

Rapport till SLF 2015-03-30

# Halmhackens effektbehov och sönderdelningsförmåga vid olika inställningar av motknivarna. Fältförsök under 2013 och 2014

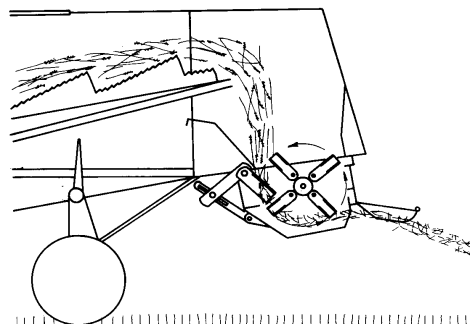
Gunnar Lundin

## Innehåll

Bakgrund.....	1
Frågeställning .....	2
Mål .....	3
Material och metoder .....	3
Försök under 2013 .....	4
Försök under 2014 .....	5
Resultat.....	6
Försök under 2013 .....	6
Försök under 2014 .....	7
Sammanfattande resultat och diskussion.....	8
Slutsatser .....	10
Litteratur och personliga meddelanden .....	10

## Bakgrund

Den hackning av halmen som sker i samband med skördetröskningen, Figur 1, syftar till att underlätta nedbrukningen av skörderesterna och därmed skapa goda betingelser för den efterföljande grödan.



Figur 1. Halmhacken är monterad baktill på skördetröskan. Den utgörs av en rotor med pendlande knivar samt motknivar vilkas ingrepp är ställbart för att kunna variera hackselängden. I praktiken tillämpas oftast högsta möjliga sönderdelning d.v.s. att motknivarna är i maximalt ingrepp. Foto: Rekordverken

Under senare år har det skett en intensiv utveckling av halmhackarna vilket medfört att man med dagens utrustning kan sönderdela halmen till genomsnittliga strållängder om 2-3 cm. Den intensiva bearbetningen sker emellertid till priset av höga effektuttag vilket ökar skördetröskans bränsleförbrukning. Vidare binds en stor del av motoreffekten upp som annars skulle ha kunnat användas till att öka kapaciteten.

Det specifika effektbehovet för halmhackningen uppgick enligt äldre mätningar till c:a 1,5 kW per ton halm i timmen. Mätningar under senare tid har emellertid visat att effektuttaget kan vara betydligt större. Holmén (pers.medd., 2010) påpekar att effektbehovet för halmhackningen uppvisar stor variation mellan olika fält, mognadsgrad, väderlek etc., men att det under besvärliga förhållanden för dagens storröskor kan vara uppemot 150 kW (200 hk), motsvarande cirka 1/3 av motoreffekten.

Dagens intensiva halmhackning har sitt ursprung i krav från lantbrukare som odlar plöjningsfritt under torra förhållanden, exempelvis i Mellaneuropa. Under sådana betingelser är det angeläget att halmstrån inte blir hängande i stubben utan i stället hamnar på markytan där de får markkontakt och lättare hålls fuktiga. I vårt klimat gynnas skörderesternas förmultning av fuktiga förhållanden men ändå hackas i regel halmen så kort som det är tekniskt möjligt.

Maximal sönderdelning av halmen kan visserligen komma väl till pass även i vårt land exempelvis vid reducerad jordbearbetning. Om marken däremot skall plöjas efter skördetröskningen kan det vara av intresse att inte driva sönderdelningen lika långt. Erfarenheter från Rekordverken visar att effektuttaget härvid kan reduceras till mindre än hälften (Holmén pers. medd., 2010). En viktig parameter i sammanhanget är också knivarnas skärpa, som enligt Persson (pers.medd., 1999) har stor betydelse för effektuttaget.

Att svenska lantbrukare i så liten omfattning utnyttjar möjligheten att anpassa hackningsintensiteten till rådande förhållanden torde till stor del bero på att det föreligger så lite information om sambanden mellan effektuttag och sönderdelningsgrad. Vägledande effektmätningar på halmhackar har skett i viss utsträckning men de har ofta hämmats av att de mätutrustningar som använts brustit i precision och hållbarhet. Mätningarna är också komplicerade genom att moment och varvtal skall mätas på skördetröskans snabbast roterande axel under dammiga fältförhållanden och med begränsat utrymme för sensorer.

Vid universitetet i Hohenheim, Tyskland, pågår sedan några år forskning kring mätning av effektuttag för skördetröskans olika komponenter. På grund av halmhackens stora effektbehov startade den tyska undersökningen med att kartlägga denna enhet. I tyska försök har utrustningen använts för att mäta inverkan på effektuttaget av två olika knivtyper i halmhacken respektive två olika varvtal vid skördetröskning av vete (Schwarz m.fl., 2011). Systemet visade sig vara robust och tillförlitligt.

## Frågeställning

Ur såväl miljö- som driftsekonomisk synvinkel är det angeläget att effektivisera lantbrukets energianvändning. Till skillnad från fältarbeten med traktorer tenderar bränsleförbrukningen vid skördetröskning över tid att stiga. Detta beror i hög grad på den alltmer intensiva bearbetningen av halmen som sker i skördetröskornas halmhackar.

Tidigare erfarenheter tyder på att det genom skötselåtgärder samt genom anpassning av hackningsgraden föreligger potential för väsentliga energibesparingar. För att kunna utvärdera sådana åtgärder och implementera dem i svenskt lantbruk är det nödvändigt att kunna mäta det faktiska effektuttaget vilket tidigare varit svårt.

Nyutvecklade teknik har i tyska försök visat sig ge tillförlitliga mätningar av halmhackarnas effektuttag. Det är därför angeläget att med den nyutvecklade mätutrustningen identifiera möjligheter att minska bränsleförbrukningen vid skördetröskning under svenska förhållanden.

## Mål

Undersökningens mål var att med nyutvecklade mätutrustning identifiera möjligheter att minska effektuttaget för skördetröskornas halmhackar genom att variera motknivarnas inställning.

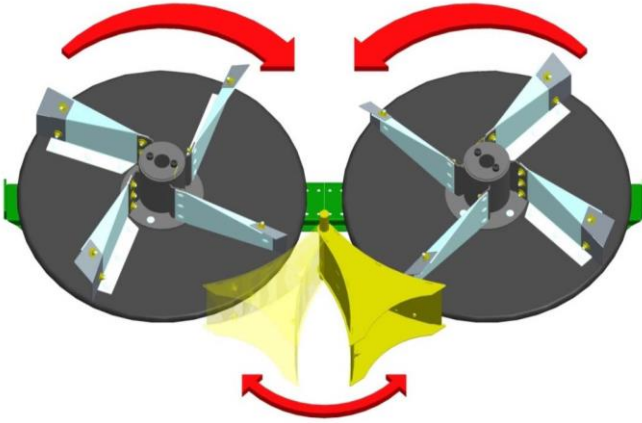
## Material och metoder

Under våren - sommaren 2013 togs ett system fram för att mäta effektuttag på halmhacken vid skördetröskning. Arbetet utfördes med det tyska konceptet som förebild. Mätssystemet monterades på en skördetröska av modell John Deere T 660, Figur 2. Skördetröskan var av årsmodell 2008 och motoreffekten uppgick till 277 kW.



*Figur 2. Inom projektet utvecklades utrustning för mätning av halmhackens vridmoment och varvtal. Utrustningen monterades på en skördetröska av modell John Deere T 660. 4 september 2013. Foto: Gunnar Lundin*

Den aktuella mätutrustningen byggdes vid företaget Load Indicator System AB, Göteborg. Den kalibrerades sedan vid SP Mätteknik i Borås. För att kunna mätutrustningen på försöksströskan erfordrades mekaniska konstruktionsändringar av halmhackens drivning, ett arbete som utfördes av Rekordverken. JTI, slutligen, svarade för insamling av mätdata från effektmätningen respektive från skördetröskans CAN Bus system. Försöksströskan var utrustad med halmhack av modell Maxi Spreader från Rekordverken, Figur 3. Materialet från skördetröskans rensverk fördelades med en s.k. agnspridare, även denna från Rekordverken. Under försöket var agnspridaren fränslagen när halmen hackades.



Figur 3. Försökströskan var utrustad med en halmhack från Rekordverken, modell Maxi Spreader. På denna fördelas halmhackelsen bakom skördetröskan av spridartallrikar i kombination med en horisontellt pendlande fördelare (Rekordverken.se, 2013).

Under 2013 och 2014 genomfördes fältförsök där den ovan beskrivna utrustningen användes för att kvantifiera samband mellan halmens sönderdelning och effektuttaget på hacken.

### Försök under 2013

Under 2013 utnyttjades försökströskan för skördetröskning av havre och vårvete. Försöksfält med jämna och stående bestånd valdes ut. Den ungefärliga kärnskorde skattades av försöksvärden. Utifrån dessa uppgifter beräknades halmavkastningen med hjälp av normala halm/kärna kvoter.

Skördetröskningen utfördes i ett antal c:a 150 meter långa parallella kördrag. Insamling av mätdata påbörjades när skördetröskan uppnått fortfarighetstillstånd och varade under c:a 100 meter av kördraget. Skördetröskan framfördes konsekvent i en och samma körriktning.

Halmen hackades varvid sönderdelningsgraden varierades genom att ändra motknivarnas ingrepp. Varje inställning provades med tre upprepningar. I vårvete framfördes skördetröskan därutöver i ett kördrag utan någon hackning av halmen. Vid detta tillfälle var agnspridaren och halmhacken tillslagen men ingen halm passerade genom hacken, Tabell 1.

Tabell 1. Försöksdesign 2013. Beträffande motknivarnas inställningar motsvaras "läge 5" av störst ingrepp (maximal sönderdelning) och "läge 1" minst ingrepp.

Gröda	Inställning motknivar, läge	Antal kördrag		Anm.
		Per inställning	Totalt	
Havre	2, 3, 4, 5	3	12	
Vårvete	1, 2, 3, 4, 5	3	15	
Vårvete	-	1	1	Ingen hackning

Mätdata från effektmätningen respektive från skördetröskans CAN Bus system lagrades på en mät dator i förarhytten.

Vid varje körning samlades halmhackelse för bestämning av strållängd i respektive försöksled. Då skördetröskan nått fortfarighetstillstånd i kördraget samlades halmhackelsen i plåtlådor med måtten 100\*700\*700 mm vilka placerades strax utanför skördetröskans styrhjul, Figur 4. Den uppsamlade halmhackelsen fylldes i tygsäckar och placerades sedan i ventilerat utrymme för torkning till lagringsduglig vattenhalt.



Figur 4. Halmhackelse samlades i plåtlådor placerade utanför skördetröskans styrhjul. 3 september 2013. Foto: Gunnar Lundin

Efter avslutad skörd analyserades halmhackelsen med avseende på strållängd. Härvid utnyttjades den sorterare vid JTI med vilken materialet delas in i klasser efter strållängd. Varje fraktion vägdes och den genomsnittliga strållängden uttryckt som s.k. halvviktsslängd beräknades. Halvviktsslängd är den strållängd som delar provet i två viktsmässigt lika stora delar (jämför med engelskans ”mass median length”).

## Försök under 2014

Under 2014 utfördes försöken i höstraps, råg och höstvetete. Undersökningen genomfördes på samma sätt som föregående år med två undantag. Dels bestämdes halmavkastningen genom att väga halm från tre representativa ytor på respektive försöksfält. Vidare provades under 2014 inverkan av den tvärlist i hackens hölje som kan kopplas in för att öka intensiteten i sönderdelningen. Detta genom att framför allt hindra särskilt långa strån att slinka ut. Vid rapströskningen var tvärlisten huvudsakligen frånslagen medan huvudalternativet i stråsäd var aktiverad list. De olika försöksleden sammanfattas i Tabell 2.

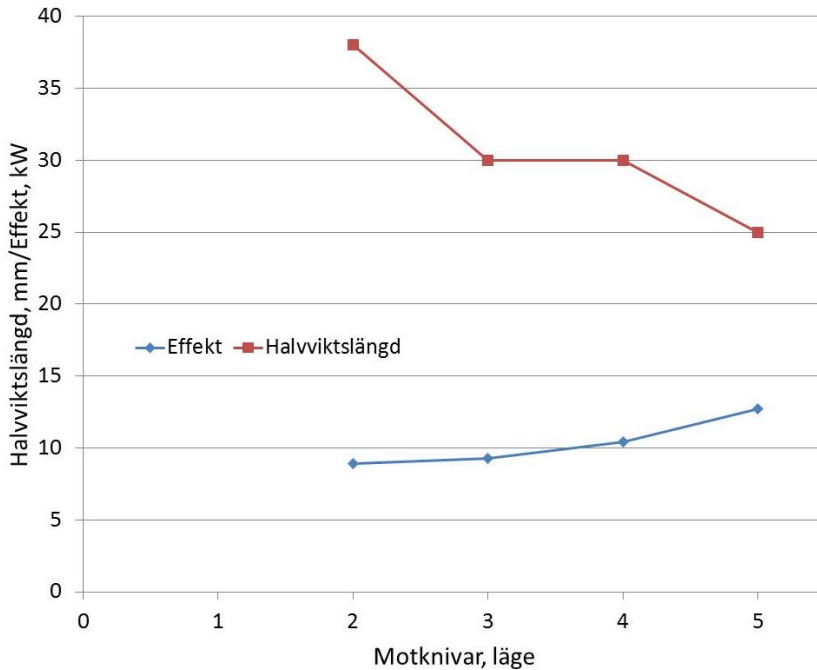
Tabell 2. Försöksdesign 2014. Beträffande motknivarnas inställningar motsvaras ”läge 5” av störst ingrepp (maximal sönderdelning) och ”läge 1” minst ingrepp.

Gröda	Tvärlist, normal-iställn.	Inställning motknivar, läge	Antal kördrag	
			Per inställn.	Totalt
Höstraps	Utan	1, 2, 3 (med resp. utan list) 4, 5	3	18
Råg	Med	1, 2, 3, 4, 5 (med resp. utan list)	3	18
Råg		Ingen hackning	1	1
Höstvetete	Med	1, 2, 3, 4, 5 (med resp. utan list)	3	18
Höstvetete		Ingen hackning	1	1

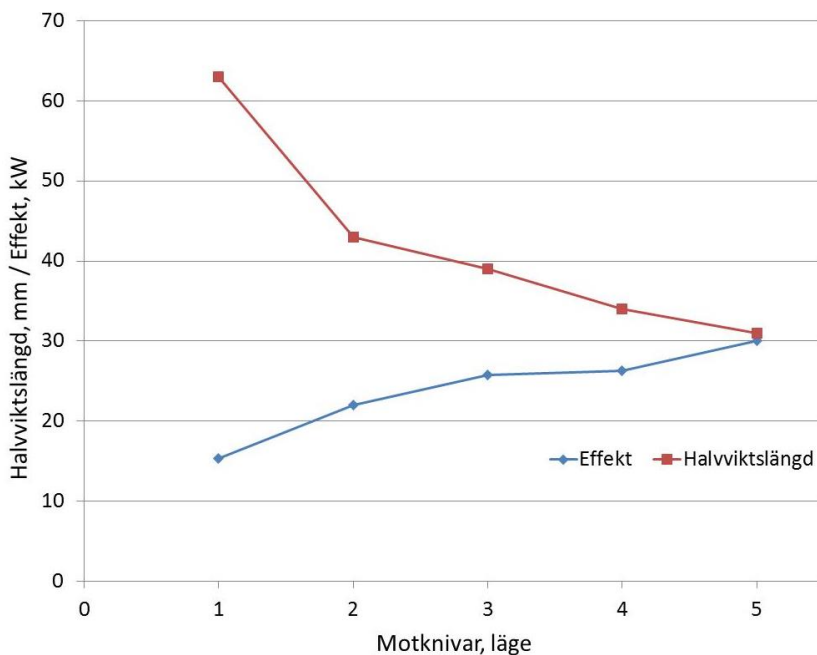
## Resultat

### Försök under 2013

Genomsnittliga värden avseende sönderdelningsgrad och effektuttag vid olika motknivinställningar illustreras i Figur 5 och Figur 6.



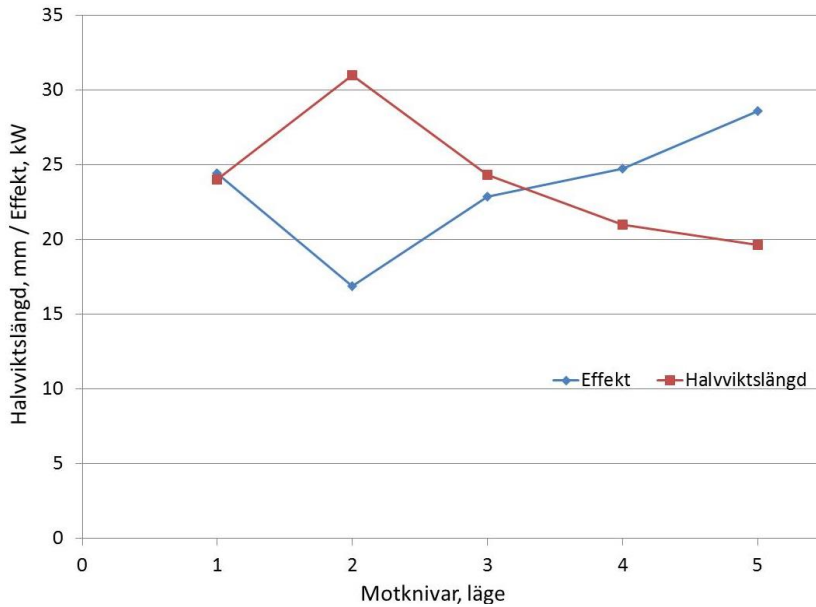
Figur 5. Halmens sönderdelningsgrad och halmhackens effektuttag i havre vid olika inställningar på motknivarna. Medelvärden av tre upprepningar.



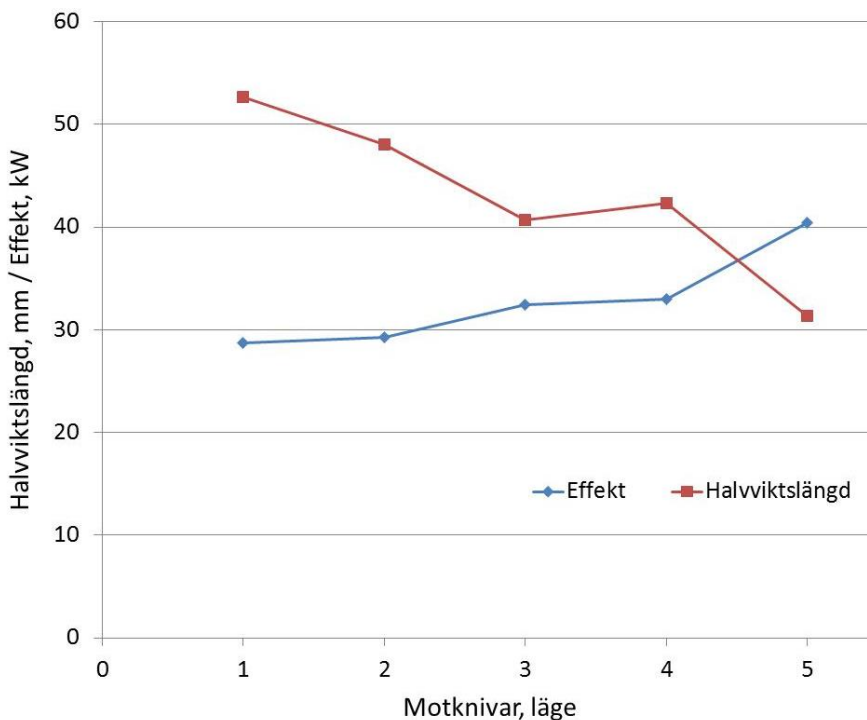
Figur 6. Halmens sönderdelningsgrad och halmhackens effektuttag i vârvete vid olika inställningar på motknivarna. Medelvärden av tre upprepningar.

## Försök under 2014

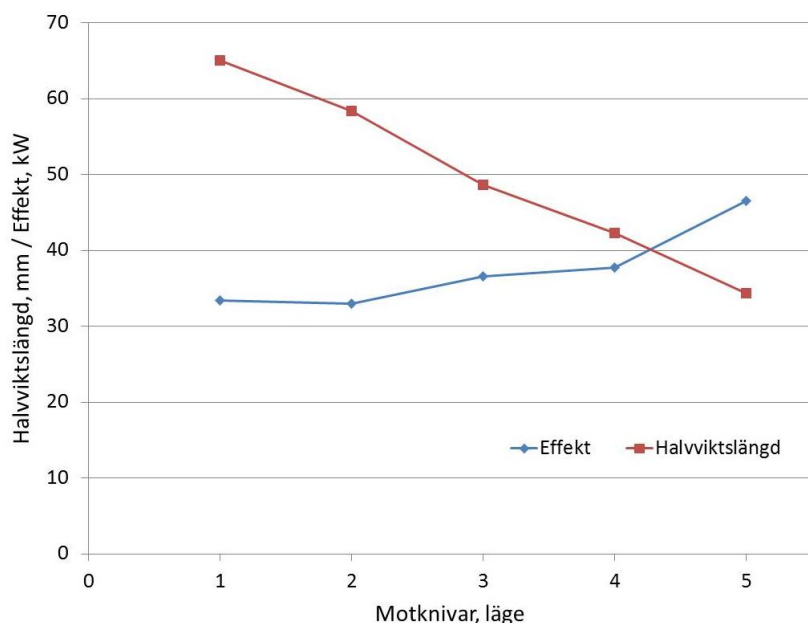
Genomsnittliga värden avseende sönderdelningsgrad och effektuttag vid olika motknivsinställningar illustreras i Figur 7 - Figur 9.



Figur 7. Halmens sönderdelningsgrad och halmhackens effektuttag i höstraps vid olika inställningar på motknivarna (tvärlöst fränkopplad). Medelvärden av tre upprepningar.



Figur 8. Halmens sönderdelningsgrad och halmhackens effektuttag i råg vid olika inställningar på motknivarna (tvärlöst inkopplad). Medelvärden av tre upprepningar.



Figur 9. Halmens sönderdelningsgrad och halmhackens effektuttag i höstvetete vid olika inställningar på motknivarna (tvärlöst inkopplad). Medelvärden av tre upprepningar.

## Sammanfattande resultat och diskussion

I Tabell 3 och Tabell 4 har resultat från båda försöksåren avseende effektuttag, hackelselängd, specifikt energiuttag samt bränsleförbrukning sammanfattats. Tabellerna är uppställda för att ge en bild över ytterligheterna vad gäller halmhackens effektuttag. Det vill säga utfallet när man ändrar motknivarnas inställning från det läge som krävde mest effekt till inställningen med lägst effektuttag.

I samtliga grödor erhöles maximalt effektuttag med motknivarna i läge 5. Lägst uppmätta effektbehov erhöles med läge 1 i vårvete och råg och med läge 2 för övriga grödor (korn provades dock ej med läge 1).

Tabell 3. Halmhackens effektuttag och motsvarande halvviktsslängder för de motknivinställningar som innebar maximalt respektive minimalt effektuttag. Medelvärden.

	Effektuttag halmhack				Halvviktsslängd			
	Max,	Min,	Minskning		Vid max	Vid min	Ökning	
Gröda	kW	kW	kW	%	effekt, mm	effekt, mm	mm	%
Havre	12,7	8,9	3,8	30	25	38	13	52
Vårvete	30,0	15,3	14,7	49	31	63	32	103
Raps	28,6	16,9	11,7	41	20	31	11	55
Råg	40,4	28,8	11,6	29	31	53	22	71
Höstvetete	46,5	32,9	13,6	29	34	58	24	71
<i>Medelvärde</i>	<i>31,6</i>	<i>20,6</i>	<i>11,1</i>	<i>36</i>	<i>28</i>	<i>49</i>	<i>20</i>	<i>70</i>



Tabell 4. Halmhackens specifika energiuttag och skördetröskans bränsleförbrukning vid de motknivinställningar som innebar maximalt respektive minimalt effektuttag. Medelvärden.

Gröda	Specifikt energiuttag				Bränsleförbrukning			
	Vid max effekt, kWh/ton	Vid min effekt, kWh/ton	Minskning kWh/ton %		Vid max effekt, l/h	Vid min effekt, l/h	Minskning l/h %	
Havre	1,7	1,2	0,5	30	37,1	34,9	2,2	5,9
Vårvete	1,3	0,7	0,7	49	49,4	46,8	2,6	5,3
Raps	1,9	1,1	0,8	41	46,5	42,7	3,8	8,2
Råg	2,7	1,9	0,8	29	52,5	50,3	2,2	4,2
Höstvete	2,7	1,9	0,8	29	52,3	50,4	1,9	3,6
<i>Medelvärde</i>	<i>2,1</i>	<i>1,4</i>	<i>0,7</i>	<i>35</i>	<i>47,6</i>	<i>45,0</i>	<i>2,5</i>	<i>5,4</i>

Från Tabell 3 kan utläsas att det maximala effektbehovet varierade mellan 13 och 46 kW. Toppvärdena erhöles i råg- och höstvetegrödorna med effektuttag motsvarande cirka 15 % av skördetröskans motoreffekt.

Genom att ändra motknivarnas inställning kunde effektbehovet i genomsnitt reduceras med 11 kW d.v.s. en minskning med 36 %. Den största minskningen noterades i vårvete där effektbehovet halverades. Det senare är i linje med tidigare nämnda erfarenheter från Rekordverken som visat att ändrade motknivinställningar kan reducera effektuttaget till mindre än hälften (Holmén pers. medd., 2010).

Genom att ändra motknivinställning till läget med minst effektbehov ökade halvviktslängden med i genomsnitt 20 mm eller motsvarande 70 %. I linje med utfallet vid effektmätningarna erhöles den största förändringen i vårvete, där halvviktslängden ökade med 32 mm.

Som angetts tidigare var effektbehovet i några grödor högre med motknivarna i minimalt ingrep jämfört med läge 2. Enligt Brax (pers. medd., 2014) kan detta bero på att i läge 1 tenderar tröskgods i högre grad att ansamlas i hacken vilket ökar hackningsintensitet och effektbehov.

Den tvärlist som provades under 2014 ökade intensiteten i hackningen. I råg och höstvete var huvudalternativet att ha listen aktiverad. Frånkopplingen av tvärlisten med motknivarna i läge 5 visade sig här i stort ge samma inverkan på sönderdelning och effektbehov som att minska motknivarnas ingrepp till läge 4 med inkopplad list. I raps gav inkopplad tvärlist med motknivarna i läge 3 ungefär samma utfall som utan list i läge 4.

Maximalt specifikt energibehov, som redovisas i Tabell 4, uppgick i genomsnitt till 2,1 kWh per ton halm. Som angetts tidigare skiljde sig metoderna för att bestämma halmmängderna mellan försöksåren. Under 2013 beräknades halmavkastningen utifrån en skattad kärnskörd med hjälp av halm/kärna kvoter. Betydligt säkrare mätvärdena torde ha erhöles under 2014 då halmavkastningen bestämdes genom vägning. För 2014 uppgick det specifika energibehovet till 2,4 kWh/ton. De högsta värdena noterades här i råg och höstvete.

Det genomsnittliga specifika energibehovet vid 2014 års försök var väsentligt högre än de som erhöles i vid äldre mätningar som ofta hamnade kring 1,5 kWh/ton. Den viktigaste förklaringen till det ökade energiuttaget för moderna halmhackar torde vara att sönderdelningsförmågan är betydligt kraftigare. Av betydelse är också att grödorna förändrats. Dagens mer omfattande svampbekämpning innebär nämligen att halmen i regel är mer omogen vid skörd och därmed svårare att sönderdela. I sammanhanget kan nämnas att vid mätningar utförda av Rekordverken år 2007 varierade det

specifika energibehovet mellan 2,1 och 3,7 kWh/ton, där den högre nivån uppnåddes vid tidig skörd med omogen, fuktig halm (Holmén pers. medd., 2010).

Skördetröskans genomsnittliga bränsleförbrukning uppgick vid maximalt effektuttag för halmhacken till 47,6 liter per timme enligt skördetröskans eget mätsystem. Genom att minska motknivarnas ingrepp reducerades bränsleförbrukningen till i genomsnitt 45,0 l/h, d.v.s. en besparing om 5,4 %. Den uppmätta besparingen innehåller förhållandevis stor osäkerhet genom att energin för att driva halmhacken endast utgör en mindre del av den totalt tillförda energin till skördetröskan. Det vill säga att de relativa mätfehlen beträffande bränsleförbrukningen får stort inflytande på noggrannheten för den uppmätta differensen.

Som alternativ till ovanstående kan reduktionen i bränsleförbrukning även beräknas utifrån verkningsgraderna för motor och remtransmission. På den aktuella skördetröskan drevs halmhacken via kilremmar av typ 2HB i två steg. Om verkningsgraden för motorn antas uppgå till 40 % och remtransmissionen till 95 % per steg blir den sammanlagda verkningsgraden lika med  $0,4 * 0,95 * 0,95 = 36 \%$ . I linje med detta motsvaras ett minskat effektbehov för att driva halmhacken om 11,1 kW med att tillförd effekt reduceras med  $11,1 / 0,36 = 30,8 \text{ kW}$ . Detta motsvarar minskad förbrukning av diesel med 3,1 liter per timme d.v.s. en besparing om 6,5 %.

## Slutsatser

- Vid maximal sönderdelning av halmen uppgick hackens effektuttag beroende på gröda till mellan 13 och 46 kW. Toppvärdena erhöles i råg- och höstvetegrödorna med effektuttag motsvarande cirka 15 % av skördetröskans motoreffekt.
- Genom att minimera motknivarnas ingrepp kunde effektbehovet i genomsnitt reduceras med 11 kW d.v.s. en minskning med 36 %. Samtidigt ökade den genomsnittliga hackelselängden med 20 mm.
- Halmhackens tvärlist ökade intensiteten i bearbetningen. I stort var skillnaden mellan inkopplad/frånkopplad list beträffande effektuttag och sönderdelning densamma som att justera motknivarnas läge ett steg.
- Det genomsnittliga specifika energibehovet uppgick under 2014 till 2,4 kWh per ton halm d.v.s. väsentligt högre än vid äldre mätningar. Detta kan förklaras av moderna halmhackars mer omfattande sönderdelning men även ändrade egenskaper hos grödorna.
- Genom att minska motknivarnas ingrepp reducerades bränsleförbrukningen med cirka 6 %.
- Sammantaget visade undersökningen att effektuttaget vid halmhackning kan reduceras väsentligt genom att utnyttja halmhackens inställningsmöjligheter. Detta utan att sönderdelningsförmågan dramatiskt försämrats. Bränsleförbrukningen kan härvid reduceras alternativt att den frigjorda motoreffekten kan nyttjas för att öka skördetröskans kapacitet.

## Litteratur och personliga meddelanden

Schwarz M., Zährl T., Dominik G. & Böttinger S., 2011. Leistungsbedarf am Mährescher. Landtechnik nr 4.  
 Bengt Holmén, 2010. Föredrag vid Akron-maskiners 75 årsjubileum 1 december 2010. Järpås.  
 Cles Brax, 2014. Rekordverken Sweden AB.  
 Sven-Johan Persson, 2012. Rekordverken Sweden AB.