

RAPPORTER FRÅN JORDBEARBETNINGEN

Swedish University of Agricultural Sciences,
S-750 07 Uppsala
Department of Soil and Environment



Nr 131

2015

Johan Arvidsson, Mikael Gilbertsson,
Thomas Keller, Per-Anders Algerbo

**Hjul och band på stora traktorer och
tröskor – effekter på marktryck och
dragkraftsuttag**

Hjul och band på stora traktorer och tröskor – effekter på marktryck och dragkraftsuttag

*Johan Arvidsson och Thomas Keller, SLU, Mikael Gilbertsson och Per-Anders
Algerbo, JTI.*

Innehållsförteckning

Sammanfattning	4
Syfte	5
Bakgrund	6
<i>Beräkning av tryck</i>	6
Material och metoder	7
<i>Tryckmätningar</i>	7
<i>Mätning med full tröska</i>	7
<i>Mätning med tom tröska</i>	7
<i>Mätning traktorer</i>	8
<i>Mätning fullastad betupptagare</i>	10
<i>Dragkraftsmätningar</i>	10
Resultat	11
<i>Tryck under full tröska</i>	11
<i>Tryck under tom tröska</i>	12
<i>Tryck under traktorer</i>	13
<i>Tryck under betupptagare</i>	15
<i>Dragkraftsmätningar, torra förhållanden</i>	16
<i>Dragkraftsmätningar, våta förhållanden</i>	16
<i>Modell för tryckberäkning</i>	18
Diskussion	20
Slutsatser	20
Referenser	21

Sammanfattning

Under åren 2012-2014 gjordes jämförelser mellan band och hjul på stora traktorer och tröskor, både avseende marktryck och dragkraftsuttag. Mätning av tryck i marken gjordes vid fyra olika tillfällen: 1) Mätning med fullastad tröska. 2) Mätning med tom tröska. 3) Mätning med traktorer. 4) Mätning med fullastad betupptagare. Vid mätningar med tröska användes band, konventionella däck och s.k. IF-däck som medger lägre ringtryck vid en given last. Vid mätning med traktorer testades enkla och dubbla hjul och traktorer med två respektive fyra band. Sonder installerades på olika djup i marken, oftast 15, 30 och 50 cm. Förutom mätningar utvecklades också ett kalkylark för beräkning av tryck under band och hjul. Vid två tillfällen mättes också slirning för band och hjultraktorer vid olika dragkraftsuttag.

På tröskor gav band lägre tryck än konventionella däck i både matjord och alv. IF-däck medgav en stor sänkning av ringtrycket jämfört med konventionella däck, gav ungefär samma tryck som band i matjorden och betydligt lägre tryck än ett konventionellt däck. I detta test användes dock relativt smala band, trycket kan därför potentiellt sänkas genom att använda bredare band.

Bandtraktorer gav ungefär samma eller högre tryck än traktorer med dubbelmontage. Detta är kopplat till att banden har en hög egenvikt och att bandtraktorer ofta får högre kvot vikt/effekt än traktorer med hjul. Enkla hjul på traktorn gav betydligt högre tryck än band och dubbelmontage i både matjord och alv.

Det kalkylark som utvecklats är, såvitt vi känner till, det första i världen som är fritt tillgängligt och kan beräkna tryckutbredning i marken under både band och hjul. Vi ser det som ett utmärkt underlag för rådgivning i svenskt jordbruk. Vid ett givet dragkraftsuttag var slirningen lägre för band- än hjultraktorer, vilket innebär en potentiell bränslebesparing. Det skulle dock vara önskvärt med mätningar också av totala energiförbrukningen vid dragkraftsuttag.

Sammantaget anser vi att projektets resultat avsevärt förbättrat kunskapsläget och gett ett förbättrat underlag för enskilda jordbrukare inför investeringar i nya maskiner. Det verktyg som utvecklats kommer också att vara användbart som rådgivningsunderlag under lång tid framöver.

Syfte

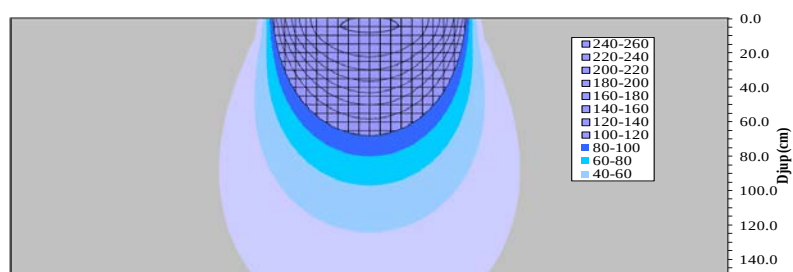
Band har använts länge inom jordbruket, men det är först på senare år som band blivit vanliga i Sverige, på traktorer och tröskor. En av de potentiella fördelarna med band är ett lågt marktryck på grund av en stor understödsyta. Samtidigt kan trycket utmed bandet vara ganska ojämnt fördelat, med lokalt högt tryck under stödrullar. Detta gör det komplicerat att räkna ut tryckutbredning under band. Idag finns vedertagna modeller för att beräkna tryckutbredning under hjul, men inte under band. För traktorer kommer också skillnader mellan band och hjul påverka möjligheten att ta ut dragkraft.

I denna rapport redovisas resultat från ett SLF-finansierat projekt för att studera skillnader mellan band och hjul på stora traktorer och tröskor. Projektet hade framförallt tre syften: 1) Att mäta tryck under band och hjul på olika djup i marken under traktorer och tröskor som idag används i svenskt jordbruk. 2) Att jämföra slirning mellan band och hjul på traktorer vid dragkraftsuttag. 3) Att utveckla en modell för att beräkna tryckutbredning under band. Modellen skulle sedan ingå i ett rådgivningsverktyg, fritt tillgängligt via internet.

Bakgrund

Vikten på lantbruksmaskiner har kontinuerligt ökat alltsedan jordbruket mekaniserades. Idag kan axelbelastningen på tröskornas framaxel ligga kring 20 ton, och totalvikten på traktorer överstiga 20 ton. Vi vet sedan tidigare att höga hjullaster medför ökad risk för packning i alven, medan höga ringtryck ökar packningen i matjorden. De största hjullasterna kräver ringtryck på i storleksordningen 2 bar, även med de största däck som finns tillgängliga på marknaden, och ger därför packningsskador både i matjord och alv. En sammanställning av mätningar vid SLU visar att ett gränsvärde för risk för packningsskador i alven är 50 kPa (0,5 bar). I figur 1 visas beräknat tryck under framhjulet på en stortröska.

På traktorer har det varit möjligt att hålla marktrycken på rimliga nivåer genom att använda dubbelmontage, och därmed en stor understödsyta. Större traktorer med dubbelmontage blir dock väldigt breda, och kan därför vara svåra att framföra på väg. Försäljningen av bandtraktorer har därför ökat, och är idag ett realistiskt alternativ för många lantbrukare. Idag finns också ett stort intresse för fasta körspår, där spårbredden ska vara så liten som möjligt. I ett sådant system passar fordon med band bäst. När det gäller stora tröskor kan dessa inte



Figur 1.
Beräknat tryck
under tröska,
hjullast 9 ton,
ringtryck 1,6
bar. 100 kPa=1
bar.

utrustas med dubbelmontage (de blir för breda och hjulaxlarna är inte dimensionerade för detta). Enda tekniska möjligheten idag är då att utrusta tröskorna med band.

Tidigare har jämförande mätningar oftast genomförts mellan konventionella traktorer utrustade med lågtrycksdäck och bandtraktorer med ett band på var sida av traktorn. Testerna har visat att trots den högre traktornvikten har bandtraktorer ofta gett upphov till lägre packning än jämförda konventionella lantbrukstraktorer, vilket beror på den större understödsyta som banden har (Kinney et al., 1992, Erbach et al., 1991). Den stora understödsytan gör också att det är möjligt att ta ut större dragkraft eftersom markens hållfasthet utnyttjas över en större yta, och minska traktorns slirning (Koolen & Kuipers, 1983). Det finns dock också nackdelar med band. Uppmätt maxtryck under banden kan vara flera gånger högre än det genomsnittliga trycket, beräknat som traktorns tyngd dividerat med bandens understödsyta. Detta beror på ojämn tryckfördelning i längs- och sidled, framförallt beroende på svårigheten att fördela traktorns tyngd jämnt över banden då man tar ut dragkraft (Keller, m.fl., 2004). Totalvikten på bandtraktorer är dessutom ofta hög i förhållande till traktorns effekt, vilket gör att man kör på fältet med klart högre vikt än vad som behövs för att ta ut dragkraft.

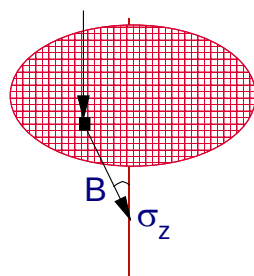
En praktisk erfarenhet är också att under mycket blöta förhållanden har banden dålig rensningsförmåga. Detta i kombination med lågt marktryck kan göra att traktorn snabbt går från låg till 100 % slirning.

Under 2009 genomfördes ett projekt av SLU och JTI där bandställ jämfördes med

enkel- och dubbelmontage på en konventionell traktor med en totalvikt på ca 7 ton (Westlin m.fl., 2010, Arvidsson m.fl., 2010). Bandställ gav ungefär samma eller något lägre tryck jämfört med dubbelmontage. I projektet mättes också dragförmåga genom att bestämma dragkraft som funktion av slirning. Slirningen blev då klart lägst för band, det bör dock poängteras att mätningen gjordes under goda förhållanden för att ta ut dragkraft.

Beräkning av tryck

Beräkning av tryckutbredning i marken bygger i regel på de modeller som utvecklades av Bossinesque (1885) och Söhne (1958). Metoden bygger på att trycket i en viss punkt i marken kan beräknas som funktion av en punktlast i markytan. Totala trycket i en punkt kan sedan beräknas som en funktion av samtliga punktlaster (figur 2). En hög hjullast kommer, vid oförändrat ringtryck, att medföra att däckets understödsyta ökar. Djupare ned i marken kommer krafterna från anliggningsytan att samverka, vilket medför att hjullasten kommer ha stor betydelse för packningen i alven. Vid avdelningen för jordbearbetning har utvecklats kalkylark för att beräkna tryck i marken, som finns gratis tillgängliga (www.jordpackning.se). Tidigare mätningar med hjul visar att beräknat tryck stämmer väl med uppmätt tryck. För närvarande finns inte någon möjlighet att beräkna trycket under band, då det ej finns någon funktion för att beräkna tryckutbredning i bandets understödsyta. Det föreslagna projektet skulle ge underlag för en uppskattning av tryckutbredningen under band och möjliggöra generella beräkningar som kan användas inom rådgivningen. Rent vetenskapligt kommer mätningarna också att bli värdefulla för att validera de modeller som används för att beräkna tryckutbredning i mark.



Totala spänningen i en punkt erhålls genom att addera spänningen från samtliga punktlaster (delytor)

Fig. 2. Beräkning av spänning (tryck) i marken som en funktion av punktlaster i anliggningsytan.

Material och metoder

Arbetet har skett i tre olika delar: mätning av tryck i marken, mätning av slirning vid dragkraftsuttag samt utveckling av modell för att beräkna tryck.

Tryckmätningar

Mätning av tryck i marken gjordes vid fyra olika tillfällen: 1) Mätning med full tröska. 2) Mätning med tom tröska. 3) Mätning med traktorer. 4) Mätning med fullastad betupptagare.

Vid de första tre tillfällena ovan användes lastceller installerade på olika djup med en teknik som utvecklats av Arvidsson & Andersson (1997), en bild av en mätning visas i figur 3. För varje installation av mätsonder kördes med samtliga hjul och band som ingick i mätningen, dock i olika ordning. Varje installation räknades därför som en upprepning.

Mätning med full tröska

Mätning med fullastad tröska gjordes på en moränlättna på Gårdstånga Nygård

utanför Lund. Mätningen gjordes sent på hösten under relativt fuktiga förhållanden, med två Claes Lexion-tröskor, den ena med band, den andra med hjul. Hjultröskan var en Claes Lexion 570 med en totalvikt olastad på 17710 kg, och fullastad 27500 kg. Tröskan var utrustad med två olika däck med dimensionen 900/60 R 32, dels ett konventionellt däck, dels ett däck av typ IF (improved flexibility), som medger lägre ringtryck vid samma last. Rekommenderat ringtryck för det konventionella däck var 2,1 bar för lasten 10400 kg, och för IF-däcket 1,3 bar för lasten 10200 kg. Bakhjulet hade dimensionen 600/55 R 26.5 med en belastning på 3450 kg och ringtrycket 2,3 bar. Bandtröskan var en Claes Lexion 750 med en totalvikt på 20410 kg olastad och 30060 kg med last, den högre vikten jämfört med hjultröskan i första hand beroende på bandens högre egenvikt. Banden var 65 cm breda och centrumavstånd mellan främre och bakre bärhjul var 183 cm, genomsnittlig belastning per band var 11200 kg. Mätning av trycket gjordes på tre olika djup: 15, 40 och 60 cm med sammanlagt 5 installationer av mätsonder.



Figur 3. Teknik för mätning av tryck i marken. Sonder finns installerade på olika djup i marken mitt under spåret.

Mätning med tom tröska

Mätning med tom tröska gjordes på en styv lera på gården Lilla Vallskog norr om Uppsala. I mätningarna ingick en Claes Lexion 760 hjultröska med 35 fots skärbord och en Claes Lexion 750 bandtröska med 30 fots skärbord. Tröskorna vägdes ej men enligt tillverkarens uppgifter väger Lexion 760 i grundutförande 300 kg mer än Lexion 750 (16500 respektive 16200 kg). (<http://www.claas.ua/blueprint/servlet/blob/410302/a9d9a93a815929b7b0eb98fdc710dee1/234072-dataRaw.pdf>). Däckdimension på framaxeln var 900/60 R32 IF. För att efterlikna förhållandena på Gårdstånga kördes tröska med två olika ringtryck i framhjulen: 1,3 respektive 2,1 bar. Banden var 65 cm breda och centrumavstånd mellan främre och bakre bärhjul var 183 cm. Det gjordes sammanlagt 6 installationer på 15, 30 och 50 cm djup. Vid detta tillfälle gjordes också mätningar med en annan typ av sond, en s.k. Bollingprobe (Bolling, 1987). Denna består av en vätskefylld elastisk cylinder. Bollingproben mäter det genomsnittliga

trycket i en punkt (från alla riktningar), medan den lastcell som användes i övriga mätningar mäter det vertikala trycket. Bollingprober installerades på 15, 30 och 50 cm djup från en grävd grop enligt samma princip som visas i figur 3.

Mätning traktorer

Mätning av tryck under traktorer gjordes på gården Valstad nära Borensberg i Östergötland. I undersökningen ingick band- och hjultraktorer av olika storlekar, bl.a. en John Deere 9330 och en CaseIH Steiger 435, båda med totalvikt på ca 20 ton. John Deere-traktorn kördes med både enkla och dubbla hjul medan Case-traktorn var utrustad med IF-däck. Bandtraktorer var en CaseIH Steiger 485 Quadtrack med fyra lika stora band (motsvarande Case 435 hjultraktor) och en CAT Challenger MT765B med två band. Dessutom testades en Valtra T191, en betydligt lättare traktor. Hjullaster, däckdimensioner och ringtryck visas i tabell 1. En bild på de flesta av de traktorer som ingick visas i figur 4. Bandens utformning visas i figur 5.

Tabell 1. Specifikationer för traktorer

	Dimension Däck/band	Last (kg) Däck/band	Ringtryck (bar)
JD dubbelmont.	650/65 R38	2550	0,6
JD enkelhjul	650/65 R38	4900	1,2
Case dubbelm.	710/70 R42IF	2650	0,4
Valtra 0,4 bar	650/65 R42	1250	0,4
Valtra 0,6 bar	650/65 R42	1250	0,6
Case Quadtrack	185*71 cm	6400	0,5 ¹
Challenger	237*70 cm	7680	0,4

¹ Värdena för band är beräknade från vikt och beräknad understödsyta. Bandens längd avser centrumavstånd mellan bärhjulen.



Figur 4. Traktorer som testades på Valstad. CaseIH Steiger 435 på högra bilden.



Figur 5. Band på CaseIH Steiger Quadtrack till vänster och CAT Challenger MT765B till höger

Mätning fullastad betupptagare

Mätning av trycket gjordes också med fullastade betupptagare, på en styv lera i södra Holland. En upptagare med en last på i genomsnitt 12375 kg per framhjul jämfördes med en last på i genomsnitt 15515 kg per band. Däcken hade dimensionen 900/60 R38 IF och kördes med ett ringtryck på 1,65 bar, medan banden var 91 cm breda och hade centrumavstånd 164 cm mellan främre och bakre bärhjul. Uppmätt understödsyta var 0,90 x 1,95 m. Vid detta måttillfälle grävdes en grop och tre lastceller installerades på ca 25 cm djup; i mitten av spåret, 22,5 cm vid sidan och 45 cm vid sidan av spåret.

Dragkraftsmätningar

Vid dragkraftsmätningarna mättes dragkraften med ett specialtillverkat drag med kraftgivare, figur 6. Slirning bestämdes genom att mäta hjulhastighet, samt den verkliga hastigheten med GPS. Mätningar vid torra förhållanden gjordes på Valstad gård i Östergötland i samband med mätningar av tryck. Traktorena som användes i försöket var samma som vid tryckmätningarna, förutom Valtra T191 som inte användes för dragkraftsmätningar. Det belastande redskapet som användes var en Väderstad TopDown 500. Den eftersträlvade framföringshastigheten var 6 km/h. Flera mätningar gjordes med olika dragkraftsuttag.



Figur 6. Det specialtillverkade draget med kraftgivare som användes vid försöken.

Mätning av dragkraftsuttag och slirning gjordes också vid mycket blöta förhållanden på en lerig mo på Borgeby gård i Skåne. Vid körningen var det så pass blött att en lantbrukare normalt sett inte hade bearbetat fältet. Två traktorer provades: John Deere 8360 R med dubbelmontage fram och bak samt John Deere 8360 RT med band, se tabell 2 för

specifikationer. Det belastande redskapet var även här en TopDown 500 och den eftersträlvade framföringshastigheten var 10 km/h. Mätningarna utfördes som stegringslopp, d.v.s. dragkraftsuttaget ökades efter hand till dess att full slirning uppnåts. Åtta upprepningar per traktor utfördes.

Tabell 2. Specifikationer av traktorer vid dragkraftsmätningar på Borgeby

Traktor	Däck-/banddimension	Last (kg)	Ringtryck (bar)
John Deere 8360 R	Bak innerst 900/60 R42 IF	1990	0,5
	Bak ytterst 710/75 R42 IF	1990	0,5
	Fram dubbla 710/60 R34 IF	2200	0,6
John Deere 8360 RT	250 x 76 cm	9100	0,5 ¹

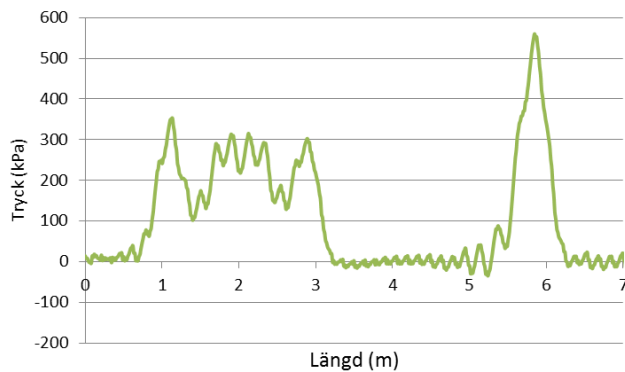
¹ Värdena för band är beräknade från vikt och beräknad understödsyta. Bandens längd avser centrumavstånd mellan bärhjulen.

Resultat

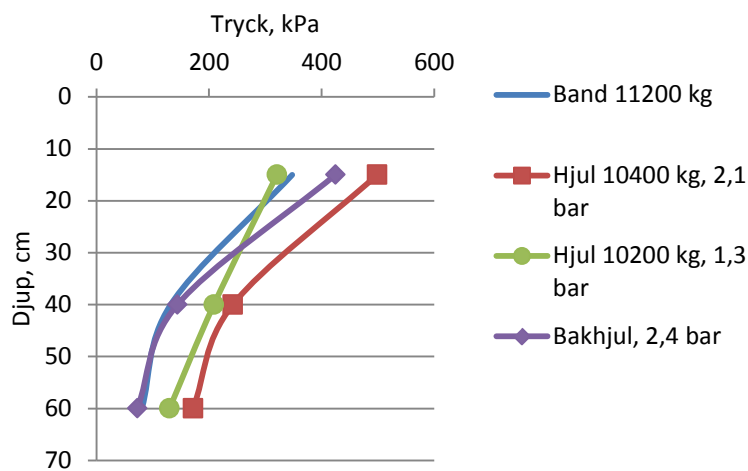
Tryck under full tröska

Ett exempel på mätning visas i figur 7. Under bandet finns lokala trycktoppar under de bärande hjulen, fördelningen var dock jämn mellan bandets främre och bakre del. Tryckets fördelning på olika djup i marken visas i figur 8. Det konventionella däck gav högst tryck på samtliga djup. Intressant att notera är att IF-däcket gav ungefär samma tryck som band i matjorden, i alven var dock trycket

lägre för bandet. Detta hänger samman med bandets längd – understödsytan blir mer utsträckt vilket kan liknas vid att dela upp lasten på flera axlar. Bakhjulet gav ett högt tryck i matjorden och ungefär samma tryck som bandet djupare ner i marken. Skillnader mellan led var statistiskt signifikanta på samtliga djup. På 15 cm skiljde sig band signifikant från konventionella däck, men inte från IF-däck. På 40 och 60 cm djup fanns signifikanta skillnader mellan band, IF-däck och konventionella däck.



Figur 7. Uppmätt tryck på 15 cm djup under band på fullastad tröska. 100 kPa=1 bar.



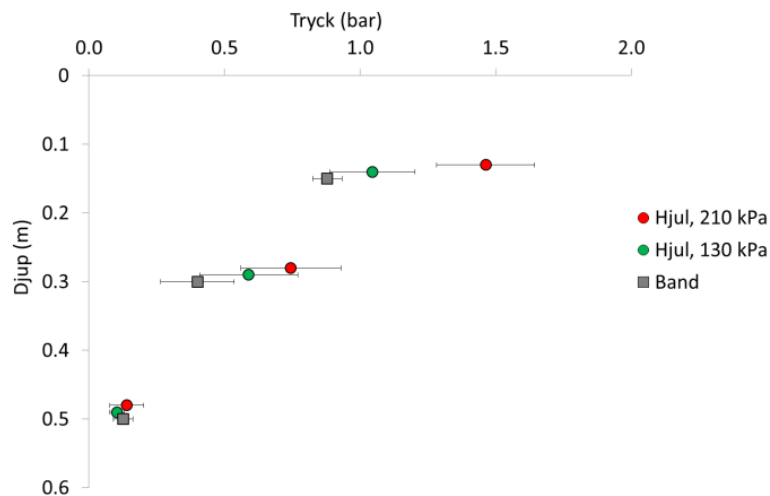
Figur 8. Maximalt uppmätt tryck på 15, 40 och 60 cm för hjul och band på tröska.

Tryck under tom tröska

Mätningar med tom tröska stämde väl överens med mätningarna för full tröska. På 15 cm djup uppmättes med lastceller trycken 291, 207 och 203 kPa för ringtryck 2,1 bar, 1,3 bar respektive band. Trycket för 2,1 bar var signifikant skilt från de båda övriga, som ej skiljde sig åt inbördes. Mätningarna med lastceller på 30 och 50

cm uppvisade relativt stor variation och redovisas ej här.

Mätningar med Bollingprober redovisas i figur 9. På 15 cm djup uppmättes signifikant högre tryck för ringtrycket 2,1 bar, medan trycket för 1,3 bar och band ej var signifikant skilda. På 30 cm var alla tryck signifikant skilda inbördes. På 50 cm var utslagen små och får betraktas som osäkra.



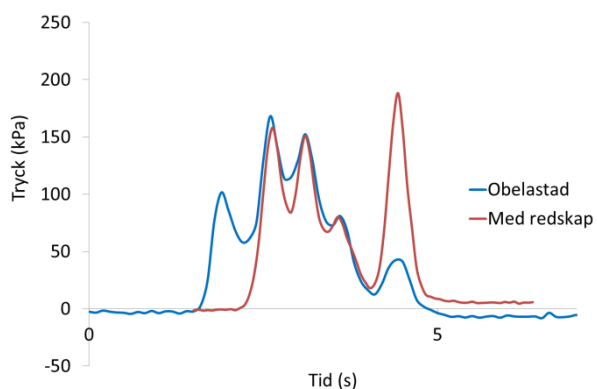
Figur 9. Tryck under tom tröska, mätningar gjorda med Bollingprober.

Tryck under traktorer

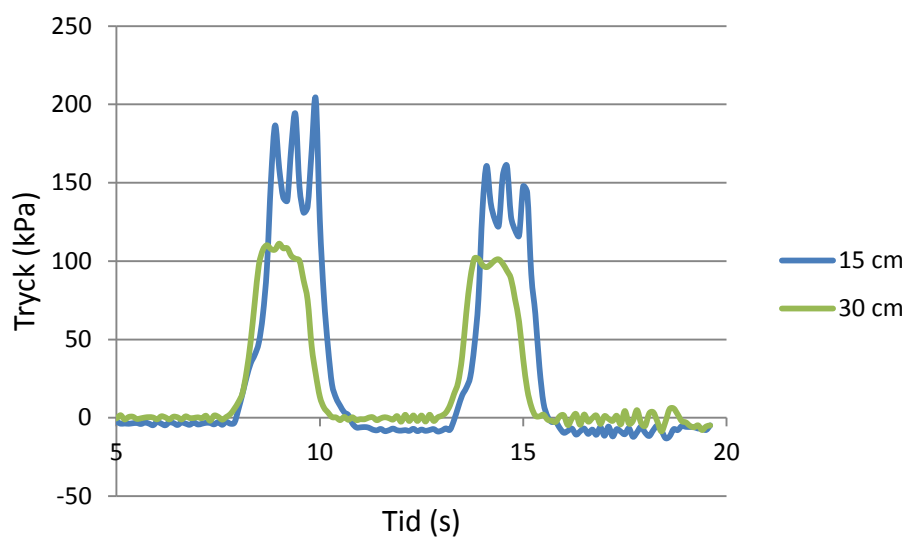
Ett exempel på tryckmätning för CAT Challenger visas i figur 10, med och utan dragkraftsuttag. Utan belastning låg lasten främst på första bärhjulet, och försköts bakåt vid dragkraftsuttag. Högsta trycket blev ungefär samma i båda fallen. För Case Quadtrack var tryckfördelningen jämnare mellan fram och bak, men koncentrerad till de tre mittersta stödrullarna och inte till de större bärhjulen (figur 11).

Tryckutbredning för samtliga traktorer visas i tabell 3 och i figur 12. Högst blev

trycket på samtliga djup för John Deere med enkla hjul. Dubbelmontage sänker ringtrycket och hjullasten vilket gav betydligt lägre tryck på samtliga djup. I alven gav band högre tryck än dubbla hjul, vilket kan kopplas till den högre lasten per band/hjul. IF-däck gav lägre tryck i matjord än konventionella däck, men ingen skillnad i alven. Den lättare Valtratraktorn gav ungefär samma tryck i matjorden som tyngre traktorer, men betydligt lägre tryck i alven, vilket stämmer med beräkningar.



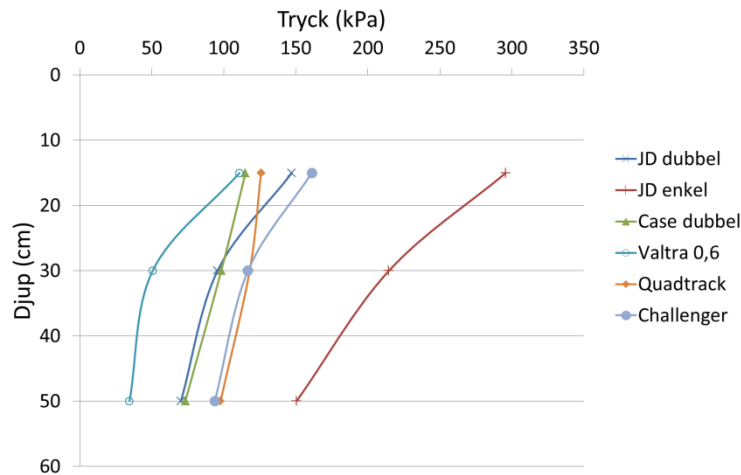
Figur 10. Uppmätt tryck (kPa) under CAT Challenger obelastad (blå linje) och vid dragkraftsuttag (röd linje).



Figur 11. Uppmätt tryck under Case Quadtrack.

Tabell 3. Maximalt uppmätt tryck på olika djup. Värden som ej följs av samma bokstav är signifikant skilda ($P < 0,05$)

	15 cm	30 cm	50 cm
JD dubbelmontage	147bc	96c	70bc
JD enkla hjul	296a	215a	151a
Case dubbelmontage	115cd	98bc	73bc
Valtra 0.4 bar	99cd	51d	36cd
Valtra 0.6 bar	111c	51d	35d
Case Quadtrack	126bcd	118bc	98b
Challenger obelastad	161b	117bc	94b
Challenger med redskap	159b	142b	80b



Figur 12. Tryck på 15, 30 och 50 cm djup för traktorerna på Valstad.

Tryck under betupptagare

Uppmätt maximalt tryck under fullastad betupptagare på 25 cm djup blev 219 kPa

för hjul och 154 kPa för band, en av mätningarna med band visas i figur 13. Resultaten för band och hjul var signifikant skilda ($p < 0,05$).

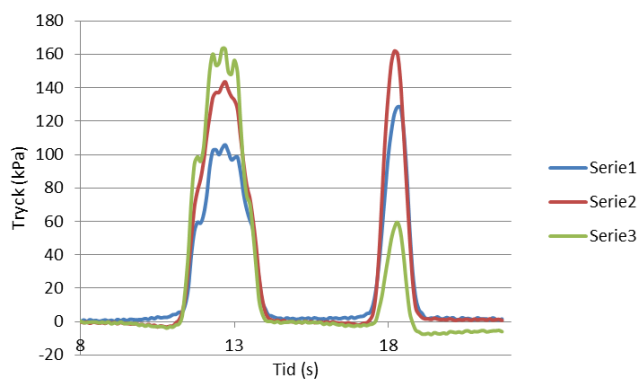


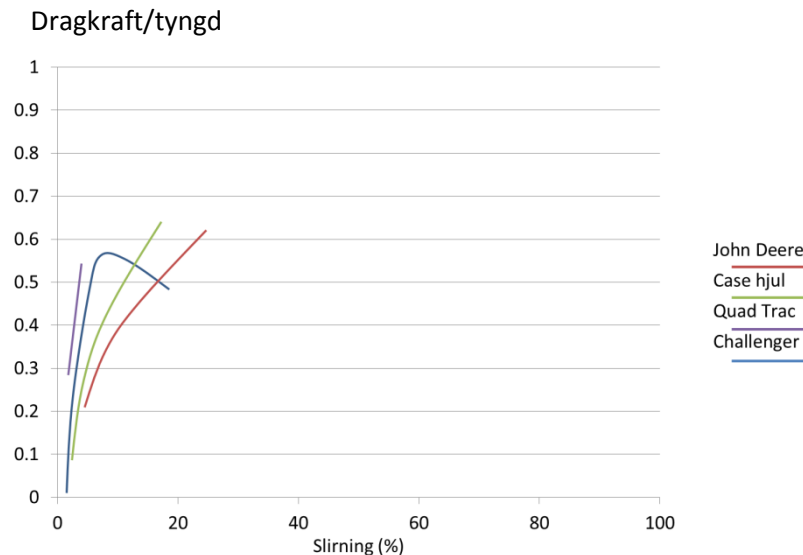
Fig. 13. Tryckmätning på 25 cm djup under fullastad betupptagare med band. Serie 1-3 är mätsonder placerade i olika lägen i förhållande till bandets mittlinje, med serie 3 mitt under bandet.

Dragkraftsmätningar, torra förhållanden

Bandtraktorerna nådde maximalt dragkraftsuttag vid lägre slirning än hjultraktorerna (figur 14). Challengern som var den effektsvagaste och lättaste traktorn kunde bromsas till 100% slirning med redskapet och den i diagrammet som man kan se tappa greppet. För övriga traktorer hade det behövts ett större redskap för att kunna bromsas till full slirning. Noterbart är att bandtraktorerna hade större förmåga att ta ut dragkraft vid betydligt lägre slirning. Det finns också en tendens till skillnad i dragkraft - slirning mellan de midjestyrda hjultraktorerna, vilket troligen kan förklaras med bättre däcksutrustning och lägre ringtryck på CaseIH Steiger 435.

Dragkraftsmätningar, våta förhållanden

Dragkraftsuttag/tyngd som funktion av slirning i för hjultraktor JD 8360 R och bandtraktorn JD 8360 RT visas i figurerna 15, 16 och 17. Data i diagrammen är normaliserad för att utjämna skillnader i vikt mellan traktorerna då traktorns vikt är avgörande för att få ut effekt som dragkraft. Traktorerna hade väldigt olika stegringsförlopp, även om det maximala dragkraftsuttaget var ungefär samma för de båda traktorerna. Den stora skillnaden var i praktiken att den bandförsedda 8360 RT nådde maximal dragkraft redan vid ca 10 % slirning medan JD 8360 R nådde maximal dragkraft vid ca 60 % slirning (figur 17). Vid normal acceptabel slirning blev skillnaden mellan band och hjultraktor ännu större vid våta förhållanden än vid torra. Vid 5 och 10 % slirning var dragkraften ungefär dubbelt så stor för band som för hjul.



Figur 14. Slirning vid olika dragkraftsuttag vid mätningar under torra förhållanden på Valstad i Östergötland.

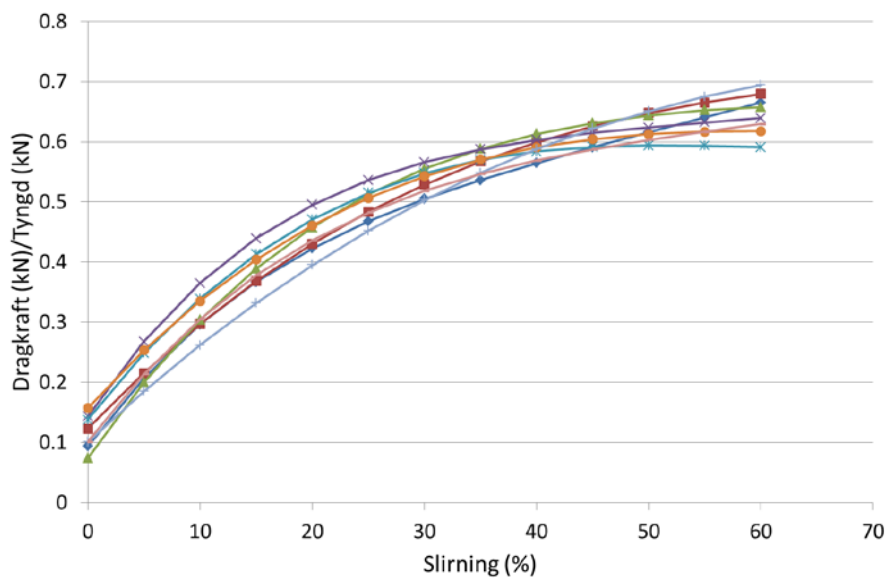


Fig. 15. Samtliga 8 stegringskurvor för hjultraktor JD 8360 R, mätningar på Borgeby.

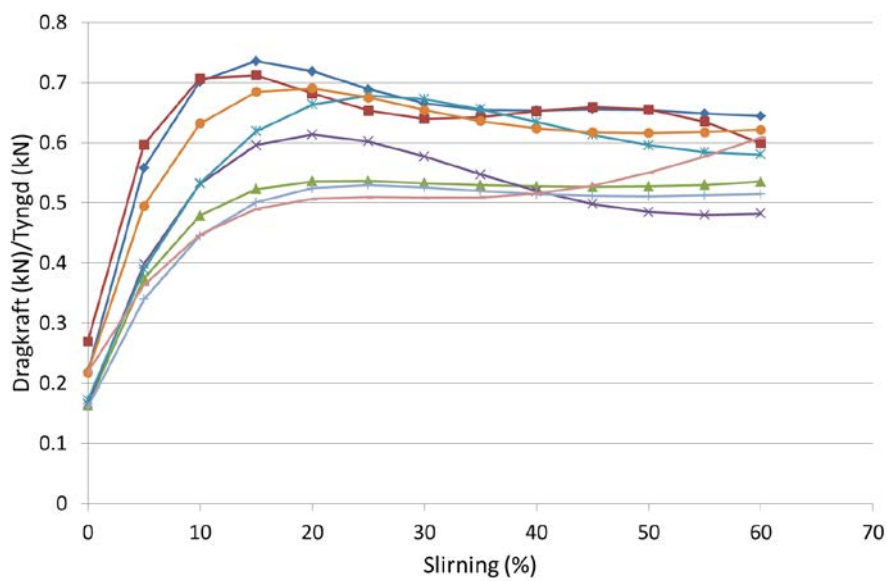
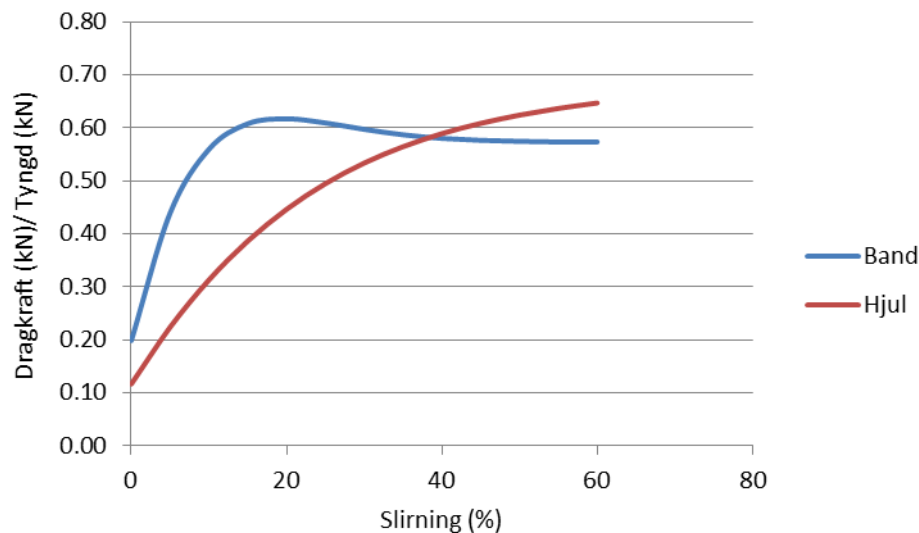


Fig. 16. Samtliga 8 stegringskurvor för bandtraktor JD 8360 RT, mätningar på Borgeby.



Figur 17. Stegringskurvor (genomsnitt) för hjul- och bandtraktor JD 8360, mätningar på Borgeby.

Tabell 4. Dragkraftsuttag/tyngd för band och hjul vid mätningar på Borgeby. Värderna från regressionskurvor för varje enskilt stegringsförlopp

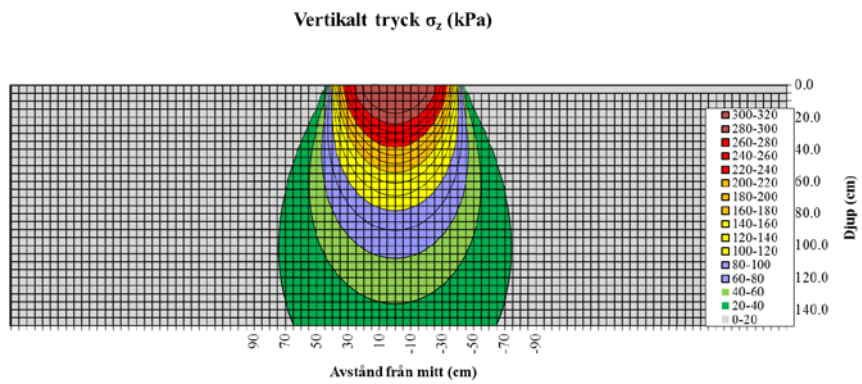
Slirning, %	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Band	0.20	0.44	0.56	0.61	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.58	0.57
Hjul	0.12	0.22	0.31	0.39	0.45	0.49	0.53	0.56	0.59	0.61	0.62
Signifikans	**	***	***	***	***	**	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Modell för tryckberäkning

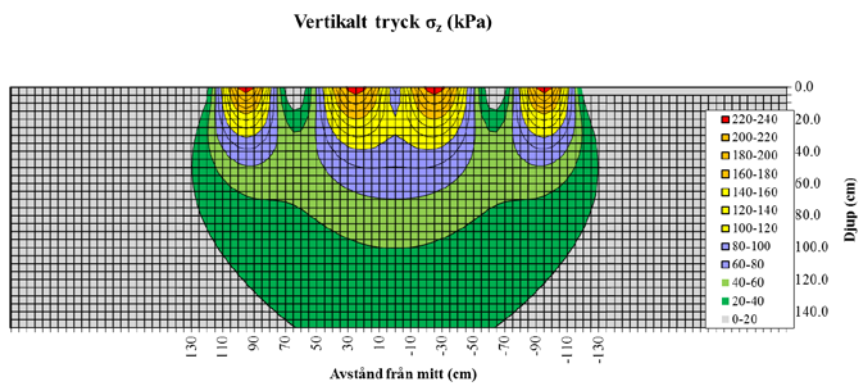
En modell för tryckutbredning i kontaktytan band/jord utvecklades, baserad på tryckmätningar. Indata till modellen är bandets längd och bredd, last, antal stödrullar och dimensioner på bärhjul och stödrullar. En cosinusfunktion används för att beräkna tryckets fördelning i bandets längdriktning, med lokalt högre tryck under bärhjul och stödrullar. Det är också möjligt att simulera en ojämn tryckfördelning mellan bandets främre och bakre del. Trycket vinkelrätt mot körriktningen antas

vara högst i bandets mitt och avta mot kanterna.

Exempel på beräkningar visas i figur 18 och 19. Här har vi beräknat trycket under band och under konventionella däck för den tröska som användes i mätningarna ovan. Grundragen i hur trycket skiljer sig åt under band och hjul på olika djup stämmer bra mellan mätningar och beräkningar, även om de absoluta nivåerna inte stämmer exakt. Metoden för att göra detta finns i ett kalkylark som kan laddas ner gratis från avdelningen för jordbearbetning och hydrotekniks hemsida från adressen: www.jordpackning.se



Figur 18. Beräknat tryck i marken för tröska med hjul, last 10 400 kg, ringtryck 2,1 bar.



Figur 19. Beräknat tryck i marken för tröska med band, last 11 200 kg.

Diskussion

Resultat från tryckmätningarna stämmer relativt väl med tidigare mätningar och tryckberäkningar (Arvidsson et al., 2011). Band gav generellt lägre tryck än enkla hjul på både traktorer och tröskor, speciellt i alven. Detta beror på att understödsytan blir så pass långsträckt att det blir liten samverkan mellan tryck från bandets främre och bakre del, vilket stämmer både i mätningar och beräkningar. På tröskor är det dock intressant att notera den stora skillnaden mellan IF-däck och konventionella däck, och att IF-däck och band gav ungefär samma tryck i matjorden. Resultat från mätningarna med full och tom tröska stämde väl överens. Vid mätningarna med tom tröska användes också s.k. Bollingprober. Resultaten stämde väl med mätningarna med lastceller. Absolutvärdena för Bollingproberna var dock betydligt lägre än för lastcellerna. Detta beror främst på att Bollingproberna mäter det isotropiska trycket, d.v.s. trycket i alla riktningar (Bolling, 1987), vilket är lägre än det vertikala trycket som mäts med lastceller. Skillnader mellan band och dubbelmontage på traktorer var relativt små, även om det fanns en tendens att banden gav något högre tryck, speciellt i alven, än motsvarande hjultraktorer. Detta är kopplat till den större tyngden per band, bl.a. beroende på högre egenvikt. För traktorn med två band påverkades tryckfördelningen starkt av dragkraftsuttaget, vilket också konstaterats tidigare (bl.a. Keller et al., 2002). Traktorn med fyra band hade betydligt jämnare fördelning mellan bandets främre och bakre del. Vid mätningar med denna traktor konstaterades samtidigt att trycket i första hand var koncentrerat till de tre stödrullarna och inte till de främre och bakre bärhjul. Detsamma konstaterades

vid mätningarna med band på betupptagaren i Holland. Potentiellt borde alltså trycket för denna bandkonstruktion kunna sänkas genom att ändra den vertikala placeringen av stödrullarna.

Med avseende på dragkraft gav band lägre slirning än däck vid ett givet dragkraftsuttag. Detta stämmer med tidigare mätningar (bl.a. Arvidsson et al., 2011). Även om maximalt dragkraftsuttag inte skiljde sig så mycket mellan band och hjul hade slirningen under stegringsförloppet helt olika utseende. Vid mätningarna på Valstad fanns också en tendens att lägre ringtryck sänkte slirningen. Det skulle vara intressant att göra ytterligare studier vid dragkraftsuttag, bl.a. skillnader i bränsleförbrukning mellan band och hjul. Då skulle man också få med eventuella skillnader i rullmotstånd och andra effektförluster.

Slutsatser

På tröskor gav band lägre tryck än konventionella däck i både matjord och alv. Det är samtidigt intressant att konstatera att IF-däck medger en stor sänkning av ringtrycket jämfört med konventionella däck, gav ungefär samma tryck som band i matjorden och betydligt lägre tryck än ett konventionellt däck. I detta test användes dock relativt smala band, trycket kan därför potentiellt sänkas genom att använda bredare band.

Bandtraktorer gav ungefär samma eller högre tryck än traktorer med dubbelmontage. Detta är kopplat till att banden har en hög egenvikt och att bandtraktorer ofta får högre kvot vikt/effekt än traktorer med hjul. Enkla hjul på traktorn gav betydligt högre tryck än band och dubbelmontage i både matjord och alv.

Det kalkylark som utvecklats är, såvitt vi känner till, det första i världen som är fritt tillgängligt och kan beräkna tryckutbredning i marken under både band och hjul. Vi ser det som ett utmärkt underlag för rådgivning i svenskt jordbruk. Vid ett givet dragkraftsuttag var slirningen lägre för band- än hjultraktorer, vilket innebär en potentiell bränslebesparing. Det skulle dock vara önskvärt med mätningar

också av totala energiförbrukningen vid dragkraftsuttag.

Sammantaget anser vi att projektets resultat avsevärt förbättrat kunskapsläget och gett ett förbättrat underlag för enskilda jordbrukare inför investeringar i nya maskiner. Det verktyg som utvecklats kommer också att vara användbart som rådgivningsunderlag under lång tid framöver.

Referenser

Arvidsson, J., Andersson S. 1997. Determination of soil displacement by measuring the pressure of a column of liquid. In: Proc. 14th Int. Conf. ISTRO, Puławy, PL, pp. 47-50.

Bolling, I. 1987. Bodenverdichtung und Triebkraftverhalten bei Reifen – Neue Mess- und Rechenmethoden. PhD Thesis, Technische Universität München, München, Germany.

Arvidsson, J., Westlin, H. Keller, T., Gilbertsson, M., 2011. Rubber track systems for conventional tractors - effects on soil compaction and traction. Soil Tillage Res. 117, 103-109.

Boussinesq, J. 1885. Application des Potentiels à l'étude de l'équilibre et du Mouvement des Solides Élastiques. Gauthier-Villars, Paris, 30 pp.

Erbach, D.C., Knoll, K.K., 1992. Soil stress under tires with low inflation pressure. ASAE Paper No. 92-1581.

Keller, T., Trautner, A. & Arvidsson, J. 2002. Stress distribution and soil displacement under a rubber-tracked and a wheeled tractor during ploughing, both on-land and within furrows. Soil and Tillage Research 68 (1), 39-47.

Kinney, G.R., Erbach, D.C., Bern, C.J., 1992. Soil strain under three tractor configurations. Trans ASAE 35 (4):1135-1139.

Koolen, A.J., Kuipers, 1983. Agricultural soil mechanics. Springer Verlag, Berlin.

Söhne, W., 1958. Fundamentals of pressure distribution and compaction under tractor tires. Agric. Eng. 39, 276-281.

Westlin, H., Arvidsson, J., Gilbertsson, M., 2010. Eftermonterbara bandställ till konventionella lantbrukstraktorer. Rapporter från JTI, nr 396, Uppsala.