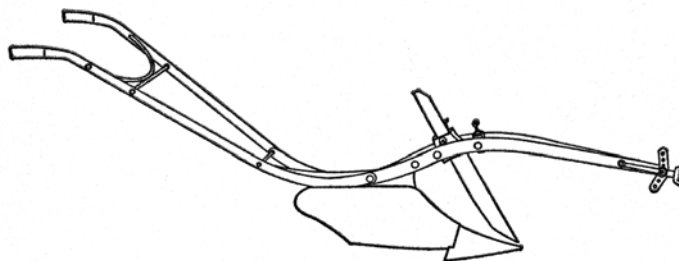




Institutionen för
Markvetenskap
Uppsala

MEDDELANDEN FRÅN JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

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



Nr 57

2008

Niclas Sjöholm

**Inverkan av bearbetningsdjup på
markstrukturen i försök med plöjningsfri
odling i Skåne och Halland**

*Influence of tillage depth in ploughless tillage
experiments in Skåne and Halland*

ISSN 1102-6995

ISRN SLU-JB-M--57--SE



Inverkan av bearbetningsdjup på markstrukturen i försök med plöjningsfri odling i Skåne och Halland

Niclas Sjöholm

Handledare: Johan Arvidsson

SLU
Institutionen för markvetenskap
Examensarbete inom huvudämnet markvetenskap, D-Nivå

Uppsala 2008

Förord

Den här studien är gjord som ett examensarbete inom huvudämnet markvetenskap på D-nivå på Jordbearbetningsavdelningen vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Uppsala. Studien är genomförd i Skåne och Halland samt bearbetad i Uppsala. Studien avslutar min agronomutbildning med mark/växt-inriktning vid Sveriges Lantbruksuniversitet Uppsala.

Jag vill framföra ett stort tack till min handledare Johan Arvidsson samt alla andra personer på avdelningen för jordbearbetning som ställt upp då jag har haft frågor. Vidare vill jag tacka Lina Grönberg och Anders Månsson för all hjälp i Skåne och Halland med de tidskrävande genomsläpplighetsmätningarna samt infärgningsexperimentet.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Summary	4
Inledning	5
Bakgrund	6
Reducerad jordbearbetning	6
Markstruktur	6
Markfysikaliska samt biologiska effekter av reducerad jordbearbetning	7
Penetrationsmotstånd och rotutveckling	9
Studier av vattentransport med hjälp av färgmarkörer	11
Reducerad jordbearbetning, påverkan på skörd	13
Material och metoder	15
Försöksplan och grödor skördeåret 2008	15
Texturanalys.....	16
Torr skrymdensitet	17
Genomsläpplighet	17
Penetrationsmotstånd	18
Rotutveckling.....	19
Infärgningsexperiment, utrustning	20
Infärgningsexperiment, genomförande	21
Infärgningsexperiment, bildanalys.....	21
Skörd	22
Statistik	22
Resultat	23
Skrymdensitet på Charlottenlund och Väby	23

Genomsläpplighet Charlottenlund	23
Genomsläpplighet Väby	26
Penetrationsmotstånd Charlottenlund	28
Penetrationsmotstånd Väby	30
Rotutveckling på Charlottenlund och Väby	33
Infärgningsexperiment Charlottenlund	34
Skörd på Charlottenlund	37
Skörd på Väby	38
Diskussion	39
Skrymdensitet	39
Genomsläpplighet	39
Penetrationsmotstånd	40
Rotutveckling	40
Infärgningsexperiment	40
Skörd	41
Slutsatser	41
Referenser	42

Sammanfattning

Reducerad jordbearbetning är intressant ur många aspekter och förbättrad markstruktur är en viktig parameter. I den reducerade jordbearbetningen ersätts den arbetskrävande konventionella plogen med kultivatorer och tallriksredskap. Valet av bearbetningsmetod påverkar flertalet av markens processer, biologiska och fysikaliska. Reducerad jordbearbetning har oftast visat sig förbättra markens struktur och har lämpat sig bäst på strukturstarka jordar så som styva leror. Lättare jordars högre luckringsbehov har varit en av anledningarna till att systemet fungerat sämre där. Dock kan positiva effekter som uppkommer av reducerad jordbearbetning ta några år att utvecklas varför omställning av bearbetningssystem måste planeras.

Undersökningar av för växterna viktiga parametrar studerades i fältförsök på Charlottenlunds och Väby gård i Skåne respektive Halland som bedriver plöjningsfri odling i hela växtföljden, vilket är en av anledningarna till att försöken är placerade där. Försöken är uppbyggda som randomiserade blockförsök med fyra led: A1 (Reducerad 15 cm), A2 (Reducerad ca 5-7 cm), B (Plöjning 20-22 cm) samt C (Plöjning 12-15 cm). Mätningar av skrymdensitet, genomsläpplighet, penetrationsmotstånd och rotutveckling gjordes under vår och tidig sommar 2008. Dessutom studerades preferensflöde med Brilliant Blue FCF genom datoriserad bildanalys av högupplösta bilder.

Resultaten från mätningarna visade att skillnaderna mellan de fyra leden generellt sett var små. Skillnader mellan plöjda respektive plöjningsfria led var mer uttalade än för bearbetningsdjupen. Resultaten från mätningarna visade att en ökning av skrymdensiteten i matjorden inte alltid uppkommer vid tillämpning av reducerad jordbearbetning. Ökning av bearbetningsdjupet i de plöjningsfria led har inte haft någon inverkan på penetrationsmotståndet i de plöjningsfria leden. De plöjda leden har generellt haft lägre penetrationsmotstånd än plöjningsfria led och den grunda plöjningen har i regel haft lite högre penetrationsmotstånd än den djupa. På Charlottenlund utvecklades mer rötter i plöjningsfria led vilket går emot de flesta andra undersökningar. Genomsläppligheten i matjorden var generellt sett högst i plöjda led. Skillnader i plogsulan var inte lika uttalade och endast på Väby hade plöjda led lägre genomsläpplighet i skiktet 22-27 cm. Infärgningsexperimentet visade inga skillnader mellan plöjt respektive plöjningsfritt i skiktet 0-53 cm. Skörden på Charlottenlund och Väby visade inga signifikanta skillnader mellan de olika bearbetningsmetoderna under 2008.

Summary

Reduced tillage is interesting in many points of views and improved soil structure is a factor of great importance. In reduced tillage the labour intensive mouldboard plough is often replaced by disc or spring-tine cultivators. Tillage systems affect several soil properties, both biological and physical. Reduced tillage is often shown to improve soil structure and the method has in Sweden been best suited on strongly structured heavy clays. Weakly structured soils needs more loosening and reduced tillage has not been that successful on these types of soils. It can take several years with reduced tillage before the positive effects becomes beneficial.

Measurements on soil properties affecting crop growth has been studied in field trials in south of Sweden on two farms. The randomized block designed trials consist of four tillage systems and they are listed as: (A1) reduced tillage (15 cm), (A2) reduced tillage (5-7 cm), (B) conventional ploughing (20-22 cm) and (C) shallow ploughing (12-15 cm). Measurements of dry bulk density, infiltration, penetration resistance and root development were performed under spring and early summer 2008. Furthermore preferential flow was studied with the dye tracer Brilliant Blue FCF using high resolution images.

The measurements showed that the difference between the different tillage methods generally was small. The differences between ploughed and non-ploughed plots were more pronounced than between tillage depths. Dry bulk density in the topsoil does not always increase when conventional plough is replaced by reduced tillage systems. Increased tillage depth did not affect the penetration resistance in the non-ploughed plots. The ploughed plots generally had lower penetration resistance than the non-ploughed plots and the shallow ploughed plot resulted in higher penetration resistance compared to the deep ploughed plots. On Charlottenlund root development was significantly higher in the non-ploughed plots which is interesting compared to other studies that have found higher root development in ploughed plots. Infiltration in the top soil was generally higher in the ploughed plots. At the depth of the plough pan the infiltration was higher in non-ploughed plots at Våby but no differences were found at Charlottenlund. The dye tracer experiment showed that there were no differences between ploughed and non-ploughed plots. The four different tillage methods did not significantly affect crop yields on Charlottenlund and Våby in 2008.

Inledning

Reducerad jordbearbetning har på senare tid blivit ett alltmer diskuterat ämne. Minskad bränsleförbrukning och arbetsbesparing är faktorer som talat för tillämpningen av reducerad bearbetning och som även drivit på forskningen inom området. Markfysikaliska och markbiologiska effekter av reducerad bearbetning har studerats mycket i Europa och Sverige. Framförallt har effekterna vid tillämpning av plöjningsfri odling jämförts med konventionell plöjning. Den grunda plöjningen är en alternativ bearbetningsmetod till den konventionella plöjningen men även till den icke vändande bearbetningen.

Skillnader i skörd mellan reducerade och konventionellt plöjda bearbetningssystem har i regel varit små (Riley m. fl., 1994). Strukturstarka jordar så som styva leror har varit de jordar reducerad jordbearbetning lämpat sig bäst på i svenska försök (Rydberg, 1992). Lättare jordar har större luckringsbehov varför plöjning ofta gett högre skördar jämfört med reducerade bearbetningssystem (Arvidsson, 2004). I regel har tillämpning av reducerad jordbearbetning och utebliven plöjning medfört att marken fått högre penetrationsmotstånd och skrymdensitet (Arvidsson, 1998; Schjønning & Rasmussen 2000). Dessa är båda viktiga parametrar som kan återspegla det motstånd rötterna upplever när de växer i jorden. Även analyser av mängden rötter har visat att det plöjd i jord utvecklas mer rötter än i reducerade bearbetningssystem, framförallt i matjorden (Comia m. fl., 1994). Minskad kumulativ evaporation är en positiv effekt av plöjningsfri odling, framförallt vid vårsådd i nederbördsfattiga områden (Rydberg & Öckerman, 1987). Effekter av reducerad jordbearbetning i djupare jordlager är bland annat en ökning av antalet makroporer (Andreini & Steenhuis, 1990) som kan bidra med upp 100 % av all vattentransport (Alaoui & Helbing, 2006).

Vattentransport i marken sker komplext och för att åskådliggöra den kan infärgningsexperiment utföras. Genom att i vatten lösa upp färgämne och därefter vattna jorden kan man efter utgrävning se hur vattnet rör sig. Det går även att uppskatta ytan av porer och sprickor i vilka vattnet rört sig och på det sättet få en uppfattning hur bearbetningar påverkar vattnets transport. Valet av bearbetningssystem påverkar jordens struktur som genom infärgning kan åskådliggöras.

Syftet med undersökningarna i detta arbete var att se hur marken och grödor i försök påverkas av olika bearbetningsmetoder. Mätningarna utförs i försök som är placerade på Charlottenlunds gård samt Väby gård i Skåne respektive Halland som bedriver plöjningsfri odling i hela växtföljden. Försöken är uppbyggda som randomiserade blockförsök med fyra led: A1 (Reducerad 15 cm), A2 (Reducerad ca 5-7 cm), B (Plöjning 20-22 cm) samt C (Plöjning 12-15 cm). Försöken på Charlottenlund och Väby har legat sedan 2004 och uppdelning i grund och djup bearbetning i den plöjningsfria odlingen tillkom först 2006. Effekter av bearbetningsmetoderna på marken är viktiga parametrar att ta ställning till vid byte av bearbetningssystem. Dessutom är det intressant att se effekter som uppkommer på längre tid då det kan ta några år med plöjningsfri odling innan den blir effektiv.

Det finns många sätt att studera hur marken påverkas genom olika bearbetningssystem. Litteraturstudien som genomförts gav grunden för vilka mätningar som skulle genomföras samt för de följande uppsatta hypoteserna:

- Skrymdensiteten i matjorden ökar vid tillämpning av reducerad jordbearbetning
- Genomsläppligheten i matjorden är högre i plöjda led
- Genomsläppligheten i plogsulan är lägre i plöjda led
- Penetrationsmotståndet är lägre i matjorden i plöjda led
- Grundare bearbetningsdjup medför högre penetrationsmotstånd i matjorden
- Rotutvecklingen är större i plöjda led
- Andelen färgtäckt yta vid infärgning är större i plöjningsfria led, i alla fall under plogdjup

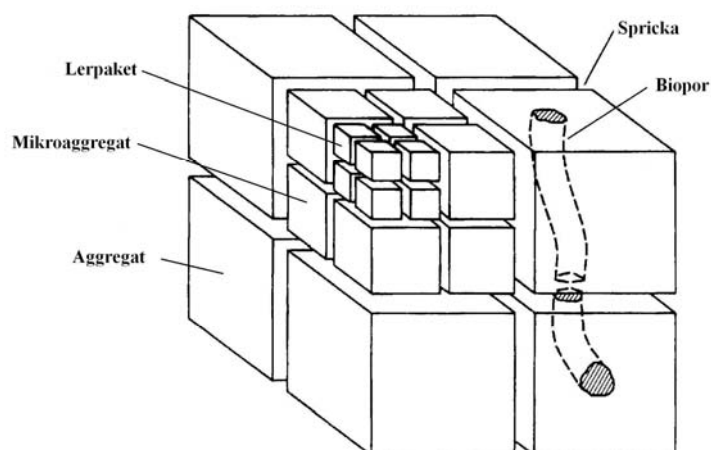
Bakgrund

Reducerad jordbearbetning

Reducerad jordbearbetning är av intresse ur flera aspekter. Minskad insats av energi och tid gav grunden för forskning inom området samtidigt som den blev mer tillämplig. Inom reducerad jordbearbetning ersätts oftast den konventionella plöjningen med tallriksredskap samt kultivatorer. Även den konventionella plogen har på senare tid modifierats så att det numera finns plogar som arbetar grunt (Etana m. fl., 2000). Att ersätta den tidskrävande plöjningen med reducerad jordbearbetning lade grunden för intresset för lantbrukare i Europa omkring 1970 (Rasmussen, 1999; Riley m. fl., 1994).

Markstruktur

En definition på markstruktur ges av Berglund m. fl. (2002), ”*Markstruktur kan definieras som det sätt olika slags markpartiklar är lagrade och förbundna med varandra*”. Även Dexter (1988) definierar markstruktur på ett liknande sätt men påpekar även att det finns många aspekter i hur man kan tolka markstruktur som exempelvis enskilda maskgångar, aggregatstabilitet men även enskilda lerpartiklar i ett aggregat. Där beskrivs även markstruktur ur en hierarkisk synvinkel där den lägsta ordningen är enskilda mineralkorn. Högre upp befinner sig mikroaggregat och aggregat. Det innebär att aggregat som ligger lägre i hierarkin är mer kompakta än aggregat högre upp i hierarkin. Anledningen till det är det finns porer som fyller upp mellan aggregat av nästa nivå i hierarkin, se figur 1.



Figur 1. Markstruktur ur en hierarkisk synvinkel med de olika nivåerna i hierarkin (Dexter, 2003).

Bildandet av markstruktur börjar med att primärpartiklar flockulerar och bildar större strukturer, lerpaket. Detta är dock ett första steg i en komplicerad process som finns beskriven av Dexter (1988), Eriksson m. fl. (2005) och Heinonen (1985). Mikroaggregat är partiklar i storleken 2-20 μm och bildas både genom att fysikaliska och kemiska krafter drar jordpartiklar samman. Därefter bildas det aggregat som definieras som partiklar $> 250 \mu\text{m}$. Dessa bildas genom cykler av uppblötning och upptorkning. Vid jordbearbetningen kan marken kompakteras och kokor $> 25 \text{ mm}$ kan bildas som ibland är alldeles för stora för att ingå i såbäddens material. Dessa kan brytas mekaniskt med hjälp av olika jordbearbetningsredskap eller genom cykler av upptorkning och uppblötning. Även tjäle kan ha stor effekt på dessa kokor. Sönderdelning av aggregat på en hierarkisk nivå medför bildandet av aggregat i en lägre hierarkisk nivå (Dexter, 1988). Även Heinonen (1985) sammanfattar upptorkningsprocesser, frysning samt tillförsel av omsättbart organsikt material som viktiga led i bildandet av en god markstruktur. Tillförsel av organiskt material är på lerjordar en viktig komponent för att göra jorden mer lättbearbetad då aggregat blir mindre plastiska när de är blöta och mindre hårda när de är torra (Eriksson m. fl., 2005).

Hur stabil markstrukturen är beror på flera faktorer och på vilken nivå i hierarkin man vill studera markstrukturen. Som ett exempel kan vattendropparnas kraft förstöra mikroaggregat vilket kan innebära igen slamning. Mikroaggregatens stabilitet påverkas av exempelvis polysackarider och tillgången på laddade katjoner som formar bryggor med organiskt material vilket höjer stabiliteten. Större aggregats stabilitet påverkas mer av rötter, levande eller döda, samt svamphyfer. Det organiska materialet påverkar således högre hierarkier fortare vilket gör att jordbearbetningen i sin tur påverkar högre hierarkier fortare (Dexter, 1988).

Markfysikaliska samt biologiska effekter av reducerad jordbearbetning

Flera försök om hur marken påverkas vid reducerad jordbearbetning finns i Sverige och Europa. Markfysikaliska effekter vid olika bearbetningssystem undersöks ofta genom exempelvis mätningar av genomsläpplighet i olika skikt, skrymdensitet, penetrationsmotstånd, rotutveckling samt studier av markfaunan.

I fältförsök på svenska lerjordar med grund kultivering har den mättade hydrauliska konduktiviteten blivit signifikant högre i skiktet 25-30 cm jämfört med konventionell plöjning (Comia m. fl., 1994; Arvidsson, 1998). Effekterna av olika bearbetningar kan innebära att exempelvis porer i vissa skikt kan smetas ut och medföra dålig infiltration. Det kan innebära att jorden blir vattenmättad eller att ytavrinning uppstår (Dexter, 1988).

Genomsläppligheten i de övre delarna av matjorden kan vid tillämpning av reducerad jordbearbetning bli lägre samtidigt som genomsläppligheten mellan matjord och alv kan öka (Comia m. fl., 1994; Riley m.fl., 1994)

Den torra skrymdensiteten, ρ_b , uttrycker kvoten mellan massan torr jord, M_s , och den totala volymen, V_t , bestående av volymen fasta partiklar, V_s , volymen luft, V_a samt volymen vatten, V_w .

$\rho_b = M_s / V_t = M_s / (V_s + V_a + V_w)$. Den torra skrymdensiteten beror på jordens struktur som i sin tur påverkas av jordbearbetning och jordpackning (Hillel, 1982). Vid tillämpning av grund reducerad jordbearbetning ökar oftast den torra skrymdensiteten och penetrationsmotståndet i de övre delarna av matjorden när plöjning ersätts med grund kultivering (Arvidsson, 1998; Schjøning & Rasmussen 2000). Det finns flera definitioner på förtätade skikt som uppkommer genom jordpackning. Ur en agronomisk synvinkel kan en packad jord eller jordlager betraktas som packad när den totala porositeten blir så pass låg att den begränsar luftflöde. Även jordar som har utvecklat så pass små porer att de hindrar rötternas penetration samt infiltration kan betraktas som kompakterade (Hillel, 1982). Två andra sätt att beskriva jordpackning är: ”Packning innebär att ett visst jordelements totala volym eller ett visst jordlayers totala djup minskar” (Håkansson, 2000) eller ”Jordpackning definieras som en minskning av porvolymen, dvs. markpartiklarna ändrar läge på ett sådant sätt att andelen hålrum i marken minskar” (Arvidsson & Petterson, 1995). Kontinuerliga porer står för största delen av transporten av det för rötterna nödvändiga syret eftersom det transporteras mycket långsamt i vatten. Kontinuerliga porer är därför nödvändiga till det optimala djup rötterna utvecklas. Hastigheten med vilket syre transporteras påverkas därför av kontinuiteten och slingrigheten på porerna (Dexter, 1988).

Enligt Riley m. fl. (1994) är ökad aggregatstabilitet och bättre kontinuitet av porer egenskaper som ofta påverkas positivt av reducerad jordbearbetning. Den ökade mullhalten i ytan är den främsta orsaken till att aggregatstabiliteten ökar efter några år med reducerad jordbearbetning. Även Comia m. fl. (1994) fann en ökning av mullhalten närmast ytan vid utebliven plöjning i åtta år.

Lättare jordar har dålig strukturkapacitet varför luckringsbehovet är större på dessa jordar. Därför är plöjning ofta att föredra eftersom den har en större luckrande effekt. Ökning av mullhalten närmast ytan efter tillämpning av plöjningsfri odling sker framför allt på längre sikt och har visat sig vara en effektiv skydd mot skorpbildning på känsliga jordar som exempelvis mjälajordar (Arvidsson, 2004). Även Heinonen (1982) sammanfattar plöjningsfri odling med ytlig inarbetning av växtrester som ett bra sätt att skydda mot igenslamning.

En annan faktor av en större mängd oförmultnande växtrester i ytan samt den ökade aggregatstabiliteten är effekten på evaporationen. I försök har det visats att den kumulativa evaporationshastigheten har reducerats vid plöjningsfri odling. Detta är en

positiv faktor i områden med låg nederbörd efter vårsådd. Framförallt har plöjningsfri odling stor effekt på evaporationen i struktursvaga och kapillära jordar då dessa kan förlora stora mängder vatten genom avdunstning. I dessa jordar är oftast utvecklingen av rötter begränsad till matjorden. Anledningen till fenomenet beror på flera faktorer varav ökad reflektion av infallande solljus är en (Rydberg & Öckerman, 1987).

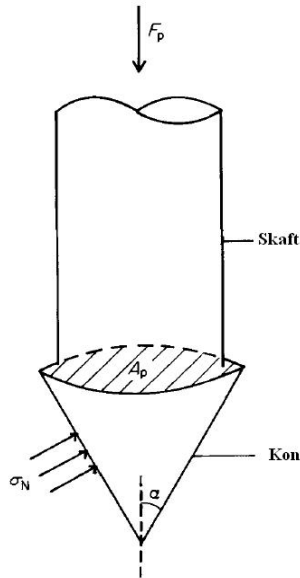
En ökning av dagmaskpopulationerna i försök med reducerad jordbearbetning jämfört med konventionellt plöjda har observerats i flera försök (Pålsson, 2006; Tebrügge & Düring, 1999). I ett långliggande fältförsök i Schweiz fann Anken m. fl. (2004) en signifikant ökning av antalet dagmaskar vid reducerad intensitet i jordbearbetningen.

När en ökad mängd halm och andra växtrester uppnås vid den reducerade jordbearbetningen ökar risken för angrepp av bladfläcksvampar till grödor som ligger senare i växtföljden. När trycket av patogener ökar blir kravet på en god växtföljd inom den reducerade jordbearbetningen högre (Arvidsson, 2004; Rasmussen, 1999; Riley m. fl., 1994). Vid ensidiga växtföljder blir resultatet av reducerad jordbearbetning ofta dålig etablering av grödan på grund av patogener men även dålig markstruktur kan vara en faktor (Rasmussen, 1999).

Penetrationsmotstånd och rotutveckling

För att karakterisera det motstånd rötterna upplever i en jord används vanligen en penetrometer. Det är ett instrument som mäter den kraft som går åt för att trycka ner en metallstav i marken. Den visar förtätningar i marken och används ofta vid jordpackningsstudier men har svårt att återspegla det exakta motstånd rötterna upplever i marken eftersom rötterna har möjlighet att följa maskgångar och sprickor (Håkansson, 2000). Rötterna använder sig av den väg som innebär minst motstånd och det innebär att de ofta följer maskgångar och sprickor (Löfkvist, 2003). Mätningar av markens penetrationsmotstånd i försök bör ske så snabbt som möjligt och med så många stick som möjligt eftersom exempelvis vattenhalter kan ändras med tiden (Dexter, 1988). Ofta överskattar penetrometern det motstånd rötterna upplever i marken. En anledning till det är det faktum att penetrometern och rötterna penetrerar jorden på olika sätt. I experiment sammanställda av Bengough & Mullins (1990) har penetrationsmotståndet visat sig vara 2-8 gånger högre än det motstånd rötterna upplever. Penetrationsmotståndet beskriver den kraft som krävs för att trycka ner en kon med en viss tvärsnittarea i marken. Penetrationsmotståndet definieras enligt följande ekvation: $Q_{p,r} = F_{p,r} / A_{p,r}$

där $Q_{p,r}$ (N/m^2) är penetrationsmotståndet och $F_{p,r}$ (N) är den kraft som krävs för att trycka ner en kon med tvärsnittaren $A_{p,r}$ (m^2), se figur 2 (Bengough & Mullins, 1990).



Figur 2. Penetrometers skaf med kon som används vid bestämning av markens penetrationsmotstånd (Bengough & Mullins, 1990).

Det kritiska penetrationsmotståndet då växternas rötter längdtillväxt avtar helt beror både på textur och vilken gröda som växer på platsen. Penetrationsmotstånd från 0,8 till 5 MPa har i försök visat sig helt stoppa rötternas längdtillväxt i en sammanställning av försök utförd av Greacen m. fl. (1969). Sammanställningen som utfördes visade att rötter av korn (*Hordeum vulgare*) i en sandjord slutat växa då penetrationsmotståndet överstigit 1,2 MPa. Samma studie visade att penetrationsmotståndet för majs på en lerjord har legat på 0,8 MPa. För vete började rötternas tillväxt avta då penetrationsmotståndet översteg 3,6 MPa på en lätt- till mellanlera.

Högt penetrationsmotstånd reducerar rötternas tillväxthastighet och kan i samband med packning bero på att de grova porerna minskat, både i kontinuitet och volym. När en rot växer genom en homogen jordmassa kan vissa rötter skapa en mer intim kontakt med jorden vilket är positivt. Dock har rötterna svårt att växa obehindrat i en packad jord eftersom andelen grova porer minskat. En allt för dålig kontakt mellan rot och jord minskar upptaget av både vatten och växtnäringssämnen (Håkansson, 2000). Om tillgången på lämpliga porer för rötterna är begränsande kan rötterna själva skapa sina egna gångar, dock med en viss svårighet, genom att mekaniskt flytta jordpartiklar med rotspetsen (Arvidsson & Pettersson, 1995; Dexter, 1988).

I ett försök med icke vändande jordbearbetning till 30 cm djup jämfört med plöjning till 20 cm fann Munkholm m. fl. (2001) en antydning till ökning av den torra skrymdensiteten på 7-14 cm djup i de icke plöjda leden. De fann även att den icke vändande bearbetningen lossade på den för rötterna begränsande plogsulan. Vid mätningar med penetrometer sjönk penetrationsmotståndet från 1,8 MPa till 1 MPa vid djupet för plogsulan. Effekten på plogsulan fanns fortfarande kvar efter två år utan jordbearbetning. Rydberg (1992) visade en skördeökning på 2 % vid tillämpning av djup kultivering till plöjningsdjup. Anledningen till skördeökningen visade sig till största delen bero på bättre kontroll av kvickrot (*Elymus repens* (L.) Gould) samt större luckrande effekt och bättre inblandning av växtrester.

Ett långliggande försök med konventionell plöjning (0,2-0,3 dm) jämfört med grund plöjning (0,12-0,18 dm) utfördes av Kouwenhoven m.fl. (2002). Den grunda plöjningen utfördes ”on land” för att minska risken för jordpackning. Penetrationsmotståndet i matjorden visade sig minska med ökat plöjningsdjup. Skillnader i skörd var små men det fanns ett svagt positivt samband mellan skörd och ökat plöjningsdjup.

För att studera rotutvecklingen kan man ta jordprover och tvätta fram rötterna, och därefter bestämma deras mängd eller längd. I ett åtta år långt försök i Sverige visade sig förekomsten av rötter vara högre i plöjda led jämfört med kultiverade led i skiktet 1 till 35 cm (Comia m. fl., 1994). Dock kunde endast signifikanta skillnader av mängden rötter observeras i skiktet 13-25 cm där mängden rötter i plöjda och kultiverade led låg på 214 g m^{-3} jord respektive 151 g m^{-3} jord. I skiktet 35-50 hade de kultiverade leden mest rötter men skillnaden var inte signifikant.

I en packad jord har det mekaniska motståndet ökat vilket innebär att det för roten blir ännu svårare att mekaniskt flytta jordpartiklar. Avsaknaden av stora porer är för rötternas tillväxt starkt begränsande (Arvidsson & Pettersson, 1995). När rötter stöter på ett jordlager som är kompakterat kan rötterna börja växa horisontellt för att på det sättet hitta platser i jorden med porer eller sprickor som de kan växa i. På det sättet kan rötterna återigen få tillgång till exempelvis nödvändigt vatten som kan finnas under det kompakterade lagret (Dexter, 1988). Ett kompakterat lager kan uppstå av maskinernas tryck och vibration ner i marken. Motståndet i detta lager kan öka och lagret behöver inte vara tjockare än några millimeter för att det ska bli genomträngligt för rötterna (De Roo, 1969).

Studier av vattentransport med hjälp av färgmarkörer

Markens struktur påverkar porernas uppbyggnad och påverkar även det sätt vattnet transporteras. Vattentransport kan i markprofilen ske genom preferensflöde som medför att en liten del av jordens totala volym används för transport. Eftersom en liten volym av jorden används vid preferensflöde sker transporten ofta genom makroporer, maskgångar och gångar av rötter (Andreini & Steenhuis, 1990). Vattentransport genom makroporer har i försök visats sig ske mycket effektivt. I ett jordpackningsförsök transporterades 74 till 100 % av allt vatten genom makroporer vars uppskattade volym bara svarade för 0,23 till 2 % av jordens totala volym (Alaoui & Helbing, 2006).

Vid utebliven plöjning och framförallt vid direktsådd har det oftast i jorden bildats kontinuerliga makroporer i ytan som kan sträcka sig långt ner i alven. Vid plöjning täpps däremot kontakten mellan makroporer i alven och ytan till. Detta visade Andreini & Steenhuis (1990) som fann att nästan all vattentransport vid direktsådd förekom genom preferensflöde. Även vid plöjning förekom preferensflöde fast då först under plogsuledjup eftersom det plöjda lagret hade en omblandad matjord med helt annan struktur.

Studier av vattentransport kan ske på många sätt, antingen genom studier av ur fält tagna jordprover eller direkt i fält. I fält kan transporten av vatten i marken åskådliggöras med hjälp av färgämne som fastnar på jordpartiklar där vattnet rinner fram. Det finns flera olika färgämnen som används vid studier av vattentransport i

marken. En ideal färgmarkör ska vara väl synlig i marken. Dess transportegenskaper bör likna vattnets samtidigt som den måste fastna på jordpartiklar. Den bör således bindas svagt i marken men samtidigt fastna på jordpartiklar. Den bör inte vara giftig och dess nedbrytningsprodukter bör heller inte vara giftiga. Brilliant Blue FCF, som i fortsättningen benämns BB, är en färgmarkör som fyller dessa kriterier. Den används i livsmedel samt i rengöringsmedel för toaletter (Flury & Flühler, 1994). I Sverige används BB inom livsmedelsindustrin och då med beteckningen E 133 Brilljantblått FCF eller CAS-nummer 3844-45-9 (Livsmedelsverket, 2008). BB syns väl i marken mot jordens bakgrundsfärg och lämpar därför för försök i fält. BB är beroende på pH antingen neutral eller negativt laddad vid pH högre än 5,83 ($pK_a = 5,83$ och 6,58) (Flury & Flühler, 1995).

En nackdel med användandet av färgämne till att studera vattentransport i fält är att själva undersökningen är destruktiv. Om man vill studera hur vattnet har rört sig blir det efter grävandet helt omöjligt att komma tillbaka till samma plats och upprepa experimenten. Dock kan det komplicerade mönstret med vilket vatten rör sig i marken åskådliggöras genom att använda färgmarkörer (Flury m. fl., 1994).

I ett försök utfört av Alaoui & Goetz (2008) användes BB till att studera makroporflöde i fält med korn (*Hordeum vulgare*) samt på en betesmark. Blåfärgningsexperimenten utfördes med en regnsimulator och flera profiler i varje grop grävdes fram och fotograferades. Fotografierna analyserades därefter med hjälp av dataprogram för att avgöra hur stor del av fotografiets yta som var täckt med blå färg. Resultaten visade en signifikant ökning av ytor som var blåfärgade under 30 cm djup. Största anledningen till det var att det fanns ett ökat nätverk av makroporer med mindre diameter som medförde större andel färgad yta under 30 cm. I ytan fanns signifikanta skillnaderna mellan fälten endast avseende porer större än 50 μm , som fanns mer frekvent i kornfältet vilket kan förklaras av jordbearbetningens luckrande effekt. Makroporerna i ytan på betesmarken var dock effektiva för att transportera vatten. Det fanns även tecken på att makroporer med större slingrighet hade försvunnit på grund av packning.

Ett större experiment med färgmarkörer utfördes av Flury m. fl. (1994). 14 jordar som används för växtodling analyserades med hjälp av BB. Jordbearbetningen hade utförts genom konventionell plöjning och harvning. Efter blåfärgningen preparerades 2 snitt för fotografering. De två snitten skiljde sig inte påtagligt från varandra och visade på ett likartat mönster vad gäller den färgade ytans utbredning. Dock så varierade den färgade ytans utbredning mycket mellan de olika 14 jordarna. I en del fall infiltrerade färglösningen alven utan att lämna några större ytor färgade i övre skikt. Gångar av daggmask (*Lumbricus terrestris*) var en av anledningarna till detta fenomen. Enligt Flury m. fl. (1994) så var preferensflöde snarare regel än undantag för dessa 14 jordar. De drar även slutsatsen att strukturerade jordar mycket väl kan skapa stora flöden som kan bidra till utlakning av växtnäringsämnen och bekämpningsmedel. I de strukturerade jordarna transporterades färgmarkören väsentligt djupare än i de ostrukturerade. Den initiala vattenhalten visade sig påverka hur djupt färgen penetrerade jorden. En högre initial vattenhalt medförde i de flesta fall att färgmarkören penetrerade djupare men skillnaderna var för små för att kunna dra säkra slutsatser. Mönstret med vilken färgmarkören rörde sig nedåt påverkades inte påtagligt av den initiala vattenhalten.

Även Petersen m. fl. (2001) visade att preferensflöde är ett vanligt fenomen. Vid direktsådd fann de i 20 av 22 profiler spår av färgämne under 1 meters djup i markprofilen. Vid konventionell plöjning samt harvning fann de i endast 10 av 22 profiler spår av färgämne under 1 meter. De fann även att mönstret med vilket vattnet rörde sig ändrades tydligt vid 25-30 cm djup vid alla bearbetningar från plöjning till direktsådd. Den mest intensiva bearbetningen medförde den största minskningen av antalet vertikala flödesvägar.

Ett annat försök med BB utfördes av Kasteel m. fl. (2005) som visade att de plöjda rutorna gav större yta färgad av BB än icke plöjda rutor. De fann även att det maximala djupet dit färgämne gav avtryck var större i de plöjda rutorna. I icke plöjda rutor fann de att flödesvägarna reducerades till enskilda större porer som exempelvis maskgångar.

I ett långliggande försök i Schweiz fann Anken m. fl. (2004) att direktsådd gav lägre andel färgad yta i matjorden jämfört med plöjning och rutor bearbetade med tallriksredskap. Dock så fann de inga skillnader mellan de olika leden under A_p -horisonten. I plöjda led observerades en minskning av färgad yta i vilken vattnet rör sig på djupet 25-30 cm vilket förklaras av att det fanns en plogsula på det djupet. I led bearbetade med tallriksredskap fann de att den färgade ytan i skiktet 25-30 var signifikant högre än för de plöjda vilket troligen berodde på den mindre uttalade plogsulan.

I Sverige har undersökningar med BB i försök med reducerad jordbearbetning bland annat utförts av Gunnarsson & Rydén (2006). De tog bilder på profilsnitt som analyserades visuellt genom att bedöma andelen färgad yta. Studien visade att plöjningsfri odling gav signifikant högre andel färgad yta i alven (25-65 cm) jämfört med konventionell plöjning. Orsaken till det var att det fanns fler och mer sammanhängande makroporer i de icke plöjda leden. Det fanns tecken på att makroporer i plöjda led på plogdjupet hade smetats ut, vilket innebar försämrade kontakt mellan markytan och alven.

Reducerad jordbearbetning, påverkan på skörd

En anmärkningsvärd effekt av reducerad jordbearbetning är att skördarna i medeltal har påverkats mycket lite i försök jämfört med konventionella bearbetningsmetoder inkluderande plöjning. En sammanställning av 843 spannmålsskördar i försök med plöjning samt reducerad jordbearbetning i Skandinavien visar att skillnaderna är små (Riley m. fl., 1994), se tabell 1.

Tabell 1. Sammanställning av spannmålsskördar i Skandinavien i försök med grund jordbearbetning och konventionell plöjning. Efter Riley m. fl., (1994)

Land	Medelskörd (Ton/ha)		Antal skördar
	Plöjning	Grund bearbetning	
Danmark	4,45 (100)	4,20 (94)	163
Sverige	4,47 (100)	4,40 (99)	464
Norge	4,76 (100)	4,57 (96)	216

I Sverige har en sammanställning av 6 långliggande försök visat att skörden kan sänkas något vid övergången till reducerad jordbearbetning. Dock kan skördesänkningen som uppkom vid byte av bearbetningssystem bli mindre på längre sikt. De positiva markfysikaliska egenskaperna som uppkommer med reducerad

jordbearbetning medför efter en tid att skördarna kan stiga. Planering inför ett eventuellt byte av bearbetningssystem är ett viktigt sätt för att minska riskerna för skördesänkningar (Etana m. fl., 2000). Även Munkholm m. fl. (2001) utförde en studie som visar tecken på att det kan ta flera år med icke vändande bearbetning innan denna blir lönsam.

En sammanställning av 140 fältförsök (1974-1988) med reducerad jordbearbetning utfördes av Rydberg (1992). I dessa försök visade sig den plöjningsfria odlingen lämpa sig bäst på strukturstarka jordar så som styva leror eftersom lättare jordar är struktursvaga och därför har högre luckringsbehov. En senare sammanställning av försöksresultat (1986-2002) i försök med plöjningsfri odling utfördes av Arvidsson (2004). Den visade att skördarna överlag i plöjningsfria led har legat aningen lägre men dock nära skördarna i plöjda led. Vårvete har i dessa försök dock svarat positivt på plöjningsfri odling och har 3 % högre skörd än plöjda led. Grödan som avkastade minst i plöjningsfria led var ärter vilket förklarades med dess känslighet för packning. Förfrukter till höstvete visade sig påverka skörden och alla förfrukter utom oljevaxter gav en liten skördesänkning. Oljevaxterna förfruktseffekt på höstvete låg kring 2 % i plöjningsfria led.

Material och metoder

Försöksplan och grödor skördeåret 2008

Undersökningarna är utförda i fältförsök på två gårdar som bedriver reducerad jordbearbetning i sin växtodling i södra Sverige. Försöken ingår i försöksserierna R2-4051 samt L2-4051 och är belägna i Skåne och Halland. På Charlottenlunds gård i Skåne finns det 3 försök och på Väby gård i Halland 6 försök. Försöken har samma uppbyggnad och består numera av 4 led, tidigare 3, i randomiserade blockförsök. Bearbetningarna som utförs består av

Led A1	Plöjningsfri odling, djup bearbetning: Reducerad (ca 15 cm)
Led A2	Plöjningsfri odling, grund bearbetning: Reducerad (5-7 cm)
Led B	Konventionell plöjning: Plöjning (20-22 cm)
Led C	Grund plöjning: Plöjning (13-15 cm)

Försöken med fyra led infördes 2006 och innebar att led A2 kom till. Försöken är uppbyggda med tre block i varje försök som består av totalt 12 rutor som är cirka 20 gånger 6 meter. Förutom skillnader i bearbetning är behandlingen av leden lika vad gäller exempelvis gödsling, kemisk bekämpning samt sådd. På Charlottenlund och Väby sker den grunda och djupa plöjningen på samma sätt, se ovan. Dock så skiljer sig gårdarna åt vad gäller de plöjningsfria leden. På Charlottenlund sker den grunda och djupa bearbetningen med kultivator. På Väby sker den grunda med tallriksredskap och den djupa med kultivator. 2008 odlades i försöken på Charlottenlund höstraps (*Brassica napus* L.) och höstvetete (*Triticum aestivum* L.), se tabell 2. I försöken på Väby odlades höstvetete (*Triticum aestivum*), vårkorn (*Hordeum vulgare* L.) och majs (*Zea mays*). Dessutom ingår det ett försök på Väby, L2-4051 N-296, där det odlas höstraps (*Brassica napus* L.), se tabell 3. I fortsättningen benämns försöken enbart efter sitt försöksnamn, exempelvis R2-4051 M-800 benämns enbart M-800.

Tabell 2. Grödor skördeåret 2008 i försöken på Charlottenlund i försöksserien R2-4051

Serie	Försök	Gröda	Förfrukt	Jordart
R2-4051	M-800	Höstraps	Vårkorn	nmh MäLL
R2-4051	M-801	Höstvetete	Höstvetete	nmh MäLL
R2-4051	M-802	Höstvetete	Socketbetor	nmh l mo Mä Sa

Tabell 3. Grödor skördeåret 2008 i försöken på Väby i försöksserien R2-4051 och L2-4051

Serie	Försök	Gröda	Förfrukt	Jordart
R2-4051	N-271	Höstvetete	Höstvetete	mmh mo LL
R2-4051	N-272	Vårkorn	Höstvetete	mr mo LL
R2-4051	N-273	Vårkorn	Vårraps	mmh ML
R2-4051	N-274	Höstvetete	Vårraps	mr ML
R2-4051	N-276	Majs	Vårkorn	mmh mo Sa
L2-4051	N-296	Höstraps	Rågvete	*

* Uppgift saknas.

Texturanalys

Några data över texturen i de olika försöken på Charlottenlund och Väby fanns inte varför en texturanalys genomfördes i alla fält där mätningar utförts, således i alla tre försök på Charlottenlund samt i fem försök på Väby, se tabell 4 och 5. Två prover per skikt togs i skikten 10-15 samt 22-27 cm. Därefter blandades proven inom samma skikt för att därefter analyseras. Efter analysen klassificerades matjordens jordart efter ingående kornstorleksfraktioner. Mullhalt bestämdes utifrån den ingående organiska substansen.

Tabell 4. Kornstorleksfördelning (%) av fraktionerna ler, mjäla, mo och sand på olika djup samt mullhalten (%) på Charlottenlunds gård i Skåne

Försök	Djup (cm)	Fraktion (Partikelstorlek mm)				Mullhalt
		Ler (<0,002)	Mjäla (0,02-0,002)	Mo (0,02-0,2)	Sand (0,2-2)	
M-800	10-15	17,7	16,7	38,4	27,2	2,3
	22-27	18,1	17,3	38,5	26,2	1,6
M-801	10-15	18,4	15,1	36,3	30,2	2,2
	22-27	18,5	16,0	35,9	29,6	1,6
M-802	10-15	14,7	12,2	33,8	39,3	2,4
	22-27	14,2	13,0	33,3	39,3	2,1

Tabell 5. Kornstorleksfördelning (%) av fraktionerna ler, mjäla, mo och sand på olika djup samt mullhalten (%) på Väby gård i Halland

Försök	Djup (cm)	Fraktion (Partikelstorlek mm)				Mullhalt
		Ler (<0,002)	Mjäla (0,02-0,002)	Mo (0,02-0,2)	Sand (0,2-2)	
N-271	10-15	24,9	23,6	47,0	4,6	4,7
	22-27	23,8	23,5	47,9	4,9	4,3
N-272	10-15	23,7	18,6	47,7	10,0	10,0
	22-27	23,2	19,6	47,6	9,6	9,9
N-273	10-15	31,5	27,9	27,7	12,9	5,6
	22-27	32,0	29,0	27,1	11,9	5,8
N-274	10-15	27,3	28,9	29,9	13,9	6,4
	22-27	27,5	28,4	29,8	14,2	5,3
N-276	10-15	14,0	9,1	21,0	55,8	3,8
	22-27	8,6	9,0	21,0	61,4	3,6

Försöken M-800 samt M-801 klassificerades som något mullhaltiga moränlätteror (nmh MäLL). Försöket M-802 klassades som något mullhaltig lerig moig moränsand (nmh l mo Mä Sa).

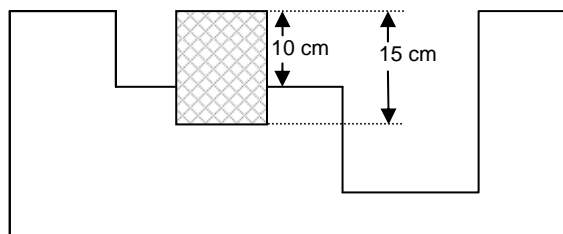
Försöket N-271 klassificerades som en måttligt mullhaltig molättlera (mmh mo LL). N-272 hade liknande matjord men högre mullhalt och klassificerades som en mullrik molättlera (mr mo LL). Försöken N-273 och N-274 klassificerades båda som mellanleror. Dock skiljde mullhalten sig mellan de olika försöken och N-273 klassificerades som en måttligt mullhaltig mellanlera (mmh ML) samtidigt som N-274 klassificerades som en mullrik mellanlera (mr ML). Försöket N-276 hade mer sand än övriga försök och klassificerades som en måttligt mullhaltig moig sand (mmh mo Sa).

Torr skrymdensitet

För att bestämma den torra skrymdensiteten togs stålcylindrar med jord ut från försöken M-801 och N-274 på Charlottenlund respektive Väby. Cylindrar med diametern 72 mm samt höjden 100 mm (volym 407 cm³) slogs ner i skiktet 10-20 cm. Fyra cylindrar per ruta togs samtidigt och 3 av dessa användes senare till analysen av rötter, se nedan. En av dessa cylindrar vägdes för att därefter torkas i 105° i 3 dygn för att bestämma dess vattenhalt och de övriga 3 cylindrarnas vattenhalt antogs vara samma som för denna cylinder. Innan alla vägningar torkades cylindrarna av från jord. Därefter bestämdes den torra skrymdensiteten enligt följande ekvation: $\rho_b = M_s / V_T$. Genom vattenhalten erhöles massan vatten och massan jord vilket krävs vid beräkningarna av den torra skrymdensiteten i de övriga 3 cylindrarna.

Genomsläpplighet

Mätningar av genomsläpplighet utfördes från den 17 till den 23 april på Charlottenlund samt den 8 till den 10 maj på Väby. Inför mätningarna grävdes en grop med bredden 1 meter ut för att kunna göra en hylla för placering av cylindrarna på respektive djup. Ifrån gropen skars jorden loss för att därefter placera ut cylindrarna på hyllan. Cylindrarna var av stål, hade en diameter på 15 cm och var 15 cm höga. De drevs ner 5 cm i marken för att mäta genomsläppligheten i skikten 10-15 cm samt 22-27 cm, se figur 3. Cylindrarna drevs ner med en slägga som var större än cylindrarnas diameter. Därefter fylldes vatten på och mätningarna startades. Vid påfyllning av vatten användes en liten spade för att dämpa vattenstrålen för att undvika igenslamning. Mätningar utfördes enhetligt genom alla försök i ett bestämt tidsschema, se tabell 6. Inför varje mätning fylldes cylindrarna upp till kanten med vatten. Inga mätningar av genomsläppligheten gjordes inom skörderutorna.



Figur 3. Principen för mätning av genomsläppligheten i skiktet 10-15 cm.

Tabell 6. Tidsschema för mätning av genomsläppligheten

Tid (min)	Åtgärd
0-5	Påfyllnad av vatten
5-10	Avläsning vid 5 och 10 min
10-15	Påfyllnad av vatten
15-20	Avläsning vid 15 och 20 min
20-25	Påfyllnad av vatten
25-30	Avläsning vid 25 och 30 min

Beräkningar av genomsläppligheten utfördes vid tidpunkterna 10, 20 och 30 minuter med hjälp av Darcy's lag, $Q = k * \frac{\Delta H}{\Delta x}$.

Gradienten beräknades genom att medelvattenytans höjd bestämdes och konduktiviteten beräknades genom följande ekvation, $k = Q / (((h_1+h_2)/2) + \Delta x) / \Delta x$

där: k = Konduktiviteten (mm/h)
 Q = Vattenflödet (mm/h)
 h_1 = Vattnets höjd över markytan vid mätningens start (mm).
 h_2 = Vattnets höjd över markytan vid mätningens slut (mm).
 Δx = Vattenförande jordskiktets tjocklek (mm)

En klassning av genomsläppligheten i mark beskrivs av Thomasson (1975) där 5 klasser beskriver en mark eller ett skikts genomsläpplighet, se tabell 7.

Tabell 7. Klassning av genomsläpplighet i jord. Efter Thomasson (1975)

Genomsläpplighet		Klassning	Dräneringseffekt
(cm/min)	(mm/h)		
Mindre än 0,007	Mindre än 4,2	Låg eller mycket låg	Svag
0,007-0,02	4,2-12	Medelgod	God
0,02-0,07	12-42	Hög	God
0,07-0,7	42-420	Mycket hög	God
Mer än 0,7	Mer än 420	Extremt hög	Mycket god

Penetrationsmotstånd

Mätningar av penetrationsmotståndet utfördes under samma dag den 17 april på Charlottenlunds alla tre försök. På Väby utfördes mätningarna i alla försök den 10 maj förutom försök N-276 med majs som utfördes den 4 juni på grund av senare sådd. Försök med höstraps på Väby, N-296, undersöktes inte vad gäller penetrationsmotstånd på grund av att det var för torrt. En penetrometer av märket Eijkelkamp penetrologger med en kon med en tvärsnittarea på 1 cm² användes och 10 stick i varje ruta gjordes diagonalt i varje ruta. Mätning av penetrationsmotståndet gjordes till 30 cm djup eller djupare i alla försök med en nedtryckningshastighet på 2 cm/s. Två vattenhaltsprover togs per försök och skikt i skikten 10-15 samt 22-27 cm i samband med mätning av penetrationsmotståndet, se tabell 8 och 9. Detta gjordes för att få en uppfattning hur vattenhalten skiljde sig mellan fälten.

Tabell 8. Vattenhalten, w , i vikts-%, i försöken på Charlottenlund tagna i samband med penetrometermätningarna

Försök	10-15 (cm)	22-27 (cm)
M-800	20,5	17,7
M-801	23,3	16,4
M-802	18,5	16,1

Tabell 9. Vattenhalten, w , i vikts-% i försöken på Väby tagna i samband med penetrometermätningarna

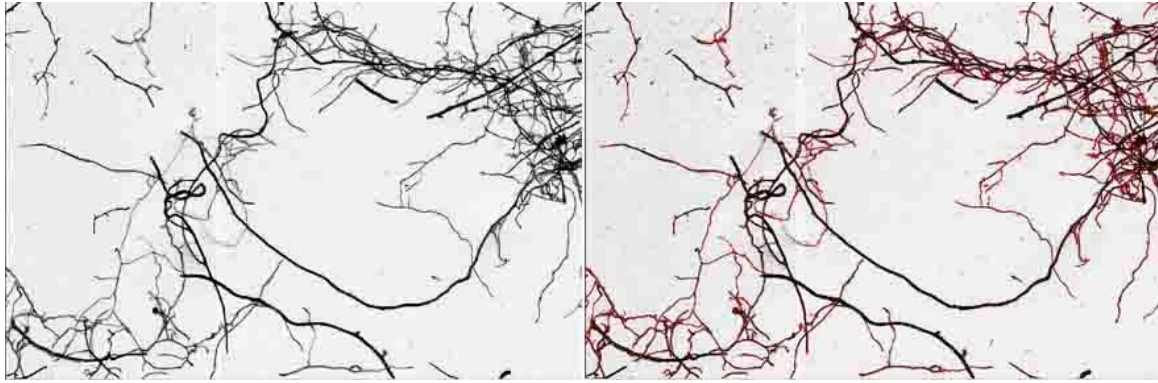
Försök	10-15 (cm)	22-27 (cm)
N-271	27,8	29,6
N-272	37,2	36,7
N-273	30,6	32,7
N-274	27,8	27,5
N-276	16,0	14,0

Rotutveckling

För att analysera förekomsten av rötter i olika led togs jordprover både på Charlottenlund och Väby i försöken M-801 respektive N-274. Proverna togs i fält med höstveten (*Triticum aestivum*) den 4 juni på Väby samt den 10 juni på Charlottenlund. Det fanns inga visuella skillnader vad gäller förekomsten av ogräs. En hylla på ca 1 meter grävdes ut för att kunna placera 4 stålcyllindrar på djupet 10 cm och mellan såraderna i varje led. Stålcyllindrar med en diameter på 72 mm samt en längd på 100 mm (volym 407 cm³) slogs ner i marken i skiktet 10-20 cm. Efter nedslagning grävdes cylindrarna upp och överflödig jord skars försiktigt bort. Proverna förvarades under tiden i fält i kyl för att därefter i väntan på analys förvaras i frys.

Rötterna analyserades genom att jorden i 3 cylindrar slammades upp i avjonat vatten i en plastburk med lock. Plastburken skakades försiktigt i 3 timmar eller längre så att aggregaten dispergerades. Därefter silades jordsuspensionen genom 4 silar med nät vars mått var 8, 6, 2 och 1 mm för att kunna separera rötterna från jorden. Rötterna sköljdes fram i respektive sil och plockades upp med pincett för att därefter i väntan på analys ligga i skålar med avjonat vatten.

För att bestämma den totala längden rötter analyserades bilderna med en för ändamålet avsedd scanner. Därefter analyserades bilderna i datorprogrammet Win Rhizo V 5.0a[®] som beräknar den totala längden rötter i den scannade bilden. Programmet visar med olika färger vad som är rötter, se figur 4. Programmet räknar även ut bland annat rotvolym, rot diameter och längden rötter i olika diameterklasser.



Figur 4. Exempel på bilder från analysen av längden rötter. Originalbild med svarta rötter till vänster samt analyserad bild med röda rötter till höger från Win Rhizo V 5.0a[©].

Infärgningsexperiment, utrustning

Utrustningen som användes består av pump med tillhörande vattenkärll på 100 liter. Till den sitter även en eldriven spruttramp kopplad för applicering av vatten samt färgämne. Spruttrampen bärs upp av en balk som sitter ovanför en ram av plexiglas med måtten 1,6*1,6*0,8 m vilken även skyddar mot vindavdrift. Balken i vilken spruttrampen sitter monterad rör spruttrampen fram och tillbaka och hastigheten kan regleras steglöst från pumpenheten. Spruttrampen består av 6 munstycken placerade med 250 mm mellanrum. Vattenflödet kan även det regleras steglöst vilket är viktigt för att undvika ytavrinning. Hela utrustningen drivs av ett bensindrivet elverk på 1,5 kW. All utrustning förvarades på ett släp för bil vilket medför lätta fälttransporter, se figur 5. Utrustningen finns även beskriven av Yngwe (2007).



Figur 5. Utrustningen som använde vid infärgningsexperimentet på Charlottenlunds gård 2008.

Infärgningsexperiment, genomförande

Blåfärgningsexperimenten utfördes den 3-11 juni 2008 på Charlottenlunds gård. I och med att metoden är arbetskrävande och framförallt tidskrävande så utfördes experimenten enbart på Charlottenlund och då i försöket M-801 med höstvetete. Alla led i första blocket färgades samt två i andra blocket, B samt A2. Metoden är destruktiv och det går inte att utföra mätningar på samma platser i försöken igen.

Inför experimentet klipptes höstvetet av med en stubbhöjd på cirka 5 cm där ramen av plexiglas skulle placeras. Därefter placerades munstyckena 50 cm ovanför markytan för att få en så jämn spridning som möjligt över hela rutan. Hastigheten med vilken bommen rörde sig över rutan samt vattenmängden kunde reglerades steglöst för att undvika ytavrinning. För att undvika att den blåa färgen fastnade i markens ytskikt vattnades rutorna först med 100 mm vatten vilket bedömdes räcka. Detta gjordes för att jorden skulle vara så nära fältkapacitet som möjligt. Ett antal stick med en penetrometer före och efter bevattning utfördes för att få en uppfattning om 100 mm bevattning var tillräckligt. Sticken gjordes i de yttre delarna av rutan för att inte störa den kommande blåfärgningen. Efter vattningen täcktes rutorna med plast för att undvika avdunstning.

Ett dygn senare färgades rutorna med en vattenmängd på 40 mm med en koncentration av Brilliant Blue FCF på 2 g/l. Efter att blåfärgningen ägt rum täcktes rutorna med plast för att 24 timmar senare studeras. För att blanda BB med vatten användes 2 plastflaskor på 1,5 liter för att lösa upp färgämnet. Kärlet som användes till blåfärgningen rymde 50 liter vatten och där hölls en flaska med färg och vatten för att därefter blandas i 5 minuter. Efter appliceringen av BB diskades utrustningen för att undvika att färgat vatten applicerades i nästa ruta.

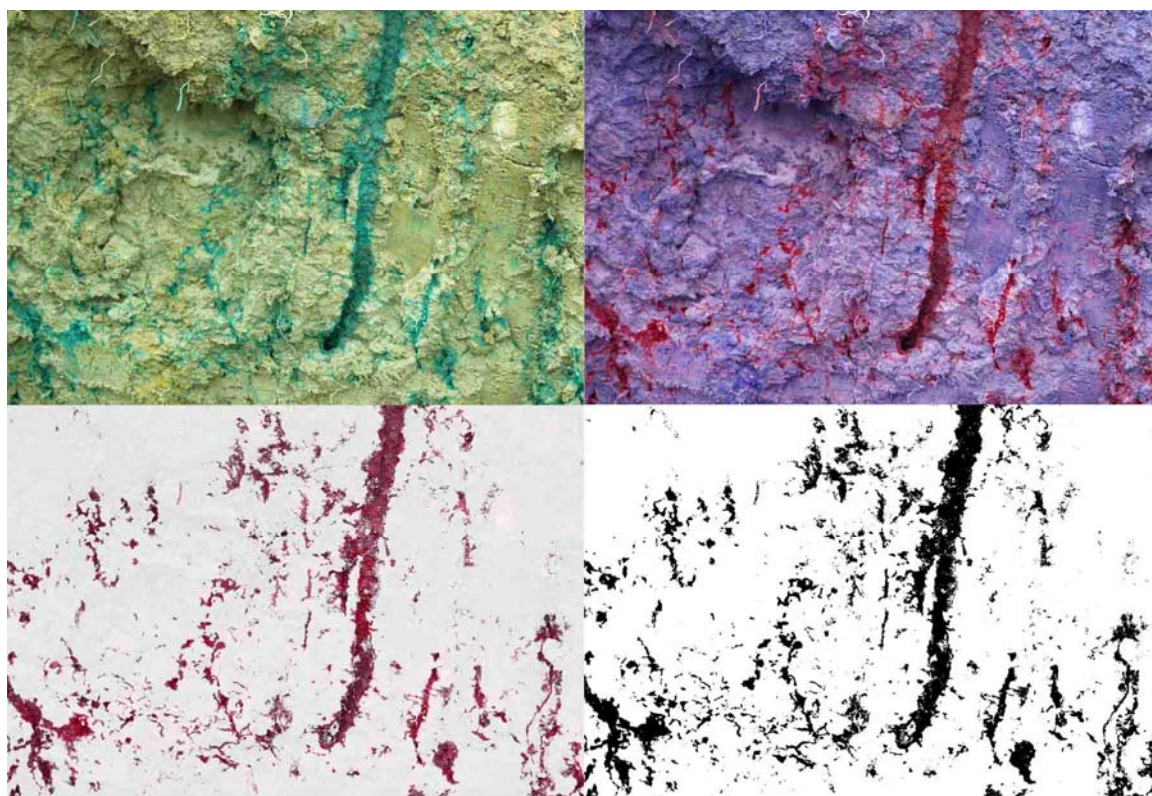
Från ena sidan av det 1,6*1,6 m² stora området grävdes en grop med grävmaskin. Närmast den färgade profilen användes spade för att få loss obehandlad jord. Första snittet gjordes 20 cm in i det färgade området och snittet preparerades med kniv för att studera vattnets väg genom profilen. Prepareringen utfördes lodrätt för att åskådliggöra markens porer som fanns i det lodrätta snittet. Porer som vek av inåt i profilen från det lodrätta snittet kom således inte med eftersom den lodrätta linjen var bruten. 5 snitt per grop utfördes och studerades. En ram av stål med uppspända trådar användes vid fotograferingen av snittet. För att få så lika ljusförutsättningar togs bilderna i skuggan av en presenning. Ramen bestod av 10*10 cm stora rutor som fotograferades 6 st åt gången vilket ger en total yta av 45 dm². Dessutom togs bilder på hela profilen, både med ram samt utan ram och då med måttband eller tumstock som skala. Kameran som användes var en Olympus E-500 med en upplösning på 8 megapixels. Bilderna togs med den för kameran högsta upplösningen, TIFF, 3264*2448 pixlar.

Infärgningsexperiment, bildanalys

Bilderna som togs analyserades med Photoshop Elements 6.0[©]. En bild på 6 dm² (2 dm hög och 3 dm bred) delades upp i 4 bitar varpå olika djup kunde analyseras. Tre bilder togs per snitt och djup, totalt 15 bilder per ruta och djup. För att illustrera det komplexa mönster med vilket vattnet rörde sig togs även bilder på hela det tredje snittet som även det analyserades. Bildanalysen bestod av att maximera alla nyanser

från originalbilden vilket resulterade i en bild med färgerna röd, svart, blå och färger där intill. Därefter reducerades antalet tillåtna färger så att enbart de röda färgerna fanns kvar. Det gick vid det här laget lätt att se den yta som var täckt med BB i varje bild. Slutligen användes ett filter med tröskelvärde för att göra bilden svartvit, se figur 6.

Sista steget var att bestämma hur stor andel svarta pixlar som fanns av det totala antalet. Detta utfördes med ett RGB-histogram som visar bildens uppbyggnad grafiskt. Liknande bildbehandling har utförts av bland annat Aloui & Goetz (2008).



Figur 6. Exempel på originalbild (uppe till vänster), bilder från två steg i bearbetningsprocessen (uppe till höger samt nere till vänster) samt dess korrigerade svartvita motsvarighet (nere till höger).

Skörd

Alla försök på Charlottenlund och Väby skördades rutvis. Rutorna tröskades 2008 och skördedata bearbetades statistiskt. Skörden av spannmål redovisas omräknade till en vattenhalt på 15 % och motsvarande vattenhalt för oljeväxterna är 9 %. Alla försök på Charlottenlund och Väby redovisas med avseende på skörd.

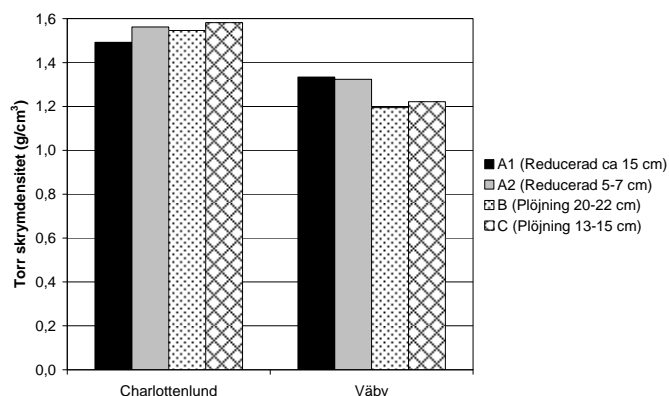
Statistik

För att avgöra om skillnader i de rutorna berodde på bearbetningsmetod analyserades resultaten med SAS, Statistical Analysis System. Ledskillnader anses signifikanta då probvärdet är mindre än 0,05.

Resultat

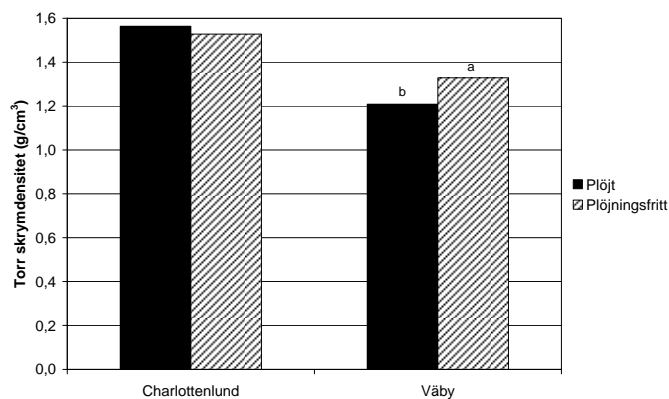
Skrymdensitet på Charlottenlund och Väby

I försök M-801 med höstvetete på Charlottenlund hade de olika leden en jämn skrymdensitet i skiktet 10-20 cm. Det fanns inga signifikanta skillnader mellan de olika leden på Charlottenlund. På Väby däremot tenderade de plöjda leden att ha lägre skrymdensitet ($P=0,08$). Det djupt plöjda ledet B hade lägst skrymdensitet men det gick inte att skilja det från det grunt plöjda ledet C, se figur 7.



Figur 7. Den torra skrymdensiteten (g/cm^3) i skiktet 10-20 cm i försöken M-801 och N-274 på Charlottenlund respektive Väby vid olika bearbetningar.

Vid jämförelse mellan plöjda och plöjningsfria led i försöket M-801 på Charlottenlund observerades inga signifikanta skillnader, se figur 8. Däremot var skrymdensiteten i försök N-274 på Väby signifikant lägre i plöjda led.

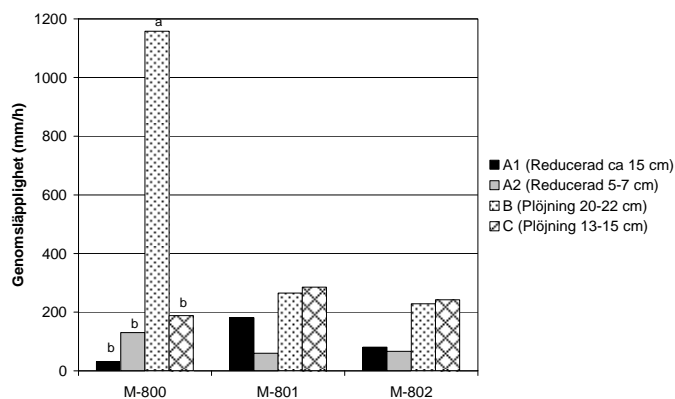


Figur 8. Den torra skrymdensiteten (g/cm^3) i försöken M-801 och N-274 på Charlottenlund respektive Väby genomsnitt för plöjt och plöjningsfritt. Staplar med samma bokstav inom försöken är ej signifikant skilda..

Genomsläpplighet Charlottenlund

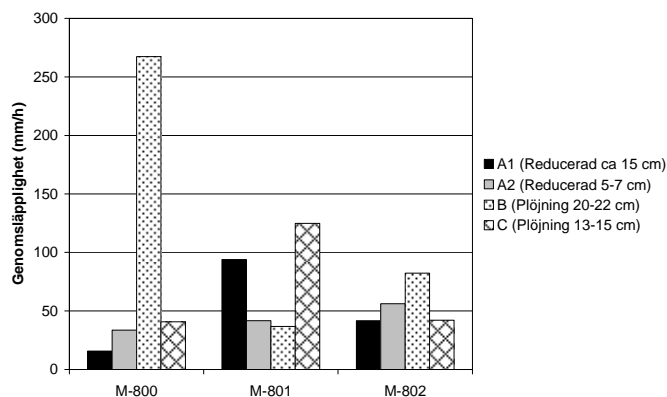
Mätningar av genomsläppligheten på Charlottenlund varierade mycket både inom och mellan försök. Försöket med höstraps, M-800, visade att led B, djup plöjning, medförde signifikant högst genomsläpplighet i skiktet 10-15 cm, se figur 9. Däremot kunde inga signifikanta skillnader observeras mellan de övriga bearbetningarna. De övriga försöken med höstvetete, M-801 och M-802, hade inga signifikanta skillnader mellan leden. Plöjning, både grund och djup, medförde högre genomsläpplighet i

matjorden än i de kultiverade leden. Skillnaden var inte signifikant men trenden syns i alla tre försöken. Den lägsta genomsläppligheten fanns i M-800 i led A1. Skillnaderna mellan A1 och A2 varierade mellan försöken. Dock låg genomsläppligheten för A1 lite högre än för A2 i försöken med höstvetete, M-801 och M-802. Alla led i skiktet 10-15 cm i alla försök på Charlottenlund hade en genomsläpplighet som klassas som hög eller bättre. Djup plöjning, led B, hade den högsta genomsläppligheten i försöket med höstraps, M-800, och den klassades som extremt hög.



Figur 9. Genomsläppligheten (mm/h) i skiktet 10-15 cm i försöken M-800, M-801 och M-802 på Charlottenlund vid olika bearbetningar. Staplar med samma bokstav inom försöken är ej signifikant skilda.

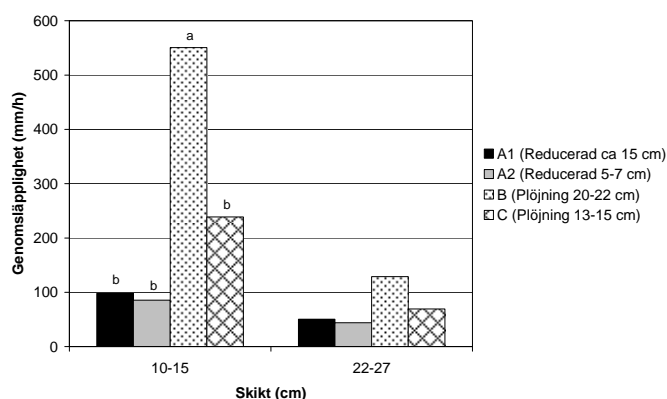
Mätningarna i skiktet kring 22-27 cm eller vid plogsuledjup varierade mellan försöken och visade inga signifikanta skillnader mellan olika bearbetningar, se figur 10. I försök M-801 med höstvetete var genomsläppligheten i plogsulan lägst i det djupt plöjda ledet. Samtidigt var genomsläppligheten i plogsulan i försöket M-802 med höstvetete samt försöket med höstraps, M-800, högre i djupt plöjda led. Lägst genomsläpplighet i försöket M-800 hade det djupt kultiverade ledet, A1. Genomsläppligheten i alla led och försök hade en genomsläpplighet som klassas som hög eller bättre.



Figur 10. Genomsläppligheten (mm/h) i skiktet 22-27 cm i försöken M-800, M-801 och M-802 på Charlottenlund vid olika bearbetningar.

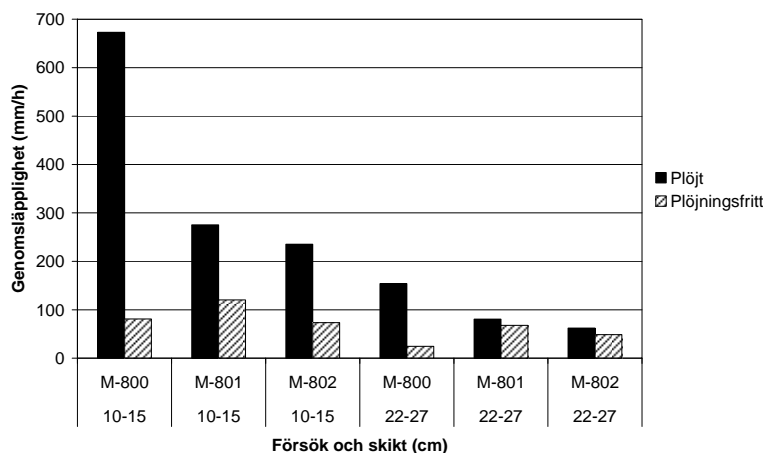
Sett över alla försök på Charlottenlund hade det djupt plöjda ledet B signifikant högst genomsläpplighet i skiktet 10-15 cm, se figur 11. Alla andra bearbetningar hade lägre genomsläpplighet som inte var statistiskt signifikant skiljda. På plogsuledjup, 22-27 cm, fanns inga signifikanta skillnader. Dock hade det djupt plöjda ledet lite högre

genomsläpplighet. Genomsläppligheten i samtliga led och skikt hade en genomsläpplighet som klassades som mycket hög eller bättre.



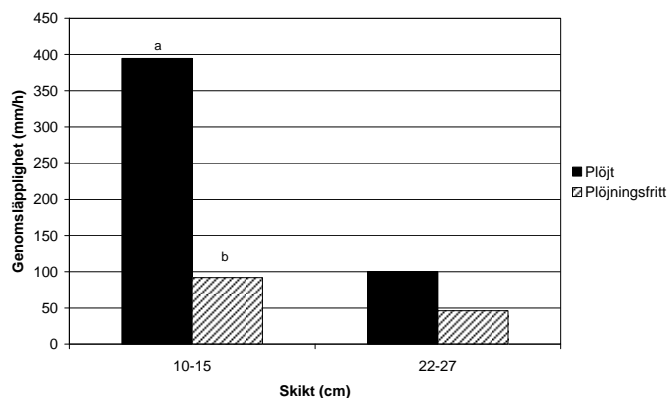
Figur 11. Genomsläpplighet (mm/h) i olika skikt genomsnitt för alla försök på Charlottenlund. Staplar med samma bokstav inom skikten är ej signifikant skilda

För att se skillnaderna mellan plöjda och plöjningsfria led inom försöken utfördes en tvåfaktoriell statistisk beräkning. I alla försök tenderade de plöjda leden ha en högre genomsläpplighet i skiktet 10-15 cm, se figur 12. Probvärden för M-800, M-801 och M-802 låg på 0,06, 0,09 respektive 0,1. Skillnader i genomsläpplighet i plogsulan, 22-27 cm, skiljde sig inte åt mellan försöken. Variationerna mellan de olika leden har varit för stora för att genomsläppligheten skulle bero på någon bearbetningsmetod.



Figur 12. Genomsläppligheten (mm/h) i skikten 10-15 samt 22-27 cm i försöken M-800, M-801 samt M-802 på Charlottenlund vid plöjt samt plöjningsfritt.

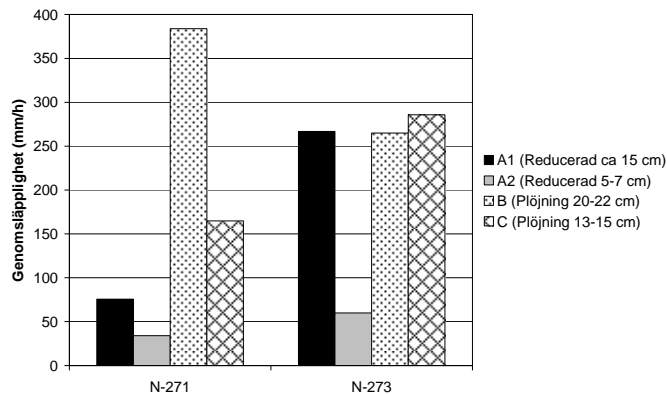
Sett över alla försök på Charlottenlund så var genomsläppligheten i skiktet 10-15 cm signifikant högre i de plöjda leden jämfört med de plöjningsfria, se figur 13. I plogsulan, 22-27 cm, fanns inga signifikanta skillnader och genomsläppligheten var högst i plöjda led. Även här klassades genomsläppligheten både för plöjda och plöjningsfria led som mycket hög eller högre.



Figur 13. Genomsläppligheten i skikten 10-15 samt 22-27 cm i genomsnitt för alla försök på Charlottenlund. Staplar med samma bokstav inom skikten är ej signifikant skilda.

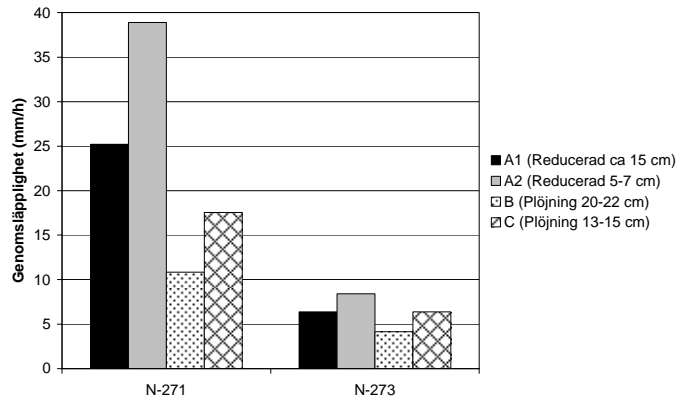
Genomsläpplighet Väby

Mätningarna i försöken i på Väby i skiktet 10-15 cm visade överlag att genomsläppligheten var störst i plöjda led i försöken N-271 och N-273 där det odlades höstvetete respektive vårkorn, se figur 14. Dock var genomsläppligheten för A1 i försöket med vårkorn, N-273, i princip lika som för de plöjda leden. Det fanns inga signifikanta skillnader vad gällde genomsläppligheten i matjorden i något av försöken. I försök N-271 hade de kultiverade leden lägre genomsläpplighet men variationerna inom försöket var för stora för att skillnaden skulle vara signifikant. Samtliga led hade en genomsläpplighet som klassades som hög eller större.



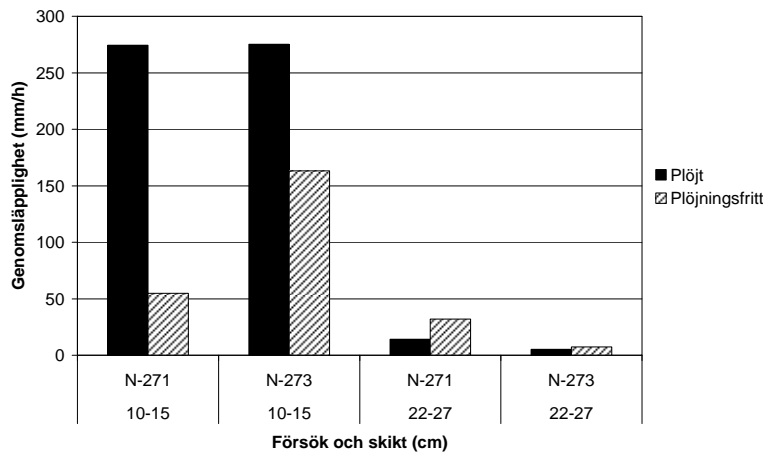
Figur 14. Genomsläppligheten (mm/h) i skiktet 10-15 cm i försöken N-271 samt N-273 på Väby vid olika bearbetningar.

Mätningarna i försöken N-271 och N-273 i skiktet 22-27 cm på Väby visade att den djupa plöjningen gav sämst genomsläpplighet. Dock fanns det inga signifikanta skillnader i något av försöken, se figur 15. Genomsläppligheten i försöket N-271 klassades som hög för alla led utom led B som klassades som medelgod. I försöket N-273 klassades genomsläppligheten som medelgod för alla led utom led B som klassades som låg eller mycket låg.



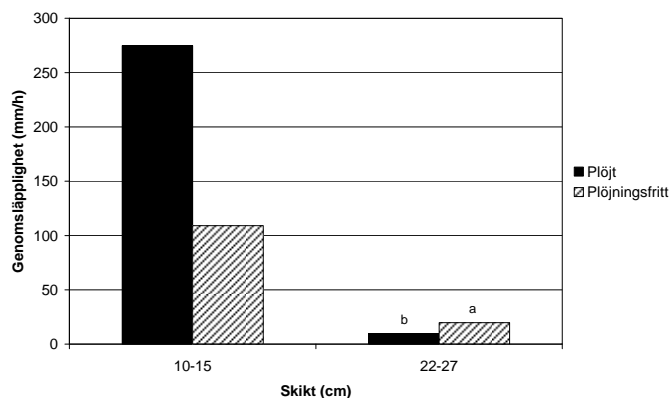
Figur 15. Genomsläppligheten (mm/h) i skiktet 22-27 cm i försöken N-271 och N-273 på Väby vid olika bearbetningar.

Skillnaderna mellan plöjt och plöjningsfritt i de olika försöken i skiktet 10-15 var inte statistiskt signifikanta, se figur 16. Dock så låg de plöjda leden högre vad gäller genomsläppligheten. Genomsläppligheten klassades som hög eller bättre i båda försöken. I skiktet 22-27 cm i försöket N-271 tenderade plöjda led till att ha sämre genomsläpplighet ($P=0,053$). I försöket N-273 fanns inga signifikanta skillnader men de plöjda leden hade dock lägst genomsläpplighet. N-271 hade en genomsläpplighet som klassades som hög samtidigt som genomsläppligheten i N-273 klassades som medelgod.



Figur 16. Genomsläppligheten (mm/h) i skikten 10-15 samt 22-27 cm i försöken N-271 och N-273 på Väby vid plöjt samt plöjningsfritt.

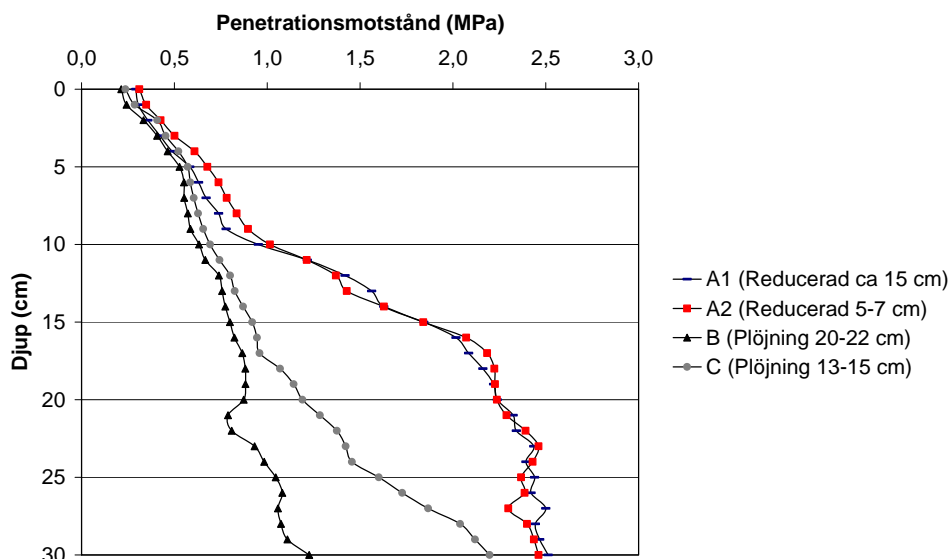
Sett över alla försök så tenderade de plöjda leden att ha högre genomsläpplighet ($P=0,051$) i skiktet 10-15 cm, se figur 17. I skiktet 22-27 var genomsläppligheten signifikant lägre i plöjda led. Totalt sett i alla försök på Väby hade skiktet 10-15 cm en genomsläpplighet som klassades som mycket hög vad gäller både plöjda och plöjningsfria led. Skiktet 22-27 cm hade en genomsläpplighet som klassades som medelgod i plöjda led samt hög i de plöjningsfria leden.



Figur 17. Genomsläppligheten (mm/h) i skikten 10-15 samt 22-27 cm i genomsnitt för alla försök på Väby. Staplar med samma bokstav inom skikten är ej signifikant skilda.

Penetrationsmotstånd Charlottenlund

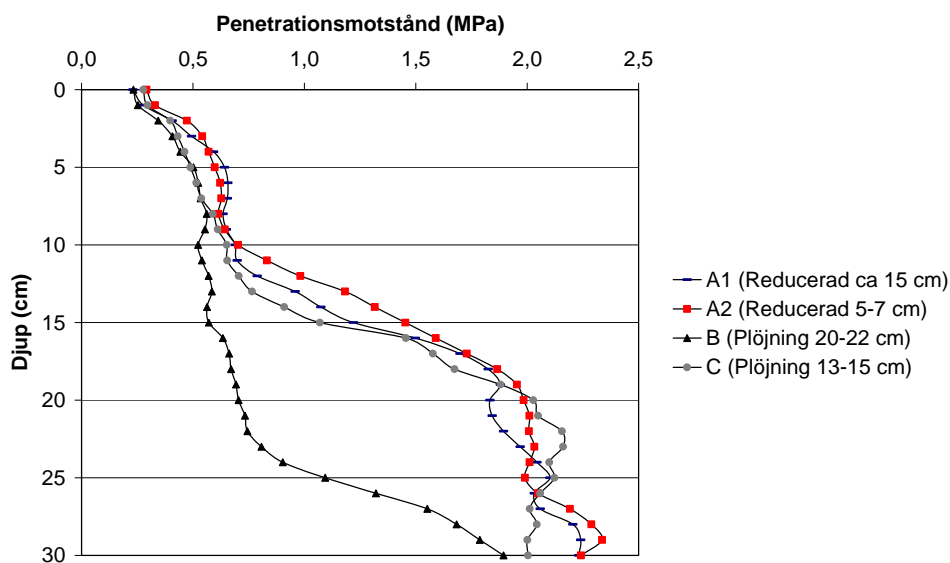
I försöket med raps kunde inga signifikanta skillnader observeras i skiktet 0-13 cm, se figur 18. Djupare kunde signifikanta skillnader mellan de plöjda (B och C) och de oplöjda (A1 och A2) leden observeras. De plöjda leden hade då lägre penetrationsmotstånd och kunde inte skiljas från varandra förrän vid djupet 21 cm då den grunda plöjningen (B) hade signifikant högre penetrationsmotstånd. Dock kunde inga signifikanta skillnader mellan de plöjda leden observeras i skiktet 23-24 cm. Den grunda plöjningen hade återigen högre penetrationsmotstånd i skiktet 25-30 cm jämfört med den djupa plöjningen. Det fanns inga signifikanta skillnader mellan de oplöjda leden A1 och A2.



Figur 18. Penetrationsmotståndet (MPa) i försök M-800 med höstraps vid olika bearbetningar på Charlottenlund.

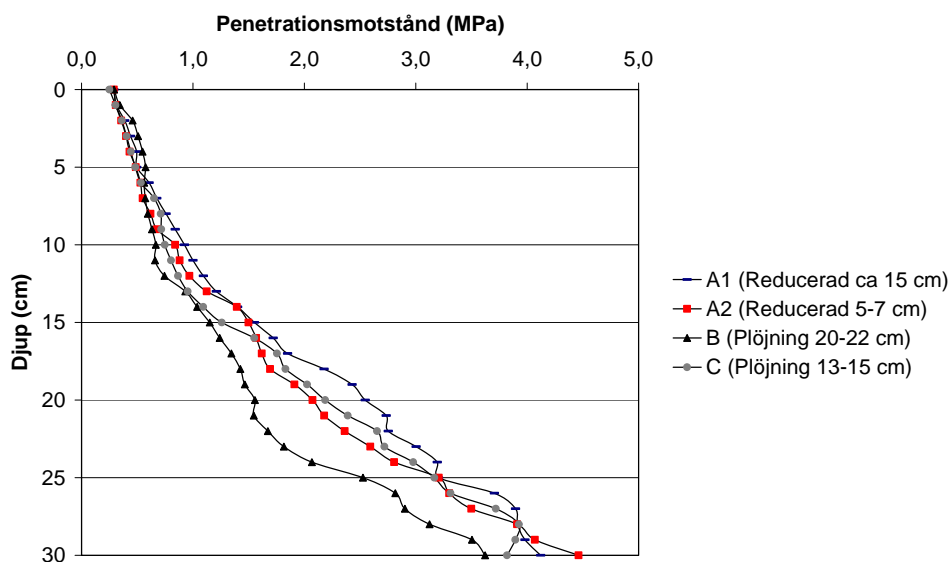
I försök M-801 med höstvetete såg behandlingarna A1, A2 samt C följa varandra på ett likartat sätt, se figur 19. Dock avviker det djupt plöjda ledet som var signifikant lägre i skiktet 14-26 cm. Det är svårt att se skillnader i penetrationsmotstånd mellan de oplöjda samt det grunda plöjda ledet profilen igenom. Den enda gången man kunde

skilja dessa åt var vid 15 cm då led C var signifikant lägre än A2. Inga signifikanta skillnader fanns mellan de oplöjda leden A1 och A2 genom hela profilen.



Figur 19. Penetrationsmotståndet (MPa) i försök M-801 med höstvetete vid olika bearbetningar på Charlottenlund.

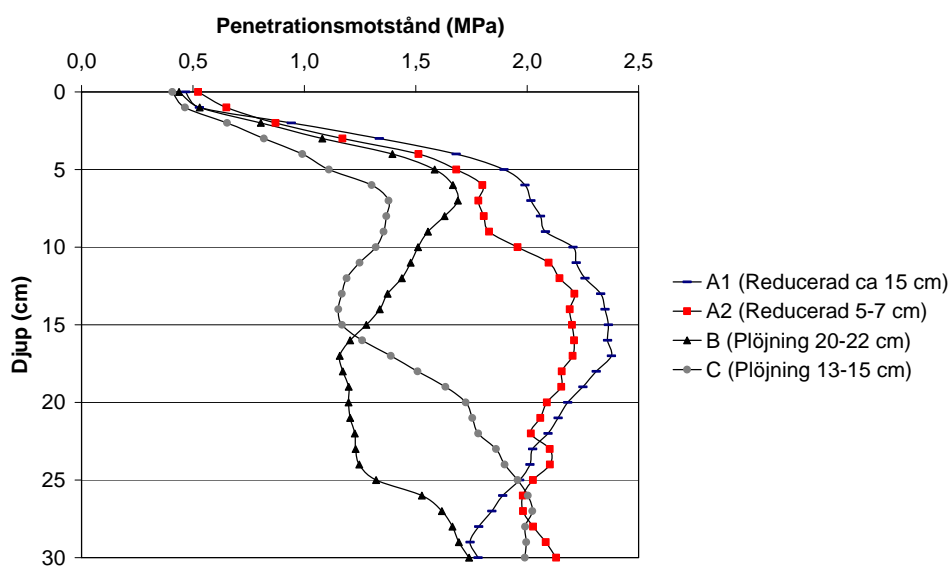
Mätningarna i försöket M-802 med höstvetete visade även detta liknande penetrationsmotstånd, se figur 20. Den enda signifikanta skillnaden fanns vid djupet 23 cm då det djupt plöjda ledet hade lägre penetrationsmotstånd än övriga led.



Figur 20. Penetrationsmotståndet (MPa) i försök M-802 med höstvetete vid olika bearbetningar på Charlottenlund.

Penetrationsmotstånd Väby

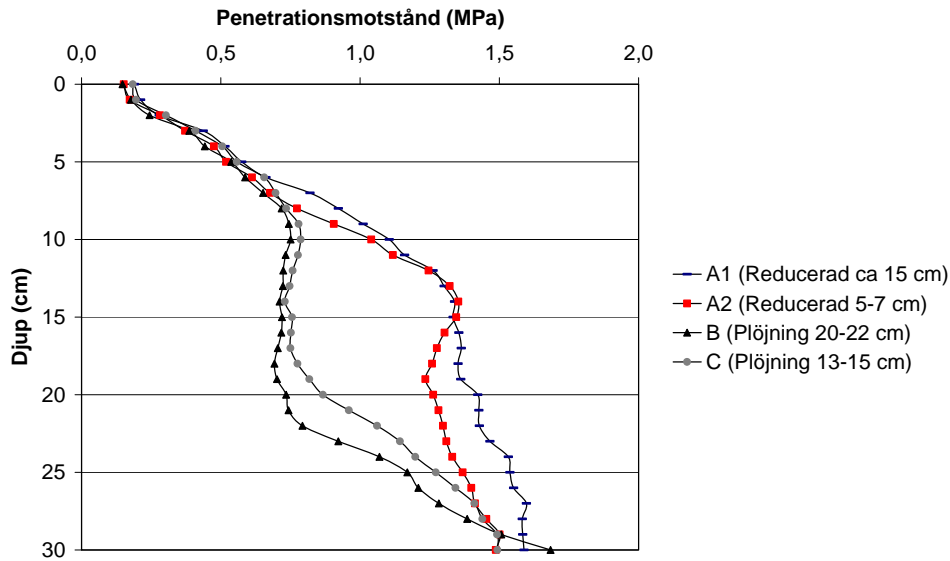
Försöket N-271 med höstvetete visade ett likartat mönster vad gäller de plöjningsfria leden A1 och A2, se figur 21. Dock verkade A2 ha aningen högre penetrationsmotstånd till djupet 22 cm. Signifikanta skillnader mellan A1 och A2 fanns inte på något djup. Det fanns dessutom inga signifikanta skillnader mellan de plöjda leden B och C. På djupet 10 cm hade A1 signifikant högre penetrationsmotstånd än B och C samtidigt som A2 enbart hade högre penetrationsmotstånd än C. På djupet 11-19 cm var penetrationsmotståndet lägre i de plöjda leden B och C jämfört med de plöjningsfria A1 och A2. Vid djupet 20-21 cm enbart A1 och A2 högre penetrationsmotstånd än led B.



Figur 21. Penetrationsmotståndet (MPa) i N-271 med höstvetete vid olika bearbetningar på Väby.

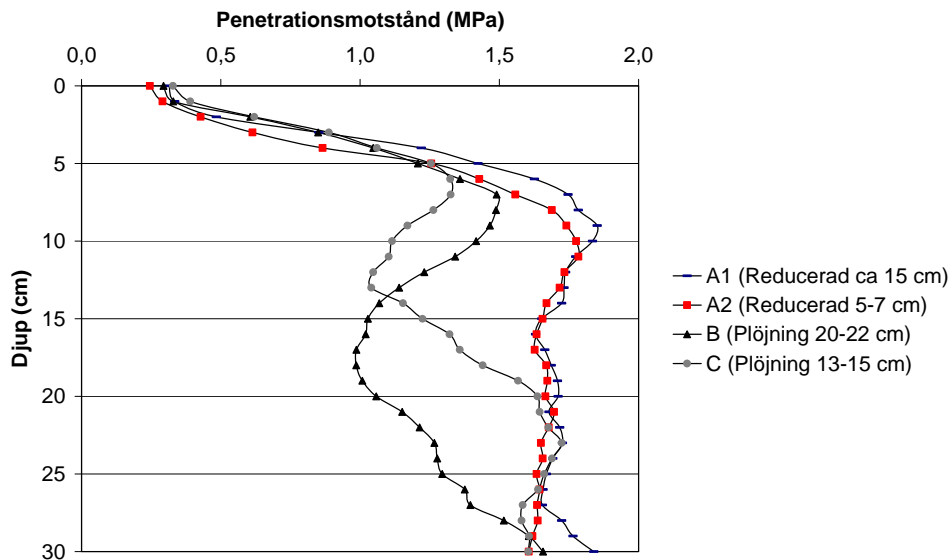
Penetrationsmotståndet i försöket N-272 med vårkorn visade att de plöjda leden B och C följde varandra på ett likartat sätt, se figur 22. Även de plöjningsfria leden A1 och A2 följde varandra på liknande sätt. Dock så hade det grunt plöjda ledet C högre penetrationsmotstånd än det djupt plöjda ledet B. Det fanns inga signifikanta skillnader mellan A1 och A2. Den enda signifikanta skillnaden mellan B och C fanns på djupet 22 cm där B hade lägre penetrationsmotstånd. Vid djupet 23 cm hade A1 signifikant högre penetrationsmotstånd än B och C och A2 enbart högre än C. Djupare vid 24 cm hade enbart A1 större penetrationsmotstånd än B och C.

Penetrationsmotståndet i fältet N-273, också med vårkorn, visade att A1 hade signifikant högre penetrationsmotstånd på djupet 7 cm jämfört med A2 och det gick inte att skilja A1 och A2 på några andra djup, se figur 23. På djupet 8-22 cm hade de plöjningsfria leden A1 och A2 signifikant högre penetrationsmotstånd än det djupt plöjda ledet B. Vid djupet 8-15 cm hade de plöjningsfria leden dessutom högre penetrationsmotstånd än det grunt plöjda ledet C. På 18-22 cm djup var den enda skillnaden mellan leden att led B hade signifikant lägre penetrationsmotstånd än övriga led.

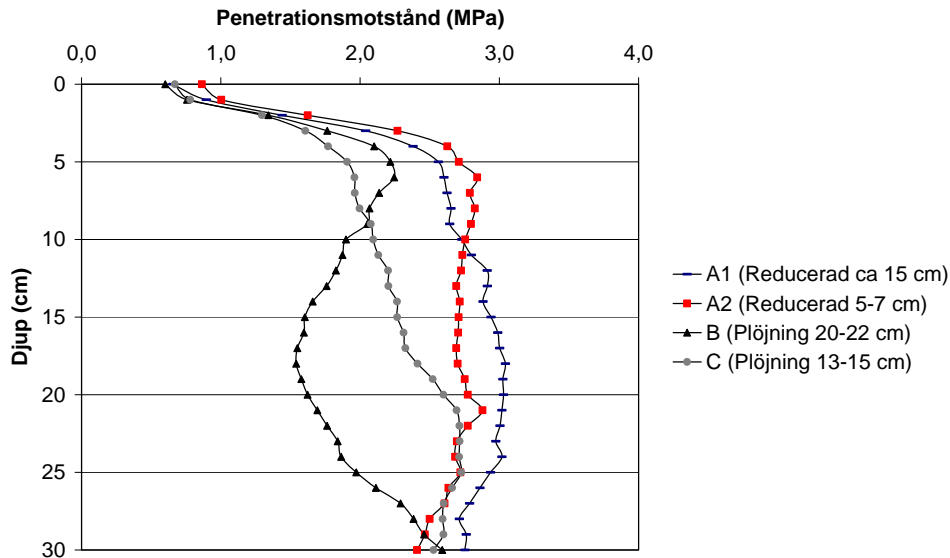


Figur 22: Penetrationsmotståndet (MPa) i försök N-272 med vårkorn vid olika bearbetningar på Väby.

Mätningarna av penetrationsmotståndet på fältet N-274 med höstvetete visar enbart signifikanta skillnader mellan djupen 10 och 26 cm, se figur 24. På 10 cm djup hade de plöjningsfria leden, A1 och A2, signifikant högre penetrationsmotstånd än de plöjda, B och C. Det fanns inga signifikanta skillnader mellan de kultiverade leden A1 och A2 på något djup. De plöjda leden, B och C, var inte signifikant skilda från varandra förrän på djupet 16 cm då det djupt plöjda ledet, B, hade lägre penetrationsmotstånd. Skillnaden mellan B och C fortsatte till 27 cm då de åter inte gick att skilja ifrån varandra.

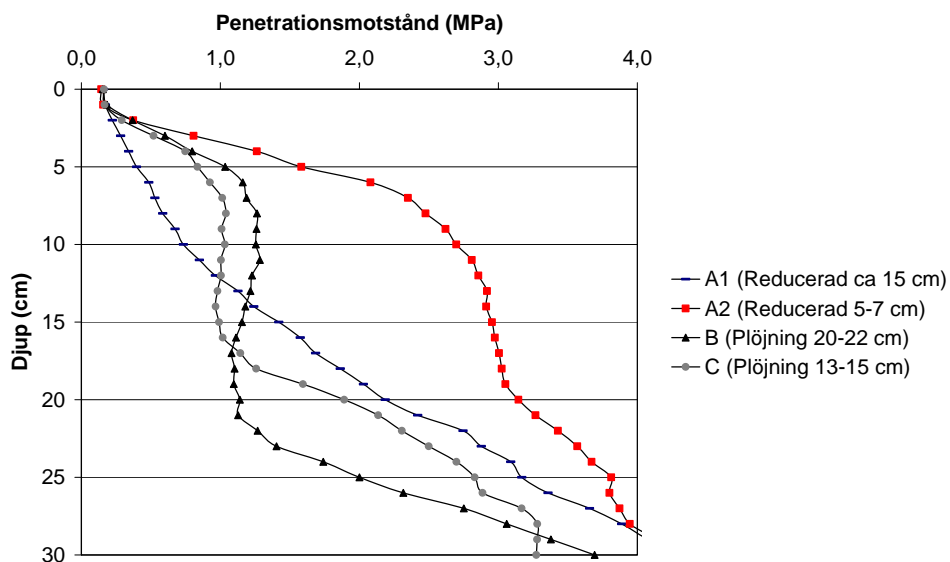


Figur 23. Penetrationsmotståndet (MPa) i försök N-273 med vårkorn vid olika bearbetningar på Väby.



Figur 24. Penetrationsmotståndet (MPa) i försök N-274 med höstvetete vid olika bearbetningar på Väby.

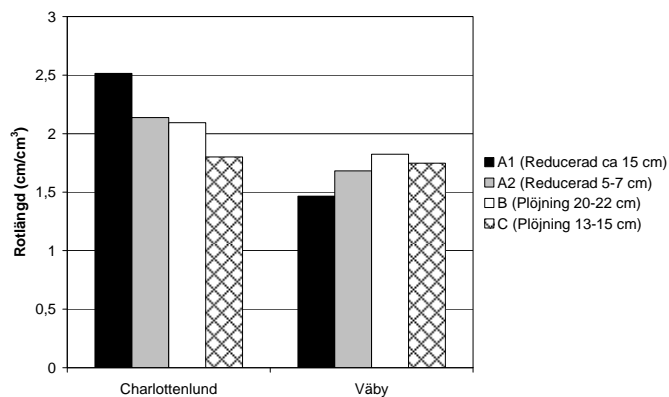
I försök N-276 med majs var penetrationsmotståndet i led A2 signifikant högre i skiktet 3-5 cm jämfört med övriga led. Den djupa och grunda plöjningen var ej signifikant skilda på något djup. I skiktet 7-18 cm var de enda signifikanta skillnaden att led A2 hade högre penetrationsmotstånd än de övriga leden. De plöjningsfria leden A1 och A2 var ej signifikant skilda på djupen 19-24 cm. Den djupa plöjningen B hade dock signifikant lägre penetrationsmotstånd i skiktet 20-24 cm jämfört med de plöjningsfria leden A1 och A2.



Figur 25. Penetrationsmotståndet (MPa) i försök N-276 med majs vid olika bearbetningar på Väby.

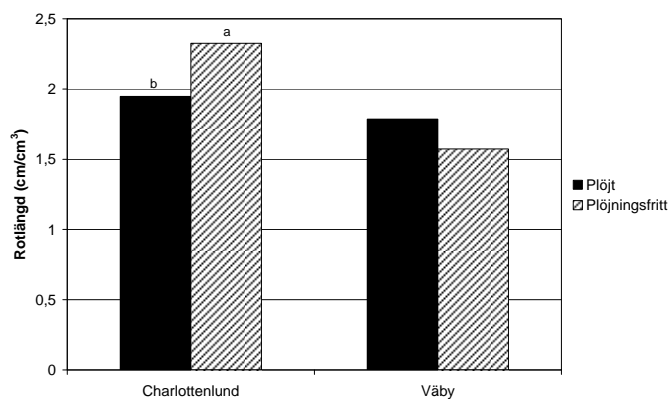
Rotutveckling på Charlottenlund och Väby

Den totala längden rötter i försöket M-801 med höstvetete på Charlottenlund skiljde sig inte signifikant mellan de fyra olika leden, se figur 26. Ledet med mest rötter var det djupt kultiverade A1. Det grunt plöjda ledet C visade sig ha minst rötter men skillnaderna var för små för att vara signifikanta. Inte heller på Väby i försöket N-274 med höstvetete fanns det några signifikanta skillnader mellan de olika leden. De plöjda leden tenderade dock att ligga lite högre än framförallt den djupa kultiveringen A1.



Figur 26. Den totala längden rötter (cm/cm^3) i skiktet 10-20 cm i försöken M-801 och N-274 med höstvetete på Charlottenlund och Väby.

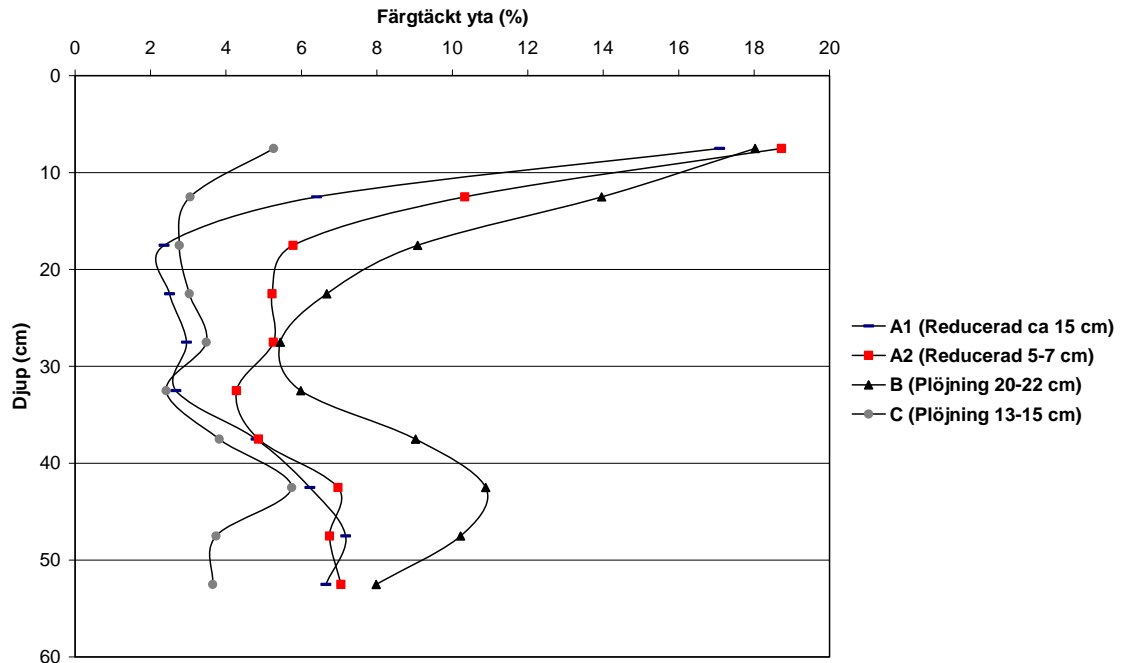
För att se skillnaderna mellan plöjningsfria och plöjda led slogs A1 och A2 samt B och C ihop till ett tvåfaktoriellt försök, plöjt och plöjningsfritt, på Charlottenlund och Väby. Den totala längden rötter visade sig vara signifikant högre i plöjningsfria led jämfört med plöjda led på Charlottenlund, se figur 27. På Väby skiljde sig inte den totala längden rötter signifikant men de plöjda leden visade tendens till att ha mer rötter.



Figur 27. Den totala längden rötter (cm/cm^3) i skiktet 10-20 cm i försöken M-801 och N-274 med höstvetete på Charlottenlund respektive Väby. Staplar med samma bokstav har inga signifikanta skillnader på de olika försöksplatserna.

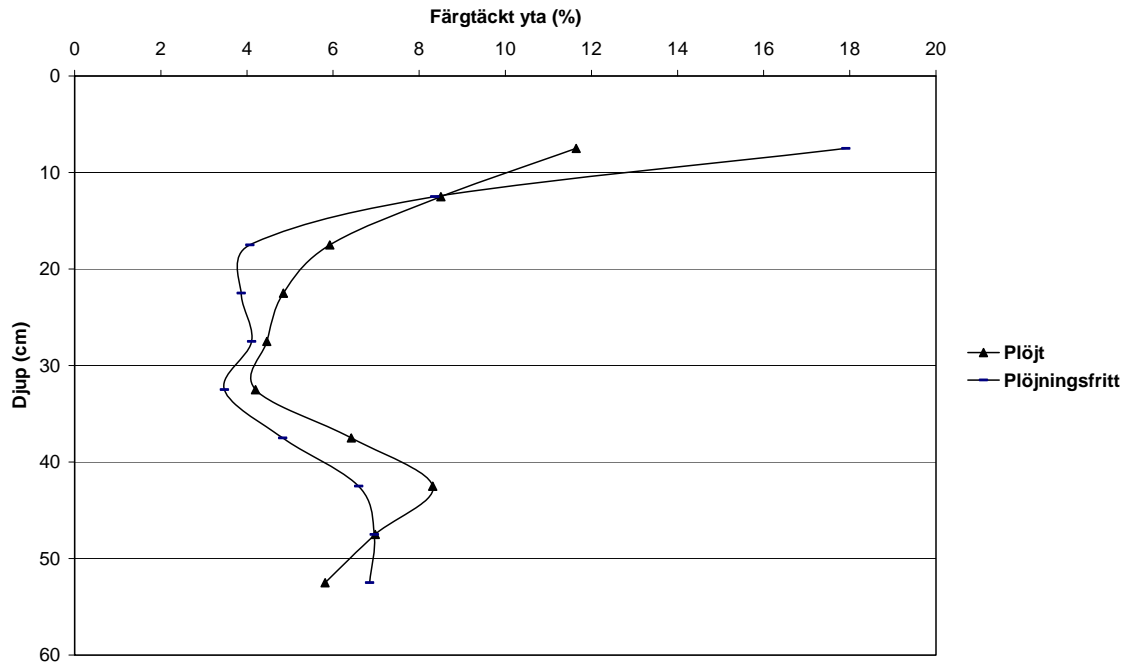
Infärgningsexperiment Charlottenlund

Eftersom led A1 och C enbart var representerade från ett block är det svårt att uttala sig om några ledskillnader. Hur den färgtäckta ytan skiljde sig mellan leden varierar men har liknande mönster i alla bearbetningar, se figur 28. Eftersom det var få rutor analyserade gick det inte heller att statistiskt utföra beräkningar avseende alla fyra leden.



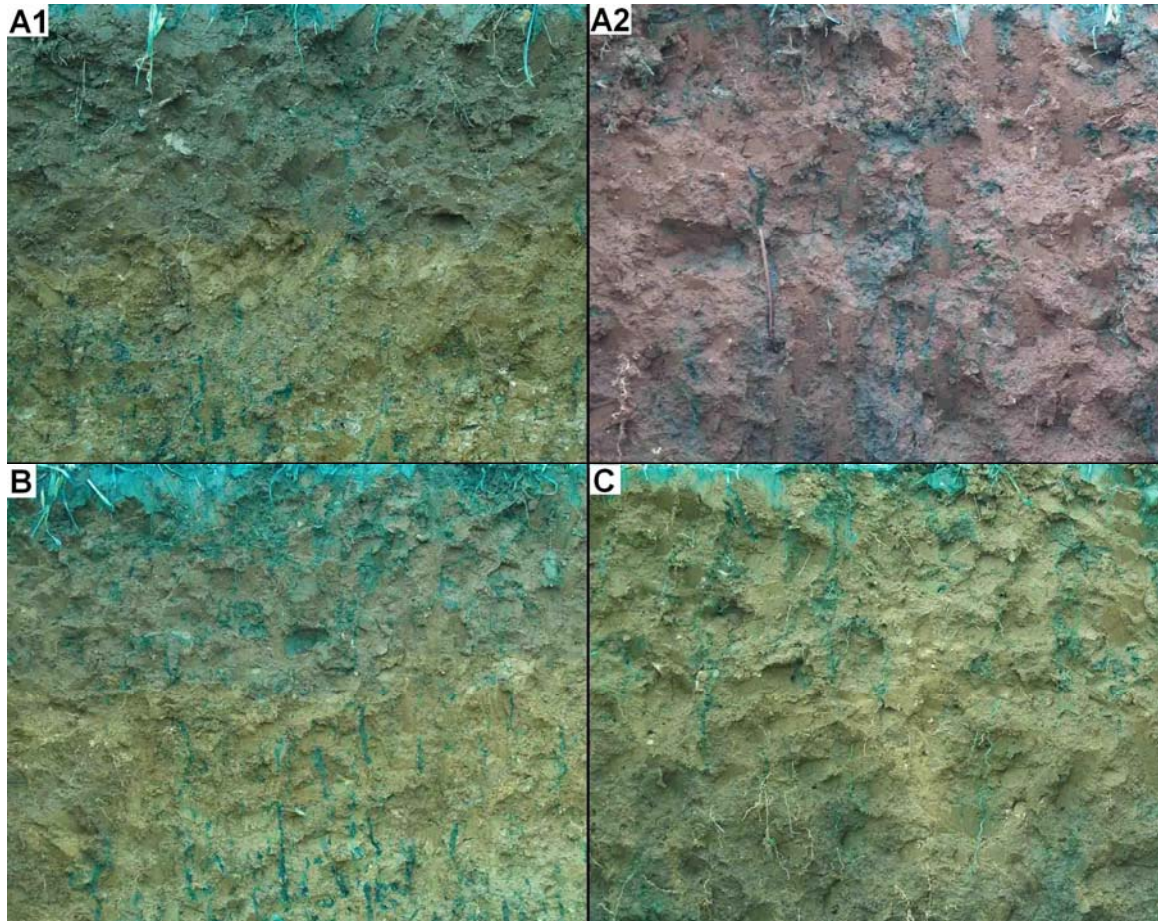
Figur 28. Andel färgtäckt yta (%) på olika djup i försöket M-801 vid olika bearbetningar på Charlottenlund.

Eftersom endast resultaten från A2 och B var representerade från 2 block slogs de plöjningsfria leden, A1 och A2, och plöjda, B och C, ihop till ett tvåfaktoriellt försök, se figur 29. Detta medförde att det statistiskt gick att utföra beräkningar och således består varje bearbetning, plöjt respektive plöjningsfritt, av 3 gropar om 5 snitt. I markytan hade de plöjningsfria leden högst andel färgad yta. Djupare till ca 45 cm hade det djupt plöjda ledet störst andel färgad yta men skillnaderna var små. Vid 52,5 cm hade de plöjningsfria leden återigen högst andel färgad yta. Det fanns inga signifikanta skillnader mellan bearbetningarna plöjt och plöjningsfritt på något djup. Däremot så syntes tydligt för båda bearbetningarna att andel färgad yta var lägst på djupet omkring 30 cm.



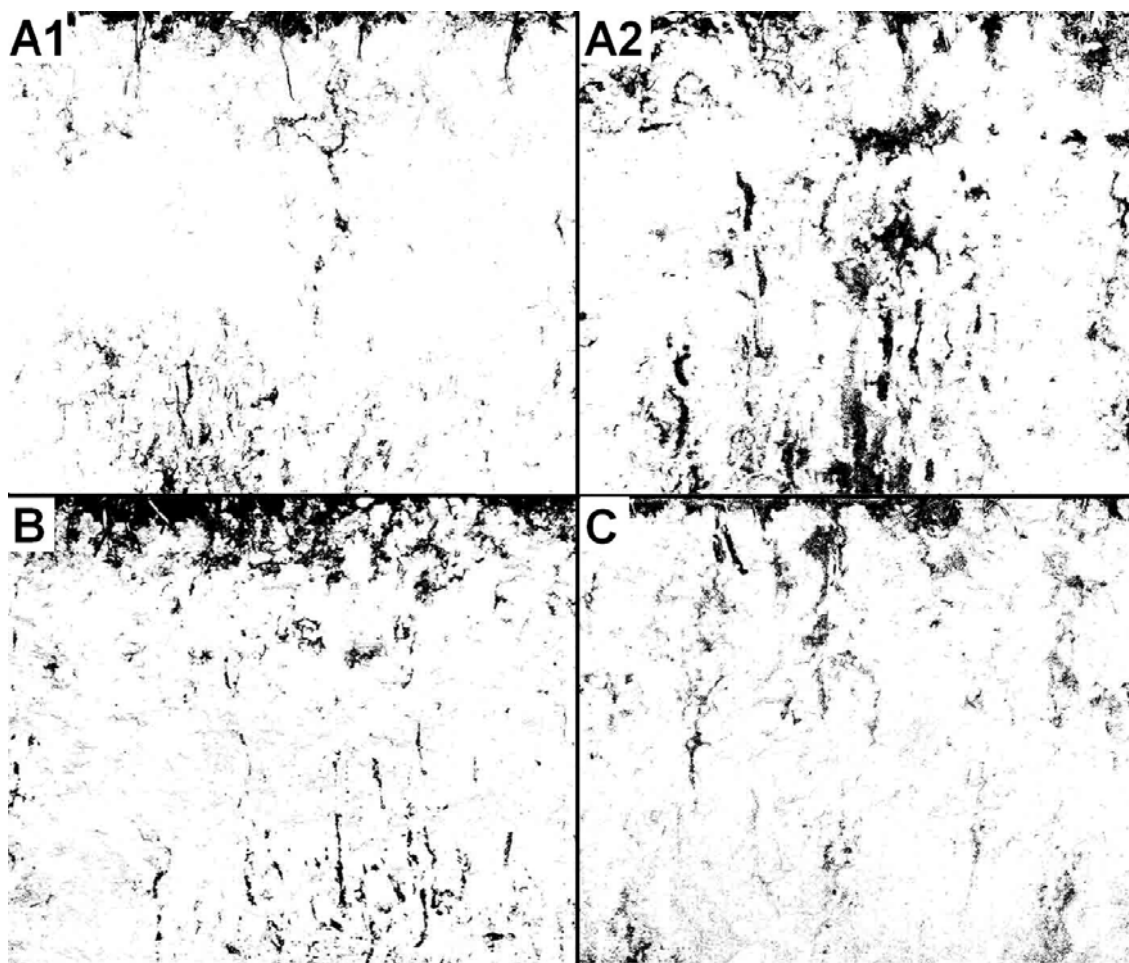
Figur 29. Förändringen av den färgtäckta ytan (%) med djupet (cm) i försöket M-801 med höstvetete vid bearbetningarna plöjt och plöjningsfritt på Charlottenlund.

Bilderna på hela snitt visade stor variation och det är svårt att uttala sig om hur stor andel färgad yta det finns på olika djup, se figur 30. Bilderna motsvarar i verkligheten ett snitt från markytan till 50 cm djup. Större porer som har transporterat vatten nedåt syns mer eller mindre tydligt i alla led. I det djupt plöjda ledet ses en visuellt högre andel färgad yta jämfört med övriga led i ytan. Dock så är bilderna nedan enbart från ett block. I led A1 syntes ett område mellan matjorden och alven som hade mycket liten andel färgtäckt yta. Observera att dessa bilder börjar i markytan och inte på 5 cm djup som i den med dator utförda bildanalysen. Endast det tredje snittet redovisas varför det är svårt att uttala sig om variationen mellan de olika leden. Färgen i led A2 skiljer sig från övriga men det bedömdes att analysen av snittet ändå gav en tillfredsställd svartvit motsvarighet. I led A2 syns även en dagmask som täcker en por vilken egentligen borde tagits bort innan fotografiet på det hela snittet togs.



Figur 30. Ledvis åskådliggörande av profilsnitten från infärgningsexperimentet på Charlottenlund vid de olika bearbetningarna A1(Reducerad ca 15 cm), A2(Reducerad 5-7 cm), B(Plöjning 20-22 cm) samt C(Plöjning 13-15 cm i försöket M-801 på Charlottenlund).

De svartvita bilderna till profilerna ovan visade tydligare hur vattnet hade transporterats genom de olika profilerna, se figur 31. I led A2 syns några porer av grövre karaktär. Dessutom syns det i det djupt plöjda ledet en tydlig gräns i ytan där färgen stannat. Bilderna ett bra sätt att få en uppfattning om hur vatten rör sig i marken.



Figur 31. Ledvis åskådliggörande av den bearbetade originalbilden med profilsnitten från infärgningsexperimentet på Charlottenlund vid de olika bearbetningarna A1(Reducerad ca 15 cm), A2(Reducerad 5-7 cm), B(Plöjning 20-22 cm) samt C(Plöjning 13-15 cm) i försöket M-801 på Charlottenlund.

Skörd på Charlottenlund

På Charlottenlunds gård i Skåne var försöken visuellt bedömda väldigt jämna och det var svårt att observera några direkta ledskillnader i försöken M-800 och M-801, se tabell 10. Dock kunde ojämnheter i försöket M-802 observeras vilket även var torkskadat. Bearbetningsmetoderna har i alla fall inte haft någon signifikant inverkan på skörden i försöken M-800 och M-801.

Tabell 10. Skörd (ton/ha) i försöken med reducerad jordbearbetning på Charlottenlunds gård i Skåne 2008

Försök	M-800	M-801	M-802
Gröda	Raps	Höstvete	Höstvete
Förfrukt	Vårkorn	Höstvete	Socketbetor
A1 (Reducerad ca 15 cm)	6790	10410	7180
A2 (Reducerad 5-7 cm)	6800	10620	7590
B (Plöjning 20-22 cm)	7030	10510	6950
C (Plöjning 13-15 cm)	6980	10250	5950
Sign.	n.s	n.s	n.s

Skörd på Väby

På Väby var försöken överlag jämna förutom i försöket N-271. Dock kunde endast skörderesultat från två försök redovisas, se tabell 11. I dessa försök fanns det inga signifikanta skillnader. Dock så skiljde sig skörden lite mer i försök N-274 vid jämförelse av led A2 med de övriga leden.

Tabell 11. Skörd (ton/ha) i försöken med reducerad jordbearbetning på Väby gård i Halland 2008

Försök	N-271	N-272	N-273	N-274	N-276
Gröda	Höstvete	Vårkorn	Vårkorn	Höstvete	Majs
Förfrukt	Höstvete	Höstvete	Våraps	Våraps	Vårkorn
A1 (Reducerad ca 15 cm)	*	6570	5760	5490	*
A2 (Reducerad 5-7 cm)	*	6980	5840	4900	*
B (Plöjning 20-22 cm)	*	7220	6300	5600	*
C (Plöjning 13-15 cm)	*	7340	5900	5670	*
Sign.	*	n.s	n.s	n.s	*

* Uppgift saknas.

Diskussion

Skrymdensitet

På Charlottenlund i försök M-801 fanns inga signifikanta skillnader i skrymdensitet mellan leden och inte heller mellan plöjt och plöjningsfritt. De olika bearbetningarna har tydligen inte haft någon inverkan på skrymdensiteten i skiktet 10-20 cm. Dock låg de plöjda leden lite högre i skrymdensitet vilket är förvånande och resultaten stämmer inte överens med Arvidsson (1998) och Schjønning & Rasmussen (2000). Resultaten stämmer inte heller med Munkholm m. fl. (2001) som observerade en antydning till ökning av skrymdensiteten i plöjningsfria led. Däremot så stämmer resultaten från Väby överens med Arvidsson (1998) och Schjønning & Rasmussen (2000). Vid jämförelse mellan de olika leden med avseende på skrymdensitet visade det sig att försöket N-274 på Väby hade signifikant lägre skrymdensitet i plöjda led. Plöjningens luckrande effekt har tydligen gjort skillnad i detta försök. Bearbetningsdjupet inom plöjt respektive plöjningsfritt hade dock ingen inverkan på skrymdensiteten. Hypotesen om en ökning av skrymdensiteten vid tillämpning av reducerad jordbearbetning stämde för Väby men ej på Charlottenlund.

Genomsläpplighet

Mätningarna av genomsläppligheten gav varierande resultat. Sett över alla tre försök på Charlottenlund i genomsnitt så var genomsläppligheten i skiktet 10-15 cm signifikant högre i de plöjda leden vilket överensstämmer med Comia m. fl. (1994) och Riley m.fl. (1994). Däremot så fanns det inga signifikanta skillnader i skiktet 22-27 cm. Resultaten varierar och de plöjda leden hade i genomsnitt högst genomsläpplighet i alla försök i skiktet 22-27 cm vilket är förvånande och inte överstämmer med resultat från Arvidsson (1998), Comia m. fl. (1994) samt Riley m.fl. (1994). Dock var skillnaderna inte signifikanta eftersom variationerna har varit stora. Troligen beror den högre genomsläppligheten i plogsulan på att mätningarna av genomsläppligheten har gjorts för grunt eller att förra plöjningen skedde för djupt. Dessutom är cylindrarna små och ibland observerades maskhål som verkade tömma cylindrarna fort. Resultaten skulle blivit säkrare om större cylindrar hade använts men vatten- och tidsåtgången skulle då bli för stor för att man praktiskt ska kunna genomföra mätningarna i alla rutorna. Genomsläppligheten var hög eller bättre i alla försök samt och alla led, enstaka försök hade extremt hög genomsläpplighet. En allt för hög genomsläpplighet kan medföra att växterna inte får det vatten de behöver eftersom det rinner undan så pass fort (Dexter, 1988).

Genomsläppligheten i olika led på Väby varierade men plöjda led hade aningen högre genomsläpplighet i skiktet 10-15 cm vars resultat kan förklaras av plöjningens luckrande effekt (Comia m. fl., 1994; Riley m.fl. 1994). Sett över de två försöken var genomsläppligheten signifikant lägre i plöjda led i skiktet 22-27 cm vilket överensstämmer med Arvidsson (1998), Comia m. fl. (1994) samt Riley m.fl. (1994). Genomsläppligheten klassificerades som hög eller bättre i matjorden och som mycket låg till medelgod på plogsuledjup. På Väby verkar det ändå som om att genomsläppligheten i plogsulan är klart sämre i djupt plöjda led. Plöjningens luckrande effekt kunde delvis ses som en högre genomsläpplighet i matjorden på Charlottenlund och Väby vilket stämmer med hypoteserna. Hypotesen med lägre

genomsläpplighet i skiktet 22-27 cm i plöjda led stämde på Väby men inte på Charlottenlund.

Penetrationsmotstånd

Mätningarna av penetrationsmotstånd kunde ibland störas av förekommande sten, framför allt i försöket M-802 på Charlottenlund vilket även bekräftades av texturanalysen. På grund av det kunde mätningarna endast utföras till 30 cm. I allmänhet på Charlottenlund hade de djupt plöjda leden lägre penetrationsmotstånd jämfört med de kultiverade. Tydligast syns detta i försöket M-800 med raps, och försök M-801 där det även går att se en plogsula på 23-24 cm djup med en ökning av penetrationsmotståndet. Effekterna av luckringen som sker vid djup plöjning syns i dessa försök. Skillnaderna mellan de plöjningsfria leden var små och det finns inga signifikanta skillnader i något försök mellan led A1 och A2. På Väby var skillnader i penetrationsmotståndet mellan olika led varierande mellan försöken. Dock så var skillnaderna mellan det grunt och djupt kultiverade leden överlag små. Den enda gången det går att skilja A1 och A2 är i försök N-276 med majs då det grunt kultiverade ledet hade signifikant högre penetrationsmotstånd. Den grunda plöjningen följer i allmänhet kurvorna för de djupt plöjda leden men grund ligger i allmänhet lite högre i penetrationsmotstånd vilket även observerades av Kouwenhoven m.fl. (2002). Skillnader mellan grund plöjning och de plöjningsfria leden är ibland små som i exempelvis försök M-802 då C nästan exakt följer A1 och A2. I de flesta fall låg dock de grunt plöjda leden lägre i avseende på penetrationsmotstånd än plöjningsfria led. Penetrationsmotståndet var mindre i plöjda led på både Charlottenlund och Väby vilket stämmer med hypotesen.

Rotutveckling

Intressant är det att det i försöket M-801 på Charlottenlund utvecklats signifikant mer rötter i plöjningsfria än plöjda led. På Väby i försök N-274 fanns det däremot inga skillnader mellan plöjda och plöjningsfria led. De plöjda leden på Väby hade aningen mer rötter men skillnaderna var inte signifikanta. Utvecklingen av rötter har i andra försök ofta minskat vid plöjningsfri odling och resultaten från Charlottenlund går emot resultat från bland annat Comia m. fl. (1994). Hypotesen med högre rotutveckling i plöjda led motbevisades på Charlottenlund och stämde inte på Väby.

Infärgningsexperiment

Eftersom metoden är tidskrävande analyserades bara ett försök, M-801, och då på Charlottenlund. Det hade varit intressant att utföra studien på Väby och eventuellt i det med avseende på jordart lättare försöket eftersom det i försök även på lättare jordar ofta uppstår preferensflöde (Flury m. fl., 1994). Resultaten från Charlottenlund visar att vattenflöde i marken sker på ett mycket komplext sätt och att variationen inom fält är stor. Resultaten visar dock att skillnaderna i den färgtäckta ytan mellan plöjt och plöjningsfritt inte var signifikanta. De plöjningsfria leden låg lägre i skiktet omkring 17-43 cm. Djupare och i ytan har de plöjningsfria leden högre andel färgad yta. Skillnaderna kan bero på flera faktorer och jordartsvariationen inom fältet är en sådan. En annan anledning kan vara att det i plöjda led utvecklats ett porsystem med fler och mindre porer vilket gett en högre andel färgad yta. Motsvarande i plöjningsfria led kan det då ha utvecklats porsystem med större makroporer vilket

medför en lägre andel färgad yta. Detta kan vara en anledning till att det ser ut som det gör eftersom makroporer kan stå för upp till 100 % av all vattentransport (Alaoui & Helbing, 2006). Variationerna var inte signifikanta och således är det svårt att veta om porsystemet skiljer sig mellan de olika bearbetningarna. Däremot så syns det både för plöjda och plöjningsfria led en minskning av den färgtäcka ytan till omkring 30 cm.

Resultaten överstämmer inte med Kasteel m. fl. (2005) samt Anken m. fl. (2004) som fick en högre andel färgad yta i plöjda led. Resultaten överensstämmer inte heller med Gunnarson & Rydén (2006) som hade större avtryck i alven i plöjningsfria led. Petersen m. fl. (2001) observerade en ändring av mönstret med vilket vattnet rörde kring 25-30 cm liksom i denna undersökning. Metoden med datoriserad bildanalys visade sig i vilket fall som helst fungera på ett tillfredställande sätt. Dessutom var den förhållandevis snabb vilket ytterligare talar för den. Slutligen visade sig hypotesen med högre andel färgad yta i plöjningsfria led i infärgningsexperimenten inte stämma.

Skörd

Fälten på Charlottenlund var väldigt jämna och försök M-800 med raps såg mycket bra ut. Skörden på Charlottenlund var överlag hög både för höstrapsen och höstvetet. Det andra försöket med höstvetet var kraftigt torkskadat och det är därför svårt att uttala sig om eventuella ledskillnader. De tre redovisade försöken på Väby hade heller inga signifikanta skillnader vad gäller skörd. Tre försök blev inte redovisade på grund av olika anledningar.

Slutsatser

Mätningarna i försöken med reducerad jordbearbetning har visat att skillnaderna mellan leden och de fyra olika bearbetningarna i allmänhet varit små och framförallt mellan de båda plöjningsfria leden. Tillämpning av plöjningsfri odling i dessa försök behöver inte medföra en ökning av skrymdensiteten i matjorden vilket ofta visats i andra försök. En ökning av bearbetningsdjupet i de plöjningsfria leden har inte sänkt penetrationsmotståndet i matjorden förutom i ett försök på Väby. Jämfört med plöjda led tyder det på att redskapen i de plöjningsfria leden har svårt att åstadkomma en effektiv luckring. Anledningen till att det inte fanns några större skillnader mellan de plöjningsfria leden kan bero på markens vattenhalt vid bearbetningstillfällena då hösten 2007 var en regnig period. Generellt sett medförde plöjning högst genomsläpplighet i matjorden vilket visar plöjningens effektiva luckring. Genomsläppligheten i plogsulan var på Väby högst i plöjningsfria led och på Charlottenlund fanns inga skillnader. Genomsläppligheten på Charlottenlund och Väby är dock generellt sett god i alla led vilket ger en hög infiltration vid kraftiga regn. Ett ökat preferensflöde har ofta påvisats vid tillämpning av reducerad jordbearbetning vilket lett till ökad andel färgtäckt yta i alven. På Charlottenlund fanns det inga skillnader mellan plöjt och plöjningsfritt bearbetningsmetod har inte påverkat färgavtrycket. Mängden rötter kunde inte kopplas till markens penetrationsmotstånd i de olika leden. Resultaten visar att den plöjningsfria odlingen inte behöver medföra en minskad rotutveckling vilket ofta observerats i andra undersökningar. Slutligen är den plöjningsfria odlingen på Charlottenlund minst lika avkastande skördeåret 2008 som de plöjda leden vilket visat sig i skörderesultaten.

Även på Väby fanns det inga större skillnader i skörd men resultaten är endast från tre av totalt 6 försök. Den plöjningsfria odlingen är i dessa försök minst lika högt avkastande som plöjning, vilket stämmer med andra svenska undersökningar på liknande jordar.

Referenser

- Alaoui, A. & Goetz, B., 2008. *Dye tracer and infiltration experiments to investigate macropore flow*. Geoderma 144, 279-286.
- Alaoui, A. & Helbing, A., 2006. *Evaluation of soil compaction using hydrodynamic water content variation: Comparison between compacted and non-compacted soil*. Geoderma 144, 97-108.
- Andreini, M. S., & Steenhuis, T. S., 1990. *Preferential paths of flow under conventional and conservation tillage*. Geoderma 46, 85-102.
- Anken, T., Weisskopf, P., Zihlmann, U., Forrer, H., Jansa, J., Perhacova, K., 2004. *Long-term tillage system effects under moist cool conditions in Switzerland*. Soil & Tillage Research 78, 171-183.
- Arvidsson, J., 1998. *Effects of cultivation depth in reduced tillage on soil physical properties, crop yield and plant pathogens*. European Journal of Agronomy 9, 79-85.
- Arvidsson, J., 2004. *Plöjningsfri odling – luckringsbehov, bearbetningstidpunkt, växtpatologiska effekter och dragkraftbehov*. Stencil, Avdelningen för jordbearbetning, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala, Sverige.
- Arvidsson, J & Petterson, O. 1995. *Jordpackning och markstruktur*. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 435. SLU, Uppsala, Sverige.
- Bengough, A. G., Mullins, C. E., 1990. *Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses*. Journal of Soil Science 41, 341-358.
- Berglund, K., Berglund, Ö., Gustafson Bjuréus, A., 2002. *Markstrukturindex – ett sätt att bedöma jordarnas fysikaliska status och odlingssystemets inverkan på markstrukturen*. Avdelningsmeddelande 02:4. Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, SLU, Uppsala.
- Comia, R. A., Håkansson, I., Nelson, P., Rydberg, T., Stenberg, M., 1994. *Soil and crop responses to different tillage systems*. Soil and Tillage Research 29, 335-355
- De Roo, H. C., 1969. *Tillage and root growth*. Whittington, W. J., Root Growth, 256-268, Butterworths, London.
- Dexter, A. R., 1988. *Advances in Characterization of Soil Structure*. Soil & Tillage Research 11, 199-238.
- Dexter, A. R., 2003. Opublicerat material

Eriksson, J., Nilsson, I., Simonsson, M., 2005. *Wiklanders Marklära*. Studentlitteratur, Lund.

Etana, A., Håkansson, I., Rydberg, T., 2000. *Markfysikaliska studier i långliggande försök med reducerad jordbearbetning*. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen nr 97. SLU, Uppsala, Sverige.

Flury, M. & Flühler, H., 1994. *Brilliant Blue FCF as a dye tracer for solute transport studies – A toxicological overview*. Journal of Environmental Quality 23, 1108-1112.

Flury, M. & Flühler, H., 1995. *Tracer characteristics of brilliant blue FCF*. Soil Science Society of America Journal 59, 22-27.

Flury, M., Flühler, H., Jury, W. A., Leuenberger, Jörg., 1994. *Susceptibility of soils to preferential flow of water: A field study*. Water resources research 30, No. 7, 1945-1954.

Gunnarsson, A. & Rydén, A., 2007. *Infärgning av jord som verktyg för ökad förståelse av jordens komplexa funktioner i sockerbetsodling*. SBU Rapport 906:6.

Greacen, E. L, Barley, K. P., Farrell, D. A., 1969. *The mechanics of root growth in soils with particular reference to the implications for root distribution*. Whittington, W. J., Root Growth, 256-268, Butterworths, London.

Hillel, D. 1982. *Introduction to soil physics*. London, Academic Press.

Heinonen, R., 1982. *Jordens igenslamning och förhårdnande*. Speciella skrifter 12, SLU, Uppsala, Sverige.

Heinonen, R., 1985. *Markstrukturbildningens teori*. Fakta Mark/Växter 27. SLU, Uppsala, Sverige.

Håkansson, I. 2000. *Packning av åkermark vid maskindrift*. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen nr 99. SLU, Uppsala, Sverige.

Kasteel, R., Burkhardt, M., Giesa, S., Vereecken, H., 2005. *Characterization of field tracer transport using high resolution images*. Vadose Zone Journal 4, 101-111.

Kouwenhoven, J. K., Perdok, U. D., Boer, J., Oomen, G. J. M., 2002. *Soil management by shallow mouldboard ploughing in The Netherlands*. Soil & Tillage Research 65, 125-139.

Livsmedelsverket, 2008. *Nyckel till märkningen med E-nummer för livsmedelstillsatser*. Livsmedelsverket, Uppsala, Sverige.

Löfkvist, J. 2003. *Root growth and mechanical impedance*. Dept. of Soil Science, Swedish Agric. Sci. Stencil.

Munkholm, L. J., Schonning, P., Rasmussen, K. J., 2001. *Non-inversion tillage effects on soil mechanical properties of a humid sandy loam*. Soil & Tillage Research 62, 1-14.

Petersen, C. T., Jensen, H. E., Hansen, S., Bender Koch, C., 2001. *Susceptibility of a sandy loam soil to preferential flow as affected by tillage*. Soil & Tillage Research 58, 81-89.

Pålsson, O., 2006. *Fältförsök med reducerad bearbetning i Skåne och Halland*. Meddelanden från jordbearbetningsavdelningen nr 52. SLU, Uppsala, Sverige.

Rasmussen, K. J. 1999. *Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review*. Soil and Tillage Research 53, 3-14.

Riley, H., Børresen, T., Ekeberg, E., Rydberg, T., 1994. *Trends in reduced tillage research and practice in Scandinavia*. Carter, M. R., Conservation tillage in temperate agroecosystems, Lewis publishers, 23-45.

Rydberg, T., 1992. *Ploughless tillage in Sweden. Results and experiences from 15 years of field trials*. Soil & Tillage Research 22, 253-264.

Rydberg, T. & Öckerman, T., 1987. *Plöjningsfri odling – Dess inverkan på rotutveckling och evaporation*. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen nr 74. SLU, Uppsala, Sverige.

Schjønning, P. & Rasmussen, K. J., 2000. *Soil strength and soil pore characteristics for direct drilled and ploughed soils*. Soil & Tillage Research 57, 69-82.

Tebrügge, F. & Düring, R. A., 1999. *Reducing tillage intensity – review of results from a long-term study in Germany*. Soil and Tillage Research 53, 15-28.

Thomasson, A. J., 1975. *Soil properties affecting drainage design*. Soil Survey Technical Monograph 7, 18-29.

Yngwe, J., 2007. *Djup icke vändande bearbetning i sockerbetsodling*. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen nr 55. SLU, Uppsala, Sverige.