

RAPPORTER FRÅN JORDBEARBETNINGEN

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



Nr 117

2010

Johan Arvidsson, Olof Hillerström,
Thomas Keller, Marcus Magnusson,
Daniel Eriksson

**Dragkraftsbehov och maskinkostnad för
olika redskap och bearbetningssystem**

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för mark och miljö

Rapporter från jordbearbetningen
Nr 117, 2010

Dragkraftsbehov och maskinkostnad för olika redskap och bearbetningssystem

Denna rapport utgör en slutrapport för projektet Dragkraftsbehov och maskinkostnad för olika bearbetningssystem, som finansierades av Stiftelsen Lantbruksforskning. Projektet innehöll olika delprojekt som redovisas i enskilda avsnitt:

- I. Introduktion och allmän metodbeskrivning
- II. Dragkraftsbehov, maskinkostnader och energibalans för olika redskap och maskinsystem till höstsådd
- III. Dragkraftsbehov och bearbetningsresultat för olika kultivatorspetsar
- IV. Dragkraftsbehov för primärbearbetning, sådd och såbäddsberedning
- V. Dragkraftsbehov vid plöjning som funktion av markens hållfasthet
- VI. JB-Maskinkalkyl - handledning till kalkylark för att beräkna maskinkostnader

Dragkraftsbehov för olika redskap och bearbetningssystem

I. Introduktion och allmän metodbeskrivning

Johan Arvidsson, Olof Hillerström

Denna rapport innehåller en slutredovisning av projektet Dragkraftsbehov för olika redskap och bearbetningssystem, finansierat av SLF. Inom projektet genomfördes ett antal olika delprojekt, vilka redovisas som enskilda avsnitt. Syftet var framförallt att bestämma dragkraftsbehov för olika redskap och bearbetningssystem som underlag för att beräkna kostnader för jordbearbetning, och i förlängningen lönsamhet i växtodlingen. De olika avsnitt som ingår i denna rapport är följande:

I. Introduktion och allmän metodbeskrivning

II. Dragkraftsbehov, maskinkostnader och energibalans för olika redskap och maskinsystem till höstsådd

III. Dragkraftsbehov och bearbetningsresultat för olika kultivatorspetsar

IV. Dragkraftsbehov för primärbearbetning, sådd och såbäddsberedning

V. Dragkraftsbehov vid plöjning som funktion av markens hållfasthet

VI. JB-Maskinkalkyl - handledning till kalkylark för att beräkna maskinkostnader

Nedan görs en beskrivning av metodik som var mer eller mindre gemensam för samtliga delprojekt. De olika avsnitten kan dock läsas var för sig utan denna bakgrund.

1 Material och metoder

1.1 Mättraktor

För samtliga körningar användes en Massey Ferguson 6290. Traktorn var tillverkad år 2001 och hade gått ca 1450 timmar. Tekniska specifikationer redovisas i tabell 1.

Växellådan bestod av åtta mekaniska växlar och fyra powershiftsteg, detta gav totalt 32 växlar. Vid alla dragkraftsmätningar eftersträvades ett motorvarvtal på 2050 rpm. Inför mätningarna provades en lämplig växel ut för att kunna hålla varvtalet relativt konstant.

Tabell 1. Tekniska specifikationer för Massey Ferguson 6290

Motoreffekt, hk (kW) vid 2200 rpm	135 (99,3)
Max vridmoment, Nm	547
Bakhjul (Michelin XM 108)	650/65R38
Framhjul (Michelin XM 108)	540/65R28
Vikt, kg	5500

1.2 Mätutrustning

I samtliga försök användes en traktor utrustad med ett system för bränslemätning. Mätutrustningen är utvecklad av JTI (Pettersson et. al., 2002).

I en dieselmotor cirkulerar normalt en mycket större mängd diesel än vad motorn förbrukar. Den diesel som motorn inte konsumerar pumpas tillbaka till bränsletanken via returledningen. Bränsleförbrukningen mäts normalt genom att en flödesmätare mäter flödet från pumpen och att en flödesmätare mäter flödet i returledningen. Förbrukningen räknas ut genom att returflödet subtraheras från flödet från pumpen. Mätarna måste kunna mäta inom ett stort mätområde.

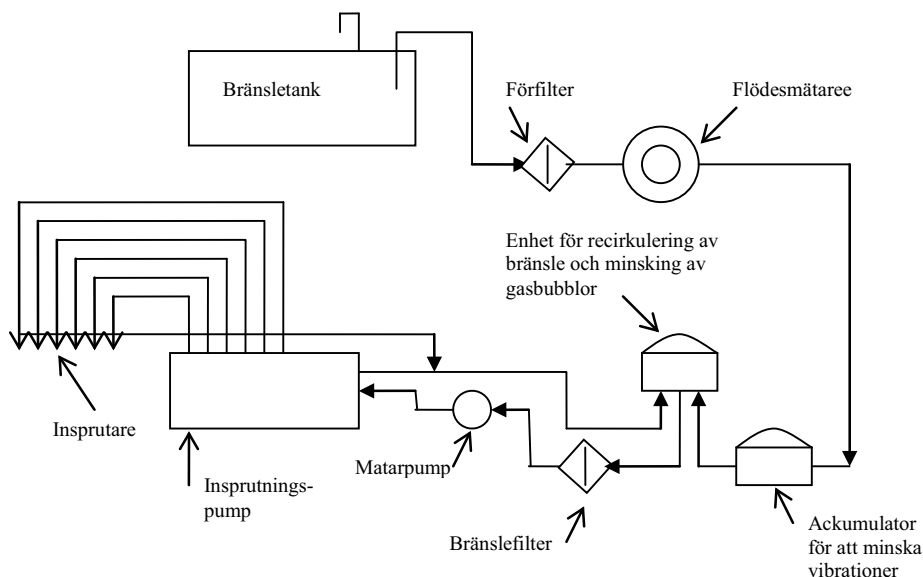
Vid beräkning av nettoförbrukningen blir mätfehlen stora eftersom förbrukningen är låg jämfört med det totala bränsleflödet.

Mätssystemet som användes i försöken är ett så kallat enkelrörsystem. Det mäter endast den volym diesel som motorn förbrukar. Det medför att mätare med ett snävare mätområde kan användas, så att mätfehlen minskas. Mätområdet i det här fallet är mellan 0 och 40 l/h med en upplösning på 250 pulser/ml, vilket är

anpassat till storleken på traktorn. För att minska pulseringen i bränslesystemet har en ackumulator monterats. Bränslesystemet har kompletterats med ett extra bränslefilter, en Tigerloop som recirkulerar returbränslet och minskar antalet bubblor, temperaturmätare vilken mäter bränslets temperatur samt en temperaturmätare som mäter intagsluftens temperatur. Systemet illustreras nedan (fig. 1).

På traktorn fanns det även utrustning för mätning av motorvarvtal, hjulhastighet och radarhastighet. En datalogger med en frekvens av 1 Hz sparade de uppmätta värdena och ett telefonmodem möjliggjorde överföring till en stationär dator.

Mätutrustningen var kalibrerad mot en kraftuttagsbroms. Loggern har "lärt sig" känna av vilken kraftuttagseffekt en viss kombination av motorvarvtal och bränsleförbrukning ger. Kraftuttagseffekten gäller vid stillastående traktor. Vid exempelvis mätning av dragkraftsbehovet för ett visst redskap måste effekten för slirning och rullmotstånd beräknas och minskas med loggerns uppmätta effekt.



Figur 1. Bränslesystem utrustat med mätsystem (Pettersson et. al., 2002).

Behandling av uppmätta data från loggern gjordes i programmet Easy View.

1.3 Beräkning av dragkraftbehov

Vid körning i rutorna slogs en strömbrytare i traktorn till och dataloggern registrerade den effekt motorn utvecklade, hjul- och radarhastighet. Radarhastigheten är den verkliga framkörningshastigheten.

Dragkrokseffekten får man genom att beräkna och dra ifrån effektförlusterna för rullningsmotstånd och slirning.

1.3.1 Rullningsmotstånd

Hur stor effektförlust traktorn har på grund av rullningsmotstånd räknas ut enligt följande:

$$P_{\text{rull}} = f * G * V_H$$

(Saleque, 1990)

där

$$P_{\text{rull}} = \text{effektförlust på grund av rullningsmotståndet (kW)}$$
$$f = \text{koefficient för traktorns rullningmotstånd}$$
$$G = \text{traktorns tyngd (N)}$$
$$V_H = \text{hjulhastighet (m/s)}$$

Koefficienten f har tagits från Magnusson, (2004).

1.3.2 Slirning

Eftersom dataloggern registrerade både hjul och radarhastighet kunde slirningen räknas fram enligt följande:

$$\delta = ((V_H - V_R) / V_H) * 100$$

där

$$\delta = \text{slirning (\%)}$$
$$V_H = \text{hjulhastighet (km/h)}$$
$$V_R = \text{radarhastighet (km/h)}$$

Effektförlusterna på grund av slirning räknades ut enligt följande:

$$P_{\text{slir}} = P_{\text{pto}} * (\delta / 100)$$

(Saleque, 1990)

där P_{slir} = effektförlust på grund av slirning (kW)
 P_{pto} = uppmätt effekt (kW)
 δ = slirning (%)

1.3.3 Dragkrokseffekt

När effektförlusten på grund av rullningsmotstånd och slirning är kända räknas dragkrokseffekten ut enligt följande:

$$P_D = P_{\text{pto}} - P_{\text{rull}} - P_{\text{slir}}$$

Där:

$$P_D = \text{dragkrokseffekt (kW)}$$
$$P_{\text{pto}} = \text{uppmätt effekt (kW)}$$
$$P_{\text{rull}} = \text{effektförlust på grund av rullningsmotståndet (kW)}$$
$$P_{\text{slir}} = \text{effektförlust på grund av slirning (kW)}$$

1.3.4 Totalt dragkraftbehov

Det totala dragkraftbehovet är ett mått på vilket dragkraftbehov ett redskap har per meter arbetsbredd vid ett givet djup. Redskapets dragkraftbehov räknas ut enligt följande:

$$F_{\text{tot}} = P_D * V_R$$

där: F_{tot} = redskapets dragkraftbehov (kN)

$$P_D = \text{dragkrokseffekt (kW)}$$
$$V_R = \text{radarhastighet (m/s)}$$

När F_{tot} är känt räknas det totala dragkraftbehovet ut med hjälp av följande formel:

$$T_D = F_{\text{tot}} / b$$

Där: T_D = Totalt dragkraftbehov (kN/m)

F_{tot} = redskapets dragkraftbehov (kN)

b = redskapets arbetsbredd (m)

1.3.5 Specifikt dragkraftbehov

Specifikt dragkraftbehov definieras som kraften per bearbetad tvärsnittsarea. Detta räknas fram med hjälp av det verkliga bearbetningsdjupet, redskapets arbetsbredd och redskapets dragkraftbehov enligt följande:

$$S_D = F_{\text{tot}} / (b * d_v)$$

Där: S_D = redskapets specifika dragkraftbehov (kN/m²)

F_{tot} = redskapets dragkraftbehov (kN)

b = redskapets arbetsbredd (m)

d_v = verkligt bearbetningsdjup (m)

1.4 Mätning av jordens hållfasthet

1.4.1 Kohesion

Kohesionsmätningar gjordes i flera av de undersökningar som gjordes, bl.a. i avsnitt III och V. Mätinstrumentet var ett så kallat vingborr. Vingborret bestod av en metallstång med fyra vingar i ena änden och ett handtag med en visare i andra änden. Stången med vingarna slås ner i marken till önskat djup, vid vridning skjuvas en cylinder ut med radien 0,025 m och höjden 0,100 m och det maximala vridmomentet mäts och avläses med hjälp av visaren på handtaget. Därefter räknades skjuvhållfastheten ut med följande formel:

$$\tau_f = T / (2\pi r_v^2 (2/3r_v + h))$$

(Dexter & Arvidsson, 2002)

där: τ_f = skjuvhållfasthet

T = vridmoment

r_v = jordcylinderns radie

h = jordcylinderns höjd

Normalspänningen antogs vara försumbar och därför kunde värdet på skjuvhållfastheten direkt användas som ett mått på jordens kohesion.

1.5 Bestämning av bearbetningsdjup

Det verkliga arbetsdjupet för en kultivator eller tallriksredskap är svårt att bestämma enbart från hur djupt arbetsorganen går ner i marken. Istället mättes arbetsdjupet genom att en stålram med ytan 0,25 m² placerades i de olika rutorna, varefter all lös, bearbetad jord ner till bearbetningsbotten inom stålramen lades i hinkar och vägdes. Tre upprepningar per ruta gjordes (gäller mätningar i avsnitt II och III).

I varje försök togs också cylindrar ut på två djup (0-10 och 10-20 cm). Cylindrarna togs ut i obearbetad jord. Utifrån cylinderproverna kunde skrymdensitet och vattenhalt bestämmas. Med hjälp av den våta skrymdensiteten och den bearbetade jordmassan kunde det verkliga bearbetningsdjupet beräknas.

$$D = m / (\rho * A)$$

där D = verkligt bearbetningsdjup (m)

m = bearbetad jordmassa (kg)

ρ = våt skrymdensitet (kg/m³)

A = arean på stålramen (m²)

1.6 Sönderdelning

Vid mätningarna i avsnitt II och III bestämdes också graden av sönderdelning vid bearbetning. Från varje ruta sparades två slumpvis utvalda hinkar med jord. Upptagningen av jorden skedde i samband med utgrävning för mätning av arbetsdjupet. Hinkarna stod efter provtagning inomhus i en kall maskinhall vilket medförde en viss torkning av jorden. Jorden sållades sedan i en sållmaskin med sex olika såll: 64 mm, 32 mm, 16 mm, 8 mm och 4 mm. De olika fraktionerna vägdes var för sig.

Med hjälp av dessa data räknades ytan för varje fraktion ut enligt följande formel:

$$A_i = (6 * W_i) / (\rho (\phi_i * \phi_{i+1})^{1/2})$$

(Hadas & Wolf, 1983)

där A_i = ytan av en sållningsfraktion (m²)
 W_i = massan hos den sållade fraktionen (kg)
 ρ = jordens skrymdensitet (kg/m³)
 ϕ_i = undre fraktionsgräns

ϕ_{i+1} = övre fraktionsgräns

Vid beräkning av ytan på de största aggregaten antogs en övre gräns på 128 mm och på de minsta en undre gräns på 2 mm.

Ytorna från de olika sållningsfraktionerna summerades för att få den totala ytan av den bearbetade jorden. En stor andel småaggregat ger en stor yta. En jämförelse gjordes mellan de olika leden med avseende på yta per kilo jord.

När den totala ytan på jorden var känd räknades sönderdelningsenergin ut från följande formel:

$$E_r = (E_m * \sum W_i) / \sum A_i$$

(Hadas & Wolf, 1983)

där E_r = sönderdelningsenergi (J/m²)
 E_m = tillförd energi per kilo jord (J/kg)
 $\sum W_i$ = sammanlagd massa för fraktionerna (kg)
 $\sum A_i$ = sammanlagd yta för fraktionerna (m²)

Referenser

- Dexter, A. R. & Arvidsson, J., 2002. *Soil Mechanics: theory and applications in agriculture*. Kursmaterial till Jordbearbetning och Hydroteknik, Inst för markvetenskap, SLU, Uppsala.
- Hadas, A. & Wolf, D., 1983. *Energy efficiency in tilling dry clod-forming soils*. Soil & Tillage Research, nr 3(1), sid 47-59.
- Magnusson, M., 2004. Dragkraftsbehov och bearbetningsresultat för olika redskap och bearbetningssystem vid höstsådd. Meddelanden från jordbearbetningsavdelningen, nr 47. Institutionen för markvetenskap, SLU, Uppsala.
- Pettersson, O., Noren, O., Hansson, P.A. & Lindgren, M., 2002. *A system for on board determination of engine power by measuring fuel consumption at 1 Hz*. EurAgEng Budapest 2002. Paper Number 02-PM-024.
- Saleque, U. M. & Jangiev, A. A., 1990. *Optimization of the operational parameters of a wheeled tractor for tillage operations*. Transactions of the ASAE. v.33 (4) s 1027-1032.

II. Dragkraftsbehov, maskinkostnader och energibalans för olika redskap och maskinsystem till höstsådd

Johan Arvidsson och Marcus Magnusson

Sammanfattning

Under 2003, 2004 och 2006 gjordes mätningar av dragkraftsbehov och bearbetningsresultat i hela maskinsystem i två försök med höstvetete, ett på lätt och ett på styv jord, i serie R2-4050 (skördeår 2004, 2005 och 2007). Dessutom beräknades en energibalans där insatserna i odlingen jämfördes med energiinnehållet i skörden.

På den styva leran gav plöjning ett lägre specifikt dragkraftsbehov (dragkraft per bearbetad tvärsnittsytta) än kultivator, tallriksredskap och tallrikskultivator, men också en grövre struktur kopplat till det större arbetsdjupet. På den lättare jorden var det betydligt mindre skillnad i såväl specifikt dragkraftsbehov som bearbetningsresultat mellan olika redskap. På den styva jorden innebar ett plöjningsfritt system betydligt lägre energiåtgång och kostnader jämfört med plöjning, medan skillnaderna var relativt små på den lätta jorden.

Skörd för olika bearbetningssystem berodde framförallt på förfrukt och behandling av skörderester. Med höstvetete efter höstvetete, stora halmmängder och blöta förhållanden för bearbetning erhöles ökad skörd för djup bearbetning och fler överfarter. I de fall då växtresterna inte orsakade problem ökade inte skörden för djup bearbetning. Höstvetets luckringsbehov förefaller därför vara litet och bearbetningsintensiteten bör främst styras av mängden skörderester.

Beräkningen av energibalans visade att tillverkning av kvävegödselmedel, torkning och jordbearbetning var de största energiinsatserna. Jordbearbetningens andel av totala energiinsatsen varierade mellan 5 och 25 %. Energin till jordbearbetning var liten i förhållande till energin i skörden. Skördenivån blir därför helt avgörande för energiutbytet i odlingen, och påverkas i liten utsträckning av energiåtgången vid jordbearbetning.

Inledning

För spannmålsodling finns idag tre grundläggande typer av bearbetningssystem: odling med plöjning, plöjningsfri odling (ickevändering bearbetning) samt direktsådd. Inom dessa system kan användas olika redskap, bearbetningsdjup och -intensitet vilket ger en stor spridning i energiåtgång och maskinkostnader. Val av redskap för primärbearbetning kommer också att påverka bearbetningsbehov vid såbäddsberedning, för svenska förhållanden gäller detta framförallt vid höstsådd.

Redskap och bearbetningssystem kan energimässigt bedömas ur olika aspekter. En första analys kan göras av själva redskapens effektivitet. Detta kan uttryckas bl.a. som specifikt dragkraftsbehov (dragkraft i förhållande till den bearbetade jordvolymen) och energi för sönderdelning

(energi per bildad aggregatyta). Det totala dragkraftsbehovet, som är det praktiskt viktigaste, kan anges som Newton per meter arbetsbredd eller omräknas till liter diesel per ha. För att se på energieffektiviteten i odlingen kan man göra en energibalans, där energin i skörden jämförs med den insatta hjälpenergin (Hülsbergen m.fl., 2001).

Syftet med det arbete som presenteras här var att studera dragkraftsbehov, bearbetningsresultat och energibalans för ett antal olika bearbetningssystem för höstvetete. Detta gjordes i två fältförsök per år 2004, 2005 och 2007.

Material och metoder

Försökens utförande

Försöken genomfördes under tre år på två jordar på Ultuna egendom: en styv lera (Ultuna) och en lättlera (Säby). Markens egenskaper framgår av tabell 1. I samtliga

Tabell 1. Kornstorleksfördelning på Ultuna och Säby

	Ler %	Silt %	Sand %	Org. mtrl %
Ultuna	44	36	21	1,5
Säby	23	52	25	4,0

försök odlades höstvete. Förfrukt på Ultuna var havre och på Säby korn för skördeår 2004. Försöken upprepades på samma plats skördeåret 2005, förfrukten blev därmed höstvete på båda platserna. Försöksåret 2007 genomfördes ytterligare två försök, nu med korn som förfrukt.

De olika leden som ingick var:

- A. Normal plöjning
- B. Plog grunt
- C. Grundplog djupt
- D. Grundplog grunt
- E. Kultivator 1gång
- F. Kultivator 2ggr
- G. Gåsfot djupt 1gång
- H. Gåsfot djupt 2ggr
- I. Gåsfot grunt 1gång
- J. Gåsfot grunt 2ggr
- K. Tallrik 1gång
- L. Tallrik 2ggr
- M. Tallrikskultivator 1gång
- N. Tallrikskultivator 2ggr
- O. Direktsådd

Den konventionella plog som användes var en treskärig Överum Variflex CX växelplög. Grundplog skördeår 2005 och 2007 var Kverneland Ecomat, en plog med vändskivor speciellt utformade för grundplöjning, i kombination med en tiltpackare, arbetsbredd 2,7 m. Skördeår 2004 kördes denna i försöket på Säby utan tiltpackare. Led med grundplog utgick detta år på Ultuna då djuphållningen blev alltför ojämn. Som kultivator användes en Väderstad Cultus med fjädrande pinne och vriden spets, 3,10 meters arbetsbredd. Den gåsfotkultivator som användes 2003 och 2004 var en HE-VA Doublet Mega-Dan MKII, 3,85 m arbetsbredd. Redskapet är av typen "Brysselplog". Det bör dock poängteras att redskapet inte har ett renodlat gåsfotskär, utan en separat spets och vingskär, monterade på en stel pinne.

Vid körningarna 2006 användes istället en Väderstad Cultus med stel pinne utrustad med ett konventionellt gåsfotskär. Tallrikskultivator var Väderstad Carrier, ett tallriksredskap med tillhörande tung vält.

Efter grundbearbetningen utfördes såbäddsberedning som anpassades så att det erhöles ett acceptabelt bruk i samtliga led. Speciellt i försöket på Ultuna erhöles 2003 ett grovt bruk vid plöjningen. Två bearbetningar med Carrier och en körning med crosskill-vält gjordes i plöjda led jämfört med en körning med crosskillvält i övriga led. Hösten 2004 var mycket regnig vilket gjorde att bearbetning och sådd gjordes under mycket blöta och ogynnsamma förhållanden. Såbäddsberedningen inskränktes till ett minimum. I försöket på Ultuna kördes en gång med Carrier efter plöjning, i övriga led gjordes ingen såbäddsberedning. I försöket på Säby gjordes ingen särskild såbäddsberedning i något led, sådden skedde direkt efter grundbearbetningen. Säby såddes 17 september, medan Ultuna såddes först 4 oktober.

År 2006 kunde sådden genomföras under mer tjänliga förhållanden. Säby såddes 16 och Ultuna 22 september. Såbäddsberedning utgjordes av en körning med Carrier i plöjda led på Ultuna, ingen extra såbäddsberedning gjordes i övriga led.

Mätning av dragkraftsbehov

Traktorn som användes vid försöket är utrustad med ett bränslemätningssystem utvecklat av JTI (Pettersson et. al., 2002). Förutom bränsleförbrukning mäts bl.a. hjulhastighet, radarhastighet och varvtal. Traktorn är sedan kalibrerad så att den nyttiga effekten kalibrerats via kraftuttag för olika kombinationer av varvtal och bränsleförbrukning. Genom att korrigera för förluster i slirning och rullmotstånd kunde dragkraften beräknas (Arvidsson m.fl. 2004).

Specifikt dragkraftsbehov, specifik yta, energibehov för sönderdelning

Efter bearbetning bestämdes bearbetningsdjup och aggregatstorleks-

fördelning. Djupet bestämdes genom att väga mängden lös jord inom en ram (0,25 m²), två ramar per ruta. Aggregatstorleksfördelning bestämdes genom insamling av lös jord i hinkar, följt av sällning.

Specifikt dragkraftsbehov beräknades genom att dividera dragkraften med den bearbetade tvärsnittsarean (kN m⁻²). Aggregatstorleksfördelningen användes för att bestämma jordens specifika yta, dvs partikelyta per kg jord (m² kg⁻¹) enligt Hadas (1983). Dessutom beräknades energibehov för sönderdelning som energiåtgång per bildad partikelyta enligt Arvidsson m.fl. (2004).

Beräkning av bränsleförbrukning, maskinkostnad och lönsamhet

De uppmätta värdena på dragkraftsbehov omräknades till bränsleförbrukning i liter/ha, med en antagen verkningsgrad på traktorn på 20 %. Beräkning av maskinkostnad gjordes med en medelårskalkyl för nyinvestering, med inköpspriser hämtade från Maskinkostnader 2008 (Anonym, 2008). Kalkylräntan sattes till 5 %. Utifrån dragkraftsbehovet beräknades kostnader för olika maskinsystem i de försök som redovisades ovan. Vid beräkningarna anpassades traktorstorleken efter dragkraftsbehovet för varje specifikt redskap. Beräkningarna gjordes för en fyrskärig plog; för såmaskin, kultivatorer och tallriksredskap antogs arbetsbredder på 3-3,5 m. I kalkylen antogs plojen och såmaskinen användas 200 ha/år, övriga maskiner 300 ha/år. Vid beräkning av lönsamhet för olika bearbetningssystem sattes spannmålspriset till 1 kr/kg (värde efter transport- och torkningskostnad).

Energibalans

Beräkningen av energiåtgång och energibalans avsåg insatser av icke förnyelsebar energi, men ej arbete och solenergi (Hülsbergen m.fl., 2001). Energiinnehållet i fröet ingick heller inte i insatserna, istället reducerades energin i skörden med detta värde. Fröets

energiinnehåll kommer annars att väga väldigt tungt i förhållande till andra energiinsatser (Nilsson, 2009). Ett värde på 2.5 MJ kg⁻¹ (Tabell 2) användes för att ta hänsyn till hantering och transport av fröet (Nilsson, 2009).

Värden för energiframställning av gödselmedel hämtades från Jenssen och Kongshaug (2003). För pesticider användes värden från Green (1987). Energi för produktion och underhåll av maskiner hämtades från Sonesson (1993): 76 MJ kg⁻¹ för traktorer och skördetröskor, och 111 MJ kg⁻¹ för bearbetningsredskap. Denna energi fördelades sedan under maskinens totala livstid, som sattes till 12 år. En omvandlingsfaktor på 39.6 MJ l⁻¹ användes för diesel (Rathke och Diepenbrock, 2006).

Typisk vattenhalt för höstveteskörd i detta område är 20%, vilket kräver 11.7 l diesel/ton eller 0.47 MJ kg⁻¹ kärna för torkning (Edfors m.fl., 2005).

Energiinnehållet i vete sattes till 18.6 MJ kg⁻¹ torrsbstans (Hülsbergen m.fl., 2001). Energinettet beräknades som energi i skörd minus insatt energi i GJ ha⁻¹. Dessutom beräknades kvoten erhållen/insatt energi.

Tabell 2. Energiinsatser i odlingen förutom energi till bearbetning

	MJ/ kg	Kvan- titet	Summa MJ
Kväve	32.2	108	3478
Fosfor	12	20	240
Glyfosat	150	1	150
Herbicider, övrigt	300	1	300
Bränsle	40	17	680
tröskning			
Tröska (tillverkning)	150	1	150
Sprutning	40	1.5	60
Gödsling	40	1.5	60
Utsäde (hantering)	2.5	200	500
Totalt fasta insatser			5617
Torkning (medeltal)	0.468	6160	2883

Resultat och diskussion

Bearbetningsdjup

Bearbetningsdjup för samtliga led visas i tabell 3. För de olika plöjningsleden varierade djupet mellan 8 och 21 cm. De plöjningsfria leden bearbetades relativt grunt, speciellt på Ultuna.

Tabell 3. Bearbetningsdjup på Ultuna och Säby (cm)

	Medel Ultuna	Medel Säby
A. Plog	20.8	18.9
B. Plog	13.0	11.5
C. Grundplog djupt	12.6	13.0
D. Grundplog grunt	8.5	8.3
E. Kultivator 1ggr	4.6	7.2
F. Kultivator 2ggr	5.3	9.2
G. Gåsfot 1ggr	5.6	9.4
H. Gåsfot 2ggr	8.0	11.7
I. Gåsfot 1ggr	5.1	6.6
J. Gåsfot 2ggr	5.9	7.7
K. Tallriksredskap 1ggr	3.8	5.3
L. Tallriksredskap 2ggr	6.2	6.7
M. Tallrikskult. 1ggr	3.0	3.2
N. Tallrikskult. 2ggr	4.1	4.4
O. Direktsådd		

Specifikt dragkraftsbehov, specifik yta, energibehov för sönderdelning

Specifikt dragkraftsbehov, specifik yta och energibehov för sönderdelning visas i figur 1-3. För tydlighet visas endast resultat från första överfarten med olika redskap i medeltal för samtliga tre år. Resultat från ett enskilt år kan ses i t.ex. Magnusson (2004).

På Ultuna fanns signifikanta skillnader i specifikt dragkraftsbehov ($P < 0,05$). Värdet var lägst för plöjning, och allra lägst för plöjning med grundplog. Bland stubbearbetningsredskapen var dragkraftsbehovet lägst för tallriksredskap och högst för bearbetning med vingskär. Också för specifik yta fanns signifikanta skillnader ($P < 0,01$), där en djupare bearbetning gav lägre specifik yta, dvs en grövre struktur. På den lättare jorden på Säby var samtliga ledskillnader betydligt mindre, både avseende specifikt dragkraftsbehov och bearbetningsresultat. Tallrikskultivatoren hade dock klart högre specifikt dragkraftsbehov än övriga redskap. Detta kan kanske delvis förklaras med svårigheter att bestämma arbetsdjupet efter att ytan återpackats med den vält som hör till redskapet. Själva vältan ökar också dragkraftsbehovet, speciellt på en relativt lös jord som Säby.

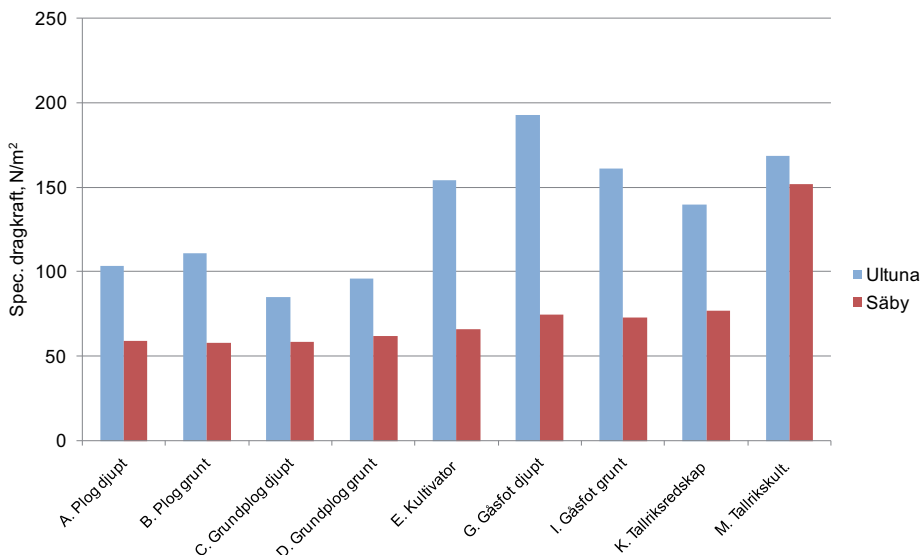


Fig. 1. Specifikt dragkraftsbehov för olika redskap på Ultuna och Säby

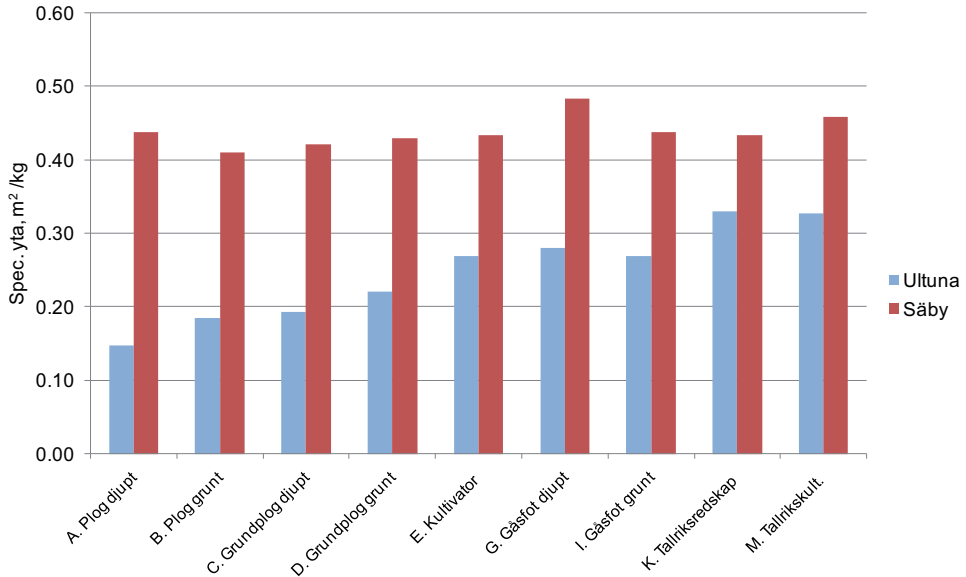


Fig. 2. Specifik yta för olika redskap på Ultuna och Säby

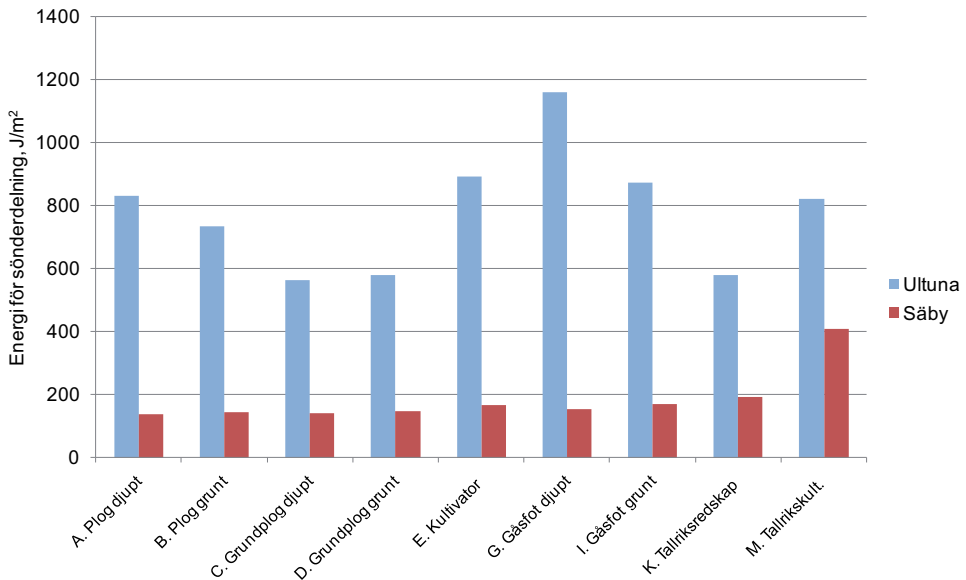


Fig. 3. Energi för sönderdelning för olika redskap på Ultuna och Säby.

Bränsleförbrukning och maskinkostnad

Bränsleförbrukning för de olika bearbetningssystemen visas i figur 4. På Ultuna var skillnaderna stora mellan leden. Högst var bränsleförbrukningen i normalt plöjda led (totalt drygt 50 l/ha), beroende

på ökad såbäddsberedning och en hög förbrukning för själva plöjningen (ca 30 l/ha). Bränsleförbrukningen vid plöjning i led A-D var i stort sett proportionell mot bearbetningsdjupet. I de plöjningsfria leden var förbrukningen 20-30 l/ha och i direktsått led ca 9 l/ha.

På Säby var skillnaderna mellan leden betydligt mindre. Total bränsleförbrukning för normal plöjning var endast ungefär hälften jämfört med Ultuna. Besparingen i plöjningfria led var relativt liten, djup körning med vingskår låg t.o.m. över normal plöjning. Bränsleförbrukningen för

sådd var av samma storleksordning som för primärbearbetningen.

De beräknade maskinkostnaderna var i stort sett proportionella mot bränsleförbrukningen. På Ultuna varierade de mellan ca 2000 och 600 kr/ha, på Säby mellan ca 1400 och 500 kr/ha (fig. 5).

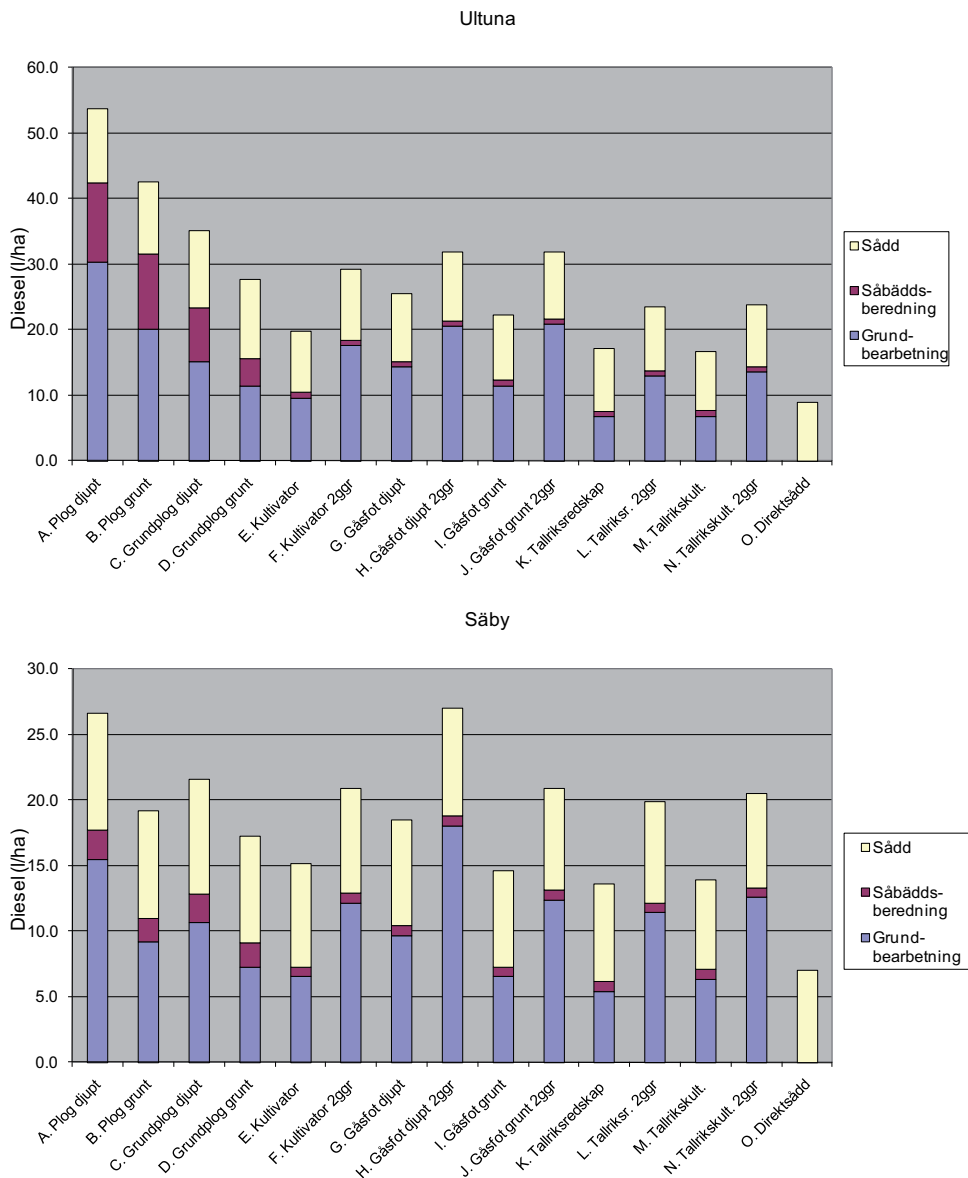


Fig. 4. Bränsleförbrukning för olika led.

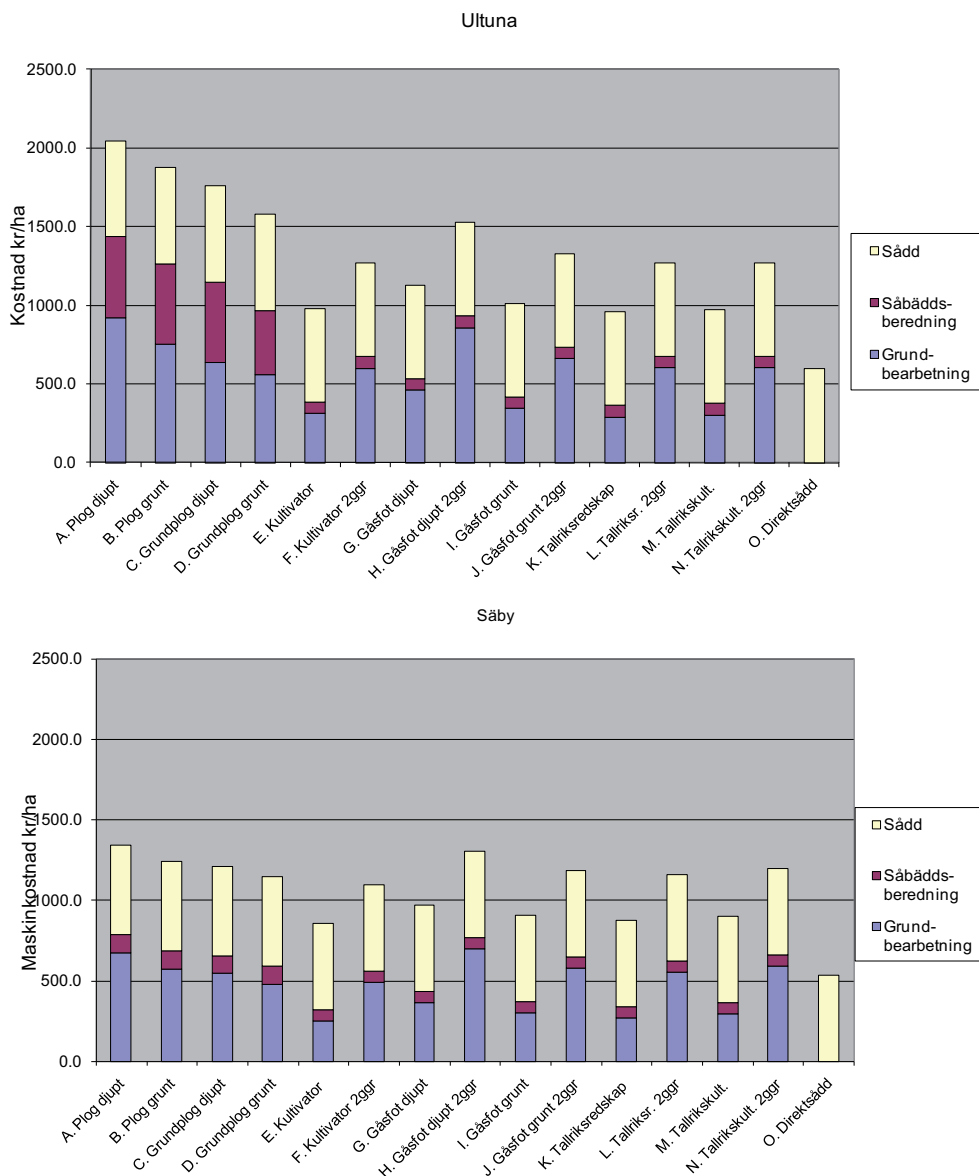


Fig. 5. Maskinkostnad för de olika bearbetningssystemen.

Skörd och lönsamhet

Skörd i olika led visas i tabell 4, och lönsamhet för olika system i figur 6. På Ultuna 2004 var skillnaderna i skörd små, skörden var något högre för de plöjningsfria jämfört med de plöjda leden, dock ej signifikant. Också i försöket på Säby 2004 var skillnaderna små, utom för direktsådd som gav 10 % lägre skörd än

konventionell plöjning. Under 2005 blev grundskörden mycket låg på Ultuna. Detta berodde framförallt på att hösten 2004 var mycket blöt och att sådd inte kunde ske förrän 4 okt. Det gick heller inte att utföra en fullgod såbäddsberedning under så blöta förhållanden, etableringen blev dålig och i framförallt plöjningsfria led blev det också luckor i beståndet pga stora halmmängder.

Tabell 4. Skördar enskilda år (kg/ha och relativt)

År	Förfrukt	Ultuna			Säby			Medel Medel (vägt)	Medel Medel (vägt)	Medel Medel (vägt)	Medel Medel (vägt)
		2004	2005	2007	2004	2005	2007				
		Havre	Vete	Korn	Korn	Vete	Korn	Vete	Korn	Vete	Korn
A.	Plog normalt djup	6440	3650	6970	5687	6940	6940	6070	8500	7170	6428
B.	Plog grunt	99	95	90	94	100	100	94	97	97	96
C.	Grundplog djupt	- ^a	94	93	93	99	99	95	102	99	97
D.	Grundplog grunt	-	84	92	89	100	100	94	101	99	95
E.	Kultivator 1ggr	104	67	93	92	98	98	89	104	98	95
F.	Kultivator 2ggr	102	71	97	93	100	100	91	102	98	96
G.	Gåsfot djupt 1ggr	104	73 ^b	92	92	99	99	95	106	101	97
H.	Gåsfot djupt 2ggr	104	82	92	94	102	102	97	111	104	100
I.	Gåsfot grunt 1ggr	104	73	96	94	99	99	90	100	97	96
J.	Gåsfot grunt 2ggr	105	82	88	93	101	101	96	102	100	97
K.	Tallriksredskap 1ggr	105	85	96	97	98	98	85	98	94	96
L.	Tallriksredskap 2ggr	109	90	95	99	98	98	91	108	100	100
M.	Tallrikskult. 1ggr	103	75	101	96	98	98	66	100	90	93
N.	Tallrikskult. 2ggr	104	71	102	96	99	99	84	105	97	97
O.	Direktsådd	99	52	96	88	90	90	42	96	79	83
Sign.		n.s.	*	*		*	*	***	0.07		

^aLed med grundplog utgick på Ultuna 2004. ^bDet djupa ledet gick för tungt att köra år 2005, därför används samma värden som för grundkörning med gåsfot

Under praktiska förhållanden skulle man troligtvis avstått från höstsädd pga det sena sådatumet. På den lätta jorden på Säby kunde dock sädden ske 17 sep, och grundskörden i plöjt led 2005 blev kring 6000 kg, vilket får ses som fullt acceptabelt. Framförallt i det direktsådda

ledet och i tallrikskultivatorleden blev halminblandningen dålig, vilket också ledde till mycket kraftiga skördesänkningar. För de flesta plöjningsfria leden är det också tydligt att två överfarter givit högre skörd än en överfart, vilket kan förklaras med en bättre

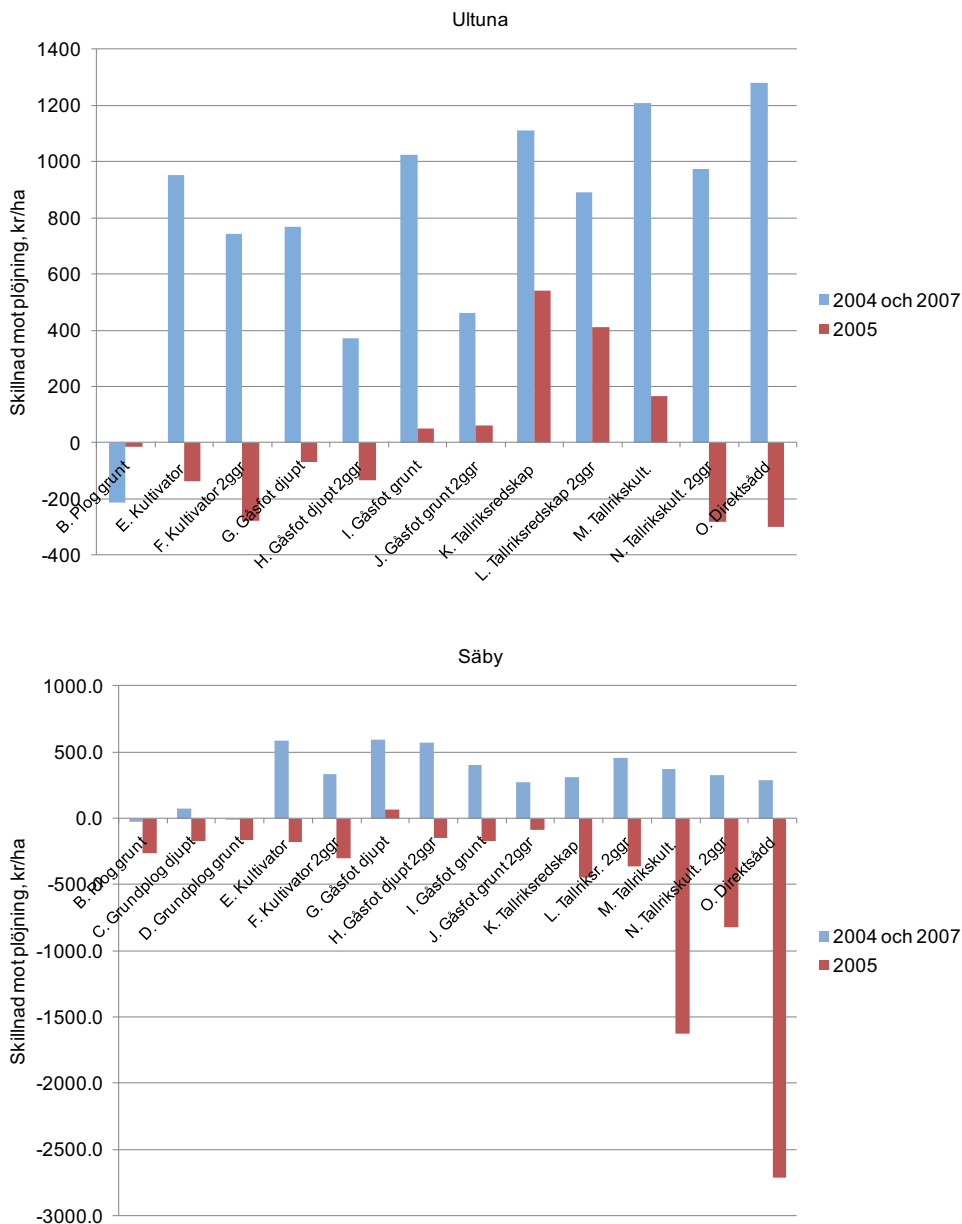


Fig. 6. Beräknad lönsamhet jämfört med plöjning, uppdelat på skördeår med vårsäd som förfrukt (2004 och 2007), och med höstsäd som förfrukt (2005).

halminblandning. Under 2007 var skörden på Ultuna något sämre i grunt bearbetade led, förutom led med tallrikskultivator. Skillnaderna var dock ej signifikanta. På Säby gav istället plöjningsfria led i de flesta fall högre skörd än plöjning. Grundskörden var hög (8500 kg/ha) och bestånden var jämna i samtliga led. Varken på Ultuna eller Säby fanns någon entydig effekt av djupare luckring eller ökat antal överfarter 2007. Mängden skörderester var relativt liten, och direktsådden gav nästan samma skörd som plöjning på både Ultuna och Säby. På Ultuna var dock ogräsförekomsten högre i direktsått led. Led med Ecomat fungerade bra på Säby men gav lägre skörd på Ultuna. Detta stämmer också med bearbetningsresultatet – tilläggnigen har i regel blivit bra på lätt jord men sämre på styv jord vid grund plöjning.

Sammanfattningsvis verkar luckringsbehovet ha varit litet på båda jordarna – djup bearbetning och flera överfarter har varit positivt då höstvetete var förfrukt men annars haft liten betydelse.

I figur 6 visas skillnaden i ekonomiskt utfall (skördevärde minus

maskinkostnader) jämfört med normal plöjning. Materialet har delats upp på åren 2004 och 2007 (förfrukt vårsäd), och 2005 (förfrukt höstvetete).

På Ultuna gav de plöjningsfria leden betydligt högre lönsamhet än plöjning för 2004 och 2007, främst pga lägre kostnader. Under 2005 var lönsamheten något sämre för plöjningsfria led.

På Säby var lönsamheten för 2004 och 2007 högre för plöjningsfritt än för plöjning, skillnaden var dock klart mindre än på Ultuna. Led med direktsådd och tallrikskultivator gav starkt försämrade lönsamhet jämfört med plöjning 2005, p.g.a. kraftigt sänkt skörd.

Energibalans

Energi till bränsle och i maskiner för jordbearbetning, total insatt energi, jordbearbetningens andel av total insatt energi, energinetto och erhållen/insatt energi redovisas i tabell 5 och 6.

Tabell 5. Energiinsats, energinetto (energi i skörd minus insatt energi), samt kvot skördad/insatt energi på Ultuna

	Energi bränsle GJ ha ⁻¹	Energi maskiner GJ ha ⁻¹	Total input GJ ha ⁻¹	Energi bearb/ tot, %	Energi netto GJ ha ⁻¹	Energi netto rel. tal	Output/ Input
A. Plog djupt	2.2	0.6	11.0	25	75.7	100	7.9
B. Plog grunt	1.7	0.6	10.4	22	71.3	94	7.9
C. Grundplog djupt	1.4	0.5	10.1	19	73.5	97	8.3
D. Grundplog grunt	1.1	0.5	9.7	16	71.0	94	8.4
E. Kultivator	0.8	0.3	9.1	12	70.0	93	8.7
F. Kult. 2ggr	1.2	0.4	9.6	16	71.1	94	8.4
G. Gåsfot djupt	1.0	0.4	9.5	15	70.5	93	8.5
H. Gåsfot dj. 2ggr	1.3	0.4	9.9	18	71.8	95	8.3
I. Gåsfot grunt	0.9	0.3	9.3	13	72.1	95	8.7
J. Gåsfot gr 2ggr	1.3	0.4	9.7	17	70.8	94	8.3
K. Tallriksredskap	0.7	0.4	9.2	11	74.8	99	9.1
L. Tallrik 2ggr	0.9	0.5	9.7	15	76.3	101	8.9
M. Tallrikskult.	0.7	0.4	9.2	11	74.0	98	9.0
N. Tallriksk. 2ggr	1.0	0.5	9.7	15	73.5	97	8.6
O. Direktsådd	0.4	0.2	8.5	7	67.1	89	8.9

Tabell 6. Energiinsats, energinetto (energi i skörd minus insatt energi), samt kvot skördad/insatt energi på Säby

	Energi bränsle GJ ha ⁻¹	Energi maskiner GJ ha ⁻¹	Total input GJ ha ⁻¹	Energi bearb/ tot., %	Energi netto GJ ha ⁻¹	Energi netto rel. tal	Output/ Input
A. Plog djupt	1.1	0.4	10.4	14	99.7	100	10.6
B. Plog grunt	0.8	0.3	10.0	11	96.9	97	10.7
C. Grundplog djupt	0.9	0.3	10.2	12	98.9	99	10.7
D. Grundplog grunt	0.7	0.3	9.9	10	98.7	99	10.9
E. Kultivator	0.6	0.3	9.8	9	97.9	98	11.0
F. Kult. 2ggr	0.8	0.3	10.1	12	98.1	98	10.7
G. Gåsfot djupt	0.7	0.3	10.1	11	100.8	101	11.0
H. Gåsfot dj. 2ggr	1.1	0.4	10.6	14	104.2	104	10.8
I. Gåsfot grunt	0.6	0.3	9.7	9	96.8	97	11.0
J. Gåsfot gr 2ggr	0.8	0.3	10.1	11	100.0	100	10.9
K. Tallriksredskap	0.5	0.3	9.7	9	94.0	94	10.7
L. Tallrik 2ggr	0.8	0.5	10.2	12	99.9	100	10.8
M. Tallrikskult.	0.6	0.4	9.6	10	89.0	89	10.3
N. Tallriksk. 2ggr	0.8	0.5	10.2	13	96.7	97	10.5
O. Direktsådd	0.3	0.2	8.7	5	77.4	78	9.9

De stora posterna i energiåtgång var för tillverkning av kvävegödselmedel, torkning och jordbearbetning. Totala energiåtgången var ungefär samma på Ultuna och Säby. Bränsleåtgången var lägre på Säby men mer energi gick åt till torkning p.g.a. en högre skörd.

Jordbearbetningens andel av insatt energi varierade från 25 % för plöjning på Ultuna till 5 % för direktsådd på Säby. På grund av vårt klimat krävs en relativt hög energiinsats för torkning. Å andra sidan är kvävegivan i denna undersökning relativt låg (108 kg N/ha) vilket gör att totala energiinsatsen blir jämförbar med undersökningar gjorda i andra länder i Europa (Borin m.fl., 1997; Kuesters och Lammel, 1999; Rathke och Diepenbrock, 2006; Boehmel m.fl., 2008).

Energinettot speglade framförallt skillnaden i skörd, då den insatta energin i jordbearbetning är mycket liten i förhållande till energiinnehållet i skörden. I tabell 7 visar den mängd spannmål som motsvarar skillnad i insatt energi för de olika systemen. På Ultuna motsvarar detta ca 50-100 kg spannmål mellan normal plöjning och de plöjningsfria systemen. Det

motsvarar också ungefär den skördesänkning på 1-2 % som i genomsnitt erhållits i svenska försök med plöjningsfri odling (Arvidsson m.fl., 2009). På Säby var skillnaden i energiåtgång klart lägre.

Tabell 7. Skillnad i energiinsats för samtliga led jämfört med normal plöjning, uttryckt som energiinnehåll i spannmål (kg/ha)

	Ultuna	Säby
A. Plog	0	0
B. Plog grunt	-31	-21
C. Grundplog djupt	-52	-14
D. Grundplog grunt	-75	-26
E. Kultivator	-91	-34
F. Kultivator 2ggr	-63	-17
G. Gåsfot djupt	-73	-23
H. Gåsfot djupt 2ggr	-51	5
I. Gåsfot grunt	-84	-36
J. Gåsfot grunt 2ggr	-56	-17
K. Tallriksredskap	-94	-35
L. Tallrik 2ggr	-71	-11
M. Tallrikskult.	-94	-32
N. Tallrikskult. 2ggr	-66	-6
O. Direktsådd	-125	-61

Slutsatser

Variationerna i specifik dragkraft, bearbetningsresultat, energiförbrukning och maskinkostnader är betydligt större på en styv jämfört med en lättare jord.

Plöjning av styv jord ger oftast lägre specifikt dragkraftsbehov men en grövre struktur än bearbetning med kultivator, tallriksredskap eller harv.

Skörden av höstvetete för olika bearbetningssystem berodde framförallt på förfrukt och hanteringen av skörderester. Med höstvetete efter höstvetete, stora halmmängder och blöta förhållanden för bearbetning erhöles ökad skörd för djup

bearbetning och fler överfarter. I de fall då växtresterna inte orsakade problem ökade inte skörden för djup bearbetning. Höstvetets luckringsbehov förefaller därför vara litet och bearbetningsintensiteten bör främst styras av mängden skörderester.

Beräkningen av energibalans visade att tillverkning av kvävegödselmedel, torkning och jordbearbetning var de största energiinsatserna. Jordbearbetningens andel av totala energiinsatsen varierade mellan 5 och 25 %. Energin till jordbearbetning var liten i förhållande till energin i skörden. För ett högt energiutbyte är därför skördenivån helt avgörande och insatserna i jordbearbetning av mindre betydelse.

Referenser

- Anonym, 2008. Maskinkostnader, 2008. Maskinkalkylgruppen och HIR Malmöhus. Borgeby slott, Bjärred.
- Arvidsson, J., Keller, T. & Gustafsson, K. 2004. Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. *Soil and Tillage Research* 79 (2), 221-232.
- Arvidsson, J., Rydberg, T., Etana, A., 2009. Ploughless Tillage in Sweden – Results From Short- and Long-term Field Experiments. Proceedings of the 18th International Conference of ISTRO, 14-18 June, Izmir, Turkey.
- Atkinson, B.S., Sparkes, D.L., Mooney, S.J., 2009. The impact of soil structure on the establishment of winter wheat. *Eur. J. Agronomy*, 30, 243-257.
- Berntsen R, Berre B, 1993. Fracturing of soil clods and the soil crumbling effectiveness of draught tillage implements. *Soil Tillage Res.*, 28, 79-94.
- Boehmel, C., Lewandowski, I., Claupein, W., 2008. Comparing annual and perennial energy cropping systems with different management intensities. *Agricultural systems*, 96, 224-236.
- Borin, M., Menini, C., Sartori, L., 1997. Effect of tillage systems on energy and carbon balance in north-eastern Italy. *Soil Tillage Res.*, 209-226.
- Cannell, R.Q., Hawes, J.D., 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil Tillage Res.* 30, 245-282.
- Deike, S., Pallutt, B., Melander, B., Strassemeier, J., Christen, O., 2008. Long-term productivity and environmental effects of arable farming as affected by crop rotation, soil tillage intensity and strategy of pesticide use: A case study of two long-term field experiments in Germany and Denmark. *European Journal of Agronomy*, 29, 191-199.
- Edström, M., Pettersson, O., Nilsson, L., Hörndahl, T., 2005. Jordbrukssektorns energianvändning. Rapport 342, Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Franzluebbers, A.J., 2005. Soil organic carbon sequestration and greenhouse gas emissions in the southeastern USA. *Soil Till Res* 83, 120-147.
- Giménez D, Allmaras RR, Huggins DR, Nater EA (1998) Mass, surface, and fragmentation fractal dimensions of soil fragments produced by tillage. *Geoderma* 86: 261-278.
- Green M.B. 1987. Energy in pesticide manufacture, distribution and use. In Hessel, Z.R. (red) Energy in plant nutrition and pest control. Elsevier 1987, p 165-177.
- Hadas, A., Wolf, D., 1983. Energy efficiency in tilling dry clod-forming soils. *Soil Till. Res. and Tillage Research* 3 (1) 47-59, 1983.

- Hülsbergen, K.J., Feil, B., Biermann, S., Rathke, G.-W., Kalk, W.D., Diepenbrock, W., 2001. A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agriculture systems and environment*, 86, 303-321.
- Jenssen, T.K., Kongshaug, G., 2003. Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertilizer production. *The International Fertiliser Society Proceedings No. 509*.
- Johnson, J.M.F., Reicosky, D.C., Allmaras, R.R., Sauer, T.J., Venterea, R.T., Dell, C.J., 2005. Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agriculture in the central USA. *Soil Till Res* 83, 73-94.
- Kuesters, J., Lammel, J., 1999. Investigations of the energy efficiency of the production of winter wheat and sugar beet in Europe. *European Journal of Agronomy*, 11, 35-43.
- Liebig, M.A., Morgan, J.A., Reeder, J.D., Ellert, B.H., Gollany, H.T., Schuman, G.E., 2005. Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agriculture practices in north-western USA and western Canada. *Soil Till Res* 83, 25-52.
- Lindgren, M., Pettersson, O., Hansson P.A., Norén, O., 2002. Jordbruks- och anläggningsmaskinens motorbelastning och avgasemissioner – samt metoder att minska bränsleförbrukning och avgasemissioner. Rapport Lantbruk & Industri nr 308, Jordbrukstekniska Institutet, Uppsala
- Martens, D.A., Emmerich, W., McLain, J.E.T., Johnsen, T.N., 2005. Atmospheric carbon mitigation potential of agricultural management in the southwestern USA. *Soil Till Res* 83, 95-119.
- Nilsson, C., 2009. Utformning av ett odlingssystem med begränsad användning av externa produktionsmedel. Slutrapport SLF, SLU Alnarp. (Design of a cropping system with limited input of external production means). In Swedish
- Pettersson O., Norén O., Hansson P-A, Lindgren, M., 2002. A system for onboard determination of engine power by measuring fuel consumption at 1 Hz. *EurAgEng Budapest 2002*. Paper Number 02-PM-024.
- Rathke, G.-W., Diepenbrock, 2006. Energy balance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. *European Journal of Agronomy*, 24, 35-44.
- Rathke, G.-W., Wienhold, B.J., Wilhelm, W.W., Diepenbrock, 2007. Tillage and rotation effect on corn-soybean energy balances in eastern Nebraska. *Soil Tillage Res.*, 97, 60-70.
- Saleque, U.M., Jangiev, A.A., 1990. Optimization of the operational parameters of a wheeled tractor for tillage operation. *Transactions of the ASAE*. v.33(4) s 1027-1032.
- SAS 1982. SAS User's Guide: Statistics, 1982 Edition. SAS Institute Inc., Gary, NC: 1982. 584 pp.
- SCB, 2009 Odlingsåtgärder i jordbruket 2008. . Statistiska meddelanden, MI 30 SM 0901. Statistiska centralbyrån. (Cultivation measures in agriculture 2008. Statistical messages, MI 30 SM 0901. Statistics Sweden). In Swedish with English summary.
- Sonesson, U.1993, Energianalyser av biobränslen från höstvetete, raps och Salix, Rapport 174. Inst. f lantbruksteknik, SLU, Uppsala. (Energy analyses of biofuels from winter wheat, oilseed rape and Salix). Report 174, Dep. of Agr. Eng., Swed. Univ. Agr. Sci., Uppsala, Sweden.
- Spoor, G., Godwin, R.J., 1978. An experimental investigation into the loosening of soil by rigid tines. *Journal of Agricultural Engineering Research* 23, 243-257.
- Zentner, R.P., McConkey, B.G., Stumborg, M.A., Campbell, C.A., Selles, F. , 1998. Energy performance of conservation tillage management for spring wheat production in the brown soil zone. *Can. J. Soil Sci.*, 78, 553-563.

III. Dragkraftsbehov och bearbetningsresultat för olika kultivatorspetsar

Olof Hillerström och Johan Arvidsson

Sammanfattning

Reducerad bearbetning är något som ökar bland de svenska lanbrukarna idag, mycket på grund av den allt sämre lönsamheten i växtodlingen. Inom den reducerade bearbetningen används ofta någon typ av kultivator. Det finns en mängd olika sorters kultivatorspetsar att välja mellan.

För att underlätta valet av spetsmodell utfördes under hösten 2005 försök där dragkraftsbehov och bearbetningsresultat studerades för olika typer av spetsar.

Ett försök med olika typer av spetsar utfördes på en styv jord med 50 % ler och på en lätt jord med 19 % ler. De testade spetsarna var 80 mm bred spets, sliten 80 mm, 80 mm med vingskår, 210 mm skär och gåsfot. Några av spetsarna kördes med olika djupinställningar. Dessutom ingick körning med en kultivator med fjädrande pinnar och en plog.

I en annan typ av försök jämfördes spetsar med olika bredd. Detta utfördes enbart på styv jord.

I varje led studerades specifikt dragkraftsbehov (kraft per tvärsnittsarea) och totalt dragkraftsbehov (kraft per meter arbetsbredd). Alla körningar gjordes med en Massey Ferguson 6290 utrustad med ett bränslemätningssystem. En datalogger registrerade kontinuerligt traktorns effekt, hastighet, motorvarvtal m.m. Det verkliga bearbetningsdjupet mättes genom att en stålram med arean 0,25 m² placerades i försöksrutan och all lös, bearbetad jord vägdes. Skrymdensiteten mättes och därefter kunde djupet beräknas.

Jord sparades från alla led och sållades senare till sex fraktioner, för att kunna räkna fram den sammanlagda partikelytan per kg jord. Detta gav ett mått på redskapens och spetsarnas sönderdelning. Energibehovet för sönderdelning räknades

också fram med hjälp av den sammanlagda partikelytan. Halminblandningen bedömdes visuellt och mättes med bildanalys i försöket med olika spetsar.

De 80 mm breda spetsarna och det 210 mm breda skäret hade det största specifika dragkraftsbehovet på den styva jorden. Plogen och det grunda gåsfotsledet hade det minsta specifika dragkraftsbehovet. På den lätta jorden var det den slitna 80 mm-spetsen som hade det största specifika dragkraftsbehovet. Det grunda ledet med gåsfoten hade det minsta. Fjädrande pinne hade lägre specifikt dragkraftsbehov och bättre sönderdelning än en stel pinne, och därmed också lägre energi för sönderdelning. Det specifika dragkraftsbehovet ökade med en ökad spetsbredd.

Plogen brukade ner halmen bäst, sämst var det grunda gåsfotsledet.

Vingskår monterade på konventionella kultivatorpinnar gav inte någon sänkning av det specifika dragkraftsbehovet jämfört med enbart pinne, men en bättre halminblandning än gåsfoten.

Undersökningen visade att både dragkraftsbehov och bearbetningsresultat varierade kraftigt mellan spetsstyperna. Gåsfotsskåret var t.ex. effektivt för luckring och sönderdelning men gav dålig halminblandning. Fortsatta undersökningar skulle vara av stort värde, både för maskintillverkare och för jordbrukare.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	1
Inledning.....	3
1 Jorden.....	3
1.1 Hållfasthet.....	3
1.2 Skjuvhållfasthet och kohesion.....	3
1.3 Penetrationsmotstånd.....	4
1.4 Bearbetbarhet.....	4
2 Jordbearbetning.....	4
2.1 Bearbetningens syfte.....	4
2.2 Angreppsvinkel.....	5
2.3 Olika brott.....	6
2.4 Plogkroppar.....	8
2.5 Kultivatorpinnar och gåsfötter.....	9
3 Syfte.....	10
4 Material och metoder.....	10
4.1 Mättraktor.....	10
4.2 Försöksplatser.....	10
4.3 Försöksled.....	11
4.4 Mätning av jordens hållfasthet.....	13
4.5 Bestämning av bearbetningsdjup.....	13
4.6 Sönderdelning.....	13
4.7 Halminblandning mätt med bildanalys.....	13
4.8 Halminblandning bedömt visuellt.....	13
4.9 Specifikt dragkraftsbehov, specifik yta, energi för sönderdelning.....	13
5 Resultat.....	14
5.1 Bearbetningsdjup.....	14
5.2 Specifikt dragkraftsbehov.....	14
5.3 Aggregatstorlek.....	16
5.4 Energiförbrukning för sönderdelning.....	18
5.5 Halminblandning mätt med bildanalys.....	20
5.6 Halminblandning bedömt visuellt.....	21
6 Diskussion.....	22
6.1 Bearbetningsdjup.....	22
6.2 Specifikt dragkraftsbehov.....	23
6.3 Aggregatstorleksfördelning.....	23
6.4 Halminblandning.....	23
7 Slutsatser.....	24
8 Källförteckning.....	24

Inledning

Reducerad bearbetning är något som diskuteras mycket idag inom det svenska jordbruket. Plöjning har i många år varit den dominerande primärbearbetningen i Sverige. Jordbearbetning är en stor kostnadspost inom växtodling, därför efterlyses alternativa bearbetningssystem. Det finns idag en uppsjö av redskap som är tänkta att ersätta plogen inom den primära bearbetningen.

Kultivatorn är ett redskap som tidigare användes mest som bearbetningsredskap inför plöjning. Kultivatorerna kan indelas i två kategorier beroende på pinnens konstruktion, fjädrande och stel pinne. Det finns olika typer av spetsar att montera på kultivatorn. Spetsvalet beror på vilket ändamål man har med bearbetningen. Är det luckring man är ute efter, är det onödigt att köra med en spets som gör en stor inblandning, eftersom det är energikrävande. Genom mätning av olika typer av spetsars dragkraftbehov och bearbetningsresultat kan riktlinjer för val av spets tas fram. För att få ett jämförbart värde på dragkraftbehovet mellan olika spetsar, redskap och arbetsbredder används det specifika dragkraftbehovet (kN/m^2).

Rapporten behandlar dels ett försök med olika typer av spetsar utförda på en styv och en lätt jord, dels ett försök där endast bredden på spetsarna skiljer, utfört på styv jord. Resultat som verkligt bearbetningsdjup, totalt dragkraftbehov, specifikt dragkraftbehov, sönderdelning och halminblandning redovisas i rapporten.

1 Jorden

1.1 Hållfasthet

Jordens hållfasthet definieras som det motstånd som måste övervinnas för att deformera jorden (Sirjacobs, et al., 2002). En hög hållfasthet är bra för att det ökar jordens bärförmåga, men ur bearbetningssynpunkt vill man inte ha alltför hög hållfasthet eftersom det ökar

dragkraftbehovet och försämrar sönderdelningen.

I mark talar man om krafter i ett plan, vilket innebär kraft per ytenhet (N/m^2 eller Pa). Kraft per ytenhet är enheten för tryck, ofta talar man därför om tryck i marken, men den korrekta benämningen är spänning. Det finns två typer av spänningar i marken, normalspänning som verkar vinkelrätt mot ett plan och skjuvspänning som är parallell med ett plan (Arvidsson, 2001).

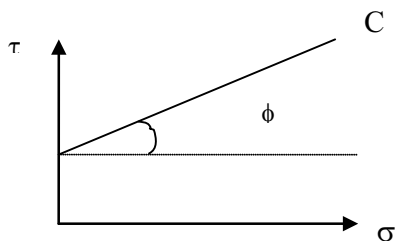
1.2 Skjuvhållfasthet och kohesion

Vid körning med en traktor eller bearbetning med ett redskap, utsätts jorden för krafter. Krafterna kommer att bygga upp skjuvspänningar i marken, tills ett maximum nås för en viss deformation. Hur stor deformationen blir beror på vilken typ av jord det är och hur de fysikaliska förutsättningarna är.

Skjuvhållfasthet kan mätas genom att man anbringar en kraft från sidan (skjuvspänning), alltså längs med planet, på exempelvis en jordcylinder. Kraften ökar till ett visst läge, där jorden brister. Vid bristningstillfället är skjuvhållfastheten som störst, vilket normalt är det värde som används vid beräkning av hållfastheten (Spoon, 1975). Med en ökad normalspänning följer en ökad skjuvhållfasthet. Skjuvhållfastheten delas upp i två komponenter, kohesion och intern friktionsvinkel. Kohesion är detsamma som skjuvhållfastheten utan normalspänning (fig. 1), den interna friktionsvinkeln beskriver hur skjuvhållfastheten ändras vid ändrad normalspänning (Arvidsson, 2001). Skjuvhållfastheten kan beskrivas med följande formel:

$$\tau = C + \sigma_n * \tan \phi$$

där: τ = skjuvhållfasthet
 C = kohesion
 ϕ = intern friktionsvinkel
 σ_n = normalspänning



Figur 1. Skjuvhållfastheten som funktion av normalspänningen.

Kohesionen beror dels på bindningar mellan partiklar, t.ex. elektrostatiska bindningar mellan lerpartiklar, och dels på vattnets bindningstryck vid uttorkning (Arvidsson, 2001). Partikelstorleken har betydelse när man talar om bindningskrafter, ju mindre partiklar desto större bindningskrafter. Lerjordar har betydligt större kohesion än sandjordar, därför kallas lerjordar för kohesionsjordar. Ökad skjuvhållfasthet vid ökad normalspänning beror på att friktionen mellan markpartiklarna ökar. En ökad friktion mellan partiklarna gör det svårare att förflytta dem i sidled. Sandjordar har små elektrostatiska bindningar vilket medför en liten kohesion. Därför är sandjordars skjuvhållfasthet helt beroende av normalspänningen och de kallas därför för friktionsjordar (Arvidsson, 2001).

1.3 Penetrationsmotstånd

Jordens penetrationsmotstånd är också ett mått på hållfastheten. Mätningarna utförs relativt enkelt med en penetrometer, vilken består av en metallstång med en konisk spets som trycks ner i marken till önskat djup. Vilken spetsvinkel spetsen har beror på vilket syfte man har med mätningarna (Håkansson, 2000). Penetrometern mäter kraften som krävs för att trycka ner spetsen i marken och penetrationsmotståndet brukar anges i kPa eller MPa. En nackdel med penetrometermätningar är att faktorer som t.ex. skjuvhållfasthet, kompressionsförmåga, friktion och adhesion alla påverkar mätresultaten. De nämnda faktorerna påverkar resultatet olika mycket beroende på vilken jordart det är

och vilken vattenhalt jorden har vid mätningen, detta medför ofta svårtolkade resultat (Dexter & Arvidsson, 2002).

1.4 Bearbetbarhet

Bearbetbarhet definieras som hur lätt det är att sönderdela jorden för att åstadkomma en såbädd (Dexter, 1988). Bearbetbarheten är mycket beroende av t.ex. jordens vattenhalt, hur vädret varit tidigare under året och vilken gröda man bearbetar efter. Den optimala vattenhalten vid bearbetning är enligt Dexter (1988) vid cirka 90 % av plasticitetsgränsen, oavsett jordtyp. När vattenhalten överstiger plasticitetsgränsen är jorden inte bearbetbar, om vattenhalten är för låg kommer det att bildas kokor med ett dåligt bearbetningsresultat som följd.

2 Jordbearbetning

2.1 Bearbetningens syfte

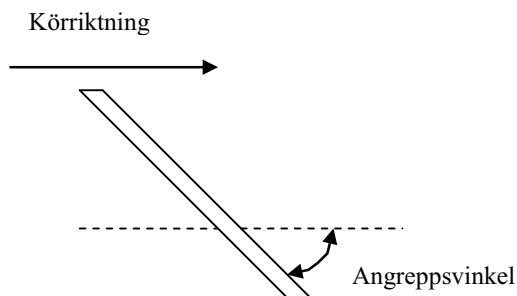
Huvudsyftet med jordbearbetning är att skapa en så gynnsam miljö som möjligt för de odlade växterna (Weidow, 2000). Det går inte att säga hur bearbetningen generellt ska gå till, man måste anpassa bearbetningen till rådande markförhållanden. För att välja en metod måste man bestämma syftet med bearbetningen, beroende på gröda, vattenhalt i marken, ogräsförekomst, halmmängder osv. Bearbetningsredskapen har bl.a. till uppgift att luckra jorden, en kompakt jord är inte gynnsam för växtrötterna. Skörderester ska blandas in väl för minskad risk för spridning av patogener till nästkommande gröda. Vid en god inblandning av växtresterna sätter nedbrytningen igång snabbare, vilket oftast är

positivt, särskilt vid stora mängder växtrester. Bryts de inte ner finns det en risk att de bildar kompakta skikt i jorden, vilket kan göra att kontakten mellan matjorden och alven störs. Vid varje bearbetning sker en ogräsbekämpning. Vid bekämpning av roto-gräs måste bearbetningen ske till ett sådant djup att rötter och underjordiska stamdelar skärs av. Redskapet bör bearbeta hela arbetsbredden. Vid en första bearbetning efter tröskning vill man att fröogräsen ska gro, så att de förstörs vid nästkommande bearbetning. Efter de luckrande bearbetningarna kan en återpackning behöva göras för att få en gynnsam porstorleksfördelning. En återpackning underlättar växternas närings- och vattenupptag genom att en bättre kontakt skapas mellan jordpartiklarna. Återpackning direkt efter sådd kan göras för att öka kontakten mellan fröna och den fuktiga jorden (Weidow, 2000).

2.2 Angreppsvinkel

Angreppsvinkeln (fig. 2) på en pinne har stor betydelse för hur uppbyggnaden av jorden sker. Även pinnens dragkraftbehov påverkas mycket av angreppsvinkeln. Pinnar med liten angreppsvinkel har mindre dragkraftbehov än pinnar med stor angreppsvinkel (Davies et al. 1993). Vid en liten angreppsvinkel, mindre än 45 grader,

kommer jorden att brytas upp och sönderdelas genom sprickbildning, detta på grund av att pinnen utövar en uppåtriktad kraft på jorden (Koolen & Kupiers, 1983). Vid stora angreppsvinklar utövar pinnen nedåtriktade krafter på jorden, en kompression sker. Detta är fördelaktigt vid såbäddsberedning, då man vill åstadkomma en god sönderdelning (Arvidsson & Dexter, 2004). En sladdplanka, vilken har en stor angreppsvinkel (mer än 90 grader) krossar effektivt jordklor, men bryter inte upp jord. När angreppsvinkeln blir större än 45 grader, ökar dragkraftbehovet betydligt fortare med en ökad angreppsvinkel än vad det gör mellan 20 och 45 grader. En av anledningarna till detta är att de nedåtriktade kompressionskrafterna är mindre vid mindre angreppsvinklar. Uppbyggnaden sker på olika sätt beroende på vilken angreppsvinkel pinnen har. Aluko & Sieg (2000) gjorde ett försök för att se när jorden ändrades från uppbyggnad genom skjuvningsbrott till uppbyggnad genom sprickbildning. De kom fram till att det var mest sannolikt att jorden bröts upp genom sprickbildning vid små angreppsvinklar och på jord med hög hållfasthet. Samma angreppsvinkel kan resultera i olika dragkraftbehov på olika jordar (McKyes, 1989).



Figur 2. Angreppsvinkel för en pinne.

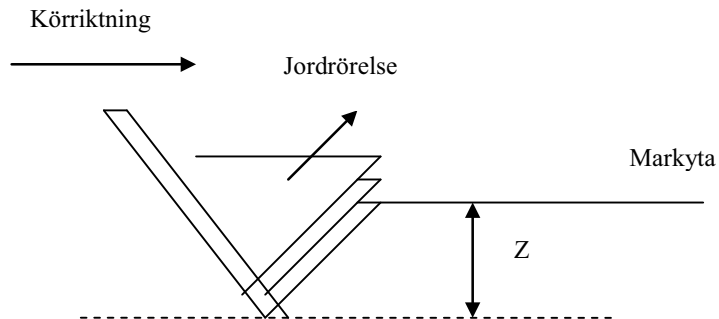
2.3 Olika brott

Jorden bryts upp olika vid bearbetning, mest beroende på jordens vattenhalt och vilken jordart som bearbetas, men uppbyggnaden är också beroende på redskapets utformning. Några olika typer av brott beskrivs nedan.

2.3.1 Skjuvningsbrott

När en t.e.x. en spets dras fram i jorden, utsätts jorden för kompressiva spänningar. Jorden kommer att deformeras, ett brott uppstår, då skjuvspänningen överstiger jordens skjuvhållfasthet (Aluko & Sieg,

2000). Jordblocken som lossnar framför spetsen p.g.a. spetsens framåtriktade rörelse, glider framåt och uppåt längs spetsen och den obearbetade jorden (fig. 3). Detta är något som upprepas hela tiden vid körning med spetsen i jorden, nya jordblock bryts loss allteftersom spetsen dras framåt. Hur stort avstånd det blir mellan skjuvningsplanen bestäms av hur kompressibel jorden är. Ju mer kompressibel jorden är desto större blir avståndet mellan skjuvningsplanen (Arvidsson & Dexter, 2004). Hade det inte varit något motstånd framför det uppbrutna jordblocket, hade det inte skett någon sönderdelning av det.



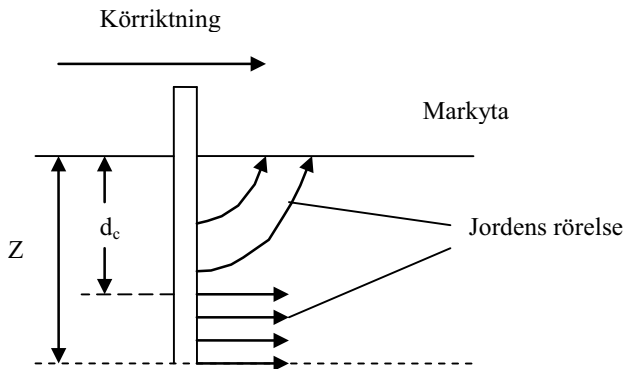
Figur 3. Skjuvningsbrott, där Z är arbetsdjupet. Jordblock skjuvas loss och glider uppåt, framåt längs spetsen (Aluko & Sieg, 2000).

2.3.2 Plastisk deformation och kritiskt arbetsdjup

Enligt Spoor & Godwin (1978) finns det ett kritiskt arbetsdjup för stela pinnar. Under detta arbetsdjup kommer inte jorden längre att skjuvas och röra sig uppåt och framåt, utan istället röra sig framåt och åt sidorna. Detta kallas för plastisk deformation. Jorden pressas samman och flyter runt pinnen istället för att pressas uppåt och luckras (fig. 4). Det kritiska arbetsdjupet varierar beroende på jordart, jordens vattenhalt och på pinnens utformning. Med en högre vattenhalt följer ett grundare kritiskt bearbetningsdjup. Pinnens

angreppsvinkel spelar en stor roll vid bestämning av det kritiska bearbetningsdjupet. En pinne med en liten angreppsvinkel har ett större kritiskt bearbetningsdjup än en pinne med stor angreppsvinkel (McKyes, 1989).

Det specifika dragkraftbehovet ökar markant vid bearbetning under det kritiska djupet. Jorden under det kritiska djupet kommer inte att bearbetas, därmed blir tvärsnittsarean liten. Detta medför att det specifika dragkraftbehovet kan bli större vid våta förhållanden jämfört med bearbetning till samma djup vid torrare förhållanden (McKyes, 1989).

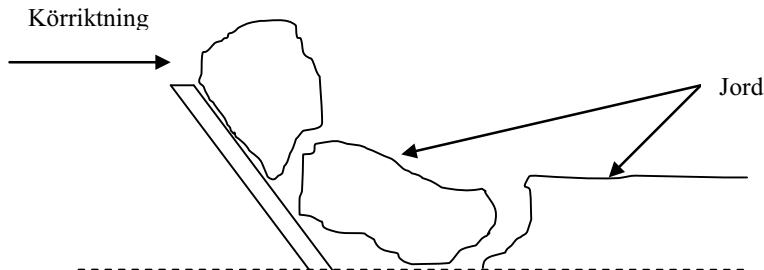


Figur 4. Under ett visst kritiskt djup, d_c , ändras jordens rörelse från uppåt och framåt till en rörelse i sidled (Aluko & Sieg, 2000). En plastisk deformation sker.

2.3.3 Sprickbildning

Ett tredje sätt för jorden att brytas upp vid bearbetning är genom sprickbildning. För att detta ska inträffa måste jorden ha relativt hög hållfasthet (Aluko & Sieg, 2000). Sprickorna uppträder där hållfastheten är som lägst, mellan

aggregaten (Payne, 1956). Sprickbildningen börjar vid redskapets spets och växer snabbt tills sprickan når markytan där en jordkoka lossnar (fig. 5). (Aluko & Sieg, 2000). Vid uppbrytning genom sprickbildning sker varken skjuvning eller sammanpackning av jorden.



Figur 5. Sprickbildning (Aluko & Sieg 2000). Sprickorna bildas där hållfastheten är som lägst.

2.3.4 Tvådimensionellt brott

Ett tvådimensionellt brott innebär att uppbrytningen vid sidan om spetsen är försumbar, uppbrytningen sker huvudsakligen framåt och vertikalt (Aluko & Sieg, 2000). För att åstadkomma tvådimensionell uppbrytning måste spetsen som går i marken vara bredare än vad den går djupt, förhållandet bör minst vara 10:1.

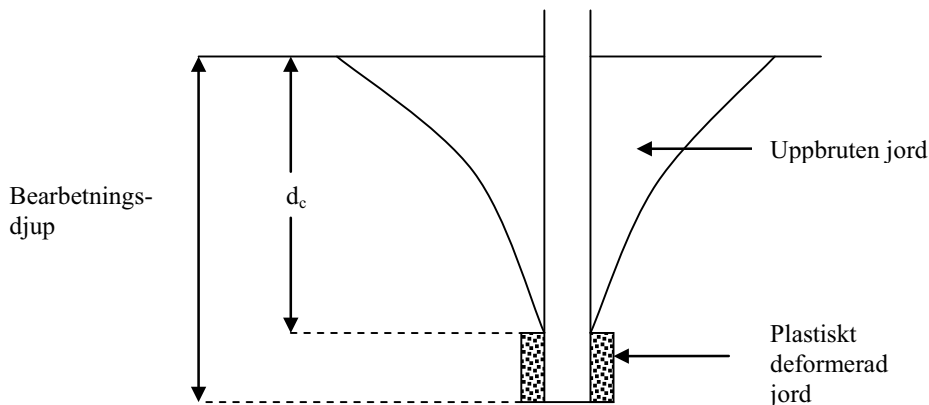
Rent mekaniskt sett är det så att schaktblad arbetar, uppbrytning sker lika brett som bladet (McKyes, 1989).

2.3.5 Tredimensionellt brott

Vid körning med smala spetsar, sker en stor del av uppbrytningen av jord vid sidan av spetsen. Definitionen för en smal spets är enligt Payne (1956) när förhållandet mellan djup och bredd ligger mellan 25:1

och 1:1. Uppbrytningen vid körning med en smal spets kan beskrivas med en tredimensionell modell. Uppbrytningen sedd framifrån får en V-formad tvärsnittsarea (fig. 6). När

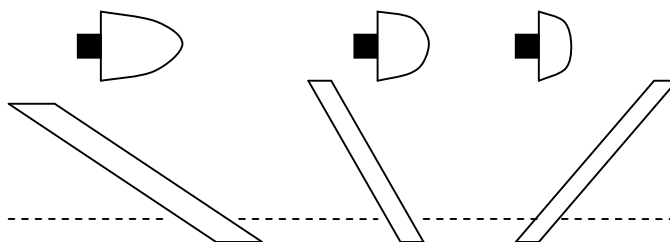
bearbetningsdjupet är större än det kritiska bearbetningsdjupet, slutar V-formationen vid det kritiska bearbetningsdjupet (Arvidsson & Dexter, 2004).



Figur 6. En smal spets bryter upp jorden, uppbygningen sker betydligt bredare än vad spetsen är bred (Arvidsson & Dexter, 2004).

Om man betraktar det tredimensionella brottet uppifrån, kan man se att jorden framför pinnen bryts upp i form av en halvmåne (fig. 7). Precis framför pinnen bildas det en typ av kil, vilken hela tiden

byggs på underifrån. Kilen pressas samman och uppåt längs pinnen, när den når markytan faller den sönder (Payne, 1956). Halvmånens form beror på pinnens angreppsvinkel (Payne & Tanner, 1959).



Figur 7. Jorden framför pinnen bryts upp i form av en halvmåne, formen beror på vilken angreppsvinkel pinnen har (Payne & Tanner, 1959).

2.4 Plogkroppar

Plögen är ett redskap som vänder och luckrar jorden mycket effektivt. Vid plöjning skärs hela arbetsbredden av och jorden vänds upp och ner.

En plogkropp består av många delar, men det är framförallt skäret som står för

avskärningen (Koolen & Kuipers, 1983). Uppbrytningen sker med ett tvådimensionellt brott, det är endast ytan där skäret går fram som skärs av, ingen uppbyggnad sker åt sidorna. Även om det är skäret som står för den huvudsakliga avskärningen är det spetsen som utför det primära brottet. Både spets och skär har en

liten angreppsvinkel. När skäret har skurit loss jorden, trycks jorden längs en vändskiva som vänder den mellan 120 och 150 grader. Vid vändningen sker en brytning av jorden vilket medför en sönderdelning. Hur stor sönderdelningen blir beror bl.a. på vändskivans utformning, hållfastheten i jorden och körhastigheten.

Uppbrytningen vid plöjning sker oftast genom sprickbildning, vilket medför en relativt liten sönderdelning (Aluko & Sieg, 2000, Davies et. al., 1993). Aluko & Sieg (2000) har visat att om förhållandena är sådana att uppbyggnaden sker genom skjvning, minskar storleken på aggregaten. Detta sker genom att de uppbrutna jordblocken gnids mot varandra och på så sett blir mindre. När jorden har en hög vattenhalt sker ofta en plastisk deformation, sönderdelningen blir då väldigt liten. Den uppbrutna tilten håller ihop under hela vändningsförloppet, inte förrän tilten lämnar vändskivan kan en liten sönderdelning ske. Hur stor den sönderdelningen blir bestäms av hur mycket tilten har försvagats under vändningsförloppet.

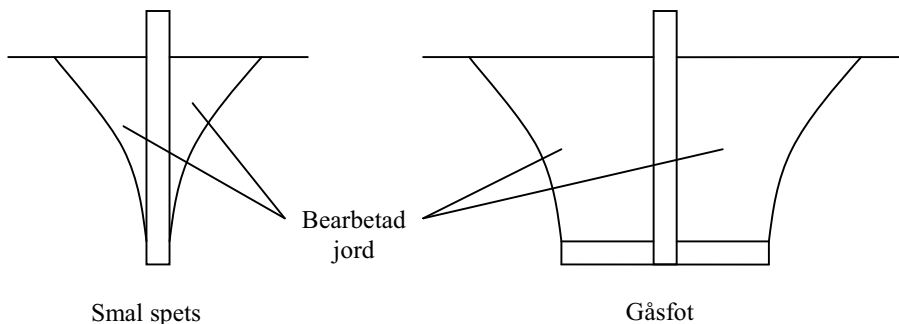
2.5 Kultivatorpinnar och gåsfötter

Till skillnad från en plogkropp bearbetar kultivatorn även jorden vid sidan om pinnen. Uppbrytningen sker tredimensionellt, i en V-formation sett framifrån, snett uppåt och utåt från pinnen.

Enligt Payne (1956) kan uppbyggnaden uppifrån sett ske i en halvmåneform. Kultivatorpinnens angreppsvinkel är oftast större än plogens. Angreppsvinkeln har mycket stor betydelse när det gäller dragkraftbehovet för en pinne. Till skillnad från plogen har kultivatorn ett kritiskt bearbetningsdjup. Det är endast över det kritiska bearbetningsdjupet man får en effektiv bearbetning, under sker det en plastisk deformation (Spoor & Godwin, 1978). Med en pindelning över 25 cm får man oftast inte en full bearbetning av hela arbetsbredden med en överfart (Davies et. al., 1993). Vid bearbetning med två överfarter görs de lämpligen diagonalt över fältet.

För att åstadkomma en full genomskärning av hela arbetsbredden kan kultivatorpinnarna utrustas med vingskär eller gåsfötter. Vingskär monteras på pinnens båda sidor. För att detta ska fungera bra, bör pinnens konstruktion vara rakare och relativt stel.

Spoor & Godwin (1978) visade att det kritiska arbetsdjupet ökar när man använder gåsfötter eller vingskär (fig. 8). Det specifika dragkraftbehovet (kraft per tvärsnittsarea) minskar vid användning av gåsfötter, om bearbetningen sker under det kritiska arbetsdjupet, jämfört med en smal spets. Spoor & Godwin (1978) gjorde försök som visar detta. En konventionell



Figur 8. En smal spets jämfört med en gåsfot. Gåsfoten bearbetar en större volym jord.

spets hade ett specifikt dragkraftbehov på 208 kN/m². Med vingskär monterade på samma kultivator och bearbetning till samma djup var det specifika dragkraftbehovet endast 143 kN/m². Det beror på att den bearbetade jordvolymen ökar mer än dragkraftbehovet. Det specifika dragkraftbehovet minskar även med vingskärens eller gåsfötternas bredd. Gåsfötternas och vingskärens angreppsvinkel har även betydelse för dragkraftbehovet (Spoor & Godwin, 1978).

3 Syfte

Syftet med arbetet var att jämföra dragkraftbehovet och bearbetningsresultatet för olika typer av kultivatorspetsar. Plogen var med mest som en referens. För att se hur jordarten påverkade dragkraftbehovet och bearbetningsresultatet utfördes försöken både på en styv jord och en lätt jord. Avsikten var att kunna bedöma vilken spets som är mest optimal, beroende på syftet med bearbetningen.

4 Material och metoder

4.1 Mättraktor

För samtliga körningar användes en Massey Ferguson 6290, utrustad med ett system för bränslemätning. Mätutrustningen är utvecklad av JTI (Pettersson et. al., 2002). För mer omfattande beskrivning, se avsnitt I i denna rapport.

Tabell 1. Kornstorleksfördelning (g/100g jord)

Plats	Ler	Fmj*	Gmj*	Fmo*	Gmo*	Ms*	Gs*	Mull
Styv	50,0	14,2	9,8	8,2	10,6	4,1	3,0	3,2
Lätt	19,3	5,5	9,2	32,5	32,8	0,5	0,2	5,1

*Fmj = finmjäla, Gmj = grovmjäla, Fmo = finmo, Gmo = grovmo, Ms = mellansand, Gs = grovsand

Tabell 2. Markdata

	Styv	Lätt	Olika bredd spetsar
Skjuvhållfasthet (kPa)	37,7	34,4	55,7
Torr skrymdensitet (g/cm ³)	1,17	1,10	1,30
Vattenhalt (%)	22,5	23,0	23,0

4.2 Försöksplatser

Två olika typer av försök utfördes, en med olika typer av spetsar, en med olika spetsbredd.

4.2.1 Olika typer av spetsar

Försöken utfördes på två platser, en lätt jord och en styv jord. Försöket gjordes den 16 september 2005 på den styva jorden och den 27 september 2005 på den lätta jorden. Båda platserna var belägna på Säby, Uppsala. Ingen bearbetning hade skett efter tröskningen. Halmen hackades vid tröskningen och kvarstående stubb var ca 15-20 cm hög. Tre block lades ut per plats. Rutbredden var sex meter vilket medförde att två drag per ruta kördes med kultivatorerna och tre drag med plogen. Rutlängden var 30 meter på den styva och 20 meter på den lätta platsen. Jordprover togs på platserna. Markdata presenteras i tabell 1 och 2.

4.2.2 Olika bredd spetsar

Försöket utfördes endast på styv jord på Säby den 7 oktober 2005. Ingen bearbetning hade skett efter tröskningen. Halmen hackades vid tröskningen och kvarstående stubb var ca 15-20 cm hög. Fyra block lades ut. Rutbredden var även här sex meter vilket medförde att två drag per ruta kördes. Rutlängden var 30 meter. Markdata presenteras i tabell 1 och 2.

4.3 Försöksled

4.3.1 Olika typer av spetsar

Försöken innehöll nio led vilka framgår av tabell 3.

Redskapen bestod av en treskärig växelplög, kultivator med styva pinnar och

en kultivator med fjädrande pinnar. Styvpinnekultivatoren kördes med olika typer av spetsar. Några av spetsarna kördes med olika djupinställningar. Plög och kultivator med fjädrande pinne kördes endast på ett djup. Hastigheten varierades inte mellan leden förutom plogledet som kördes ca 1 km/h långsammare.

Tabell 3. Försöksled olika typer av spetsar

Led	Bearbetningsmetod	Inställt djup (cm)
A	Plog	~ 20
B	80 mm. Djupt	~ 20
C	80 mm. Grunt	~ 10
D	80 mm med vingskår. Grunt	~ 10
E	Sliten 80 mm. Grunt	~ 10
F	210 mm. Grunt	~ 10
G	Gåsfot. Djupt	~ 15
H	Gåsfot. Grunt	~ 6
I	Fjädrande. Grunt	~ 10

4.3.2 Redskap i försök med olika typer av spetsar

Plog

I försöket med olika typer av spetsar bestod ett led av plöjning. Plogen som användes var en Överum Vari Flex CX. Det är en treskärig växelplög med hydraulisk tiltbreddsreglering. Vid körningarna var tiltbredden inställd på 16 tum, det gav en total arbetsbredd på 1,2 meter. Plogen var utrustad med skivristor och förplogar på samtliga skär.

Styvpinnekultivator

De olika modellerna på spetsar som testades monterades på en Väderstad Cultus tillverkad år 2005. Det var en prototyp och bestod av nio styva pinnar med mekanisk stentlösning (fig. 9). Pinnarna var monterade på fyra axlar. Bakom pinnarna satt det utjämningsstallrikar. Kultivatoren bars upp av två främre stödhjul och en hjulpackare monterad längst bak. Arbetsbredden var 2,05 meter. I alla körningar förutom med gåsfötterna satt det en typ av kastvinge ovanför spetsarna.

De olika spetsarna, vilka monterades på kultivatoren var 80 mm (fig. 9), slitna 80 mm spetsar (fig. 9), 80 mm i kombination med vingskår (fig. 9), 210 mm (fig. 9), och 260 mm gåsfötter (fig. 9). De slitna spetsarna var inte naturligt slitna, utan var vanliga 80 mm spetsar vilka hade kapats av. Den totala bredden var 300 mm när vingskären var monterade.

Samtliga spetsar som testades från Väderstad var av rak typ, dvs motsatsen till den traditionella vridna spetsen. Den initiala angreppsvinkeln var ca 18 grader. Men p.g.a. den böjda formen på spetsarna ökade angreppsvinkeln snabbt ju längre upp på spetsen man kom. Den slitna spetsen hade en initial angreppsvinkel på ca 36 grader. Alla Väderstadspetsar monterades med en bult på pinnen.

Gåsfötterna (fig. 9) var tillverkade av Nichole, USA och tillhandahålls i Sverige av Moholms maskiner. De hade en bredd av 260 mm och monterades med en liten nedåtriktad vinkel, för att åstadkomma en viss jordsökning. Gåsfötterna hade en typ av snabbfäste, de slogs av och på med en hammare.



Figur 9. Några av de använda spetsarna och den mekaniska stenutlösningen. 80 mm (a), sliten 80 mm (b), 80 mm med vingskår (c), gåsfot (d), 210 mm (e) och stenutlösningsfjäder (f).

Fjädrande pinne

I ledet med fjädrande pinne användes en Väderstad Cultus 13. Det är en kultivator med 13 fjädrande pinnar monterade på tre axlar. Den har 3,10 meters arbetsbredd. Djupet hålls med traktorns trepunktslyft och två stödhjul. Kultivatoren är utrustad med CS-mixer, ett efterredskap för tilljämning av ytan.

Inför försökskörningarna demonterades fyra pinnar, två på varje sida, för att kunna köra två drag i rutorna. Arbetsbredden blev

då 2,18 meter. Spetsarnas angreppsvinkel var ca 20 grader.

4.3.3 Olika bredd spetsar

Försöket bestod av fyra led, skillnaden mellan leden var bredden på spetsarna. De olika spetsarna monterades på styvpinne kultivatoren. Leden framgår av tabell 4. Djupinställningen var densamma för alla leden. Alla körningarna utfördes med samma växel och varvtal.

Tabell 4. Försöksled olika bredd spetsar

Led	Bearbetningsmetod	Inställt djup (cm)
A	50 mm. Grunt	~ 10
B	65 mm. Grunt	~ 10
C	80 mm. Grunt	~ 10
D	120 mm. Grunt	~ 10

4.4 Mätning av jordens hållfasthet

4.4.1 Kohesion

Kohesionsmätningar gjordes samma dag som körningarna i försöken utfördes. Mätningarna gjordes i obearbetad jord på två djup (0-0,1 & 0,1-0,2 m).

4.5 Bestämning av bearbetningsdjup

En stålräm med ytan 0,25 m² placerades i de olika rutorna, där all lös, bearbetad jord ner till bearbetningsbotten inom stålrämen lades i hinkar och vägdes. Tre upprepningar per ruta gjordes.

I varje försök togs sammanlagt åtta cylindrar på två djup (0-10 och 10-20 cm) ut. Cylindrarna togs ut i obearbetad jord. Utifrån cylinderproverna kunde skrymdensitet och vattenhalt bestämmas.

Med hjälp av den våta skrymdensiteten och den bearbetade jordmassan kunde det verkliga bearbetningsdjupet beräknas.

4.6 Sönderdelning

Från varje ruta sparades två slumpvis utvalda hinkar med jord. Upptagningen av jorden skedde i samband med utgrävning för mätning av arbetsdjupet. Hinkarna stod inomhus i en kall maskinhall i ungefär en månad vilket medförde en viss torkning av jorden. För att få ett mått på hur bra de olika spetsarna sönderdelade jorden sållades varje hink med jord för sig i en sållmaskin med sex olika såll, 64 mm, 32 mm, 16 mm, 8 mm och 4 mm.

4.7 Halminblandning mätt med bildanalys

Andelen halm på ytan i de olika leden mättes i försök med olika typer av spetsar,

inte vid test av olika breda spetsar. Mätningarna utfördes med hjälp av bildanalys.

Efter alla körningar vattnades tre små områden (0,5 m²) per ruta, detta för att få bra kontrast mellan halm och jord. Ett kamerastativ placerades på det vattnade området, och en bild per område togs.

Bilderna konverterades till TIF-format. TIF bilderna bestod av tre färgkanaler, röd, grön, och blå. Av färgkanalerna utnyttjades bara informationen i den röda kanalen vilket innebär att bilden då bara innehåller röd färgintensitet. Därefter formaterades bilderna om till 8-bitars svart-vitt.

Tröskelvärde för bilderna bestämdes manuellt, grävvärde högre än det bestämda ansågs vara halm. Resten räknades som bakgrund (jord). Bilderna kördes sedan i ett datoriserat bildbehandlingsprogram. Detta medförde att andelen halm på markytan kunde beräknas.

4.8 Halminblandning bedömt visuellt

En visuell bedömning av hur stor andel av markytan som var täckt med halm gjordes.

Efter körningarna gjordes tre bedömningar per ruta. En ram med ytan 0,25 m² placerades på marken och hur stor andel av ytan som var täckt med halm bedömdes visuellt.

4.9 Specifikt dragkraftsbehov, specifik yta, energi för sönderdelning

Specifikt dragkraftsbehov definieras som kraften per bearbetad tvärsnittsarea. Detta räknas fram med hjälp av det verkliga bearbetningsdjupet, redskapets arbetsbredd och redskapets dragkraftsbehov. Specifik yta är detsamma som aggregatens yta per kg jord och beräknas från sållningen av

aggregat. Energi för sönderdelning är energin för bearbetning dividerat med partikelytan, se vidare avsnitt 1 i denna rapport.

5 Resultat

5.1 Bearbetningsdjup

5.1.1 Olika typer av spetsar

Styv jord

Bearbetningsdjupen redovisas i tabell 5.

För alla leden, förutom led A (plog) och H (gåsfot, grunt) där det verkliga bearbetningsdjupet blev djupare än det

inställda, har ett grundare verkligt bearbetningsdjup visats föreligga.

Lätt jord

Bearbetningsdjupen redovisas i tabell 5.

När det gäller försöket gjort på lätt jord visade det sig att led A (plog), H (gåsfot, grunt) och F (210 mm, grunt) hade ett djupare verkligt bearbetningsdjup än det inställda.

5.1.2 Olika bredd spetsar

Bearbetningsdjupen redovisas i tabell 6.

När det gäller försöket med spetsar av olika bredd, ökade det verkliga djupet med ökad spetsbredd.

Tabell 5. Inställt och verkligt bearbetningsdjup

Led	Inställt djup (cm)	Styv jord (cm)	Lätt jord (cm)
A. Plog	20	23,1	23,6
B. 80 mm. Djupt	20	13,2	13,0
C. 80 mm. Grunt	10	8,1	7,2
D. 80 mm vingskår. Grunt	10	5,9	6,9
E. Sliten 80 mm. Grunt	10	8,8	7,6
F. 210 mm. Grunt	10	9,3	10,4
G. Gåsfot. Djupt	15	13,3	13,8
H. Gåsfot. Grunt	6	6,9	7,8
I. Fjädrande. Grunt	10	7,0	7,5

Tabell 6. Inställt och verkligt bearbetningsdjup

Led	Inställt djup (cm)	Verkligt djup (cm)
A. 50 mm. Grunt	10	8,1
B. 65 mm. Grunt	10	8,2
C. 80 mm. Grunt	10	8,9
D. 120 mm. Grunt	10	9,5

5.2 Specifikt dragkraftbehov

5.2.1 Olika typer av spetsar

Styv jord

Led C (80 mm, grunt) och led F (210 mm, grunt) krävde störst specifik dragkraft (fig. 10). Led A (plog) och H (gåsfot, grunt) krävde minst specifik dragkraft och var signifikant skilda från de övriga leden i försöket. Att lägga märke till var att gåsfoten hade betydligt lägre specifikt

dragkraftbehov än vad övriga typer av kultivatorspetsar hade.

Lätt jord

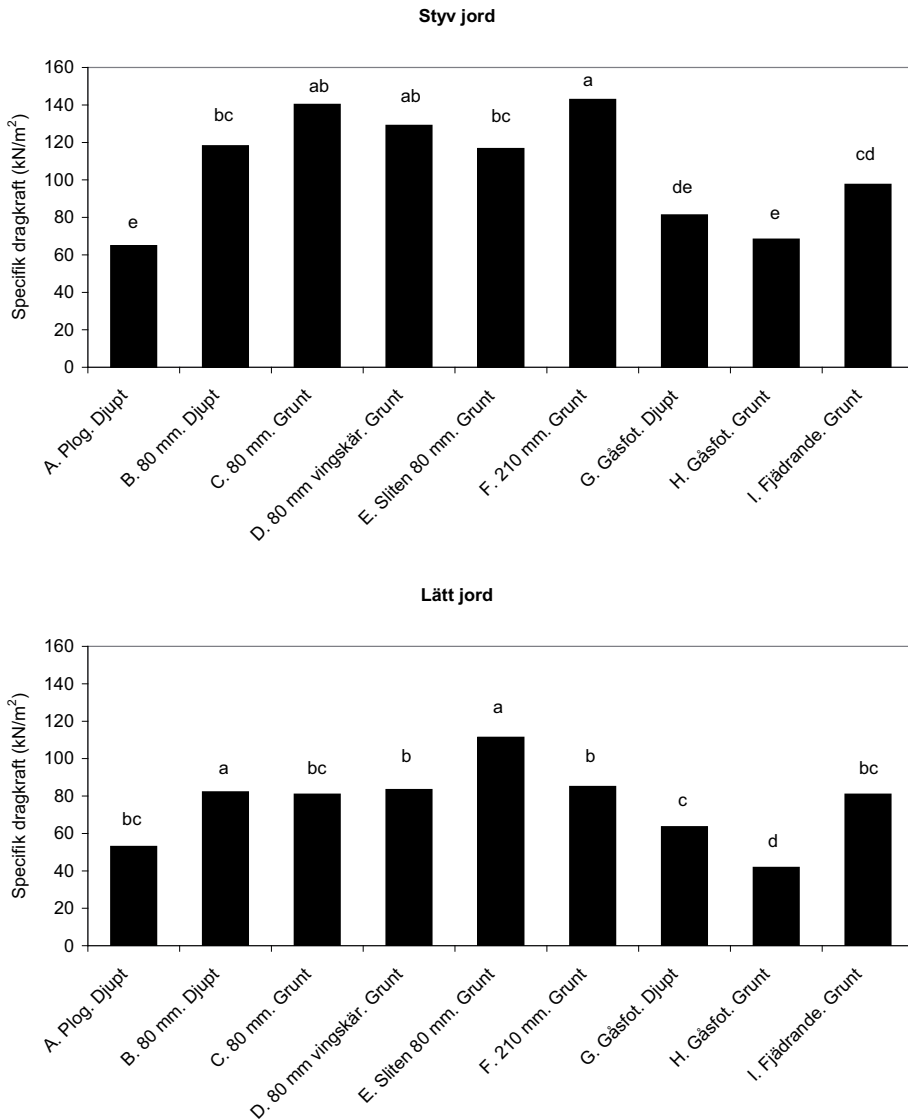
Störst specifik dragkraft krävde led E (sliten 80 mm, grunt). Minst specifik dragkraft krävde led H (gåsfot, grunt), vilken var signifikant skilt från övriga led i försöket (fig. 10).

Det specifika dragkraftbehovet var högre på den styva jorden jämfört med den lätta jorden för samtliga spetsar och redskap.

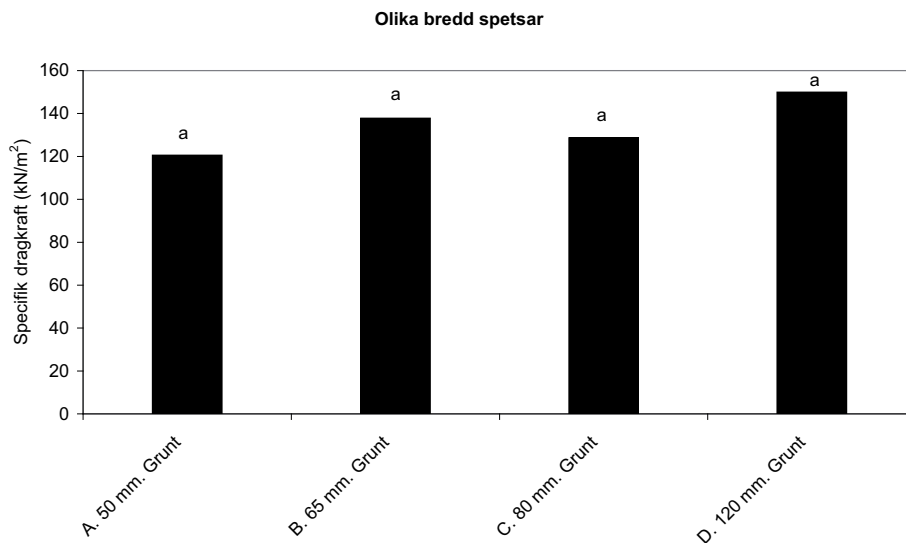
5.2.2 Olika bredd spetsar

Det specifika dragkraftbehovet skilde sig inte signifikant åt mellan de olika leden

(fig. 11), men i försöket hade led A (50 mm, grunt) lägst specifik dragkraft och led D (120 mm, grunt) störst.



Figur 10. Specifik dragkraft. Staplar som inte är märkta med samma bokstav är signifikant skilda.



Figur 11. Specifik dragkraft. Staplar som inte är märkta med samma bokstav är signifikant skilda.

5.3 Aggregatstorlek

5.3.1 Olika typer av spetsar

Styv jord

Led A (plog) gav störst andel stora aggregat (fig. 12), någon signifikant skillnad kunde emellertid inte urskiljas gentemot led D (80 mm vingskär, grunt), E (sliten 80 mm, grunt), G (gåsfot djupt) och H (gåsfot, grunt). Minst andel stora aggregat gav led I (fjädrande, grunt), följt av led C (80 mm, grunt).

Lätt jord

Störst andel stora aggregat gav led A (plog), vilket skilde sig signifikant åt från de övriga leden (fig. 12). Led G (gåsfot, djup) gav minst andel stora aggregat, men

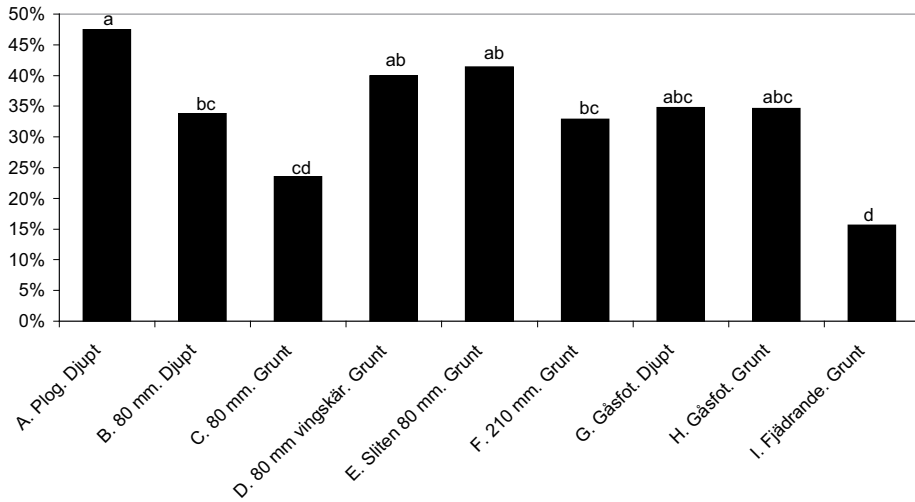
skilde sig inte signifikant åt från led B (80 mm, djupt), D (80 mm vingskär, grunt), E (sliten 80 mm, grunt), F (210 mm, grunt), H (gåsfot, grunt) och I (fjädrande, grunt).

Alla typer av spetsar och redskap gav mindre andel stora aggregat på den lätta jorden jämfört med den styva jorden.

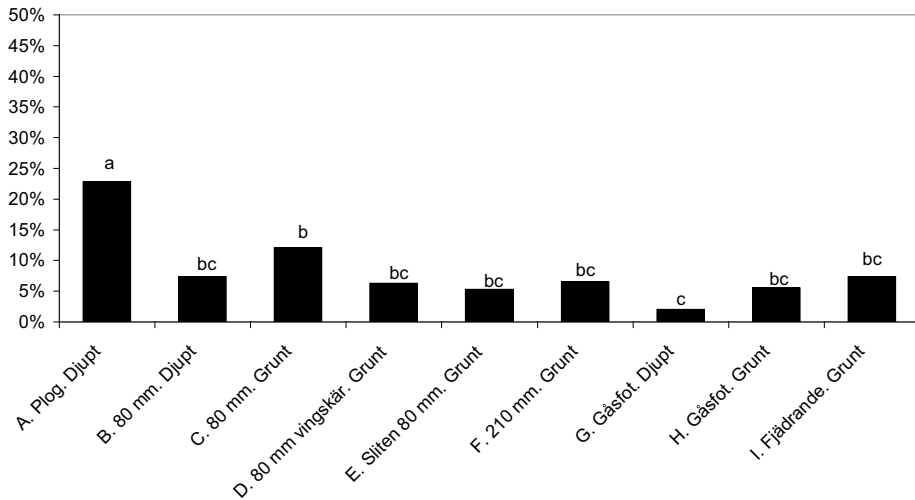
5.3.2 Olika bredd spetsar

Led B (65 mm, grunt) och C (80 mm, grunt) gav störst andel stora aggregat (fig. 13), minst andel stora aggregat gav led A (50 mm, grunt), men skillnaderna var ej signifikanta.

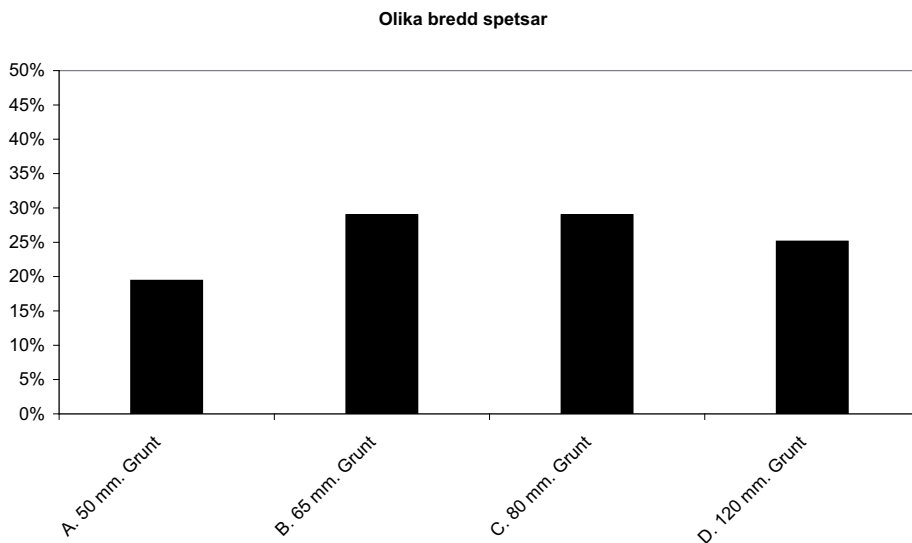
Styv jord



Lätt jord



Figur 12. Aggregatstorleksfördelning, aggregat större än 32 mm. Staplar som inte är märkta med samma bokstav är signifikant skilda.



Figur 13. Aggregatstorleksfördelning, aggregat större än 32 mm. Inga ledskillnader var statistiskt signifikanta.

5.4 Energibehov för sönderdelning

5.4.1 Olika typer av spetsar

Styv jord

Högst energiåtgång för sönderdelning (fig. 14) hade led F (210 mm, grunt), det var dock inte signifikant skilt från led B (80 mm, djupt), C (80 mm, grunt), D (80 mm vingskär, grunt) och E (sliten 80 mm, grunt) (figur 14). Lägst energiåtgång för sönderdelning hade led H (gåsfot, grunt).

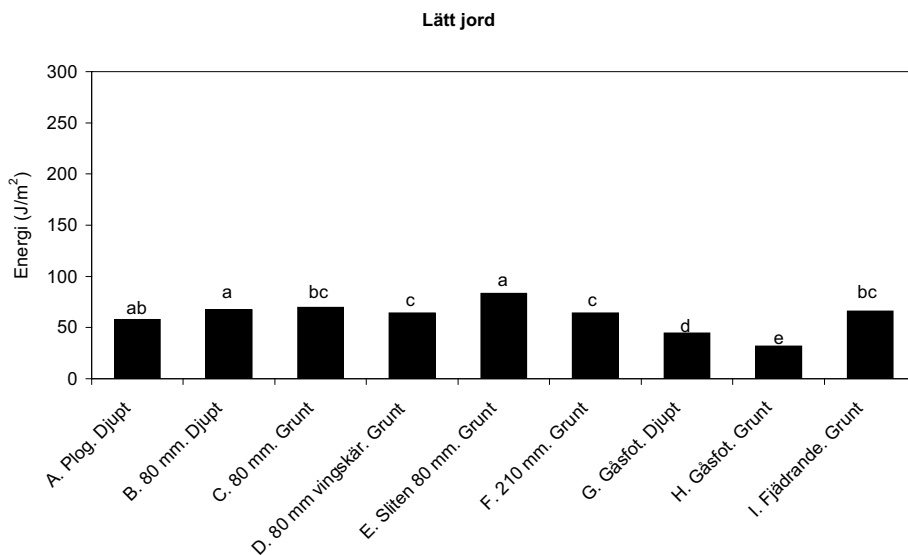
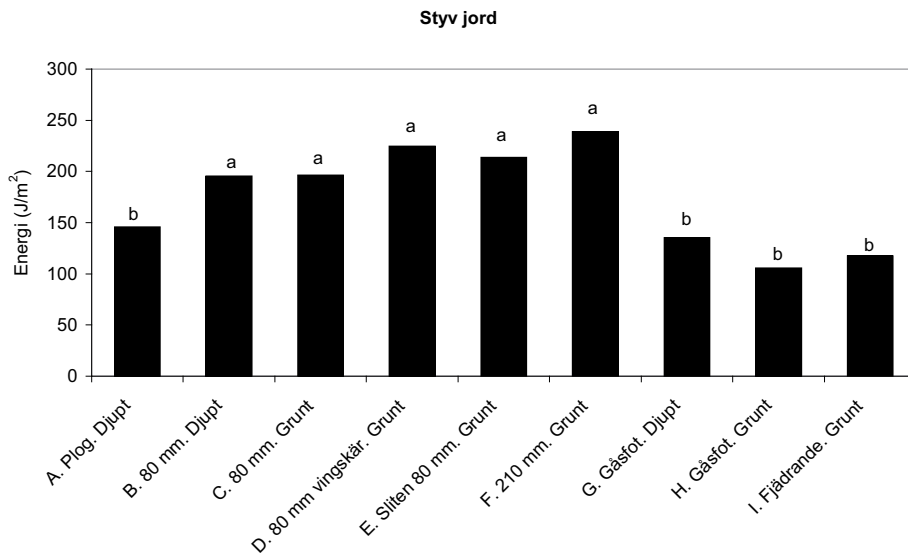
Lätt jord

Led E (sliten 80 mm, grunt) hade högst energiåtgång för sönderdelning (fig. 14)

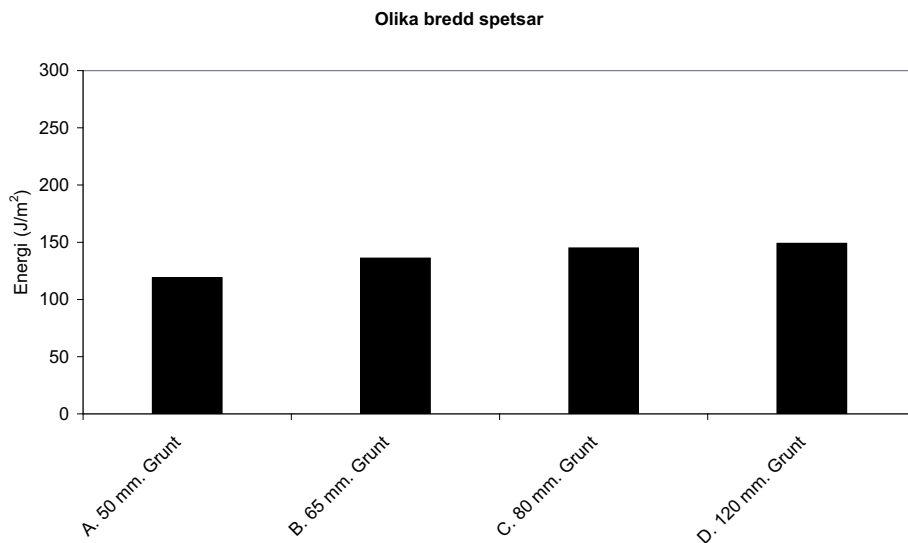
men var inte signifikant skilt från led A (plog) och B (80 mm, djupt). Minst energiåtgång hade led H (gåsfot, grunt), skillnaden var signifikant jämfört med övriga led. Alla typer av spetsar och redskap krävde mindre energi för sönderdelning på den lätta jorden jämfört med den styva jorden.

5.4.2 Olika bredd spetsar

Inga signifikanta skillnader mellan leden påvisades (fig. 15) men i försöket krävde led D (120 mm, grunt) mest energi och led A (50 mm, grunt) minst energi för sönderdelning.



Figur 14. Energibehov för sönderdelning. Ju lägre energi desto mer effektivt utnyttjar spetsar och redskap den tillförda energin för sönderdelning. Staplar som inte är märkta med samma bokstav är signifikant skilda.



Figur 15. Energibehov för sönderdelning. Ju lägre energi desto mer effektivt utnyttjar spetsar och redskap den tillförda energin för sönderdelning. Inga ledskillnader var statistiskt signifikanta.

5.5 Halmblandning mätt med bildanalys

5.5.1 Olika typer av spetsar

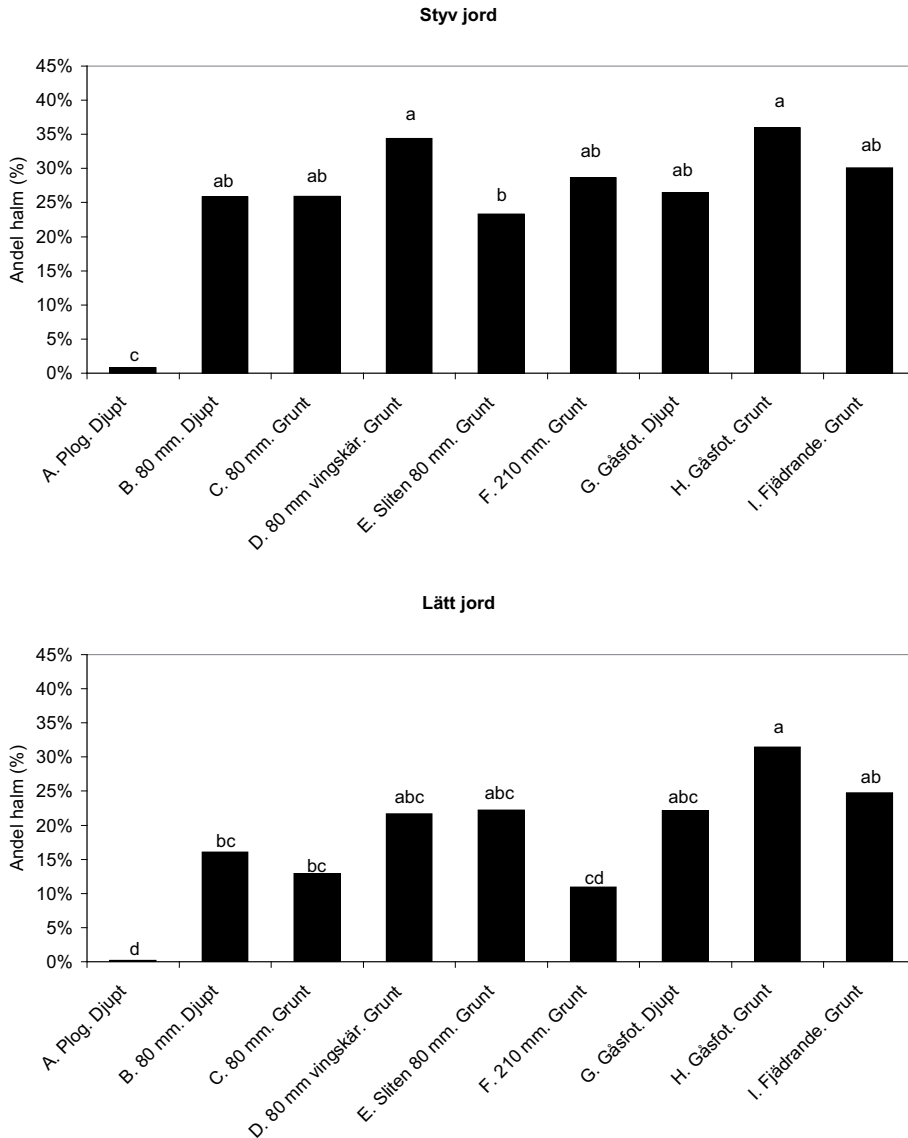
Styv jord

Mest halm på markytan efter bearbetning gav led H (gåsfot, grunt), vilket skilde sig signifikant åt från led A (plog) och E (sliten 80 mm, grunt) (fig. 16). Led A (plog) gav minst halm på markytan efter bearbetning och skilde sig signifikant åt från övriga led. Att lägga märke till är, när

det gäller de olika kultivatorleden, att led E (sliten 80 mm, grunt) gav minst halm på markytan efter bearbetning.

Lätt jord

Liksom på den styva jorden gav led H (gåsfot, grunt) mest halm på markytan efter bearbetning (fig. 16). Någon signifikant skillnad från led D (80 mm vingskår, grunt), E (sliten 80 mm, grunt), G (gåsfot, djupt) och I (fjädrande, grunt) fanns dock inte. Minst halm på markytan efter bearbetning gav led A (plog).



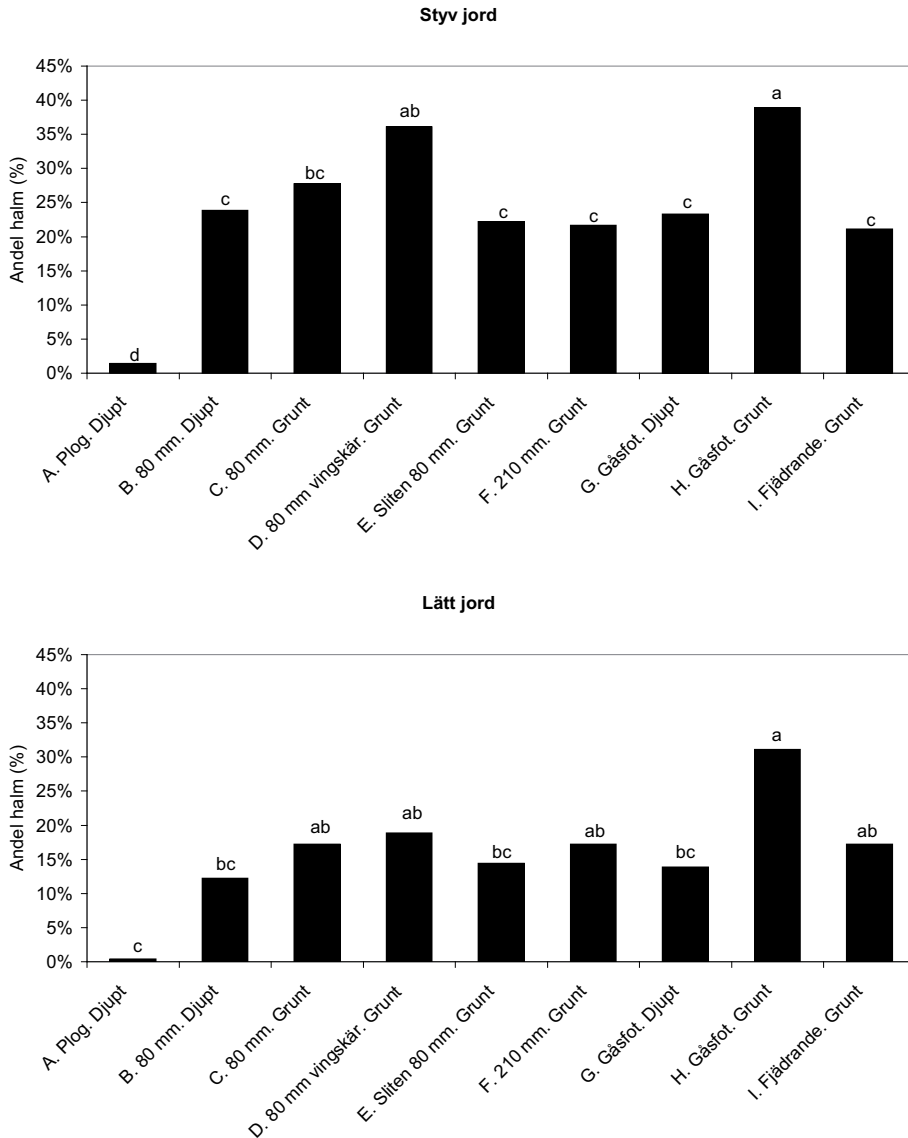
Figur 16. Andel av markyta täckt med halm efter bearbetning, mätt med bildanalys. Staplar som inte är märkta med samma bokstav är signifikant skilda.

5.6 Halminblandning bedömt visuellt

5.6.1 Olika typer av spetsar

Den visuella bedömningen av halmmängd gav rent generellt ungefär samma resultat

som bildanalysen vad gäller halminblandning för olika led (figur 17). Fler av ledskillnaderna var dock statistiskt signifikanta för den visuella bedömningen jämfört med bildanalysen.



Figur 17. Andel av markytan täckt med halm efter bearbetning, bedömt visuellt. Staplar som inte är märkta med samma bokstav är signifikant skilda.

6 Diskussion

6.1 Bearbetningsdjup

När det gäller försöken på lätt och styv jord kan man se att det verkliga bearbetningsdjupet stämmer bra överens med det inställda djupet för plog och

gåsfot. Det beror på att dessa redskap skär igenom hela arbetsbredden, vilket inte gäller för övriga spetsar. Uppmärksammas kan värdena för 210 mm, grunt, på den lätta jorden, där stämmer det verkliga bearbetningsdjupet bra överens med det inställda. Att det inte gör det på den styva jorden kan bero på att kultivatorpinnen hade fjädrar, vilkas funktion är till för

stenutlösning. Hade dessa pinnar haft en ännu starkare fjäder, borde troligtvis 210 mm spetsens verkliga bearbetningsdjup ha kommit närmare det inställda djupet även på den styva jorden.

Att den slitna 80 mm spetsens verkliga bearbetningsdjup kommer närmare det inställda djupet än vad en ny 80 mm spets gör, behöver inte bero på att spetsens vinkel har ändrats när den har blivit sliten. Eftersom den slitna spetsen är kortare än en ny spets, fick försökskörningarna göras med en annan djupinställning på kultivatorn.

I försöket med olika bredd på spetsar ses en ökning av bearbetningsdjupet i takt med ökad spetsbredd. Detta innebär också att med ökad spetsbredd följer en jämnare bearbetningsbotten, men bara så länge pinnen inte löser ut.

6.2 Specifikt dragkraftbehov

Plogen hade ett litet specifikt dragkraftbehov vid djup plöjning, detta kan förklaras med att den bryter upp jorden tvådimensionellt och har en liten angreppsvinkel (McKyes, 1989). Skillnaden mellan plog och gåsfot var väldigt liten. En förklaring till detta kan vara att gåsfoten också har en väldigt liten angreppsvinkel och skär av jorden snarare än bryter upp den. Resultaten stämmer med Spoor & Godwin (1978), som uppmätte ett lägre specifikt dragkraftsbehov för pinnar med jämfört med utan vingskär. 80 mm spetsen, vid grund bearbetning, hade det näst största specifika dragkraftsbehovet på lerjorden, större än för 80 mm och djup bearbetning. Anledningen kan vara skillnader i jordens kohesion på olika djup. Generellt hade alla typer av kultivatorspetsar ett större specifikt dragkraftbehov än plogen. Kultivatorspetsens initiala angreppsvinkel var inte mycket större än plogens, men spetsens angreppsvinkel ökar snabbt när man kommer högre upp på spetsen. Hade inte kultivatorspetsarna haft en så stor angreppsvinkel hade inte jorden kastats runt lika mycket i redskapet, vilket hade medfört en mindre sönderdelning.

I försöket med olika breda spetsar fanns inga signifikanta skillnader mellan leden. Enligt Payne & Tanner (1959) kan man anta att totala dragkraftsbehovet för en spets ökar linjärt med en ökad spetsbredd, medan det specifika kommer att minska. Detta stämmer dock inte för våra mätningar, där det snarare fanns en tendens till ökat specifikt dragkraftsbehov med ökad spetsbredd.

6.3 Aggregatstorleksfördelning

Fördelningen av aggregat mindre än 32 mm var relativt lika mellan de olika leden, därför valde vi att jämföra fördelningen av aggregat större än 32 mm. Plogen var det redskap som hade störst andel aggregat större än 32 mm. Plogens sönderdelning sker till största delen genom sprickbildning vilket medför en mindre effektiv sönderdelning (McKyes, 1989, Koolen & Kupiers, 1983). Att plogens bearbetning skedde till ett större djup jämfört med övriga redskap kan också vara en anledning till den större andelen stora aggregat. Vid en grund bearbetning bryts det inte upp så stora aggregat därför att spetsen inte bryter upp jord under bearbetningsdjupet. Kultivatorns uppbyggnad sker till stor del genom skjuvning, vilket ger en större sönderdelning. Den fjädrande pinnen gav minst andel stora aggregat på den styva jorden, detta beror troligtvis på att pinnen var fjädrande, vibrationerna eller pinnens rörelser hjälper effektivt till att sönderdela jorden. Davies et. al. (1993) skriver i sin rapport att fjädrande pinnar ger mindre andel stora aggregat jämfört med styva pinnar.

Överlag föll jorden sönder mer än förväntat på den styva jorden, vilket beror på de fysikaliska förhållanden som rådde vid försökstillfället, men också på hur förhållandena har varit tidigare under året.

6.4 Halminblandning

Vid en jämförelse av resultaten från den visuella bedömningen och mätningen gjord med bildanalys, ser man att resultaten

stämmer ganska väl överens. Resultaten kan användas för en jämförelse mellan de olika leden, men varken värdena från den visuella bedömningen eller från bildanalysen ska ses som några absoluta värden. Det största problemet vid utförandet av bildanalysen var själva bilderna, skuggor och solreflektioner från leraggregat gjorde att bildanalysprogrammet missade en del av halmen. När ett aggregat blänkte blev aggregatet ljus och programmet uppfattade aggregatet som halm. Det var större problem med blänkande aggregat på den styva jorden än på den lätta jorden. För att få en förbättring av problemet med blänkande aggregat gjordes bilderna om till svart-vita bilder och ett tröskelvärde bestämdes för varje bild. Tröskelvärdet bestämdes genom att ändra värdet och se var bilden blev så rättvisande som möjligt, alltså att det som var halm var ljus och resten av bilden var mörkt och räknades som jord. Detta ledde till en stor felkälla eftersom bestämningen av tröskelvärdet skedde visuellt.

En slutsats av detta är att med bättre bilder är bildanalys en bra metod för mätning av hur stor andel av markytan som är täckt med halm. Det faktum att fler ledskillnader

blev statistiskt signifikanta med den visuella bedömningen pekar dock på att denna metod fungerade bättre än bildanalysen.

7 Slutsatser

Undersökningarna visade att både dragkraftbehov och bearbetningsresultat varierade kraftigt mellan spetstyperna. Gåsfötter gav ett lågt specifikt dragkraftsbehov, relativt god sönderdelning men dålig inblandning av halm. Vingskär monterade på konventionella kultivatorpinnar gav däremot inte någon sänkning av det specifika dragkraftsbehovet jämfört med enbart pinne, men en bättre halminblandning än gåsfoten. Fjädrande pinne gav den bästa sönderdelningen och en lägre energi för sönderdelning än en stel pinne. Resultaten visar att det är viktigt att anpassa bearbetningsredskapet efter syftet med bearbetningen. Fortsatta undersökningar skulle därför vara av stort värde, både för maskintillverkare och jordbrukare.

8 Källförteckning

- Aluko, O. B. & Sieg, D. A. 2000. *An experimental investigation of the characteristics of and conditions for brittle fracture in two-dimensional soil cutting*. Soil & Tillage Research, nr 57, sid 143-157.
- Arvidsson, J., 2001. *Markmekanik I jordbruket – en intruduktion*. Kurslitteratur till Jordbearbetning och hydroteknik, Inst för markvetenskap, SLU, Uppsala.
- Arvidsson, J. & Dexter, T., 2004. *Fundamental aspects of tillage*. Kurslitteratur till Jordbearbetning, Inst för markvetenskap, SLU, Uppsala.
- Davies, B. et. al., 1993. *Soil management*, 5th ed. Kap 9-10, sid 125-161.
- Dexter, A. R., 1988. *Advances in Characterization of Soil Structure*. Soil & Tillage Research, nr 11, sid 199-238.
- Dexter, A. R. & Arvidsson, J., 2002. *Soil Mechanics: theory and applications in agriculture*. Kursmaterial till Jordbearbetning och Hydroteknik, Inst för markvetenskap, SLU, Uppsala.
- Gill, W.R. & McCreedy, W. F., 1960. *Relation of size of cut to tillage tool efficiency*. Agricultural Engineering, nr 41, sid 372-374, 381.
- Godwin, R. J. & Spoor, G., 1977. *Soil failure with narrow tines*. Journal of Agricultural Engineering Research, nr 22, sid 213-288.
- Hadas, A. & Wolf, D., 1983. *Energy efficiency in tilling dry clod-forming soils*. Soil & Tillage Research, nr 3(1), sid 47-59.

- Håkansson, I., 2000. *Packning av åkermark vid maskindrift. Omfattning-Effekter-motåtgärder*. Rapporten Från Jordbearbetningsavdelningen, nr 99, sid 49, Inst för markvetenskap, SLU, Uppsala.
- Koolen, A. J. & Kupiers, H., 1983. *Agricultural Soil Mechanics*. Advanced Series in Agricultural Sciences, nr 13.
- McKeyes, E., 1989. *Developments in Agricultural Engineering 10: Agricultural Engineering Soil Mechanics*. Elsevier Science Publishing Company, Canada.
- McKeyes, E., 1985. *Developments in Agricultural Engineering 7: Soil Cutting and Tillage*, sid 71. Elsevier Science Publishing Company, Canada.
- Payne, P. C. J., 1956. *The relationship between the mechanical properties of soil and the performance of simple cultivation implements*. Journal of Agricultural Engineering Research, nr 1, sid 23-50.
- Payne, P. C. J. & Tanner, D.W., 1959. *The relationship between rake angle and the performance of simple cultivation implements*. Journal of Agricultural Engineering Research, nr 4, sid 312-325.
- Petterson, O., Noren, O., Hansson, P.A. & Lindgren, M., 2002. *A system for on board determination of engine power by measuring fuel consumption at 1 Hz*. EurAgEng Budapest 2002. Paper Number 02-PM-024.
- Saleque, U. M. & Jangiev, A. A., 1990. *Optimization of the operational parameters of a wheeled tractor for tillage operations*. Transactions of the ASAE. v.33 (4) s 1027-1032.
- SirJacobs, D., Hanquet, B., Lebeau, F. & Destain, M. F., 2002. *On-line soil mechanical resistance mapping and correlation with soil physical properties for precision agriculture*. Soil & Tillage Research, nr 64 3-4, sid 231-242.
- Spoor, G., 1975. *Fundamental Aspects of Cultivations*. Technical Bulletin, nr 29, sid 128-144.
- Spoor, G. & Godwin, R. J., 1978. *An experimental investigation into the loosening of soil by rigid tines*. Journal of Agricultural Engineering Research, nr23, sid 243-257.
- Weidow, B., 2000. *Växtodlingens grunder*. LT, Stockholm.
- Wheeler, P. N. & Godwin, R. J., 1996. *Soil Dynamics of Single and Multiple Tines at Speeds up to 20 km/h*. Journal of Agricultural Engineering Research, nr63, sid 243-250.

IV. Dragkraftsbehov för primärbearbetning, sådd och såbäddsberedning

Johan Arvidsson och Daniel Eriksson

Sammanfattning

Under 2003-2006 gjordes mätning av dragkraftsbehov och bränsleförbrukning i flera pågående serier med olika bearbetningssystem. Mätningar gjordes både vid primärbearbetning på hösten och vid sådd och såbäddsberedning på våren. Syftet var främst att ta fram generella värden på bränsleförbrukning för olika typer av bearbetningsåtgärder.

I serie R2-4027 gav två överfarter med kultivator till ett inställt arbetsdjup på 10 cm ungefär halva energiförbrukningen jämfört med plöjning. Motsvarande bearbetning med stel pinne till 20 cm krävde ca 3 gånger mer energi än bearbetning till 10 cm.

I serie R2-7115, med plöjning till ett inställt arbetsdjup på ca 12 cm, motsvarade en plöjning energimässigt ca 3 överfarter med kultivator. Dragkraftsbehovet var starkt jordartsberoende och ökade med ökande lerhalt. I denna serie ingick också

led med olika ringtryck, som potentiellt skulle kunna ge upphov till strukturskillnader. Någon skillnad i dragkraftsbehov för led med olika marktryck uppmättes dock inte.

För såbäddsberedning och sådd fanns inga tydliga samband mellan lerhalt och dragkraftsbehov. Dragkraftsbehovet vid harvning var högst för den första överfarten, och högre efter plöjning än efter kultivering. Detta beror antagligen på att tilljämning är en effektkrävande del vid harvningen, och att bränsleförbrukningen därför blir högre då markytan är ojämn.

Mätningarna gav uppgifter om typiska värden på dragkraft och bränsleförbrukning vid jordbearbetning. Baserat på data från dessa och andra försök gjordes också en sammanställning för att mer generellt kunna uppskatta bränsleförbrukning vid olika typer av jordbearbetning.

Innehållsförteckning

1 Inledning	3
2 Material & metoder	3
2.1.1 Dragkraftsmätningar	3
2.1.2 Specifikt och totalt dragkraftsbehov	3
2.2.1 Försökserier och försöksled	3
2.2.2 Redskapen i försöken	4
2.3. Sammanställning för olika redskapstyper	5
3 Resultat	5
3.1 Kultivering på hösten	5
3.1.1. Mätningar i serie R2-4027 med kultivator till olika bearbetningsdjup	5
3.1.2. Mätningar i serie R2-7115, plöjning och kultivering med låga och normala marktryck	6
3.2 Harvning	7
3.3 Sådd	8
3.4. Dragkraftsbehov – sammanställning olika redskapstyper	10
4. Diskussion	11

1 Inledning

År 2003 startades ett projekt, finansierat av SLF, för att mäta dragkraftsbehov vid jordbearbetning. En del av mätningarna gjordes i pågående, långliggande, bearbetningsförsök och redovisas i detta avsnitt. Syftet var bland annat att få fram typiska värden på bränsleförbrukning för olika typer av bearbetning, både för primärbearbetning på hösten och för sådd och såbäddsberedning på våren.

2 Material & metoder

2.1.1 Dragkraftsmätningar

Vid körning med olika redskap mättes traktorns dieselförbrukning, hjulhastighet och radarhastighet och registrerades med en logger. Genom att subtrahera förluster från slirning och rullmotstånd kunde den kraft som redskapet dras med beräknas. Metoden är utförligt beskriven i avsnitt I i denna rapport.

2.1.2 Specifikt och totalt dragkraftsbehov

Specifikt dragkraftsbehov definieras som dragkraftsbehov per bearbetad tvärsnittsytta (enhet: kilonewton per kvadratmeter, kN/m^2). För att beräkna redskapets specifika dragkraftsbehov krävs att man mäter redskapets arbetsdjup. Mätningarna i detta avsnitt utfördes utan bestämning av bearbetningsdjup, och kunde därmed bara

ge värden för den totala dragkraften, eller dragkraften per meter arbetsbredd (kN/m). Dieselförbrukning vid en viss dragkraft kommer att bero på hur stora förluster som erhålls i motor, transmission, slirning, rullmotstånd m.m. Under antagande att totala verkningsgraden är 20 % (20 % av energin i dieseln kan utnyttjas som den energi som drar själva redskapet) kan en faktor 1,3 användas för att omvandla dragkraftsbehov i kN/m till l/ha.

2.2.1 Försökserier och försöksled

Under åren 2003-2006 genomfördes dragkraftsmätningar i försöksserierna R2-4027, R2-7115, R2-4123 och R2-7305, samtliga belägna på Ultuna egendom, försöksleden redovisas i tabell 1 till 4. Samtliga försök var randomiserade blockförsök med fyra upprepningar. För att mätningarna skulle ge ett svar på sambandet mellan jordförhållanden och dragkraftsbehov lades försöken ut på flera platser med olika jordart.

Mätningar av dragkraftsbehov på hösten i försöksserie R2-4027 gjordes i två försök, 517/91 och 618/96, båda på mellanlera. Mätningarna gjordes åren 2003-2006. Dragkraftsbehov vid såbäddsberedning på våren mättes 2004, i försök 517/91 och 524/91 (det senare på styv lera).

I serie R2-7115 gjordes mätningar av dragkraftsbehov vid primärbearbetning på hösten 2003-2006. I serien ingår tre försök: 641/97 med mellanlera gränsande till styv lera, 642/97 med mellanlera och 643/97 med lättlera.

Tabell 1. Försöksplan för serie R2-4027 med sammanlagt 3 försök (517/91, 524/91 och 618/96)

Led	Undersökta höstbearbetningar	Djup	Undersökta vårbearbetningar
A	Plöjning	20 cm	Harvning, Universalsåmaskin
B	Kultivator 2-3ggr	10 cm	Harvning, Universalsåmaskin
C	Kultivator 2-3ggr	15 cm	Harvning, Universalsåmaskin
D	Kultivator 2-3ggr	20 cm	Harvning, Universalsåmaskin
E	Tallriksredskap	-	Harvning, Universalsåmaskin

Tabell 2. Försöksplan för serie R2-7115, 3 stycken försök (641/97, 642/97, 643/97)

Led	Undersökta höstbearbetningar	Djup
A1	Plöjning, normala marktryck	22 cm
A2	Plöjning, låga marktryck	22 cm
B1	Kultivator, normala marktryck	ca 12 cm
B2	Kultivator, låga marktryck	ca 12 cm

I serie R2-4123 studerades vårbearbetning efter fånggröda, även ett led med höstplöjning ingick (tabell 3). Tre försök

med olika lerhalt, 20 %, 30 % och 40 %, ingick i serien. Mätningar gjordes på våren 2004.

Tabell 3. Försöksplan för serie R2-4123 med 3 försök med olika lerhalter

Led	Vårbruk efter	Djup	Undersökta vårbearbetningar
A	Höstplöjning	20 cm	Harvning, Universalsåmaskin
B	Vårplöjning	20 cm	Harvning, Universalsåmaskin
C	Fånggröda	-	Carrier, Universalsåmaskin
D	Fånggröda	-	Carrier, Universalsåmaskin
E	Fånggröda	-	Universalsåmaskin
F	Fånggröda	-	Tallriksredskap, Harvning, Universalsåmaskin

I försöksserie R2-7305 ingick ett referensled, kombisåmaskin med släpbillar. Försöket gav mätvärden för ett

konventionellt vårbruk med 2 st harvningar och sådd med släpbillmaskin.

Tabell 4. Försöksserie R2-7305

Led	Vårbruk efter	Djup	Undersökta bearbetningar
A	Höstplöjning	20 cm	Harvning, Släpbillmaskin

2.2.2 Redskapen i försöken

Plog som användes var en treskärig Överum XL växelplög med skivristar.

Kultivator i serie R2-4027, led B och C, samt i serie R2-7115 var en Väderstad

Cultus av äldre typ, med fjädrande pinne (fig. 1). I serie R2-4027 användes i led D under 2005 och 2006 en Väderstad Cultus med stel pinne som gör det lättare att hålla inställt arbetsdjup (20 cm, fig. 1).



Figur 1. Kultivator i serie R2-4027. Till vänster, kultivator med fjädrande pinne. Till höger, kultivator med stel pinne, använd vid bearbetning till 20 cm 2005 och 2006.

Tallrikskultivatoren Carrier är ett redskap för grund bearbetning. Redskapet bestod av två rader tallrikar monterade framför en vält. Tallrikarnas diameter var 30 cm och redskapets arbetsbredd 4,25 m. Tallrikarna ska åstadkomma en full genomskärning av ytan i en körning.

Tallriksredskapet var av X-form och hade justerbar skärvinkel. Tallrikarna hade en diameter på 60 cm och arbetsbredden 3,40 m.

Harven som användes var en 80 pinnars fjäderharv med två sladdplankor, en framför pinnarna och en längst bak. Arbetsbredden var 6 m.

Universalsåmaskinen som användes hade skivbillar både för placering av gödning och utsäde. Redskapet var utrustat med förredskap med två rader tallrikar av samma typ som tallrikskultivatoren. Efter tallrikarna fanns en fjädrande sladdplanka och redskapets arbetsbredd var 3 m.

Kombisåmaskinen som användes hade släpbillar, redskapet hade 3 m arbetsbredd.

2.3. Sammanställning för olika redskapstyper

Mätningarna i detta avsnitt vägdes samman med tidigare mätningar, bl.a. i avsnitt II och V samt i resultat presenterade av Arvidsson m.fl. (2004), för att ta fram mera generella uppskattningar av dragkraftsmotstånd och bränsleförbrukning för olika redskapstyper.

3 Resultat

3.1 Kultivering på hösten

3.1.1. Mätningar i serie R2-4027 med kultivator till olika bearbetningsdjup

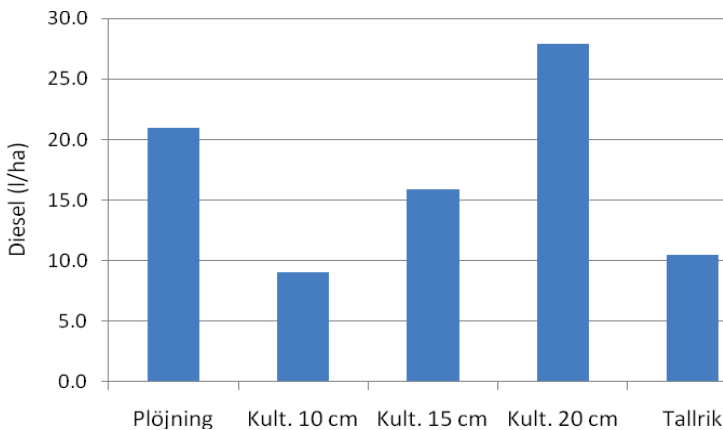
Dragkraftsbehov för höstbearbetning i serie R2-4027 visas i tabell 5 och 6. Dragkraftsbehovet var betydligt högre för första jämfört med andra överfarten med kultivator. Värdena var relativt lika mellan åren, men blev högre för kultivering till 20 cm år 2005 och 2006 då bearbetningen utfördes med en stel pinne, jämfört med fjädrande pinne år 2003 och 2004. Genomsnittlig dieselförbrukning under 2005 och 2006 visas i figur 2. Bearbetningsdjupet var helt avgörande, med ca 3 gånger högre bränsleförbrukning för kultivering till 20 jämfört med 10 cm.

Tabell 5. Dragkraftsbehov (kN/m) i serie R2-4027, försök 517/91

Redskap	Överfart	2003	2004	2005	2006	Medel 2003-06
Plog		15,0	14,0	15,4	16,0	15,1
Kult 10 cm	1	4,2	4,7	4,4	2,9	4,0
	2	2,3	4,3	3,1	1,6	3,0
Kult 15 cm	1	5,6	6,6	8,6	5,8	7,0
	2	3,5	6,2	5,5	3,5	5,1
Kult 20 cm	1	8,3	9,0	12,6	8,6	10,0
	2	5,2	7,8	10,6	6,6	8,3
Tallrik	1	4,2	5,8	4,2	3,6	4,6
	2	3,9	6,5	4,8	4,0	5,1

Tabell 6. Dragkraftsbehov (kN/m) i serie R2-4027, försök 618/96

	Överfart	2003	2004	2005	2006	Medel 2003-06
Plog		13,1	16,5	13,5	19,6	15,7
Kult 10 cm	1	3,0	4,9	6,2	3,6	4,4
	2	2,3	3,9	3,8	2,1	3,0
Kult 15 cm	1	5,5	7,1	9,1	6,8	7,1
	2	4,1	5,3	5,9	3,9	4,8
Kult 20 cm	1	8,6	9,2	14,9	11,5	11,0
	2	5,5	7,3	12,1	9,1	8,5
Tallrik	1	3,9	3,2	3,1	4,3	3,6
	2	3,3	3,5	3,4	4,8	3,7

**Figur 2.** Bränsleförbrukning i serie R2-4027, medeltal för två försök 2005-2006. För kultivator och tallriksredskap visas sammanlagd förbrukning för två överfarter.

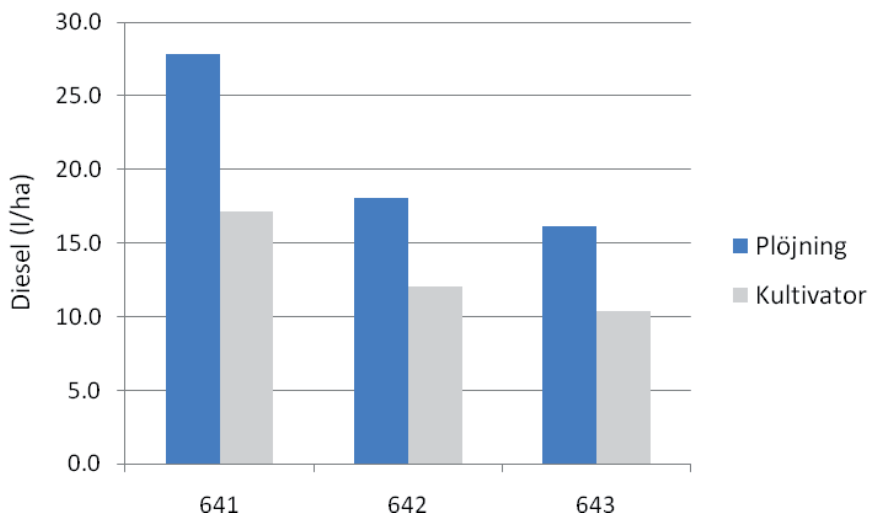
3.1.2. Mätningar i serie R2-7115, plöjning och kultivering med låga och normala marktryck

Dragkraftsbehovet i serie R2-7115 visas i tabell 7. Det var klart högst i försök 641/97 med den styvaste och mest svårbearbetade jorden. Dragkraftsbehovet för en kultivering var ungefär en tredjedel jämfört

med plöjning i samtliga försök, med högre värde för den första jämfört med den andra kultiveringen. Normala eller låga marktryck hade dock ingen inverkan på dragkraftsbehovet.

Tabell 7. Dragkraftsbehov (kN/m) i serie R2-7115, medeltal för åren 2003-2006

	Överfart	641/97 ML	642/97 ML	643/97 LL	Medel
Plöjning, normalt ringtryck		21,1	13,8	12,3	15,8
Plöjning, lågt ringtryck		21,7	14,0	12,5	16,1
Kultivator, normalt ringtryck	1	7,4	5,4	4,6	5,8
	2	5,8	3,9	3,7	4,5
Kultivator, lågt ringtryck	1	7,6	5,4	4,3	5,7
	2	5,6	3,9	3,4	4,3

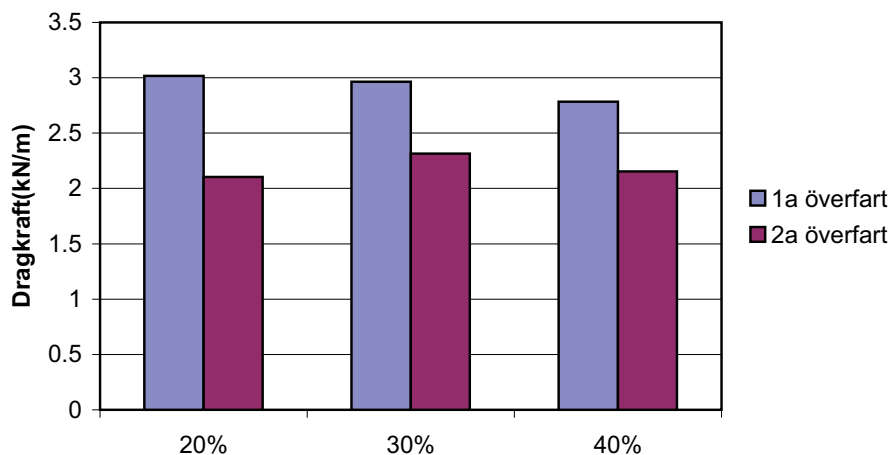


Figur 3. Bränsleförbrukning i serie R2-7115, medeltal för åren 2003-2006. För kultivator visas sammanlagd förbrukning för två överfarter. Jordart i försök 641 är mellanlera gränsande till styv lera, 642 mellanlera och 643 lättlera.

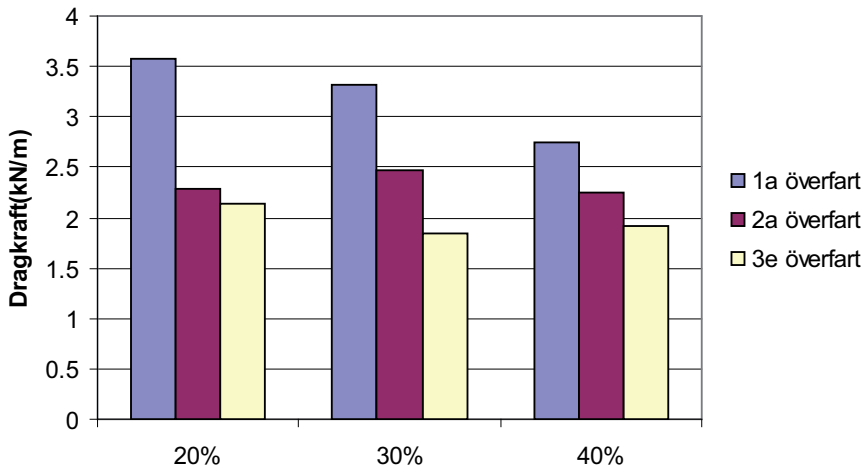
3.2 Harvning

Den totala dragkraften för harvning minskade med varje överfart (fig. 4 och 5). Högre lerhalt resulterade i något mindre dragkraftsbehov vid första överfarten, för

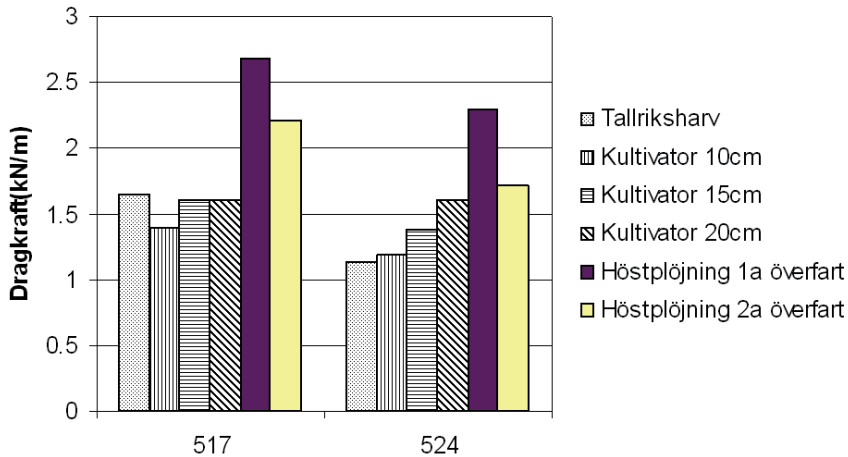
andra respektive tredje överfarten fanns inget tydligt samband mellan dragkraftsbehov och lerhalt (fig. 4 och 5). Dragkraftsbehovet vid harvning efter kultivator och tallriksharv var lägre än vid harvning efter plöjning (fig 6).



Figur 4. Dragkraftsbehov vid harvning efter höstplöjning, försöksserie R2-4123.



Figur 5. Dragkraftsbehov vid harvning efter vårplöjning, försöksserie R2-4123 med 3 olika lerhalter: 20%, 30% och 40%.

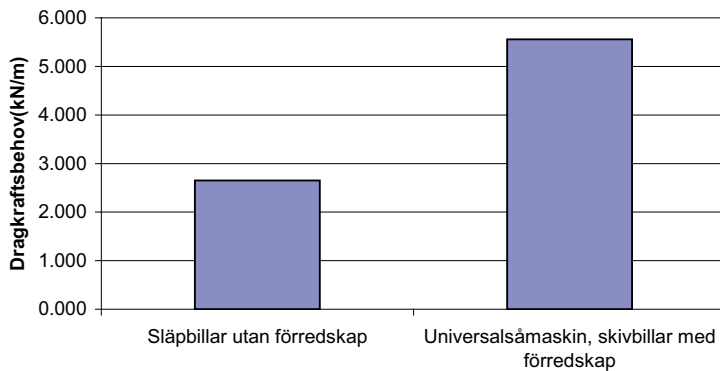


Figur 6. Dragkraftsbehovet vid harvning efter stubbearbetning och plöjning. Försöksserie R2-4027, försök 517/91 och 524/91.

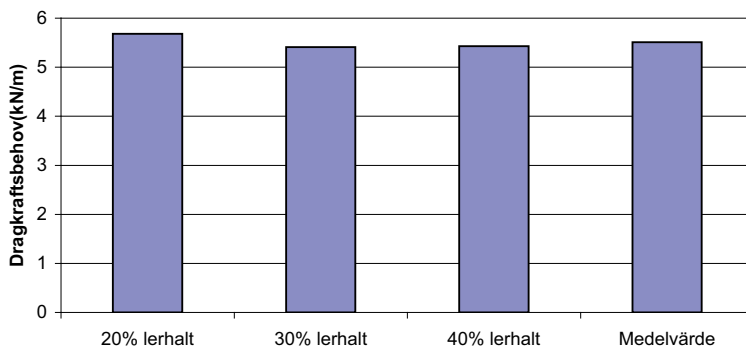
3.3 Sådd

Dragkraftsbehovet för sådd med släpbill jämfört med skivbillar med förredskap redovisas i figur 7. Variationer i lerhalt gav endast små skillnader i dragkraftsbehov vid sådd med universalsåmaskin och inget

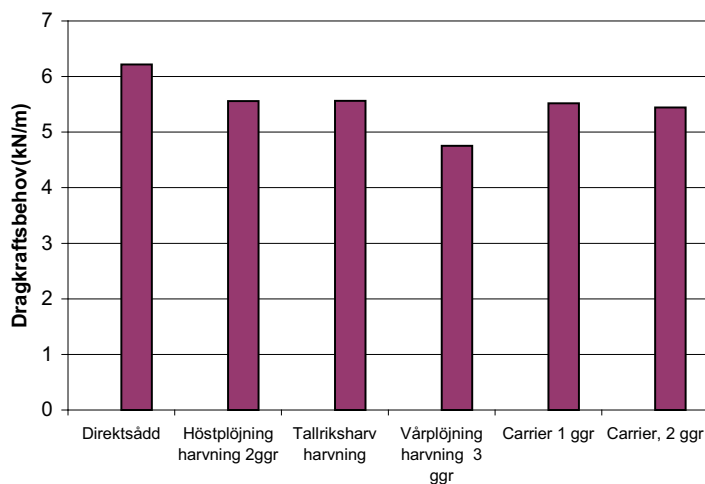
samband mellan lerhalt och dragkraftsbehov kunde fastställas (fig. 8). Olika bearbetning innan sådd visade att dragkraftsbehovet var störst vid direktsådd och minst efter vårplöjning och tre harvningar (fig 9). Skillnaderna var små.



Figur 7. Dragkraftsbehovet vid etablering av vårsäd med kombisåmaskin. Sådd efter höstplöjning och två överfarter med harv.



Figur 8. Dragkraftsmotstånd, universalsåmaskin, försöksserie 4123.



Figur 9. Dragkraftsbehovet för universalsåmaskin vid olika bearbetningsstrategier.

3.4. Dragkraftsbehov – sammanställning olika redskapstyper

I tabell 8 anges generellt dragkraftsbehov för olika redskapstyper, samt bränsleförbrukningen vid en specifik lerhalt och bearbetningsdjup, baserat på svenska mätningar.

För primärbearbetningen anges specifikt dragkraftsbehov, (dragkraftsbehov per bearbetad tvärsnittsyt). Dragkraftsbehov per meter arbetsbredd och bränsleförbrukning i liter/ha kan sedan beräknas beroende på bearbetningsdjup och markens lerhalt. Observera att det arbetsdjup som används för kultivator och tallriksredskap i tabellen är lågt. Detta beror på att det verkliga arbetsdjupet oftast är betydligt lägre än det inställda eller

upplevda arbetsdjupet för dessa redskap (se t.ex. avsnitt II i denna rapport eller Arvidsson m.fl., 2004). Dragkraftsbehovet vid grundbearbetning har också varit tydligt kopplat till lerhalten (se t.ex. avsnitt II, III och V i denna rapport eller Arvidsson m.fl., 2004). Det angivna värdet för kultivator är beräknat som ett medelvärde för två överfarter, där hänsyn tagits till att dragkraftsbehovet i regel är lägre för andra jämfört med första överfarten (se tabell 5-7).

För sådd och såbäddsberedning har kopplingen mellan dragkraftsbehov och jordart inte varit lika tydlig som för primärbearbetning. I tabellen anges endast generella siffror för sådd och harvning utan korrekationer för jordart och bearbetningsdjup.

Tabell 8. Dragkraftsbehovet och bränsleförbrukning för olika redskapstyper. Beräkningarna av bränsleförbrukningen är gjorda för 30 % lerhalt. Verkningsgraden (energi för att dra själva redskapet/energi i diesel) är satt till 20 %. I tabellen redovisas specifikt dragkraftsbehov (S) i kN/m^2 som funktion av lerhalten (x), totalt dragkraftsbehov (D) i kN/m vid ett visst bearbetningsdjup (d) i meter och bränsleförbrukning (q_t) i liter per hektar

Redskapstyp	S (kN/m^2)	d (m)	D (kN/m)	q_t (l/ha)
Plog	$1,35x + 36$	0,20	15,3	19,9
Kultivator	$1,66x + 44$	0,06	5,6	7,3
Tallriksredskap	$1,65x + 44$	0,06	5,6	7,3
Tallrikskultivator	$2,18x + 58$	0,04	5,0	6,4
Såbäddsharv	-	-	2,5	3,3
Såmaskin, rak bill, kombi	-	-	2,6	3,4
Såmaskin, skivbill, kombi	-	-	6,0	7,8

4. Diskussion

Resultaten från mätningar med kultivator i serie R2-4027 visar tydligt på bearbetningsdjupets avgörande betydelse för dragkraftsbehovet. Vid ett inställt bearbetningsdjup på 10 cm var bränsleförbrukningen för kultivering mindre än hälften jämfört med plöjning. Två överfarter med stel pinne till 20 cm gav istället klart högre förbrukning än för plöjning. I dessa och andra försök har djupare bearbetning med kultivator i regel inte höjt skörden jämfört med grund bearbetning (Arvidsson, 2009).

I serie R2-7115 har använts ett bearbetningsdjup som varit typiskt i försöksverksamheten med plöjningsfri odling. Rent generellt motsvarade i denna serie energiförbrukningen vid plöjning ungefär tre körningar med kultivator. Leden med låga marktryck var tänkta att ge en förbättring av markens struktur, vilket skulle kunna leda till ett lägre dragkraftsbehov. Någon skillnad i

dragkraftsbehov för led med olika marktryck uppmättes dock inte.

För såbäddsberedning och sådd fanns inga tydliga samband mellan lerhalt och dragkraftsbehov. Det var däremot tydligt att dragkraftsbehovet vid harvning var högst för den första överfarten, och högre efter plöjning än efter kultivering. Detta beror antagligen på att harvningens tilljämnande effekt med harv- eller sladdplankor är relativt energikrävande, och att bränsleförbrukningen därför blir högre då markytan är ojämn. Också när det gäller sådd kommer energibehovet att vara starkt beroende av om såmaskinen har förredskap i form av tallrikar eller sladdplankor, och hur intensivt dessa i så fall används.

Sammantaget har mätningarna givit värdefulla uppgifter om typiska värden på dragkraft och bränsleförbrukning vid jordbearbetning. Värdena i tabell 8 ska endast ses som riktvärden. I enskilda fall kan bränsleförbrukningen variera kraftigt beroende på förutsättningarna, bl.a. beroende på markens vattenhalt och hur intensivt redskapen arbetar.

Referenser

Arvidsson, J., Keller, T. & Gustafsson, K. 2004. Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. *Soil and Tillage Research* 79 (2), 221-232.

Arvidsson, J., 2009. Luckring sällan lukrativt. *Arvensis* nr 6, 8-9. Hushållningssällskapet Malmöhus, Borgeby.

V. Dragkraftsbehov vid plöjning som funktion av markens hållfasthet

Johan Arvidsson, Thomas Keller

Sammanfattning

Modeller för att beräkna dragkraftsbehov är oftast utvecklade från klassisk markmekanik, där kohesion är den viktigaste parametern för att bestämma markens hållfasthet. Det finns också empiriska modeller där t.ex. penetrationsmotstånd används som mått på hållfastheten. Syftet med det arbete som presenteras här var att mäta specifika dragkraftsbehovet vid plöjning som en funktion av markens hållfasthet, och koppla resultatet till modeller för att beräkna dragkraftsbehovet.

Dragkraftsbehovet mättes vid 37 tillfällen på 15 olika platser med lerhalter mellan 13 och 56 %. Fyra av dessa platser plöjdes vid flera tillfällen på hösten för att erhålla olika vattenhalter. Vingborrsmätningar utfördes vid samtliga tillfällen och användes för att bestämma markens kohesion. Mätning av penetrationsmotstånd gjordes vid 21 tillfällen.

Markens hållfasthet var betydligt känsligare än dragkraftsbehovet för förändringar i markens vattenhalt. Därför överskattades också det beräknade dragkraftsbehovet vid höga värden på markens kohesion. En möjlig förklaring är att dragkraftsbehovet främst bestäms av hållfasthet mellan aggregat, medan kohesionen till stor del bestäms av hållfastheten inom enskilda aggregat. Sett till alla tillfällen, var korrelationen med dragkraftsbehov betydligt starkare för kohesion än för penetrationsmotstånd. Det fanns också ett klart samband mellan dragkraftsbehov och lerhalt.

Resultaten tyder på att varken vingborr- eller penetrationsmätningar är tillräckliga för att förutsäga dragkraftsbehov, och att det vore önskvärt att utveckla enkla och tillförlitliga fältmetoder för att göra detta. För generella uppskattningar av bränsleförbrukning räcker det antagligen att koppla dragkraftsbehovet till lerhalten.

1. Introduktion

Modeller för att beräkna dragkraftsbehov är oftast utvecklade från klassisk markmekanik och baseras på Mohr-Coulombs teori för skjuvningsbrott (Karmakar och Kushwaha, 2006). De vanligaste modellerna beräknar kraften för skjuvningsbrott för en stödmur, och applicerar denna på uppbrytning av jord framför ett redskap (McKyes, 1989). I detta fall är brottets bredd betydligt större än dess djup. Detta motsvarar uppbrytning av ett brett blad (tvådimensionellt brott) där uppbrytning vid kanterna försummas. Kompressiva krafter byggs upp framför

bladet och jorden antas brytas upp enligt Mohr-Coulomb. När redskapet rör sig framåt, bildas efterhand nya skjuvningsbrott.

Kraften som verkar på ett brett blad angavs av Reece (1965) som:

$$F=(c_zN_c+\gamma z^2N_\gamma+c_a zN_a+qzN_q)w \quad (1)$$

där F är kraften, γ är skrymdensitet, z är bearbetningsdjup, c är kohesion, c_a är adhesion mellan redskap och jord, q är ev. tyngd som bärs av jorden, N_γ , N_c , N_a och N_q är dimensionslösa konstanter och w är bladets bredd. N_x -faktorerna beror på jordens interna friktionsvinkel, vinkeln för friktion

mellan metall och jord och de fyra suffixen motsvarar effekt av överliggande jord, kohesion, adhesion och ev. extra tyngd. Numeriska beräkningar av dessa faktorer gjordes av Sokolovski (1965), Hettiaratchi et al. (1966) och Hettiaratchi och Reece (1974).

Det mesta av forskningen om dragkraftbehov vid bearbetning har rört smala pinnar, d.v.s tredimensionell uppbyggnad. För detta har halvempiriska modeller utvecklats, baserat på ekvation (1), (t.ex. Hettiaratchi et al., 1967; Godwin och Spoor, 1977; McKyes och Ali, 1977; Swick och Perumpral, 1988; Kuczewski och Piotrowska, 1998). Från samma ekvation har också tagits fram modeller för tallriksredskap och vändskiveplogar (Godwin et al., 1985; Saunders et al., 2000; Godwin och O'Dogherty, 2007, Godwin et al., 2007).

Dragkraftsbehovet bestäms främst av redskapets geometri, arbetsdjupet och markens hållfasthet. I ekvation (1) ingår kohesionen och den ökning i markens hållfasthet som beror på tyngden av den överliggande jorden. Den senare är normalt sett försumbar jämfört med kohesionens inverkan (Payne, 1956; Stafford, 1984), vilket innebär att kohesion är den klart viktigaste parametern för markens hållfasthet..

Att mäta kohesion är relativt arbetskrävande, speciellt om det görs i s.k. triaxiella tester. Därför har man också försökt relatera dragkraftsbehovet till egenskaper som är lättare och billigare att mäta, t.ex. penetrationsmotstånd (t.ex. Eradat Oskoui et al., 1982; Eradat Oskoui och Witney, 1982; Bowers, 1989; Desbiolles et al., 1999; Arvidsson et al., 2004; Sahu och Raheman, 2006). Penetrationsmotstånd (kraften för att trycka ner en kon i marken) kan ses som en sammansatt egenskap, som är en funktion av mer fundamentala egenskaper: kohesion, kompressibilitet och friktion mellan metall och jord (Dexter et al., 2007); d.v.s. egenskaper av betydelse för

dragkraftsbehovet enligt ekvation (1). Till exempel använde Eradat Oskoui och Witney (1982) följande ekvation för att uppskatta dragkraftsbehov vid plöjning som en funktion av penetrationsmotståndet:

$$Z=K_1CI + K_2\gamma v^2(1-\cos\theta)/g \quad (2)$$

där Z är specifikt dragkraftsbehov (kN m^{-2}), K_1 och K_2 är empiriska konstanter, CI är penetrationsmotstånd (cone index), v är plöjningshastighet, g är tyngdaccelerationen, θ är vändskivans ändvinkel och γ är skrymdensiteten.

Det mesta av forskningen kring dragkraftsbehov har rört utformningen av redskap, och det är sällan markens hållfasthet har ingått som en experimentell faktor. Syftet med den undersökning som presenteras här var att studera dragkraftsbehovet vid plöjning som funktion av markens hållfasthet, uttryckt som kohesion och penetrationsmotstånd. Resultaten av mätningarna jämfördes också med beräkningar gjorda med befintliga modeller.

2. Material och metoder

2.1. Bearbetning och dragkraftsbehov

Plöjning gjordes på olika fält runt Uppsala under perioden 2003-2006 vid totalt 37 tillfällen på 15 olika jordar med lerhalter mellan 13 och 57 %. Den plog som användes var en treskärig Överum XL växelplog, med en arbetsbredd på 1,2 m (Fig. 1). Plöjningen gjordes till ca 20 cm djup, med minst 5 drag på 20-25 m. Plog användes till dessa mätningar eftersom det är det redskap där det är lättast att ställa in och kontrollera arbetsdjupet. Därigenom underlättas jämförelser mellan olika körtillfällen.



Figur 1. Traktor och plog som användes i dragkraftsmätningarna.

Plogen drogs av en fyrehjulsdriven Massey-Ferguson 6290 med en effekt på 99 kW. Traktorn hade utrustning för att mäta bl.a. bränsleförbrukning, varvtal, hjulhastighet och radarhastighet, en detaljerad beskrivning finns i Norén och Pettersson (2001) och Pettersson et al. (2002). Traktorn var kalibrerad för att ge nyttig effekt för en given bränsleförbrukning och varvtal. Dragkraften beräknades sedan från effekt och hastighet, med hänsyn tagen till rull- och slirningsförluster, se Arvidsson et al. (2004). Den specifika dragkraften (kraft per tvärsnittsarea bearbetad jord) beräknades sedan genom att dividera dragkraften med arbetsbredden \times bearbetningsdjupet ($1,2 \times 0,2 = 0,24 \text{ m}^2$).

2.2. Bestämning av jordens hållfasthet

Jordens hållfasthet mättes vid samtliga tillfällen med en vingborr, med höjden 100 mm och diametern 50 mm. Jordens kohesion bestämdes sedan med nedanstående formel::

$$\tau_f = \frac{T}{2\pi r_v^2 \left(\frac{2}{3} r_v + h \right)} \quad (3)$$

där τ_f =skjuvhållfasthet (kohesion), T =vridmoment, r_v =vingborrdiameter och h =vingborrens höjd.

Hållfastheten mättes också med en penetrometer, där konen hade en diameter på 12,7 mm och en vinkel på 30°. Tio mätningar gjordes vid varje tillfälle på djupet 5-15 cm. Penetrometermätningar gjordes vid 21 av de 37 mättillfällena.

2.3. Utökade mätningar på fyra platser

På fyra platser (Säby 1 och 2 samt Ultuna 1 och 2) gjordes bearbetning vid flera tillfällen på hösten för att mäta dragkraftsbehov vid olika vattenhalter. Fysikaliska egenskaper för dessa platser finns angivna i tabell 1. Aggregatstorleksfördelning efter bearbetning på dessa platser finns redovisade av Keller et al. (2007).

2.4 Modellberäkningar av dragkraftsbehov

Dragkraftsbehov som en funktion av markens hållfasthet beräknades enligt en modell som utvecklats av Saunders et al. (2000), Godwin och O'Dogherty (2007) och Godwin et al. (2007). Dragkraften erhålls genom att summera krafterna för spets, skär och vändskiva, jordens rörelseenergi och friktionskrafter. Hållfastheten karakteriseras med kohesionen och markens interna friktionsvinkel, medan plogen karakteriseras med angreppsvinkel, bredd och djup för spets och skär, samt vändskivans vinkel och längd. Hänsyn tas också till körhastigheten. Modellen finns tillgänglig som ett kalkylark (Godwin och O'Dogherty, 2007). De mätta värdena i vår studie jämfördes med beräknade värden.

Tabell 1. Markdata för de jordar där dragkraftsbehov mättes vid olika vattenhalter. LPL= nedre plasticitetsgränsen

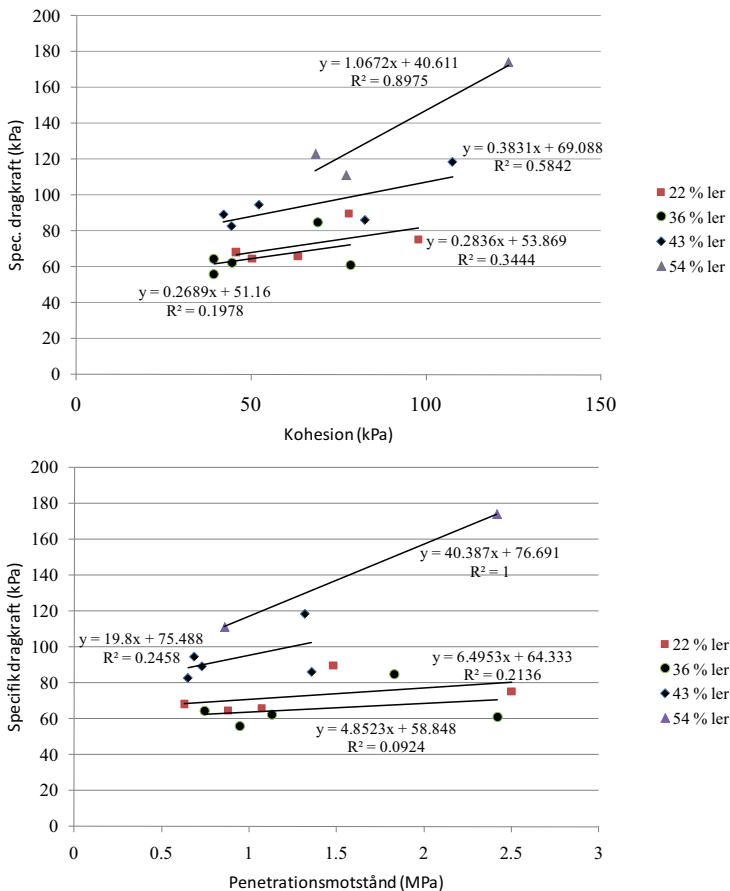
	Ler g 100 g ⁻¹	Silt g 100 g ⁻¹	Sand g 100 g ⁻¹	Mullhalt g 100 g ⁻¹	Skrymdensitet Mg m ⁻³	LPL g g ⁻¹
Säby 1	22	40	33	4.2	1.22	0.269
Säby 2	36	46	10	4.4	1.25	0.329
Ultuna 1	43	28	24	2.2	1.37	0.334
Ultuna 2	54	29	10	3.4	1.29	0.276

3. Resultat

3.1. Dragkraftsbehov som funktion av markens hållfasthet och vattenhalt, enskilda platser

Dragkraftsbehov som funktion av kohesion och penetrationsmotstånd visas i fig. 2.

Korrelationen var starkast på Ultunajordarna, som har högre kohesion och lerhalt än Säbyjordarna. I fig. 3 visas kohesion, penetrationsmotstånd och dragkraftsbehov som funktion av markens vattenhalt på de olika platserna. Det fanns ett mycket starkt



Figur 2. Specifikt dragkraftsbehov som funktion av kohesion och penetrationsmotstånd, enskilda platser.

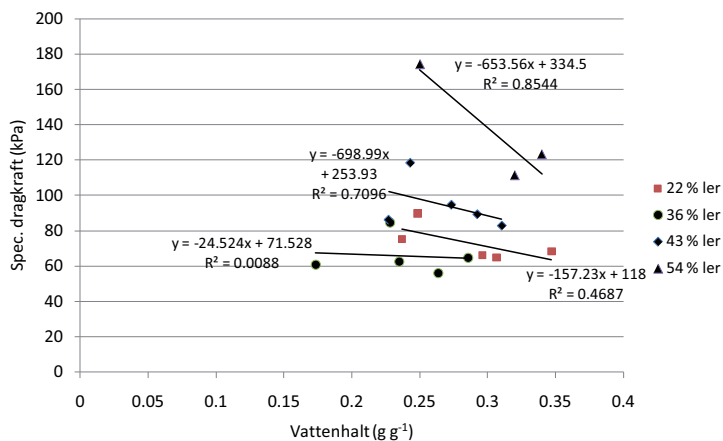
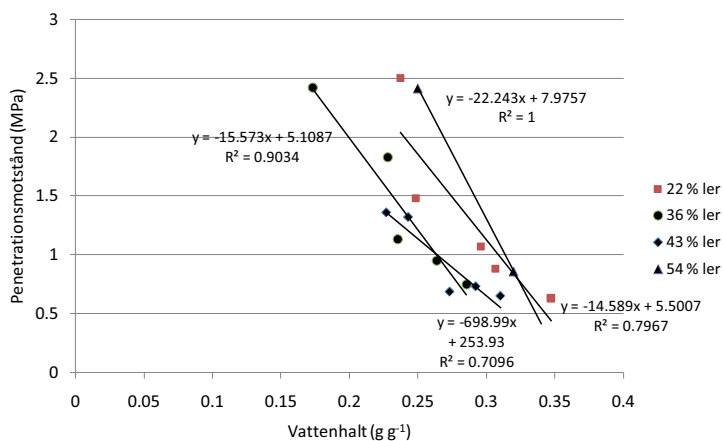
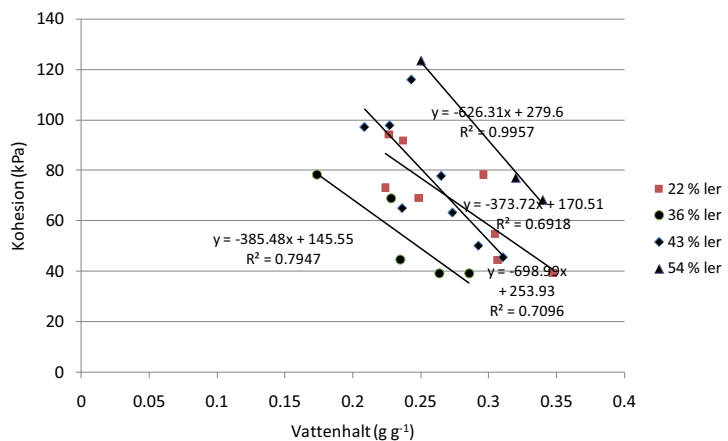


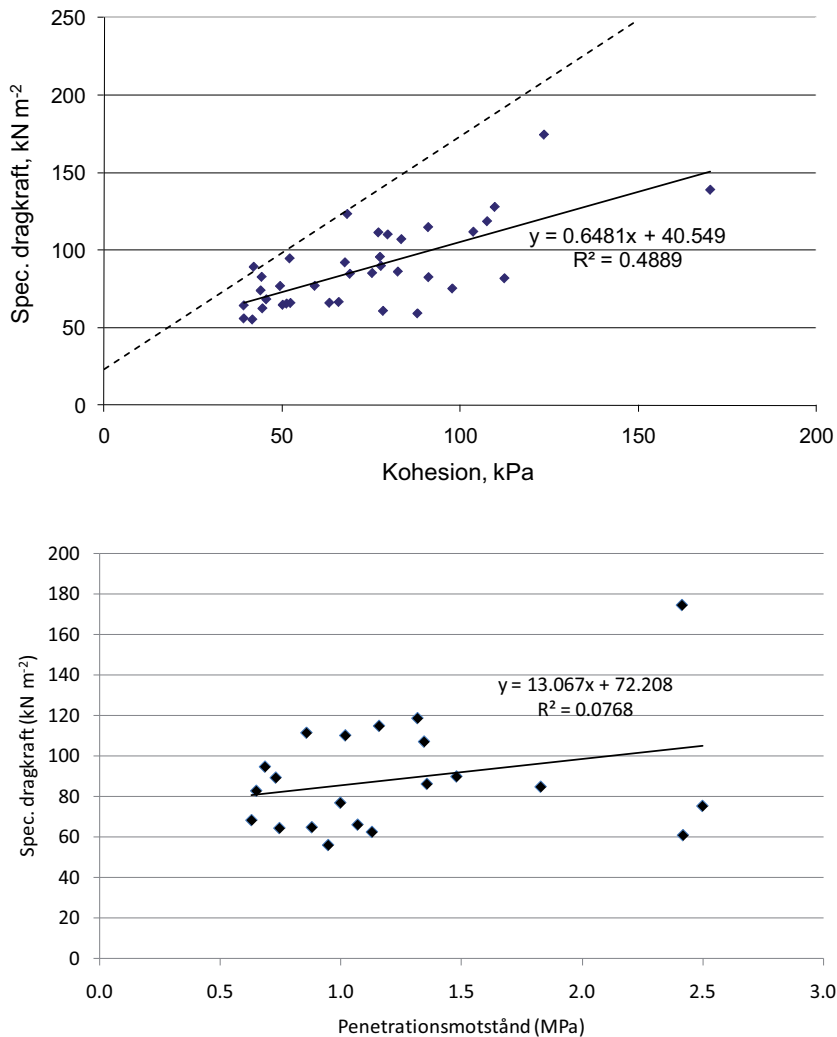
Fig 3. Kohesion, penetrationsmotstånd och dragkraftmotstånd som funktion av markens vattenhalt.

samband mellan vattenhalten och markens hållfasthet, mätt som kohesion eller penetrationsmotstånd. Sambandet mellan dragkraftsbehov och vattenhalt var betydligt svagare.

3.2. Dragkraftsbehov som funktion av hållfasthet och lerhalt, samtliga platser

Dragkraftsbehovet som funktion av kohesion och penetrationsmotstånd för samtliga platser

visas i fig. 4. För kohesion fanns ett tydligt samband, även om det fanns en betydande spridning i intervallet 40-100 kPa. För penetrationsmotstånd var sambandet mycket svagt, och låga värden för specifikt dragkraftsbehov uppmättes också vid höga värden på penetrationsmotstånd.



Figur 4. Specifikt dragkraftsbehov som funktion av kohesion och penetrationsmotstånd, alla platser. Den streckade linjen i övre figuren visar beräknade värden på dragkraftsbehov.

Också beräknade värden av specifikt dragkraftsbehov som funktion av kohesion visas i fig. 4. Som framgår av figuren så blev dragkraftsbehovet överskattat i modellen, speciellt vid höga värden på kohesion.

Korrelationen mellan det mätta specifika dragkraftsbehovet och lerhalten redovisas i fig. 5. Skillnaderna mellan jordar var relativt små i intervallet 15-40 % ler, medan dragkraftsbehovet var väsentligt högre då lerhalten översteg 50 %.

Dragkraftsbehovet kan också uttryckas som bränsleförbrukning i liter per hektar. Om man antar en verkningsgrad vid plöjning på 20 % (energi i diesel minskat med förluster i motor, transmission, slirning och rullmotstånd), ett bearbetningsdjup på 0,2 m och ett energiinnehåll i diesel på 40 MJ l⁻¹, så kan detta samband skrivas:

$$\text{Bränsleförbr. (l ha}^{-1}\text{)} = 8.5 + 0.32 \times \text{lerhalt (\%)} \quad (5)$$

4. Diskussion

I modellberäkningarna steg dragkraftsbehovet kraftigt vid en ökning av jordens

kohesion (fig. 4). Även om det fanns ett klart samband mellan kohesion och den uppmätta dragkraften, var ökningen betydligt mindre än den från modellberäkningar. Detta gällde för hela datamaterialet liksom för enskilda platser (fig. 2 och 4). Det var dessutom tydligt att förändringar i markens vattenhalt hade stor inverkan på markens hållfasthet och betydligt mindre effekt på dragkraftsbehovet (fig. 3). En förändring i markens hållfasthet, mätt med vingborr, var med andra ord inte tillräcklig för att förutsäga dragkraftsbehovet. En möjlig förklaring ligger i skillnader i markens hållfasthet inom och mellan aggregat. I en strukturerad lerjord kan aggregatens inre hållfasthet vara mycket hög medan bindningar mellan aggregaten är betydligt svagare (Lebert och Horn, 1994). Själva mekanismen för uppbrytning kan också bli annorlunda då hållfastheten ökar, och ändras från skjuvning till sprickbildning (Koolen och Kuipers, 1983; Aluko och Sieg, 2000). Sprickbildning är effektivast i detta avseende, eftersom mindre energi krävs för att skapa nya aggregatytor (Dexter, 1988; Díaz-Zorita et al., 2002).

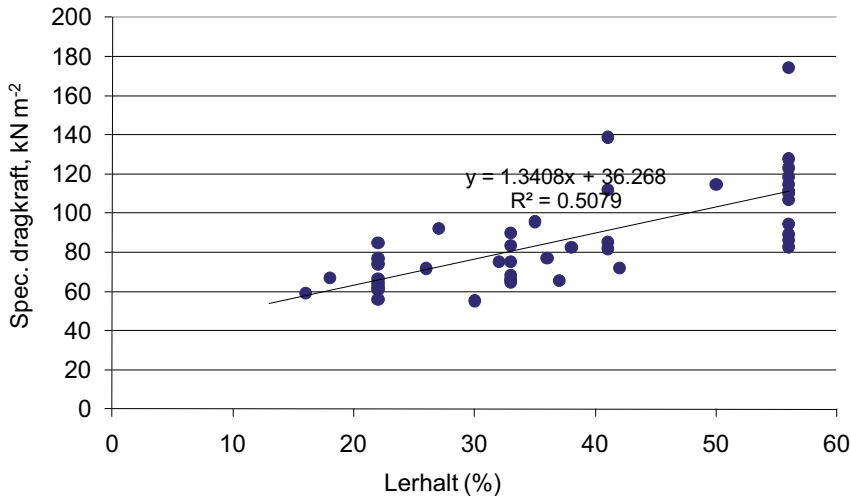


Fig. 5 Specifikt dragkraftsbehov som funktion av markens lerhalt.

Värdet på kohesion kommer också att påverkas av vilken metod som används vid bestämningen. Vingborrmätning, där jorden i huvudsak skjivas i ett bestämt plan, kommer huvudsakligen att påverkas av aggregatens interna hållfasthet. Stafford och Tanner (1982) jämförde olika metoder för att mäta kohesion och fann att värdena blev betydligt lägre för ett triaxiellt test jämfört med skjuvningslåda, skjuvningsring och vingborr.

Penetrationsmotståndet varierade starkt med markens vattenhalt. Sambandet med dragkraftsbehovet var dock mycket svagt och betydligt lägre än för kohesion (Fig. 4). I litteraturen finns många exempel på undersökningar där man kopplat dragkraftsbehovet till penetrationsmotståndet (Eradat Oskoui et al., 1982; Eradat Oskoui och Witney, 1982; Dawidowski et al., 1988; Desbiolles et al., 1999; Sahu och Raheman, 2006). I Bowers (1989) mätningar var dock sambandet mycket svagt. Mulqueen et al. (1977) och Rahim et al. (2004) använde olika metoder för att bestämma jordens hållfasthet, och fann ett svagt samband mellan kohesion och penetrationsmotstånd. Penetrationsmotståndet verkar därför vara otillräckligt för allmänna förutsägelser av dragkraftsbehov, och kan möjligtvis användas rent empiriskt på enskilda jordar.

5. Slutsatser

Det fanns ett starkt samband mellan markens vattenhalt och markens hållfasthet, för kohesion (mätt med hjälp av vingborr) såväl som för penetrationsmotstånd. Det specifika dragkraftsbehovet påverkades långt mindre än hållfastheten av förändringar i vattenhalt. Detta ledde också till att det beräknade dragkraftsbehovet var betydligt högre än det uppmätta vid höga värden på kohesion. En möjlig förklaring är att dragkraftsbehovet främst beror på bindningar mellan aggregat, medan den uppmätta kohesionen främst beror på bindningar inom aggregat.

Sett till samtliga mätningar så hade dragkraftsbehovet betydligt starkare samband med kohesion än med penetrationsmotstånd. Det finns dock ett behov av en metod att mäta hållfasthet som är lätt att använda, men ändå tillräckligt tillförlitlig för att göra modellberäkningar. För praktiska ändamål (för att förutsäga bränsleförbrukning vid bearbetning) räcker det antagligen att uppskatta dragkraftsbehovet från markens lerhalt.

Referenser

- Aluko, O.B., Seig, D.A., 2000. An experimental investigation of the characteristics of and conditions for brittle failure in two-dimensional soil cutting. *Soil. Till. Res.* 57, 143-157.
- Arvidsson, J., Keller, T., Gustafsson, K., 2004. Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. *Soil. Till. Res.* 79, 221-232.
- Bowers, C.G., 1989. Tillage draft and energy measurements for twelve southeastern soil series. *ASAE paper No.* 86-1524.
- Dawidowski, J.B., Worona, M., Hencel, A., 1988. The determination of plow draught from soil penetration resistance. *Proceedings of the 11th International Conference of ISTRO*, 11-15th July, Edinburgh, Scotland, 457-462.
- Desbiolles, J.M.A., Godwin, R.J., Kilgour, J., Blackmore, B.S., 1999. Prediction of tillage implement draught using cone penetrometer data. *J. Agric. Engng. Res.*, 73, 65-76.
- Dexter, A.R., 1979. Prediction of soil structures produced by tillage. *J. Terramech.*, 16, 117-127.
- Dexter, A.R., 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil. Till. Res.*, 11, 199-238.

- Dexter, A.R., Czyz, E.A., Gate, O.P., 2007. A method for prediction of soil penetration resistance. *Soil. Till. Res.*, 93, 412-419.
- Díaz-Zorita, M., Perfect, E., Grove, J.H., 2002. Disruptive methods for assessing soil structure. *Soil. Till. Res.*, 64, 3-22.
- Eradat Oskoui, K., Rackham, D.H., Witney, B.D., 1982. The determination of plough draught-Part II. The measurement and prediction of plough draught for two mouldboard shapes in three soil series. *J. Terramech.*, 19, 153-164.
- Eradat Oskoui, K., Witney, B.D., 1982. The determination of plough draught-Part I. prediction from soil and meteorological data with cone index as the soil strength parameter. *J. Terramech.*, 19, 97-106.
- Godwin, R.J., 2007. A review on the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil. Till. Res.*, 97, 331-340.
- Godwin, R.J., O'Dogherty, M.J., 2007. Integrated soil tillage force prediction models. *J. Terramech.*, 44, 3-14.
- Godwin, R.J., Seig, D.A., Allot, M., 1985. The development and evaluation of a force prediction model for agricultural discs. In, *Proceedings of the International conference on Soil Dynamics*, Auburn, AL, pp. 250-263.
- Godwin, R.J., Spoor, G., 1977. Soil failure with narrow tines. *J. Agric. Engng. Res.* 22, 213-288.
- Godwin, R.J., O'Dogherty, M.J., Saunders, C., Balafoutis, A.T. 2007. A force prediction model for mouldboard ploughs incorporating the effects of soil characteristic properties, plough geometric factors and ploughing speed. *Biosystems Engineering*, 97, 117-129.
- Hettiarachi, D.R.P., Reece, A.R., 1974. The calculation of passive soil resistance. *Geotechnique* 24, 289-310.
- Hettiarachi, D.R.P., Witney, B.D., Reece, A.R., 1966. The calculation of passive pressure in 2-D failure. *J. Agric. Engng. Res.*, 11, 89-107.
- Hettiarachi, D.R.P., Witney, B.D., Reece, A.R., 1967. Symmetrical three-dimensional soil failure. *J. Terramech.*, 4, 45-67.
- Karmakar, S., Kushwaha, R.L., 2006. Dynamic modeling of soil-tool interaction, An overview from a fluid flow perspective. *J. Terramech.*, 43, 411-425.
- Keller, T., Arvidsson, J., Dexter, A.R., 2007. Soil structures produced by tillage as affected by soil water content and the physical quality of soil. *Soil Till. Res.*, 92, 45-52.
- Koolen, A.J., Kuipers, H., 1983. *Agricultural Soil Mechanics*. Springer Verlag, Berlin.
- Kuczewski, J., Piotrowska, E., 1998. An improved model for forces on narrow soil cutting tines. *Soil. Till. Res.*, 46, 231-239.
- McKyes, E., 1989. *Agricultural Engineering Soil Mechanics*. Elsevier, New York.
- McKyes, E., Ali, O.S., 1977. The cutting of soil by narrow blades. *J. Terramech.*, 14, 43-58.
- Mulqueen J, Stafford JV, Tanner DW (1977) Evaluation of penetrometers for measuring soil strength. *J. Terramech.*, 14, 137-151.
- Norén, O., Pettersson, O., 2001. Development of relevant work-cycles and emission factors for off-road machines. SAE Technical Paper Series, no 2001-01-3637.
- Payne, P.J.C., 1956. The relationship between the mechanical properties of soils and the performance of simple cultivation implements. *J. Agric. Engng. Res.* 1, 23-50.
- Pettersson O., Norén O., Hansson P-A, Lindgren, M. 2002. A system for onboard

determination of engine power by measuring fuel consumption at 1 Hz. EurAgEng Budapest 2002. Paper Number 02-PM-024.

Rahim, A., Prasad, S.N., George, K.P., 2004. Dynamic cone penetration resistance of soils - Theory and evaluation. Geotechnical Special Publication (126 II), 1755-1766

Reece, A.R., 1965. The fundamental equation of earthmoving mechanics. Proc. Symp. Earthmoving Machinery, I. Mech. E., 179, 8-14.

Sahu, R.K., Raheman, H., 2006. Draught requirement of agricultural implements using reference tillage tools in sandy clay loam soil. Biosystems Engineering, 94, 275-284.

Saleque, U.M., Jangiev, A.A. 1990. Optimization of the operational parameters of a wheeled tractor for tillage operation. Transactions of the ASAE 33(4), 1027-1032.

Saunders, C., Godwin, R.J.; O'Dogherty, M.J., 2000. Prediction of soil forces acting on mouldboard ploughs. Fourth International

Conference on Soil Dynamics, Adelaide, Australia.

Schjønning, P., 1991 Soil mechanical properties of seven Danish soils. Tidsskrift for planteavl Specialserie, Beretning nr S 2176-1991. Lantbruksministeriet, Statens Planteavlsvforsøg, Danmark.

Sokolovski, V.V., 1965. Statics of Soil Media. Oxford, Pergamon Press.

Stafford, J.V., Tanner, D.W., 1982. Field measurement of soil shear strength and a new design of field shear meter. Proceedings of the 9th conference of ISTRO, Osijek, Yugoslavia.

Stafford, J.V., 1984. Force prediction models for brittle and flow failure of soil by draught tillage tools. J. Agric. Engng. Res., 29, 51-60.

Swick, W.C., Perumpral, W., 1988. A model for predicting soil-tool interaction. J. Terramech., 25, 43-56.

VI. JB-Maskinkalkyl - handledning till kalkylark för att beräkna maskinkostnader

Johan Arvidsson

Introduktion

Sedan år 2001 har avdelningen för jordbearbetning bedrivit forskning för att bestämma dragkraftsbehovet för olika redskap. År 2003 startades ett projekt, finansierat av SLF, där det också ingår att ta fram kalkylark för att beräkna maskinkostnader, dels för enskilda redskap, dels för hela maskinsystem på gårdsnivå. I kalkylarken används resultaten från dragkraftsmätningarna också för att beräkna effektbehov och bränsleförbrukning vid bearbetning. Här presenteras kort kalkylarkens uppbyggnad och hur de används. Därefter ges en allmän beskrivning av den typ av maskinkostnadsberäkning som görs i kalkylarket.

Kalkylarken kan laddas ner kostnadsfritt via enhetens hemsida www.jordbearbetning.se, alt. www.mark.slu.se. Därifrån är det också möjligt att ladda ner avdelningens rapporter.

Arbetsgång i JB-Maskinkalkyl

JB-Maskinkalkyl finns i tre versioner, dels två versioner för att räkna maskinkostnader för en hel gård, dels en enklare version för att räkna på ett redskap i taget. Kalkylarken är avsedda att användas i programmet Excel.

JB-Maskinkalkyl-Gård. Arket är anpassat efter beräkningar på gårdsnivå. Samtliga gårdens traktorer och redskap läggs in. Användningstiden bestäms efter hur redskapen används i olika grödor. På så sätt kan man snabbt beräkna kostnader för olika möjliga bearbetningssystem på gårdsnivå. Om man enbart är intresserad av maskinkostnader passar detta ark.

JB-Maskinkalkyl-GårdTB Detta ark är i stort sett detsamma som **JB-Maskinkalkyl-Gård**. I detta ark finns dessutom möjlighet att beräkna täckningsbidrag för olika grödor med hänsyn taget till maskinkostnader. På så sätt kan den totala lönsamheten i växtodlingen beräknas utifrån växtföljd och gårdsspecifika data.

JB-Maskinkalkyl-EttRedskap. Beräkningar görs för ett redskap i taget. Utifrån typ av redskap, jordart, körhastighet, arbetsbredd och arbetsdjup beräknas effektbehov och bränsleförbrukning. Kostnaden för traktorn bestäms av effektbehovet. Arket passar för schablonmässig beräkning av kostnad för olika typer av bearbetning

Grunddata

Grundläggande data (realränta, arbetskostnad, drivmedelspris m.m. läggs in på bladet Grunddata). Där läggs också in faktorer för att beräkna bränsleförbrukning. Av dessa är det endast faktorn lerhalt som normalt behöver ändras av användaren.

Traktorkalkyl

Här läggs gårdens olika traktorer in. Olika traktorer kan väljas från en lista, inköpspris och vikt hämtas då från denna lista. Det är också möjligt att lägga in inköpspris direkt på detta blad, eller att lägga till egna traktorer till listan. Detta görs genom att trycka på knappen Lägga till traktor eller genom att gå direkt till fliken Traktordata.

Användningstiden för olika traktorer bestäms av hur de används till olika redskap. För körning utöver den med redskap i redskapskalkylen (exempelvis transporter eller snöröjning) bör man lägga in extra timmar i raden Extra timmar.

Redskapskalkyl

I bladet redskapskalkyl läggs gårdens olika redskap in, upp till 14 redskap. Först väljs **redskapstyp** från en lista, denna används för att beräkna bränsleförbrukning för olika typer av redskap. Under **modell** väljs redskap mera specifikt och uppgifter om **pris, arbetsbedd och fältkapacitetsfaktor** (procentandel tid på fältet som maskinens fulla kapacitet utnyttjas). Egna redskap kan läggas till listan, man kan också lägga in värden direkt på detta blad. För att återgå till de värden som hämtas från listan, tryck på knappen **Tabellvärde**.

Återanskaffningsvärde är detsamma som nypriset. Vill man välja ett annat inköpspris (t.ex. vid köp av begagnad maskin) kan man ange detta i raden under. Återanskaffningsvärdet bör ändå anges med nypris eftersom detta används för att beräkna underhållskostnader.

Programmet räknar en kostnad för redskapet när man angett **Innehav, antal år**. Om detta värde sätts till 0 kan redskapet stå kvar utan att programmet räknar någon kostnad för det.

Programmet kan räkna med sammanlagt 14 redskap. För de första 11 beräknas timantalet efter hur de används, angivet i bladet *Grödor*, se nedan. För de sista 3 anges endast användningstiden i timmar/år.

Grödor

I bladet *Grödor* anges hur de olika redskapen (de 11 första som anges i bladet *Redskapskalkyl*) används i olika grödor. Antalet överfarter anges för respektive redskap. Körning utöver detta (t.ex. hos andra jordbrukare) anges under Extra körning, antal ha för respektive redskap. Kostnader för lejda tjänster kan också läggas in.

I **JB-Maskinkalkyl-GårdTB** väljs grödor från en lista. Till denna lista är kopplat täckningsbidrag för olika grödor i bladet *Täckningsbidrag grundkalkyler*. Saknas

någon gröda på listan går man till detta blad och lägger till den gröda man vill ta med genom att ändra namn på någon av de befintliga grödorna.

Sammanställning (utskrift)

Här sammanställs de viktigaste data om maskinkostnaderna för utskrift, redskap för redskap. Dessutom anges några nyckeltal och tackningsbidrag efter maskinkostnader (endast **JB-Maskinkalkyl-GårdTB**).

Täckningsbidrag vald växtföljd (endast **JB-Maskinkalkyl-GårdTB**).

I detta blad visas beräknat tackningsbidrag för de grödor som anges i arket *Grödor*. Täckningsbidraget beräknas utifrån maskinkostnaderna för den grödan och de data som anges i *Täckningsbidrag grundkalkyler*. Det är också möjligt att här korrigera skördenivån beroende på t.ex. förfukt

Täckningsbidrag grundkalkyler (endast **JB-Maskinkalkyl-GårdTB**).

I detta ark finns ett antal grundkalkyler för olika grödor. För att dessa ska stämma med förhållandena på den enskilda gården måste kalkylerna naturligtvis korrigeras, framförallt med avseende på skördenivå. Intäkter och kostnader kan ändras fritt, och de grödor som finns med kan bytas ut mot andra.

Traktordata

Här finns en lista med de traktorer som kan väljas till Traktorkalkyl. Listan kan kompletteras med uppgifter för andra traktorer.

Maskindata

Här finns en lista med de redskap som kan väljas till Redskapskalkyl. Listan kan kompletteras med uppgifter för andra redskap.

Underhållsfaktorer

Här finns exempel på underhållsfaktorer från tidigare undersökningar. Dessa kan användas som grundvärden men bör anpassas till egna erfarenheter. Observera att kostnad för eget arbete ingår i den beräknade underhållskostnaden.

JB-Maskinkalkyl-EttRedskap

I detta kalkylark görs beräkning av maskinkostnad för ett redskap åt gången, och arket är därför betydligt enklare än **JB-Maskinkalkyl-Gård**. I bladet *Redskapskalkyl* beräknas kostnad för både redskap och traktor. I sitt grundutförande anpassas traktorstorleken och traktorns pris efter effektbehovet för att dra redskapet. Vikt och pris antas då vara direkt kopplade till effektbehovet, i Grunddata anges Pris/kW och Vikt/kW. Det är också möjligt att lägga in egna uppgifter på vikt och traktorns pris oberoende av effektbehov. I detta ark görs inga beräkningar av hur redskapet används i

olika grödor. Bladen traktordata, maskindata och underhållsfaktorer är desamma som i **JB-Maskinkalkyl-Gård**.

Beräkning av maskinkostnader - övergripande

Typ av kalkyl

Den typ av kalkyl som används är en medelårskalkyl, d.v.s man beräknar den genomsnittliga kostnaden per år för tiden mellan inköp och försäljning.

De poster som ingår är:

Värdeminskning
Ränta
Underhåll
Förvaring
Bränsle
Arbete
Skatt och försäkring

Kalkylen är en realkalkyl, d.v.s. räntan anges som skillnaden mellan bankränta och inflation.

Värdeminskning

Värdeminskning beräknas som en fast årlig kostnad:

Årlig kostnad värdeminskning= $(\text{inköpspris}-\text{restvärde (pris vid försäljning)})/\text{innehav (antal år)}$

Oftast beräknas kostnaden för investering i nya maskiner. Inköpspriset är då lika med nypriset (återanskaffningsvärdet). Priser på olika maskiner kan hämtas genom att välja maskiner från en lista. Man kan också lägga till andra maskiner i listan eller ange ett eget pris direkt i kalkylarket.

Man kan också göra en nuvärdesberäkning, inköpspriset anges då som maskinens nuvarande värde. Maskinens restvärde vid försäljning beräknas från den årliga värdeminskningen i procent (typiskt ca 10 % för redskap och 8 % för traktorer). Det skulle också vara möjligt att justera värdeminskningen beroende på årlig användning. Någon sådan justering finns för närvarande inte.

Ränta

I kalkylen anges realränta, d.v.s. skillnaden mellan bankränta och inflation. Räntekostnaden beräknas som räntekostnaden för det kapital som genomsnittligt ligger bundet i maskinen, d.v.s. medelvärdet av inköpspris och restvärde:

Årlig räntekostnad=realränta x (inköpspris+restvärde)/2

Underhåll

Underhåll beräknas som en rörlig kostnad utifrån den årliga användningstiden:

Årlig underhållskostnad=återanskaffningsvärde (1000 kr)*årlig användningstid (tim)*underhållsfaktor (kr/1000 kr återanskaffningsvärde)

Underhållsfaktorn är typiskt 0,05-0,1 kr/1000 kr återanskaffningsvärde x h/år för traktorer, och kring 0,5 för redskap. Värden på underhållsfaktorer finns utarbetade sedan tidigare och finns inlagda t.ex. i Jordbruksverkets beräkningsprogram STANK. Det saknas dock uppdaterade värden och redskapens utformning har förändrats kraftigt sedan man gjorde systematiska bestämningar av underhållskostnader. Exempel på underhållsfaktorer finns angivna i kalkylarken, men värdet anges av användaren. Det är mycket viktigt att användaren anpassar värdet på underhållsfaktorn så att underhållskostnaden blir realistisk. Det finns undersökningar som pekar på att de äldre riktvärdena överskattar underhållskostnaden och därför borde sänkas.

Observera att i underhållskostnaden ingår också kostnaden för eget arbete.

Förvaring

Kostnad för förvaring beräknas från den yta (m²) som maskinen behöver för förvaring. Kvadratmeterkostnaden beror sedan bl.a. på byggnadens ålder, Maskinkostnader (2004) anger 60 kr/m² som ett rimligt medelvärde.

Bränsle

Kostnaden för bränsle förs till kostnaden för enskilda redskap. Baserat på de dragkraftsmätningar som gjorts vid avdelningen för jordbearbetning beräknas bränsleförbrukning för olika arbetsmoment. Bränsleförbrukningen beräknas från den kraft som behövs för att dra olika redskap. Till detta läggs de förluster som uppstår beroende på motorns verkningsgrad, förluster i transmission, rullmotstånd och slirning. De standardvärden för att beräkna förluster som finns angivna i kalkylarken behöver normalt ej ändras. Verkningsgraden i en traktormotor är normalt 30-35 %. Den totala verkningsgraden vid jordbearbetning (den del av energiinnehållet i dieseln som används till att dra själva redskapet) ligger maximalt kring 20 %.

För grundbearbetning (plöjning, kultivering o.s.v.) beräknas bränsleförbrukning från redskapstyp, arbetsdjup, arbetsbredd, körhastighet och jordart (lerhalt). Arbetsdjupet har mycket stor betydelse, det djup som anges är det genomsnittliga arbetsdjupet. Vid exempelvis körning med kultivator överskattas i regel arbetsdjupet. Ofta är det verkliga, genomsnittliga arbetsdjupet omkring hälften av det uppskattade eller maximala djupet. Observera att per bearbetad jordvolym är energibehovet större för kultivator än för plog. Vid bearbetning till samma djup kräver alltså kultivator mer energi än en plog.

För sådd och såbäddsberedning har det varit små skillnader i dragkraftsbehov beroende på jordart. För närvarande saknas också tillräcklig information om

arbetsdjupets betydelse. För närvarande beräknas därför bränsleförbrukning från redskapstyp, arbetsbredd och körhastighet.

Kalkylarket beräknar energiförbrukningen i liter diesel per hektar. Om man inte vill använda detta värde kan man lägga in ett eget värde på dieselförbrukning.

Arbete

Arbetskostnaden beräknas från redskapets årliga användningstid och timkostnaden för arbetskraft (inkl. sociala avgifter). Eftersom redskapens användningstid avser den tid de körs på fältet kan arbetskostnaden per timme behöva ökas för att inkludera ställtid (tankning, koppling, transport till och från fältet).

Skatt och försäkring

Skatt och försäkring beräknas enklast schablonmässigt, som en procent på återskaffningsvärdet. För traktorer rekommenderas 0,3 % av återskaffningsvärdet (Maskinkostnader, 2004).

Andra faktorer av betydelse

Av mycket stor betydelse för maskinkostnaden är naturligtvis redskapets kapacitet, d.v.s. avverkning ha/tim. Denna beräknas som

Avverkning ha/tim = hastighet (km/tim) x (1 - slirning) x arbetsbredd x fältkapacitetsfaktor (%) / 10

Med hastighet avses här framdrivningshastighet, d.v.s. hjulhastighet. För att få den verkliga hastigheten måste man subtrahera hastighetsförlusten p.g.a. slirning. **Fältkapacitetsfaktor** avser hur stor del av tiden på fältet som redskapets kapacitet utnyttjas. Förluster beror på tid för vändning, överlappning m.m. och beror naturligtvis till stor del på fältformen. Typiska värden är kring 70 % för grundbearbetning.

