

# RAPPORTER FRÅN JORDBEARBETNINGEN

Swedish University of Agricultural Sciences,  
S-750 07 Uppsala  
Department of Soil and Environment



Nr 126

2013

Johan Arvidsson och Fredrik Sörensson

**Bearbetningsdjup i plöjningsfri odling**

Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för mark och miljö

Rapporter från jordbearbetningen  
Nr 126, 2013

## **BEARBETNINGSDJUP I PLÖJNINGSFRI ODLING**

# Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning</b>	2
<b>1. Introduktion</b>	3
<b>2. Material och metoder</b>	4
2.1. <i>Försöksplatser och försöksplaner</i>	4
2.2. <i>Mätning av markfysikaliska egenskaper</i>	5
2.3. <i>Rottillväxt</i>	6
2.4. <i>Dragkraftsbehov</i>	6
2.5. <i>Analys av skördedata</i>	6
2.6. <i>Statistisk analys</i>	6
<b>3. Resultat</b>	7
3.1. <i>Penetrationsmotstånd</i>	7
3.2. <i>Mättad genomsläpplighet</i>	8
3.3. <i>Rotutveckling</i>	8
3.4. <i>Dragkraftsbehov</i>	9
3.5. <i>Skörd</i>	9
3.5.1. <i>Enskilda försöksplatser</i>	9
3.5.2. <i>Alla försök</i>	12
<b>4. Diskussion</b>	14
<b>5. Slutsatser</b>	15
<b>Referenser</b>	15

## Sammanfattning

Internationellt finns det få undersökningar som uttryckligen varit inriktade på att studera bearbetningsdjup i plöjningsfri odling. I denna studie ingick svenska försök med olika bearbetningsdjup (5-10 jämfört med 15-20 cm) för att undersöka effekter på markfysikaliska egenskaper och skörd, med konventionell plöjning som kontroll. I 13 försök som legat minst 4 år gjordes mätningar med penetrometer (alla försök) och genomsläpplighet (8 försök). Data från totalt 115 försöksår användes för att studera samspel mellan bearbetningsdjup, gröda, jordart och skörd. Dessutom mättes dragkraftbehov i 3 försök.

Minskat bearbetningsdjup medförde ökat penetrationsmotstånd och minskad genomsläpplighet i matjordens övre del. Ökat bearbetningsdjup från 5-10 cm till 15-20 cm mer än fördubblade

dragkraftsbehovet. På de flesta försöksplatserna var det små skillnader i skörd mellan olika bearbetningsdjup, men på två platser med styv lera gav ökat bearbetningsdjup signifikant lägre skörd. Generellt gav ökat bearbetningsdjup något högre skörd på lätt jord och lägre skörd på styv jord. Bearbetning med tallriksredskap gav i genomsnitt ca 2 % lägre skörd än bearbetning med kultivator. Det fanns ingen tydlig skillnad i hur olika grödor påverkades av bearbetningsdjupet. Skörden var i genomsnitt marginellt lägre för plöjningsfri odling jämfört med plöjning, trots ett kraftigt ökat penetrationsmotstånd. Penetrationsmotstånd tycks alltså vara en dålig indikator för förhållanden i marken som bestämmer grödans tillväxt. Speciellt styva jordar verkar ha ett lågt luckringsbehov, vilket innebär att ett grunt bearbetningsdjup kan rekommenderas.

## 1. Introduktion

Plöjning är den dominerande metoden för grundbearbetning i Sverige, men tillämpningen av plöjningsfri odling ökar gradvis. Ungefär 75 % av den odlade marken plöjs ett enskilt år, ca 23 % bearbetas plöjningsfritt medan 1-2 % direktsås (SCB, 2011).

Plöjningsfri odling används i Sverige främst för att spara tid och pengar, energianvändningen bestäms dock framförallt av bearbetningsdjupet (Arvidsson et al., 2004). Idag används till stor del kultivatorer med stela pinnar vilket medger en ökning av bearbetningsdjupet jämfört med mera fjädrande pinnar. Två överfarer med en kultivator till 15-20 cm kan dock medföra betydligt högre bränsleförbrukning än plöjning (Arvidsson et al., 2009). Djup bearbetning kräver stor dragkraft vilket också kräver tunga traktorer, som i sin tur ökar risken för jordpackning. Som grundregel bör bearbetningsdjupet vara så litet som möjligt, men tillräckligt för att ge bra förhållanden för etablering och tillväxt.

Några generella effekter av plöjningsfri odling är väl kända. Under det bearbetade lagret har jorden normalt högre skrymdensitet och penetrationsmotstånd än i plöjd mark (Rasmussen, 1999, Comia et al. 1994). Effekten på markens genomsläpplighet är inte lika entydig. Minskad porositet kan minska genomsläppligheten men utebliven jordbearbetning kan också medföra mer kontinuerliga porer, exempelvis maskgångar, som ökar genomsläppligheten. I en litteraturöversikt drog Strudley et al. (2008) slutsatsen att trenden (om det fanns någon) var att direktsådd ökade markens genomsläpplighet jämfört med konventionell bearbetning. I Skandinavien har dock de flesta studier pekat på sänkt genomsläpplighet i matjorden för plöjningsfri odling jämfört med plöjning

(Rydberg, 1987; Comia et al., 1994; Pitkänen and Nuutinen, 1998; Arvidsson, 1998; Rasmussen, 1999; Turtola et al., 2007).

En anledning att bearbeta är att luckra jorden, vilket minskar markens hållfasthet och är avsett att förbättra förhållandena för rottillväxt. Effekten av reducerad bearbetning på rötternas tillväxt kan dock bero på den omgivande miljön. Det finns flera studier där direktsådd lett till ökad rottillväxt, främst utförda i arida klimat där direktsådd kan ha förbättrat vattenhushållningen (Lampurlanes och Cantero-Martínez, 2003; Martínez et al., 2008). I humida och tempererade klimat finns däremot uppgifter om minskad rottillväxt vid reducerad bearbetning (Rydberg, 1987; Comia et al., 1994).

Bearbetning påverkar skörden, genom luckring och effekter på etablering, ogräs och skörderester. I Europa och Skandinavien uppges skörden ofta bli 3-5 % lägre för plöjningsfri odling jämfört med plöjning. (Rasmussen, 1999; Riley, 2006; Van den Putte et al., 2010). I en genomgång av europeiska försök drog Van den Putte et al. (2010) slutsatsen att ökat bearbetningsdjup i plöjningsfri odling höjer skörden, speciellt för sockerbetor.

Redan 1974 startades ett försök på Ultuna med olika bearbetningsdjup i plöjningsfri odling, och under 2006-2011 genomfördes i Sverige ett stort antal försök, med sammanlagt över 100 försöksår. De viktigaste syftena med det arbete som presenteras här var att 1) identifiera pågående försök med bearbetningsdjup som experimentell faktor 2) analysera effekterna på skörd; 3) mäta effekter på markens fysikaliska egenskaper (främst penetrationsmotstånd och mättad genomsläpplighet för vatten) i så många som möjligt av dessa försök; och 4) relatera effekter på skörd till uppmätta fysikaliska egenskaper. Som ett

komplement genomfördes också rotstudier och mätning av dragkraft i vissa försök.

## 2. Material och metoder

### 2.1. Försöksplatser och försöksplaner

För att identifiera pågående försök användes den databas över svenska fältförsök som administreras av Fätforskningsenheten vid SLU (<http://www.slu.se/faltforsk>). För att tas med i analysen av effekter på skörd skulle försöken innehålla följande led:

Plöjning (led A)

Djup ickevändande bearbetning (15-20 cm) (led B)

Grund ickevändande bearbetning med kultivator (5-10 cm) (led C) och/eller

Grund ickevändande bearbetning med tallriksredskap (5-10 cm) (led D)

Vid valet av försöksplatser för att göra studier av markfysikaliska egenskaper användes också ytterligare ett kriterium, nämligen att försöken skulle varit fastliggande i minst 4 år. Totalt kunde då 13 platser med 8 olika försöksplaner väljas ut, samtliga platser och de huvudsakliga försöksleden presenteras i tabell 1. Texturanalys för samtliga platser presenteras i tabell 2.

Tabell 1. Försöksplatser där det utförts markfysikaliska studier

Försökserie	Försök	Platser	Startår	Led som ingick i undersökningen (försöksplanen kan ha innehållit flera led)
L2-4049	E-124	Nybble	2005	A = plöjning, B = djup kultivering (15-20 cm), C=grund kultivering (5-10 cm), D = tallrikskultivator (Väderstad Carrier, 5 cm arbetsdjup)
R2-4008	MX-154	Lönnstorp	1991	A = plöjning, B = djup kultivering (15-20 cm), C=grund kultivering (5-10 cm)
R2-4007	CX-141	Ultuna	1974	A = plöjning, B = djup kultivering (15-20 cm), D = tallrikskultivator (Väderstad Carrier, 5 cm arbetsdjup)
R2-4140	CX-738 E-137 U-127	Ultuna Brunnby Vreta kloster	2006 2007 2006	A = plöjning, B = djup kultivering (15-20 cm), C=grund kultivering (5-10 cm), D = tallrikskultivator (Väderstad Carrier, 5 cm arbetsdjup). Varje försök innehåller två växtföljder, en med 100 % spannmål, en med 60 % spannmål
R2-4027	CX-517 CX-618	Ultuna Ultuna	1991 1996	A = plöjning, B = djup kultivering (15-20 cm), C=grund kultivering (5-10 cm), D = tallrik (60 cm diam., 5-10 cm arbetsdjup)
R2-4127	CX-723 CX-724	Ultuna Ultuna	2005 2005	A = plöjning, B = djup kultivering (15-20 cm), C=grund kultivering (5-10 cm). I försök CX-723 ingår spannmål, oljevaxter och ärter, i försök CX-724 enbart spannmål
R2-5077	CX- 727 U- 52 E- 152	Ultuna Örebro Vreta kloster	2005 2005 2005	A = plöjning, B = djup kultivering (15-20 cm), D = tallrikskultivator (Väderstad Carrier, 5 cm arbetsdjup)

Tabell 2. Kornstorleksfördelning (%) av ler, silt och sand, samt mullhalt på försöksplatserna i tabell 1

Serie	Exp. nr	Ler (<0,002 mm)	Silt (0,002-0,06 mm)	Sand (0,06-2 mm)	Mullhalt
R2-4007	CX 141/74	48	36	11	3,3
R2-4008	MX-253	14	26	55	3,1
L2-4049	E-124	18	38	43	2
R2-4140	CX-738	18	62	20	4,8
R2-4140	E-137	38	46	15	4,3
R2-4140	U-127	56	38	6	5
R2-4127	CX-723	50	44	6	4,5
R2-4127	CX-724	50	44	6	4,5
R2-4027	CX-517	35	59	6	2,8
R2-4027	CX-618	32	90	8	2,4
R2-5077	CX-727	50	31	18	4,5
R2-5077	E-152	43	48	9	4
R2-5077	T-52	52	38	11	3

Förutom i dessa försök har undersökningar också gjorts i försök med olika bearbetningsdjup i Skåne och Halland, som finns redovisade av Sjöholm (2008).

Grundbearbetning utfördes på hösten i samtliga försök, normalt i september och oktober. Plöjning utfördes med Överum eller Kverneland växelplög till ett djup av 20-22 cm. Djup kultivering utfördes oftast med Väderstad Cultus kultivator ([www.vaderstad.com](http://www.vaderstad.com)) eller Väderstad Top-Down (redskap med tallrikar och pinnar kombinerat), med raka 80 mm breda spetsar. Grund kultivering gjordes med samma redskap eller en lättare typ av kultivator. Bearbetning med tallriksredskap utfördes oftast med Väderstad Carrier tallrikskultivator (kombinerat tallriksredskap och vält, tallriksdiameter 300 mm och arbetsdjup 3-7 cm). I två försök (serie R2-4027), gjordes bearbetning med ett traditionellt tallriksredskap utan vält med 600 mm tallriksdiameter. Kultivering och bearbetning med tallriksredskap gjordes oftast med två överfarer. Serie R2-4127 hade led med både 1 och 2 överfarer, i denna analys användes endast resultat från led med 2 överfarer. I de flesta försöken användes en Väderstad Rapid såmaskin med skivbillar. Försöken hade växtföljder

som var typiska för regionen, och dominerades av spannmål. De tre vanligaste grödorna var höstvetete (*Triticum aestivum*, L.), korn (*Hordeum vulgare*, L.) och oljevaxter (*Brassica napus*, L.) som odlades 49, 20 respektive 19 försöksår. Andra grödor var havre (*Avena sativa*, L.), ärter (*Pisum vulgare*, L.) och sockerbeta (*Beta vulgaris*, L.). I serie R2-4140 ingick två växtföljder, en med enbart spannmål och en som också innehöll oljevaxter och ärter.

Alla försök utom serie R2-4140 hade en fullständigt randomiserad försöksplan med fyra upprepningar. Serie R2-4140 var ett split-plotförsök med tre upprepningar, med grödor i storrutor och bearbetning i smårutor.

## 2.2. Mätning av markfysikaliska egenskaper

Mätningar av markens fysikaliska egenskaper (främst penetrationsmotstånd och markens mättade genomsläpplighet för vatten) gjordes under april och maj 2010 och 2011, vid en vattenhalt nära fältkapacitet.

Penetrationsmotstånd mättes i samtliga försök i tabell 1. Tio stick per ruta gjordes till 30 cm djup med en Eijkelkamp Penetrologer.

Mättad genomsläpplighet för vatten ( $K_{fs}$ ) mättes i fält. Ett stålrör, 150 mm i diameter och 150 mm högt, slogs ner 50 mm i jorden på 70 mm djup. Vatten hälldes på till rörets kant (100 mm vatten ovan jord) som hölls mellan 50 och 100 mm under 15 minuter. Efter detta hälldes vatten på till 100 mm och vattnets nedsjunkning mättes under maximalt 300 s. Tre mätningar gjordes per ruta i totalt 8 försök.  $K_{fs}$  beräknades enligt Reynolds et al. (2002):

$$K_{fs} = \frac{q_s}{\left\{ \left[ \frac{H}{C_1 d + C_2 a} \right] + \left[ \frac{1}{\alpha} * (C_1 d + C_2 a) \right] + 1 \right\}} \quad (1)$$

där  $q_s$ =infiltrationshastighet,  $H$ =vattenpelarens höjd,  $C_1$ =konstant ( $0.316 * \pi$ ),  $d$ =cylinderns nedslagningsdjup,  $C_2$ =konstant ( $0,184 * \pi$ ),  $a$ =cylinderdiameter och  $\alpha$ =parameter för kapillär längd, satt till  $0,12 \text{ cm}^{-1}$  (Elrick et al., 1989).

### 2.3. Rottillväxt

Rottillväxt mättes enligt Löfqvist (2005) i korn i juni 2010, i experiment CX-738 i serie R2-4140. Stålcylindrar (höjd 100 mm, diameter 72 mm) togs ut på 10-20 cm djup, 4 cylindrar per ruta. Jorden sköljdes sedan omsorgsfullt bort, och kvarvarande rötter scannades. Rötternas längd och diameter analyserades sedan med programmet WinRhizo.

(<http://www.regent.qc.ca/products/rhizo/WinRHIZO.html>).

### 2.4. Dragkraftsbehov

Mätning av dragkraftsbehov på hösten gjordes på 3 av platserna i tabell 1: CX-517 och CX-618 i serie R2-4027 (2003-2006) och CX-738 i serie R2-4140 (2006, 2008 och 2010). Redskapen drogs av en fyrhjulsdriven 99 kW Massey-Ferguson 6290. Traktorn hade utrustning för att mäta

bränsleförbrukning, varvtal, hjulhastighet och verklig hastighet (med radar). En detaljerad beskrivning av systemet finns i Pettersson et al. (2002). Traktorn var kalibrerad så att effekten som användes till faktiskt dragkraftsuttag kunde beräknas (Arvidsson et al. 2004). Dragkraften kunde sedan beräknas genom att dividera effekten med traktorns hastighet.

### 2.5. Analys av skördedata

I analysen av skördedata ingick endast skördeåren 2006-2011. En anledning är att kultivatörerna tidigare inte alltid hade stela pinnar som möjliggjorde rätt bearbetningsdjup. Vissa försök har dessutom pågått mer än 15 år vilket skulle fått alltför stort genomslag i resultaten. I den allmänna analysen jämfördes djup och grund bearbetning med kultivator (led B och C). Om led C ej ingick gjordes jämförelsen med tallriksredskap (led D). I denna analys ingick också andra experiment än de i tabell 1, bl.a. försök som inte varit långliggande. Vissa försök innehöll två grödor per år, t.ex. i serie R2-4140, vilket då behandlades som två försök.

Nederbördsdata från närmsta väderstation insamlades för varje försöksår om dessa fanns tillgängliga. Skörden avsattes sedan som funktion av nederbörd under 60 dagar efter medelsådatum för vårsådda grödor enligt Berglund et al. (2002). Detta datum ansågs relevant också för höstsådda grödor eftersom det är nära vegetationsperiodens start.

### 2.6. Statistisk analys

Statistisk analys utfördes med Proc Anova i SAS (SAS, 1985). I analysen av genomsläpplighet användes log-transformerade värden (Bathke och Cassel, 1991). Analys av skörden på enskilda försöksplatser gjordes på medelvärden för rutskördar beräknat på samtliga försöksår.

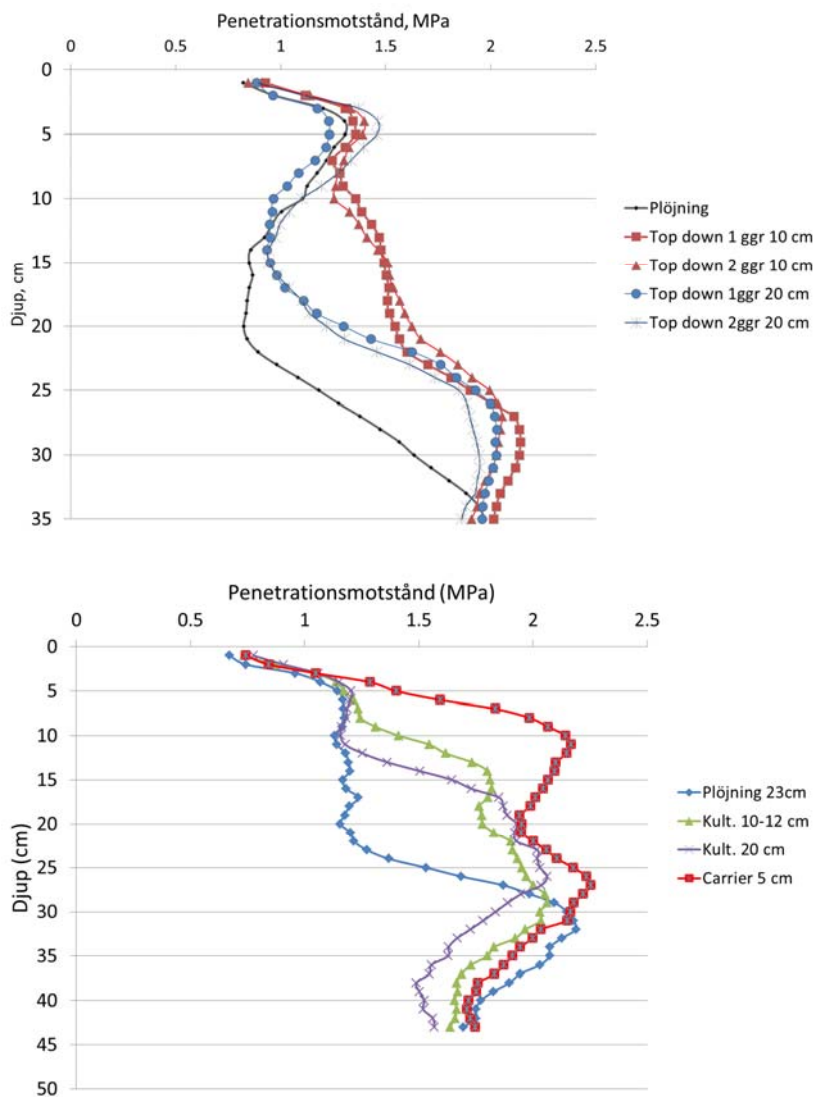


### 3. Resultat

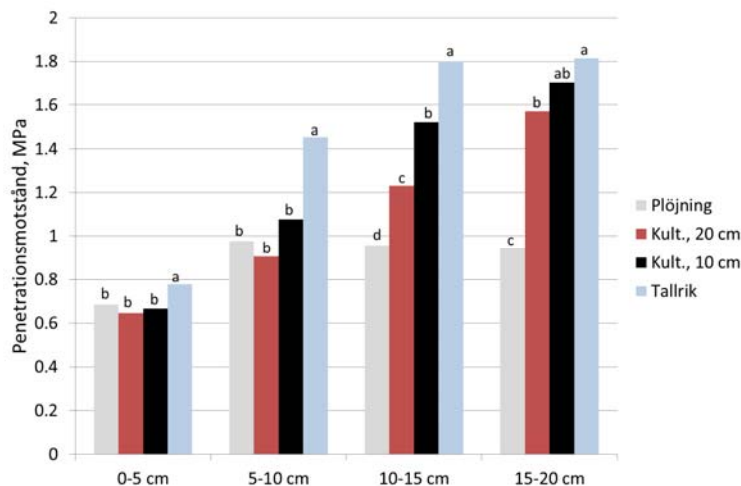
#### 3.1. Penetrationsmotstånd

På praktiskt taget alla försöksplatser fanns signifikanta skillnader i penetrationsmotstånd på 5-10 och 10-15 cm djup (visas ej pga den stora mängden data). Typiska kurvor för penetrationsmotstånd visas i figur 1. I försök CX-723 fanns tydliga

skillnader beroende på bearbetningsdjup men väldigt små skillnader mellan 1 och 2 överfarter. I försök CX-738 ökade penetrationsmotståndet kraftigt redan på några centimeters djup. Medelvärden för samtliga försök som innehöll alla led A-D visas i figur 2. Skillnaderna var mest uttalade i lagret 10-15 cm, i ordningen  $A < B < C < D$ , med signifikanta skillnader mellan samtliga led.



Figur 1. Penetrationsmotstånd i försök CX-723 (överst) och CX-738 (underst).



Figur 2. Penetrationsmotstånd på samtliga platser som innehöll samtliga led A-D.

### 3.2. Mättad genomsläpplighet

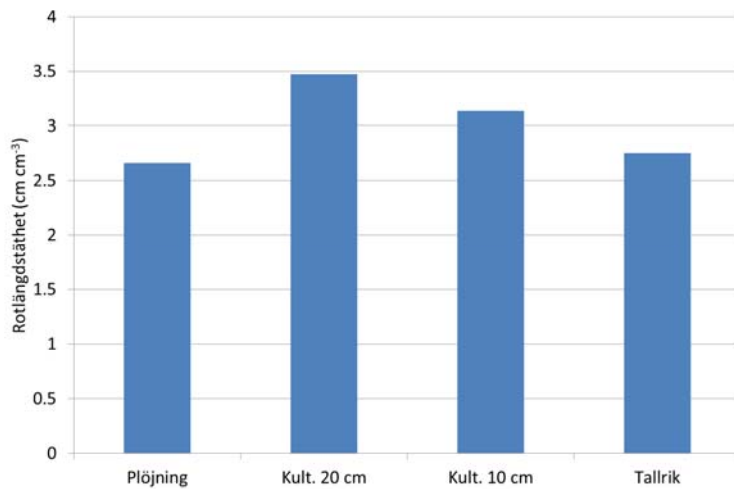
Mättad genomsläpplighet presenteras i tabell 3. Det var ofta stora ledskillnader, men dessa var i de flesta fall inte signifikanta. I de fall där det fanns signifikanta skillnader, var genomsläppligheten lägst efter körning med tallriksredskap. I medeltal minskade genomsläppligheten i ordning A>B>C>D (P=0.11).

### 3.3. Rotutveckling

Rotutveckling i de olika leden visas i figur 3. Värdena blev lägre för minskat bearbetningsdjup i plöjningsfri odling, men var allra lägst för plöjning. Skillnaderna var dock inte statistiskt signifikanta, inte heller för andra undersökta parametrar (rotdiameter, rotvolym och förgrening).

Tabell 3. Mättad genomsläpplighet för vatten ( $\text{mm h}^{-1}$ ) i olika led på några av de platser som listas i tabell 1. Värden som ej följs av samma bokstav är signifikant skilda (P<0,05)

Serie	4008	4027	4027	4049	4127	4127	4140	4140	Medel	Medel
Försök	MX-134	CX-517	CX-618	E-124	CX-723	CX-724	CX-738	E-138	(n=8)	(n=3)
A	32,2	434	637	42,8 a	29,2	55,7	318a	45,8	99	85
B	44,3	249	479	23,8 ba	5,2	14,9	224ba	13,9	48	42
C	74,8	347	213	7,4 bc	22,9	0,5	156ba	24,3	34	30
D				4,4 c			45c	27,3		18
	n.s.	n.s.	n.s.	P<0,05	n.s.	n.s.	P<0,05	n.s.	P=0,11	P=0,11



Figur 3. Rotlängdstäthet i försök CX-738, mätt i juni 2010 på djupet 10-20 cm.

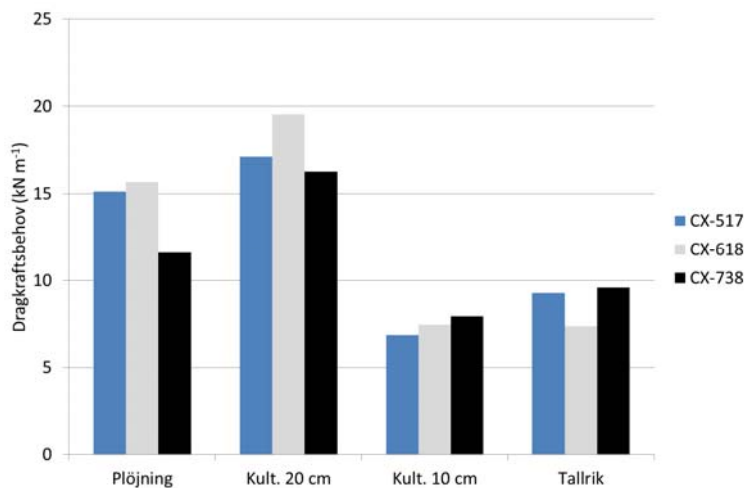
### 3.4. Dragkraftsbehov

Totalt dragkraftsbehov visas i figur 4, med liknande resultat i samtliga tre försök. För kultivering och körning med tallriksredskap visas sammanlagda dragkraftsbehovet för två körningar. Dragkraftsbehovet var högst för två körningar med kultivator till 20 cm, mer än dubbelt så högt som för kultivering till 10 cm. Dragkraftsbehovet för tallriksredskapet var något lägre än för grund kultivering.

### 3.5. Skörd

#### 3.5.1. Enskilda försöksplatser

Genomsnittlig skörd på samtliga platser redovisas i tabell 4. På sex av platserna fanns signifikanta skillnader i skörd, varav fem med högst skörd i plöjt led. Enda platsen med signifikant högre skörd för plöjningsfri odling var försök 141/74 i serie R2-4007, vilket är det äldsta av alla försök.



Figur 4. Dragkraftsbehov i tre försök, medeltal för flera års mätningar.

Tabell 4. Genomsnittlig relativ skörd i olika led i de försök som listas i tabell 1. Värderna som ej följs av samma bokstav är signifikant skilda (P<0,05)

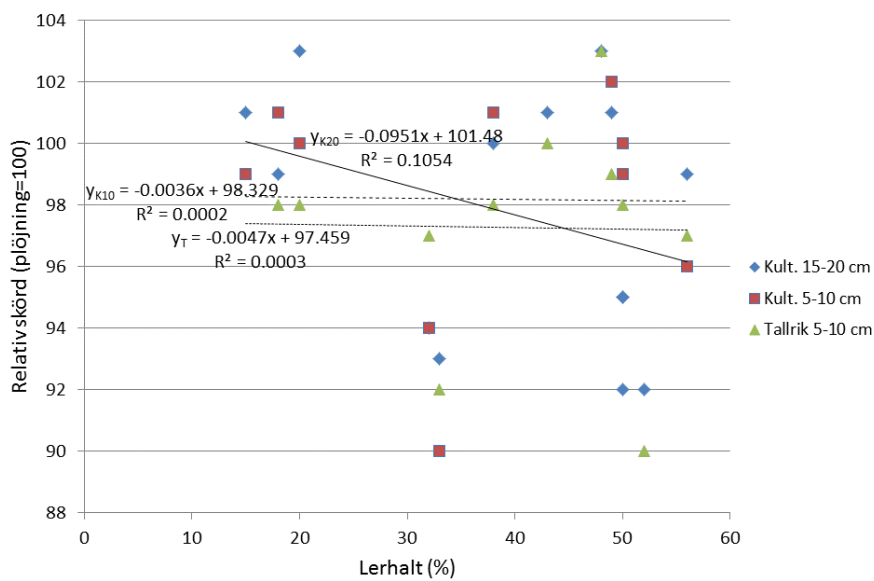
Serie	4007	4008	4027	4027	4049	4127	4127	4134	4140	4140	4140	5077	5077	5077
Försök nr	CX-141	MX-253	CX-517	CX-618	E-124	CX-723	CX-724	CX-730	CX-738	E-137	U-127	CX-727	E-152	T-52
Försöksår	35	19	19	15	4	5	5	5	10	9	5	5	4	5
A=Plöjning	100b	100	100	100a	100	100a	100a	100	100	100	100	100a	100	100a
B=Kultivator 15-20 cm	103a	101	93	94b	103	95b	92b	101	99	100	99	95b	101	92b
C=Kultivator 5-10 cm		99	90	94b	100	99a	100a	102	101	101	96			
D=Tallrik 5-10 cm	103a		92	97ab	98			99	98	98	97	98ab	100	90b
Signifikans	P<0,05	n.s.	P=0,09	P<0,05	n.s.	P<0,05	P<0,05	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	P<0,05	n.s.	

Skillnader mellan grund och djup bearbetning i plöjningsfri odling var i de flesta fall små och ej signifikanta. På två av platserna (CX-723 och CX-724), var dock skillnaden signifikant, med högre skörd för grund bearbetning (led C jämfört med B).

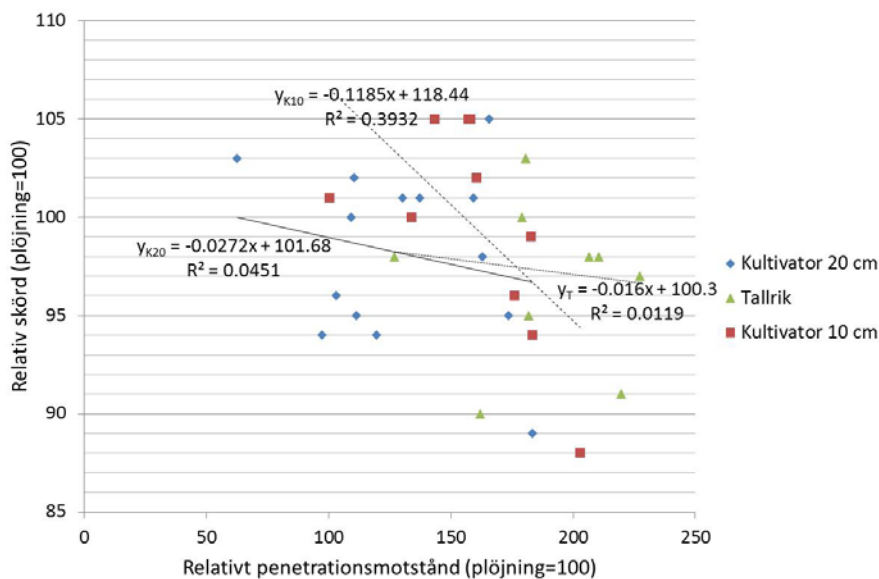
Relativ skörd (plöjning=100) för olika bearbetningssystem som en funktion av lerhalt och penetrationsmotstånd visas i figur 5 och 6. För grund bearbetning med

kultivator och tallriksredskap fanns inget samband mellan lerhalt och skörd. För djup bearbetning fanns ett negativt samband, som dock inte var signifikant (figur 5).

Relativ skörd som funktion av penetrationsmotstånd i lagret 10-15 cm visas i figur 6 (värden relativt plöjning). Ett visst samband erhöles för kultivering till 10 cm ( $P < 0,05$ ). För genomsläpplighet fanns inget samband med skörd (visas ej).



Figur 5. Relativ skörd (plöjning=100) som funktion av lerhalt. Helt dragen linje=kult. 20 cm, streckad linje=kult. 10 cm och prickad linje=tallriksredskap.



Figur 6. Relativ skörd för olika led som funktion av relativt penetrationsmotstånd (plöjning=100). Heldragen linje=kultivator 20 cm, streckad linje=kultivator 10 cm och prickad linje=tallriksredskap.

### 3.5.2. Alla försök

Relativ skörd (plöjning=100) i led B-D visas i tabell 5. Skörden var i genomsnitt något lägre för plöjningsfria led än för plöjning, med mycket liten skillnad mellan grund och djup kultivering. Lägst skörd erhöles efter körning med tallriksredskap.

Plöjningsfri odling gav i medeltal högre skörd än plöjning på jordar med 15-25% ler (tabell 6). Det fanns en svag trend att ökat bearbetningsdjup höjde skörden på jordar med lägre lerhalt än 40 % och sänkte skörden vid lerhalter över 40 %. För de flesta av de grödor som ingick, fanns inga

tydliga skillnader i skörd beroende på bearbetningsdjup (tabell 7). Skörden av höstvet, havre, oljevaxter och sockerbeter var i genomsnitt något lägre för plöjningsfri odling jämfört med plöjning, medan resultatet var omvänt för korn. För ärter var skörden högre vid djup bearbetning. Ärter ingick dock endast i fyra försök och skillnaden var ej signifikant.

Relativ skörd för grund och djup bearbetning (plöjning=100) som funktion av nederbörd under 60 dagar efter sådd visas i figur 7. Det finns ett svagt positivt samband, med nästan identiskt resultat för de olika bearbetningsdjupen.

Tabell 5. Relativ skörd (plöjning=100) för plöjningsfri odling till olika djup, samtliga försöksår. Standardavvikelse anges inom parentes

Antal försöksår	55	77	93	115
Kultivator 15-20 cm	98,8 (8,9)	98,9 (11,2)	98,0 (8,5)	98,3 (10,2)
Kultivator 5-10 cm	99,2 (9,2)		99,5 (8,8)	
Tallrik 5-10 cm	96,8* (10,7)	97,2* (12,0)		

\*=signifikant skild från 100 (P<0,05)

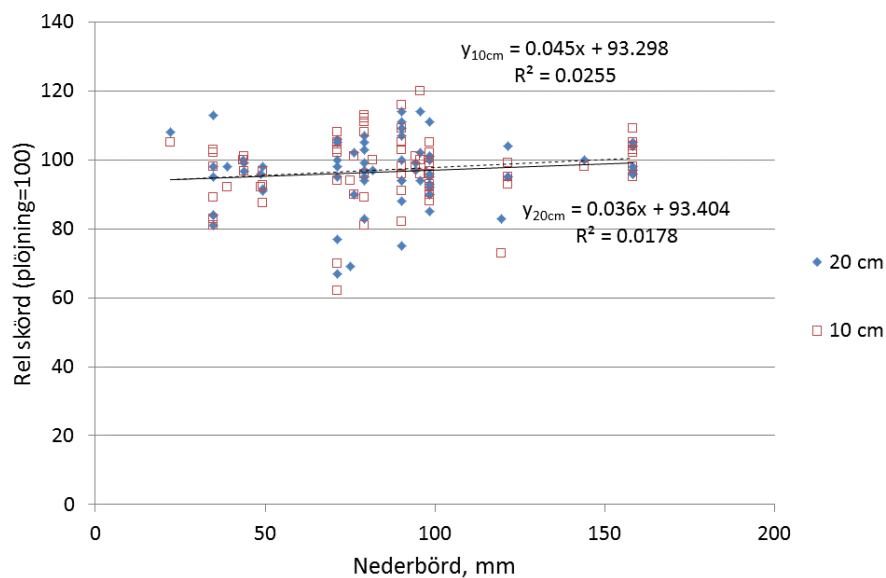
Tabell 6. Relativ skörd (plöjning=100) för djup och grund plöjningsfri odling, medeltal för samtliga försök, för olika jordarter. Inga skillnader var statistiskt signifikanta. Standardavvikelse anges inom parentes

Lerhalt	Försöksår	Djup (15-20 cm)	Grund (5-10 cm)
15-25%	31	99,8 (7,1)	98,5 (8,5)
25-40%	37	98,6 (8,0)	96,6 (11,6)
>40%	41	96,5 (13,9)	98,5 (13,3)

Tabell 7. Relativ skörd (plöjning=100) för djup och grund plöjningsfri odling, uppdelat efter grödor. Standardavvikelse anges inom parentes

Gröda	Antal försök	Djup (15-20 cm)	Grund (5-10 cm)
Höstvete	49	95,5* (10,1)	96,1* (9,8)
Korn	20	103,8 (12,7)	104,2 (15,1)
Havre	9	97,7 (7,4)	94,3 (12,0)
Ärter	4	105,0 (8,0)	97,3 (7,5)
Oljeväxter	19	97,0 (7,3)	96,2 (9,2)
Sockerbetor	5	96,5 (5,3)	96,4 (6,7)

\*=signifikant skild från 100 (P<0,05)



Figur 7. Relativ skörd (plöjning=100) för grund och djup bearbetning som funktion av nederbörd under 60 dagar efter sådd. Heldragen linje=kultivator 20 cm, prickad linje=grund bearbetning med kultivator eller tallriksredskap.

#### 4. Diskussion

Effekten av plöjningsfri odling på markens egenskaper var ganska entydig. Penetrationsmotståndet var alltid högre än för plöjning och tydligt kopplat till bearbetningsdjupet. Detta stämmer också med andra mätningar (t.ex. Rasmussen, 1999). Likaså fanns en tydlig trend att minskat bearbetningsdjup sänkte matjordens genomsläpplighet för vatten. Skillnaderna var oftast ej signifikanta, vilket kan kopplas till den stora rumsliga variationen för denna egenskap. I litteraturen finns motstridiga uppgifter om effekten på genomsläpplighet (Strudley et al., 2008), men våra resultat stämmer med den generella trenden i norra Europa (t.ex. Rydberg, 1987; Rasmussen, 1999; Turtola et al., 2007).

Rottillväxt mättes endast i ett försök, CX-738. Skillnaderna var inte signifikanta, trenden var dock att rottätheten var högre efter kultivering än efter plöjning, trots högre penetrationsmotstånd (fig. 1). Rottillväxt begränsas normalt av en kombination av vattenbrist och mekaniskt motstånd (Bengough, 1997; Bengough et al., 2011). I vissa fall har man uppmätt högre rottillväxt i system med reducerad bearbetning (Lampurlanes och Cantero-Martínez, 2003; Martínez et al., 2008; Munez-Romero et al., 2010), men undersökningar i Skandinavien har oftast pekat på motsatsen (Rydberg, 1987; Comia et al., 1994; Pietola, 2005; Munkholm et al., 2008; Kadzienia et al., 2011). Våra resultat visar dock att ökat penetrationsmotstånd inte nödvändigtvis leder till minskad rottillväxt.

Dragkraftsbehovet i våra mätningar var mer än dubbelt så stort för djup jämfört med grund bearbetning. Detta stämmer också med tidigare mätningar av Arvidsson et al. (2004) och visar att bearbetningsdjupet är den viktigaste faktorn för dragkraftsbehovet.

Skörden var i genomsnitt 1-2% lägre för kultivering och 3 % lägre för körning med

tallriksredskap jämfört med plöjning. Detta stämmer också med resultaten i ett större datamaterial med plöjningsfri odling i Sverige (Arvidsson et al., 2009), och ett medelvärde på 2,8% skördesänkning för plöjningsfri odling i Europa (Van den Putte et al., 2010).

I medeltal var effekten av bearbetningsdjup liten, speciellt mellan djup och grund bearbetning med kultivator. I en genomgång av försök i Europa fann Van den Putte et al. (2010) att skörden blev högre vid ökat bearbetningsdjup, speciellt för sockerbetor och på sandiga jordar. Också Jabro et al. (2011) fick ökad skörd av sockerbetor vid ökat bearbetningsdjup, Ahmad et al. (2010) fick samma resultat för vete, medan Raper et al. (2000) inte kunde se några effekter på bomull. I vår studie var skillnader mellan led oftast inte signifikanta, på två platser gav dock ökat bearbetningsdjup signifikant lägre skörd (tabell 4). I dessa försök fanns också en stor skillnad i penetrationsmotstånd mellan leden (fig. 1), vilket visar på en tydlig skillnad i markens struktur. En möjlig förklaring till skördesänkningen är att uppbyggnaden av jorden stör transporten av vatten och näringsämnen (Kemper et al., 1971). I försöken med sänkt skörd efter djup bearbetning gick det också ofta att se ojämnare bestånd och tillväxt i dessa led. Det är också väl känt att jorden efter plöjning är för lucker och behöver en viss återpackning för att ge maximal skörd (t.ex. Håkansson, 1990; Lindstrom och Voorhees, 1994).

Det fanns en viss trend att ökat bearbetningsdjup ökade skörden på lätt jord, och sänkte den på styv jord (tabell 6), som verkar ha ett lågt luckringsbehov. Olika grödor reagerade olika på ett plöjningsfritt system, med högre skörd för korn i plöjningsfri odling medan de flesta övriga grödor gav sänkt skörd jämfört med plöjning (tabell 7). Den låga relativskörden för höstvet i plöjningsfritt beror troligtvis på att grödan ofta odlades med höstvet eller korn som förfrukt, vilket ökade risken för växtsjukdomar (Cannell and Hawes,



1994). Höstvetete kan generellt anses som relativt okänsligt för jordpackning (Atkinson et al., 2009; Arvidsson et al., 2009). Ärtor var den enda grödan som hade någon större skillnad i skörd för olika bearbetningsdjup, men odlades endast i fem försök.

Plöjningsfri odling anses ofta förbättra markens vattenhushållning och därför vara mest gynnsam under torra förhållanden. Olika väderförhållanden skulle också kunna påverka optimalt bearbetningsdjup, t.ex. att ökat djup skulle kunna vara positivt under år med stora nederbördsmängder. Det kan därför anses förvånande att nederbörden hade så liten inverkan, och att relativskörd för plöjningsfri odling t.o.m. ökade något med ökad mängd nederbörd.

Penetrationsmotstånd används ofta som en indikator på förutsättningarna för rottillväxt, och också för att förklara skillnader i skörd (t.ex. Busscher et al., 2001; Weber et al., 2004; Weber och Biskupsi, 2008; Koch et al., 2009; Ahmad et al., 2010). Detta kunde inte bekräftas i vår studie. Penetrationsmotståndet var betydligt högre för grund bearbetning än för plöjning, trots detta var skördeskillnader mellan leden i regel små. För svenska förhållanden verkar alltså penetrationsmotstånd vara en dålig indikator för att uppskatta luckringsbehov eller förväntad skörd. Inte heller markens mätade ledningsförmåga för vatten gick att koppla till skörd.

## Referenser

- Ahmad, M., Abdullah, H., Iqbal, M., Umair, M., Ghani, M.U., 2010. Effect of deep tillage on soil properties and crop (wheat) yield. *Soil & Environ.* 29, 177-180.
- Arvidsson, J. 1998. Effects of cultivation depth and recompaction in reduced tillage on soil physical properties, crop yield and plant pathogens. *Eur. J. Agr.* 9, 79-85.

## 5. Slutsatser

Minskat bearbetningsdjup ökade penetrationsmotståndet och sänkte matjordens mätade genomsläpplighet för vatten. Ökat bearbetningsdjup med kultivator mer än fördubblade dragkraftsbehovet. Trots försämrade fysikaliska egenskaper vid grund bearbetning var effekten på skörden liten, för olika kultiveringsdjup erhöles i medeltal samma skörd. Penetrationsmotstånd tycks alltså vara en dålig indikator för förhållanden i marken som bestämmer grödans tillväxt.

I två försök på styv jord erhöles t.o.m. signifikant lägre skörd för ökat bearbetningsdjup. Körning med tallriksredskap gav dock något lägre skörd än kultivering, vilket kan bero på att detta var det mest packade ledet.

Sett till samtliga försök fanns en viss trend att ökat bearbetningsdjup kunde vara fördelaktigt på lätt jord men negativt på styv jord. Med hänsyn taget också till dragkraftsbehov kan alltså ett grunt bearbetningsdjup rekommenderas vid plöjningsfri odling på styva jordar.

## Tackord

Detta arbete finansierades delvis av Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF).

- Arvidsson, J., Keller, T., Gustafsson, K. 2004. Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. *Soil Till. Res.* 79 (2), 221-232.
- Arvidsson, J., Rydberg, T., Etana, A., 2009. Ploughless Tillage in Sweden – Results From Short- and Long-term Field Experiments. *Proc. 18th Conf. ISTRO, Izmir, Turkey, 15-19 June 2009*
- Atkinson, B.S., Sparkes, D.L., Mooney, S.J., 2009. The impact of soil

- structure on the establishment of winter wheat. *Eur. J. Agr.* 30, 243-257.
- 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.
- Bengough, A.G., 1997 Modelling Rooting Depth and Soil Strength in a Drying Soil Profile. Abstract - selected. *J. Theor. Biol.* 186, 327-338.
- Bengough, A.G., McKenzie, B.M., Hallett, P.D., Valentine, T.A., 2011. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *J. Exp. Bot.* 62, 59-68.
- Berglund, K., Berglund, Ö., Gustafsson Bjuréus, A., 2002. Soil structure index- a way to assess soil physical properties and the effect of cropping system on soil structure. *Communications 02:4*, Division of Agricultural Hydrotechnics, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Busscher, W.J., Frederick, J.R., Bauer, P.J., 2001. Effect of penetration resistance and timing of rain on grain yield of narrow-row corn in a coastal plain loamy sand. *Soil Till. Res.* 63, 15-24.
- Cannell, R.Q., Hawes, J.D., 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil Till. Res.* 30, 245-282.
- Carop, M., de Tourdonnet, S., Coquet, Y., Hallaire, V., Roger-Estrade, J., 2007. Hydraulic conductivity and porosity under conventional and no-tillage and the effect of three species of cover crop in northern France. *Soil Use Man.* 23, 230-237.
- Comia, R.A., Stenberg, M., Nelson, P., Rydberg, T., Håkansson, I., 1994. Soil and crop responses to different tillage systems. *Soil Till. Res.* 29, 335-355.
- Elrick, D.E., Reynolds, W.D., Tan, K.A., 1989. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses. *Ground Water Monit. Rev.* 9, 184-193.
- Håkansson, I., 1990. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. *Soil Till. Res.* 16, 105-120.
- Jabro, J.D., Stevens, W.B., Iversen, W.M., Evans, R.G., 2010. Tillage depth effect on soil physical properties, sugar beet yield and sugar beet quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 41, 908-916.
- Kadžienė, G., Munkholm, L.J., Mutegib, J.K., 2011. Root growth conditions in the topsoil as affected by tillage intensity. *Geoderma* 166, 66-73.
- Keller, T., Sutter, J.A., Nissen, K., Rydberg, T., 2010. Soil structure explains some within-field variation in crop yield. *Proc. of AgEng, Clermont-Ferrand*, 6-8 Sep 2010.
- Kemper, W.D., Stewart, B.A., Porter, L.K., 1971. Effects of compaction on soil nutrient status. In: *Compaction in Agricultural Soils*. Eds. K.K. Barnes, W.M. Charleton, H.M. Taylor, R.I. Throckmorton and G.E. Vanden Berg. pp 178-189. *Am. Soc. Agr. Eng., St. Joseph, Michigan*.
- Koch, H.-J., Dieckmann, J., Büchse, A., Märländer, B., 2009. Yield decrease in sugar beet caused by reduced tillage and direct drilling. *Eur. J. Agr.* 30, 101-109.
- Lampurlanes, J., Cantero-Martinez, C., 2003. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their

- relationship with barley root growth. *Agron. J.* 95, 526-536.
- Lindstrom, M.J., Voorhees, W.B., 1994. Responses of temperate crops in North America. In: *Soil Compaction in Crop Production*. Eds. B.D. Soane and C. van Ouwerkerk. pp 265-286. Elsevier, Amsterdam.
- Lipiec, J., Kus, J., Slowinska-Jurkiewicz, A., Nosalewicz, A., 2006. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. *Soil Till. Res.* 89, 210-220.
- Löfqvist, J., 2005. Modifying soil structure using plant roots. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, Doctoral thesis no. 2005:60. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Martinez, E., Fuentes, J.F., Silva, P., Valle, S., 2008. Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. *Soil Till. Res.* 99, 232-244.
- Munkholm, L.J., Hansen, E.M., Olesen, J.E., 2008. The effect of tillage intensity on soil structure and winter wheat root/shoot growth. *Soil Use Man.* 24, 392-400.
- Munoz-Romero, Bénitez-Vega, J., López-Bellido, R.J., Fonán, J.M., López-Bellido, L., 2010. Effect of tillage system on root growth of winter wheat. *Plant Soil* 326, 97-107.
- Pettersson O., Norén O., Hansson P-A, Lindgren, M., 2002. A system for onboard determination of engine power by measuring fuel consumption at 1 Hz. *EurAgEng Budapest 2002*. Paper Number 02-PM-024.
- Pietola, L., 2005. Root growth dynamics of spring cereals with discontinuation of mouldboard ploughing. *Soil Till. Res.* 80, 103-114.
- Pitkänen, J., Nuutinen, V., 1998. Earthworm contribution to infiltration and surface runoff after 15 years of different management. *Applied Soil Ecology* 9, 411-415.
- Raper, R.L., Reeves, D.W., Burmester, C.H., Schwab, E.B., 2000. Tillage depth, tillage timing, and cover crop effects on cotton yield, soil strength and tillage energy requirements. *Applied Engineering in Agriculture* 16, 379-385.
- Rasmussen, K.J., 1999. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil Till. Res.* 53, 3-14.
- Reynolds, W.D., Elrick, D.E., Youngs, E.G., Amoozegar, A., 2002. Field methods (Vadose and Saturated Zone Techniques. In *Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Methods* (eds. J.H. Dane and G.C. Topp). SSSA Book series: 5. Madison, Wisconsin, USA.
- Riley, H., 2006. Recent yield results and trends over time with conservation tillage on morainic soil in southeast Norway. *Acta Agric. Scand.* 56, 117-128.
- Rydberg, T. 1987. Studies on ploughless tillage in Sweden 1975-1986. Report 76, Division of Soil Management, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. (In Swedish, with English summary).
- Saleque, U.M., Jangiev, A.A., 1990. Optimization of the operational parameters of a wheeled tractor for tillage operation. *Transactions of the ASAE*. v.33(4) s 1027-1032.
- SAS 1985. *SAS User's Guide: Statistics*, 1982 Edition. SAS Institute Inc., Cary, N:C: 1985. 584 pp.
- SCB, 2011. *Odlingsåtgärder i jordbruket 2010*. Sveriges officiella statistik. Statistiska meddelanden MI 30 SM 1102. Statistiska centralbyrån.
- Singh, B., Malhi, S.S., 2006. Response of soil physical properties to tillage and residue management on two

- soils in a cool temperate environment. *Soil Till. Res.* 85, 143-153.
- Sjöholm, N., 2008. Inverkan av bearbetningsdjup på markstrukturen i försök med plöjningsfri odling i Skåne och Halland. Meddelanden från jordbearbetningsavdelningen, 2008.
- Strudley, M.W., Green, T.R., Ascough II, J.C., 2008. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. *Soil Till. Res.* 99, 4-48.
- Turtola, E., Alakukku, L., Uusitalo, R., Kaseva, A., 2007. Surface runoff, subsurface drainflow and soil erosion as affected by tillage in a clayey Finnish soil. *Agr. Food Sci.* 16, 332-351.
- Van den Putte, A., Govers, G., Diels, J., Gillijns, K., Demuzere, M., 2010. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. *Eur. J. Agr.* 33, 231-241.
- Weber, R., Zalewski, D., Hrynczuk, B., 2004. Influence of the soil penetration resistance, bulk density and moisture on some components of winter wheat yield. *Int. Agrophysics* 18, 91-96.
- Weber, R., Biskupski, A., 2008. Effect of penetration resistance, bulk density and moisture content of soil on selected yield components of winter triticale in relation to method of cultivation. *Int. Agrophysics* 22, 171-177.