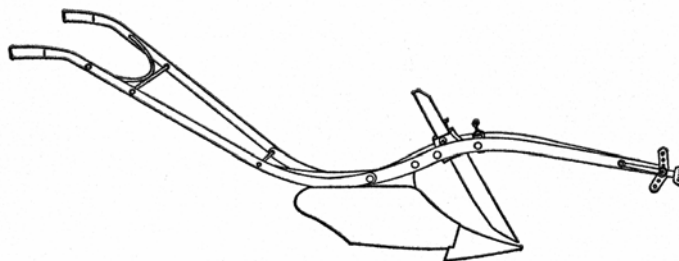




Institutionen för
Markvetenskap
Uppsala

MEDDELANDEN FRÅN JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

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



Nr 53

2006

Aron Westlin

**Inverkan på markstrukturen av olika
bearbetningstidpunkter samt av höga och
låga marktryck**

*Influence of primary tillage time and tyre inflation
pressure on soil structure.*

ISSN 1102-6995

ISRN SLU-JB-M--53--SE

Inverkan på markstrukturen av olika bearbetningstidpunkter samt av höga och låga marktryck

ARON WESTLIN

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING.....	4
SUMMARY	6
1. INLEDNING	8
2. MARKSTRUKTUR	8
3. ATT MÄTA MARKSTRUKTUR.....	9
3.1. SÅBÄDDSUUNDERSÖKNING	9
3.2. PENETRATIONS MOTSTÅND	9
3.3. JORDENS VATTENLEDNINGSFÖRMÅGA	10
3.4. SKRYMDENSITET	10
3.5. AGGREGATHÅLLFASTHET.....	11
3.6. AGGREGATSTABILITET	11
4. FAKTORER SOM PÅVERKAR MARKSTRUKTUREN	12
4.1. POSITIVA FAKTORER	12
4.2. NEGATIVA FAKTORER.....	13
5. ODLINGSSYSTEMETS PÅVERKAN PÅ MARKSTRUKTUREN	14
5.1. BEARBETNINGSSYSTEM	14
5.2. VATTENHALT	15
5.3. MARKPACKNING	16
5.3.1. <i>Marktryck</i>	16
5.3.2. <i>Effekt av återpackning efter luckring</i>	17
5.3.3. <i>Flerårig efterverkan</i>	18
5.3.4. <i>Dragkraftsbehov</i>	20
6. EXAMENSARBETETS SYFTE.....	20
7. MATERIAL OCH METODER.....	21
7.1. FÖRSÖKSPLAN	21
7.1.1. <i>R2-4111</i>	21
7.1.2. <i>R2-7115</i>	21
7.2. MARKFYSIKALISKA MÄTNINGAR.....	22
7.2.1. <i>Såbäddsundersökning</i>	22
7.2.2. <i>Penetrationsmätningar</i>	22
7.2.3. <i>Genomsläpplighet</i>	23
7.2.4. <i>Skrymdensitet</i>	23
7.2.5. <i>Aggregathållfasthet</i>	23
7.2.6. <i>Aggregatstabilitet</i>	24
7.3. HEKTARKOSTNAD	24
7.4. PLANTUPPKOMST OCH AVKASTNING	24
7.5. STATISTIK.....	25

8.	RESULTAT	26
8.1.	SÅBÄDD	26
8.1.1.	<i>R2-4111</i>	26
8.1.2.	<i>R2-7115</i>	27
8.2.	PENETRATIONS MOTSTÅND	28
8.2.1.	<i>R2-4111</i>	28
8.2.2.	<i>R2-7115</i>	29
8.3.	GENOMSLÄPPLIGHET, SKRYMDENSITET, AGGREGATHÅLLFASTHET OCH AGGREGATSTABILITET	30
8.3.1.	<i>R2-4111</i>	30
8.3.2.	<i>R2-7115</i>	31
8.4.	HEKTARKOSTNAD	32
8.4.1.	<i>R2-4111</i>	32
8.4.2.	<i>R2-7115</i>	33
8.5.	PLANTRÄKNING OCH AVKASTNING	34
8.5.1.	<i>R2-4111</i>	34
8.5.2.	<i>R2-7115</i>	34
9.	DISKUSSION	36
9.1.	MARKSTRUKTUR.....	36
9.1.1.	<i>R2-4111</i>	37
9.1.2.	<i>R2-7115</i>	38
9.2.	HEKTARKOSTNAD	38
9.2.1.	<i>R2-4111</i>	38
9.2.2.	<i>R2-7115</i>	39
9.3.	AVKASTNING.....	40
9.3.1.	<i>R2-4111</i>	40
9.3.2.	<i>R2-7115</i>	40
10.	REFERENSER	42

Sammanfattning

En god markstruktur är viktig för att en jord ska vara en bra växtplats och en förutsättning för en välutvecklad gröda. I två försök, R2-4111 och R2-7115, har markstrukturen undersökts med avseende på ett flertal parametrar.

I det ena försöket, R2-4111, som startades 1999 undersöks hur bearbetningstidpunkten för grundbearbetningen under hösten påverkar mark och gröda. Både plöjning och kultivering ingår och tre tidpunkter jämförs: tidig – normal – sen.

Det andra försöket, R2-7115, startades 1997 och undersöker hur marktrycket påverkar mark och gröda. Plöjning och kultivering ingår samt normala och låga marktryck, även ett led med permanent vall ingår som jämförelse för markparametrarna.

De parametrar som jämfördes i denna studie var genomsläpplighet, skrymdensitet, aggregathållfasthet, aggregatstabilitet, penetrationsmotstånd och såbäddsegenskaper. Vid bearbetning mättes även dragkraftsbehovet och därifrån kunde kostnaden för bearbetning räknas fram.

Resultaten från undersökningarna av markfysikaliska egenskaper visade inga stora skillnader mellan de olika leden men det fanns trender att markstrukturen var sämre i led med normala marktryck samt de senare bearbetningarna. Däremot fanns tydliga skillnader mellan plöjda och ej plöjda led. De ej plöjda leden hade högre andel stora aggregat och lägre andel små aggregat i såbädden än de plöjda leden. Penetrationsmotståndet var högre för de ej plöjda leden och framförallt i nivån 10-30 cm under markytan. Skrymdensiteten var högre i de ej plöjda leden och genomsläppligheten bättre i de plöjda leden men skillnaderna för genomsläppligheten var osäker då värdena varierade kraftigt inom samma bearbetning. Aggregatstabiliteten var högre i de plöjda leden än de ej plöjda. Skillnaderna mellan de olika marktrycken visade sig bara med avseende på penetrationsmotståndet. De led där låga marktryck användes hade lägre motstånd på nivån 12 – 25 cm och det fanns samverkande skillnader på djupet 21 – 25 cm där det plöjda ledet med normala marktryck hade högre motstånd.

Några större skillnader i kostnader kunde inte ses mellan de olika tidpunkterna eller marktrycken men däremot mellan de olika bearbetningssystemen där de ej plöjda systemen var betydligt billigare. Vad som kunde noteras var att bearbetning av led med låga marktryck var något mer kostsamma än led med normala marktryck.

Sett under flera år har den tidiga bearbetningen haft högst avkastning i försök R2-4111 och den sena bearbetningen lägst. Vad som visat sig är att tidpunkten är viktigast i ett plöjningsfritt system. I försök R2-7115 skiljde sig inte avkastningen mellan de

olika bearbetningssystemen men leden med låga marktryck har haft bäst avkastning i genomsnitt sedan försökets start.

För en odlare som har som mål att få så bra ekonomi som möjligt i sin odling så visar dessa försök på att kultivering är billigare än plöjning på denna jord. Avkastningen är högre vid tidig bearbetning vilket ger ett bättre netto och väljer man att köra med låga marktryck i däcken blir bearbetningen lite dyrare men avkastningen är högre vilket mer än väl betalar de något dyrare körningarna.

Summary

Good soil structure is important to have the right conditions for good crop development. In two field experiments, R2-4111 and R2-7115, the soil structure has been examined by a number of parameters.

Project R2-4111, started in 1999, investigates how the time of primary tillage affects the yield. Both tillage with a mouldboard plough and a stubble cultivator is tested at three different occasions, called early, normal and late tillage.

Project R2-7115, started in 1997, investigates how the tire inflation pressure affects the yield. Tillage with a mouldboard plough and a stubble cultivator tested with normal and low inflation pressures in the tires, also a treatment with permanent grassland is used as a comparison.

Parameters that were compared were hydraulic conductivity, bulk density, tensile strength, aggregate stability, penetration resistance and the quality of the seedbed. Draught requirement was measured at each primary tillage occasion.

The results showed no major differences in soil properties depending on tillage time or tire inflation pressure, but there were trends that the soil structure was poorer in treatments with normal inflation pressure and late tillage.. Distinct differences were found between mouldboard plough and stubble cultivator treatments for some of the parameters. The stubble cultivated treatment had a higher proportion of soil aggregates >5 mm and lower proportion of aggregates <2 mm after sowing than the treatment with mouldboard plough. For the stubble cultivated plots the penetration resistance were higher at the depth of 10-30 cm. In the stubble cultivated treatments the bulk density was higher and the hydraulic conductivity lower, but the results for hydraulic conductivity were insecure because of the great variability for this property. In the treatment with mouldboard plough the aggregate stability was lower than for stubble cultivation. The tire inflation pressure affected the penetration resistance, where the treatment with low tire inflation pressure had a lower penetration resistance at the level of 12-25 cm.

Plough less tillage was cheaper than tillage with a mouldboard plough but between the different times of tillage there were only small differences in machinery costs. The treatment with low inflation pressure was more expensive to till than the treatment with normal inflation pressure.

The early tillage in R2-4111 has had the best yield as an average for several years and the late tillage the lowest yield. The time of tillage was most important in the stubble cultivated treatments. In experiment R2-7115 there were no differences in yield

between the tillage systems but the treatment with low inflation pressure has had the best yield as an average for several years.

To a farmer with an aim to achieve as good economy as possible, these field trials show that tillage with a stubble cultivator on this soil reduces costs without lowering crop yield. Early tillage and low tire inflation pressure increases yield which may further improve the economy.

1. Inledning

Utlakning av växtnäring, främst kväve, från de svenska lantbruken har lett till att Jordbruksverket utformat regler för höst- eller vinterbevuxen åkermark, som medför en senareläggning av plöjningstidpunkt i Götaland (Myrbeck *et al.*, 2003). Forskarna har länge varit överens om att en senarelagd bearbetning medför lägre risk för utlakning. Men en senarelagd bearbetning medför ökad risk för skador på markstrukturen då marken ofta har högre vattenhalt och därmed är mer packningskänslig.

Lantbruket har under många år gått mot allt större och tyngre traktorer. Dessa har fördelar med att de är starkare och kan på så sätt utföra större jobb på en kortare tid. Men dessa maskiner har också nackdelar. Markstrukturen påverkas av de större traktorernas högre vikt och risken för skadlig markpackning ökar. Beroende på vilken däcksutrustning som traktor har påverkas marken olika. Lägre tryck i däcken ger en större kontaktyta mot marken och därmed mindre påverkan per ytenhet.

Markpackning är negativ för markstrukturen då flera variabler påverkas, och ger exempelvis högre skrymdensitet, sämre genomsläpplighet och större aggregat. Dessa faktorer medför att frön får svårare att gro och växande gröda får svårare att utveckla rötter som är viktiga för upptag av vatten och näring. Detta får som resultat att skörden blir lägre och därmed lägre intäkter för brukaren. Mer packningsskadad mark är också dyrare att bearbeta vilket leder till högre kostnader för brukaren.

Denna rapport behandlar dels ett försök för hur bearbetningstidpunkten för grundbearbetning under hösten påverkar markstrukturen, dels ett försök där marktrycket skiljer mellan led. I båda försöken har även odling med och utan plöjning jämförts. Båda försöken är utförda på styv jord. Ett flertal markstrukturparametrar har undersökts, dragkraftsbehovet och därmed hektarkostnaden har beräknats och avkastningen har jämförts mellan de olika behandlingarna.

2. Markstruktur

En god markstruktur är grunden för en god växtplats eftersom den påverkar viktiga funktioner såsom växternas rotutveckling, näringsupptag och vattenförsörjning (Berglund *et al.*, 2002). Storleken, formen och orienteringen av de aggregat som bildas när jordpartiklar sammanfogas utgör grunden för definition av markstruktur. Markstrukturens ramverk beror på storleksorienteringen av primärartiklarna och den kraft som påverkar deras arrangemang. Svällning och krympning, frysning och upptining, vattenrörelse, tillväxt och nedbrytning av växtrötter och aktivitet hos maskar och andra djur kan alla verka vid omfördelning av partiklarna. Biologiska och kemiska processer mobiliserar och avsätter material som håller partiklarna tillsammans i aggregat (Marshall, 1996).

Jordaggregat är grupper av jordpartiklar som är starkare bundna till varandra än till angränsande partiklar (USDA, 2001). Dexter (1987) menar att markstrukturen kan beskrivas på ett rangordnat sätt. Lägst i rang är enskilda partiklars bindning till varandra i flockulat. Nästa nivå uppkommer när flockulaten bildar kluster med varandra. Vid sammanslagning av olika kluster fås mikroaggregat, vilket är den tredje rangordningen. Mikroaggregaten bildar i sin tur makroaggregat. I lerjordar eftersträvar man att makroaggregaten ska ha en diameter av 1–10 mm (Oades, 1984). Detta bidrar till en hög andel makroporer och en låg skrymdensitet. Både biotiska (biologiska) och abiotiska (fysikaliska och kemiska) processer är involverade i bildandet av aggregat (Brady, 2002). De biotiska processerna är viktigare vid bildandet av stora aggregat, medan de abiotiska processerna är viktigare när det gäller de små aggregaten. De abiotiska processerna är kopplade till lerpartiklarna och spelar alltså en större roll i finpartikulära jordar såsom lerjordar.

3. Att mäta markstruktur

3.1. Såbäddsundersökning

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

3.2. Penetrationsmotstånd

Ett mått på packning i jorden är penetrationsmotståndet. Detta kan anses som fördelaktigt att använda eftersom det är enkelt att undersöka i fält. Det mäts genom att en konisk spets trycks ner i marken och kraften som krävs för detta mäts. Penetrationsmotståndet anges som kraften per areaenhet. En nackdel är att många faktorer, till exempel skjuvhållfasthet, friktion, kompressionsförmåga och adhesion, påverkar penetrationsmotståndet. Eftersom faktorerna påverkar olika mycket i olika jordar och vid olika vattenhalter kan det vara svårt att tolka resultaten från penetrationsmätningarna (Budhu, 2000).

Redan när penetrationsmotståndet är över 1,5 MPa blir tillväxthastigheten för rötterna ofta påtagligt nedsatt och ett penetrationsmotstånd av 3 MPa anses som en kritisk gräns, över vilken rottillväxten blir mycket ringa. Den kritiska gränsen för

penetrationsmotståndet varierar dock mellan jordarter och strukturtillstånd samt för olika växtslag. På lerjordar med ett sammanhängande system av sprickor, maskgångar och gamla rotkanaler ligger den kritiska gränsen högre än på lättare jordar och jordar som saknar ett sådant system (Håkansson, 2000).

3.3. Jordens vattenledningsförmåga

Den hydrauliska konduktiviteten, eller ledningsförmågan, är ett mått på jordens förmåga att leda vatten. Den beror dels på jordens vattenhalt, dels på jordens porstorleksfördelning och porsystemets uppbyggnad. För en viss jord är konduktiviteten störst då hela jorden är vattenmättad, dvs. när porvolymen är vattenfylld (Grip & Rodhe, 2003).

Jordens hydrauliska konduktivitet är en nyckelfråga när det gäller att beräkna flöde i jorden. Genom mätningar av flödet och potentialgradienten kan den hydrauliska konduktiviteten bestämmas ur Darcys lag. Bestämningar kan göras såväl på jordprov i laboratorium som ute i fält i hela markskikt. Oftast bestämmer man den mättade konduktiviteten, dvs. den hydrauliska konduktiviteten vid mättnad (Grip & Rodhe, 2003). I fält görs det oftast genom att en metallcylinder, 25 – 50 cm i diameter, slås ner i marken och en bestämd mängd vatten slås på och infiltrationshastigheten mäts. Eftersom marken ofta ej är mättad fylls vatten på till dess att en stabil sjunkhastighet uppnås. I laboratorium mäts den hydrauliska konduktiviteten oftast på mättade jordprover i stålcyllindrar. Enligt Heinonen (1985) är mätningar i laboratorium oanvändbara då infiltrationen i lerjordar är komplicerad genom deras förmåga att torka och svälla. Om proverna däremot får tid på sig att långsamt vattenmättas minimeras riskerna för felaktiga resultat. Ett flertal upprepningar är nödvändigt för att få ett representativt värde.

3.4. Skrymdensitet

Packning definieras som en minskning av porositeten, eller som en ökning av markens torra skrymdensitet (Myrbeck *et al.*, 2003). Skrymdensiteten fås enkelt fram genom vägning av en bestämd volym torkad jord.

Av störst betydelse för markens funktion är de stora porerna, vatten transporteras lättast där och de stora porerna är därför avgörande för markens genomsläpplighet eller dränering. För syretransport är de stora porerna också nödvändiga då syretransporten främst sker genom diffusion i luftfyllda porer. Slutligen sker rottillväxten lättast i grova porer. Packning medför också att jordens hållfasthet ökar, vilket försvårar rottillväxt, ökar dragkraftsbehov vid bearbetning och minskar bearbetbarheten, dvs. ger en grövre struktur i t ex såbädden (Myrbeck *et al.*, 2003).

3.5. Aggregathållfasthet

Aggregathållfastheten för en jord är ett mått på jordens förmåga att bibehålla sin struktur under påverkan av tillförd mekanisk stress. Jordens bearbetbarhet definieras som dess förmåga att falla sönder i mindre beståndsdelar. Aggregatens hållfasthet påverkar hur lätt större aggregat sönderfaller i mindre. Jordens bearbetbarhet kan då uttryckas i dess hållfasthet som funktion av aggregatstorleken (Utomo & Dexter, 1981). Idealt bör hållfastheten vara låg för stora aggregat och hög för små aggregat.

Den mekaniska hållfastheten ökar då jordpartiklarna kommer närmare varandra och bindningarna stärks. Vid torr mark kryper befintligt vatten upp i hörnen mellan partiklarna och håller partiklarna på plats genom att fungera som klister. När jorden är våt är den mer packningskänslig eftersom det fria vattnet fungerar som smörjmedel mellan jordpartiklarna. Packning av en jord innebär att jorden trycks samman och andelen porer minskar. Då jorden sedan torkar upp bildas jordklumpar som är svåra att slå sönder (Arvidsson & Pettersson, 1995). Semmel *et al.* (1990) visade att desto fler cykler med vätning och torkning som jorden utsätts för desto mer ökar aggregathållfastheten.

Aggregathållfastheten kan bestämmas genom att använda pressmetoden beskriven i Dexter och Kroesbergen (1985). En kraft, F , appliceras på aggregaten och kraften som krävs för att spräcka aggregaten mäts. Aggregathållfastheten, Y , räknas sedan fram enligt:

$$Y = 0,576 F/d^2$$

där d är diametern på aggregaten. Följaktligen, denna metod kräver att diametern på aggregaten är känd, ett värde som inte alltid är lätt att bestämma för naturligt oregelbundna aggregat. Dexter och Kroesbergen (1985) nämner fem olika metoder för att uppskatta diametern på aggregaten.

Placeringen av aggregaten under plattan som kraften appliceras på har betydelse för hur aggregaten spricker och påverkar på så vis kraften som behövs för att spräcka aggregaten. Denna metod är ändå väldigt lätt och pålitlig att använda.

3.6. Aggregatstabilitet

Aggregatstabilitet i vatten är förmågan för en jord att bibehålla sin struktur under påverkan av vatten. Detta kan mätas med mängden lätt dispergerat ler genom att mäta turbiditeten av jord i vattenlösning. Ett högt värde på turbiditeten indikerar ett högt innehåll av lätt dispergerade lerpartiklar i jorden och därmed en låg aggregathållfasthet.

Våtsiktning är en annan metod för att mäta aggregatstabiliteten där man ser hur mycket som blir kvar på sållen.

4. Faktorer som påverkar markstrukturen

Flera grundläggande faktorer påverkar markstrukturen, till exempel topografi, ursprungsmaterial, kornstorleksfördelning och klimat (Cannell & Hawes, 1994). Förutom dessa grundläggande och opåverkbara faktorer påverkar även odlingssystemet markstrukturen (Berglund *et al.*, 2002). Genom val av odlingssystem kan man påverka flera faktorer som i sin tur har positiv eller negativ inverkan på markstrukturen. Exempel på sådana är mullhalt, tjälning och markbelastning.

4.1. Positiva faktorer

Ökad mullhalt i jorden har flera positiva effekter på markstrukturen, till exempel lägre skrymdensitet, högre porositet och ökad aggregatstabilitet (Arvidsson, 1997; Haines & Naidu, 1998). Tillförsel av såväl organiska som oorganiska gödselmedel och nedbrukning av växtrester ökar på längre sikt mullhalten i marken och förbättrar därmed markstrukturen (Haines & Naidu, 1998). Olika grödor efterlämnar varierande mängder växtrester, och med hjälp av grödval kan man på längre sikt påverka markens mullhalt.

Olika former av organiskt material bidrar på olika sätt till aggregatformation och aggregatstabilitet. Vissa organiska föreningar har en kortvarig effekt medan andra har en mer persistent effekt. Viktigast för de minsta mikroaggregaten (<50µm) är polysackariderna medan rötter och svamphyfer är viktiga för bildning och stabilisering av makroaggregaten. De har något mer långvarig effekt än polysackariderna då de har en längre nedbrytningstid (Tisdall & Oades, 1982). De viktigaste abiotiska processerna som påverkar aggregatstabiliteten är lerpartiklarnas attraktionskraft till varandra och lerans förmåga att krympa och svälla. Aggregaten stabiliseras med hjälp av humus och polyvalenta katjoner (Ca^{2+} , Fe^{2+} samt Al^3). Katjonerna binder till de negativa laddningarna som finns på lerpartiklarnas yta.

Perenna grödor, till exempel vall, har ofta högre rotproduktion än annuella grödor (Gustafsson Bjuréus & Karlsson, 2002). Detta tillsammans med vallväxternas fina rotsystem, som har andra effekter på markstrukturen, gör att vallodling kan bidra till att förbättra markstrukturen. Flera internationella undersökningar visar att fleråriga vallar ökar markens mullhalt och aggregatstabilitet (Sparling *et al.*, 1992; Haynes, 1999). Att vall i växtföljden kan medverka till att markkvalitén behålls och därmed bidra till ett uthålligt lantbruk menar Studdert *et al.* (1997) och Chan *et al.* (2001) utifrån odlingssystemförsök.

Bearbetning av marken medför att det organiska materialet bryts ner snabbare och dess effekt som aggregatbildare och aggregatstabiliserare minskar. Om man tar bort

det organiska materialet eller lägger marken i träda efter bearbetningen minskar markens halt av organiskt material snabbare än om marken varit obearbetad. (Tisdall & Oades, 1982). Stabiliteten hos makroaggregaten är sammankopplad till växande rotsystem och påverkas därför mycket av bearbetningen. Elliot (1986) påvisade att antalet makroaggregat minskar om jorden bearbetas medan antalet mikroaggregat ökar. Förklaringen kan vara att det främst är det organiska materialet som binder ihop mikroaggregaten till makroaggregat som frigörs vid bearbetning (Six *et al.*, 2000). Det organiska materialet i makroaggregaten är också mer osäkert än i mikroaggregaten.

Den bättre aggregatstabiliteten och porositeten med ökad mullhalt gör jorden mindre känslig för skorpbildning vid häftigt regn då vattengenomsläppligheten och infiltrationskapaciteten ökar (Haynes & Naidu, 1998).

4.2. Negativa faktorer

Den faktor som förmodligen har mest negativ effekt på markstrukturen är belastningen av maskiner (Marshall, 1996). Varje överfart leder till att marken packas mer eller mindre. Detta leder till minskad porositet och det är främst de grova porerna, till exempel gamla rotkanaler och maskgångar, som förstörs (Håkansson, 2000). Detta för med sig att ytinfiltrationen av regnvatten och vattengenomsläppligheten försämras. Även penetrationsmotståndet för rötterna ökar och gasutbytet mellan marken och atmosfären försämras. Allt detta leder till sämre rotutveckling och försvårar vatten- och näringsupptag. Förutom markpackning kan jordbearbetning medföra snabbare nedbrytning av organiskt material, vilket kan till leda instabilare aggregat (Marshall, 1996).

Häftigt regn på bar ofrusen mark kan skada ytstrukturen genom att vattendropparna slår sönder yttaggregaten vilket kan resultera i att porer och sprickor slammas igen (Heinonen, 1982). När jorden torkar upp bildas ofta en hård skorpa, vilken kan vara svår för groende frön att tränga igenom. Genom växtlighet och mycket växtrester i ytan skyddas jordens ytliga porer från att slås sönder av regndropparnas hårda slag (Heinonen, 1985). Även snötäcke eller frusen mark skyddar mot regndropparnas förstörande verkan.

5. Odlingssystemets påverkan på markstrukturen

5.1. Bearbetningssystem

Trots att skrymdensiteten visat sig ha ett dåligt samband med rottillväxten och vattengenomsläppligheten, är denna en av de vanligaste förekomna parametrarna vid undersökning av markstrukturen (Cannell & Hawes, 1994; Arvidsson, 1997; Håkansson 2000). En anledning till att skrymdensiteten inte är en bra parameter vid bedömning av en odlingsjord och dess markpackning är att den optimala skrymdensiteten för olika gröders tillväxt varierar beroende på jordart (Håkansson, 2000).

Flera undersökningar har visat att skrymdensiteten i matjordens översta skikt inte påverkas av plöjningsfri odling (Rydberg, 1986; Comia *et al.*, 1994; Etana *et al.*, 2000; Stenberg *et al.*, 2000), medan andra undersökningar tyder på att den ökar något (Kladivko *et al.*, 1986; Rydberg 1990; Ball *et al.*, 1994; Wiermann *et al.*, 2000). Det är dock fastställt att skrymdensiteten i matjordens centrala och nedre del ökar vid plöjningsfri odling (Rydberg, 1986; Rydberg, 1990; Comia *et al.*, 1994; Etana *et al.*, 1999; Etana *et al.*, 2000; Stenberg *et al.*, 2000). Då den plöjningsfria odlingen har mindre bearbetningsdjup uteblir luckringen i den centrala och nedre delen av matjorden.

Flera undersökningar tyder på att vattengenomsläppligheten i matjordens övre skikt inte påverkas av plöjningsfri odling (Rydberg, 1986; Comia *et al.*, 1994). Då plöjning medför upprepad förstörelse av aggregat och därmed ger sämre markstruktur förmodas detta vara anledningen till att Wiermann *et al.* (2000) fick betydligt högre vattengenomsläpplighet i sina försök. Även Etana *et al.* (2000) kunde påvisa en tendens till att plöjningsfri odling påverkar vattengenomsläppligheten i markens översta sikt positivt, medan Arvidsson (2003) visade resultat som tyder på motsatsen. Däremot står det klart att vattengenomsläppligheten i den gamla plogsulan (25-30 cm) påverkas positivt av att marken inte plöjs (Rydberg, 1986; Comia *et al.*, 1994; Wiermann *et al.*, 2000; Arvidsson, 2003). Anledningen till detta är att det vid plöjning uppkommer en kompakt så kallad plogsula i övergången mellan matjord och alv.

Mätningar av penetrationsmotståndet har i försök visat att matjordens övre skikt inte påverkas av plöjningsfri odling (Comia *et al.*, 1994; Etana *et al.*, 1999; Stenberg *et al.*, 2000). Däremot förekommer skillnader i matjordens centrala och nedre del beroende på om marken plöjs. Typiskt för markmotståndet där marken plöjs är att det ökar ner till centrala matjorden varefter det är konstant eller till och med minskande ned till plogsulan, där det åter ökar kraftigt. Vid plöjningsfri odling försätter ökningen även nedanför den centrala matjorden. Från ca 30 cm djup är motståndet oftast likartat i plöjd och oplöjd mark.

Riley *et al.* (1994) gör följande sammanfattning av vilka effekter plöjningsfri odling jämfört med plöjd odling har på markstrukturen:

- Större skrymdensitet och penetrationsmotstånd i övre och centrala matjorden.
- Mindre vattengenomsläpplighet i markytan.
- I vissa fall högre vattengenomsläpplighet mellan matjord och alv.
- Lägre luftfylld porositet och luftomväxling.
- Ibland högre vattenhållande kapacitet.
- Större aggregatstabilitet, större maskaktivitet och bättre förutsättningar för god porkontinuitet.

5.2. Vattenhalt

En jords bearbetbarhet säger hur lätt det är att sönderdela jorden (Baver *et. al.*, 1972). Förhållandena för bearbetning är således optimala inom det vattenhaltsområde som jorden är smulbar och lucker. Kohesionen är under sådana förhållanden låg och vattenhalten är tillräckligt hög för att minimera ”cementation” mellan partiklar. Samtidigt är vattenhalten tillräckligt låg för att inte skapa plastiska förhållanden. Enligt Dexter (1988) ligger den optimala vattenhalten för bearbetning nära plasticitetsgränsen. Han menar att optimala bearbetningsförhållanden generellt uppträder då vattenhalten är 90 procent av plasticitetsgränsen, oavsett jordtyp.

Vid låga vattenhalter sker en cementation mellan torkade partiklar och jorden blir hård och mycket kohesiv (Baver *et. al.*, 1972). Om jorden bearbetas i detta tillstånd kommer stora kokor att bildas. Allteftersom vattenhalten ökar blir jorden mer bearbetningsbar. Jorden blir plastisk när en vattenfilm täcker jordpartiklarna helt och är då inte längre bearbetningsbar. Hur mycket vatten som kan tas upp innan en vattenfilm bildas beror bl.a. på typen av lermineral och innehållet av organiskt material.

Vattenhalten har stor betydelse för dragkraftbehovet och bearbetningsresultatet. Dragkraftbehovet minskar då vattenhalten ökar, men energibehovet för sönderdelning blir lägst under ”fuktiga” förhållanden. Andelen stora aggregat blir också lägst under fuktiga förhållanden för plogen och kultivatoren. Resultaten tyder på att bearbetning vid en vattenhalt nära eller strax under plasticitetsgränsen utgör den bästa kompromissen för att uppnå ett lågt dragkraftsbehov och ett gott bearbetningsresultat (Gustafsson, 2003).

Låg vattenhalt vid bearbetningen medför att hållfastheten är hög för alla aggregatstorlekar, vilket förutom att det ger en låg sönderdelning också ger ett högt dragkraftsbehov. Vid hög vattenhalt är hållfastheten låg för alla aggregat, varför jorden homogeniseras och den naturliga strukturen förstörs vid bearbetning. Bästa bearbetningsresultat kan förväntas vid en intermediär vattenhalt (Myrbeck, 2003).

I två mångåriga försök har visats att körning på våt mark orsakade mer än dubbelt så stor skördesänkning som körning på normalfuktig mark (Håkansson, 2000).

5.3. Markpackning

När maskiner och fordon körs på åkermark, utsätts denna för påkänningar, som bestäms av fordonets totalvikt och hjulutrustning. Den omedelbara verkan av dessa påkänningar är en minskning av porvolymen, som i första hand drabbar de grova porerna. Porer med större diameter än 0,03 mm ger hög vatten- och luftgenomsläpplighet och bildar de snabba vägarna för rotsystemets utveckling. Dessa grova porer har låg mekanisk hållfasthet och påverkas i förhållande till sin storlek, de största redan av mycket små påkänningar. Vid nedbrytningen av det grova porsystemet bildas mindre porer, varför minskningen av den totala porvolymen till en början inte behöver vara särskilt stor trots att de ovan beskrivna förändringarna av de markfysikaliska egenskaperna kan vara betydande (Danfors, 1977).

Porstorleksfördelningen är olika i olika jordar, liksom den i en och samma jord förändras med djupet i marken. I lerfria fastmarksjordar beror porstorleksfördelning och porvolym på kornstorleksfördelningen. Grus- och sandjordar har ofta en hög genomsläpplighet för vatten och luft, medan den avtar vid övergång till mojordar och rena mjälajordar. Med en ökande andel lermineral i sådana jordar sker en övergång från enkelkornstruktur till aggregatstruktur. Sprickbildning genom inverkan av frost och uttorkning vidgar spännvidden i porstorleksfördelningen i lerjordar. En gynnsam porstorleksfördelning och en lämplig total porvolym är mycket viktiga för rotsystemets utveckling och utbredning samt dess försörjning med luft och vatten (Danfors, 1977).

När man kör på plöjd mark under såbäddsberedningen, så ökar packningsgraden i matjorden, och detta påverkar växtbetingelserna för den gröda man sår. Ett packat matjordslager luckras igen vid efterföljande plöjning, men är det en lerjord så förblir ändå strukturtillståndet sämre under några år (Håkansson, 2000).

5.3.1. Marktryck

En traktors vikt kommer att bäras upp av luften i däcken. Man brukar säga att ringtrycket i däcket är detsamma som däckets tryck mot marken. Detta är ett ganska bra antagande men i verkligheten kommer trycket under däcket att bli högre. Om däcket skulle vara fullständigt elastiskt och bete sig som en ballong skulle trycket under däcket aldrig överskrida ringtrycket. Då hjullasten fördubblas hade understödsytan även den fördubblats och trycket i markytan inte blivit högre än ringtrycket. Men då däcket inte har samma elasticitet som en ballong utan har en viss styvhet kommer det inte att flyta ut idealiskt. Även om det genomsnittliga trycket i markytan kommer att vara i samma storleksordning som ringtrycket så kommer

maxtrycket att vara betydligt högre. Trycket brukar bli högst mitt under däckets och under nabbar (Arvidsson, 2001).

Många undersökningar har gjorts angående hur olika ringtryck och hjullast påverkar ett däckes understödsyta mot marken. Hur tryckfördelningen under ett däck varierar utifrån olika ringtryck och hjullaster är inte lika kartlagt. I början av 1990-talet ökade försäljningen av radialdäck till lantbruket och detta gjorde att bönderna fick helt nya möjligheter att sänka ringtrycken i däcken och minska markpackningen. Det blev också möjligt att öka dragkraftsuttaget, även under svåra förhållanden.

Trautner (2003) undersökte hur tryckfördelningen i markytan under ett däck kommer att se ut och kom fram till att det beror bl. a. på ringtrycket, hjullasten och däckets egenskaper men även markens beskaffenhet och hållfasthet spelar roll. Tryckfördelningen under ett däck är oftast ojämn. Ett maxtryck i understödsytan som är betydligt större än ringtrycket kommer att uppstå. Trautner (2003) menar att det är detta maxtryck som är viktigt att bestämma för att man skall kunna förutsäga något om den eventuella packningen av jorden.

Jordens egenskaper i form av vatteninnehåll och densitet och även ett traktordäckes hjullast och storleken på kontaktytan mellan jord och däck samt hur trycket i markytan fördelas påverkar hur tryckfördelningen neråt i jordprofilen utvecklas (Söhne, 1958).

För att minska markpackningen är rätt ringtryck viktigt att hitta men ringtrycket påverkar även vilken dragkraft som ett däck har möjlighet att uträtta mot ett underlag. Hur dragkraftsförmågan för ett radialdäck förändras undersökte Elonen *et al* (1996) genom att använda samma hjullast men olika ringtryck. Dragkraften ökade då ringtrycket i ett radialkonstruerat lågprofildäck sjönk från 140 kPa till 40 kPa. Kontaktytan under däckets mot hårt underlag ökade med 70 % vid 40 kPa gentemot 140 kPa.

5.3.2. Effekt av återpackning efter luckring

Ett stort antal försök världen över har visat att all packning av matjorden inte är av ondo. Efter plöjning eller annan djup bearbetning är det bearbetade lagret i regel allför luckert och om det återpackas måttligt under såbäddsberedningen så gynnas grödans tillväxt (Håkansson, 2000). Såbäddsberedningen bestämmer den packningsgrad som matjordens centrala och djupare del får under vegetationsperioden (Danfors, 1977). Utan återpackning förblir jorden vanligen allt för lucker ända fram till skörd (Håkansson, 2000). För en viss gröda och ett visst fält och under ett visst år finns alltid någon bestämd packningsgrad som är den bästa. Avkastningssänkning erhålls både om jorden är för mycket packad eller om den är för lucker. Under torra år utvecklas grödan bäst på en måttligt packad jord medan under blöta år utvecklas

grödan bäst på lucker jord. Ju fuktigare sommarklimatet är på en plats, desto mindre bör packningen vara (Danfors, 1977). Vid sådd vet man inte hur vädret kommer att bli, så därför bör man i praktiken eftersträva den packning som i genomsnitt är bäst (Håkansson, 2000). Stråsäd behöver mer packad jord än en del andra grödor, och stråsädesslagen visar endast mindre inbördes skillnader i känslighet för jordpackning (Danfors, 1977).

På många håll i världen har man studerat orsakerna till att grödorna växer sämre, när packningen i matjorden är över den optimala. De två faktorer som oftast ansetts avgörande är för högt penetrationsmotstånd och för dålig syretillgång i marken (Håkansson, 2000).

5.3.3. Flerårig efterverkan

Årlig plöjning eller annan djup jordbearbetning i samverkan med naturliga processer utplånar så småningom effekter av packningen i matjorden. Efter en enda plöjning och en vinters tjäle har effekterna dock i regel inte hunnit försvinna. De efterverkningar av packning i matjorden som kvarstår efter plöjning har studerats i en serie av 21 mångåriga försök på olika platser i Sverige från Skåne till Västerbotten. De första försöken startades redan i början av 1960-talet och de sista är nyligen avslutade. I försöken packades jorden varje höst under flera år genom körning med traktor och vagn. Axelbelastningen var <5 ton, varvid packningen i stort sett begränsades till matjorden och packningen i alven var ringa. Vid körningen var jorden i regel våt och packningskänslig. Strax efter packningen plöjdes jorden till normalt djup.

Under de fyra första åren minskade den relativa skörden i packade led och planade därefter ut (Håkansson, 2000). Detta kan tolkas så att efter fjärde året rådde ett jämviktsläge mellan den årliga packningen och de faktorer som motverkar denna, främst den årliga plöjningen, vattenhaltsväxlingarna, tjälningen och den biologiska aktiviteten. En enda plöjning och en vinters tjäle kan således i regel inte helt utplåna verkningarna av packning i matjorden.

Efter 7-10 år då varje enskilt försök årligen packats, avbröts packningen och efterverkningarna bestämdes under några år. Dessa visade sig klinga av efterhand och femte året efter sista packningen spårades inga efterverkningar (Håkansson, 2000). Det tar alltså 4 à 5 år för efterverkningarna av årlig packning både att slå igenom efter det att packningen påbörjats och att försvinna helt sedan packningen avslutats. Håkansson (2000) menar att om inte jorden i försöken plöjts årligen, hade packningens efterverkningar sannolikt blivit långvarigare.

När plöjningen utesluts ur bearbetningssystemet och grundbearbetningen sker med stubbearbetningsredskap, så genomgår det stubbearbetade lagret en årlig cykel av luckring vid stubbearbetningen och packning vid övrigt fältarbete. Hur stora

djupförändringarna blir beror emellertid av bearbetningsdjupet. Stubbearbetning till samma djup som plöjning ger nära nog samma djupförändring som denna, medan grundare bearbetning ger proportionsvis mindre förändring (Håkansson, 2000).

Hittills har det endast gjorts ett fåtal försök rörande behovet av återpackning vid plöjningsfri odling. Man kan emellertid anta att djup stubbearbetning medför ungefär samma återpackningsbehov som plöjning. Även vid grundare stubbearbetning tycks det finnas behov av återpackning (Håkansson, 2000). Detta stöds av ett försök av Arvidsson (1997), i vilket effekten av återpackning var nästan densamma i stubbearbetade som i plöjda försöksrutor, även där stubbearbetning gjordes endast till 10 cm djup.

Om man slutar plöja och övergår till grundare bearbetning så kommer det lager som ligger mellan det nya, grundare och det gamla, större luckringsdjupet inte att förbli luckert under någon längre tid (Håkansson, 2000). Redan utan körning med maskiner och fordon skulle detta lager av naturliga orsaker inom ett par år att sätta sig till ett packningstillstånd nära det optimala. Vanligen gör emellertid körningarna att detta lager snabbt packas, så att packningsgraden blir högre än den optimala. Packningseffekterna ackumuleras successivt och blir mer varaktiga än i bearbetade lager.

Den aktuella packningsgraden ger emellertid en mycket ofullständigare information om funktionen i ett lager som inte luckras årligen än i ett årligen bearbetat lager. I ett obearbetat lager är nämligen det grova porsystemets utformning inte lika stark kopplat till jordens packningsgrad som i ett årligen bearbetat lager. Där kan det finnas skillnader i det grova porsystemets kontinuitet och stabilitet som är lika viktiga som den genomsnittliga packningsgraden (Håkansson, 2000).

I system där bearbetningen slopas helt förbättras de grova porernas stabilitet och kontinuitet mera i svällnings/krympningsjordar (lerjordar) än i lättare jordar. Följaktligen kan man förvänta att när packningsgraden är över den optimala i ett obearbetat lager, så kompenseras detta i högre grad av förbättrad strukturstabilitet och porkontinuitet i lerjordar än i lättare jordar (Håkansson, 2000). I de försök med plöjningsfri odling på lerjordar, där Comia *et al.* (1994) och Etana *et al.* (1999) fann att packningsgraden i matjordens bottenlager var över den optimala, växte grödorna bra och gav hög skörd.

Lerjordslager som inte bearbetas kan sålunda trots hög packningsgrad fortfarande ha tillfredsställande egenskaper. I sandjord ackumuleras vanligen packningsverkningarna utan att strukturen förbättras. Följaktligen är packningen ett svårare hinder mot kontinuerlig användning av reducerad bearbetning eller direktsådd på sandjord än på lerjord.

Det som sagts ovan om packning och strukturutveckling i olika marklager har lett till en förmodan att det är viktigare vid plöjningsfri odling än vid plöjning att maskinernas marktryck är låga (Håkansson, 2000). Så blev också fallet i två mångåriga fältförsök (Arvidsson *et al.*, 1992) med plöjningsfri odling på mellanleror i Skåne resp. Norrbotten, där konsekvent användning av enkla standardhjul och av dubbelmontage på traktorn jämfördes. I dessa försök gav dubbelmontage inte högre skörd än enkla hjul i plöjda försöksrutor men på stubbearbetade rutor ökade skörden med ett par procent.

5.3.4. Dragkraftsbehov

Körningen med maskiner och fordon påverkar inte enbart avkastningen. I packad jord blir dragkraftsbehovet vid bearbetningarna större samt brukning och dränering svårare. Det ökade dragkraftsbehovet märks främst vid plöjning, och de ökade brukningssvårigheterna framträder främst vid såbäddsberedning. Om jorden tidigare varit packad, är strukturen ofta grövre, och det fodras fler överfarter vid såbäddsberedningen för att en acceptabel såbädd ska erhållas. Variationerna från fall till fall är ofta så stora att något normalvärde för kostnadsökningen inte kan ges. På struktur känsliga jordar får man kanske räkna med att det behövs en extra harvning vid varje såbäddsberedning på grund av efterverkningar av tidigare års packningar (Danfors, 1977).

6. Examensarbetets syfte

Syftet med examensarbetet var att undersöka hur markstrukturen påverkas vid olika bearbetningstidpunkter samt vid höga och låga marktryck. Försöken som har pågått under flera år har undersökts för att se om de gett en ackumulerande effekt. Både plöjd och plöjningsfri odling fanns med för att studera samspel mellan bearbetningsmetod respektive marktryck.

7. Material och metoder

7.1. Försöksplan

De två försöken R2-4111 och R2-7115 är båda belägna vid Ultuna på samma fält med ca 100 m avstånd från varandra och har grundförutsättningar som är liknande med ungefär 50 % ler i jorden. Samma mätningar är gjorda i de båda försöken men de redovisas var för sig. För samtliga körningar användes en Massey Ferguson 6290 med 135 hk och en vikt på 5500 kg. Plöjning genomfördes med ett ungefärligt bearbetningsdjup av 22 cm och kultivering höll ett djup på mellan 10 – 12 cm vid bearbetningstillfällena.

7.1.1. R2-4111

Försöket var ett fastliggande split-plotförsök med bearbetningsmetod; plöjning respektive kultivering, i storrutor och bearbetningstidpunkt; tidig, normal respektive sen, i smårutor. Försöket startades 1999. Försöksleden framgår av tabell 1. Efter bearbetning på hösten låg marken bar under vintern i samtliga led. Avsikten var att bearbetningen skulle ske under våtare förhållanden ju senare bearbetningen utfördes.

Tabell 1. Försöksled, försöksserie R2-4111

Led	Bearbetning	Tidpunkt för Bearbetning	
A1	Plöjning	Tidig	15 augusti –1 september
A2	Plöjning	Normal	15 september –1 oktober
A3	Plöjning	Sen	Tidigast 10 oktober
B1	Kultivering	Tidig	15 augusti –1 september
B2	Kultivering	Normal	15 september –1 oktober
B3	Kultivering	Sen	Tidigast 10 oktober

7.1.2. R2-7115

I försöket som startades 1997 studeras samspelseffekter mellan primärbearbetningsmetod (plöjning eller plöjningsfri odling) och däckutrustning. I försöket, som är fullständigt randomiserat i fyra block, ingår följande led:

- A=Plöjning, normala marktryck
- B=Plöjning, låga marktryck
- C=Ej plöjning, normala marktryck
- D=Ej plöjning, låga marktryck
- E=Kontroll

Kontrolledet är fastliggande med permanent vall och finns med för att kunna jämföra övriga led med ett som är helt utan bearbetning och med optimala betingelser för strukturutveckling. I led med normala marktryck användes lågprofildäck (Michelin 650/65 R 38 bak, Michelin 540/65 R 28 fram) i enkelmontage (ringtryck 80 kPa), i lågtrycksleden samma däck men dubbelmontage bak (ringtryck 40 kPa).

7.2. Markfysikaliska mätningar

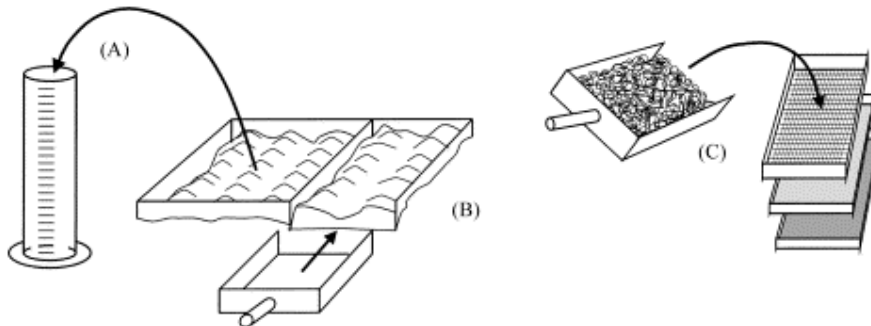
Följande mätningar gjordes för att bestämma effekterna av de olika behandlingarna på markens egenskaper:

- Såbäddsundersökning efter sådd på våren
- Penetrationsmätningar
- Uttagning av cylindrar för att bestämma genomsläpplighet av vatten och skrymdensitet
- Bestämning av aggregatens hållfasthet och stabilitet i centrala matjorden

7.2.1. Såbäddsundersökning

Sådd skedde under våren 2005, för R2-7115 den 25 april och för R2-4111 den 29 april, och tre dagar efter sådd utfördes såbäddsberedning genom bestämning av aggregatstorleksfördelning och vattenhalt i såbädden. Detta gav såbäddens uppbyggnad.

Såbäddsundersökningen utfördes enligt Kritz (1983) och finns beskriven i figur 1.



Figur 1. Skiss över en metod att karakterisera kvaliteten på såbädden. (A) Medeldjupet bestäms genom att överföra all lös jord inom en 40*40 cm² stor stålram till en mätcylinder. Före detta bestäms jämnheten i markytan genom att mäta skillnaden på högsta och lägsta punkten inom ramen och efteråt bestäms jämnheten i såbotten på samma sätt. (B) Såbädden inom den öppna ramen samlas in med en spade och borste. (C) Jorden överförs till en handsikt med siktstorlek för att bestämma aggregatstorleksfördelningen. Prover för att bestämma vattenhalt tas också.

7.2.2. Penetrationsmätningar

Jordens penetrationsmotstånd är ett mått på hur kompakt och svårbrukad jorden är. Penetrometern bestod av en konisk metallspets med 1 cm² tvärsnittsarea som var fäst på en metallstav, med mindre diameter än spetsen, som i andra ändan var fäst vid en lastcell kopplad till en logger. Metallspetsen trycktes ner i jorden med en hastighet av 2 cm/s till ca 50 cm djup och kraften som krävdes för att göra detta registrerades kontinuerligt i loggern. Penetrationsmotståndet för varje centimeter beräknas enligt följande:

$$Q_{pr} = F_{pr} / A_{pr} \quad (\text{Bengough \& Mullins, 1990})$$

där Q_{pr} = penetrationsmotståndet (N/cm²)
 F_{pr} = kraften (N)
 A_{pr} = metallspetsens tvärsnittsarea (cm²)

Penetrometermätningar utfördes innan uppkomst med 10 provstick per ruta. Mätningarna utfördes på diagonalen över varje ruta för att få representativa värden.

7.2.3. *Genomsläpplighet*

Efter skörd togs fyra cylindrar (72 mm i diameter, 50 mm höga) med ostörd jord per ruta i skiktet 12-17 cm. Cylindrarna vattenmättades under 5 dygn innan K_s (genomsläppligheten) mättes och beräknades genom Darcys lag:

$$K_s = Q/A \quad (\text{Grip \& Rodhe, 2003})$$

där K_s = hydraulisk konduktivitet (cm²/s)
 Q = vattenföring (cm³/s)
 A = cylinderns area (cm²)

Mätningar i försök R2-7115 gjordes i 3 av 4 block..

7.2.4. *Skrymdensitet*

Samma cylindrarna som ovan torkades i 105°C i torkskåp i tre dygn innan de vägdes. Därefter kunde skrymdensiteten beräknas:

$$\rho = m/V$$

där ρ = skrymdensiteten (g/cm³)
 m = massa (g)
 V = cylinderns volym (cm³)

Mätningar i försök R2-7115 gjordes i 3 av 4 block.

7.2.5. *Aggregathållfasthet*

Lufttorkade aggregat siktade till 8-16 mm användes för att bestämma aggregathållfastheten. För varje ruta mättes aggregathållfastheten på 30 aggregat. Aggregaten placerades i en press och pressades till de sprack, det största värdet av den applicerade kraften noterades. Aggregathållfastheten kunde därefter räknas fram enligt Dexter & Kroesbergen (1985). Aggregatdiametern, d , beräknades enligt metod 4 beskriven i Dexter och Kroesbergen (1985) enligt:

$$d = d_s(m/m_0)^{1/3} \quad (\text{Dexter \& Kroesbergen, 1985})$$

där d = aggregatdiametern (m)
 d_s = medeldiameter efter sållning (m)
 m = aggregatvikt (g)
 m_0 = medelvikt efter sållning (g)

7.2.6. Aggregatstabilitet

Aggregatstabiliteten undersöktes genom att mäta mängden lätt dispergerat ler i jorden. Från varje ruta vägdes 15 aggregat mellan 8-16 mm och lades i fuktkammare i 48 timmar. I flaskor med 125 ml destillerat vatten lades 5 vägda aggregat i varje och skakades i fem minuter. Flaskorna placerades sedan för att sedimentera i 24 timmar. Från en förutbestämd nivå i flaskan togs ett prov och lerhalten analyserades med hjälp av en turbidimeter. I denna sänds ljus genom suspensionen och andelen ljus som sprids 90° i förhållande till det infallande ljuset utnyttjas som ett mått på mängden ler. Turbidimetern mäter i NTU (nephelometric turbidity units) och för att normalisera värdena dividerades NTU med vikten av aggregaten.

7.3. Hektarkostnad

Traktorn som användes i försöken var utrustad med ett system för bränslemätning. Även utrustning för mätning av motorvarvtal, hjulhastighet och radarhastighet fanns på traktorn. Med hjälp av dataprogrammet Easy view behandlades resultaten. Därefter räknades hektarkostnaden fram med hjälp av kalkylarket ”KalkylEttRedskap” (Arvidsson, 2005). Vid beräkning av hektarkostnad anpassades bränsleförbrukning och traktorstorlek efter det uppmätta dragkraftsbehovet.

Bränslemätningar för grundbearbetningen genomfördes under hösten 2004 och för såbäddsberedningen och sådd genomfördes bränslemätningen för R2-7115 under våren 2003. För R2-4111 fanns inga värden för såbäddsberedning och sådd så dessa värden är genomsnittsvärden för körningar i olika led under våren 2003. Bränslemätning för grundbearbetning genomfördes även under hösten 2005. I försök R2-7115 saknades dock värden från bearbetning hösten 2005 för ledet med ej plöjning och normala marktryck.

7.4. Plantuppkomst och avkastning

På försöksplatserna odlades havre under säsongen 2005. Sådd skedde i slutet av april och efter uppkomst genomfördes en planträkning. Varje planträkningsruta uppmätte 50 x 50 cm. Två upprepningar i varje ruta utfördes. Skörd genomfördes under hösten då avkastningen bestämdes i en nettoruta på 31,2 m².

7.5. Statistik

Eventuella statistiska samband mellan olika markparametrar och plantuppkomst respektive avkastning beräknades i statistikprogrammet SAS (SAS system for Windows V8). I resultatdelens tabeller är led som ej följs av samma bokstav signifikant skilda ($P < 0,05$).

8. Resultat

8.1. Såbädd

8.1.1. R2-4111

Resultaten av såbäddsundersökningen i serie R2-4111 presenteras i tabell 2. De plöjningsfria leden hade större andel aggregat större än 5 mm i diameter medan de plöjda leden hade större andel aggregat 2-5 mm i diameter. Andelen aggregat mindre än 2 mm i diameter skiljde sig inte åt mellan leden. Den sena bearbetningen hade högre andel aggregat större än 5 mm i diameter än de tidigare bearbetningarna (P=0,09).

Det fanns ingen nivåskillnad i markytan varken för bearbetningstidpunkt eller metod men däremot skiljde sig jämnheten i såbotten mellan de olika bearbetningsmetoderna. De plöjningsfria leden hade jämnare såbotten än de plöjda leden.

Det fanns ingen skillnad i bearbetningsdjup mellan leden. I den sena bearbetningen fanns tendens till högre vattenhalt i markytan än för de tidigare bearbetningstidpunkterna (P=0,10).

Tabell 2. Såbäddsundersökning, försöksserie R2-4111

	Andel aggregat i storlek (%)			Nivåskillnad (mm)		Bearbetningsdjup (mm)	Vattenhalt (%)	
	>5mm	2-5mm	<2mm	Mark-yta	Så-botten		Mark-yta	Så-botten
Tidig plöjning	22,7	49,8	27,4	43,9	40,8	39,5	9,1	23,0
Normal plöjning	22,7	51,6	25,7	50,0	35,3	47,0	8,9	22,1
Sen plöjning	28,5	45,9	25,5	48,4	37,0	41,8	10,3	22,7
Tidig ej plöjning	35,5	39,4	25,1	45,1	30,8	45,0	9,0	23,4
Normal ej plöjning	36,6	40,5	22,9	49,6	29,4	44,5	9,6	23,3
Sen ej plöjning	36,5	41,3	22,3	48,1	25,6	44,5	10,0	23,5
Plöjning	24,6a	49,1a	26,2	47,4	37,7a	42,8	9,4	22,6
Ej plöjning	36,2b	40,4b	23,4	47,6	28,6b	44,7	9,5	23,4
Tidig	29,1	44,6	26,2	44,5	35,8	42,3	9,1	23,2
Normal	29,6	46,1	24,3	49,8	32,4	45,8	9,3	22,7
Sen	32,5	43,6	23,9	48,3	31,3	43,2	10,2	23,1

8.1.2. R2-7115

I tabell 3 presenteras resultaten av såbäddsundersökning gjord i försöksserie R2-7115. De ej plöjda leden hade högre andel aggregat större än 5 mm i diameter och de plöjda leden hade högre andel aggregat mindre än 2 mm i diameter och 2-5 mm (P=0,08). Med avseende på jämnheten i markytan och på såbotten samt bearbetningsdjupet fanns ingen skillnad mellan led. Såbäddsundersökningen visade ej heller någon skillnad mellan det normala marktrycket och det låga marktrycket vad gäller någon av parametrarna.

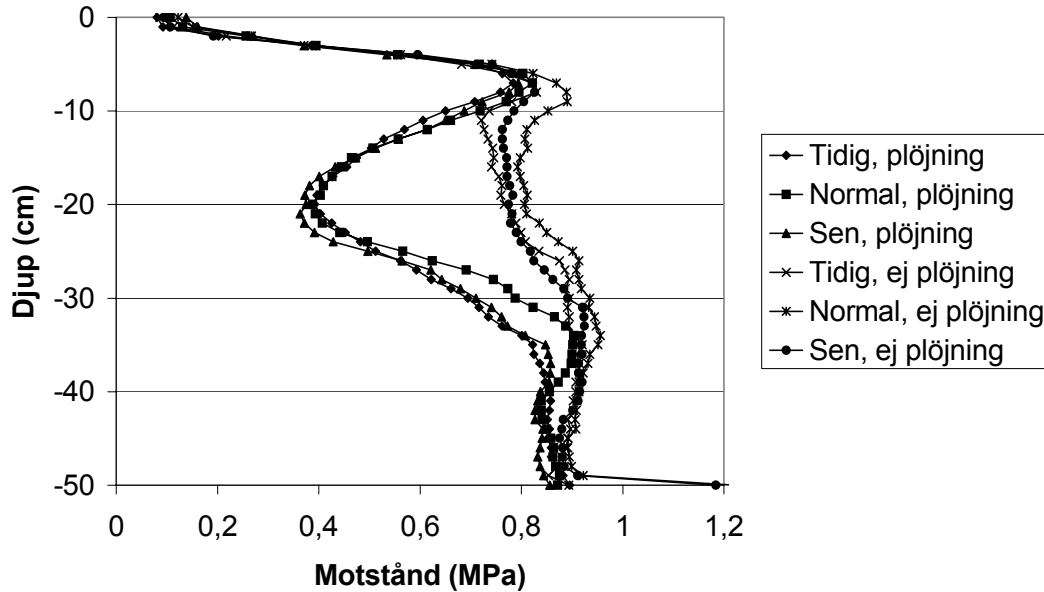
De icke plöjda leden hade högre vattenhalt i såbotten än de plöjda leden. Vad gäller vattenhalten i markytan fanns ingen skillnad mellan leden.

Tabell 3. Såbäddsundersökning, försöksserie R2-7115

	Andel aggregat i storlek (%)			Nivåskillnad (mm)		Bearbetningsdjup (mm)	Vattenhalt (%)	
	>5 mm	2-5 mm	<2 mm	Mark-yta	Så-botten		Mark-yta	Så-botten
Plöjning, normala marktryck	32,9	41,9	25,2	89,9	34,4	47,0	7,4	17,4
Plöjning, låga marktryck	32,3	42,0	25,7	46,5	40,6	40,8	7,6	17,5
Ej plöjning, normala marktryck	47,9	34,2	17,9	40,9	36,6	44,4	7,4	20,2
Ej plöjning, låga marktryck	47,7	34,1	18,1	49,5	33,5	47,1	8,7	18,9
Plöjning	32,6a	41,9	25,5a	68,2	37,5	43,9	7,5	17,4a
Ej plöjning	47,8b	34,1	18,0b	45,2	35,1	45,8	8,1	19,6b
Normala marktryck	40,4	38,0	21,6	65,4	35,8	45,7	7,4	18,8
Låga marktryck	40,0	38,1	21,9	48,0	31,3	44,0	8,1	18,2

8.2. Penetrationsmotstånd

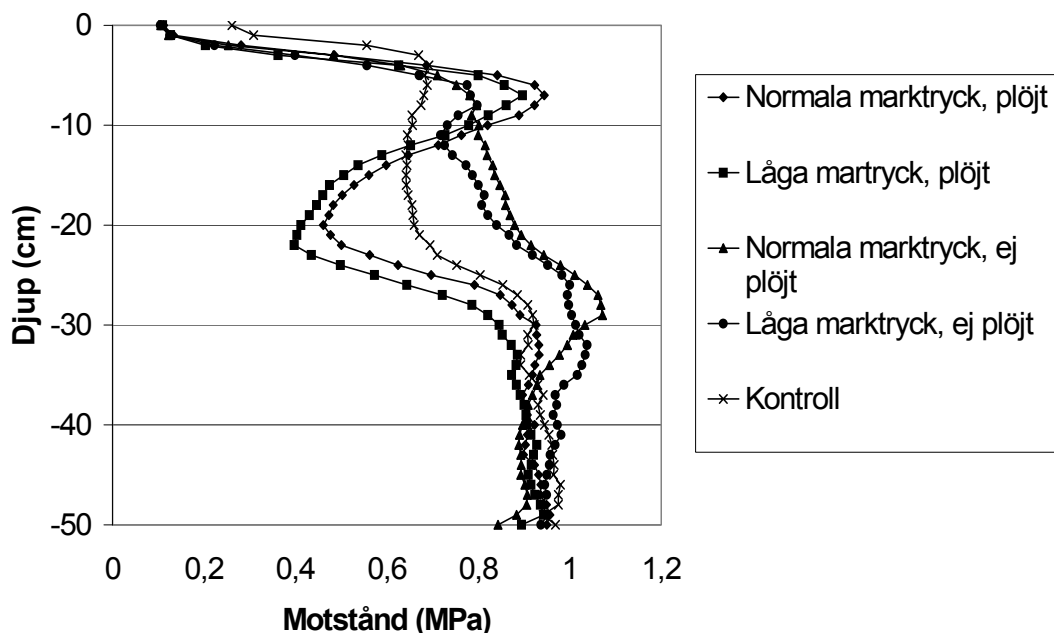
8.2.1. R2-4111



Figur 2. Penetrationsmotstånd i MPa på olika djup mätt från markytan.

Resultatet från penetrationsmätningarna i R2-4111 redovisas i figur 2. Högre penetrationsmotstånd indikerar högre grad av jordpackning. I det översta matjordslagret fanns ingen skillnad i penetrationsmotstånd mellan de olika leden. I den lite djupare matjorden fanns skillnader mellan de plöjda leden och de ej plöjda leden från nivån 9 cm ner till 36 cm med lägre penetrationsmotstånd i de plöjda leden. Vad gäller bearbetningstidpunkten skiljde sig leden i nivån 9 – 12 cm där den tidiga bearbetningen hade lägst motstånd och den normala bearbetningstidpunkten hade högst motstånd. I nivån 22 – 28 cm, plogsulan, fanns tendens till en liten skillnad ($0,05 < P < 0,13$) där de led som var bearbetade vid normal tidpunkt hade högst motstånd och de led som hade den senaste bearbetningstidpunkten hade lägst motstånd.

8.2.2. R2-7115



Figur 3. Penetrationsmotstånd i MPa på olika djup mätt från markytan.

Resultatet från penetrationsmätningarna i försöksserie R2-7115 redovisas i figur 3. I det översta matjordslagret skiljde sig kontrolledet från de övriga genom ett högre penetrationsmotstånd ner till 3 cm. På 6-10 cm djup hade de plöjda leden högre motstånd ($P=0,07$) men nere på 11 cm och 12 cm hade det svängt om och de ej plöjda leden hade högre motstånd ($P=0,06$). Mellan 13 cm och 28 cm var motståndet högre för de plöjningsfria leden än för de plöjda. Från 29 cm ner till 35 cm avtog skillnaderna ($0,07 < P < 0,14$) för att sen upphöra. Skillnader mellan de olika marktrycken fanns mellan 12 cm och 25 cm med högre motstånd där normala marktrycken används. I jämförelse med kontrolledet så skiljde sig motståndet på djup mellan 16 och 25 cm där de plöjda leden hade lägre motstånd och de ej plöjda leden hade högre motstånd.

8.3. Genomsläpplighet, skrymdensitet, aggregathållfasthet och aggregatstabilitet

8.3.1. R2-4111

Genomsläpplighet, skrymdensitet, aggregathållfasthet och aggregatstabilitet i försöksserie R2-4111 finns redovisade i tabell 4. Ingen skillnad i genomsläpplighet kunde säkerställas då värdena varierade kraftigt inom samma bearbetning. Som exempel varierade värdena för normal plöjning från 0,018 cm/h i block 1 till 3,096 cm/h i block 2.

Ingen skillnad i skrymdensitet eller aggregathållfasthet kunde fastställas mellan de olika leden. En något lägre skrymdensitet kunde dock ses i de plöjda leden än i de icke plöjda leden, men skillnaden var ej signifikant.

Turbiditeten (mängd upplöst ler) finns redovisad i tabell 4. I försöksserie R2-4111 fanns en skillnad där de ej plöjda leden hade något lägre turbiditet än de plöjda leden ($P=0,1$).

Tabell 4. Resultat från försöksserie R2-4111

	Genomsläpplighet (cm/h)	Skrymdensitet (g/cm ³)	Aggregathållfasthet (kPa)	Upplöst ler (NTU/g)
Tidig plöjning	1,13	1,26	167	226
Normal plöjning	1,16	1,25	189	259
Sen plöjning	0,19	1,30	194	215
Tidig ej plöjning	0,62	1,34	142	174
Normal ej plöjning	0,45	1,27	187	173
Sen ej plöjning	0,20	1,37	162	210
Plöjning	0,83	1,27	184	233
Ej plöjning	0,43	1,33	163	186
Tidig	0,88	1,30	155	200
Normal	0,81	1,26	188	216
Sen	0,20	1,33	178	212

8.3.2. R2-7115

Genomsläpplighet, skrymdensitet, aggregathållfasthet och aggregatstabilitet i försöksserie R2-7115 finns redovisade i tabell 5. Ingen skillnad i genomsläpplighet kunde säkerställas då värdena varierade kraftigt inom samma bearbetning. Som exempel varierade värdena för normal plöjning från 0,104 cm/h i block 4 till 6,53 cm/h i block 2.

Marktrycket hade inte påverkat skrymdensiteten i försöket. Däremot hade bearbetningsmetoden påverkat och skrymdensiteten var högre i de ej plöjda leden än i de plöjda leden.

Aggregaten från kontrolledet hade högre draghållfasthet (medel 425 kPa), omkring två gånger så hög, än aggregat från de led som hade blivit bearbetade (medel 172-264 kPa). Ingen signifikant skillnad i hållfasthet fanns mellan de olika bearbetningarna.

De ej plöjda leden hade lägre turbiditet (upplöst ler) än de plöjda leden. Mellan de olika marktrycken fanns ingen skillnad.

Tabell 5. Resultat från försöksserie R2-7115

	Genomsläpplighet (cm/h)	Skrymdensitet (g/cm ³)	Aggregathållfasthet (kPa)	Upplöst ler (NTU/g)
Plöjning, normala marktryck	2,42	1,47	185a	470
Plöjning, låga marktryck	0,55	1,46	172a	396
Ej plöjning, normala marktryck	1,58	1,56	216a	301
Ej plöjning, låga marktryck	1,33	1,52	264a	336
Kontroll, vall	3,55	1,48	425b	378
Plöjning	1,49	1,46a	179	433a
Ej plöjning	1,45	1,54b	240	319b
Normala marktryck	2,00	1,52	200	385
Låga marktryck	0,94	1,49	218	366

8.4. Hektarkostnad

8.4.1. R2-4111

Hektarkostnaden för bearbetning för skördeåret 2005 i serie R2-4111 finns redovisade i tabell 6. Kostnaden för de plöjda leden skiljde sig väldigt lite åt där tidig plöjning var billigast och sen plöjning dyrast. Då det gäller de ej plöjda leden var kostnaden betydligt lägre än för de ej plöjda leden. De tidiga och sena leden med ej plöjning var de som hade lägst hektarkostnad.

Tabell 6. Hektarkostnad (kr/ha) inför skörd 2005, försöksserie R2-4111

Inför 2005	Grund- bearbetning 1	Grund- bearbetning 2	Såbädds- Beredning 1	Såbädds- beredning 2	Sådd	Totalt
Tidig plöjning	928	-	178	184	527	1816
Normal plöjning	936	-	178	184	527	1824
Sen plöjning	944	-	178	184	527	1832
Tidig ej plöjning	352	293	297	-	534	1476
Normal ej plöjning	365	314	297	-	534	1510
Sen ej plöjning	336	311	297	-	534	1478

Hektarkostnaden för grundbearbetning efter skörd hösten 2005 finns redovisade i tabell 7. Kostnaden för de plöjda leden skiljde sig här inbördes mer än året innan. Den sena plöjningen hade lägst hektarkostnad med 889 kr/ha och den tidiga plöjningen högst hektarkostnad med 978 kr/ha. För de ej plöjda leden låg hektarkostnaden för den tidiga och normala bearbetningen runt 630 kr/ha och den sena bearbetningen hade lägst hektarkostnad med 595 kr/ha.

Tabell 7. Hektarkostnad (kr/ha) hösten 2005, försöksserie R2-4111

Inför 2006	Grundbearbetning 1	Grundbearbetning 2
Tidig plöjning	978	-
Normal plöjning	928	-
Sen plöjning	889	-
Tidig ej plöjning	347	279
Normal ej plöjning	342	291
Sen ej plöjning	308	287

8.4.2. R2-7115

Hektarkostnaden för bearbetningen inför skörd 2005 finns redovisade i tabell 8. Grundbearbetningen i de plöjda leden låg strax över 900 kr/ha medan kostnaden för såbäddsberedning skiljde mellan ledet med normala marktryck, 347 kr/ha, och ledet med låga marktryck som hade högre hektarkostnad med 375 kr/ha. Även kostnaden för sådd skiljde sig mellan ledet med normala marktryck, 506 kr/ha, och ledet med låga marktryck, 548 kr/ha. Detta ger att det plöjda ledet med normala marktryck hamnade på en hektarkostnad på 1763 kr/ha och ledet med låga marktryck hade en högre hektarkostnad på 1826 kr/ha.

Då det gäller de led som ej är plöjda skiljde sig hektarkostnaden inte så mycket åt mellan de olika marktrycken. Ledet med normala marktryck hade en hektarkostnad för grundbearbetning på 650 kr/ha och såbäddsberedning på 294 kr/ha. Ledet med låga marktryck hade en hektarkostnad för grundbearbetningen på 663 kr/ha och såbäddsberedning på 300 kr/ha. Den stora skillnaden mellan leden fanns i sådden med en hektarkostnad för normala marktryck på 509 kr/ha och för låga marktryck på 559 kr/ha. Detta ger att det ej plöjda ledet med normala marktryck hamnade på den lägsta totala hektarkostnaden med 1453 kr/ha och hektarkostnaden för det ej plöjda ledet med låga marktryck uppgick till 1522 kr/ha.

Tabell 8. Hektarkostnad (kr/ha) inför 2005, försöksserie R2-7115

Inför 2005	Grundbearbetning 1	Grundbearbetning 2	Såbäddsberedning 1	Såbäddsberedning 2	Sådd	Totalt
Plöjning, normala marktryck	910	-	171	176	506	1763
Plöjning, låga marktryck	903	-	184	191	548	1826
Ej plöjning, normala marktryck	351	299	294	-	509	1453
Ej plöjning, låga marktryck	363	300	300	-	559	1522

Hektarkostnaden för grundbearbetning efter skörd hösten 2005 finns redovisade i tabell 9. Kostnaden för de plöjda leden skiljde sig här inbördes mer än året innan. Plöjning med normala marktryck hade lägst hektarkostnad med 792 kr/ha och plöjning med låga marktryck högst hektarkostnad med 849 kr/ha. När det gäller led med ej plöjning och låga marktryck hamnade den totala kostnaden för grundbearbetning på 557 kr/ha vilket var lägre än året innan.

Tabell 9. Hektarkostnad (kr/ha) hösten 2005, försöksserie R2-7115

Inför 2006	Grundbearbetning 1	Grundbearbetning 2
Plöjning, normala marktryck	792	-
Plöjning, låga marktryck	849	-
Ej plöjning, normala marktryck	-	-
Ej plöjning, låga marktryck	301	256

8.5. Planträkning och avkastning

8.5.1. R2-4111

Under säsongen 2005 odlades havre på försöksplatsen. Resultat från uppkomsträkningen finns i tabell 10. I försöksserie R2-4111 uppmättes ingen skillnad mellan leden men en avvikelse ($P=0,07$) kunde ses till fördel för den normala bearbetningstidpunkten gentemot den sena bearbetningstidpunkten.

Avkastningen under 2005 och medelavkastning för samtliga år finns redovisad i tabell 10. Sen bearbetning gav år 2005 klart lägre skörd än tidig bearbetning, i både plöjda och ej plöjda led. Sett över samtliga år har den tidigaste bearbetningen givit den högsta skörden. Det finns också en tydlig samspelseffekt: bearbetningstidpunkten har haft större betydelse då marken kultiverats än då den plöjts. Försöket visar dock att bearbetningstidpunkten har betydelse för skörden också då marken plöjs. Under 2005 hade den sena bearbetningen ungefär samma effekt i plöjda som i ej plöjda led.

Tabell 10 Plantuppkomst (plantor/ram) och avkastning (kg/ha och relativtal), försöksserie R2-4111

	Planträkning (plantor/ram)	Avkastning År 2005 (kg/ha)	Medelavkastning År 2000 – 2005 (Relativtal)
Tidig plöjning	106	5430=100	100
Normal plöjning	112	96	97
Sen plöjning	104	95	97
Tidig ej plöjning	106	96	102
Normal ej plöjning	113	95	98
Sen ej plöjning	103	94	95
Plöjning	107	100	100
Ej plöjning	107	98	100
Tidig	106	100a	100
Normal	112	97b	97
Sen	103	97b	95

8.5.2. R2-7115

Under säsongen 2005 odlades havre i serie R2-7115. Resultat från uppkomsträkningen finns i tabell 11. Tyvärr gjordes sådden allt för grunt i led med normala marktryck vilket gjorde att skillnader i uppkomst troligtvis berodde på detta. Dock var det bara i led med ej plöjning och låga marktryck som detta framgick av planträkning.

Avkastningen under 2005 och medelavkastningen för samtliga år finns redovisade i tabell 11. I försöket gjordes sådden 2005 alltför grunt i led med normala marktryck.

Skörden blev 8 % högre i led med låga marktryck, men då detta kan ha berott på skillnader i sådjup har resultaten inte tagits med i beräkningen av medelavkastningen.

Tabell 11. Plantuppkomst (plantor/ram) och avkastning (kg/ha och relativt), försöksserie R2-7115

	Planträkning (plantor/ram)	Avkastning År 2005 (kg/ha)	Medelavkastning År 2000 – 2004 (relativt)
Plöjning, normala marktryck	106	4970=100	100
Plöjning, låga marktryck	106	107	105
Ej plöjning, normala marktryck	84	96	101
Ej plöjning, låga marktryck	113	104	104
Plöjning	106	100	100
Ej plöjning	98	96	100
Normala marktryck	95	100	100
Låga marktryck	109	108	104

9. Diskussion

9.1. Markstruktur

Vid jämförelse av bearbetningssystem sågs liknande skillnader i de båda försöken R2-4111 och R2-7115. Andelen aggregat >5 mm förekom i större del i de icke plöjda leden och i försök R2-7115 var andelen nästan 50 % vilket enligt Håkansson *et al.* (2002) är gränsen för ett bra avdunstningsskydd. Avdunstningsskyddet påverkas även av växtrester och medför att de kultiverade leden därmed får högre vattenhalt innan bearbetning. Den högre vattenhalten ger vid bearbetning större andel kokor i markytan. Den större andelen aggregat >5 mm i de kultiverade leden kan även komma sig utav olika bearbetningsmetoder vid såbäddsberedningen. I jämnhet i markytan fanns ingen direkt skillnad mellan de olika bearbetningssystemen men såbotten var jämnare i de icke plöjda leden. Däremot var bearbetningsdjupet i de icke plöjda leden något djupare men denna skillnad kan bero på att de plöjda leden var harvade och de icke plöjda leden var körda med tallriksredskap. Vattenhalten i markytan skiljde sig inte nämnvärt åt men vattenhalten i såbotten var lägre i de plöjda leden.

När det gäller penetrationsmotståndet fanns inga stora skillnader i skiktet ner till ungefär 10 cm men därunder hade de plöjda leden lägre motstånd ner till ungefär 30 cm där motståndet mellan de olika bearbetningarna inte skiljde sig åt. Resultaten skiljer sig inte ifrån tidigare försök av Comia *et al.* (1994), Etana *et al.* (1999) och Stenberg *et al.* (2000). Vid jämförelse med kontrollerdet i R2-7115 skiljde sig motståndet på djup mellan 15 – 25 cm där de plöjda leden hade lägre motstånd och de ej plöjda leden hade högre motstånd.

Den mättade genomsläppligheten skiljde sig knappt åt mellan de olika bearbetningsmetoderna men de icke plöjda leden hade aningen lägre genomsläpplighet. Skillnaderna kan förklaras från att jorden var mer kompakt i det icke plöjda leden på djupet 12 – 17 cm. I plöjningsfria system uppkommer en nya sula i botten av bearbetningsdjupet i likhet med plogsulan och då det icke plöjda ledet är kultiverat till ungefär 10 cm hamnar det kompakta skiktet runt 12 cm djupt. Vid jämförelse med kontrollerdet i R2-7115 var genomsläppligheten i detta led betydligt högre än för både de plöjda och ej plöjda systemen.

Då det gäller skrymdensiteten fanns en skillnad mellan de plöjda och icke plöjda leden där de plöjda leden hade lägre skrymdensitet. Resultaten överensstämmer med tidigare resultat av bland annat Rydberg (1986, 1990) och Etana *et al.* (1999, 2000) och beror på den uteblivna luckringen i de icke plöjda leden. Kontrollerdet i R2-7115 låg mellan de plöjda och icke plöjda leden med avseende på skrymdensiteten.

När man kommer till aggregathållfastheten fanns skillnader mellan de båda försöken. I försök R2-4111 hade plöjda led något högre hållfasthet medan i försök R2-7115

hade de icke plöjda leden något högre hållfasthet, även om skillnaderna var väldigt små i de båda försöken. Kontrolledet i R2-7115 hade dock nästintill dubbelt så hög hållfasthet som övriga led. Detta led var utsatt för fler kontinuerliga cykler av vätning och torkning än övriga led och som Semmel *et al.* (1990) visade så ökar då hållfastheten.

Angående aggregatstabiliteten var turbiditeten högre (stabiliteten lägre) för de plöjda leden i båda försöken. Dock var aggregatstabiliteten högre för R2-7115 än för R2-4111. Vid jämförelse med kontrolledet i R2-7115 låg denna ungefär mitt emellan de plöjda och icke plöjda leden i samma försök. Proverna för aggregatstabiliteten var tagna i markytan där de icke plöjda leden borde ha högre halt organiskt material och därmed högre aggregatstabilitet. Tisdall & Oades (1982) visade att halten organiskt kol har stor effekt på aggregatstabiliteten vilket stämmer bra överens med resultaten från R2-4111 och R2-7115.

I jämförelse med den sammanfattning som Riley *et al* (1994) gjorde så stämmer punkterna överens.

9.1.1. R2-4111

Vid jämförelse mellan de olika bearbetningstidpunkterna fanns inga stora skillnader i aggregatstorlek, dock var storleksfördelningen något sämre efter den sena bearbetningen med fler stora aggregat och lägst andel små aggregat. Arvidsson & Pettersson (1995) menar att packning vid fuktiga förhållanden medför att aggregaten får högre hållfasthet och blir svårare att slå sönder, vilket i försök R2-4111 kan ses på den större andelen stora aggregat i led med sen bearbetning.

I översta skiktet ner till 9 cm fanns ingen skillnad i penetrationsmotstånd mellan de olika bearbetningstidpunkterna. Däremot skiljde sig motståndet på djupet 9 – 12 cm till den tidiga bearbetningens fördel. Vad gäller djupet 22 – 28 cm, plogsulan, så var penetrationsmotståndet lägst i den sena bearbetningen och högst vid den normala bearbetningstidpunkten vilket innebär att sen bearbetning var den som var minst bidragande till skapande av plogsula. Då Håkansson (2000) kunde visa på att packningen efter en körning med fuktiga förhållanden under hösten inte helt utplånades inför nästkommande år medför detta att årligen bearbeta sent ger sämre markstruktur år efter år. Detta borde ses framförallt i penetrationsmätningarna men så är inte utfallet från gjorda mätningar. Detta visar på att resultaten i penetrationsmätningarna kan vara svårtolkade, vad Budhu (2000) också ansåg.

Undersökningarna av den mättade genomsläppligheten gav inga säkerställda skillnader. Proverna var mycket heterogena och ett större antal prover hade gett ett säkrare resultat. Vad som ändå kunde ses var att den mättade genomsläppligheten var något högre i den tidiga gentemot den normala bearbetningstidpunkten och den sena

bearbetningstidpunkten hade betydligt sämre genomsläpplighet. Jämför man dessa resultat med resultaten för skrymdensiteten så förhåller sig skillnaderna på likartat sätt. Myrbeck *et al* (2003) menar att de största porerna i marken är av störst betydelse för ledning av vatten och vid ökning av skrymdensitet är det främst de stora porerna som minskar.

9.1.2. R2-7115

Såbäddsundersökningen i försök R2-7115 visade ingen skillnad mellan det normala och det låga marktrycket vilket det enligt Arvidsson (2001) borde vara då marken borde packas mer i led med normala marktryck. Det enda som syns var en tendens till att markytan var något ojämnare vid det normala än vid det låga marktrycket.

De olika marktrycken gav sig tydligt till känna med avseende på penetrationsmotståndet. Det normala marktrycket hade högre penetrationsmotstånd på djupet 12 – 25 cm och vid själva plogsulan, 21- 25 cm, fanns en samverkande effekt av att det plöjda ledet med normala marktryck hade högre motstånd än övriga led. Detta tyder på att bearbetning med låga marktryck och bearbetning utan plöjning har en positiv inverkan på plogsulan.

Precis som i försök R2-4111 gav undersökningarna av den mättade genomsläppligheten inga säkerställda skillnader. Proverna var mycket heterogena och ett större antal prover hade gett ett säkrare resultat. Vad som ändå kunde ses var att den mättade genomsläppligheten var något högre där normala marktryck använts trots att även skrymdensiteten var något högre där normala marktryck använts. Skillnaderna är dock väldigt små. Kontrollledet hade högre mättad genomsläpplighet än de bearbetade leden vilket kan kopplas till den lägre skrymdensiteten i kontrollledet än i de bearbetade leden.

9.2. Hektarkostnad

9.2.1. R2-4111

I den bearbetning som skedde hösten 2004 skiljde det ungefär 300 kr per hektar mellan plöjning och ej plöjning där de plöjda leden var mest kostsamma. Detsamma gäller bearbetning under hösten 2005 men skillnaden hade ökat till ungefär 400 kr per ha. Inbördes skiljde sig kostnaden för plöjningstidpunkten inte nämnvärt åt under hösten 2004 men hösten 2005 var den tidiga plöjningen 90 kr dyrare per ha än den sena bearbetningen, bearbetningen vid normal tidpunkt låg där emellan. Skillnaden i kostnaden beror troligtvis på att marken blir mer lättbearbetad ju senare den genomförs och då vattenhalten ökar i marken. Gustafsson (2003) visade på att dragkraftsbehovet minskade då vattenhalten ökade men att energibehovet för sönderdelning var lägst vid fuktiga förhållanden. I och med att vattenhalten vid bearbetningstidpunkterna saknas är det svårt att säga om skillnaderna beror på detta. Det hade varit intressant att se vattenhaltena vid bearbetningstidpunkterna under både

hösten 2004 och hösten 2005 för att kunna se varför hektarkostnaden skiljde sig inbördes åt mellan de olika åren. Resultaten från hösten 2004 kan kopplas till penetrationsmotståndet som skiljde sig på samma sätt som kostnaden för grundbearbetningen. Under hösten 2004 var kostnaden för att kultivera cirka 600 kr per ha där den sena bearbetningen var billigast med 595 kr per ha och bearbetningen vid normal tidpunkt mest kostsam med 635 kr per ha.

Om bearbetning under våren 2005 tillkommer ökar den totala kostnaden för de plöjda leden då det var kört två gånger med harv gentemot en gång med tallriksredskap i de kultiverade leden. Hektarkostnaden för sådd skiljde sig inte nämnvärt åt mellan de plöjda och ej plöjda leden. Den totala kostnaden för alla arbetsoperationer gör att plöjningen var runt 350 kr dyrare per hektar och sen plöjning dyrast med 1832 kr per ha. Billigaste bearbetningen fick av tidig kultivering med en kostnad på 1476 kr per ha. Den dyraste kultiveringen var bearbetad vid normal tidpunkt med en total kostnad av 1510 kr per ha.

9.2.2. R2-7115

Skillnaden mellan de två olika bearbetningsmetoderna var ungefär 300 kr per ha till det plöjningsfria systemets fördel varav ungefär 250 kr per ha kommer från själva grundbearbetningen, och resterande kommer från den dyrare såbäddsberedningen i de plöjda leden. De plöjda leden var körda två gånger med harv gentemot i det plöjningsfria systemet en gång med tallriksredskap.

Skillnaden mellan de olika marktrycken var ungefär lika stor i de olika bearbetningssystemen. I de plöjda leden var kostnaden för grundbearbetningen den samma mellan de olika marktrycken men såbäddsberedningen var ungefär 30 kr mer kostsam i ledet med låga marktryck. Även sådden var dyrare, ungefär 40 kr per ha, i ledet med låga marktryck.

Vad gäller de plöjningsfria leden var kostnaden för grundbearbetning och såbäddsberedning ungefär den samma mellan de olika marktrycken, endast 20 kr per ha skiljde till de normala marktryckens fördel. Den största skillnaden i kostnad fanns vid sådd, där led med låga marktryck hade en kostnad på 550 kr per ha mot led med normala marktryck som hade en kostnad på 500 kr per ha.

Resultaten som visar att bearbetningen var dyrare i led med låga marktryck skiljer sig från vad som förväntades. Förväntat var att bättre markstruktur och lägre motstånd skulle ge billigare bearbetning. Att resultaten visar det omvända kan bero på att i led med låga marktryck användes vid såbäddsberedning och sådd dubbelmontage gentemot enkelmontage i led med normala marktryck. Dubbelmontagen medför att rullningsmotståndet ökar vilket ger ett högre dragkraftsbehov.

Vad gäller körning under hösten 2005 var grundbearbetningen billigare, ungefär 100 kr per ha för det plöjningsfria systemet och mellan 50 – 110 kr per ha för de plöjda leden, än grundbearbetningen året innan. Det fanns även en skillnad mellan de plöjda leden med normala marktryck och de plöjda leden med låga marktryck där det senare var ungefär 50 kr dyrare per ha. Skillnaden för körning under hösten 2005 kan förklaras med att vattenhalten troligtvis var lägre vid bearbetningstillfället i de led med låga marktryck då dessa haft en högre tillväxt under året och därmed förbrukat mer vatten.

9.3. Avkastning

9.3.1. R2-4111

Den bästa avkastningen under 2005 gavs i den tidiga plöjningen. Det fanns en signifikant skillnad mellan den tidiga och de två senare bearbetningstidpunkterna, där den tidiga avkastade bäst. Det fanns en liten skillnad i avkastning mellan bearbetningsmetoderna där plöjning hade något högre avkastning. Ser man under längre tid så finns ingen skillnad mellan bearbetningsmetoderna men en trend finns att den tidiga kultiveringens är den som avkastar bäst.

De resultat som Håkansson (2000) presenterade att körning på våt mark orsakade mer än dubbelt så stor skördesänkning som körning på normalfuktig mark visade sig i detta försök sett under flera år. Den normala bearbetningen har en skördeförlust på 3 % och den sena bearbetningen 5 % gentemot avkastningen för tidig bearbetning.

Vid jämförelse mellan planträknningen och avkastningen under säsongen 2005 skiljer sig resultaten åt. Planträknningen hade en tendens till att ha fler plantor i bearbetningen vid normal tidpunkt och den tidiga och sena bearbetningen skiljer sig inte åt. Det fanns heller ingen skillnad mellan plöjda och plöjningsfria behandlingar.

9.3.2. R2-7115

Då skillnad i såddjup fanns mellan de olika leden är resultaten för 2005 inte relevanta att diskutera. Skörden blev 8 % högre i led med låga marktryck och vid jämförelse med planträknningen var det bara i led med ej plöjning och låga marktryck som detta tydligt syntes. Mellan de olika marktrycken i plöjning syntes ingen skillnad i plantantal.

Sett under en längre tidsperiod då effekterna av de olika marktrycken haft en ackumulerande effekt ses en skillnad där led med låga marktryck tenderar till att ha högre avkastning. Det syns ingen skillnad mellan de olika bearbetningsmetoderna men Håkansson (2000) menar att det borde vara viktigare i plöjningsfria system att marktrycken är låga och Arvidsson *et al* (1992) visade också detta i två mångåriga försök på mellanleror. Comia *et al* (1994) och Etana *et al* (1999) fann i försök med plöjningsfri odling, att packningsgraden över det optimala ändå gav hög skörd på

lerjordar, vilket kan förklara att skillnaden i avkastning mellan normala och låga marktryck i plöjningsfri odling var så pass liten.

10. Referenser

Arvidsson, J. & Andersson, S. 1997. Determination of soil displacement by measuring the pressure of a column of liquid. In: Proceedings of the 14th International Conference of ISTRO, Pulawy, Poland. 47-50.

Arvidsson, J. & Pettersson, O. 1995. Jordpackning och markstruktur. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 435. Uppsala.

Arvidsson, J. (red). 1992. Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 1992. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen 84. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Arvidsson, J. (red). 2003. Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 2002. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen 104. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Arvidsson, J. (red). 2005. Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 2005. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen 108. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Arvidsson, J. 1997. Soil compaction in agriculture – from soil stress to plant stress. Agraria 41, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Arvidsson, J. 2001. Markmekanik i jordbruket - en introduktion. Jordbearbetningsavdelningen, Institutionen för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet.

Bailey, A.C., Johnson, C.E. & Schafer, R.L. 1986. A model for agricultural soil compaction. Journal of Agricultural Engineering Research 33, 257-262.

Ball, B.C., Lang, R.W., Robertson, E.A.G. & Franklin, M.F. 1994. Crop performance and soil conditions on imperfectly drained loams after 20-25 years of conventional tillage or direct drilling. Soil & Tillage Research 31, 97-118.

Bardy, C. & Weil, R., 2002. The nature and properties of soils, 13th ed., 592-618. Upper saddle river, 2002.

Baver, L.D., Gardner, Walter H. & Gardner, Wilford R. 1972. Soil Physics, 4th ed. 74-99.

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, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Blunden, B.G., MacLachlan, C.B. & Kirby, J.M. 1992. A recording system for measuring in situ soil stresses due to traffic. *Soil & Tillage Research* 25, 35-42.

Budhu, M., 2000. *Soil Mechanics & Foundations*. John Wiley & Sons, New York. (sid 250)

Cannell, R.Q. & Hawes, J.D. 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil & Tillage Research* 30, 245-282.

Chan, K.Y., Bowman, A.M., Smith, W. & Ashley, R. 2001. Resoring soil fertility of degraded hardsetting soils in semi-arid areas with different pastures. *Australian Journal of Experimentel Agriculture* 41, 507-514.

Comia, R.A., Stenberg, M., Nelson, P., Rydberg, T. & Håkansson, I. 1994. Soil and crop responses to different tillage systems. *Soil & Tillage Research* 29, 335-355.

Danfors, B. 1977. Jordpackning – hjulustrustning. Jordbrukstekniska institutets meddelande nr 368. Uppsala.

Dexter, A.R., 1988. Advances in Characterization of Soil Structure. *Soil & Tillage Research* 11, 199-238.

Dexter, A.R. & Kroesbergen. B. 1985. Methodology for Determination of Tensile Strength of Soil Aggregates. *Journal of Agricultural Engineering Research* 31, 139-147.

Elliot, E.T. 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Science of America Journal* 50, 627-633. Business and editorial offices, Madison.

Elonen, E., Ahokas, J. & Alakukku, L. 1996. Field evaluation of tractive performance of four tyre construction. Institute of Agricultural Engineering, Agricultural Research Centre, Vithi, Finland.

- Etana, A., Håkansson, I., Zagal, E. & Bučas, S. 1999. Effects on tillage depth on organic carbon content and physical properties in five Swedish soils. *Soil & Tillage Research* 52, 129-139.
- Etana, A., Rydberg, T. & Håkansson, I. 2000. Markfysikaliska studier i långliggande försök med reducerad jordbearbetning. *Rapporter från jordbearbetningsavdelningen* 97, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Grip, H. & Rodhe, A. 2003. Vattnets väg från regn till bäck. Hallgren & Fallgren studieförlag AB, Uppsala
- Gustafson Bjuréus, A. & Karlsson, J. 2002. Markstrukturindex – utvärdering av en metod för att bedöma odlingssystemets uthållighet och jordarnas fysikaliska status. *Avdelningsmeddelande 02:2*, avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Gustafsson, K., Arvidsson, J. & Keller, T. 2003. Dragkraftsbehov för plog, cultivator och tallriksredskap vid olika markvattenhalter. *Rapporter från jordbearbetningsavdelningen* 106, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Haynes, R.J. & Naidu, R. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51, 123-137.
- Haynes, R.J. 1999. Labile organic matter fractions and aggregate stability under short-term, grass-based leys. *Soil Biology and Biochemistry* 31, 1821-1830.
- Heinonen, R. 1982. Jordens igenslammning och förhårdnande. *Speciella skrifter* 12, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Heinonen, R. 1985. *Soil management and crop water supply*. Fourth edition. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Håkansson, I. 2000. Packning av åkermark vid maskindrift. *Rapporter från jordbearbetningsavdelningen* 99, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Håkansson, I., Myrbäck, Å. & Etana, A. 2002. A review of research on seedbed preparation for small grains in Sweden. *Soil & Tillage Research* 64, 23-40.
- Kladivko, E.J., Griffith, D.R. & Mannering, J.V. 1986. Conservation tillage effects on soil properties and yield of corn and soya beans in Indiana. *Soil & Tillage Research* 8, 277-287.

Kritz, G. 1983. Såbäddar för vårstråsäd. En stickprovsundersökning. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen 65, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Marshall, T.J., Holmes, J.W. & Rose, C.W. 1996. Soil Physics. Third edition. Cambridge University Press.

Myrbeck, Å., Arvidsson, J. & Rydberg, T. 2003. Plöjningstidpunktens inverkan på markstruktur, växtproduktion och kväveutlakning på lerjordar. Slutrapport från försök 1999-2002. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen 105, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Oades, J.M., 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. Plant and Soil 76, 319-337.

Raper, R.I., Baily, A.C., Burt, E.C. & Way, T.R. 1993. Inflation pressure and dynamic load effects on soil deformation and soil-tire interface stresses. National Soil Dynamics Laboratory, Auburn, USA.

Riley, H., Børresen, T., Ekeberg, E. & Rydberg, T. 1994. Trends in reduced tillage research and practice in Scandinavia. In: Carter, M.R. (red), Conservation tillage in temperate agroecosystems, 23-46. Lewis Publishers.

Rydberg, T. 1986. Markfysikaliska och markkemiska effekter av plöjningsfri odling i Sverige. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen 70, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Rydberg, T. 1990. Effects on ploughless tillage and straw incorporation on evaporation. Soil & Tillage Research 17, 303-314.

Semmel, H., Horn, R., Hell, U., Dexter, A.R. & Schulze, E.D. 1990. The dynamics of soil aggregate formation and the effect on soil physical properties. Soil Technology 3, 113-129.

Six, J., Elliott, E.T. & Paustian, K. 2000. Soil structure and soil organic matter, II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. Soil Science of America Journal 64, 1042-1049.

Sparling, G.P., Shepherd, T.G., & Kettles, H.A. 1992. Changes in soil organic C, microbial C and aggregate stability under continuous maize and cereal cropping, and after restoration to pasture in soils from Manawatu region, New Zealand. Soil & Tillage Research 24, 225-241.

Stenberg, M., Stenberg, B. & Rydberg, T. 2000. Effects of reduced tillage and liming on microbial activity and soil properties in a weakly-structured soil. *Applied Soil Ecology* 14, 135-145.

Studdert, G.A., Echeverria, H.E. & Casanovas, E.M. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of typical Argiudoll. *Soil Science Society of America* 61 (5), 1466-1472.

Söhne, W. 1958. Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tires. *Agricultural Engineering*, May 1958, 276-281, 290.

Tisdall, J.M. & Oades, J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33, 141-162.

Trautner, A. 2003. On Soil Behaviour During Field Traffic. Doktorsavhandling. *Agraria* 372, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Trautner, A. & Arvidsson, J. 2002. Subsoil compaction caused by machinery traffic on a Swedish Eutric Cambisol at different soil water contents. *Soil & Tillage Research* 73, 107-118.

USDA, Natural Resources Conservation Service, 2001 Rangeland soil quality – aggregate stability, Rangeland sheet 3 may 2001. <http://soils.usda.gov/sqi/files/RSQIS3.pdf>

Utomo, W.H. & Dexter, A.R. 1981. Soil friability. *Journal of Soil Science* 32, 203-213.

Wiermann, C., Werner, D., Horn, R., Rostek, J. & Werner, B. 2000. Stress/strain processes in a structured unsaturated silty loam Luvisol under different tillage treatments in Germany. *Soil & Tillage Research* 51, 117-128.