

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 913 –2016

Avverkningskapacitet för sågkedjor – en jämförande studie

Cutting capacity of saw chains – a comparative study

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

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr.913-2016

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

Titel:

Avverkningskapacitet för sågkedjor – en jämförande studie.

Cutting capacity of saw chains – a comparative study.

Bildtext:

Sågkedjorna som utvärderades i studien.

Ämnesord:

Kaptid, energiåtgång, testrigg.

Cutting time, energy consumption, test rig.

Redigering och formgivning:

Ingegerd Hallberg

© Skogforsk 2016

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



Petrus Jönsson, fil.mag. Anställd vid Skogforsk sedan 2006. Arbetar i programmet Teknik- och Virke. Fokus ligger på dynamisk simulering och utvärdering av maskinsystem.



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



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



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.

Abstract

The aim of the study was to identify any differences in basic cutting capacity and energy consumption between the most common saw chain models on the market. Another aim was to examine whether sharpening brand new chains would have any effect on cutting time and energy consumption. All trials were carried out on the test rig built up at Skogforsk in Sävar.

The results revealed that the brand new chains varied by approximately 6% in terms of cutting time and energy consumption. The resharpened chain had a shorter cutting time (9%) and lower energy consumption (10%) than corresponding brand new chains. All these differences were statistically reliable with a very high degree of certainty.

Förord

Denna rapport sammanfattar resultat från studien ”*Avverkningskapacitet för sågkedjor – en jämförande studie*”. Studien har finansierats av medel från Skogforsks riktade tekniksatsning 2016 samt av Södras Stiftelse för Forskning, Utveckling och Utbildning.

Ljusdals sliptjänst slipade de omslipade kedjor som användes under studien. Iggesund Forest, Stihl och Svenska Blount bidrog med de fabriksnya kedjor som testades i studien. Sveaskog bidrog med de stockar som användes för kapning av trissor.

Nedanstående personer har varit kontaktpersoner från företagen:

Namn	Företag
Mats Nyberg	Ljusdals sliptjänst AB
Gustav Nyrén	Igesund Forest AB
David Johnsson	Svenska Blount AB
Claes Kindblom	Sveaskog Förvaltnings AB

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 samt kompetens kring injustering av motorn. Mikael Andersson, Fredrik Henriksen och Anders Högdahl, samtliga Skogforsk, utförde arbetet med att bygga upp och trimma in testriggen.

Mätningar och analys av datamaterial har utförts av en arbetsgrupp från Skogforsk bestående av Mikael Andersson, Fredrik Henriksen, Björn Hannrup och Petrus Jönsson. Fredrik Henriksen utvecklade de algoritmer som användes för bestämning av kaptid utifrån mätningar av sågmotorns vridmoment under kapförloppet.

Petrus Jönsson och Björn Hannrup har haft det övergripande ansvaret för planering och genomförande av studien.

Ett stort Tack till samtliga medverkande!

Uppsala 2016-09-29

Petrus Jönsson och Björn Hannrup

Innehåll

Förord	1
Sammanfattning.....	3
Inledning.....	4
Mål och avgränsningar.....	5
Material och metoder.....	6
Försöksupplägg.....	6
Material.....	8
Testriggens huvudkomponenter	9
Mätningar under kapförloppet.....	12
Övriga mätningar.....	14
Beräknade variabler	15
Statistisk analys.....	17
Uteslutna observationer.....	18
Resultat och diskussion	18
Kaptid och avverkningskapacitet	18
Energiåtgång.....	22
Svärdmatningstryck	24
Förklarande variabler	25
Sammanfattande diskussion.....	26
Slutsatser.....	27
Referenser.....	27
Bilaga 1 Definition av de vinklar som mättes på skärtänderna	29
Bilaga 2 Bilder av skärtänderna hos de utvärderade kedjemodellerna.....	31
Bilaga 3 Regressionsekvationer för sambanden mellan kaparea och kaptid.....	33
Bilaga 4 Plot av kaparea mot kaptid för fabriksnya kedjor	35
Bilaga 5 Plot av kaparea mot kaptid för de omslipade kedjorna	37

Sammanfattning

Kapning av trädstammar är en central uppgift i skördarnas arbete. Insatser som bidrar till att förkorta kaptiden har en potentiell positiv påverkan på såväl skördarnas produktivitet som virkesvärdet. En faktor med avgörande inverkan på skördarnas kaptid är sågkedjornas avverkningskapacitet. Det finns i dagsläget inga publicerade studier som med hjälp av objektiva data försökt belysa olika maskinsågkedjors avverkningskapacitet och energiåtgång.

Målet med studien var att klargöra ifall det finns några skillnader i grundläggande avverkningskapacitet och energiåtgång mellan de på marknaden vanligaste förekommande kedjemodellerna. Ett ytterligare mål var att studera hur slipning av fabriksnya kedjor påverkar kaptid och energiåtgång. Studien var avgränsad till att genomföras vid kapning av färskt, ofruset granvirke. Samtliga mätningar utfördes på den testrigg som byggts upp vid Skogforsk i Sävar.

I studien utvärderades fabriksnya kedjor från kedjemodellerna Carlton B8, Stihl RMH, Stihl RMHS och Oregon 18HX. Från varje kedjemodell användes två kedjor vilka hämtades från olika tillverkningsbatcher. För en av de fyra kedjemodellerna, Carlton B8, gjordes mätningar även på omslipade kedjor. Slipningen av dessa kedjor utfördes av Ljusdals sliptjänst enligt företagets ordinarie metod för slipning.

Mätningar gjordes vid kapning av trissor från sex granstockar med diametrar inom intervallet 127 till 377 millimeter. Totalt registrerades mätvärden från 23 kap per kedja, d.v.s. 46 kap per kedjemodell. Energiåtgången vid kapning bestämdes utifrån mätningar under kapförloppet av vridmoment och varvtal för sågmotorns utgående axel. Informationen om sågmotorns vridmoment användes även för bestämning av kaptiden med hjälp av algoritmer som identifierade start- och stoppunkterna för kapet genom stammen.

Resultaten från mätningarna kan sammanfattas enligt följande:

- Bland de fabriksnya kedjorna hade Carlton B8, Stihl RMH och Oregon 18HX närmast identisk kaptid och energiåtgång. Stihl RMHS hade kortare kaptid (~6 procent) och lägre energiåtgång (~7 procent) än övriga tre fabriksnya kedjor. Dessa skillnader var statistiskt säkerställda med en mycket hög grad av säkerhet.
- Den omslipade Carlton B8-kedjan hade kortare kaptid (~9 procent) och lägre energiåtgång (~10 procent) än den fabriksnya Carlton B8-kedjan. Dessa skillnader var statistiskt säkerställda med en mycket hög grad av säkerhet.
- Svärdmatningstrycket vid kapning var lägre för Stihl RMHS och den omslipade Carlton B8-kedjan än för övriga tre fabriksnya kedjor. Skillnaden uppgick till cirka 6 procent och var statistiskt säkerställd med en hög grad av säkerhet.
- Testriggen, i kombination med den använda metodiken, var effektiva hjälpmedel för att utifrån mätningar på ett begränsat material kunna möjliggöra detektion av skillnader mellan försöksled.

Sammanfattningsvis visar vår studie att det finns skillnader i kaptid och energiåtgång mellan de vanligaste kedjemodellerna och att slipning, enligt den metodik som Ljusdals sliptjänst tillämpar, har en gynnsam effekt på samma parametrar. De konstaterade effekterna av kedjemodell och slipning är av storleken att de bör ha en märkbar inverkan på produktivitet och bränsleförbrukning vid avverkning med skördare. Dock är det viktigt att nya studier initieras som även förmår belysa slitageaspekter, till exempel huruvida den naturliga försämringen av kedjeskärpan vid användning sker olika snabbt för olika kedjemodeller/-slipningar.

Inledning

Kapning av trädstammar är en central uppgift i skördarnas arbete. Det renodlade kapmomentet utgör 7–11 procent av skördarnas effektiva arbete (T. Brunberg, pers.medd. 2015), opublicerad uppföljning utifrån skördarnas maskindata) och tiden för kapning har därmed en betydande påverkan på skördarnas produktivitet. Vidare finns det ett samband mellan kaptiden och förekomsten av kapsprickor (Hannrup & Jönsson, 2010). Insatser som bidrar till att förkorta kaptiden har därmed en potentiell positiv påverkan på såväl skördarnas produktivitet som virkesvärdet.

Hur har skördarnas kaptid utvecklats över tiden? Det finns få publicerade studier som belyser detta men jämförbara data finns insamlade under Virkesvärdestest 2001 (Hallonborg & Granlund, 2002) samt i en nyligen genomförd studie av sågmotorer (Jönsson m.fl., 2014). I båda fallen skedde kapning med nya, väl intrimmade skördaraggregat i ofruset granvirke. Jämförelse av mätdata från de två tidpunkterna indikerar att skördarnas kaptid har minskat med cirka 10 procent under tidsperioden. Detta motsvarar en produktivitetsökning på 0,7 till 1,1 procent för skördarnas effektiva arbete, vilket kan räknas om till en årlig kostnadsbesparing på 26 till 42 miljoner kronor för svenskt skogsbruk. En motsvarande ökning av produktiviteten genom minskade kaptider bedöms som möjlig att nå framöver. Men för att detta ska åstadkommas är det viktigt att riktade utvecklingsinsatser genomförs.

En faktor med avgörande inverkan på skördarnas kaptid är sågkedjans avverkningskapacitet. Kedjor för kedjesågar introducerades på 1940-talet och har sedan dess haft en likartad utformning (se utvecklingsbeskrivning i Stacke 1989), även om kontinuerliga förbättringar genomförts. Tillämpade studier kring maskinsågkedjor har framför allt varit inriktade på ekonomiska aspekter kring hantering av kedjor (Dahlström & Helgesson, 1992) samt aspekter kring kedjeskott (Hallonborg, 2003; Johansson m.fl., 2004). Utifrån vår kännedom finns det dock inga publicerade studier som med hjälp av objektiva data försökt belysa olika maskinsågkedjors avverkningskapacitet och prestanda. Denna typ av studier är centrala för att förmedla objektiv information till användare av kedjor och därmed indirekt för att stimulera till utveckling hos de tillverkande företagen.

En bidragande orsak till avsaknaden av jämförande studier över maskinsågkedjors avverkningskapacitet är förmodligen de experimentella svårigheter som varit förknippade med studier av de snabba förlopp som råder under kapning. Nyligen har dock en testtrigg byggts upp vid Skogforsk i Sävar. Testtriggen består av ett hydraulaggregat och ett skördaraggregat upphängt i en stålställning där det senare utrustats med en rad sensorer som mäter parametrar av relevans för kapförloppet t.ex. sågmotorns vridmoment och varvtal, svärdsposition samt tryck, flöde och temperatur för hydrauloljan vid olika positioner. Sammanfattningsvis erbjuder testtriggen unika möjligheter till studier i kontrollerad miljö av kaprelaterad utrustning under insamlande av detaljerad, relevant mätinformation.

Vilka belägg finns det för att det skulle förekomma skillnader i avverkningskapacitet mellan de sågkedjor som förekommer på marknaden i dag?

I dagsläget finns inga publicerade, statistiskt underbyggda, data som kan illustrera skillnader i avverkningskapacitet mellan sågkedjor av olika fabrikat. En indikation på att skillnader förekommer finns dock utifrån begränsade mätningar på kedjor från två tillverkare utförda vid Skogforsks testtrigg i Sävar (P. Jönsson och B. Hannrup, pers.medd. 2015). En ytterligare indirekt indikation på att det finns potential till höjd avverkningskapacitet kan hämtas från förhållandet att flera skördarlag rutinmässigt slipar fabriksnya kedjor innan de tas i drift eftersom förarna upplever att man därigenom kan öka kedjornas avverkningskapacitet (E. Edwinsson, pers.medd. 2015). Dock finns inga objektiva data som belyser huruvida detta förfaringssätt har en effekt på kedjornas avverkningskapacitet.

Mål och avgränsningar

Det övergripande syftet med insatserna inom projektet var att bidra till en reducerad kaptid och därigenom en ökning av skördarnas produktivitet och värdet av det upparbetade virket.

Målet med studien var att klargöra ifall det finns några skillnader i grundläggande avverkningskapacitet och energiåtgång mellan de vanligaste på marknaden förekommande sågkedjorna. Projektet utgjordes av följande delmål:

- Att i kontrollerad miljö utföra mätningar av kaptid och energiåtgång för nya maskinsågkedjor från de marknadsledande tillverkarna.
- Att i samma studie studera hur slipning av fabriksnya sågkedjor påverkar kaptid och energiåtgång.

Studien var avgränsad till att genomföras vid kapning av färskt, ofruset granvirke. Vidare var studien avgränsad till att belysa avverkningskapaciteten för fabriksnya och för omslipade fabriksnya kedjor. Inverkan av slitage på de utvärderade kedjornas prestanda var alltså ett område som låg utanför studiens avgränsningar.

Material och metoder

FÖRSÖKSUPPLÄGG

I studien utvärderades fabriksnya kedjor från de fyra kedjemodeller som var de på marknaden vanligaste förekommande vid tidpunkten för studiens genomförande (Tabell 1). För en av de fyra kedjemodellerna, Carlton B8, gjordes mätningar även på omslipade kedjor för att möjliggöra en utvärdering av effekten av slipning. Slipningen av dessa kedjor utfördes av Ljusdals sliptjänst enligt den ordinarie slipning som företaget utför. Samtliga kedjor som utvärderades hade 96 drivlänkar och spårvidden 2,0 millimeter.

Tabell 1.

Tabell som illustrerar försöksupplägget vid utvärderingen av fabriksnya och omslipade kedjor från de fyra studerade kedjemodellerna.

Kedje-kategori	Tillverkare	Modell-beteckning	Försöks-led	Kedja nummer	Kedje-identitet
Fabriksny	Carlton	B8	1	1	1_1
Fabriksny	Carlton	B8	1	2	1_2
Fabriksny	Stihl	RMH	2	1	2_1
Fabriksny	Stihl	RMH	2	2	2_2
Fabriksny	Stihl	RMHS	3	1	3_1
Fabriksny	Stihl	RMHS	3	2	3_2
Fabriksny	Oregon	18HX	4	1	4_1
Fabriksny	Oregon	18HX	4	2	4_2
Omslipad	Carlton	B8	5	1	5_1
Omslipad	Carlton	B8	5	2	5_2

I studien representerades kedjemodellerna av fem försöksled (Tabell 1). Inom varje försöksled gjordes mätningar på två stycken kedjor vilka hämtades från olika tillverkningsbatcher. Vi använde två kedjor per kedjemodell för att få en säkrare bestämning av den enskilda kedjemodellens prestanda genom att i viss mån kunna ”buffra” för den eventuella variation som skulle kunna förekomma inom kedjemodell mellan olika tillverkningsbatcher.

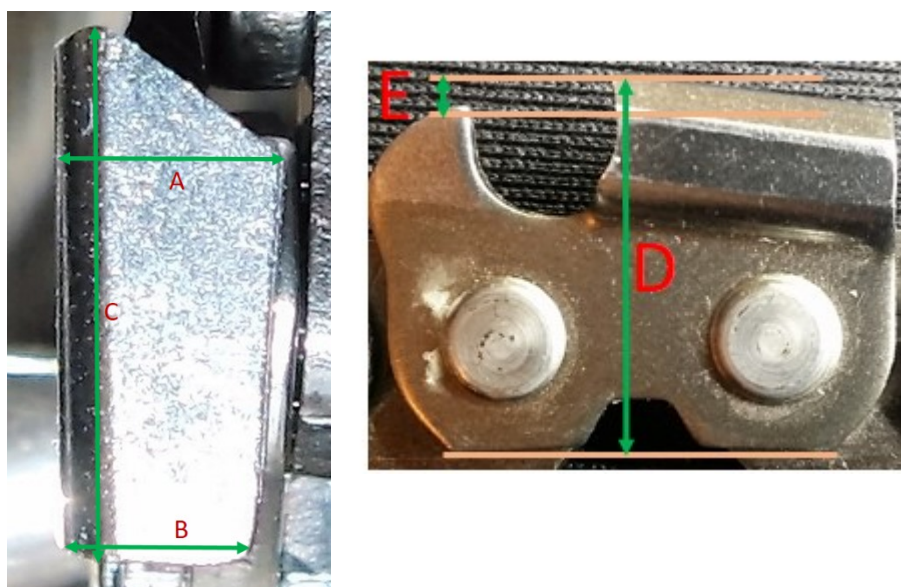


Figur 1.

Foto tagna bakifrån av de två typerna av skärtand som förekom hos de utvärderade kedjemodellerna: semi chisel (vänster bild) och chamfer chisel (höger bild).

För tre av de fyra kedjemodeller som utvärderades i studien utgjordes skärtänderna av typen ”semi chisel” medan den fjärde kedjemodellen (Carlton B8) hade skärtänder av typen ”chamfer chisel” (Figur 1, Tabell 2). Den förra typen av skärtand har en mer rundad utformning medan den senare har ett rakare hörn.

Dimensionsmått för kedjemodellernas skärtänder redovisas i Tabell 2 (se Figur 2 för en definition av måtten). För Stihl RMH och Oregon 18HX hade skärtänderna likartade dimensionsmått. Skärtänderna för dessa två kedjemodeller var i jämförelse med skärtänderna för Carlton B8 och Stihl RMHS smalare i såväl fram- som bakkant (måtten A och B). Stihl RMHS och Carlton B8 hade likartade dimensionsmått förutom för skärtändernas längd (mått C) där Stihl RMHS hade längre skärtänder. Totalt resulterade detta i att Stihl RMHS hade en skärtandsarea (sett uppifrån) som var cirka 20 procent större än skärtandsarean för de övriga tre kedjemodellerna. Stihl RMHS hade också högst vikt även om skillnaden mot två av de övriga kedjemodellerna inte var lika påtaglig som för kedjearean (Tabell 2).



Figur 2.
Bild som definierar de olika dimensionsmått som användes för att beskriva skärtänderna hos de studerade kedjemodellerna.

Tabell 2.
Typ av skärtand, skärtändernas dimensioner samt total vikt för de utvärderade kedjemodellerna.

Kedjemodell	Typ av skärtand ¹⁾	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	Vikt (g)
Carlton B8	c.c.	5,4	4,9	10,8	15,0	1,2	787
Stihl RMH	s.c.	4,8	4,0	12,0	13,8	1,5	694
Stihl RMHS	s.c.	5,6	4,9	12,5	15,0	1,1	825
Oregon 18HX	s.c.	4,9	4,3	11,9	14,3	1,3	766
Omslipad Carlton B8	c.c.	5,4	4,9	9,9	14,7	1,6	776

¹⁾ c.c. = chamfer chisel, s.c. = semi chisel.

I Tabell 3 presenteras filnings- och eggvinkel för skärtänderna hos de utvärderade kedjemodellerna. Vinklarna mättes i studien genom att bilder togs av kedjorna med en stereolupp (Nikon SMZ1270) med inbyggd kamera (DeltaPix Invenio 10S III). Mätning av vinklarna skedde sedan på bilderna med hjälp av programvaran Photron FASTCAM Viewer. I Bilaga 1 återges definitioner av de mätta vinklarna och i Bilaga 2 återges bilder av skärtänderna för samtliga utvärderade kedjemodeller.

Tabell 3.

Filnings- och eggvinkel för skärtänderna hos de utvärderade kedjemodellerna. Se (Bilaga 1) för en definition av vinklarna.

Kedjemodell	Filningsvinkel (°)	Eggvinkel(°)
Carlton B8	32	44
Stihl RMH	28	43
Stihl RMHS	35	36
Oregon 18HX	35	46
Omslipad Carlton B8	43	36

De fyra kedjemodeller som utvärderades med fabriksnya kedjor hade likartade filnings- och eggvinklar på skärtänderna (Tabell 3, Bilaga 2). Undantaget utgjordes av Stihl RMHS som hade 19-28 % lägre eggvinkel än de övriga tre kedjemodellerna. Den omslipade Carlton B8-kedjan hade markant högre filningsvinkel och lägre eggvinkel än den fabriksnya varianten av denna kedjemodell. Skillnaderna uppgick till 11 respektive 8 grader.

MATERIAL

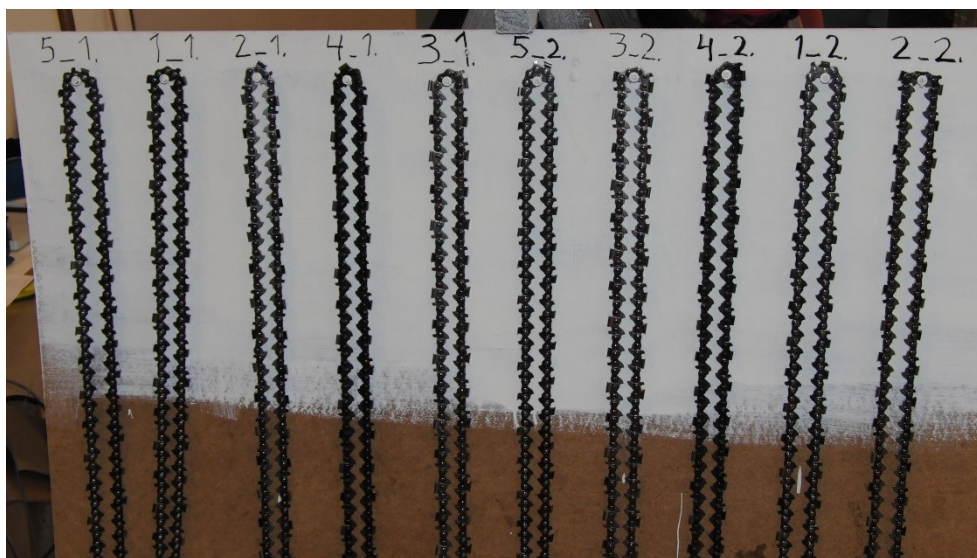
Samtliga mätningar gjordes vid kapning av trissor i Skogforsks testrigg i Sävar (se vidare avsnittet ”Testriggens huvudkomponenter”). Trissor kapades från sex granstockar med diametrar inom intervallet 127 till 377 millimeter (Figur 3). Stockarna var utvalda för att representera ett brett diameterintervall för att kedjornas generella samband mellan kaptid och kaparea samt mellan energiåtgång och kaparea skulle kunna upprättas. Kapning skedde i båda stockändar i syfte att erhålla god diameterspridning utifrån ett begränsat antal stockar. För rotstockar kapades första halvmetern i rotändan av eftersom detta stamparti ofta hade hög ovalitet.



Figur 3.

Bild av de granstockar som användes för kapning av trissor. På bilden har de ursprungliga sex stockarna kapats på mitten för att underlätta kapning i båda stockändar.

Från varje stockända registrerades mätvärden från två kap per kedja. Undantaget utgjordes av en stockända där enbart ett kap per kedja registrerades. Totalt resulterade detta i 23 kap per kedja över det studerade diameterintervallet. Per försöksled innebar det att mätvärden från totalt 46 kap registrerades eftersom det fanns 2 kedjor per försöksled. En kapordning användes där den inbördes ordningsföljden mellan kedjorna för kapen i stockarnas toppändor lottades (Figur 4). Vid kapning i stockarnas rotändar användes omvänd ordningsföljd för att få så stor variation som möjligt i diameter för respektive kedja inom stock.



Figur 4.
Sågkedjorna i studien upphängda i lottad ordningsföljd för kapning i stockarnas toppändor. Kedjorna är märkta med försöksled och kedjenummer enligt specificering i Tabell 1.

I studien hämtades stockar från en närbelägen avverkning och för att minska risken för uttorkning gjordes ansträngningar för att hålla nere tiden från avverkning till mätningarna startade. För att kontrollera eventuell uttorkning registrerades fukthalten för sex av studiens trissor. Tre av trissor var kapade som första trissa i en stockända (yttertrissor) medan de övriga tre trissor var kapade som de innersta trissor i samma stockändor (innertrissor). Trissorernas fukthalt beräknades utifrån data från vägning vid studietillfället, respektive efter sju dagars torkning i 105°C. Fukthalten för de sex trissor var i genomsnitt 51 procent, vilket är samma fukthalt som färsk ved kan förväntas hålla utifrån befintliga funktioner för prediktion av fukthalt (Wilhelmsson & Moberg, 2004). Vidare fanns det ingen tendens till skillnad i fukthalt mellan yttre respektive inre trissor tagna från samma stockända. Utifrån dessa mätningar drar vi slutsatsen att stockarna vid studietillfället kan betraktas som färska och obetydligt påverkade av uttorkning.

Testriggens huvudkomponenter

Kapning av trissor skedde i Skogforsks testrigg i Sävar. Testriggen var uppbyggd kring ett Komatsu 360.2 skördaraggregat från Komatsu Forest, upphängt 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.

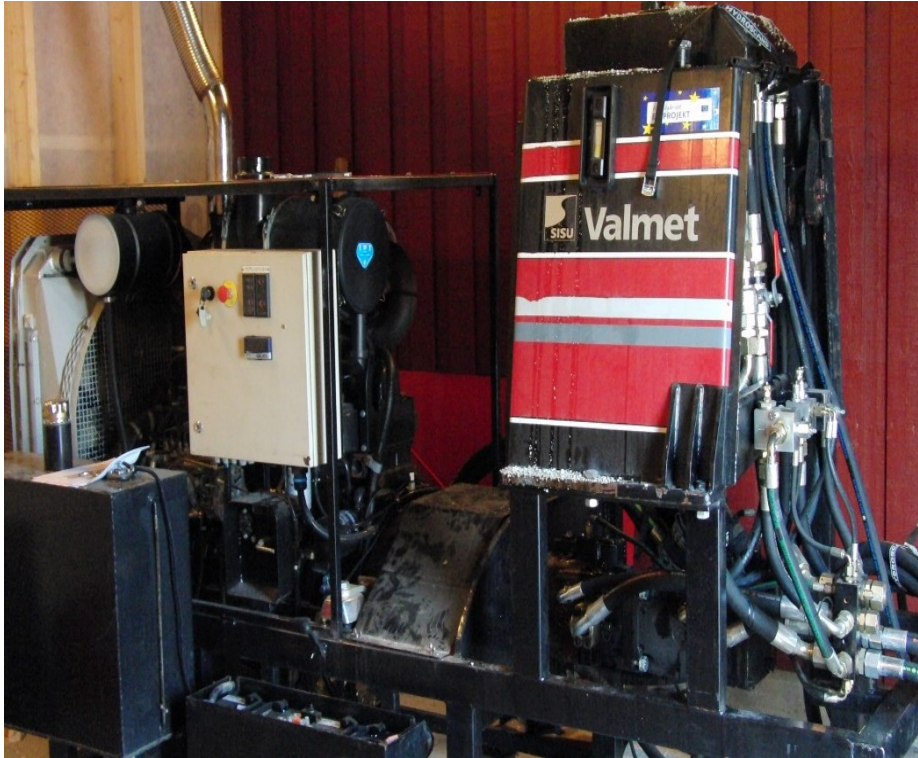


Figur 5.
Skördaraggregatet upphängt i en ställning.

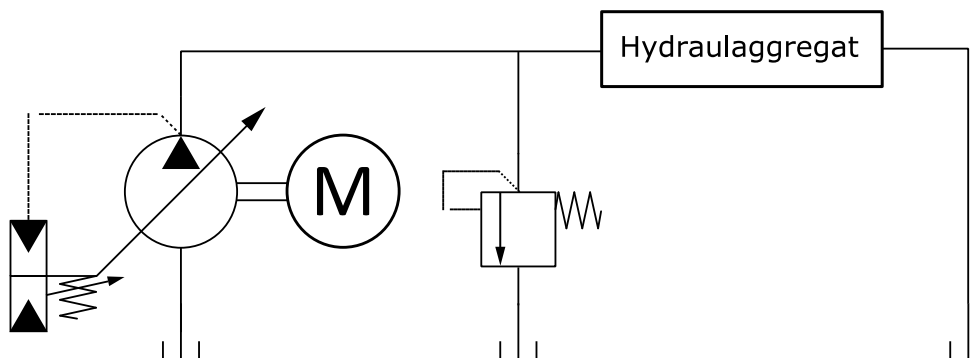
Huvudkomponenterna i det tillhörande hydraulsystemet utgörs av:

- 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 åstadkoms genom en reglering av vinkeln på swivelplattan vilken styr kolvarnas 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.



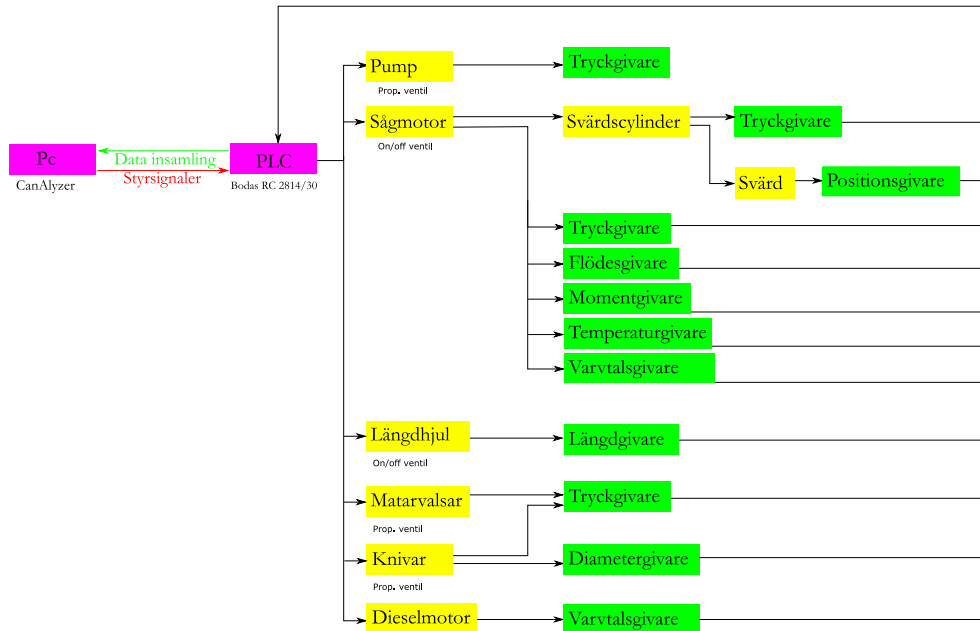
Figur 6.
Testriggens dieselmotor samt tillhörande hydraulaggregat.



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. En PC användes för att genom ett gränssnitt kommunicera med styrenheten (PLC). Styrenheten styr ventilerna för att åstadkomma den önskade rörelsen. Sensorerna läser av systemet, skickar data till styrenheten varifrån styrströmmar och sensordata skickas vidare till PC:n där loggning sker (Figur 8). Vid loggning av data på PC:n användes en sampltid för styrenheten på 5 millisekunder.

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.

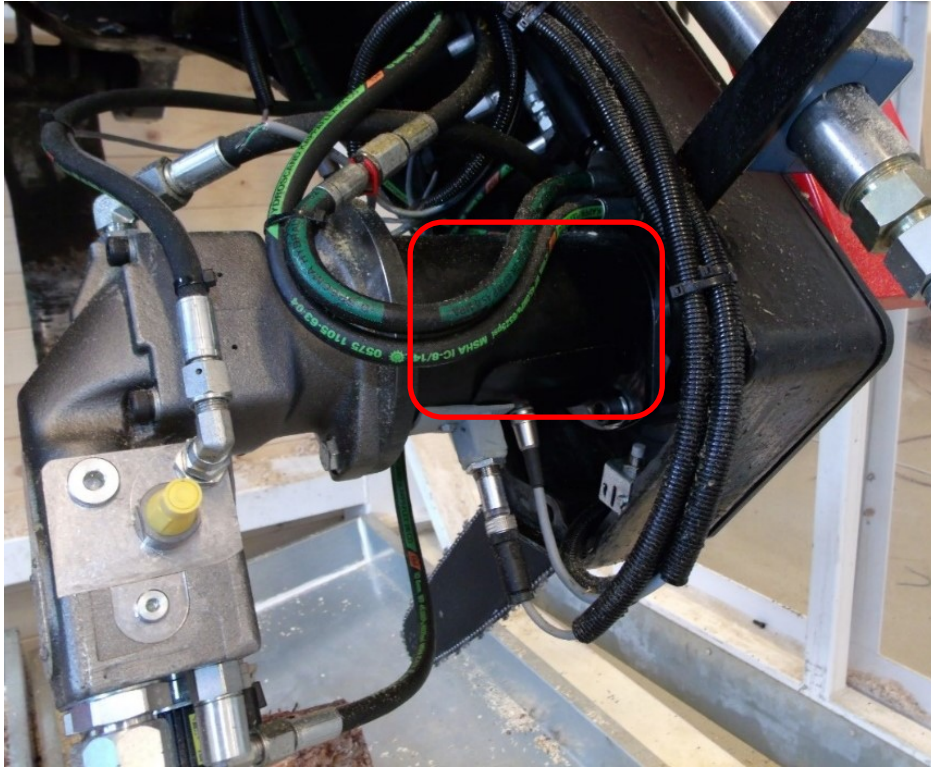


Figur 8. Schematisk bild över datainsamling och styrning. De lila blocken indikerar datorer medan gul och grön färg representerar funktioner respektive givare.

MÄTNINGAR UNDER KAPFÖRLOPPET

I vår studie bestämdes tiden för kap genom stammen utifrån givarinformation om sågmotorns vridmoment under kapförloppet. Denna indirekta metod att bestämma kaptiden visade en mycket hög överensstämmelse med kaptid bestämd utifrån filmning med höghastighetskamera (se vidare avsnittet ”Beräknade variabler och filtrering av rådata”).

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 (markerat med röd rektangel i Figur 9).



Figur 9.
Bild som visar hur sågmotorns utgående axel förlängts. På den nedre delen av förlängningen (markerad med röd rektangel) 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 10). På flödesgivarna (Hydac Electronic, EVS 3104) monterades temperaturgivare (Hydac Electronics, ETS 4144) samt ett tryckkutttag. På tryckkutttaget kopplades tryckgivare (Hydac Electronics, HDA 4845).

Mätningar av trycket i svärdscylindern skedde med tryckgivare (Hydac Electronics, HDA 4845) monterade på cylinderns plus- och minussida. I vår studie användes skillnaden i tryck mellan dessa givare som ett indirekt mått på svärdmatningskraften under kapförloppet.



Figur 10.
Givare monterade för mätning av hydrauloljans tryck, flöde och temperatur före respektive efter sågmotorn.

ÖVRIGA MÄTNINGAR

För analys av eventuella skillnader i fraktionsstorlek hos sågspånnet mellan kedjorna togs spånprover ut. Ett prov om cirka $0,5 \text{ dm}^3$ togs vid kapning med en av de två testade kedjorna per försöksled. Proverna togs vid kapning i samma stock. Proverna siktades i en sikt där de fem ingående siktskålarna hade följande nätstorlek (i mm^2): 8, 5,6, 4, 2, 1 (Figur 11). Varje fraktionsstorlek vägdes var för sig och den viktmissiga andelen som respektive fraktionsstorlek utgjorde av den totala spån mängden beräknades.



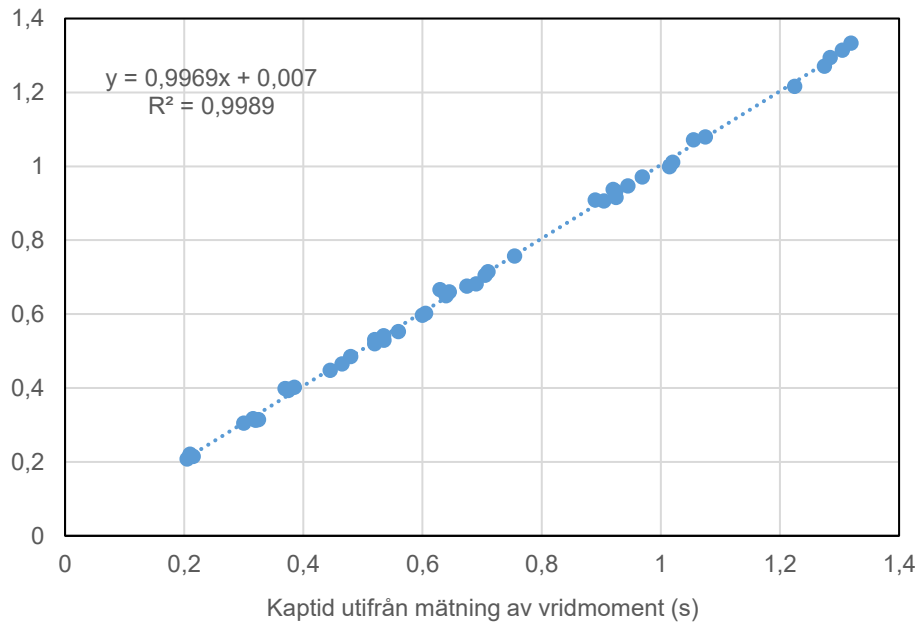
Figur 11.
Bild på den sikt som användes och som hade fem siktskålar med varierande nätstorlek. Siktskålen med 8 mm² nätstorlek längst fram i bilden.

BERÄKNADE VARIABLER

I vår studie definierades kaptid som tiden för kap genom stammen. Tidigare studier indikerar att beräkning av kaptiden utifrån information om sågmotorns vridmoment erbjuder möjlighet till en snabb, objektiv bestämning av denna parameter (Hannrup m.fl., 2015). I vår studie vidareutvecklades tidigare framtagna algoritmer som utifrån vridmomentinformation identifierar start- och stopppunkter för kapet genom stammen (se Hannrup m.fl. (2015) för algoritmbeskrivning). Förändringar gjordes framför allt kring skapandet av det tidsmässiga fönster inom vilket möjliga startpunkter söks för kapet i stammen.

De vidareutvecklade algoritmerna för bestämning av kaptid utifrån information om vridmomentet applicerades på ett tidigare insamlat datamaterial, vilket inkluderade filmning av kapförloppet med höghastighetskamera. Jämförelse mellan kaptid utifrån höghastighetsfilmning, (vilket betraktades som "facit") och kaptid utifrån information om vridmomentet visade på mycket hög överensstämmelse (Figur 12). Den systematiska avvikelsen var obetydlig (0,005 s) och standardavvikelsen för avvikelsen mellan de två metoderna att bestämma kaptid uppgick till 0,01 s. Detta innebär att i 95 procent av fallen kan kaptid utifrån information om vridmomentet förväntas ligga inom 0,02 s från kaptid utifrån höghastighetsfilmning. Baserat på denna jämförelse drar vi slutsatsen att bestämning av kaptid utifrån information om vridmomentet, och under användande av de vidareutvecklade algoritmerna, är en effektiv metod som med hög noggrannhet och precision kan prediktera den sanna kaptiden.

Kaptid höghastighetskamera (s)



Figur 12.
Sambandet mellan kaptid utifrån mätningar av sågmotorns vridmoment och kaptid utifrån filmning med höghastighetskamera.

Sågmotorns momentana utgående effekt under kapen (P), uttryckt i kW, beräknades som:

$$[1] \quad P = T \cdot \omega / 1000$$

där

T är vridmomentet för sågmotorns utgående axel uttryckt i Newtonmeter och ω är rotationshastigheten för sågmotorns utgående axel uttryckt i radianer per sekund.

Den totala utgående energin från sågmotorn per kap uttryckt i kJ (E) beräknades genom att integrera sågmotorns momentana utgående effekt över kaptiden. Beräkningstekniskt gjordes detta som en summation av produkten av medelvärdet mellan varje intilliggande mätvärde för sågmotorns momentana utgående effekt och dess tidskillnad (Δt) enligt nedanstående ekvation. Detta gjordes då styrenhetens sampeltid ej var helt konstant.

$$[2] \quad E = \sum_i \frac{P_i + P_{i+1}}{2} \cdot \Delta t_i$$

Medelvärden för vridmomentet (μ_T) och rotationshastigheten för sågmotorns utgående axel (μ_ω) under kap togs fram som ett viktat medelvärde genom integrering dividerat med den totala kaptiden (t_{kap}) enligt följande:

$$[3] \quad \mu_T = \frac{\sum_i \frac{T_i + T_{i+1}}{2} \Delta t_i}{t_{kap}}$$

$$[4] \quad \mu_\omega = \frac{\sum_i \frac{\omega_i + \omega_{i+1}}{2} \Delta t_i}{t_{kap}}$$

Omräkning från rotationshastighet för sågmotorns utgående axel till kedjehastighet (v) uttryckt i m/s skedde enligt följande formler:

$$[5] \quad n = \omega \cdot \frac{60}{2\pi}$$

$$[6] \quad v = n \cdot n_s \cdot \vartheta$$

där

n är varvtalet för sågmotorns utgående axel uttryckt i varv per minut, n_s är antalet kuggar på drivhjulet (13 stycken) samt ϑ är kedjedelningsfaktorn vilken uppgår till 0,00034.

STATISTISK ANALYS

Flertalet av de kaprelaterade parametrarna (t.ex. kaptid och energiåtgång) som mättes i studien var starkt beroende av arean hos de kapade trissorna. För att testa om skillnaderna mellan försöksleden för de kaprelaterade parametrarna var statistiskt säkerställda med hänsyn taget till de skillnader i trissornas area som fanns mellan försöksleden gjordes en variansanalys. Arean hos de kapade trissorna användes då som en kovariat i analysen (d.v.s. för att kompensera för skillnader mellan försöksleden i area hos trissorna). Följande modell anpassades:

$$[7] \quad y = a + f + e$$

där

y är den analyserade kaprelaterade parametern, a är arean hos den kapade trissan, f är försöksledet och e är det slumpmässiga felet. I analysen beräknades minsta kvadratmedelvärden för försöksleden d.v.s. medelvärden för de kaprelaterade parametrarna efter kompensering för skillnader mellan försöksleden i trissornas area.

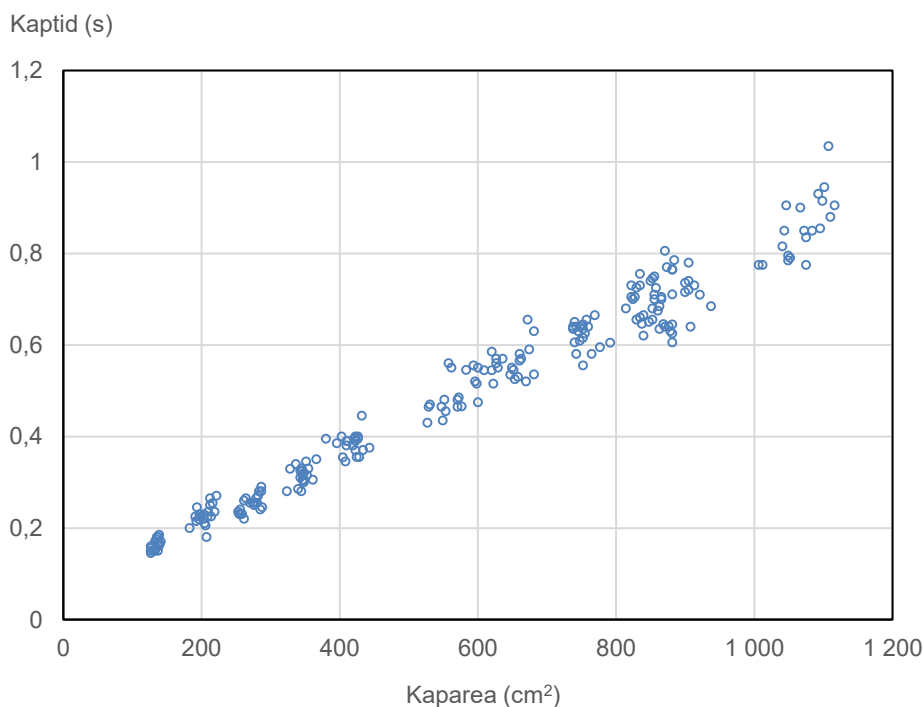
UTESLUTNA OBSERVATIONER

I studien uteslöts totalt tre observationer från kap utförda med kedjemodellerna Stihl RMH, Stihl RMHS samt Oregon 18HX. Två av observationerna uteslöts på grund av att signalen från vridmomentgivaren för den initiala delen av kapet var mycket brusig, vilket omöjliggjorde en relevant detektion av startpunkten för kapet genom veden. Den tredje observationen uteslöts på grund av en kraftigt förhöjd kaptid (+20 procent).

Resultat och diskussion

KAPTID OCH AVVERKNINGSKAPACITET

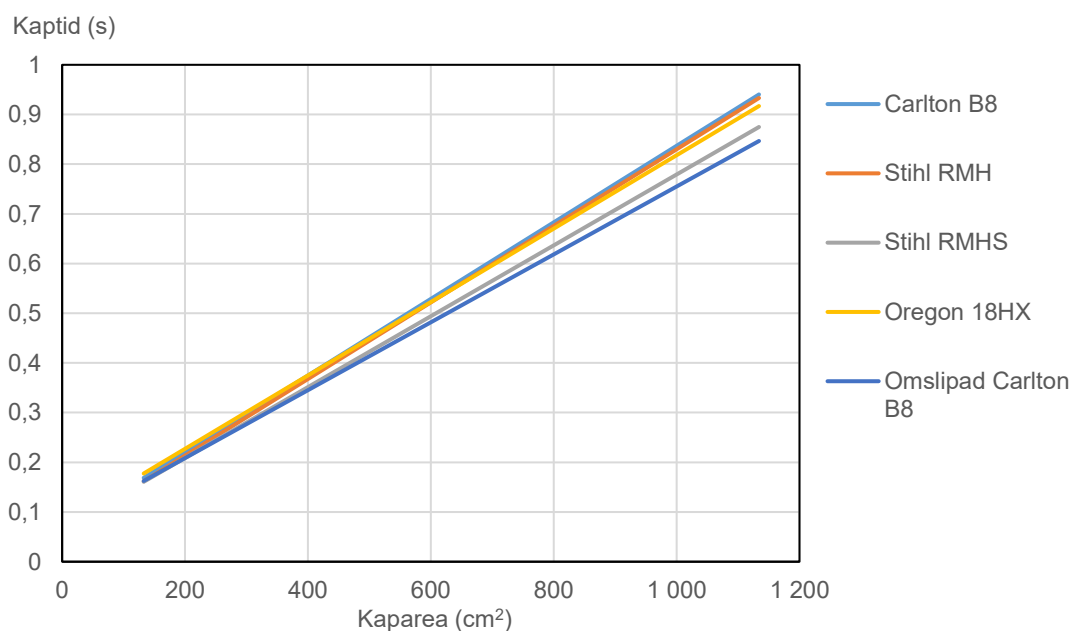
I Figur 13 redovisas det linjära förhållandet som förekom i vårt material mellan kaparea och kaptid. I figuren redovisas samtliga mätvärden och den variation som förekom i kaptid vid en viss kaparea inkluderade alltså samtliga förekommande variationskällor till exempel variation mellan försöksled, variation mellan kedjor inom försöksled och variation kopplad till förhållande hos veden i det enskilda kapet. I vårt material varierade kaparean mellan 127 och 1 116 cm², vilket motsvaras av diametrar mellan 12,7 och 37,7 centimeter. För samtliga observationer var kaptiden i genomsnitt 0,49 s; en kaptid som uppnåddes för kap av trissor som var cirka 27,5 centimeter (kaparea ~600 cm²).



Figur 13.
Plot av förhållandet mellan kaparea och kaptid för samtliga mätvärden i studien.

Regressionslinjerna för försöksledens samband mellan kaparea och kaptid återges i Figur 14. För tre av försöksleden, utvärderade med fabriksnya kedjor, Carlton B8, Stihl RMH och Oregon 18HX var regressionslinjerna närmast identiska. För den fjärde kedjemodellen som utvärderades med fabriksnya kedjor, Stihl RMHS, indikerade regressionslinjen en kortare kaptid vid en given kaparea och där skillnaden i genomsnitt uppgick till 6 procent. I Bilaga 3 redovisas försöksledens regressionsekvationer för sambanden mellan kaparea och kaptid och i Bilaga 4 och 5 återges försöksledsvisa plottar av de underliggande mätvärdena.

Regressionslinjen för försöksledet med den omslipade Carlton B8-kedjan indikerade att detta försöksled hade den kortaste kaptiden vid en given kaparea (Figur 14). För att kvantifiera effekten av slipning enligt den metodik som Ljusdals sliptjänst tillämpade bör jämförelse närmast göras med den fabriksnya Carlton B8-kedjan. Jämförelse med denna kedjemodell indikerade att slipningen medförde att kaptiden sänktes med i genomsnitt 9 procent.

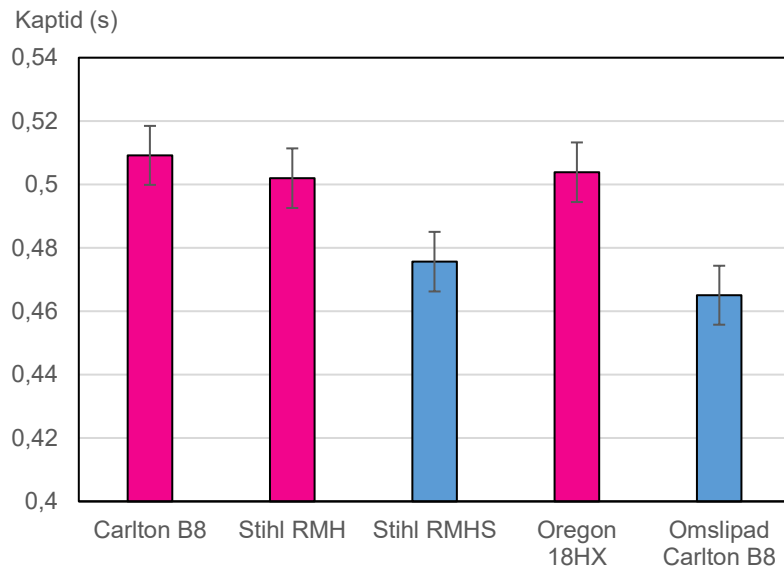


Figur 14.
Regressionslinjer för försöksledens samband mellan kaparea och kaptid.

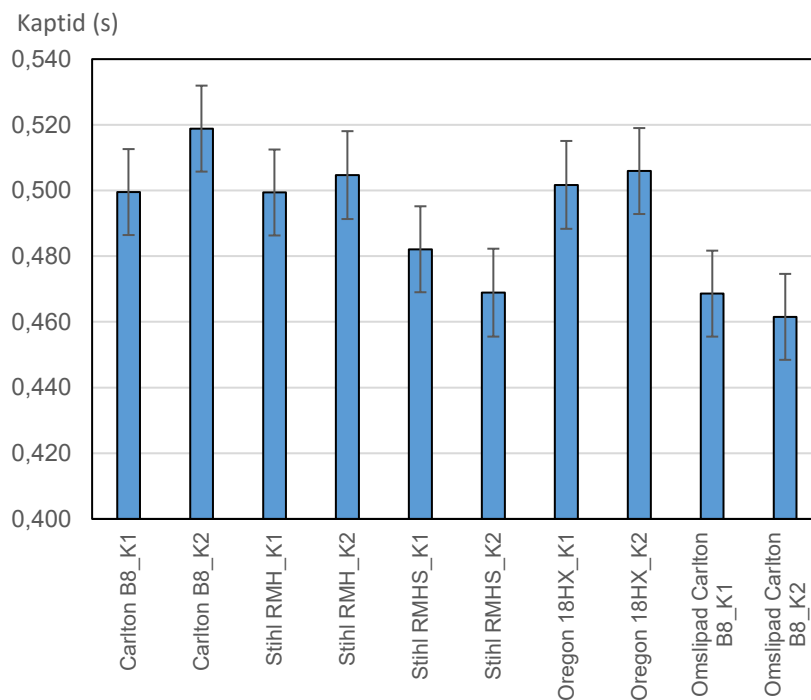
Signifikanstester visade att skillnaderna i kaptid mellan Stihl RMHS och de övriga tre kedjemodellerna som utvärderades med fabriksnya kedjor var statistiskt säkerställda med en mycket hög grad av säkerhet ($p < 0,0001$; Figur 15). På samma sätt var skillnaden i kaptid mellan försöksledet med fabriksnya respektive omslipade Carlton B8-kedjor statistiskt säkerställd med en mycket hög grad av säkerhet ($p < 0,0001$).

I studien undersöktes också skillnader i genomsnittlig kaptid *mellan kedjor inom försöksled* (Figur 16). Effekten av den enskilda kedjan var osäkrare bestämd och mera utsatt för variation kopplad till varierande förhållanden hos veden i de enskilda kapen. För fyra av försöksleden var det dock små skillnader i genomsnittlig kaptid mellan kedjorna (i genomsnitt 1,6 procent). För det femte försöksledet med fabriksnya Carlton B8-kedjor var skillnaden större (3,9 procent).

Denna skillnad var statistiskt säkerställda med en låg grad av säkerhet ($p = 0,04$). I studien kom kedjorna inom samma försöksled från olika tillverkningsbatcher. Utifrån detta faktum och ovanstående resultat drar vi slutsatsen att variationen i prestanda mellan kedjor inom försöksled var liten. Vidare drar vi slutsatsen att kapning gjordes på ett tillräckligt stort antal trissor per kedja för att effekten av den enskilda kedjan skulle kunna bestämmas med tillräcklig säkerhet.



Figur 15.
Minsta kvadratmedelvärden med 95-procentiga konfidensintervall för försöksledsvisa kaptider. Försöksled med olika färg är statistiskt åtskilda med en mycket hög grad av säkerhet ($p < 0,0001$). Observera att y-axeln är stympad.

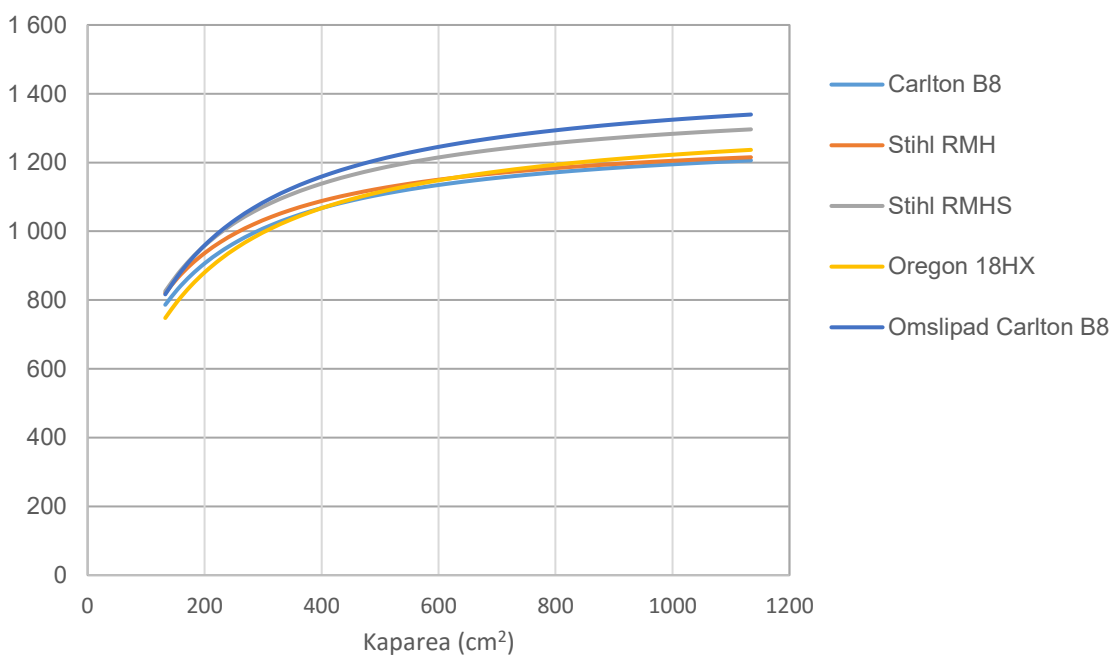


Figur 16.
Minsta kvadratmedelvärden med 95-procentiga konfidensintervall för kaptid per kedja inom försöksled. Observera att y-axeln är stympad.

De försöksledsvisa sambanden mellan kaparea och kaptid användes för att belysa sågkedjornas avverkningskapacitet (Figur 17). Generellt ökade avverkningskapaciteten kraftigt med ökande kaparea upp till cirka 350 cm² kaparea (diametern ~21 centimeter) och därefter mattades ökningstakten av. Vi tolkar den generella ökningen av avverkningskapaciteten med ökande kaparea som en effekt av att allt fler skärtänder kommer i ingrepp vid ökande kaparea. De skillnader som förekom mellan försöksleden för sambandet mellan kaparea och kaptid återspeglades i sambandet mellan kaparea och avverkningskapacitet, det vill säga Carlton B8, Stihl RMH och Oregon 18 HX hade likartad avverkningskapacitet medan avverkningskapaciteten för Stihl RMHS och den omslipade Carlton B8-kedjan var högre över det studerade diameterintervallet (Figur 17).

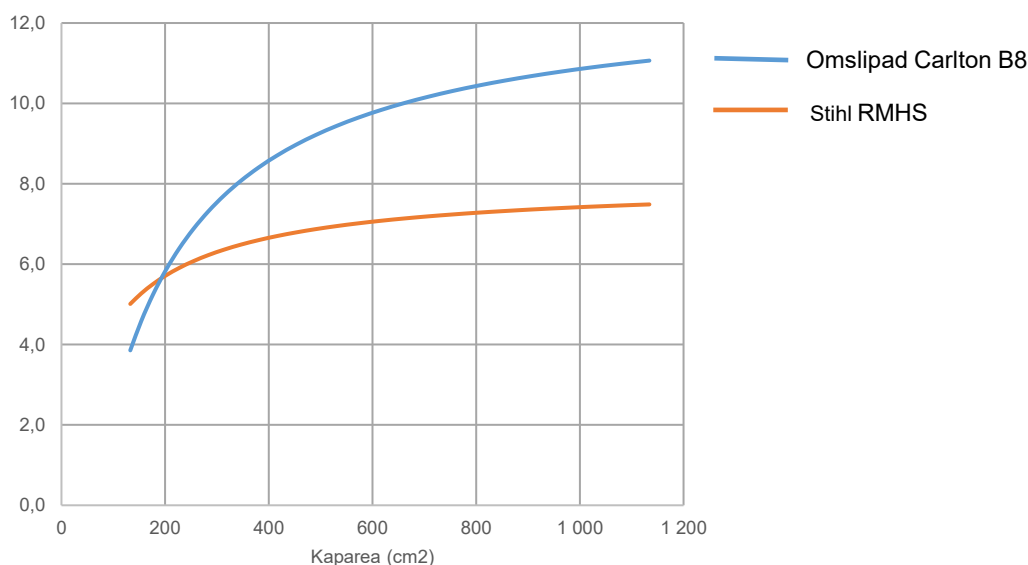
En intressant iakttagelse för den omslipade Carlton B8-kedjan var att den relativa skillnaden i avverkningskapacitet gentemot den fabriksnya Carlton B8-kedjan ökade med ökande kaparea (Figur 18). Då den andra kedjan med högre avverkningskapacitet (Stihl RMHS) jämfördes med den fabriksnya Carlton B8 noterades inte samma tendens utan den relativa skillnaden i avverkningskapacitet var här relativt konstant fränsett de lägsta kapareorna. Detta indikerar att det kan vara delvis olika mekanismer som orsakar den högre avverkningskapaciteten för Stihl RMHS kedjan, respektive den omslipade Carlton B8 kedjan. Att i detalj utröna sådana mekanismer har legat utanför ramen för vår undersökning men detta är ett viktigt område för vidare studier.

Avverkningskapacitet (cm²/S)



Figur 17. Försöksledens samband mellan kaparea och avverkningskapacitet. Avverkningskapaciteten beräknades utifrån de försöksledsvisa sambanden mellan kaparea och kaptid.

Skillnad avverkningskapacitet fabriksny Carlton B8 (%)



Figur 18. Procentuell skillnad i avverkningskapacitet mellan Stihl RMHS och fabriksny Carlton B8 (orange linje), respektive mellan omslipad Carlton B8 och fabriksny Carlton B8 (blå linje).

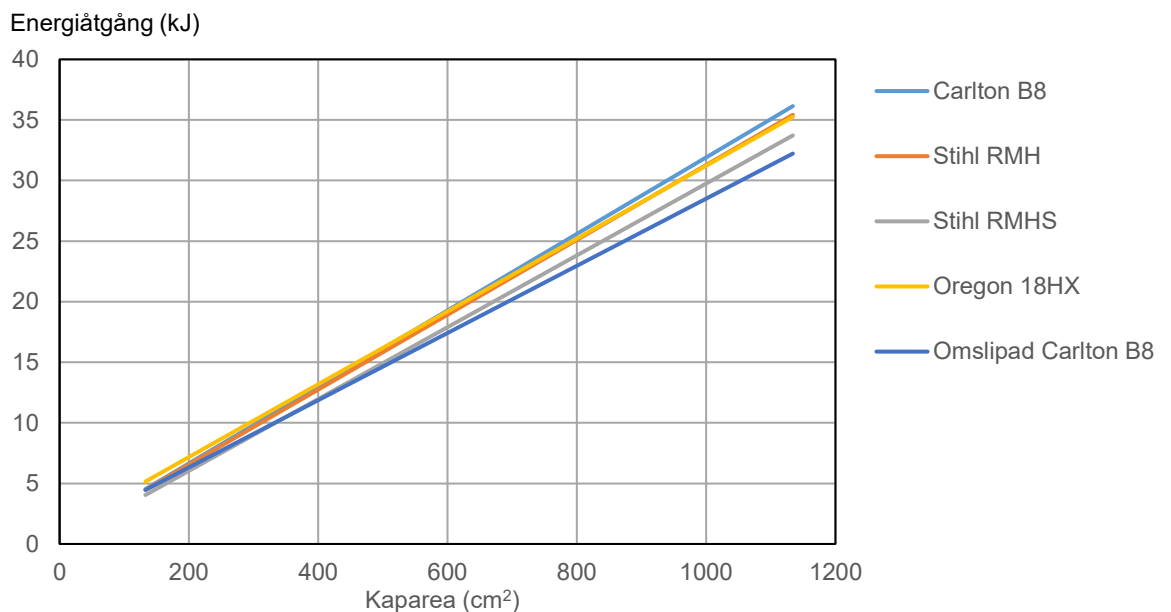
ENERGIÄTGÅNG

I vår studie beräknades energiätgången per kap genom att integrera sågmotorns momentana utgående effekt över kaptiden och där den momentana effekten beräknades utifrån mätningar av vridmoment och varvtal under kapförloppet (Ekvation 1). Det fanns en tendens att försöksleden med högst avverkningskapacitet (Stihl RMHS, omslipade Carlton B8) hade högst genomsnittligt varvtal och lägst genomsnittligt vridmoment (tabell 4). Skillnaderna gentemot övriga försöksled var dock små och i inget fall var dessa skillnader statistiskt säkerställda.

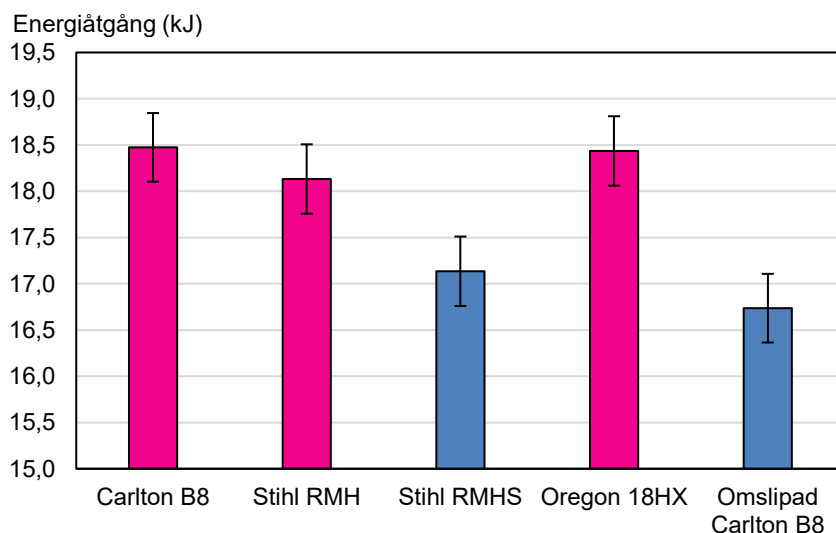
Tabell 4. Försöksledsvisa minsta kvadratmedelvärden och 95 procentiga konfidensintervall för sågmotorns varvtal och vridmoment vid kapning.

Försöksled	Varvtal (rpm)			Vridmoment (Nm)		
	Medel	95 procent ki. n.g.	95 procent ki. ö.g.	Medel	95 procent ki. n.g.	95 procent ki. ö.g.
Carlton B8	8 678	8 659	8 697	38,6	37,4	39,9
Stihl RMH	8 685	8 666	8 704	38,5	37,2	39,8
Stihl RMHS	8 705	8 686	8 724	38,2	36,9	39,5
Oregon 18HX	8 680	8 661	8 700	39,3	38,0	40,6
Omslipad Carlton B8	8 702	8 682	8 721	38,2	36,9	39,5

Avsaknaden av större skillnader i genomsnittligt varvtal och vridmoment medförde att försöksleddvisa skillnader i energiåtgång i stor utsträckning var en återspeglning av skillnaderna mellan försöksleden i kaptid. Eftersom kaptiden var kortare för Stihl RMHS och den omslipade Carlton B8 blev även energiåtgången kortare för dessa kedjor vid en given kaparea (Figur 19). Signifikans-tester visade att skillnaderna i genomsnittlig energiåtgång mellan Stihl RMHS och de övriga tre kedjemodellerna som utvärderades med fabriksnya kedjor var statistiskt säkerställda med en mycket hög grad av säkerhet ($p < 0,0003$; Figur 20). På samma sätt var skillnaden i genomsnittlig energiåtgång mellan försöksleddet med fabriksnya respektive omslipade Carlton B8-kedjor statistiskt säkerställd med en mycket hög grad av säkerhet ($p < 0,0001$).



Figur 19. Regressionslinjer för försöksledens samband mellan kaparea och energiåtgång.

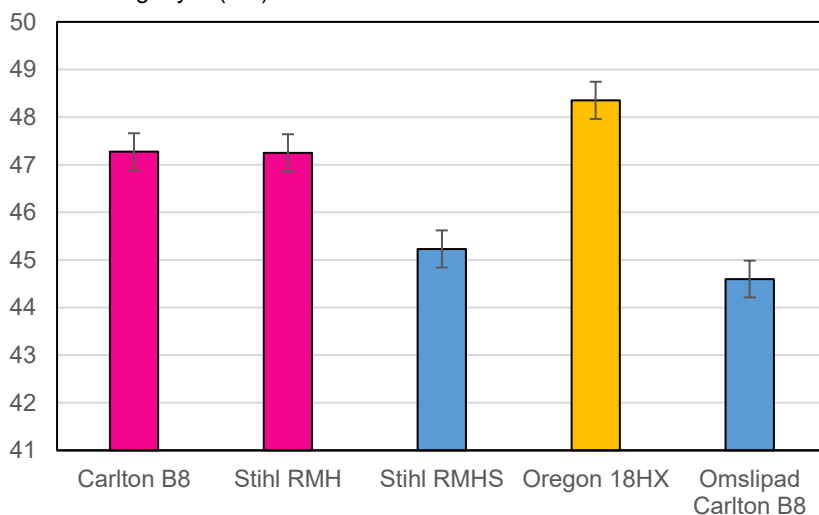


Figur 20. Minsta kvadratmedelvärden med 95 procentiga konfidensintervall för energiåtgång per försöksled vid kapning. Försöksled med olika färg är statistiskt åtskilda med en mycket hög grad av säkerhet ($p < 0,0003$). Observera att y-axeln är stympad.

SVÄRDMATNINGSTRYCK

Den sågmotor som användes under studien (F11-iP) har en konstruktion som möjliggör att varvtalet kan hållas konstant under kapförloppet med hjälp av en konstantflödesventil som indirekt även styr svärdmatningscylindern. I vår studie fanns det statistiskt säkerställda skillnader mellan försöksleden för det genomsnittliga svärdmatningstrycket under kapning (Figur 21). De största skillnaderna mellan försöksleden fanns på samma sätt som för kaptiden och energiåtgången mellan å ena sidan Stihl RMHS och den omslipade Carlton B8-kedjan och den andra sidan Oregon 18 HX, Stihl RMH och den fabriksnya Carlton B8-kedjan. Samtidigt som dessa försöksledsvisa skillnader konstaterades fanns det inga statistiskt säkerställda skillnader mellan försöksleden i genomsnittligt vridmoment och varvtal (Tabell 4). Vi tolkar det lägre svärdmatningstrycket vid samma vridmoment och varvtal för Stihl RMHS och den omslipade Carlton B8-kedjan som att dessa kedjor avverkar mer vid ett givet svärdmatningstryck.

Svärdmatningstryck (bar)

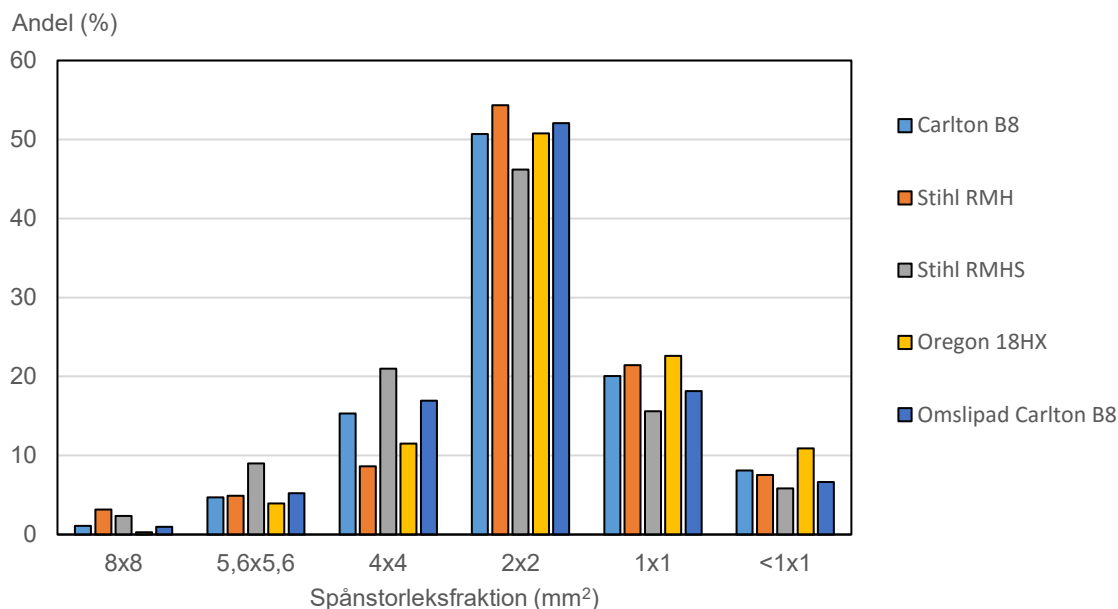


Figur 21.

Minsta kvadratmedelvärden med 95-procentiga konfidensintervall för svärdmatningstryck per försöksled vid kapning. Försöksled med olika färg är statistiskt åtskilda med en mycket hög grad av säkerhet ($p < 0,0001$). Observera att y-axeln är stympad.

FÖRKLARANDE VARIABLER

Vilka mekanismer och underliggande egenskaper hos de utvärderade kedjorna orsakar då de skillnader som konstaterats i kaptid och energiåtgång mellan försöksleden? Att fullt ut besvara denna fråga har legat utanför ramen för vår studie men närmare granskning av resultaten från siktningen av spånproverna ger vissa ledtrådar.



Figur 22.
Viktmässig fördelning av spånstorleksfraktioner hos sågspånen för de utvärderade kedjemodellerna.

Den storleksmässiga sammansättningen av spån från kedjemodellerna Carlton B8, Stihl RMH och Oregon 18HX var likartade medan sågspånen från Stihl RMHS tenderade att bestå av grövre spån (Figur 22). Den viktmässiga andelen spån för storleksfraktionerna över 4 mm² utgjorde 32 procent för denna kedja medan motsvarande värden för de övriga tre kedjemodeller som utvärderades med fabriksnya kedjor var 11 till 17 procentenheter lägre (Tabell 5). När det gäller den geometriska utformningen av skärtänderna avvek Stihl RMHS från de övriga tre kedjemodellerna som testades med fabriksnya kedjor framför allt genom att denna kedja hade cirka 20 procent större area på skärtänderna (Tabell 2). En möjlig förklaring till den högre avverkningskapaciteten för Stihl RMHS kan vara att denna orsakades av den större skärtandsarean, vilken gav upphov till en högre genomsnittlig spånstorlek och därmed en effektivare kapning.

En ytterligare möjlig förklaring som bör framhållas till den högre avverkningskapaciteten för Stihl RMHS är den lägre eggvinkeln hos skärtänderna. Stihl RMHS hade i likhet med den omslipade Carlton B8 kedjan 19–28 procent lägre eggvinkel än de övriga tre kedjemodeller som testades med fabriksnya kedjor.

Tabell 5.

Viktmässig andel av sågspånen med en storleksfraktion som är större respektive mindre än 4 mm².

Kedjemodell	Spånstorleksfraktion	
	≥ 4 mm ²	< 4 mm ²
Carlton B8	21	79
Stihl RMH	17	83
Stihl RMHS	32	68
Oregon 18HX	16	84
Omslipad Carlton B8	23	77

I jämförelse mellan den fabriksnya och den omslipade Carlton B8-kedjan hade den senare kedjan högre filningsvinkel och lägre eggvinkel (Tabell 3). Vår utgångspunkt är att det var de förändrade vinklarna för skärtänderna som var grunden för den högre avverkningskapacitet som uppnåddes med den slipade kedjan. Spånstorleksfördelning var dock närmast identisk mellan den fabriksnya och den slipade Carlton B8-kedjan, d.v.s. våra data ger inget stöd för att den effektivare kapningen för den slipade kedjan åstadkoms genom en genomsnittligt större spånstorlek.

SAMMANFATTANDE DISKUSSION

Vår studie visade på statistiskt säkerställda skillnader i kaptid och energiåtgång mellan de kedjemodeller som är vanligast förekommande på marknaden för kedjor till skördaraggregat. Studien visade också att slipning, enligt den metodik som Ljusdals sliptjänst tillämpar, har en gynnsam effekt på samma parametrar. De konstaterade effekterna av kedjemodell och slipning är av storleken att de bör ha en märkbar inverkan på produktivitet och bränsleförbrukning vid avverkning med skördare. Dock är det viktigt att nya studier initieras som även förmår belysa slitageaspekter, till exempel huruvida den naturliga försämringen av kedjeskärpan vid användning sker olika snabbt för olika kedjemodeller/-slipningar.

Studien visade också att testtriggen, i kombination med den använda metodiken, var effektiva hjälpmedel för att utifrån mätningar på ett begränsat material kunna möjliggöra detektion av skillnader mellan försöksled. Den testtrigg som tagits fram bör därför kunna vara en användbar resurs för vidare arbete i syfte att utveckla kedjor och slipningsmetodik som medför en högre avverkningskapacitet och/eller lägre energiåtgång vid kapning.

Slutsatser

- Bland de fabriksnya kedjorna hade Carlton B8, Stihl RMH och Oregon 18HX närmast identisk kaptid och energiåtgång. Stihl RMHS hade kortare kaptid (~6 procent) och lägre energiåtgång (~7 procent) än övriga tre fabriksnya kedjor. Dessa skillnader var statistiskt säkerställda med en mycket hög grad av säkerhet.
- Den omslipade Carlton B8-kedjan hade kortare kaptid (~9 procent) och lägre energiåtgång (~10 procent) än den fabriksnya Carlton B8-kedjan. Dessa skillnader var statistiskt säkerställda med en mycket hög grad av säkerhet.
- Svärdmatningstrycket vid kapning var lägre för Stihl RMHS och den omslipade Carlton B8-kedjan än för övriga tre fabriksnya kedjor. Skillnaden uppgick till cirka 6 procent och var statistiskt säkerställd med en hög grad av säkerhet.

Referenser

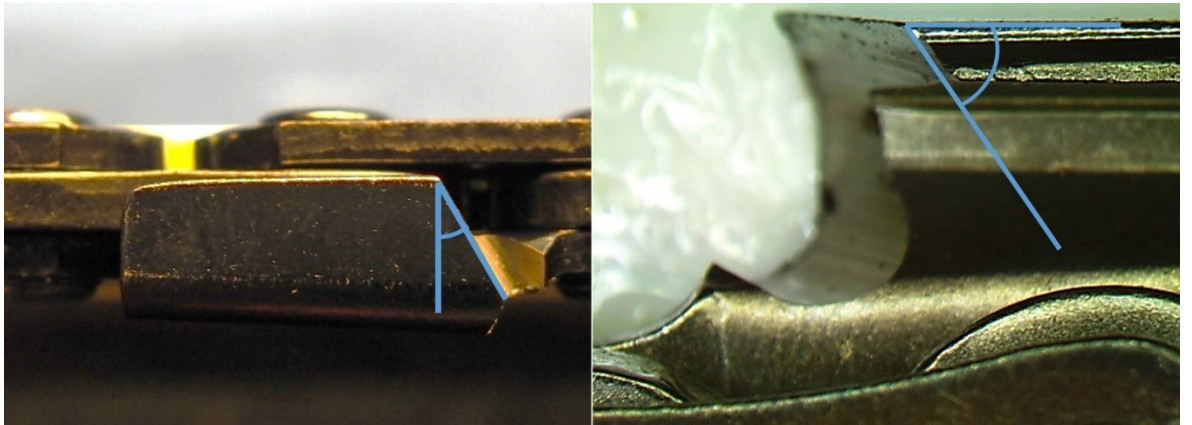
- Dahlström, J. & Helgesson, T. 1992. Provning av sågkedjor på engreppsskördare. Rapport från Träteknik. Nr 9202014.
- Hallonborg, U. 2003. Maskinsågkedjor i praktisk drift. Redogörelse från Skogforsk. Nr 1.
- Hallonborg, U. & Granlund, P. 2002. Virkesbehandling med engreppsskördare. Redogörelse från Skogforsk, Nr 3. 43 s.
- 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. Arbetsrapport från Skogforsk. Nr 884.
- Hannrup, B. & Jönsson, P. 2010. Utvärdering av sågmotorn F11-iP med avseende på uppkomsten av kapsprickor – en jämförande studie. Arbetsrapport från Skogforsk. Nr 708.
- Johansson, U., Hallonborg, U. & Granlund, P. 2004. Kedjeskottets väg klarlagd – nu kan skydd utvecklas och testas. Resultat från Skogforsk. Nr 4.
- Jönsson, P., Hannrup, B., Gelin, O. & Löfgren, B. 2014. Utvärdering av sågenheten R5500 med avseende på kaptid och energiåtgång. Arbetsrapport från Skogforsk. Nr 821.
- Stacke, L-E. 1989. Cutting Action of Saw Chains. Doctoral Thesis. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden. 1989. p. 150.
- 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.

Personligt meddelande

- Brunberg, T. Skogforsk; 2015. Opublicerad uppföljning utifrån skördarnas maskindata.
- Jönsson, P. & Hannrup B. 2015. Opublicerade data.
- Edwinsson, E. 2015. Avverkningsentreprenör Mekanav AB.

Bilaga 1

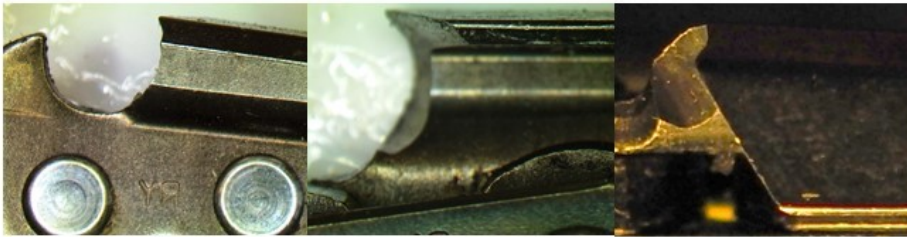
Definition av de vinklar som mäts på skärtänderna



Figur 1.
Definition av filningsvinkel (vänster bild) och eggvinkel (höger bild).

Bilder av skärtänderna hos de utvärderade kedjemodellerna

Carlton B8



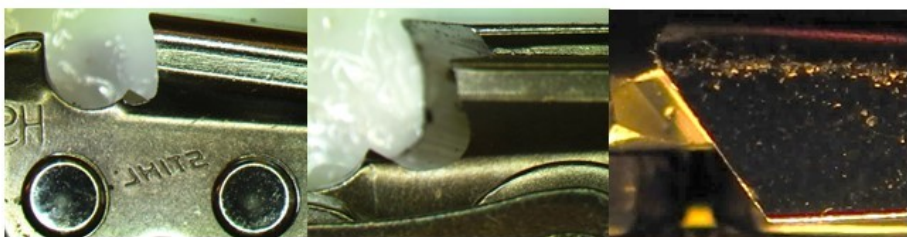
Carlton B8 Ljusdals sliptjänst



Stihl RMH



Stihl RMHS



Oregon 18HX



Regressionsekvationer för sambanden mellan kaparea och kaptid

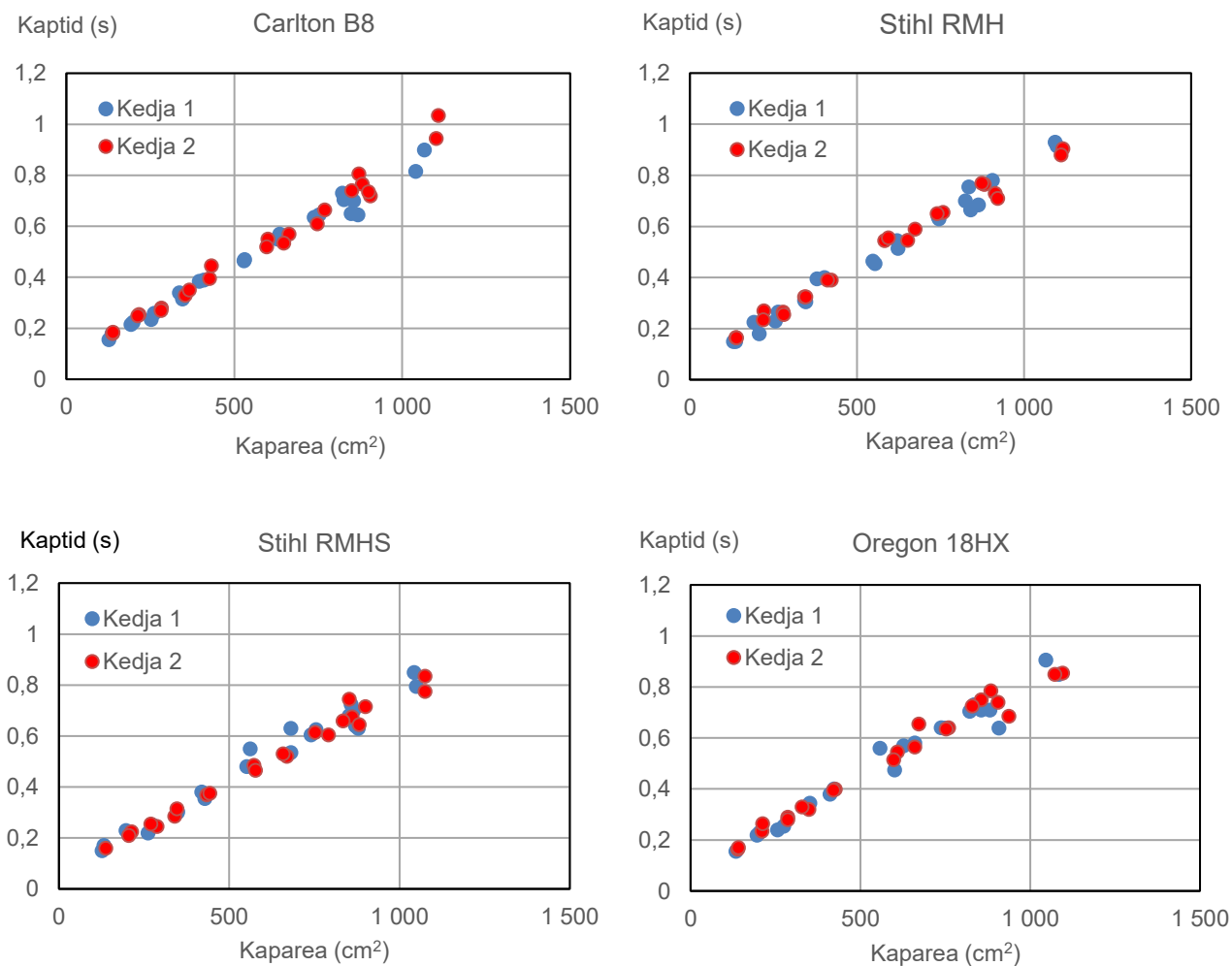
Tabell.

Försöksledens regressionsekvationer för samband mellan kaparea och kaptid samt modellernas förklaringsgrader.

Försöksled	Regressionsekvation ¹⁾	R ²
Carlton B8	$\text{Kaptid} = 0,0665 + 0,00077 \times \text{kaparea}$	0,98
Stihl RMH	$\text{Kaptid} = 0,0595 + 0,00077 \times \text{kaparea}$	0,99
Stihl RMHS	$\text{Kaptid} = 0,0661 + 0,00071 \times \text{kaparea}$	0,98
Oregon 18HX	$\text{Kaptid} = 0,0795 + 0,00074 \times \text{kaparea}$	0,98
Omslipad Carlton B8	$\text{Kaptid} = 0,0719 + 0,00068 \times \text{kaparea}$	0,98

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

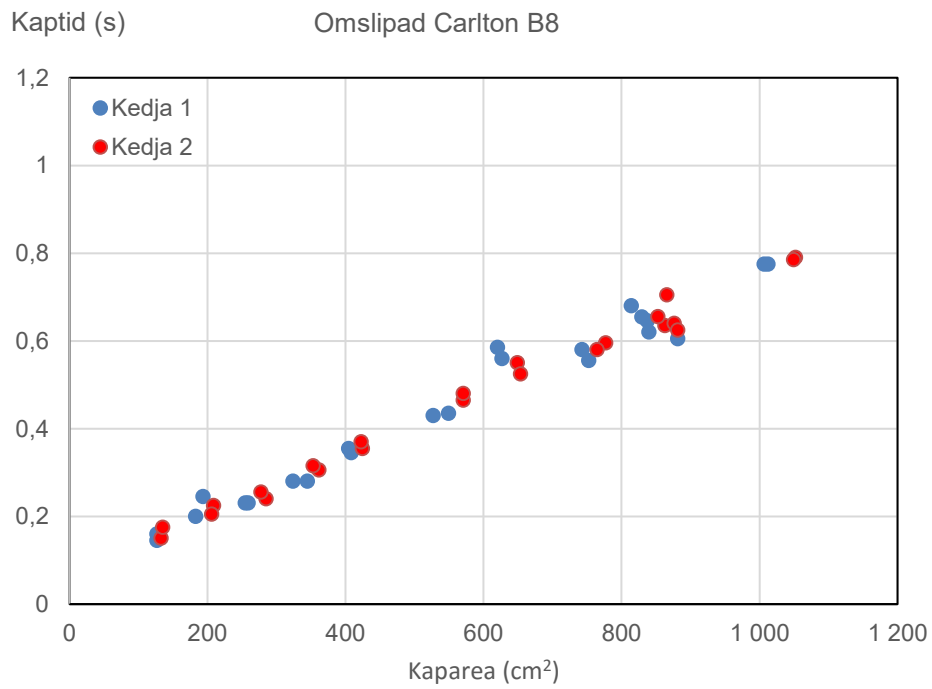
Plot av kaparea mot kaptid för fabriksnya kedjor



Figur 1.

Plot av kaparea mot kaptid (trissorna) för de fyra kedjemodeller som utvärderades med fabriksnya kedjor. Varje datapunkt representerar mätvärden för en kapad trissa. Mätvärdena för de två kedjorna inom kedjemodell är markerade med blå, respektive röd färg.

Plot av kaparea mot kaptid för de omslipade kedjorna



Figur 1.
Plot av kaparea mot kaptid (trissorna) för de omslipade kedjorna. Varje datapunkt representerar mätvärden för en kapad trissa. Mätvärdena för de två kedjorna inom kedjemodellen är markerade med blå, respektive röd färg.

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2015

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. – Nationwide evaluation of a system for automated follow-up of thinning. 56 s.
- 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 Johannesson, T. 2015. Ny teknik för askåterföring i skogsmark. – New technology for ash recycling on forest floor. 14 s.
- Nr 861 Asmoarp, V., Nordström, M. & Westlund, K. 2015. Stämmer väglagervolymer? – En fallstudie inom projektet "Skogsbrukets digitala kedja". – "Are roadside stock volumes correct? – A case study in the Digital Chains in Forestry project. 17 s.
- Nr 862 Möller, J.J., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2015. Utveckling och test av beslutsstöd vid automatiserad gallringsuppföljning. – Development and test of decision-support tool for automated monitoring of thinning 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. – Distributed work lighting – LED lamps improve lighting on forest and agricultural machines. 20 s.
- Nr 865 Hofsten von, H. & Funck, J. 2015. Utveckling av HCT-fordon i Sverige. – HCT, heavier vehicle, truck design, ST, ETT. 28 s.
- Nr 866 Fridh, L. 2015. Utvärdering av fukthaltsmätare 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. 20 s.
- 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 Englund, M., Lundström, H., Brunberg T. och Löfgren, B. Utvärdering av Head up-display för visning av apteringsinformation i slutavverkning. 15 s.
- Nr 870 Löfroth, C. 2015. ETTaero – En förstudie av aerodynamisk utformning av skogsfordon. – A pilot study of aerodynamic design of forest vehicles 32 s.
- Nr 871 Grönlund, Ö., Iwarsson Wide, M., Hjerpe, T. och Sonesson, J. 2015. Skadeförekomst efter tidig gallring. – Damage after early thinning. 14 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. – Possibilities for coastal maritime transport of forest fuel in Sweden. 22 s.
- Nr 875 Grönlund, Ö. & Iwarsson Wide, M. 2015. Uttag av skogsbränsle vid avveckling av låg skärmar av björk. – Harvest of forest fuel when birch shelterwoods are removed. 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. – Thinning in Sections – a work method for small-tree harvest. 17 s.
- 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 stor age 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. 46 s.
- 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. 61 s.
- Nr 883 Högbom, L. & Rytter, R.-M. 2015. Markkemi och fastläggning av C och N i bestånd med snabbväxande trädslag - Etapp 2. – Slutrapport till Energimyndigheten 2015. – Soil chemistry and C and N sequestration in plantations with fast-growing tree species – Phase 2. – Final report to The Swedish Energy Agency 2015. 17 s.
- 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.
- Nr 885 Willén E. & Andersson, G. 2015. Drivningsplanering. En jämförelse mellan sju skogsföretag – A comparison of seven forest companies 2015. 31 s. + Bilaga 2-8.
- Nr 886 Johansson, F. 2015. Kontinuerlig uppföljning av drivmedelsförbrukning och lastfyllnadsgrad för ETT- och ST-fordon 2014. – Continual monitoring of fuel consumption and load utilisation of ETT and ST vehicles 21 s.
- Nr 887 Högberg, K.A. 2015. Selektionseffekter vid förökning av gran med somatisk embryogenes. – Selection effects of somatic embryogenesis in propagation of Norway spruce. 11 s.
- Nr 888 Enström, J. & von Hofsten, H. 2015. ETT-Chips 74-tonne trucks – Three 74-tonne chip trucks monitored in operation over one year. 23 s.
- Nr 889 Rytter, L., Stener, L.G. 2015. Gråal och hybrid alder.-En potential för ökad energiinriktad produktion i Sverige. – Grey alder and hybrid alder-Potentials for increased biomass production for energy in Sweden. 28 s.
- Nr 890 Asmoarp, V. & Enström, J. 2015. Fokusveckor 2015-Bränsleuppföljning för ETT 74 tons flisfordon inom projektet ETT-Flis. – Focus Weeks 2015 Monitoring fuel consumption of a 74-tonne chip truck in the ETT project. 25 s.
- Nr 891 Johannesson, T., Enström J. & Ohls, J. 2015. Test av paraffinolja för att motverka fastfrysning av flis i containrar. – Test of paraffin oil to prevent wood chips freezing onto surfaces in steel containers. 5 s.

År 2016

- Nr 892 Ågren, K., Hannrup, B., Jonsson, R., Jönsson, P., Lundström, H. och Nordström, M. Utvärdering av dimensionsmätning och förekomst av kapsprickor vid avverkning med Komatsu X19. – Evaluation of measurement quality and frequency of bucking splits in harvesting with the Komatsu X19 Harwarder. 21 s.
- Nr 893 Ågren, K., Möller, J. J. och Bhuiyan, N. 2016. Utveckling av en standardiserad metod för kalibrering av volymsbestämning vid avverkning med flerträdshanterande skördaraggregat. – Development of a standardised method for calibrating volume measurements when using a multi-tree handling harvester head. 27 s.
- Nr 894 Almqvist, C. & Rosenberg, O. 2016. Bekämpning av grankotterost (*Thekopsora areolata*) med fungicider – Försök utförda 2014 och 2015. – Control of cherry spruce rust infection (*Thekopsora areolata*) by use of fungicides – Trials performed in 2014 and 2015. 10 s.
- Nr 895 Westin, J., Helmersson, A. & Stener, L.-G. 2014. Förädling av lärk i Sverige. – Kunskapsläge och material. Genetic improvement of larch in Sweden – knowledge status and seed materias. 55 s.
- Nr 896 Mohtashami, S., Nordlund, S., Krook, M., Bergkvist, I., Ring, E. & Högbom, L. 2016. Körskador vid slutavverkning – en inventeringsstudie i Mälardalen. 16 s.
- Nr 897 von Hofsten, H. & Eliasson, L. 2016. Skotning av grot och rundved med en kombiskotare eller med två dedikerade skotare. 8 s.
- Nr 898 Rytter, L. & Mc Carthy, R. 2016. – Uthållig produktion av hybridasp efter skörd – Slutrapport 2016 för Energimyndighetens projekt 30346. - Sustainable production of hybrid aspen after harvest – Final Report 2016 from Swedish Energy Agency Project 30346.
- Nr 899 Bhuiyan, N., Möller, J.J., Hannrup, B. & Arlinger, J. 2016. Automatisk gallringsuppföljning. – Arealberäkning samt registrering av kranvinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot – Automatic follow-up of thinning-stand area estimation and use of crane angle data to identify strip road trees and calculate thinning quotient. 47 s.
- Nr 900 Pettersson, F. 2016. Effects of type of thinning and strip road distance on timber production and economy in the Scots pine field experiment at Kolfallet. Results after two thinnings and a 20-year study period.
- Nr 901 Eliasson, L., Mohtasami, S. & Eriksson, A. 2016. Analys av ett högproduktivt flissystem – Analysis of factors affecting a high productive chip supply system. 20 s.
- Nr 902 Enström, J., Asmomar, V., Davidsson, A., Johansson, F., Jönsson, P. & Mohtashami, S. 2016. Transportsystemet Inlandsbanan – The Inlandsbanan transport system. 50 s.
- Nr 903 Klingberg, A., Persson, T. & Sundblad, L.G. 2016. Projektrapport – Fröskörd från tallfröplantage T2 Alvik – Effekt av inkorsning på planteringsresultatet i fält (projekt nr 244). – Project report Harvests from the T2 Alvik orchard – Effect of cross-pollination on operational planting outcome.
- Nr 904 Friberg, G. & Bergkvist, I. 2016. Så påverkar arbetsrutiner och markfuktighetskartor körskador i skogsbruket – How operational procedures and depth-to-water maps can reduce damage on soil and water and rutting in the Swedish forestry 28 s.

- Nr 905 Berlin, M. & Friberg, G. 2016. Proveniensval av Svartgran i Mellansverige. – Provenance choice of black spruce in central Sweden.. 22 s.
- Nr 906 Grönlund, Ö. 2016. Kontrollmätningens utformning vid chaufförers travmätning. – Quality control procedure for stack measurement by truck drivers. 16 s.
- Nr 907 Björheden, R. 2016. Mekaniserad avverkning av grova lövträd - en litteraturstudie. – Mechanised harvesting of large-size hardwood trees – a literature study. 26 s.
- Nr 908 Bhuiyan, N., Hannrup, B., Nordström, M. & Larsolle, A. 2016. Beslutsstöd för stubbskörd.– Utveckling av ett prototypprogram för snabbare implementering i skogsbruket. – Decision-support tool for stump harvest. – Development of prototype software for faster implementation in forestry. 22 s.
- Nr 909 Möller, J.J., Siljebo, W., Hannrup, B. & Bhuiyan, N. 2016. Modul för beräkning av skogsbränsle baserat på skördardata. – hprCM version 1.0 – Harvested Production Calculation Module baserad på StanForD 2010 version 3.2.
- Nr 910 von Hofsten, H., Eliasson, L., Lundström, H. & Granlund, P. 2016. Prestation och bränsleförbrukning för två stora trumhuggar avsedda för flisning på terminaler. – Production and fuel consumption for two large drum chippers. 14 s.
- Nr 911 Jonsson, R., Jönsson, H. & Lundström 2016. Prestation och kostnader för slutavverkningsdrivare Komatsu X19 harwarder med snabbfäste. – Performance and cost in final felling for Komatsu X19. Harwarder with quick hitch. 40 s.
- Nr 912 Jonsson, R., Jönsson, P., Lundström, H. & Manner J. Prestation och kostnader för drivaren Komatsu X19 och tvåmaskinsystem med Komatsu 941 och 895 i grov slutavverkning – Performance and costs for the Komatsu X19 harwarder compared to Komatsu 941/895 harvester/forwarder in heavy-timber final felling. 38 s.
- Nr 913 Jönsson, P., Andersson, M., Hannrup, P., Henriksen, F. & Högdahl, A. 2016. Avverkningskapacitet för sågkedjor – en jämförande studie. – Cutting capacity of saw chains – a comparative study. 38 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. 913–2016



www.skogforsk.se