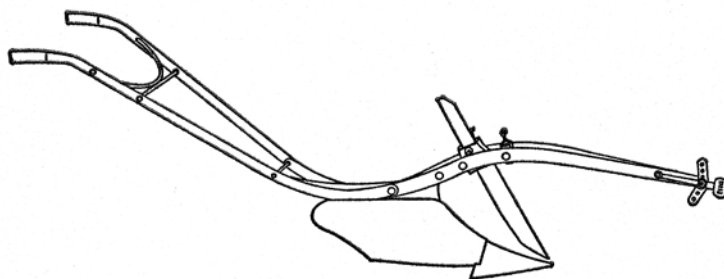




Institutionen för
Markvetenskap
Uppsala

MEDDELANDEN FRÅN JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

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



Nr 44

2003

Matts Ola Anselmsson

**Inverkan av hjullast och ringtryck på tryck
och deformation i jordprofilen, främst i
matjorden**

ISSN

1102-6995

ISRN

SLU-JB-M--44--SE

Förord

Vill härmed rikta ett stort tack till Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF) och Sockernäringsens BetodlingsUtveckling AB (SBU) med vars finansiering detta examensarbete blev möjligt. Ett stort tack till min handledare Johan Arvidsson för all tid han ägnat åt detta arbete och för de insikter han givit mig inom ämnet markpackning. Stort tack även till Thomas Keller för hans samarbete och instruerande vid mättillfällena samt även hans hjälp vid sammanställningen av resultaten.

Vidare vill jag rikta ett tack till Svenstorps Gods och Krenkerups Gods med personal för att de erbjudit jordbruksmark där mätningarna kunde genomföras samt även för att de ställt upp med maskiner och maskinförare. Ett särskilt tack till Berth "Mulle" Mårtensson som ställde upp i samband med mätningarna på Ultuna.

Slutligen vill jag tacka alla på Jordbearbetningsavdelningen för en trevlig tid tillsammans.

Uppsala, maj 2003

Matts Ola Anselmsson

Summary

Compaction of farmland can in many cases be negative. A poorer water infiltration in the soil profile, bad conditions for root growth, slower decomposition rate of organic material, and an increase in traction power are some of the negative effects. The most serious compaction is the one appearing below the depth of tillage, as it will exist for many years. The factors having the greatest influence on the amount of soil compaction is the wheel load, the tyre equipment used, the tyre inflation pressure and the water content in the soil. Factors discussed in this report are wheel load, tyre inflation pressure, the stress in the soil, the stress distribution in the contact area and the impact of these parameters on the amount of compaction.

Three different experiments were carried out on three sites in the autumn in 2002. The first experiment was carried out at Svenstorp farm in southern Sweden. During dry conditions the stress and the deformation in the soil was measured under a 3-row, a 6-row and a 9-row sugarbeet harvester that were driving with different loads. The 6-row harvester was also driven with different tyre inflation pressures. Saturated hydraulic conductivity, macroporosity and bulk density was measured in the topsoil after a single pass with the harvesters. The second experiment took place at Krenkerup farm in southern Denmark. Two different systems for sugar beet harvesting were evaluated. The first system contained one big harvester only that had a loading capacity of 28 tons and a total weight of 55 tons. Because of the great loading capacity, it was able to bring the sugarbeets to the end of the field. The other system contained a smaller harvester, with a total weight of 27 tons and two field trailers that were supporting the harvester all the time. The measurements were concentrated on stress and deformation in the subsoil and also stress and stress distribution in the topsoil under the different tyres. The last experiment took place at Ultuna, Uppsala, Sweden. In this experiment the stress and the stress distribution in the topsoil was measured when driving with different wheel loads and tyre inflation pressures.

The results from Svenstorp showed the positive effects of a reduced tyre inflation pressure on soil stress, saturated hydraulic conductivity and macro porosity in the topsoil. Traffic by the 6-row harvester, driving with a high tyre inflation pressure, was resulting in the lowest rate of saturated hydraulic conductivity, independently of the load. Also the boogie wheels of the 3-row harvester were resulting in low infiltration rates, independently of the load. The measurements at Krenkerup showed that one passage over the soil with the big harvester deformed the soil more at both 30 cm and 70 cm depth, than one passage with the small harvester followed by the field trailer. The highest stress both at 30 cm and 70 cm depth was measured under one of the three tyres of the big harvester. There was a very even stress distribution between the three axles of the field trailer. Measurements at Ultuna showed that a higher wheel load resulted in a higher stress in the topsoil, even though the tyre inflation pressure was kept constant. A lower tyre inflation pressure resulted in a more even stress distribution in the contact area.

The main conclusions of this study are: 1) A reduced tyre inflation pressure will greatly reduce compaction of the topsoil. 2) The deformation in the soil was greater after passing once with a 55 ton harvester than after passing once with a 27 ton harvester plus a field trailer. 3) An increase in wheel load resulted in a higher stress in the topsoil, even though the tyre inflation pressure was kept the same.

Innehåll

Innehåll.....	1
Sammanfattning.....	2
Inledning.....	3
Bakgrund.....	3
Syfte.....	9
Material och metoder.....	9
Svenstorp.....	10
Krenkerup.....	12
Ultuna.....	13
Resultat.....	15
Svenstorp.....	15
Krenkerup.....	16
Ultuna.....	18
Diskussion.....	21
Betupptagare.....	21
Tryck och tryckfördelning i matjord och understödsyta.....	23
Slutsatser.....	25
Referenser.....	26

Sammanfattning

En överdriven packning av vår jordbruksmark är negativ i många avseenden. Sämre infiltrationsförmåga för vatten i jordprofilen, försämrad rottillväxt, lägre nedbrytningshastighet av organiskt material och ökat dragkraftsbehov är några av de negativa biverkningarna. Av speciell betydelse är den packning som sker under bearbetningsdjup då packningen här riskerar att bestå under en lång tid. De faktorer som kommer att ha störst betydelse för graden av deformation i marken är framförallt hjullasten, däcksutrustningen, ringtrycket i däckets samt vattenhalten i marken. Detta examensarbete kommer att behandla hjullasten, ringtrycket, trycket i marken, tryckfördelningen i understödsytan samt dessa parametrars betydelse för graden av markpackning.

Tre mätserier utfördes under hösten 2002. Försöken utfördes på geografiskt skilda platser och under olika förhållanden, främst vad gällde vattenhalten i jorden. Det första mättillfället var förlagt till Svenstors gods i Skåne. Under torra förhållanden mättes tryck och deformationer i matjord samt alv för 3-radig, 6-radig och 9-radig betupptagare då de kördes med varierande last. Den 6-radiga upptagaren kördes även med två ringtryck. Här mättes även genomsläpplighet, makroporositet och skrymdensitet i matjorden efter överfart med de olika upptagarna, då de kört med och utan last. Det andra försöket var förlagt till Krenkerups gods på Lolland i Danmark. Mätningarna gjordes under fuktiga, men för betupptagning fullt normala, förhållanden. Två olika system för betupptagning utvärderades. Det ena utgjordes av enbart en 6-radig ”stor” betupptagare med en tankkapacitet på ca 28 ton och en totalvikt, fullastad, på ca 55 ton. Denna upptagare hade därmed förmåga att ta med sig en stor mängd betor till vändtegen. Det andra systemet utgjordes av en 6-radig ”liten” betupptagare med en totalvikt, fullastad, på ca 27 ton som kontinuerligt assisterades av två stycken fältvagnar. Det som mättes var tryck och deformationer i alven samt tryck och tryckfördelning i matjorden under de olika däckerna. Vid den sista mätserien, som utfördes på Ultuna utanför Uppsala, mättes trycket och dess fördelning i matjorden vid körning med olika hjullaster och ringtryck.

Resultaten från Svenstorp visade den positiva effekten man kan få av sänkt ringtryck på en 6-radig betupptagare. Detta visade tryckmätningar i matjorden, mätningar av genomsläpplighet och mätningar av makroporositet. Denna 6-radiga upptagare körd med högt ringtryck gav upphov till de lägsta genomsläppligheterna, oavsett last. Även den 3-radiga upptagarens boogiehjul gav upphov till låga genomsläppligheter, oavsett last. Mätningarna på Krenkerup för den ”stora” och den ”lilla” upptagaren samt fältvagnen gav intressanta resultat. En överfart med den ”stora” upptagaren gav större deformationer på 30 och 70 cm djup än en överfart med den ”lilla” upptagaren plus en överfart med fältvagnen. De klart högsta trycken på 30 och 70 cm djup uppmättes under ett av den ”stora” upptagarens tre hjul. Tryckfördelningen mellan de tre axlarna på fältvagnen var mycket jämn. De mätningar som gjordes på Ultuna visade att en högre hjullast ger ett högre tryck i matjorden trots att ringtrycket hålls konstant. Det visade sig även att körning med lägre ringtryck gav en jämnare tryckfördelning i understödsytan, för det bredaste av de undersökta däckerna. Då däckerna ställdes på ett hårdgjort underlag och genomsnittstrycket under däckets ribbor räknades ut erhöles mycket höga tryck, som högst 716 kPa.

De viktigaste slutsatserna av detta arbete är att: 1) En sänkning av ringtrycket hos större betupptagare kan medföra stor minskning av packningen i matjorden. 2) Deformationen i jorden blev större efter en överfart med en 55 ton tung betupptagare än efter en 27 ton tung betupptagare plus en fullastad följevagn. 3) En högre hjullast gav genomgående ett högre tryck i matjorden trots att ringtrycket hölls konstant.

Inledning

Bakgrund

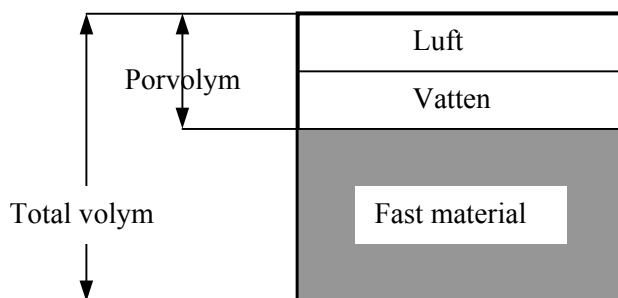
Genom historien har det inom lantbruket ständigt skett en utveckling mot allt rationellare brukningsmetoder. Som ett led i den ständiga jakten på lägre produktionskostnader skall en person kunna klara av allt fler arbetsmoment på egen hand samtidigt som avverkningskapaciteten också skall ökas. Denna utveckling mot ständig kapacitetsökning har medfört att totalvikten på jordbruksmaskinerna hela tiden har ökat. Detta kan leda till problem med markpackning både i matjord och alv som i sin tur ger negativa effekter på grödans tillväxt. Strukturen på matjord och den övre delen av alven kan delvis återställas av naturliga processer såsom tjälbildning och torka. I den undre delen av alven kan en packningsskada bestå under en längre tid. En positiv strukturbildning kan här åstadkommas av djuprotade växter, upptorkningsprocesser och i undantagsfall av djup tjäle. Försök med mekanisk alvluckring har oftast inte gett positiva effekter på lång sikt, ettårseffekter har funnits men det är tveksamt om de kan motiveras ekonomiskt. Bättre är då att tillse att packning aldrig uppkommer i alven (Håkansson, 2000).

Tryck och spänning

I vardagligt tal brukar man tala om ett ”tryck” mot marken, eller i marken då en kraft verkar på en bestämd yta av jorden. Att prata om ”tryck” på detta sätt är ur fysikalisk mening inte korrekt då denna term beskriver förhållandena i t. ex. vätskor och gaser där trycket är riktningsoberoende. Korrekt är istället att prata om spänningar i jorden då dessa är definierade i en viss riktning. Man skiljer på normalspänningar och skjuvspänningar där normalspänningar verkar vinkelrätt mot ett plan medan skjuvspänningar verkar längs ett plan. I detta examensarbete kommer jag, för att förenkla språkbruket, prata om ”tryck” i jorden medan det rent fysikaliskt är frågan om normalspänningar mot ett plan.

Volymförhållande och porositet

I figur 1 ses en schematisk bild över volymförhållandena som råder i en jordprofil. Jordvolymen består oftast i en lerjord till cirka 50 % av jordpartiklar och humus, den fasta fasen. Resterande andel är porer som antingen kan vara fyllda med luft eller vatten. Andelen betecknas jordens porositet och anges i procent av jordens totala volym. Dessa porer är en förutsättning för att växter skall kunna växa på jorden. Genom porsystemet kan växterna breda ut sina rötter och få tillgång till vatten, syre och näring. Av det vatten som finns i porerna så är en viss del tillgängligt för växterna, en större eller mindre del av vattnet är dock bundet så pass hårt i marken att växterna inte kan ta upp det. En överfart över marken med höga ringtryck och höga hjullaster riskerar att pressa samman jorden och därmed porerna vilket leder till att volymandelen porer minskar. Förutom detta riskerar man också att porstorleksfördelningen och porernas form förändras, vilket kan vara minst lika skadligt (Eriksson, 1982). En förändring av porsystemet till ett mera osammanhängande resulterar i sämre infiltrationshastighet och infiltrationskapacitet samt sämre gasutbyte (Brown et al 1992). Undersökningar har också visat att luftgenomsläppligheten och därmed syrediffusionen i marken sjunker till kritiska nivåer då tryckpåkänningarna nått nivåer på 200-400 kPa. (Eriksson, 1982).



Figur 1. Schematisk bild över volymförhållandena i en jord.

Makroporer

Av speciell betydelse är makroporerna i jorden. Dess storlek brukar anges till 30 µm i diameter och större, vilket innebär att de töms på vatten vid ett vattenavförande tryck på 1 meter vattenpelare. Dessa stora porer är av speciellt stor betydelse för markprofilens egenskaper då det gäller vattengenomsläpplighet, syretransport och rotframkomlighet. Som ett exempel kan tas en lerjord där det viktiga makroporsystemet framförallt utgörs av sprickor, maskhål och rotkanaler. Vid tung maskindrift kommer översta metern av markprofilen att påverkas negativt då dessa hålrum trycks igen och orsakar en sämre rotmiljö (Eriksson, 1982).

En minskning av andelen makroporer kommer att försämra den vertikala infiltrationsförmågan betydligt. Detta gör att jorden torkar upp långsammare efter ett regn och att antal dagar då den är brukningsbar blir färre. Under vårbruket kan detta få stora ekonomiska konsekvenser då en tidig sådd för många grödor är att föredra.

Mekaniskt motstånd

Då porerna pressas samman och blir mindre än rotspetsarna kommer dessa att uppleva mekaniskt motstånd då de skall penetrera jorden. Detta leder till sämre genomrotning av markprofilen. Ett sätt att mäta och bedöma packningsgraden för en jord är att mäta det motstånd som upplevs då ett litet stålspjut trycks genom marken. Motståndet som uppmäts sägs utgöra jordens penetrationsmotstånd och varierar bl. a. med vattenhalten. Orsaken till att penetrationsmotståndet ökar i jorden vid olika packningsgrad är främst att markrummet deformeras och förminskas. Det framstår som att 800-5000 kPa i penetrationsmotstånd, beroende på jord, utgör ett intervall inom vilket rotgenomträngning blir omöjlig. Det mekaniska motståndet som en jord erbjuder mot rotspetsen är bl. a. kopplat till jordens textur, struktur, täthet och vattenhalt (Eriksson, 1982).

Jordens hållfasthet

Då en jord utsätts för ett tryck kommer graden av deformation att bero på en rad olika saker. Markens hållfasthet påverkas av en rad faktorer som bl. a. dess textur, struktur, humushalt och framförallt dess vattenhalt (Horn, 1988). Den reaktion i marken som blir följden av en tryckpåkänning varierar mycket mellan olika jordar och kan i princip delas upp för grovkorniga och finkorniga jordarter. I de grovkorniga jordarna spelar friktionen mellan partiklarna en avgörande roll medan kohesionen mellan partiklarna i en finkornsjord har avgörande betydelse för tryckutbredningen och i sin tur deformationen av jorden. Spänningstillståndet i markprofilen påverkas förutom av yttre krafter också av inre krafter från ytspänningen i gränsytorna mellan fast material – vatten – luft och av krafter orsakade av att markvattnet är i rörelse (Eriksson, 1982).

Deformation - packning

En jord kan deformeras utan att packas. Att jorden deformeras innebär nämligen att den på något sätt ändrar form i förhållande till sitt ursprungsutseende. En packning eller luckring, innebär däremot en förändring av skrymdensiteten. Torra skrymdensiteten i jorden är den torra jordens massa per enhet av dess totala volym. En packning av jorden definieras som en ökning av dess torra skrymdensitet, d v s porvolymen har minskat.

Om en jord utsätts för ett tryck kommer den att deformeras beroende på tryckets storlek. Om inte trycket överskrider ett visst värde kommer jorden att återta sin naturliga form då trycket avlägsnas, jorden har uppträtt elastiskt. Det tryck som inte bör överskridas kallas jordens förkonsolideringstryck och dess storlek är direkt beroende av vattenhalten hos jorden. Förkonsolideringstrycket ger en indikation på vilket tryck som jorden tidigare utsatts för. Överskrider trycket kommer nämligen jorden inte att elastiskt återta sin ursprungliga form utan deformeras plastiskt d.v.s. få en bestående volymförändring (Casagrande, 1936).

Deformationer i jorden orsakade av lantbruksdäck kommer att bero på en rad omständigheter som bl. a. hjullast, tryck i understödsytan, slirning, däckdimension, däckskonstruktion, ringtryck, hastighet och antalet överfarter (Soane et al, 1980).

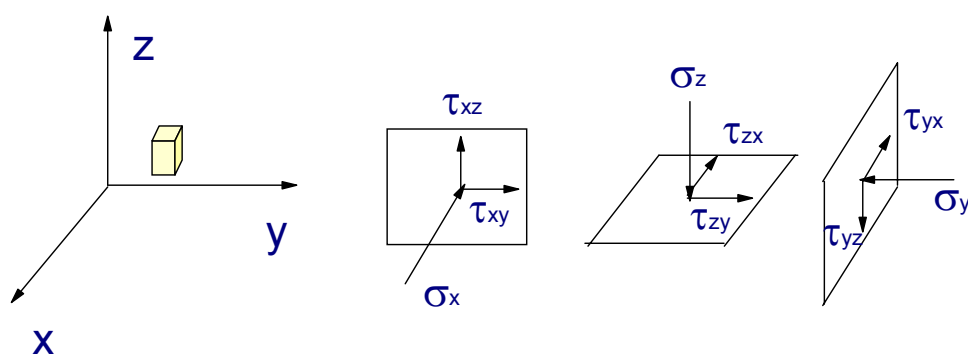
Matjordens packningsgrad kommer att variera under året. I ett system med konventionell brukningsteknik som innefattar en plöjning kommer matjordens luckerhet att variera påtagligt under året. Detta kan även ses som att matjordslagrets djup varierar under året. Störst djup kommer naturligtvis matjorden att ha direkt efter plöjningen. Såbäddsberedningen kommer att

trycka ihop matjorden så att den i princip får samma höjd som innan plöjningen. Packningstillståndet i matjordens centrala delar kommer inte att ändras mycket under vegetationsperioden. En överdriven packning under vårsådd eller höstsådd kommer alltså att bestå under hela växtsäsongen. De faktorer som har störst inverkan på packningen är jordens vattenhalt och antalet överfarter (Håkansson, 2000).

Packningens inverkan och effekter på de biologiska processerna är komplexa. Det står dock klart att packning minskar den biologiska aktiviteten i jorden. Framst gäller det rottillväxt, maskförekomst och mikrobiell aktivitet. Att maskarna inte trivs i den packade jorden är ju extra olyckligt eftersom de gångar de lämnar efter sig har stor betydelse för den vertikala infiltrationsförmågan. Vidare har man kunnat se att nematodaktiviteten är högre runt rötter i packad jord (Whalley et al, 1994).

Teoretisk beräkning av trycket i marken

För att teoretiskt kunna beskriva spänningen i jorden är det oftast enklast att tänka sig en punkt i jorden. I figur 2 visas en punkt som ritats in i ett tredimensionellt koordinatsystem med axlarna x, y och z. I denna punkt kan en oändligt liten kub antas befinna sig, med dess sidor parallella med koordinatsystemets plan. För att beskriva totala spänningens storlek och dess riktning på kuben så kan spänningen i tre mot varandra vinkelräta plan bestämmas. Spänningsförhållandet på en sida av kuben kan beskrivas med totalt tre olika spänningar. En som verkar vinkelrät ut från planet och kallas normalspänning samt två som kallas skjuvspänningar och verkar parallellt med planet och vinkelrät mot varandra. Tillämpas resonemanget även på de två övriga planen i kuben som är parallella med koordinatsystemets plan så kan spänningstillståndet för kuben beskrivas med totalt tre normalspänningar och sex skjuvspänningar (Koolen och Kupiers 1983).



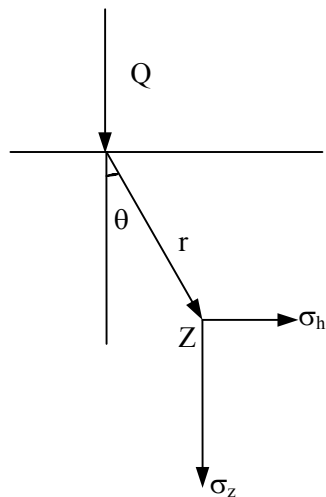
Figur 2. Spänningsförhållandet för en oändligt liten kub inritad i ett tredimensionellt koordinatsystem.

Det kommer alltid gå att anpassa ett koordinatsystem så att spänningstillståndet i punkten kan förenklas och beskrivas med endast tre normalspänningar. Dessa brukar beskrivas som största (major), intermediära (intermediate) och minsta (minor) huvudspänningen. Av dessa är det i första hand den största huvudspänningen som orsakar packningen i en jordprofil. En samtidig skjuvspänning, som kan orsakas av t. ex. en dragande traktor, kan dock förstärka packningsrisken (Koolen och Kupiers 1983).

Tryckfördelningen i jorden kan i huvudsak beräknas på två sätt, antingen med en analytisk modell eller med en finit elementmodell som är mycket beräkningsintensiv. Den vanligaste analytiska modell som används för att beräkna tryckfördelningen utvecklades av Boussinesq (1885). Han antog att jorden var homogen, elastisk, viktlös och semiinfinitt vilket kan tyckas vara djärva antaganden. Utifrån dessa antaganden kunde han ställa upp följande samband över spänningen i jorden under en punktlast.

$$\sigma_z = \left(\frac{3Q}{2\pi r^2} \right) \cos^3 \theta \quad (1)$$

där



σ_z = vertikal spänning i punkten Z (Pa)

Q = punktlast (N)

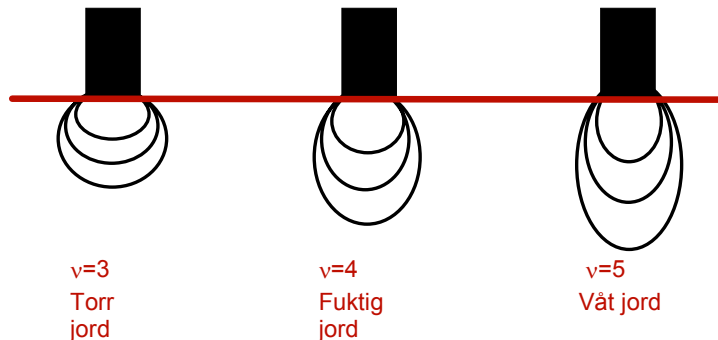
R = avstånd mellan Q och Z (m)

θ = vinkel mellan vertikal linje under Q och punkten Z

Fröhlich (1934) arbetade vidare med denna formel och kom fram till hur man kunde anpassa formeln bättre till olika jordar och dess vattenhalter, (2). Han införde en koncentrationsfaktor, ν , som är ett uttryck för spänningens utbredning vertikalt och horisontellt. I ett perfekt elastiskt medium är $\nu=3$.

$$\sigma_z = \left(\frac{\nu Q}{2\pi r^2} \right) \cos^\nu \theta \quad (2)$$

En högre koncentrationsfaktor än 3 innebär att trycket fördelar sig mer i horisontalled och mindre i vertikalled, se figur 3. En koncentrationsfaktor på 5 anses gälla för en fuktig jord medan en faktor på 3 anses gälla för en torr jord (Koolen och Kupiers, 1983).



Figur 3. Teoretisk tryckfördelning under däck vid olika fuktig jord.

I verkligheten kommer trycket från ett lantbruksdäck inte att kunna approximeras med endast en punktlast. Man kan då tänka sig att man delar upp understödsytan i en mängd delytor som kan beräknas var för sig. Trycket i en punkt, på ett visst djup under däckets kan då beräknas genom en summering av delyternas tryckpåverkan för punkten (Söhe, 1958).

Tryck och tryckfördelning i kontaktytan under ett däck

En traktors vikt kommer att bäras upp av luften i däcket. Man brukar säga att däckets tryck mot marken är det samma som ringtrycket i däcket. Detta är en ganska god approximation men i verkligheten kommer trycket under däckets att bli högre. Detta beror på att däckets har en viss styvhet och inte kommer att flyta ut idealiskt. Vore däckets fullständigt elastiskt skulle det bete sig som en ballong och flyta ut mot marken så att trycket under däckets aldrig blev högre än

ringtrycket. En fördubbling av hjullasten hade resulterat i en exakt fördubbling av understödsytan så att trycket i markytan inte blivit högre än ringtrycket. 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 under nabbar och mitt under däcket (Arvidsson, 2001).

Många undersökningar har gjorts angående hur ett däck understödsyta mot marken kommer att variera vid olika ringtryck och hjullast. Inte lika många undersökningar har inriktats mot att kartlägga tryckfördelningen under ett däck vid olika ringtryck och hjullaster. I samband med att försäljningen av radialdäck till lantbruket tog fart i början av 1990-talet fick bönderna helt nya möjligheter att sänka ringtrycken i däcken och minska markpackningen. Det blev också möjligt att öka dragkraftsuttaget, även under svåra förhållanden.

Hur tryckfördelningen i markytan under ett däck kommer att se ut beror bl. a. på hjullasten, ringtrycket 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. Det är detta maxtryck som är viktigt att bestämma för att man skall kunna förutsäga något om den eventuella packningen av jorden (Trautner, 2003).

Raper et al (1993) gjorde undersökningar av understödsytor och tryckfördelning under ett 470 mm brett radialdäck som kördes vid olika ringtryck och med olika hjullast. De installerade lastceller i däckets ribbor och mellan ribborna, sedan kördes däcket i lös jord. De fann att då ringtrycket höjdes koncentrerades tryckpåkänningen till mitten av däcket. Vid körning med låga ringtryck fick man den maximala tryckpåkänningen väldigt nära kanten av däcket.

Att bedöma genomsnittstrycket i en understödsyta utifrån ringtrycket är inte lätt. Parametrar som jordens hållfasthet, däckskonstruktion och hjullast har stor betydelse. Koolen (1978) fann att genomsnittstrycket under ett traktordäck, under särskilda förhållanden, kunde sägas vara 10-15 % högre än ringtrycket. Karafaith och Nowatzki (1978) beskrev tryckförhållandena i en ekvation.

$$p = c_1 p_i + p_c \quad (3)$$

där

p = Genomsnittstrycket i understödsytan (kPa)

p_i = Ringtrycket (kPa)

p_c = Genomsnittligt tryck orsakat av enbart däcksstommen, bestämdes till 33 kPa för den högsta hjullasten (320 kg).

c_1 = Konstant för däcksstyvheten, bestämdes till 1,0 för lågtrycksdäck.

Arvidsson & Ristic (1997) gjorde mätningar för maxtrycket på 20 cm djup med fyra olika lantbruksdäck. Det visade sig att konstanten c_1 i (3) för de fyra däcken antog värden av 0,52-0,72 då maxtrycket på 20 cm djup skulle uppskattas utifrån ringtrycket.

För att undvika jordpackning under bearbetningsdjup bör genomsnittstrycket under däcket inte överskrida 100 kPa. Ett så pass lågt tryck blir för många lantbruksmaskiner omöjligt att uppnå och för andra skulle det innebära väldigt kostsamma däcksutrustningar (Soane, 1980).

Hetherington et al (2002) undersökte olika metoder att förutsäga trycket under ett däck. Det gällde maxtrycket såväl som genomsnittstrycket under ett däck. En väldigt enkel ekvation ställdes upp för att beskriva nominella marktrycket, (Nominal Ground Pressure, NGP).

$$NGP = \frac{W}{2mbr} \quad (4)$$

där

W = fordonsvikt (N)

m = antalet axlar

b = däcksbredd (m)

r = däcksradi (m)

Genomsnittstrycket under däck uträknat utifrån denna ekvation jämfördes med andra beräknade och uppmätta värden. En metod var att mäta trycket i matjorden med lastceller och sedan multiplicera värdet med en faktor för att ta hänsyn till att tryckpåkänningen avtar med djupet. Problemet var dock att bestämma faktorns storlek på ett rättvisande sätt samt att faktorns värde kommer att variera med bl. a. jordmån och vattenhalt. Beräkningsmetoder som tog hänsyn till fler parametrar än de aktualiserade i (4) ovan utvärderades också. Parametrarna var bl. a. däckets nedsjunkning i jorden, däcksstommens sammanpressning samt profilhöjd på däck. Inte heller beräkningsmetoder innefattande dessa parametrar kunde ge tillförlitliga värden för genomsnittstrycket i markytan.

Enligt Söhne (1958) så är tryckfördelningen neråt i jordprofilen under t. ex. ett traktordäck beroende av hjullasten, storleken på kontaktytan mellan däck och jord, fördelningen av trycket i markytan samt jordens egenskaper i form av vatteninnehåll och densitet.

Att hitta rätt ringtryck har inte bara betydelse för att minska risken för markpackning. Dragkraften som ett däck har möjlighet att uträtta mot ett underlag är direkt beroende av vilket ringtryck man har. Elonen et al (1996) undersökte olika radialdäcks dragkraftsförmåga då de kördes vid olika ringtryck men vid samma hjullast. Då ett radialkonstruerat lågprofildäck kördes med sjunkande lufttryck från 140 kPa till 40 kPa kom traktorns möjlighet att utveckla dragkraft mot underlaget att öka. Även undersöktes däckets understödsyta mot ett hårt underlag vid olika ringtryck. Då det ovan nämnda däckets ringtryck sänktes från 140 kPa till 40 kPa ökade kontaktytan med 70 %.

Hjullastens betydelse för tryckutbredningen neråt i markprofilen fick Blunden et al (1992) erfara då man gjorde mätningar med lastceller på två olika djup i jordprofiler. Ett hjul med 250 kPa ringtryck och 550 kg hjullast orsakade på 10 cm djup ett tryck på 125 kPa medan ett hjul med cirka fyra gånger högre hjullast orsakade ett tryck som var dubbelt så högt. Då trycket istället mättes på 40 cm djup var det cirka 6 kPa för den låga hjullasten medan det var cirka åtta gånger högre för den högre hjullasten.

Bailey et al (1996) mätte trycket i matjorden i en lättlera och en mellanlera, med sensorer vid olika ringtryck och hjullaster. En höjning av hjullasten innebar ett högre tryck i marken samt en högre skrymdensitet, även då ringtrycket hölls konstant. Även konstaterades att en höjning av ringtrycket vid konstant hjullast ökade tryckpåkänningen och skrymdensiteten i jorden. Raper et al (1993) fick liknande resultat då lastceller installerades i nabbarna och mellan dessa på ett radialdäck. Då man höjde hjullasten men höll ringtrycket konstant kom den maximala tryckpåkänningen att öka, tryck högre än ringtrycket uppmättes också.

Trautner et al (2002) gjorde mätningar av trycket i en lerjord vid olika tidpunkter på året och därmed vid olika vattenhalter. Trycket på tre djup i alven mättes med en utrustning som tagits fram av Arvidsson och Andersson (1997). Man fann tendenser för att det vertikala trycket i jorden ökade vid en låg vattenhalt. Vid en hjullast på 7 ton uppmätte man på 30 cm djup under hösten ett högsta tryck på ca 400 kPa, medan det under sommaren uppmättes till ca 600 kPa.

Att mäta rättvisande tryck i jorden med lastceller är inte lätt. William et al (1982) undersökte inte mindre än 15 olika parametrar och dess betydelse för tryckmätningens trovärdighet. Man fann att lastcellens utformning hade stor betydelse för vilket tryck som mättes. Likaså hade markens egenskaper och dess beteende i ytan av lastcellen stor betydelse för utfallet av mätningen. En slutsats blev att det vore önskvärt med en kalibrering av lastcellerna vid varje mättillfälle, i just den jord man tänkte göra mätningarna. Detta blir naturligtvis mycket komplicerat och i de flesta fall omöjligt. Med hänsyn till detta kan det vara missvisande att jämföra tryckmätningar som gjorts vid olika tillfällen och med olika mätutrustning och som dessutom blivit kalibrerad på olika sätt.

Syfte

Detta examensarbete innefattar tre stycken experimentserier. Syftet var att studera tryckutbredning i jordprofilen vid olika hjullaster, för att bättre kunna ange risken för packning i matjord och alv. Huvudsyftet var dock att studera hur trycket i matjorden beror av ringtryck och hjullast. Även önskades det att bedöma riktigheten i det gamla påståendet att "Det är ringtrycket som avgör trycket i matjorden medan hjullasten bestämmer trycket i alven." Många mätningar som gjorts under senare år har nämligen visat att det inte verkar vara hela sanningen (Arvidsson et al, 2001).

Betupptagare, körning med olika axellaster, ringtryck och däck (experiment Svenstorp).

Syftet var att göra mätningar på ett antal betupptagare som kördes med olika axellaster, däcksutrustning och ringtryck. Mätningar skulle göras för tryck och deformationer i alven samt tryck i matjorden. Även skulle cylindrar tas ut för att möjliggöra mätningar av mättad genomsläpplighet, makroporositet och torr skrymdensitet. Dessa parametrar skulle användas för att försöka utvärdera de olika upptagarnas negativa påverkan på jorden i relation till varandra. Slutligen skulle penetrationsmotståndet i hjulspåren bestämmas.

6-radig större betupptagare eller 6-radig mindre betupptagare följd av fältvagn (experiment Krenkerup).

Syftet var att jämföra två olika system vid betupptagning. Ett system med en 6-radig relativt lätt betupptagare som ständigt var i behov av en assisterande fältvagn jämfördes med en 6-radig relativt tung betupptagare som inte var i behov av en assisterande fältvagn i samma utsträckning. Försöket syftade till att jämföra de olika systemen vad gäller tryck och deformation i alven samt tryck i matjorden. Det var önskvärt att kunna göra ett utlåtande angående vilket system som långsiktigt verkar mest negativt på markens produktionsförmåga.

Mätningar av trycket i matjorden vid olika hjullaster och ringtryck (experiment Ultuna).

Syftet med mätningarna var att bestämma tryckets storlek och dess utbredning i matjorden då man körde däck med olika hjullaster men vid samma ringtryck. Mätningarna skulle göras med rekommenderat ringtryck, samt då man körde dem vid markant lägre och högre ringtryck än rekommenderat.

Material och metoder

Sammantaget gjordes mätningar på tre olika platser med helt skilda förutsättningar vad gällde jordmån och vattenhalt. Experimenten kommer att benämnas efter försöksplatserna: Svenstorp, Krenkerup och Ultuna. På Svenstorp gjordes mätningar av tryck och deformationer i alven samt tryck i matjorden. Dessutom togs cylindrar ut i matjorden för bestämning av vattengenomsläpplighet, makroporositet och skrymdensitet. Även på Krenkerup gjordes mätningar av tryck och deformationer i alven samt tryck i matjorden. På Ultuna mättes endast tryckfördelning i matjorden och understödsytor på hårt underlag.

Mätutrustning för bestämning av tryck och vertikal deformation i alven.

Metoden för att bestämma den vertikala deformationen i jorden bygger på det fysikaliska sambandet att trycket i en vätska står i proportion till vätskepelarens höjd över en given punkt. Till försöken användes en utrustning framtagen av Arvidsson och Andersson (1997). Från en grävd grop borras vertikala hål in i profilväggen på olika djup, figur 4. I änden på dessa stansas ett hål med kvadratisk utseende (35 x 35 mm). I dessa hål installeras från gropen ett metallspjut som i sin främre ände har ett mät huvud (35 x 35 x 70 mm). I detta mät huvud finns en cylinder innehållande silikonolja. Oljan står i sin tur i förbindelse med en tryckgivare, placerad i gropen, via en slang. Tryckgivaren kan registrera den tryckförändring som uppstår då vätskepelaren (silikonoljan) flyttar sig uppåt eller neråt till följd av att mät huvudet följer jordens rörelser då t.ex. ett däck körs över markytan. Utrustningen har möjlighet att mäta +/-102 mm med en noggrannhet på 0,1 mm. Ovanpå mät huvudet finns även en lastcell installerad. Denna gör det möjligt att mäta trycket på de olika djupen. Sammantaget installeras tre mätspjut på tre olika djup. Signalen från dessa givare blir registrerad av en datalogger som i sin tur är kopplad till en PC.



Figur 4. Diskussioner kring gropen där mätsonder installerats på tre djup.

Mätutrustning för bestämning av tryck i matjorden.

Utrustningen för bestämning av tryck i matjorden består av fem stycken från varandra fristående lastceller. Dessa är 17 mm i diameter och är i sin tur installerade i en cirkulär aluminiumskiva med en diameter på 70 mm. Lastcellerna grävs ner från markytan, oftast på ett djup av 10 cm och på en linje vinkelrät mot körriktningen, figur 5. Avståndet mellan lastcellerna väljs varje gång utifrån de däcksbredder man kommer att undersöka. Vid samtliga mätningar valdes ett inbördes avstånd mellan lastcellerna så de mätte trycket under ena halvan av däckets. Mitten på däckets kördes sedan rakt över lastcellen längst till höger i färdriktningen. På detta sätt kunde tryckfördelningen under vänsterhalvan av däckets registreras, tryckfördelningen under högerhalvan av däckets antogs sedan vara samma som under vänsterhalvan. Signalen från dessa lastceller blir registrerad av en datalogger som i sin tur står i förbindelse med en PC.



Figur 5. Mätning av tryckfördelningen i matjorden med lastceller nedgrävda under körspåret.

Svenstorp

Första mätserien gjordes på Svenstorp den 2 november 2002, i samband med arrangemanget Betans Dag. Vid detta tillfälle fanns ett antal olika betupptagare samlade.

Mätningarna utfördes under mycket torra förhållanden. En extremt regnfattig sommar i Skåne gjorde att förutsättningarna inte var de bästa för mätning av tryck och deformation. En vecka före mättillfället kom dock 15 mm regn på provplatsen, som gjorde matjorden fuktig till cirka 10-15 cm djup. Detta gjorde att förutsättningarna för att ta upp rena betor med minimal jordpackning var i det närmaste optimala. Å andra sidan var det svåra förhållanden avseende att ge rättvisande mätningar både vad gällde tryck i matjord samt tryck och deformationer i alv.

Försök gjordes att blöta upp ett begränsat område. En vattentunna kördes ut i fält och vattnet fick sakta infiltrera markprofilen på ett begränsat område. Mätningar av tryck gjordes i detta uppblöta område för ett av totalt fyra block. Vattenhalten på Svenstorp anges i tabell 1, ”Blött” avser det område som bevattades medan ”Torr” avser icke bevattnat område. Kornstorleksfördelningen på mätplatsen återges även denna i tabell 1. Denna bestämdes med pipettmetoden.

Tabell 1. Kornstorleksfördelning och vattenhalt på Svenstorp

Djup (m)	Kornstorleksfördelning (%)					Vattenhalt (% g/g)	
	Ler	Mjäla	Mo	Sand	Mull	Blött	Torr
0,15	17,5	17,9	38,2	23,2	1,5	15,2	10,4
0,30	22,6	18,9	33,7	22,5	0,2	15,1	8,3
0,50	26,4	20,0	31,6	19,4	0,3	13,4	9,8

Tryck och deformation

Tryckfördelning och deformation i matjord samt alv mättes för totalt 10 led. Dessa representerades av 3-radiga, 6-radiga och 9-radiga betupptagare (figur 6) med olika däcksutrustning, tabell 2. De kördes med varierande ringtryck och hjullast. Medelvärden räknades ut från 3-4 mätningar. På den 6-radiga upptagaren fanns en utrustning som gjorde det möjligt att reglera ringtrycket kontinuerligt under gång på framhjulet. Detta utnyttjades i experimentsyfte så att ledet med 6-radig full upptagare med lågt ringtryck hade ett ringtryck på 150 kPa medan det sänktes till 90 kPa då upptagaren var utan last. Denna möjlighet utnyttjades även då cylinderprover togs ut och vid penetrometermätningar.



Figur 6. 9-radig betupptagare med en totalvikt på ca. 55 ton och med sin tyngd fördelad över hela arbetsbredden.

Tabell 2. De olika försöksleden på Svenstorp avseende tryckfördelning och deformation i matjord och alv samt för genomsläpplighet, skrymdensitet, makroporositet och penetrationsmotstånd i matjorden.

Led	Upptagare	Däck	Belastning	Hjullast (ton)	Däcks dimension	Ringtryck (kPa)
1	9-radig	Ytter	Full maskin	-	800-70 R38	180
2	9-radig	Ytter	Tom maskin	-	800-70 R38	180
3	6-radig	Fram	Full maskin	12.1	850/65-38 TWIN	240
4	6-radig	Fram	Tom maskin	8.3	850/65-38 TWIN	240
5	6-radig	Fram	Full maskin	12.1	850/65-38 TWIN	150
6	6-radig	Fram	Tom maskin	8.3	850/65-38 TWIN	90
7	3-radig	Boggie	Full maskin	3+3	16.9x38	200
8	3-radig	Boggie	Tom maskin	2+2	16.9x38	200
9	3-radig	Stort, singel	Full maskin	7.2	700-24.5	130*
10	3-radig	Stort, singel	Tom maskin	4.5	700-24.6	130*

*= Ringtryck vid tryckmät. var 200 kPa, 130 kPa var ringtrycket vid körn. i det plöjda området.

Genomsläpplighet, makroporositet och skrymdensitet.

Området där cylinderprover skulle tas ut plöjdes först (140 x 20 m) och delades därefter i tre block. Efter indelning i ytterligare mindre rutor, d.v.s. led, gjordes körningar med olika betuupptagare med varierande hjullaster. Anledningen till den föregående plöjningen var att luckra den uttorkade matjorden. Försöksleden redovisas ovan i tabell 2. Observera att för 6- och 9-radig upptagare så är det enbart framhjulen som passerat där proverna tas ut. Fyra stycken cylindrar togs ut per led och block för bestämning av mättad genomsläpplighet, makroporositet och skrymdensitet, figur 7. Efter vägning av cylindrarna vattenmättades de, varefter mätningen av den mättade genomsläppligheten gjordes med konstant tryckhöjd enligt Andersson (1955). Värdena för genomsläpplighet logaritmerades först innan ett medelvärde kunde tas för dem. Logaritmeringen utfördes för att få värdena normalfördelade. Bestämning av makroporositeten gjordes efter att cylindrarna utsatts för ett vattenavförande tryck motsvarande 1 m vattenpelare i en avsugningsbädd. De porer som då tömts på vatten benämndes makroporer. Skrymdensiteten bestämdes efter att proverna torkats i 105 °C.



Figur 7. Uttagning av cylinderprover.

Penetrometermätningar

Penetrometermätningar gjordes även i det område där cylinderprover togs ut. Mätningarna gjordes i hjulspårens mitt ner till plogbotten. Vid utvärderingen av resultatet valdes att jämföra penetrationsmotståndet på 4 cm djup, där skillnaderna mellan de olika däckerna var som störst. Försöksleden redovisas ovan i tabell 2.

Krenkerup

En andra mätserie gjordes i Danmark, på Krenkerups gods som är beläget i det bördiga jordbrukslandskapet på Lolland. På godset odlas bl. a. sockerbetor, höstvet, vallutsäde, korn och höstraps. Jordarterna varierar från sand till styv lera. För att sköta jordbruket rationellt har man investerat i en rad större maskiner men samtidigt är man mycket medveten om markpackningens negativa inverkningar och är noggrann med val av däcksutrustning och ringtryck i däckerna.

Sockerbetesskörden sker för närvarande med en 6-radig betuupptagare med en totalvikt på cirka 27 ton med lass, vilket är fördelat på två axlar. (Benämns hädanefter ”liten” upptagare.) På grund av upptagarens relativt lilla tank tvingas man att hela tiden följa upptagaren med två stycken följevagnar som tar betorna till vändtegen eller till ett närbeläget betupplag. Dessa har fullastade inklusive traktorn en totalvikt på ca 38 ton som är fördelat på fem axlar, varav ca 9,2 ton är axelbelastning på vagnens tre axlar. Detta system innebär mycket körningar på fältet med höga totalvikter för fordonen. Då traktor med följevagn lägger upp betorna på en given vändtegen eller lämnar fältet på ett och samma ställe för att nå vägen kan det ofta bli mycket intensiv trafik på begränsade avsnitt av fältet.

Godset provkörde under hösten 2002 en 6-radig betuupptagare med en betydligt större tank än den man använder i dagens läge, (benämns hädanefter ”stor” upptagare). Upptagaren har en totalvikt, fullastad, på ca 54 ton. Denna vikt fördelar maskinen på tre axlar. Tanken med denna upptagare är att man skall slippa följa den hela tiden med följevagnar. Upptagaren skall kunna klara av att köra långa drag på fältet och ta med sig betorna själv till vändtegen där de lastas av direkt på marken. På detta sätt skulle man slippa att i så stor utsträckning som i dagens läge vara beroende av följevagnar som ständigt trafikerar fältet. Samtidigt minskar behovet av arbetskraft. Försöket utfördes på en lättlera med kornstorleksfördelning och vattenhalt enligt tabell 3. Kornstorleksfördelningen bestämdes med pipettmetoden.

Tabell 3. Kornstorleksfördelning och vattenhalt på Krenkerup

Djup (m)	Kornstorleksfördelning (%)					Vattenhalt (% g/g)
	Ler	Mjåla	Mo	Sand	Mull	
0-20	13,1	15,1	46,6	22,6	1,3	16,4
30-50	18,9	16,8	43,3	19	0,1	15,6
50-70	27,1	16,0	38,8	15,8	0	18,6

Tryckfördelning i matjord samt tryck och deformation i alv.

Tryckfördelningen i matjorden samt tryck och deformation i alven mättes för de tre ekipagen och dess olika hjul. I matjorden, på 10 cm djup, mättes trycket och dess utbredning under däckens hela bredd. Tryck och deformation i alven mättes för två djup, 30 och 70 cm. Det gällde 6-radig ”stor” betupptagare, 6-radig ”liten” betupptagare samt traktor med följevagn. Samtliga ekipage kördes med full last. I tabell 4 framgår försöksleden.

Tabell 4. De olika försöksleden avseende tryckfördelning i matjorden samt tryck och deformation i alven. Hjullasterna motsvarar vikter vid full last

Led	Ekipage	Hjul	Hjullast (ton)	Däcks dimension	Ringtryck (kPa)
1	"Liten" upptagare	Främre	9	650/85 R38	180
2	"Liten" upptagare	Bakre	4,6	750/45-30.5 TWIN	160
3	Traktor	Främre	2,3	480/70 R28	90
4	Traktor	Bakre	2,8	580/70 R38	100
5	Vagn	Främre	4,6	24 R20.5	150
6	Vagn	Mitten	4,6	24 R20.5	150
7	Vagn	Bakre	4,6	24 R20.5	150
8	"Stor" upptagare	Främre	10,2*	800/65 R32	220
9	"Stor" upptagare	Mitten	12,6*	73x44-32	240
10	"Stor" upptagare	Bakre	8,4*	66x43-25	190

*= Vikter beräknade utifrån vikt av tom upptagare och dess last tagen i en fältvagn.

Viktfördelningen per hjul uträknad utifrån viktfördelningen per hjul för en tom upptagare.

Ultuna

Mätningarna gjordes på en mellanlera under fuktiga förhållanden den 28 november 2002.

Körningar gjordes med två stycken traktorer, en MF 6290 på 135 hk, ”Stora traktorn”, och en MF 4245 på 85 hk, ”Lilla traktorn”. Tanken var att uppnå hjulaster på de olika traktorerna som rekommenderades vid körning med ringtrycket 100 kPa och i hastigheter upp till 30 km/h. För den Stora traktorn löstes detta genom att ett redskap hängdes efter traktorn. För den Lilla traktorn ställdes frontlastaren i ett givet läge. För framhjulet på den Stora traktorn uppnåddes inte en tillräckligt hög hjullast för att motsvara rekommenderad hjullast vid 100 kPa och farter upp till 30 km/h. Mätningarna togs ändå med för att åskådliggöra effekterna vid körning med markant lägre hjullast än rekommenderat, vid det givna ringtrycket.

Förutom att köra däcken vid rekommenderat ringtryck, för de aktuella hjullasterna, så kördes även däcken vid 30 % lägre och 50 % högre ringtryck än de rekommenderade. De, enligt tillverkarna, rekommenderade hjullasterna vid dessa ringtryck anges i tabell 5 tillsammans med hjullaster och däckdimensioner som användes för de båda traktorerna.

Tabell 5. Däckdimensioner, fabrikat och hjullaster för de båda traktorerna.

Stora traktorn:				
		Dimension		Fabrikat
Total vikt: 8910 kg		Fram:	540/65 R 28	Michelin
		Bak:	650/65 R 38	Michelin
	Hjullast vid körning	Rekommenderad hjullast vid 30 km/h och 70 kPa	Rekommenderad hjullast vid 30 km/h och 100 kPa	Rekommenderad hjullast vid 30 km/h och 150 kPa
Fram:	1055 kg	1870	2280 kg	2980
Bak:	3400 kg	2905	3550 kg	4625

Lilla traktorn:				
		Dimension		Fabrikat
Total vikt: 5110 kg		Fram:	11.2 R 28	Good Year
		Bak:	13.6 R 38	Good Year
	Hjullast vid körning	Rekommenderad hjullast vid 30 km/h och 70 kPa	Rekommenderad hjullast vid 30 km/h och 100 kPa	Rekommenderad hjullast vid 30 km/h och 150 kPa
Fram:	1080 kg	950	1100 kg	1320
Bak:	1475 kg	1338	1500 kg	1900

Tryckfördelning och maxtryck i matjorden.

De fem lastcellerna grävdes ned i matjorden på 10 cm djup med ett inbördes avstånd på 9 cm. Detta innebar att den totala mätbredden blev 36 cm. Detta mått var anpassat för att täcka hela bredden av det bredaste däck, nämligen den stora traktorns bakhjul. Då den lilla traktorn har betydligt smalare däck kom antalet mätpunkter som hamnade rakt under däck att bli betydligt färre, med följd att tryckfördelningen under dessa däck blev bestämd med lägre upplösning. Värdena för uppmätta maxtrycket beräknades som ett medelvärde ur fyra upprepningar per däck.

Marktryckets avklingning med djupet

Det tryck som mättes på 10 cm djup antogs i princip motsvara trycket i understödsytan. Då trycket klingar av med djupet kommer detta inte att stämma helt och hållet. En modellberäkning av tryckets förändring med djupet utfördes för att bedöma antagandets rimlighet. Ett antagande gjordes om att understödsytan kunde approximeras med en cirkulär skiva samt att trycket var jämt fördelat i denna yta (Söehne, 1958). Jorden antogs vara fuktig, $\nu=4$.

Genomsnittstryck i understödsytan och under ribborna.

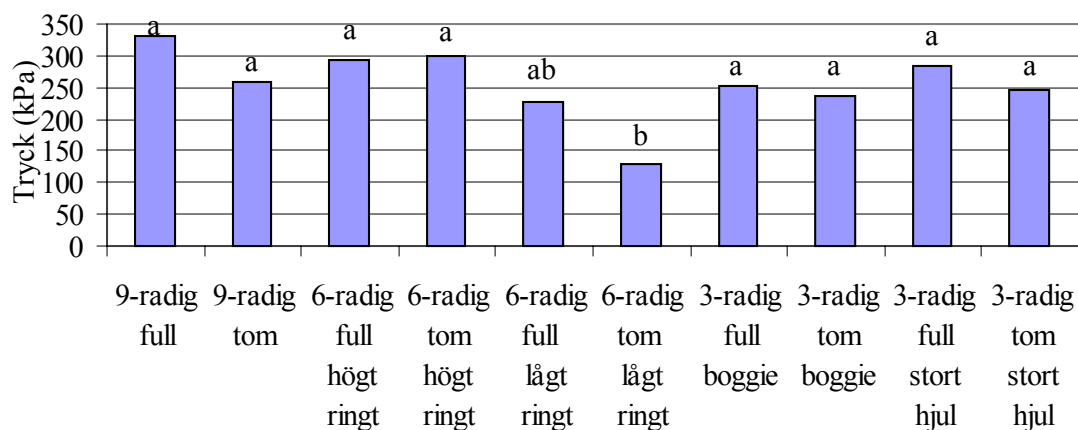
De olika däckens understödsytor bestämdes, vid olika ringtryck, då de stod på ett hårt underlag. Däcken kördes upp på en pappskiva och med sprayfärg gick det att måla runt däck så att de nabbar som var i kontakt med underlaget framträdde. Utifrån denna avbildning ritades en tänkt understödsyta upp motsvarande det område som låg innanför de nabbar som avbildats. Med utgångspunkt ifrån hjullasterna och de uppritade understödsytorna kunde ett genomsnittligt tryck räknas ut för ytan. Efter att även anläggningsytan för enbart ribborna räknats ut kunde det genomsnittliga trycket under dessa beräknas. Värdena för beräknat genomsnittligt tryck i understödsytan samt under ribborna är beräknade utifrån en upprepning.

Resultat

Svenstorp

Tryck och deformation

Mätningarna av trycket på 15 cm djup redovisas i figur 8. Det lägsta trycket i matjorden uppmättes från 6-radig tom betupptagare med lågt ringtryck. Högsta trycket uppmättes under den 9-radiga upptagarens ytterhjul. För den 6-radiga tomma upptagaren mer än halverades tryckpåkänningen då ringtrycket ändrades från högt ringtryck till lågt ringtryck, (240 kPa till 90 kPa).

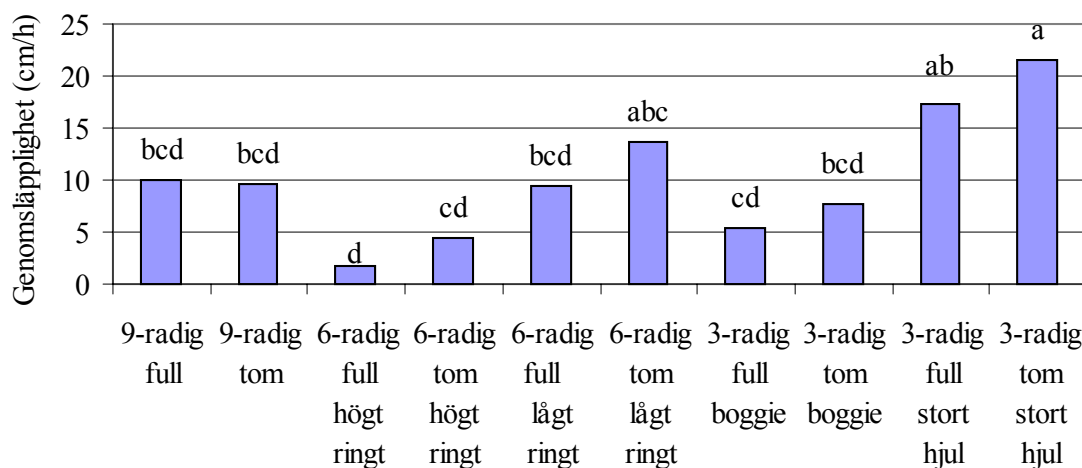


Figur 8. Trycket på 15 cm djup. Bokstäver ovan staplarna anger signifikansnivå. Led som innehåller en gemensam bokstav är inte signifikant skilda ($P < 0,05$).

Mätningarna för deformation i matjord och alv samt mätningarna för trycket i alven gav inga resultat som gick att utvärdera. Anledningen till detta kan nog antas vara de extremt torra förhållandena.

Genomsläpplighet, makroporositet och skrymdensitet.

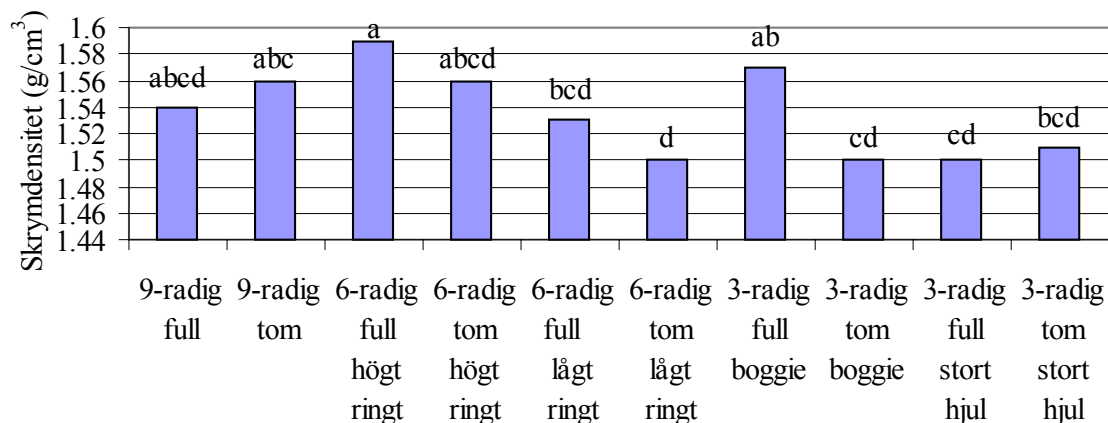
Vattengenomsläppligheten för de jordprover som togs i den plöjda matjorden för respektive upptagare redovisas i figur 9. Jordprover från den 3-radiga, tomma, upptagarens stora hjul hade den största vattengenomsläppligheten. Den 6-radiga fulla upptagaren med det höga ringtrycket medförde den lägsta vattengenomsläppligheten.



Figur 9. Mättad genomsläpplighet för jordprover tagna i matjorden. Bokstäver ovan staplarna anger signifikansnivå. Led som innehåller en gemensam bokstav är inte signifikant skilda ($P < 0,05$).

Mätningarna för andelen makroporer i matjorden gav endast att ledet ”3-radig tom stort hjul” hade en signifikant högre ($P < 0,05$) andel makroporer än ledet ”3-radig full boggie”, som hade den lägsta andelen makroporer. Andelen makroporer var i genomsnitt ca 14 %.

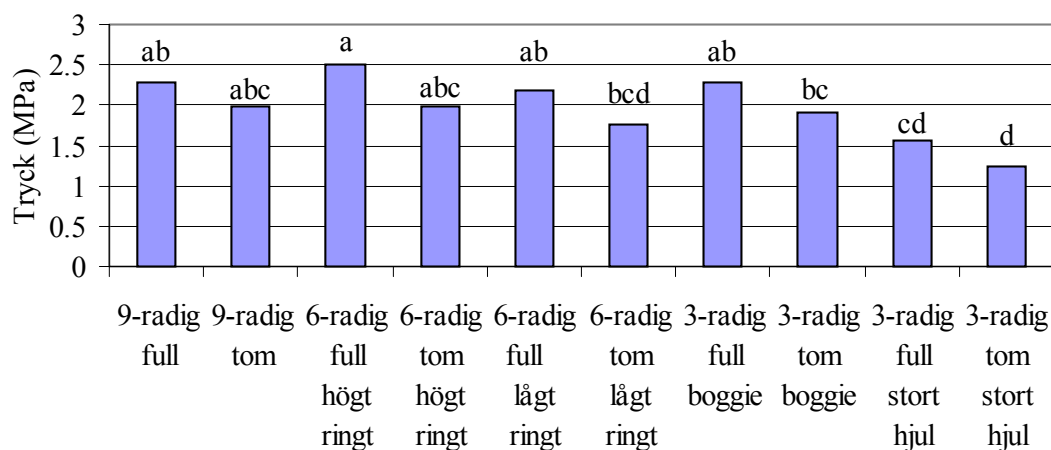
Den lägsta skrymdensiteten uppmättes där den 6-radiga, tomma upptagaren kört med lågt ringtryck. Den högsta skrymdensiteten uppmättes efter den fullastade 6-radiga upptagaren körd med högt ringtryck. Resultatet visas i figur 10.



Figur 10. Skrymdensitet för jordprover tagna i matjorden. Bokstäverna ovan staplarna anger signifikansnivån. Bokstäver ovan staplarna anger signifikansnivå. Led som innehåller en gemensam bokstav är inte signifikant skilda ($P < 0,05$).

Penetrationsmotstånd

Genomgående uppmättes ett högre penetrationsmotstånd på 4 cm djup då upptagarna körts med last än då de körts utan last, för respektive hjul, figur 11. Högst penetrationsmotstånd uppmättes för 6-radig full upptagare med högt ringtryck. Det lägsta motståndet uppmättes för den 3-radiga tomma upptagarens stora hjul.

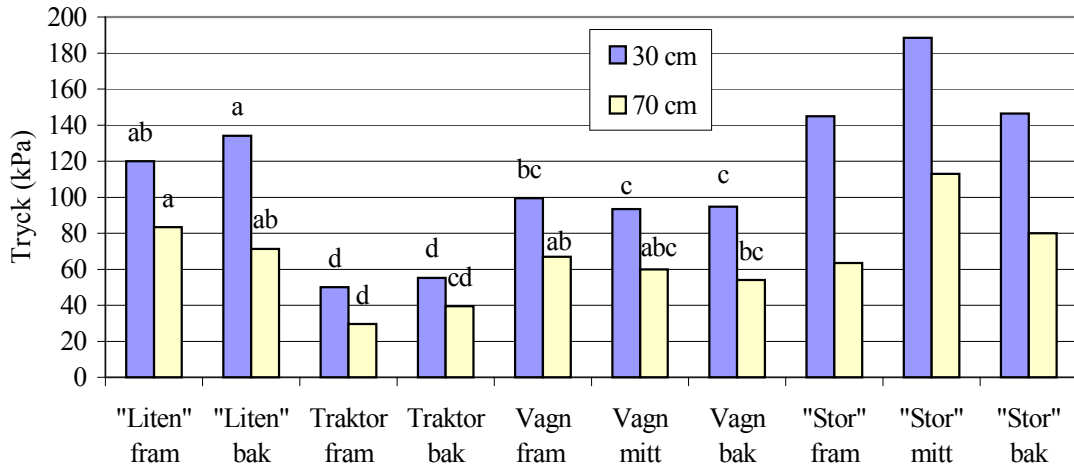


Figur 11. Penetromettermotstånd på 4 cm djup i hjulspårens mitt. Bokstäverna ovan staplarna anger signifikansnivån. Led som innehåller en gemensam bokstav är inte signifikant skilda ($P < 0,05$).

Krenkerup

Tryck och deformation i alven för de tre ekipagen körda med full last.

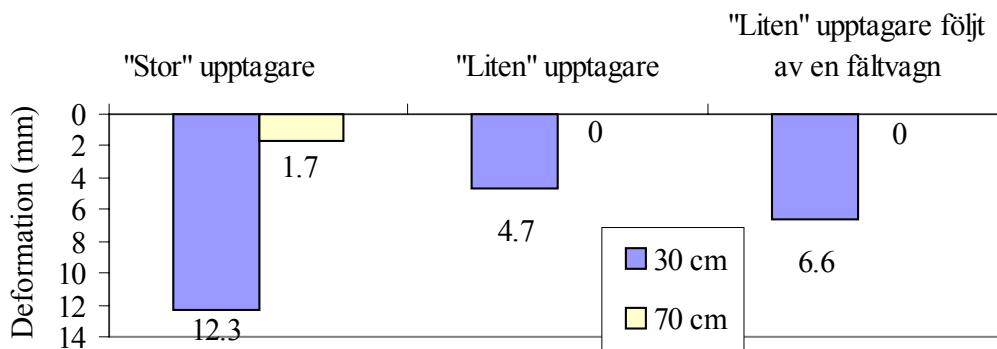
I figur 12 redovisas resultatet av tryckmätningarna i alven för de olika ekipagen. På grund av tekniska problem fick vi inte önskat antal mätningar för den ”stora” upptagaren. Detta medförde att den inte kunde tas med i den statistiska analysen för att där jämföras mot de övriga ekipagen och dess däck. Högsta trycket, både på 30 cm och 70 cm djup, uppmättes för den ”stora” upptagarens mittersta hjul. På 30 cm djup var trycket från vagnens alla hjul betydligt högre än



Figur 12. Tryck på 30 cm och 70 cm för de olika hjulen vid mätningar på Krenkerup. Bokstäver ovan staplarna anger signifikansnivå. Led som innehåller en gemensam bokstav är inte signifikant skilda ($P < 0,05$).

för traktorns båda däck. På de två djupen var trycket från den ”lilla” upptagarens båda hjul markant högre än från traktorns båda däck.

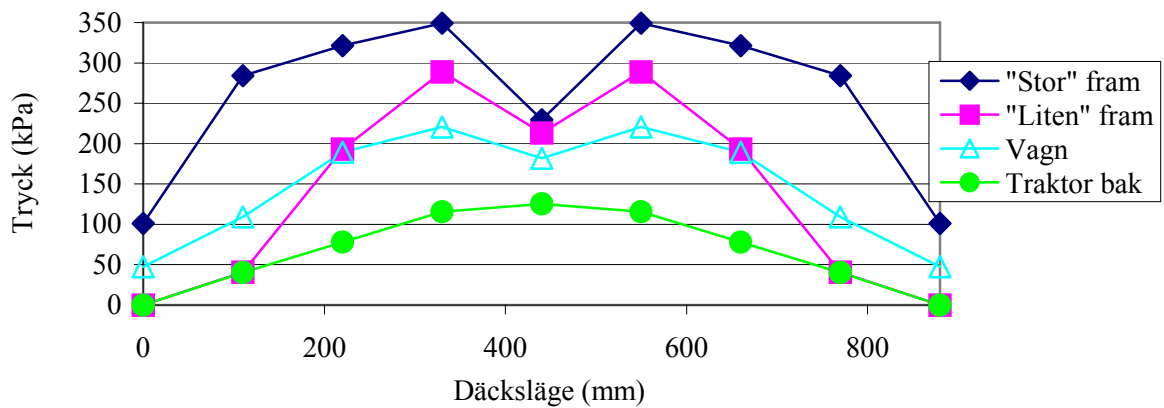
Den kvarstående, plastiska, rörelsen mättes på 30 cm och 70 cm djup. Resultatet presenteras i figur 13 och motsvarar den totala rörelsen som uppkommit efter att alla hjulen passerat mätsonden. Den ”stora” upptagaren orsakade den största packningen både på 30 cm och 70 cm djup. Längst till höger i figur 5 redovisas den totala packningen efter att först den ”lilla” upptagaren passerat och direkt därpå, traktorn med följevagnen. Tilläggas bör dock att vi inte utnyttjade den ”stora” upptagarens möjlighet till att vinkla ut bakänden och dess däck för att få en jämnare packning över hela arbetsbredden. Upptagaren kördes med de tre hjulaxlarna i en rak linje efter varandra. Ingen statistisk analys gjordes av mätvärdena.



Figur 13. Total plastisk rörelse på 30 cm och 70 cm djup efter de olika ekipagen.

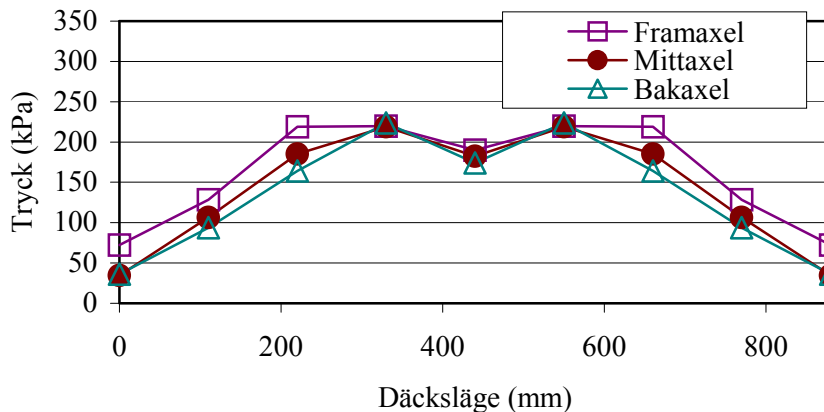
Tryckfördelning i matjorden

I figur 14 presenteras den uppmätta tryckfördelningen under fyra av däcken. Det gäller ”stor” upptagares framhjul, ”liten” upptagares framhjul, traktorns bakhjul samt ett medelvärde för vagnens tre hjulaxlar. Signifikanta skillnader finns mellan ”stora” upptagarens framhjul och traktorns bakhjul då man tittar på hjulens mittområde. Inga signifikanta skillnader uppmättes mellan de båda upptagarna och fältvagnen.



Figur 14. Tryckfördelning under upptagarnas respektive framhjul, traktorns bakhjul samt ett medelvärde för vagnens tre hjulaxlar.

Fältvagnen var utrustad med hydraulisk avfjädring på de tre axlarna. Som framgår av figur 15 så var trycket jämnt fördelat på de tre axlarna. Uppmätta maxtrycket på de tre hjulen skiljde sig inte mycket åt.



Figur 15. Tryckfördelning under fältvagnens tre hjulaxlar på 10 cm djup, avseende uppmätta maxtrycket, då de körts med samma ringtryck, 150 kPa.

Ultuna

Tryckfördelning i matjorden samt beräknat genomsnittligt tryck i däckens understödsyta och under dess ribbor.

I tabell 6 redovisas det uppmätta maxtrycket i matjorden, det beräknade genomsnittliga trycket i understödsytan samt det beräknade genomsnittliga trycket under ribborna. Den statistiska analysen visade att det fanns signifikanta skillnader i det uppmätta maxtrycket mellan däcken, oberoende av ringtrycket. Den stora traktorns bakhjul gav upphov till det högsta trycket av de fyra olika däcken. Inte oväntat så uppmättes ett högre tryck i matjorden då däcken kördes med högre ringtryck.

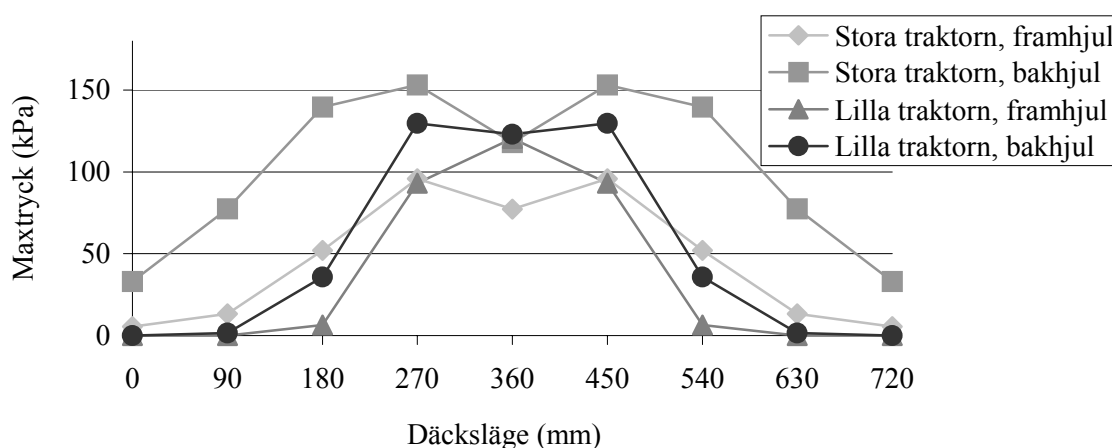
Det beräknade genomsnittliga trycket i understödsytan, under de fyra däcken, blev genomgående lägre än ringtrycket vid körning med 150 kPa ringtryck. Vid körning med 70 kPa ringtryck blev det beräknade trycket i understödsytan genomgående högre än ringtrycket under samtliga däck.

Beräknat genomsnittligt tryck under ribborna blev som högst under den lilla traktorns framhjul, hela 716 kPa vid körning med 150 kPa ringtryck.

Tabell 6. Sammanställning över uppmätt maxtryck på 10 cm djup, beräknat genomsnittligt tryck i hela understödsytan och genomsnittligt tryck under ribborna för de fyra hjulen då de körts med tre olika ringtryck. Bokstäverna efter mätvärden anger signifikansnivån. Mätvärden som efterföljs av en gemensam bokstav är inte signifikant skilda ($P < 0,05$).

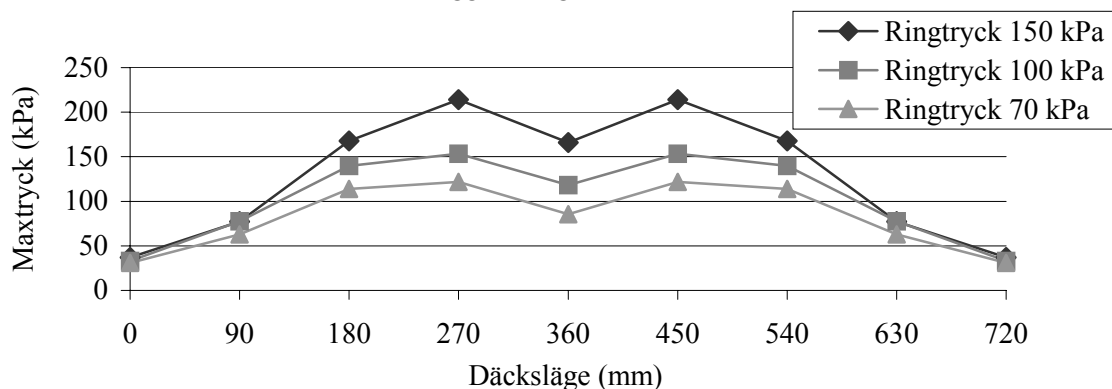
		Ringtryck (kPa)	Uppmätt maxtryck på 10 cm djup. (kPa)	Beräknat genomsnittligt tryck i understödsytan. (kPa)	Beräknat genomsnittligt tryck under ribborna. (kPa)
Stora traktorn	Fram	150	122	117	405
	Fram	100	103	92	363
	Fram	70	87	82	322
	Bak	150	214	142	521
	Bak	100	156	112	412
	Bak	70	129	92	349
Lilla traktorn	Fram	150	139	125	716
	Fram	100	123	114	585
	Fram	70	99	105	474
	Bak	150	161	102	582
	Bak	100	139	94	509
	Bak	70	102	81	431
Stora traktorn	Fram		104c		
	Bak		166a		
Lilla traktorn	Fram		120bc		
	Bak		134b		
Däck körda med 150 kPa ringtryck			159a		
Däck körda med 100 kPa ringtryck			130b		
Däck körda med 70 kPa ringtryck			104c		

I figur 16 redovisas resultatet av körningarna med de fyra olika däcken då de kördes med rekommenderat ringtryck, 100 kPa, vid respektive hjullast. Det som visas är uppmätta maxtrycket under däckens hela bredd. Genomgående var det så att en högre hjullast gav upphov till ett större tryck, på 10 cm djup, även då ringtrycket var det samma i de olika däcken.



Figur 16. Tryckfördelning under de olika traktorernas fram- och bakhjul. Figuren visar de uppmätta maxtrycken under däcken som ett medelvärde av tre upprepningar. Ringtrycket är för samtliga däck 100 kPa.

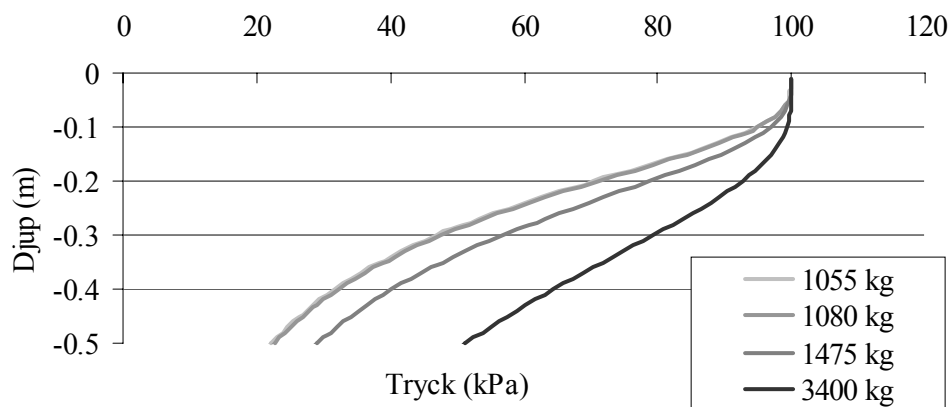
Då ringtrycket höjdes med 50 % från det rekommenderade ökade den maximala tryckpåkänningen i matjorden för samtliga hjul. Då ringtrycket höjdes med 50 % i den stora traktorns bakdäck kom det maximala uppmätta trycket i matjorden att höjas med 40 %. Likaså sänktes den maximala tryckpåkänningen i matjorden, för samtliga däck, då ringtrycket sänktes med 30 % från det rekommenderade. För den stora traktorns bakhjul gällde att, då ringtrycket sänktes med 30 % kom det maximala uppmätta trycket i matjorden att sänkas med 20 %. Vidare kan man utläsa att det högsta maxtrycket under däckets inte verkar uppkomma mitt under däckets, inte ens då däckets körs med det högsta ringtrycket. Istället uppmättes det högsta trycket mellan däckets mitt och dess kant. Detta åskådliggörs i figur 17.



Figur 17. Tryckfördelning under den stora traktorns bakhjul då den körts med 150, 100 och 70 kPa ringtryck.

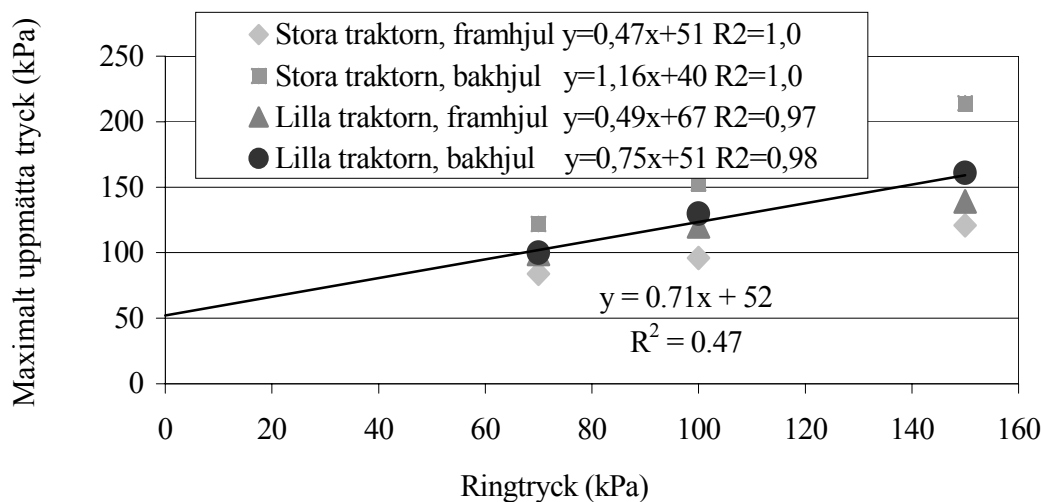
Marktryckets avklingning med djupet

Resultatet av den beräkning som gjordes för tryckets teoretiska avklingning med djupet visas i figur 18. I figuren redovisas marktrycket under de fyra däcken då de alla antogs ha ringtrycket 100 kPa. Man kan tydligt se att trycket klingar av betydligt fortare med djupet för en låg jämfört med en hög hjullast. För den lägsta hjullasten, 1055 kg, är trycket på 10 cm djup ca 95 kPa.



Figur 18. Teoretisk beräkning av tryckets avklingning med djupet vid olika hjullaster.

I figur 19 ses maximalt uppmätta trycket i matjorden som funktion av ringtrycket. En regression gjordes för respektive däck. Resultatet därav blev att en högre hjullast gav en högre lutningskoefficient för linjen. Även gjordes en regression med alla mätvärden för de olika däcken. Liksom i tabell 9 framgår det här att man riskerar att underskatta maximala tryckpåkänningen i matjorden utifrån ringtrycket, då det handlar om ringtryck lägre än ca 150 kPa.



Figur 19. Förhållandet mellan maximalt uppmätt tryck på 10 cm djup och ringtryck i däcken.

Diskussion

Betupptagare

Svenstorp

Mätserien som gjordes i samband med arrangemanget Betans Dag i oktober 2002 gav inte den stora mängd mätdata vi hade hoppats på. Till största delen berodde det på de extrema förhållandena som rådde vid mättillfället men det uppstod även tekniska problem som kom att försämra kvalitén på mätnoggrannheten. Den långvariga torkan som drabbat Skåne denna sommar gjorde att alven och större delen av matjorden var fullständigt uttorkad. Veckan innan mättillfället kom dock en liten regnskur och blötte upp det översta av matjorden men innan detta regn omgärdades betupptagarna ovanligt nog av stora dammoln. Att förvänta sig att mäta deformationer djupare ner i alven under dessa förhållanden var inte realistiskt. Det försök som gjordes att blöta upp jordprofilen hade viss effekt men svårigheten var att få en jämn vattenmängd att infiltrera jordprofilen djupt ner i alven.

Under dessa torra förhållanden är det även svårt att få till en korrekt installation av mätutrustningen. De använda lastcellerna som kan mäta tryck i marken kräver en god anslutning mot jorden för att ge rättvisande resultat. Lastcellens mätyta är endast 17 mm i diameter så i en torr jord kan det bli problem att få kontakt över hela ytan. Skulle man inte få kontakt över hela ytan är det sannolikt att lastcellen kommer att mäta en lägre kraft och att man därmed kommer att underskatta trycket. Metoden att installera mätspjut, med dessa lastceller i änden, ger däremot en unik möjlighet att mäta trycket i ostörd jord. De fem lastceller som används för att mäta trycket och dess utbredning i matjorden installeras däremot genom att man gräver ner dem från markytan och täcker över dem med lös jord. Så länge jorden är fuktig och formbar borde det dock inte vara något problem att få god kontakt med dessa lastceller.

Den 3-radiga upptagaren har en funktion som gör det möjligt att skjuta ut boogiehjulen i sidled vid körning i fält. Detta kommer att göra upptagaren mer stabil samt ändra viktförhållandet mellan hjulen något. Vid körningarna i det plöjda området kunde boogiehjulen inte köras i sitt yttersta läge eftersom de då hade spårat med traktorns däck och gjort det omöjligt att utvärdera enbart boogiehjulens verkan på jorden. Boogiehjulen var alltså inskjutna något från sitt yttersta, ordinarie, läge vid mätningarna.

Vad som kan sägas vara anmärkningsvärt vad gäller mätningarna av trycket på 15 cm djup är det relativt låga tryck som uppmättes under den 6-radiga upptagarens framhjul då den kördes utan last och med det lägsta ringtrycket (90 kPa). Trycket här var betydligt lägre än under de övriga upptagarnas däck då dessa också kördes utan last.

Metoden att plöja ett område i ett betfält för att sedan köra där och göra mätningar för de olika upptagarna kan tyckas kontroversiell då en betupptagare knappast kommer att köras under dessa förhållanden under praktisk drift. Metoden gjorde det däremot möjligt att jämföra upptagarna i ett relativt homogent medium då den plöjda jorden erbjöd lika förhållanden för alla upptagare. Mot bakgrund av detta skall kanske inte mätvärdenas absolutvärden från detta område jämföras mot mätvärden från andra rapporter utan jämförelsen skall snarare ske mellan de upptagare som deltog i detta försök.

Av värdena för genomsläpplighet kan man utläsa att ett högt ringtryck på den 6-radiga upptagaren gav en betydligt sämre genomsläpplighet än då den körs med ett lägre ringtryck, oberoende av last. Även värdena för skrymdensiteten talar för den positiva effekt man får av ett sänkt ringtryck i den 6-radiga upptagaren. Vad gäller den 3-radiga upptagaren så kan man utläsa vissa skillnader mellan boogieaxeln och singelhjulet vad gäller dess påverkan av matjorden. Både när man tittar på genomsläpplighet och skrymdensitet, då maskinen är full, så framstår det som att boogieaxeln har större negativ påverkan på jorden än det stora singelhjulet. Detta kan vara en indikation på att däcksutrustningen kunde varit bättre avvägd på boogieaxeln än den är, i relation till den viktsfördelning som finns på en full maskin av denna modell.

Penetrationsmotstånden i hjulspåren uppmättes till ca 1,5-2,5 MPa på 4 cm djup under markytan. Enligt Boone et al (1994) är 3,0 MPa i penetrationsmotstånd en kritisk gräns för när rottillväxten i marken blir mycket ringa men redan ett värde på 1,5 MPa kommer att klart sätta ned rottillväxthastigheten. Ett värde för penetrationsmotståndet säger dock inte allt utan olika växter har olika tolerans mot ett högt motstånd likväl som motståndet kan variera mycket beroende på jordart, vattenhalt och strukturtillstånd.

Krenkerup

De mätningar som utfördes i Danmark gjordes under omständigheter som får anses vara betydligt mer vanliga betupptagningsförhållanden än dem som rådde i Skåne i början av oktober. Ett antal regnperioder under hösten hade blött upp i princip hela jordprofilen till åtminstone en meters djup. Mätningarna för tryck och deformation i alven gjordes under pågående betupptagning, vilket betydde att jordprofilen varit helt ostörd sedan vårbruket. Resultatet av tryckmätningarna i alven visade att den ”stora” upptagarens mitthjul orsakade det högsta trycket både på 30 cm och 70 cm. Maxtrycket från detta hjul var ca 115 kPa på 70 cm djup vilket får anses vara ett mycket högt tryck i relation till ringtrycket. Värt att notera är också den ojämna tryckfördelningen på 30 cm och 70 cm mellan den ”stora” upptagarens mitthjul och dess bakhjul. Däcken sitter på upptagaren alldeles intill varandra men dock inte på en boogieaxel och är av olika dimension.

Samtliga ekipage orsakade deformationer i jorden djupare än plöjningsdjup. I det långsiktiga perspektivet är detta naturligtvis inget positivt för jorden. Deformationer på 70 cm djup uppmättes enbart efter den ”stora” upptagaren, då den körde med alla hjulen rakt över mätsonderna. Trots den höga totalvikten för ekipaget med traktor och följevagn uppmättes ingen deformation på 70 cm, endast en deformation på 30 cm djup. Anledningen till detta kan nog sägas vara att lasten fördelades på många axlar och relativt jämnt på dessa samt att ringtrycket i samtliga däck var relativt låga. För samtliga maskiner användes dock samma ringtryck som i praktisk drift.

Den hydrauliska avfjädringen på fältvagnen lyckades mycket bra med att fördela trycket jämnt på de tre axlarna. Hjullasterna på fältvagnens däck blev vid fullt lass ca 4,6 ton vilket var betydligt över däckstillverkarens rekommendation på 3,8 ton vid det använda ringtrycket 150 kPa och med möjlighet till hastigheter upp mot 30 km/h.

Den största anledningen till att byta ut det nuvarande systemet med den ”lilla” upptagaren mot ett system med den ”stora” upptagaren var, enligt inspektoren på Krenkerup, att man skulle minska transportintensiteten på fältet. Detta förutsätter dock att fälten har ett fördelaktigt utseende med lagom långa drag och närhet till lämpliga avlastningsplatser. Har fälten inte det kommer man att vara tvungen att köra transportsträckor över fältet till avlastningsplatsen med full upptagare alternativt så blir man tvungen att assistera med en fältvagn. Att köra transportsträckor med en full upptagare över fältet kommer inte att vara positivt ur markpackningssynpunkt samtidigt som upptagningskapaciteten för upptagaren minskar markant. En fördel som den ”stora” upptagaren eventuellt har jämfört med den ”lilla” är en högre avverkningshastighet, d.v.s. högre kapacitet då den är i drift.

Tryck och tryckfördelning i matjord och understödsytan.

Mätningarna för tryckets storlek och dess utbredning i understödsytan av ett däck skedde genomgående på ett djup av 10 cm. Önskvärt vore dock att kunna mäta trycket precis i understödsytan. Detta är i praktiken mycket svårt beroende på att man kommer att mäta enormt stora tryck om man hamnar med tryckgivaren mitt under en ribba samt i vissa fall inget tryck då man hamnar mellan två ribbor. Mätutrustningen som användes i detta försök hade inte heller möjlighet att mäta de höga tryck som hade kunnat uppstå direkt under en ribba. Trycket som mäts på 10 cm borde dock kunna ge en ganska god fingervisning om hur det ser ut i det allra översta av matjorden. Resultatet av beräkningen för tryckets teoretiska avklingning, figur 18, visade också att på 10 cm djup har inte trycket hunnit ändra sig mycket ifrån trycket i understödsytan. En lägre hjullast gav en snabbare avklingning men för den lägsta hjullasten, 1055 kg, hade trycket endast sjunkit ca 5 %.

Ultuna

De resultat som erhöles av mätningarna på Ultuna var intressanta ur många aspekter. Det påstående om att, ”det är ringtrycket som bestämmer trycket i matjoden medan hjullasten bestämmer trycket i alven” som sedan länge ansåts gälla visade sig vara en sanning med modifikation. Mätningarna som gjordes i detta arbete visade ju nämligen entydigt att en högre hjullast gav upphov till ett högre tryck på 10 cm djup trots att ringtrycket var det samma. Detta talar för att en sänkt hjullast, genom t. ex. montering av dubbelmontage, kommer att vara positivt med hänsyn av att matjordpackningen borde minska. Genom denna åtgärd blir det även möjligt att sänka ringtrycket markant, vilket kommer att ha störst betydelse i sammanhanget.

En sänkning av ringtrycket i den stora traktorns bakdäck kom generellt att ge upphov till en jämnare tryckfördelning under däckets. Med tanke på däckets relativt stora bredd (650 mm) hade man kanske väntat sig att tryckpåkänningen rakt under däckets sidor skulle öka i takt med att ringtrycket sänktes samtidigt som däckets mitt skulle utöva ett relativt lägre tryck mot underlaget (Håkansson, 2000). Inte ens då ringtrycket höjdes med 50 % över det rekommenderade uppmättes det högsta trycket mitt under däckets. En möjlig orsak till detta är att däckets tjocka ribbor slutar på mitten och att däckets därmed inte borde vara lika styvt här. Hur tryckfördelningen såg ut mer i detalj under den lilla traktorns däck var svårt att utläsa från dessa mätningar. Det hade krävt att man installerat lastcellerna i jorden med ett betydligt mindre inbördes avstånd än 9 cm, som var avståndet under dessa mätningar. Hur tryckfördelningen såg ut i däckens färdriktning analyserades inte. Denna tryckfördelning kommer att variera mycket beroende på hur mycket däckets tillåts sjunka ned i jorden.

Då däckens ringtryck ställdes i relation till det maximalt uppmätta trycket i matjorden erhöles följande ekvation: $\sigma_{10\text{ cm}} = 0,71p_{\text{däck}} + 52$, där $p_{\text{däck}}$ = ringtrycket och $\sigma_{10\text{ cm}}$ = maximalt tryck i jorden. Ett däck som uppträtt helt idealiskt, d.v.s. som en ballong, hade fått ekvationen, $\sigma_{10\text{ cm}} = p_{\text{däck}}$, förutsatt att trycket på 10 cm djup kan likställas med trycket i understödsytan. Trycket i understödsytan hade då aldrig blivit högre än ringtrycket. Beroende på bl. a. däckets stelhet och dess mönster kommer man aldrig i verkligheten att få detta förhållande. Talet 52 i ovanstående ekvation skulle enligt Karafaith och Nowatzki (1978) motsvara det tryck som enbart däcksstommen gav upphov till i understödsytan. Av ovanstående ekvation följer att man

kommer att underskatta trycket i matjorden, utifrån ringtrycket, så länge ringtrycket är lägre än 179 kPa. Höjer man ringtrycket över 179 kPa kommer man att mäta ett tryck i matjorden som är lägre än ringtrycket, man riskerar då att överskatta trycket i matjorden, allt enligt ekvationen. Dessa antaganden är dock högst osäkra då inga mätningar gjordes vid detta ringtryck och det kan tänkas vara djärvt att anta marktrycket linjärt mot ringtrycket i alla lägen.

Metoden som användes för att mäta det genomsnittliga trycket i understödsytan, då maskinen står på ett hårdgjort underlag, kommer endast att ungefärligt beskriva understödsytans utseende då däckets körs i fält. På ett hårdgjort underlag kommer all last att tas upp av däckets nabbar, så länge däckets har sådana. Detta medför troligen att däckets deformeras mera än det skulle gjort i fält vid samma ringtryck och samma hjullast. Ett däck som körs i fält under fuktiga förhållanden kommer nämligen att sjunka ner, varpå även last tas upp mellan ribborna på däckets. När däckets är i rörelse kommer även anläggningsytans utseende att förändras (Söehne, 1958).

Genomsnittstrycket under ribborna, som räknades fram då däckets stod på ett hårdgjort underlag, gav i medeltal väldigt höga värden. Dessa höga värden kommer dock inte att uppkomma så ofta i fält då däckets sjunker ned. Det är däremot fullt möjligt att jorden i fält, under väldigt torra omständigheter, kommer att utsättas för tryck i den här storleksordningen. Eftersom jorden rimligtvis är väldigt torr under ett sådant scenario kommer packningsrisken däremot vara liten. De värden som redovisas för trycket under ribborna kommer endast att beskriva det genomsnittliga trycket. Trycket i varje punkt under ribborna, i kontakt med marken, kommer att variera från nära noll till värden betydligt över genomsnittstrycket. Hur högt detta maximala tryck kan bli gick i undersökningen inte att fastställa.

Samtliga mätningar visar de positiva effekterna av sänkt ringtryck. Det finns dock ett antal nackdelar med att sänka ringtrycket som man bör ta ställning till. Ett ökat slitage och därmed en kortare livstid för däckets anses kanske som den största nackdelen. Många av de lantbruksdäck som säljs nuförtiden är däremot konstruerade för att klara riktigt låga ringtryck varför man inte skall vara rädd att följa tillverkarens rekommendationer. Ett problem som kvarstår är däremot att de låga ringtryck som är möjliga att använda i fält inte lämpar sig för att köra längre transporter med höga hjullaster och höga hastigheter. Ett felaktigt ringtryck vid vägtransport riskerar då att slita däckets ojämnt samt göra ekipaget trafikfarligt då bromsförmågan och väghållningen påverkas. Dessa faktum innebär att ringtrycket måste ändras ett flertal gånger under en odlingsäsong för att erbjuda bästa möjliga egenskaper i alla situationer, vilket blir tidsödande för lantbrukaren. Det är dock lätt att inse hur väl investerad tid detta är med tanke på den positiva effekt det får på markens långsiktiga produktionsförmåga.

Slutsatser

Mätningarna som gjordes tyder på att ett sänkt ringtryck för en större betupptagare kan få många positiva konsekvenser på packningen i matjorden. Uppmätta trycket sjönk, vattengenomsläppligheten ökade och skrymdensiten minskade.

Deformationen i marken efter en överfart med en 55 ton tung betupptagare blev större än efter en överfart med en 27 ton tung upptagare plus en fullastad fältvagn. Trycket på 70 cm djup under dessa betupptagare kan anta mycket höga värden vid höga axellaster och ringtryck.

Vid körning med däck vid olika hjullaster men med samma ringtryck mättes genomgående ett högre tryck i matjorden vid en högre hjullast. Detta tyder på att det är långt ifrån bara ringtrycket som bestämmer trycket i matjorden. Lägre hjullaster är önskvärt, inte enbart med tanke på packningsrisken i alven, utan även med tanke på packningsrisken i matjorden.

För det bredaste däcket som undersöktes erhöles en jämnare tryckfördelning under däcket då ringtrycket sänktes. Detta gällde även vid körning med lägre ringtryck än rekommenderat.

Maxtrycket som kan uppmätas på 10 cm djup i matjorden är betydligt högre än det genomsnittstryck i understödsytan som kan räknas fram utifrån understödsytans storlek då däcket står på ett hårdgjort underlag.

Att anta trycket i matjorden lika med ringtrycket är riskabelt. Utifrån ringtrycket riskerar man att underskatta maxtrycket i matjorden vid körning med radialdäck och medelmåttiga ringtryck.

Referenser

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

Arvidsson, J., Trautner, A., Sjöberg, E. 2001. Alvpäckning av tunga betupptagare. Slutrapport från försök 1995-2000. Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen, nr. 102, Institutionen för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet.

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

Arvidsson, J., Ristic, S. 1997. Soil stress and compaction effects for four tractor tyres. Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala 1997.

Baily, A.C., Raper, R.L., Way, T.R. Burt, E.C. Johnson, C.E. 1996. Soil stresses under a tractor tire at various loads and inflation pressures, Journal of Terramachanics. Vol. 33. No. 1. pp. 1-11. 1996.

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

Boone, F., Vermeulen, G.D., Kroesbergen, B. 1994. The effect of mechanical impedance and soil aeration as affected by surface loading on the growth of peas. Soil Tillage Res. 32; 237-251.

Boussinesq, J. 1885. Application des potentiels a létude de equilibre et du mouvement des solides elastique. Gauthier Villais, Paris.

Brown, H.J., Cruse, R.M., Erbach, D.C., Melvin, S.W. 1992. Tractive device effects on soil physical porperties, Soil Tillage Res. 22; 41-53.

Casagrande, A. 1936. The determination of the pre-consolidation load and its practical significance. In: Int. Conf. On Soil Mech. And Found. Eng. Proc. Of ICSMFE. Cambridge, MA, 22-26 June 1936, vol 3. Cambridge, MA, pp. 60-64. N, Elsevier, Amsterdam, 45-70.

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.

Eriksson, J. 1982. Markpäckning och rotmiljö. Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, rapport 126, Inst f. Markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet.

Herherington, J.G., White, J.N. 2002. An investigation of pressure under wheeled vehicles, Journal of Terramachanics. Vol. 39; 85-93. 2002.

Horn, R. 1988. Compressibility of arable land. Catena, Suppl., 11: 51-71.

Håkansson, I., 2000. Päckning av åkermark vid maskindrift, omfattning-effekter-motåtgärder. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen nr 99, Instutionen för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet.

Karafiath, L.L. and Nowatzki, E.A., 1978. Soil Mechanics for Off-road Vehicle Engineering. Trans. Tech. Publ., Clausthal, Germany, 515 pp.

- Koolen, A.J., 1978. The influence of a soil compaction process on subsequent soil tillage processes. A new research method. *Neth. J. Agric. Sci.*, 26: 191-199.
- Koolen, A.J., Kuipers, H. 1983. *Agricultural soil mechanics*. Springer, New York, NY, U.S.A., 241 s.
- Raper, R.L., 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.
- Soane, B.D., Blackwell, P.S., Dickson, J.W., Painter, D.J. *Compaction by agricultural vehicles: a review II. Compaction under tyres and other running gear*. *Soil and Tillage Res.*, 1980, 1 (4), 373-400.
- Söhne, W. 1958. Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tires, *Agric. Eng.* 39: 276-281, 290.
- Trautner, A. 2003. *On soil behaviour during field traffic*. Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala 2003.
- Trautner, A., Arvidsson, J. 2002. Subsoil compaction caused by machinery traffic on a Swedish Eutric Cambisol at different soil water content. Special issue of *Soil and Tillage Research on soil compaction*.
- Whalley, W.R., Dumitru, A.R., Dexter, A.R. 1994. Biological effects of soil compaction. *Soil and Tillage Res.*, 1995, 35; 53-68.
- William, A., Weiler, A.M., Fred, H. 1982. Factors affecting stress cell measurements in soil. *Journal of Geotechnical Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*. Vol. 108, No. GT12, 1982.