



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds-
och växtproduktionsvetenskap

Fasta körspår till framtiden

Markstruktureffekter i CTF - odlingsystem

Permanent tramlines into the future

Soil structural effects in CTF- cropping systems

Marie Andersson



Självständigt arbete • 15 hp • Grundnivå, G2E
Lantmästare - kandidatprogram
Alnarp 2014

Fasta körspår till framtiden

Permanent tramlines into the future

Marie Andersson

Handledare: Lena Holm, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Examinator: Erik Steen Jensen, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Omfattning: 15hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Examensarbete inom växtbiologi

Kurskod: EX0740

Program/utbildning: Lantmästare - kandidatprogrammet

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2014

Omslagsbild: Viktor Mårtensson

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Fasta körspår, CTF, infiltration, skrymdensitet, markstruktur, markpackning



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds-
och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för biosystem och teknologi

FÖRORD

Lantmästare kandidatprogram är en 3-årig universitetsutbildning vilken omfattar 180 högskolepoäng (hp). Examensarbetet är en av de obligatoriska delarna på programmet. Det skall genomföras som ett eget arbete och ska presenteras med en skriftlig rapport samt ett muntligt seminarium. Detta arbete omfattar ett fältförsök och en litteraturgenomgång för att öka förståelsen för hur marken fungerar. Arbetsinsatsen för studien ska motsvara minst 10 veckors heltidsstudier (15 hp).

Idén till studien kom från Lena Holm som även varit handledare för arbetet. Mitt intresse för mark och växtodling gjorde det intressant att undersöka området.

Alla foton i rapporten är tagna av författaren Marie Andersson.

Ett varmt tack riktas till Johan Arvidsson som har ställt upp med sin kunskap och tid för att göra analyserna av jordproverna möjliga vid SLU Ultuna. Även ett varmt tack till Christina Öhman och Ana Mingot för all hjälp omkring den praktiska analysen på laboratoriet.

Ett tack riktas även till Partnerskap Alnarp som bidragit med pengar för resor och laboratoriekostnader.

Erik Steen Jensen har varit examinator.

Alnarp maj 2013

Marie Andersson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	4
SUMMARY	6
INLEDNING	7
BAKGRUND	7
SYFTE	8
AVGRÄNSNING	8
LITTERATURSTUDIE	9
MARKSTRUKTUR	9
<i>Struktur</i>	9
VATTEN I MARKPROFILEN	10
<i>Porernas betydelse för vattentillgängligheten</i>	10
<i>Växtnäringsupptag via markvatten</i>	10
<i>Infiltration</i>	10
SKRYMDENSITET	11
<i>Porositet</i>	11
<i>Skrymdensitet</i>	11
MARKPACKNING	12
<i>Vad är packning</i>	12
BETYDELSEN AV OLIKA BEARBETNINGSMETODER	13
<i>Olika typer av bearbetningssystem</i>	14
<i>Tidigare resultat från penetrometermätningar från det studerade försöket med fasta körspår</i>	14
<i>Skördeutveckling beroende på bearbetningsmetod i det studerade försöket med fasta körspår</i>	16
<i>Lerhaltens betydelse för markfysikaliska egenskaper</i>	16
CONSERVATION AGRICULTURE (CA)	17
FÖRKLARING TILL VAD CTF INNEBÄR	17
MATERIAL OCH METOD	18
<i>Jordart</i>	18
<i>Försöksupplägg</i>	18
<i>Blockfördelning</i>	18
<i>Maskiner som var planerade att användas</i>	19
<i>Dessa maskiner användes i verkligheten</i>	19
<i>Utförande i system för slumpmässig körning</i>	20
<i>Utförande i CTF- system</i>	20
<i>Växtföljd</i>	21
<i>Uppmätning av rutor</i>	21
<i>Uppmätning spår i CTF rutor</i>	21
<i>Uppmätning av konventionella rutor</i>	21
<i>Cylinderprovtagning</i>	21
<i>Uttagningsmetod</i>	22
<i>Motivering till valet av metod för undersökning av infiltration</i>	24
<i>Analysmetod för cylinderprov</i>	24
<i>Vidare analys av infiltration</i>	25
<i>Infiltrationstest, steg för steg</i>	26
<i>Torkning av prover för mätning av skrymdensitet</i>	28
<i>Statistikuträkning</i>	30
RESULTAT	31
SKRYMDENSITET	31
<i>Skrymdensitetsskillnader mellan de olika leden</i>	31
<i>Skrymdensitetsskillnader mellan de olika trafikeringmodellerna</i>	31

INFILTRATION	33
<i>Infiltrationsskillnader mellan olika behandlingar</i>	33
<i>Infiltrationsskillnader mellan de olika trafikeringsmodellerna</i>	34
DISKUSSION	36
JÄMFÖRELSER	36
<i>Jämförelse av resultatet för skrymdensitet med riktvärdena</i>	36
<i>Jämförelse av värden med riktvärden för infiltration</i>	36
<i>Vad kan detta göra för förändringar, varför är det bra eller dåligt?</i>	37
<i>Vad anser jag om resultatet?</i>	37
SLUTSATSER.....	38
BILAGA 1.....	41
BILAGA 2.....	42

SAMMANFATTNING

Uppsatsen har skrivits på uppdrag av Lena Holm och Johan Arvidsson. Denna studie är en del av deras stora forskningsprojekt ”Fasta körspår- skördepotential och effekt på markstruktur” med ett långliggande försök som startades år 2010.

Bakgrunden till denna studie är att klimatet ständigt förändras och jordens medeltemperatur stiger, vilket leder till brist på vatten i stora områden i världen. Det förändrade klimatet har lett till ett allt mer extremt tillstånd med kraftiga regn och extrem torka runt om i världen. Med dagens moderna odlingsmetoder kan odling i allt mer utsatta områden existera även i framtiden, men det kräver en förändring och en ökad kunskap kring olika tekniker. När regnet blir allt mer extremt måste det också till ett odlingssystem som är mer anpassat efter dessa extrema mängder nederbörd. Det kan vara genom till exempel bättre förmåga att infiltrera de stora mängderna vatten under kortare tid än idag.

I stora odlingsländer som Australien i världen blir reducerad bearbetning eller "no-till" (direktsådd) allt vanligare då kostnaderna ständigt jagas samtidigt som detta lett till ett mer hållbart sätt att bruka jorden på. Dagens maskiner är allt oftare utrustade med GPS-teknik som hjälper lantbrukare i världen att bruka jorden på ett mer effektivt och resurssparande sätt. Med tekniken kan överlappet minskas, vilket ger en positiv effekt i form av minskade insatser så som diesel utsäde och växtnäring. GPS-tekniken har lett till att man på stora bruksområden provat att centrera körspåren för att minimera den trafikerade ytan på fältet och där genom reducera packningsskadornas omfattning.

Syftet med studien var att undersöka om markstrukturen påverkades positivt av att körspåren koncentrerades i jämförelse med om marken trafikerades slumpmässigt. Den syftade också till att jämföra effekterna mellan olika bearbetningsmetoder. De parametrar som undersöktes i studien är skrymdensitet och infiltration.

Studiens avgränsningar var att prover endast togs ut ur matjordslagret på 10 till 15 cm djup. Endast ett försök under ett år ingår. Skördeeffekter behandlades inte i denna studie.

I resultatet av studien framkom att det fanns skillnader mellan olika bearbetningsmetoder, både för skrymdensitet och infiltration. Det fanns några behandlingar som skiljer sig signifikant från de andra. Tydligt framkom att direktsådd gav en högre skrymdensitet, vilket tyder på en mer kompakt jord. Inga signifikanta skillnader kunde urskiljas mellan den konventionella trafikeringsmetoden och fasta körspårs spårfria yta.

För infiltrationsresultaten visade det att det fanns signifikanta skillnader mellan de olika bearbetningsmetoderna. Konventionellt trafikerad direktsådd var den bearbetningsmetoden som skiljde sig signifikant genom de mycket låga värdena för infiltration. Dock fanns det inga signifikanta skillnader mellan de olika trafikeringsmetoderna.

I diskussionen jämfördes resultaten med riktvärden. För skrymdensitet låg alla resultatvärden bra till i förhållande till riktvärdena. För infiltration var variationen

större, från 1,3 cm till 10,2 cm/timme. Men trots det var alla värden även här inom ramen för riktvärdena.

Infiltration och skrymdensitet är två parametrar som påverkar varandra mycket. Om jorden är kompakt kommer den heller inte att infiltrera tillfredställande och om jorden inte infiltrerat vattnet kommer grödorna att ta skada vilket även sker när jorden är för kompakt då bland annat rottillväxten hämmas och grödan påverkas negativt.

SUMMARY

This essay is written at the request of Lena Holm and Johan Arvidsson. The study is a part of their major research project "Control traffic- harvest potential and effects on soil structure" with long-term trails that started up in year 2010.

The background of this study is that the climate is changing constantly and the global temperature increases. The result of this is less water in some parts of the world (too dry) and at the same time water flooding in another part of the world. Rainfall becomes more heavy when it comes. Modern tillage methods (without plow) are increasing in the world. The cropping system must be prepared for the future climate to infiltrate a lot of rain water and at the same time take care of the soil water.

In bigger countries as Australia, no-till is a common tillage system. Today it's important to look after the costs relative to input materials like diesel, nutrients and manpower. GPS has taken the world further, to help minimize these costs in terms of overlapping. The "controlled traffic farming" is one way in the direction with permanent trumlines every year. Through this the traffic area decreases and minimizes the risk of soil compaction from modern heavy machines.

The aim of the study was to investigate if the soil structure were influenced positively if the tramlines were fixed compared with conventional trafficking (CTF). It also intended to consider if there is any differences between different cultivation methods. The studied parameters were bulk density and infiltration in the profile (10-15cm deep).

The result showed that there were differences between tillage methods both for bulk density and infiltration. In the conventional traffic, no-till has the highest bulk density, which means that it is very compact. In general the no-till treatments were more compact than the other treatments. There were no significant differences between tillage methods and traffic models.

The infiltration result shows that there were significant differences between the different tillage methods. The conventional no-till system has the significantly lowest infiltrations capacity. But there is not differences between tillage methods and traffic methods.

The discussion part of the essay compares the results with benchmark values (a indicator value). This shows that all of the results from the study are within the frame, none of them are too high or too low. The bulk density results are all within the frame of value. The infiltration value has greater variety, from 1,3 - 10,2 cm/hour. Even though, they were all within the frame.

The infiltration and the bulk density interact. If the soil is compact it will not infiltrate. If the water stays on the surface, it will destroy the crop in flooding. And if the soil is too compact the root growth will be inhibited which then inhibits the plant.

INLEDNING

Uppsatsen skrivs som en del i ett stort forskningsprojekt, "Fasta körspår- skördepotential och effekter på markstruktur", som drivs av Lena Holm och Johan Arvidsson vid Sveriges lantbruksuniversitet, SLU. Detta är långliggande försök som startades hösten år 2010 och förväntas ligga kvar fram till åtminstone år 2016. Forskningsprojektet syftar till att renodla effekten av att alltid trafikera samma spår över fältet och undvika trafik mellan dessa spår. De olika leden bearbetas på olika djup och med olika maskintyper för att analysera skillnaderna i markstrukturen samt hur detta utvecklar sig över tid. Avkastningen på grödorna analyseras för att förstå sambandet mellan bearbetningsmetod och skördepotential.

I forskningsprojektet ingår traditionella fältförsök som är utlagda på två platser i landet. Ett försök ligger i Lomma (var proverna och analyserna för denna uppsats tas ut), och ett försök ligger i Uppsala. Platserna har olika förutsättningar så som jordart och klimat, vilket är bra ur forskningssynpunkt. Alla försöken hittar man i databasen på SLUs försökssida (www.slu.se/faltforsk)

I projektet ingår även försök i aktiv drift med större försöksrutor hos en lantbrukare, men detta ingår inte i examensarbetet.

Bakgrund

Idag talas det allt mer om att jordens medeltemperatur stiger och att vissa delar av världen lider allt mer av bristen på vatten. En anledning till att temperaturen har stigit är förbränningen av fossila bränslen. När dessa förbränns stiger de till atmosfären och värmen kan inte tränga igenom och ut i universum igen, vilket leder till en medeltemperaturhöjning (Klimatförändringen, 2007). Vattentillgången i världens olika odlingssystem är en viktig fråga, inte minst för att det är en nödvändig resurs för grödornas överlevnad. Olika odlingssystem kräver olika mängder vatten beroende på var i världen det är placerat. I varma länder åtgår större mängd vatten på grund av en ökad avdunstning. Omkring 58 % av världens areal har ett behov av att bevattnas för att få rimliga skördar. Med modern teknik kring vatten och vattenhushållning kan odling på idag obrukbara arealer bli verklighet i framtiden. Tekniker kan vara rening av havsvatten för bevattning men också bearbetningsmetoder för att ta tillvara mesta möjliga resurser (WWF, 2013).

I takt med klimatförändringarna förändras också vädret. I allt större utsträckning blir det kraftiga regn med stora mängder vatten på samma gång, som måste tas om hand på ett eller annat sätt. Regnet kommer ofta i samband med höga vindhastigheter, vilket ger en ökad risk för erosion av olika slag. I samma områden kan det också bli extrem torka under väldigt långa perioder. Dessa utmaningar är de nya förutsättningar som lantbrukare måste ha med sig när de planerar för framtidens brukningsmetoder. Dessa klimateffekter kan anses vara problem, men det är viktigt att anta dessa utmaningar för att utveckla en hållbar metod för den aktuella odlingsplatsen (Bjerström, 2010).

Bearbetningsmetoderna av åkermarken har förändrats över tid. Idag är det fler och fler världen över som upphör att använda plogen, eftersom markfukt kan sparas genom att minimera bearbetningen. Conservation agriculture (CA) är ett begrepp som är förknippat med minimerad jordbearbetning. Det går ut på att jorden skall brukas på ett hållbart sätt, med en växtföljd och strävan efter en ständigt bevuxen markyta. Detta för att dra nytta av grödornas olika egenskaper samt för att förhindra onödig avdunstning (FAO, 2012). Användningen av GPS-styrningsteknik på lantbruksmaskiner har ökat. Genom GPS-tekniken sparar man inte bara tid genom minskade överlapp, utan också mängden använda insatsmedel, vilket resulterar i en minskad miljöbelastning. Med automatisk styrteknik kan föraren koncentrera sig på att justera och manövrera redskapet istället för att lägga mycket fokus på att köra rakt.

Teknikutvecklingen har även medfört att maskinerna blir allt större, vilket ger en högre belastningen på marken och risken för skadlig packning ökar. Därför har nu tekniken tagit ett steg längre genom att försöka minimera den trafikerade ytan till ett fåtal spår som är fastliggande år från år, så kallade fasta körspår eller CTF (Controlled Traffic Farming) (CTF Europe, 2013). Genom att bara köra på en begränsad yta koncentreras packningen till specifika platser i fältet istället för att packa hela fältet.

CTF är vanligast i länder med gårdar som har väldigt stora brukningsarealer, t.ex. USA, Brasilien och Australien och där det är vanligt med allt mer extrema klimat med torka och regn. I sådana områden strävar lantbrukarna efter att minimera insatserna eftersom väderleken ger ett mycket osäkert skördeutfall. Samtidigt strävar de efter att spara på vatten samt att minska risken för erosion (Tullberg, 2001). För att uppnå detta är minimerad bearbetning att föredra, vilket ofta innebär maskiner med stora arbetsbredder. I dessa system är det relativt enkelt att tillämpa CTF.

Syfte

Syftet är att undersöka om markstrukturen påverkas av att körspåren koncentreras jämfört med slumpmässig trafik under svenska förhållanden. Arbetet syftar också till att jämföra om det är några skillnader i markstruktureffekter mellan olika bearbetningssystem med slumpmässig trafik jämfört med kontrollerad trafik.

Avgränsning

Examensarbetet görs som en del i ett stort forskningsprojekt som heter "Fasta körspår - skördepotential och effekt på markstruktur" och som drivs av Lena Holm och Johan Arvidsson. Detta examensarbete omfattar enbart det fältförsök som är utlagt på Lönnstorps försöksstation och enbart undersökning av infiltrationshastighet, skrymdensitet. Infiltration och skrymdensitet tas ut med cylindrar i matjordslagret, 10 - 15 cm djupt. Undersökningen omfattar enbart analys av den nuvarande markprofilen. Skördarna från rutorna är inte av intresse för denna studie.

LITTERATURSTUDIE

Markstruktur

Struktur

Markstruktur är ett viktigt perspektiv när man skall beskriva markprofilen. Bearbetningsmetoden har betydelse för hur markens struktur påverkas. Det har också betydelse för närings- och vattenförsörjningen till den aktuella vegetationen i fältet. Markstruktur är ett begrepp som talar om hur markens primärpartiklar är inbördes lagrade och fördelade till varandra (Eriksson et al. 2005).

Strukturen i jorden varierar beroende på markens textur, det vill säga den kvantitativa kornsammansättningen. Storleken på partiklarna varierar, sand har till exempel en genomsnittsdiameter på 1 mm medan lerpartiklar är de minsta partiklarna med en genomsnittsdiameter på 0,002 mm. Partikelfördelningen i jorden är den som ligger till grund för vilken jordart jorden blir indelad i. De existerande partikelfraktionerna är block, sten, grus, sand, mo, mjåla eller ler (Eriksson et al. 2005).

Markprofilen kan bestå av aggregat i olika storlekar och sammansättning. Jordens humus- och mineralinnehåll påverkar jordens aggregatbildande (klumpbildande) förmåga. Denna klumpbildande process påverkas av kolloidhalten i marken (kolloid, fina ler och humuspartiklar med negativ laddning). Kolloidmängden i aggregatet påverkar aggregatstabiliteten, ju lägre kolloidhalt desto lättare faller aggregaten sönder. Förutsättningen för att aggregat kan bildas är att kolloidhalten är tillräckligt hög. Aggregat finns i olika former beroende på vilket djup de befinner sig. De påverkas också olika av yttre naturliga faktorer som till exempel frysning, upptining och biologisk aktivitet. Det finns sex olika typer av aggregatformer. Skarpkantade, avrundade fragment och grannulära är ofta näst intill runda i formen. Plattlika, prismatiska och kolumnära har ett avlångt och ofta kantigt utseende (Eriksson et al. 2005).

Markstrukturen ser dock inte likadan ut över hela året, beroende på årstidsväxlingarna. Under vintern byggs strukturen upp genom frostens påverkan och under sommaren bryts aggregaten ned igen på grund av torka (mindre tillgång till vatten) (Eriksson et al. 2005).

Aggregatstabilitet är ett mått på hur stabilt primärpartiklarna är sammanfogade till större klumpar eller enheter. Ju starkare hopbundna aggregaten är, desto stabilare säger man att jorden är (Greppa Näringen, 2013). Fördelningen av aggregat i jordprofilen är oftast varierade, både till storlek och med varierad hållfasthet. Beroende på vilket djup undersökningen görs så kommer aggregaten att se olika ut och ha olika stabilitet, beroende på den geologiska variationen (Eriksson et al. 2005).

Vatten i markprofilen

Porernas betydelse för vattentillgängligheten

Markvattnet identifieras som det vatten som finns i markens porsystem ovanför grundvattennivån, men porerna är bara fyllda med vatten till en viss del. Mängden fyllda porer ändras när det regnar genom att det vatten som infiltreras fylls på i markprofilen. Mängden vatten i porsystemet påverkas också av naturens gravitationskraft. (Jansson, 2013)

Vattnet från de stora porerna dräneras lättast efter regn och bidrar därmed inte till någon vattenförsörjning för plantorna. Oftast finns förrådet av vattnet i de mindre porerna mer eller mindre växttillgängligt. Mängden växttillgängligt vatten varierar beroende på jordart. Detta kan räknas ut genom att beräkna fältkapaciteten (den maximala mängd vatten som varaktigt kan finnas i markprofilen) minus vissningsgränsen (då växterna inte längre kan ta upp mer vatten från porsystemet). I en jord med väldigt hög lerhalt är ofta vattnet hårt bundet i porerna och på så vis svårt för växterna att komma åt, på grund av att porerna är väldigt små. Det hårdast bundna vattnet finns i de så kallade mikroporerna (2- 0,2 mikrometer i diameter) (Eriksson et. al, 2005).

Växtnäringsupptag via markvatten

Vattnet i marken är viktigt med avseende på plantornas växtnäringsförsörjning eftersom plantans växtnäringsupptag kräver tillgång på markvatten. Växtnäringen finns som tre huvudsakliga former. Den vanligaste formen är den lösta formen, vilket innebär att den är löst i markvätskan. Därför är tillgängligheten på vatten i marken viktig för växternas existens. Dock skiljer sig koncentrationsgraden beroende på mängden vatten och näringsämnen. Växtnäringen kan också finnas som en utbytbar form, vilket innebär att växtnäringsförsörjningen sker genom jonbyte mellan plantans rot och markvätskan. Näringen kan också finnas som ej utbytbar form, vilket innebär att de är primärt eller sekundärt bundna (Eriksson et. al.2005).

Infiltration

Infiltration är ett begrepp som har en viktig betydelse för vattenhantering i fältet. Det betyder vattenpenetration in till markens porsystem (Miyazaki, 1993). Under året är nederbörden större eller mindre beroende på årstid. På vinterhalvåret uppnår marken ofta fältkapaciteten, vilket gör att nederbörd som faller under denna period ökar risken för erosion i fältet, men det kan också infiltreras i marken och transporteras ut i bäckar och sjöar via markanläggningarna (dränering). Om jorden är en lerjord med kraftig sprickbildning under sommarhalvåret och det kommer kraftiga regn, tar vattnet snabbaste vägen via sprickor djupt ner i markprofilen. När detta inträffar resulterar det i att stor del av markprofilen fortfarande är torr (Davies et. al, 1993).

En viktig förutsättning för att en jord skall fungera bra är att den består av en jämn fördelning mellan relativt små och stora porer i form av maskhål och gamla rotgångar, men också sprickor eller hålrum mellan aggregaten. Genom dessa kan vattnet infiltreras

och marken får en god genomluftning, vilket gör att jorden blir en optimal växtplats (Johansson, 1992).

För infiltration finns vissa riktvärden, en så kallad genomsläpplighetskoefficient. För låg infiltration anges 0,1 meter/dygn (4 mm/timme) eller lägre. Här anses läget kritiskt och risken för erosionsproblem ökar vid kraftiga regn, då marken inte har kapaciteten att infiltrera större mängder regn (Berglund, 2008). För en medelgenomsläpplighet anges intervallet 0,1 - 1,0 m/dygn och för hög genomsläpplighet mer än 1,0 m/ dygn. Infiltrationskapaciteten kan påverkas beroende på vilket djup dräneringen ligger men också hur mycket mask det finns i fältet som kan göra kanaler för snabbare genomsläpplighet. Generellt för svenska jordar är genomsläppligheten låg. Plogsulan (ett förtätat skikt precis under plogdjup) kan vara ett bidragande problem till låg genomsläpplighet (Johansson, 1992).

Skrymdensitet

Porositet

Porositet och densitet är viktiga begrepp när det handlar om jord och jordens luft och vatten-hushållning. Porositet definieras som den del av jordens volym som inte är fast material. En bra odlingsjord bör innehålla en fördelning av fasta beståndsdelar och porer. Porerna bör ha ett 50/50 förhållande mellan vatten och luft. Porerna i marken är inte bara viktiga för luft- och vattentransport, utan också för den biologiska aktiviteten som är avgörande för jordens alla processer så som nedbrytning, mineralisering och näringsomsättning (Eriksson et. al, 2005).

Skrymdensitet

Jordens skrymdensitet är ett mått på markens hälsostatus. Densitet är vikten av den specifika jordens fasta beståndsdelar per volymenhet. När jorden är packad blir den kompakt och markens naturliga porsystem fungerar inte normalt (Eriksson et. al, 2005). Rotsystemet hämmas och utvecklas inte korrekt vilket leder till att grödan inte kan prestera som om det vore optimala förhållanden. En hög skrymdensitet indikerar en packad och ohälsosam jord. Tabell 1 visar riktvärden för skrymdensitet på olika jordtyper.

Tabellens högra spalt avser ett värde som indikerar när densiteten är så hög att den är påtagligt skadlig. När jorden överstiger detta värdet hämmas grödan påtagligt. Den packade jorden får följande problem:

- Hämmad rottillväxt
- Sämre vattenhållande förmåga
- Lägre infiltrationskapacitet
- Försämrade bearbetningsresultat på grund av att maskinen har svårt att hålla sitt konstanta djup, (USDA, 2008).

Tabell 1. Indikationsvärden för skrymdensitet på olika jordtyper. Den vänstra kolumnen visar värden som är idealiska och den högra visar när skrymdensiteten blir skadlig (USDA, 2008).

Jordtyp	Idealisk skrymdensitet (g/cm ³)	Skrymdensitet som hämmar rottillväxt (g/cm ³)
Sandjord	< 1,60	> 1,80
Siltjord	< 1,40	> 1,65
Lerjord	< 1,10	> 1,47

Enligt USDA (2008) finns det åtgärder för att gynna skrymdensiteten positivt. Bland annat ska en välutvecklad växtföljd med flera grödor eftersträvas. Mellangrödor bör odlas i den mån det går för att eftersträva en lång biologiskt aktiv period även mellan huvudgrödorna. Djupluckring kan i vissa fall vara en hjälp för att luckra jorden djupare ner i markprofilen. På de platser där marken betas och denne är väldigt intensiv, bör betningen hållas mer restriktiv. Den sistnämnda faktorn är bearbetningsmetoder, vilken av dessa metoder man använder kan ha betydelse för hur jorden svarar på bearbetningen.

För att räkna ut vilken skrymdensitet ett jordprov har behövs uppgifter om provets torrsvikt, samt vilken volymdensitet provcylindern har. Utifrån detta kan skrymdensiteten räknas ut genom följande formel (USDA, 2008):

$$\text{Jordens skrymdensitet (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Jordens vikt efter torkning i ugn (g)}}{\text{Cylinderns volym (cm}^3\text{)}}$$

Markpackning

Vad är packning

Markpackning är en process som på grund av ett yttre tryck leder till att jordens volym på ett visst djup minskar, vilket gör att jordens porositet minskar och dess skrymdensitet ökar, det vill säga att den blir mer kompakt än det tidigare bestämda värdet (Håkansson, 2000).

Markpackning sker när belastningen från yttre faktorer är högre än jordens bärförmåga, det blir en skada. Första överfarten på jorden är mest skadlig, eftersom den största packningen sker då. Nästkommande överfarter ger en mindre påverkan (Håkansson, 2000).

De vanligaste faktorerna till markpackning i dagens moderna jordbruk är djurproduktion, genom tunga gödseltransporter och intensiv betning med många djur/ytenhet samt andra tunga lantbruksmaskiner. En vanlig orsak till skadlig packning

är att arbetet utförs på våt jord som är mycket känslig för tung belastning (Hamza och Anderson, 2005).

Allvarlig markpackning djupt ner i marken blir ett allt större problem när lantbruksmaskinerna blir större, vilket har varit en utvecklingstrend under många år (Håkansson, 2000).

Det traditionella sättet är att fälten trafikeras i olika riktningar med olika maskiner och år för att uppnå ett önskat resultat. Med denna teknik trafikeras i princip hela fältets yta (80-90 %) vilket leder till att stora delar riskerar att packas svårt. Beroende på vilken typ av odling som avses så trafikeras fältet varierande antal gånger. Vid sockerbetsodling upp till 6 överfarer och för spannmålsodling omkring 4. Med antalet överfarer och i olika körriktning är snart hela ytan trafikerad och packad. Packningen kan räknas ut genom att multiplicera maskinernas vikt i ton med körsträckan över fältet i kilometer, vilket ger körintensiteten i ton km/ha. Adderas alla överfarerna så erhålls det individuella värdet för hur många ton km/ha den individuella lantbrukaren har trafikerat ytan med. Denna siffra kan sen jämföras med tabellvärden. Dock varierar effekterna av värdet beroende på markens vattenhalt och jordarter (Håkansson, 2000).

En packad jord har en högre skrymdensitet, vilket tyder på att den är mer kompakt. Om jorden är kompakt påverkar det porositeten negativt vilket i sin tur medför att jorden blir allt mer svårbrukad det vill säga tyngre och svårare att uppnå efterlängtat resultat. Vatteninfiltrationen blir sämre om porositeten minskar samtidigt som jordens vattenhållande förmåga kraftigt påverkas negativt. Alla de nämnda faktorerna har negativ betydelse för växternas näringsförsörjning, avkastningsnivåer, markens vattentransport och ökad risk för ytavrinning och erosionsproblem (Hamza och Anderson, 2005).

Betydelsen av olika bearbetningsmetoder

Idag skiljer man på traditionell bearbetning och reducerad bearbetning. Med den konventionella brukningsmetoden används plogen och marken harvas ett antal gånger innan den sås. Med en reducerad bearbetning menas att en ickevändande metod tillämpas för att minimera kostnader genom bland annat färre bearbetande överfarer och ett minskat bearbetningsdjup. I vissa fall till och med ingen bearbetning alls. Miljöpåverkan kan minska när ett reducerat system tillämpas genom att bland annat mineraliseringen begränsas och detta leder i sin tur till att risken för kväveutlakningen minskar. En annan positiv miljöaspekt är att dieselförbrukningen minskar i takt med minskad bearbetning. Detta ger i sin tur positiv effekt på det totala koldioxidutsläppet (Stenberg, 2010).

Det konventionella systemet med plogen har sina fördelar när det handlar om miljö. När jorden plöjs vänds alla växtrester ner i marken och detta ger en positiv effekt på växtskadegörarna, vilket innebär att andelen växtskyddsmedel minskar (Stenberg, 2010).

Mullhalt är en viktig parameter när reducerad bearbetning kommer in i bilden. Enligt Jordbruksverkets rapport 2010:36 ökar mullhalten i ytskiktet när ett reducerat system tillämpas. Detta genom att den reducerade bearbetningen blandar in växtrester jämnt i hela det bearbetade skiktet, vilket på sikt ökar mullhalten. Detta ger på sikt också en

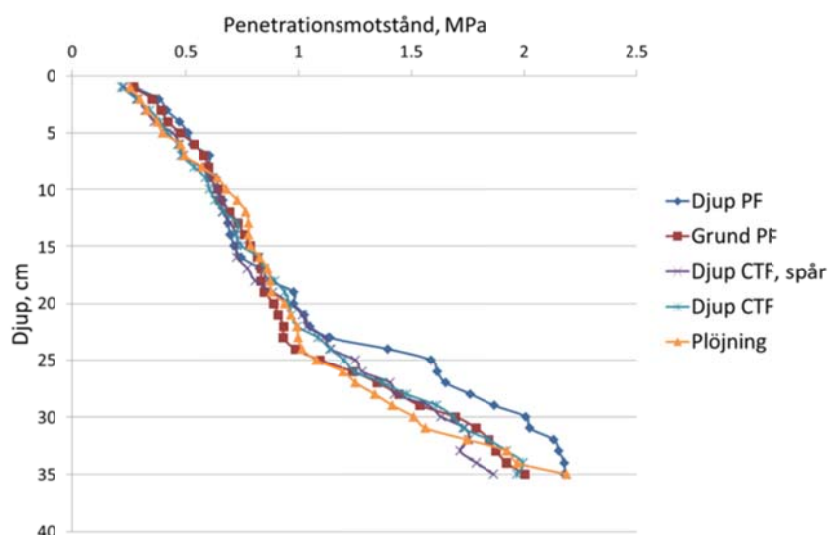
ökad strukturstabilitet vilket gör att jorden inte blir lika igenslammings- och erosionsbenägen (Stenberg, 2010).

Olika typer av bearbetningssystem

Det vanligaste systemet är plöjning med plog till ett djup på 20 - 30 cm. Plogen kan fortfarande användas vid ett reducerat system, men då används den endast till ett djup av 10-15 cm. De vanligaste redskapstyperna i reducerade system är kultivatorer med pinnar eller med tallrikar. Vanligen görs kultivering med dessa maskintyper på omkring 10 - 12 cm djup. Som tidigare nämnts så vänder dessa maskintyper inte jorden utan luckrar och blandar in växtrester i det bearbetade skiktet. År 2008 var det i genomsnitt 32 % av den svenska arealen som endast kultiverades innan höstvetesådd (Stenberg, 2010).

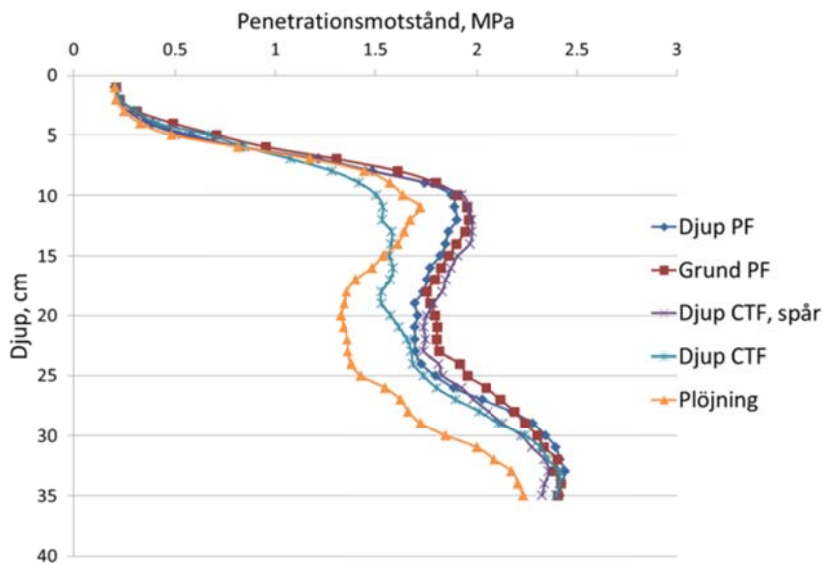
Tidigare resultat från penetrometermätningar från det studerade försöket med fasta körspår

Tidigare mätningar gjorda på den för examensarbetet aktuella försöksplatsen på Lönnstorp visade att det inte fanns stora skillnader mellan bearbetningsmetoderna i relation till jordmotståndet, se Figur 2.



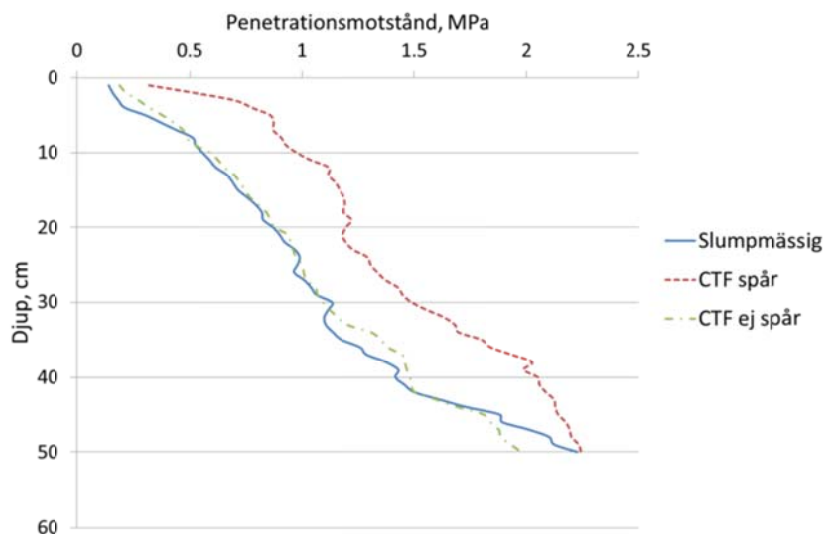
Figur 2. Penetrationsmätningarna från Lönnstorp, vilken tyder på små skillnader mellan leden (Arvidsson och Holm, 2012). Djup PF = djup plogfri bearbetning, grund PF= grund plogfri bearbetning, djup CTF, spår = Djup bearbetning i de fasta körspåren, Djup CTF= djup bearbetning utanför/mellan de fasta körspåren, plöjning= behandlingsparcellen är plöjd.

De största skillnaderna i samma försök upplevdes på Ultuna, Uppsala. Här var motståndet som lägst i de plöjda och djupluckrade leden med CTF, se Figur 3. Medan det djupt bearbetade (15-20cm, inte djupluckrat) ledet hade ett högre motstånd både vid konventionell körning och i de fasta körspåren. Detta tyder på att motståndet minskar något när ytan ej trafikeras (Arvidsson och Holm, 2012).



Figur 3 Penetrationsmätningarna vid Ultuna (Arvidsson och Holm, 2012). Djup PF = djup plogfri bearbetning, grund PF= grund plogfri bearbetning, djup CTF, spår = Djup bearbetning i de fasta körspåren, Djup CTF= djup bearbetning utanför/mellan de fasta körspåren, plöjning= försöksparcellen är plöjd.

Samma mätningar gjordes på Lydinge gård vilken har tillämpat konceptet CTF sedan 2006 (Pedersen, 2012, a.). Här visade mätningarna aningen annorlunda resultat än de båda andra försöksgårdarna, se Figur 4. Här visar resultaten att det inte är någon signifikant skillnad mellan de konventionellt trafikerade ytorna jämfört med mellan spåren i CTF-rutor. Dock är motståndet betydligt högre i de fasta körspåren (Arvidsson och Holm, 2012).



Figur 4. Penetrationsmätningarna från Lydinge gård (Arvidsson och Holm, 2012). Slumpmässig= vanlig konventionell trafikeringsmetod, CTF spår = mätningen är gjord i de fasta körspåren, CTF ej spår = mätningen är gjord utanför de fastliggande körspåren.

Skördeutveckling beroende på bearbetningsmetod i det studerade försöket med fasta körspår

Skörderesultaten varierar beroende på bearbetningsalternativen (Arvidsson och Holm, 2012). Skördemätningarna som gjordes skörden 2011 visade för Lönnstorp, att de högst avkastande behandlingarna var de där CTF var tillämpat och de ytor som inte var trafikerade. För Ultuna var relativskörden högst i CTF- behandlingarnas trafikerade ytor, se Tabell 1 .

Tabell 1. Relativskördarna för de två försöksgårdarna (Arvidsson och Holm 2012). Medel konv. = medelvärdet för skördemängd i de konventionellt trafikerade försöksparcellerna (A,B,C är parcellernas behandlingsled), medel CTF opackat= medelvärdet för de ofrafikerade försöksparcellerna (D0, E0, G0 är parcellernas behandlingsled och 0 står för att det inte är trafikerat eller opackad yta), medel CTF i spår= medelvärdet för skörd i de fastliggande spåren (D1, E1, G1 är parcellens behandlingsled och 1 står för att medelvärdet är räknat på skörd från de fastliggande spåren).

<i>Skörd och etablering på Ultuna och Lönnstorp, medeltal för led med och utan CTF</i>				
	Ultuna rel skörd	Lönnstorp rel. skörd	Ultuna plantor/kvm	Lönnstorp plantor/kvm
Medel konv. (A, B och C)	100	100	179	373
Medel CTF opackat (D0, E0, G0)	95	105	199	376
Medel CTF i spår (D1, E1, G1)	108	101	194	377

Lerhaltens betydelse för markfysikaliska egenskaper

I en studie från jordbearbetningsavdelningen vid SLU (Sveriges lantbruksuniversitet) har man undersökt markfysikaliska egenskaper med olika bearbetningsmetoder (Etana et. al, 2000). Försöksmetoderna som användes är snarlika metoderna och mättekniken för denna rapport. Etana et al. (2000) visade att lerhalten och markstrukturen har betydelse för hur skördarna utvecklas. I ett försöksled från Ultuna med 50 % lera ökade skördarna med omkring 10 % vid reducerad bearbetning. I detta fall var den reducerade bearbetningen jämförd med plöjning vissa år. Skörden påverkades av många faktorer utöver bearbetningsmetoden och vilka markfysikaliska egenskaper som existerade så som vattenhållande förmåga under de torra delarna av året, men också dräneringsförmåga under blöta förhållanden (Etana et. al, 2000).

Conservation agriculture (CA)

Med begreppet conservation agriculture menas att man skall ta tillvara på resurserna på ett hållbart sätt, både när det handlar om djur och växter. Det handlar om att vidta bruksmetoder som minimerar riskerna med erosion. Det handlar bland annat om att eftersträva en bevuxen yta större delar av året för att undvika att jorden flyter iväg i samband med kraftiga regn, men också att under torra perioder hålla en bevuxen yta för att minska vattenavdunstningen. Ett annat erosionsproblem är att lätta jordar är flygbenägna, det vill säga att om det är kraftig bläst flyger de iväg. Detta förhindras med hjälp av vegetation och bearbetningsmetoder (FAO, 2012). Om jordbearbetningen reduceras minskar också CO₂ - emissionen från markytan, enligt en forskningsrapport gjord av Reicosky, USA (1997). Den antyder även att minskningen kan vara upp till hälften om jorden inte bearbetas alls före sådd, det vill säga så kallad direktsådd.

Förklaring till vad CTF innebär

CTF står för Controll Traffic Farming, vilket avser att all trafik över fältet endast sker i de fastliggande körspåren. Ingen annan yta i fältet får eller skall trafikeras. Anledningen till att man centrerar spåren är för att man skall få kontroll över markpackningen, men också för att reducera kostnaderna som uppstår vid överlapp och dubbelkörning vid olika överfarter. Med hjälp av dagens GPS- teknik är detta möjligt (CTF, 2013). I takt med att maskinerna blir allt större och tyngre ökar också risken för skadlig markpackning. Med kontrollerade spår i fältet centreras packningen till dessa spår istället för att packa hela ytan i fältet, vilket minskar den totala ytan. Den första överfarten är den mest skadliga, där efter avtar skadan för varje axel som packar ytan (Håkansson, 2000). En konventionell gård trafikerar omkring 80 till 90 % av arealen, medan en gård som praktiserar fasta körspår trafikerar omkring 10 till 20 % beroende på spårvidd och redskapsbredd. Ett problem är att spårvidderna på maskinerna ofta inte är den samma. Skördemaskinens bredd är ofta det som skiljer sig mest i förhållande till traktorer. Med tanke på skördemaskinens bredd måste traktorns bredd ökas för att samtliga axlar ska få samma spårvidd och därigenom för att optimera trafiken (CTF, 2013).

Det är totalt 29 gårdar som idag tillämpar CTF- systemet i hela Europa, med totalt brukad areal om 27850 hektar. I Sverige är det 4 gårdar som tillämpar systemet på omkring 3900 hektar. Systemet är allt vanligare i Australien, USA och Kanada (Pedersen, 2013, b).

MATERIAL OCH METOD

Jordart

På den aktuella försöksplatsen är jordarten måttligt mullhaltig moränlättilera med en 18% lerhalt och en mullhalt på 3 % och C- halt på 1,8% (baserad på att 60 % av mullen består av kol; (Bertilsson, 2008)). Det är en ganska lättbrukad, men stenig jord.

Försöksupplägg

Led A. Djup plöjningsfri odling på 15-20 cm djup. Maskiner har slumpmässigt trafikerat ytan.

Led B. Grund plöjningsfri odling på 5-10 cm bearbetningsdjup. Maskinerna har slumpmässigt trafikerat ytan.

Led C. Direktsådd. Maskinerna har slumpmässigt trafikerat ytan.

Led D. Djup plöjningsfri bearbetning på 15-20 cm djup. Ytan har trafikerats i fastliggande spår (CTF).

Led E. Grund plöjningsfri odling på 5-10 cm djup. Ytan har trafikerats i fastliggande spår (CTF).

Led F. Grund plöjningsfri odling på 5-10 cm djup. Ytan har trafikerats i fastliggande spår (CTF). Ytan har också djupluckrats en gång före försöket startade.

Led G. Direktsådd. Ytan har trafikerats i de fastliggande spåren (CTF).

Led H. Plöjt enligt ett konventionellt sätt. Maskinerna har slumpmässigt trafikerat ytan.

Blockfördelning

Alla försöksrutorna kontrollmättes upp den 3 april 2013. Blocken mättes upp för att markera ytterkanterna, 81 * 24 meter i nord/sydlig riktning på fältet (de yttre kanterna är utmärkta med en halvt nedgrävd kedja som markerar försökets ytterkanter, denna markering förtydligades med tydliga vita pinnar). Efter detta markerades behandlingsrutorna (med hjälp av tydliga vita pinnar för att säkerställa skiljet mellan de olika behandlingarna) 5 av behandlingsrutorna är 9 meter breda och tre av behandlingsrutorna är 12 meter breda, se förtydligande; Figur 5. Samtliga behandlingar i blocken är slumpade för sin inbördes indelning i blocket. Samtliga

Block 3							
H	B	A	D	E	F	G	C
12m	12m	12m	9m	9m	9m	9m	9m

Block 4							
H	B	E	G	C	D	A	F
12m	12m	9m	9m	9m	9m	12m	9m

Block 1							
E	D	A	H	B	G	C	F
9m	9m	12m	12m	12m	9m	9m	9m

Block 2							
E	C	G	H	A	D	B	F
9m	9m	9m	12m	12m	9m	12m	9m

Figur 5. Blockens inbördes behandlingsindelning. Bokstäverna i de olika rutorna står för ledens olika behandling. Se förklaring på föregående sida.

Alla behandlingar mättes ut och markerades för att vidare mäta ut var de fastliggande spåren var och var det var spårfrött (för CTF behandlingarna).

Maskiner som var planerade att användas

För den grunda bearbetningen vilket innefattade ett bearbetningsdjup på 5-10 cm, var en 3 meters maskin av tallriksmodell alternativt en kultivator med stela pinnar. För den djupa bearbetningen var i samtliga fall en 3 meters kultivator med stela pinnar tänkt. Vid såbäddsberedningen var tanken att en 6 meters harv skulle användas. Sådd borde i samtliga fall göras med en 3 meters Väderstad Rapid, vilket är en skivbillsmaskin med ett förredskap av tallriksform som används i samtliga led. Skörden var tänkt att ske med en konventionell tröska, det vill säga att det inte är någon försökströska.

Dessa maskiner användes i verkligheten

Behandling A, B, D, E, F har bearbetning gjorts med en 3 meters kultivator, modell Cultus av märket Väderstad. Ingen av parcellerna har harvats innan sådd. Sådden har gjorts med en 3 meters Rapid med system disc av märket Väderstad.

Behandling C, G har direktsåts. Parcellerna har därför såts i en och samma överfart med samma såmaskin som i de andra leden, vilket var en 3 meters Rapid med system disc (förredskapet är inte använt) av märket Väderstad.

Behandling H har plöjts med en 3- skärig växelplog av märket Kverneland och sedan harvats två gånger med en 8 meters NZA harv av märket Väderstad.

Samtliga parceller är tröskade med en mindre tröska av märket Claas Dominator 76, då denna passar bra överrens med körspåren i de led där CTF tillämpas.

Alla överfarter var gjorda med en och samma traktor, vilken var en Massey Ferguson 6475. Ingen vältning är gjord i någon av behandlingsleden.

Utförande i system för slumpmässig körning

Det slumpmässiga körsystemet används i behandlingarna A, B, H samt i behandling C. Behandling H plöjs i parcellritningen. Likaså görs sådd och tröskning i parcellriktningen, men olika spår skall eftersträvas i största möjliga mån. Harvning görs med två drag på svag diagonal, övrig jordbearbetning görs också på diagonalen efter bästa förmåga för att sprida spårtrafiken jämnt i parcellen.

Vältning bör undvikas för att det är svårt med maskinbredder. Men om detta är ett måste bör detta göras med två drag i parcellriktningen i behandling A, B och H då dessa parceller är 12 meter breda. Om vältning behövs i led C, görs detta med endast ett drag i mitten då denna parcell endast är 9 meter bred (dock kommer visst överlapp att bli ett faktum men det får vara acceptabelt i detta försök). Det är viktigt att dubbelmontage används vid vårsådd och vårbearbetning för att minimera riskerna för onödig packning. Sprutning och konstgödselspridning görs vinkelrätt genom samtliga parceller vid samma tillfälle, då dessa spår stämmer överrens med övriga fältets körriktning för sprutning och gödselspridning.

Vid tröskning är det viktigt att tröskan kör i parcellriktningen för att trafiken och den eventuella packningen skall speglas korrekt i resultatet. Vid tröskning skall en halvfull tank eftersträvas i samtliga parceller för att få en jämn packning efter tröskans överfart. Även om det inte finns gröda att tröska skall tröskan trafikera parcellen för att packningseffekten skall bli fullständig. Varje parcell måste trafikeras med minst ett kördrag från tröskans båda hjul, och spåren måste vara minst 1,5 meter från parcellkanten, för att packningseffekten skall bli optimal och likvärdig. Det är viktigt att spåren från tröskan förflyttas år från år för spridning av packningen. För bästa resultat skall tröskan och såmaskinstraktorn inte trafikera samma spår. I samtliga behandlingar hackas halmen. Det är viktigt att eftersträva en jämn halmspridning för att undvika bearbetningsproblem vid kommande jordbearbetning.

Utförande i CTF- system

All jordbearbetning, sådd och tröskning görs i parcellriktningen för att samtliga av dessa överfarter skall trafikera samma spår. Dock blir det lite problem vid harvning. Då körs harven först en gång i mitten av parcellen, och vid andra överfarten körs två drag med harvens ytterkant i mitten, vilket ger ca 1,5 meters överlapp i grannparcellen (vilket får vara godtagbart försök). Med detta körsätt hamnar spåren från bearbetning, harvning och sådd på samma plats vilket är eftersträvat. Vältning bör undvikas, men om det är ett faktum för optimalt bearbetningsresultat skall detta ske innan sådd med endast ett drag i parcellens mitt.

Sprutning och gödselspridning görs på samma sätt som i leden med slumpmässig körning, nämligen vinkelrätt mot parcellriktningen.

Tröskan skall trafikera samtliga parceller med omkring halvfull tank även om det inte finns något att tröska, med anledningen att spåren skall trafikeras för att packningseffekten skall uppfyllas. Tröskan har större spårvidd än traktorerna, vilket gör det mer komplicerat, körs tröskan i samma mittendrag så att traktorn och tröskan spårar i det spåret som ligger närmast försökets start fås ett spår som fått alla överfarter.

Vid tröskning hackas all halm för att behålla maximalt med växtrester, dock är det viktigt att den sprids jämnt för att efterkommande bearbetning inte skall försvåras. Förklarande beskrivning med hjälp av en bild finns i **Bilaga 2**. Bra att notera är att med breda parceller (9 m och 12 m) gör det inget om den yttersta metern inte är 100 % bearbetad. Det finns också möjlighet att överlappa in i grannparcellen utan att påverka mätningarna.

Växtföljd

Den aktuella växtföljden för försöket är höstvet (2011), vårkorn (2012), höstraps (2013). I försöket finns inga särskilda krav på utsäde och sort, utan försöksvärdens egna utsäde används.

Uppmätning av rutor

Inga mätningar gjordes i sprutspår och inte heller på de yttersta 1,5 meterna av parcellen på grund av eventuellt överlapp vid bearbetning.

Uppmätning spår i CTF rutor

Vid tidpunkt för provtagning i CTF rutor, mättes spåren respektive mellan spåren ut från kantens nordliga sida. Vid utmätning av spår är det viktigt att spåret där samtliga överfarter sker märks ut för provtagning. Utifrån en fjärdedel av rutans nordvästliga del valdes provtagningsplatsen slumpmässigt. Platsen valdes genom att gå blundande in i spåret för att inte påverka/välja valet av provtagningsplats. Anledningen till att bara denna fjärdedel valdes var därför att de andra fjärdedelarna var avsedda för andra mätningar så att dessa mätningar inte skall påverka varandras resultat.

För att illustrera hur spåren mättes ut se **Bilaga 2**. På **Bilaga 1** kan provtagningsytan tydligt tolkas.

Uppmätning av konventionella rutor

Uppmätningen av de konventionella rutorna gjordes genom att mäta ut behandlingsrutans mitt för att sedan slumpmässigt välja plats för provtagning. Det slumpmässiga urvalet av plats gjordes med hjälp av en spade som kastades slumpmässigt in i rutan. Där spadens nedre del landade grävdes provytan fram. Även i dessa rutor gjordes provtagning endast i en fjärdedel för att inte andra mätningar skall påverka dessa resultat. Se förtydligande bild i **Bilaga 1**.

Cylinderprovtagning

För uttagning av proverna användes spade för att gräva av den översta matjorden tumstock för att mäta ut rätt djup för provtagning, cylindrar för att ta markprovet i, cylindernedslagare (en tyngd för att slå ner cylindrarna i markprofilen), stor spackelspade för att gräva upp proverna individuellt för att inte de skall påverka varandra eller så att profilen i cylindern skulle påverkas, och en kniv för att skära en slät

yta på cylinderns ovansida och undersida. Varje uttaget och renskuret prov packades sedan in i plastfolie för att minimera avdunstningen.

Uttagningsmetod

Vid uttagning av cylinderprov är det viktigt att jorden inte är för torr eller för våt. Jorden får inte spricka när cylindern slås ned i marken, inte heller smeta eller att det står vatten i profilen. Det mest optimala klimatet är när jorden så kallat reder sig vilket innebär att ovanstående kriterier uppfylls.

Det översta matjordslagret i en ruta skalades av till 10 cm. För att säkerställa djupet lades en tumstock över rutan och sedan mättes djupet utifrån denna, se Figur 6.



Figur 6. Utmätning av djupet i rutan innan uttagning av cylindrar.

När cylindrarna placerades ut skulle detta göras slumpmässigt i närheten av varandra, i den framgrävda provrutan, vilket innebär att det inte behöver vara en identisk placering från ruta till ruta. 4 stycken cylindrar slogs ned i markprofilen med hjälp av en särskild cylindernedslagare för att profilen i cylindrarna inte skulle förändras nämnvärt, se Figur 7. Cylindrarna slogs ned så långt att de säkert var helt fyllda med jord, vilket är mycket viktigt för att få rättvisande resultat. På grund av stenförekomsten på Lönnstorp togs endast prover ut ur matjordslagret. Om sten påträffas så fick cylindern flyttas till en ny plats för att garantera att cylindrarna blev fulla med jord.

Cylindrarna grävdes sedan upp med en stor spackelspade med gott om extra jord runt för att inte provet i cylindern skulle påverkas, se Figur 8. När cylindrarna var uppgrävda så skars de rena med hjälp av en kniv i båda ändar och packades sedan in i plastfolie.



Figur 7. Cylindernedslagare,



Figur 8. Figuren till vänster visar spackelspaden för uppgrävning av cylinder. Figuren till höger visar cylindern på spackelspaden och kniven för att skära rent cylindern.

Samtliga cylindrar förvarades i kylrum vid en temperatur om ca 4 grader. Anledningen till att de skulle placeras i kyl var för att om det fanns mask i proverna så skulle de bli inaktiva och risker för förstörda prov minskar.

För optimala resultat bör provtagningarna göras sammanhängande några dagar i följd. Ett block skall helst utföras sammanhängande under en dag. Annars är risken stor att förhållandena förändras till nästa provtagningstillfälle.

Motivering till valet av metod för undersökning av infiltration

För att mäta infiltration finns olika metoder. Den kan mätas i fält genom att gräva ned till ett visst djup och slå ned en större cylinder i profilen varifrån vatten hålls och tiden för infiltration mäts. Detta är en lämplig metod som kan användas vid en mer praktisk undersökning där det inte finns krav på exakta mätningar. I detta fall är valet av metod en mer statistisk säkerställd metod där resultaten blir mer exakta, då infiltrationen mäts i ett laboratorium.

Analysmetod för cylinderprov

Analys av proverna gjordes i marklaboratoriet på institutionen för mark och miljö, SLU, Ultuna.

Första steget för analys i laboratoriet var att samtliga cylinderprover packas upp från plasten och vägdes en och en, samt att vikten noteras i kombination med den enskilda cylinderns nummer. Vågen som användes var en Precisa 500M-2000C, se Figur 9.



Figur 9. Vågen som användes för vägning av cylindrarna.

När proverna var vägda lades provet först på ett filter av modell Munktell qualitative filter papper. Efter detta lades en tunn tygbit ovanpå och spändes fast med ett gummiband på cylinderns undersida. På ovansidan lades ett lock på för att minimera avdunstning från provet, se Figur 10. Provet placerades i en större låda där vatten

tillsattes lite i taget under lång tid för att luften i provet skulle avgå och provet bli vattenmättat.



Figur 10. Visar samtliga steg vid vägning och iordningställning inför blötläggning. Från vänster till höger uppifrån och ned: steg 1 vägning av provet, steg 2 filter, steg 3 duk och gummiband, steg 4 lock för förhindrad avdunstning, steg 5 blötläggning i balja.

Vidare analys av infiltration

När cylindrarna legat i blöt i en veckas tid, mättes infiltrationen för varje cylinder. Anledningen till att proverna legat i blöt under en vecka var för att proverna skall vara riktigt vattenmättade och att eventuell luft skall ha lämnat provet. Under blötläggningsveckan hade laboratoriepersonal fyllt på med lite vatten i omgångar för att proverna skulle blötas upp långsamt och på så vis pressa ut luften ur proverna.

Infiltrationstest, steg för steg

Steg 1. Cylindern plockades ur vattenbadet för att monteras.

Steg 2. Filtret och tygbiten som tidigare var placerad på cylinderns undersida byts ut mot en mindre tygbit och ett hållock för att genomsläpplighet skulle vara möjlig, se Figur 11.

Steg 3. Cylindern monterades ihop i en platsats som sedan placeras i analysapparaten, se Figur 11. Denna platsats omsluter cylindern så att vattnet garanterat passerar provet för att få ett riktigt säkert resultat att analysera. Apparaten som användes för denna typ av mätningar var byggd av universitetet (och fanns alltså inte att köpa på marknaden, den fanns bara på SLU, och institutionen för mark och miljö).

Steg 4. Alla cylindernummer noterades i ett protokoll, om vilken plats de blivit tilldelade i apparaten.

Steg 5. När 24 cylindrar var placerade i apparaten (apparaten hade plats för 24 st cylindrar per provomgång) startades vattnet, vilket sakta och försiktigt skulle rinna igenom provet under en timmes tid innan vattenprovet samlades i mätglas, se Figur 12.

Steg 6. Mätningarna av det infiltrerade vattnet gjordes under totalt 60 minuter. Men de provrör som uppnådde omkring 80 ml tidigare än 60 minuter, lästes av när 80 ml uppnått. Alla tider och volymer noterades och protokollförs i ett protokoll. I detta protokoll antecknades också om det fanns några anmärkningar, så som maskhålsförekomst, sten, eller andra störningar som kunde påverka provets infiltrationstid.



Figur 11. Ordningsföljden för hur cylindrarna monterades in i provmaskinen, från vänster till höger, uppifrån och ner.



Figur 12. De översta bilderna visar apparaten färdigmonterad för infiltrationsmätning och den undre bilden visar hur mätglasen var placerade för att uppmäta mängden infiltrerat vatten under den specifika tiden.

Torkning av prover för mätning av skrymdensitet

Steg 1. När proverna var färdiga i apparaten plockades allt isär och cylindern placerades på ett aluminiumlock för att placeras i ugn, se Figur 13.



Figur 13. Cylindern förbereds inför torkning i ugn.

Steg 2. Proverna placerades i en ugn med 105 grader i ca 3 dygn för att torka. Ugnarna som användes för torkning var en VWR- Dry- Line och en VWR- Venti- Line, se Figur 14.



Figur 14. Visar hur ugnarna såg ut som användes för torkning av cylindrarna.

Steg 3. De ugnstorkade proverna togs ur ugnen för att svalna så mycket att de inte bränner, utan att direkt utsättas för luftfukt. Det innebär att de skulle hållas täckta med hjälp av plåtar.

Steg 4. De torkade provcylindrarna vägdes och även denna vikt noterades för att senare räkna ut provernas skrymdensitet. Vågen som användes för utvägning var samma våg som vid invägning, en Precisa 500M-2000C, se Figur 9.

Statistikuträkning

Samtliga statistiska uträkningar har gjorts i Minitab Release 16 och SAS version 9,2. Modellerna som är använda är general linear model, one sample T-test och en ANOVA metod.

Formler som är tillämpade för försöket

$$\text{Jordens skrymdensitet (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Jordens vikt efter torkning i ugn (g)}}{\text{Cylinderns volym (cm}^3\text{)}}$$

Formel för uträkning av infiltrationen i SLU:s mätapparat för infiltration.

$$-K = (V * T_{\text{korr}} * dx) / (t * A * dH)$$

Förklaring till förkortningarnas betydelse

-K= Korrigerat medelvärde

V= Volym (ml) vatten

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

dx= korrigerad provlängd

t= mättid för genomsläppligheten

A= cylinderns cm² (40,715)

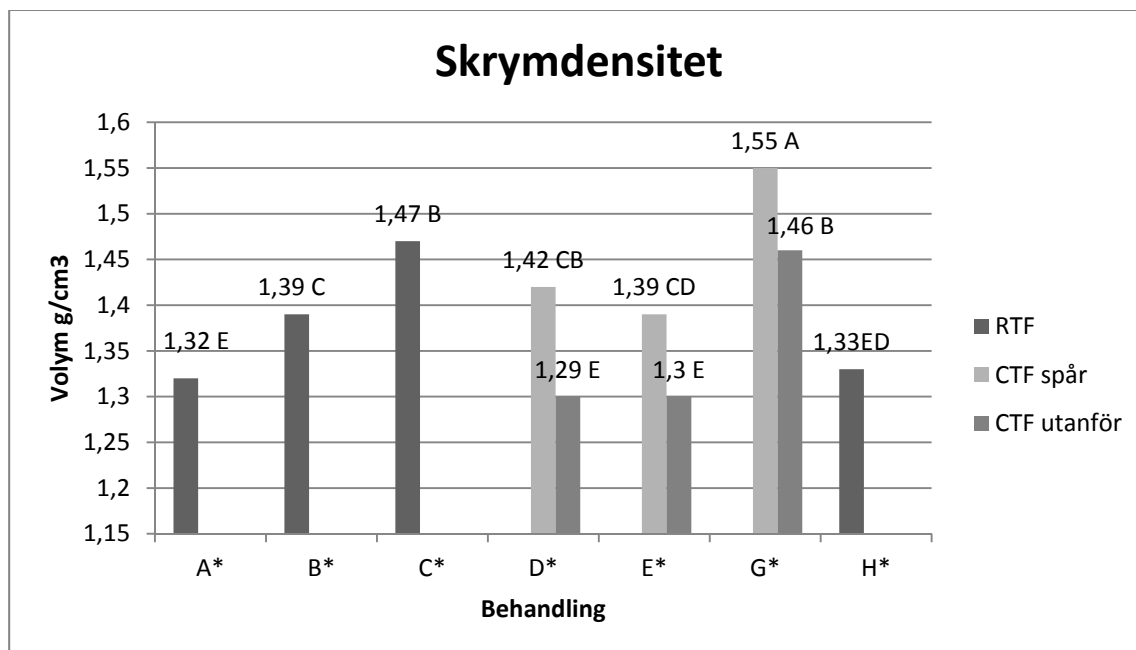
dH= vettenpelare (cm) 10,3

RESULTAT

Skrymdensitet

Skrymdensitetsskillnader mellan de olika leden

Det är signifikanta skillnader mellan blocken ($p=0,0050$) vilket tyder på att det var bra med blockindelning. Den statistiska jämförelsen mellan de olika leden visar att det finns signifikanta skillnader mellan de olika behandlingarna ($p < 0,0001$). Behandling G i spår skiljer sig signifikant genom att ha den högsta volymdensiteten, vilket tyder på att denna plats är mest kompakt. De signifikant bästa behandlingarna är A, E utanför spår och D utanför spår med de lägsta skrymdensiteterna, se Figur 15 för ett förtydligande diagram. Här framgår tydligt att i CTF- behandlingarnas otrafikerade yta är skrymdensiteten lägre än i spår.



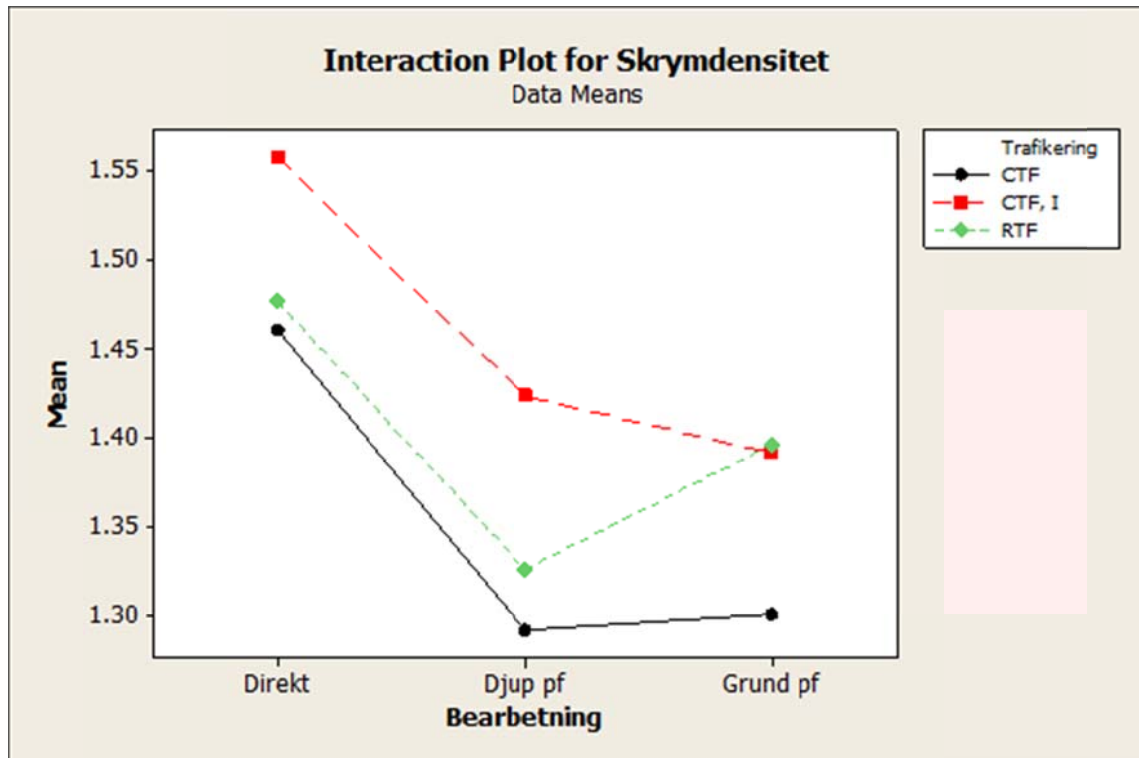
Figur 15. Medelvärde för skrymdensiteten (g/cm^3) analyserat med ANOVA och T-test i SAS. Samma bokstav ovanför stapeln betyder att det inte är signifikant skillnad mellan dessa led. RTF= konventionellt (slumpmässigt) trafikerat, CTF i spår= i de fastliggande körspår, CTF utanför= de otrafikerade/opackade ytan mellan de fastliggande körspår

Skrymdensitetsskillnader mellan de olika trafikeringsmodellerna

Försöket är upplagt som ett faktoriellt försök med faktorerna trafik och bearbetning. En statistisk analys med Tukey's test i Minitab visar att det är signifikant skillnad mellan trafikeringsmodellerna (konventionell trafik, CTF i spår och utanför spår), $p=0,0007$, samt mellan bearbetningsmetoderna (direktsådd, djup plogfri och grund plogfri), $p=0,000$. Inga signifikanta samspel fanns mellan bearbetning och trafikeringsmodellerna

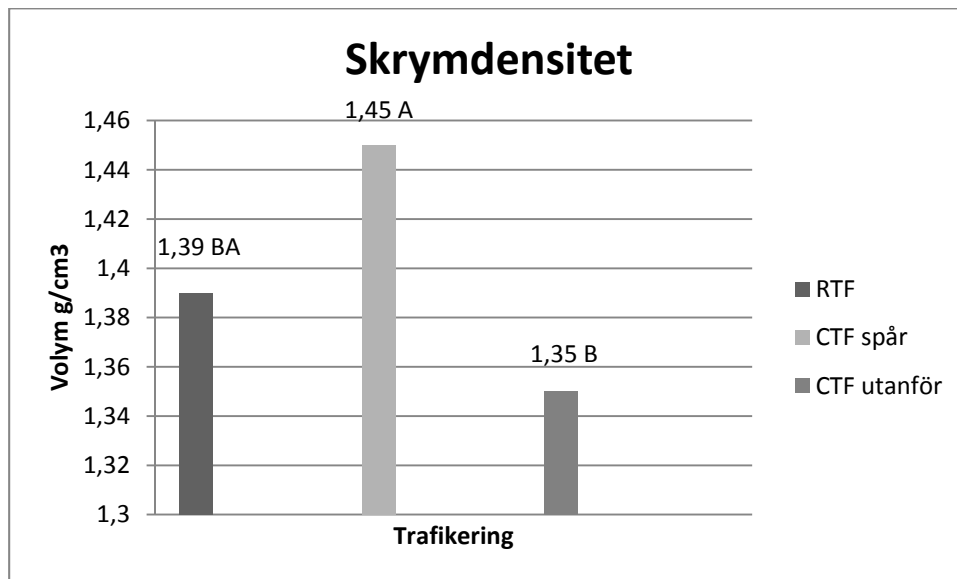
($p=0,189$). Det plöjda ledet (H) är exkluderat från den faktoriella jämförelsen eftersom den inte fanns med i alla trafikeringsmodeller.

Det finns inga signifikanta skillnader mellan de konventionellt trafikerade rutorna i förhållande till de ofrafikerade ytorna i CTF- leden (en signifikant skillnad erhålls dock vid analys med PROC GLM i SAS). CTF i spår skiljer sig däremot signifikant från de andra med en högre skrymdensitet (vilket tyder på en mer kompakt jord), vilket framgår av Figur 16. Direktsådda behandlingarna är signifikant mer kompakta än de andra bearbetningsmetoderna.



Figur 16. Trafikeringsmodellerna jämförda med de olika bearbetningsmetoderna. Den plöjda behandlingen är inte med i denna uträkning då den inte finns i alla trafikeringsmodeller. (Tukey's test från Minitab). RTF = Konventionellt (slumpmässigt) trafikerat, CTF = fasta körspår med kontrollerad trafikering utanför spåren, CTF, 1 = fasta körspår med kontrollerad trafik i körspåren.

I Figur 17 framgår att CTF i de trafikerade spåren skiljer sig signifikant. CTF utanför spår, men inte från konventionellt (slumpmässigt) trafikerat.



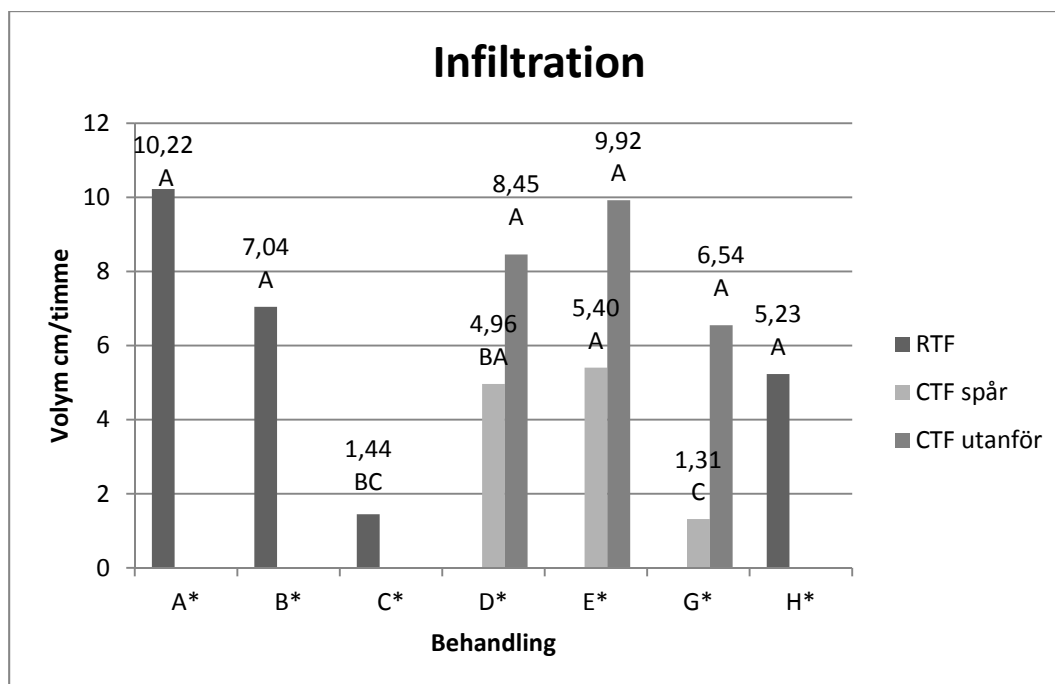
Figur 17. Skrymdensitet för de olika trafikeringsmodellerna. Analyserat med Tukey's test i Minitab. Led med samma bokstav ovanför staplarna är ej signifikant skiljda åt. RTF = konventionellt (slumpmässigt) trafikerat, CTF spår= i de fastliggande körspåren, CTF utanför= de ofatikerade/opackade ytan mellan de fastliggande körspåren.

Infiltration

Infiltrationsskillnader mellan olika behandlingar

Det är signifikanta skillnader mellan de olika behandlingsleden ($p=0,015$), men inga signifikanta skillnader mellan blocken ($p=0,185$).

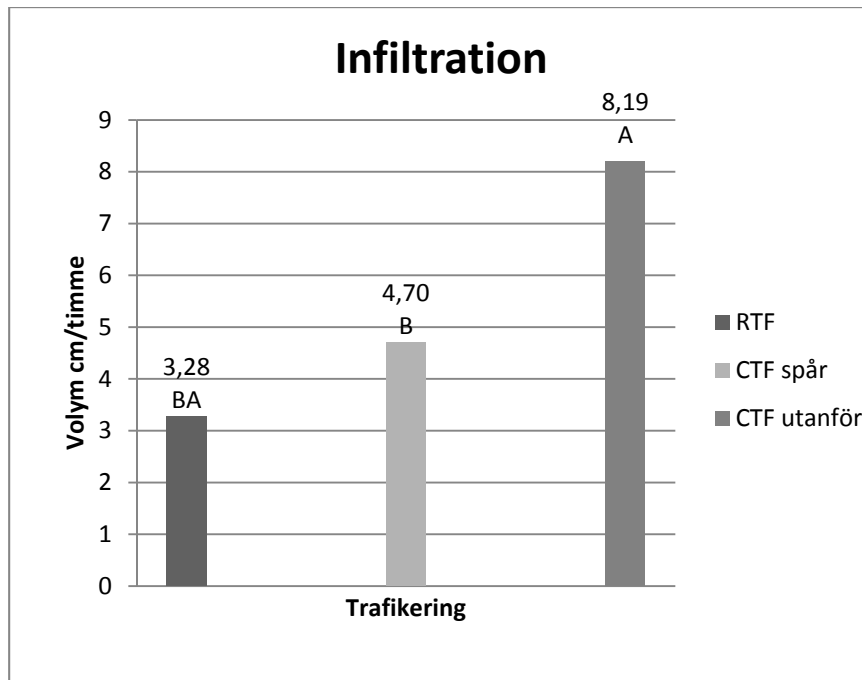
Behandling G i spår har den lägsta infiltrationskapaciteten och är signifikant skiljd från alla led utom led C, vilket tyder på att denna plats är mest kompakt och svårgenomsläpplig. Figur 18 visar att i CTF-behandlingarna är den ofatikerade ytan bäst på att infiltrera även om skillnaderna inte alltid är signifikanta. Resultaten är analyserade med ANOVA och t-test i SAS. Eftersom värdena inte var normalfördelade logaritmerades dessa före analysen. Medelvärdena i tabeller och figurer är dock angivna som antilogaritmerade värden.



Figur 18. Antilogaritmerade medelvärden för infiltration för de olika behandlingsleden. Analyserat med ANOVA och t-test i SAS. Led med samma bokstav ovanför staplarna är ej signifikant skiljda åt. RTF = konventionellt (slumpmässigt) trafikerat, CTF spår= i de fastliggande körspåren, CTF utanför= de otafikerade/opackade ytan mellan de fastliggande körspåren.

Infiltrationsskillnader mellan de olika trafikeringsmodellerna

För infiltration finns inga signifikanta skillnader mellan de olika trafikeringsmodellerna ($p= 0,1041$) enligt ANOVA analys i SAS med logaritmerade värden (eftersom medelvärdena är normalfördelade). I Figur 19 visas antilogaritmerade medelvärden för infiltration för de olika trafikeringsmodellerna.



Figur 19. Antilogaritmerade medelvärden för infiltration för de olika trafikeringsmodellerna. Analyserades med ANOVA och t-test i SAS. Led med samma bokstav ovanför staplarna är ej signifikant skiljda åt. RTF = konventionellt (slumpmässigt) trafikerat, CTF spår= i de fastliggande körspåren, CTF utanför= de otafikerade/opackade ytan mellan de fastliggande körspåren.

DISKUSSION

Jämförelser

Jämförelse av resultatet för skrymdensitet med riktvärdena

Värdena från skrymdensitets resultatet (Figur 15) varierar mellan 1,29 till 1,55, vilket är en relativt stor spridning. Dessa värden jämförs med riktvärdena som kan studeras i Tabell 1. Resultatsvärdena i detta fall jämförs med riktvärden för sandjord. Då ligger alla värden inom den idealiska skrymdensitetsgränsen. Merparten av värdena är låga jämfört med riktvärdet, vilket tyder på att den aktuella jordens hälsostatus är acceptabel.

Jämförelse av värden med riktvärden för infiltration

För låg infiltration anges 0,1 meter/dygn (4 mm/timme) eller lägre. Här anses läget kritiskt och risken för erosionsproblem ökar vid kraftiga regn (Berglund, 2008). För en medelgenomsläpplighet anges intervallet 0,1 - 1,0 m/dygn och för hög genomsläpplighet mer än 1,0 m/dygn. Riktvärdena spänner alltså från 0,1 till 1,0 meter/dygn. Vilket omräknat till andra enheter är samma som, 10 cm till 100 cm/dygn eller 0,4- 4.0 cm/timme. Värdena som har framkommit ur resultatet är varierande beroende på vilken bearbetningsmetod som anges. Värdena varierar från 1,3 cm/timme till 10.2 cm/ timme, vilket är stor variation, se Figur 18. Men då skall det också observeras att proverna endast är tagna ur matjordslagret på 10 till 15 cm djup, vilket kan ha stor betydelse för infiltrationen. I detta fall är det behandling A (djup plogfri bearbetning 15-20 cm) som har det högsta infiltrationsvärdet. Detta kan bero på att provet är uttaget ur det bearbetade skiktet och detta kan troligen ha viss påverkan på infiltrationshastigheten. I detta fall skulle det vara intressant att ha fler prov ur profilen för att se hur infiltrationsförmågan förändras på djupet.

C och G är båda direktsådda vilka har generellt lägre infiltrationsförmåga än de övriga behandlingarna. Dessa värden ligger i den undre kritiska gränsen. Anledningen till detta kan bero på att ingen luckring är gjord. Men samtidigt understiger inga av de ingående leden den kritiska gränsen, vilket är bra. Även här hade ett djupare prov varit intressant att iakttaga.

Infiltrationen i körspåren i CTF-rutorna är avsevärt sämre än övriga ytor. Men i de ytor som inte har trafikerats på 3 år är infiltrationen bra och befinner sig i det övre riktvärdesintervallet, vilket tyder på att det gör viss skillnad att centrera körspåren.

Vad kan detta göra för förändringar, varför är det bra eller dåligt?

I takt med att klimatet ändras kan det också väntas mer och allt större nederbörd vilket kräver större infiltrationsförmåga på odlingsplatserna (Bjerström, 2010). Infiltrationsförmågan i våra marker är därför en viktig parameter för att undvika erosion av olika slag. Idag är klimatet i Sverige inte extremt som i många andra länder, men innan det är försent är det viktigt att undersöka vilka effekter det kan ge om bearbetningsmetoder och trafikeringssmodeller anpassas för ett framtida eventuellt extremt klimat. Därför är infiltration ett viktigt begrepp, vid kraftiga nederbörd ställer detta därför större krav. De finns dock andra aspekter med att minimera bearbetningsinsatserna. Det kan spara kostnader i form av insatsmedel såsom diesel, miljöpåverkan och gödselmedel samt att om infiltrationen på fältet är god kommer också skördar att garanteras i större utsträckning (Tullberg et al. 2001).

Infiltration och skrymdensitet är båda mycket viktiga aspekter när det gäller hälsostatus för marken. Om marken är kompakt påverkas också infiltrationen negativt samtidigt som växterna hämmas tillväxt och näringsupptag (Hamza och Anderson, 2005).

Vad anser jag om resultatet?

Resultaten blev nästan som jag väntat mig med att de spår fria ytorna hade en bättre hälsostatus, men skillnaderna var inte så stora som förväntat. Dessa resultat tror jag kan vara bra att ta i beaktande när det diskuteras bearbetningsmetoder för framtiden. Det jag ser i dessa resultat är att skillnaden mellan plogen och andra bearbetningsmetoder inte är jättestora, men kan minimera den miljöpåverkan vi ständigt jobbar för att minska. För ett svenskt perspektiv tror jag att det finns en framtid; att försöka sänka kostnader genom att ställa om odlingsmodellen från konventionell plöjning till ett mer reducerat system för att minimera kostnaderna både ekonomiskt och ekologiskt.

Resultaten kan användas som grund för att studera vidare inom ämnet mark och struktureffekter till följd av bearbetningsmodeller. För att få ett riktigt bra resultat skulle det behövas fler mätningar ur markprofilen för att få reda på vad som händer och hur det påverkas längre ner i profilen för att säkert kunna säga att det är bra eller dåligt.

För att resultatet skulle vara mer säkert skulle det behövs fler mätningar ur jordprofilen både för infiltration och för skrymdensitet.

Jag tror på ett allt mer reducerat system där naturen på ett naturligt sätt kan producera maximalt med hjälp av minimal mängd insatsmedel. Resultaten från denna studie går inte att generalisera på grund av att det är så många ytterligare faktorer som påverkar hur processen i marken fungerar. Några viktiga delar som har stor betydelse för processen är jordart, klimatförutsättningar växtföljder och årsmåner med frysning och torka av odlingsplatsen. I framtiden tror jag att det är mycket viktigt att ta vara på marken och inte utsätta den för skadliga påfrestningar så som bland annat packning med stora maskiner över en okontrollerad yta, utan att försöka minimera ytan som utsätts för påfrestning, lika viktigt som att variera växtföljder och andra påverkande faktorer.

Slutsatser

- Direktsådd med en konventionell trafikering ger en mer kompakt jord vilket ger en hög skrymdensitet och låg infiltration.
- Plöjningen ger ett matjordsskikt med lucker jord med bra infiltration trots trafikeringssmodellen.
- Det går inte att säga att den ena trafikeringssmodellen är bättre än den andra. För att göra dessa slutsatser behövs mer information om vad som händer djupare ner i marken.
- Enligt Stenberg, 2010 så kan den totala miljöbelastningen minskas genom att ett reducerat system används. Detta är mycket intressant ut ett svenskt perspektiv där kostnaderna ständigt jagas och miljökraven allt högre.

REFERENSER

Arvidsson, J. och Holm, L. (2012). Fasta körspår – skördepotential och effekt på markstruktur. Ur: Arvidsson (2012) Rapporter från jordbearbetningsavdelningen nr 121. S. 57-61. Uppsala, SLU.

Bjerström, E (2010). 29 juli <http://www.svt.se/nyheter/vetenskap/ny-rapport-bevisar-varlden-har-blivit-varmare-extremvader-slar-hart-mot-jorden>

Berglund, K. och Bjuréus, A. (2008). Markstrukturtest i fält – beskrivning och instruktion. Rapport från avdelningen hydroteknik. Nr 8. Uppsala, SLU.

Bertilsson, G (2008) *Mullen i marken - behövs den och vad händer med den?* Online: 2014-01-13. [Tillgänglig]: <http://www.greengard.se/mullen2.htm>

CTF Europa, (2013). *What is CTF?* Online: 2013-04-05. [Tillgänglig]: <http://www.ctfeurope.co.uk/WhatIs/What-Is-CTF.aspx> 2013. 2013-02-03

Davies, B. et al. (1993). *Soil management, fifth edition*, Ipswich: Farming press

Eriksson, J. et al. (2005). *Wiklanders marklära*. Lund: Studentlitteratur AB

Etana et al. (2000). *Markfysikaliska studier i långliggande försök med reducerad bearbetning, slutrapport projektnummer: 9633028*. Rapport från jordbearbetningsavdelningen nr. 97. Uppsala, SLU.

FAO, (2012). *Conservation agriculture*. Online: 2013-04-12. [Tillgänglig]: <http://www.fao.org/ag/ca/>

Greppa Näringen (2013). *Packningens omfattning i matjorden*. Online 2013-05-30. [Tillgänglig]: <http://www.greppa.nu/uppslagsboken/markbordighet/markpackning/omfattningochvaraktighet/packningensomfattningimatjorden.4.1c0ae76117773233f7800012088.html>

Hamza M.A och Anderson W.K. (2005). *Soil compaction in cropping system*. Merredin, Australien. Rapport nr 82.

Håkansson I, (2000). *Packning av åkermark vid maskindrift – omfattning – effekter-motåtgärder*. Rapport från jordbearbetningsavdelningen nr 99. Uppsala, SLU.

Jansson, P.E (2013). *Markvatten*. Online: 2013-05-28. [Tillgänglig]: <http://www.ne.se/lang/mark/markvatten>

Johansson W. (1992). *Markstruktur – fysikaliska egenskaper och betingelser*. Online: 2013-05-26. [Tillgänglig]: http://www.vaxteko.nu/html/sll/sjv/utan_serietitel_sjv/UST92-3/UST92-3H.HTM

Klimatförändringen (2007) *Vad klimatförändring är*. Online: 2013-04-13. [Tillgänglig]: <http://klimatforandringen.nu/vad-ar/>

Miyazaki, T. (1993). *Water flow in soils*. New York: Marcel Dekker.

Pedersen, H.H. (2012, a). Lydinge farm. Online: 2012-06-01. [Tillgänglig]:
<http://ctfeurope.com/2012/lydinge/>

Reicosky, D.C. (1997). *Tillage-induced CO₂ emission from soils. Morris, USA nr56267*.
<http://link.springer.com/content/pdf/10.1023%2FA%3A1009766510274.pdf>

Stenberg, M. (2010). *Reducerad jordbearbetning på rätt sätt – en vinst för miljön*. Skara. Rapport 2010:36.

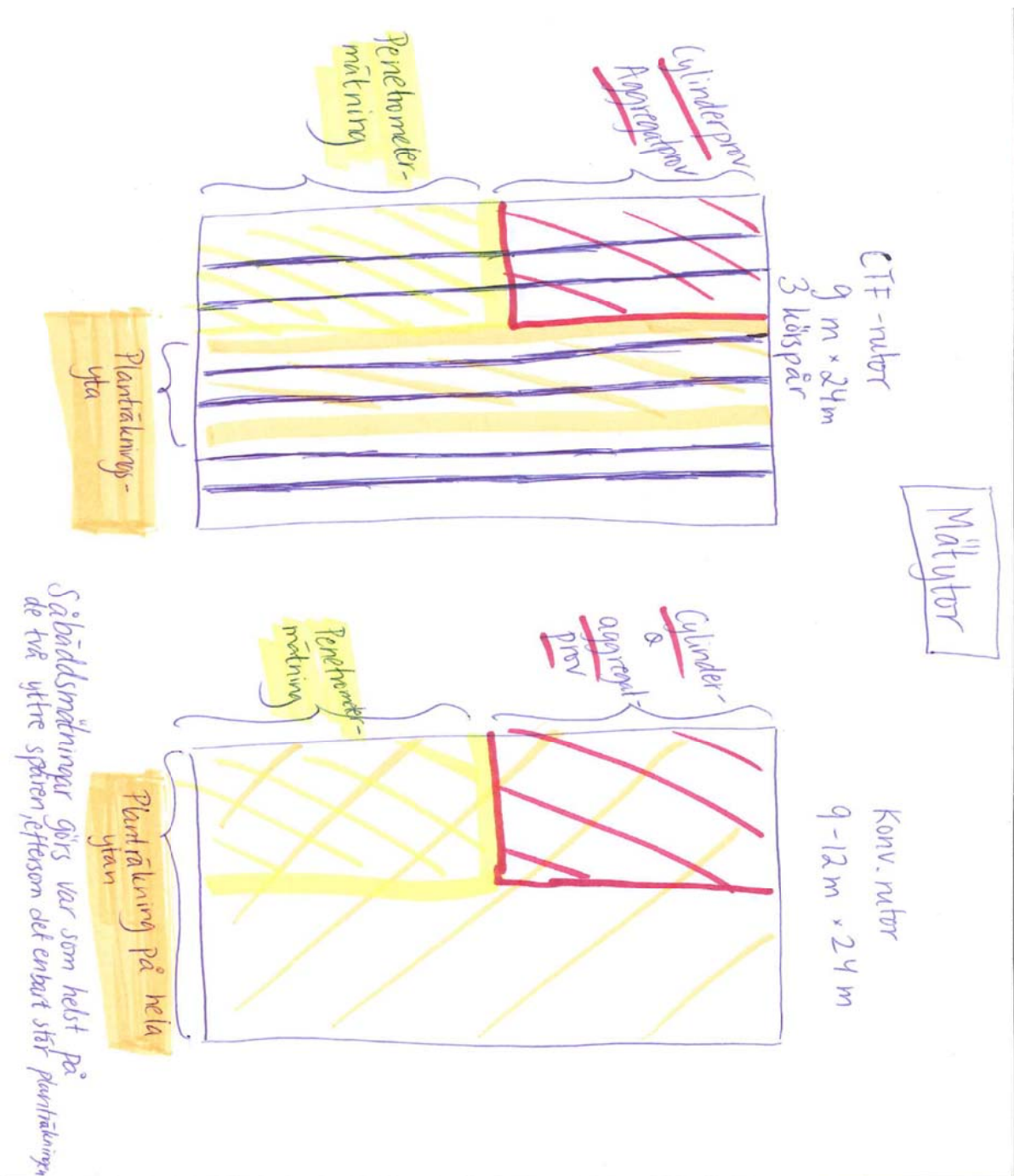
Tullberg, et al. 2001. *Tillage and traffic effects on runoff*. Australian Journal soil research 39 (02), s. 249-257.

USDA (2008). *Bulk density*. Online: 2013-05-20. [Tillgänglig]:
http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/bulk_density_sq_physical_indicator_sheet.pdf

WWF, (2013). *Törstiga jeans*. Online: 2013-04-05 [Tillgänglig]:
<http://www.wwf.se/source.php/1119894/bomull%20avtryck%20s9.pdf2013-04-12>

Pedersen, H.H. (2013, b). Personlig kontakt 2013-03-01. Kontaktuppgift: CTF Europe, DK. hanshenrik@ctfeurope.eu.

BILAGA 1



BILAGA 2

