suurempi kuin leveän pyöränjäljen yhteydessä. (DARWINKEL 1984.) Tällöin satotappiot voisivat edellä esitetyissä esimerkeissä jäädä pyöränjälkien alueen täystuhosta huolimatta 2 ja 1,4 %:iin vastaavassa järjestyksessä tai realistisemmin 3 - 6,5 ja 2,1 - 4,6 %:iin vastaavassa järjestyksessä. Aikaisen levityksen aiheuttaman tallauksen aiheuttamaa satotappiota voidaan pitää jo varsin kohtuullisena.

Tutkimuksissa onkin saatu tätä tappiotasoa vastaavia tuloksia. Esimerkiksi KEMPPAINEN (1985, s. 37) kokeissa levityskaluston pyörien aiheuttaman tallauksen ja luiston aiheuttamat vauriot alensivat ohrasatoa orastumisvaiheessa noin 4,3 %. Viikko orastumisen jälkeen syntyneiden levityskaluston pyörien tallauksen ja luiston aiheuttamien vaurioiden aiheuttama ohran satotappio oli 1,1 %. Nämä tallaustappiot vastaavat noin kolmen metrin työlevyettä. Pyöränjälkien alueelle keskitettynä nämä tappiot vastaavat vain noin 18 ja 5 %:n satotappiota vastaavassa järjestyksessä. Ja esimerkiksi SALOMONIN ym. (1993) mukaan levityskaluston pyörien tallauksesta aiheutuneet ohran satotappiot ovat -0,2 - 0,3 % rikkakasvien torjuntavaiheessa syntyneinä ja 0,0 - 1,2 % juuri ennen tähkimistä syntyneinä. Tappiot vastaavat 12 metrin työlevyettä. Pyöränjäljen alueella sadonalennus olisi tällöin vain -5 - 8 % rikkakasvintorjuntavaiheessa syntyneenä ja 0 - 31 % juuri ennen tähkimistä syntyneenä. Vastaavasti levityskaluston pyörien tallauksen ja luiston aiheuttamat vauriot alentavat SALOMONIN ym. (1993) mukaan syysvehnäsatoa 1,4 - 1,7 % rikkakasvintorjuntavaiheessa ja 1,0 - 2,7 % ennen tähkien muodostumista syntyneinä. Tappiot vastaavat 12 metrin työlevyettä. Tämä merkitsee sitä, että pyörien tallauksen ja luiston aiheuttamat tappiot ovat pyörien tallauksella alueella 36 - 43 % rikkakasvintorjuntavaiheessa syntyneinä ja 26 - 69 % juuri ennen tähkimistä syntyneinä. (SALOMONIN ym. 1993, KEMPPAINEN 1985, s. 36 - 38.) COBIAN (1972) mukaan rikkakasviruiskutuksen aiheuttamat satotappiot pyöränjäljen alueella olivat kaurapellossa vain 9,3 %, ohrapellossa vain 4,6 % ja vehnäpellossa vain 3,2 %. Myöhemmin kuin rikkakasvintorjuntavaiheessa syntyneiden pyöränjälkien aiheuttamat tappiot ovat selvästi suuremmat kuin rikkakasvintorjuntavaiheessa syntyneiden (RODHE ja SALOMONIN 1992a, s. 11). Esimerkiksi aivan kesäkuun lopussa eli lähinnä juuri ennen tähkien muodostumista tehdyissä ohrakasvuston tallauksissa vastaavalla työlevyeydellä satotappiot olivat KÖYLIJÄRVEN (1985) mukaan noin 2,2 % eli noin kolminkertaiset verrattuna rikkakasvintorjuntavaiheessa tehtyihin tallauksiin. Viisi-vuotisissa kokeissa vuosittaiset tulokset olivat täysin samansuuntaiset.

Levityksen viivästymisen lisäksi huonot sääolosuhteet voivat lisätä tallaustappioita. Märissä olosuhteissa pelkkien pyörien aiheuttama satotappio voi olla jopa 14 % ja vantaiden aiheuttamat tappioihin yhdistettynä peräti 30 %, noin kolmen metrin työlevyeydellä. 10 metrin työlevyeydellä nämä tappiot vastaavat noin 4 ja 9 %:n satotappioita vastaavassa järjestyksessä. Levityskaluston pyörien tekemät jäljet eivät lisää sadon vaihtelua kasvustossa. Sadonvaihtelun kasvaminen karjanlannalla kasvustoon lannoitetuilla lohkoilla verrattu-

na väkilannoitettuun lohkoon johtuu karjanlannan vaihtelusta eikä levityskaluston aiheuttamista vaurioista. (KEMPPAINEN 1985, s. 36 - 38.)

Ajouratekniikan käytöstä ei ole apua tallaustappioiden pienentämisessä, jos tallausvoimakkuudeltaan vastaa kasvinsuojeluruiskutusta. Tallauksen aiheuttama satotappio on tällöin yhtä suuri riippumatta siitä tallataanko eri tallauskerroilla samoja tai eri raiteita pitkin. (KÖYLIJÄRVI 1985.) DARWINKELin (1984, s. 297) mukaan tallauksesta ja vetopyörien luistosta aiheutuva satotappiot ovat syysvehnällä kolmen ajokerran jälkeen vain 0,3 % eli noin 30 kg/ha riippumatta siitä tehdäänkö ajourat jo kylvön yhteydessä vai syntyvätkö ne vasta ensimmäisen tallauksen yhteydessä. Ajokertojen lukumäärän kasvaessa yhdeksään satotappiot kasvavat 1,1 %:iin eli 100 kilogrammaan hehtaaria kohti, jos ajourat tehdään kylvön yhteydessä, ja 1,6 %:iin eli 140 kilogrammaan hehtaaria kohti, jos ajourat muodostuvat vasta ensimmäisen tallauksen yhteydessä. Todennäköisesti tämä ero esiintyy jo vähäisilläkin ajokerroilla, mutta tappion pienuuden takia se ei tule esille. Tappiot vastaavat 12 metrin työleveyttä ja 22,5 cm:n renkaan leveyttä. Pyöränjäljen alueen satotappio on kolmen tallauskerran 8 % ja yhdeksän tallauskerran jälkeen 29 tai 43 % riippuen siitä, tehdäänkö ajourat jo kylvön yhteydessä vai ei. Jos tallaus kullakin tallauskerrolla on kuitenkin niin voimakas, että tallaukset yhdessä aiheuttavat täydellisen tuhon pyöränjälkien alueella, kannattaa tallaukset keskittää samoihin raiteisiin jokaisella tallauskerralla. Näin saattaa käydä esimerkiksi levitettäessä lietettä ja kasvinsuojeluaineita viljakasvustoon.

Kasvuston tallaaminen rikkakasvien torjuntavaiheessa tai myöhemmin alentaa sadon määrän lisäksi myös sen laatua, joiden aleneminen riippuu siitä, käytetäänkö aina samoja ajouria vai ei. Kun tallaamattomien ohrakasvustojen sadoissa vihreiden jyvien osuus oli KÖYLIJÄRVEN (1985) mukaan vain 1,1 %, oli niiden osuus rikkakasvien torjunta-aikaan tallattujen ohrakasvustojen sadossa 2,2 % ja vastaavasti myös kirvantorjunta-aikaan kesäkuun lopussa mutta eri ajouria pitkin kuin rikkakasvien torjunta-aikaan tallattujen kasvustojen sadoissa 3,2 %. Kumpanakin ajankohtana samoja ajouria pitkin tallattujen ohrakasvustojen sadossa vihreiden jyvien osuus oli pienempi, 3,0 %, koska tallattua aluetta oli vähemmän. Siten vihreiden jyvien osuus on hieman pienempi, jos tallataan aina samoja ajouria pitkin verrattuna siihen, että aina tallattaisiin eri ajouria pitkin. Tällä erolla ei ole kuitenkaan suurta merkitystä. Lisäksi eri ajourien käyttäminen kahdella eri tallauskerralla nostaa puintikosteutta 0,6 - 2,3 %-yksikköä jälkien syntymisajankohdasta riippuen. Nämä tulokset vastaavat työleveyden puolesta lietalannan pintalevitystä. Myös KEMPPAISEN (1985, s. 36 - 37) mukaan ajourat nostavat puintikosteutta. Orastumisen aikaan syntyneet ajourat nostavat puintikosteutta 1,5 %-yksikköä ja viikko orastumisen jälkeen syntyneet ajourat nostavat puintikosteutta 2,3 %-yksikköä. Nämä tulokset vastaavat kuitenkin noin kolmen metrin työleveyttä. 10 metrin työleveydelle sovitettuna nämä vastaisivat noin 0,5 ja 0,7 %-yksikön puintikosteuden nousua, jolloin kummankin tutkijan tulokset ovat varsin yhtenevät.

2.4.2 Levityskaluston pyörien pintapaineiden vaikutus satotappioiden muodostumiseen

Kun pintalevityksen tallaustappiot voidaan pienentää taloudellisesti mielekkäälle tasolle työleveyttä kasvattamalla, sijoituksessa työleveyden kasvattamismahdollisuuksia rajoittaa sijoitusvantaisten vaatima vetovoima. Työleveys jää sijoituksessa joka tapauksessa niin pieneksi, että pyörien tallaama alue on merkittävä osuus koko työleveydestä. Ainoa keino vähentää sijoituksessa muodostuvia tallaustappiota taloudellisesti mielekkäälle tasolle on pintapaineiden pienentäminen. Nurmien tallatun alueen satotappiot pienevät nopeasti, kun renkaiden paineita alennetaan niiden ollessa yli 140 kPa. Tallaustappion väheneminen on kuitenkin hyvin hidasta alennettaessa painetta edelleen 140 kPa:sta 70 kPa:iin, eikä tallauksilla ole vaikutusta seuraavan vuoden satoon, jos maa kynnetään välillä. (RASMUSSEN ja MØLLER 1981, s. 62 - 64.) Sopivin rengaskoko nurmilla liikuttaessa on niin suuri, että se kantaa kuorman rengaspaineiden ollessa noin 140 kPa. Kun lantaa levitetään viljan oraalle, saattaa vielä alemmista paineista olla hyötyä.

Paineiden alentamista rajoittaa renkaiden kestävyys erityisesti siirtoajossa. Siirtoajon määrää rengaspaineiden ollessa alhaiset voidaan lisäksi vähentää varastoimalla lietettä peltojen yhteyteen tehdyissä lietevarastoissa tai siirtämällä liete levityspaikalle toisella siirtoajoon tarkoitettulla vaunulla. Renkaiden kantavuutta voidaan kasvattaa rajoittamalla ajonopeutta siirtoajossa. Rengasnurmien (ANON. 1994, s. 176) mukaan traktorin renkaiden kuormitus saa ylittää vetämättömien pyörien renkaissa 35 % ja vetävien pyörien renkaissa 23 % normin mukaisen kuormituksen, jos ajonopeus rajoitetaan 20 km/h normin mukaisen 30 km/h sijasta. Suurimman nopeuden ollessa korkeintaan 20 km/h voitaisiin traktorin taka-akselilla ja lietevaunussa, jossa on 8 tonnin telipaino käyttää 14,9-38 koon traktorin renkaiden paineen ollessa 140 kPa. Vastaavasti 12 tonnin telipainolla voisi käyttää 18,4-38 koon traktorinrenkaita ilmanpaineen ollessa 110 kPa. Matalailmatilaisissa traktorin renkaissa ei ole rengasnurmien mukaan kokoa, jonka kantavuus riittäisi 8 tonnin telipainon kantamiseen ja olisi yhtä kapea kuin edellä esitetty kapeampi rengas. Nämä renkaat on yleensä suunniteltu olemaan tavallista leveämpiä suhteessa renkaan ulkohalkaisijaan, ja siten niiden joukossa ei ole niin suurihalkaisijaista kapeaa rengasta, että se kantaisi 8 tonnin telipainosta yhdelle renkaalle tulevan kuorman. Kahdeksan tonnin telipainoluokkaan sopivat rengaskoot ovat siten normaaliprofiilisia. Sen sijaan 12 tonnin telipainoluokkaan soveltuvia standardinmukaisia matalaprofiilisia 540 mm ja sitä leveämpiä traktorinrenkaita on saatavilla. Lietevaunussa voidaan traktorinrenkaiden sijasta käyttää tavallisia maatalousrenkaita. Niitä on saatavilla matalaprofiilisena kumpaankin telipainoluokkaan, kahdeksan tonnin telipainoluokkaan esimerkiksi 14,5/75-20 ja 12 tonnin telipainoluokkaan esimerkiksi 550/45-22,5. (ANON. 1994, s. 174 - 219.) Sijoituksessa joudutaan 12 tonnin telipainoluokassa vääjäämättä paripyöräratkaisuun, jotta sijoitusvannas ei osuisi pyöränjäljen kohdalle. Tällöin renkaat on viisainta valita, kuten 8 tonnin telipainovaihtoehdossa, mutta kahdennettuna. Tämä mahdollistaa rengaspaineiden alentamisen, mistä on erityistä etua sijoituksen yhteydessä, koska siinä tallaustappioiden merkitys korostuu.

Renkaan kantavuutta voidaan sen leventämisen sijasta mielekkäämmin kasvattaa valitsemalla vaihtoehtoista korkeampi rengas pintapaineiden ja renkaan leveyden pysyessä saman. Esimerkiksi kokoa 16.9R34 ja 18.4R24 olevien renkaiden kantavuudet ovat keskenään yhtä suuret. Ensinnä mainitun renkaan korkeus on 1575 mm ja toisena mainitun 1380 mm. Ensimmäinen rengas on noin 0,2 metriä korkeampi kuin jälkimmäinen, mutta 38 mm eli 8,1 % jälkimmäistä kapeampi (ANON. 1994, s. 189 - 190). Pyöränjäljen osuus koko työleveydestä pienenee vastaavasti. Tallaustappiot pienenevät merkittävästi erityisesti silloin, kun tallaustappio pyöränjäljen alueella on lähes totaalinen.

2.4.3 Vetopyörien luiston vaikutus satotappioiden muodostumiseen

Kasvuston tallaantumista aiheuttavat levityskaluston kaikki pyörät. Pelkän tallauksen lisäksi kasvustoa vaurioittaa vetävien pyörien luisto. Levitettäessä lantaa kasvustoon vetävien pyörien luisto saa olla korkeintaan 10 %, koska tätä suurempi luisto lisää kasvustovaurioita merkittävästi. Vaurioiden suuruuteen vaikuttaa itse luiston suuruuden lisäksi renkaiden ripakuvion korkeus. Luiston kasvu lisää kasvustovaurioita rivan korkeudesta riippumatta, mutta korkearipaisen renkaan aiheuttamat kasvustovauriot lisääntyvät nopeammin luiston kasvaessa kuin matalaripaisen. Kuormaan nähden suhteellisen kapean ja korkearipaisen renkaan vetokyky kasvaa aina 40 %:n luistoon saakka ja ylittää tällöin suhteellisesti leveän ja matalaripaisen renkaan vetovoiman. Kahdesta muutoin samanlaisesta renkaasta sillä, jossa on korkeammat rivat, on parempi vetokyky luiston ollessa yhtä suuri. Korkearipaisen renkaan suurta vetokykyä koheesiomaalajeilla ei voida hyödyntää kasvustoon levityksen yhteydessä, koska tämä edellyttäisi korkeasta ripakuvioista huolimatta niin suurta luistoa, että kasvusto tuhoutuisi renkaan leveydeltä käytännössä kokonaan. Siksi kaikkien vetävien pyörien renkaiden ripojen korkeuden tulee olla kohtuullinen, koska kuormaan nähden suhteellisen leveän matalaripaisen renkaan vetokyky kasvaa nopeasti luiston kasvaessa, mutta vetokyvyn kasvu pysähtyy luiston ylittäessä noin 10 % eli juuri sillä rajalla, josta lähtien luiston aiheuttamat vauriot alkavat kasvaa nopeasti. (ARTS ym. 1992, s. 8 - 10.) Leveillä matalaripaisilla renkailla on vaikea vaurioittaa kasvustoa, koska levityskalusto pysähtyy luiston kasvettua haitallisen suureksi. Korkearipaisia renkaita käytettäessä olisi suuri apu sellaisesta traktorin ajotietokoneesta, jossa on luiston rajoitin tai luistovaroitin, jonka avulla voidaan estää luistoa kasvamasta liian suureksi missään olosuhteissa. Jos kuitenkin tallaus sinällään ilman luistoa aiheuttaa pyöränjäljen alueella hyvin suuria satotappioita, ei vetävien pyörien leveyttä kannata kasvattaa luiston vähentämiseksi. Matalaripaisia renkaita käyttämällä ei välttämättä voida saavuttaa riittävää vetokykyä ilman, että vetävien peräkkäisten akseleiden lukumäärää lisätään. Tämä voidaan toteuttaa käyttämällä nelivetoa ja vetävää akselia lietevaunussa. Näistä viime mainittu on varsin kallis ratkaisu. Jos satotappiot pyörien tallaamalla alueella ovat kohtuulliset, levityskaluston vetokykyä voidaan mielekkäästi parantaa myös käyttämällä paripyöriä vetävillä akseleilla. Tämä antaa samalla mahdollisuuden paineiden alentamiseen.

Koska suuri vetovoiman tarve lisää kasvustoa vaurioittavaa luistoa, on levityskaluston oltava mahdollisimman kevyt ja kuormien koko kohtuullinen vetovoiman tarpeen pienentämiseksi. Tarvittavaa vetovoimaa voidaan pienentää myös suurentamalla lietevaunun renkasvarustusta. Renkaan kehän kasvattaminen on yleensä parempi ratkaisu, koska se ei kasvata tallatun alueen leveyttä ja se pienentää samalla pyörän vierintävastusta. Telin käyttö on erittäin perusteltua, koska sen vierintävastus on selvästi pienempi kuin käytettäessä kahta vastaavan kokoista rengasta rinnakkain (MCKIBBEN ja DAVIDSON 1940).

Pahimmassa tapauksessa vetovastuksen kasvusta aiheutuva luiston kasvu voi vaurioittaa kasvustoa enemmän kuin sijoitusvantaat, varsinkin kun sijoituksessa tallatun alueen osuus kasvaa hyvin merkittäväksi kapean työleveyden takia. Sijoitusvantaiden välin kaventaminen kasvattaa lietelantavaunun vetovastusta, mikä saattaa lisätä luistoa niin paljon, että luiston lisääntymisen aiheuttama satotappio on jopa suurempi kuin lisättyjen sijoitusvantaiden. Toisaalta pienempi sijoitusvantaiden väli mahdollistaa matalan sijoitusvaon, jolloin vetovastus saattaa pienentyä huolimatta useammista sijoitusvantaista, ja lisääntyneiden vantaiden aiheuttamat suuremmat satotappiot tulevat katettua pienentyneen luiston aiheuttamilla satotappioiden vähentymisillä.

2.4.4 Sijoitusvantaiden vaikutus satotappioiden muodostumiseen viljakasvustossa

Sijoitusvantaiden aiheuttamat vauriot ohrakasvustossa aiheuttivat KEMPPAISEN (1985, s. 37 - 38) mukaan orastumisvaiheessa keskimäärin 6 % ja viikko orastumisen jälkeen keskimäärin 8 % satotappiot levityskaluston pyörien aiheuttamien lisäksi. Yhtenä syynä näin suurten satotappioiden syntyyn on ollut maan suuri kosteuspitoisuus vaurioiden muodostumisen aikaan, koska joinakin vuosina oli saavutettu jopa pieniä sadon lisäyksiä, kun kasvustoa oli vaurioitettu sijoitusvantailla orastumisen aikaan. Erityisesti sijoitustekniikkaa käytettäessä maan on oltava kuiva levitettäessä lantaa kevätiljakasvustoon. Sijoitusvantaiden aiheuttamat vauriot kasvustossa lisäävät sadon vaihtelua jonkin verran, ja vaihtelun lisääntyminen on orastumisvaiheessa suurempaa kuin viikko sen jälkeen.

Satotappioiden lisäksi sijoitusvantaiden aiheuttamat vauriot kasvustossa nostavat pintikosteutta (KEMPPAINEN 1985, s. 36 - 38, KEMPPAINEN 1993). KEMPPAISEN (1985, s. 37) mukaan sijoitusvantaiden aiheuttamat vauriot nostivat ohran pintikosteutta levityskaluston pyörien aiheuttaman pintikosteuden nousun lisäksi keskimäärin 4,8 %-yksikköä, kun vauriot syntyivät orastumisvaiheessa. Vastaavasti pintikosteus nousi 4,6 %-yksikköä, kun vauriot syntyivät viikko orastumisen jälkeen. Kun otetaan huomioon myös lannan vaikutus, sijoitustekniikan käyttö lannan levityksessä on pintikosteuden kannalta parempi vaihtoehto kuin pintalevitys, mutta kasvustoon levityksen käyttömahdollisuutta yleensäkin vähentää se, että se lisää pintikosteutta verrattuna levitykseen ennen kylvöä. (ANON. 1984, s. 26, 36.) Sijoitusvantaiden aiheuttama pintikosteuden nousu on siinä mielessä erityisen haitallista, että se johtuu siitä, että sijoitusvakojen kohdalla pintikosteus on suurempi kuin niiden välissä. Tällöin kasvusto on pintikosteuden suhteen epätasaista. Jos pintia viivästytetään niin, että myös sijoitusvakojen kohdat tuleentuvat, niin niiden

välit ylituleentuvat, mikä myöskin saattaa aiheuttaa sadon laadun alenemista esimerkiksi tähkäidännän takia. Sen sijaan pintalevityksessä puintikosteus on väkilannoitettuun kasvustoon nähden kauttaaltaan korkeampi, jos kummatkin sadot korjataan yhtä aikaa. Tällöin odottamalla voidaan yleensä päästä samaan puintikosteuteen kuin väkilannoitetuisakin kasvustoissa ilman, että korkeampi puintikosteus vaihtuu muiksi laatutappioiksi.

2.4.5 Lannoituksen riittävän tasaisuuden asettamat vaatimukset lannanlevityskalustossa käytettävälle rivivälille

Lietelannan tyyppi ei liiku mainittavasti sivusuunnassa. Liian suuri vannasväli tai letkulevittimen letkujen väli johtaa siihen, että kohtuullisen lantamäärät eivät riitä tyydyttämään vantaiden välin keskialueella olevan kasvuston ravinnon tarpeita. Toisaalta kasvuston tarpeiden ylittyminen sijoitusvantaan tai letkun kohdalla johtaa typen hyväksikäytön alentumiseen ja huuhtoutumisen lisääntymiseen. Ravinteiden ylimäärä johtaa varsinkin viljojen sadon laadun mutta myös määrän alentumiseen. Pieni vannas- ja letkuväli parantaa typen hyväksikäyttöä ja vähentää huuhtoutumista. Nilssonin (Ref. ANON. 1984, s. 24) mukaan lietelannan typen vaikutusalue ulottuu noin 18 cm levitysvaosta. Sen mukaan levityslaitteen riviväli voisi olla noin 36 cm ilman, että se aiheuttaisi raidallisuutta kasvustoon ja sitä kautta sadon alenemista ja laadun heikkenemistä. Pieni sijoitusvantaiden väli saattaa aiheuttaa teknisiä ongelmia. Esimerkiksi jos sijoitusvantaiden väli on vain 50 cm, saattaa leikkureiden välinen nurmi kohota. (ANON. 1984, s. 26, 31.) Jos kasvin juuristo on laaja, kuten vanhoissa nurmissa, riviväli voi olla suurempikin. Sopiva sijoitusvantaiden väli on 50 - 60 cm (ANON. 1984, s. 1, 24), jos lietettä sijoitetaan riittävän kehittyneen juuriston omaavaan nurmeen. Viljakasvustossa sopiva vannasväli on kapeampi kuin nurmilla käytetty. Viljakasvuston sopiva sijoitusvantaiden väli on noin 30 cm, sillä jo 42 cm:n riviväli aiheuttaa TAKALAN (1984, s. 24) mukaan raidallisuutta kaurakasvustossa. Myös levitysmenetelmä vaikuttaa sopivaan riviväliin. Ohrakasvustossa letkulevittimen letkujen välin tulee olla 25 - 38 cm, sillä 50 cm:n letkuväli antaa huonomman satotuloksen (SALOMON ym. 1993). Levitettäessä lietelantaa syysviljakasvustoon aikaisin keväällä, noin kaksi viikkoa ennen kuin se saavuttaa 15 cm:n pituuden, letkulevittimen letkujen väli saa olla korkeintaan 25 cm. Matalaan vakoon lantaa johdettaessa vantaiden väli voi olla 25 - 37 cm, mutta jälkiäestä ei pidä käyttää. Syysvehnä hyötyy kehittyneimmistä levitysmenetelmistä vielä, kun kasvusto on 15 cm:n mittaista. Levitettäessä lietettä noin 15 cm:n pituiseen syysviljanoraaseen saavutetaan matalaan vakoon sijoitettaessa parhailla säädöillä korkeintaan noin 13 % parempi satotulos hajalevitykseen verrattuna. Letkulevittimellä vastaava säästö on noin 4 %. Tällöin letkulevityksen avulla voidaan saavuttaa täysin vastaavia satoja kuin väkilannoituksella vastaavaan aikaan. Matalaan vakoon lantaa johdettaessa vantaiden väli voi olla 25 cm, mutta jälkiäestä ei kannata käyttää. Letkulevittimien letkujen väli saa olla 37 cm 25 cm:n asemesta. (RODHE ja SALOMON 1992a, liite 9.)

2.5 Lietelannan kasvustoon levittämisen taloudellinen mielekkyys viljelijän kannalta

Kasvustoon hajalleen levitetyn karjanlannan liukoisen typen vaikutus typpisatoon ei juuri eroa yhtä suuren väkilannoitetyppimäärän vaikutuksesta riippumatta siitä milloin liete levitetään kylvön ja tähkälle tulon välisenä aikana. Esimerkiksi 15 cm:n korkuiseen kevätiljakasvustoon hajalevitetyn liotelannan liukoisen typen vaikutus typpisatoon on keskimäärin 67 % vastaavan väkilannoitetyppiannoksen vaikutuksesta. Yhtäläisen sadon saavuttamiseksi olisi levitettävä keskimäärin 48 % enemmän lietelantaa kuin mitä sen liukoisen typen pitoisuus edellyttäisi, jotta vaikutus olisi yhtä hyvä kuin väkilannoitteella. Jos tarkoitettu väkilannoitetyypin veroinen typpiannos olisi 100 kg/ha, johtaisi se siihen, että 48 kg/ha tyypeä haihtuisi ilmaan ammoniakkinä tai häviäisi muutoin ympäristöstä saastuttavasti luontoon. Koska levitysmenetelmien vaikutuksessa satoon ei ole merkittäviä eroja oraan ollessa 15 cm:n korkuista, levitysmenetelmästä riippuen lannan levittäminen kasvustoon kyseisellä kehitysasteella johtaisi siten siihen, että luontoon joutuisi 40 - 50 kg/ha liukoista tyypeä. Pyrittäessä samaan lannoitustasoon letkulevittimellä voitaisiin parhaimmillaankin säästää noin 15 kg/ha liukoista tyypeä hajalevitykseen verrattuna. (RODHE ja SALOMON 1992a, liite 12.) Tämä sallisi taloudellisin perustein noin 290 markan investoinnin hehtaaria kohti, jos pelkästään säästyneen typen arvo huomioidaan. Nykyisillä hinnoilla letkulevittimen hankkiminen tähän tarkoitukseen edellyttäisi noin 140 hehtaarin levitysalaa. Koska levitysmäärän aleneminen kuitenkin alentaisi myös kuljetuskustannuksia levitysmäärien alenemista vastaavassa suhteessa, investoinnin taloudellisen hyödyn mielekkyyden kannalta tarvittava levitysalaa ei ole aivan näin suuri. Erytisest i kuljetusmatkojen ollessa pitkiä ravinnesäästöillä saavutettavien pienempien kuljetusmäärien merkitys on suuri.

Yli 30 %:n typen tappioita ei kuitenkaan yleensä voida korvata levitysmääriä kasvattamalla, koska se johtaisi muiden ravinteiden yliannostukseen ja jopa sadonalennuksiin, koska selvästi alkuperäistä suuremmat lietemäärät saattaisivat haitata kasvuston kasvua. Puuttuvan typen korvaaminen esimerkiksi starttitypellä olisi järkevämpää kuin levitysmäärien kasvattaminen. Jos puuttuva typpi korvattaisiin väkilannoitteella, sitä tarvittaisiin edellä esitetystä tapauksesta keskimäärin 33 kg/ha. Koska vilja todennäköisimmin kylvettäisiin edelleen kylvölannoittimella ja muutoinkin jonkinmoisen starttityypen antaminen on tarpeen, ei starttityypen antamisesta aiheuttaisi ylimääräisiä kiinteitä kustannuksia. Kustannus typen menetyksen korvaamisesta väkilannoitteella olisi tällöin noin 85 mk/ha. Kun typen häviö näin korvattaisiin väkilannoitetyypellä, säästö esimerkiksi letkulevittimen käytöstä kutistuisi noin 10 markkaan hehtaaria kohti. Tällä säästöillä levitystä pitäisi harjoittaa vuosittain yli 500 hehtaarella, jotta investointi letkulevittimeen kannattaisi. Korvaamalla hajalevityksessä menetettävä typpi väkilannoituksella kokonaiskustannukset jäävät kaikkein pienimmiksi. Tällöin ympäristölle aiheutetut haitat eivät juurikaan kasva, vaikka ei käytettäisikään kehittyneimpiä levitysmenetelmiä. (RODHE ja SALOMON 1992a, liite 12, KAPUINEN 1994a, s. 27 - 29.)

Syysvehnä hyödyntää kasvustoon levitetyn lietelannan liukoista tyyppiä suhteessa väkilannoitteen tyypeen selvästi paremmin kuin kevätiljat. Levitettäessä lietelantaa kasvavaan syysviljaan aikaisin keväällä noin kaksi viikkoa aikaisemmin kuin se saavuttaa 15 cm:n pituuden, voidaan letkulevityksellä tai matalaan vakoon johtamisella saavuttaa korkeintaan noin 6 % suurempi satotulos kuin vastaavalla hajalevityksellä. Lannan levittämällä kasvustoon letkulevityksellä ja matalaan vakoon sijoittamalla voidaan säästää 4 - 15 kg/ha lannan liukoista tyyppiä. Esimerkiksi letkulevittimellä saavutettava säästö sallisi korkeintaan noin 80 mk:n investoinnit koneisiin viljeltyä syysviljahehtaaria kohti. Letkulevittimen hankinta voisi olla perusteltua, jos sillä levitettäisiin lietelantaa syysviljakasvustoon noin 5000 viljahehtaarille vuosittain pari viikkoa ennen kuin se saavuttaa 15 cm:n pituuden. Matalaan vakoon johtamiselle saavutettava säästö sallisi korkeintaan noin 290 mk:n investoinnit koneisiin viljeltyä syysviljahehtaaria kohti. (RODHE ja SALOMON 1992a, s. liite 9.)

Kasvavaan viljakasvustoon levitettäessä ei yleensä kannata käyttää muuta kuin hajalevitystä, jos se edellyttäisi lisäinvestointeja. Varsinaista haittaa aiheutuu, jos käytetään jälkiäestä johdettaessa lantaa matalaan vakoon tai letkulevitystä, jonka letkuväli on suurempi kuin 25 cm, selvästi alle 15 cm korkeassa kasvustossa. Lisäksi matalaan vakoon sijoittavasta laitteesta, jonka vannasväli on alle 37 cm, on suoranaista haittaa jo 15 cm:n korkuisessa kasvustossa. (RODHE ja SALOMON 1992a, s. liite 9.)

2.6 Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto

Vaikutukset, jotka aiheutuvat lannan levityksestä viljakasvustoon, ovat hyvin vaihtelevat riippuen eri tekijöistä, kuten lannanlevityksessä yleensäkin. Kasvuston ollessa selvästi alle 15 cm:n mittaista hajalevitys johtaa yleensä huonompaan tulokseen kuin kehittyneemmät menetelmät, letkulevitys ja sijoitus. Hajalevityksen vaikutusten ennustettavuus ei ole juuri sen huonompi kuin kehittyneempien menetelmien eikä sitä voida pitää viljelijän kannalta kehittyneempiä menetelmiä epätaloudellisempänä menetelmänä, mutta keskimäärin ottaen se johtaa kohtuuttomaan ympäristökuormaan. Kasvuston saavutettua noin 15 cm:n korkeuden eri menetelmien välillä ei ole juuri eroa. Kasvustoon levitettäessä sen ollessa vähintään noin 15 cm:n korkuista kaluston rengastuksen tulee sen kantavuuden rajoissa olla mahdollisimman kapea. Aikaisemmassa vaiheessa saatetaan päästä parempaan tulokseen leveällä rengastuksella. Vaikka lannan levitys noin 15 cm:n korkuiseen kasvustoon on johtanut keskimäärin huonompaan satotulokseen kuin lannan levittäminen aikaisemmassa vaiheessa, ei se vielä tee tästä huonoa levitysajankohtaa. Suuri osa muodostuvista satotappiosta johtuu pelkästään viivästyneestä ravinteiden, lähinnä typen, saannista. Satotulokset olisivat täysin vertailukelpoisia kevätlevityksen kanssa, jos kylvön yhteydessä käytettäisiin starttityppiä. Viljelijälle taloudellisesti ja ympäristönkin kannalta olisi järkevintä antaa levitysmenetelmän typpihäviöitä vastaava osuus tyypestä väkilannoitteena kylvön yhteydessä. Tällöin hehtaariohtainen typpipäästö pysyy selvästi pienempänä kuin siinä tapaukses-

sa, että häviö korvattaisiin lisäämällä levitysmääriä tappiota vastaavasti. Starttityppi pienentäisi samalla olosuhteiden vaihteluista aiheutuvia suuria eroja, joita lannan ravinteiden hyväksikäytössä esiintyy, vaikka se olisi levitty samaan aikaan samanlaiseen kasvustoon samalla menetelmällä. Levitysmäärien lisäämistä kannattaa käyttää vain, jos typpihäviöt ovat hyvin pieniä, korkeintaan noin 20 % lannan liukoisesta tyypestä, ja jos levitys tehdään varhain keväällä. Myöhäinen levitys ilman starttityppeä johtaa sadon alentumiseen typen saannin viivästyessä, ja fosfori- ja kaliumlannoitus on kasvien tarpeen kannalta tarpeettoman suuri, mikä omalta osaltaan lisää ympäristön saastumista. Vaikka lanta levitettäisiinkin menetelmällä, joka johtaa hyvin pieniin typen tappioihin, olisi lannanlevitysmäärät määritettävä sen ravinteen mukaan, joka pienimmän levitysmäärän perusteella täyttää kasvien tarpeet, ja muiden ravinteiden vajaus täydennetään väkilannoitteella kylvön yhteydessä tai muutoin varhaisessa vaiheessa. Yleensä tämä ravinne on joku muu kuin typpi.

Hajalevityksen lannoitusvaikutusta voidaan viljakasvustoissa lisätä parhaiten levittämällä kasvustoon lietteen levityksen jälkeen vettä, jos ei levityksen jälkeen ei tule sadetta. Vesimäärien tulee olla kohtuullisia. Lietteen laimentaminen voi johtaa typen imeytymisen hidastumiseen, vaikka lisätty vesimäärä olisi varsin pienikin. Kun vesi levitetään vasta levityksen jälkeen, vaikutus on laimennusta parempi, ja hyviä tuloksia saavutetaan jo varsin pienillä vesimäärillä. Märkään maahan karjanlantaa ei tulisi levittää millään tavoin, koska pinnalle levitetty liete ei imeydy ja typpi häviää ammoniakkinä ilmaan ja koska sijoitetusta lannasta häviää runsaasti typpeä denitrifikaation kautta ilmaan.

Lannan sijoittamiseen tarkoitetut laitteet ovat vasta kehitysmässä suomalaisia olosuhteita vastaaviksi. Kuitenkin sijoitus on ympäristön suojelun kannalta ehdottomasti paras lannanlevitysmenetelmä. Tänä päivänä niiden suunnittelun lähtökohta on ollut lähempänä lannanlevitysmahdollisuuksien lisäämistä kuin ravinteiden hyväksikäytön parantamista. Ne sijoittavat syvään ja harvaan. Oikea kehityssuunta on sijoittaminen matalaan ja tiheään, jopa siivellisellä vantaalla. Kehitys tulee nostamaan sijoituslaitteen hintaa, mutta samalla se parantaa lannan sijoituksella saatavaa hyötyä. Ympäristönsuojelulliselta kannalta nykyisetkin sijoituslaitteet ovat riittävän hyviä. Viljelijän hyödyn kannalta on vielä etsittävä sopiva kompromissi kasvustovaurioiden ja ravinteiden hyväksikäytön väliltä käytettäessä suomalaisiin olosuhteisiin sopivia levitysmääriä. Sijoituslaitteet tulevat olemaan letkulevitimien hintaisia, ehkä jopa hieman kalliimpia. Myös niiden tuoma hyöty on tiedossa. Lannan liukoisen typen hyväksikäyttö on lähes sama kuin väkilannoitteiden.

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Kokeissa käytetty levityskalusto

Kokeissa käytettiin vetokoneena kahta eri traktoria riippuen levityskaluston renkaiden leveydestä. Kokeissa, joissa renkaiden leveys oli noin 14", vetokoneena oli Valmet 605. Siinä eturenkaiden koko oli 12.4R24, ja takarenkaiden koko oli 13.6R38. Kokeissa, joissa renkaiden leveys oli noin 21", vetokoneena oli Valmet 6400. Siinä eturenkaiden koko oli 13.6-28, ja takarenkaiden koko oli 540/65-38. Molemmat traktorit olivat nelivetoisia.

Eturenkaiden ilmanpaine oli kummassakin traktorissa kaikkien kokeiden aikana sama; Valmet 605:ssä 160 kPa ja Valmet 6400:ssa 120 kPa. Valmet 605:ssä takarenkaiden ilmanpaine oli 160 kPa. Valmet 6400:ssa takarenkaiden painetta muutettiin lietevaunun telipainon mukaan siten, että koejäsenissä, joissa käytettiin kahdeksan tonnin telipainoa, rengaspaine oli 120 kPa ja koejäsenissä, joissa telipaino oli 12 tonnia, rengaspaine oli 140 kPa. Lietevaunussa käytettiin kahta eri rengaskokoa koejäsenestä riippuen. Rengaskoot olivat 14,00-20 ja 21.3-24. Lietevaunun telin kaikissa kahdeksassa renkaassa käytettiin keskenään samaa rengaspainetta. Kaikissa koejäsenissä kapeiden renkaiden rengaspaine oli 300 kPa ja leveiden 170 kPa.

Lietevaunun kapeiden renkaiden kantavuus oli renkaiden valmistajan mukaan 2 500 kg 320 kPa:n paineella. Kokeissa käytetty rengaspaine, 300 kPa, vastasi melko hyvin asianomaisessa koejäsenessä tarvittua kantavuutta, 2 000 kg rengasta kohti, ilman nimelliskantavuuden ylitystä. Lietevaunun leveiden renkaiden kantavuus oli renkaiden valmistajan mukaan 2 500 kg 160 kPa:n paineella. Kokeissa käytettiin siten lievää ylipainetta, mutta myös renkaiden nimelliskantavuus ylitettiin telipainon ollessa 12 tonnia. Kuorma oli kuitenkin rengasnormien (ANON. 1994, s. 174) salliman ylityksen rajoissa ajonopeuden ollessa korkeintaan 20 km/h. Lietevaunun tilavuus oli vain 7,5 m³, eikä 12 tonnin telipainoa voitu saavuttaa ilman ylimääräisiä rautapainoja lietevaunun kuormatilassa ja vesipainotusta renkaissa. Lietevaunun kummankin rengasvarustuksen maksimikantavuus oli siten sama, mutta se saavutettiin eri rengaspaineilla.

Valmet 605:ssä taka-akselin akselipaino oli 3 700 kg eli 1 850 kg rengasta kohden lietevaunun telipainon ollessa kahdeksan tonnia. Renkaiden kantavuus käytetyllä rengaspaineella oli rengasnormien (ANON. 1994, s. 189) mukaan 1 900 kg. Rengaspaineen laskeminen 160 kPa:iin olisi edellyttänyt ajonopeuden rajoittamista 25 kilometriin tunnissa. Valmet 6400:n taka-akselilla olleiden renkaiden kantavuus käytetyllä ilmanpaineella oli 2 650 kg. Kyseisten renkaiden kuormitus oli lietevaunun telipainon ollessa kahdeksan tonnia 1 850 kg ja lietevaunun telipainon ollessa 12 tonnia 2 500 kg. Ensin mainitussa tapauksessa rengaspaineita voitiin laskea, kuten tehtiinkin.

3.2 Kokeet ja koejäsenet

Tutkimuksen kenttäkokeet vuonna 1994 muodostuvat kahdesta osasta. Ensimmäinen osa käsittää lannan kevätviljakasvustoon levittämisen aiheuttaman tallauksen vaikutuksen selvittämisen tarkoituksenmukaisissa kasvuvaiheissa ja toinen osa eri sijoitusvyökyksien vaikutuksen. Nämä kummatkin tehtiin erillisinä kenttäkokeena. Kokeet perustettiin satunnaistettujen lohkojen kokeina. Kerranteita kokeissa oli neljä.

Tallauskokeessa oli kaksi koetekijää, nimittäin tallauskäsittely ja tallausaika. Näistä tallausaika oli pääruututekijä ja tallauskäsittely osaruututekijä. Tallausajalla piti alunperin olla kolme tasoa, mutta yksi taso jouduttiin jättämään pois sääolojen takia. Tätä kysymystä on tarkemmin tarkasteltu kohdassa 4.1. Siten jäljelle jäi kaksi tasoa. Tallauskäsittelyllä oli versomisasteella kuusi tasoa ja juuri ennen tähkälle tuloa neljä tasoa. Toteutuneet koetekijöiden tasot on esitetty taulukossa 1. Nelivetoa ei käytetty, joten luistolla tarkoitetaan

Taulukko 1. Koetekijät ja niiden tasot tallauskokeessa.

Table 1. Treatments in the wheeling trials. The wheel dimensions refer to the width of the rear wheels of the tractor and the tandem wheels of the slurry tanker. The wheel slip refers to the slip of the rear wheels of the tractor (front wheel drive was not used).

Tallauskäsittely <i>Wheeling treatment</i>	Tallausaika <i>Time of wheeling</i>	
	Versomisaste <i>Crop appr. 15 cm high</i>	Juuri ennen tähkälle tuloa <i>Just before ear emergence</i>
14" renkaat, telipaino 8 t, luisto 0 % <i>14" tyres, tandem load 8 t, wheel slip 0%</i>	Kyllä <i>Yes</i>	Kyllä <i>Yes</i>
22" renkaat, telipaino 8 t, luisto 0 % <i>22" tyres, tandem load 8 t, wheel slip 0%</i>	Kyllä <i>Yes</i>	Kyllä <i>Yes</i>
22" renkaat, telipaino 12 t, luisto 0 % <i>22" tyres, tandem load 12 t, wheel slip 0%</i>	Kyllä <i>Yes</i>	Kyllä <i>Yes</i>
22" renkaat, telipaino 8 t, luisto 6 % <i>22" tyres, tandem load 8 t, wheel slip 6%</i>	Kyllä <i>Yes</i>	Ei <i>No</i>
22" renkaat, telipaino 8 t, luisto 12 % <i>22" tyres, tandem load 8 t, wheel slip 12%</i>	Kyllä <i>Yes</i>	Ei <i>No</i>
Ei tallausta = referenssi <i>No wheeling = reference</i>	Kyllä <i>Yes</i>	Kyllä <i>Yes</i>

vetotraktorin takapyörien luistoa. Luistoa sisältäneitä käsittelyjä lukuunottamatta levityskalusto vedettiin koeruudun yli vinssillä, joten luistottomissa ruuduissa ei todellakaan ole lainkaan luistoa. Luiston määrittäminen osoittautui odotettua hankalammaksi. Luistot jätettiin pois koeohjelmasta jälkimmäisellä tallauskerralla niiden määrityksen epämääräisyyden ja lietevaunun ja jarrutraktorin välissä olleen vaijerin aiheuttamien kasvustovaurioiden takia. Luisto ei ollut ainakaan pintalevitystä matkivassa tallauskokeessa mitenkään ongelmallisen suuri. Päinvastoin luistokäsittelyiden kannalta riittävän luiston saamiseksi lietteenlevityskaluston perään oli kytkettävä noin 7 tonnin painoinen traktori lisätaakaksi. Normaalissa

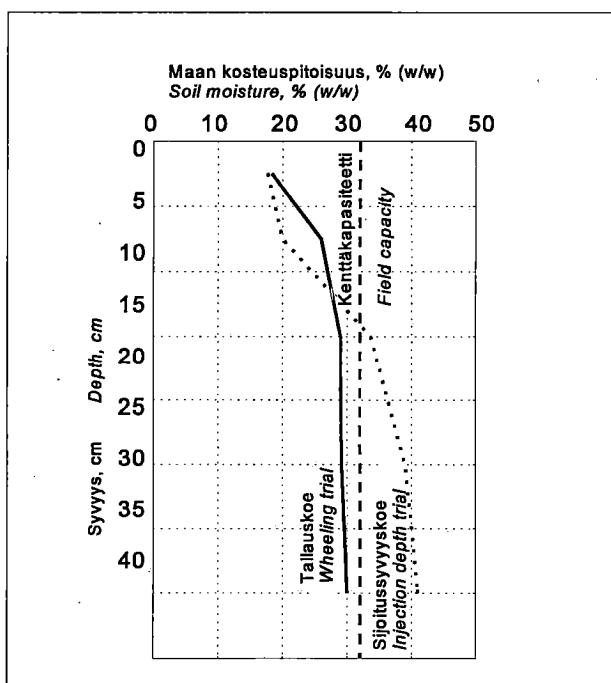
levityksessä luisto olisi arviolta ollut noin 2 - 3 %. Koeruutujen pituus oli 20 metriä ja leveys 5 metriä.

Sijoitusvyvyyskokeessa oli vain yksi koetekijä, sijoitusvyvyys. Sillä oli kolme tasoa: pelkkä tallaus, matala sijoitus ja syvä sijoitus. Matalan sijoituksen keskimääräinen sijoitusvyvyys oli 10,5 cm ja syvän 15,8 cm. Kummatkin sijoitusvyvydet olivat noin 4 cm tarkoitettua suuremmat. Sijoitusvyvyyskokeen käsittelyt tehtiin versomisvaiheessa. Renkaiden leveys oli 22", telipaino 12 t ja luisto 0 %. Koeruutujen pituus oli 20 metriä ja leveys 10 metriä. Levityskalusto vedettiin tässäkin kokeessa vinssillä kolmena rinnakkaisena vetona koeruutujen yli. Nettoruutu käsitti näistä vain keskimmäisen.

3.3 Koekenttien perustaminen

Koekentät perustettiin Maatalouden tutkimuskeskuksen maatalousteknologian tutkimuslaitoksen pelloille Vihdin Hoviin. Koekentät tasaustettiin viikko ennen kylvöä. Koekentät äestettiin kolmeen kertaan joustopiikkiäkeellä päivää ennen kylvöä, kerran poikki kylvösuunnan ja kaksi kertaa kylvösuuntaan. Tallauskoekenttä ja sijoitusvyvyyskoekenttä olivat erilliset, mutta sijaitivat samalla peltolohkolla. Kenttäkoekartat ovat liitteessä 1.

Koekasvina oli Pohto-ohra. Ohraa kylvettiin 190 kg/ha 18. - 19. toukokuuta 1994, ja lannoituksessa oli 80 kg N/ha. Kylvölannoitus tehtiin 2,5 metriä leveällä jyräkombikylvölannoittimella. Kokeissa ei missään vaiheessa levitetty tai sijoitettu lietettä. Tallauskoekenttä kylvettiin tallauskäsittelyn suuntaisesti, mutta sijoitusvyvyyskoekenttä kylvettiin



Kuvio 2. Maan kosteuspitoisuus eri syvyyksillä vuoden 1994 kenttäkokeissa suhteessa maan kenttäkapasiteettiin (ALAKUKKU 1995).

Figure 2. Moisture content of the soil at different depths in relation to the field capacity in the trials in 1994.

poikittain tallaukseen ja sijoitusvakiin nähden. Tallauskoekentän lohkoja I ja II kiusasi saunakukka, mutta haitallisessa määrin ainoastaan lohkoa I. Koekenttiä ei käsitelty millään torjunta-aineella. Sijoitusvyvyyskoekentän lohkojen II ja IV toinen reuna oli kylvöjen aikaan vielä hieman liian märkä, mikä näkyi myöhemmin koekentällä silminnähtävien heikompana kasvustona.

Kun tallauskokeen versomisasteen tallaukset tehtiin maan pintakerros oli kuiva. Maan ylimmän 5 cm paksun kerroksen kosteuspitoisuus oli vain noin 18 % (kuvio 2). Yli 10 cm:n syvyydessä maa oli kostea. Kaikki koekäsitteet olivat maan kosteuspitoisuuden suhteen samassa asemassa, vaikka lohkojen välillä oli suuria eroja, mutta maa loh-

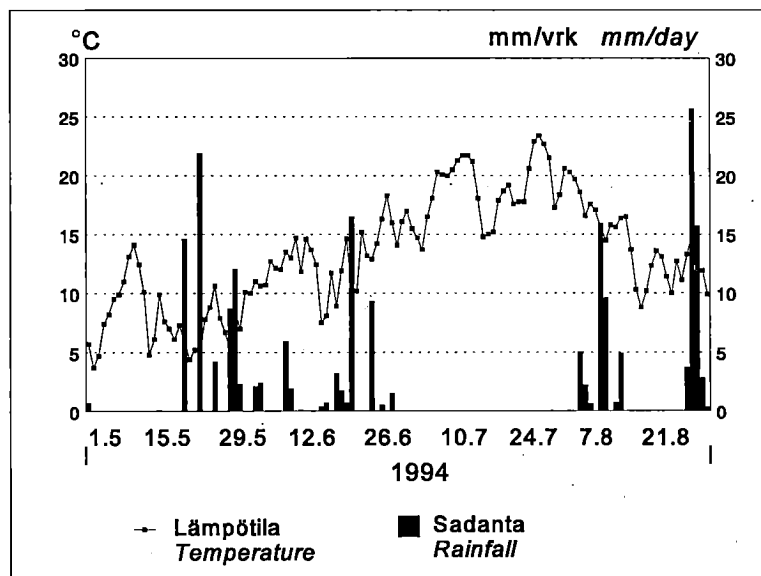
ko III:ssa oli muita kosteampaa ja pehmeämpää. Siihen syntyneiden ajourien syvyys oli 3 - 4 cm, kun ne muissa lohkoissa olivat syvyydeltään 1 - 2 cm. Sijoitussyvyyskokeet perustettiin samaan aikaan kuin tehtiin tallauskokeiden versomisasteen tallaukset. Myös tässä kokeessa koejäsenet olivat maan kosteuspitoisuuden suhteen samassa asemassa. Kuiva pintakerros ulottui syvemmälle kuin tallauskokeessa, mutta syvemmältä maa oli kosteampaa kuin tallauskokeessa. Ajourien syvyys oli 4 - 5 cm. (ALAKUKKU 1995.) Tallauskoetta suuremmat pyöränjäljet johtunevat siitä, että maa oli noin 15 cm:n syvyydestä lähtien kenttäkapasiteettia kosteampaa.

3.4 Säätila kokeiden aikana ja sen vaikutus kokeisiin

Alkukesä vuonna 1994 oli koepaikalla Vihdissä harvinaisen sateinen. Koepaikan vuorokautinen keskilämpötila ja sadanta koejakson aikana on esitetty kuviossa 3. Koepaikalla oli ennen kylvöä 18. toukokuuta satanut vain 0,8 mm, mutta runsaat sateet alkoivat 20. toukokuuta. Koko toukokuun loppu oli keskimääräistä kylmempää, ja ohra orastui vasta kesäkuun ensimmäisinä päivinä.

Orastumisen päättymiseen mennessä oli kylvön jälkeen

satanut runsaan kahden viikon aikana 68 mm. Esimerkiksi Jokioisissa, noin 75 km koepaikalta pohjoiseen, koko toukokuun sademäärä oli vuosina 1961 - 1980 keskimäärin 30,8 mm (HEINO ja HELLSTEN 1983, s. 60). Koevuonna koepaikalla tuli toukokuussa 64,5 mm vettä lähes kokonaan puolentoista viikon aikana kylvön jälkeen. Koko toukokuun sademäärä oli yli kaksinkertainen normaaliin nähden, ja toukokuun lopun yli nelinkertainen, jos oletetaan sateiden yleensä jakaantuvan tasan koko toukokuulle. Lisäksi toukokuun lopun kylmät ilmat hidastivat peltojen kuivumista. Niinpä pelloille ei ollut mitään asiaa aiottuna ensimmäisenä tallausajankohtana, yksilehtiasteella. Se olisi ollut viikon 22 eli kesäkuun ensimmäisen viikon lopussa. Pellot kuivuivat seuraavan viikon alkuun mennessä sen verran, että viikon 23 alussa olisi ollut noin kolme levityskelpoista päivää. Kasvusto oli silloin jo ohittanut selvästi tarkoitetun kasvuasteen, ja ensimmäisistä tallauksista luovuttiin. Ne olisivat olleet kevätkesän ensimmäiset levityskelpoiset päivät kylvöpäivää seuraavan



Kuvio 3. Vuorokautinen keskilämpötila ja sadanta koepaikalla kokeiden aikana.

Figure 3. Daily (24 hours) mean temperature and rainfall at the trial site during the trials.

päivän jälkeen. Viikon 23 torstaina ja perjantaina satoi taas sen verran, että pellot kuivuivat levityskuntoon vasta viikon 24 alussa. Kasvusto oli tällöin versomisasteella. Tällöin tallattiin suunnitelman mukaisena ajankohtana. Nämä tallaukset olivat ainoat, jotka tänä kesänä voitiin tehdä tarkoitettuna ajankohtana. Kyseisellä viikolla oli viisi levityskelpoista päivää. Sen jälkeen sateet alkoivat jälleen. Koekentät kuivuivat levityskuntoon vasta heinäkuun alussa, ja viimeiset tallaukset tehtiinkin 2. heinäkuuta selvästi tarkoitetun kasvuvaiheen jälkeen. Kasvusto tuli tähkälle 5. - 6. heinäkuuta.

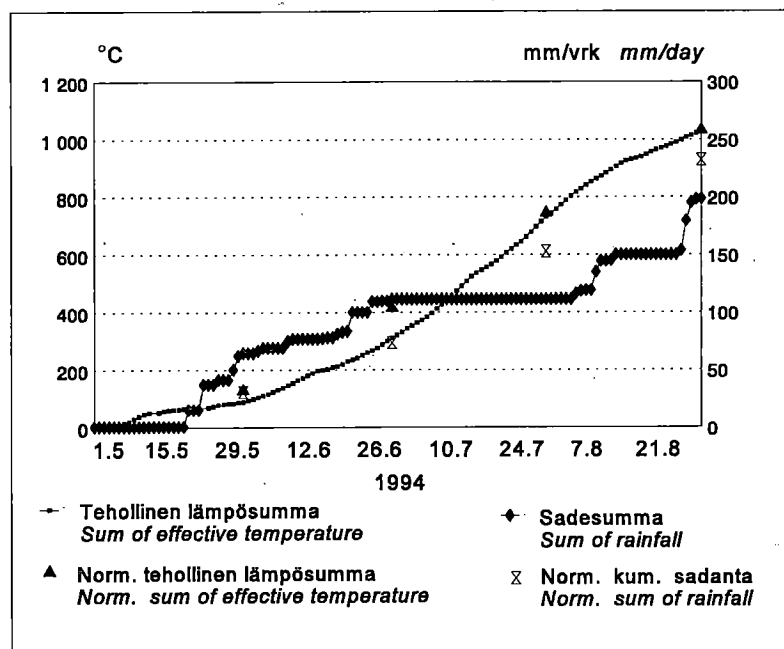
3.5 Tehollinen lämpösomma ja sadanta

Ohran kasvun kannalta toukokuun loppu oli liian kylmä, mutta sateita tuli yllin kyllin kylvöjen jälkeen aina kesäkuun loppuun saakka. Toukokuun lopussa tehollinen lämpösomma oli hieman jäljessä ajankohdan normaalista juuri toukokuun lopun kylmyyden takia, kuten kuviossa 4 voidaan todeta.

Sadannan kertymä toukokuun alusta sen loppuun oli lähes kaksinkertainen ajankohdan normaaliin verrattuna, kuten kuviossa 4 voidaan todeta. Kesäkuun lopussa tehollinen lämpösomma oli selvästi

perässä ajankohdan normaalista. Kesäkuun sademäärät olivat likipitään ajankohdan normaalit. Sadannan kertymä säilytti toukokuun lopussa normaaliin nähden saamansa etumatkan kesäkuun loppuun saakka. Pellot olivat vielä kesäkuun lopussa niin kosteita, että ohra ei ehtinyt kärsiä kuivuutta, vaikka heinäkuussa koepaikalla ei satanut lainkaan.

Heinäkuun lopussa sadannan kertymä oli selvästi jäljessä ajankohdan normaalista. Elokuussa tuli taas jonkin verran sadetta, mutta sadannan kertymä oli vielä tällöinkin selvästi jäljessä ajankohdan normaalista. Heinäkuu oli niin lämmin, että kasvusto kiri kiinni alkuun lähdössä myöhästetyt lähes kaksi viikkoa, ja sato voitiin korjata hyvin valmistuneena ja kuivana 18. elokuuta. Tehollinen lämpösomma oli saavuttanut normaalin arvon jo heinäkuun loppuun mennessä, ja sen kertymä säilyi normaalina koko elokuun. Ohran



Kuvio 4. Tehollinen lämpösomma ja sadanta koepaikalla Vihdissä toukokuun alusta lukien ja vastaava normaali tehollinen lämpösomma ja sadanta Jokioisissa vuosina 1961 - 1980 (HEINO ja HELLSTEN 1983, s. 133, 139).

Figure 4. Sum of effective temperature and sum of rainfall at the trial site in Vihti from the beginning of May, and corresponding normal values in Jokioinen, which is 70 km north of the trial site.

kasvuajaksi muodostui siten 92 vuorokautta. Koekasvina olleen Pohto-ohran normaali kasvuaika on 90 vuorokautta (ANON. 1993b).

3.6 Satotappioiden ja puintikosteuden määrittäminen

Satotappiot määritettiin puimalla kustakin tallauskoeruudusta traktorin ja lietevaunun pyörän aiheuttama tallausjälki tai käsittelemättömästä ruudusta vain yksi kaista koeruutupuimurilla. Koeruutupuimurin leikkuuleveys oli 2,35 metriä, joten saatu tallautustappio vastaa 4,7 metrin työleveyttä lietteen levityksessä. Koeruuduista mitattiin lisäksi tallausjälkien keskikohdan ja keskimääräinen syvyys pellon pinnan yleiseen tasoon nähden.

Sijoitusvyvyyskokeessa puitiin jokaisesta koeruudusta yksi kaista siten, että koeruutupuimuri kulki keskeltä lietevaunun ajokaistaa. Tällöin laihonjakajat jakoivat laihon kaikissa käsittelyissä lietevaunun pyöränjäljen kohdalta sekä matala- ja syväsjoitusruduissa myös keskeltä vannasväliä. Nettoruudussa oli siten edustettuna hieman enemmän pyöränjälkeä kuin mitä koko koeruudussa. Tällä ei ole kuitenkaan merkitystä, koska satotappiota tarkasteltiin ainoastaan lisäyksenä jo pyöränjälkien aiheuttamaan. Näin saadut sadot punnittiin, siitä otettiin kosteusnäyte, sadon paino korjattiin kosteuspitoisuusmäärityksen perusteella vastaamaan 15 %:ista viljaa ja muunnettiin hehtaarisadoiksi.

Analyysi tehtiin erikseen tallaus- ja sijoitusvantaanvaikutuskokeelle. Tallauskokeessa sadot ja puintikosteudet analysoitiin kaksisuuntaisella varianssianalyysillä, sijoitusvyvyyskokeessa yksisuuntaisella. Tallauskokeen tulokset analysoitiin varianssianalyysin lisäksi regressioanalyysillä, jossa riippuvana muuttujana oli pyöränjäljen alueen satotappio ja riippumattomana pyöränjäljen keskikohdan tai keskimääräinen syvyys yleiseen pellonpinnan tasoon nähden.

3.7 Tuhannenjyvän painon ja rikkapitoisuuden määritykset

Tuhannen jyvän painot määritettiin kosteuspitoisuusmäärityksen jälkeen siinä syntyneistä ilmakeivista näytteistä yleisesti käytetyllä määritysmenetelmällä (ANON. 1983a, s. 10). Ilmakeivien näytteiden tuhannen jyvän paino muutettiin vastaamaan 15 %:n kosteuspitoisuutta.

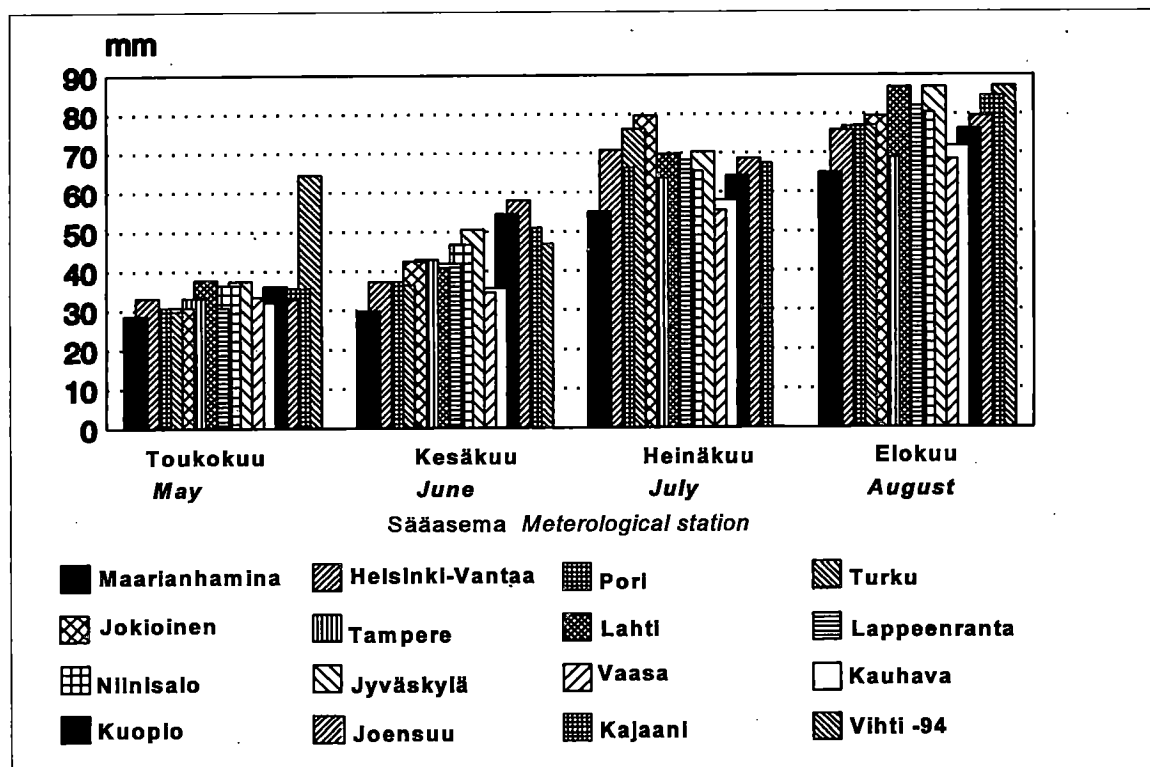
Rikkapitoisuuden määrittämisessä käytettiin yleisesti käytettyä vehnän määritysmenetelmää, vaikka kyseessä oli rehuohra, määrityksen antaman informaation lisäämiseksi (ANON. 1983a, s. 66 - 69). Rehuviljan ja rukiin rikkapitoisuuden määrittäminen eroaa vehnän vastaavasta siten, että rehuviljasta ja rukiista ei määritetä surkastuneiden jyvien määrää. Tämä johtaa siihen, että surkastuneet mutta myös vihreät joutuvat surkastuneisiin eikä vihreisiin, kuten rehuvilja-analyysissä. Rehuviljassa ei myöskään palkokasvien siemeniä lueta rikkajyviin kuuluviksi roskiksi. Kumpikaan edellä mainituista seikoista ei vaikuttanut rikkapitoisuusmäärittämisestä vääristäväksi, koska kumpaankaan ryhmään kuuluvia ei ollut yhdessäkään näytteistä. Rikkapitoisuusmäärittämisestä saadaan normaali rehuviljan rikkapitoisuusmäärittämisellä surkastuneiden pitoisuus rikkajyvien pitoisuudesta.

Tuhannen jyvän painot ja rikkapitoisuusmääritykset analysoitiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä. Analyysi tehtiin erikseen tallaus- ja sijoitusvantaanvaikutuskokeelle.

4 TULOKSET

4.1 Mahdollisuudet kasvustoon levittämiseen koevuotena ja yleensä

Kokeen aikana vallinneita sääoloja voidaan verrata normaaleihin kuviossa 5. Siinä on esitetty kuukauden keskimääräiset sademäärät touko-, kesä-, heinä- ja elokuussa eräillä paikkakunnilla vuosina 1961-1980 ja Vihdissä vuonna 1994. Normaaliin kesään nähden hyvin poikkeuksellisia olivat touko- ja heinäkuuden sademäärät. Toukokuussa satoi yli kaksinverroin normaaliin nähden, ja heinäkuussa ei satanut lainkaan. Erityisesti toukokuun lopun sateet olivat kevätiljakasvustoon levittämisen kannalta erittäin haitallisia. Heinäkuun kuivuus saattoi pahentaa tallauksen aiheuttamien kasvustovaurioiden mukanaan



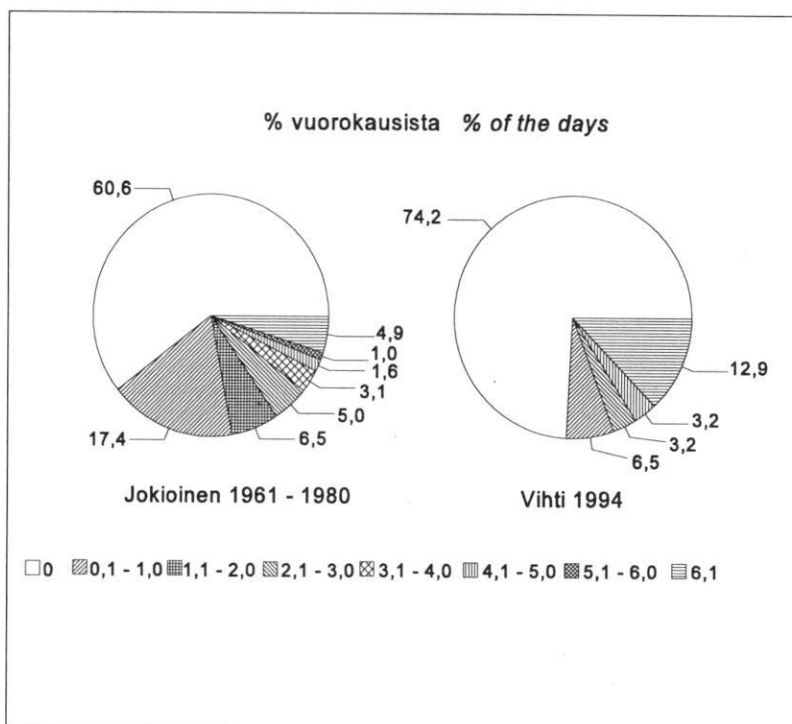
Kuvio 5. Kuukauden keskimääräiset sademäärät touko-, kesä-, heinä- ja elokuussa eräillä paikkakunnilla vuosina 1961 - 1980 ja koe paikalla Vihdissä vuonna 1994 (HEINO ja HELLSTEN 1983, s. 60).

Figure 5. Average rainfall per month for May, June, July and August at some localities in 1961 - 1980 and at the trial site in Vihti 1994.

tuomia satotappiota normaaliin heinäkuuhun nähden. Yleisesti ottaen sääolot olivat lähes pahimmat mahdolliset lannan kevätiljakasvustoon levittämisen kannalta. Seuraavassa tarkastellaan koevuoden 1994 sääolojen antamia mahdollisuuksia lannan levittämiseen kevätiljakasvustoon ja verrataan niitä yleensä vallitseviin mahdollisuuksiin. Levitysmahdollisuuksia tarkasteltaessa käytettiin seuraavia kriteereitä:

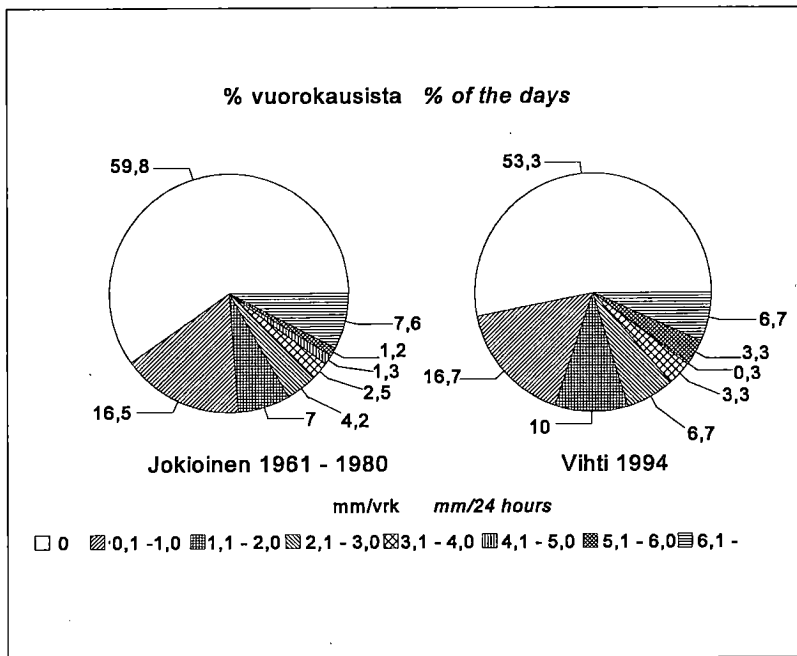
Lannan levitystä kevätiljakasvustoon voidaan katsoa voitavan harjoittaa päivinä, joina sataa vähemmän kuin 1 mm. 2 mm sateen voidaan katsoa estävän levityksen kyseisenä päivänä, mutta ei enää seuraavana. 4 mm:n sateen jälkeen ei voida levittää vielä seuraavakaan päivänä. 2 mm:n sade estää siten keskimäärin yhden päivän levityksen ja jokainen 2 mm, jonka sade ylittää 2 mm estää levityksen vielä yhtenä päivänä lisää. Siten 14 mm:n sade yhtenä päivänä estää levityksen noin viikon ajan.

Kuviossa 6 on esitetty toukokuun päivittäisten sademäärien jakaantuminen eri luokkiin vuosina 1961 - 1980 Jokioisissa sekä vuonna 1994 Vihdissä koekentillä jaoteltuna päivittäisen sademäärien mukaan. Toukokuussa 1994 koepaikalla oli 70 km koepaikalta pohjoiseen sijaitsevalle Jokioiselle täysin normaali määrä päiviä, joina satoi korkeintaan 1 mm päivässä, noin 80 % eli 25 kappaletta. Valitettavasti niistä 19 oli kylvöä seuraavaan päivään mennessä. Loput 6 sateetonta päivää oli niiden kylvönjälkeisten päivien välissä, joina satoi paljon. Jo ensimmäinen runsassateinen päivä, kaksi päivää kylvön jälkeen, olisi estänyt levityksen lähes toukokuun loppuun saakka. Kaikki seuraavat sateet olivatkin jo liikaa kasvustoon levittämisen kannalta. Normaalisti yli kahden päivän levitykset estäviä sateita sattuu Jokioisissa toukokuussa vain kaksi. Yleensä toinen niistä on ennen kylvöjä. Tänä vuonna niitä oli neljä, kaikki kylvöjen jälkeen. Jos kylvöjä tehdään 15. toukokuuta, mikä on erittäin tavallista muun muassa Vihdissä, ja korkeintaan 6 mm:n vuorokautiset sateet jakaantuvat tasan koko kuukaudelle, kylvöjen jälkeen toukokuussa on korkeintaan 6 mm:n vuorokautiset sateet huomioiden 8 päivää, joina lantaa voidaan levittää. Lisäksi levityskelpoisia kylvöjen jälkeisiä päiviä saattaa vähentää yksi isompi sade, joka keskimäärin ottaen sattuu yhtenä päivänä kuun loppupuolella. Se voi viedä 4 levityspäivää tai kaikkikin. Alle kaksi levityspäivää toukokuuhun jättäviä sateita sattuu keskimäärin kerran viidessä vuodessa.



Kuvio 6. Toukokuun päivittäisten sademäärien jakaantuminen eri sademääräluokkiin vuosina 1961 - 1980 Jokioisissa ja vuonna 1994 koepaikalla Vihdissä. (HEINO ja HELLSTEN 1983, s. 83, 99, 123, 131, 139, 147, 155, 163, 171, 179, 187, 195, 203, 211, 227).

Figure 6. Proportion of days with different amounts of rainfall in May in 1961 - 1980 in Jokioinen, 70 km north of the trial site, and in 1994 at the trial site in Vihti.



Kuvio 7. Kesäkuun päivittäisten sademäärien jakaantuminen eri sademääräluokkiin vuosina 1961 - 1980 Jokioisissa ja vuonna 1994 koepaikalla Vihdissä. (HEINO ja HELLSTEN 1983, s. 83, 99, 123, 131, 139, 147, 155, 163, 171, 179, 187, 195, 203, 211, 227).

Figure 7. Proportion of days with different amounts of rainfall in June in 1961 - 1980 in Jokioinen, 70 km from the trial site, and in 1994 at the trial site in Vihti.

päivän levityksen estäviä sateita eli 1,1 - 2,0 mm:n sateita oli koekentillä kesäkuussa 1994 kolme. Jokioisissa niitä on keskimäärin kaksi. Koepaikalla näistä kaksi sijoittui kuukauden loppupuolelle. Yli kahden päivän levitykset estäviä sateita Jokioisissa on kesäkuussa yleensä viisi. Nyt niitä oli koekentillä kuusi. Korkeintaan 6 mm:n sateet huomioon ottaen Jokioisissa on normaalisti levityspäiviä kahdeksan. Lisäksi kesäkuun alkupuolella on keskimäärin yksi päivä, jona sataa enemmän kuin 6 mm. Tämä saattaa viedä neljä tai useampia levityskelpoista päivää. Jos oletetaan, että sateet jakaantuisivat tasan kesäkuulle, kesäkuun alkupuolella on siten levityskelpoisia päiviä yleensä neljä tai vähemmän. Tänä vuonna kesäkuun alussa olisi ollut periaatteessa seitsemän levityskelpoista päivää, jos toukokuun sateet eivät olisi vaikuttaneet kesäkuussa levitystä estävästi. Alle kaksi levityspäivää kesäkuuhun jättäviä sateita sattuu Jokioisissa keskimäärin joka kolmas vuosi.

Kasvukaudelle oli kuvaavaa alkujakson kylmyys ja toukokuun lopun erittäin suuret ja heinäkuun erittäin pienet sademäärät. Näistä kaksi ensimmäistä koituivat tuhoisiksi lannan kasvustoon levittämisen aiheuttamien kasvuston tallaantumisvaurioiden tutkimiselle. Lannan levitys ja niinkään sitä kuvaavat tallauskokeet olivat lähes mahdottomat suorittaa. Kuitenkin ajallaan liikkeellä oleva viljelijä olisi saattanut ehtiä täysin mielekkääseen aikaan levittää lantaa kasvustoon hajalevityksenä ehkä noin 15 hehtaarille ja hieman huonompaan aikaan lisäksi noin 25 hehtaarille. Tällöin päivässä olisi pitänyt levittää yhteensä viidelle hehtaarille 20 kappaletta 7,5 m³:n lietekuormia. Menetelmä ei siten ollut sen toimivuuden kannalta lähes pahimmisakaan mahdollisissa olosuhteissa täysin käyttökelvoton.

Kuviossa 7 on esitetty kesäkuun päivittäisten sademäärien jakaantuminen eri luokkiin jaoteltuna päivittäisten sademäärien mukaan vuosina 1961 - 1980 Jokioisissa sekä vuonna 1994 Vihdissä koekentillä. Kesäkuussa 1994 koekentillä oli täysin normaali määrä, noin 70 % eli 22 päivää, joina satoi korkeintaan 1 mm. Esimerkiksi Jokioisissa on kesäkuussa keskimäärin 24 tällaista päivää, kuten kuviosta 7 voidaan todeta. Näistä puolet eli 11 oli kesäkuun alkupuolella. Kyseisen

4.2 Tallauskoe

4.2.1 Tallaustappiot

Eri tallauskäsittelyillä eri tallausajankohtina saatujen tallaustappioiden välisten erojen tilastolliset merkitsevyydet on esitetty taulukossa 2. Lohkon sekä sen ja tallausajankohdan välistä tilastollista merkitsevyyttä ei tarvitse huomioida, koska lohkokotekijä ei ollut varsinainen koetekijä. Koekentän satotasot olivat kuitenkin varsin erilaiset lohkoittain, koska sekä lohkokotekijä että sen ja päävaikutuksena olleen tallausajankohdan ja lohkokotekijän välinen yhdysvaikutus kumpainkin oli tilastollisesti vähintään hyvin merkitsevä tarkasteltaessa

Taulukko 2. Tallausajankohtien- ja -käsittelyjen välisten erojen tilastolliset merkitsevyydet niiden vaikutuksessa satoon, puintikosteuteen, sadon tuhannen jyvän painoon ja rikkapitoisuusmäärittelykseen.

Suure	Jäännös- virhe	Faktori	F-arvo	Vapaus- asteet	Riski
Sato	80409	Tallausajankohta	1,28	1, 18	0,2732
		Tallauskäsittely	3,71	3, 18	0,0308*
		Ajankohta.käsittely	0,23	3, 18	0,8750
		Lohko	9,08	3, 18	0,0007***
		Tallausaika.lohko	7,37	3, 18	0,0020**
Puintikosteus	0,25	Tallausajankohta	40,55	1, 18	0,0000***
		Tallauskäsittely	5,66	3, 18	0,0065**
		Ajankohta.käsittely	10,56	3, 18	0,0003***
		Lohko	39,07	3, 18	0,0000***
		Tallausaika.lohko	1,00	3, 18	0,4164
Tjp	3,31	Tallausajankohta	0,26	1, 18	0,6197
		Tallauskäsittely	0,55	3, 18	0,6555
		Ajankohta.käsittely	1,14	3, 18	0,3583
		Lohko	4,81	3, 18	0,0124**
		Tallausaika.lohko	4,36	3, 18	0,0178*
Roskapitoi- suus	0,01	Tallausajankohta	0,00	1, 18	1,0000
		Tallauskäsittely	0,67	3, 18	0,5834
		Ajankohta.käsittely	0,08	3, 18	0,9709
		Lohko	8,82	3, 18	0,0008***
		Tallausaika.lohko	5,41	3, 18	0,0078**
Rikkajyvä- pitoisuus	11,26	Tallausajankohta	1,43	1, 18	0,2473
		Tallauskäsittely	1,83	3, 18	0,1773
		Ajankohta.käsittely	0,57	3, 18	0,6391
		Lohko	15,32	3, 18	0,0000***
		Tallausaika.lohko	4,55	3, 18	0,0153*
Surkastunei- den määrä	11,12	Tallausajankohta	1,46	1, 18	0,2424
		Tallauskäsittely	1,75	3, 18	0,1918
		Ajankohta.käsittely	0,61	3, 18	0,6143
		Lohko	15,75	3, 18	0,0000***
		Tallausaika.lohko	4,63	3, 18	0,0144*
Rikkinäisten määrä	0,01	Tallausajankohta	0,36	1, 18	0,5560
		Tallauskäsittely	1,50	3, 18	0,2484
		Ajankohta.käsittely	3,06	3, 18	0,0547-
		Lohko	6,48	3, 18	0,0036**
		Tallausaika.lohko	0,12	3, 18	0,9472

satoon vaikuttavia tekijöitä. Koekenttä oli myös hyvin epätasainen puintikosteuden ja rikkapitoisuuksien suhteen. Tallaustappioissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri tallausajankohtina eikä tallausajankohdan ja tallauskäsittelyn välinen yhdysvaikutuskaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Koejäsenistä ainoastaan sen koejäsenen, jossa tallaava levityskalusto oli varustettu 21":n renkailla ja jossa telipaino oli 12 tonnia, satò erosi tilastollisesti merkitsevästi käsittelemättömien ruutujen sadosta. Eri käsittelyillä saadut tallaustappiot on esitetty kuviossa 8. Tulokset ovat kummankin tallausajankohdan keskiarvoja kullekin tallauskäsittelylle, koska tallausajankohtien ja -käsittelyn välinen yhdysvaikutus eikä myöskään tallausajankohtien välinen ero olleet tilastollisesti merkitseviä.

Table 2. Statistical significances of the differences in the effect of the factors upon the yield and relating quality parameters. Time = point of time for the wheeling treatment, treatment = wheeling treatment.

<i>Variable</i>	<i>MS-error</i>	<i>Factor</i>	<i>F-value</i>	<i>Degrees of freedom</i>	<i>p-value</i>
<i>Yield</i>	80409	<i>Time</i>	1.28	1, 18	0.2732
		<i>Treatment</i>	3.71	3, 18	0.0308*
		<i>Time.treatment</i>	0.23	3, 18	0.8750
		<i>Block</i>	9.08	3, 18	0.0007***
		<i>Time.block</i>	7.37	3, 18	0.0020**
<i>Moisture content</i>	0.25	<i>Time</i>	40.55	1, 18	0.0000***
		<i>Treatment</i>	5.66	3, 18	0.0065**
		<i>Time.treatment</i>	10.56	3, 18	0.0003***
		<i>Block</i>	39.07	3, 18	0.0000***
		<i>Time.block</i>	1.00	3, 18	0.4164
<i>Weight of 1000 seeds</i>	3.31	<i>Time</i>	0.26	1, 18	0.6197
		<i>Treatment</i>	0.55	3, 18	0.6555
		<i>Time.treatment</i>	1.14	3, 18	0.3583
		<i>Block</i>	4.81	3, 18	0.0124**
		<i>Time.block</i>	4.36	3, 18	0.0178*
<i>Trash content</i>	0.01	<i>Time</i>	0.00	1, 18	1.0000
		<i>Treatment</i>	0.67	3, 18	0.5834
		<i>Time.treatment</i>	0.08	3, 18	0.9709
		<i>Block</i>	8.82	3, 18	0.0008***
		<i>Time.block</i>	5.41	3, 18	0.0078**
<i>Small seeds + broken seeds</i>	11.26	<i>Time</i>	1.43	1, 18	0.2473
		<i>Treatment</i>	1.83	3, 18	0.1773
		<i>Time.treatment</i>	0.57	3, 18	0.6391
		<i>Block</i>	15.32	3, 18	0.0000***
		<i>Time.block</i>	4.55	3, 18	0.0153*
<i>Small seeds¹⁾</i>	11.12	<i>Time</i>	1.46	1, 18	0.2424
		<i>Treatment</i>	1.75	3, 18	0.1918
		<i>Time.treatment</i>	0.61	3, 18	0.6143
		<i>Block</i>	15.75	3, 18	0.0000***
		<i>Time.block</i>	4.63	3, 18	0.0144*
<i>Broken seeds²⁾</i>	0.01	<i>Time</i>	0.36	1, 18	0.5560
		<i>Treatment</i>	1.50	3, 18	0.2484
		<i>Time.treatment</i>	3.06	3, 18	0.0547-
		<i>Block</i>	6.48	3, 18	0.0036**
		<i>Time.block</i>	0.12	3, 18	0.9472

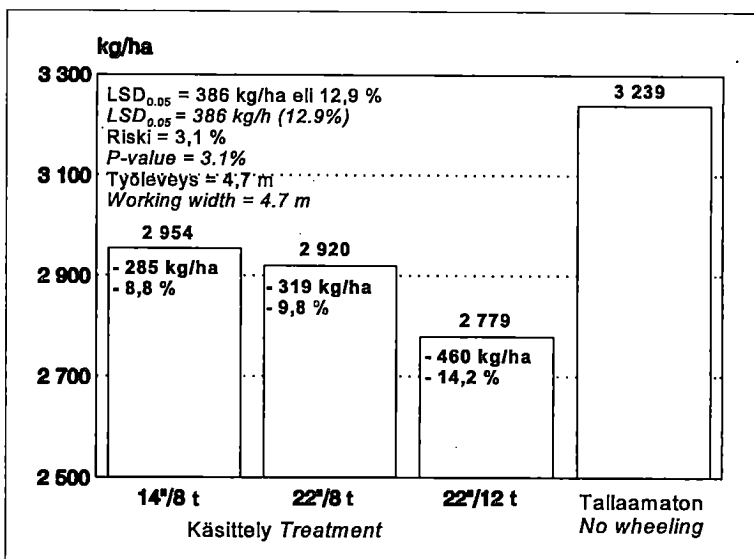
¹⁾ *Seeds passing a sieve with 2 mm slots but not one with 1 mm slots. Seeds passing a sieve with 1 mm slots are classified as trash.*

²⁾ *Broken seeds smaller than half a seed.*

Jälkimmäisenä tallausajankohdana satotappio oli tilastollisesti merkitsemättömästi yli kaikkien käsittelyiden 113 kg/ha eli 3,8 %-yksikköä pienempi kuin aikaisemman tallausajankohdan. Pienimmät merkitsevät erot eri koetekijöiden tasojen välillä on esitetty kuviossa 8. Mainitun tilastollisesti eroavan käsittelyn aiheuttama satotappio oli 460 kg/ha eli 14 % tallaamattomien ruutujen sataa alempi. Tilastollisesti merkitsevä tappio olisi ollut vähintään 386 kg/ha eli 12,9 % käsitte-

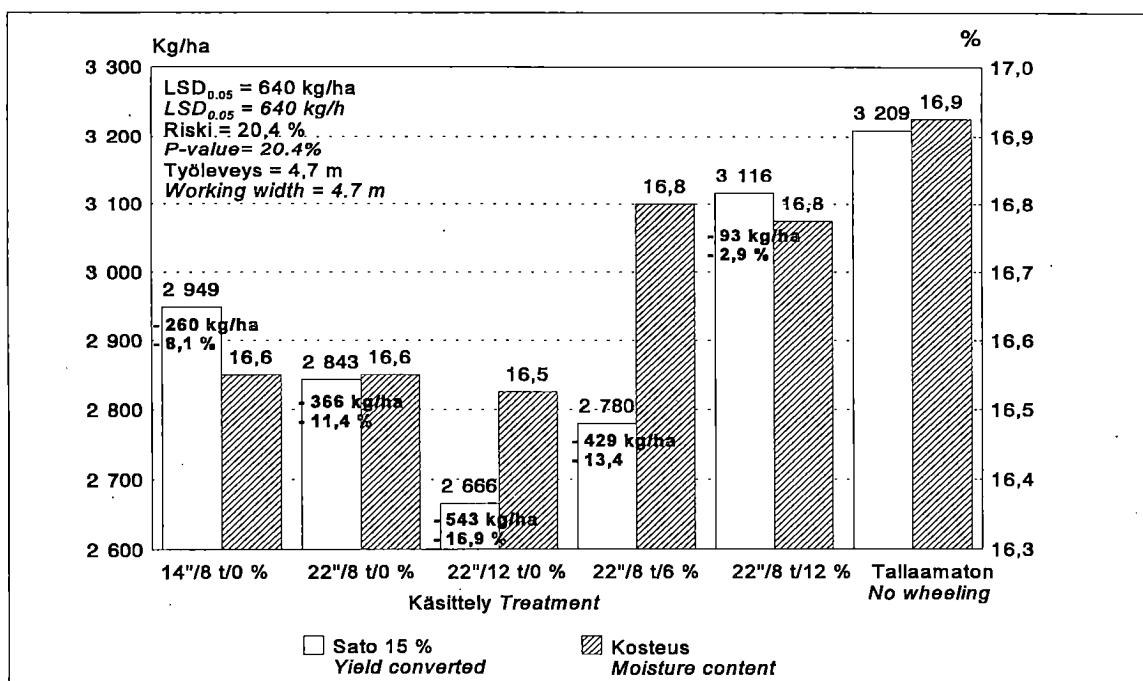
mättömän koejäsenen sadosta. Tappio pätee, kun levityskaluston työleveys on 4,7 metriä. Työleveyden kaksinkertaistuessa koko viljelyalueen satotappio puolittuu ja päinvastoin.

Kuviossa 9 on esitetty tallauksen aiheuttamat satotappiot pelkästään versomisvaiheessa tehtyjen tallauksen perusteella. Mitkään tämän kuvion mukaisista käsittelyjen välisistä eroista eivät ole tilastollisesti merkitseviä. Versomisvaiheessa kokeessa oli mukana myös kaksi käsittelyä, joissa oli mukana luistoa. Suuremmalla 12 %:n luistolla saatu satotappio ei ole sopusoinnussa muilla käsittelyillä saatujen tulosten kanssa.



Kuvio 8. Eri tallauskäsittelyiden vaikutus satoon molempien tallausajankohtien keskiarvona.

Figure 8. Effect of the different wheeling treatments upon the yield. Mean of both treatment times.



Kuvio 9. Versomisen aikaan tehtyjen eri tallauskäsittelyiden vaikutus satoon.

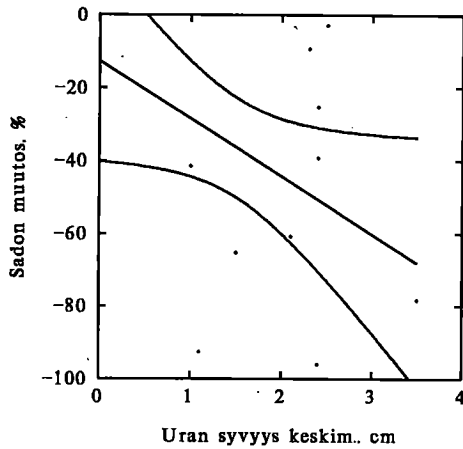
Figure 9. Effect of the different wheeling treatments upon the yield and its moisture content for crops treated when the crop height was approx. 15 cm.

Taulukossa 3 on esitetty pyöränjälkien alueen satotappioiden regressiomallin analyysitulokset. Ensimmäisessä mallissa pyöränjäljen alueen satotappiota selitetään pyöränjäljen keskimääräisellä syvyydellä ja toisessa pyöränjäljen keskikohdan syvyydellä pellon pinnan yleiseen tasoon nähden. Mittaamalla pyöränjäljen keskimääräinen syvyys saadaan parempi kuva pyöränjäljen syvyydestä kuin mittaamalla pelkästään sen keskikohdan syvyys, mutta satotappiomallien selitysasteiden ero on hyvin pieni. Kummatkin mallit selittävät pyöränjäljen satotappiosta noin 20 %. Mallien mukaan pyöränjälkien alueen satotappiot kasvavat 17 - 20 %-yksikköä jokaista pyöränjäljen syvyyden senttimetriä kohden. Mallien mukainen pyöränjäljen alueen satotappio on esitetty kuvioissa 10 ja 11 pyöränjäljen syvyyden funktiona.

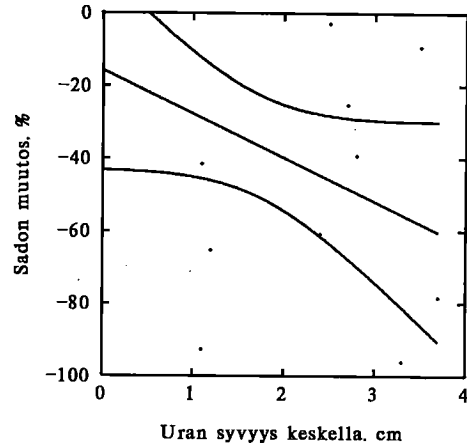
Taulukko 3. Pyöränjäljen alueen satotappioiden regressiomallit ja niiden selitysasteet ja regressiokertointen tilastolliset merkitsevyydet.

Table 3. Regression models for the yield losses on the rut area, the determination coefficients of the models and the statistical significances of the regression coefficients.

	Malli Model	
	Pyöränjäljen keskimääräisen syvyyden mukaan <i>Based on the mean rut depth</i>	Pyöränjäljen keskikohdan syvyyden mukaan <i>Based on the rut depth in the middle of the rut</i>
Mallin yhtälö <i>Equation of the model</i>	$\hat{Y} = -20,382 \cdot s$ Y = sadon muutos, % <i>Y = change in yield, %</i> s = jäljen syvyys, cm <i>s = rut depth, cm</i>	$Y = -17,139 \cdot s$ Y = sadon muutos, % <i>Y = change in yield, %</i> s = jäljen syvyys, cm <i>s = rut depth, cm</i>
Havaintojen lkm <i>No. of observation</i>	19	19
R ²	0,202	0,192
Estimaatin keskivirhe <i>Standard error of estimate</i>	79,200	79,705
Regression merkitsevyys: <i>Stat. significance of the regression:</i>		
SS	28 623,262	27 178,679
df	1	1
MS	28623,262	27178,679
F-arvo <i>F-value</i>	4,563	4,278
p-arvo <i>p-value</i>	0,047*	0,053-
Jäännösvirhe: <i>Error term:</i>		
SS	112 908,178	114 352,761
df	18	18
MS	6272,677	6352,931



Kuvio 10. Pyöränjäljen alueen sadon muutos pyöränjäljen keskimääräisen syvyyden mukaan.
Figure 10. Change in yield on the rut area as a function of the average rut depth.

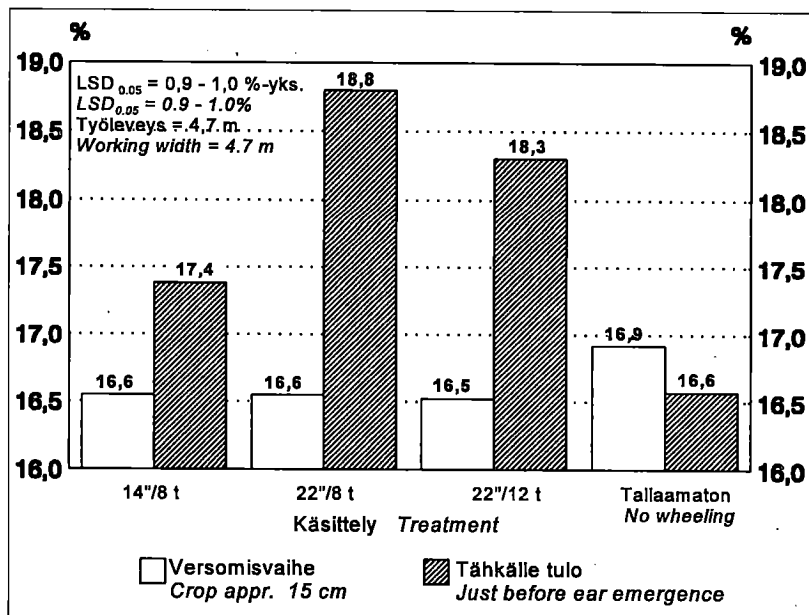


Kuvio 11. Pyöränjäljen alueen sadon muutos pyöränjäljen keskikohdan syvyyden mukaan.
Figure 11. Change in yield on the rut area as a function of the rut depth in the middle of the rut.

4.2.2 Tallauksen vaikutus puintikosteuteen

Eri tallauskäsittelyillä ja eri tallausajankohtina tallatuista kasvustoista saatujen satojen puintikosteuksien välisten erojen tilastolliset merkitsevyydet on esitetty taulukossa 2. Eri tallausajankohtina tallattujen koejäsenten puintikosteudet erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Myös tallausajankohdan ja tallauskäsittelyn välinen yhdysvaikutus oli tilastollisesti merkitsevä.

Eri tallausajankohtina ja eri tallauskäsittelyillä saatujen satojen puintikosteudet on esitetty kuviossa 12. Eri tallauskäsittelyjen ero on tilastollisesti merkitsevä, jos puintikosteuksien välinen ero on vähintään 1,0 %-yksikköä. Eri tallausajankohtien välinen ero tallauksittavan sisällä on tilastollisesti merkitsevä, jos puintikosteuksien ero on vähintään 0,9 %-yksikköä.



Kuvio 12. Eri tallausajankohtien ja eri tallauskäsittelyiden vaikutus sadon puintikosteuteen.
Figure 12. Effect of the different wheeling treatments and times of treatment upon the moisture content of the harvest.

Kun tallaukset tehtiin versomisvaiheessa, ei käsittely vaikuttanut sadon puintikosteuteen. Tallaamattoman koejäsenen puintikosteus oli kuitenkin 0,3 %-yksikköä suurempi kuin tallattujen. Vaikka ero ei ole tilastollisesti merkitsevä se viittaa siihen, että tallatun pyöränjäljen kohdalla kasvusto pakkotuleentui kuivan heinäkuun takia. Kasvustosta tehdyt visuaaliset havainnot tukevat tätä käsitystä. Eri tallausajankohtina tallattuja ruutuja vastaavien käsittelemättömien koejäsenten välinen ero eri tallausajankohtien välillä on yhtä suuri kuin edellä mainittu ero, joten tallaamattoman ja tallatun käsittelyn välinen ero puintikosteudessa ei välttämättä merkitse yhtään mitään versomisvaiheessa tallatessa. Tilanne oli päinvastainen juuri ennen tähkimistä tallatuissa koejäsenissä. Leveillä renkailla tallattujen käsittelyjen puintikosteudet olivat tilastollisesti merkitsevästi, 1,7 - 2,2 %-yksikköä, suuremmat kuin tallaamattoman. Myös kapealla renkailla tallatun käsittelyn puintikosteus oli suuntaa-antavasti, 0,8 %-yksikköä, korkeampi kuin tallaamattoman. Tärkein tulos on kuitenkin se, että leveillä renkailla tallatessa juuri ennen tähkien muodostumista puintikosteus on tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin kapeilla renkailla tallattaessa. Tilastollisen merkitsevyyden raja on tässä tapauksessa käytännön merkittävyyden kanssa lähes sama. Voidaankin sanoa, että leveillä renkailla tallaaminen juuri ennen tähkien esilletuloa nosti puintikosteutta sen verran, että siitä oli haittaa mutta kapeilla renkailla tallaaminen ei aivan. Nämäkin tulokset koskevat 4,7 metrin työleveyttä. Työleveyden muuttuessa kokeen mukaisesta eri käsittelyiden puintikosteuksien erot käsittelemättömään nähden muuttuvat kuten satotappiotkin.

4.2.3 Tallauksen vaikutus tuhannen jyvän painoon ja rikkapitoisuuteen

Tallausajankohdan ja -käsittelyn sekä niiden välisen yhdysvaikutuksen tilastolliset merkitsevyydet sadon tuhannen jyvän painoon, roska- ja rikkajyväpitoisuuteen, surkastuneiden sekä rikkinäisten jyvien määrään on esitetty taulukossa 2. Tallausajankohdalla tai käsittelyllä ei ollut vaikutusta sadon tuhannen jyvän painoon, roska-, rikkajyvä-, surkastuneiden eikä rikkinäisten jyvien määrään. Myöskään tallausajankohdan ja käsittelyn välinen yhdysvaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Tallauksilla ei siten ollut vaikutusta sadon tuhannen jyvän painoon eikä rikkapitoisuusmääritykseen. Määrittämissä ei löydetty lainkaan vihreitä jyviä. Tallauskokeiden sadoista määritetyt tuhannen jyvän painot ja rikkapitoisuudet on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Tuhannen jyvän paino ja rikkapitoisuusmääritys tallauskokeessa. *Table 4. Quality parameters of the harvested crops of the wheeling trial. See note of table 2 for definition of small seeds and broken seeds.*

Tjp, g <i>Weight of 1000 seeds, g</i>	32,1
Roskat, % <i>Trash, %</i>	0,3
Rikkajyvät, % <i>Small + broken seeds, %</i>	12,2
Surkastuneet, % <i>Small seeds, %</i>	12,0
Rikkinäiset, % <i>Broken seeds, %</i>	0,2

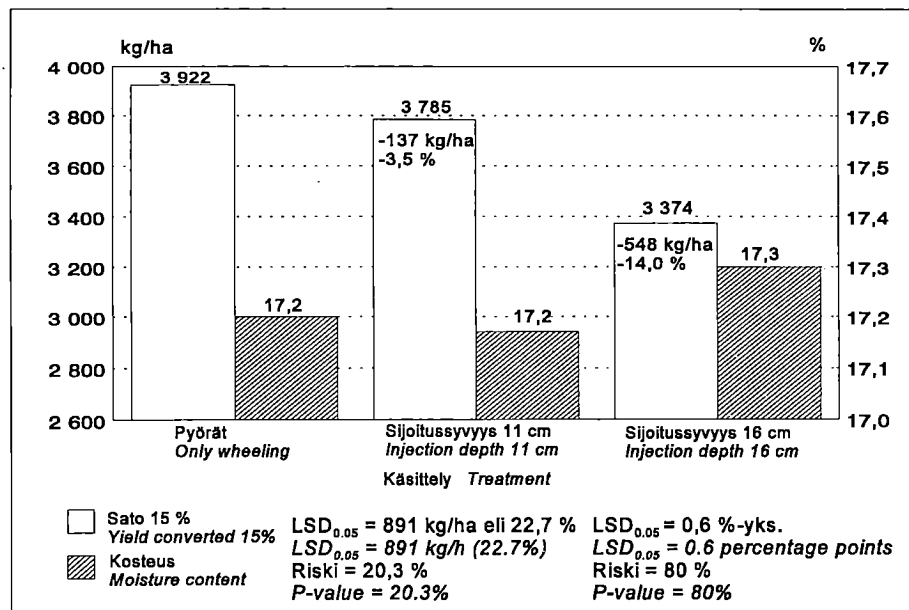
4.3 Sijoitusvyvykskoe

Eri sijoitusvyvyksien aiheuttamien satotappioiden erojen tilastolliset merkitsevyydet on esitetty taulukossa 5. Sijoitusvyvyys ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi satoon eikä puintikosteuteen. Sijoitusvantaiden aiheuttamat satotappiot on esitetty kuviossa 13.

Taulukko 5. Sijoitusvyvyden vaikutuksen tilastolliset merkitsevyydet ja vaikutus satoon, puintikosteuteen ja sadon tuhannen jyvän painoon ja rikkapitoisuusmäärittelyyn.

Table 5. Slurry injection depth trial. Statistical significances and effect of the injection depth upon the yield and its quality parameters.

	F-arvo F-value	Vapausasteet Degrees of freedom	Riski p-value	MS-error MS error	Pelkät pyörät Only wheeling, no injection	Sijoitusvyvyys, cm Injection depth, cm	
						11	16
Sato, kg/ha Yield, kg/h (ka-pit. 85 %) (85 % Dm)	2,00	2, 6	0,2155	162566		3694	
Puintikosteus, % Moisture, %	0,23	2, 6	0,8044	0,11		17,23	
Tjip, g Weight of 1000 seeds, g	6,59	2, 6	0,0306*	2,17	30,3	33,4	
Roskat, % Trash	1,62	2, 6	0,2732	0,23		0,6	
Rikkajyvät, % Small + broken seeds	0,85	2, 6	0,4719	13,58		12,6	
Surkastuneet, % Small seeds	0,73	2, 6	0,5207	14,41		12,2	
Rikkinäiset, % Broken seeds	0,20	2, 6	0,8269	0,12		0,4	



Kuvio 13. Sijoitusvantaiden aiheuttamat lisäsatotappiot kahdella eri sijoitusvyvydellä.
Figure 13. Yields and their moisture content in the injection depth trial.

Tilastollisesti merkitsevä satotappio olisi ollut 891 kg/ha eli 24,1 % sadosta, jota on jo vähentänyt levityskaluston tallaustappio. Jotta vantaiden aiheuttama satotappio syvässä sijoituksessa olisi ollut merkitsevä olisi pitänyt hyväksyä 21 %:n riski. Satotappio olisi tällöin ollut 548 kg/ha eli 14 % sadosta, jota pyöränjaljet olivat jo alentaneet. Matalassa sijoituksessa satotappio oli vain 137 kg/ha eli 3,5 %.

Sijoitusvantaiden aiheuttamat vauriot kasvustossa eivät vaikuttaneet puintikosteuteen, kuten taulukosta 5 voidaan todeta. Puintikosteus oli kaikissa käsittelyissä sama 17,2 %. Sen sijaan sijoitusvantaiden aiheuttamat vauriot nostivat tuhannen jyvän painoa, kuten taulukosta 5 voidaan todeta. Pelkästään levityskaluston pyörien tallaaman kasvuston sadon tuhannen jyvän paino oli 30,3 g. Sekä matala että syvä sijoitus johti tilastollisesti merkitsevästi suurempaan tuhannen jyvän painoon kuin lannanlevityskaluston pyörien talaus pelkästään. Harventunut kasvusto kompensoi satoa kasvattamalla suuria jyviä. Matalan ja syvän sijoituksen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Sijoitusvantailla vaurioitettun kasvuston tuhannen jyvän paino oli keskimäärin 33,4 g. Sijoitusvantaiden vauriot eivät vaikuttaneet roskien eikä rikkajyvien määrään, kuten taulukosta 5 voidaan todeta. Myöskään rikkajyviin kuuluvien surkastuneiden tai rikkinäisten jyvien määrässä ei ollut eroa.

5 TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimuksen tulokset perustuvat tässä vaiheessa yhden varsin poikkeuksellisen vuoden tuloksiin. Siksi niihin pitää suhtautua tietyllä varauksella. Käsitykseni on, että saadut satotappiot ovat kuitenkin tavallista suuremmat. Perustan käsitykseni siihen, että tallaukset jouduttiin sääolojen takia tekemään, kun pellon pinta oli juuri kuivahtanut harmahtavaksi, mutta pohjamaa oli edelleen hyvin märkä tallauksia edeltäneiden poikkeuksellisen runsaiden sateiden takia. Vaikka maan pinta kesti hyvin kaluston aiheuttaman kuorman rikkoutumatta, pohjamaa painui tavallista enemmän. Se, että pintamaa painui mattona notkolle ja varsinainen tiivistyminen syntyi määrässä pohjamaassa, aiheutti juurikerroksessa todennäköisesti tavanomaista suurempia vauriota. Satotappiot normaalina kuivana alkukesänä olisivat pienemmät. Esimerkiksi KEMPPAINEN (1989, s. 202 - 219) oli vastaavissa kolmivuotisissa kokeissa vastaavassa kasvuvaiheessa saanut keskimäärin noin 2 %:n tallaustappioita. Hänen kokeissaan renkaiden leveys oli sama 14" kuin tämän tutkimuksen kapeassa rengasvarustuksessa, mutta vaunussa oli vain yksi akseli. Tässä tutkimuksessa tallaustappiot olivat siten noin nelinkertaiset hänen tutkimuksensa tallaustappioihin nähden.

Koejäsenessä, jossa käytettiin kapeaa rengastusta, lietevaunun renkaiden kantavuutta ei täysin hyödynnetty, vaikkakin käytetty rengaspaine vastasi hyödynnettyä kantavuutta. Rengaspainetta olisi voitu vielä nostaa 20 kPa. Lietevaunun kumpikin rengasvarustus oli kantavuutensa puolesta keskenään vaihtokelpoinen, koska leveämmässä rengastuksessa

täytyi käyttää alemmaa rengaspainetta kuin kapeassa. Lietevaunun pienemmän rengasvarustuksen halkaisija, alle 1,1 metriä, oli liian pieni, että niillä olisi voitu saavuttaa riittävä kantavuus riittävän alhaisella rengaspaineella. Leveimmillä renkailla kantavuus voitiin saavuttaa kohtuullisilla rengaspaineilla. Ne olivat kuitenkin tarpeettoman leveät suhteessa korkeuteen. Käytettyjen leveiden renkaiden kantavuutta vastaava kantavuus vastaavilla rengaspaineilla voidaan saavuttaa esimerkiksi traktorinrenkaalla 16.9-38 (ANON. 1994, s. 185). Rengas on tällöin noin 20 % kapeampi. Vastaavasti renkaiden aiheuttamat satotappiot jäisivät 20 % pienemmiksi käytettäessä tätä noin 1,7 metriä korkeaa rengasta käytetyn 1,4 metriä korkean renkaan asemesta.

Leveämpää rengastusta käytettäessä lietevaunujen renkaiden kuormitus vastasi niiden suurinta kantavuutta telipainon ollessa 12 tonnia. 8 tonnin telipainoa ja leveää rengastusta käytettäessä lietevaunun renkaiden rengaspainetta olisi voitu laskea noin 30 kPa. Tämä olisi saattanut laskea kyseisten koejäsenten tallustappioita jonkin verran. Kaikissa tapauksissa lietevaunun rengaspaineet olivat suuremmat kuin vetotraktorin takarenkaiden. Vaikka erot sadoissa kahden kahdeksan tonnin telipainovaihtoehdon välillä eivät olleetkaan tilastollisesti merkitseviä, keskiarvoja tarkastellen leveä rengas johti suurempiin satotappioihin koko koeruudun alueella kuin kapea rengas, mutta pyöränjäljen kohdalla sen satotappiot olivat noin 20 %-yksikköä pienemmät kuin kapean renkaan aiheuttamat. Rengaspaineen vähentäminen 300 kPa:sta 170 kPa:iin näytti siten pienentävän satotappioita tallatulla alueella noin kolmanneksella. Tätä käsitystä tukee se, että kokeessa leveän renkaan ja 12 tonnin telipainon maahan kohdistama pintapaine oli periaatteessa sama kuin kapean renkaan ja kahdeksan tonnin telipainon, ja näissä kummassakin vaihtoehdossa pyöränjäljen alueen satotappio oli keskiarvoltaan yhtä suuri. Käsitystä tukee myös kirjallisuus. (RAS-MUSSEN ja MØLLER 1981.) Jos leveän renkaan rengaspaine olisi kantavuuden rajoissa laskettu mahdollisimman alas, olisi pyöränjäljen satotappion pieneminen saattanut kattaa pyöränjäljen levenemisen aiheuttaman satotappioiden kasvun. Koska leveä rengastus investointina on kuitenkin kalliimpi kuin kapea ja saattaa johtaa puintikosteuden nousuun, jos levitys myöhästyy, johdattaa se investoimaan kapeampaan rengastukseen. Renkaan halkaisijan kasvattaminen sen sijaan olisi saattanut olla kannattavaa, koska se ei missään olosuhteissa ainakaan olisi lisännyt satotappioita, mutta olisi hyvinkin saattanut pienentää niitä. Tälläkään ratkaisulla mahdollisesti saavutettava tallustappioiden pieneminen ei välttämättä kata kustannuksia, mutta saattaa olla välttämätön tekninen ratkaisu riittävän kantavuuden saavuttamiseksi renkaalla, joka mahtuu esimerkiksi sijoitusvantaiden väliin.

Traktorin leveiden takarenkaiden rengaspainetta olisi voitu laskea sekä 8 että 12 tonnin telipainoa käytettäessä. 12 tonnin telipainovaihtoehdossa siitä ei olisi ollut varsinaista hyötyä, koska lietevaunun renkaiden painetta ei olisi voinut laskea. Sen sijaan kahdeksan tonnin telipainoratkaisussa lietevaunun renkaiden paine olisi voitu laskea noin 130 kPa:iin, jolloin alemmasta rengaspaineesta myös traktorin taka-akselilla olisi voinut olla hyötyä.

RODHEN ja SALOMONIN (1992a, s. 51 - 52) tulokset kasvustoon levittämisen aiheuttamista tallustappioista osoittavat selkeästi pienempiä tappioita kuin mitä tämän tutkimuk-

sen kokeissa Vihdissä ohrakasvustossa kesällä 1994 saatiin. Kun tämän tutkimuksen kokeissa levityskaluston pyörien aiheuttamat satotappiot olivat versomisen alussa ja juuri ennen tähkimistä samalle eli 12 metrin työleveydelle laskettuna 3,4 %, olivat vastaavat tappiot RODHEN ja SALOMONin (1992a, s. 51 - 52) tutkimuksissa -0,2 - 1,2 % vastaavana ajankohtana. Tämän tutkimuksen tallaukset vastasivat lähinnä hajalevitystä, joka RODHEN ja SALOMONin (1992a, s. 51 - 52) kokeissa antoi lievää sadon lisästä, 0,2 %, satotappion puuttumiseen kokonaan. Periaatteessa tallaukseen käytetty levityskalusto oli kummassakin kokeessa samanlaista. Kun renkaiden leveys oli tämän tutkimuksen kokeissa, joissa edellä mainittu tallaustappio mitattiin, 14", RODHEN ja SALOMONin (1992a, s. 51 - 52) kokeissa levittimessä renkaiden leveys oli 15" ja traktorin taka-akselilla 18,5". Tämän tutkimuksen kokeissa traktorin taka-akseli painoi 10 % pienempi kuin RODHEN ja SALOMONin (1992a, s. 51 - 52) kokeissa. Tämän tutkimuksen kokeissa traktorin takarenkaiden korkeus oli 1,6 m ja RODHEN ja SALOMONin (1992a, s. 51 - 52) kokeissa 1,45 m, joten traktorin taka-renkaiden pintapaineet olivat tämän tutkimuksen kokeissa noin 20 % suuremmat kuin RODHEN ja SALOMONin (1992a, s. 51 - 52) kokeissa. Tämän tutkimuksen kokeissa traktorin takarenkaiden rengaspaineet olivat 190 kPa RODHEN ja SALOMONin (1992a, s. 51 - 52) kokeiden 140 kPa:n asemesta. Traktorin renkaiden rengaspaineet eivät voineet kuitenkaan olla syynä tämän tutkimuksen suurin tallaustappioihin, koska saman suuruiset satotappiot saatiin myös leveällä rengastuksella, jossa traktorin takarenkaiden rengaspaineet olivat 120 kPa. Myöskään luisto ei voinut vaikuttaa tähän suuntaan, koska tämän tutkimuksen kokeissa luiston vaikutus oli poistettu vetämällä kalusto vaijerilla kasvuston yli, kun taas RODHEN ja SALOMONin (1992a, s. 51 - 52) kokeissa luisto oli mukana vaikuttamassa. Sen sijaan lietevaunun rengaspaineet olivat RODHEN ja SALOMONin (1992a, s. 51 - 52) kokeissa selvästi pienemmät kuin tämän tutkimuksen kokeissa. Tämän tutkimuksen kokeissa lietevaunun rengaspaineet olivat kapeissa renkaissa 300 kPa. RODHEN ja SALOMONin (1992a, s. 51 - 52) kokeissa vastaavan levyisissä renkaissa rengaspaineet olivat vain 100 kPa. Kun rengaspaineet näin alennetaan niin, että ne ovat korkeintaan 100 kPa, on mahdollista, että leveällä rengastuksella saavutetaan pienemmät satotappiot kuin kapeilla renkailla. Tämä on erittäin keskeinen kysymys, jos lietevaunua käytetään sijoitukseen, koska kapea työleveys johtaa tallaustappioiden korostumiseen. Tämän tutkimuksen kokeissa leveän rengastuksen rengaspaineet olivat 170 kPa. Pintapaineiden selkeällä pienentämisellä voitaisiin mahdollisesti saavuttaa pienemmät tallaustappiot, joskin tuntuu epätodennäköiseltä, että vaikutus olisi niin suuri, että satotappiot jäisivät RODHEN ja SALOMONin (1992a, s. 51 - 52) kokeissaan saamalle tasolle. Jotta rengaspaineet voitaisiin laskea RODHEN ja SALOMONin (1992a, s. 51 - 52) kokeissaan käyttämään 100 kPa:iin tulee lietevaunun rengastuksen olla käytännössä sama kuin traktorin taka-akselin ja lisäksi on käytettävä teliakselia. Lietevaunun takarenkaiden leveyden tulee 8 tonnin telipainoa käytettäessä, mikä tarkoittaa noin 6 - 7 m³:n vaunua, olla noin 18,5". RODHEN ja SALOMONin (1992a, s. 51 - 52) kokeissa saatua tulosta tulee kuitenkin erittäin raskaasti epäillä. Hänen tekemissään kokeissa tilastollisesti erittäin

merkitsevät erot olivat suuruudeltaan noin 25 % sadosta, mikä tarkoittaa, että merkitsevät erot erittäin suurissakin aineistossa olisivat olleet vähintään noin 15 %. Tulosta voidaan siten pitää vähintäänkin epäilyttävänä. Omissa kokeissamme neljän kerranteen aineistossa pienin merkitsevä ero oli ollut noin 13 % sadosta. Esimerkiksi meidän kokeissamme ainoastaan 12 tonnin telipainolla ja 21" rengastuksella saavutettiin tilastollisesti merkitsevä ero tallaamattomaan nähden. Vaihtelu on niin suuri, että tilastollisesti merkitseviä eroja ei kenttäkokeissa voida löytää niissä rajoissa, jotka ovat vielä hyväksyttäviä, vaan tarkastelut eri kalustojen välillä joudutaan tekemään hyvin suuren riskin sisältävien keskiarvojen välillä. Kokeen erottelukykä voi kuitenkin jonkin verran vielä parantaa suurentamalla pyöränjäljen osuutta nettoruudussa. Tämän tutkimuksen kokeissa se oli 15 - 23 % renkaan leveydestä riippuen. Se voisi olla enimmillään noin 50 %, jolloin tilastollisesti merkitsevä tallaustappio 12 metrin työleveydellä olisi noin 2,5 %. Tätä voidaan pitää riittävä erottelukykynä.

Kun ottaa huomioon tehdyt visuaaliset havainnot kasvustossa, jotka osoittivat suurta vaihtelua käsittelyjen sisällä ei voi olla tulkitsematta asiaa niin, että taustalla on jokin tekijä, joka yhdessä renkaan aiheuttaman pintapaineen kanssa synnyttää tallaustappion. Kun vertaa tallauskokeen suhteellisen kantavilla koeruuduilla tehtyjä visuaalisia havaintoja sijoitusvyvyyskokeen upottavilla koekentillä tehtyihin vastaaviin, tulee väkisinkin mieleen, että renkaan uppouma koekenttään on erittäin merkittävä tekijä lopullisen tallaustappion synnyssä. Syvä pyöränjälki johtanee suureen tallaustappioon pintapaineesta riippumatta. Pyöränjäljen syvyys määräytyy maan kantavuuden suhteesta renkaan pintapaineeseen. Vaikka pyöränjälkien satotappiota selittävän regressiomallin selitysaste jäikin 20 %:iin, tukee siitä saatu tulos kiistatta edellä esitettyä käsitystä. Regressiomallin pieni selitysaste aiheutui mitä todennäköisemmin epätarkoista pyöränjäljen syvyyden mittauksista, eikä sinänsä mallin huonoudesta. Pyöränjälkien syvyys mitattiin vain koeruutujen pituussuunnassa vain yhdestä kohdasta. Sato sen sijaan edusti satoa koko koeruudun pituudella. Koeruutujen epätasaisuus pääsi siten heikentämään pyöränjälkien syvyyden ja sadonalennuksen riippuvuutta toisistaan.

Koevuonna satoi erittäin runsaasti toukokuun lopussa, jopa niin paljon, että se esti ensimmäisen tallausajan käsittelyiden toteuttamisen. Koekentät olivat varmastikin syvemmillä vielä melko märät, kun tallaukset viimein voitiin tehdä, vaikka maan pinta olikin jo harmaa. Koska maan tiivistymisellä sinällään ei ole suurta merkitys tallaustappioiden synnyssä kasvustoon levitettäessä, on todennäköistä, että maa oli normaaliin vuoteen nähden upottavampaa, jolloin pyörät upposivat tavallista syvemmälle maahan tuhoten kasvustoa tavallista enemmän. Tämä voisi olla syynä mitattuihin suhteellisen suuriin tallaustappioihin. Tämän vuoksi tappioiden tasoa ei voida pitää normaalina, vaan pikemminkin suurimpina, mitä voi muodostua, jos kasvustoa tallataan maan ollessa kuitenkin niin kuiva, että sen pinta on selvästi harmaa.

Tässä tutkimuksessa saatu sijoitusvantaisten aiheuttama sadon alennus oli pienempi kuin mitä KEMPPAINEN (1989, s. 202 - 219) sai vastaavassa kokeessa. Hänen kokeissaan

sijoitusvantaiden aiheuttama satotappio oli vastaavalla sijoitusvyvydellä kuin tämän tutkimuksen matalassa vaihtoehdossa 8 % eli hieman yli kaksinkertainen. Hänen kokeissaan sijoitusvantaiden väli oli kuitenkin kapeampi, 47 cm, kuin tämän tutkimuksen 56 cm. Vasta tämän tutkimuksen noin 4 cm syvempi sijoitus aiheutti yhtä suuria satotappiot kuin hänen tämän tutkimuksen matalaa sijoitusta vastaava sijoitusvyvytensä.

Sijoitusvantaiden aiheuttama tappio ei ollut tässä tutkimuksessa tilastollisesti merkitsevä. Syvemmillä sijoitusvyvydellä se olisi voinut tulla tilastollisesti merkitseväksi, jos kerranteita olisi ollut kaksinkertainen määrä kokeessa olleeseen neljään nähden. Tallauskokeessa rankimman tallauksen aiheuttama satotappio tuli tilastollisesti merkitseväksi juuri tästä syystä. Vaikka siinä alunperin oli neljä kerrannetta, tallausajankohdan vaikutuksen osoittauduttua tilastollisesti merkityksettömäksi siinä olikin itseasiassa kahdeksan kerrannetta. Jatkossa vastaavissa kokeissa kerranteiden määrä tulikin kasvattaa noin neljästä noin kahdeksaan. Tallaustappioiden erottelukykyä voidaan parantaa lisäämällä pyöränjäljen osuutta puitavasta alueesta, mutta tätä mahdollisuutta ei ole vantaiden aiheuttamien tappioiden selvittämisessä. Tutkimuksessa saatu tappio vantaiden aiheuttamista vaurioista edustaa toteutuvaa tappiota työleveydestä riippumatta. Kokeen erottelukykyä voitaisiin parantaa tihentämällä vannasväliä, mutta se johtaisi nopeasti varsinkin suuria sijoitusvyvyksiä käytettäessä yhden yhtenäisen vaurioalueen muodostumiseen, jolloin saatu tappio olisi vannasta kohden todennäköisesti suurempi kuin jos vantaiden väli olisi niin suuri, että vaurioalueiden välillä olisi selvä vaurioitumaton kaista kasvustoa. Tilastollisesti merkitsevien erojen saaminen tappiotasolla, jolla on jotakin käytännön merkitystä on siten erittäin vaikeaa.

Kokeen matalaan sijoittaminen ei varsinaisesti ollut matalaan sijoittamista, vaan pikemminkin se oli vain sijoittamista matalampaan kuin syvään, koska sijoitusvyvyys matalassakin sijoituksessa oli sijoituslaitteen rakenteen takia 11 cm. Jos saatua tulosta matalan sijoituksen aiheuttamista satotappioista voidaan edes jollakin hyväksyttävällä riskitasolla pitää merkitseväenä, voisi matalaan sijoittavan sijoituslaitteen aiheuttamat satotappiot sen aiheuttamien vaurioiden takia olla noin 7 % kokeessa olleeseen nähden, koska matalaan sijoittavassa laitteessa sijoitusvantaiden tiheyden on oltava noin kaksinkertainen. Kuitenkin matalaan sijoittava vannas sijoittaa vielä matalampaan kuin tässä tutkimuksessa sijoitettiin. Ehkä noin 7 - 8 cm olisi sopiva syvyys viljakasvustossa. Kun näin matala sijoitus johtaisi siihen, että vaurioalue jäisi hyvin kapeaksi, on ottaen huomioon kokeen tosin tilastollisesti merkitsemätön tulos, että matala sijoitus johtaa pienempiin satotappioihin kuin syvä, on todennäköistä, että vantaiden aiheuttama vaurio on matalaan sijoittaessa mieluummin hieman pienempi kuin 7 %.

Tilastollisten merkitsevyyksien esiin saaminen edellyttäisi, että kerranteiden lukumäärää lisätään. Sijoitusvyvyden vaikutusta satoon koskeneessa osassa hajonta ei ollut koejäsenissä, joissa sijoitusvantaat olivat maassa, suurempi kuin koejäsenessä, jossa pelkät levityskaluston pyörät aiheuttivat satotappioita. Lohkojen välillä oli satotasossa tilastollisesti merkitseviä eroja. Tulosta ei, voi tulkita siten, että sijoitusvantaiden aiheuttamat vauriot

lisäisivät hajontaa satotuloksessa, vaan suuri hajonta johtui kasvupaikan luontaisesta hajonnasta. Pyörien tallaus ei lisännyt koepaikan luontaista satotason vaihtelua, koska tallauskokeessa tallattujen käsittelyjen sadon hajonta oli pienempi kuin tallaamattoman.

Koejärjestelyn mukainen työleveys vaikutti merkittävästi puintikosteuden erojen muodostumiseen juuri ennen tähkimistä tallatuissa koejäsenissä. Kokeiden mukainen työleveys oli pieni pintalevityksen kannalta. Työleveyden kasvattaminen pintalevitykselle ominaiseksi hävittäisi kapealla rengastuksella saadun puintikosteuden nousun mutta ei leveällä rengastuksella saatua puintikosteuden nousua merkityksettömäksi. Sijoituslaitteille tyypillisellä työleveydellä työskenneltäessä puintikosteus nousisi haittaavaksi tekijäksi renkaiden leveydestä riippumatta. Toisaalta tällä ei ole juuri merkitystä, koska lannan levittäminen juuri ennen tähkimistä ei ole ravinteiden hyväksikäytön kannalta mielekästä. Versomisvaiheessa tehdyissä tallauksissa saatuihin tuloksiin työleveydellä ei ole vaikutusta. Pienetkään työleveydet eivät voi nostaa käsittelyjen välistä ero merkittäväksi, mutta kasvuston tallaaminen kauttaaltaan saattaisi johtaa kasvuston pakkotuleentumiseen.

Kokeiden tulos sijoitusvantaiden vaikutuksesta puintikosteuteen on selvä. Sijoitusvantaiden versomisvaiheessa aiheuttamalla vaurioilla ei ole vaikutusta puintikosteuteen. Tulos on niin selvä, että se ei jätä spekulointimahdollisuuksia muuhun kuin siihen, että vaikutus voisi olla erilainen eri maalajeilla. Sijoitus voi lisätä puintikosteutta pintalevitykseen nähden vain pienentyneen työleveyden takia pyöränjälkien osuuden kasvaessa.

Tutkimustuloksista voidaan päätellä, että kasvuston tallaantuminen viimeistään versomisvaiheessa lietteen levityskaluston pyörien alla kasvustoon levittämisen yhteydessä lietevaunun rengaspaineiden ollessa korkeintaan 300 kPa:n ei nosta puintikosteutta työleveydestä riippumatta sen mielekkäissä rajoissa sijoitettaessa taikka hajalleen levitettäessä. Useissa tutkimuksissa, joissa kyseinen ilmiö on esiintynyt kyseisenä ajankohtana lantaa levitettäessä ja joissa lannoite tai lanta on tosiasiallisesti levitetty tallausajankohtana, on puintikosteuden nousu siten johtunut tuleentumisen viivästyisestä viivästyneen ravinteiden saannin takia, ei tallaantumisen takia.

Sijoitussyvyyden vaikutuskokeessa ei tuhannen jyvän painoissa, roskapitoisuudessa, rikkajyväpitoisuudessa, surkastuneiden pitoisuudessa eikä rikkinäisten jyvien pitoisuudessa ollut tilastollisesti merkitsevää eroa eri kerranteiden eli lohkojen välillä. Tuhannen jyvän painon ja rikkapitoisuuden suhteen sijoitussyvyyden vaikutuskokeen koekentällä oli vähän vaihtelua lohkojen välillä. Saatuja tuloksia voidaan näiden laatutekijöiden osalta pitää erittäin luotettavana.

6 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Lietelannan levityksestä kevätiljan oralle aiheutuvat tallaustappiot ovat varsin kohtuulliset pintalevityksessä. Pintalevityksessä kannattaa pyrkiä mahdollisimman suureen työleveyteen. 10 metrin työleveydellä tallaustappiot jäävät runsaaseen 4 %:iin telipainon

ollessa 8 tonnia. Telipainon kasvu kasvattaa satotappioita. 15 metrin työleveydellä ne jäävät jopa alle 3 %:n. Lietevaunuun ei vartavasten viljakasvustoon levittämistä varten kannata hankkia kapeampia renkaita tallaustappioiden pienentämiseksi, koska ero satotappioissa leveiden ja kapeiden renkaiden välillä on niin pieni, että se ei kata kustannuksia. Leveiden renkaiden ilmanpaine kannattaa kuitenkin alentaa niiden kantavuuden rajoissa mahdollisimman alas. Kesällä 1994 saatujen tulosten perusteella pintapaineen laskemisella saavutettavat satotappioiden alenemiset pyöränjäljen alueella eivät riitä kattamaan pintapaineen alentamisen vaatimien leveämpien renkaiden aiheuttamia lisäsatotappioita. Renkaiden koko kantokyvyn käyttö ei vaurioita haitallisesti peltoa, mutta renkaiden kestävyys joutuu koetukselle kuljettaessa lietettä lietesäliöstä pellolle. Ajouratekniikkaa käyttämällä kasvustoon levityksen ja kasvinsuojeluruiskutusten yhteinen tallaustappio voi vastata korkeintaan totaali tuhoa pyöränjäljen alueella. Kymmenen metrin ajouraväliä ja 14":n renkaita käytettäessä totaali tuho pyöränjälkien alueella voi merkitä korkeintaan 7,5 %:n satotappiota. Odotettavissa olevan tallaustappion suuruutta, joka aiheutuu lietteen levittämisestä kevätiljan oraalle versomisvaiheessa, voidaan arvioida käytännön ratkaisujen pohjaksi pyöränjälkien syvyyden perusteella. Odotettavissa oleva sadonalennus pyöränjälkien alueella on noin 20 %-yksikköä jokaista pyöränjäljen painuman senttimetriä kohden. Sijoitusvantaiden kasvustoon aiheuttamien vaurioiden aiheuttama satotappio sinällään on kohtuullinen, ja sitä voidaan edelleen alentaa käyttämällä nykyistä kevytrakenteisimpia sijoituslaitteita, mutta sijoituksessa työleveys jää joka tapauksessa niin pieneksi, että tallaustappiot muodostuvat niin suuriksi, että sijoitusvaihtoehdossa sijoituslaitteen ja pyörien aiheuttamien satotappioiden summa on kohtuuton. Tallausvauriot ja sijoitusvantaiden aiheuttamat vauriot kasvustossa eivät sen sijaan alenna sadon laatua, jos vauriot syntyvät viimeistään versomisvaiheessa. Koska tallaustappioita ei tämän tutkimuksen kokeiden mukaisesti voida merkittävästi pienentää, lannan sijoittaminen viljan oraaseen ei ole nykyisillä työleveyksillä suurten tallaustappioiden takia taloudellisesti mielekästä.

Kun lietevaunua hankitaan tai sen rengastusta uusitaan, kannattaa pitää mielessä myös lietteen levitysmahdollisuus kasvustoon. Rengasvarustusvalintaa tehtäessä ei kuitenkaan voida tuijottaa pelkästään sen aiheuttamiin satotappioihin, vaan myös sen aiheuttamiin kiinteisiin kustannuksiin. Suhteellisen suurenkin tappion pyöränjäljissä tuottava kapea rengasvarustus, jossa koko renkaan kantokyky kohtuullisella ilmanpaineella käytetään hyväksi, on taloudellisesti täysin mielekäs vaihtoehto hajalevityksessä suurella työleveydellä. Sen sijaan sijoituksessa tarvitaan todennäköisemmin rengasvarustusta, jonka kantokykyä ei hyödynnetä kokonaan, vaan siitä käytetään vain se osa, mikä on saavutettavissa noin 140 kPa:n rengaspaineella. Pienimpiin satotappioihin päästään kalustolla, jossa renkaiden leveys ja raideleveydet ovat kaikilla akseleilla yhtä suuret. Pintapaineita kannattaa alentaa ensisijaisesti renkaiden, sekä traktorin takarenkaiden että lietevaunun renkaiden, halkaisijaa kasvattamalla ja vasta toissijaisesti niiden leveyttä kasvattamalla. Lietevaunussa tulisi käyttää teliakselistoa. Lisäksi akselipainojen tulisi traktorin taka-akselilla ja lietevaunun akselilla tai kummallakin teliakselilla olla yhtä suuret. Jos kuitenkin jostain syystä halutaan

käyttää yksiakselista lietevaunua, on sen akselin oltava taaempana kuin teliakseliston keinuakselin, jotta aisapainoa voidaan kasvattaa telivaunun noin 20 %:sta lietevaunun kokonaispainosta noin 35 %:iin lietevaunun kokonaispainosta. Tällöin sekä lietevaunussa että traktorin taka-akselilla voidaan käyttää samanlaista rengasvarustusta.

7 TUTKIMUSTARPEITA

Eri levitysmenetelmillä ja levitysjankohdilla saavutettavat satotulokset vaihtelevat voimakkaasti. Eri menetelmien ja levitysjankohtien väliset paremmuusjärjestykset vaihtelevat vuosittain ja tapauskohtaisesti. Huomionarvoista on kuitenkin se, että yleensä jollakin lannanlevitysmenetelmällä päästään lähes yhtä hyviin, jopa parempiin, satoihin kuin vastaavalla väkilannoitetyppiannoksella. Se merkitsee sitä, että karjanlanta käyttäen voidaan päästä ainakin lähes yhtä hyvään typen hyväksikäyttöön kuin väkilannoitteella. Edelleen puuttuu kuitenkin tieto siitä, mitkä ovat ne tekijät, joiden perusteella levitysmenetelmä ja siinä käytettävän kaluston säädöt on valittava. Voidaankin sanoa, että tarvitaan melko paljon perustutkimusta siitä, miten lanta ja sen ravinteet käyttäytyvät eri olosuhteissa ja eri tavoin maahan levitettynä, jotta todelliset vaikuttavat tekijät voitaisiin löytää.

Levitettäessä kasvustoon lietelantaa investointikustannuksiltaan edullisin ratkaisu on ilman muuta hajalevitys pinnalle. Se sellaisenaan ei johda tyydyttävään tulokseen. Pesemällä kasvusto vedellä on odotettavissa pienempiä typen tappioita. Yhtenä keinona, jos olosuhteet niin sallivat ja jos käytettävissä on sadetin, on tietysti sadetus välittömästi levityksen jälkeen. Yleisemmin käytettävissä oleva keino on kuitenkin veden levittäminen lietevaunulla välittömästi levityksen jälkeen. Tähän liittyy kuitenkin se ongelma, että tällöin jouduttaisiin merkittävässä määrin kulkemaan jo lietteen tahrimalla alueella, jolloin levityskaluston pyörien aiheuttamat vauriot olisivat suuremmat kuin levittämättömällä alueella liikuttaessa. Kuitenkin kuljetettavat vesimäärät olisivat pienemmät kuin lietteen laimennuksen yhteydessä. Kasvuston pesussa 15 % lannan määrästä pitäisi riittää, kun vastaavan suuruisen vaikutuksen saavuttaminen laimentamalla edellyttää noin 300 % vesilisää. (KAPUINEN 1994a, s. 69.) Tätä tekniikkaa käyttämällä lannan levittäminen kevätiljapellolle kylvön jälkeen ennen orastumista tai aivan matalaan oraaseen saattaisi tehdä hajalevityksestä mielekkään vaihtoehdon myös tässä vaiheessa. Kasvuston pesuun liittyvällä tutkimuksella sekä laitteisto- ja menetelmäkehityksellä olisi saavutettavissa merkittäviä taloudellisia hyötyjä pienilläkin tiloilla.

Kesällä 1994 tehdyissä kokeissa ei suoranaisesti tutkittu rengaspaineiden vaikutusta kaluston aiheuttamiin tallausvaurioihin kevätiljakasvustossa. Kuitenkin verrattaessa saamiamme tuloksia RODHEN ja SALOMONIN (1992a, s. 51 - 52) kokeissaan saamiin voidaan epäillä, että rengaspaineilla olisi hyvin keskeinen vaikutus tallaustappioiden

muodostumiseen, koska meidän kokeissamme levityskaluston rengaspaineet olivat selvästi suuremmat kun edellä mainitussa toisessa tutkimuksessa. Olisikin selvästi tarpeen jatkoissa ottaa mukaan vaihtoehto, jossa rengaspaineet ovat erityisen alhaiset, noin 100 kPa.

Pintaan levitetyn lannan typen tappioihin vaikuttavat monet seikat. Menetelmänä pintaan levitys on ehdottomasti kaikkein halvin. Sijoituksella saatava lannoitusvaikutus on varsin hyvin hallinnassa. Lannan liukoisen typen vaikutus on sijoituksen yhteydessä käytännössä katsoen sama kuin väkilannoitetypen. Suurempi epätietoisuus kuin typen häviöihin liittyvä liittyy sijoitusvantaiden aiheuttamiin satoa alentaviin vaurioihin, joskin suuret sademäärät sijoituksen jälkeen aiheuttavat typen häviöitä denitrifikaation kautta. Sijoituksessa suurin tutkimustarve liittyy sijoitusvantaiden kehittämiseen. Koska kuitenkin pintalevitys hajalevityksenä on selkeästi kustannuksiltaan edullisempi vaihtoehto kuin sijoitus, siihen liittyviin ammoniakkitappioihin vaikuttavien tekijöiden tutkimusta pitäisi lisätä. Ongelma on keskeinen sekä mullokselle että kasvustoon levitettäessä. Erityisesti epäselvää on lannan kuiva-aine- ja typpipitoisuuksien, levitysmäärien, maalajin ja sen kosteuden, sääolojen sekä kasvuston vaikutusten suuruus erikseen ja suhteessa toisiinsa. Näiden tekijöiden selvittäminen on erittäin tärkeää, jotta voidaan kehittää ympäristönsuojelullisesti hyväksyttävissä oleva kustannuksiltaan edullinen lannanlevitystapa.

8 SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER

Spridning av flytgödsel i växande gröda. Del 2: Spridning av flytgödsel i växande stråsäd

Denna undersökning omfattar två försök år 1994, i vilka undersöktes vilka skador som traktorns och flytgödselvagnens hjul samt myllningsaggregatets billar åstadkommer i stråsäd vid spridning/inmyllning av flytgödsel i växande gröda. Ingen flytgödsel applicerades, utan bestånden endast utsattes för ekipagets trampnings- och rivningseffekt. Som mätare användes behandlingarnas effekt på skördens storlek, spannmålens vattenhalt vid tröskningen, tusenkornsvikten samt innehållet av små korn, skadade korn och skräp. Försöksväxten var vårkorn.

Det ena försöket hade två försöksfaktorer: körbehandling och körtidpunkt. Körbehandlingen utgjordes av olika kombinationer av däckbredd på traktorns bakhjul och flytgödselvagnens tandemhjul (14 tum och 22 tum), sammanlagda vikten på vagnens tandemhjul (8 ton och 12 ton) och bakhjulsslirning på traktorn (0 %, 6 % och 12 %). Nollslirningen åstadkoms genom att ekipaget vinschades över försöksområdet, de andra slirningarna genom att en bromsande, tung traktor drogs efter ekipaget med en så lång vajer att bromstraktorn inte drogs in över själva försöksområdet. Körtidpunkten var antingen i bestockningsstadiet när grödan var ca 15 cm hög eller strax före axgången. I detta försök användes inte myllningsaggregat.

Det andra försöket hade en försöksfaktor: myllningsdjupet vid användning av myllningsaggregat. Myllningsdjupen var 11 cm och 16 cm. Ekipaget vinschades över försöksområdet, slirningen var med andra ord 0 %. Behandlingen gjordes när grödan var ca 15 cm hög. Däckbredden var 22 tum och totalvikten på vagnens tandemhjul 12 ton.

Körskadorna, mätta i skördeminskning och försämring av ovannämnda kvalitetsparametrar, konstaterades vara mycket måttliga vid ytspridning. Det lönar sig dock vid ytspridning att använda så stor arbetsbredd på flytgödselspridaren som möjligt. Vid 10 meters arbetsbredd orsakar körskadorna en skördeminskning på 4 % när vagnens tandemvikt är 8 ton. Vid 15 meters arbetsbredd är skördeminskningen tom. under 3 %. Vid större tandemvikt är skördeminskningen större.

Skördeminskningen var totalt sett något mindre med 14" däckbredd än med 22" däckbredd. De bredare däcken orsakade på grund av sitt mindre marktryck visserligen något mindre skördebortfall i hjulspåren än de smalare däcken, men det räckte inte till för att kompensera den negativa effekten av att de bredare däcken trampade grödan på ett större område. Det lönar sig dock inte att skaffa smalare däck till flytgödselvagnen bara för att minska körskadorna vid spridning i stråsåd, för skillnaden i skördebortfall mellan smala och breda däck är så liten, att vinsten av det minskade skördebortfallet inte täcker kostnaderna för däckanskaffningen. Har man breda däck, lönar det sig emellertid att sänka lufttrycket i dem så mycket som deras bärförmåga medger. Vid användning av breda däck ger sänkt lyfttryck nämligen mindre körskador. Nackdelen är att däcken utsätts för hård påfrestning under transporten från flytgödsellagret till åkern.

Om man kör i samma spår vid flytgödselspridningen och växtskyddsbesprutningarna ökar sannolikt skördebortfallet i hjulspåren. Om man antar att grödan förstörs totalt i hjulspåren, är skördebortfallet 7,5 % av åkerns skörd om man har tio meter mellan kördragen och 14" breda däck. Storleken på den skördeminskning man kan vänta sig till följd av körskadorna kan man, som underlag för praktiskt beslutsfattande, uppskatta enligt djupet på hjulspåren. Den skördeminskning man kan vänta sig i hjulspåren är ca 20 procentenheter per centimeter som hjulspåret är nedtryckt i marken.

Den skördeminskning som orsakas av myllningsbillarnas skador på grödan är i sig måttlig, och den kan ytterligare minskas genom att använda mer lättkonstruerade myllningsaggregat än de nuvarande. Emellertid är arbetsbredden vid inmyllning i vilket fall som helst så liten, att körskadorna av hjulen blir så stora att summan av dem och skadorna av myllningsaggregatet blir orimlig. Däremot försämrar inte kör- och myllningsskadorna skördens kvalitet, mätt med ovannämnda kvalitetsparametrar, om skadorna uppkommer senast i bestockningsstadiet när grödan är ca 15 cm hög. Eftersom det inte är möjligt att nämnvärt minska körskadorna av hjulen från den nivå de hade i detta försök, är inmyllning av flytgödsel i växande stråsåd med nuvarande arbetsbredder oekonomiskt på grund av de stora körskadorna.

När man skaffar flytgödselvagn eller förnyar däcken på en gammal vagn, bör man också ta i beaktande möjligheten att sprida flytgödsel i växande gröda. I valet av däck kan man

emellertid inte bara stirra på däckens inverkan på skördeförlusterna, utan också de fasta kostnader däcken medför måste beaktas. Smala däck, vilkas hela bärförmåga utnyttjas med ett måttligt lyfttryck, är ett ekonomiskt välmotiverat alternativ vid breddspridning med stor arbetsbredd, trots att de orsakar relativt stora skördeminskningar i hjulspåren. Vid inmyllning däremot behövs sannolikt däck vilkas bärförmåga man inte utnyttjar helt, utan bara den del av bärförmågan som kan erhållas med ca 140 kPa lufttryck. De minsta skördeförlusterna får man med ett ekipage där däckbredden och spårvidden är lika på alla axlar. Marktrycket lönar det sig att i första hand minska genom att öka diametern på däcken och först i andra hand genom att öka däckbredden. Detta gäller både traktorns bakdäck och flytgödselvagnens däck. Gödselvagnen borde ha tandemhjul (boggehjul). Dessutom borde axelvikten på traktorns bakaxel och gödselvagnens axel eller tandemhjulens båda axlar vara lika stor. Om man av någon anledning ändå vill använda en enaxlad flytgödselvagn, bör dess axel befinna sig längre bak än mittaxeln för tandemhjul. Detta för att man skall kunna öka vagnens belastning på traktorns bakaxel, som för en vagn med tandemhjul är ca 20 % av vagnens totalvikt, till ca 35 % av vagnens totalvikt. Då är vikten på traktorns bakaxel och vagnsaxeln ungefär lika stor, vilket gör att man kan använda likadan däckutrustning både på traktorns bakaxel och på vagnen.

9 SUMMARY AND CONCLUSIONS

Application of slurry in growing crops. Part 2. Application of slurry in growing cereals

This study comprises two trials in 1994, in which it was studied what damages the tractor wheels, the tanker wheels and the slurry injector cause to the crop when applicating slurry in growing crops. No slurry was applicated, the crop was only exposed to the wheeling of the tractor and tanker and the ripping effect of the injector. The effect of the treatments on the yield, moisture content, weight of 1000 seeds and the content of small seeds, broken seeds and trash in the harvested grain was measured. The crop was spring barley.

One of the trials had two factors: wheeling treatment and point of time for the wheeling. The wheeling treatment comprised different combinations of tyre width on the rear wheels of the tractor and the tandem wheels of the tanker (14" and 22"), the total load on the tandem (8 t and 12 t) and rear wheel slip of the tractor (0%, 6% and 12%). The zero slip was achieved by winching the tractor and tanker over the plot, the other slips by hauling a heavy breaking tractor behind the tanker with a long wire so that the breaking tractor was not hauled over the plot. The point of time for the wheeling was either at the tillering stage when the crop was about 15 cm high or immediately before ear emergence. No injector was used in this trial.

The other trial had one factor: injection depth when the slurry injector was used. The injection depths were 11 cm and 16 cm. The equipment was winched over the plot, which meant that the wheel slip was 0%. The treatment was done when the crop was about 15 cm high. The tyre width was 22" and the tandem load of the tanker was 12 tons.

The wheeling losses, measured in yield loss and impairment of the quality parameters mentioned above, were very moderate for surface application. However, it is recommended to use as big working width as possible on the tanker. With a working width of 10 m and a tandem load of 8 t on the tanker the wheeling causes a yield loss of 4%. With 15 m working width the yield loss is even under 3%. With higher tandem load the yield loss is bigger.

The yield loss was a little smaller with 14" tyre width than with 22" tyre width. Due to their lower ground pressure the wider tyres caused a little smaller yield loss in the ruts than the narrower ones, but not enough to compensate the negative effect of the fact that the wider tyres trampled the crop on a larger area. However, it is not worth to buy narrower tyres to the tanker only to reduce the wheeling damages when applying slurry in cereals, because the difference in yield loss between narrow and wide tyres is so small that the tyre costs are not covered by the reduced yield loss. Still, if wide tyres are used, it is recommended to reduce the tyre pressure as much as their carrying capacity allows. With wide tyres, decreased tyre pressure reduces the wheeling damages. A disadvantage is that the tyres are exposed to great wear during transport from the slurry store to the field.

If spraying for plant protection and slurry application is done using the same wheel tracks, the wheeling losses probably increase in the ruts. If the crop is totally damaged (total yield loss) in the ruts, this means a yield loss of 7.5% for the whole field if the working width is 10 m and the tyre width 14". The yield loss can be estimated on the basis of rut depth. The yield loss that can be expected is about 20 percentage points per centimeter rut depth.

The yield loss caused by the injector coulters is moderate, and it can be reduced even more by using better injectors than the ones used today. However, with the injection technique the working width is in any case so small that the losses due to wheeling remain so big, that the sum of losses from wheeling and injector coulters become unreasonable. The above-mentioned quality parameters of the harvest, on the other hand, are not negatively affected by wheeling and injection, if the damages are caused at the latest at the tillering stage when the crop is about 15 cm high. Since it is not possible to reduce the wheeling losses significantly from the level they were in this trial, injection of slurry in growing cereals with the working widths of today is not economical, due to the big wheeling losses.

When a farmer buys a new slurry tanker or renews the tyres of an old one, he should also take the possibility of applying slurry in growing crops into consideration. When choosing the tyres he should not just consider the effect that the tyres have on the yield losses, however, but also the fixed costs that they lead to. Narrow tyres are an economical

alternative for surface application with big working width when their whole carrying capacity is utilized using a moderate tyre pressure, although they cause rather big losses in the ruts. With the use of an injector, on the other hand, it is probably better to use tyres whose carrying capacity is not fully utilized, but only that part of the carrying capacity which can be utilized with about 140 kPa tyre pressure. The yield losses are minimized if the tyre width and the track width is the same on all axles. The ground pressure should be reduced by increasing the diameter of the tyres in the first place, and only in the second place by increasing the tyre width. This applies both to the rear tyres of the tractor and to the tanker tyres. The tanker should have tandem wheels. Furthermore, the axle load on the rear axle of the tractor and the axle of the tanker or both axles of the tandem of the tanker should be equal. If the user for some reason still wants a one-axled tanker, the axle of it should be located further back than the central axle of a tandem, so that the contribution of the tanker to the load on the rear axle of the tractor can be increased from about 20% of the total weight of the tanker, which is the case for a tanker with tandem wheels, to about 35% of the total weight of the tanker. Then the weight on the rear axle of the tractor and the axle of the tanker is about equal, which allows to use tyres of the same size on these both axles.

10 KIRJALLISUUS

ALAKUKKU, L. 1995. Julkaisematon käsikirjoitus. Saatavissa MTT VAKOLAsta. 12 s.

ANON. 1984. Lietelanta lannoitteena: sijoituksen ja pintalevityksen vertailu. Biologisen typen sidonnan ja ravinnetypen hyväksikäytön projekti. Suomen itsenäisyyden juhlavuoden 1967 rahasto. Julkaisu 9: 1 - 55 + 1 liite.

-- "--. 1992a. Lannoitteiden myynnin jakautuminen maaseutukeskuksittain lannoitusvuonna 1991/1992. 12 s.

-- "--. 1992b. Rakennuskustannukset. Maatilahallitus. Rakentamisohjeet MRO E2: 1 - 14.

-- "--. 1993a. Kasvinviljelytieteen harjoitustyöt KVIL2. Helsingin yliopisto. Kasvinviljelytieteen laitos. 108 s.

-- "--. 1993b. Pelto-Pirkan Päiväntieto.

-- "--. 1994. Rengasnormit. The Scandinavian tire & rim organization. 284 s.

AMBERGER, A. 1991. Slurry fertilization with the aim of low ammonia losses. Recent developments in animal waste utilization, Bologna, Italy, 25.-28.9.1990. FAO. Proceedings of the Consultation of the European Cooperative Research Network on Animal Waste Utilization. REUR technical series 17: 31 - 33.

ARNOLD, G.H. 1981. Beobachtungen von negativen Nebenwirkungen von Gülle auf Dauergrünland. Bundesversuchsanstalt für alpenländische Landwirtschaft. Bericht über die 7. Arbeitstagung "Fragen der Güllerei", 29. - 2.10.1981, Gumpenstein: 627 - 632.

ARTS, W.B.M., VERWIJS, B.R. & VON MAANEN, J. 1992. The Trelleborg 650/60-34 tyre and a 16.9R38 tyre on pasture: traction performance and effects on the turf. Internal report: 1 - 10.

BEAUCHAMP, E. G., KIDD, G.E. & THURTELL, G. 1978. Ammonia Volatilization from Sewage Sludge Applied in the Field. J. Environ. Qual. 7, 1: 141 - 146.

CATT, J.A. 1993. Results of Rothamsted experiments on soil tillage, erosion and leaching of nutrients and pesticides. NJF-seminar 228: Soil Tillage and Environment, Jokioinen, Suomi, 8.-10. kesäkuuta 1992.

CHRISTENSEN, B. T. 1985. Husdyrgødning og dens anvendelse. Statens Planteavlsvforsøg. Tidsskrift for Planteavl Specialserie. Beretning S 1809: 1 - 135. København.

COBIA, W. D. 1972. Wheel Track Losses In Small Grains. North Dakota Farm Research 29, 6: 31 - 32.

DARWINKEL, A. 1984. Yield responses of winter wheat to plant removal and to wheeling. Netherlands Journal of Agricultural Science 32: 293 - 300.

DENMEAD, O. T., FRENEY, J. R. & SIMPSON, J. R. 1976. A close ammonia cycle within a plant canopy. Soil Biol. Biochem. 8: 161 - 164.

HEINO, R. & HELLSTEN, E. 1983. Tilastoja Suomen ilmastosta 1961 - 1980. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan 80, 1a: 1 - 560. Summary: Climatological statistics in Finland 1961 - 1980.

HÖFFMANN, H. & HEGE, U. 1984. Gülle - ein wertvoller Wirtschaftsdünger. Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AID) 149: 1 - 28.

HUTCHINSON, G. L., MILLINGTON, R. J. & PETERS, D. B. 1972. Atmospheric Ammonia: Absorption by Plant Leaves. Science 175: 771 - 772.

JAAKKOLA, A. 1986. Lannoitetyypen tappiot ja hyväksikäytön tehostaminen. Suomen itsenäisyyden juhluvuoden 1967 rahasto. Biologisen typen sidonnan ja ravinnetyypen hyväksikäytön projekti. Tietolehtinen 10: 1 - 8.

KAPUINEN, P. 1994a. Lannankäsittelyn taloudellisuuden ja lannan ravinteiden hyväksikäytön parantaminen. VAKOLAN tutkimusselostus 68: 1 - 90 + 1 liite.

-- " -- 1994b. Ympäristöystävällisen lannankäsittelyn kustannus. Peltö-Pirkan päivälehti 1995: 182 - 186.

KAUPPI, L. 1993. Contribution of agriculture to nutrient loading of surface waters in nordic countries. NJF-seminar 228: Soil Tillage and Environment, Jokioinen, Suomi, 8.-10. kesäkuuta 1992.

KEMPPAINEN, E. 1985. Lietelanta ohran lannoitteena. Biologisen typen sidonnan ja ravinnetyypen hyväksikäytön projekti. Suomen itsenäisyyden juhluvuoden 1967 rahasto. Julkaisu 21: 1 - 66 + 2 liitettä.

-- " -- 1989. Nutrient content and fertilizer value of livestock manure with special reference to cow manure. Selostus: Karjanlannan, erityisesti naudanalannan ravinnepitoisuus ja lannoitusarvo. Annales Agriculturae fenniae. Agrogeologia et chimica 28, 154: 163 - 284.

-- " -- 1993. Slurry injection means better yields and less environmental pollution. NJF-seminar 228: Soil Tillage and Environment, Jokioinen, Suomi, 8.-10. kesäkuuta 1992.

KOLENBRANDER, G. J. 1981. Effect of injection of animal waste on ammonia losses by volatilisation on arable land and grassland. Nitrogen Losses and Surface Run-off from Landspreading of Manures. Proceedings of an EEC Workshop, Wexford 1980: 425 - 430.

KÜNTZEL, U., KRAUSE, R. & JONUSCHEIT, C. 1987. Scorching of *Lolium perenne* caused by cattle slurry. Animal manure on Grassland and Fodder Crops. Fertilizer or Waste?: 333 - 335.

KÖYLIJÄRVI, J. 1985. Ruiskutusten tallaustappiot viljakasvustoissa. Maaseudun Tulevaisuus 28.5.1985. Koetoiminta ja käytäntö: 32.

LAUER, D. A., BOULDIN, D.R. & KLAUSNER, S. D. 1976. Ammonia Volatilization from Dairy Manure Spread on the Soil Surface. J. Environ. Qual. 5, 2: 134 - 141.

LINDVALL, T., NORÉN, O. & THYSELIUS, L. 1972. Luktreducerande åtgärder vid flytgödselhantering. Jordbrugstekniska institutet. Specialmeddelande S 22: 1 - 44 + 1 liite.

MCGARITY, J. W. & RAJARATNAM, J.A. 1973. Apparatus for the measurement of losses of nitrogen as gas from the field and simulated field environments. Soil.Biol.Biochem. 5: 121 - 131.

MCKIBBEN, E. G. & DAVIDSON, J. B. 1940. Transport wheels for agricultural machines. V. Effect of wheel arrangement on rolling resistance. Agr.Engng 21, 3: 95 - 96.

MOLLEY, S. P. & TUNNEY, H. 1983. A laboratory study of ammonia volatilization from cattle and pig slurry. Ir.J.agric.Res. 22: 27 - 45.

MORKEN, J. 1991. Slurry on grassland - techniques for avoiding pollution. Recent developments in animal waste utilization, Bologna, Italy, 25.-28.9.1990. FAO. Proceedings of the Consultation of the European Coöpeative Research Network on Animal Waste Utilization. REUR technical series 17: 34 - 39.

NIELSEN, V. C. 1991. Possibilities for controlling ammonia and odour emissions from livestock farms. Recent developments in animal waste utilization, Bologna, Italy, 25.-28.9.1990. FAO. Proceedings of the Consultation of the European Coöpeative Research Network on Animal Waste Utilization. REUR technical series 17: 25 - 30.

NILSSON, C., SVENSSON, E. & DANIELSSON, P. 1981. Körskador genom bekämpning i korn, vårraps och åkerböna. Växtskyddsnotiser 45, 5: 173 - 176.

OLVÅNG, H. & JOHNSON, L. 1981. Spårförsök i höstvete. Växtskyddsnotiser 45, 5: 177 - 178.

PEDERSEN, C. Å. & ØSTERGAARD, H. S. 1991. Planteavlssarbejdet i de landøkonomiske foreninger 1990. Gødning og kalkning. Landudvalget for planteavl: 70 - 112. Aarhus.

PETERSEN, J., RASMUSSEN, J. & HEIDMANN, T. 1993. Combination of direct injection of pig slurry and mechanical weed control in winter wheat. NJF-seminar 228, Soil Tillage and Environment, Jokioinen, Suomi, 8.-10. kesäkuuta 1992.

PRINS, W. H. & SNIJDERS, P. J. M. 1987. Negative effects of animal manure on grassland due to surface spreading and injection. Animal manure on Grassland and Fodder Crops. Fertilizer or Waste?: 119 - 135.

RASMUSSEN, K.J. & MØLLER, E. 1981. Genvækst efter fortørring af græsmarkensafgrøder. II. Jordpackning i forbindelse med høst og transport. Statens Planteavlsforsøg. Betretning 1536: 59 - 71. Summary: Regrowth after prewilting of grassland crops. II. Soil compaction in connection with harvest and transport. København.

RODHE, L. & SALOMON, E. 1992a. Spridning av flytgödsel i stråsåd. Jordbrukstekniska institutet. JTI-rapport 139: 1 - 59 + 18 liitettä.

-- " -- & -- " -- 1992b. Trials on Slurry Application Techniques for Cereal Crops. International Conference on Agricultural Engineering AgEng '92, Uppsala, June 1 - 4, 1992: 291 - 292.

SALOMON, E., STEINECK, S. & RODHE, L. 1993. Different techniques of slurry application. NJF-seminar 228, Soil Tillage and Environment, Jokioinen, Suomi, 8.-10. kesäkuuta 1993.

SCHJØNNING, P. 1993. Effect of soil tillage on surface runoff, soil erosion and loss of phosphorus - plot studies. II. Key soil physical properties. NJF-seminar 228, Soil Tillage and Environment, Jokioinen, Suomi, 8.-10. kesäkuuta 1992.

SIBBESON, E., HANSEN, A.C., NIELSEN, J.D. & HEIDMANN, T. 1993. Effect of soil tillage on surface runoff, soil erosion and loss of phosphorus - plot studies. I. Course and extent of processes. NJF-seminar 228, Soil Tillage and Environment, Jokioinen, Suomi, 8.-10. kesäkuuta 1992.

SKRIVER, K. 1975. Gødskning og kalkning. Planteavelsarbejdet 1974: 2083 - 2109. Odensen.

SOMMER, S. G. & CHRISTENSEN, B. T. 1990. Ammoniakfordampning fra fast husdyrgødning samt ubehandlet, afgasset og filtreret gylle efter overfladeudbringning, nedfældning, nedharvning og vandning. Summary: Ammonia volatilization from solid manure and raw, fermented and separated slurry after surface application, injection, incorporation into the soil and irrigation. Tidsskr.Planteavl 94: 407 - 417.

TAKALA, E. 1984. Lietelanta lannoitteena: sijoituksen ja pintalevityksen vertailu. Suomen itsenäisyyden juhlavuoden 1967 rahasto. Biologisen typensidonnan ja ravinnetyypen hyväksikäytön projekti. Julkaisu 9: 1 - 55 + 1 liite.

TURTOLA, E. & JAAKKOLA, A. 1985. Viljelykasvien ja lannoitustason vaikutus typen ja fosforin huuhtoutumiseen savimaasta. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 6: 1-43.

VETTER, H. & STEFFENS, G. 1981. Surface run-off. Nitrogen Losses and Surface Run-off from Landspreading of Manures. Proceedings of an EEC Workshop, Wexford 1980: 84 - 86.

VAKOLAn tutkimuslustoja

45. Kompostoinnin vaikutus lietelannan laatuun ja käsittelyyn. 1986.
46. Käyttökokemuksia 80-luvulla rakennetuista kalustovajoista, varastokuivureista ja pihatoista. 1987.
47. Lannoitteenlevityksen tasaisuus. 1987.
48. Jauhatuksen tilantarve ja pölyhaittojen vähentäminen. 1987.
49. Maatalouskoneiden tietokanta. 1988.
50. Lannanpoistolaitteiden toiminta ja kestävyys. 1988.
51. Pienten pihatoiden ilmanvaihdon erityisvaatimukset. 1988.
52. Tuotantorakennusten suunnittelu ja rakentaminen käytännössä. 1988.
53. Hellävarainen perunankorjuu. 1989.
54. Syyskyntöä korvaavien muokkausmenetelmien vaikutus kevätvehnän satoon 1975-1988. Pitkäaikaisen aurattoman viljelyn vaikutukset hiesusaven rakenteeseen ja viljavuuteen. 1989.
55. Ei julkaisua
56. Kosteiden pintojen kosteudentuotanto navetoissa. 1989.
57. Kylmäilmakuivurin mitoitus ja käyttö. 1990.
58. Leikkuupuimurin kulkukyky vaikeissa olosuhteissa. 1990.
59. Lietelantajärjestelmien toimivuus. 1990.
60. Heinän varastokuivaus. 1991.
61. Viljankuivauksen pölyhaitat. 1992.
62. Säilörehun siirto ja käsittely talvella. 1991.
63. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset. 1992.
64. Kiedotun pyöröpaalisäilörehun valmistustekniikka ja laatu. 1993.
65. Hellävarainen perunan kauppakunnostus. 1993.
66. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset II. 1993.
67. Betonit ja muovit navetan lattiamateriaaleina. 1993.
68. Lannankäsittelyn taloudellisuuden ja lannan ravinteiden hyväksikäytön parantaminen. 1994.
69. The effect of ground profile and plough gauge wheel on ploughing work with a mounted plough. 1994.
70. Järeän sahatavaran mekaaniset ominaisuudet. 1995.
71. Varattu
72. Varattu
73. Lannan levitys kasvustoon. 1996. Osa 2. Lietelannan levitysmahdollisuudet kasvavaan viljanoraaseen
74. Kylmäkasvattamoiden kuivikepohjien toimivat vaihtoehdot. 1996.

VAKOLAn rakennusratkaisuja

- 1/1994 Kylmä osakuivikepohjainen emolehmäkasvattamo.
- 2/1995 Rehtijärven keinokosteikko
- 3/1995 Puurakenteiset ruokinta-aidat ja parrenerottimet

VAKOLAn tiedotteita

- 41/87 Jauhatustyön järjestelyjä ja kustannuksia.
- 42/88 Lannanpoistolaitteiden toimivuus ja kestävyys.
- 43/88 Käytännön ohjeita konevaraston hankintaa suunnittelevalle.
- 44/89 Pohjoismaiset lypsykone- ja laiteohjeet
- 45/89 Säilörehun korjuu pyöröpaalaimella
- 45 S/89 Rundbalsensilering
- 46/90 Kevytsora lietesäiliön katteena
- 47/90 Lietelannan kompostointi
- 48/90 Turvallinen ja nopea työkoneiden kytkentä
- 49/91 Betonit ja muovit navetan lattiamateriaaleina
- 50/91 Pölyn ja roskien talteenotto lämminilmakuivamossa
- 51/92 Viherkesannon perustaminen ja hoito
- 52/92 Kaasut ja pöly eläinsuojien ilmanvaihdoissa
- 53/93 Lannoitteenlevittimien levitystasaisuus
- 54/93 Maaseudun koerakentamisen ohjelmointi
- 55/93 Pyöröpaalisäilörehun korjuu, varastointi ja laatu
- 56/93 Maaseuturakentamisen ideakilpailu
- 57/93 Syyskylvöjen varmentaminen
- 58/93 Maatilan ja maatilamatkailun jätehuolto
- 59/93 Maatilamyymälätoiminta vanhassa maatilan asuinrakennuksessa
- 60/93 Tyhjien maatilarakennusten uusi käyttö
- 61/94 Lietelannan varastointi ja levitys
- 62/94 Tuotantorakennusten alapohjia ja piha-alueiden päällysrakenteita
- 63/94 Turvallinen puunpilkonta
- 64/94 Itkupinta-tuloilmalaitteen vaikutus eläinsuojassa
- 65/94 Oksainen hake pienpolttimissa
- 66/94 Pako- ja savukaasujen analysointi
- 67/94 Käyttökokemuksia jyräkylvölannoittimista
- 67S/94 Brukserefareheter av vältkombisåmaskiner
- 68/94 Käsikäyttöisten liekittimien käyttöominaisuuksia
- 69/95 Renkaiden vaikutus traktorin vetokykyyn ja maan tiivistymiseen
- 70/95 Hakkeen kuivaus imuilmalla
- 71/95 Klapikattiloiden käyttöominaisuudet

