



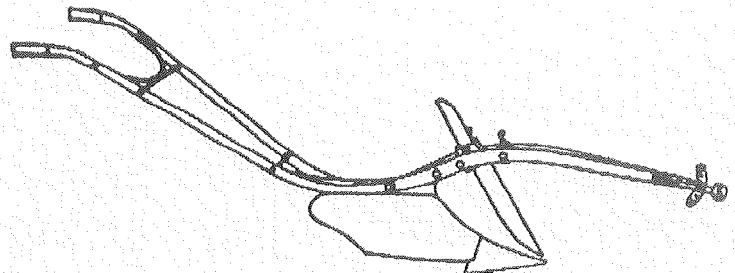
Institutionen för
Markvetenskap
Uppsala

MEDDELANDEN FRÅN JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

Swedish University of Agricultural Sciences,
S-750 07 Uppsala.

Department of Soil Sciences,

Bulletins from the Division of Soil Management



Nr 23

1996

Sasa Ristic

**TRYCK OCH TRYCKVERKNINGAR UNDER
OLIKA TRAKTORHJUL**

Soil compaction under different tractor wheels

ISSN 1102-6995

ISRN SLU--JB-M--23--SE

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för jordbearbetning

Meddelanden från jordbearbetnings-
avdelningen. Nr 23, 1996
ISSN 1102-6995
ISRN SLU-JB-M--23--SE

Sasa Ristic

Tryck och tryckverkningar under olika traktorhjul

Soil compaction under different tractor wheels

Examensarbete i jordbearbetning

Handledare: Johan Arvidsson

Innehållsförteckning

Inledning	2
Litteraturstudie	
Trycktillskott i marken	3
Tryckets utbredning i marken	3
Tryckgivare	4
Penetrationsmotstånd	6
Penetrometer	6
Spårbildning och spårdjup	7
Material och metoder	
Försökets utförande	9
Mätningar i fält	9
Mätningar under tak	10
Statistisk bearbetning	11
Resultat	
Spårdjupsmätningar	12
Penetrometermätningar	14
Tryckgivarmätningar	17
Diskussion	
Spårdjupsmätningar	20
Penetrometermätningar	20
Tryckgivarmätningar	21
Slutsatser	22
Sammanfattning	23
Summary	23
Litteraturförteckning	24

Tryck och tryckverkningar under olika traktorhjul

Inledning

Grundläggande undersökningar för att bedöma skördebortfallet som orsakas av skadlig packning i matjorden inleddes i Sverige för mer än 30 år sedan. Utvecklingen av allt tyngre fordon under 1960-talet gav upphov till mer djupgående samt under lång tid bestående markstrukturskador. Detta ledde till att undersökningar över skadlig jordpackning i alven inleddes i slutet på 1960-talet. Alla dessa undersökningar har efterhand utgjort underlag för rekommendationer hur man på olika sätt kan motverka uppkomsten av skadlig markpackning i samband med olika fältarbeten och transporter.

De rekommendationer som ges kan sägas vara dels av maskinteknisk och dels av odlingsmässig natur. Den maskintekniska delen utgör i första hand hjulutrustning och axelbelastning. Genom att använda låga ringtryck vid körning på åkern minskar packningen i matjorden. Fordonens bruttovikter bör begränsas till 6 ton på enkel axel och 8-10 ton på boggie om man under ogynsamma förhållanden önskar undvika djupgående skadlig packning (Eriksson, Håkansson & Danfors, 1974). Den odlingsmässiga delen berör huvudsakligen bearbetningssystem och växtföljd. Markpackningen begränsas här genom val av tidpunkt för olika arbeten samt optimering av maskinkapaciteten med hänsyn till fuktighetsförhållandena i marken.

För att stävja skadlig packning krävs stora arbetsinsatser i form av t.ex. plöjning för att luckra jorden och på så sätt återställa bl.a. porositeten. En av de faktorer som lantbrukaren lättast kan påverka är däckutrustningen. Stora däck med lågt ringtryck rekommenderas eftersom dessa ger ett lägre marktryck och därmed mindre packningsskador i marken. Sambandet mellan ett fordonens belastning, däckutrustning, ringtryck och det egentliga marktrycket är dock inte så känt vilket gör detta till ett angeläget forskningsområde.

Syftet med det examensarbete som presenteras här var att undersöka packningseffekter av olika däckstyper vid olika ringtryck. Dessutom mättes även det direkta marktrycket som uppstår vid en överfart.

Litteraturstudie

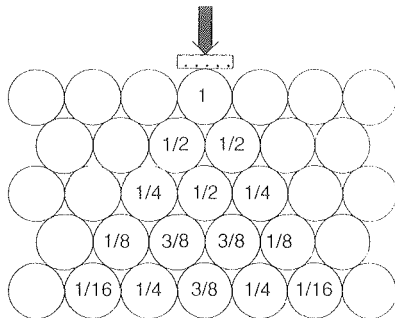
Trycktillskott i marken

När ett element belastas, t.ex. en jord vid en överfart med jordbruksmaskiner, utsätts den för olika sorters spänningar i flera riktningar. För att kunna hantera detta komplex uppdelas vanligtvis spänningspåverkan i två spänningsformer; normalspänning och skjuvspänning. Om man utgår med markytan som referensplan är normalspänningen den spänning som verkar vinkelrätt mot markytan och skjuvspänningen den som verkar parallellt med markytan (Koolen & Kuipers, 1983). Enheten för dessa spänningar är kraft per areaenhet vilket gör att man ofta använder beteckningen tryck samt trycktillskott istället för spänning och spänningspåverkan.

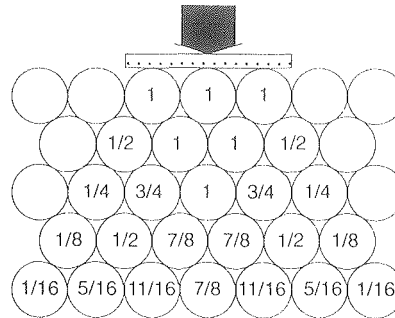
Båda formerna av spänning bidrar till jordens sammantryckning men normalspänningen anses vara den dominerande. Skjuvspänningarna är dessutom svåra att mäta vilket gör att när man talar om tryck vid packning handlar det oftast uteslutande om normalspänningar. Trots att man brukar bortse från skjuvspänningar utsätts jorden för påverkan vid sidan om de ställen som ligger rakt under anläggningsytan. Packningen utbreder sig därmed även i sidled. Orsaken till detta är att det finns en viss kanteffekt som gör att jorden strax vid sidan om anläggningsytan hjälper till att bära belastningen (Olsen, 1986). De faktorer som har störst betydelse vid trycktillskott i marken är dessa:

- *Trycket i anläggningsytan.* Yta med en högre belastning gör att trycktillskottet i marken får en djupare utbredning.
- *Anläggningsytans storlek.* Belastning över en större yta gör att trycktillskottet i marken avtar långsammare (se fig. 1).

a)



b)



Figur 1. Idealiserad bild över ett pålagt trycks fortplantning nedåt i marken. a) Trycket är högst i anläggningsytan och minskar med djupet. b) Tryck över en större yta gör att trycket håller i sig till ett större djup. (Efter Arvidsson & Pettersson, 1995).

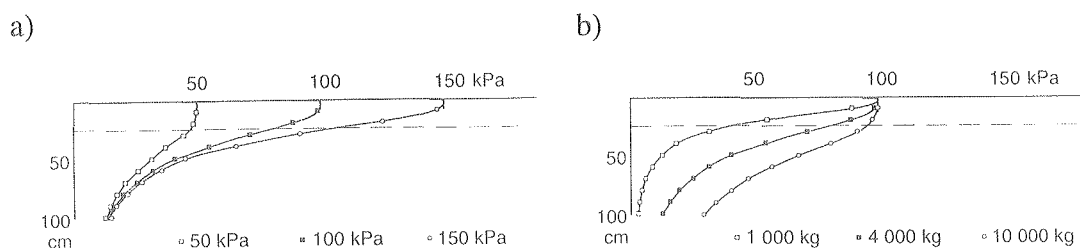
Tryckets utbredning i marken

Ett traktordäck som bär upp vikten på en traktor påverkas av två tryck, dels av luftens påverkan på insidan av däckets och dels av marktrycket på utsidan av däckets. Om däckets vore fullständigt elastiskt skulle dess anläggningsyta flyta ut tills marktrycket motsvarade ringtrycket. Eftersom däckets i sig har en viss styvhet medför det att marktrycket blir något högre än ringtrycket vilket är speciellt märkbart vid låga ringtryck. Detta brukar dock bortses ifrån och man anser generellt att marktrycket i markytan är detsamma som ringtrycket (Arvidsson & Pettersson, 1995). I figur 2 visas hur jordpackningen i marken varierar med olika ringtryck.

Om vikten på en traktor ökas och större däck, som ger samma ringtryck som tidigare, används kommer man att erhålla ett lika stort tryck verkande över en större yta. Detta

leder till att belastningen på hjulen ökar och att trycktillskottet avtar långsammare i marken. Den ökade axelbelastningen medför på detta sätt att trycket får en djupare utbredning, vilket i sin tur leder till en mer djupgående packning (Olsen, 1986). I figur 2 visas hur jordpackningen i marken varierar med olika axelbelastningar. En lämplig regel för ringtryckets respektive tyngdens betydelse för trycket i marken kan sammanfattas enligt följande:

- 0-25 cm:s djup. Trycktillskottet bestäms i första hand av ringtrycket.
- 25-100 cm:s djup. Trycktillskottet beror både på ringtryck och tyngd.
- >100 cm:s djup. Trycktillskottet bestäms i första hand av tyngden.



Figur 2. Jordpackning i marken ned till 1 meters djup för a) tre olika ringtryck med samma axelbelastning och b) tre olika axelbelastningar med samma ringtryck. (Efter Arvidsson och Pettersson, 1995).

Tryckgivare

För att mäta i marken hur tryck fortplantar sig eller hur stort trycktillskottet är brukar man använda sig av tryckgivare. Dessa mäter oftast trycket i en riktning men mätelemt för registrering av tryck i tre mot varandra vinkelräta plan (se fig. 3) blir allt mer vanliga. Tryckgivare delas i regel in i två huvudgrupper, nämligen membrantryckgivare och lastceller. Hos membrantryckgivare används mätsystemet för att känna av deflektionen hos ett tunnt flexibelt membran som är fäst på ett styvt hölje. Dessa givare är relativt tunna och flexibla med störst deflektion i mitten av cellen vilket ger en sammanhängande formförskjutning över hela givaren då den utsätts för yttre belastning. Den sammanhängande formförskjutningen ger en jämn tryckfördelning över hela givaren vid mätning vilket gör att denna typ av givare är lämpad för mätningar i jord. I lastceller används mätsystemet för att mäta den axiala sammantryckningen av ett styvt prismaformat element. Elementet är i sig omgivet av ett stelt hölje för att isolera det från påverkan av tryck från sidan. I regel är lastceller väldigt styva vilket leder till att deflektionen är lika stor över hela cellen då den belastas. Detta medför att formförskjutningen blir osammanhängande mellan själva cellen och höljet vilket i sin tur gör att dessa givare är mindre lämpliga för mätning i jord. Istället används denna typ av givare till största del vid mätning av krafter i maskiner och konstruktioner samt vågar av allehanda slag (Grahm, Jubrink & Lauber, 1989).

Det tryck som en tryckgivare uppmäter i en punkt vid belastning av en jord skiljer sig från det tryck som skulle råda i samma punkt om tryckgivaren ej var närvarande. Orsaken till detta är att en givare som grävs ned skiljer sig mycket i egenskaper från den omkringliggande jorden. Skillnader i bl.a. flexibilitet och hållfasthet gör att givaren och jorden tar upp ett pålagt tryck olika. Givaren som är mindre flexibel och mer hållfast än den omkringliggande jorden kommer att ta upp en större del av ett pålagt tryck. För att mätvärdena från en undersökning ska överensstämja med de verkliga brukar man korrigera de erhållna märesultaten med en s.k. korrigeringsfaktor. Denna faktor får man fram genom att i början eller i slutet av en undersökning kalibrera givarna i den för mätningen aktuella jorden. De faktorer som påverkar själva tryckgivarmätningarna kan indelas i tre kategorier; tryckgivarens egenskaper och utformning, jordens egenskaper samt förhållanden i rådande mätomgivning (Weiler & Kulhawy, 1982). Faktorer som

påverkar tryckgivarmätningar är bl.a.:

Tryckgivarens egenskaper och utformning:

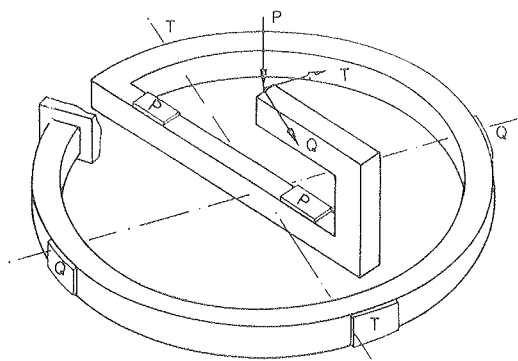
- *Cross-sensitivity*. Tryckgivaren sammantrycks i sidled vilket medför att felaktiga värden uppmäts (gäller membrantryckgivare).
- *Givarens reaktionstid*. Tryckgivarens reaktionstid för ett pålagt tryck skiljer sig från en jords vilket gör att felaktiga värden uppmäts (gäller dynamiska tryckmätningar).
- *Givarens tjocklek*. Tryckgivarens tjocklek förändrar tryckfältet kring givaren.
- *Andel mätyta hos givaren*. För stor andel mätyta hos tryckgivaren medför att trycket koncentrerar sig i hörnen av givaren.
- *Mätytans storlek hos givaren*. För liten mätyta hos tryckgivaren i förhållande till jordens kornstorlek orsakar olikformig belastning eller punktbelastning.
- *Givarens hårdhet*. Tryckgivare med större stelhet än den aktuella jorden uppmäter för höga värden medan givare med lägre stelhet uppmäter för låga värden.
- *Deflektion hos membrantryckgivare*. För stor deflektion hos tryckgivaren förändrar tryckfördelning över givaren.
- *Deflektion hos lastceller*. Tryckgivarna har låg deflektion vilket ger en ojämn tryckfördelning över givaren.

Jordens egenskaper:

- *Lateral stress rotation*. Tryckgivarens närvaro i en jord gör att en del av det tryck som verkar i sidled verkar vinkelrätt mot givaren.
- *Avstånd mellan givare*. Tryckgivare som grävs ned inverkar genom sin närvaro på andra givare vilket gör att det krävs ett minimiavstånd mellan dessa (varierar med storlek och form hos givaren).
- *Jordens densitet*. Jorden kring en nedgrävd tryckgivare har en annan densitet än den övriga jorden.

Förhållanden i rådande mätomgivning:

- *Belastning*. Tryckgivaren kan överbelastas genom markpackning vilket orsakar permanenta skador på givaren.
- *Temperatur*. Tryckgivarens nollreferens ändras med temperaturen men inte lutningen på kalibreringskurvan.
- *Fuktighet*. Tryckgivaren kan angripas av rost vilket orsakar permanenta skador på givaren.



Figur 3. Exempel på mätelemt för registrering av tryck i tre mot varandra vinkelräta plan. (Efter Danfors, 1970).

Penetrationsmotstånd

I en porös jord är det motstånd som jorden erbjuder ett genomträngande föremål, s.k. penetrationsmotstånd, lågt. Penetrationsmotståndet som verkar mot en rotspets i en jord är i regel betydligt lägre än mot en stålspets av samma dimension. Den behövliga rotspetskraften har i jord uppmätts till en fjärdedel av den kraft som behövs för att tränga igenom en stålpenetrod. I en packad jord visade sig kraftbehovet vara endast en åttondel av kraften för en stålpenetrod. Gränsvärden för rotgenomtränglig jord har med stålpenetrod varierat mellan 800 och 5000 kPa beroende på jordtyp (Eriksson, Håkansson & Danfors, 1974).

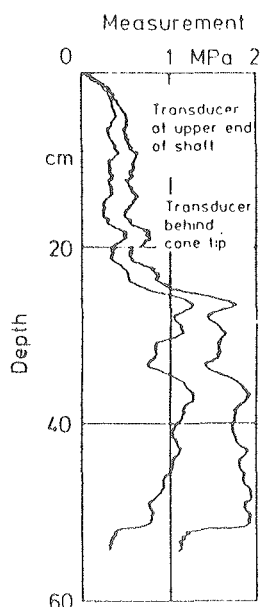
Rötternas förmåga att själva skapa gångar har visat sig vara starkt begränsad, vilket gör att de grova porerna i marken är helt avgörande för den fria rottillväxten. Allteftersom pordiametern närmar sig rotdiametern får penetrationsmotståndet i marken allt större inverkan på rötternas tillväxt. Penetrationsmotståndet som en jord erbjuder mot en rotspets beror till största del på jordens textur, struktur, vattenhalt och täthet (hur mycket jorden är packad). Vid en skrymdensitet mellan 1,3 och 1,8 kg/dm³ (beroende på jordart) blir penetrationsmotståndet så stort att rötternas tillväxt kan stoppas helt om pordiametern är mindre än rotdiametern (Eriksson, 1982).

Penetrometer

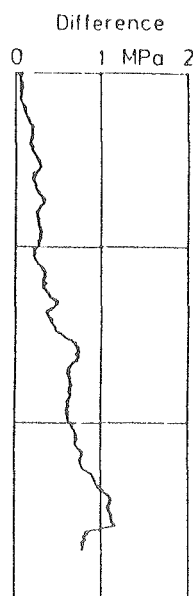
En av de mätmetoder som på ett tidigt stadium kom till användning för att mäta jordtäthet är penetrometern där man bestämmer kraften för att trycka ned en jordsond i marken och erhåller markens penetrationsmotstånd. Från enkla manuella mätare har man konstruerat allt mer avancerade elektroniska mätare som är självregistrerande vad gäller nedträngningshastighet och den åtgående kraften. De kan också vara konstruerade så att nedträngningshastigheten hålls konstant och endast den åtgående kraften registreras. Denna utveckling har medfört att själva penetrometermätningarna blivit allt mer exakta men trots det är de mätresultat som erhålls behäftade med svagheter. En svaghet är att resultaten vanligen inte är representativa för något större område runt den plats man mätt eller andra platser. Orsaken är att det alltid förekommer variationer i en jord när det gäller sammansättning, fuktighet och densitet. Detta brukar dock kompenseras genom att man gör flera mätningar över ett stort område och beräknar ett medelvärde för gällande jordart. En annan svaghet som finns är att mätresultaten varierar beroende på vilken penetrometer eller kontyp som används vid mätningarna (Danfors, 1970).

En viktig faktor som man oftast inte har tagit hänsyn till är den friktion som uppstår mellan skaftet som trycks ned vid mätning och jorden. Fram tills nu har mätanordningarna i penetrometrarna varit placerade i övre delen av skaftet vilket gör att friktionen inte kan uteslutas. Detta medför att friktionen inverkar under själva mätningen och gör att de erhållna mätvärdena blir högre än markens egentliga penetrationsmotstånd. På Institute of Agricultural Engineering at the University of Hohenheim har man konstruerat ett skaft med mätanordning direkt bakom konhuvudet. Genom att modifiera en penetrometer med den nya skaftet har man testat utförbarheten hos det nya penetrometersystemet samt gjort justeringar därefter. Vidare har man sedan utfört mätningar och jämfört det nya penetrometersystemet gentemot det gamla. Mätningarna visade klara skillnader i resultat (se fig. 4) mellan de båda systemen där det nya systemet gav lägre mätvärden. Med det nya penetrometersystemet utesluts friktionen vilket gör att man erhåller mätvärden med penetrationsmotstånd närmare verkligheten (Armbruster, Hertwig & Kutzbach, 1989).

a)



b)

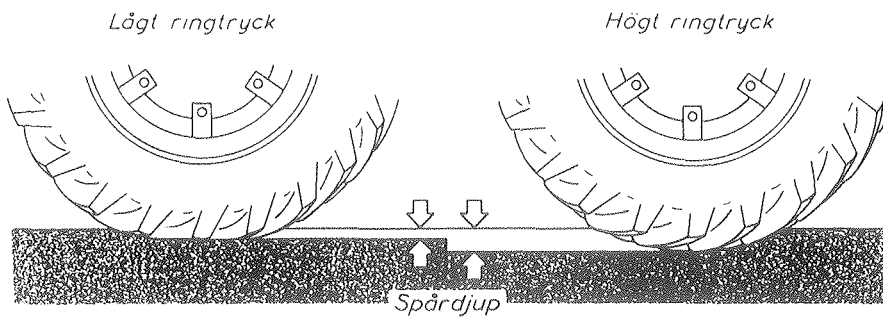


Figur 4. a) Uppmätta värden under samma förhållanden och förutsättningar för de två olika penetrometersystemen. b) Differensen mellan de två olika penetrometersystemens uppmätta värden. (Efter Armbruster, Hertwig & Kutzbach, 1989).

Spårbildning och spårdjup

För att ett hjul ska rulla över en horisontell yta krävs det en kraft som är minst lika stor som det motstånd som motverkar hjulets rullning, d.v.s. rullningsmotståndet. Detta motstånd består av två komponenter; dels det inre rullningsmotståndet och dels det yttre rullningsmotståndet. Det inre rullningsmotståndet orsakas av energiförluster från den kontinuerliga sammantryckningen och utvidgning av däckstommen då däckets rullar mot marken. Det yttre rullningsmotståndet orsakas av energiåtgången från deformationen av markytan vid en överfart, d.v.s. spårbildning. Spårbildningens inflytande på rullningsmotståndet minskar ju hårdare och mer bärkraftig marken är eftersom kraften för att deformera däckets ökar. Vid körning på åker är därför det yttre rullningsmotståndet, som beror på underlagets hållfasthet, ofta mycket större än den inre, som beror på däckets formbarhet (Koolen & Kuipers, 1983).

När ett spår uppstår bestäms spårets djup och bredd av rullningsmotståndet, ju djupare och bredare ett spår är desto större har rullningsmotståndet varit. Spårdjupet utgör i sig en volymminskning per areaenhet orsakat av en vertikal kraft vilket gör att spårdjupet indirekt kan ses som ett mått på hur stor markpackningen i torrjorden har varit. Därför strävar man efter att reducera spårdjupet med att öka kontaktytan så att hjulets tryck mot marken minskas. Detta erhålls antingen genom att sänka ringtrycket hos de aktuella däcken (se fig. 5) eller genom att använda däck som har en större understödsyta. Om man vill öka understödsytan bör man om möjligt välja däck med en större understödsyta framför att sänka ringtrycket hos de aktuella däcken. Detta med anledning av att då ringtrycket sänks ökar inte bara kontaktytan utan även däckens deformation vilket leder till ett större rullningsmotstånd. Då man använder däck som har en större understödsyta för det aktuella ringtrycket kan det vara en fördel att använda däck med en större diameter istället för däck med en större sektionsbredd. Med en större sektionsbredd blir nämligen kontaktytan bredare vilket leder till ett större rullningsmotstånd vid samma ringtryck (Danfors, 1980).



Figur 5. Spårbildning och spårdjup vid lågt respektive högt ringtryck. (Efter Danfors, 1980).

Material och metoder

Försökets utförande

I detta försök studerades hur olika däcktyper samt skillnader i ringtryck inverkade på spårdjup, penetrationsmotstånd och trycktillskott i marken. De utförda mätningarna var uppdelade i två olika delar. Första delen, mätning av spårdjup och penetrationsmotstånd, genomfördes i fält enligt en tvåfaktoriell plan med fyra block om vardera tolv led i överensstämmelse med följande försöksplan:

Faktor a:

- A = Taurus, 18.4-38
- B = Kleber, 520/70-38
- C = Michelin, M108 600/65-38
- D = Trelleborg, TWIN 650/60-38

Faktor b:

- 10 = lågt ringtryck, 2/3 av rekommenderat ringtryck
- 20 = normalt ringtryck, rekommenderat ringtryck
- 30 = högt ringtryck, 50 % högre än rekommenderat ringtryck

Den andra delen av försöket som utgjorde mätning av det direkta trycktillskottet i marken utfördes utomhus under tak i en s.k. näthall enligt samma försöksplan som ovan.

Inför försökets utförande bestämdes traktorns axelbelastningar med Taurus-däck påmonterat enligt nedanstående resultat:

Traktor utan belastning	4830 kg
Bakaxel utan belastning	2540 kg
Traktor med belastning	6050 kg
Bakaxel med belastning	5040 kg

Belastningen utgjordes av en treskärig helburen växelplog. Därefter vägdes de hela hjulen med följande resultat:

Taurus	280 kg
Kleber	290 kg
Michelin	280 kg
Trelleborg	360 kg

Alla däck utom Trelleborg belastades med 70 kg extra vid körning. Ringtrycken hämtades från 30 km-skalan för respektive hjul vid en belastning av 2590 kg. Det rekommenderade ringtrycket för respektive däck anges nedan:

Taurus	120 kPa
Kleber	80 kPa
Michelin	95 kPa
Trelleborg	80 kPa

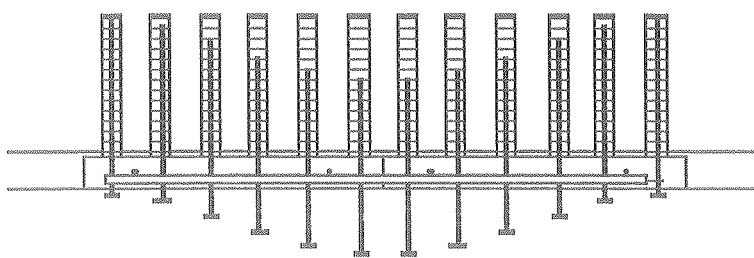
Mätningar i fält

De fältmässiga undersökningarna placerades på Ultuna egendoms gård Säby i Uppland och innefattade spårdjups- samt penetrometermätningar. Jordarten utgjordes av en lättare lera vilket valdes p.g.a. att en sådan jord efter plöjning har en markyta med mindre aggregatstorlek jämfört med en styvare lera. Detta medför att markytan blir jämnare och spårdjupsmätningarna mer exakta. För att få klarare utslag i mätningarna skedde körning med de olika däck- och ringtryckskombinationerna på ett höstplöjt fält

med belastning. Eftersom dragkraftsbehovet var låg var slirning troligtvis försumbar.

Spårdjupet mättes direkt efter körning, som skedde på hösten, med tio mätningar/ruta med hjälp av en egenkonstruerad spårdjupsmätare. Denna bestod av en planka med tolv vertikalt nedfällbara mätstickor vilka släpptes samt spändes fast med ett resårband. Avståndet mellan mätstickorna var 6,5 cm. I figur 6 visas en schematisk bild över den spårdjupsmätare som användes.

Efter spårdjupsmätningarna utfördes mätningar av penetrationsmotståndet mitt i hjulspåren med Bush Recording Soil Penetrometer Mark I Model. Antalet stick per försöksruta var femton med ett mellanrum på ca 30 cm mellan sticken. I varje stick uppmättes penetrationsmotståndet på femton nivåer där avståndsskillnaden mellan varje nivå var 3,5 cm. Senare på våren gjordes en ny likartad penetrometermätning i hjulspåren. Avsikten med denna mätning var att se om det resultatmässigt hade skett någon förändring p.g.a. "age-hardening" (se "Diskussion") d.v.s. en omorganisation av markpartiklarna som gör att markens hållfasthet ökar med tiden.

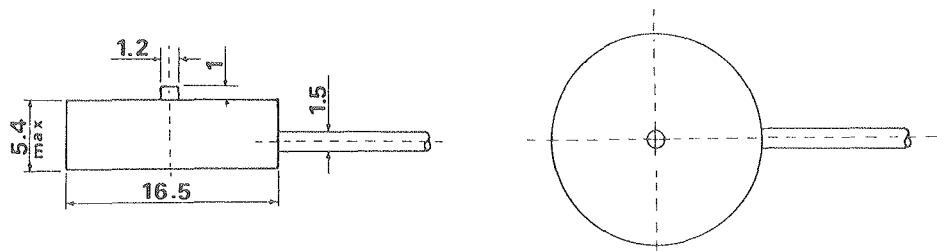


Figur 6. Schematisk bild av spårdjupsmätaren.

Mätningar under tak

Mätning av det "momentana" trycktillskottet i marken utfördes utomhus under tak där körningen skedde på torr, lös sand. Trycket mättes med sex tryckgivare av modellen BC 302 (se fig. 7) som grävdes ned med 12 cm mellanrum. Mätningarna gjordes på två djup; dels 20 cm och dels 40 cm där en mätning innefattade tio överfarter samt varje led omfattade fyra mätningar. En minaraljord är inte elastisk vilket gör att den deformeras permanent vid en överfart. För att förhållandena skulle vara likartade vid varje körning grävdes därför tryckgivarna upp och sedan ner igen inför varje ny mätning.

Innan tryckmätningarna utfördes kalibrerades alla tryckgivarna med hjälp av en lastcell. Givarna utsattes för olika belastningar varefter sambandet mellan pålagd belastning och utgående signal bestämdes för varje enskild givare. Efter mätningarna genomfördes ytterligare en kalibrering där sambandet mellan det egentliga marktrycket och visat marktryck hos givarna bestämdes. Denna kalibrering gick till på följande sätt; en givare grävdes ned varefter en platta (20 x 20 cm) centrerades ovanpå givaren. Sedan belastades plattan med vikter i etapper (100 kg) upp till en max belastning på 400 kg vilket gav ett max tryck på ca 100 kPa/cm² över givaren. Den senare kalibreringen användes vid beräkning av marktrycket från de olika hjulen.



Figur 7. En bild över tryckgivare av modellen BC 302.

Statistisk bearbetning

Försöksresultaten har bearbetats statistiskt med hjälp av SAS (Statistical Analysis System) enligt gängse statistiska metoder. Signifikansnivåerna anges enligt följande beteckningar i uppsatsen:

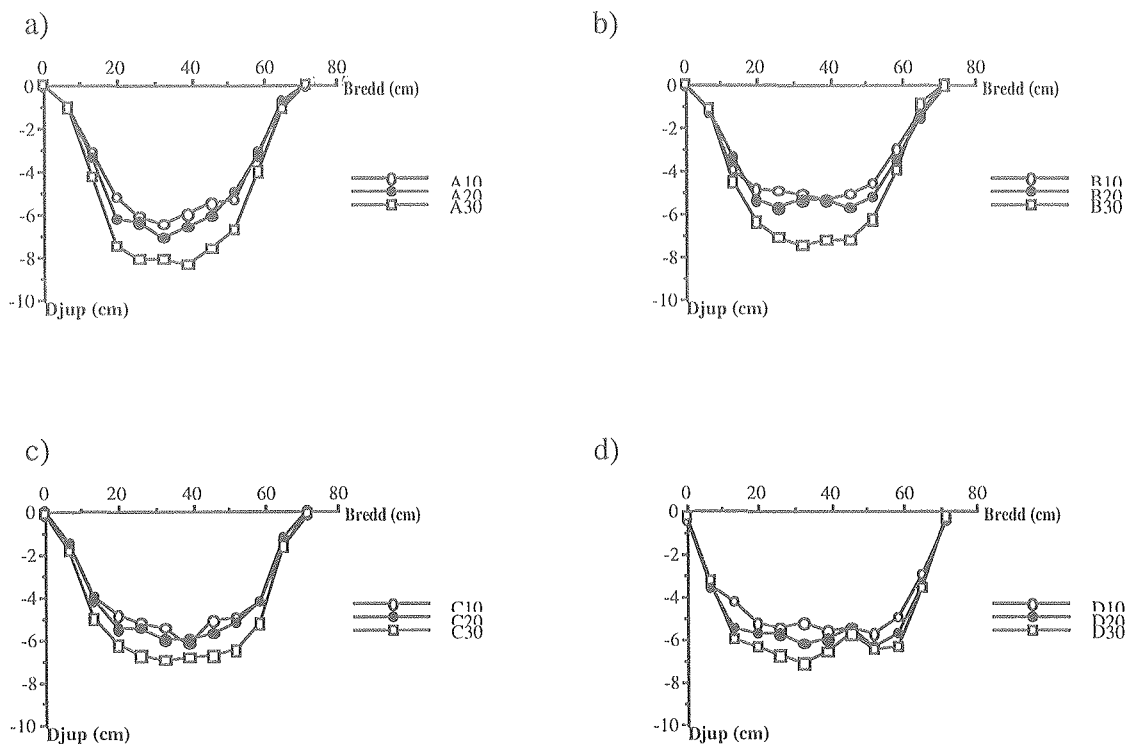
n.s.: Ingen signifikans
* : $0,01 < p \leq 0,05$
** : $0,001 < p \leq 0,01$
***: $p \leq 0,001$

Resultat

Spårdjupsmätningar

Figur 8 innehåller resultat för spårdjupsmätningar med de olika ringtrycken för respektive däck. Av figur 8 framgår att skillnaderna i spårdjup var små mellan lågt och normalt ringtryck för respektive däck. Däremot var skillnaden betydligt större mellan normalt och högt ringtryck där Taurus samt Kleber hade störst differens och Michelin samt Twin lägst. Vidare uppvisade Taurus störst spårdjup vid samtliga ringtryckskategorier medan Kleber, Michelin och Twin hade i stort sett samma spårdjup. Medelvärdet som redovisas i tabell 1 utgör ett medelvärde på de fyra mittersta mätvärdena vid mätningen. (Dessa värden är även till grund för regressionslinjen i figur 9.) Ett anmärkningsvärt resultat här var att Kleber jämfört med Michelin och Twin hade ett mindre spårdjup vid lågt samt normalt ringtryck men ett större vid högt ringtryck.

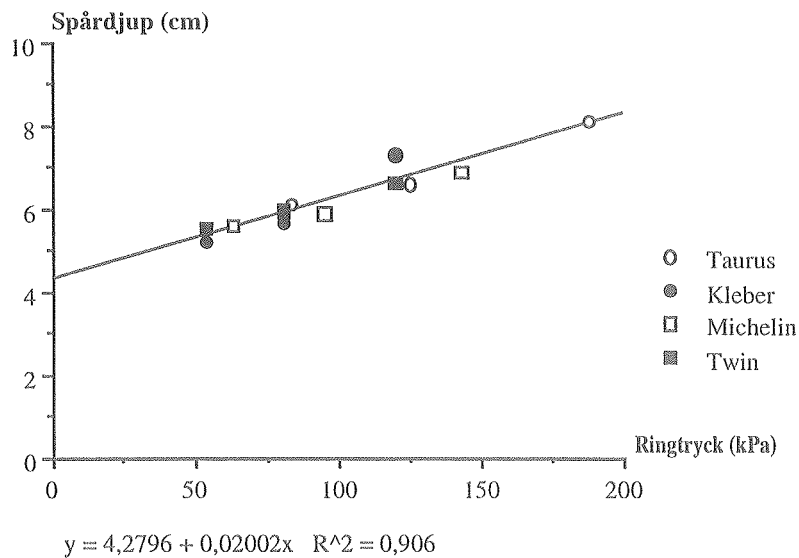
Den statistiska undersökningen som genomfördes för spårdjupsmätningen visas i tabell 1. Endast hos Taurus var samtliga ringtryck signifikant skilda från varandra. För de övriga däcken skilde sig det högsta ringtrycket signifikant från de två övriga ringtrycken. Vidare var Taurus statistiskt skilt från de tre övriga däcken samtidigt som de tre ringtryckskategorierna var statistiskt skilda från varandra. Ett signifikant samspel mellan däck och ringtryck registrerades vid denna mätning. För sambandet mellan spårdjup och ringtryck (se fig. 9) var korrelationskoefficienten (R^2) 0,906.



Figur 8. Spårdjupsmätningar för a) Taurus, b) Kleber, c) Michelin och d) Twin. 10 = lågt ringtryck, 20 = rekommenderat ringtryck och 30 = högt ringtryck.

Tabell 1. Resultat för spårdjupsmätning och penetrometermätningar, medelvärden och statistik för försöken. Värden som ej följs av samma bokstav är signifikant skilda från varandra ($p < 0,05$).

Försöksled	Spårdjup (mm)	Penetrationsmotstånd (kPa)	
		1:a mätningen	2:a mätningen
<u>Taurus:</u>			
högt ringtryck	81 a	851	873
normalt ringtryck	66 c	846	749
lågt ringtryck	61 d	786	629
<u>Kleber:</u>			
högt ringtryck	73 b	802	696
normalt ringtryck	56 d, e, f	751	650
lågt ringtryck	52 f	735	561
<u>Michelin:</u>			
högt ringtryck	69 b, c	800	720
normalt ringtryck	59 d, e	786	632
lågt ringtryck	56 e, f	759	577
<u>Twin:</u>			
högt ringtryck	66 c	800	793
normalt ringtryck	59 d, e	774	672
lågt ringtryck	55 e, f	768	571
Taurus	69 a	828 a	750 a
Kleber	60 b	763 b	636 b
Michelin	61 b	782 b	643 b
Twin	60 b	781 b	679 b
Högt ringtryck	72 a	812 a	771 a
Normalt ringtryck	60 b	791 a, b	676 b
Lågt ringtryck	56 c	762 b	585 c
Sign. däck	***	*	*
Sign. ringtryck	***	*	***
Sign. däck*ringtryck	*	n.s.	n.s.

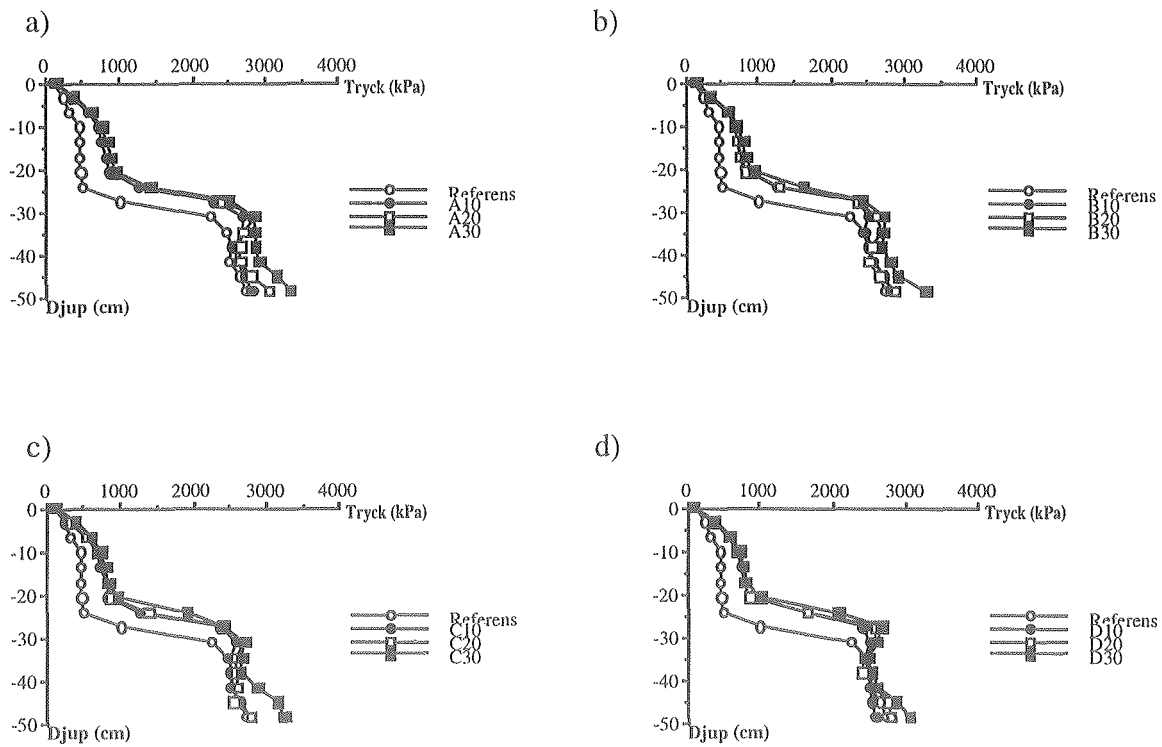


Figur 9. Regressionskurva över spårdjup och ringtryck.

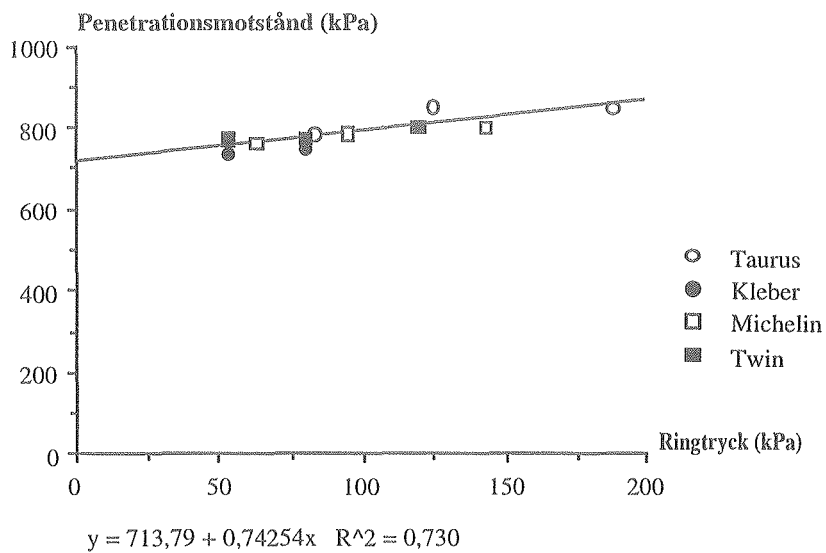
Penetrometermätningar

Figur 10 omfattar resultaten från den första penetrometermätningen som utfördes kort efter körning. Några större märkbara skillnader i penetrationsmotstånd kunde inte urskiljas mellan de olika ringtrycken för respektive däck. Endast på de djupaste nivåerna visade de olika däcktyperna ett högre penetrationsmotstånd för det högsta ringtrycket. Vidare kunde man inte heller se några skillnader mellan de olika däcken vid samma ringtryckskategori. Intressant att påpeka är att samtliga kurvor hade ett högre penetrationsmotstånd än referenskurvan ner till nivån 35 cm. Från och med 38,5 cm djup visade bara kurvorna med det högsta ringtrycket ett betydligt högre motstånd än referenskurvan. Ett medelvärde på penetrationsmotståndet för matjorden på nivåerna 14 cm, 17,5 cm och 21 cm visas i tabell 1. (Dessa värden är även till grund för regressionslinjen i figur 11.) Här hade Taurus ett något högre penetrationsmotstånd än de övriga däcken vid samma ringtryckskategori.

För den första penetrationsmätningen fanns det signifikanta skillnader mellan däcken på djupen 3,5 cm, 14 cm, 17,5 cm, 21 cm och 28 cm. Signifikanta skillnader mellan ringtrycken fanns på följande nivåer; 10,5 cm, 14 cm, 17,5 cm, 24,5 cm, 28 cm, 45,5 cm, 49 cm och 52,5 cm. Något samspel mellan däck och ringtryck förekom inte på någon nivå. De statistiska resultaten för medelvärde på matjorden visas i tabell 1. Här skiljde sig Taurus signifikant från de övriga däcktyperna samtidigt som högt ringtryck skiljde sig signifikant från lågt. Inte heller här fanns det något samspel mellan däck och ringtryck. Korrelationen mellan penetrationsmotstånd och ringtryck, som åskådliggörs i figur 11, var 0,730.



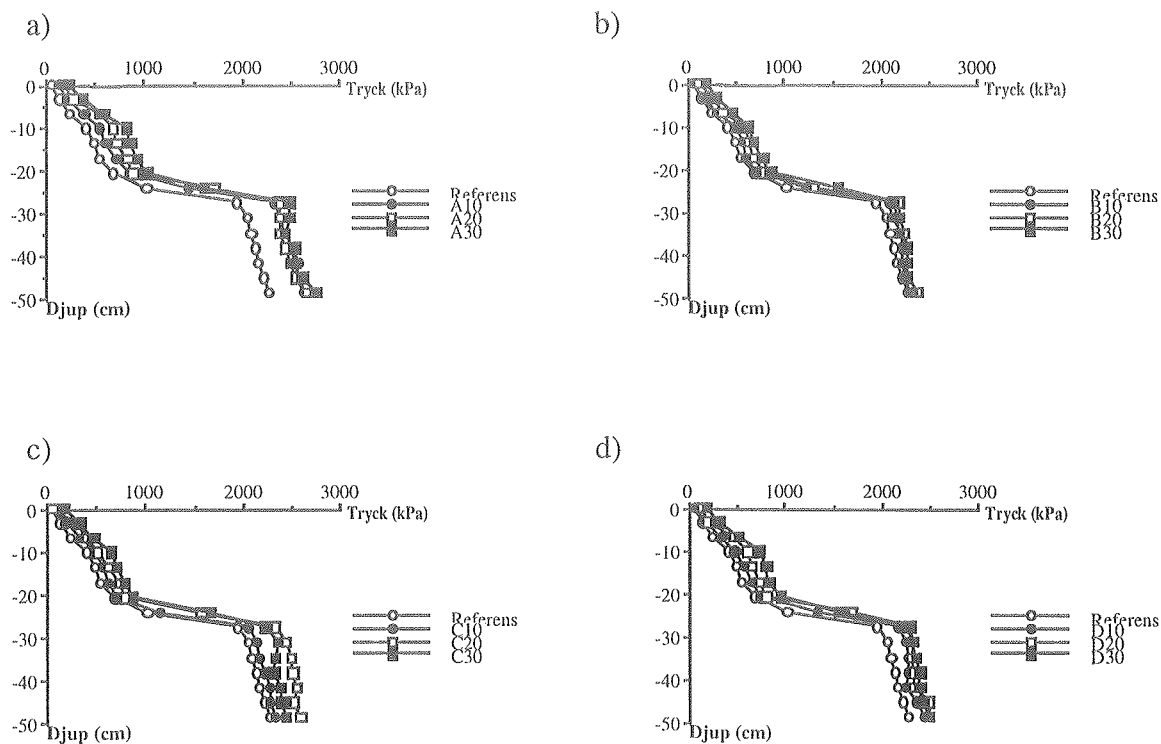
Figur 10. Penetrometernfätningar (1:a mätningen) för a) Taurus, b) Kleber, c) Michelin och d) Twin. 10 = lågt ringtryck, 20 = rekommenderat ringtryck och 30 = högt ringtryck.



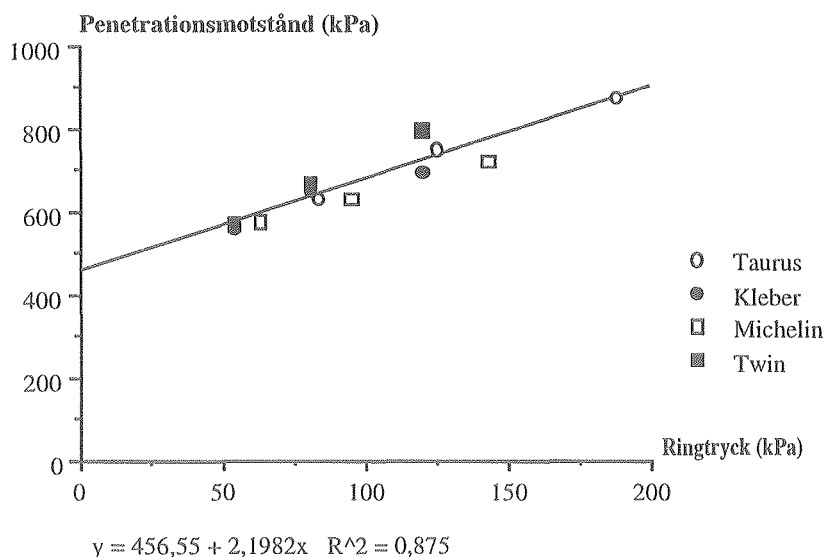
Figur 11. Regressionskurva över penetrationsmotstånd och ringtryck (1:a mätningen).

Resultatet från den andra penetrometermätningen (se fig. 12), som genomfördes på våren, visade tydligare skillnader i penetrationsmotstånd i de övre markskikten (nivå 3,5-21 cm) mellan de olika ringtrycken för respektive däck. Man kunde dock fortfarande inte se några större skillnader mellan de olika däcken vid samma ringtryckskategori. Jämfört med första mätningen var differensen mellan referenskurva och övriga mätkurvor betydligt mindre med undantag för Taurus vid normalt samt högt ringtryck. Även medelvärdet för penetrationsmotståndet i matjorden (se tab. 1) var överlag lägre. Här medförde däremot Taurus ett märkbart högre penetrationsmotstånd än de övriga däcken.

Till skillnad från den första mätningen fanns det statistiskt signifikanta skillnader mellan däcken på alla djupen utom 28 cm och 38,5 cm. På nivå 3,5 cm, 7 cm, 17,5 cm, 45,5 cm och 52,5 cm skiljde sig Taurus statistiskt från Kleber och Michelin. Vidare var Taurus signifikant skilt från de övriga däcken på djupen 10,5 cm, 14 cm, 21 cm, 24,5 cm och 31,5 cm. Slutligen för nivåerna 35 cm, 42 cm och 49 cm rådde det signifikanta skillnader endast mellan Taurus och Kleber. För ringtrycken gav den variansanalys som utfördes klara signifikanta skillnader på djupet 3,5-24,5 cm där samtliga ringtryck skiljde sig från varandra. På nivåerna 28 cm och 31,5 cm skiljde sig det låga ringtrycket från de övriga ringtrycken. Liksom i första mätningen fanns det inget samspel mellan ringtryck och däck. De statistiska resultaten för medelvärde på matjorden (se tab. 1) uppvisade vissa likheter med den första mätningen. Här liksom i första mätningen skiljde sig Taurus signifikant från de övriga däcktyperna, dessutom var samtliga ringtrycken statistiskt skilda från varandra. Inte heller här fanns det något samspel mellan däck och ringtryck. Jämfört med den första mätningen uppvisade den andra mätningen en högre korrelationskoefficient ($R^2 = 0,875$) mellan penetrationsmotstånd och ringtryck (se fig. 13). Dessutom var ökningen i penetrationsmotstånd vid ökat ringtryck betydligt större för samtliga däck. Från regressionskurvan kan man vidare se att Twin uppvisade störst ökning i penetrationsmotstånd då ringtrycket ökades.



Figur 12. Penetrometermätningar (2:a mätningen) för a) Taurus, b) Kleber, c) Michelin och d) Twin. 10 = lågt ringtryck, 20 = rekommenderat ringtryck och 30 = högt ringtryck.



Figur 13. Regressionskurva över penetrationsmotstånd och ringtryck (2:a mätningen).

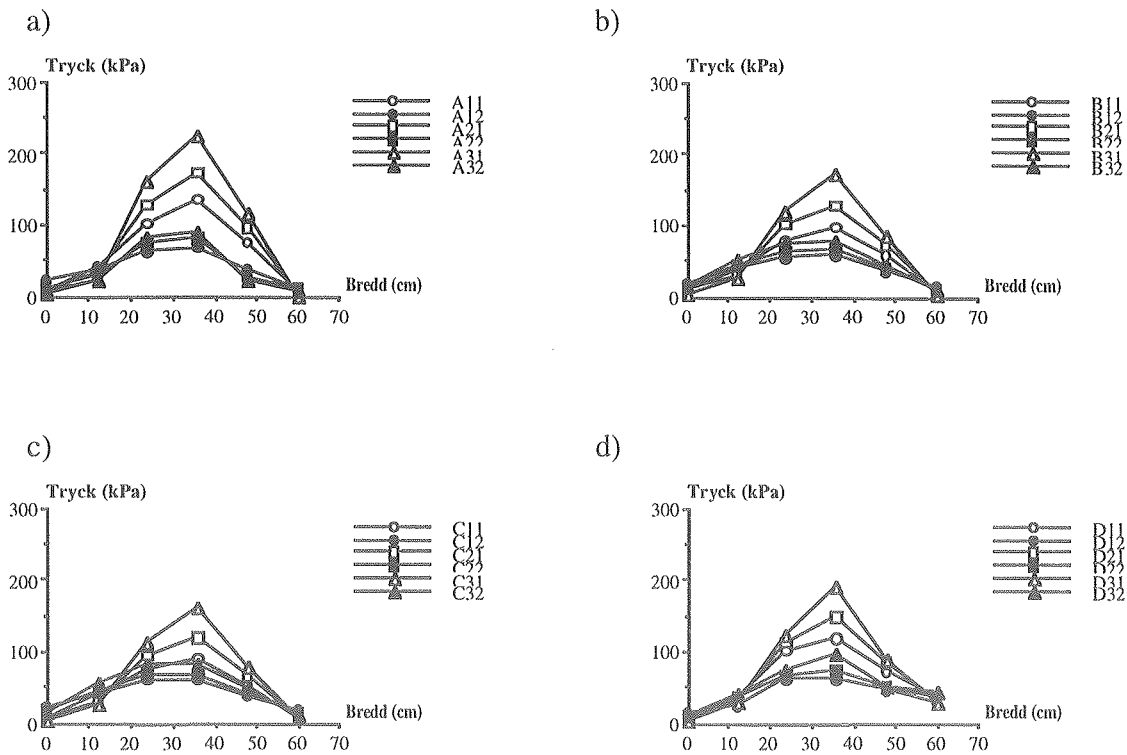
Tryckgivarmätningar

Resultat i medeltal från marktrycksmätningen finns redovisat i figur 14. Skillnaderna i marktryck mellan ringtrycken var betydligt större på 20 cm i jämförelse med 40 cm för samtliga däck. På 20 cm hade Taurus högst marktryck för alla ringtrycken följt av Twin och lägst hade Kleber samt Michelin. För djupet 40 cm kunde man urskilja endast marginella skillnader mellan däcken. Medelvärde som sammanställs i tabell 2 utgör ett medelvärde för de två mittersta tryckgivarna vid marktrycksmätningen. (Dessa värden är även till grund för regressionslinjen i figur 15.) Här var skillnaden på 20 cm mellan Kleber och Michelin mer tydlig, där Michelin uppvisade det lägsta marktrycket.

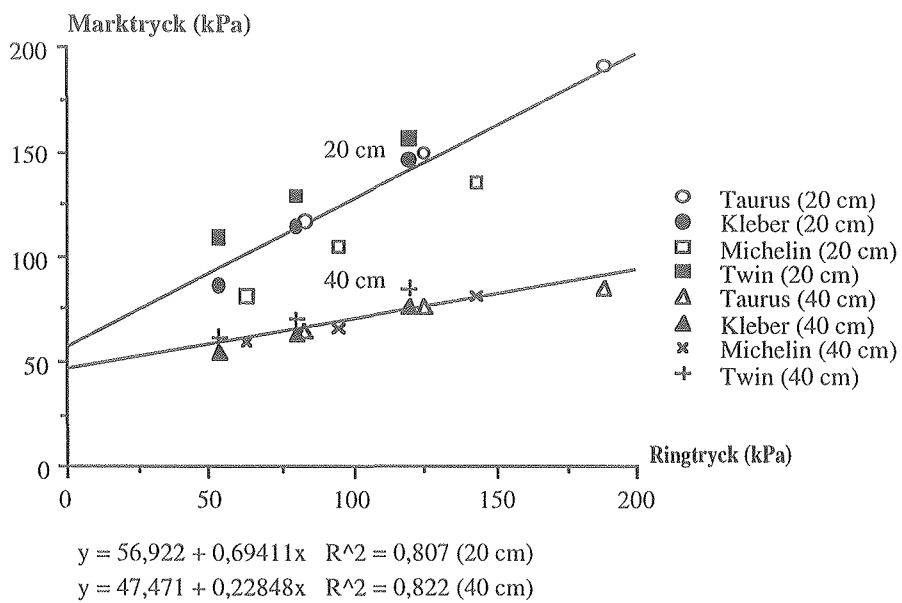
Den statistiska bearbetningen som redogörs dels i tabell 2 och dels i figur 15 innefattar marktrycksmätningen. Signifikanta skillnader erhöles på 20 cm samt 40 cm för däck, ringtryck och i samspelet mellan dessa. Vidare skiljde sig alla däckstyperna, liksom de olika ringtryckskategorierna, statistiskt från varandra på båda djupen. För samtliga däck var de olika ringtrycken signifikant skilda från varandra. När det gäller korrelationen mellan marktryck och ringtryck var den 0,807 på 20 cm och 0,822 på 40 cm djup. Liksom vid spårdjupsmätningen uppvisade Kleber på 20 cm en något större förändring än de övriga däcken då ringtrycket ändrades.

Tabell 2. Resultat för tryckgivarmätningar, medelvärden och statistik för försöket. Värden som ej följs av samma bokstav är signifikant skilda från varandra ($p < 0,05$).

Försöksled	Tryck (kPa) Djup 20 cm	Djup 40 cm
<u>Taurus:</u>		
högt ringtryck	191,4 a	85,6 a
normalt ringtryck	149,3 c	76,1 c
lågt ringtryck	117,2 f	64,7 e, f
<u>Kleber:</u>		
högt ringtryck	146,1 c	76,2 c
normalt ringtryck	113,7 f, g	63,0 f, g
lågt ringtryck	86,2 i	55,3 i
<u>Michelin:</u>		
högt ringtryck	134,7 d	81,1 b
normalt ringtryck	105,1 h	65,9 e
lågt ringtryck	81,6 j	60,1 h
<u>Twin:</u>		
högt ringtryck	156,1 b	80,7 b
normalt ringtryck	129,4 e	70,5 d
lågt ringtryck	109,2 g, h	62,0 g
Taurus	152,7 a	75,5 a
Kleber	115,3 c	64,8 d
Michelin	107,1 d	69,0 c
Twin	131,6 b	71,1 b
Högt ringtryck	157,1 a	80,9 a
Normalt ringtryck	124,4 b	68,9 b
Lågt ringtryck	98,5 c	60,5 c
Sign. däck	***	***
Sign. ringtryck	***	***
Sign. däck*ringtryck	***	***



Figur 14. Marktrycksmätningar på 20 cm resp. 40 cm för a) Taurus, b) Kleber, c) Michelin och d) Twin. 10 = lågt ringtryck, 20 = rekommenderat ringtryck och 30 = högt ringtryck. Fyllda symboler (eller ledbeteckningen 02) avser mätning på 40 cm djup och ej fyllda (eller ledbeteckningen 01) på 20 cm.



Figur 15. Regressionskurva över marktryck på 20 cm resp. 40 cm och ringtryck.

Diskussion

Spårdjupsmätningar

I försöksserien erhöles små skillnader i spårdjup mellan lågt och normalt ringtryck för respektive däck medan skillnaden mellan normalt och högt ringtryck var betydligt större. Resultatet tyder på att packningseffekterna vid markytan, som beror av ringtrycket, ökar när däckens anläggningsyta blir mer konvexa. Förklaringen är nog att ju mer konvex en understödsyta är desto ojämna blir tryckfördelning tvärs över kontaktytan. Däcken alstrar därmed ett högre marktryck i mitten av anläggningsytan vilket ger ett större spårdjup (Danfors, 1980). Vidare uppvisade Taurus det största spårdjupet vid samtliga ringtryck. Orsaken är förmodligen att Taurus hade dels ett betydligt högre ringtryck för respektive ringtryckskategori och dels en mindre sektionsbredd jämfört med de övriga däckstyperna. För medelvärdet som redovisas i tabell 1 visade Kleber ett intressant resultat genom att ha ett mindre spårdjup än Michelin och Twin vid lågt samt normalt ringtryck men större vid högt ringtryck. Detta indikerar att Kleber är ett mer flexibelt däck vilket ger en konkav understödsyta vid låga ringtryck och bidrar på detta sätt till ett lägre spårdjup i mitten av spåret. Vid höga ringtryck blir understödsytan i förhållande till Michelin och Twin mer konvex vilket leder till ett större spårdjup.

Utifrån mätresultaten verkar Twin ha haft en mera plan understödsyta speciellt vid normalt och högt ringtryck. Den plana understödsytan, som ger en ganska jämn tryckfördelning tvärs över kontaktytan, och en större sektionsbredd har troligtvis medfört att ökningen av spårdjupet blev jämnare och något lägre för Twin. Denna undersökning utfördes dessutom på en lerjord som är en ganska bärkraftig jordart vilket kan ha haft viss inverkan på resultatet. En annan faktor som kan ha haft inflytande på mätresultaten men som inte nämnts är däckmönstret. Däck med stora dragribbor och glesare mönster genererar en kraftigare spårbildning vilket leder till ett större spårdjup (Danfors, 1980).

Penetrometermätningar

Penetrometermätningarna visar på att "age-hardening" (se nedan) och de strukturuppbyggande processerna hade inverkan på resultaten. Detta gör att den andra mätningen är resultatmässigt mest korrekt med avseende på packningseffekterna från de olika däcken och ringtrycken. I den andra mätningen kunde man urskilja skillnader i penetrationsmotstånd i de övre markskikten (nivå 3,5-21 cm) mellan de olika ringtrycken för respektive däck. Enligt Erbach och Knoll (1992) ökar packningseffekterna som beror av ringtrycket när axelbelastningen ökar. Om en högre axelbelastning hade används i detta försök hade förmodligen divergensen mellan ringtrycken varit större. Man kunde dock inte se några större skillnader mellan de olika däcken vid samma ringtryckskategori. Tydligt har skillnaden i packning mellan de olika däcken varit små. Även här hade kanske en högre axelbelastning bidragit till ett större utslag i resultatet. För medelvärdet i matjorden uppvisade däremot Taurus ett högre penetrationsmotstånd i förhållande till de övriga däcken. Att Taurus visade ett högre motstånd är troligtvis en följd av, vilket tidigare nämnts, dels ett betydligt högre ringtryck för respektive ringtryckskategori och dels en mindre sektionsbredd jämfört med de övriga däckstyperna.

Den första penetrometermätningen som utfördes kort efter körning gav inga större skillnader i penetrationsmotstånd bland de olika ringtrycken för respektive däck. Resultaten från den andra mätningen som genomfördes långt senare på våren visade däremot mer tydliga skillnader i penetrationsmotstånd. Skälet till detta är med största sannolikhet age-hardening. När en jord utsätts för störning genom yttre påverkan förskjuts markpartiklarna i förhållande till varandra och bindningarna mellan dessa bryts upp. Med störning menas antingen skjuvning (konstant volym), sammantryckning (volymminskning) eller en kombination av dessa. Eftersom bindningarna mellan

markpartiklarna bryts sker det en omorganisation av partiklarna vilket gör att en störd jord har betydligt lägre hållfasthet än en ostörd vid samma skrymdensitet och vattenhalt. Eventuella skillnader i penetrationsmotstånd är därför svåra att urskilja i början. Genom att nya bindningar bildas samt stärks mellan markpartiklarna ökar hållfastheten med tiden och medför att eventuella skillnader i penetrationsmotstånd framträder allt tydligare (Dexter, Horn & Kemper, 1988). Effekterna av age-hardening tycks också ha påverkat resultatet för regressionskurvan eftersom lutningen på kurvan har ökat mellan första och andra mätningen. En annan intressant skillnad i resultat mellan den första och den andra penetrationsmätningen var differensen mellan referenskurva och övriga mätkurvor. I förhållande till den första penetrationsmätningen uppvisade den andra mätningen en betydligt lägre differens med undantag för Taurus vid normalt och högt ringtryck. Eftersom andra mätningen utfördes på våren har viss del av packningsverkan försvunnit med hjälp av strukturuppbyggande processer i marken såsom tjälning och upptorkning. Upphovet till att Taurus inte visade någon större skillnad är troligen att markpackningen vid de högre ringtrycken var såpass kraftig att effekterna av age-hardening och de strukturuppbyggande processerna tog ut varandra. Ett angeläget resultat som erhöles i den andra mätningen var att packning uppstod även i de undre nivåerna (alven) vid en axelbelastning på 5 ton. Generellt är belastningsgränsen för packning i alven för enkel axel 6 ton (Eriksson, Håkansson & Danfors, 1974).

Tryckgivarmätningar

Skillnaderna i marktryck mellan ringtrycken för respektive däck var stora på 20 cm och små på 40 cm för samtliga däck. Resultatet pekar på, vilket har konstaterats i andra liknande försök, att ringtrycket har störst inverkan på trycktillskottet i matjorden (0-25 cm) och avtar sedan med djupet. På 20 cm visade Taurus högst marktryck för alla ringtrycken följt av Twin och lägst hade Kleber samt Michelin. Än en gång beror det erhållna höga värdena hos Taurus på dels ett betydligt högre ringtryck för respektive ringtryckskategori och dels en mindre sektionsbredd jämfört med de övriga däckstyperna. Att Twin hade högre marktryck än Kleber och Michelin antyder att däckens konstruktion har haft inverkan. Radialdäckens formbarhet gör att deras understödsyta förändras både i längd och bredd då ringtrycket ändras. Antagligen har den totala kontaktytan varit större hos Michelin och Kleber trots att Twin enligt däckdimensionerna har den största sektionsbredden. På djupet 40 cm kunde man urskilja endast marginella skillnader mellan däcken. Liksom för ringtrycken verkar typen av däck ha haft störst inverkan på trycktillskottet i matjorden och sedan avtagit med djupet. Skillnaden mellan Michelin och Kleber på 20 cm var mer tydlig för medelvärdet som redovisas i tabell 2, där Michelin hade det lägsta marktrycket. Detta beror troligtvis på att Michelin har en större sektionsbredd och därav en något större understödsyta. Här liksom vid spårdjupsmätningarna uppvisade Kleber på 20 cm en något större förändring framför de övriga däcken då ringtrycket ändrades. Orsaken kan vara en kombination av en något mindre sektionsbredd och en något större flexibilitet hos Kleber som gjorde att anläggningsytans form och storlek varierade kraftigare vid ändrat ringtryck.

Något man bör beakta är att resultaten från tryckgivarmätningarna inte är direkt jämförbara med spårdjups- och penetrometermätningarna. Till skillnad från tryckgivarmätningarna utfördes de två första mätningarna i samma försöksrutor på en lättlera. En annan viktig olikhet mellan undersökningarna man bör uppmärksamma är förhållandena under vilka mätningarna skedde. För de två första mätningarna som utträttades ute i fält var förhållandena plastiska. Tryckgivarmätningarna genomfördes däremot på en torr och homogen sand under icke plastiska förhållanden. Resultaten från de olika mätningarna pekar dock i stort sett i samma riktning.

Slutsatser

- Ringtrycket hade en mycket stor betydelse för spår djup, penetrationsmotstånd och uppmätt tryck i marken.
- Betydelsen av ringtrycket och däcktypen avtog med djupet i marken.
- Lågprofildäck gav en lägre packning främst beroende på att de tillät användande av ett lägre ringtryck.
- Penetrationsmätningarna på hösten direkt efter körning gav mindre utslag än mätningarna på våren, troligen p.g.a. age-hardening.
- Packning erhöles i alven trots en axelbelastning under den gräns på 6 ton som ofta anges för att undvika alvpackning.
- Trelleborg TWIN som är ett diagonaldäck uppvisade ett högre marktryck än lågprofildäck av radialtyp, troligtvis p.g.a. att diagonaldäckets sidor är stelare.

Sammanfattning

Jordpackning d.v.s. en minskning av markens porvolym är ett stort problem inom jordbruket eftersom detta leder bl.a. till försämrade markfysikaliska förhållanden. En av de faktorer som lantbrukaren lättast kan påverka är valet av däcksutrustning och ringtryck. Med anledning av detta genomfördes en undersökning hösten 1994 där sambandet mellan ringtryck och marktryck studerades för några olika däck. I försöket undersöktes hur marken påverkades av dels olika däckstyper (Taurus, Kleber, Michelin och Twin) och dels olika ringtryck (lågt, rekommenderat och högt). För att fastställa uppkomna marktrycks- samt packningseffekter innefattade försöket tre sorters mätningar; spårdjups- och penetrometermätningar som genomfördes i fält på en lättlera samt tryckgivarmätningar som utfördes under tak i lös sand.

Resultaten från mätningarna, dels i fält och dels i lös sand, pekade i stort sett i samma riktning. Sammanfattningsvis hade ringtrycket en mycket stor betydelse för spårdjup, penetrationsmotstånd och uppmätt marktryck. Betydelsen av ringtryck och däckstyp visade sig avta med djupet. Vidare gav lågprofildäck en lägre packning främst beroende på att de tillät användande av ett lägre ringtryck. Trelleborg TWIN som är ett diagonaldäck uppvisade ett högre tryck i marken än lågprofildäck av radialtyp. Detta berodde troligtvis på diagonaldäckets konstruktion som ger stelare sidor.

Summary

Soil compaction i.e. reduction of the soil pore volume is a big problem within agriculture, mainly because it leads to poor aeration and increased mechanical resistance. The farmer can reduce the effects by the choice of tyre equipment and tyre inflation pressure. In this experiment, which was carried out in the autumn 1994, the compaction effects of some different tyres (Taurus, Kleber, Michelin and Twin) and tyre inflation pressures (low, recommended and high) were studied. The investigation included three kinds of measurements; track depth and penetration resistance which were carried out in the field on a loam soil and soil stress which was carried out indoors on coarse, dry sand.

The results from the measurements, partly in the field and partly on coarse sand, pointed in the same direction. The tyre inflation pressure had a very large influence on the track depth, penetration resistance and soil stress. The influence of tyre inflation pressure and tyre type decreased with depth. Low profile tyres reduced compaction mainly by allowing the use of a lower tyre inflation pressure. Trelleborg TWIN which is a crossply tyre resulted in a higher pressure in the soil than tyres of radial type. This is probably caused by the design of the crossply tyre, which gives more stiff tyre sides than for radial tyres.

Litteraturförteckning

Armbruster K., Hertwig A. & Kutzbach H. D. 1989. *A new cone-penetrometersystem*. Abstracts from soil compaction conference in Lublin, s. 15-16.

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

Danfors B. 1970. *Jord-fordon och maskiner*. Rapport från jordbrukstekniska institutet nr. 333. SLU, Uppsala.

Danfors B. 1980. *Däck för traktorer och redskap*. Rapport från jordbrukstekniska institutet nr. 386. SLU, Uppsala.

Dexter A. R., Horn R. & Kemper W. D. 1988. *Two mechanisms for age-hardening of soil*. Journal of soil science no. 39, s. 163-175.

Erbach D. C. & Knoll K. K. 1992. *Inflation pressure effect on soil compaction*. ASAE meeting presentation no. 92, s. 1582-1595.

Eriksson J., Håkansson I & Danfors B. 1974. *Jordpackning-markstruktur-gröda*. Rapport från jordbrukstekniska institutet nr. 354. SLU, Uppsala.

Eriksson J. 1982. *Markpackning och rotmiljö*. Rapport från institutionen för markvetenskap, avdelningen för hydroteknik. SLU, Uppsala.

Grahm L., Jubrink H. G. & Lauber A. 1989. *Modern industriell mätteknik-givare*. Bokförlaget Teknikinformation, Linköping.

Koolen A. J. & Kuipers H. 1983. *Agricultural soil mechanics*. Advanced series in agricultural sciences nr. 13. Springer-Verlag, Berlin.

Olsen H. J. 1986. *Tekniska möjligheter att undvika skadlig jordpackning*. Ur konsulentavdelningens rapporter nr. 84, s. 19:1-19:12. SLU, Uppsala.

Weiler W. & Kulhawy F. 1982. *Factors affecting stress cell measurements in soil*. Journal of the geotechnical engineering division no. GT12, s. 1529-1548. ASCE, vol 108.

MEDDELANDEN FRÅN JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

Nr	År	
1	1992	Johan Arvidsson, Sixten Gunnarsson, Lena Hammarström Inge Håkansson, Tomas Rydberg, Maria Stenberg, Bo Thunholm: 1990 års jordbearbetningsförsök. 40 s.
2	1992	Mats Tobiasson: EKOODLAREN - En studie av ett kombinationsredskap för sådd och ogräshackning, utförd våren och sommaren 1991. Examensarbete. 19 s.
3	1993	Mats Tobiasson: Såbillar för reducerad bearbetning. Undersökningar av nya såbillar för odlingssystem med reducerad bearbetning, utförda 1991 och 1992. 23 s.
4	1993	Anna Borg: Flöden av kväve och fosfor i Forshällaåns avrinningsområde - beräkning av olika källors bidrag till växtnä ringsläckaget. Examensarbete. 45 s. <i>Flows of nitrogen and phosphorus in the Forshällaån watershed - estimations of the contributions from different sources to the leaching of plant nutrients. 45 pp.</i>
5	1993	Thomas Grath: <i>Effects of soil compaction on physical, chemical and biological soil properties and crop production.</i> 101 pp.
6	1993	Estela Pasuquin: <i>Tillage influences on soil conditions and crop response under dry weather in the Philippines and in Sweden.</i> 62 pp.
7	1994	Hans Pettersson: Radhackning i stråsäd med ny hackutrustning. Examensarbete. 28 s. <i>Rowhoeing in cereals with new hoeing equipment. 28 pp.</i>
8	1994	Jörgen Lidström och Lars Olsson: Nya såmaskiner för reducerad bearbetning. Examensarbete. 57 s. <i>New drills for reduced tillage. 57 pp.</i>
9	1994	Sara Lindén: Tidig start och tillväxt av sockerbetor. Examensarbete. 37 s. <i>Early start and growth of sugarbeets. 37 pp.</i>
10	1994	Sasa Ristic och Tomas Rydberg. Optimering av bearbetningsintensitet och jordpackning samt studier av markfysikaliska orsaker till ojämna bestånd i oljevaxter. 13 s.
11	1994	Jennie Andersson: Vattenhaltsmätningar med TDR (time domain reflectometry) och neutronsond i försök med tidig sådd av korn. 37 s. <i>Soil moisture measurements with TDR (time domain reflectometry) and neutron probe in a field experiment of early sown barley. 37 pp.</i>

Nr	År	
12	1994	Anders Gustafsson: Totalinnehåll och djupfördelning av organisk substans i mångåriga plöjningsdjupsförsök. Examensarbete. 25 s. <i>Total content and vertical distribution of organic matter in long-term experiments with different ploughing depths. 25 pp.</i>
13	1995	Sixten Gunnarsson och Göran Kritz. Olika bearbetningssystem i potatisodlingen. 12 s. <i>Different tillage systems and potato growth. 12 pp.</i>
14	1995	Daniel Johansson: Groning och plantetablering vid låga temperaturer i kärlförsök och i fältförsök med tidig sådd. 35 s. <i>Germination and plant development at low temperature in pot and field experiments. 35 pp.</i>
15	1995	Åse Littorin Johansson: Radhackning i stråsäd. 28 s. <i>Row hoeing in cereals. 28 pp.</i>
16	1995	Johan Arvidsson: Återpackning vid sådd i plöjningsfri odling. 12 s. <i>Recompaction in ploughless tillage. 12 pp.</i>
17	1995	Inge Håkansson, Editor: <i>Reports of project works by participants in the course "Soil Tillage and Related Soil Management Practices". 73 pp.</i>
18	1995	Johan Arvidsson & Virginius Feiza: Låga ringtryck i odling med och utan plöjning. 20 s. <i>Low inflation pressure in conventional and ploughless tillage. 20 pp.</i>
19	1995	Anna Lena Carlsson: Näring, kadmium och bakterier i hushållsavlopp - En fältstudie av ett urinsorterande avloppssystem med lecabädd i Östhammar. 50 s. <i>Plant nutrients, cadmium and bacteria in household wastewater - A field study of a urine separation system combined with a leca-filter in Östhammar. 50 pp.</i>
20	1996	Carl Blackert: Plöjningsfri odling och strukturkalkning på lerjordar. Effekter på markfysikaliska egenskaper och avkastning. 29 s. <i>Ploughless tillage and structural liming on clay soils. Effects on soil physical characteristics and yield. 29 pp.</i>
21	1996	Johan Bengtson: Concorde - En utvärdering av ett redskap för harvning och sådd. 26 s. <i>Concorde - An evaluation of an implement for harrowing and sowing. 26 pp.</i>
22	1996	Rickard Ivarsson: Plöjningsfri odling och strukturkalkning på lerjordar. Effekter på markbiologiska, markkemiska och markfysikaliska egenskaper, samt ogräs och skörd. 51 s. <i>Ploughless tillage and structural liming on clay soils 51 pp.</i>

23

1996

Sasa Ristic: Tryck och tryckverkningar under olika traktorhjul.
24 s.
Soil compaction under different tractor wheels. 24 pp.

