



LANDSKAPSARKITEKTUR
TRÄDGÅRD VÄXTPRODUKTIONSVETENSKAP
Rapportserie



Fasta körspår – skördepotential och effekt på markstruktur

*Controlled Traffic Farming – yield potential
and effects on soil structure*

**Lena Holm, Ararso Etana, Johan Arvidsson,
Louice Lejon, Marie Andersson, Anton Lindesson**

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Rapport 2017:13
ISBN 978-91-576-8944-3
Alnarp 2017



LANDSKAPSARKITEKTUR
TRÄDGÅRD VÄXTPRODUKTIONSVETENSKAP
Rapportserie

Fasta körspår – skördepotential och effekt på markstruktur

*Controlled Traffic Farming – yield potential
and effects on soil structure*

**Lena Holm, Ararso Etana, Johan Arvidsson,
Louice Lejon, Marie Andersson, Anton Lindesson**

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Rapport 2017:13
ISBN 978-91-576-8944-3
Alnarp 2017

Projektet har finansierats av Stiftelsen lantbruksforskning (projekt H0960099 och H1233176) och Precisionsodling Sverige. Studien på Lönnstorp har möjliggjorts genom the Swedish Infrastructure for Ecosystem Science (SITES), i detta fall på Lönnstorps försöksstation på SLU, Alnarp.

Foto på omslaget: Försöket på Lönnstorp vid sådd 2015. Foto: Lena Holm

Författarna till rapporten:

Lena Holm¹, Ararso Etana², Johan Arvidsson², Louice Lejon³, Marie Andersson³, Anton Lindesson³

¹Institutionen för biosystem och teknologi, SLU Alnarp

²Institutionen för mark och miljö, SLU Uppsala

³Examensarbete, SLU

Nyckelord: Fasta körspår, CTF, bearbetningssystem, skörd, markstruktur

Errata till rapport

Fasta körspår – skördepotential och effekt på markstruktur

Lena Holm¹, Ararso Etana², Johan Arvidsson², Louice Lejon, Marie Andersson

¹Institutionen för biosystem och teknologi, SLU Alnarp

²Institutionen för mark och miljö, SLU Ultuna

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Rapport 2017:13

ISBN 978-91-576-8944-3

Alnarp 2017

Ändringar gjorda 2018-01-23

Tillägg markeras med understruken text.

Strykningar markeras med ~~genomstruken~~ text.

Följande ändringar behöver göras:

s. 29 under rubrik ”Skörd”, stycke 1, rad 4: Skillnaden var i genomsnitt 5 % (ej signifikant), till fördel för grund bearbetning.

s. 29 under rubrik ”Skörd”, stycke 3, rad 3: De genomsnittliga medeltalen var 1 medeltal gav CTF spår signifikant lägre skörd än spårfritt, med medeltal 88 respektive 103.

s. 30, Tabell 5: Tabell och tabelltext ersättes med nedanstående:

Tabell 5. Skörd på Lönnstorp 2011-2016, kg/ha och relativt för led B-H i förhållande till led A (= 100). Bokstäver anges vid signifikanta skillnader. Olika bokstäver vid siffror visar signifikanta skillnader mellan leden eller mellan spårfri och spår. Medeltal för CTF spårfri och spår beräknades för led D, E och G i relation till A, B respektive C. Höga signifikansnivån är (probvärde = 0,001) 2013 beror på direktsådda led, som gav mycket låg skörd pga. lågt plantantal till följd av dålig etablering samt angrepp av åkersnigel. Direktsådda led ingår inte i medeltal för CTF spårfri och spår år 2013

År	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Medeltal
Gröda	H-vete	Korn	H-raps	H-vete	Korn	H. raps	
A=djup PF, slumpvis kg/ha	7610	10180a	4400a	11100	8310	4430	100
B=grund PF, slumpvis	113	97ab	110a	99	102	110	105
C=direktsådd, slumpvis	112	98ab	29b	104	104	92	102
D0=djup PF, CTF, spårfri	115	100a	103a	98	103	87	101
D1=djup PF, CTF, spår	117	94bc	101a	101	103	93	102
E0=grund PF, CTF, spårfri	109	92bc	99a	103	106	96	101
E1=grund PF, CTF, spår	114	100a	102a	105	106	87	102
F0=gr. PF, CTF, djupl., spårfri	120	94bc	110a	102	103	93	104
F1=gr. PF, CTF, djupl., spår	113	92bc	103a	102	108	88	101
G0=direktsådd, CTF, spårfri	109	90c	75a	104	101	90	99
G1=direktsådd, CTF, spår	102	87c	22b	103	95	91	96
H=plöjning, RTF, slumpvis	113	100a	112a	102	104	87	103
Probvärde	0,08	0,007	0,001	0,98	0,83	0,78	0,99
Medeltal, CTF, spårfri	113	94	104	102	103	92	101
Medeltal, CTF, spår	112	93	102	103	103	90	100
Probvärde	0,69	0,83	0,57	0,55	0,94	0,49	0,72

s. 30, Tabell 6: Tabell och tabelltext ersättes med nedanstående:

Tabell 6. Skörd på Säby 1 2011-2016, kg/ha och relativt för led B-H i förhållande till led A (= 100). Bokstäver anges vid signifikanta skillnader. Olika bokstäver vid siffror visar signifikanta skillnader mellan leden eller mellan spårfri och spår. Medeltal för CTF spårfri och spår beräknades för led D, E och G i relation till A, B respektive C.

År	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Medeltal
Gröda	Korn	Vårraps	Korn	H-vete	Korn	Vårvete	
A=djup PF, slumpvis kg/ha	4180b	2990	4420	7640	5930	5980	100
B=grund PF, slumpvis	107b	115	109	107	99	97	106
C=direktsådd, slumpvis	100b	109	85	107	100	98	100
D0=djup PF, CTF, spårfri	100b	102	89	106	104	107	101
D1=djup PF, CTF, spår	112ab	121	91	109	106	111	108
E0=grund PF, CTF, spårfri	99bc	92	83	105	108	98	98
E1=grund PF, CTF, spår	110ab	104	101	104	109	99	105
F0=gr. PF, CTF, djupl., spårfri	92c	103	86	99	100	98	98
F1=gr. PF, CTF, djupl., spår	111ab	105	99	102	99	101	103
G0=direktsådd, CTF, spårfri	93c	101	89	98	101	98	97
G1=direktsådd, CTF, spår	110ab	100	89	106	100	100	101
H=plöjning, slumpvis.	124a	108	104	103	113	94	108
Probvärde	0,02	0,89	0,09	0,11	0,4	0,82	0,075
Medeltal, CTF, spårfri	96b	100	87b	102	103	100	98b
Medeltal, CTF, spår	111a	108	95a	105	104	103	104a
Probvärde	0,004	0,18	0,045	0,246	0,92	0,51	0,001

s. 31, Tabell 7: Tabell och tabelltext ersättes med nedanstående:

Tabell 7. Skörd på Lydinge 2011-2016, relativt i förhållande till slumpvis körning. Separat skörd i spår och i spårfria ytor skedde för hand. Olika bokstäver vid siffror visar signifikanta skillnader mellan leden

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Medeltal
Slumpvis	100ab	100ab	100a	100a	100a	100a	100a
CTF, spår	82b	94b	86a	98a	80a	80a	88b
CTF, spårfri	105a	113a	96a	105a	93a	101a	103a
Probvärde	0,032	0,033	0,48	0,83	0,085	0,199	0,001

s. 33, Figur 13. Tillägg till tabelltext: Statistisk jämförelse gjordes för respektive djup och signifikanta skillnader anges som olika bokstäver vid staplarna.

s. 34, Tabell 9. Tillägg till tabelltext: Statistisk jämförelse gjordes parvis (spår vs spårfri) inom varje bearbetningssystem och signifikanta skillnader anges som olika bokstäver vid siffror.

s. 36-38, Figur 17-20. Tillägg till tabelltext: Signifikanta skillnader mellan led anges som olika bokstäver vid staplarna.

s. 44, under rubrik "Diskussion", rad 10-11: Därför var skörden i genomsnitt över lag heller inte högre i CTF än vid slumpvis körning. På Säby 1 uppmättes t.o.m. 5,6 % signifikant högre skörd i spår än i spårfria ytor.

s. 44, under rubrik "Slutsatser", punkt 1: Det var signifikanta skillnader i packningstillstånd (skrymdensitet och vattengenomsläpplighet) mellan trafikerade och otrafikerade ytor i några led (trafikerade ytor var mer packade än otrafikerade) men packningsgraden var inte på en nivå som skulle orsaka skördeminskning.

s. 44, under rubrik "Slutsatser", punkt 3: Fordonsspår på Säby 1 har haft signifikant positiv effekt på skörden och indikerar att även plöjningsfri odling kan behöva en viss återpackning.

Sammanfattning

År 2010 startades försök med fasta körsspår (CTF; Controlled Traffic Farming) som skördadats sex gånger, med start 2011. Projektet innehåller två traditionella fältförsök på Säby 1 och SITES försöksstation Lönnstorp, samt storruteförsök i praktisk odling på Lydinge gård utanför Helsingborg. Resultaten från sex års försök visar inte på någon skördehöjning för system med fasta körspår jämfört med konventionell slumpvis körning. Skörden i körspåren har varit hög, i flera fall högre än för spårfria ytor. Det var signifikant mer packat i spår jämfört med spårfria ytor i några CTF-led, men generellt sett var packningen inte på en skadlig nivå (för hög). Snarare var packningen i spår nära optimalt för hög skörd. På Säby 1 finns istället en risk att etablering och tillväxt inte blir tillfredställande torra år pga. för lite återpackning i spårfria ytor, med vattenbrist som följd. Resultaten indikerar att även plöjningsfri odling kan behöva en viss återpackning.

Summary

In 2010, trials with controlled traffic farming (CTF; controlled traffic farming) were started and harvested six times, starting in 2011. The project includes two traditional field experiments at Säby 1 and at SITES field experimental station Lönnstorp, as well as a large plot on farm trial at Lydinge farm outside Helsingborg. The results from six years of trials do not show any yield increase for systems with CTF compared to conventional random traffic farming. The yield in the tracks has been high, in many cases higher than in track-free areas. It was significantly more compacted in tracks compared to track-free areas in some CTF treatments, but generally the compaction was not at a harmful level. The compaction in tracks rather were close to optimal for high yields. At Säby 1 there were instead a risk of not satisfying plant establishment and growth in dry years as a result of loose soil, with water shortage as a consequence. The results indicate that even ploughless tillage might need a certain recompaction for high crop yield.

Innehåll

Sammanfattning	1
Summary	1
Innehåll	2
Bakgrund	5
Syfte	7
Material och metoder	7
Traditionella fältförsök utlagda som randomiserade blockförsök	7
Försöksplan	7
Försöksskiss	8
Maskiner som användes på Lönnstorp	9
Maskiner som användes på Säby 1	10
Utförande	10
Växtföljd	12
Behandlingar under växtsäsongen	13
Maskinell skörd av rutorna (utan avkastningsmätning)	13
Halm	13
Markering av försök	13
Jordprov	13
Plantetablering	13
Stråstyrka	14
Handskörd för avkastningsmätning	14
Markfysikaliska mätningar	14
Väderdata	18
Storruteförsök på Lydinge	20
Försöksskiss	20
Starttidpunkt	20

Maskiner som användes	21
Utförande	22
Växtföljd	22
Behandlingar under växstsäsongen	23
Halm.....	23
Markering av storrutor samt mätytor däri.....	23
Jordprov	23
Plantetablering	24
Stråstyrka	24
Maskinskörd och handskörd för avkastningsmätning.....	24
Markfysikaliska mätningar	25
Väderdata	27
Statistisk analys.....	28
Resultat	29
Plantetablering	29
Skörd.....	29
Penetrationsmotstånd	31
Infiltration på Lydinge år 5	32
Skrymdensitet och mättad vattengenomsläpplighet.....	33
Turbiditeten hos aggregat	34
Datortomografi, Säby 1	35
Korrelationer markfysikaliska parametrar, Säby 1 år 3	38
Såbäddsundersökning	40
Infärgning av en markprofils porsystem	42
Diskussion.....	44
Slutsatser	44
Referenser	45
Andra publikationer inom projektet.....	48

Bakgrund

Storleksrationaliseringen inom lantbruket har under de senaste decennierna gått mycket snabbt, vilket lett till att traktorer och andra jordbruksmaskiner blivit större och större (Hamza & Anderson, 2005). Stora och tunga maskiner orsakar skadlig markpackning och effekterna av sådan skadeverkan blir kvar under många år (Raper, 2005). Trots möjligheten att luckra matjorden tar det upp till fem år för detta skikt att återställas men packning i alven kvarstår i decennier (Håkansson, 2000). Ett sätt att minimera skadeverkan är att koncentrera all trafik till samma spår, så kallade fasta körspår. Internationellt benämns detta koncept Controlled Traffic Farming (CTF) (Hamza & Anderson, 2005; Raper, 2005). Då delas fältet in i odlingszon och trafikzon. Med fasta körspår som är permanenta även mellan åren, är syftet att skapa optimala odlingsförhållanden på så stor del av fältet som möjligt. Utan trafikeras ofta över 60 % av fältets yta vid minimerad bearbetning (2-3 överfarer) och över 100 % vid konventionell bearbetning under en odlingssäsong. Med CTF kan detta ofta reduceras till 20 % av åkerarealen (Hamza & Anderson, 2005).

Idag finns en stark internationell trend att minska bearbetningsintensiteten. Odling med direktsådd är kraftigt på frammarsch internationellt, framförallt i Brasilien, Argentina, Paraguay, USA och Kanada (Roberts & Johnston, 2007). CTF minskar behovet av luckring och därmed också bearbetningsbehovet. Därför passar CTF bäst vid reducerad bearbetning eller direktsådd. Eftersom CTF går ut på att skapa så stor ofrafikerad yta som möjligt passar plogen med sin relativt smala arbetsbredd inte särskilt väl i konceptet. För att hela tiden återkomma till samma spår är användning av autostyrning med hög precision (RTK-GPS) en stor fördel (Tullberg *et al.*, 2007).

Experiment med CTF har utförts av forskare i olika länder och miljöer sedan 1960-talet som en lösning på markpackningsproblematiken. Försök med CTF har bl.a. gjorts i USA med vete (Gerik och Morrisson, 1985), korn och sojabönor (Logsdon *et al.*, 1999) och sorghum (Unger, 1996) samt för att undersöka koldioxid och vattenförluster (Reicosky *et al.*, 1999). Försök har även gjorts i Kina (Bai *et al.*, 2009), Nederländerna (Lamers *et al.*, 1986), Australien (McPhee *et al.*, 1995; Tullberg *et al.*, 2001; Tullberg *et al.*, 2007) och Danmark (Green, 2009; Pedersen, 2009). CTF-försök med vete, majs och sorghum i Australien med olika intensiv bearbetning gav i medeltal 14 % högre skörd med CTF än utan (Tullberg *et al.* 2001). Ett annat CTF-försök i Australien med spannmål gav i genomsnitt 9,4 % högre skörd (Li *et al.*, 2007). McPhee *et al.* (1995) fann en signifikant ökad skörd med CTF jämfört med utan

CTF vid bara en utav de fyra skördeåren. I Storbritannien fick man 18,4 % högre skörd av vete under ett vått år på ofrafikerade ytor jämfört med konventionellt trafikerade ytor. Ingen signifikant skillnad i skörd kunde dock påvisas under det andra försöksåret som var ett torrt år med odling av havre (Chamen *et al.*, 1992). I en svensk studie med vinschning fick man över 10 % skördeökning i ofrafikerade jämfört med konventionellt trafikerade ytor (Håkansson, 1988). Citerad i Chamen *et al.*, 1992). Vid samma jämförelse gav en brittisk undersökning 18,4 % respektive 0 % skördeökning under två på varandra följande år med olika nederbörds mängd.

Mindre packad jord kräver mindre bränsle för bearbetning (Hamza & Anderson, 2005). På odlingsytorna skapas efter ett tag en förbättrad markstruktur med stabilare aggregat och en större andel stora porer. Detta ger en ökad vattentillgänglighet för växterna (McHugh *et al.*, 2009), med en minskad risk för erosion och avrinning som följd (Tullberg *et al.* 2007). I ett försök av Li *et al.* (2007) var den årliga avrinningen 30,5 % lägre (Tullberg *et al.*, 2001) respektive 36,3 % lägre i led med CTF än led med slumpvis körning. I en mera lucker jord förbättras också rotutvecklingen (Hamza & Anderson, 2005), vilket leder till en ökad förmåga hos växterna att ta upp näring från djupare marklager. Detta minskar risken för näringsläckage (Håkansson, 2000) och det är möjligt att gödselgivan kan sänkas något. Det finns också rapporter om ett minskat utsläpp av växthusgasen N₂O vid tillämpning av CTF (Hamza & Anderson, 2005).

På senare år har CTF spridits på olika håll i världen i det praktiska jordbruket. CTF har t.ex. spridit sig till alla Australiens delstater och år 2007 brukades där en areal med CTF som troligen översteg 2 miljoner hektar (Tullberg *et al.*, 2007). År 2004 startade en internationell erfarenhetsgrupp, CTF Europe, som år 2012 hade 416 medlemmar varav 100 från Danmark och 26 i Sverige. Av vad lantbrukare rapporterat in till CTF Europe så tillämpades år 2012 CTF på 29 gårdar i Europa (27850 ha), varav 4 gårdar i Sverige (3900 ha) samt 4 gårdar i Danmark (6700 ha). Vidare rapporterades det in att ytterligare 4500 ha i Sverige och 6400 ha i Danmark planerade att övergå till CTF-system. Därutöver tillkommer gårdar och areal som inte är kända utav CTF Europe. Detta visar lite av det intresse som börjar väckas hos lantbrukarna för CTF (Pedersen, 2012).

Att konvertera till ett CTF-system kräver en del planering då målet är att hela maskinparken har arbetsbredder och spårvidder som passar ihop (Chamen, 2007). Det finns dock olika grader av hur strikt CTF-konceptet tillämpas. En fördel med CTF är lägre energiförbrukning (Hamza & Anderson, 2005).

Syfte

Före starten av detta projekt saknades försöksresultat för svenska förhållanden. Det är troligt att den potentiella skördeökningen (om en sådan finns) skiljer sig mellan exempelvis svenska och australiensiska förhållanden, då man utgår från betydligt högre skördenivåer i Sverige. Skillnader i klimat och jordförhållanden är också stora. Av denna anledning är det inte säkert att utländska forskningsresultat är applicerbara på svenska gårdar, utan nationella försök är nödvändiga. Projektets syfte var att renodla effekten av att koncentrera körspåren jämfört med slumpvis körning i annars likvärdiga bearbetningssystem.

Material och metoder

Försöken var fastliggande i sex år för att studera långsiktiga effekter. Projektet genomfördes med två typer av försök med fasta körspår (CTF): traditionella fältförsök utlagda som randomiserade blockförsök, samt storruteförsök utlagda hos en lantbrukare som tillämpar fasta körspår. Försöken lades ut hösten 2010 och skördades första gången 2011. De traditionella fältförsöken medgav test av flera led och konventionell statistisk bearbetning av resultaten. Försök med storrutor är statistiskt mindre säkra men blir praktiska test utförda i full skala.

Traditionella fältförsök utlagda som randomiserade blockförsök

Försöksplan

Försöken är konstruerade som tvåfaktoriella försök, med faktorerna bearbetning och trafikeringssätt (slumpvis körning/CTF spår/CTF spårfri). Följande led ingick i fyra block:

A = djup plöjningsfri odling (15-20 cm), slumpvis körning

B = grund plöjningsfri odling (5-10 cm), slumpvis körning

C = direktsådd, slumpvis körning

D = djup plöjningsfri odling (15-20 cm), CTF

E = grund plöjningsfri odling (5-10 cm), CTF

F = grund plöjningsfri odling (5-10 cm), CTF, efter djupluckring

G = direktsådd, CTF

H = plöjning, slumpvis körning

Plöjning passar inte in naturligt tillsammans med fasta körspår, men ingick för att få en stor spännvidd i markstrukturillstånd för att garantera att vi skulle kunna uppmäta skillnader mellan led. Inte heller djup bearbetning i plöjningsfri

odling är helt kompatibelt med fasta körspår eftersom det minskar redskapens arbetsbredd och dessutom kommer luckringsbehovet att minska i den otrafikerade marken. Systemet togs ändå med för att få en stor spännvidd i markens strukturtillstånd. Ett led med djupluckring i samband med anläggningen av fasta körspår ingick för att studera vilket initialtillstånd som är lämpligt vid övergången.

Ett försök lades ut på Säby 1, Ultuna egendom (styv lera), 4 km sydost om Uppsala och ett på SITES forskningsstation Lönnstorp (moränlättilera), 9 km nordost om Malmö.

Försöksskiss

Säby 1:

Plannummer: R2-7120

Försöksnummer: CX-768-2010

Parcellerna var 9 meter breda och 20 meter långa, utom led A, B och H, som var 12 m breda för att tillåta diagonalkörning. Mellan block I-II samt block III-IV var det 20 meter vändteg. Försöksytan var totalt 162*60 meter, exklusive vändteg runt försöket.

III IV
HBADEFGC*HBEGCDAF*

I II
*EDAHBGCF*ECGHADBF*

Lönnstorp:

Plannummer: R2-7120

Försöksnummer: MX-225-2010

Parcellerna var 9 meter breda och 24 meter långa, utom led A, B och H, som var 12 m breda för att tillåta diagonalkörning. Mellan block I-II samt block III-IV var det 18 meter vändteg. Även runt försöket var det 18 meter vändteg. Försöksytan var totalt 162 * 66 meter, exklusive vändteg runt försöket.

III IV
HBADEFGC*HBEGCDAF*

I II
*EDAHBGCF*ECGHADBF*

Maskiner som användes på Lönnstorp

Till grund bearbetning (5-10 cm): 3 meters Väderstad Cultus kultivator med stela pinnar. Ingen ytterligare harvning före sådd.

Till djup bearbetning (15-20 cm): 3 meters Väderstad Cultus kultivator med stela pinnar för god djuphållning. Ingen ytterligare harvning före sådd.

Plog: Kverneland 3-skärig växelplog (år 1-4) och Kverneland 4-skärig växelplog (år 5-6)

Såbäddsberedning: 6 meters Väderstad NZ A harv. 2 överfarter innan sådd i plöjt led (H) enbart.

Sådd: 3 meters Väderstad Rapid med system disc. Skivbillmaskin med tallrikar som förredskap. Förredskapet användes i alla led utom vid direktsådd (Figur 1).

Traktorer: Massey Ferguson 6475 med en total maskinvikt om 5400 kg och Claas Arion 630C med en total maskinvikt om 6500 kg. Båda hade 650-65-R38 däck (65 cm breda) och 1-1,5 bars ringtryck. Avstånd mellan höger och vänster däck (spårfri bredd) var 120 cm. I första hand användes Claastraktorn till plöjning och sådd och MF-traktorn till kultivering och harvning r

Vält: Ingen vältning utfördes i någon av behandlingsleden

Tröska: Konventionell 17-fots tröska av märket Claas Dominator 76. Avstånd mellan höger och vänster däck (spårfri bredd) var. 179 cm. 18,4 tums däck (46 cm breda), 1,8 bars ringtryck och en total maskinvikt om 8800 kg.



Figur 1. Sådd av försöket på Lönnstorp (foto: Lena Holm)

Maskiner som användes på Säby 1

Till grund bearbetning (5-10 cm): 3 meters Väderstad Cultus, 2 ggr 10 cm

Till djup bearbetning (15-20 cm): 3 meters Väderstad Cultus, 1:a 10 cm,
2:a 20 cm

Plog: Överum 3-skärig växelplog

Såbäddsberedning: 6 meters Väderstad harv NZ H

Sådd: 3 meters Väderstad Rapid med system disc. Skivbillmaskin med tallrikar som förredskap. Förredskapet användes i alla led utom vid direktsådd.

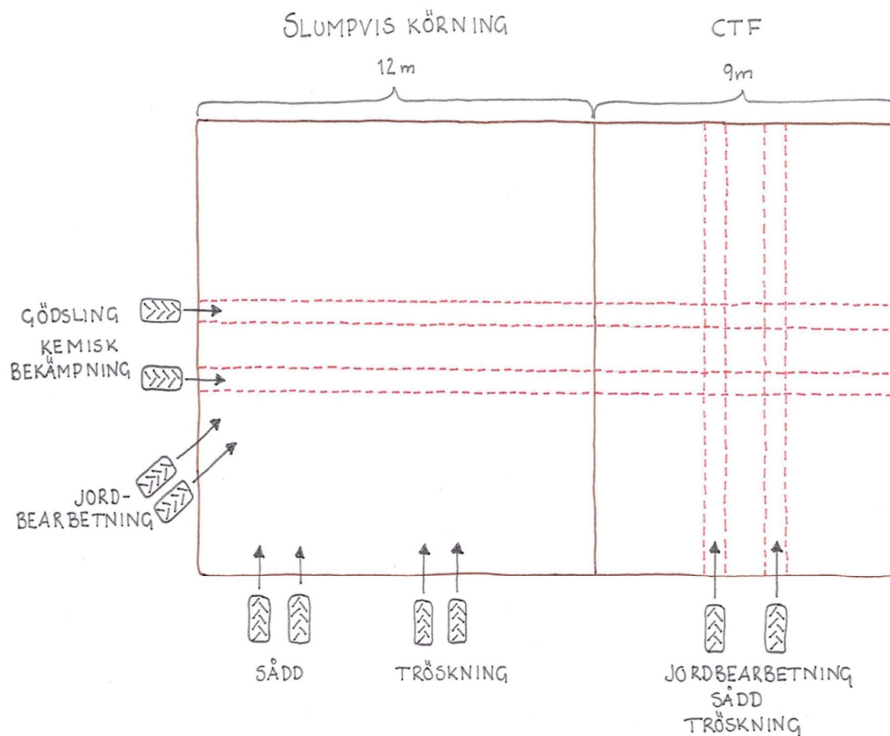
Traktorer: Massey Ferguson 6290 med en totalvikt om 5500 kg samt, till djup kultivering, en Massey Ferguson 6490 med en total vikt om 6800 kg. Däck bak Michelin (650/65 R38X M108), fram 540/65 R28 X M 108; däcktryck vid enkelmontage (CTF) var 0,8 bar; dubbelmontage (slumpvis körning) 0,4 bar bak och 0,6 bar fram. Avstånd mellan höger och vänster däck (spårfri bredd) var 120 cm; avstånd mellan dubbelmontage var 18 cm.

Vältning: Enbart i led H, 2 överfarter med 6 meters Väderstad Carrier

Tröska: Konventionell 13 fots New Holland TC52 med däck av märket Good Year Super traction; fram 58 cm breda (23.1/R26), bak 31 cm breda (12.5/80-18), 1,7 bars ringtryck och en total maskinvikt om 7000 kg. Avstånd mellan höger och vänster däck (spårfri bredd) var 172 cm.

Utförande

Överfarterna i de två trafikeringssystemen illustreras i Figur 2 och förklaras vidare nedan. Antalet överfarter i jämförbara led med slumpvis körning respektive CTF, ex. led A och D var samma. Årets förutsättningar fick avgöra antalet överfarter i varje ”ledpar”. Med 9 respektive 12 meter breda parceller fanns det tillräckligt med korrekt bearbetade ytor för mätningarna även om yttersta metern inte skulle blivit ordentligt bearbetad eller om ex. harvningen gått in i grannparcellen.



Figur 2. Schematisk bild över fältoperationerna i försöket. I parceller med CTF utfördes jordbearbetning, sådd och tröskning i samma körspår. I parceller med slumpvis körning spreds dessa fältoperationer medvetet ut över hela ytan. Gödsling och sprutning gjordes vinkelrätt mot parcellriktningen (bild: Louice Lejon).

I system med slumpvis körning; led A, B, H (12 m breda) samt led C (9 m bred): Plöjning gjordes i parcellriktningen. Jordbearbetning gjordes på diagonalen (vändning på vändteg). Sådd och tröskning skedde i parcellriktningen, men kördes avsiktligen i olika spår. Vältning gjordes enbart i led H på Säby 1, eftersom plöjningen rev upp jordklumpar. Vältningen gjordes före sådd med två drag. Ingen vältning gjordes på Lönnstorp. Dubbelmontage användes vid vårbearbetning samt vid vårsådd på Säby 1 men inte på Lönnstorp, enkelhjul vid övriga överfarter. Harvning gjordes med svag diagonal med två drag vid varje överfart. Sprutning samt gödsling med gödnings-spridare gjordes vinkelrätt mot parcellriktningen i spår som löpte genom alla parceller. Samma spår användes för spruta och gödnings-spridare. Tröskan kördes igenom alla parceller, även om det inte finns något att tröska. Detta för att få packningseffekten. Varje parcell belastades alltså med minst ett tröskdrag där tröskans båda hjul var minst 1,5 meter från parcellkanten. För att få så lika packningseffekt som möjligt i alla parceller så var målsättningen att ha halvfull tank på tröskan, vilket krävde tömning emellanåt. Tröskdragen fick inte köras

på samma plats från år till år, utan förflyttades något. Tröskning skulle normalt inte heller göras i samma spår som för såmaskinstraktorn.

I CTF-system; led D, E, F, G (9 m breda):

I systemet med fasta körspår gjordes alla körningar med enkla hjul för att minimera spårbredden. Jordbearbetning, sådd och tröskning utfördes i parcellriktningen i samma spår. Vid första harvningen kördes ett drag i mitten av parcellen (vilket innebar att inte hela parcellens bredd bearbetas). Vid andra harvningen kördes två drag med harvens ytterkant i mitten av parcellen (vilket innebar att det blev 1,5 meter överlapp in i grannparcellen). Genom detta körsätt kom traktorspårerna från grund/djup bearbetning, harvning och sådd att bli gemensamma. Sprutning samt gödsling med gödnings-spridare gjordes vinkelrätt mot parcellriktningen i spår som löpte genom alla parceller. Samma spår användes för spruta och gödnings-spridare. Tröskan kördes igenom alla parceller, i alla körspår, även om det inte finns något att tröska. Detta för att få packningseffekten. För att få så lika packningseffekt som möjligt i alla parceller så var målsättningen att ha halvfull tank på tröskan, vilket krävde tömning emellanåt. Tröskan hade större spårvidd än traktorn. Tröskning gjordes därför med ett hjulspår samma som för traktorn och ett hjulspår utanför. I mittendraget i respektive parcell kördes tröskan så att traktor och tröska spårade i det spår som låg närmast försökets start. För de två dragen på sidorna i respektive parcell kördes tröskan så att den spårade med traktorn i det spår som låg närmast rutmitten. Första skörden på Lönnstorp kördes dock tröskan av misstag centrerat med traktorns centrum. Eftersom tröskhjulet på Lönnstorp var något smalare än traktorhjulet kördes tröskhjulet mitt i traktorhjulspåret. Det var tvunget att köra på detta sätt för att få tillräckligt breda mätytor.

Led F (grund plöjningsfri odling (5-10 cm), CTF, efter djupluckring) djupluckrades år 1 och 4. I övrigt behandlades det som led E.

Växtföljd

Lönnstorp: (förfrukt: höstraps) höstvetete – vårkorn – höstraps - höstvetete – vårkorn – höstraps

Säby 1: (förfrukt: okänd spannmål) vårkorn – vårraps – vårkorn – höstvetete – vårkorn – vårvete

Enligt plan skulle Säby 1 sås med samma växtföljd som Lönnstorp, men stora nederbördsmängder hösten 2010 samt 2012 omöjliggjorde höstsådd vid rätt tidpunkt. Året före försöket startade på Säby 1 plöjdes marken och spannmål

odlades. Det fanns inga särskilda krav på utsädet för försöken, utan försöksvärdarnas eget utsäde användes.

Behandlingar under växtsäsongen

Gödsling, ogräs-, skadedjurs- och svampbekämpning samt tillväxtreglering och stråförkortning utfördes som på fältet i övrigt eller efter behov. Alla led fick samma behandling.

Maskinell skörd av rutorna (utan avkastningsmätning)

Maskinell skörd utfördes för att avlägsna grödan och för att erhålla packningseffekten av överfarten.

Halm

Halmen hackades och spreds jämnt med tröskans halmhack.

Markering av försök

Det fanns ingen GPS-utrustning på maskinerna och inte heller någon handhållen GPS, utan alla mätningar och maskinöverfarter mättes ut för hand med måttband. Varje block märktes ut med fixerade punkter (nedslagna järnrör) varifrån parcellgränser och hjulspår alltid mättes ut.

Vid alla överfarter mättes kördragets mitt ut och markerades så att föraren kunde köra efter detta. Eftersom maskinbredderna i försöken inte alltid var helt kompatibla och olika breda däck användes fick ytor i CTF-led mätas fram med måttband där det var säkert att all trafik gått för att sedan utföra mätningar där.

Mätningar gjordes aldrig i sprutspåren som gick tvärs över parcellerna. På Lönnstorp gjordes aldrig mätningar på de yttersta 1,5 meterna av parcellerna där det fanns risk för överlappande bearbetning från intilliggande parcell.

Försöksparcellerna delades upp i olika zoner där markfysikaliska mätningar som riskerade att störa andra markfysikaliska mätningar fick sin egen zon.

Jordprov

Ett matjordsprov per försöksplats togs ut för jordartsbestämning inför starten av försöken år 1 på Lönnstorp och efter slutskörd år 6 på Säby 1. Jorden på Lönnstorp var en mmh Mä LL med 17 % lerhalt och 2,6 % organisk substans. Jorden på Säby 1 var en mmh SL med 50 % lerhalt och 4,1 % organisk substans.

Plantetablering

Varje år bestämdes plantantalet vid full uppkomst efter sådd. För raps bestämdes plantantalet även på våren. Planträkningen gjordes i en ram som var

0,5*0,5 meter eller på motsvarande yta längs en plantrad. I led med slumpvis körning lades ramen ut slumpmässigt på fyra ställen, minst 2 meter från gränsen mot annan parcell samt några meter in från parcellens kortsida. I CTF-led lades ramen ut fyra gånger i mittersta körspårsparet i det spår som tröskan går i för mätning i spåryta. För mätning i spårfri yta placerades ramen ut fyra gånger i utrymmet mitt i mellan spåren i det mittersta körspåret, dvs. ”under traktorn”.

Stråstyrka

Graderades inte.

Handskörd för avkastningsmätning

Försöksmässig skörd gjordes för hand genom klippning. I led med fasta körspår skördades dels i de spår där tröskan gått, dels i spårfri yta i mitten av rutan. I led med slumpvis körning gjordes slumpvis utläggning av två skörderutor à 0,5 m² som vid skörd slogs samman till ett prov för urtröskning och vägning. I led med fasta körspår skördades två rutor à 0,5 m² (som slogs samman till ett prov) i spår och två rutor à 0,5 m² (som slogs samman till ett prov) i spårfri yta. Ibland användes en mindre skörderuta, 0,25 m², men då ökades antalet delprov så att den totala skördade ytan alltid blev minst 1 m². För raps skördades dubbel yta (totalt 2 m²) vissa år. Proverna urtröskades och rensades. Våta prov torkades ner till lagringsdugliga prov. Totalvikten från varje parcell vägdes. Därefter togs prov ut ledvis för analys av vikt, vattenhalt samt proteinhalt.

Vid handskörd användes en ram som var 4 cm bredare än tröskans hjul på Lönnstorp. Avvikelsen fick accepteras för att det skulle vara praktiskt möjligt att klara av handskörden.

Markfysikaliska mätningar

Skillnader i markens fysikaliska egenskaper byggs upp över tid. Därför utfördes omfattande mätningar under det tredje och sjätte försöksåret. De markfysikaliska mätningarna utfördes i olika delar av parcellerna så att de inte påverkade varandra.

Penetrometermätningar gjordes i samtliga led, i spår och spårfri yta med en Eijkelkamp penetrologger. Detta utfördes efter sådd för att få med packningen vid sådd. Vid vårsådd utfördes det innan grödan blivit så stor att den transpirerade mycket, vilket skulle kunna ge skillnader i fuktighet mellan leden. För höstsådd kunde mätningar göras höst eller vår. Tryckhastighet 2 cm/s användes och kon 1,0 cm² 60°.

I CTF-led gjordes 10 slumpvisa stick i spår och 10 slumpvisa stick till fullt djup i spårfri yta. I led med slumpvis körning gjordes 10 slumpvisa stick i parcellen. Mätning gjordes om möjligt till 50 cm djup, men fick avbrytas tidigare om det var alldeles för besvärande stenförekomst. Mätningarna gjordes alltid till minst 25 cm djup.

Skrymdensitet och mättad vattengenomsläpplighet bestämdes tredje och sjätte försöksåret genom provtagning med cylindrar som var 5 cm höga och 7,5 cm i diameter på djupet 10-15 cm. Det översta 10 cm av marken grävdes bort innan cylindrarna slogs ner med en särskild cylindernedslagare. Cylindrarna slogs ner så långt att de blev helt fyllda med jord, men utan att jorden kompakterades av cylindernedslagaren. För att få ett så ostört prov som möjligt så slogs alla cylindrar ner innan upptagningen startade och cylindrarna togs ut med extra jord runt och skars sedan rena, se Figur 3 och 4. Om sten uppmärksammades i provet så ersattes det med ett nytt prov. Om en mindre mängd jord saknades i cylindern så tillfördes det försiktigt i cylindern. Efter upptagning och renskärning sveptes proverna in i plastfolie för att de skulle hålla ihop samt bevara fukten. Efter provtagningen i fält så förvarades proverna tredje året i kyl, 4-5 grader, för att göra eventuella maskar i proverna inaktiva eftersom dessa annars skulle riskera att förstöra proverna. År sex sattes istället proverna i värmeskåp, 60 grader, över natten så att maskarna dog.



Figur 3. Cylinder med extra jord (foto: Lena Holm) Figur 4. Renskärning (foto: Lena Holm)

I varje ruta togs 4 cylindrar (delprov) ut från en provplats per behandling (slumpvis körning/CTF spår/CTF spårfri). För uttagning av cylindrar i CTF

spår grävdes en grop per ruta längs spåret där fyra cylindrar kunde tas ut. För uttagning i CTF spårfri så grävdes istället en grop tvärs körriktningen där de fyra delproven kunde tas ut. År 3 togs prover ut i alla led i de två försöken utom i led F på Lönnstorp. År 6 togs prover i de två försöken ut i led D, E och G. Mätningarna på proverna utfördes i laboratorium. Först mättes den mättade genomsläppligheten (även kallad hydraulisk konduktivitet) och därefter skrymdensitet på samma prov. För genomsläpplighetsmätningar så vägdes alla proven enskilt efter att plastfolien avlägsnats. Därefter placerades ett filterpapper på respektive provs undersida och ovanpå detta en tunn tygbit som hölls fast med ett gummiband. På provets ovansida lades ett lock för att minimera avdunstningen från provet. Proverna vattenmättades sedan långsamt under en veckas tid genom att de placerades i en låda där vatten tillfördes stegvis under lång tid. Genom långsam och stegvis vattentillförsel så kunde provets luft avgå så att alla porer blev vattenfyllda. Vattenmättnaden skedde genom kapillär uppsugning. Efter en veckas blötläggning så mättes genomsläppligheten med konstant tryckhöjd i en genomsläpplighetsmätutrustning på institutionen för mark och miljö, SLU Uppsala. Vatten tilläts att passera genom proverna under 60 minuter och samlades upp undertill för avläsning i mätglas. Om 80 ml vatten samlades upp innan 60 minuter passerat, så avlästes tiden då 80 ml passerat provet. Den hydrauliska konduktiviteten är ett mått på volym per tidsenhet som transporterats genom jordprovet (Formel 1). Skrymdensiteten (Formel 2) erhöles genom att väga det volymbestämda torra jordprovet och dividera vikten med cylinderns volym. För att få provet torrt så placerades de vattenmättade proverna efter genomsläpplighetsmätningen i 105 grader under ca 3 dygn. Proverna fick svalna under plastskivor för att förhindra att de drog till sig fukt från den omgivande svalare luften.

$$-K = (V \cdot T_{\text{kor}} \cdot dx) / (t \cdot A \cdot dH) \quad \text{Darcy's lag} \quad (1)$$

K = hydraulisk konduktivitet (m/s)

V = Volym vatten (m³)

T_{kor} = korrigerad temperatur på vatten (°C)

dx = provlängd (m)

t = tid (s)

A = cylinderns tvärsnittsarea (m²)

dH = vattenpelare (m)

Torr skrymdensitet (g/cm^3) = torra jordens vikt (g)/cylinderns volym (cm^3). (2)

Provtagningen och mätningarna i laboratorium år 3 beskrivs mer detaljerat i Andersson (2013) för Lönnstorpsförsöket och Lejon (2014) för Säby 1 försöket. Samma laboriemetod användes för proverna år 6.

Turbiditeten hos aggregat undersöktes år 6 på Säby 1. Turbiditet är ett av flera mått på aggregatens hållfasthet. På Lönnstorp var lerhalten för låg för att detta test skulle vara genomförbart. Turbiditeten bestämdes i både vått och torrt tillstånd. En gynnsam struktur medför att hållfastheten är låg i torrt tillstånd medan den är hög i vått tillstånd. Turbiditet eller grumlighet är en optisk egenskap som uppstår när ljus bryts vid passage i en vätska. För att uppskatta vätskans grumlighet bestämmer man ljusbrytning i 90° med en apparat som kallas för turbidimeter. Ju grumligare vätskan är desto mer ljusbrytning. Sambandet mellan grumlighet och lerkoncentration i en vätska har visat sig vara linjärt (Czyz *et al.*, 2002). Vatten applicerades med regnsimulator (ca 13 mm/timme) på 100 g lufttorkat aggregat i storleken 2-5 mm i en burk med stålnät i botten. Under två timmar samlades vätskan. Regnsimulering med uppsamling av vätska upprepades efter ca 24 timmar. Grumligheten mättes i Hatch turbidimeter. Stabila aggregat motverkar att lerpartiklar lossnar från aggregaten vid regnsimulering, vilket leder till att grumligheten i provet begränsas, med mindre ljusbrytning (turbiditet) som följd.

Bestämning av makroporositet med hjälp av datortomografi utfördes på en del av cylinderproverna från Säby 1 år 3 som också användes för bestämning av skrymdensitet och genomsläpplighet. 2 prov per försöksruta från led B, C, D spår), E (spår och spårfri), G (spår och spårfri) och H scannades i en datortomograf (skiktröntgen). Datortomografen som användes var en GE phoenix v/tome/v m. Metoden innebär att proven röntgas, vilket ger en tredimensionell bild av porsystemet. Genom analys av bilddatan var det möjligt att skilja mellan porer och fast material. Detta beskrivs i Lejon (2014).

Såbäddsundersökning utfördes på Säby 1 år tre och sex i led A, B, D, E och H. På Lönnstorp regnade det efter sådd både år tre och sex, varför inga mätningar gick att genomföra. Såbäddsundersökningen innefattar aggregatstorleksfördelning, bearbetningsdjup, högsta och lägsta punkten för markytan och bearbetningsbotten samt vattenhalt i såbädden. Från direktsådda parceller togs vattenhaltsproven på lös jord. Undersökningen följde den metod

som beskrivs i Kritz (1983), med undantag för att det ej var möjligt att få fram antalet kärnor i såbäddsanalysen.

Infärgning av en markprofils porsystem år 6 gjordes i en CTF-parcell på Säby 1 med färgämnet Brilliant Blue för att åskådliggöra vattentransport i profilen. Infärgningen gjordes med en utrustning som utvecklats vid dåvarande SBU (Sockerbetsutveckling) och som medger noggrann applicering av en bestämd mängd vatten och färgämne. Metoden beskrivs i Etana *et al.* (2013). Efter infärgningen grävdes en profil i marken, som fotograferades för att åskådliggöra transporten av färgämnet. Profilen gjordes så att den innehöll både spår och spårfri yta.

Väderdata

I Tabell 1 och 2 redovisas nederbörden i Säby 1 och Alnarp under de sex försöksåren. Hösten 2010 var för blöt för att möjliggöra sådd av höstvetete i Säby 1. Under 2011 och 2013 rådde försommartorka i Säby 1. 2011 var det hög nederbörd i augusti, år 2012 både i juni och augusti. 2015 hade maj hög nederbörd jämfört med normalt i Säby 1. På Lönnstorp var nederbörden extremt hög i augusti 2010. 2011 var ett år med hög årsnederbörd och en blöt sommar. Även 2014 och 2015 var år med hög årsnederbörd med en extremt hög nederbörd i augusti 2014 och en blöt oktober samma år.

Tabell 1. Nederbörd på Säby 1 under de sex odlingssäsongerna samt under referensperioden 1961-1990. Data för 2010-2016 är hämtat från SMHI station 20000 Ultuna och 1961-1990 från SMHI station 9749 Ultuna

År	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
2010	*	*	*	*	*	*	69	89	42	28	50	0
2011	36	10	13	12	21	57	11	105	64	61	23	62
2012	37	42	12	52	42	111	56	106	68	58	39	27
2013	22	21	1	50	11	48	16	48	48	63	52	48
2014	29	49	45	33	55	67	18	88	50	66	36	28
2015	64	25	39	10	70	36	56	8	61	5	62	38
2016	34	42	14	53	28	40	59	74	*	*	*	*
1961-1990	33,7	24,6	25,7	29,4	33,1	45,4	69,3	66,7	58,3	49,7	50,4	41,4

Tabell 2. Nederbörd på Lönnstorp under de sex odlingssäsongerna samt under referensperioden 1961-1990. Data för 2010-2016 är hämtat från SMHI station 635 Malmö och 1961-1990 från SMHI station 5235 Malmö A

År	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
2010	*	*	*	*	*	*	18	210	60	54	114	67
2011	53	37	28	25	62	91	153	131	44	39	11	66
2012	96	32	10	31	16	61	62	36	44	70	49	67
2013	62	29	10	18	40	96	23	37	56	68	82	67
2014	57	52	33	25	53	55	71	191	46	120	29	152
2015	101	21	64	33	42	57	85	53	77	19	143	92
2016	39	51	30	54	27	95	85	63	*	*	*	*
1961-1990	48,5	29,8	40,1	37,6	40,6	51,5	61,2	57,6	58,7	57,1	61,4	58,1

Storruteförsök på Lydinge

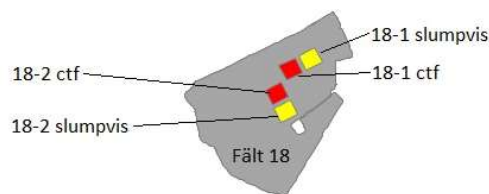
Försök med storrutor genomfördes på Lydinge gård, 12 km nordöst om Helsingborg. Systemet med fasta körspår (CTF) jämfördes med samma bearbetningssystem med slumpvis körning. Gården brukas sedan 2006 med reducerad bearbetning och fasta körspår.

Försöksskiss

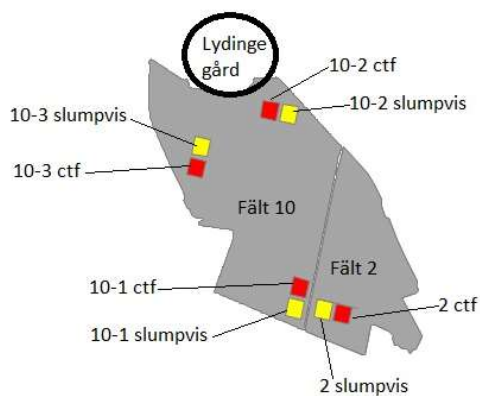
Plannummer: R2-7120-B

Försöksnummer: M-201-2011

Den slumpvisa körningen genomfördes i fem storrutor á 1 hektar (96 meter breda och 105 meter långa) i fält med fasta körspår. Dessa kan betraktas som block och medger därmed en statistisk bearbetning av materialet. Som



jämförelse definierades fem motsvarande CTF-rutor där mätningar utfördes, men som sköttes som CTF-fältet i övrigt. Inom varje block var det 24 - 25 m mellan de två försöksrutorna som jämfördes. Storrutorna låg fast från år till år. För rutornas placering, se Figur 5.



Block 10-1 utgick efter år 1 pga. ett arrende som upphörde och ersattes från skörden år 2 av block 18-2. Block 18-1 kallades block 18 under det första året.

Figur 5. Karta över storrutornas placering på Lydinge gård

Starttidpunkt

Försöken startade med höstbearbetning år 2010.

Maskiner som användes

Lydinge gård tillämpade ett system med fasta körspår kombinerat med grundplöjningsfri odling. Normalt bestod den grunda plöjningsfria odlingen av en överfart efter tröskning med kultivator med en påhängd Carrier vält för återpackning. Därefter sprutning med glyfosat innan sådd och en vältning efter sådd. Grundmodulen var 8 meter, vilket var kultivatorns och såmaskinens arbetsbredd. En Challenger 685 bandtraktor användes som dragare. Tröskan år 1 var 9 meter, men kördes på 8 meter. Från skörden år 2 användes istället en 12 meters bandtröska. Ett så kallat out-track system användes, där däckens eller bandens bredd kunde skilja mellan olika traktorer och tröskor, men mellanrummet mellan hjulen var alltid 210-220 cm. Det innebar att den inre halvan av respektive hjulspår (dvs. halvan närmst maskinernas mitt) alltid belastades av både traktorer och tröska.

Traktorer: Challenger 685 b bandtraktor, 690 mm breda band som ligger an på tre meter. Vikt 24500 kg. Användes alla år för jordbearbetning och sådd.

New Holland 8970, twindäck 700/60 med ringtryck 0,8 kg. Dubbelmontage vid jordbearbetning. Vikt 11500 kg. Användes alla år för vältning.

New Holland 8560, däck fram 540/65, bak 650/65. Vikt 6167 kg. Användes år 1 för sprutning och gödning.

Fendt 820, däck fram 600/65, bak 650/65. Vikt 7021 kg. Användes år 2-6 för sprutning och gödning.

Kultivator: 8 meters Horsch Terrano FG med en påhängd Väderstad Carrier vält bakom.

Vält: 12 meters Väderstad Rexius..

Såmaskin: 8 meters Horsch Air seeder bandsåmaskin. Däck 800/45. Många återpackande hjul längst bak. Vikt tom ca 10 ton.

Gödningsspridare: 24 meters Kongskilde Ving Jet rampspridare. Däck 800 mm breda på höst och tidig vår, 400 mm breda vid körning i hög gröda

Spruta: 24 meters Hardi Twin 3200 liters spruta. Däck 600 mm breda höst och tidig vår, 350 mm breda vid körning i gröda.

Tröska år 1: John Deere 9880. 9 meters skärbord, men kördes på 8 meter. Däck fram 1050 mm breda med ringtryck 1,2 kg, däck bak 600/65. Vikt tom ca 15 ton, full ca 25 ton.

Tröska år 2-6: 12 meters Claas 770 med bandställ. 770 mm breda band som ligger an med två meter mot mark. Tom vikt ca 20 ton, full ca 28 ton.

Spannmålsvagn 1, 900 mm breda däck (900/60). Axellast full ca 10 000 kg.

Spannmålsvagn 2, 720 mm breda däck (720/60). Axellast full ca 10 000 kg.

Utförande

Antalet överfarter var samma i rutor med slumpvis körning som för fältet i övrigt med CTF. Årets förutsättningar fick avgöra antalet överfarter.

Rutor med slumpvis körning: Sådd och sprutning utfördes i fältets ordinarie CTF-spår. Vid jordbearbetning och vältning sneddade föraren från ett körspår diagonalt över till ett annat (8 m), alternativt sneddade över två spår (16 m). Inom året spreds trafiken så att inte all jordbearbetning och vältning gick i samma spår. Detta var möjligt genom att dels lägga spåren i olika riktning samt att skiftesvis köra diagonalt över ett eller två körspår. På samma vis varierades även körspåren mellan åren. När trösken som hade tolv meters skärbord kom så blev det inte längre en trösköverfart inom varje 8 meters modul. För att kompensera för denna uteblivna körning med trösken så kördes spannmålsvagnen (följevagnen) i rutor med slumpvis körning på sned genom försöksrutan från ett 24 meters spår till nästa. Trösken kördes i såriktningen såsom fältet i övrigt. Detta gjordes dels för att bärigheten i fält vissa år inte möjliggjorde körning utanför de fasta körspår, dels för att det inte fungerade logistikmässigt med vändningar utanför rutan vid övergång till 12 meters tröskbredd. Ytorna med slumpvis körning var större än själva ytan för avläsningar och skörderegistreringar (1 ha) eftersom det vid diagonalkörning uppstår kilar som behöver fyllas igen och då inte blir representativa. Dessa kilar eller områden med överlapp skulle därför ligga utanför ytan för avläsningar och skörderegistreringar.

Rutor med CTF: Kördes såsom fältet i övrigt. Från skörden år 2 användes en 12 meters bandtröska, vilken kördes i sprutspåren samt i ett nytt spår mitt emellan sprutspåren, dvs inte i 8 metersspåren. Det samma gällde för 12 meters välten. Följevagnen till trösken kördes alltid i sprutspåren och vid tömning av trösken gick den av spåret 2 m (d.v.s. ena hjulet gick i 8 m spåret). Tömning av trösken skedde så långt det var möjligt utanför rutan. Över åren bör skillnaden i vilken del av rutorna som överfarits av följevagnen ha utjämnats.

Växtföljd

Försöksvärdens egen växtföljd användes. Det fanns inga särskilda krav på utsädet för försöken, utan försöksvärdarnas eget utsäde användes.

Behandlingar under växtsäsongen

Gödning, ogräs-, skadedjurs- och svampbekämpning samt tillväxtreglering och stråförkortning utfördes som på fältet i övrigt eller efter behov. Båda rutorna inom ett block fick samma behandling.

Halm

Halmen hackades och spreds jämnt med tröskans halmhack.

Markering av storrutor samt mätytor däri

Rutorna markerades i traktorns och tröskans kördator. Samma kartor lades i en handhållen GPS som vid avläsningar och handskörd användes för att hitta rutgränserna. Försöket var inte fysiskt utmarkerat i fält.

För navigering i fält vid mätningar användes en hand-GPS med minst 5 meters noggrannhet för att hitta till försöksrutorna. För att hitta rätt inom försöksrutorna fick vi mäta oss fram utifrån de osådda sprutspåren. Om grödan inte kommit upp så att körspåren syntes efter sådden, fick en traktor köras i sprutspåren så att dessa blev synliga. I körriktningen på fältet gjordes aldrig mätningar på de första 5 metrarna från rutgränsen pga. hand-GPSens osäkerhet. Rutans avgränsades tvärs körriktningen av synliga permanenta osådda sprutspår, varför ingen osäkerhet i rutans exakta gräns genom begränsande GPS-noggrannhet fanns där.

Eftersom maskinbredderna i försöken inte alltid var helt kompatibla och olika breda band samt däck användes fick ytor i CTF-rutorna mätas fram med måttband eller famnmått där det var säkert att all trafik gått för att sedan utföra mätningar där.

Inga mätningar gjordes i de osådda sprutspåren. Vid mätning i spår i CTF-rutorna så gjordes detta i 8 meters spåren. Vid mätning i spårfri yta i CTF-rutorna undveks 12 meters tröskspåren.

Jordprov

Ett matjordsprov per försöksplats togs ut för jordartsbestämning (Tabell 3). I block 18-1 och 18-2 togs proverna år 3 och i övriga block togs proven ut efter att försöken slutskördats år 6.

Tabell 3. Jordarter i storrutorna på Lydinge

Storruta	Jordart	Lerhalt (%)	Org. substans (%)
10-1 CTF	mmh SL	56	4,2
10-1 slumpvis körning	mmh SL	40	3,7
10-2 CTF	mmh SL	47	4,9
10-2 slumpvis körning	mmh SL	59	5,1
10-3 CTF	mmh ML	36	5,5
10-3 slumpvis körning	mmh ML	37	4,9
2 CTF	mmh SL	50	5,1
2 slumpvis körning	mmh SL	54	4,9
18-1 CTF	nmh ML	37	2,6
18-1 slumpvis körning	mmh ML	37	3,5
18-2 CTF	mmh ML	34	3,0
18-2 slumpvis körning	mmh ML	34	3,0

Plantetablering

Varje år bestämdes plantantal vid full uppkomst efter sådd. För raps bestämdes plantantalet även på våren. Planträknningen gjordes i en ram som var 0,5*0,5 meter eller på motsvarande yta längs en plantrad.

I led med slumpvis körning lades ramen slumpmässigt ut på sex ställen i storrutan, minst 5 meter från rutgränsen (eftersom hand-GPSen inte var noggrannare än så). Ramen fick dock inte läggas i de osådda fasta sprutspåren.

I led med CTF lades ramen ut slumpvis sex gånger i spår för mätning i spåryta, dock inte i de osådda sprutspåren. Vid mätning i spår användes alltid spårhalvorna närmst maskinernas mitt, där all trafik gått. För mätning i spårfri yta placerades ramen ut sex gånger på slumpvis vald spårfri yta. Inga avläsningar gjordes närmre än 5 meter från en rutgräns eftersom hand-GPSen inte var noggrannare än så.

Stråstyrka

Stråstyrkan bedömdes inte.

Maskinskörd och handskörd för avkastningsmätning

Skörden bestämdes med hjälp av skördekartering med gårdens tröska. Kompletterande skörd utfördes för hand, framförallt för att bestämma skillnaden i skörd i spår och spårfri yta. Detta utfördes för hand genom klippning. I storrutor med slumpvis körning klipptes två skörderutor à 0,5 m² som var slumpvis utlagda, dock utanför sprutspåren. De två proven slogs sedan samman till ett prov för urtröskning och vägning. I led med fasta körspår (CTF) skördades två rutor à 0,5 m² (som slogs samman till ett prov) i spår, dock inte i

de spår som sprutan gått och två rutor à 0,5 m² (som slogs samman till ett prov) i spårfri yta. Vid mätning i spår användes spårhalvorna närmst maskinernas mitt, där all trafik gått. Proverna urtröskades och rensades. Våta prov torkades ner till lagringsdugliga prov. Totalvikten från varje parcell vägdes. Proverna analyserades för vikt, vattenhalt samt proteinhalt.

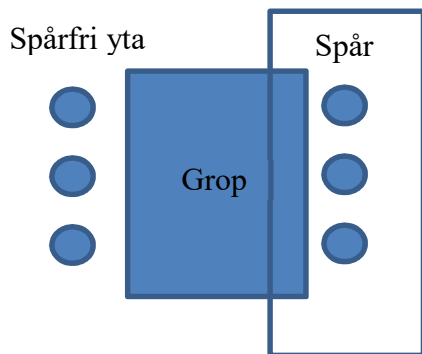
Markfysikaliska mätningar

Storrutorna delades upp i olika zoner där markfysikaliska mätningar som riskerade att störa andra markfysikaliska mätningar fick sin egen zon.

Penetrometermätningar gjordes varje år i samtliga led, i och utanför spår med en Eijkelkamp penetrologer. Detta utfördes efter sådd för att få med packningen vid sådd. Vid vårsådd utfördes det innan grödan blivit så stor att den transpirerade mycket, vilket skulle kunna ge skillnader i fuktighet mellan leden. För höstsådd kunde mätningar göras höst eller vår. Tryckhastighet 2 cm/s användes och kon 1,0 cm² 60°.

I CTF-led gjordes 15 slumpvisa stick i spår, dock inte i de spår sprutan gått, och 15 slumpvisa stick i spårfri yta. Vid mätning i spår användes spårhalvorna närmst maskinernas mitt där all trafik gått. I slumpvis körning-led gjordes 15 slumpvisa stick. Mätning gjordes om möjligt till 50 cm djup, men fick avbrytas tidigare om det var alldeles för besvärande stenförekomst. Mätningarna gjordes alltid till minst 25 cm djup.

Infiltration mättes år 5 direkt i fält i tre av CTF-rutorna (18-1, 18-2, 2). I varje ruta grävdes 4 gropar där 3 cylindrar slogs ner på en plan yta i spår och 3 i spårfri yta, se Figur 6 och 7, på vardera av djupen 10, 30, 50 och 70 cm djup. Cylindrarna var 17 cm i diameter och slogs ner 5 cm i jorden. Sålunda gjordes mätningar i skikten 10-15, 30-35, 50-55 och 70-75 cm djup. Mätningarna utfördes på ett markskikt i taget. Efter mätningar på 10 cm djup så grävdes jorden bort ner till nästa nivå där mätningar skulle utföras. Innan mätningarna påbörjades på respektive nivå så vattenmätades jorden genom att fylla cylindrarna med vatten. Därefter fylldes 1 liter vatten (50 mm) på i varje cylinder och antalet millimeter vatten som rann undan på 30 minuter noterades. Vid hög genomsläpplighet där det tog mindre än 30 minuter för vattnet att rinna undan så noterades hur lång tid det tog innan cylindern var tom. För varje grop och nivå så slogs resultaten från de tre cylindrarna ihop till ett medelvärde. Testerna utfördes mellan 2015-04-20 och 2015-05-12.



Figur 6. Cylindrarnas placering i gropen



Figur 7. Infiltrationsmätning på djupet 10-15 cm (foto: Anton Lindesson)

Skrymdensitet och mättad vattengenomsläpplighet bestämdes genom provtagning av cylindrar år sex. Cylindrar togs ut i matjord och alv i CTF-rutor led i blocken 2, 10-2 och 10-3. Matjordsprov togs i skiktet 10-15 cm (5 cm höga cylindrar). Alvprover togs på djupet 30-35 cm eller djupare, beroende på hur djupt alven låg. I varje storruta grävdes 3 gropar i spår med 3 cylindrar i varje grop och 3 gropar á 3 cylindrar i spårfri yta, se Figur 8. Groparna för spår och spårfri lades som par i storrutan, se Figur 9. För ytterligare metodbeskrivning, se avsnittet om skrymdensitet och mättad genomsläpplighet för de traditionella fältförsöken.



Figur 8. Nedslagning av cylindrar i matjorden i en storruta på Lydinge. Den ljusare alven skymtas i gropens botten (foto: Lena Holm)



Figur 9. Provtagning av cylindrar i en storruta på Lydinge

Turbiditeten hos aggregat år 6 gick inte att undersöka pga. av att jorden var för blöt vid provtagningstillfället.

Såbäddsundersökning utfördes direkt efter höstsådd år 6 i block 2, 10-2 och 10-3, med en mätning per ruta, utom i 10-2 där två upprepningar gjordes. I CTF-rutorna togs prov i spår respektive spårfri yta precis bredvid varandra. Aggregatstorleksfördelning, bearbetningsdjup samt vattenhalt i undersöktes. Undersökningen följde den metod som beskrivs i Kritz (1983), med undantag för att det ej var möjligt att få fram antalet kärnor i såbäddsanalysen.

Väderdata

I Tabell 4 redovisas nederbörden i Lydinge under de sex försöksåren. År 2010, 2013 och 2014 var det hög nederbörd i augusti. 2011 var det var det hög nederbörd hela sommaren och 2016 var juli en blöt månad. 2013 utmärkte sig med en torr vår.

Tabell 4. Nederbörd på Lydinge under de sex odlingssäsongerna samt under referensperioden 1961-1990. Data för 2010-2016 är hämtat från SMHI station 611 Helsingborg och 1961-1990 från SMHI station 6204 Helsingborg A

År	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
2010	*	*	*	*	*	*	13	110	54	80	93	35
2011	58	30	23	27	59	101	127	110	69	41	9	54
2012	80	36	12	30	40	88	63	32	89	70	57	66
2013	60	28	9	22	64	67	10	134	51	82	56	78
2014	59	56	26	39	84	46	41	112	40	81	34	94
2015	79	46	65	38	48	59	75	47	71	9	119	93
2016	41	54	43	45	15	66	125	61	17	0	*	*
1961-1990	50,3	30,9	44,1	40,3	43,2	58,9	78	66,6	67,5	61,2	66,8	60,9

Statistisk analys

Resultaten har analyserats med Minitab Release 16 och SAS version 9.2, 9.3 och 9.4. Modellerna som användes för dessa analyser var general linear model, one sample T-test samt ANOVA.

Resultat

I rapporten används signifikantnivån $p \leq 0,05$. I rapporten redovisas endast de mest betydelsefulla resultaten och inte alla resultat från mätningar som gjorts årligen.

Plantetablering

Plantantalet visade stor variation inom leden och mellan år och redovisas därför inte här.

Skörd

Skörd i försöken på Lönnstorp visas i Tabell 5. Leden jämförs genom att skörden från djup plöjningsfri odling (15-20 cm) med slumpvis körning sätts till 100. Grund plöjningsfri odling med slumpvis körning gav lika mycket eller större skörd än djup plöjningsfri odling. Skillnaden var i genomsnitt 5 %, till fördel för grund bearbetning. Förutom djupluckring (led F) var skörden i spår och spårfri yta i medeltal lika stora oavsett bearbetningssystem. Ett undantag var dock i direktsådd år 2013 som misslyckades vid odling av höstraps. Detta berodde både på dålig etablering samt snigelskador.

Skörd i försöken på Säby 1 visas i Tabell 6. Liksom på Lönnstorp var skörden vid grund kultivering med slumpvis körning högre än vid djupkultivering med slumpvis körning. I detta försök var skörden i spår oftast högre eller mycket högre än i spårfria ytor. Anledningen bör vara att trafikerade ytor var för luckra och trafik i spår fungerade som återpackning (Håkansson, 2000). Ekipagen som använts i de traditionella försöken på Lönnstorp och Säby 1 var inte så tunga att man behöver ställa om till CTF.

Handskörd i Lydinge anges i Tabell 7. I de handskördade rutorna var skörden i spår i CTF alltid lägre än vid slumpvis körning medan den var högre i fyra av sex år för spårfri yta jämfört med slumpvis körning. De genomsnittliga medeltalen var 88 respektive 103. Resultatet visar tydligt att packningen har sänkt skörden. Skördekartering av rutorna 2011-2016 gav i genomsnitt 1 % högre skörd för CTF än för slumpvis körning, se Figur 8, men var inte signifikant. Analyserat efter gröda över alla åren så gav slumpvis körning signifikant högre skörd (1 %) än CTF i vårkorn. I åkerböna var det istället CTF som gav signifikant högre skörd (1 %) än slumpvis körning. För havre, höstraps, höstvet, vårraps och vårvete så fanns det inga signifikanta skillnader mellan de två leden. Grödorna odlades olika många år och i olika antal block.

Tabell 5. Skörd på Lönnstorp 2011-2016, kg/ha och relativtal för led B-H i förhållande till led A (= 100). Bokstäver anges vid signifikanta skillnader. Medeltal för CTF spårfri och spår beräknades i relation till slumpvis körning för respektive bearbetningssystem. Höga signifikansnivån är (probvärde = 0,001) 2013 beror på direktsådda led, som gav mycket låg skörd pga. lågt plantantal till följd av dålig etablering samt angrepp av åkersnigel

År	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Medeltal
Gröda	H-vete	Korn	H-raps	H-vete	Korn	H. raps	
A=djup PF, slumpvis kg/ha	7610	10180a	4400	11100	8310	4430	100
B=grund PF, slumpvis körning	113	97ab	110	99	102	110	105
C=direktsådd, slumpvis körning	112	98ab	29	104	104	92	102
D0=djup PF, CTF, spårfri	115	100a	103	98	103	87	101
D1=djup PF, CTF, spår	117	94bc	101	101	103	93	102
E0=grund PF, CTF, spårfri	109	92bc	99	103	106	96	101
E1=grund PF, CTF, spår	114	100a	102	105	106	87	102
F0=gr. PF, CTF, djupl., spårfri	120	94bc	110	102	103	93	104
F1=gr. PF, CTF, djupl., spår	113	92bc	103	102	108	88	101
G0=direktsådd, CTF, spårfri	109	90c	75	104	101	90	99
G1=direktsådd, CTF, spår	102	87c	22	103	95	91	96
H=plöjning, slumpvis körning	113	100a	112	102	104	87	103
Probvärde	0,08	0,007	0,001	0,98	0,83	0,78	
Medeltal, CTF, spårfri	103	96	97	101	101	91	98
Medeltal, CTF, spår	103	95	90	102	99	90	97

Tabell 6. Skörd på Säby 1 2011-2016, kg/ha och relativtal för led B-H i förhållande till led A (=100). Bokstäver anges vid signifikanta skillnader. Medeltal för CTF spårfri och spår beräknades i relation till slumpvis körning för respektive bearbetningssystem

År	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Medeltal
Gröda	Korn	Vårrops	Korn	H-vete	Korn	Vårvete	
A=djup PF, slumpvis kg/ha	4180b	2990	4420	7640	5930	5980	100
B=grund PF, slumpvis körning	107b	115	109	107	99	97	106
C=direktsådd, slumpvis körning	100b	109	85	107	100	98	100
D0=djup PF, CTF, spårfri	100b	102	89	106	104	107	101
D1=djup PF, CTF, spår	112ab	121	91	109	106	111	108
E0=grund PF, CTF, spårfri	99bc	92	83	105	108	98	98
E1=grund PF, CTF, spår	110ab	104	101	104	109	99	105
F0=gr. PF, CTF, djupl., spårfri	92c	103	86	99	100	98	98
F1=gr. PF, CTF, djupl., spår	111ab	105	99	102	99	101	103
G0=direktsådd, CTF, spårfri	93c	101	89	98	101	98	97
G1=direktsådd, CTF, spår	110ab	100	89	106	100	100	101
H=plöjning, slumpvis.körning	124a	108	104	103	113	94	108
Probvärde	0,02	0,89	0,09	0,11	0,4	0,82	
Medeltal, CTF, spårfri	95	92	90	99	104	103	98
Medeltal, CTF, spår	108	101	96	101	105	105	103

Tabell 7. Skörd på Lydinge 2011-2016, relativt i förhållande till slumpvis körning. Separat skörd i spår och i spårfria ytor skedde för hand. Bokstäver anges vid signifikanta skillnader

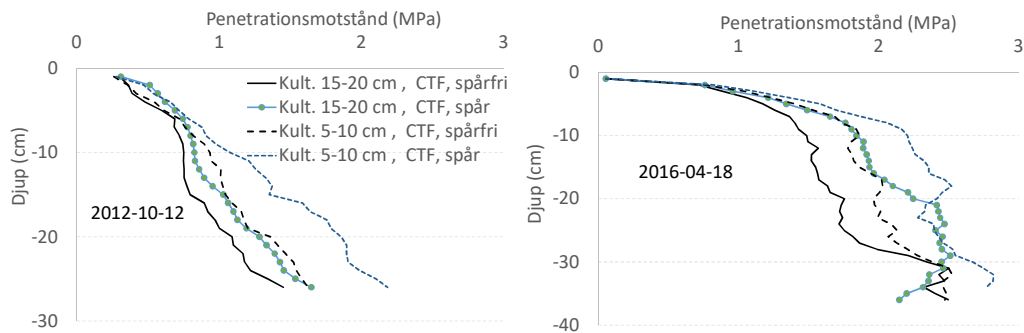
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Medeltal
Slumpvis körning	100ab	100ab	100a	100a	100a	100a	100a
CTF, spår	82b	94b	86a	98a	80a	80a	88b
CTF, spårfri	105a	113a	96a	105a	93a	101a	103a

Tabell 8. Skörd från tröskans skördekartering på Lydinge 2011-2016, relativt (skörd från slumpvis körning = 100). Signifikanta skillnader saknades

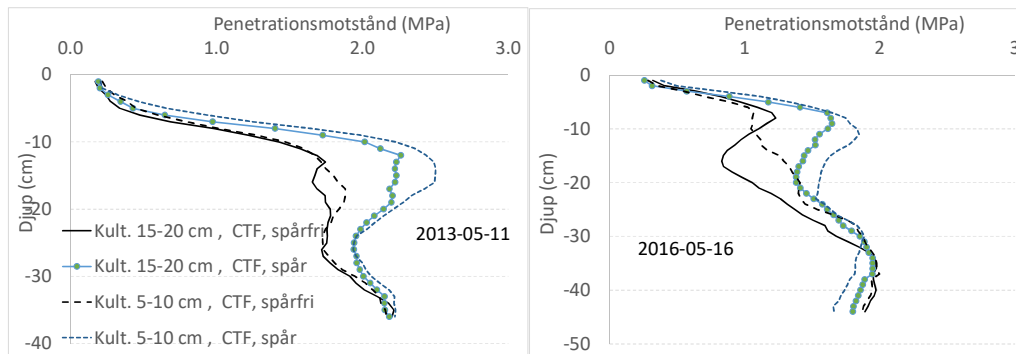
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Medeltal
Slumpvis körning	100	100	100	100	100	100	100
CTF	100	105	100	105	97	103	101

Penetrationsmotstånd

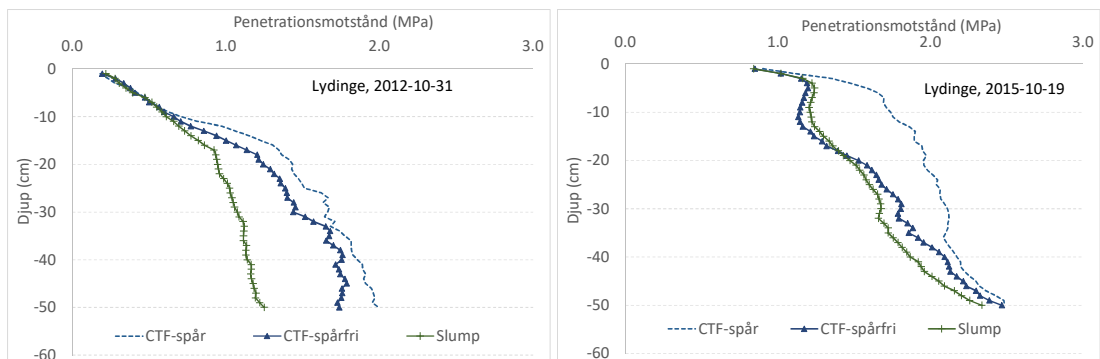
Penetrationsmotstånd på Lönnstorp visas i Figur 10. Både år 2013 och 2016 var penetrationsmotståndet högst i spår i ledet med grund kultivering och lägst i spårfri yta i ledet med djup kultivering. Resultatet från Säby 1 (Figur 11) visade liknande mönster när det gäller skillnaderna mellan leden, men djupfördelningen av trycket var annorlunda. I Säby 1 nådde penetrationsmotståndet i matjorden högst värde vid bearbetningsdjupet för primär bearbetning och sjönk därunder. Penetrationsmotståndet i storruteförsöket visas i Figur 12. Högst motstånd mättes i spår, med tydligast skillnad år 2016. Figurernas utseende påminner om de från Lönnstorp. På alla försöksplatserna var vattenhalten vid mätningarna högre än eller nära fältkapacitet och penetrationsmotståndet var mycket lägre än 3 MPa, som betraktas kritisk gräns för rottillväxt (Schjønning & Thomsen, 2013). Gränsen för när rottillväxten begränsas av penetrationsmotstånd går vid 2,1-2,5 MPa, beroende på jordart (Carter, 1988). Däremot var de spårfria ytorna för luckra för optimal avkastning (Håkansson, 2000). Packningstillståndet i de olika leden liknar mer återpackning än packning.



Figur 10. Penetrationsmotstånd på Lönnstorp



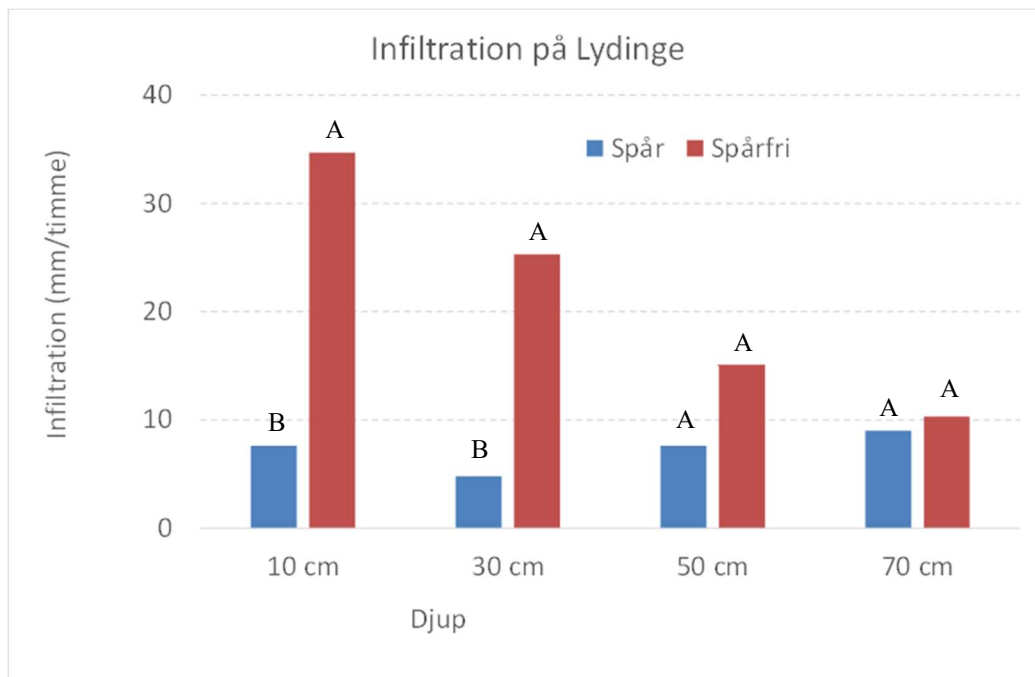
Figur 11. Penetrationsmotstånd på Säby 1



Figur 12. Penetrationsmotstånd på Lydinge

Infiltration på Lydinge år 5

Det var signifikant högre genomsläpplighet i spår jämfört med spårfri yta på 10 och 30 cm djup, men ingen skillnad mellan leden på djupen 50 och 70 cm, se Figur 13.



Figur 13. Infiltration mätt i fält på 4 olika djup på Lydinge år 5, i spår och spårfri yta

Skrymdensitet och mättad vattengenomsläpplighet

Skrymdensitet och vattengenomsläpplighet redovisas i Tabell 9. Överlag hade de spårfria delarna av fältet betydligt lägre skrymdensitet än spårerna. På Lönnstorp var skillnaderna i skrymdensitet större mellan åren (år 3, 2013 respektive år 6, 2016) än mellan spår och spårfria ytor. Det kan bero på provtagningstidpunkt. Bedömning av markpackningstillståndet i moränjordar från skrymdensitet är en osäker metod pga. förekomsten av flintor (stenar). Trots högre packningsgrad i spår var skrymdensiteten ganska nära optimal för jordarten förutom i ett par led. Skrymdensiteten i Säby 1 var överlag lägre än den i Lönnstorp och mätningarna år 3 och 6 gav likartade resultat. Densiteten var signifikant högre i spår än spårfria ytor för bearbetade led, men den var inte så hög att det kunde påverka avkastningen negativt. Den liknade snarare den återpackning (optimering) som behövs för normal tillväxt och hög skörd (Håkansson, 2000). Värt att notera är att skrymdensiteten i spår i led med direktsådd (ingen luckring på sex år) inte var särskilt hög. Detta indikerar att maskinerna som använts i försöket inte var särskilt tunga. I storruteförsöket var skrymdensiteten i matjorden signifikant högre i spår än spårfri yta. Emellertid var resultaten opålitliga pga. svällningsproblem under laboratorieundersökning.

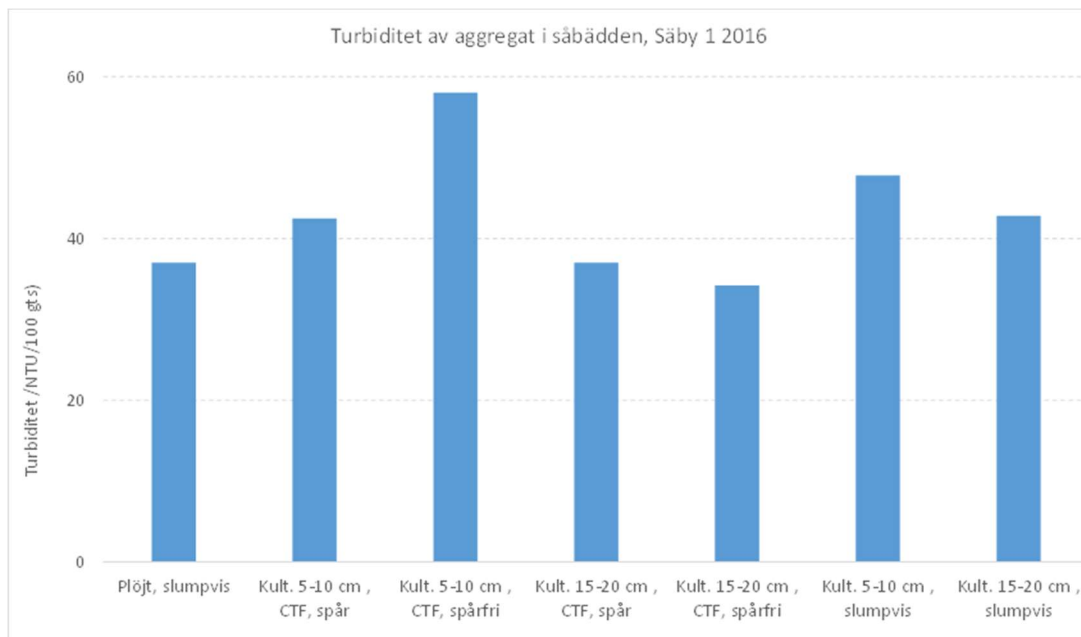
Mättad vattengenomsläpplighet i de traditionella försöken var mycket lägre i spår än spårfri yta men skillnaderna var ej statistiskt signifikanta jämt. Detta beror på själva parametrarnas egenskaper och kräver mycket fler upprepningar än vad vi kunde göra. I storrutförsöket var vattengenomsläppligheten låg i alven men mycket hög i matjorden. Statistiska skillnader jämförelsen spår och spårfri yta saknades pga. stor variation inom respektive led.

Tabell 9. Skrymdensitet och mättad vattengenomsläpplighet år 3 & 6. På Lydinge togs prov i 3 av 5 block

Försök och led	Skrymdensitet (g/cm ³)		Vattengenomsläpplighet (cm/h)	
	År 3	År 6	År 3	År 6
<i>Lönnstorp:</i>				
D0=djup PF, CTF, spårfri	1,29b	1,41a	8,4a	24,0a
D1=djup PF, CTF, spår	1,42a	1,45a	4,9a	18,6a
E0=grund PF, CTF, spårfri	1,30b	1,46b	9,9a	15,4a
E1=grund PF, CTF, spår	1,39a	1,59a	5,4a	12,3a
G0=direktsådd, CTF, spårfri	1,51a	1,49b	6,5a	22,3a
G1=direktsådd, CTF, spår	1,49a	1,56a	1,3b	15,7a
<i>Säby 1:</i>				
D0=djup PF, CTF, spårfri	1,20b	1,19b	78,5a	45,5a
D1=djup PF, CTF, spår	1,30a	1,31a	17,7b	3,0b
E0=grund PF, CTF, spårfri	1,26b	1,18b	65,6a	34,5a
E1=grund PF, CTF, spår	1,35a	1,29a	14,4b	21,2a
G0=direktsådd, CTF, spårfri	1,34a	1,35a	44,0a	44,6a
G1=direktsådd, CTF, spår	1,35a	1,35a	34,2a	25,5a
<i>Lydinge (matjord):</i>				
CTF, spårfri		1,32b		10,9a
CTF, spår		1,35a		11,5a
<i>Lydinge (alv):</i>				
CTF, spårfri		1,40a		0,26a
CTF, spår		1,41a		0,47a

Turbiditeten hos aggregat

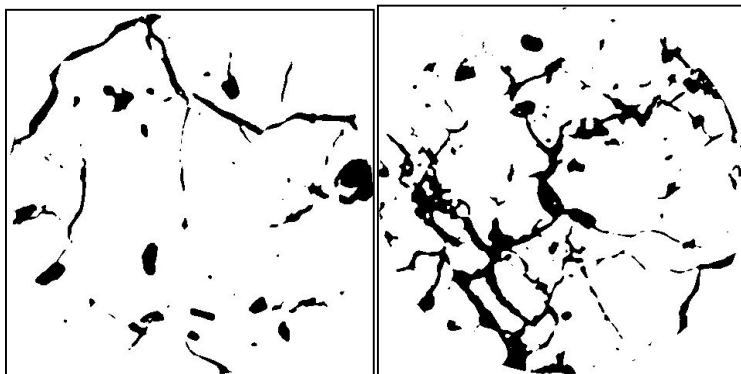
Turbiditet (grumlighet) visar uppslamning av lerpartiklar från aggregat. Det fanns inga signifikanta skillnader mellan leden i Säby 1 år 6 pga. stor variation inom leden, se Figur 14.



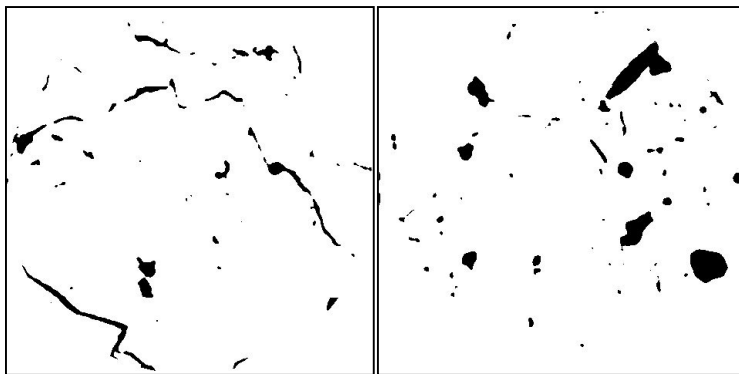
Figur 14. Turbiditet (grumlighet) i Säby 1 år 6. Statistiska skillnader mellan led saknades

Datortomografi, Säby 1

Exempel på de bilder som erhöles vid datortomografi av jordcylindrar i Säby 1 år 3 visas i Figur 15-16. Av bilderna framgår hur de stora porerna minskar i spår, och att porerna är mer runda i spårfria ytor.

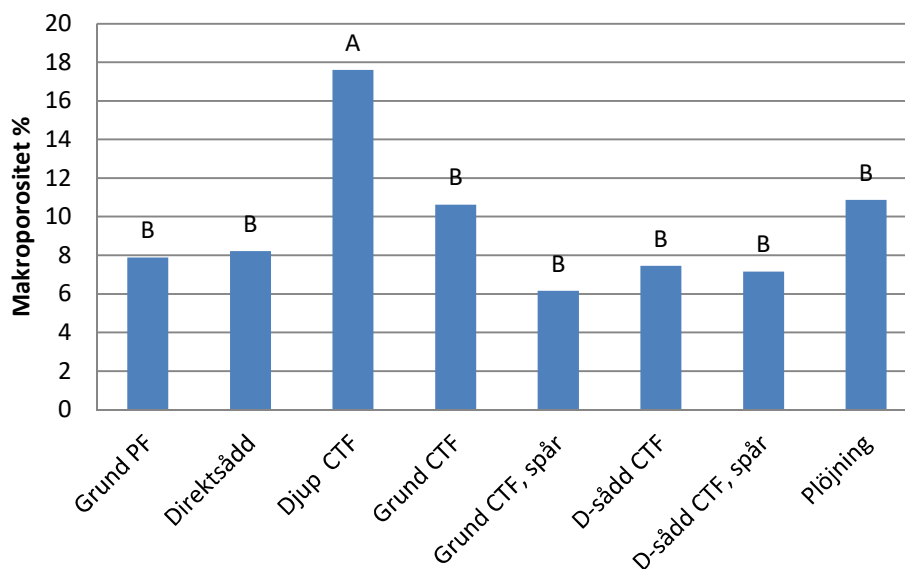


Figur 15. Led E, grund CTF. Till vänster spår, till höger spårfri yta. Säby 1, år 3



Figur 16. Led G, direktsådd CTF. Till vänster spår, till höger spårfri yta. Säby 1, år 3

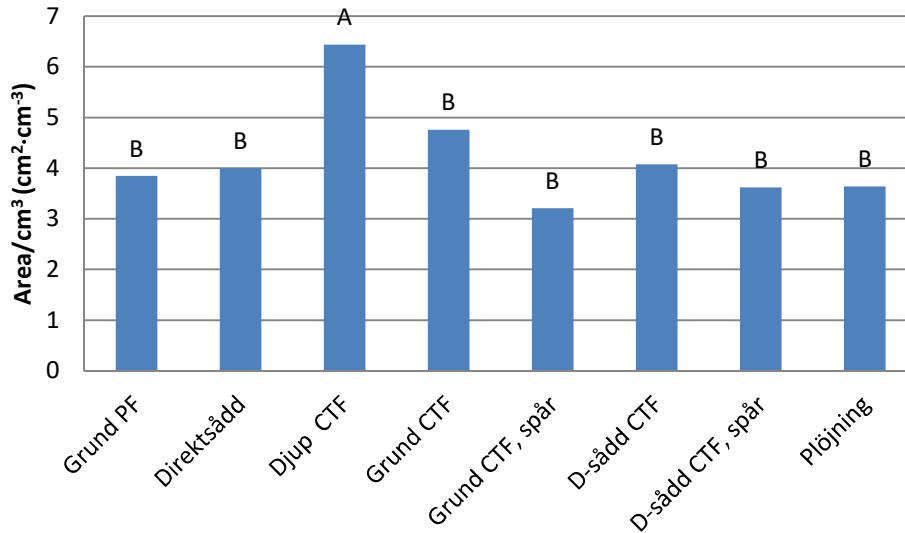
Makroporositeten på djupet 10-15 cm var signifikant högre för ledet djup plöjningsfri odling, spårfri yta, än för övriga. I övrigt fanns inga signifikanta skillnader, se Figur 17. I CTF-led fanns en icke signifikant tendens till lägre makroporositet i spår än i spårfri yta. Makroporositeten varierade mellan 6-18 %, vilket är över gränsen för optimal porositet på lerjordar som ligger mellan 5-10 % (Reynolds, et al., 2008).



Figur 17. Makroporositeten i djupet 10-15 cm för scannade led, Säby 1, år 3. Staplarna djup CTF, grund CTF och D-sådd CTF avser spårfri yta. Staplarna grund PF, direktsådd och plöjning avser slumpvis körning

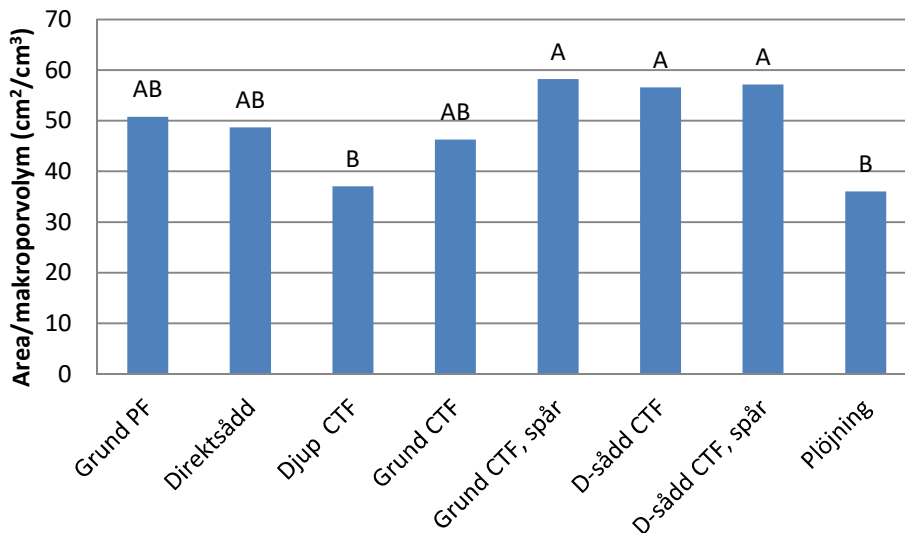
Porarean på djupet 10-15 cm liknar resultatet för makroporositeten. Även här var det led djup plöjningsfri odling, spårfri yta, som hade signifikant högre värde än övriga led. I övrigt fanns inga signifikanta skillnader här heller, se

Figur 18. Precis som för makroporositet fanns i CTF-led en icke signifikant tendens till lägre porarea i spår än i spårfri yta.



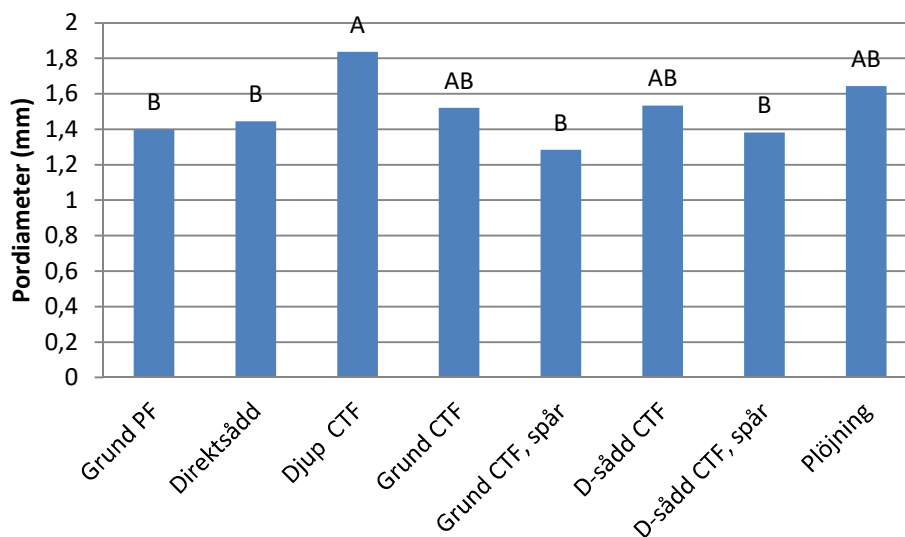
Figur 18. Porarea per cm^3 för djupet 10- 15 cm för scannade led i Säby 1, år 3. Staplarna djup CTF, grund CTF och D-sådd CTF avser spårfri yta. Staplarna grund PF, direktsådd och plöjning avser slumpvis körning

För jämförelsen av porarean med porvolymen, se Figur 19.



Figur 19. Area/makroporvolym för djupet 10- 15 cm för scannade led i Säby 1, år 3. Staplarna djup CTF, grund CTF och D-sådd CTF avser spårfri yta. Staplarna grund PF, direktsådd och plöjning avser slumpvis körning

Pordiametern var störst för djup CTF, spårfri yta. För led med CTF fanns tendenser att pordiametern var mindre i spår än i opackad yta, se Figur 20. Skillnaderna var dock ej signifikanta.



Figur 20. Pordiameter för djupet 10- 15 cm för scannade led, Säby 1, år 3. Staplarna djup CTF, grund CTF och D-sådd CTF avser spårfri yta. Staplarna grund PF, direktsådd och plöjning avser slumpvis körning

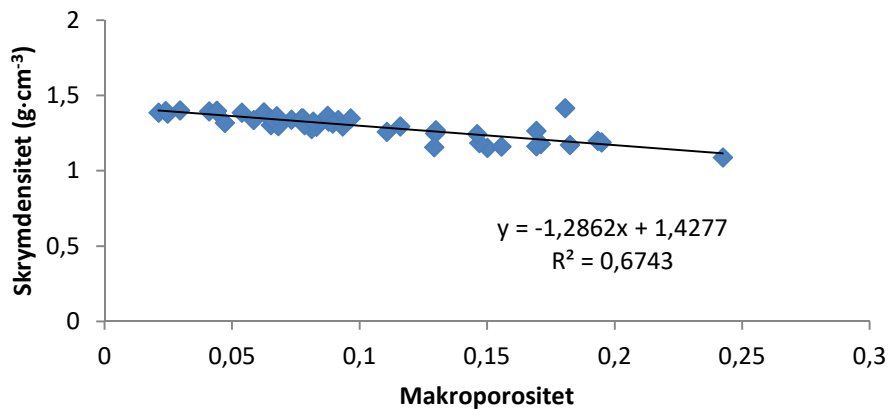
Korrelationer markfysikaliska parametrar, Säby 1 år 3

För hydraulisk konduktivitet, makroporositet, porarea, skrymdensitet, pordiameter och jorrdiameter i Säby 1 år 3 analyserades korrelationer, se Figur 21-23. Av dessa kan ses att makroporositet och area är de mått som generellt gav högst korrelation till övriga parametrar. Detta tyder på att parametrar framtagna med hjälp av datortomografi är bättre att använda sig av än traditionella mått om estimeringar av andra parametrar skall göras.

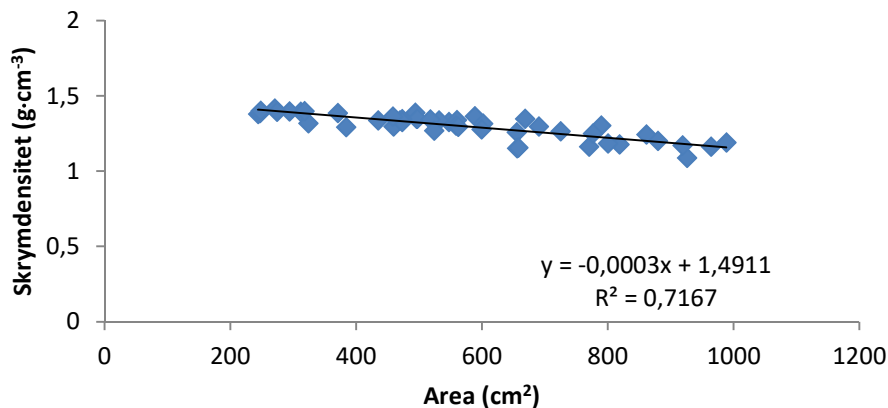
Svagast samband återfanns mellan skrymdensiteten och den hydrauliska konduktiviteten, och generellt sett var den hydrauliska konduktiviteten den parameter som hade svagast samband till övriga värden. Detta tyder på att det finns andra egenskaper hos porsystemet som har stor betydelse för den hydrauliska konduktiviteten, till exempel porernas kontinuitet, en parameter som inte har tagits fram i denna studie.

Tabell 21. Determinationskoefficienten, R^2 , för korrelationen mellan de testade parametrarna

	Hydraulisk konduktivitet	Makroporositet	Porarea	Skrymdensitet	Pordiameter	Jorddiameter
Hydraulisk konduktivitet	-					
Makroporositet	0,234	-				
Porarea	0,233	0,654	-			
Skrymdensitet	0,155	0,674	0,716	-		
Pordiameter	0,269	0,453	0,211	0,392	-	
Jorddiameter	0,201	0,354	0,705	0,356	0,078	-



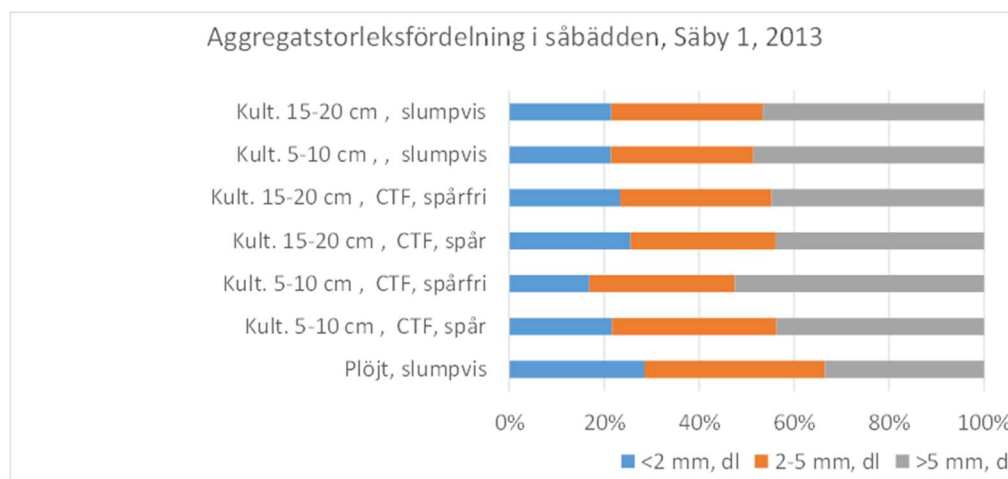
Figur 22. Korrelationen mellan makroporositeten och skrymdensiteten



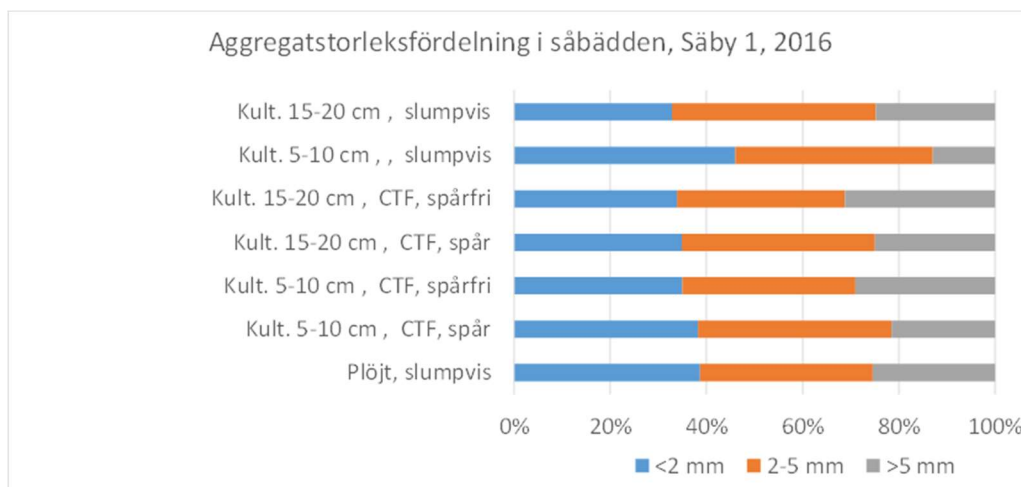
Figur 23. Korrelationen mellan porarean och skrymdensiteten

Såbäddsundersökning

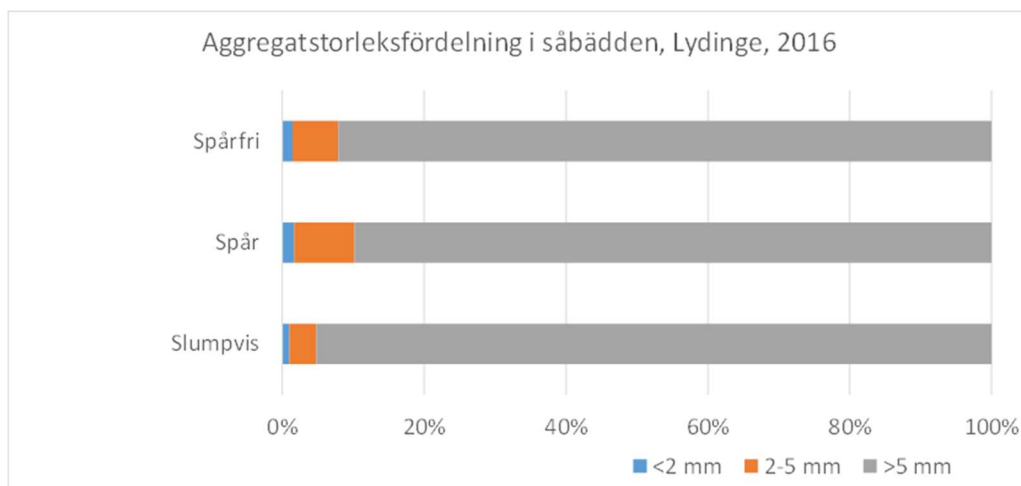
Aggregatstorleksfördelningen i såbädden i Säby 1 år 3 (vårsådd) och 6 (vårsådd) samt i Lydinge år 6 (höstsådd) visas i Figur 24-26. En ökad andel små aggregat, < 5 mm, leder till minskad vattenavgång på grund av minskad turbulens (Kritz, 1983). Som tumregel grundade på modellförsök utförda på SLU (Håkansson, 1976) gäller att minst 50 % av materialet i såbädden ska vara under 5 mm för att ge ett gott avdunstningsskydd under torra förhållanden. Alla led vid vårsådderna i Säby 1 år 3 och 6 utom grund kultivering, CTF spårfri yta klarar detta krav. Därför var statistisk bearbetning inte relevant. Lydinge däremot, har en dålig aggregatsammansättning med nästan enbart aggregat större än 5 mm. Här är avdunstningsskyddet mindre kritiskt eftersom det handlar om höstsådd. Aggregatsammansättningen var i princip lika dålig för CTF som för slumpvis körning.



Figur 24. Aggregatstorleksfördelning i såbädden i Säby 1 år 3



Figur 25. Aggregatstorleksfördelning i såbädden i Säby 1 år 6



Figur 26. Aggregatstorleksfördelning i såbädden i Lydinge år 3

I Säby 1 år 6 gav djup plöjningsfri, CTF spårfri yta signifikant djupare såbädd än grund plöjningsfri, CTF i spår, se Figur 10. I övrigt fanns inga signifikanta skillnader i Säby 1 år 3 eller år 6 för parametrarna bearbetningsdjup, skillnaden mellan högsta och lägsta punkt (ojämnhet) för markytan och såbotten samt såbäddens vattenhalt. I Lydinge gav spårfri yta i CTF signifikant djupare såbädd än CTF spåryta och slumpvis körning. Signifikanta skillnader saknades för vattenhalt i såbädden. Resultaten för djupmätningen på Lydinge är dock av tveksamt värde då mätmetoden inte var anpassad för höstsådd.

Tabell 10. Bearbetningsdjup (cm), markytans och såbottens ojämnhet (mm), samt såbäddens vattenhalt (VH). Då inga bokstäver anges för signifikans saknades signifikanta skillnader

År	År 3				År 6			
	Djup	Markyta	Såbotten	VH	Djup	Markyta	Såbotten	VH
<i>Säby 1:</i>								
A=djup PF, slumpvis	4	47	45	28	5ab	34	27	26
B=grund PF, slumpvis	5	53	45	20	5ab	37	22	26
D0=djup PF, CTF, spårfri	5	53	60	28	6a	47	37	24
D1=djup PF, CTF, spår	5	50	34	23	4ab	36	28	23
E0=grund PF, CTF, spårfri	16	57	33	27	6ab	31	21	26
E1=grund PF, CTF, spår	4	43	25	25	4b	35	26	23
H=plöjning, RTF, slumpvis	5	41	48	27	5ab	32	19	21
<i>Lydinge:</i>								
Slumpvis körning					1,6b			31
CTF, spårfri					4,4a			30
CTF, spår					2,1b			29

Infärgning av en markprofils porsystem

I Figur 27 åskådliggörs porsystemet i en av CTF-rutorna i försöket i Säby 1. Till vänster i bilden går ett spår. Här har det mesta av det färgade vattnet stannat kvar på markytan och endast en liten del kan ses som porsystem på djupet i profilen. Till höger ses spårfri yta. Här har betydligt mera vatten med färg transporterats ner i profilen pga. en mera porös jord än i spåret, vilket ses som blåa nedåtgående streck i profilen och en mindre blå markyta än i spåret.



Figur 27. Infärgning av porsystemet hos en markprofil i försöket i Säby 1 år 6. (foto: Ararso Etana)

Diskussion

Hypotesen för detta projekt var att begränsning av fälttrafik till mindre yta av fältet skulle leda till högre skörd. Metoden testades i olika bearbetningssystem, i t.ex. den grunda plöjningsfria odlingen. Vid kontinuerlig grund plöjningsfri odling kan matjorden under bearbetningsdjupet förtätas pga. slumpvis körning. Med fasta körspår (CTF) skulle man kunna hantera packningsproblemen i dessa system. De markfysikaliska mätningarna år 2013 och 2016 visade att CTF hade avsedd effekt, med lägre skrymdensitet, lägre penetrationsmotstånd och snabbare vattentransport då marken inte överfarits av hjul. Samtidigt var inte skrymdensiteten och penetrationsmotståndet i spår så höga att det skulle leda till skördeminskning. Därför var skörden i genomsnitt inte högre i CTF än vid slumpvis körning. På Säby 1 uppmättes t.o.m. 5 % högre skörd i spår än i spår fria ytor. Vi vet sedan tidigare att varken för lucker eller för packad jord ger hög skörd. För att maximera skörden behövs det skonsam återpackning efter plöjning (Håkansson, 2000). Våra försök pekar på att det finns ett återpackningsbehov också vid plöjningsfri odling. Även om de här redovisade försöken inte visade någon skördehöjande effekt kan det ändå vara motiverat att i vissa fall koncentrera spår. Det gäller framför allt för att begränsa spåren vid användning av för tunga fordon, t.ex. stallgödselspridare. Fordon som använts i de traditionella försöken var inte särskilt tunga. Det kan naturligtvis inte heller uteslutas att effekter av CTF på skörd skulle ha kunnat vara mer positiv på andra jordar än de som testades här.

Slutsatser

- Det var signifikanta skillnader i packningstillstånd mellan trafikerade och otrafikerade ytor i några led men packningsgraden var inte på en nivå som skulle orsaka skördeminskning.
- Därför har fasta körspår i medeltal inte haft någon skördehöjande effekt varken i traditionella försök eller i försök som bedrevs på en CTF gård.
- Fordonsspår på Säby 1 har haft positiv effekt på skörden och indikerar att även plöjningsfri odling kan behöva en viss återpackning.

Referenser

- Andersson, M. (2014). Fasta körspår till framtiden: markstruktureffekter i CTF-odlingssystem. Examensarbete, Lantmästar-kandidatprogram, SLU Alnarp [http://stud.epsilon.slu.se/6612/1/andersson_m_140412.pdf]
- Bai, Y., He, J., Li, H., Wang, Q., Chen, H., Kuhn, N. J.; Hikel, H.; Chen, F., Gong, Y. (2009). Soil Structure and Crop Performance After 10 Years of Controlled Traffic and Traditional Tillage Cropping in the Dryland Loess Plateau in China. *Soil Science* 174, 113-119
- Carter, M.R. (1988). Penetration resistance to characterize the depth and persistence of soil loosening in tillage studies. *Canadian Journal of Soil Science*, 4:657-668.
- Chamen, W.C.T., Watts, C.W., Leede, P.R., & Longstaff, D.J. (1992). Assessment of a wide span vehicle (gantry), and soil and cereal crop responses to its use in a zero traffic regime. *Soil & Tillage Research* 24, 359-380
- Chamen, T. (2007). Controlled-traffic Farming as a Complementary Practice to No-tillage. In: Baker, C.J. and Saxton, K.E. (eds) No-tillage seeding in Conservation Agriculture. Rom, CAB International och FAO. s.245
- Czyz, E. A., Dexter, A.R., & Terelak, H. (2002). Content of readily- dispersible clay in the arable layer of some Polish soils. I: Marcello Pagliai & Robert Jones "Sustainable Land Management – Environmental Protection". *ADVANCES IN GEOECOLOGY*. Catena Verlag, Germany. 115-124.
- Etana, A. *et al.* (2013). Persistent subsoil compaction and its effects on preferential flow patterns in a loamy till soil. *Geoderma* 192:430–436.
- Gerik, T.J. & Morrisson, J.E.Jr. (1985). Wheat Performance Using No-Tillage with Controlled Wheel Traffic on a Clay Soil. *Agronomy Journal* 77, 115-118.
- Green, O. (2009). http://www.agrsci.org/ny_navigation/institutter/institut_for_jordbrugsteknik/medarbejdere/olg [2009-09-29]
- Hamza, M.A. & Anderson, W.K. (2005). Soil Compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research* 82, 121-145.

Håkansson, I och von Polgár, J. (1976). Modellförsök med såbäddens funktion. 1. Såbädden som skydd mot avdunstning. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen, nr. 46. Lantbrukshögskolan, Uppsala.

Håkansson, I. (2000). Packning av åkermark och maskindrift. Omfattning – effekter – motåtgärder. Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen, nr. 99. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Håkansson, I och Lipiec, J. (2000). A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil & Tillage Research*, 53:71-85.

Kritz, G. (1983). Såbäddar för vårstråsäd – en stickprovsundersökning. Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen, nr. 65, SLU, Uppsala.

Lamers, J.G., Perdok, U.D., Lumekes L.M. & Klooster J.J. (1986). Controlled Traffic Farming Systems in the Netherlands. *Soil & Tillage Research* 8, 65-76

Lantmet [Online] Available at:

<http://www.ffe.slu.se/lm/LMHome.cfm?LMSUB=1> [använd 2014-09-16]

Lejon, L (2014). Effekt på mark och gröda av olika bearbetningssystem, med och utan CTF. Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU Uppsala 2014. Nr 2014:05. [http://stud.epsilon.slu.se/6958/1/lejon_1_140701.pdf]

Li, Y.X., Tullberg, J.N., Freebairn, D.M. (2007). Wheel traffic and tillage effects on runoff and crop yield. *Soil & Tillage Research* 97, 282–292

Logsdon, S.D., Kaspar, T.C. & Cambardella, C.A. (1999). Depth-Incremental Soil Properties under No-Till or Chisel Management. *Soil Science Society of America Journal*.

McHugh, A.D., Tullberg, J.N., Freebairn, D.M. (2009). Controlled traffic farming restores soil structure. *Soil & Tillage Research* 104, 164–172.

McPhee, J.E., Braunack, M.V., Garside, A.L., Reid, D.J., Hilton, D.J. (1995). Controlled Traffic for Irrigated Double Cropping in a Semi-arid Tropical Environment: Part 2, Tillage Operations and Energy Use. *Journal of Agricultural Engineering Research* 60,183-189.

Nordström, T. (2009). Fasta körspår – vision eller möjlighet? *Betmagasinet*. Juli 2009, 6-9.

- Pedersen, H. H. (2009). <http://agrotech.dk/projekter/klimavenlige-koerespor> [2009-09-29].
- Raper, R.L. (2005). Agricultural traffic impacts on soil. *Journal of Terramechanics* 42, 259-280.
- Reicosky, D.C., Reeves, D.W., Prior, S.A., Runion, G.B., Rogers, H.H., Raper, R.L. (1999). Effects of residue management and controlled traffic on carbon dioxide and water loss. *Soil & Tillage Research* 52, 153-165.
- Reynolds, W.D., Drury, C.F., Yang, X.M. & Tan, C.S., (2008). Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. *Geoderma*, Volumes 146, Issues 3-4, pp. 466-474.
- Roberts, T.L. och Johnston, A.M. (2007). Tillage intensity, crop rotation and fertilizer technology for sustainable wheat production north American experience. *Buck H.T. m.fl., 2007 Wheat production in stressed environments*, 175-187.
- SMHI. (2014). Dataserier med normalvärden för perioden 1961-1990. [Online] Available at: <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/dataserier-med-normalv%C3%A4rden-1.7354> [Använd 2014-09-16].
- Tullberg, J. N., Ziebarth, P. J., Li, Yuxia. (2001). Tillage and traffic effects on runoff. *Australian Journal of Soil Research* 39, 249–257.
- Tullberg, J.N., Yule, D.F., McGarry, D. (2007). Controlled traffic farming—From research to adoption in Australia. *Soil & Tillage Research* 97, 272–281.
- Unger, P.W. (1996). Soil bulk density, penetration resistance, and hydraulic conductivity under controlled traffic conditions. *Short Communication. Soil & Tillage Research* 37, 67-75.

Andra publikationer inom projektet

Resultat från projektet har presenterats årligen i Jordbearbetningens årsrapport; 2011 (nr 121. s. 57-61), 2012 (nr 125. s. 50-53), 2013 (nr 128. s. 57-64), 2014 (nr 132. s. 45-50), 2015* (nr 135. s. 43-48) och 2016 (ännu ej publicerad).

[<http://www.slu.se/institutioner/mark->

[miljo/forskning/jordbearbetning/langliggande-forsok/jordbearb-rapport/](http://www.slu.se/institutioner/mark-miljo/forskning/jordbearbetning/langliggande-forsok/jordbearb-rapport/)]

*Arvidsson, J., Holm, L., Etana, A., Lejon, L., Andersson, M. (2016). Fasta körspår – skördepotential och effekt på markstruktur. I: Myrbäck, Å. (red). Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 2015, nr 135. s. 43-48. SLU, Uppsala.

Holm, L. *et al.* (2016). Fasta körspår – Skördepotential och effekter på markstruktur från 6 års försök. I: Germundsson, L (red) och Servin D (red). 2016. Meddelande från södra jordbruksförsöksdistriktet. Nr 69. s. 26:1-26:4. SLU, Alnarp.

Lejon, L (2014). Effekt på mark och gröda av olika bearbetningssystem, med och utan CTF. Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU Uppsala 2014. Nr 2014:05. [http://stud.epsilon.slu.se/6958/1/lejon_1_140701.pdf]

Andersson, M. (2014). Fasta körspår till framtiden: markstruktureffekter i CTF-odlingssystem. Examensarbete, Lantmästar-kandidatprogram, SLU Alnarp [http://stud.epsilon.slu.se/6612/1/andersson_m_140412.pdf]

Rapportering till Stiftelsen lantbruksforskning. Sök på projekt H0960099 och H1233176 på <http://www.lantbruksforskning.se/projektbanken/>