

Tryck under band och hjul på stora traktorer och tröskor

SLF projekt nummer H1133209

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

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. 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 på internet.

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 1. 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 moränlättera 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 däcket var 2,1 bar för



Figur 1. Teknik för mätning av tryck i marken.

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.

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 Lexion 750 (16500 respektive 16200 kg). Däckdimension på framaxeln var 900/60 R32 IF. För att efterlikna förhållandena på Gårdstånga kördes tröskan 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 1.

Tryck under traktorer

Mätning av tryck under traktorer gjordes på gården Valstad nära Borensberg i Östergötland. I undersökningen ingick traktorer 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 2.

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 ²
Challenger	237*70 cm	7680	0,4

² Värdena för band är beräknade från vikt och beräknad understödsyta. Bandens längd avser centrumavstånd mellan bärhjulen.



Figur 2. Traktorer som testades på Valstad. CaseIH Steiger 435 med hjul saknas på bilden

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. Uppmått understödsyta var 0,90 x 1,95 m. Vid detta mätilfälle 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 3. 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 3. 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 eftersträvade framföringshastigheten var 10 km/h. Mätningarna utfördes som stegringlopp, d.v.s. dragkraftsuttaget ökades efter hand till dess att full slirning uppnåts. Åtta upprepningar per traktor utfördes.

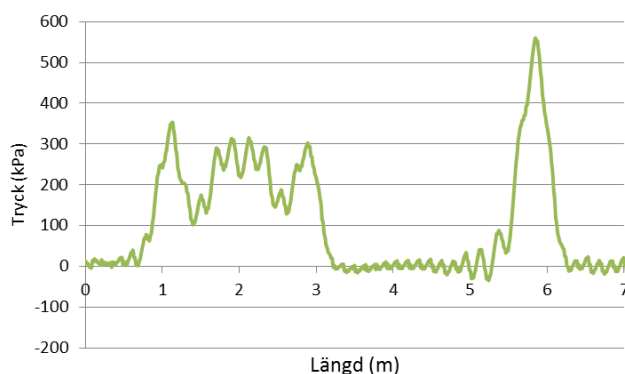
Tabell 2. Specifikationer av traktorer vid dragkraftsmätningar på Borgeby

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		0,5
	Fram dubbla 710/60 R34 IF	2200	0,6
John Deere 8360 RT	250 x 76 cm	9100	0,5

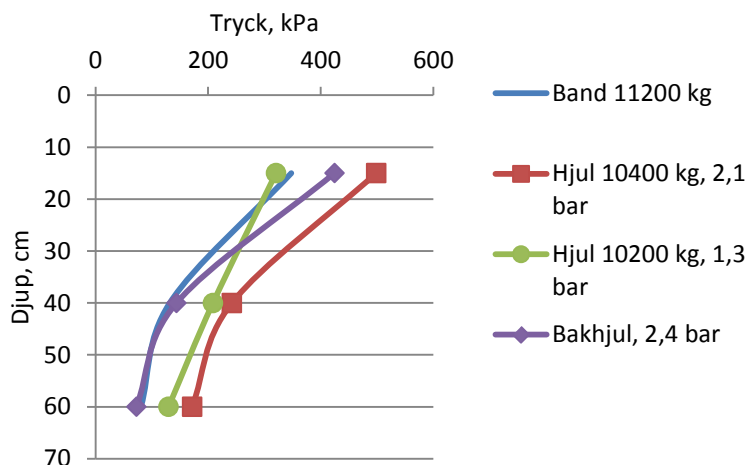
Resultat

Tryck under full tröska

Ett exempel på mätning visas i figur 4. 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 5. 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.



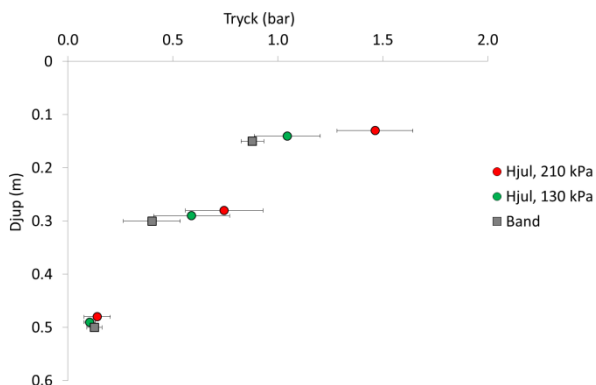
Figur 4. Uppmätt tryck på 15 cm djup under band på fullastad tröska. 100 kPa=1 bar.



Figur 5. Maximalt uppmätt tryck på 15, 40 och 60 cm för hjul och band på tröska.

Mätning med 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 6. 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.

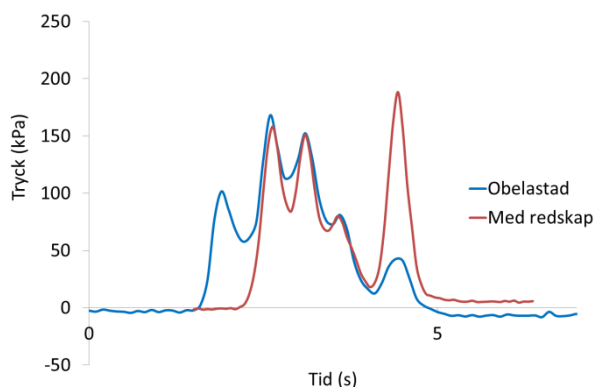


Figur 6. Tryck under tom tröska, mätningar gjorda med Bollingprober.

Tryck under traktorer

Ett exempel på tryckmätning för CAT Challenger visas i figur 7, 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. Tryckutbredning för samtliga traktorer visas i tabell 3 och i figur 8. 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

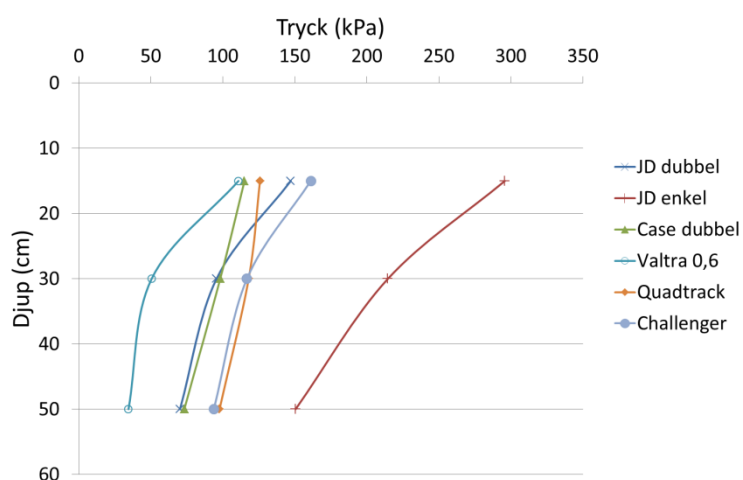
ingen skillnad i alven. Den lättare Valtratraktorn gav ungefär samma tryck i matjorden som tyngre traktorer, men betydligt lägre tryck i alven, vilket stämmer med beräkningar.



Figur 7. Uppmätt tryck (kPa) under CAT Challenger obelastad (blå linje) och vid dragkraftsuttag (röd linje).

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

Betupptagare

Uppmätt tryck under fullastad betupptagare på 25 cm djup blev 219 kPa för hjul och 154 kPa för band. Resultaten var signifikant skilda ($p < 0,05$).

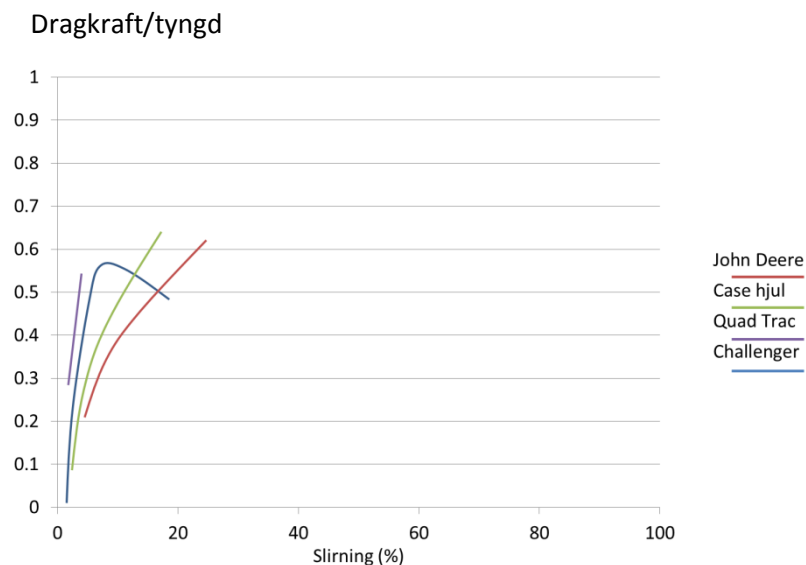
Dragkraftsmätningar, torra förhållanden

Bandtraktorerna nådde maximal dragkraftsuttag vid lägre slirning än hjultraktorerna (figur 9). 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 är även skillnad dragkraft - slirning mellan de midjestyra hjultraktorerna, vilket troligen kan förklaras med bättre däckutrustning på CaseIH Steiger 435.

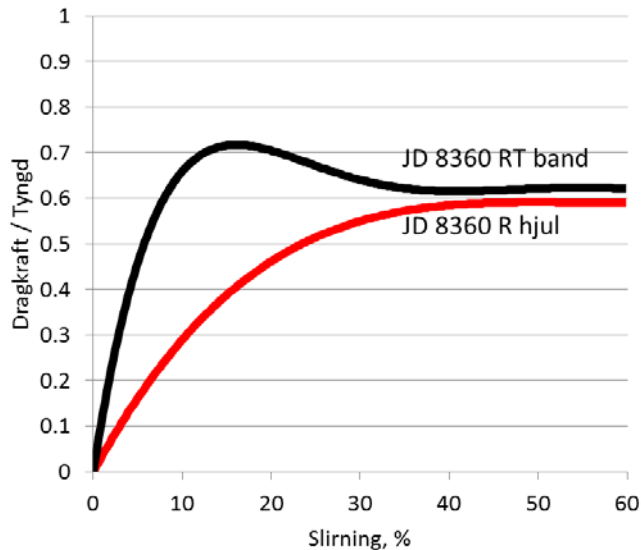
Dragkraftsmätningar, våta förhållanden

JD 8360 RT hade högst dragkraftsuttag med ca 20 % högre uttag än JD 8360 R. Den stora skillnaden i praktiken var att den bandförsedda 8360 RT nådde maximal dragkraft redan vid ca 10 % slirning medan JD 8360 R nådde maximal dragkraft vid ca 40 % (figur 10). Vid normal acceptabel slirning blev skillnaden mellan band och hjultraktor ännu större vid våta förhållanden än vid torra. Vid 5 % slirning var dragkraften 3 gånger så stor för band som för hjul och vid 10 % slirning något över det dubbla.

Tas det däremot hänsyn till vikt – effekt förhållandet så är skillnaden mindre i maximal dragkraft. 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.



Figur 9. Slirning vid olika dragkraftsuttag vid mätningar under torra förhållanden på Valstad i Östergötland.



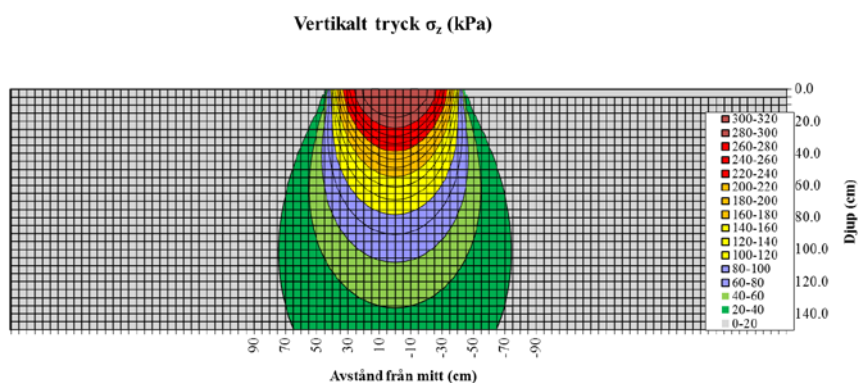
Figur 10. Slirning vid olika dragkraftsuttag vid mätningar under våta förhållanden på Borgeby.

Modell för tryckberäkning

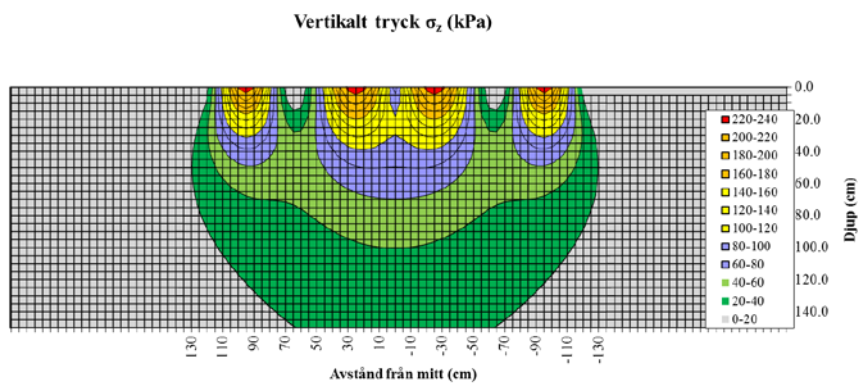
En modell för tryckutbredning i kontaktytan band/jord utvecklades, baserad på tryckmätningar. Indata till modellen är bandets längd och bredd, last, antal stödrullar och dimensioner på bärhjul och stödrullar. En cosinusfunktion används för att beräkna tryckets fördelning i bandets längdriktning, med 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 11 och 12. 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 11. Beräknat tryck i marken för tröska med hjul, last 10 400 kg, ringtryck 2,1 bar.



Figur 12. Beräknat tryck i marken för tröska med band, last 11 200 kg.

Diskussion

Resultat från tryckmätningarna stämmer relativt väl med tidigare mätningar och tryckberäkningar. 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. Intressant är också bl.a. att band gav något högre tryck, speciellt i alven, än motsvarande hjultraktorer. Bandens högre egenvikt är också negativt ur packningssynpunkt.

Med avseende på dragkraft gav band lägre slirning än däck vid ett givet dragkraftsuttag. Det skulle dock 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.

Referenser

- Arvidsson, J., and S. 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.

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 bränslesparning. 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.

Publikationer

Arvidsson, J., Keller, T., 2014. Soil stresses under tracks and tyres – measurements and model development. Proceedings International Conference of Agricultural Engineering, Zurich, 06-10.07.2014 – www.eurageng.eu.

Arvidsson, J., Keller, T., Gilbertsson, M., 2015. Tryck under hjul och band. Arvensis, nr 1. Vilket är bäst – band eller hjul? Lantmannen nr 11, 2014.

Arvidsson, J., 2013. Risiko för strukturskador ved brug af bæltekrøretøjer. Presentation vid Plantekongres 2013 i Herning, Danmark.

https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Plantekongres/Sider/pl_plk_2013_prog_tema_teknik.aspx#session57

Arvidsson, J., Keller, T., Gilbertsson, M., 2015. Tryck under hjul och band på traktorer och tröskor. Rapporter från jordbearbetningen nr131, under utgivning. <http://www.slu.se/Global/externwebben/nl-fak/mark-och-miljo/jbhy/Rapport131.pdf>

Planeras: Två artiklar i vetenskapliga tidskrifter, en från mätningar, en med den modell som utvecklats.

Resultatförmedling till näringen

Resultat har främst förmedlats via de publikationer som angetts ovan. Resultat har också presenterats muntligt vid bl.a.

Jan 2013. Plantekongres. Herning, Danmark.

Okt 2013. HIR-konferens, Lund.

Nov 2013. Kurs om jordpackning för rådgivare i Greppa näringen

Dec 2013. Regional växtodlingskonferens, Växjö.

Juli 2014. AgEng. Konferens i Zurich, Schweiz.

Nov 2014. NJF-seminarium om teknik. Herning, Danmark.

Nov 2014. Regional växtodlingskonferens, Vreta Kloster.

Resultat har också presenterats vid ytterligare ca 15 organiserade möten med jordbrukare och rådgivare. Dessutom har resultat presenterats i undervisningen av agronomer och lantmästare. Genom dessa presentationer och artiklar i Lantmannen och Arvensis anser vi att resultaten fått en god spridning inom näringen.