



Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 884–2015

Utvärdering av V-Cut – en innovation med potential att minska förekomsten av kapsprickor

Evaluation of V-Cut
– an innovative saw bar with potential
to reduce the occurrence of bucking splits

Björn Hannrup, Mikael Andersson, Fredrik Henriksen,
Anders Högdahl, Petrus Jönsson och Björn Löfgren



SKOGFORSK

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 884–2015

I serien Arbetsrapport finns bakgrundsmaterial, metodbeskrivningar, resultat, analyser och slutsatser från både pågående och avslutad forskning.

Titel:

Utvärdering av V-Cut
– en innovation med potential att minska förekomsten av kapsprickor.

Evaluation of V-Cut – an innovative saw bar with potential to reduce the occurrence of bucking splits.

Bildtext:

Illustration av sågmönstret under kapförloppet vid kapning med V-Cut (höger bild) samt kapning med konventionellt svärd (vänster bild).

Fotograf: Petrus Jönsson.

Ämnesord:

Sågsvärd, kaptid, virkesvärde.
Saw bar, cutting time, wood value.

Redigering och formgivning:

Ingegerd Hallberg

© Skogforsk 2015

ISSN 1404-305X



SKOGFORSK

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala

Tel: 018-18 85 00 Fax: 018-18 86 00

skogforsk@skogforsk.se

skogforsk.se



Björn Hannrup, SkogD. Arbetar på Skogforsk med frågor kring skördardata och tillvaratagande av virkesvärden.



Mikael Andersson, Forskningsingenjör. Arbetar på Skogforsk med mätteknik och utveckling av teknik för markberedning.



Fredrik Henriksen, Civilingenjör inom maskinteknik. Arbetar på Skogforsk med teknikfrågor företrädesvis kring utveckling av styrsystem och hydraulik.



Anders Högdahl, Forskningsingenjör. Arbetar på Skogforsk med teknikutveckling inom programmet Skötsel och miljö.



Petrus Jönsson, fil. mag. Anställd vid Skogforsk sedan 2006. Arbetar i programmet Teknik- och Virke. Mina främsta arbetsuppgifter är dynamisk simulering och utvärdering av maskinsystem.



Björn Löfgren, Tekn. D. Anställd vid Skogforsk 1981 och arbetar i programmet Teknik och Virke. Ansvarig för automation och teknik.

Abstract

Reducing the occurrence of bucking splits, which are formed when a harvester bucks stems, can increase the value of felled timber. Recently, the V-Cut company has developed a V-shaped saw bar. When the bar is used for bucking, the cut is V-shaped, creating a gradually narrowing strip with intact wood fibres in the vertical direction. This saw pattern helps to counteract the moment of force generated by the hanging end of the log, and thereby helps to prevent bucking splits.

The aim of the study was to evaluate the V-Cut bar in terms of bucking splits, cutting time and energy consumption. The evaluation was based on comparative measurements during bucking with the V-Cut and with a conventional bar. Bucking splits were measured on pine and spruce logs processed by two harvesters on two occasions, while cutting time and energy consumption were evaluated in the Skogforsk test rig.

The results showed that the V-Cut bar considerably reduced the occurrence of bucking splits, and the proportion of logs with splits was 3-6 times lower when the V-Cut bar was used. The bucking splits formed with the V-Cut occurred far more often on the outer edges of the logs, which implies less impact on the main yields in production of sawn timber goods. Furthermore, results of the measurements in the test rig suggested that the use of V-Cut in harvester heads cannot be expected to have any adverse effect on cutting time or energy consumption.

Förord

Denna rapport sammanfattar resultat från projektet ”Utvärdering av V-Cut – en innovation med potential att minska förekomsten av kapsprickor”. Studien har finansierats av medel från Skogforsk's riktade tekniksatsning 2015 samt av Södras Stiftelse för Forskning, Utveckling och Utbildning.

Projektet har bedrivits i samverkan mellan Iggesund Forest, V-Cut, Sveaskog och Skogforsk. Iggesund Forest och V-Cut har tillverkat de V-Cut-svärd som testats i projektet. Sveaskog har varit maskin- och markvärd. Skogforsk har ansvarat för planering och utförande av de uppföljande studier som genomförts i projektet.

Nedanstående personer från företagen har medverkat i projektets arbetsgrupp.

Namn	Företag
Erik Molin	Igesund Forest
Gustav Nyrén	Igesund Forest
Hansi Engström	V-Cut
Tomas Hultstad	V-Cut
Lars-Erik Andersson	Sveaskog
Lennart Hult	Sveaskog
Ulf Jonsson	Sveaskog
Thorbjörn Westman	Sveaskog

Adam Lindgren, Källhults Entreprenad AB samt Åke Larsson och Emil Nilsson, båda Sveaskog, körde de skördare som användes under utvärderingarna.

För mätningarna av kaptid och energiåtgång användes den testrigg som byggts upp vid Skogforsk i Sävar. Vid uppbyggnaden bidrog Komatsu Forest med skördaraggregat, hydraulaggregat samt expertkompetens kring skördaraggregat. Parker Hannifin bidrog med en F11-iP sågmotor. Mikael Andersson, Olle Gelin, Fredrik Henriksen och Anders Högdahl, samtliga Skogforsk, utförde arbetet med att bygga upp testriggen. Norra Skogsägarnas sågverk i Sävar bidrog med de stockar som användes vid utvärderingen i testriggen.

Petrus Jönsson, Björn Löfgren och Björn Hannrup har haft det övergripande ansvaret för planering och genomförande av studierna i projektet.

Uppsala 2015-10-20

Björn Hannrup

Innehåll

Förord	1
Sammanfattning.....	3
Inledning.....	4
Mål och avgränsningar.....	6
Studieupplägg och genomförande	6
Delstudie 1 – Mätningar av kapsprickor	6
Delstudie 2 – Mätningar av kaptid och energiåtgång	9
Testriggens huvudkomponenter	10
Mätningar under kapförloppet	13
Beräknade variabler och filtrering av rådata.....	15
Uteslutna observationer	18
Resultat och Diskussion	18
Stockdimensioner	18
Frekvensen kapsprickor.....	19
Kapsprickornas läge	21
Kapsprickornas längd.....	23
Effekter på förekomsten av kapsprickor – samlad diskussion	25
Kaptid.....	27
Energiåtgång.....	29
Samband mellan olika kaptidsmått.....	31
Vidare studier.....	31
Referenser.....	32

Sammanfattning

Sprickor i veden har en betydande påverkan på värdet vid produktion av sågade trävaror. Kapsprickor utgör en huvudsaklig spricktyp som uppkommer då träden upparbetas av skördare i skogen och orsakas av det moment som den fritt hängande stocken skapar vid kapningsmomentet. De kvantifierande studier som genomförts indikerar att nivåerna av kapsprickor är betydande i skogsbruket och att det finns en stor potential att öka virkesvärdet via insatser som syftar till att minska förekomsten av kapsprickor vid avverkning med skördare.

En intressant innovation för att minska uppkomsten av kapsprickor utgörs av det V-formade svärd som nyligen tagits fram av företaget V-Cut. Svärdets form påverkar sågmönstret under kapförloppet och vid kapning utvecklas ett V-format sågsnitt med en successivt avsmalnande tangentiell remsa med intakta vedfibrer i vertikal led. Dragstyrkan i den vertikalt riktade remsan med intakta vedfibrer kan utgöra en starkt motverkande kraft mot momentet från den hängande stocken och därmed motverka uppkomsten av kapsprickor.

Det övergripande syftet med studien var att utvärdera V-Cut-svärdet med avseende på uppkomsten av kapsprickor, kaptid och energiåtgång. Utvärdering skedde genomgående genom jämförande mätningar vid kapning med V-Cut, respektive med ett konventionellt svärd. Mätningarna av kapsprickor gjordes på tall- och granstockar upparbetade av två skördare vid två försökstillfällen medan utvärdering av kaptid och energiåtgång gjordes i Skogforsks testrigg i Sävar.

Mätningar av kapsprickor gjordes på stockar från 25 till 30 träd per svärd och försökstillfälle. I syfte att renodla effekten av det nya svärdet kapades stockarna fritt hängande dvs. utan stöd. Kapsprickornas längd mättes med trissmetoden och sprickornas position i tvärsnittet bestämdes. Kaptiden för V-Cut och det konventionella svärdet bestämdes genom höghastighetsfilmning av kapförloppet då trissor kapades från stockar med varierande diameter. Vid trisskapningen mättes också sågmotorns vridmoment och varvtal vilket utnyttjades för bestämning av energiåtgången per kap.

Resultaten från mätningarna kan sammanfattas enligt följande:

- Vid de två försökstillfällena var andelen stockar med kapsprickor 3,0 respektive 5,7 gånger lägre vid kapning med V-Cut-svärdet i jämförelse med det konventionella svärdet. Skillnaden mellan svärden i genomsnittlig andel stockar med kapsprickor var statistiskt säkerställd med en mycket hög grad av säkerhet vid båda försökstillfällena.
- För V-Cut bildades kapsprickorna då en lägre andel av diametern återstod att kapa i jämförelse med det konventionella svärdet. I genomsnitt över de två försökstillfällena återstod 14 procent av diametern att kapa då V-Cut användes medan motsvarande värde för det konventionella svärdet var 29 procent. Skillnaden mellan svärden för kapsprickornas genomsnittliga läge i tvärsnittet var statistiskt säkerställd med en mycket hög grad av säkerhet vid båda försökstillfällena.
- För stockar med kapsprickor var den genomsnittliga spricklängden något kortare då V-Cut-svärdet användes. Skillnaden mellan svärden i genomsnittlig spricklängd var dock statistiskt säkerställd enbart vid ett av de två försökstillfällena och då med en låg grad av säkerhet.
- För kapet genom stocken var kaptid och energiåtgång mycket likartade för V-Cut och det konventionella svärdet. De skillnader som fanns mellan svärden låg inom den statistiska felmarginalen.

Sammanfattningsvis indikerar vår studie att användning av V-Cut i skördaraggregat kan förväntas ha en starkt reducerande effekt på andelen stockar med kapsprickor. Det nya svärdet kan också förväntas bidra med en gynnsam effekt på kapsprickornas läge i riktning mot att sprickorna i betydligt lägre utsträckning påverkar centrumutbytena vid produktion av sågade trävaror. Vidare indikerar data från vår studie att användning av V-Cut i skördaraggregat inte kan förväntas ge upphov till någon ogynnsam inverkan på kaptid eller energiåtgång för skördarnas kapmoment.

Inledning

Sprickor i veden har en betydande påverkan på värdet vid produktion av sågade trävaror (Helgesson, 1997a, b). De framträder oftast sent i produktionsprocessen och de tvingar fram, leder till sänkt utbyte och att oönskade produkter framställs. Insatser för att minimera uppkomsten av sprickor minskar spillet och har därmed en positiv påverkan på lönsamheten vid produktion av sågade trävaror, speciellt för produktgrupper där längdkraven är starkt fokuserade.

Torksprickor och kapsprickor utgör de huvudsakliga långsgående spricktyperna. Medan de förstnämnda uppkommer vid torkningsprocessen i sågverken, uppkommer de senare då träden upparbetas av skördare i skogen och orsakas av det moment som den fritt hängande stocken skapar vid kapningsmomentet. Det finns i dagsläget ingen metod för att detektera kapsprickor vid inmätning av sågtimmer och därmed inget större statistiskt underlag som kan ge en precis bild av förekomsten av kapsprickor i skogsbruket. De kvantifierande studier

som genomförts under senare tid indikerar att nivåerna är betydande, med kapsprickor i 20 till 30 procent av stockarna (Möller m.fl., 2008, Tegenlöv, 2010). Sannolikt är också variationen mellan skördarlag stor eftersom förarnas körstil har en stor påverkan på förekomsten av sprickor (Hallonborg & Nordén, 1999). Sammanfattningsvis indikerar dock de kvantifierande studier som genomförts att det finns en betydande potential att öka virkesvärdet via insatser som minskar förekomsten av kapsprickor vid avverkning med skördare.

Den tekniska lösning som använts produktionsmässigt i skördare för att minska uppkomsten av kapsprickor är automatisk kransänkning (Hallonborg & Granlund, 1999; Inberg, 2002). Tekniken bygger på att stockens fallvinkel minskas genom att kran och skördaraggregat sänks under kapningsmomentet. Tekniken har vid utvärdering visat sig ge en avsevärd minskning av frekvensen kapsprickor då den är rätt intrimmad (Hallonborg & Granlund, 2002). De positiva resultaten till trots så har automatisk kransänkning inte fått något brett genomslag och används idag endast i begränsad omfattning vid normal avverkning. Sannolika orsaker till det begränsade genomslaget för tekniken är att automatisk kransänkning medför en viss sänkning av produktivitet samt upplevs som störande (känsla av ”åksjuka”) av en del förare.

En intressant innovation för att minska uppkomsten av kapsprickor utgörs av det V-formade svärd som nyligen tagits fram av företaget V-Cut. Svärdets form påverkar sågmönstret under kapförloppet och vid kapning utvecklas ett V-format sågsnitt med en successivt avsmalnande tangentiell remsa med intakta vedfibrer i vertikal led (Figur 1). Inga detaljerade beräkningar av kraftpåkänningarna under kapförloppet finns tillgängliga men rimligen bör dragstyrkan i den vertikalt riktade remsan med intakta vedfibrer utgöra en starkt motverkande kraft mot momentet från den hängande stocken och därmed motverka uppkomsten av kapsprickor. Detta i kontrast till sågmönstret vid kapning med konventionella svärd (Figur 1) där fronten med intakta vedfibrer har en horisontell riktning och där de vedfibrer som har en dragande inverkan kapas av betydligt tidigare under kapförloppet.



Figur 1.
Illustration av sågmönstret under kapförloppet vid kapning med V-Cut (vänstra bilden) samt kapning med konventionellt svärd (högra bilden).

En första studie av effekten av V-Cut-svärdet styrker ovanstående resonemang och indikerar att svärdet har en starkt reducerande inverkan på förekomsten av kapsprickor samt en gynnsam effekt på sprickornas placering i stockarnas tvärsnitt (P. Jönsson & B. Hannrup, opublicerat material). Resultaten indikerar därmed att V-Cut-svärdet kan vara en teknisk lösning med potential att drastiskt minska problematiken kring kapsprickor och därmed bidra till ett ökat virkesvärde. Men för att detta ska kunna realiseras krävs vidare utvecklingsinsatser. En central komponent för den vidare utvecklingen av V-Cut-svärdet är att det tidigt görs en grundlig utvärdering av svärdets effekter på förekomsten av kapsprickor men också effekterna på kaptid, energiåtgång och parametrar centrala för produktionsekonomin.

Mål och avgränsningar

Det övergripande syftet med studien var att utvärdera V-Cut-svärdet med avseende på uppkomsten av kapsprickor, kaptid och energiåtgång. Utvärdering skedde genom jämförande mätningar vid kapning med V-Cut-svärdet respektive med ett konventionellt svärd. Mätningarna genomfördes vid avverkning med två skördare samt i Skogforsks testtrigg i Sävar.

Studien var avgränsad till en utvärdering av V-Cut-svärdet med avseende på ovanstående parametrar. I en efterföljande studier kommer kompletterande utvärdering göras under avverkning av parametrar centrala för produktionsekonomin som svärdsslitage och kedjeförbrukning.

Studieupplägg och genomförande

Utvärderingen var indelad i två delstudier. I delstudie 1 gjordes mätningar av kapsprickor vid kapning av stockar i skördaraggregat med V-Cut, respektive konventionellt svärd. I delstudie 2 gjordes mätningar av kaptid och energiåtgång vid kapning av trissor med de två svärdstyperna i Skogforsks testtrigg i Sävar. Studieupplägg och genomförande för de två delstudierna beskrivs nedan.

DELSTUDIE 1 – MÄTNINGAR AV KAPSPRICKOR

Mätningar av kapsprickor gjordes vid två olika tillfällen på tall- respektive granstockar. V-Cut-svärdet kräver större utrymme och på de två skördaraggregat som användes vid testerna hade såglådorna breddats för att svärdet skulle rymmas (Figur 2). I övrigt hade ingen modifiering skett av de skördaraggregat som användes under testerna.



Figur 2.

Bild på de två skördaraggregat som användes under testerna; Ponsse H7-aggregat (vänstra bilden) och Komatsu Forest 370-aggregat (högra bilden). Såglådorna på de två aggregaten har breddats (ses som en triangelformad plätinläggning) för att V-Cut-svärdet ska rymmas.

Mätningarna av kapsprickor på *tallstockar* skedde i september 2015. Kapning skedde med ett Komatsu Forest 370-aggregat med en Komatsu Forest 941 som basmaskin. Mätningarna av kapsprickor på *granstockar* skedde i oktober 2014. Kapning skedde med ett Ponsse H7-aggregat med en Ponsse Ergo som basmaskin. Båda studierna utfördes cirka 5 mil sydost om Borås i gränstrakterna mellan Västergötland och Småland.

Vid båda studietillfällena användes två försöksled:

1. **Kapning av stockar med V-Cut-svärdet monterat.**

Det V-Cut-svärd som användes i Ponsse H7-aggregatet var en första prototyp som tagits fram av V-Cut med längden 82 cm. Svärdet som användes i Komatsu Forest 370-aggregatet var tillverkat av Iggesund Forest och ingick i en första provserie om 10 svärd och hade längden 77 cm och spårvidden 2,0 mm.

2. **Kapning av stockar med konventionellt svärd monterat.**

Det svärd som användes i båda studierna var ett svärd från GB Forestry med längden 82 cm och spårvidden 2,0 mm.

För mätningarna av kapsprickor på tallstockar avverkade skördaren 30 stammar per försöksled medan motsvarande antal för mätningarna av granstockar var 25 stammar per försöksled. Upparbetningen av stammarna skedde i produktionstakt men all kapning skedde *utan stöd det vill säga med den utmatade stocken fritt hängande*. Vidare skedde all kapning med stillastående aggregat d.v.s. då stocken matats fram för kapning gjordes en kort paus för att undvika att basmaskinen/aggregatet gungade under kapmomentet.

För varje försöksled monterades en ny kedja då avverkningen av träden inleddes. Dessutom skedde byte till ny kedja då hälften av träden per försöksled avverkats. Kedjetyper som genomgående användes var en Stihl RMHS kedja.

Mätningarna av kapsprickor skedde med den så kallade trissmetoden (Helgesson, 1997b). Cirka 3 cm tjocka vedtrissor kapades från stockänden och trissor knackades därefter mot stockändan. Trissor med kapsprickor delar sig då längs en korda tvärs över årsringarna (Figur 3). Trissor kapades till den sista trissan inte längre hade någon kapspricka och längden av kapsprickan uppskattades genom att summera trissornas tjocklek med tillägg för sågspåren (8 millimeter per spår). För trissor med kapsprickor registrerades sprickans läge i tvärsnittet genom att det radiella avståndet från märke till sprickan mättes. På samtliga stockar mättes längd samt diameter i toppändan.



Figur 3.
Illustration av trissmetoden. Trissor är kapade ur samma stockände och genom att summera trissornas tjocklek kan kapsprickans längd uppskattas.

Kapsprickor orsakas under kapförloppet av momentet från den utmatade stocken. Sprickor bildas då både i toppändan på den utmatade stocken och i rotändan på stocken som hålls kvar i aggregatet. Tidigare studie har visat att sprickan i rotändan är längre än i toppändan (Helgesson 1997b; Möller m.fl., 2008). I studien använde vi en samplingsstrategi då vi *enbart mätte kapsprickorna i rotändan på stockarna*. Det är alltså viktigt att påpeka att det är momentet från den föregående stocken (styrt av stockens längd och diameter) som orsakar de kapsprickor vi mätt i efterföljande stocks rotända. Hänsyn till detta togs i analysen. Mätningarna gjordes på samtliga stockar ned till massavedsdimension med undantag för rotstockar. Rotstockarna mättes inte eftersom eventuella sprickor i rotstockens rotända är av en annan typ och bildas vid fällning.

DELSTUDIE 2 – MÄTNINGAR AV KAPTID OCH ENERGIÅTGÅNG

I delstudien användes två försöksled:

1. **Kapning av trissor med V-Cut-svärdet monterat.**
V-Cut-svärdet ingick i en första provserie om 10 svärd tillverkade av Iggesund Forest och hade längden 77 centimeter och spårvidden 2,0 millimeter (**Figur 4**).
2. **Kapning av trissor med ett konventionellt svärd från Iggesund Forest** med längden 82 centimeter och spårvidden 2,0 millimeter (**Figur 4**).

För båda svärderna användes en 2,0 millimeter Stihl RMH maskinsågkedja med 96 drivlänkar. Nya kedjor monterades då kapningen inleddes och då cirka hälften av kapen genomförts.



Figur 4.
Bild på det V-Cut-svärd (överst) och det konventionella svärd som användes under utvärderingen.

Trissor kapades från totalt 6 granstockar med diametrar inom intervallet 14 till 43 centimeter. Stockarna var utvalda för att representera ett brett diameter-
spann för att svärdens generella samband mellan kaptid och kaparea samt mellan energiåtgång och kaparea skulle kunna upprättas. Kapning skedde i båda stockändarna i syfte att erhålla en god diameterspridning utifrån ett begränsat stockantal. För rotstockar kapades första halvmetern i rotändan av eftersom detta stamparti ofta hade hög ovalitet. För kapen användes en turordning där försöksleden växelvis inledde, respektive avslutade, kapningen per stockända.

Stockarna i studien hämtades från Norra Skogsägarnas sågverk i Sävar då studien inleddes. För att kvantifiera den uttorkning som skett från avverkning till försökstillfället registrerades fukthalten för fyra slumpvist valda trissor genom vägning vid studietillfället, respektive efter sju dagars torkning i 105°C. Fukthalten för de fyra trissorerna var i genomsnitt 37 procent (variation mellan 34 och 43 procent) vilket innebar att en uttorkning skett sedan avverkning då fukthalten för motsvarande färsk ved kan förväntas ligga runt 49 procent (Wilhelmsson & Moberg, 2004).

Från varje stockända registrerades mätvärden från två kap per försöksled, vilket resulterade i mätvärden från totalt 24 kap per försöksled.

Testtriggens huvudkomponenter

Samtliga mätningar skedde på Skogforsks testtrigg i Sävar. Testtriggen var uppbyggd kring ett Komatsu 360.2 skördaraggregat från Komatsu Forest, upphängd i en ställning (Figur 5). I syfte att erhålla en hög säkerhet och samtidigt möjliggöra filmning och visuell övervakning av kapförloppet var ställningen försedd med väggar av stålplåt och av säkerhetsklassat glas.

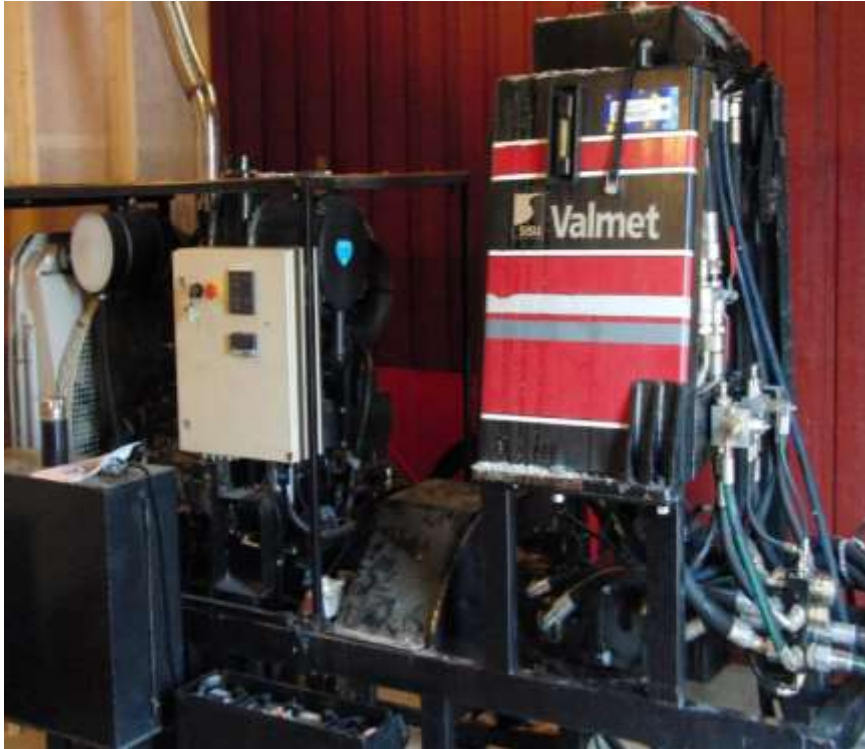


Figur 5.
Skördaraggregatet upphängt i en ställning.

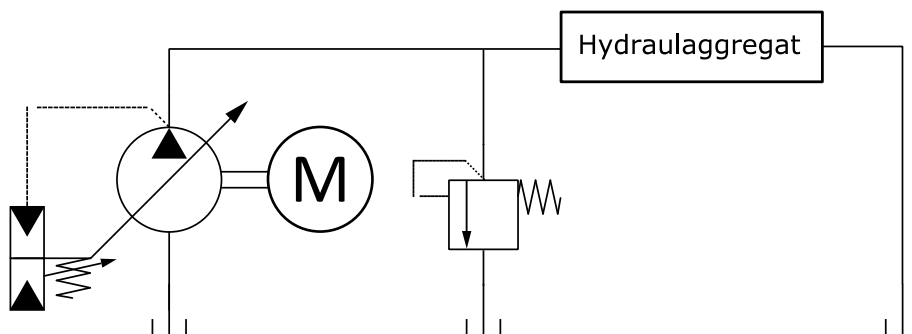
Huvudkomponenterna i det tillhörande hydraulsystemet utgörs av:

- En Sisu dieselmotor placerad i ett separat utrymme (Figur 6).
- Två stycken variabla lastkännande axialkolvpumpar av märket Brueninghaus Hydromatik (nuvarande Bosch Rexroth) med displacement 145, respektive 130 cm³/varv. Under studien utnyttjades enbart en av pumparna (130 cm³/varv) för drivning av aggregatet.
- Slangdragning från hydraulaggregatet till skördaraggregatet. Slanglängden motsvarade hydraulslangarnas längd i en konventionell skördare.

Axialkolvpumpen styr ut ett specifikt flöde baserat på en viss styrsignal, vilket justerar en svivelplatta som på så vis ökar eller minskar cylindrarnas slaglängd. Lastavkänningsfunktionen (Figur 7) återkopplar slaglängdspositionen med det faktiska trycket i systemet och sänker därmed flödet om trycket blir onödigt högt och höjer då trycket blir för lågt utifrån vad den aktuella lasten kräver och på så vis hålls trycket och flödet på den nivå som krävs.



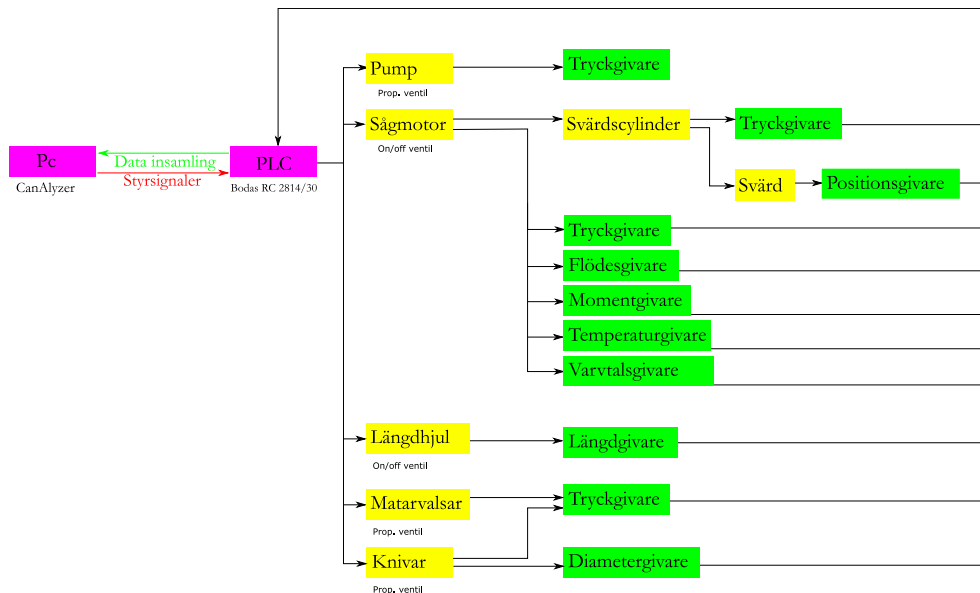
Figur 6.
Testriggens dieselmotor samt tillhörande hydraulaggregat.



Figur 7.
Övergripande schematisk illustration av det lastavkännande hydraulsystem som användes i studien.

Styrning av hydraul- och skördaraggregatet skedde med styrenheten Bodas RC-28-14/30 från tillverkaren Bosch Rexroth. Mjukvaran som användes var egenutvecklad i programmet Bodas Design, vilket möjliggjorde Anpassningar till skillnader som uppstår i och med den stationära positionen samt att kunna nyttja sensordata som normalt ej finns tillgängligt. En PC användes för att genom ett gränssnitt kommunicera med styrenheten (PLC). Styrenheten tolkar och styr ventilerna för att åstadkomma den önskade effekten. Sensorerna läser av systemet och skickar data till styrenheten och allt skickas vidare till PCn där loggning sker (Figur 8).

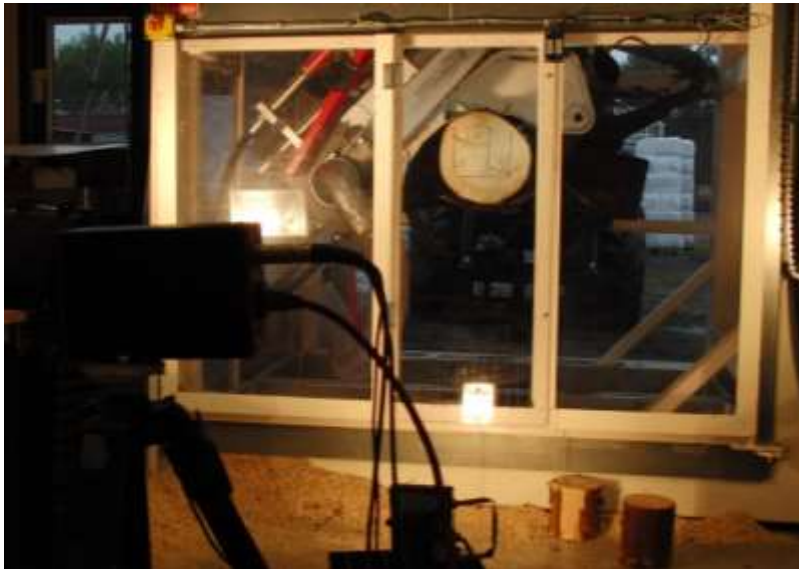
Sågenheten på skördaraggregatet var uppbyggd kring sågmotorn F11-iP från Parker Hannifin. Ett nytt exemplar av motorn monterades inför studietillfället. F11-iP har en integrerad hydraulisk styrning som möjliggör att kedjehastigheten kan hållas konstant under kapförloppet. Detta åstadkoms genom nyttjandet av en konstantflödesventil som stryper flödet efter motorn, vilket resulterar i ett jämt flöde och därmed ett jämnt varvtal.



Figur 8.
Schematisk bild över datainsamling och styrning. De lila blocken indikerar datorer medan gul och grön färg representerar funktioner respektive givare.

Mätningar under kapförloppet

Mätningarna av kaptid skedde med hjälp av filmning enligt en metodik som tidigare utvecklats vid Skogforsk (Skogforsk, 1999). Under kapning filmades kapförloppet med en höghastighetskamera (AOS Technologies, TRI-VII). Filmerna sparades ned på en bärbar dator. Genom att på filmerna räkna antalet bildrutor från det att kedjan gick in i barken till dess att trissan var helt avskild från stocken kunde kaptiden mätas upp. I studien definierade vi kaptid på detta sätt. Vid filmningen användes en "frame rate" på 1 000 bilder per sekund d.v.s. tiden mellan två bildrutor var en millisekund.



Figur 9.
Bild som visar höghastighetskamera riktad mot stockändan.

Vridmomentet mättes med en momentgivare med modellbeteckning T22 från HBM vilken var monterad på sågmotorns utgående axel. För att ge plats åt denna givare mellan sågmotor och såglåda hade aggregatet modifierats genom att såglådan flyttats bakåt och sågmotorns utgående axel förlängts (Figur 10).



Figur 10.
Bild som visar hur sågmotorns utgående axel förlängts. På den nedre delen av förlängningen syns uttagen för vridmomentgivaren (till höger) och varvtalsgivaren (till vänster).

Sågmotorns varvtal mättes med en optisk pulsgivare som riktades mot den förlängda delen av sågmotorns utgående axel. Pulsgivaren gav tre pulser per varv.

Mätning av hydrauloljans flöde, tryck och temperatur skedde med hjälp av två flödesgivare monterade före respektive efter sågmotorn (Figur 11). På flödesgivarna (Hydac Electronic, EVS 3104) monterades temperaturgivare (Hydac Electronics, ETS 4144) samt ett tryckuttag. På tryckuttaget kopplades tryckgivare (Hydac Electronics, HDA 4845).

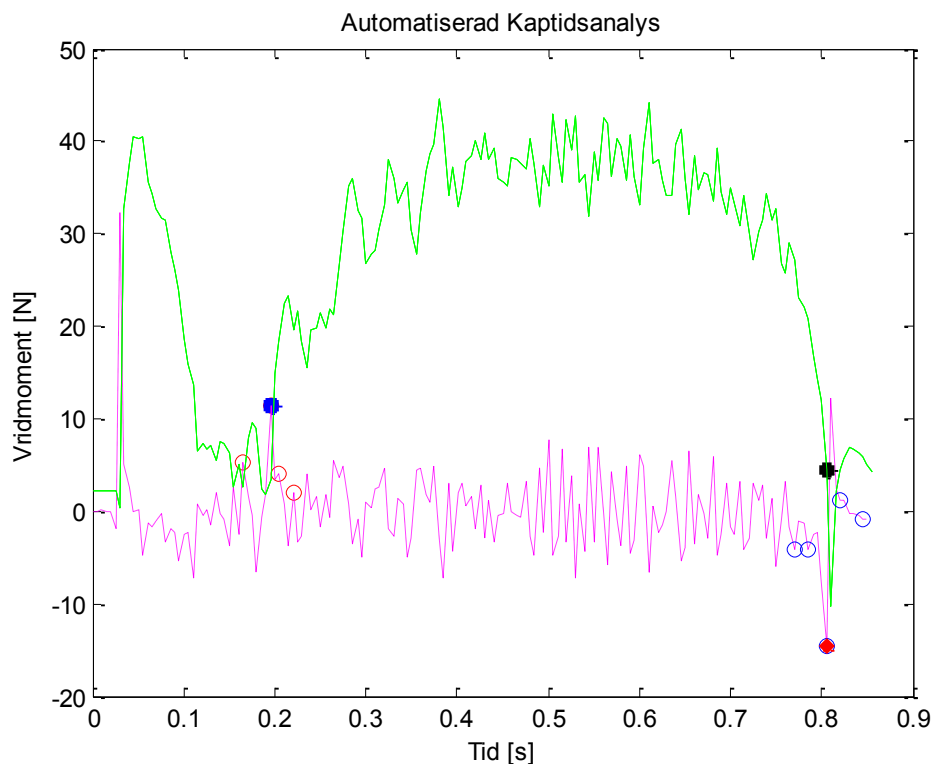


Figur 11.
Givare monterade för mätning av hydrauloljans tryck, flöde och temperatur före respektive efter sågmotorn.

Beräknade variabler och filtrering av rådata

Momentkurvan beskriver arbetet hos sågmotorn med relativt hög precision (5ms). Visuellt beskrivs förloppet ingående, se exempel för ett kap i Figur 12. Den initiala toppen ($t \sim 0,02 - 0,12s$) på den gröna kurvan visar momentet som krävdes för att accelerera upp kedjan. Därefter ligger momentet på en låg nivå ($t \sim 0,12 - 0,2s$) när svärdet förflyttas från topp position ner till stammen. När kedjan kommer i kontakt med stammen ökar momentet och när kedjan går ut ur stammen går momentet ner ($t \sim 0,2 - 0,72s$). För att fånga dessa variabla punkter, och därmed generera en indirekt bestämning av tiden för kap genom stammen, har ett analyseringsskript skapats. Detta tittar framförallt på förändringen av momentet, vilket kan ses som den lila kurvan i Figur 12. Då momentet för att accelerera upp kedjan är relativt oberoende av stammen kommer tidpunkten då svärdet träffar stammen ligga väldigt statiskt och variera främst då avståndet mellan svärdets ändläge och stammen kan variera smått beroende på hur stammen hålls fast. Ett fönster skapas där möjliga startpunkter kan finnas och topparna på momentförändringen jämförs med varandra och den som visar högst förändring sätts som startpunkt.

Då slutpunkten är starkt beroende av stocken och dess diameter kunde därför inte ett fönster kring ett statistiskt värde användas. I stället observerades vilka punkter som ligger kring momentet noll efter att maxmomentet uppnåtts och av dessa hittas punkten som har den största negativa momentförändringen vilket sätts som kapets avslut.



Figur 12.

Exempel på hur tiden för kap genom stammen har uttagits från momentkurvan. Den gröna kurvan beskriver momentet och den lila kurvan dess förändring. De röda ofyllda cirkelarna till vänster representerar möjliga starter med den blå som vald startpunkt. De blå ofyllda cirkelarna till höger representerar möjliga stoppunkter med den röda som vald och den svarta som visar var noll moment fås.

Kaptiden för kap genom stammen fås därför genom att subtrahera sluttiden med starttiden, se ekvation nedan.

$$t_{kap} = t_{kap\ slut} - t_{kap\ start}$$

Denna indirekta bestämning av tiden för kap genom stammen uppvisade ett mycket starkt samband med kaptiden utifrån filmmaterialet från höghastighets-kameran (se Resultatsektionen).

Alla beräknade parametrar per kap har utgått från denna metodik att bestämma tidsmässig start- och stopposition för kapet genom stammen. Detta har möjliggjort en snabb, automatiserad analys av varje enskilt kap. Sampeltiden för styrenheten var inställd på 5ms, dock uppvisade den faktiska sampeltiden vissa avvikelser, och därför gjordes en integrering och division med totaltiden istället för att beräkna ett konventionellt medelvärde.

Nedanstående formler användes för beräkning av momentan effekt under kapen samt genomsnittlig energiåtgång, vridmoment och varvtal per kap. I samtliga fall användes informationen från vridmomentgivaren för att identifiera start och stoppunkt för kapet genom stammen.

Uteffekt [kW] = Sågmotorns vridmoment [N] x Sågmotorns varvtal [varv/ minut] x $2\pi/60/1000$.

Utenergin räknades fram genom att integrera uteffekten [kW] över kaptiden. Beräkningstekniskt gjordes detta som en summation av produkten av medelvärdet mellan varje intilliggande mätvärde och dess tidsskillnad (Δt_i [sekund]), se följande formel.

$$\text{Utenergi(kJ)} = \sum_i \frac{\text{Uteffekt}_i + \text{Uteffekt}_{i+1}}{2} \Delta t_i$$

Medel av vridmoment och varvtal under kap togs fram som ett viktat medelvärde genom integrering dividerat med den totala kaptiden, se formel nedan.

$$\text{Medel} = \frac{\sum_i \frac{x_i + x_{i+1}}{2} \Delta t_i}{t_{kap}}$$

där x representerar vridmoment eller varvtal.

Omräkning från varvtal till kedjehastighet skedde enligt följande formel:

Kedjehastighet [m/s] = Sågmotorns varvtal [varv/ minut] x antalet kuggar på drivhjulet (13 stycken) x kedjedelningsfaktorn (0,00034).

STATISTISK ANALYS

Stockarnas diameter och längd har en uppenbar effekt på förekomsten av kapsprickor. För att testa om skillnaderna i de mätta kapspricksparametrarna (andel, läge och längd) för de två svärden var statistiskt säkerställda, med hänsyn taget till de stockdimensionsskillnader som fanns, gjordes en variansanalys. Stocklängd och diameter användes då som kovariater i analysen (d.v.s. för att kompensera för skillnader i stockdimensioner mellan svärden) och det var stockdimensionerna i den föregående stocken, jämfört med på vilken stock kapspricksparametrarna mätts, som användes (se ovan). Följande modell anpassades:

$$y = d + l + s + e$$

där y är den analyserade kapspricksparametern, d är stockens toppdiameter, l är stocklängd, s är det svärd som stockarna kapades med och e är det slumpmässiga felet. I analysen beräknades minsta kvadratmedelvärden för de två svärden d.v.s. det genomsnittliga kapspricksvärdet för de två svärden efter kompenserande för skillnader i stockdimensioner. Vidare signifikantstades effekterna av diameter, stocklängd och svärd. Modelleffekter som inte var signifikanta togs bort från modellen i den slutliga analysen.

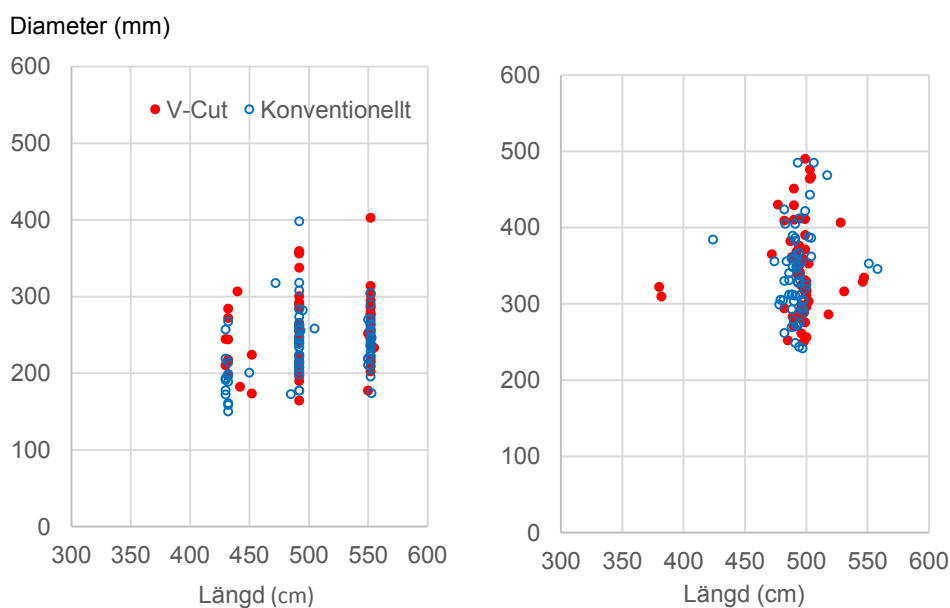
Uteslutna observationer

Efter en inledande analys och kontroll av data uteslöts mätdata från en trissa (1.2.1) som kapats med det konventionella svärdet på grund av att kaptiden för denna trissa var kraftigt förhöjd. Orsaken till den förhöjda kaptiden har inte gått att fastställa.

Resultat och Diskussion

STOCKDIMENSIONER

Längd- och diameterfördelningarna var likartade för stockar kapade med V-Cut, respektive konventionellt svärd vid de två försökstillfällena (Figur 13). För granstockar kapade under försökstillfälle 2 var skillnaden i genomsnittlig längd och diameter marginell mellan de två svärderna (Tabell 1b). För tallstockar, kapade under försökstillfälle 1, var dock stockar kapade med V-Cut i genomsnitt 18 millimeter grövre och 6 centimeter längre än stockar kapade med det konventionella svärdet (Tabell 1a). Stockarnas längd och diameter påverkar momentet som den utmatade stocken utövar och i analysen av kapspricksparametrarna har vi kompenserat för de skillnader som fanns i stockdimension mellan de två svärderna, se vidare nedan.



Figur 13. Längd- och diameterfördelning för tallstockar kapade med V-Cut och konventionellt svärd under försökstillfälle 2 (vänster figur) samt granstockar kapade med de två svärderna under försökstillfälle 1 (höger figur).

Tabell 1a.

Antal inmätta stockar samt genomsnittlig toppdiameter och längd per stocknummer och totalt för tallstockar kapade med de två svärderna vid försökstillfälle 2.

Stock nummer	V-Cut			Konventionellt		
	Antal stockar	Dia (mm)	Längd (cm)	Antal stockar	Dia (mm)	Längd (cm)
1	28	282	526	29	265	521
2	26	242	504	29	222	496
3	13	210	468	12	186	456
Totalt	67	252	506	70	234	500

Tabell 1b.

Antal inmätta stockar samt genomsnittlig toppdiameter och längd per stocknummer och totalt för granstockar kapade med de två svärden vid försökstillfälle 1.

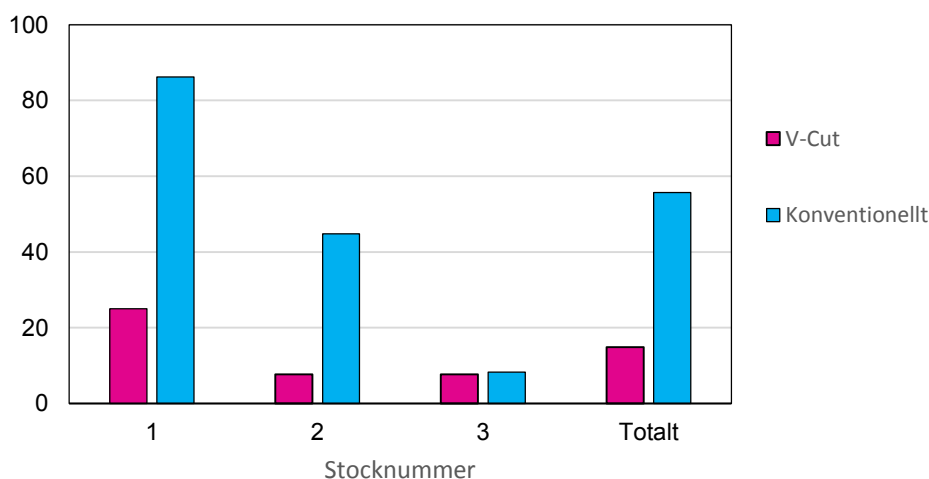
Stock nummer	V-Cut			Konventionellt		
	Antal stockar	Dia (mm)	Längd (cm)	Antal stockar	Dia (mm)	Längd (cm)
1	24	363	489	25	365	502
2	23	328	498	25	328	487
3	9	325	496	12	315	488
Totalt	56	342	494	62	341	493

FREKVENSEN KAPSPRICKOR

I Figur 14a och 14b redovisas andelen stockar med kapsprickor för stockar kapade med de två svärden. Stocknummer avsåg ordningsnummer för ”orsakande” stock det vill säga numret på den stock som gav upphov till den eventuella kapspricka som mättes in i efterföljande stocks rotände.

För både tall- och granstockar var den totala andelen kapsprickor lägre vid kapning med V-Cut än med konventionella svärd (Figur 14a, 14b). Efter kompensation för skillnader mellan svärden i stockdimension uppgick skillnaden mellan svärden för andelen stockar med kapsprickor till 49,5 och 52,8 procentenheter för tall- respektive granstockar (Tabell 2). Annorlunda uttryckt var andelen kapsprickor 5,7 respektive 3,0 gånger lägre vid kapning med V-Cut än med konventionellt svärd. Skillnaden mellan svärden i genomsnittlig andel stockar med kapsprickor var statistiskt säkerställd med en mycket hög grad av säkerhet vid båda försökstillfällena (Tabell 2).

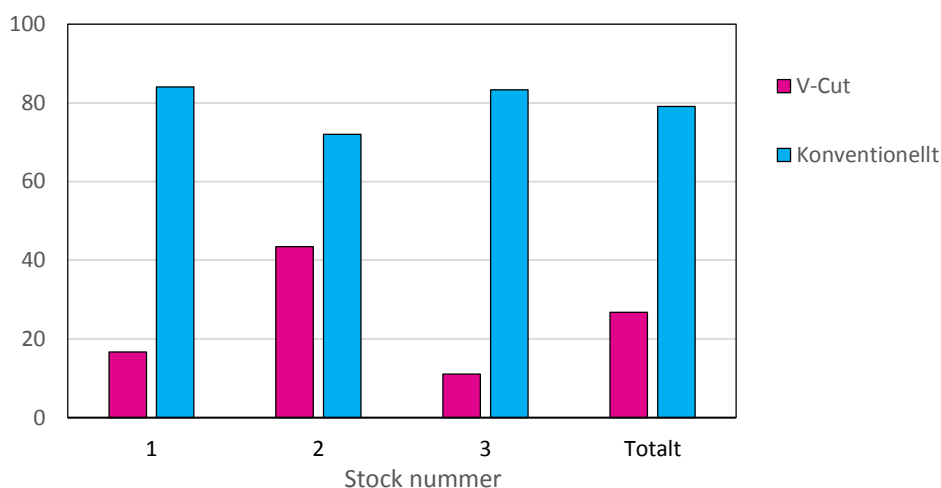
Andel stockar med kapsprickor (%)



Figur 14a).

Andelen stockar med kapsprickor för tallstockar kapade med V-Cut och konventionellt svärd under försökstillfälle 2. Stocknummer avser ordningsnummer för orsakande stock, se vidare texten.

Andel stockar med kapsprickor (%)



Figur 14b).

Andelen stockar med kapsprickor för granstockar kapade med V-Cut och konventionellt svärd under försökstillfälle 1. Stocknummer avser ordningsnummer för orsakande stock, se vidare texten.

Vid försökstillfälle 2 med tallstockar minskade andelen stockar med kapsprickor generellt med ökande stocknummer, det vill säga i takt med att stockarnas diametrar minskade (Figur 14a). Vid försökstillfälle 1 med granstockar var det däremot oväntat små skillnader i andel kapsprickor mellan stocknummer och sammantaget för de två svärden noterades högst andel kapsprickor för stock nummer 2 (Figur 14b). Vid försökstillfälle 1 gjordes avverkning i ett granbestånd som utsatts för stormarna Gudrun och Per och där intilliggande skog vindfällts. En möjlig förklaring till att andelen kapsprickor var oväntat hög i nummer 2 och 3 kan vara att vindbelastningen som träden utsatts för hade initierat försvagningar i veden vilka kom till uttryck i en generellt ökad sprickbenägenhet för stock nummer 2 och 3.

Tabell 2.

Minsta kvadratmedelvärden (Mkm) för andel kapsprickor för stockar kapade med de två svärden vid de två försökstillfällena (F1 och F2). Minsta kvadratmedelvärden uttrycker den genomsnittliga andelen kapsprickor för de två svärden efter kompensering för skillnader i stockdimensioner.

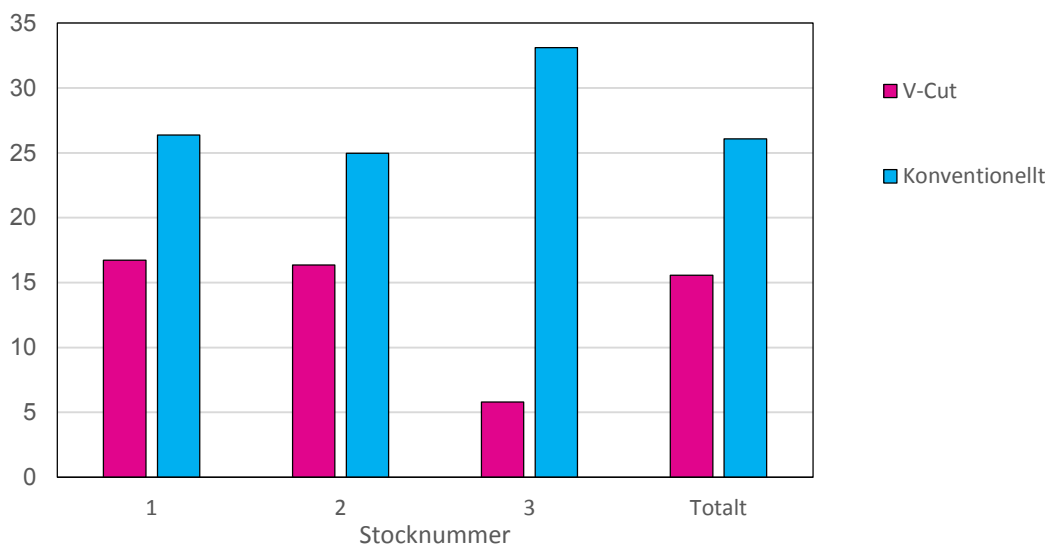
Försök	Försöksled	Mkm (%)	P-Värde ¹⁾
F2 - tall	V-Cut	10,5	< 0,0001
F2 - tall	Konventionellt	60,0	
F1 - gran	V-Cut	26,5	< 0,0001
F1 - gran	Konventionellt	79,3	

¹⁾ P-värdena anger att sannolikheterna för att de uppmätta skillnaderna mellan svärden i andel stockar med kapsprickor ska vara orsakade av slumpskäl är mindre än 0,01 procent.

KAPSPRICKORNAS LÄGE

I Figur 15a och 15b redovisas kapsprickornas läge i stockarnas tvärsnitt för de två svärd. Läget anger kapsprickornas genomsnittliga läge i förhållande till hur stor andel av stockarnas diameter som återstod att kapa då sprickorna bildades.

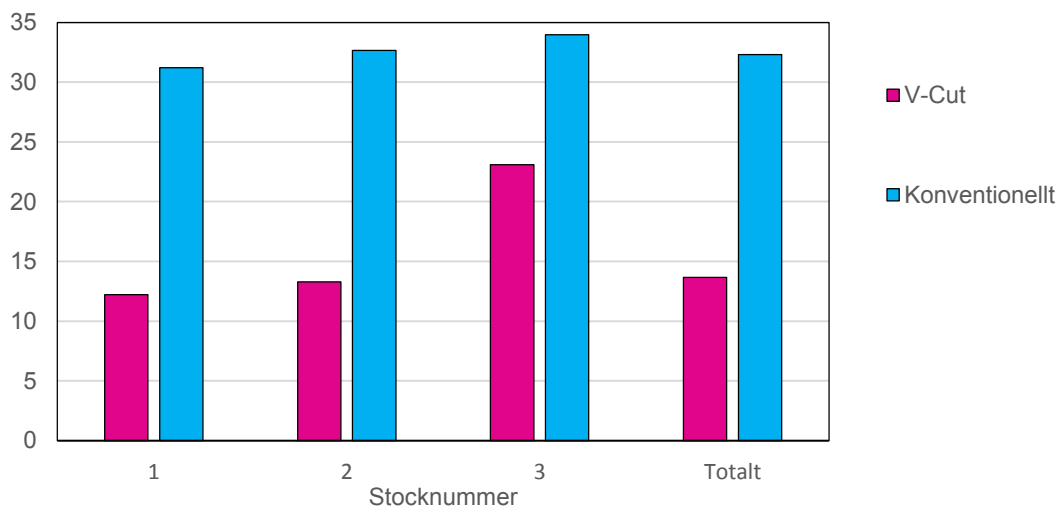
Läge (% av tvärsnittets diameter)



Figur 15a.

Genomsnittligt läge för kapsprickorna i procent av stockarnas diameter per stocknummer och totalt för tallstockar kapade med V-Cut och konventionellt svärd under försöksfall 2.

Läge (% av tvärsnittets diameter)



Figur 15b.

Genomsnittligt läge för kapsprickorna i procent av stockarnas diameter per stocknummer och totalt för granstockar kapade med V-Cut och konventionellt svärd under försöksfall 1.

För V-Cut bildades kapsprickorna då en lägre andel av diametern återstod att kapa i jämförelse med det konventionella svärdet. I genomsnitt över de två försökstillfällena återstod 14 procent av diametern att kapa då V-Cut användes medan motsvarande värde för det konventionella svärdet var 29,4 procent (Tabell 3). Skillnaden mellan svärden för kapsprickornas genomsnittliga läge i tvärsnittet var statistiskt säkerställt med en mycket hög grad av säkerhet vid båda försökstillfällena (Tabell 3).

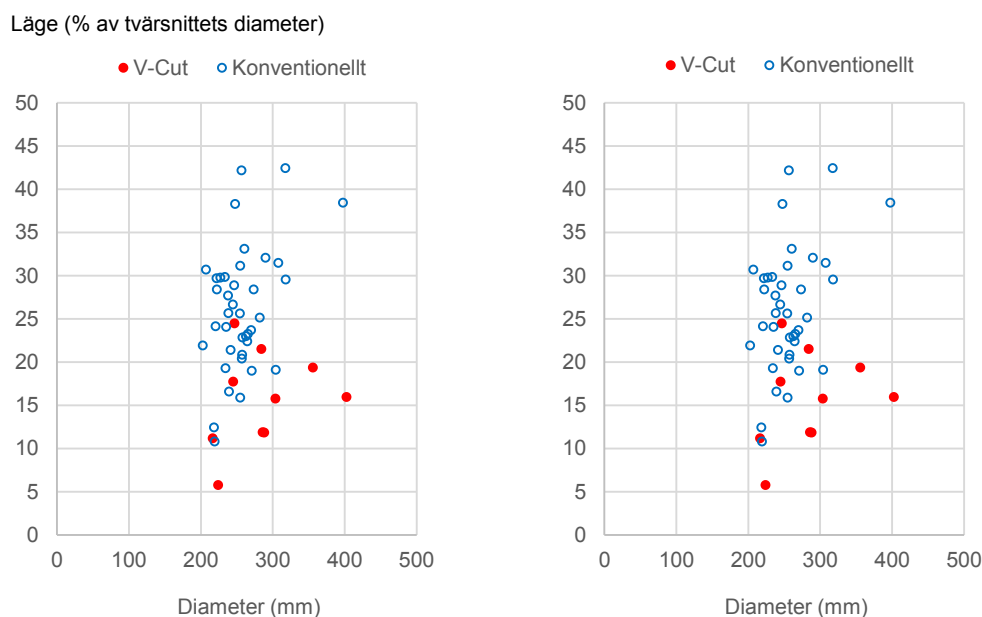
Tabell 3.

Minsta kvadratmedelvärden (Mkm) för kapsprickornas läge för stockar kapade med de två svärden vid de två försökstillfällena (F1 och F2). Minsta kvadratmedelvärden uttrycker det genomsnittliga läget för kapsprickorna för de två svärden efter kompensering för skillnader i stockdimensioner där läget är uttryckt som kapsprickornas läge i förhållande till hur stor andel av diametern som återstod att kapa då kapsprickorna bildades.

Försök	Försöksled	Mkm (%)	P-Värde ¹⁾
F2 - tall	V-Cut	14,3	< 0,0001
F2 - tall	Konventionellt	26,4	
F1 - gran	V-Cut	13,7	< 0,0001
F1 - gran	Konventionellt	32,3	

¹⁾ P-värdena anger att sannolikheterna för att de uppmätta skillnaderna mellan svärden i andel stockar med kapsprickor ska vara orsakade av slumpskäl är mindre än 0,01 procent.

I Figur 16 redovisas fördelningen av lägena i stockarnas tvärsnitt för kapsprickorna bildade vid kapning med de två svärden under försökstillfälle 1 och 2. För att en enskild kapspricka ska ligga utanför den vedvolym där centrumutbytena sågas krävs att kapsprickan, grovt räknat, bildas tidigast då cirka 15 procent av diametern återstår att kapa (Grönlund 1992; s. 51). För kapsprickor bildade vid kapning med V-Cut var 13 av totalt 25 kapsprickor (52 procent) bildade då *mindre* än 15 procent av diametern återstod att kapa. För kapsprickor bildade vid kapning med det konventionella svärdet var 76 av totalt 78 kapsprickor bildade då *mer* än 15 procent av diametern återstod att kapa. Jämförelsen indikerar alltså att en betydande del av kapsprickorna som bildas vid kapning med V-Cut inte kommer att påverka stockarnas centrumutbyten medan kapsprickor bildade vid kapning med konventionellt svärd nästan genomgående kommer att beröra stockarnas centrumutbyten.



Figur 16.
 Plott av kapsprickornas läge mot stockdiametern för tallstockar vid försökstillfälle 2 (vänster figur) samt för granstockar vid försökstillfälle 1 (höger figur). Läget anger kapsprickornas läge i förhållande till hur stor andel av diametern som återstod att kapa då kapsprickorna bildades.

KAPSPRICKORNAS LÄNGD

I Tabell 4 och 5 redovisas genomsnittlig och maximal spricklängd för stockarna kapade med de två svärden vid de två försökstillfällena; de genomsnittliga spricklängderna illustreras också i Figur 17. För samtliga stockar var vid båda försökstillfällena såväl genomsnittlig som maximal spricklängd kortare för stockar kapade med V-Cut än för stockar kapade med det konventionella svärdet. Det var dock enbart den uppmätta skillnaden i genomsnittlig spricklängd mellan svärden för tallstockarna från försökstillfälle 2 som var statistiskt säkerställd (Tabell 6); motsvarande skillnad mellan svärden för granstockarna från försökstillfälle 1 var inte statistiskt säkerställd utan låg inom felmarginalen.

Tabell 4.

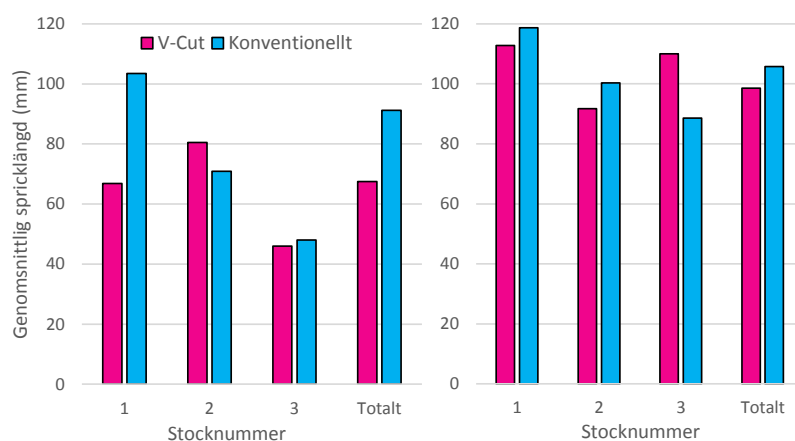
Antal tallstockar med kapsprickor samt genomsnittlig och maximal spricklängd per stocknummer och totalt för stockar kapade med V-Cut och konventionellt svärd under försökstillfälle 2.

Stock-nummer	V-Cut			Konventionellt		
	Antal	Medel (mm)	Max (mm)	Antal	Medel (mm)	Max (mm)
1	7	67	118	25	103	213
2	2	81	106	13	71	114
3	1	46	46	1	48	48
Totalt	10	68	118	39	91	213

Tabell 5.

Antal granstockar med kapsprickor samt genomsnittlig och maximal spricklängd per stocknummer och totalt för stockar kapade med V-Cut och konventionellt svärd under försökstillfälle 1.

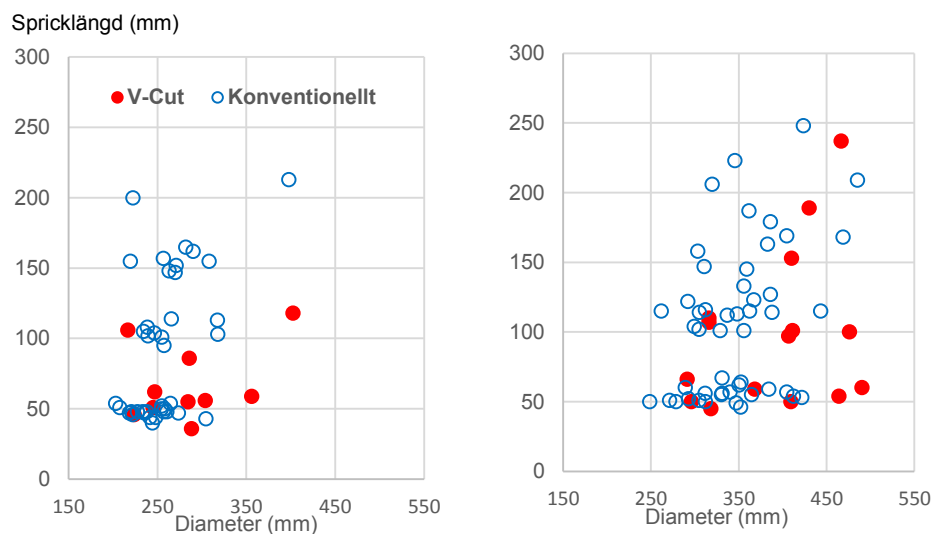
Stock-nummer	V-Cut			Konventionellt		
	Antal	Medel (mm)	Max (mm)	Antal	Medel (mm)	Max (mm)
1	4	113	237	21	119	223
2	10	92	189	18	100	248
3	1	110	110	10	89	158
Totalt	15	99	237	49	106	248



Figur 17.

Genomsnittlig spricklängd per stocknummer och totalt för tallstockar kapade med V-Cut och konventionellt svärd vid försökstillfälle 2 (vänster figur) samt för granstockar kapade med de två svärderna under försökstillfälle 1 (höger figur).

I Figur 18 redovisas en plot av kapsprickornas längd mot diametern på de orsakande stockarna för de två svärderna. För båda svärderna fanns en svag tendens till ökande spricklängd med ökande stockdiameter.



Figur 18.

Plott av spricklängd mot stockdiametern för tallstockar kapade med V-Cut och konventionellt svärd vid försökstillfälle 2 (vänster figur) samt för granstockar vid försökstillfälle 1 (höger figur).

Tabell 6.

Minsta kvadratmedelvärden (Mkm) för kapsprickornas längd för stockar kapade med de två svärderna vid de två försökstillfällena (F1 och F2). Minsta kvadratmedelvärden uttrycker den genomsnittliga längden för kapsprickorna för de två svärderna efter kompensation för skillnader i stockdimensioner.

Försök	Försöksled	Mkm (mm)	P-Värde ¹⁾
F2 - tall	V-Cut	57,0	< 0,027
F2 - tall	Konventionellt	93,9	
F1 - gran	V-Cut	86,5	< 0,157
F1 - gran	Konventionellt	109,4	

¹⁾ P-värdena anger att sannolikheterna för att de uppmätta skillnaderna mellan svärderna i genomsnittlig kapsprickslängd ska vara orsakade av slumpskäl är 2,7, respektive 15,7 procent.

EFFEKTER PÅ FÖREKOMSTEN AV KAPSPRICKOR – SAMLAD DISKUSSION

Den effekt som V-Cut-svärdet uppvisat på förekomsten av kapsprickor i vår studie kan sammanfattas enligt följande:

- En stark, statistiskt säkerställd, reducerande effekt på andelen stockar med kapsprickor.
- En stark, statistiskt säkerställd, gynnsam effekt på kapsprickornas läge i stockarnas tvärsnitt.
- En tendens till reducerande effekt på kapsprickornas längd. Denna effekt var dock svagare och statistiskt säkerställd enbart i ett av försöken.

Vår uppfattning är att dessa effekter orsakas av det förändrade sågmönster som V-Cut-svärdet ger upphov till. Vår tolkning är att den vertikala kilen med intakta vedfibrer som utbildas under kapförloppet motverkar momentet från den fritt hängande stocken vilket ger upphov till den observerade minskningen av andelen stockar med kapsprickor. På samma sätt är vår tolkning att den vertikala kilen med intakta vedfibrer senarelägger sprickinitieringen under kapförloppet för stockar som spricker vilket kommer till uttryck i en förskjutning av det genomsnittliga läget för sprickorna mot stocktvärsnittens ytterkanter.

Hur generella är de effekter av V-Cut-svärdet som konstaterats?

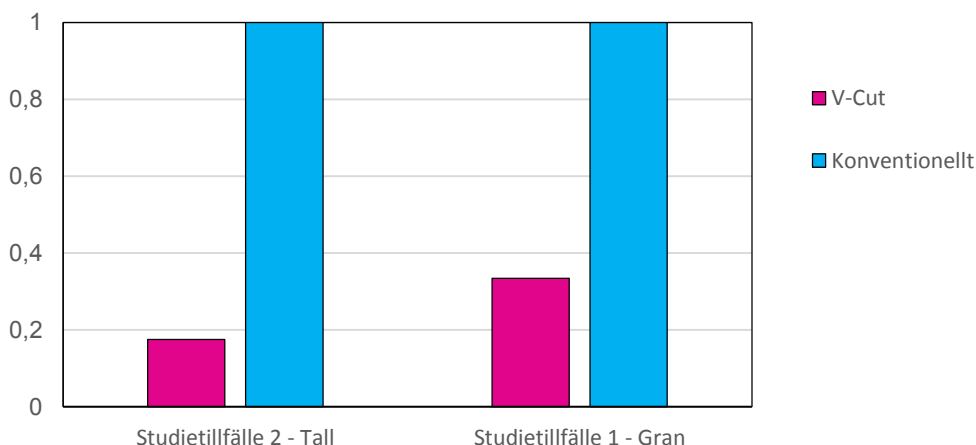
I det material som användes i vår studie var effekterna av V-Cut-svärdet på kapsprickornas läge och frekvens statistiskt säkerställda med en mycket hög grad av säkerhet. Stockdimensionerna påverkar dock risken för kapsprickor och för att bedöma våra resultatets generaliserbarhet är det viktigt att undersöka i vad mån dimensionssammansättningen för stockarna i vår studie återspeglade den som förekommer för timmerstockar i Sverige.

Försöksmaterialet i vår studie var sammansatt av stockar där huvuddelen av tallstockarna hade toppdiametrar inom intervallet 18 till 30 cm medan huvuddelen av granstockarna återfanns inom intervallet 24 till 40 cm (Figur 13). För svenskt sågtimmer av tall och gran har den volymmässigt övervägande delen av stockarna toppdiametrar inom intervallet 17 till 27 cm (Grönlund, 1992). Utifrån denna jämförelse drar vi slutsatsen att diameterfördelningen hos tallmaterialet i vår studie väl återspeglade den som förekommer i svenskt skogsbruk. Däremot var granmaterialet i vår studie sammansatt av stockar med toppdiametrar som var grövre än de som är vanligen förekommande i svenskt timmer. Detta innebär att generaliserbarheten av de effekter som konstaterats i vår studie är mer osäkra för gran och kompletterande studier är extra viktiga att genomföra för detta trädslag.

Vilken effekt kan V-Cut-svärdet förväntas ha på förekomsten av kapsprickor vid produktionskörning?

Vår studie genomfördes uteslutande vid kapning av fritt hängande stockar utan tagning av stöd och frekvensen kapsprickor låg därmed logiskt på en högre nivå än den nivå som noterats vid produktionskörning (t.ex. Tegenlöv, 2010). De siffror som redovisats över minskningen av andelen kapsprickor med V-Cut-svärdet (Tabell 2) kan därmed inte direkt överföras till produktionsförhållanden utan det är *relationen* mellan andelen kapsprickor för de två svärden som bör utnyttjas för prognossyften (Figur 19). Relationsmättet kan användas för att prognostisera minskningen av andelen kapsprickor i produktionskörning då ett konventionellt svärd ersätts av V-Cut och under förutsättning att andra faktorer som påverkar kapspricksfrekvensen inte förändras (t.ex. förarens körstil, stockdimensioner och status för den tekniska utrustningen).

Relativ andel kapsprickor

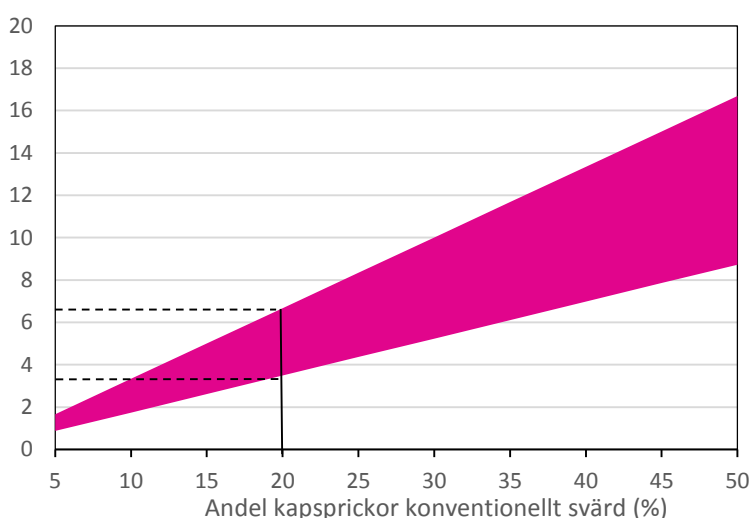


Figur 19.

Relativ andel stockar med kapsprickor vid kapning med V-Cut-svärd och konventionellt svärd vid de två försökstillfällena (se Tabell 2 för ursprungsdata). Den relativa andelen kapsprickor är uttryckt så att andelen kapsprickor vid kapning med det konventionella svärdet är satt till 1,0 inom varje försökstillfälle.

Exempelvis innebär ovanstående för ett skördarlag som har 20 procent kapsprickor vid användning av konventionella svärd att den förväntade andelen kapsprickor efter byte till V-Cut-svärd skulle hamna inom intervallet 3 till 7 procent. Till detta ska adderas den andra huvudeffekten av V-Cut-svärdet, det vill säga att en väsentlig andel av sprickorna sid kapning med V-Cut kan förväntas hamna utanför stockarnas centrumutbyten. Sammantaget indikerar ovanstående exempel över de förväntade effekterna i produktionsmiljö att V-Cut-svärdet drastiskt kan minska problematiken kring kapsprickor och därmed bidra till ett ökat virkesvärde. Det är dock angeläget att denna prognos kan valideras genom att utökade studier/uppföljningar genomförs.

Prognosticerad andel kapsprickor V-Cut (%)



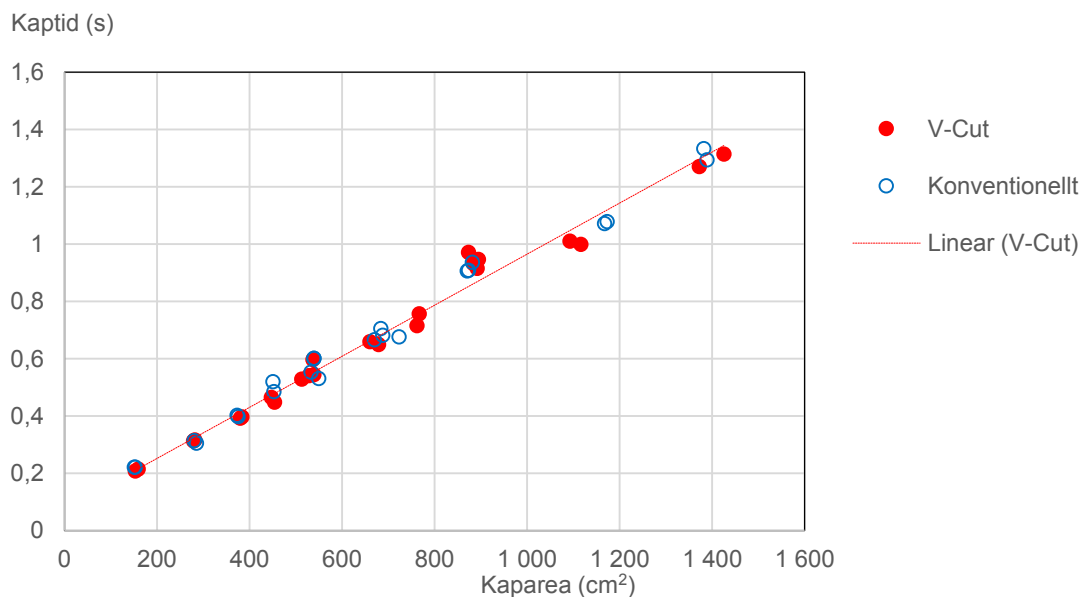
Figur 20.

Prognostiserad andel kapsprickor i produktionskörning då ett konventionellt svärd ersätts av V-Cut. Heldragna och streckade svarta linjer indikerar ett fall då andelen kapsprickor vid kapning med konventionellt svärd är 20 procent. Prognostiserad andel kapsprickor efter byte till V-Cut-svärd hamnar då inom intervallet 3 till 7 procent. Prognosen förutsätter att andra faktorer som påverkar kapspricksfrekvensen inte förändras vid svärdsbytet (t.ex. förarens körstil, stockdimensioner och status för den tekniska utrustningen).

KAPTID

I Figur 21 redovisas sambandet mellan kaparea och kaptid för de två svärden baserat på mätningarna av kaptid på filmerna från höghastighetskameran. Det redovisade kaptidsmåttet relaterar till tiden från det att kedjan gick in i barken till dess att genomkapning skett. För detta kaptidsmått uppvisade de två svärden mycket likartade kaptider över hela det studerade kapareaintervall. Area-intervall sträckte sig från 150 cm² till 1500 cm² vilket motsvarar diametrar mellan 14 cm och 44 cm.

Närmare granskning av regressionsekvationerna för sambanden mellan kaparea och kaptid för de två svärden bekräftade att kaptiderna för svärden var mycket likartade (Tabell 7). Parametern som beskriver linjernas lutning var för båda svärden 0,00089 och det var enbart marginell skillnaden mellan svärden för parametern som beskriver var linjen skär y-axeln.



Figur 21. Sambandet mellan kaparea och kaptid vid kapning med V-Cut och konventionellt svärd. I figuren är regressionslinjen för sambandet mellan kaparea och kaptid utritat för V-Cut. Motsvarande regressionslinje för det konventionella svärdet är närmast identisk.

Vår studie genomfördes på stockar som delvis torkat (se avsnittet ”Mätningar av kaptid och energiåtgång”) vilket bör ha inverkat mot en generellt förhöjd kaptid i jämförelse med om helt färsk ved använts (Inberg 2002). Detta bör beaktas vid en betraktning av de absoluta värdena över kaptid för de två svärd. Dock har vi inte funnit någon faktor kopplad till studiens genomförande på uttorkade stockar som har en sannolik inverkan på jämförelsen av kaptid mellan de två svärd. Baserat på ovanstående data och resonemang drar vi slutsatsen att tiden för kap genom stocken är likartad vid användning av V-Cut som vid användning av ett konventionellt svärd. Användning av V-Cut i skördaraggregat kan därigenom inte förväntas ge upphov till någon negativ inverkan på tidsåtgången för skördarnas kapmoment.

Tabell 7.

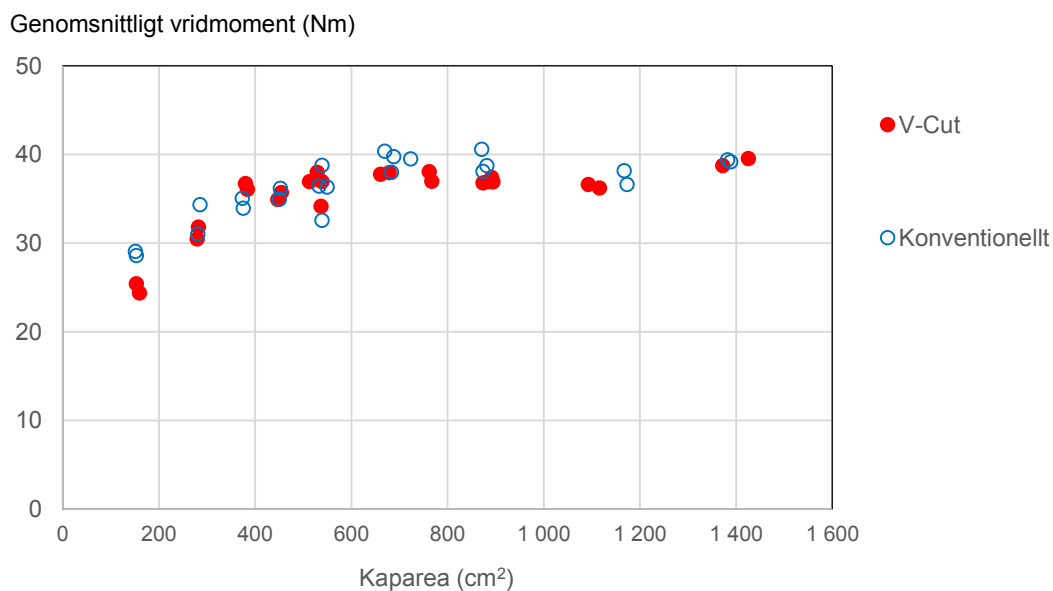
De två svärdens regressionsekvationer för sambandet mellan kaparea och kaptid samt modellernas förklaringsgrader.

Svärd	Regressionsekvation ¹⁾	R ²
V-Cut	Kaptid = 0,0745 + 0,00089 × kaparea	0,98
Konventionellt	Kaptid = 0,0845 + 0,00089 × kaparea	0,99

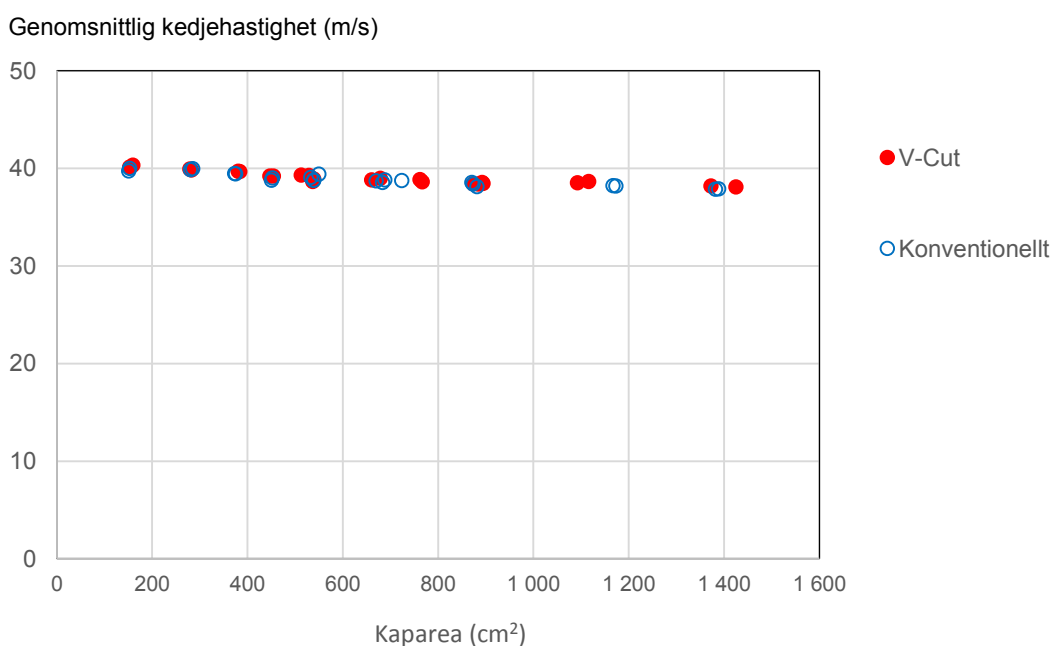
¹⁾ Enheterna för kaptid och kaparea är sekunder respektive cm².

ENERGIÅTGÅNG

I vår studie beräknades den totala energiåtgången per kap genom en summering av den momentana effekten från det att kedjan gick in i barken till dess att trissan avskilts från stocken. Den momentana effekten var beräknad utifrån mätningarna av vridmoment och varvtal och i Figur 22 och 23 redovisas sambanden mellan kaparea och genomsnittligt vridmoment respektive kaparea och genomsnittligt varvtal (uttryckt som kedjehastighet) för de två svärd.



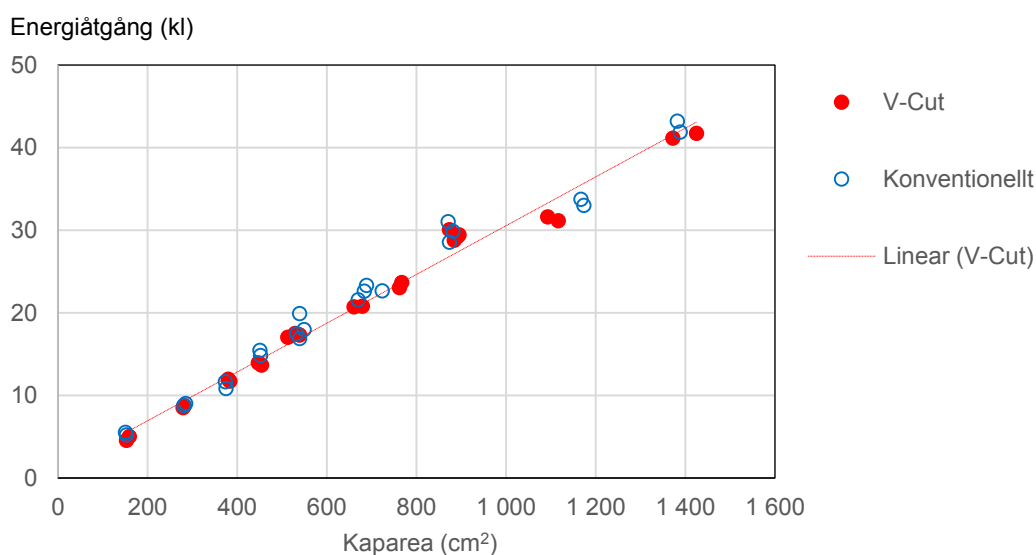
Figur 22. Sambandet mellan kaparea och genomsnittligt vridmoment vid kapning med V-Cut och konventionellt svärd.



Figur 23. Sambandet mellan kaparea och genomsnittlig kedjehastighet vid kapning med V-Cut och konventionellt svärd.

Den generella trenden för det genomsnittliga vridmomentet var en ökning med ökande kaparea upp till cirka 600 cm² (motsvarar 28 cm) följt av en stabilisering på en konstant nivå. Den genomsnittliga kedjehastigheten avtog generellt med ökande kaparea från 40 m/s vid en kaparea på 200 cm² (~16 cm diameter) till cirka 38 m/s vid 1 400 cm² (~42 cm diameter). För båda svärden var dock sambanden mellan kaparea och vridmoment samt kaparea och kedjehastighet likartade vilket indikerar att den momentana effekten varit likartad vid kapning med de två svärden.

Den totala energiåtgången per kap är en funktion av den momentana effekten och kaptiden. Då både momentan effekt och kaptid var likartade för de två svärden resulterade detta i ett snarlikt samband mellan kaparea och energiåtgång för kapet genom stocken för de två svärden (Figur 24). Regressionssekvationerna för sambanden mellan kaparea och energiåtgång bekräftade att de två svärden hade ett liknande samband mellan kaparea och energiåtgång över det studerade areaintervallet (Tabell 8).



Figur 24. Sambandet mellan kaparea och energiåtgång för kapet genom stocken vid kapning med V-Cut och konventionellt svärd. I figuren är regressionslinjen för sambandet mellan kaparea och energiåtgång utritad för V-Cut. Motsvarande regressionslinje för det konventionella svärdet är närmast identisk.

Tabell 8. De två svärdens regressionssekvationer för sambandet mellan kaparea och energiåtgång per kap samt modellernas förklaringsgrader.

Svärd	Regressionssekvation ¹⁾	R ²
V-Cut	Energiåtgång = 1,0286 + 0,0295 × kaparea	0,98
Konventionellt	Energiåtgång = 1,4492 + 0,0298 × kaparea	0,99

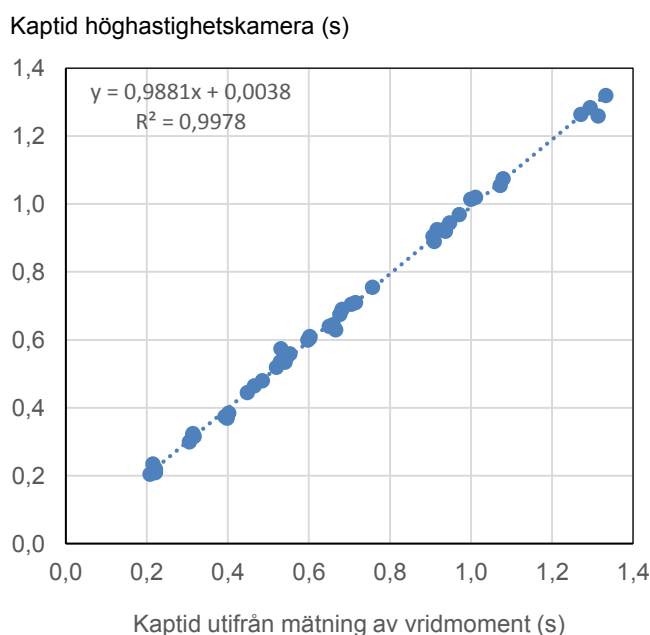
¹⁾ Enheterna för energiåtgång och kaparea är kJ respektive cm².

Utifrån data redovisade ovan drar vi slutsatsen att de två svärdens samband mellan kaparea och energiåtgång för kapet genom stocken är snarlika. Användning av V-Cut i skördaraggregat kan därigenom inte förväntas ge upphov till någon negativ inverkan på energiåtgången vid skördarnas kapmoment.

SAMBAND MELLAN OLIKA KAPTIDSMÅTT

I vår studie användes informationen från vridmomentgivaren för att i en automatiserad analys identifiera start- och stoppunkterna för kapet genom stammen. Denna indirekta bestämning av kaptiden användes vid summeringen av den momentana effekten per kap och därmed för beräkningen av energiåtgång.

Från Figur 25 framgår det att det var ett mycket starkt samband mellan den indirekta bestämningen av kaptid utifrån mätdata från vridmomentgivaren och kaptiden utifrån filmmaterialet från höghastighetskameran. Detta innebär att det är möjligt att med mycket hög precision bestämma den ”sanna” tiden för kapet genom stammen med hjälp av mätdata från vridmomentgivaren.



Figur 25.
Sambandet mellan kaptid utifrån mätningarna av vridmoment och kaptid utifrån filmmaterialet från höghastighetskameran.

Vidare studier

(Lista på saker som bedöms angelägna att studera vidare).

- Svärdsslitage vid produktionskörning
- Uppföljning av kapsprickor i produktionsmiljö t.ex. skördarlag som tidigare följts under längre tid med avseende på kapsprickor
- Kedjeslitage
- Frekvens stensågning vid fällning

Referenser

- Grönlund, A. 1992. Sågverksteknik del 1. Råvaran. Specialbok X-724. 137 s. ISBN 91-7322-724-2.
- Hallonborg, U. & Granlund, P. 1999. Färre kapsprickor med rätt teknik. Skogforsk Resultat, nr. 19. 4 s.
- Hallonborg, U. & Granlund, P. 2002. Virkesbehandling med engreppsskördare. Redogörelse från Skogforsk, nr. 3. 43 s.
- Hallonborg, U. & Nordén, B. 1999. Kapstöd ger färre kapsprickor och är lönsamt, trots prestationssänkning. Skogforsk Resultat, nr 11. 4 s.
- Helgesson, T. 1997a. Förekomst av kapsprickor hos sågtimmer upparbetat med skördare. Träteknik rapport nr. 9712100. 20 s.
- Helgesson, T. 1997b. Kapsprickor i sågtimmer, samband kapsprickor och avkap. Träteknik rapport nr 9712101. 13 s.
- Inberg, J. 2002. On eliminating cutting damage by advanced control of timber cutting process. Doktorsavhandling. Tammerfors Universitet rapport nr. 158. 113 s.
- Möller J. J, Arlinger, J., Hannrup B. & Jönsson P. 2008. Virkesvärdestest 2006. Redogörelse från Skogforsk, nr. 5. 52 s.
- Skogforsk 1999. Gör din egen film om kapsprickor. Skogforsk Nytt nr. 1. 8 s.
- Tegenlöv, M. 2010. Det gör ont när stockar spricker. Examensarbete vid Skogsmästarprogrammet 2010:14. 30 s.
- Wilhelmsson, L. & Moberg, L. 2004. Viktsutredning – råvolymvikter. Prognos för medelvärden och spridningsmått med hjälp av beräkningsmodeller och vägning vid mätstationer. Arbetsrapport från Skogforsk, nr 569. 26 s.

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2014

2014

- Nr 817 John Arlinger, Torbjörn Brunberg, Hagos Lundström och Johan Möller. Jämförelse av JD1170E och JD1470E i slutavverkning hos SCA Skog AB hösten 2013. Comparison of JD1170E and JD1470E in final felling at SCA Skog AB, autumn 2013. 29 s.
- Nr 818 Bergkvist, I., Friberg, G., Mohtashami, S. & Sonesson, J. 2014. STIG-projektet 2010–2014. The STIG Project, 2010–2014. 19 s.
- Nr 819 Björheden, R. 2014. Studie av Fixteri FX15a klenträdsbuntare. Study of Fixteri FX15a small-tree bundling unit.
- Nr 820 Löfroth, C. & Brunberg, T. 2014. Bränsleförbrukningen hos rundvirkesfordon 2008 och 2013. Fuel consumption of roundwood vehicles in 2008 and 2013. 12 s.
- Nr 821 Jönsson, P., Hannrup, B., Gelin, O. & Löfgren, B. 2014. Utvärdering av sågenheten R5500 med avseende på kaptid och energiåtgång. Evaluation of the R5500 sawing unit in terms of bucking time and fuel consumption. 24 s.
- Nr 822 Eliasson, L. & Johannesson, T. 2014. Effekten av olika bottensäll på prestation, bränsleförbrukning och flisens fraktionsfördelning för flishuggarna Kesla 645 och Eschlböck Biber-92. – Effects of sieve size on chipper productivity, fuel consumption and chip size distribution for the chippers Kesla 845 and Eschlböck Biber-92. 18 s.
- Nr 823 Eliasson, L., Lombardini, C., Granlund, P., Magagnotti, N. & Spinelli, R. 2014. Prestation och bränsleförbrukning för en lastbilsmonterad Pezzolato PTH 1200/820 flishugg. – Performance and fuel consumption of a truck-mounted Pezzolato PTH 00/820 chipper. 12 s.
- Nr 824 Iwarsson-Wide, M. Grönlund, Ö. 2014. Lastindikatorer och lastbärrvågar. 15 s.
- Nr 825 Sikström, U. 2014. Föryngring av gran under högskärm: Försöksverksamhet vid Bergvik Skog – Uppföljning 2013.
- Nr 826 Englund, M. 2014. Mätning av mental arbetsbelastning – En metodstudie. 27.
- Nr 827 Jönsson, P., Björheden, R. & Eliasson, L. 2014. Destinering och lägesbyten för att effektivisera transportererna av skogsflis.
- Nr 828 Barth, A., Holmgren, J., Wilhelmsson, L. & Nordström, M. 2014. Evaluation of single tree based estimates with terrestrial laser scanning in Sweden.
- Nr 829 Jacobson, S. Asktilförsel och dess påverkan på trädens tillväxt och näringsstatus – Revision av sex fältförsök. 32 s.
- Nr 830 Björheden, R. 2014. Proceedings of the Nordic Baltic Conference OSCAR14 Solutions for Sustainable Forestry Operations, June 25-27, NOVA Park Conference, Knivsta, Sweden.
- Nr 831 Widingshoff, J. 2014. Kontinuerlig uppföljning av drivmedelsförbrukning och lastfyllnadsgrad för ETT- och ST-fordon. – Continual monitoring of fuel consumption and load utilisation of ETT- and ST-vehicles. 21 s.
- Nr 832 Fridh, L. 2014. Utvärdering av fukthaltsmätare METSO MR Moisture Analyser. Evaluation of the METSO MR Moisture Analyser. 8 s.
- Nr 833 Eliasson, L., Lundström, H. & Granlund, P. 2014. Bruks 806 STC. – En uppföljande studie av prestation och bränsleförbrukning. – A performance and fuel consumption when chipping logging residues of beech 10 s.

- Nr 834 Sonesson, J., Berg, S., Eliasson, L., Jacobson, S., Widenfalk, O., Wilhelmsson, L., Wallgren, M. & Lindhagen, A. SLU. Konsekvensanalyser av skogsbrukssystem. – Täta förband i tallungskogar. 105 s.
- Nr 835 Eliasson, L. 2014. Flisning av bränsleved och delkvistad energived med en stor trumhugg-CBI6400.
- Nr 836 Johansson, F., Grönlund, Ö., von Hofsten, H. & Eliasson, L. 2014. Huggbilshaverier och dess orsaker. – Chipper truck breakdowns and their causes. 12 s.
- Nr 837 Rytter, L. & Lundmark, T. 2014. Trädslagsförsök med inriktning på biomassaproduktion – Etapp 2. – Tree species trial with emphasis on biomass production. 20 s.
- Nr 838 Skutin, S.-G. 2014. Simulering av TimberPro drivare med lastanordning i slutavverkning.
- Nr 839 Fridh, L. 2014. Evaluation of the METSO MR Moisture Analyser. – Utvärdering av fukthaltsmätare METSO MR Moisture Analyser. s. 8.
- Nr 840 Andersson, G. & Svenson, G. 2014. Viktsutredningen del 2. Vägning för transportvederlag.
- Nr 841 Mullin, T. J. 2014. OPSEL 1.0: a computer program for optimal selection in forest tree breeding. s. 20.
- Nr 842 Persson, T. & Ericsson, T. 2014. Projektrapport. Genotyp – Miljösamspel hos tall i norra Sverige. – Projektnummer 133. 12 s.
- Nr 843 Westin, J., Helmersson, A. & Stener, L.-G. 2014. Förädling av lärk i Sverige – kunskapsläge och material. 55 s.
- Nr 844 Hofsten von, H., Nordström, M. & Hannrup, B. 2014. Kvarlämnade stubbar efter stubbskörd. – Stumps left in the ground after stump harvest 15 s.
- Nr 845 Pettersson, F. 2014. Röjnings- och gallringsförbandets samt gödslingsregimens (ogödslat/gödslat) effekter i tallskog på skogsproduktion och ekonomi. 69 s.
- Nr 846 Pettersson, F. 2014. Behovet av borttillsel vid kvävegödsling av barrskog på fastmark. 32 s.
- Nr 847 Johannesson, T. 2014. Grövre bränsle en omöjlig uppgift? 13 s.
- Nr 848 Johannesson, T. 2014. Simulering av TimberPro drivare med lastanordning i slutavverkning Biomass Harvest and Drying Education Fond du Lac Reservation Cloquet, Minnesota. 13 s.
- Nr 849 Jönsson, P., Eliasson, L. & Björheden, R. 2014. Location barter may reduce forest fuel transportation cost. Destinerings- och lägesbyten för att effektivisera transportererna av skogsflis. s. 10.
- Nr 850 Englund, M., Haggström, C., Lundin, G. & Adolfsson, N. 2014. Information, struktur och beslut, – en studie av arbetet i gallringsskördare och skördetröska.
- Nr 851 Berlin, M., Ericsson, T. & Andersson-Gull, B. 2014. 57 s.
- Nr 852 Jansson, G. & Berlin, M. 2014. Genetiska korrelationer mellan tillväxt- och kvalitetsegenskaper – Genetic correlations between growth and quality traits. 26 s.
- Nr 853 Hofsten von, H. 2014. Utvärdering av TL-GROT AB's stubbaggregat. 10 s. – Evaluation of the TL-GROT AB stump harvest. 10 s.
- Nr 854 Iwarsson Wide, M., Nordström, M. & Backlund, B. 2014. Nya produkter från skogsråvara-En översikt av läget 2014. – New products from wood raw material-Status report 2014. 62 s.
- Nr 855 Willén, E. & Fridh, L. 2014. Mobilt mätsystem för insamling av träd- och beståndsdata. – Mobile measurement system for collecting tree and stand data. 33 s.

År 2015

- Nr 856 Widinghoff, J. 2015. Logistiklösning för delkvistat sortiment – Lätta skyddsplåtar på virkesbilar för transport av träddeklar och delkvistade sortiment. – Lightweight side-shields on timber trucks transporting partly delimbed energy wood. 15 s.
- Nr 857 Hannrup B, Bhuiyan N. Möller J.J. 2015. Rikstäckande utvärdering av ett system för automatiserad gallringsuppföljning.
- Nr 858 Frisk, M., Rönnqvist, M. & Flisberg, P. 2015. Vägrust – Projektrapport. 2015. – Vägrust – Project Report. 48 s.
- Nr 859 Asmoarp, V. & Jonsson, R. 2015. Fokusveckor 2014. Bränsleuppföljning för tre fordon inom ETT-projektet, ST-RME, ETT1 och ETT2. – Monitoring fuel consumption of three rigs in the ETT project: ST-RME, ETT1 and ETT2 42 s.
- Nr 860 Ring, E., Bishop, K., Eklöf, L., Högbom, L., Laudon, S., Löfgren, J., Schelker, R. & Sørensen, R. 2015. The Balsjö Catchment Study – Experiental set-up and collected data. 50 s.
- Nr 861 Asmoarp, V., Nordström, M. & Westlund, K. 2015. Stämmer väglagervolymerna? – En fallstudie inom projektet “Skogsbrukets digitala kedja”. 17 s.
- Nr 862 Möller, J.J., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2015. Utveckling och test av beslutsstöd vid automatiserad gallringsuppföljning. 38 s.
- Nr 863 Jonsson, R. 2015. Prestation och kvalitet i blädning med skördare och skotare. – Performance and costs in selective harvesting with harvester and forwarder. 27 s.
- Nr 864 Englund, M., Adolfsson, Niklas., Mörk, A., & Jönsson, P. 2015. Distribuerad arbetsbelysning – LED öppnar nya möjligheter för belysning hos arbetsmaskiner.
- Nr 865 Hofsten von, H. & Funck, Johanna 2015. Utveckling av HCT-fordon i Sverige. – HCT, heavier vehicle, truck design, ST, ETT. 28 s.
- Nr 866 Fridh, L. 2015. Utvärdering av fukthaltmätare PREDIKTOR Spektron Biomass. – Evaluation of the Prediktor Spektron Biomass moisture content analyser. 10 s.
- Nr 867 Fridh, L. & Öhgren, J. 2015. Förstudie Automatisk skäppmätning av flis med laser.
- Nr 868 Eriksson, A., Hofsten von, H. & Eliasson, L. 2015. Systemkostnader, logistik och kvalitetsaspekter för sju försörjningskedjor för stubbränslen. – System costs, logistics and quality aspects relating to seven supply chains for stump fuel. 29 s.
- Nr 869 Grönlund, Ö. & Iwarsson Wide, M. 2015. Uttag av skogsbränsle vid avveckling av lågskärmar av björk.
- Nr 870 Englund, M., Lundström, H., Brunberg, T. & Löfgren, B. 2015. Utvärdering av head up-display för visning av apteringsinformation i slutavverkning. 15 s.
- Nr 871 Grönlund, Ö., Iwarsson Wide, M., Hjerpe, T. och Sonesson, J. 2015. Skadeförekomst efter tidig gallring. 12 s.
- Nr 872 Fogdestam, N. & Löfroth, C. 2015 ETTdemo, demonstration av ETT- och ST-fordon. ETTdemo, demonstration of ETT- and ST-vehicles. 34 s.
- Nr 873 Fridh, L. 2015. Produkttegenskaper för skogsbränsle. – Förslag till indelning, struktur och definitioner. – Forest fuel product characteristics- proposal for categories, structure and definitions. 46 s.
- Nr 874 Enström, J. 2015. Möjligheter till inrikes sjötransporter av skogsbränsle. 22 s.
- Nr 875 Grönlund, Ö. & Iwarsson Wide, M. 2015. Uttag av skogsbränsle vid avveckling av lågskärmar av björk. 15 s.

- Nr 876 Jacobson, S. 2015. Lågskärm av björk på granmark – Modellerings av beståndsutveckling och ekonomisk analys. – The use of birch as a shelter in young Norway spruce stands – Modelling stand development and economic outcome. 39 s.
- Nr 877 Grönlund, Ö., Iwarsson Wide, M., Englund, M. & Ekelund, F. 2015. Sektionsgallring en arbetmetod för täta klena gallringar.
- Nr 878 Eliasson, L. & Nilsson, B. 2015. Skotning av GROT direkt efter avverkning eller efter hyggeslagring. – Forwarding of logging residue immediately after felling or after storage on the clear-cut. – Effects on nutrient extraction, needle shedding, and moisture content. 10 s.
- Nr 879 Eriksson, B., Widinghoff, J., Norin K. & Eliasson, L. 2015. Processkartläggning – Ett verktyg för att förbättra försörjningskedjor. – Process mapping – a tool for improving supply chains.
- Nr 880 Möller, J.J., Nordström, M. & Arlinger, J. 2015. Förbättrade utbytesprognoser. – En förstudie genomförd hos SCA, Sveaskog och Södra. – Improved yield forecasts – a pilot study by SCA, Sveaskog and Södra. 14 s.
- Nr 881 von Hofsten, H. 2015. Vägning med hjälp av inbyggda vågar i fjädringen på lastbilar. – Payload weighing using onboard scales connected to the air suspension of trucks. 10 s.
- Nr 882 Rosvall, O., Kroon, J. & Mullin, T.J. 2015. Optimized breeding strategies at equivalent levels of population diversity.
- Nr 883 Andersson, G. & Frisk, M. 2015. Jämförelse av prioriterat funktionellt vägnät och skogsbrukets faktiska transporter.
- Nr 884 Hannrup, B., Andersson, M., Henriksen, F., Högdahl, A., Jönsson, P. & Löfgren, B. 2015. Utvärdering av V-Cut – en innovation med potential att minska förekomsten av kapsprickor. – Evaluation of V-Cut – an innovative saw bar with potential to reduce the occurrence of bucking splits. 32 s.

SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

arbetar för ett lönsamt, uthålligt mångbruk av skogen. Bakom Skogforsk står skogsföretagen, skogsägareföreningarna, stiftelsen, gods, skogsmaskinföretagare, allmänningar m.fl. som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

FORSKNING OCH UTVECKLING

Två forskningsområden:

- Skogsproduktion
- Virkesförsörjning

UPPDRAG

Vi utför i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Det kan gälla utredningar eller anpassning av utarbetade metoder och rutiner.

KUNSKAPSFÖRMEDLING

För en effektiv spridning av resultaten används flera olika kanaler: personliga kontakter, webb och interaktiva verktyg, konferenser, media samt egen förlagsverksamhet med produktion av trycksaker och filmer.

Från Skogforsk nr. 884–2015



SKOGFORSK

www.skogforsk.se