

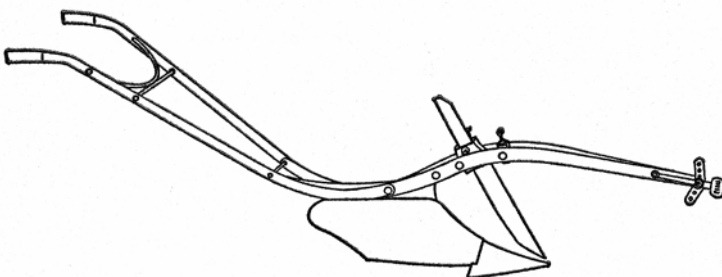


SVERIGES  
LANTBRUKSUNIVERSITET  
UPPSALA

INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP

# RAPPORTER FRÅN \_\_\_\_\_ JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

Swedish University of Agricultural Sciences,  
S-750 07 Uppsala  
Department of Soil Sciences  
Reports from the Division of Soil Management



Nr 105

2003

Åsa Myrbeck, Johan Arvidsson, Thomas  
Keller

**Plöjningstidpunktens inverkan på  
markstruktur, växtproduktion och  
kväveutlakning på lerjord. Slutrapport  
från försök 1999-2002.**

ISSN 0348-0976

ISRN SLU-JB-R--105--SE

# Plöjningstidpunktens inverkan på markstruktur, växtproduktion och kväveutlakning på lerjord. Slutrapport från försök 1999-2002.

## **Förord**

Jordbruket har idag stora krav på sig att minska näringsläckaget från åkrarna till omgivningen. I södra Sverige har det införts ersättning för mark som hålls bevuxen under höst eller vinter i syfte att minska kväveläckaget. Som höst- eller vinterbevuxen mark räknas t ex en insådd fånggröda eller stubb efter en stråsädesgröda om plöjning sker efter ett visst datum på hösten. Dessa regler gäller oavsett jordart. Reglerna är baserade på resultat från försök på lätta jordar i sydvästra Sverige, som visat att en senareläggning av bearbetningen på hösten kan minska utlakningen av kväve. Samtidigt finns det få studier om hur bearbetningstidpunkten påverkar kväveutlakningen på lerjord. En sen bearbetning vid ogynnsamma förhållanden skulle där kunna leda till försämrad markstruktur med sämre skörd och därmed också sämre kväveutnyttjande som följd. Därför startades 1999 ett projekt, finansierat av Stiftelsen Lantbruksforskning, i syfte att undersöka hur tidpunkten för höstbearbetning på lerjordar inverkar på markstruktur, kväveminalisering och växtproduktion. Denna rapport utgör slutrapport för projektet.

*Åsa Myrbeck, Johan Arvidsson, Thomas Keller*

# Plöjningstidpunktens inverkan på markstruktur, växtproduktion och kväveutlakning på lerjord. Slutrapport från försök 1999-2002.

## Innehåll

Sammanfattning	3
Inledning	4
Bakgrund	4
Jordbearbetning och kväveutlakning	4
Jordbearbetning och markstruktur	5
Jordens bearbetbarhet	5
Packning - effekt på mark och gröda	6
Material och metoder	7
Försöksplan	7
Markfysikaliska mätningar	8
Mätningar av markytans höjd	9
Mineralkväve i marken	9
Uppkomst och skörd	10
Datsimulering av vattenhalt, avrinning och kväveläckage	10
<i>Modellparametrisering</i>	10
<i>Vattenhalter, avrinning och kväveläckage</i>	10
Statistisk bearbetning	11
Klimat	11
Resultat	13
Markens vattenhalt vid bearbetningstillfällena	13
Aggregatstorlek efter bearbetning på hösten	13
Såbädden på våren	15
Skrymdensitet	16
Genomsläpplighet	16
Aggregathållfasthet	17
Mätningar med laser	17
Uppkomst	20
Skörd	20
Mineralkväve i marken	22
Simulering av vattenhalt, avrinning och kväveläckage	24
<i>Vattenhalt</i>	24
<i>Avrinning</i>	24
<i>Kväveläckage</i>	25
Diskussion	26
Vattenhalt vid bearbetning – markstruktur, såbäddar, uppkomst och skörd	26

<i>Markstruktur på hösten</i>	27
<i>Såbäddar</i>	27
<i>Packning</i>	27
<i>Uppkomst och skörd</i>	27
Mineralkväve i marken och risk för utlakning	27
<i>Markkväve</i>	27
<i>Simulerad utlakning</i>	28
Slutsatser	29
Litteratur	30
Appendix 1. Modellbeskrivning	32
Appendix 2. - Parametervärden använda vid modellering i COUP-modellen.	34
Appendix 3. Uppmätt och simulerad vattenhalt	35
Appendix 4. - Aggregatstorleksfördelning efter bearbetning	38
Appendix 5. - Ammonium- och nitratkväve i markprofilen	42

## Sammanfattning

Tidigare studier både i Sverige och utomlands har visat att en senareläggning av höstbearbetning på lätta jordar kan minska risken för kväveläckage under hösten och vintern. Orsaken är sannolikt minskad mineralisering av organiskt material när marken lämnas orörd. På lerjordar finns dock få studier av hur bearbetningstidpunkten påverkar kväve-mineraliseringen och kväveutlakningen. En sen bearbetning vid ogynnsamma förhållanden skulle kunna leda till försämrad markstruktur med lägre skörd och därmed sämre kväveutnyttjande som följd.

Ett fältförsök startades hösten 1999 på tre lerjordar med 40-60 % lerinnehåll. Försöken låg i Skåne (Rydsgård), Östergötland (Kuddby) och Uppland (Ultuna) och pågick i tre år. Plöjning respektive kultivering utfördes vid tre tidpunkter på hösten; tidig (mitten av augusti), normal (sent i september) och sen (november). Vattenhalt i marken vid bearbetning och mineralkväveinnehåll i markprofilen ner till 90 cm vid sammanlagt fem tillfällen under höst och vår mättes. Vidare undersöktes ett antal markfysikaliska parametrar som beskriver markstrukturen, t ex skrymdensitet, genomsläpplighet, aggregatstabilitet och såbäddsegenskaper. Dessutom mättes under ett försöksår förändringar i markytans höjd med hjälp av laser, från innan bearbetning på hösten till efter sådd. För att få en uppfattning om vad resultaten av markkväveprovtagningarna skulle kunna betyda för kväveutlakningen använde vi oss av datamodellen COUP och simulerade markvatten och avrinning utifrån vilka sedan kväveutlakningen beräknades.

Bearbetning sen höst gav generellt en grövre struktur i matjorden direkt efter bearbetningen, en effekt som endast till viss del kvarstod till våren i form av en grövre struktur i såbädden. Generellt resulterade sen bearbetning även i en

något ökad skrymdensitet, skillnaderna var dock inte statistiskt signifikanta. Mätningar av höjdförändringar i markytan visade dock tydligt att tidig bearbetning gav den största luckringen, både vid plöjning och kultivering, en skillnad som också kvarstod efter sådd. Senarelagd bearbetning gav tydliga skördeminskningar i kultiverade led men generellt inte i plöjda led.

Resultaten av markkväveprovtagningen skilde sig markant åt mellan de olika platserna och de olika åren. Att plöjning stimulerar kväveomsättningen syntes tydligt på Ultuna och Rydsgård. Mineralkvävemängderna, och då främst nitrat, ökade under hösten och mer kväve fanns i profilen på senhösten ju tidigare plöjning skedde. På Kuddby var plöjningstidpunktens betydelse mer tveksam. På Rydsgård minskade kvävemängderna i profilen under vintern två år av tre vilket tyder på ett kväveläckage som sannolikt var högre ju tidigare plöjning utfördes på hösten. På Ultuna och Kuddby ökade markkvävemängderna respektive förblev oförändrade från sen höst till vår och troligtvis var kväveläckaget litet.

Simuleringen av utlakningen visade inte på några nämnvärda skillnader beroende av bearbetningstidpunkt på Kuddby och Ultuna. Utlakningen var mycket liten; mindre än 10 kg/ha på Kuddby och mindre än 5 kg/ha på Ultuna i samtliga led samtliga år. På Rydsgård däremot visade simuleringarna på betydligt lägre utlakning efter sen bearbetning än efter tidig. Utlakningen efter tidig bearbetning uppskattades till 23-37 kg/ha i snitt för de tre försöksåren medan motsvarande utlakningen efter sen bearbetning uppskattades till 18-22 kg/ha.

Resultaten från försöken indikerar att skillnaderna kan vara stora mellan olika lerjordar vad gäller bearbetningstidpunktens inverkan på framförallt risken för kväveutlakning men också på markstruktur och skörd. I genomsnitt var effekterna av bearbetningstidpunkt på

kväve mineralisering för dessa lerjordar mindre än vid mätningar på lätta jordar i södra Sverige. Undersökningen visar samtidigt att bearbetningstidpunkt kan ha stor effekt på mineralisering även på styv lerjord. Effekterna var betydligt större än de effekter som tidigare uppmätts på en lerjord vid Lanna i Västergötland. De vattenhållande egenskaperna i kombination med större rot djup och vattenupptagning av grödan på styva jordar minskar dock utlakningsrisken jämfört med lätta jordar. Sammantaget visar försöken att senarelagd bearbetning på lerjordar i områden med hög nederbörd förmodligen kan minska läckaget av kväve betydligt, och därför kan vara motiverad. Det tycks dock som om man vid en senareläggning av bearbetningen på styvare lerjordar får räkna med en risk för skördesänkningar, speciellt vid plöjningsfri odling.

## Inledning

Kraven på jordbruket att minska läckaget av växtnäring, främst kväve, har lett till att en rad möjliga åtgärder mot kväveläckaget har undersökts. Ett sätt har visat sig vara att senarelägga bearbetningen på hösten eller skjuta upp den till våren. I försök på lätt jord i Halland har konstaterats att bearbetning tidigt på hösten stimulerar kväve mineralisering och därmed ökar risken för kväveutlakning jämfört med om grundbearbetningen utförs sent på hösten eller på våren (t. ex. Stenberg m.fl., 1999). Det kväve som mineraliseras efter en bearbetning ackumuleras i markprofilen eller, om nederbörden är hög och avdunstningen liten, riskerar att lakas ut med det vatten som avrinner från marken. Under höst och vinter när marken är obevuxen är risken för utlakning av kväve som störst, och ju större förråd av mineralkväve som finns i marken under hösten, ju större blir kväveförlusterna.

Bl.a. baserat på ovan nämnda försök på lätta jordar har Jordbruksverket utformat regler för höst- eller vinterbevuxen åkermark, som medför en senareläggning av plöjningstidpunkt i Götaland, oavsett jordart. I vilken utsträckning en sen höstbearbetning minskar kväveutlakning på lerjordar är dock mindre känt än på lätta jordar. En eventuellt minskad kväveutlakning får på en lerjord vägas mot risken för en försämrad markstruktur och lägre skörd om plöjningen utförs vid ogynnsamma förhållanden.

Det är väl känt att vattenhalten vid bearbetning är viktig med avseende på den packning som uppstår vid körning (Arvidsson och Pettersson, 1995; Heinonen, 1985). Dessutom vet vi att vattenhalten vid bearbetningstillfället är den kanske viktigaste faktorn för det resultat som uppnås med en bearbetning. Trots detta finns i Sverige knappt några studier av hur olika vattenhalter vid bearbetningstillfället påverkar resultatet av bearbetningen och förutsättningarna för att få en bra såbädd. Därför startades under 1999 ett projekt med olika bearbetningstidpunkter på styva leror.

Projektet hade två huvudsakliga syften: (1) Att studera hur bearbetningstidpunkten inverkar på skörd och på markstrukturen i matjorden efterföljande år, främst möjligheten att bereda en god såbädd. (2) Att studera hur plöjningstidpunkten inverkar på mineralisering av kväve i marken, och därmed risken för kväveutlakning. Därigenom blir det möjligt att väga ev. minskad kväveutlakning av senarelagd bearbetning mot risken för försämrad markstruktur och sänkt skörd. Projektet genomfördes i form av fältförsök på tre lerjordar i Skåne, Östergötland och Uppland.

## Bakgrund

### Jordbearbetning och kväveutlakning

Bearbetning av marken stimulerar omsättningen av det organiska material

som finns i jorden. Dels sker en omfördelning av rötter och det färska växtmaterial som brukas ner, dels frigörs tidigare skyddat omsättbart organiskt material när aggregaten sönderdelas så att det blir mer lättillgängligt för mikroorganismer (Adu & Oades, 1978, Hassink, 1994). Hur stor omsättningen blir efter en bearbetning beror bl.a. på faktorer som temperatur och fuktighet. Eftersom den mikrobiella aktiviteten i marken i hög grad är relaterad till temperaturen, ökar kvävemineriseringen i marken med ökande marktemperatur (Lloyd & Taylor, 1994).

Att tidpunkten för jordbearbetning kan ha stor betydelse för utlakning av kväve, speciellt på lätta jordar, har visats bl.a. i studier i Danmark och Sverige (t.ex. Lindén & Wallgren, 1993, Hansen & Djurhuus, 1997, Stenberg m.fl., 1999). En senareläggning av bearbetningen på hösten har minskat mineralkväve-mängderna i marken och kväveläckaget under vintern. Orsaken är troligtvis en minskad mineralisering av organiskt material när marken lämnas orörd under den varmaste delen av hösten när annars temperaturen tillåter en hög mikrobiell aktivitet. Hur jordbearbetning påverkar kväveutlakningen på lerjordar har däremot bara undersökts i ett fåtal studier.

På en styv lera i Västergötland startades 1997 ett fältförsök där olika bearbetningsmetoder och tidpunkter för bearbetning jämförs. Resultat från sex år visar på små skillnader i innehåll av mineralkväve i marken både sen höst och vår liksom små skillnader i avkastning vid en jämförelse mellan tidig och sen höstplöjning (Myrbeck, 2003). Risken för kväveutlakning anses inte ha varit större efter tidig bearbetning än efter sen. Denna jord har inte tillförts organisk gödsel på länge och det faktum att jordbearbetningen inte haft så stor inverkan på mineralkvävedynamiken i marken skulle kunna bero på att marken innehåller relativt lite lättomsättbart organiskt material.

Utlakning av kväve från två olika växtföljder som båda uppfyller Jordbruksverkets regler för höst- eller vinterbevuxen mark jämfördes i ett fältförsök på moränlätter på Lönnstorp (Hessel m.fl., 1998). Utlakningen var betydligt lägre från den växtföljd som innehöll engelskt rajgräs (*Lolium perenne* L.) som fånggröda två år av fem, än från den där enbart konventionella höstsådda grödor använts för att uppfylla reglerna. I studien jämfördes ej tidpunkter för jordbearbetning men minskningen av utlakning kan delvis vara en effekt av den senarelagda bearbetningen under åren med fånggröda.

### **Jordbearbetning och markstruktur**

En god markstruktur är viktig för att en jord ska vara en bra växtplats och en förutsättning för en välutvecklad gröda. På en lerjord bör markstrukturen vara uppbyggd av små, stabila aggregat och ha ett utbildat spricksystem som tillåter god rotutveckling, dränering och gastransport mellan aggregaten. En av jordbearbetningens främsta uppgifter, både vid grundbearbetning och såbäddsberedning, är att sönderdela jorden i mindre aggregat. Markstrukturen efter höstbearbetningen kommer bl.a. att påverka möjligheten att åstadkomma en grund såbädd som ändå ger ett nödvändigt avdunstningsskydd. Resultaten från de såbäddförsök som genomfördes i Sverige under 60-, 70- och 80-talen visar att såbädden bör innehålla minst 50 % aggregat mindre än 5 mm i diameter, för att ge ett avdunstningsskydd som är tillräckligt även torra år (Håkansson *et al* 2002).

### **Jordens bearbetbarhet**

Jordens bearbetbarhet definieras som dess förmåga att falla sönder i mindre beståndsdelar. Hur lätt större aggregat sönderfaller i mindre beror av aggregatens hållfasthet. Jordens bearbetbarhet kan då uttryckas i dess

hållfasthet som funktion av aggregatstorleken (Utomo & Dexter, 1981). Idealt bör hållfastheten vara låg för stora aggregat och hög för små aggregat.

Ökad mekanisk hållfasthet uppkommer då bindningar mellan jordpartiklarna stärks då de kommer närmare varandra. När marken är torr kryper befintligt vatten upp i hörnen mellan partiklarna och fungerar som klister som håller partiklarna på plats. När jorden är våt är den mer packningskänslig eftersom det fria vattnet fungerar som smörjmedel mellan jordpartiklarna. Om en jord packas innebär det att jorden trycks samman och andelen porer minskar. Då jorden sedan torkar upp bildas jordklumpar som är svåra att slå sönder (Arvidsson & Pettersson, 1995).

### **Vattenhaltens betydelse**

Vid låg vattenhalt är hållfastheten hög för alla aggregatstorlekar, vilket förutom att det ger en låg sönderdelning vid bearbetning också ger ett högt dragkraftsbehov. Vid hög vattenhalt är hållfastheten låg för alla aggregat, varför jorden homogeniseras och den naturliga strukturen förstörs vid bearbetning. Bästa bearbetningsresultatet kan förväntas vid en intermediär vattenhalt. Den kanske vanligaste metoden för att uppskatta vid vilken vattenhalt jorden bör bearbetas är bestämning av undre och övre plasticitetsgränsen enligt Atterberg (1912).

Dexter (2000) skriver att den optimala vattenhalten för bearbetning definieras som den vattenhalt vid vilken ett maximalt antal små aggregat bildas vid bearbetning. För flera jordar har den optimala vattenhalten för bearbetning funnits ligga vid 0,9 \* undre plasticitetsgränsen och maximala vattenhalten för bearbetning sätts ofta till undre plasticitetsgränsen.

Jordens packningskänslighet ökar också med ökad vattenhalt. Bearbetning vid hög

vattenhalt innebär därmed ökad risk för ett dåligt bearbetningsresultat såväl som packningsskador.

### **Packning - effekt på mark och gröda**

Packning definieras som en ökning av markens torra skrymdensitet, eller en minskning av porositeten. De största porerna är de som påverkas mest av packning, och dessa är av avgörande betydelse för markens funktion. Vatten transporteras lättast i stora porer, som därför är avgörande för markens genomsläpplighet eller dränering. De är också nödvändiga för syretransport, eftersom denna främst sker genom diffusion i luftfyllda porer. Slutligen sker rottillväxten lättast i grova porer. Packning medför också att jordens hållfasthet ökar, vilket försvårar rottillväxt, ökar dragkraftsbehov vid bearbetning och minskar bearbetbarheten, dvs ger en grövre struktur i t ex såbädden. I slutändan påverkas därmed skörd, miljö samt markens långsiktiga bördighet. Detta gäller packning i matjord såväl som i alv. (Arvidsson & Pettersson, 1995.)

En indikation om hur förhållandena vid plöjning påverkar efterföljande gröda kan fås från de försök med efterverkan av packning som genomfördes under 60- 70- och 80-talen (Arvidsson & Håkansson, 1996). I dessa försök packades jorden varje höst före plöjning, varefter skörden bestämdes efterföljande år. Plöjningen återställde markens skrymdensitet, men på lerjordar blev matjordens struktur sämre i de packade leden. Bl.a. blev såbäddens struktur grövre och den efterföljande skörden lägre. En liknande effekt är trolig om plöjningen utförs under ogymsamma förhållanden. I tidigare nämnt försök på en styv lera i Västergötland har det funnits en tendens till lägre skördar där höstbearbetningen utförts sent (Myrbeck, 2003). Om detta beror på en försämrad markstruktur går inte säkert att säga eftersom ingen undersökning av markfysikaliska parametrar har gjorts i försöket.



## Material och metoder

### Försöksplan

Projektet genomfördes i form av ett treårigt fältförsök på tre platser med lerjord i Sverige: sydvästra Skåne (Rydsgård), Vikbolandet i Östergötland (Kuddby) samt i Uppland (Ultuna). Försöken kommer härnäst att benämnas Rydsgård, Kuddby och Ultuna. Försöksleden framgår av tabell 1. På varje plats utfördes bearbetning vid tre olika tidpunkter under hösten. Försöket var ett split-plotförsök med bearbetningsmetod; plöjning respektive kultivering, i storrutor och bearbetningstidpunkt; tidig, normal respektive sen, i smårutor. Det första året ingick endast plöjning som bearbetningsmetod på Rydsgård och Kuddby. På Ultuna däremot fanns både plöjning och kultivering med samtliga år. Efter bearbetningen på hösten låg marken bar

under vintern i samtliga led. På Ultuna var försöket fastliggande medan det på Rydsgård och Kuddby flyttades runt inom gården för att passa in i de berörda gårdarnas växtföljd. Avsikten var att bearbetningen skulle ske under våtare förhållanden ju senare bearbetningen utfördes. Hösten 1999 var torrare än normalt, så för att erhålla skillnader i vattenhalt mellan bearbetningarna senarelades de normala och de sena bearbetningstidpunkterna på några platser försökets första år. Bearbetningsdatum samtliga år redovisas i tabell 2.

Texturen på de olika försöksplatserna redovisas i tabell 3. Jordarten var mellanlera på Rydsgård, mycket styv lera på Kuddby, samt styv lera i matjorden och mycket styv lera i alven på Ultuna. Lerhalten ökade med djupet på alla tre platserna med tydligaste ökning på Ultuna och Rydsgård.

Tabell 1. *Försöksled på de tre försöksplatserna*

Led	Bearbetning	Tidpunkt för bearbetning
A1	plöjning	tidig 15 augusti – 1 september
A2	plöjning	normal 15 september – 1 oktober
A3	plöjning	sen tidigast 20 oktober i Skåne och 10 oktober i Östergötland och Uppland
B1	kultivering	tidig 15 augusti – 1 september
B2	kultivering	normal 15 september – 1 oktober
B3	kultivering	sen tidigast 20 oktober i Skåne och 10 oktober i Östergötland och Uppland

(år 1999 ingick enbart plöjning på Kuddby och Rydsgård)

Tabell 2. *Bearbetningsdatum hösten 1999, hösten 2000 och hösten 2001*

År	Plats	Tidig bearbetning	Normal bearbetningstidpunkt	Sen bearbetning
1999	Rydsgård	7 september	6 oktober	18 november
	Kuddby	20 augusti	1 oktober	1 december
	Ultuna	24 augusti	6 oktober	14 december
2000	Rydsgård	31 augusti	3 oktober	1 november
	Kuddby	30 augusti	9 oktober	7 november
	Ultuna	11 september	10 oktober	16 november
2001	Rydsgård	3 september	2 oktober	29 oktober
	Kuddby	27 augusti	2 oktober	4 november
	Ultuna	29 augusti	6 oktober	10 november

Tabell 3. Skrymdensitet ( $\text{g/cm}^3$ ), kornstorleksfördelning (% vikt/vikt) och mullhalt (organiskt material) för de olika försöksplatserna de olika åren

Plats	Djup (cm)	Skrymdensitet	Ler	Mjåla	Mo	Sand	Mull
<u>Rydsgård</u>							
1999/2000	0-30	1,32	43,1	38,8	12,2	5,9	2,9
	30-60	1,50	55,7	36,0	6,6	1,7	0,0
2000/2001	0-30	-	34,3	32,4	23,3	10,0	2,7
	30-60	-	32,5	31,8	20,8	14,8	0,30
2001/2002	0-30	-	27,9	34,7	25,5	11,8	2,20
	30-60	-	39,8	34,4	20,6	5,3	0,30
<u>Kuddby</u>							
1999/2000	0-30	1,14	67,3	22,4	9,3	0,9	4,40
	30-60	1,23	72,4	20,2	6,4	0,9	0,50
2000/2001	0-30	-	72,1	18,6	8,7	0,7	4,3
	30-60	-	72,1	20,3	7,1	0,5	0,0
2001/2002	0-30	-	69,8	25,6	4,0	0,6	5,7
	30-60	-	73,8	22,6	3,2	0,4	1,40
<u>Ultuna</u>							
Samtliga år	0-30	1,33	58,2	25,1	13,7	3,0	3,4
	30-60	1,42	53,6	21,3	19,6	5,6	1,0

### Markfysikaliska mätningar

Följande mätningar gjordes för att bestämma effekterna av plöjningstidpunkt på markens egenskaper:

- (1) Markens plasticitet och vattenhalt vid plöjningstillfället
- (2) Aggregatstorleksfördelning efter bearbetning på hösten
- (3) Såbäddsundersökning efter sådd på våren
- (4) Uttagning av cylindrar för att bestämma skrymdensitet, vattenhållande förmåga och genomsläpplighet för vatten
- (5) Bestämning av aggregatens hållfasthet i centrala matjorden

Dessutom gjordes bestämning av markens höjdförändringar under året med hjälp av laser.

(1) Markens plastiska egenskaper (övre och undre plasticitetsgränsen) i matjorden bestämdes enligt Atterberg för att uppskatta den lämpligaste vattenhalten för

bearbetning. Markens vattenhalt vid bearbetningstillfället jämfördes sedan med dessa.

(2) För att få ett mått på hur väl bearbetningen lyckats sönderdela marken i små aggregat samlades bearbetad jord in efter bearbetningen på hösten och sållades i olika storleksfraktioner. Detta gav aggregatstorleksfördelningen efter bearbetningen.

(3) Såbäddsundersökning efter sådd på våren utfördes enligt Kritz (1983) genom bestämning av aggregatstorleksfördelning och vattenhalt i tre olika skikt av såbädden. Detta gav såbäddens uppbyggnad.

(4) Uttagning av cylindrar gjordes på våren efter sådd för bestämning av skrymdensitet, vattenhållande förmåga (första året) och mättad genomsläpplighet för vatten. Tre cylindrar (72 mm i diameter, 50 mm höga) per ruta togs ut i tre block i skiktet 10-15 cm.

(5) För bestämning av aggregatens hållfasthet i centrala matjorden under sommaren togs jordprover från centrala matjorden (10-15 cm djup) efter sådd. Jorden sönderdelades försiktigt och de aggregat som hade en storlek på 8-16 mm användes för att bestämma aggregat-hållfastheten. Bestämningen gjordes enligt Dexter och Kroesbergen (1985) vilket ger hållfastheten på torkade aggregat.

### Mätningar av markytans höjd

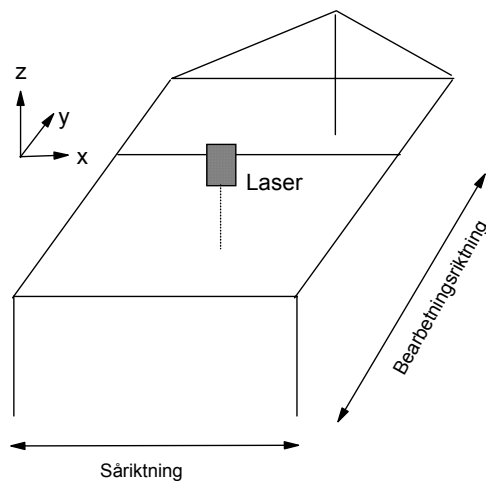
Under år 2000 utvecklades vid avdelningen för jordbearbetning, i samarbete med institutionen för lantbruksteknik, en metod för att mäta ojämnheter i markens ytskikt, eller markytans relief. Mätningar gjordes sedan från fixpunkter i försöket på Ultuna. Syftet med mätningarna var att studera effekter av bearbetningstidpunkt och -redskap på: (1) Markens ytojämnhet efter bearbetning. (2) Förändring i skrymdensitet (markytans höjd) av bearbetning. (3) Förändring i skrymdensitet och ytojämnhet med tiden. (4) Såbottens ojämnhet på våren, och inverkan på grödans etablering. (5) Jämförelse med resultat från traditionella markfysikaliska mätningar.

Mätningarna av markens ytojämnhet gjordes med en laser som är monterad i ett koordinatbord, vilket gör det möjligt att scanna av ett område i x- och y-led (figur 1). Maximalt mätområde är ca 0,9 x 0,9 m, med en maximal upplösning i x- och y-led på 1 mm. Lasern anger avståndet i höjded (z-led) med en upplösning på 1 mm, mätnoggrannheten är dock något lägre.

En sådan undersökning gjordes från hösten 2000 till våren 2001 i samtliga led i försöket på Ultuna. Mätning av markytan gjordes rutvis med fixplattor nedgrävda på drygt 30 cm djup, d.v.s. strax under plogdjup. Mätning gjordes inom ett 80 x 80 cm stort område med en upplösning på 1 mm i x-led och 40 mm i y-led, vid fyra tillfällen:

- 1=omedelbart före höstbearbetning
- 2=omedelbart efter höstbearbetning
- 3=på våren före vårbearbetning
- 4=på våren efter sådd (markyta samt såbotten)

Efter sådd på våren gjordes först en mätning av markytan, därefter sopades såbädden omsorgsfullt bort, och såbottens relief mättes på samma plats. I de led som bearbetades tidigt och normalt gjordes också mätningar vid de senare bearbetningstillfällena.



Figur 1. Laser för mätning av markytans eller såbottens ojämnhet.

### Mineralkväve i marken

Jordprover för analys av mineralkväve togs ut i plöjda led vid fem tillfällen under hösten och våren. Proverna togs omedelbart före varje plöjningstidpunkt. Ett prov togs också en månad efter senaste plöjningstidpunkten för att beräkna hur mycket kväve som fanns i marken innan vintern, för bedömning av risken för utlakning i de olika leden under vintern. Slutligen togs även ett prov tidigt på våren. Både matjord och alv provtogs eftersom kväve som mineraliserats i matjorden mellan provtagningstillfällena kan ha transporterats till djupare

jordlager. Varje provpunkt delades in i skikten 0-30, 30-60 och 60-90 cm. Jordproverna togs ut rutvis med provstick väl fördelade över försöksrutan. De frysta jorden maldes och extraherades med 2 M KCl i jord-vätskeförhållandet 100g:250 ml. Analys av nitrat- och ammoniumkväve gjordes kolorimetriskt med en autoanalysator (TRAACS 800, metod nr ST9002-NH4D och ST9002-NO3D). Mängderna räknades om till kg N/ha med de bestämda skrymdensiteterna för jordprofilerna.

### Uppkomst och skörd

Genomgående vårstråsåd odlades i försöket. På Rydsgård odlades vårvete, havre och havre; på Kuddby havre samtliga år och på Ultuna havre, vårkorn och havre. Skördarna registrerades på samtliga platserna samtliga år. I de flesta fall bestämdes även antalet uppkomna plantor per kvadratmeter på våren.

### Datasimulering av vattenhalt, avrinning och kväveläckage

För att få en uppfattning om vad resultaten av markkväveprovtagningarna skulle kunna betyda för kväveutlakningen använde vi oss av datamodellen *COUP* (Jansson och Karlberg, 2001). Den 1-dimensionella SWAT (soil-water-atmosphere transfer) modellen *COUP* (före detta *SOIL*) har använts av många forskare (t.ex. Alvenäs m.fl., 1986; Jansson och Thoms-Hjärpe, 1986; Johansson och Jansson, 1991; Persson, 1997; Stähli m.fl., 1996) för att simulera vatten- och värmebalansen i marken och har blivit ett lämpligt verktyg för att studera praktiska frågeställningar relaterade till markvattenhushållning. Modellbeskrivning finns i appendix 1.

Med hjälp av simulering av markvattenhalt och avrinning, tillsammans med uppmätta värden av mineralkväveinnehåll i marken, beräknades mängden utlakat kväve enligt ett antal olika scenarier.

### Modellparametrisering

Uppmätta värden för fysikaliska markparametrar för de tre platserna Rydsgård, Kuddby och Ultuna användes (vattenretentionsdata och mättad hydraulisk konduktivitet enligt Nordström (2001)). För Rydsgård modellerades jorden enligt data från försöksplatsen år 1. Medelvattenhalten per plats och skikt vid vattentensionsvärdena 0, 5, 30, 100, 300, 1000, 15000 hPa anpassades till modellekvation 2 (appendix 1) med hjälp av programmet *RETC* (van Genuchten et al., 1991). Parametervärden efter kalibrering för de olika platserna och olika skikten redovisas i appendix 2. Dräneringsnivån antogs till 1 m för samtliga platser.

Växter och deras utveckling (rotutveckling, *LAI*, Albedo, etc.) parametriserades enligt Johansson och Jansson (1991) och Persson (1997). Det maximala rot djupet antogs till 1,0 m för styv lera (Myrbeck, 1998). Växtsäsongen anpassades för varje plats individuellt efter genomsnittliga så- och skördedatum. Som indata och drivvariabler användes globalstrålning, lufttemperatur, vindhastighet, relativ luftfuktighet samt nederbörd. De första fyra variablerna togs från SMHI:s stationer i Lund och Nyköping för platserna Rydsgård respektive Kuddby. Nederbördsdata togs från SMHI:s stationer i Skurup och Söderköping för Rydsgård respektive Kuddby. För Ultuna kom alla meteorologiska data från SLU:s egen väderstation på Ultuna. Simuleringar gjordes för perioden 1 januari 1998 till 31 december 2002 (kalibrering), samt 1 januari 1988 till 31 december 2002 (långtidssimulering av avrinning och kväveläckage).

### Vattenhalter, avrinning och kväveläckage

Följande simuleringar gjordes:

- Simulering av vattenhalt i olika skikt i profilen samt avrinning utifrån

klimatdata för de tre försöksåren för respektive försöksplats. Simulerade vattenhalter jämfördes sedan med uppmätta.

- Simulering av vattenhalt i olika skikt i profilen samt avrinning utifrån genomsnittliga klimatdata (1988-2002) för respektive plats.
- Sensitivitetsanalys där alla jordar simulerades med klimatdata (1988-2002) från de andra platserna (dvs Ultunajorden simulerades med Kuddby- och Rydsgård-klimatet; Kuddbyjorden simulerades med Ultuna- och Rydsgårdsklimatet; Rydsgårdjorden simulerades med Ultuna- och Kuddbyklimatet).
- Växtparametrisering gjordes efter respektive klimat.
- Simulering av en sandjord (3 % ler, 95 % sand) från Ugerup med klimatdata från Ultuna, Kuddby samt Rydsgård för att studera jordartens effekt på avrinning. Det maximala rot djupet på sandjorden sattes till 60 cm (Myrbeck, 1998).

Nitratkoncentrationen i markskikten 0-30, 30-60 och 60-90 cm beräknades utifrån uppmätta nitratmängder och modellerad vattenhalt i respektive skikt. Uppskattad utlakning beräknades sedan med hjälp av nitratmängder i dräneringsvattnet efter ett antal olika scenarier samt modellerad mängd dränerat vatten. Den totala kvävekoncentrationen i dräneringsvattnet fick vi genom att multiplicera den uppmätta nitratkvävekoncentrationen med 1,3. Uppskattning av detta förhållande mellan kväve- och nitratkoncentration gjordes utifrån ett försök på en styv lera i Västra Götaland (Torstensson, 2003).

### Statistisk bearbetning

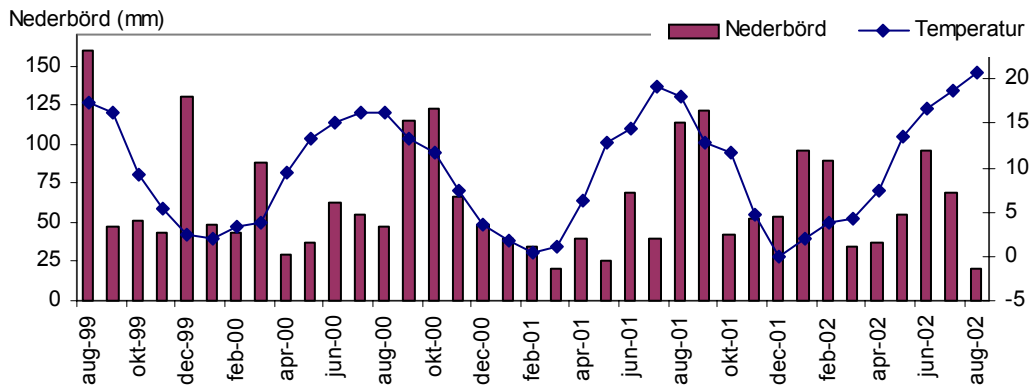
Statistisk analys av resultaten har gjorts med SAS (Statistical Analysis System). För den mättade genomsläppligheten har analysen gjorts för geometriska medelvärden, eftersom dessa kan antas vara bättre normalfördelade än

aritmetiska (Bathke & Cassel, 1991). De medelvärden som redovisas i resultatdelen är också geometriska medelvärden.

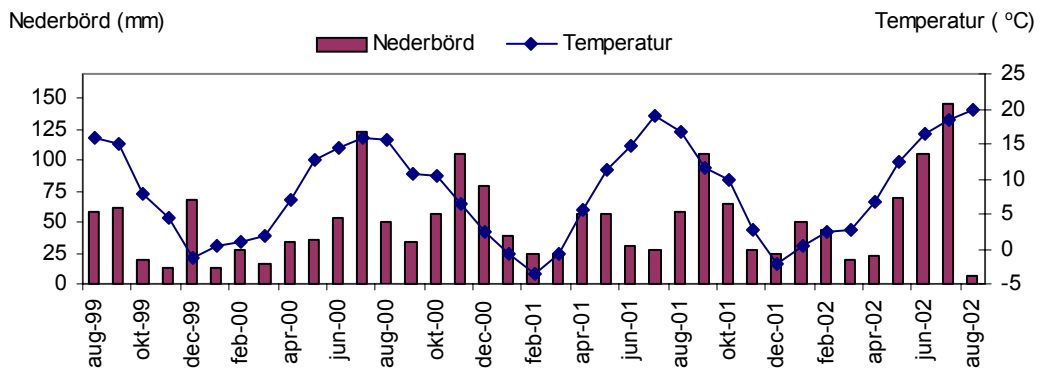
För samtliga tabeller utom nr 1-3 i appendix 5 gäller att värden som är signifikant skilda åt ( $P < 0,05$ ) är markerade med olika bokstäver. Signifikanta ledskillnader anges för huvudfaktorerna (bearbetningsmetod och bearbetningstidpunkt). I de fall samspel mellan bearbetningsmetod och bearbetningstidpunkt funnits anges också signifikans för alla kombinationer av bearbetningstidpunkt och bearbetningsmetod.

### Klimat

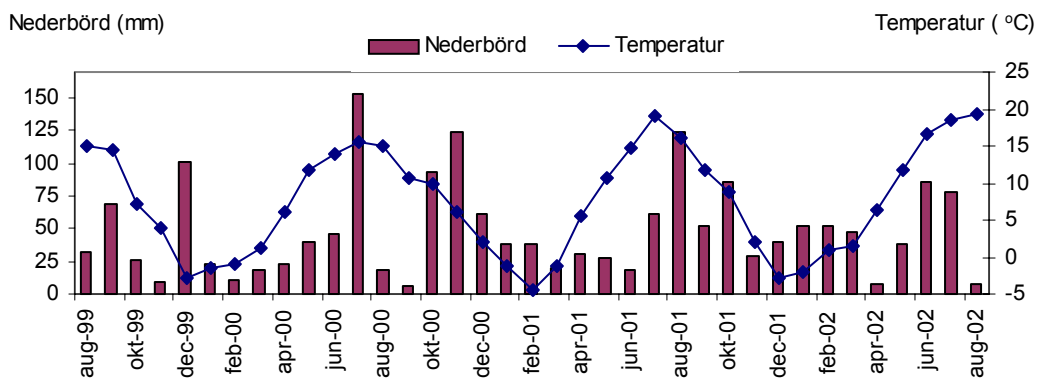
Väderdata är hämtade från SMHI:s meteorologiska station i Lund (nederbörd och temperatur), Skurup (nederbörd aug-99 - aug-00) och Norrköping samt från klimatstationen på Ultuna. Temperatur och nederbörd under försöksåren visas i figur 2-4.



Figur 2. Månadsvis nederbörd och temperatur för Rydsgård juni 1999 tom augusti 2002.



Figur 3. Månadsvis nederbörd och temperatur för Kuddby juni 1999 tom augusti 2002.



Figur 4. Månadsvis nederbörd och temperatur för Ultuna juni 1999 tom augusti 2002.

## Resultat

Försöksåren benämns 1, 2 och 3 där år 1 innefattar hösten 1999 och år 2000 samt år 2001 fram till och med skörd, år 2 innefattar hösten 2000 och år 2001 fram till och med skörd och år 3 hösten 2001 och år 2002 fram till och med skörd.

### Markens vattenhalt vid bearbetningstillfällena

Den normala och den sena bearbetningen har på samtliga platser vid samtliga tillfällen utförts då vattenhalten har legat över eller strax under den undre plasticitetsgränsen (tabell 4). På Rydsgård var vattenhalterna även vid den tidiga bearbetningen generellt höga och låg relativt nära den undre plasticitetsgränsen.

### Aggregatstorlek efter bearbetning på hösten

Aggregatstorleksfördelningen efter bearbetning visas i sin helhet i appendix 4. Resultatet av bearbetningarna skilde sig relativt tydligt åt mellan de olika tidpunkterna. Generellt blev det en högre andel små aggregat i det bearbetade jordlagret ju tidigare bearbetningen genomfördes (tabell 5, figur 5).

Rydsgård: År 1 blev det ingen nämnvärd skillnad mellan de olika bearbetnings-

tidpunkterna utan jorden var kompakt och bruket blev mycket grovt efter samtliga bearbetningar. År 2 blev andelen små aggregat större ju senare plöjningen genomfördes medan resultatet var det omvända för kultivering. År 3 gav den tidiga bearbetningen större andel små aggregat än de två senare bearbetningarna både för plöjning och kultivering.

Kuddby: På Kuddby blev andelen små aggregat högre ju tidigare bearbetningen genomfördes samtliga år oberoende av bearbetningsmetod.

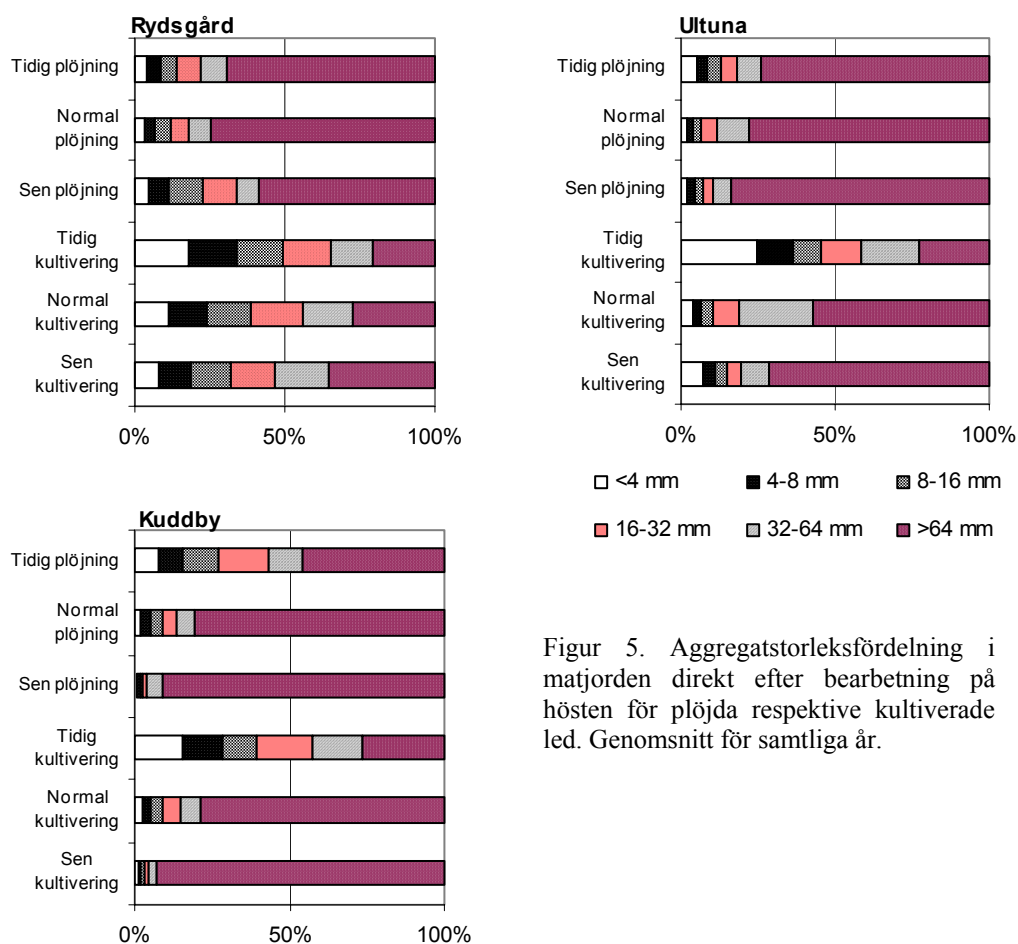
Ultuna: Resultatet efter plöjning varierar mycket mellan åren. År 1 blev bruket mycket grovt efter både tidig och sen plöjning. Värden saknas från normal plöjning. År 2 gav tidig plöjning signifikant högre andel fina aggregat än de två senare plöjningarna medan den sena plöjningen gav finast bruk år 3. Resultatet efter kultivering var mer entydigt med högre andel fina aggregat ju tidigare bearbetning år 1 och 2. Figur 4 visar aggregatstorleksfördelningen för respektive bearbetningsmetod som ett medel för de tre åren. Med undantag för plöjningen på Rydsgård visar figuren att andelen fina aggregat ökar ju tidigare bearbetningen utförts. Vidare visar den att betydelsen av bearbetningstidpunkt varit större i de led som kultiverats än i de led som plöjts.

Tabell 4. Undre plasticitetsgränsen\*0,9 och vattenhalt (% vikt/vikt), 0-20 cm djup, vid de aktuella bearbetningstidpunkterna för respektive försöksplats hösten 1999, hösten 2000 och hösten 2001. (Värden lika med eller över undre plasticitetsgränsen\*0,9 är understruken.)

Plats	År	0,9*undre plasticitetsgränsen	Tidig bearbetning	Normal bearbetning	Sen bearbetning
Rydsgård	År 1	24 %	<u>25 %</u>	<u>28 %</u>	<u>31 %</u>
	År 2	23%	20 %	<u>24 %</u>	<u>24 %</u>
	År 3	15%	17 %	<u>22 %</u>	<u>21 %</u>
Kuddby	År 1	34%	29 %	<u>37 %</u>	<u>38 %</u>
	År 2	-	36 %	39 %	42 %
	År 3	38%	30 %	<u>39 %</u>	<u>40 %</u>
Ultuna	År 1	31 %	20 %	30 %	<u>34 %</u>
	År 2	31 %	26 %	<u>32 %</u>	<u>35 %</u>
	År 3	31 %	25 %	30 %	<u>34 %</u>

Tabell 5. Andel aggregat <8 mm i diameter (viktsprocent) i det bearbetade skiktet efter bearbetning på hösten

Led	Rydsgård			Kuddby			Ultuna			Medel
	År 1	År 2	År 3	År 1	År 2	År 3	År 1	År 2	År 3	
Tidig plöjning	0,4	12,5	12,5a	9,9	17,9	17,8	1,0	19,7a	5,5	10,8
Normal plöjning	0,5	17,6	2,0b	3,9	0,9	10,2	-	7,6b	0,7	5,4
Sen plöjning	0,5	24,7	9,7a	0,5	0,1	4,4	3,4	0,5b	10,6	6,0
Tidig kultivering	-	32,4	35,6a	-	33,1	23,2	62a	35,3a	12,7	33,5
Normal kultivering	-	30,6	17,4b	-	1,6	9,2	-	9,3b	3,6	12,0
Sen kultivering	-	25,1	12,6b	-	0,1	4,0	18,4b	0,5c	14,7	10,8
Plöjning	-	18,3a	8,1a	-	6,3	11,5	2,3	10,7	10,3a	8,0
Kultivering	-	29,3b	21,9b	-	11,6	13,2	40,3	13,6	5,6b	19,4
Tidig	-	22,4	24,1a	-	25,5a	20,6a	31,5	27,5a	9,1a	23,0
Normal	-	24,1	9,7b	-	1,3b	9,8b	-	8,4b	2,2b	9,3
Sen	-	24,9	11,1b	-	0,12b	4,2c	10,9	0,5c	12,7c	9,2



Figur 5. Aggregatstorleksfördelning i matjorden direkt efter bearbetning på hösten för plöjda respektive kultiverade led. Genomsnitt för samtliga år.



### Såbädden på våren

I tabell 6 presenteras andelen aggregat i såbädden som var större än 5 mm i diameter. Värdena som presenteras gäller för hela såbädden, dvs samtliga de skikt som undersöktes sammanslagna.

Resultaten från såbäddsundersökningarna varierade mellan platser och år. Försökets första år visade de tre platserna dock relativt överensstämmande resultat. Andelen små aggregat var högst och andelen stora aggregat lägst då bearbetningen utfördes tidigt. Lägst andel små aggregat och högst andel stora aggregat erhöles efter den sena

bearbetningen. Skillnaderna mellan de olika bearbetningstidpunkterna var tydligast på Kuddby.

Vattenhalten i såbädden vid tidpunkten för sådd presenteras i tabell 7. Det andra året på Ultuna hade såbädden i tidigt bearbetade led en högre vattenhalt än led som bearbetats senare. I övrigt fanns inga skillnader på någon av försöksplatserna. Inte heller vattenhalten i såbotten (data i appendix 4) skilde sig generellt mellan de olika bearbetningstidpunkterna. Ett år på Kuddby och ett år på Ultuna hade led som kultiverats signifikant högre vattenhalt än led som plöjts.

Tabell 6. Andel aggregat i såbädden >5mm vid tidpunkten för sådd

Led	Rydsgård			Kuddby			Ultuna			Medel
	År 1	År 2	År 3	År 1	År 2	År 3	År 1	År 2	År 3	
Tidig plöjning	24,9a	19,7	23,9	16,6a	51,8a	28,2	17,8	34,4	38,7	28,4
Normal plöjning	31,0b	16,6	19,6	22,8a	31,7b	30,5	22,9	37,8	36,2	27,7
Sen plöjning	29,1ab	20,5	20,5	36,3b	45,2a	24,3	30,3	39,7	41,4	31,9
Tidig kultivering	-	24,9	26,3	-	44,2ab	37,9	21,5	45,0	36,0	33,7
Normal kultivering	-	22,0	32,6	-	39,2a	32,9	25,9	46,7	36,6	33,7
Sen kultivering	-	16,5	30,3	-	47,6b	36,0	24,4	41,8	36,6	33,3
Plöjning	-	18,9	21,3a	-	42,9	27,7	23,7	37,3a	38,8	30,1
Kultivering	-	21,1	29,7b	-	43,7	35,6	23,9	44,5b	36,4	33,6
Tidig	24,9a	22,3	25,1	16,6a	48,0a	33,1	19,6a	39,7	37,3	29,6
Normal	31,0b	19,3	25,4	22,8a	35,5b	31,7	24,4	40,8	36,4	29,7
Sen	29,1ab	18,5	25,1	36,3b	46,4a	30,1	27,4b	39,9	39,0	32,4

Tabell 7. Vattenhalt i såbädden vid tidpunkten för sådd

Led	Rydsgård			Kuddby			Ultuna			Medel
	År 1	År 2	År 3	År 1	År 2	År 3	År 1	År 2	År 3	
Tidig plöjning	7,8	5,2	8,5	13,4	10,6	11,4	17,3	13,1	13,2	11,2
Normal plöjning	7,2	5,4	8,6	13,4	10,0	11,1	18,5	11,3	13,7	11,0
Sen plöjning	7,7	7,1	8,4	14,1	10,1	10,8	20,2	11,8	14,4	11,6
Tidig kultivering	-	5,0	7,8	-	9,5	10,5	20,9	13,1	13,3	11,4
Normal kultivering	-	5,0	8,4	-	9,8	10,1	20,1	11,9	12,0	11,1
Sen kultivering	-	5,1	9,1	-	9,5	10,9	19,0	11,3	13,5	11,2
Plöjning	-	5,9	8,5	-	10,2	11,1	18,7	12,0a	13,7	11,4
Kultivering	-	5,0	8,5	-	9,6	10,5	20,0	12,1b	13,0	11,2
Tidig	7,8	5,1	8,1	13,4	10,1	10,9	19,1	13,1a	13,2	11,2
Normal	7,2	5,2	8,5	13,4	9,9	10,6	19,4	11,6b	12,9	11,0
Sen	7,7	6,1	8,8	14,1	9,8	10,8	19,6	11,5b	13,9	11,4

### Skrymdensitet

Den uppmätta skrymdensiteten för cylindrar tagna i matjorden redovisas i tabell 8. På Kuddby gav tidig plöjning lägre skrymdensitet än normal och sen plöjning samtliga år. På Rydsgård gav tidig och sen plöjning signifikant lägre skrymdensitet än normal plöjning år 2 och 3. I övrigt var skillnaderna mellan bearbetningstidpunkterna små. På Rydsgård gav plöjning signifikant högre skrymdensitet än kultivering år 2 medan kultivering gav signifikant högre värden än plöjning år 3.

### Genomsläpplighet

Genomsläppligheten för cylindrar tagna i matjorden redovisas i tabell 9. Värden från några cylindrar plockades bort då dessa cylindrar innehöll mycket halm eller var genomborrade av stora maskhål som kunde antas delvis ha uppkommit under tiden mellan provtagningen och analyserna. Det var inga signifikanta skillnader i genomsläpplighet mellan de olika leden. Dock, i genomsnitt över platser och år, fick tidig plöjda led en något högre genomsläpplighet än normalt och sent plöjda. För kultiverade led var genomsläppligheten högst efter sen bearbetning.

Tabell 8. Torr skrymdensitet ( $g/cm^3$ ) på 10-15 cm djup på våren vid tidpunkten för sådd

Led	Rydsgård			Kuddby			Ultuna			Medel
	År 1	År 2	År 3	År 1	År 2	År 3	År 1	År 2	År 3	
Tidig plöjning	1,41	1,47a	1,53a	1,12	1,19	1,11	1,32	1,27	1,31	1,30
Normal plöjning	1,42	1,55b	1,58b	1,13	1,24	1,13	1,30	1,32	1,31	1,33
Sen plöjning	1,42	1,45a	1,56a	1,15	1,24	1,12	1,28	1,33	1,39	1,33
Tidig kultivering	-	1,55ab	1,55a	-	1,22	1,15	-	1,33	1,36	1,36
Normal kultivering	-	1,59a	1,62b	-	1,22	1,09	-	1,37	1,35	1,37
Sen kultivering	-	1,52b	1,62b	-	1,24	1,10	-	1,35	1,35	1,36
Plöjning	-	1,55a	1,56a	-	1,22	1,12	-	1,31	1,34	1,35
Kultivering	-	1,49b	1,60b	-	1,22	1,11	-	1,35	1,35	1,35
Tidig	1,41	1,51a	1,54a	1,12	1,21	1,12	1,32	1,30	1,34	1,32
Normal	1,42	1,57b	1,60b	1,13	1,23	1,11	1,30	1,34	1,33	1,34
Sen	1,42	1,49a	1,59b	1,15	1,24	1,11	1,28	1,34	1,37	1,33

Tabell 9. Genomsläpplighet (cm/h) på 10-15 cm djup på våren vid tidpunkten för sådd. Statistiska beräkningar gjorda på logaritmerade värden.

Led	Rydsgård			Kuddby			Ultuna			Medel
	År 1	År 2	År 3	År 1	År 2	År 3	År 1	År 2	År 3	
Tidig plöjning	0,02	0,34	0,43	0,56	1,01	0,04	1,20	0,40	0,03	0,27
Normal plöjning	0,01	0,03	0,06	0,34	0,33	0,01	1,54	0,09	0,06	0,09
Sen plöjning	0,02	0,79	0,28	0,41	0,06	0,06	0,50	0,33	0,09	0,19
Tidig kultivering	-	0,08	0,54	-	0,12	0,02	-	0,03	0,03	0,14
Normal kultivering	-	0,53	0,15	-	0,11	0,00	-	0,08	0,01	0,15
Sen kultivering	-	1,12	0,03	-	0,35	0,09	-	0,79	0,01	0,40
Plöjning	-	0,20	0,19	-	0,27	0,03	-	0,22	0,05	0,16
Kultivering	-	0,37	0,13	-	0,17	0,03	-	0,12	0,01	0,14
Tidig	0,02	0,17	0,48	0,56	0,35	0,03	1,20	0,10	0,03	0,15
Normal	0,01	0,12	0,10	0,34	0,19	0,01	1,54	0,08	0,02	0,08
Sen	0,02	0,94	0,09	0,41	0,14	0,07	0,50	0,51	0,03	0,21

### Aggregathållfasthet

Aggregathållfastheten på torkade aggregat visas i tabell 10. De olika

bearbetningstidpunkterna och -metoderna gav inte upphov till några nämnvärda skillnader i aggregathållfasthet.

Tabell 10. Aggregatens hållfasthet i matjorden på våren i kPa

Led	Rydsgård			Kuddby			Ultuna			Medel
	År 1	År 2	År 3	År 1	År 2	År 3	År 1	År 2	År 3	
Tidig plöjning	1017	624	532	629	828	812	986	628a	808	763
Normal plöjning	1285	504	448	654	888	816	874	688b	728	765
Sen plöjning	1232	592	524	625	776	880	926	656	780	777
Tidig kultivering	-	584	492	-	864	1020	1015	756b	972	815
Normal kultivering	-	672	512	-	868	928	1255	728	920	840
Sen kultivering	-	608	532	-	692	872	1158	680	880	775
Plöjning	-	572	500	-	828	836	929	656	772a	728
Kultivering	-	620	512	-	808	940	1142	720	924b	809
Tidig	1017	604	512	629	844	916	1001	692	888	789
Normal	1285	588	480	654	876a	872	1065	708	824	817
Sen	1232	600	528	625	732b	876	1042	668	832	793

### Mätningar med laser

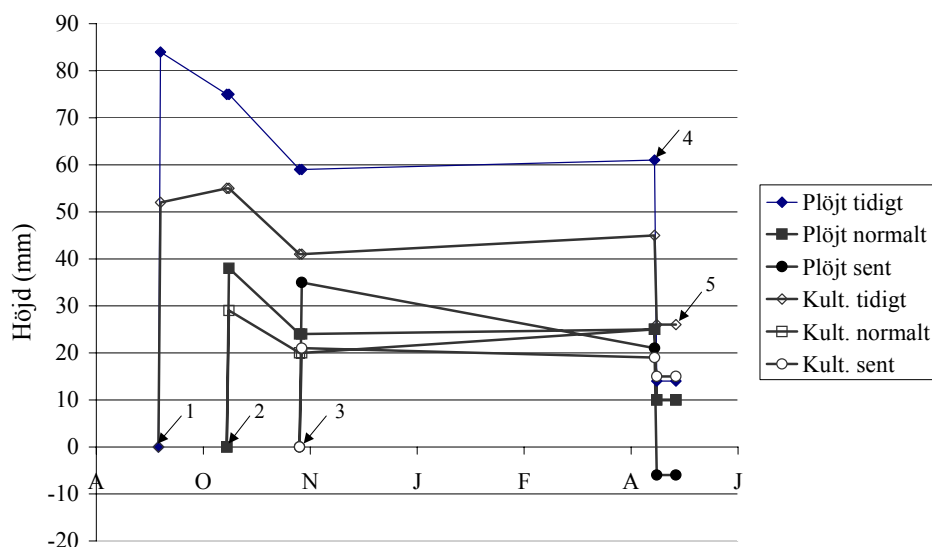
I tabell 11 visas höjdförändringar (medelvärden) från före bearbetning till efter sådd. I figur 6 redovisas höjdförändringar för olika led relativt markytans höjd före bearbetning.

Plöjning ledde till större luckring än kultivering, och tidig bearbetning gav större luckring än sen ( $P < 0,05$ ). Jordens naturliga sättning och packning vid såbäddsberedning var sedan större i plöjda än i kultiverade led.

Tabell 11. Markens höjd (mm) för olika tidpunkter, såbäddstjocklek samt höjdförändring vid såbäddsberedning

	Markytans höjd (mm) <sup>1</sup>			Såbäddens tjocklek (mm)	Före-efter sådd (mm) <sup>2</sup>
	Efter bearb.	Före sådd	Efter sådd		
Tidig plöjning	84	61	16	32	-45
Normal plöjning	38	25	1	33	-24
Sen plöjning	35	21	-6	31	-27
Tidig kult.	52	45	28	38	-17
Normal kult.	29	25	8	29	-17
Sen kult.	21	19	15	38	-4
Plöjt	52a	36	4	32	-32
Kultiverat	34b	30	17	35	-13
Tidig	68a	53a	22a	35	-31a
Normal	34b	25b	5b	31	-20b
Sen	28b	20b	4b	35	-16b

<sup>1</sup>Höjd relativt markytans nivå före bearbetning <sup>2</sup>Höjdskillnad mellan före och efter såbäddsberedning



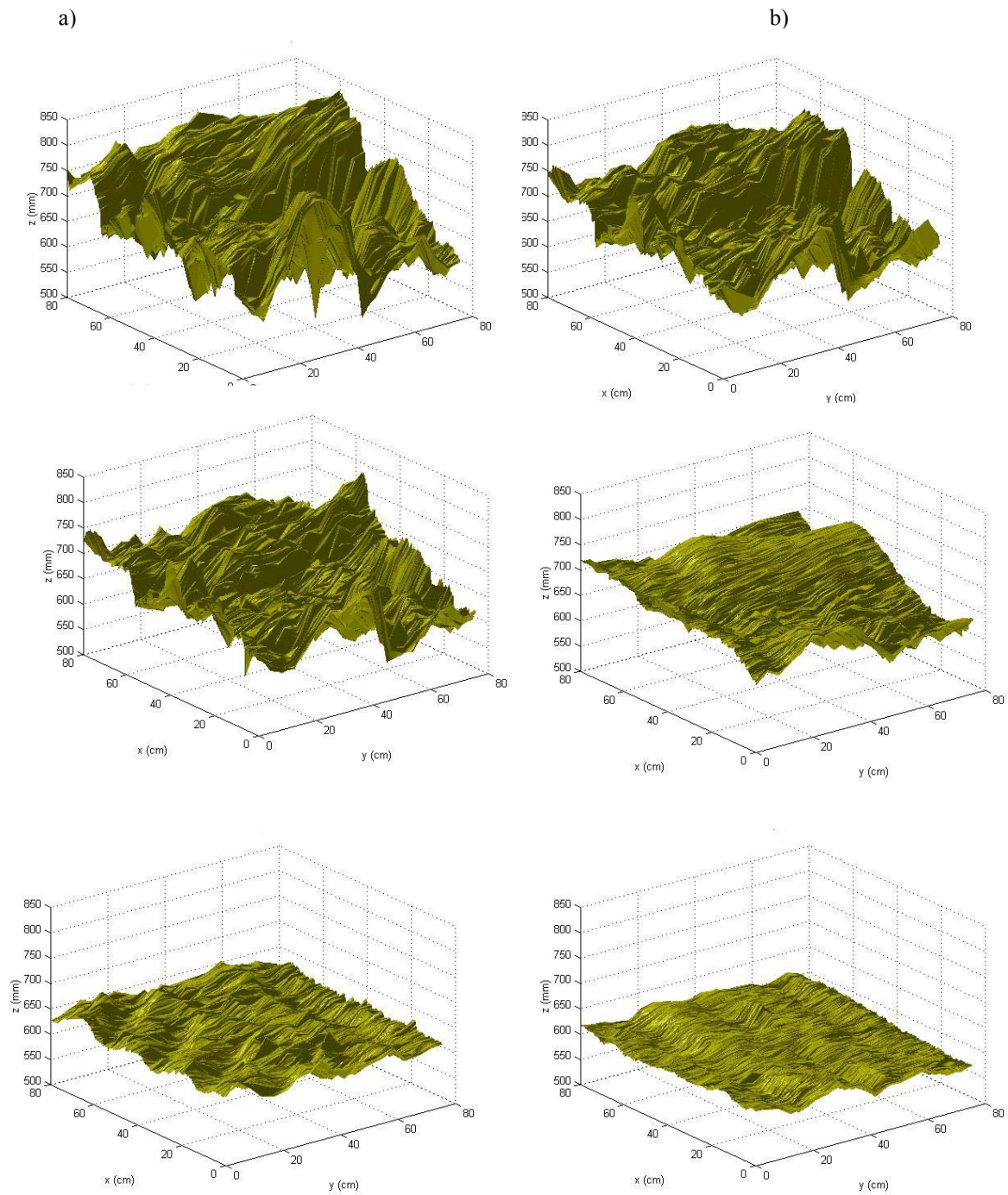
Figur 6. Markytans höjdförändring från direkt innan höstbearbetning fram till efter sådd. 1=tidig bearbetning, 2=normal bearbetning, 3=sen bearbetning, 4=före vårbruk, 5=efter sådd.

På våren efter sådd var därför markytan högre i förhållande till före bearbetning för kultiverade än för plöjda led, skillnaden var dock ej signifikant. Den kvarstående luckringen efter sådd var signifikant högst för den tidigaste bearbetningstidpunkten. I det sent plöjda ledet var markytan efter sådd lägre än före bearbetning på hösten. Markytans ojämnheter, uttryckt som standardavvikelse,

redovisas i tabell 12. Standardavvikelsen var större för plöjning än för kultivering, och större för sen än för tidig och normal bearbetning. Sen bearbetning gav också signifikant högre ojämnheter i såbotten än tidig och normal bearbetningstidpunkt. En tredimensionell återgivning av höjdförändringarna från samtliga mättillfällen i en tidigt plöjd ruta ges i figur 7.

Tabell 12. Markens ytojämnheter, uttryckt som standardavvikelse (mm) för samtliga höjdvärden

Led	Före bearb.	Efter bearb.	Före sådd	Efter sådd yta	Såbotten
Tidig plöjning	8	52	28	10	8
Normal plöjning	9	39	29	10	10
Sen plöjning	8	58	35	10	9
Tidig kult.	7	31	18	10	7
Normal kult.	6	28	22	8	7
Sen kult.	7	42	33	10	13
Plöjt	8	50a	31a	10	9
Kultiverat	7	34b	24b	10	9
Tidig	7	42a	23a	10	8a
Normal	8	34a	25a	9	9ab
Sen	8	50b	34b	10	11b



Figur 7. Markytans relief i en tidigt plöjd ruta. a) Efter bearbetning 15 sep 2000. b) 17/10, c) 1/12, d) 24/4 (före sådd), e) 4/5 (efter sådd), f) såbotten.

## Uppkomst

Uppkomsten var i de allra flesta fall högre efter tidig bearbetning än efter normal och sen bearbetning (tabell 13). På Ultuna gav tidig plöjning signifikant högre uppkomst än sen plöjning både år två och tre. Kultivering gav signifikant högre uppkomst än plöjning på Ultuna år 1.

## Skörd

Kärnskördarna respektive år under perioden 2000-2002, liksom medelskörderna för hela försöksperioden, redovisas i tabell 14.

På Rydsgård varierade inverkan av bearbetningstidpunkt på skörden mellan de olika försöksåren. Tidig kultivering gav, vid en jämförelse med normal och sen kultivering, signifikant lägre skörd år 2 medan den gav signifikant högre skörd år 3. Den låga skörden år 2 orsakades av en kraftig etablering av ogräs i detta led. I snitt över försöksåren blev skördarna något högre när plöjningen utfördes vid normal eller sen tidpunkt än när den utfördes tidigt. Kultiveringen däremot gav något högre skördar när den utfördes tidigt. På Rydsgård var skörden i kultiverade led i genomsnitt 7 procent lägre än i plöjda led.

På Kuddby, liksom på Rydsgård, varierade plöjningstidpunktens inverkan på skörden mellan åren. Här gav emellertid tidig kultivering högre skörd än de senare tidpunkterna båda de år som kultivering genomfördes, med signifikanta skillnader år 3. I snitt över försöksåren blev skördarna, precis som på Rydsgård, något högre när plöjningen utfördes vid normal eller sen tidpunkt än när den utfördes tidigt samt högre efter tidig kultivering än efter normal och sen kultivering. På Kuddby var skörden i kultiverade led högre än skörden i plöjda led.

På Ultuna uppmättes inga skördeskillnader beroende av bearbetningstidpunkt för vare sig plöjning eller kultivering det första året. År 2 och 3 blev dock skördarna signifikant lägre efter sen bearbetning än efter tidig. Till skillnad från på Rydsgård och Kuddby påverkades inte bara kultiverade led, utan även plöjda led negativt av en sen bearbetning. Också i snitt över försöksåren gav den sena bearbetningen lägre skördar än de tidigare både i plöjda och kultiverade led. Tydligast var skillnaden i kultiverade led där den sena kultiveringen gav 12% lägre skörd än den tidiga. På Ultuna var bearbetningstidpunkten mer betydelsefull än val av bearbetningsmetod.

Tabell 13. Uppkomst (antal plantor/m<sup>2</sup>) på våren för de olika bearbetningstidpunkterna och bearbetningsmetoderna för respektive försöksplats

Led	Rydsgård		Kuddby		Ultuna			Medel
	År 3	År 1	År 3	År 1	År 2	År 3		
Tidig plöjning	243	197	399	508	386	370	351	
Normal plöjning	226	174	437	464	357	368	338	
Sen plöjning	235	182	386	504	367	328	334	
Tidig kultivering	220		395	544	399	384	388	
Normal kultivering	241		372	532	350	346	368	
Sen kultivering	247		369	524	350	318	362	
Plöjning	234		407	492a	370	356	372	
Kultivering	236		379	532b	366	350	373	
Tidig	231	197	397	524	392a	378a	353	
Normal	233	174	405	512	354b	356ab	339	
Sen	241	182	377	496	358b	322b	329	

Tabell 14. Skörd (kg/ha och relativt) för de olika bearbetningstidpunkterna och bearbetningsmetoderna för respektive försöksplats för åren 2000-2002

Plats	År 1	År 2	År 3	Medel
<i>Rydsgård</i>				
Tidig plöjning	4960=100	5390=100	5910=100a	5420=100
Normal plöjning	109	99	102ab	103
Sen plöjning	100	97	108b	102
Tidig kultivering	-	83a	107a	95
Normal kultivering	-	92b	96b	94
Sen kultivering	-	90b	96b	93
Plöjning	-	100a	100	100
Kultivering	-	90b	96	93
Tidig	100	100	100	100
Normal	109	104	96	103
Sen	100	102	99	100
<i>Kuddby</i>				
Tidig plöjning	6580= 100	5620= 100	5670=100a	5957=100
Normal plöjning	101	102	102ab	102
Sen plöjning	99	102	105b	102
Tidig kultivering	-	104	109a	107
Normal kultivering	-	102	105ab	104
Sen kultivering	-	103	104b	104
Plöjning	-	100	100	100
Kultivering	-	102	103	103
Tidig	100	100	100	100
Normal	101	100	99	100
Sen	99	101	100	100
<i>Ultuna</i>				
Tidig plöjning	5140=100	4390=100	5560=100	5030=100
Normal plöjning	100	95	99	98
Sen plöjning	100	94	99	98
Tidig kultivering	104	99	105a	103
Normal kultivering	104	91	102a	99
Sen kultivering	104	87	92b	94
Plöjning	100a	100	100	100
Kultivering	104b	96	100	100
Tidig	100	100a	100a	100
Normal	100	93b	98a	97
Sen	100	91b	93b	95

### Mineralkväve i marken

Halterna mineralkväve i markens tre skikt ner till 90 cm uppdelat i ammonium och nitrat presenteras i appendix 5, tabell 1, 2 och 3 för Rydsgård, Kuddby respektive Ultuna. De totala mängderna mineralkväve i profilen (0-90 cm) redovisas för Rydsgård och Kuddby i figur 8 och för Ultuna i figur 9. Fortsättningsvis kommer ammonium och nitrat gemensamt att benämnas mineralkväve. Till år 1 räknas de fyra provtagningarna hösten 1999 samt vårprovtagningen 2000, till år 2 höstprovtagningarna 2000 samt vårprovtagningen 2001 och till år 3 höstprovtagningarna 2001 samt vårprovtagningen 2002.

Rydsgård: På Rydsgård fanns år 1 och 2 större mängder mineralkväve i markprofilen sent på hösten i tidigt plöjda led än i normalt och sent plöjda led. Störst var skillnaderna år 1 med 60 kg/ha (0-90 cm djup) efter tidig plöjning jämfört med 40 och 20 kg/ha efter normal respektive sen plöjning. Under hösten år tre syntes ingen skillnad i mineralisering beroende på plöjningstidpunkt. År 1 minskade halterna kraftigt mellan sista höstprovtagningen och vårprovtagningen i tidigt och normalt plöjda led (29 respektive 18 kg/ha). I det sent plöjda ledet hade mineralkväveinnehållet inte ändrats över vintern, dock hade nitratmängderna minskat med ca 4 kg NO<sub>3</sub>-N/ha. Även år 3 minskade mängderna mineralkväve i marken under vintern.

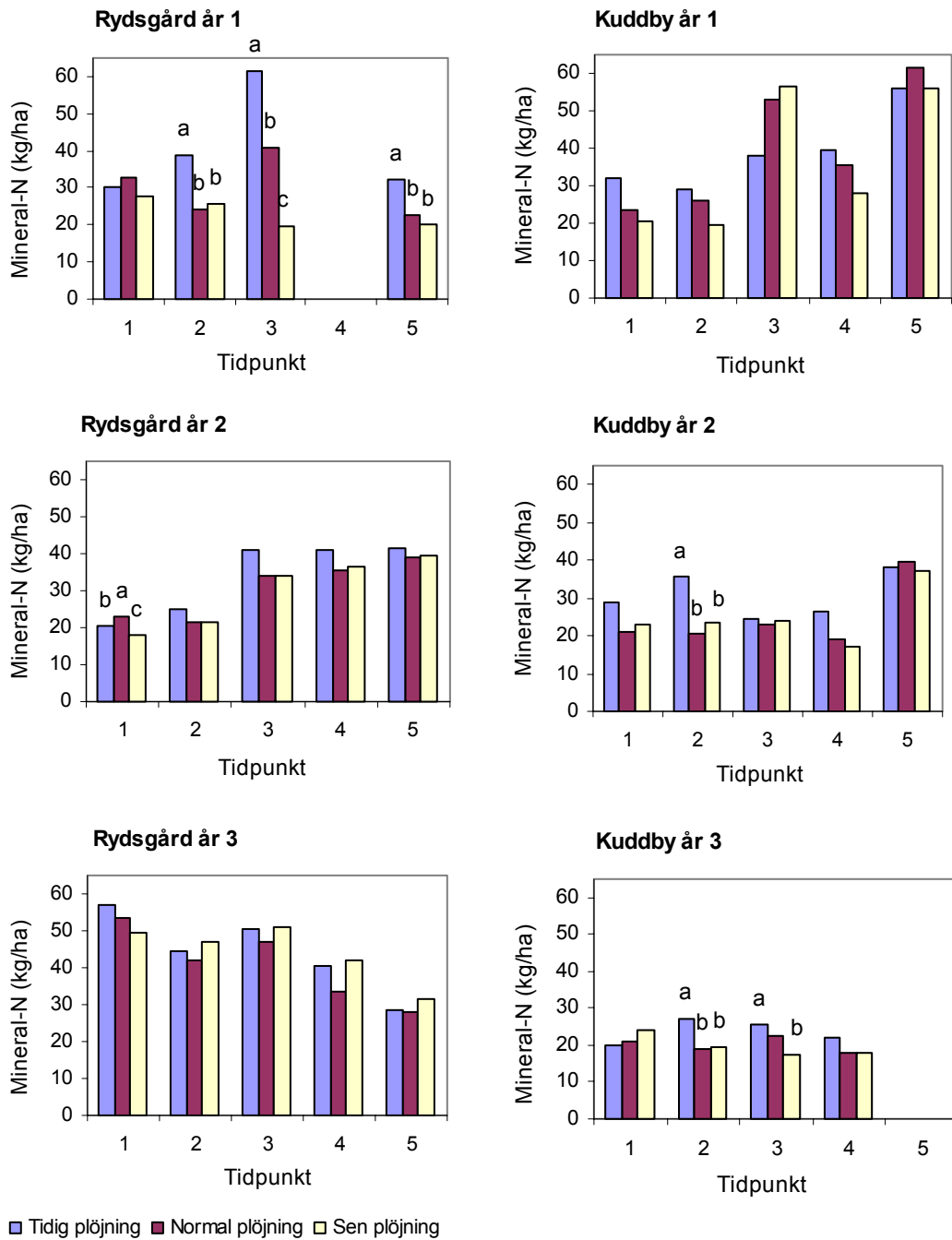
Kuddby: Ett av åren (år 3) innehöll markprofilen signifikant mer

mineralkväve efter tidig än efter sen plöjning (25 kg/ha jämfört med 17 kg/ha). Detta kväve stannade kvar i skiktet 30-60 cm under hela hösten. Övriga år syntes ingen nämnvärd skillnad mellan leden under hösten. År 1 och 2 ansamlades mineralkväve i profilen under vintern och innehållet på våren var 20 respektive 10 kg högre än vid provtagningen sen höst. Vårprovtagningen år 3 visade på orimligt höga värden, varför dessa resultat fick uteslutas.

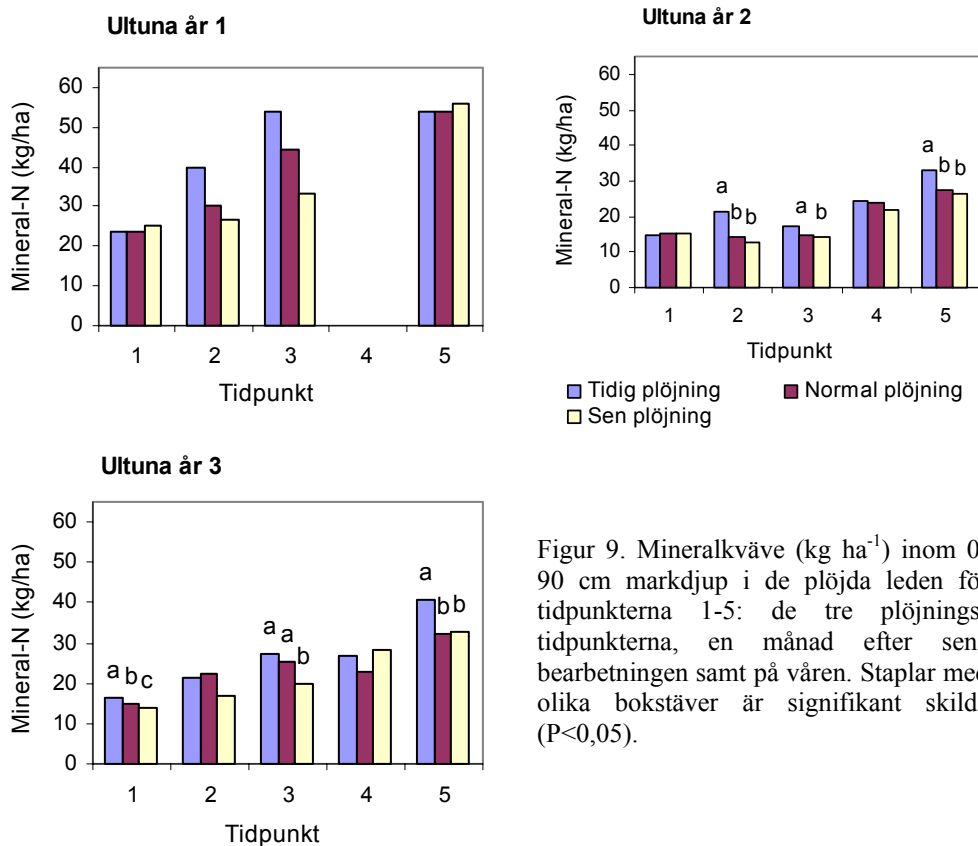
Ultuna: På Ultuna gav bearbetningarna ökning av mineralkvävemängderna i marken samtliga år, vilket resulterade i ett större innehåll av mineralkväve i profilen under hösten i tidigt plöjda led än i normalt och sent plöjda led. Främst var det mängderna nitrat som ökade. Till höstens sista provtagning i december hade halterna dock en tendens att jämnas ut sig.

Samtliga år var mängderna som uppmättes på våren på Ultuna lika höga eller högre än mängderna på senhösten. År 1 ökade mineralkvävemängderna med 9 respektive 23 kg mellan december och mars i normalt och sent plöjda led. I tidigt plöjda led var mängderna oförändrade och innehållet i profilen på våren var jämt mellan leden; 54, 54 respektive 57 kg/ha för tidig, normal respektive sen plöjning. År 2 var motsvarande ökning 9, 4 respektive 5 kg/ha och år 3 var den 14, 10 respektive 5 kg/ha för tidig, normal respektive sen bearbetning. På våren år 3 var mängderna signifikant större i tidigt bearbetade led än i normalt och sent bearbetade. Detta gällde främst nitralthalterna och ”merkvävet” återfanns då i skikten 30-60 och 60-90 cm.





Figur 8. Mineralkväve (kg ha<sup>-1</sup>) inom 0-90 cm markdjup i de plöjda leden för tidpunkterna 1-5: de tre plöjningstidpunkterna, en månad efter sena bearbetningen samt på våren. Staplar med olika bokstäver är signifikant skilda (P<0,05).



Figur 9. Mineralkväve ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) inom 0-90 cm markdjup i de plöjda leden för tidpunkterna 1-5: de tre plöjnings-tidpunkterna, en månad efter sena bearbetningen samt på våren. Staplar med olika bokstäver är signifikant skilda ( $P < 0,05$ ).

## Simulering av vattenhalt, avrinning och kväveläckage

### Vattenhalt

Uppmätta och simulerade vattenhalter (utifrån klimatdata för de tre försöksåren på respektive plats) för olika skikt visas i appendix 3, figur 1-5. Modellen reproducerade de uppmätta vattenhalterna bra.

Den optimala vattenhalten för bearbetning ( $0,9 \cdot \text{plasticitetsgränsen}$ ) enligt Ojeniyi och Dexter (1979) visas i appendix 3, figur 1, 3 och 5. På Ultuna utfördes den normala bearbetningen kring den optimala vattenhalten både år 1999, 2000 och 2001, medan det var lite för blött vid normal bearbetningstidpunkt de åren både på Kuddby och Rydsgård (se även tabell 4).

### Avrinning

Simulerad genomsnittlig avrinning per agrohydrologiskt år (1 juli – 30 juni), för åren 1989-2001 visas i tabell 15. Avrinningen var betydligt högre på Rydsgård jämfört med både Ultuna och Kuddby. Simuleras Ultunajorden med klimatdata för Rydsgård ökar avrinningen för Ultunajorden kraftigt (ökning med ungefär 225 %); simuleras Rydsgårdjorden med klimatdata för Ultuna, minskar avrinningen för Rydsgårdjorden betydligt (minskning med ca 65 %). Om de tre olika lerjordarna simuleras med samma klimatdata, förändras avrinningen bara föga mellan jordarna. Har man en sandjord (Ugerup) istället för en styv lera, ökar avrinningen kraftigt enligt våra simuleringar, oavsett klimatet; för Ultuna skulle den öka med ungefär 300 %.

Tabell 15. *Genomsnittlig nederbörd och avrinning per agrohydrologiskt år för perioden 1989 – 2001 för de olika simuleringarna*

Jord	Klimatdata	Nederbörd Genomsnitt (mm)	StAvv (mm)	Avrinning Genomsnitt (mm)	StAvv (mm)
<b>Ultuna</b>	<b>Ultuna</b>	<b>528,1</b>	<b>100,2</b>	<b>71,1</b>	<b>40,1</b>
	Kuddby	570,9	116,7	57,7	47,7
	Rydsgård	699,6	150,0	232,6	122,0
<b>Kuddby</b>	Ultuna	528,1	100,2	70,1	58,8
	<b>Kuddby</b>	<b>570,9</b>	<b>116,7</b>	<b>55,0</b>	<b>67,2</b>
	Rydsgård	699,6	150,0	243,7	127,7
<b>Rydsgård</b>	Ultuna	528,1	100,2	97,5	60,7
	Kuddby	570,9	116,7	80,9	69,2
	<b>Rydsgård</b>	<b>699,6</b>	<b>150,0</b>	<b>280,6</b>	<b>130,2</b>
Ugerup	Ultuna	528,1	100,2	286,6	76,5
	Kuddby	570,9	116,7	280,1	107,6
	Rydsgård	699,6	150,0	468,4	145,6

#### *Kväveläckage*

Det uppskattade kväveläckaget för de olika bearbetningstidpunkterna under de tre försöksåren visas i tabell 16. Fyra olika scenarier visas. I scenario I och II är kväveläckaget beräknat utifrån våra uppmätta markkvävevärden från 60-90 cm respektive från 0-90 cm djup. I scenario III används kvävekoncentrationer angivna av Johnsson & Mårtensson (2002). I kolumn IV anges genomsnittligt kväveläckage från lerjordar i respektive geografiska område enligt Johnsson & Mårtensson (2002). Bearbetningstidpunkten har haft en mycket liten påverkan på läckagets storlek på Kuddby och Ultuna medan den varit betydande på Rydsgård. Från scenario I och II fås ett genomsnittligt

läckageintervall för de tre försöksåren, för tidig respektive sen plöjning, på 2-4 kg/ha respektive 1-2 kg/ha för Ultuna, 3-5 kg/ha respektive 3-5 kg/ha för Kuddby och 30-37 kg/ha respektive 18-22 kg/ha för Rydsgård. Tidig bearbetning orsakade störst kväveläckage, medan skillnaden mellan normal och sen bearbetning var relativt liten.

Beräknat genomsnittligt kväveläckage för perioden 1989 – 2001 per agrohydrologiskt år (1 juli – 30 juni) för Ultuna, Kuddby och Rydsgård visas i tabell 17. Samma fyra scenarier som ovan visas. För både Ultuna och Kuddby blir läckaget enligt scenario I och II mycket litet, medan det för Rydsgård blir betydligt större, 17 respektive 30 kg/ha.

Tabell 16. Kväveläckage per agrohydrologiskt år ( $\text{kg N ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ ) för tidig (T), normal (N) och sen (S) bearbetning för Ultuna, Kuddby och Rydsgård. I: Simulerad dränering och uppmätt koncentration (60-90 cm); II: simulerad dränering och uppmätt koncentration (0-90 cm); III: simulerad dränering och koncentration enligt Johnsson och Mårtensson (2002); IV: kväveläckage enligt Johnsson och Mårtensson (2002)

År och plats	I			II			III	IV
	T	N	S	T	N	S	N	N
Kväveläckage ( $\text{kg N ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ )								
<i>Ultuna</i>								
1999/2000	0,5	0,5	0,5	1,8	1,5	1,4	1,0	12
2000/2001	2,2	1,0	0,7	4,4	3,1	2,6	8,2	12
2001/2002	3,1	1,6	1,7	4,5	3,2	3,3	3,6	12
Medel	1,9	1,0	0,97	3,6	2,6	2,4		
<i>Kuddby</i>								
1999/2000	1,4	1,1	0,7	1,7	1,7	1,3	0,9	9,0
2000/2001	7,4	3,7	4,4	9,4	5,5	5,7	11,4	9,0
2001/2002	1,3	2,4	2,7	3,6	5,6	6,7	2,8	9,0
Medel	3,4	2,4	2,6	4,9	4,3	4,6		
<i>Rydsgård</i>								
1999/2000	28,1	20,5	8,6	55,3	32,2	12,4	28,4	18,0
2000/2001	10,4	6,5	7,0	20,6	15,5	14,8	13,3	18,0
2001/2002	30,3	24,2	37,1	34,1	29,4	39,7	21,7	18,0
Medel	22,9	17,1	17,6	36,7	25,7	22,3		

\*Simulerad dränering och uppmätt kvävekoncentration baseras på data för respektive plats och år.

Tabell 17. Genomsnittligt kväveläckage per år L ( $\text{kg N ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ ) och kvävekoncentration k ( $\text{mg N l}^{-1}$ ) per agrohydrologiskt år för perioden 1989 – 2001 för Ultuna, Kuddby och Rydsgård (normal bearbetningstidpunkt). Standardavvikelse inom parentes. I: Simulerad dränering och uppmätt koncentration på 60-90 cm djup (genomsnitt för de tre försöksåren); II: simulerad dränering och uppmätt koncentration på 0-90 cm djup (genomsnitt för de tre försöksåren); III: simulerad dränering och koncentration enligt Johnsson och Mårtensson (2002); IV: kväveläckage enligt Johnsson och Mårtensson (2002)

Plats	I		II		III	III/IV	IV
	L	k	L	k	L	k	L
	$(\text{kg N ha}^{-1})$		$(\text{kg N ha}^{-1})$		$(\text{kg N ha}^{-1})$	$(\text{mg N l}^{-1})$	$(\text{kg N ha}^{-1})$
Ultuna	1,1 (0,6)	1,6	3,2 (1,8)	4,5	3,3 (1,8)	4,6	12
Kuddby	2,0 (2,5)	3,7	4,4 (5,4)	8,0	2,5 (3,0)	4,5	9,0
Rydsgård	17,3 (8,9)	5,5	30,4 (15,6)	9,6	18,5 (8,6)	6,6	18,0

## Diskussion

### Vattenhalt vid bearbetning – markstruktur, såbäddar, uppkomst och skörd

Generellt var den tidiga bearbetningen mest gynnsam för samtliga strukturparametrar (tidig och normal för

aggregatstorleken i såbädden) utom för aggregathållfastheten där resultaten varierade mycket. Skillnaderna mellan leden var dock små och i stort sett bara signifikanta vad gällde egenskaperna i det bearbetade skiktet efter primärbearbetningen på hösten.

### *Markstruktur på hösten*

Generellt blev det en högre andel små aggregat i matjorden ju tidigare bearbetningen genomfördes. Undantag var Ultuna år 1 och Rydsgård år 2, där jorden var relativt torr vid första bearbetningstidpunkten, samt Ultuna år 3. Generellt erhöles en grov struktur vid bearbetning vid vattenhalter över plasticitetsgränsen. Resultaten stämmer överens med Dexter (2000), att den mest optimala vattenhalten för bearbetning ligger kring 0,9 \* vattenhalten vid plasticitetsgränsen.

### *Såbäddar*

Tydliga strukturskillnader efter höstbearbetningen betydde i denna studie inte att det automatiskt också blev motsvarande skillnader i såbäddens struktur. Trots att den tidiga höstbearbetningen i många fall gav signifikant större andel små aggregat på hösten var det i de flesta fall ingen skillnad mellan tidigt och normalt bearbetade led i såbäddsundersökningen på våren. Förutom resultatet av grundbearbetningen är strukturen i såbädden ett resultat av naturliga processer som upptorkning och vätning samt cykler av tjälning som sönderdelar jorden i mindre aggregat. Resultaten av de markfysikaliska undersökningarna som gjordes på våren var alltså påverkade såväl av bearbetningstidpunkt som vattenhalt vid bearbetning. Att t.ex. både tidig och normal plöjningstidpunkt på Ultuna år 1 gav fina såbäddar trots att jorden var mycket kompakt, åtminstone efter tidig plöjning, beror förmodligen på tjälens strukturbildande effekt. Att bearbeta så sent som det sista tillfället tycks däremot ha haft en negativ inverkan på såbädden på alla tre försöksplatserna.

### *Packning, mätningar med laser*

En hög skrymdensitet och försämrade genomsläpplighet skulle kunna tyda på packning. Den tidiga plöjningen resulterade i stort sett genomgående i den

lägsta skrymdensiteten. Undantag var Ultuna våren 2000 då den senare plöjningen gav det lägsta värdet. Skillnaderna var dock små och det går därför inte att dra några säkra slutsatser om hur skrymdensiteten påverkats av bearbetningstidpunkt. Mätning av höjdförändringar med laser före och efter bearbetning visade dock tydligt att luckringen blev betydligt större för tidig än för sen bearbetning. Mätningarna visade också att såbotten var jämnare efter tidig bearbetning, vilket kan ha medverkat till den bättre uppkomsten i dessa led. Detta gällde för bearbetning med plog såväl som med kultivator.

Undersökningarna av den mättade genomsläppligheten gav inga signifikanta resultat. Proverna var mycket heterogena och ett större antal prover hade givit ett säkrare resultat.

### *Uppkomst och skörd*

Trots relativt små skillnader i såbäddens egenskaper orsakade sen bearbetning klart sämre uppkomst i försöket på Ultuna, med signifikanta skillnader år 2 och 3. Sen bearbetning orsakade också klart sämre skörd i kultiverade led, medan effekten var betydligt mindre i plöjda led. Också effekten på skörd är svår att förklara från mätningarna av markstruktur, där ledskillnaderna i regel var små.

## **Mineralkväve i marken och risk för utlakning**

### *Markkväve*

Resultaten från mätningarna av markkväve skilde sig relativt mycket åt mellan de olika platserna och de olika åren. Att plöjning stimulerar kväveomsättningen syntes tydligt på Ultuna samtliga tre år och på Rydsgård två år av tre. Mineralkvävemängderna, och då främst nitrat, ökade under hösten efter att marken plöjts och mer kväve fanns i profilen på senhösten ju tidigare

plöjning skedde (figur 7). På Rydsgård skedde tydliga minskningar av mängden nitratkväve under vintern år ett och år tre i alla led. Detta tyder på ett kväveläckage som förmodligen var högre ju tidigare plöjning utförts på hösten. På Ultuna ökade istället halterna under vintern fram till provtagningstillfället på våren samtliga säsonger och förmodligen skedde inget större läckage av kväve. Också på Kuddby ökade mängderna i profilen samtliga år under vintern fram till vårprovtagningen vilket indikerar att det inte förekommit något betydande läckage.

Stora mängder kväve, 29 kg, försvann ur profilen på Rydsgård under vintern år 1. Det var ganska hög nederbörd på denna försöksplats under vintern 1999 och vårvintern 2000, 311 mm under december till och med mars jämfört med 143 respektive 274 mm under samma period år 2 och 3. Läckaget var troligtvis betydande, men kväve kan också ha förlorats genom denitrifikation. Att nederbörden har stor betydelse för kväveförlusterna framgår om man jämför med år 2 då mängderna på våren i stort sett var oförändrade från senhösten. Detta år var nederbörden mycket liten från och med november och fram genom hela vårvintern.

På Rydsgård år 3 uppmättes stora mängder mineralkväve, 50-60 kg per hektar, redan vid den första bearbetningen. Detta skulle till viss del kunna förklaras med att augusti månad var ovanligt varm och regnig, vilket ledde till att markens lättomsättbara material mineraliserades tidigt. Bearbetningen hade sedan inte någon märkbar effekt på mineraliseringen, utan kvävemängderna i profilen sjönk istället under hösten. På Kuddby var inverkan av bearbetning på kvävemineraliseringen generellt mindre än på Ultuna och Rydsgård. Resultaten från mineralkväveundersökningarna på Kuddby var dock överlag mycket ojämna och är svåra att dra några säkra slutsatser ifrån. På Ultuna uppträdde halterna mineralkväve relativt lika de tre åren.

För två av lerjordarna i denna studie har effekten av bearbetningstidpunkt på kvävemineraliseringen varit lika stor som på lätt jord vid Mellby i södra Sverige (t. ex. Stenberg m fl, 1999; Aronsson m fl, 2003a). Det betyder att mineralkvävemängden i markprofilen ner till 90 cm i början av november i sent bearbetade led motsvarat ca 70% av den i tidigt bearbetade led. I genomsnitt för samtliga tre jordar var motsvarande siffra 85% och effekten av bearbetningstidpunkt på kvävemineraliseringen alltså lägre. Skillnaden beror huvudsakligen på att resultaten på Kuddby år 1 avvek kraftigt från mönstret. Samtidigt har effekterna av bearbetningstidpunkt varit betydligt större än de effekter som uppmätts på en lerjord vid Lanna i Västergötland (Myrbeck, 2003; Aronsson m.fl., 2003b), där bearbetningstidpunkter inte påverkat kvävemineralisering och -utlakning.

Förutom lerhalten i jorden har troligtvis även typen av lermineral en inverkan på hur läckagebenägen jorden är. Ju bättre en lera är på att skydda det organiska materialet från nedbrytning desto lägre blir nedbrytningstakten. T ex är montmorillonit, som har en hög adsorptionsaffinitet för organiska molekyler effektiv vad gäller att skydda organiskt material från nedbrytning (Sparks, 1995). Effekterna är dock dåligt undersökta för svenska förhållanden.

#### *Simulerad utlakning*

Modellen reproducerade de uppmätta vattenhalterna bra. Också simulerad genomsnittlig avrinning överensstämde väl med tidigare studier. Den simulerade avrinningen per år samt variationen mellan olika år är av samma storleksordning som för Johnsson och Jansson (1991), som uppmätte och simulerade dränering på en styv lera med vårkorn i norra Uppland på 80-talet. Standardavvikelsen var stor, vilket indikerar att det kan finnas kraftiga variationer mellan åren.

Den genomsnittliga avrinningen (1989-2001) var betydligt högre på Rydsgård än på både Ultuna och Kuddby. Skillnaden i avrinning mellan platserna beror till största delen på skillnader i klimat (mera nederbörd på Rydsgård). Detta kan man sluta sig till eftersom avrinningen från de tre jordarna inte skilde sig mycket åt då jordarna simulerades med samma klimatdata. Men våra simuleringar visade att också jordarten har betydelse för avrinningen eftersom avrinningen ökade kraftigt, oavsett klimat, vid simulering av en sandjord (Ugerup) istället för en styv lera. Det betyder alltså att både klimat och jordart har stor inverkan på mängd dräneringsvatten per år.

Jämfört med kvävekonzentrationerna i dräneringsvatten enligt Johnsson och Mårtensson (2002), är våra koncentrationer lägre och kanske underskattade när vi bara tar de uppmätta koncentrationerna från skiktet 60-90 cm, medan de är högre och kanske överskattade när vi tar de uppmätta koncentrationerna från hela markprofilen (0-90 cm), se tabell 16 och 17. Torstensson (2003) uppmätte kvävekonzentrationer i dräneringsvatten på en lerjord i Västra Götaland och redovisar värden som dock ligger nära våra koncentrationer uppmätta i skiktet 60-90 cm. Liksom mängden dräneringsvatten kan också kvävekonzentrationen variera ganska mycket mellan åren.

Den storlek på kväveläckage som de två beräkningarna i scenario I och II visar kan, enligt resonemanget ovan, anses ge ett troligt intervall för det reella läckaget. I genomsnitt för de tre åren skulle det innebära att bearbetningstidpunkten har haft en obetydlig inverkan på läckaget på Kuddby och Ultuna. Utlakningen, enligt scenario I och II, var mycket liten; mindre än 10 kg/ha på Kuddby och mindre än 5 kg/ha på Ultuna i samtliga led samtliga år vilket naturligtvis hänger ihop med den mycket måttliga avrinningen. På Rydsgård däremot visade simuleringarna på betydande skillnader mellan de olika bearbetningarna. Utlakningen efter tidig

bearbetning uppskattades till 23-37 kg/ha jämfört med 18-22 kg/ha efter sen bearbetning.

## Slutsatser

- Sett till resultaten för markfysikaliska undersökningar, mineralkväveprovtagningar och skörd skulle den, totalt sett, bästa strategin på Rydsgård vara att plöja sent eftersom betydande mängder kväve där tycks riskera att gå förlorade under hösten och vintern. På Ultuna däremot, där skillnaderna i utlakning beroende på bearbetningstidpunkt varit små, tycks det bättre att undvika den sena plöjningen eftersom den gett en försämring av markstrukturen. På Ultuna gav också den sena bearbetningen kraftiga skördeminskningar försökets två sista år.
- I genomsnitt var effekterna av bearbetningstidpunkt på kväve-mineraliseringen för dessa lerjordar mindre än vid mätningar på lätta jordar vid Mellby i södra Sverige. Undersökningen visar samtidigt att bearbetningstidpunkt kan ha stor effekt på mineralisering även på styv lerjord. Effekterna var betydligt större än de effekter som tidigare uppmäts på en lerjord vid Lanna i Västergötland. De vattenhållande egenskaperna i kombination med större rotdjup och vattenupptagning av grödan på styva jordar minskar dock utlakningsrisken jämfört med lätta jordar. Sammantaget visar försöken att senarelagd bearbetning på lerjordar i områden med hög nederbörd förmodligen kan minska läckaget av kväve betydligt, och därför kan vara motiverad.
- Risken för skördeminskning efter sen bearbetning är större efter kultivering än efter plöjning. Skördeminskningarna efter sen bearbetning kan bero på försämrade markstruktur och grövre såbädd.

## Litteratur

- Adu, J.K., Oades, J.M., 1978. Physical factors influencing decomposition of organic materials in soil aggregates. *Soil Biol. Biochem.* 10, 109-115.
- Alvenäs, G., Johnsson, H., Jansson, P.-E., 1986. Meteorological conditions and soil climate of four cropping systems: Measurements and simulations from the project 'Ecology of arable land'. Dep. of Ecology and Environmental Research, Rep. 24, Swedish Univ. of Agricultural Sci., Uppsala, 58 pp.
- Aronsson, H., Torstensson, Lindén, B., 2003a. Långliggande utlakningsförsök på lätt jord i Halland och Västergötland. *Ekohydrologi* 74. Avdelningen för vattenvårdslära, SLU, Uppsala.
- Aronsson, H., Torstensson, Lindén, B., 2003b. Utlakningsförsök med höstveteväxtföljd på lerjordar i Västergötland, 2001-2003. Teknisk rapport 73. Avdelningen för vattenvårdslära, SLU, Uppsala.
- Arvidsson, J., 1998. Effects of cultivation depth and recompaction in reduced tillage on soil physical properties, crop yield and plant pathogens. *Eur. Journal of Agronomy*, 9, 79-85.
- Arvidsson och Petterson, O. 1995. Jordpackning och markstruktur. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 435. Uppsala.
- Arvidsson, J., Håkansson, I., 1996. Does soil compaction persist after ploughing - results from 21 long-term field experiments. *Soil Tillage Res.* 39, 175-198.
- Arvidsson, J., Andersson, F., Bölenius, E., Karlsson, J., Keller, T., Löfquist, J., Myrbeck, Å., Rydberg, T., Svantesson, U., Svensson, T., de Toro, A., Trautner, A., 2002. Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 2001. Rapport 103, avdelningen för jordbearbetning SLU, Uppsala. 86 pp
- Atterberg, A., 1912. Die Konsistenz und die Bindigkeit der Boden. *Int. Mitt. Bodenkunde.*, 2, 148-189.
- Bathke, G.R., Cassel, D.K. 1991. Anisotropic variation of profiles characteristics and saturated hydraulic conductivity in an utisol landscape. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55, 333-339.
- Dexter, A.R., Kroesbergen, B., 1985. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. *J. Agric. Eng. Res.*, 31, 139-147.
- Dexter, A.R. 2000. The Optimum Water Content for Tillage. Proceeding of the 15th Conference of ISTRO, USA.
- Hansen, E.M., Djurhuus, J., 1997. Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. *Soil Tillage Res.* 41, 203-219.
- Hassink, J., 1994. Active organic matter fractions and microbial biomass as predictors of N mineralization. In: Neeteson, J.J. & Hassink, J. (Eds.) *Nitrogen Mineralization in Agricultural Soils*. Haren, NL. pp. 1-15.
- Heinonen, R. 1985. Soil management and crop water supply. Department of soil sciences. 4th edition. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala.
- Hessel, K., Aronsson, H., Lindén, B., Stenberg, M., Rydberg, T., Gustafson, A., 1998. Höstgrödor – Fånggrödor – Utlakning. Kvävedynamik och kväveutlakning på en moränlättera i Skåne. *Ekohydrologi* 46, Avdelningen för vattenvårdslära, SLU, Uppsala.
- Håkansson, I., Myrbeck, Å., Etana, A. 2002. A review of research on seedbed preparation for small grains in Sweden. *Soil Tillage Res.* 64, 23-40.
- Jansson, P.-E., Thoms-Hjärpe, C., 1986. Simulated and measured soil water dynamics of unfertilized and fertilized barley. *Acta Agric. Scand.*, 36: 162-172.
- Jansson, P.-E. 1998. SOIL Water and Heat Model. Technical Description. Avdelningsmeddelanden 98:2. Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, institutet för markvetenskap, SLU, Uppsala.



- Jansson, P.-E., Karlberg, L., 2001. Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems. Royal Institute of Technology, Division of Land and Water Resources. ISSN 1400-1306, 321 pp., Stockholm, Sweden.
- Johansson, H., Jansson, P.-E., 1991. Water balance and soil moisture dynamics of field plots with barley and grass ley. *J. Hydrology*, 129: 149-173.
- Johnsson, H., Mårtensson, K., 2002. Kväveläckage från svensk åkermark. Beräkningar av normalutlakning för 1995 och 1999. Naturvårdsverket, Stockholm, Rapport 5248. 89 pp.
- Kritz, G., 1983. Såbäddar för vårstråsåd. En stickprovsundersökning. Rapport 65, Avdelningen för jordbearbetning, SLU, Uppsala.
- Lindén, B., Wallgren, B., 1993. Nitrogen mineralization after leys ploughed in early or late autumn. *Swedish J. agric. Res.* 23, 77-89.
- Lloyd, J., Taylor, J.A., 1994. On the temperature dependence of soil respiration. *Functional Ecology* 8, 315-323.
- Monteith, J.L., 1965. Evaporation and the atmosphere. In: Fogg, G.E. (Ed.), *The state and movement of water in living organisms*. 19th Symposium of the Society of Experimental Biology. The Company of Biologists, Cambridge, pp. 205-234.
- Mualem, Y., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.*, 12: 513-522.
- Myrbeck, Å., 1998. Swedish agricultural and horticultural crops. PM Nr 1/98, Kemikalieinspektionen, Solna. 44 pp.
- Myrbeck, Å. 2003. Jordbearbetning - kväveutlakning. In: J. Arvidsson (Ed.), *Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 2003*. Rapport nr. 104 s 70-72, Avd. för jordbearbetning, SLU, Uppsala.
- Nordström, N., 2001. Jordbearbetningstidspunkt på hösten – inverkan på skörd, markstruktur och kväveminalisering. Department of Soil Sciences, Division of Soil Management, Rep. 34, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 23 pp.
- Ojeniyi, S.O., Dexter, A.R., 1979. Soil factors affecting the macrorstructures produced by tillage. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 22: 339-343.
- Persson, G., 1997. Comparison of simulated water balance for willow, spruce, grass ley and barley. *Nordic Hydrology*, 28: 85-98.
- Richards, L.A., 1931. Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics*, 1: 318-333.
- Sparks, D.L. 1995. *Environmental soil chemistry*. Academic Press. S 56.
- Stenberg, M., Aronsson, H., Lindén, B., Rydberg, T., Gustafson, A., 1999. Soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses in soil tillage systems combined with a catch crop. *Soil Tillage Res.*
- Stähli, M., Jansson, P.-E., Lundin, L.-C., 1996. Preferential water flow in a frozen soil – a two-domain model approach. *Hydrol. Proc.*, 10: 95-103.
- Torstensson, G., 2003. *Ekologisk odling – Utlakningsrisker och kväveomsättning. Ekologiska odlingssystem med resp. utan djurhållning på lerjord i Västra Götaland. Resultat från perioden 1997-2002. Ekohydrologi 73*, Swedish University of Agricultural Sciences, Division of Water Quality Management, Uppsala, 38 pp.
- Utomo, W.H., Dexter, A.R., 1981. Soil friability. *Journal of Soil Science* 32, 203-213.
- van Genuchten, M.Th., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44: 892-898.
- van Genuchten, M.Th., Liej, F.J., Yates, S.R., 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. USDA, US Salinity Laboratory, Riverside, CA. US Environmental Protection Agency, Document.

## Appendix 1. Modellbeskrivning

*COUP* modellen är baserad på två kopplade differentiella ekvationer som beskriver värme- och vattentransport i markprofilen som består av flera skikt. Snö, tjäle, infiltration, ytavrinning, evapotranspiration och dränering beskrivs också av modellen (Johansson och Jansson, 1991).

Värmetransporten beräknas enligt Fouriers lag. Vattenflöde är beräknat enligt Richards (1931):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} \left[ k \left( \frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right] - S \quad (1)$$

där  $\theta$  är vattenhalten,  $\psi$  är vattentensionen (i cm vatten),  $z$  är djupet från markytan,  $k$  är den omänskade hydrauliska konduktiviteten och  $S$  är en sänkterm (vattenuptagande från rötter, dränering, etc.). Båda dessa grundekvationer löses med en explicit finite-differens numerisk procedur.

Vattenretentionskurvan parametriseras i den här studien enligt van Genuchten (1980):

$$\theta = \frac{\theta_{sat} - \theta_{res}}{\left[ 1 + (\alpha \psi)^n \right]^m} - \theta_{res} \quad (2)$$

där  $\theta_{sat}$  är den mättade vattenhalten,  $\theta_{res}$  är den residuala vattenhalten,  $\alpha$  är en faktor för vattenpotential  $\psi$  (i cm vatten), och  $m$  och  $n$  är parametrar som ger kurvans form. Beräkningen av den omänskade hydrauliska konduktiviteten  $k$  görs enligt Mualem (1976):

$$k = k_{sat} S_e^{\left( n+2+\frac{2}{\lambda} \right)} \quad (3)$$

där  $k_{sat}$  är den mättade hydrauliska konduktiviteten,  $\lambda$  är ett index för porstorleksfördelning,  $n$  är en parameter och  $S_e$  är den effektiva mättnaden:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_{res}}{\theta_{sat} - \theta_{res}} \quad (4)$$

Modellen tar hänsyn till makroporflöde genom en ytterligare ökning av den hydrauliska konduktiviteten vid vattenhalter nära mättnad. Vattenflöde till dräneringen sker när den simulerade grundvattennivån överstiger dräneringsnivån.

Penman-Monteith ekvationen (Monteith, 1965) används för att beräkna evaporationen och transpirationen:

$$\lambda E = \frac{\Delta R_n + \rho_a c_a (e_s - e) r_a^{-1}}{\Delta + \gamma \left( 1 + \frac{r_s}{r_a} \right)} \quad (5)$$

där  $\lambda$  är den latent avdunstningsvärmens,  $E$  är evaporationstempon,  $\Delta$  är lutningen på kurvan som relaterar mättat ångtryck till temperatur,  $R_n$  är den tillgängliga energin på ytan (bestånd eller mark),  $\rho_a$  är luftdensiteten,  $c_a$  är den specifika luftvärmens vid konstant temperatur,  $e_s$  är det mättade ångtrycket,  $e$  är det aktuella ångtrycket,  $\gamma$  är psychrometerkonstanten,  $r_s$  är ytresistansen och  $r_a$  är den aerodynamiska resistansen. Den tillgängliga energin för evaporationen (nettostrålning ovanför bestånd) är uppdelad mellan bestånd och markytan enligt Beers lag:

$$R_{ns} = R_{na} e^{-kLAI} \quad (6)$$

där  $R_{ns}$  är nettostrålningen på markytan,  $R_{na}$  är nettostrålningen ovanför beståndet,  $k$  är en faktor och  $LAI$  är bladyteindex (engelsk: leaf area index).  $LAI$  är en funktion som beskriver plantutvecklingen och som varierar med tiden. Den kvarstående strålningsenergin ( $R_{na} - R_{ns}$ ) används för att beräkna ett potentiellt transpirationsbehov  $E_p$  med hjälp av ekvation (5) med  $r_s$  som funktion av plantutvecklingen och  $r_a$  som funktion av vindhastighet och plantutveckling. Det potentiella behovet är fördelat i markprofilen enligt en tidsavhängig fördelning av vattenupptaget genom rötter. Det aktuella vattenupptaget  $R_\psi$  i varje skikt minskar när vattentensionen överskrider ett kritiskt värde  $\psi_c$ :

$$R_\psi = \left( \frac{\psi_c}{\psi} \right)^{aE_p + b} \quad (7)$$

med  $a$  och  $b$  som empiriska konstanter. Den strålningsenergi som når markytan,  $R_{ns}$ , används för att beräkna evaporationen från markytan enligt ekvation (5). När evaporationen på markytan beräknas tillkommer en extra aerodynamisk resistans som beror av  $LAI$ . Ytresistansen på markytan beror av markfuktigheten på markytan och vattentensionen i det översta jordskiktet.

Modellen drivs med meteorologiska data. *COUP* modellen beskrivs i detalj i Jansson och Karlberg (2001).

## Appendix 2. - Parametervärden använda vid modellering i COUP-modellen.

Tabell 1. Parametrar i van Genuchten ekvationen och uppmätt mättad hydraulisk konduktivitet för de olika platserna och skikten

Plats och skikt	$\theta_{sat}$ (vol.-%)	$\theta_{res}$ (vol.-%)	$m$ (-)	$n$ (-)	$\alpha$ (hPa <sup>-1</sup> )	$k_{sat}$ (mm d <sup>-1</sup> )
<i>Ultuna</i>						
10-15 cm	50	0	0,1312	1,005	0,0580	20
20-25 cm	48	0	0,1126	1,005	0,0087	10
30-35 cm	52	0	0,1261	1,005	0,0054	2,6
40-45 cm	43	0,02	0,0952	1,005	0,0138	4,7
50-55 cm	50	0,06	0,0696	1,005	0,0576	321
60-65 cm	50	0,06	0,0696	1,005	0,0576	321
70-75 cm	52	0	0,0739	1,005	0,0182	121
80-85 cm	50	0,04	0,0881	1,005	0,0099	685
<i>Kuddby</i>						
10-15 cm	52	0	0,0924	1,005	0,0477	568
40-45 cm	51	0	0,1055	1,005	0,0122	45
70-75 cm	54	0,05	0,0738	1,005	0,0352	45
<i>Rydsgård</i>						
10-15 cm	49	0	0,1671	1,005	0,0053	630
40-45 cm	41	0	0,1226	1,005	0,0014	3,5
70-75 cm	41	0	0,1071	1,005	0,0022	4,7
<i>Ugerup</i>						
0-10 cm	42	6,7	0,6169	2,6102	0,0531	9840
10-20 cm	42	7,8	0,6085	2,5543	0,0526	10080
20-30 cm	39	4,3	0,6126	2,5813	0,0494	11280
30-40 cm	42	5,4	0,6392	2,7717	0,0430	11040
40-50 cm	45	5,7	0,6413	2,7876	0,0420	12720

### Appendix 3. Uppmätt och simulerad vattenhalt

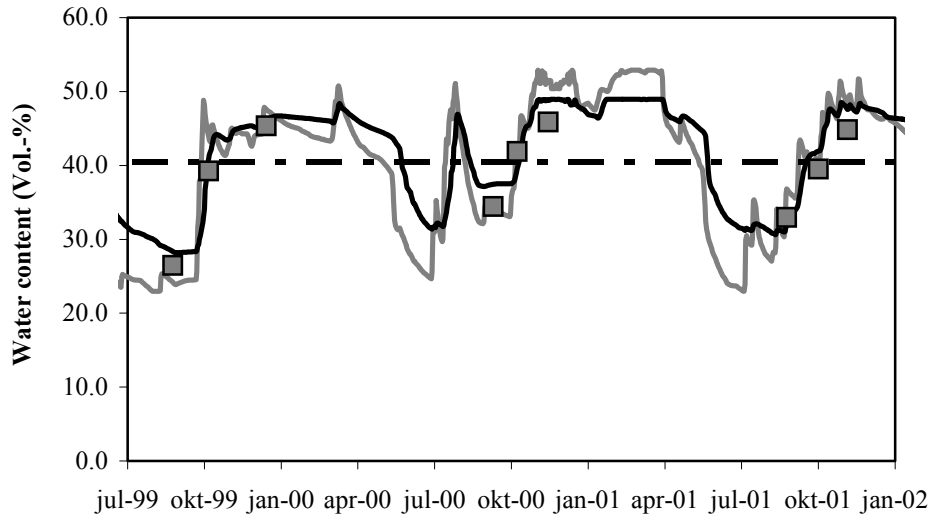


Fig. 1. Uppmätt vattenhalt på 15 cm djup (rutor), simulerad vattenhalt för skiktet 9-16 cm (grå kurva) och 16-25 cm (svart kurva), samt  $0,9 \cdot PL$  (svart streckad linje) på Ultuna för hösten 2000 och 2001.

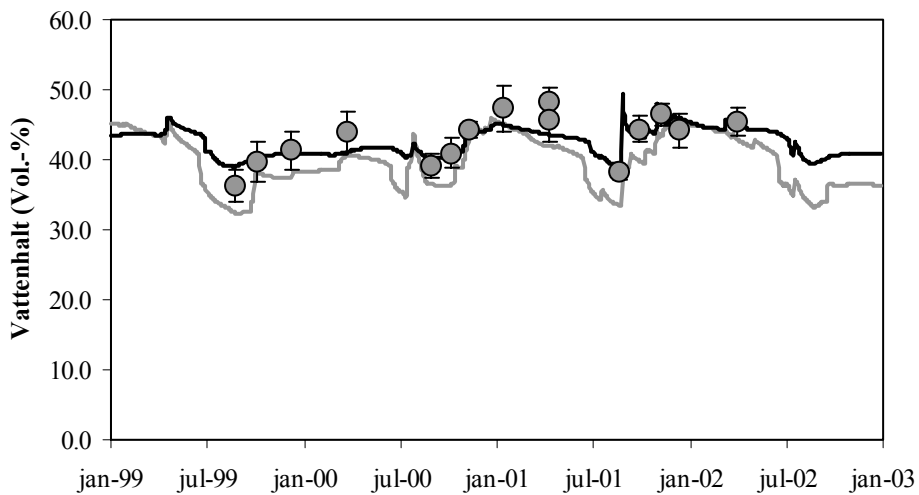


Fig. 2. Uppmätt vattenhalt på 60 cm djup (cirklar), simulerad vattenhalt för skiktet 40-60 cm (grå kurva) och 60-90 cm (svart kurva) på Ultuna för åren 1999 till 2002.

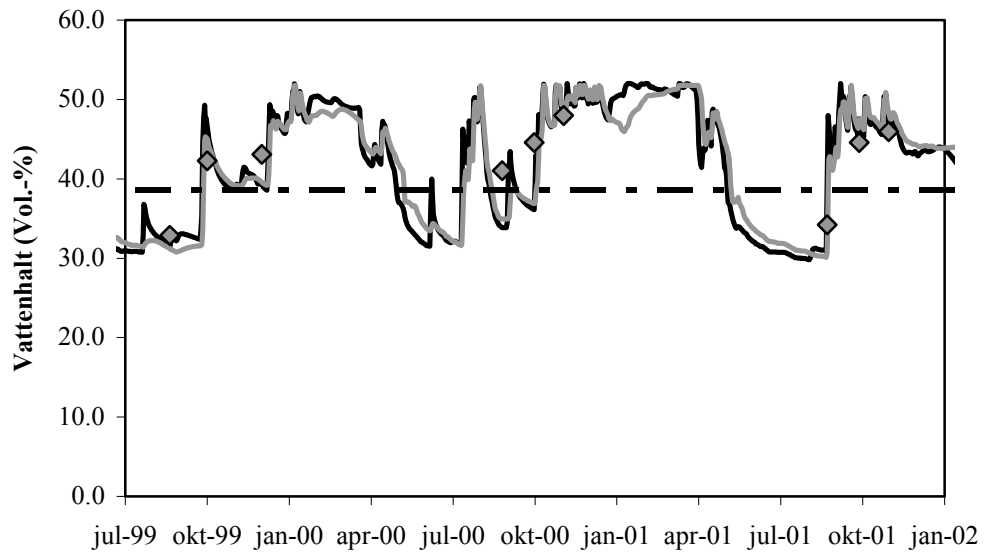


Fig. 3. Uppmätt vattenhalt på 15 cm djup (rutor), simulerad vattenhalt för skiktet 9-16 cm (grå kurva) och 16-25 cm (svart kurva), samt  $0,9*PL$  (svart streckad linje) på Kuddby för hösten 1999 till 2001.

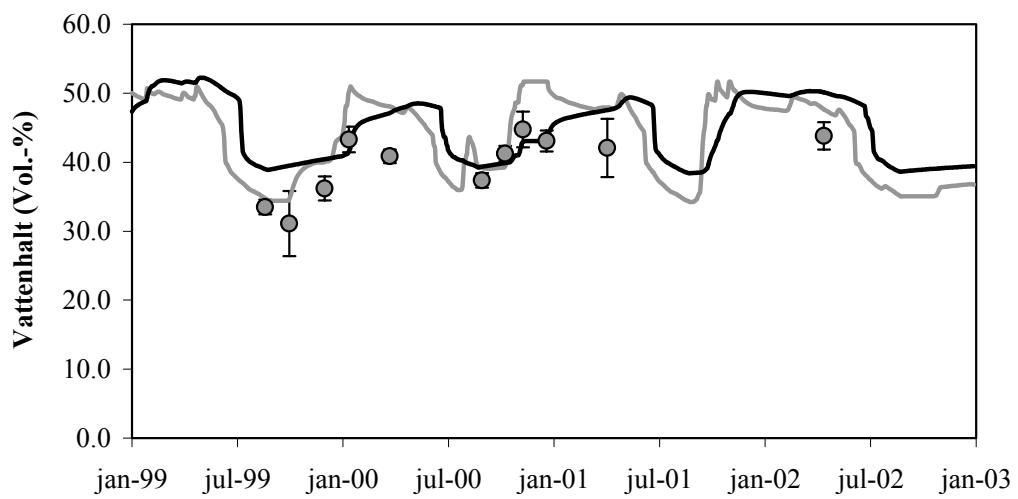


Fig. 4. Uppmätt vattenhalt på 60 cm djup (cirklar), simulerad vattenhalt för skiktet 40-60 cm (grå kurva) och 60-90 cm (svart kurva) på Kuddby för åren 1999 till 2002.

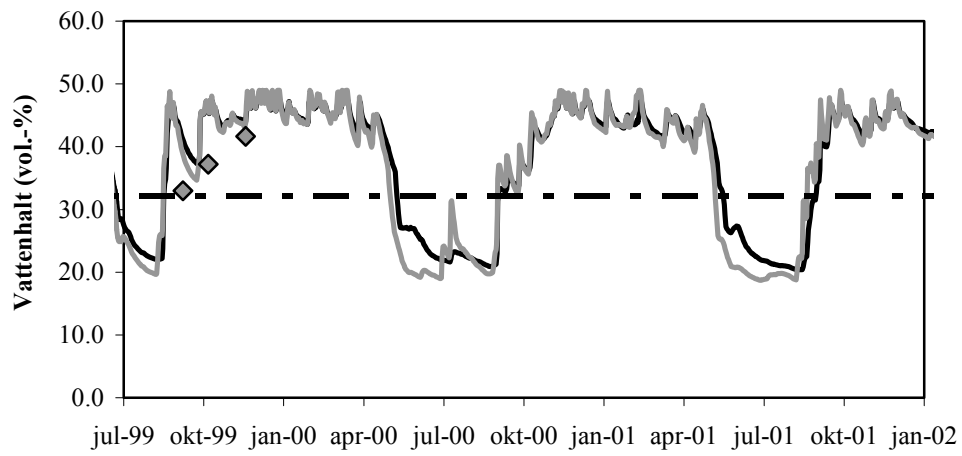


Fig. 5. Uppmätt vattenhalt på 15 cm djup (rutor), simulerad vattenhalt för skiktet 9-16 cm (grå kurva) och 16-25 cm (svart kurva), samt  $0,9*PL$  (svart streckad linje) på Rydsgård för hösten 1999 till 2001.

#### Appendix 4. - Aggregatstorleksfördelning efter bearbetning

Tabell 1. Aggregatstorleksfördelning (viktsprocent) i det bearbetade skiktet efter bearbetning på hösten för Rydsgård

Plats/år	Led	<4 mm	4-8 mm	8-16 mm	16-32 mm	32-64 mm	>64 mm
Rydsgård							
1999	Tidig plöjning	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	99,1
	Normal plöjning	0,3	0,2	0,3	0,7	1,0	97,5
	Sen plöjning	0,2	0,3	0,5	0,8	2,5	95,8
2000	Tidig plöjning	6.2	6.3	8.3	12.0	18.6	48.6
	Normal plöjning	8.6	9.0	13.6	12.6	14.7	40.3
	Sen plöjning	9.1	15.6	22.4	16.3	6.8	29.8
	Tidig kultivering	18.1a	14.3	14.6	14.1	14.8	24.3
	Normal kultivering	14.0ab	16.6	17.2	15.4	18.1	18.7
	Sen kultivering	10.4b	14.7	18.0	12.2	17.1	29.9
	Plöjning	8.0a	10.3a	14.7	13.6	13.4	39.5
	Kultivering	14.1b	15.2b	16.7	13.9	16.7	24.3
	Tidig	12.1	10.3	11.4a	13.1	16.7	36.4
	Normal	11.3	12.8	15.4a	14	16.4	29.5
	Sen	9.8	15.2	20.2b	14.3	11.9	29.8
	2001	Tidig plöjning	6.2a	6.3a	7.6a	11.6a	8.3
Normal plöjning		0.9b	1.1b	1.8b	4.5b	5.9	85.8b
Sen plöjning		4.6ab	5.1a	9.5a	17.2a	12.8	50.8a
	Tidig kultivering	18.6a	17.0a	15.9a	17.9	12.9	17.7a
	Normal kultivering	8.0b	9.4b	12.0ab	18.8	16.0	35.8ab
	Sen kultivering	5.9b	6.7b	9.2b	17.2	18.8	42.2b
	Plöjning	3,9a	4,2a	6,3a	11,1	9,0	65,5a
	Kultivering	10,9b	11,0b	12,4b	18,0	15,9	31,9b
	Tidig	12,4a	11,7a	11,7a	14,8ab	10,6	38,8a
	Normal	4,5b	5,2b	6,9b	11,6a	10,9	30,8b
	Sen	5,2b	5,9b	9,4ab	17,2b	15,8	46,5a



Tabell 2. Aggregatstorleksfördelning (viktsprocent) i det bearbetade skiktet efter bearbetning på hösten för Kuddby

Plats/år	Led	<4 mm	4-8 mm	8-16 mm	16-32 mm	32-64 mm	>64 mm
Kuddby							
1999	Tidig plöjning	4,5	5,4a	10,8a	14,6a	11,4a	53,3a
	Normal plöjning	1,4	2,5b	5,0b	6,3b	8,0a	76,8b
	Sen plöjning	0,2	0,3c	0,5c	0,6c	3,2b	95,3c
2000	Tidig plöjning	10.1	7.8	6.3	8.0	7.8	60.0
	Normal plöjning	0.4	0.7	0.9	1.3	3.2	93.1
	Sen plöjning	0.0	0.1	0.0	0.1	0.4	99.3
	Tidig kultivering	22.2	10.9	8.0	9.9	14.9	33.9
	Normal kultivering	0.7	0.9	2.1	2.5	8.9	84.8
	Sen kultivering	0.0	0.1	0.2	0.2	0.4	99.0
	Plöjning	3.5	2.8	2.4	3.1	3.8a	84.1a
	Kultivering	7.6	4.0	3.5	4.2	8.1b	72.6b
		Tidig	16.2a	9.4a	7.2a	9.0a	11.4a
	Normal	0.5b	0.8b	1.5b	1.9b	6.1b	89.0b
	Sen	0.0b	0.1b	0.1b	0.8b	0.4c	99.2b
2001	Tidig plöjning	9.0	8.8	17.8	26.0	13.5	24.9
	Normal plöjning	4.7	5.5	5.5	6.5	7.0	70.9
	Sen plöjning	2.2	2.2	2.2	3.7	10.8	79.0
	Tidig kultivering	9.1	14.1	13.8	26.6	17.2	19.1
	Normal kultivering	4.6	4.6	4.6	9.2	4.9	72.0
	Sen kultivering	2.0	2.0	2.0	2.0	5.6	86.5
	Plöjning	5,7	5,8	9,4	13,5	10,7	54,9
	Kultivering	5,6	7,6	7,5	14,0	10,0	55,2
		Tidig	9,1a	11,5a	15,8a	26,3a	15,4
	Normal	4,7b	5,1b	5,1b	7,9b	5,9	71,4b
	Sen	2,1b	2,1b	2,1b	2,9c	8,2	82,8b

Tabell 3. Aggregatstorleksfördelning (viktsprocent) i det bearbetade skiktet efter bearbetning på hösten för Ultuna. Värdet för normal bearbetningstidpunkt saknas för 1999

Plats/år	Led	<4 mm	4-8 mm	8-16 mm	16-32 mm	32-64 mm	>64 mm
Ultuna							
1999	Tidig plöjning	0,4	0,6	0,5	0,8	2,1	95,5
	Normal plöjning	-	-	-	-	-	-
	Sen plöjning	1,7	1,7	2,0	3,4	5,0	86,1
	Tidig kultivering	43,2a	18,8a	9,2a	10,4a	15,3	3,2a
	Normal kultivering	-	-	-	-	-	-
	Sen kultivering	13,9b	4,5b	3,5b	5,0b	10,2	62,9b
	Plöjning	1,1b	1,2b	1,3b	2,1b	3,6	90,8a
	Kultivering	28,6a	11,7a	6,4a	7,7a	12,8	33,1b
	Tidig	21,8	9,7	4,9a	5,6	8,7	49,4a
	Normal	-	-	-	-	-	-
	Sen	7,8	3,1b	2,8b	4,2	7,6	74,5b
	2000	Tidig plöjning	12.1a	7.6a	8.5	11.0	11.0
Normal plöjning		4.0b	3.6b	4.3	7.9	16.8	63.4a
Sen plöjning		0.2b	0.3c	0.4	1.2	4.3	93.6b
Tidig kultivering		23.7a	11.6a	11.1	16.6	19.3	17.8a
Normal kultivering		5.4b	3.9b	4.7	9.6	16.8	59.6b
Sen kultivering		0.2b	0.3c	0.5	1.1	3.5	94.3c
Plöjning		5.4a	5.3a	4.4a	6.7	10.7	68.9a
Kultivering		9.8b	3.8b	5.4b	9.1	13.2	57.2b
Tidig		17.9a	9.6a	9.8a	13.8a	15.1a	33.8a
Normal		4.7b	3.7b	4.5b	8.7b	16.8a	61.5b
Sen		0.2c	0.3c	0.5c	1.2c	3.9b	94.0c
2001		Tidig plöjning	3,2	2,3	3,1	4,5	10,0
	Normal plöjning	0,5	0,3	0,7	1,6	4,7	92,2
	Sen plöjning	4,0	6,6	5,0	5,0	7,8	71,6
	Tidig kultivering	7,3	5,3	6,4	11,2a	21,8ab	47,9
	Normal kultivering	1,8	1,8	3,3	7,8ab	30,2a	55,1
	Sen kultivering	6,4	8,4	7,6	6,4b	14,3b	57,1
	Plöjning	2,5a	3,1a	2,9a	3,7a	7,5a	80,2a
	Kultivering	5,2b	5,2b	5,8b	8,5b	22,1b	53,4b
	Tidig	5,2a	3,8a	4,7a	7,9a	15,9	62,4a
	Normal	1,1b	1,0b	2,0b	4,7b	17,5	73,6b
	Sen	5,2a	7,5c	6,3a	5,7b	11,0	64,3ab

Tabell 4. Vattenhalt i såbotten vid tidpunkten för sådd

Led	Rydsgård			Kuddby			Ultuna			Medel
	År 1	År 2	År 3	År 1	År 2	År 3	År 1	År 2	År 3	
Tidig plöjning	21,7	19,5	19,7	35,3	34,5	35,0	26,0	27,5	26,9	27,3
Normal plöjning	22,7	18,9	20,0	36,3	33,5	34,9	28,9	27,6	26,9	27,7
Sen plöjning	24,0	19,6	19,8	35,7	33,5	34,8	29,1	27,5	26,9	27,9
Tidig kultivering	-	19,0	20,0	-	32,3	36,1	28,0	29,1	26,9	27,3
Normal kultivering	-	18,7	21,9	-	33,8	34,8	29,3	30,2	28,0	28,1
Sen kultivering	-	19,1	20,6	-	32,9	38,3	29,2	29,2	27,7	28,1
Plöjning	-	17,9	19,9	-	33,8	34,9a	28,0	27,5a	26,8	27,0
Kultivering	-	18,8	20,8	-	33,0	36,4b	28,8	29,5b	27,6	27,8
Tidig	21,7	19,2	19,9	35,3	33,3	35,5	27,0	28,3	26,9	27,5
Normal	22,7	18,8	21,0	36,3	33,6	34,9	29,1	28,9	27,5	28,1
Sen	24,0	17,1	20,2	35,7	33,2	36,5	29,2	28,4	27,1	27,9

## Appendix 5. - Ammonium- och nitratkväve i markprofilen

Tabell 1. Rydsgård: Halterna ammonium- och nitratkväve (kg N/ha) i nivåerna 0-30 cm, 30-60 cm och 60-90 cm samt summerat för 0-90 cm vid tidpunkterna 1-5: de tre bearbetningstidpunkterna, en månad efter sena bearbetningen samt på våren. Ingen markering av signifikanta skillnader mellan olika värden har gjorts i tabellen

År	Djup (cm)	Tidpunkt 1		Tidpunkt 2		Tidpunkt 3		Tidpunkt 4		Tidpunkt 5	
		NH <sup>4</sup>	NO <sub>3</sub> -	NH <sup>4</sup>	NO <sub>3</sub> -	NH <sup>4</sup>	NO <sub>3</sub> -	NH <sup>4</sup>	NO <sub>3</sub> -	NH <sup>4</sup>	NO <sub>3</sub> -
1999/2000											
0-30	Tidig plöjning	6.7	10.6	9.1	16.8	8.3	32.1	-	-	8.2	6.6
	Normal plöjning	6.9	10.8	7.4	4.6	6.7	19.9	-	-	7.5	1.2
	Sen plöjning	6.2	8.9	6.9	4.9	6.9	4.2	-	-	10.2	0.4
30-60	Tidig plöjning	4.0	4.1	4.5	4.8	3.6	10.3	-	-	3.6	3.9
	Normal plöjning	3.9	4.2	4.8	3.7	4.4	5.9	-	-	3.1	0.6
	Sen plöjning	5.0	3.3	5.1	4.5	3.4	2.8	-	-	4.6	0.1
60-90	Tidig plöjning	2.4	2.6	2.1	1.6	2.1	5.0	-	-	2.1	7.7
	Normal plöjning	3.2	3.9	2.3	1.2	1.9	1.9	-	-	2.4	7.9
	Sen plöjning	3.0	1.4	2.4	1.7	1.8	0.8	-	-	2.2	2.9
0-90	Tidig plöjning	13.1	17.3	15.7	23.2	14.0	47.4	0.0	0.0	13.9	18.2
	Normal plöjning	14.0	18.9	14.5	9.5	13.0	27.7	0.0	0.0	13.0	9.7
	Sen plöjning	14.2	13.6	14.4	11.1	12.1	7.8	0.0	0.0	17.0	3.4
2000/2001											
0-30	Tidig plöjning	6.3	2.4	6.2	8.7	10.6	11.2	8.4	8.7	6.7	13.3
	Normal plöjning	5.5	4.0	6.9	7.0	9.5	7.1	9.0	7.1	6.7	15.2
	Sen plöjning	5.5	3.2	7.0	6.5	11.1	5.7	10.0	6.5	6.9	14.8
30-60	Tidig plöjning	4.5	0.5	3.8	3.0	6.9	5.3	6.2	9.5	3.0	10.7
	Normal plöjning	8.6	0.0	3.3	1.8	7.2	3.8	6.9	6.0	3.2	7.7
	Sen plöjning	5.4	0.5	3.8	1.5	7.2	4.1	6.8	5.6	3.8	7.8
60-90	Tidig plöjning	6.6	0.0	2.5	0.6	5.0	2.1	4.1	4.1	2.2	5.4
	Normal plöjning	4.9	0.0	2.4	0.1	5.0	1.2	4.1	2.4	2.4	4.0
	Sen plöjning	3.5	0.0	2.5	0.4	5.1	1.0	4.6	2.9	2.5	3.7
0-90	Tidig plöjning	17.4	2.9	12.5	12.3	22.5	18.6	18.7	22.3	11.9	29.4
	Normal plöjning	19.0	4.0	12.6	8.9	21.7	12.1	20.0	15.5	12.2	26.8
	Sen plöjning	14.4	3.7	13.3	8.4	23.4	10.8	21.4	15.0	13.1	26.3
2001/2002											
0-30	Tidig plöjning	7.1	33.5	6.5	8.2	10.4	11.4	7.9	5.9	8.5	5.2
	Normal plöjning	7.4	28.6	6.5	6.1	8.1	11.6	7.9	5.3	8.3	5.5
	Sen plöjning	7.8	19.1	5.3	5.5	7.5	10.8	6.5	6.7	7.1	5.7
30-60	Tidig plöjning	4.8	4.7	3.2	16.1	6.5	10.5	4.8	9.8	3.8	4.1
	Normal plöjning	5.6	4.8	4.7	13.5	6.2	10.7	4.4	7.8	3.9	3.6
	Sen plöjning	6.2	8.4	3.0	19.5	6.3	13.4	5.3	11.3	3.3	6.5
60-90	Tidig plöjning	3.7	3.4	2.7	7.9	5.3	6.6	3.8	8.1	2.7	4.3
	Normal plöjning	4.7	2.5	3.7	7.8	5.3	5.2	3.5	4.9	2.2	4.3
	Sen plöjning	5.3	2.9	3.1	10.7	5.7	7.5	4.3	8.1	2.7	6.5
0-90	Tidig plöjning	15.6	41.6	12.3	32.2	22.2	28.5	16.5	23.8	14.9	13.5
	Normal plöjning	17.6	35.9	14.8	27.4	19.5	27.4	15.8	17.9	14.4	13.4
	Sen plöjning	19.2	30.5	11.4	35.8	19.6	31.7	16.0	26.1	13.1	18.6

Tabell 2. Kuddby: Halterna ammonium- och nitratkväve (kg N/ha) i nivåerna 0-30 cm, 30-60 cm och 60-90 cm samt summerat för 0-90 cm vid tidpunkterna 1-5: de tre bearbetningstidpunkterna, en månad efter sena bearbetningen samt på våren. Ingen markering av signifikanta skillnader mellan olika värden har gjorts i tabellen

År	Djup (cm)	Tidpunkt 1		Tidpunkt 2		Tidpunkt 3		Tidpunkt 4		Tidpunkt 5	
		NH <sup>4</sup>	NO <sub>3</sub> -	NH <sup>4</sup>	NO <sub>3</sub> -	NH <sup>4</sup>	NO <sub>3</sub> -	NH <sup>4</sup>	NO <sub>3</sub> -	NH <sup>4</sup>	NO <sub>3</sub> -
1999/2000											
0-30	Tidig plöjning	5.8	11.0	5.1	9.1	5.7	15.6	4.7	7.8	7.5	18.2
	Normal plöjning	5.8	5.7	4.7	9.1	5.6	26.8	4.3	9.6	7.2	25.8
	Sen plöjning	4.6	6.3	5.0	3.8	6.8	32.5	3.8	7.6	6.6	22.8
30-60	Tidig plöjning	3.9	2.4	4.0	2.3	3.4	5.2	3.4	10.6	3.9	12.7
	Normal plöjning	3.4	2.0	3.4	2.4	4.2	7.4	3.0	7.6	3.8	11.1
	Sen plöjning	3.1	1.3	3.5	1.2	3.6	6.3	2.8	5.6	4.3	9.0
60-90	Tidig plöjning	5.7	3.2	5.8	2.9	4.7	3.3	4.2	8.8	4.5	9.4
	Normal plöjning	5.0	1.7	4.9	1.7	4.6	4.3	4.3	6.9	4.8	9.0
	Sen plöjning	4.5	0.8	5.0	0.8	4.2	3.1	3.8	4.5	5.0	8.1
0-90	Tidig plöjning	15.4	16.6	14.9	14.3	13.8	24.1	12.3	27.2	15.9	40.3
	Normal plöjning	14.2	9.4	13.0	13.2	14.4	38.5	11.6	24.1	15.8	45.9
	Sen plöjning	12.2	8.4	13.5	5.8	14.6	41.9	10.4	17.7	15.9	39.9
2000/2001											
0-30	Tidig plöjning	6.4	6.6	6.3	13.2	7.2	3.0	7.8	1.6	7.2	9.2
	Normal plöjning	6.8	5.2	6.3	4.1	7.5	2.7	8.4	0.8	8.0	12.5
	Sen plöjning	6.8	6.2	6.8	4.8	8.1	3.2	7.8	0.8	8.8	12.6
30-60	Tidig plöjning	3.7	5.3	3.3	5.7	4.2	2.7	3.3	2.6	3.7	5.8
	Normal plöjning	3.2	1.0	3.1	1.7	4.3	1.9	3.4	0.7	3.8	5.0
	Sen plöjning	3.2	1.6	3.1	2.7	3.1	2.2	3.2	0.2	3.5	4.1
60-90	Tidig plöjning	4.2	2.6	3.7	3.5	4.6	2.9	5.1	5.8	5.1	7.1
	Normal plöjning	3.8	0.9	3.9	1.6	4.8	1.6	4.6	1.0	4.7	5.6
	Sen plöjning	3.9	1.4	3.8	2.4	4.5	2.9	4.2	0.7	4.1	3.8
0-90	Tidig plöjning	14.3	14.5	13.3	22.4	16.0	8.6	16.2	10.0	16.0	22.1
	Normal plöjning	13.8	7.1	13.3	7.4	16.6	6.2	16.4	2.5	16.4	23.0
	Sen plöjning	13.9	9.2	13.7	9.9	15.7	8.3	15.2	1.7	16.5	20.5
2001/2002											
0-30	Tidig plöjning	5.5	5.9	6.3	8.6	4.6	10.1	6.4	4.7	41.0	52.0
	Normal plöjning	5.1	7.6	5.1	3.8	4.3	8.2	5.9	4.4	91.0	79.5
	Sen plöjning	5.4	9.2	5.5	4.8	4.3	4.7	5.7	5.1	103.9	113.7
30-60	Tidig plöjning	3.0	1.4	3.0	3.8	2.7	2.5	3.6	2.3	21.9	27.3
	Normal plöjning	2.8	1.2	2.6	2.3	3.0	1.6	2.7	0.7	13.0	22.3
	Sen plöjning	3.0	1.5	2.6	1.5	2.7	1.2	2.5	0.5	21.5	36.8
60-90	Tidig plöjning	3.7	0.7	3.3	2.5	3.3	2.6	3.5	1.3	10.2	12.6
	Normal plöjning	3.5	0.8	3.3	1.8	3.1	2.4	3.4	0.9	17.2	19.1
	Sen plöjning	3.8	1.2	3.4	1.6	3.3	1.3	3.0	1.0	24.0	25.2
0-90	Tidig plöjning	12.1	7.9	12.5	14.9	10.5	15.2	13.5	8.3	73.2	91.9
	Normal plöjning	11.5	9.7	11.0	7.9	10.4	12.2	12.0	6.1	121.2	120.9
	Sen plöjning	12.1	11.9	11.5	7.8	10.3	7.2	11.2	6.7	149.4	175.6

Tabell 3. Ultuna: Halterna ammonium- och nitratkväve (kg N/ha) i nivåerna 0-30 cm, 30-60 cm och 60-90 cm samt summerat för 0-90 cm vid tidpunkterna 1-5: de tre bearbetningstidpunkterna, en månad efter sena bearbetningen samt på våren. Ingen markering av signifikanta skillnader mellan olika värden har gjorts i tabellen

År	Djup (cm)	Tidpunkt 1		Tidpunkt 2		Tidpunkt 3		Tidpunkt 4		Tidpunkt 5	
		NH <sup>4</sup>	NO <sub>3</sub> -	NH <sup>4</sup>	NO <sub>3</sub> -	NH <sup>4</sup>	NO <sub>3</sub> -	NH <sup>4</sup>	NO <sub>3</sub> -	NH <sup>4</sup>	NO <sub>3</sub> -
1999/2000											
0-30	Tidig plöjning	7.7	5.8	6.2	21.2	4.1	31.8	-	-	6.7	19.5
	Normal plöjning	7.5	5.9	7.3	10.9	5.0	21.3	-	-	5.5	22.1
	Sen plöjning	8.8	6.2	5.9	9.8	6.0	13.2	-	-	7.8	20.8
30-60	Tidig plöjning	4.3	1.0	3.7	3.5	3.8	10.2	-	-	4.1	14.3
	Normal plöjning	4.2	0.9	3.8	4.0	4.1	9.4	-	-	4.1	12.8
	Sen plöjning	4.1	0.7	3.4	3.6	3.3	6.7	-	-	4.4	13.5
60-90	Tidig plöjning	4.0	1.1	3.4	1.6	3.1	1.0	-	-	3.0	6.5
	Normal plöjning	4.1	0.9	3.2	1.0	3.0	1.6	-	-	3.1	6.2
	Sen plöjning	4.3	1.0	3.2	0.7	3.1	1.0	-	-	2.8	6.8
0-90	Tidig plöjning	16.0	7.9	13.3	26.3	11.0	43.0	0.0	0.0	13.8	40.3
	Normal plöjning	15.8	7.7	14.3	15.9	12.1	32.3	0.0	0.0	12.7	41.1
	Sen plöjning	17.2	7.9	12.5	14.1	12.4	20.9	0.0	0.0	15.0	41.1
2000/2001											
0-30	Tidig plöjning	6.4	1.6	6.0	7.3	5.1	2.3	6.1	4.7	6.9	9.0
	Normal plöjning	6.4	2.1	5.3	2.4	5.6	2.0	7.3	6.4	7.3	9.3
	Sen plöjning	6.3	2.4	5.3	1.9	5.5	2.0	6.5	5.2	7.2	9.0
30-60	Tidig plöjning	3.4	0.3	3.7	1.6	3.7	2.7	4.1	3.4	4.3	6.0
	Normal plöjning	3.3	0.4	3.0	0.4	3.0	1.0	4.0	2.1	3.8	3.1
	Sen plöjning	3.0	0.4	2.7	0.3	3.3	0.6	4.4	1.6	4.1	2.1
60-90	Tidig plöjning	2.7	0.3	2.7	0.3	2.6	0.7	3.5	2.6	3.1	3.6
	Normal plöjning	2.7	0.3	2.9	0.1	2.6	0.5	3.3	0.7	2.9	0.9
	Sen plöjning	2.7	0.4	2.6	0.0	2.7	0.3	3.8	0.5	3.0	1.1
0-90	Tidig plöjning	12.5	2.1	12.4	9.2	11.3	5.7	13.7	10.7	14.3	18.6
	Normal plöjning	12.4	2.8	11.2	2.9	11.2	3.5	14.6	9.2	14.0	13.3
	Sen plöjning	12.0	3.2	10.6	2.2	11.5	2.8	14.7	7.3	14.3	12.2
2001/2002											
0-30	Tidig plöjning	5.7	4.4	5.5	6.9	5.3	6.4	5.3	6.4	7.1	7.1
	Normal plöjning	5.5	3.3	8.9	5.2	5.3	6.9	4.8	5.6	7.5	6.3
	Sen plöjning	5.6	2.4	5.7	3.6	5.3	4.7	6.9	7.3	8.0	7.5
30-60	Tidig plöjning	3.1	0.4	3.4	2.7	3.7	6.5	3.1	6.7	4.8	10.2
	Normal plöjning	3.1	0.1	3.0	1.4	3.7	5.4	3.6	4.8	4.3	6.7
	Sen plöjning	3.0	0.0	3.0	1.1	3.4	2.8	3.6	5.3	3.8	5.8
60-90	Tidig plöjning	2.9	0.0	2.2	0.7	3.0	2.4	3.0	2.5	3.4	8.1
	Normal plöjning	3.0	0.0	3.2	0.5	2.6	1.2	3.0	1.1	3.5	4.2
	Sen plöjning	3.1	0.0	3.1	0.3	3.1	0.5	3.4	1.9	3.7	4.1
0-90	Tidig plöjning	11.7	4.8	11.1	10.4	12.0	15.3	11.4	15.5	15.2	25.3
	Normal plöjning	11.6	3.5	15.1	7.1	11.6	13.6	11.3	11.5	15.2	17.1
	Sen plöjning	11.7	2.4	11.8	5.0	11.8	8.0	13.8	14.4	15.5	17.4

## RAPPORTER FRÅN JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

Nr	År	
1	1968	Inge Håkansson. Fysikalisk och kemisk beskrivning av markprofiler från 8 platser i Uppland och Västergötland. 128s.
2	1968	Inge Håkansson. Några synpunkter på forskning och försöksverksamhet i jordbearbetning. 6s.
3	1968	Nils M. Nilsson, Lennart Henriksson. Försök med harvning till vårsäd 1941-1959. 29s. <i>Field trials with harrowing to spring-sown cereals 1941-1959. 29pp.</i>
4	1968	Åke Huhtapalo, Reijo Heinonen. Inledande försök med gödsel radmyllning kombinerat med sådd 1964-1966. 37s.
5	1968	Lennart Henriksson. Orienterande försök med bearbetning till höstvet. 7s.
6	1968	Lennart Henriksson. Försök med olika sätider. 7s.
7	1968	Reijo Heinonen. Berättelse över studieresa till Sovjet den 11-26 Juli 1967. 13s.
8	1968	Inge Håkansson. Markfysikaliska studier i ett växtföljdsförsök på Ås den 15-16 juli 1966. 13s.
9	1968	Bo Thente. Luftpermeabilitetsmätning som markfysikalisk undersökningsmetod. 41s.
10	1968	Reijo Heinonen, Åke Huhtapalo. Besvarade och obesvarade frågor om radmyllning av kvävegödsel. 13s.
11	1968	Lennart Fergedal. Försök med jordpackning vid olika tidpunkter på våren. År 1967. 9s.
12	1968	Nils M. Nilsson, Lennart Henriksson. Alvluckringsförsök 1937-1963. 32s.
13	1968	Reijo Heinonen. Tidig vårsådd. Växtfysiologiska och ekologiska synpunkter på aktuella tendenser i såbäddsberedning och sådd av stråsäd. 19s.
14	1968	Erik Jakobsson. Plöjningsförsök med olika tiltbredder och vändskiveformer. 10s.
15	1968	Lennart Henriksson. Försök med grund plöjning. 9s.
16	1968	Stig Ledin. Olika halmnedbrukningsmetoders verkan på kvickrot och på några frögräs. 21s.
17	1969	Inge Håkansson, Börje Gillberg. Lufttrycket i traktordäcken under fältarbeten. En stickprovsundersökning hösten 1968. 32s. <i>Investigation into the inflation pressure of the tires of Swedish tractors engaged in field work. 32pp.</i>
18	1969	Göte Bertilsson. Studier över tryckets markpåverkan. 67s.
19	1969	Peter Edling, Nils M. Nilsson, Inge Håkansson. Sju skånska försök med alvluckring och djupplöjning 1964-68. 26s. <i>Seven experiments with subsoiling and deep ploughing in Southwestern Sweden 1964-68. 26pp.</i>
20	1969	Bengt Reimersson, Gunnar Falk. Försök på Persbo gård 1968 med minskad jordpackning. 8s. <i>A field experiment with reduced soil compaction on a clay soil. 8pp.</i>
21	1970	Lennart Henriksson. Olika redskapstyper för stubbearbetning. Jämförelser av arbetssätt och arbetsresultat. 19s. <i>Different types of implements for stubblecultivation. A study of working methods and working results. 19pp.</i>
22	1970	Inge Håkansson, Lennart Fergedal. Försök med jordpackningens ackumulativa efterverkningar. Preliminär redogörelse. 21s.

- Experiments with the accumulative after-effects of soil compaction. Preliminary report. 21pp.*
- 23 1971 Göran Kritz, Inge Håkansson. Såbäddens utformning på vårsådda fält. Stickprovsundersökning 1969-70. 43s.
- Investigation into seedbed preparation and properties of the seedbed on spring sown fields in Sweden, 1969-1970. 43pp.*
- 24 1971 Lennart Henriksson. Tilljämning av plogtiltan på hösten. Försök med höstharvning och tillsatsredskap till plogen. 68s.
- 25 1971 Ann Pettersson. Nya redskap för gödselplacering och sådd. 50s.
- 26 1971 Lennart Fergedal. Jordpackning med traktor vid olika tider för vårsådd. 140s.
- 27 1971 Göran Kritz. Jordbearbetningsforskning i Europa. Rapport från en studieresa. 16s.
- 28 1972 Helmut Frese. Zur Frage spezialisierter oder interdisziplinärer Forschung am Boden. 15s.
- 29 1972 Inge Håkansson, Sven Alvelid. Två försök i Kalmar län med halmnedplöjning för att minska vinderosionen. 4s.
- 30 1972 Ann Pettersson, Sten Wikström. Inledande undersökningar om radmyllning till potatis. 50s.
- 31 1972 Peter Edling, Lennart Fergedal. Modellförsök med jordpackning 1968-69. 71s.
- 32 1973 Åke Huhtapalo, Ann Wikström, Sten Wikström. Försök med kombisåmaskiner 1971-72. 46s.
- 33 1973 Inge Håkansson. Tung körning vid skörd av slättervall. Tre försök på Röbäcksdalen. 1969-72. 20s.
- Effect of heavy machinery when harvesting ley crops. Three field experiments in northern Sweden 1969-72. 20pp.*
- 34 1973 Göran Kritz. Såbäddens utformning på vårsådda fält. Stickprovsundersökning 1969-72. Maskinanvändningen på provplatserna. 76s.
- 35 1973 Lennart Henriksson. Redskap för såbäddsberedning. Undersökningsmetoder och inledande studier. 35s.
- Implements for seedbed preparation. Methods of investigation and preliminary studies. 35pp.*
- 36 1973 Inge Håkansson, Jozsef von Polgár. Försök åren 1969 och 1970 med en maskin för kombinerad såbäddsberedning och sådd (Svenska Sockerfabriks AB:s vårbrukningsmaskin). 26s.
- Experiments in the years 1969 and 1970 with a machine for combined seedbed preparation and sowing. 26pp.*
- 37 1974 Lennart Engström. Intervjuundersökning om extremt tidig sådd våren 1973. 33s.
- A sampling study into extremely early spring sowing in Sweden in 1973. 33pp.*
- 38 1974 Lennart Henriksson. Studier av några jordbearbetningsredskaps arbetsätt och arbetsresultat. 144s.
- Studies of the mode of working and the working results of some soil tillage implements. 144pp.*
- 39 1975 Tomas Rydberg. Plöjningsfri odling i Sverige. En intervjuundersökning 1974. 21s.
- 40 1975 Ulf Olsson. Redskap för såbäddsberedning, arbetsätt och arbetsresultat. 55s.
- Implements for seedbed preparation; studies of the mode of working and the working results. 55pp.*
- 41 1975 Inge Håkansson. Rapport över studieresa till USA hösten 1974. 15s.



- 42 1976 Inge Håkansson. Elva försök med alvluckring och djupplöjning i Syd- och Västsverige 1964-1975. 35s.  
*Eleven Swedish field experiments with subsoiling and deep ploughing 1964-1975. 35pp.*
- 43 1976 Peter Edling. Redskap och intensitet vid vårbruk till potatis. Resultat av 11 försök i Norrland 1965-1969. 10s.  
*Eleven experiments in northern Sweden with spring tillage for potatoes. 10pp.*
- 44 1976 Göran Kritz. Såbäddens utformning på vårsådda fält III. Stickprovsundersökning 1969-72. Primärdata för 300 provplatser. 76s.  
*Seed bed preparation and properties of the seed bed in spring sown fields in Sweden III. Sampling investigation 1969-72. Primary results from 300 investigated places. 76pp.*
- 45 1976 Proceedings of the 7th Conference of the International Soil Tillage Research Organization, ISTRO.
- 46 1976 Inge Håkansson, Jozsef von Polgar. Modellförsök med såbäddens funktion. I. Såbädden som skydd mot avdunstning. 52s.  
*Model experiments into the function of the seedbed. I. The seedbed as a protective layer against drought. 52pp.*
- 47 1976 Lars Gunnar Nilsson. Texturanalys och jordartsklassifikation. Rapport från ett NJF-symposium i Uppsala 1976-03-09. 26s.
- 48 1976 Inge Håkansson. Olika grödors känslighet för packningsgraden i matjorden. Två försök med vallväxter 1971-74. 17s.  
*The sensitivity of different crops to the degree of compactness in the plough layer. Two field experiments with forage crops 1971-74. 17pp.*
- 49 1976 Göran Kritz. Såbäddens utformning på vårsådda fält IV. Stickprovsundersökning 1969-72. En översiktlig studie av några viktiga faktorer. 33s.  
*Seed bed preparation and properties of the seed bed in spring sown fields in Sweden IV. Sampling investigation 1969-72. A general survey of some important factors. 33pp.*
- 50 1977 Såbäddsberedning och sådd. Uppsatser presenterade vid Lantbrukshögskolans försöksledarmöte 1977.
- 51 1977 Lennart Henriksson. Stubbearbetsredskapens arbetsresultat med hänsyn till mark- och halmförhållandena. 32s.  
*The results given by implements for stubble cleaning with regard to different soil- and straw conditions. 32pp.*
- 52 1977 Arne Ljungars. Olika faktorerers betydelse för traktorernas jordpackningsverkan. Mätningar 1974-1976. 43s.  
*Importance of different factors on soil compaction by tractors. Measurements in 1974-1976. 43pp.*
- 53 1977 Inge Håkansson, József von Polgár. Modellförsök med såbäddens funktion. II. Försök med skiktade och oskiktade såbäddar. 22s.  
*Model experiments into the function of the seedbed. II. Experiments with stratified and unstratified seedbeds. 22pp.*
- 54 1978 Ulf Olsson. Harvens konstruktion och harvningens utförande - inverkan på bearbetningsresultatet. 28s.  
*Influence of harrow construction and harrowing on the tillage result. 29pp.*
- 55 1978 Olle Wallbom, Kjell Wretler. Förekomsten av några viktiga växtskadegörare vid plöjningsfri odling. 29s.  
*Occurrence of some important plant diseases on ploughless cereal cropping. 29pp.*

- 56 1978 Åke Huhtapalo. Kombisådd av kväve och fosfor till vårsåd. 27s.  
*Combi-drilling of nitrogen and phosphorus with spring cereals. 27pp.*
- 57 1979 Inge Håkansson. Försök med jordpackning vid hög axelbelastning. Markundersökningar 1-2 år efter försökens anläggande. 15s.  
*Experiments with soil compaction at high axle load. Soil investigations 1-2 years after the experimental compaction. 15pp.*
- 58 1979 Inge Håkansson, József von Polgár. Modellförsök med såbäddens funktion. III. Försök med syrebrist i såbädden. 17s.  
*Model experiments into the function of the seedbed. III. Experiments with oxygen deficiency in the seedbed. 17pp.*
- 59 1980 Tomas Rydberg. Storparcellförsök med plöjningsfri odling, 1976-78. 21s.  
*Big-plot experiments with ploughless farming, 1976-78. 21pp.*
- 60 1980 Working group on soil compaction by vehicles with high axle load. Report of meeting in Uppsala 1980. 56pp.
- 61 1981 Behovet av forskning och försök inom mark-teknikområdet. En inventering utförd av samarbetskommittén för mark-teknik vid Sveriges Lantbruksuniversitetets Lantbruksvetenskapliga fakultet. Sekreterare: Lennart Henriksson. 46s.
- 62 1981 Skördevariationerna i växtodlingen - orsaker och motåtgärder. Seminarium anordnat av Samarbetskommittén för Mark-Teknik på Ultuna 1981-04-09. 64s.
- 63 1981 Nils M. Nilsson. Plöjningsdjup och tiltbredder vid höstplöjning. 30s.  
*Ploughing depths and widths of furrow slice in autumns ploughing. 30pp.*
- 64 1982 Jan Cederlund. Kombinerad bearbetning och sådd (harvsådd). Examenarbete. 54s.
- 65 1983 Göran Kritz. Såbäddar för vårstråsåd. En stickprovsundersökning. 187s.  
*Physical conditions in cereal seedbeds. A sampling investigation in Swedish spring-sown fields. 187pp.*
- 66 1983 N.M. Nilsson. Höst- eller vårplöjning till vårsådd på kapillära jordar. Resultat från 12 fältförsök åren 1971-75. 57s.  
*Autumn- or spring ploughing before spring sowing on capillary soils. Results from 12 field trials during 1971-1975. 57pp.*
- 67 1984 Berth Mårtensson. Harvsådd - Preliminära försöksresultat 1979-83. 20s.  
*Once-over sowing - Preliminary results of trials 1979-1983. 20pp.*
- 68 1984 Mats Edh. Bandsådd - en studie av olika billar för bandsådd. Examenarbete. 44s.
- 69 1984 József von Polgár. Vältning efter vårsådd. 16s.  
*Rolling after spring sowing. 16pp.*
- 70 1986 Tomas Rydberg. Markfysikaliska och markkemiska effekter av plöjningsfri odling i Sverige. 35s.  
*Effects of ploughless tillage on soil physical and soil chemical properties in Sweden. 35pp.*
- 71 1986 Jordpackning: Skördepåverkan - Motåtgärder - Ekonomi. Rapport från NJF-seminarium i Sigtuna 28-30 oktober 1986. 187s.  
*Soil compaction: Effects - Counter-measures - Economy. 187pp.*
- 72 1986 Bo Thunholm. Termiska egenskaper i åkermark skattade på grundval av den årliga temperaturvariationen. 18s.  
*Thermal properties of the subsoil estimated from annual temperature variations. 18pp.*
- 73 1987 Lennart Henriksson. Försök med olika harvar 1977-1985. 32s.  
*Field trials with different harrows 1977-1985. 32pp.*

- 74 1987 Tomas Rydberg, Torbjörn Öckerman. Plöjningsfri odling - Dess inverkan på rotutveckling och evaporation. 52s.  
*The effects of ploughless tillage on root development and evaporation. 52pp.*
- 75 1987 Hans Svensson. Jordpackningens inverkan på sockerbetans rotutveckling och skördens storlek. 31s.  
*Effects of soil compaction on root development and yield of sugarbeets. 31pp.*
- 76 1987 Tomas Rydberg. Studier i plöjningsfri odling i Sverige 1975-1986. 53s.  
*Studies in ploughless tillage in Sweden 1975-1986. 53pp.*
- 77 1988 Reduceret jordbearbejdning. Rapport från NJF-seminarium i Horsens, Danmark 9-11 februari 1988. 240s.  
*Reduced cultivation. 240pp.*
- 78 1990 Inge Håkansson, Mary McAfee, Sixten Gunnarsson. Verkan av körning med traktor och vagn vid vallskörd. Resultat från 24 försöksplatser. 41s.  
*Effects of traffic during harvest on yield of grass leys. Results from field trials on 24 Swedish sites. 41pp.*
- 79 1990 Krister Nilsson. Packningsskador vid konservärtskörd - ekonomiska konsekvenser och åtgärder för att minska packningen. 16s.  
*Estimation of the economic consequences of soil compaction when harvesting canning peas. 16pp.*
- 80 1990 Tomas Rydberg, Mary McAfee, Börje Gillberg. Djupplöjning på lätta mineraljordar. 50s.  
*Effects of subsoiling on crop yields on light mineral soils. 50pp.*
- 81 1992 Johan Arvidsson, Sixten Gunnarsson, Lena Hammarström, Inge Håkansson, Tomas Rydberg, Maria Stenberg. 1991 års jordbearbetningsförsök. 58s.
- 82 1992 Johan Arvidsson, Inge Håkansson. En modell för att beräkna jordpackningens effekter på grödornas avkastning. 23s.  
*An empirical model for estimating the crop yield losses caused by machinery induced soil compaction. 23pp.*
- 83 1992 Maria Stenberg, Reynaldo A. Comia, Tomas Rydberg, Inge Håkansson, Sixten Gunnarsson. Harvsådd i konventionella och plöjningsfria bearbetningssystem. 18s.  
*Soil and crop responses to different tillage systems. 18pp.*
- 84 1992 Johan Arvidsson, Lena Hammarström, Maria Stenberg, Tomas Rydberg, Mats Tobiasson, Hans Pettersson, Sixten Gunnarsson, Ararso Etana, Inge Håkansson, Ingrid Karlsson, Karin Blombäck. Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 1992. 86s.
- 85 1994 Johan Arvidsson, Inge Håkansson. Finns packningsskador kvar efter plöjning? Resultat från 21 långliggande fältförsök. 31s.  
*Do effects of soil compaction persist after ploughing. Results from 21 Swedish long-term field experiments. 31pp.*
- 86 1994 Johan Arvidsson, Lena Hammarström, Tomas Rydberg, Maria Stenberg, Hans Pettersson, Jörgen Lidström, Lars Olsson, Barbro Beck-Friis, Sasa Ristic, Inge Håkansson, Ararso Etana, Eva Salomon. Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 1993. 88s.
- 87 1994 Thomas Grath. Inverkan av jordpackning och anaeroba markförhållanden på grödornas näringsupptagning samt på rotröta och utveckling hos ärter. 61s.  
*Influences of soil compaction and anaerobic soil conditions on crop nutrient uptake and on root rot and growth of peas. 61pp.*
- 88 1995 Johan Arvidsson, Lena Hammarström, Tomas Rydberg, Maria Stenberg,

- Eva Salomon, Staffan Steineck, Ingrid Karlsson, Sixten Gunnarsson, Daniel Johansson, Åse Littorin-Johansson. Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 1994. 77s.
- 89 1996 Ingrid M. Karlsson. Sportgräsytor etablering och skötsel - erfarenheter från ett markbyggnadsförsök. 94s.  
*Establishment and maintenance of grassed sports fields - experience from a field experiment on soil construction alternatives. 94pp.*
- 90 1996 Johan Arvidsson, Helena Elmquist, Sixten Gunnarsson, Daniel Johansson, Susanne Johansson, Ingrid M. Karlsson, Tomas Rydberg, Eva Salomon, Maria Stenberg, Johan Bengtsson, Calle Blackert, Rickard Ivarsson, Anna Lena Carlsson, Sasa Ristic. Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 1995. 80s.
- 91 1997 Johan Arvidsson, Helena Elmquist, Sixten Gunnarsson, Daniel Johansson, Tomas Rydberg, Eva Salomon, Maria Stenberg. Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 1996. 80s.
- 92 1997 Johan Arvidsson. Tidig sådd - ett system för reducerad bearbetning vid vårsådd. Slutrapport för fältförsök 1992-1996. 45s.  
*Early sowing - a reduced tillage system for spring sowing. Final report for field experiments 1992-1996. 45pp.*
- 93 1998 Johan Arvidsson, Helena Elmquist, Sixten Gunnarsson, Daniel Johansson, Tomas Rydberg, Maria Stenberg, Andreas Trautner, Thomas Wildt-Persson. Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 1997. 74s.
- 94 1998 Daniel Johansson. Radhackning med och utan efterredskap i stråsäd. Slutrapport för fältförsök 1995-1997. 49s.  
*Row hoeing in cereals with and without tools behind. Final report for field experiments 1995-1997. 49pp.*
- 95 1998 Maria Stenberg, Göran Bergkvist, Helena Aronsson. Jordbearbetningsstrategi och etableringsteknik till höstraps för att minska risken för kväveläckage. 18s.  
*Soil tillage strategy and winter oil-seed rape establishment techniques to reduce the risk for nitrogen leaching. 18pp.*
- 96 1999 Johan Arvidsson, John Löfkvist, Tomas Rydberg, Erika Sjöberg, Maria Stenberg, Urban Svantesson, Andreas Trautner. Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 1998. 68s.
- 97 2000 Ararso Etana, Tomas Rydberg och Inge Håkansson. Markfysikaliska studier i långliggande försök med reducerad jordbearbetning. 29s.  
*Studies of soil physical properties in long-term experiments with reduced tillage. 29pp*
- 98 2000 Johan Arvidsson, Ararso Etana, John Löfkvist, Magnus Melin, Lars Pålsson, Tomas Rydberg, Maria Stenberg, Urban Svantesson, Andreas Trautner. Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 1999. 76s.
- 99 2000 Inge Håkansson. Packning av åkermark vid maskindrift. Omfattning – effekter- motåtgärder. 123 s.
- 100 2000 Johan Arvidsson, Jan van den Akker, Rainer Horn (redaktörer). Experiences with the impact and prevention of subsoil compaction in the European community. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> workshop of the Concerted Action ” Experiences with the impact of subsoil compaction on soil, crop growth and environment and ways to prevent compaction”, 14-16 June, Uppsala, Sweden.
- 101 2001 Johan Arvidsson, Thomas Keller, John Löfkvist, Åsa Myrbeck, Nina Nordström, Tomas Rydberg, Fredrik Sassner, Urban Svantesson, Andreas Trautner. Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 2000. 67s.
- 102 2001 Johan Arvidsson, Andreas Trautner, Erika Sjöberg. Alvpäckning av tunga

- betupptagare. Slutrapport från försök 1995-2000. 56 s.
- 103 2002 Johan Arvidsson, Fredrik Andersson, Elisabeth Bölenius, Johan Karlsson, Thomas Keller, John Löfkvist, Åsa Myrbeck, Tomas Rydberg, Urban Svantesson, Torgil Svensson, Alfredo de Toro, Andreas Trautner. Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 2001. 86s.
- 104 2003 Johan Arvidsson, Maria Ehrnebo, Ararso Etana, Karin Gustafsson, Thomas Keller, John Löfkvist, Åsa Myrbeck, Tomas Rydberg, Urban Svantesson, Andreas Trautner. Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 2002. 78s.
- 105 2003 Åsa Myrbeck, Johan Arvidsson, Thomas Keller. Plöjningstidpunktens inverkan på markstruktur, växtproduktion och kväveutlakning på lerjord. Slutrapport från försök 1999-2002. 44 s.
- 106 2003 Karin Gustafsson, Johan Arvidsson, Thomas Keller. Dragkraftsbehov för plog, kultivator och tallriksredskap vid olika markvattenhalter. 41 s.