



Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 907–2016

Mekaniserad avverkning av grova lövträd – en litteraturstudie

Mechanised harvesting of large-size hardwood trees
– a literature study

Rolf Björheden

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 907–2016

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

Titel:

Mekaniserad avverkning av grova lövträd - en litteraturstudie.

Mechanised harvesting of large-size hardwood trees – a literature study.

Bildtext:

Avverkning av grov bok med skördare.

Foto: Niklas Nannestad, SUSAB

Ämnesord:

Lövträd, mekaniserad avverkning, avverkningsteknik, upparbetningsteknik.

Hardwoods, mechanised logging, logging technology, processing technology.

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



Rolf Björheden, professor.

Chef för FoU-programmet Teknik och Virke.

Rolf har främst arbetat med metod- och systemutveckling för drivning och transport samt med försörjningssystem för skogsbränsle.

Abstract

The proportion of hardwoods is increasing in Swedish forests, and a corresponding increase in hardwood harvesting levels is plausible. The Skogforsk Framework Programme 2013–2016 identifies a lack of logging technology suitable for large-size hardwood trees.

Large-size hardwoods are particularly challenging for logging machines currently available. A mixed system combining mechanised and motor-manual resources has been the most efficient solution to this problem. Such systems are rare, due to the general difficulties of recruiting skilled motor-manual labour in the western world, so work to develop suitable mechanised solutions for hardwood logging has intensified.

In the Nordic countries, work began on improving hardwood harvesting technology in the 1980s. Projects are now currently under way in countries such as France, Canada and the US, where hardwoods constitute a large proportion of the forest asset, providing extra incentive for working on the technical development connected with hardwood harvesting. In this report, findings of the various relevant R&D projects found in literature are presented, compiled and evaluated.

Hardwood heads need to be powerful and robust, with short contact length, to allow flexible feed along crooked and bulbous stems. The design of the delimiting knives must be adapted to reduce the feeding force needed (i.e. thin blades with low friction) without subjecting knives to the risk of deformation or breakage. It would be interesting to see a combination of the design elements for efficient delimiting knives that have been proposed by the various development projects.

Technical development may alleviate the problems of harvesting larger hardwoods. Appropriate tree breeding in combination with a strict silvicultural regime aimed at early removal of unfavourable phenotypes are equally important components of hardwood stand management.

Förord

Lövträdsandelen ökar i svenska skogar och detta gäller inte minst grövre löv som är tunga, krokiga, flerstammiga, svårkvistade etc. och därmed besvärliga att avverka och upparbeta med mekaniserade metoder. Det klassiska sättet att klara detta problem har varit att kombinera maskiner och motormanuella resurser, men det blir allt svårare att rekrytera och behålla kvalificerade huggare. I Skogforsks ramprogram 2012–2016 efterfrågas bättre teknik för avverkning av grövre lövträd. Men det är inte endast i Sverige som en mer ändamålsenlig avverkningsteknik för den grova lövskogen efterfrågas. Även i de stora skogsländerna på kontinenten och i Nordamerika har detta utvecklingsbehov uppmärksammats och ett antal utvecklingsprojekt finns rapporterade från dessa länder. Det är naturligt att de stora utvecklingsinsatserna i denna fråga görs i sådana länder som, jämfört med Sverige, har ett stort skogskapital i form av grov ädellövskog.

I denna arbetsrapport sammanfattas relevanta resultat från dessa projekt, med det franska institutet FCBA:s projekt ECOMEF som en särskilt rik källa. Jag har också haft ett uppskattat stöd i samtal med kollegor inom och utanför Skogforsk. Särskilt bör nämnas och tackas Magnus Thor, Lars Rytter, Torbjörn Brunberg, Lars Eliasson och Rikard Lehmann som alla med kloka synpunkter förbättrat resultatet av min författarmöda.

Uppsala 2016-09-20

Rolf Björheden

Innehåll

Förord	1
Sammanfattning.....	3
Bakgrund och syfte	5
Nordisk utvecklingsinsats för mekaniserad lövträdsavverkning	7
Teknik för kvistning av lövträd	7
Metoder för avverkning och terrängtransport.....	11
Teknik för fällning och sammanföring.....	11
Utveckling av kortvirkessystem för lövträdsavverkning i östra USA	11
Optimering av kvistknivar för effektivare kvistning av lövträd.....	12
ECOMEF – fransk teknikutveckling för mekaniserad lövträdsavverkning	13
Basmaskin i lövträdsavverkning	14
Grundläggande krav på ett skördaraggregat för lövträd	14
Skördaraggregatets uppbyggnad och kontaktorgan.....	16
Matningsfunktion och uttagbar matningskraft.....	16
Utveckling av kvistknivar för lövträdsavverkning	19
Slutsatser och implikationer för svenska förhållanden	23
Referenser.....	24

Sammanfattning

Lövträdsandelen ökar i svenska skogar. Därmed torde andelen löv i avverkningarna komma att höjas med tiden. I Skogforsks ramprogram 2012–2016 efterfrågas teknik och metoder som ger förutsättningar att försörja den industri som efterfrågar lövvirke. Implicit avses virke från grövre lövträd som är tunga, krokiga, flerstammiga och svårkvistade etc., d.v.s. sådana träd som besvärliga att hantera med dagens mekaniserade metoder. Hittills har avverkning och upparbetning av sådana träd ofta utförts genom motormanuella insatser, men detta är ett tungt och farligt arbete och medför höga kostnader. Motormanuell arbetskraft är dessutom en alltmer knapp resurs. Denna problembild är inte begränsad till Sverige eller Norden utan ingår som en gängse del i bakgrundsbeskrivningen även internationellt. I såväl nordamerikansk som europeisk litteratur framhålls kombinationen av motormanuella och mekaniserade avverkningsresurser som det mest ändamålsenliga, samtidigt som utvecklingen av den mekaniserade resursen bedöms som nödvändig med hänsyn till bristen på kvalificerad motormanuell arbetskraft.

Frågan om en mer rationell lövvirkesförsörjning genom anpassad avverkningsteknik och utvecklade metoder hanterades grundligt i ett NSR-projekt under 1980-talet (Løvtræteknik i nordisk skovbrug), även om en hel del av studierna inom NSR-projektet avsåg klenare triviallöv och därmed faller utanför ämnet för denna arbetsrapport. Därefter har de mest ambitiösa utvecklingsinsatserna gjorts i östra USA och Kanada samt i Frankrike. I denna arbetsrapport redovisas och sammanfattas resultat från de olika insatser som i litteraturen rapporterats vad gäller utveckling av effektiv teknik och rationella metoder för avverkning av grövre lövträd.

Med hänsyn till de begränsade medel som står till förfogande för skogsteknisk FoU-verksamhet torde uppgiften att ambitiöst utveckla specialiserad avverknings- och upparbetningsteknik för mekaniserad avverkning av grövre lövträd prioriteras lågt. Det förefaller rimligare att bevaka vad som kan komma ut av de mer välmotiverade utvecklingsinsatser som sker i Centraleuropa och i östra Nordamerikas lövskogsbälte.

Nordamerikansk utveckling går delvis på en linje som knappast är förenlig med svensk och nordisk kortvirkestradition. Några av de mera ruggade aggregat som marknadsförs kan tjäna som inspiration genom att de är mycket robusta och klarar att överföra energi från en mycket kraftfull basmaskin. De bästa kandidaterna är huvuden med litet avstånd mellan aggregatets kontaktorgan, vilket ger god förmåga att följa krokiga stammar.

Det känns naturligt att syd- och framför allt mellaneuropeiska länder tar en ledande roll vad gäller utveckling av mekaniserade avverkningssystem för grövre lövträd. Det för nordiskt skogsbruk mest lovande teknikutvecklingsprojekt som bedrivits under senare tid bedöms vara det franska ECOMEF-projektet. Men även många av de rön som redovisas av det 25-30 år äldre samnordiska projektet Løvtræteknik i nordisk skovbrug äger fortsatt relevans. Det vore intressant att kombinera några av de designelement som kännetecknar en god kvistningskniv enligt det nordiska projektet (släppning, underfas, glidskenor, eventuellt även vinklad egglinje) med de lovande innovationer som redovisas från ECOMEF.

Trots att denna litteraturstudie avser utveckling av teknik, kan det vara på sin plats att påpeka att en uppmärksam och aktiv skogsskötsel är särskilt viktig som medel för att förbättra förutsättningarna för ett lönsamt lövskogsbruk. Användning av förädlat plantmaterial och individval vid röjning och gallring är exempel på åtgärder som kan bidra till att skapa värdefulla och lättavverkade lövbestånd. En aktiv skötsel kommer att vara mycket betydelsefull, även om tekniken kan utvecklas och bli bättre på att upparbeta lövträd.

Såväl de centraleuropeiska skogsländerna som den nordamerikanska marknaden gör bedömningen att det hittills dominerande avverkningssystemet (en kombination av mekaniserade och motormanuella resurser) kommer att bli svårt att bibehålla som en följd av brist på kvalificerade huggare. För de nordiska maskintillverkarna kan därför vara av stort intresse att noga följa och bidra till utvecklingen av lövträdsteknik, då trenden nu tycks vara att även avverkningen av grövre löv mekaniseras så långt som möjligt i ett flertal mycket betydande skogsländer.

I generella termer redovisas från de projekt som utförts inom området att basmaskinen bör vara relativt tung för att utgöra en stabil verktygsplattform vid avverkningsarbetet samt kunna utveckla tillräcklig kraft för kranarbete, fällning och upparbetning. Maskinen bör kunna utveckla åtminstone 150 kW, och ha en robust kran med tillgång till lägst 190 kNm lyftmoment inom arbetsområdet. Enligt franska erfarenheter bör basmaskinen hellre överdimensioneras än ligga i underkant.

Skördaraggregatet måste vara starkt och robust men samtidigt smidigt nog för att kunna komma åt att fälla enskilda stammar vid avverkning av träd i buketter. Aggregatet bör ha kort stamkontaktlängd för att ge goda förutsättningar för matning av de ofta ojämna och krokiga lövstammarna, vilket i kombination med flytläge för hela aggregatet gör det enklare att följa stamkrök under kvistning. Aggregatets kontaktorgan bör utformas så att friktionen mellan stam och aggregat minimeras med tanke på det höga dragkraftsbehovet vid matning och kvistning av större lövträd.

Flera omfattande projekt har utförts för att utveckla bättre kvistknivar och resultaten av dessa studier stödjer i huvudsak varandra. Knivarnas anliggning bör vara liten (20–30 millimeter, eller maximalt 40–70 mm, om knivarna även skall bära stammen under upparbetning) för att minska friktionen vilket åstadkoms genom släppningsfas på knivens stamsida, genom glidskenor, urfräsningar eller kombinationer av dessa lösningar. En alltför liten anliggning av kniven emot stammen ökar dock risken för vedinträngning och stamskador. Ju tunnare knivblad desto mindre kraft åtgår för kvistningen, men samtidigt ökar då risken för brott och deformation av kvistknivarna. Olika typer av förstyvningar har testats för att nå en god kompromiss. I nordiska studier anges en bladtjocklek från 10–15 millimeter som välfungerande, och franska försök som utförts ett kvarts sekel senare påvisar bäst resultat vid en bladtjocklek på 12 millimeter men där urfrästa räfflor minskat eggens tjocklek till 7 millimeter. Eggvinkeln bör vara $< 60^\circ$ för att balansera kravet på aggressiv kvistning och styrka hos eggen.

Bakgrund och syfte

År 2010 utgjorde lövträden 594 miljoner m³sk av det totala virkesförrådet, 3 169 miljoner m³sk, i svenska skogar, d.v.s. en andel av nära 19 procent. Såväl andelen lövträd som den absoluta volymen synes öka relativt kraftigt. Tillväxten av lövträd under perioden 2001 till 2010 var 236 miljoner m³sk medan avgången under samma period endast uppgick till 100 miljoner m³sk. Detta innebär en absolut ökning av volymen lövträd med 136 miljoner m³sk, vilket motsvarar 57 procent av den totala förrådsupbyggnaden under perioden (Skogsstatistisk årsbok, 2014). I den officiella statistiken redovisas även andelen grövre lövträd, där nära 140 miljoner m³sk lövträd har en brösthöjdsdiameter över 30 centimeter och drygt 40 miljoner m³sk över 45 centimeter. Detta innebär att mängden grova lövträd fördubblats sedan 1990.

Lövträdsandelen ökar således i svensk skog. Andelen löv i avverkningarna torde höjas med tiden. I Skogforsks ramprogram 2012–2016 efterfrågas teknik och metoder som ger förutsättningar för att rationellt och med högt nettovärde försörja den industri som efterfrågar lövvirke (Skogforsk, 2012).

Mekaniseringen av avverkningsarbetet har framgångsrikt skapat sådana förutsättningar då det gäller barrvirke. Barrträden, vilka är helt dominerande som råvara för svensk skogsindustri, är i normalfallet en- och rakstammiga, finkvistiga och med måttligt hårt virke. Med normala omloppstider är träden, i internationell jämförelse, små och därmed hanterliga. Utmaningarna har därmed varit måttliga för mekanisering av avverkningen. Bland de ur mekaniseringsynpunkt besvärliga lövträdsegenskaper som brukar nämnas finns bukettindivider, oftast uppkomna genom stubb- och rotskotts bildning efter tidigare avverkning, flerstammighet, ojämn mantelyta, stamkrökar, dels mycket grova grenar, dels fina kvistar som lätt böjer sig undan kvistknivarna och med mycket varierande, men ofta spetsigt vinklad ansättning. Dessutom är virket för flera trädslag väsentligt hårdare och tyngre än för barrträden. (Kofman (Ed.) 1991; Bigot & Cuchet, 2003; Dargnat m.fl., 2014). En ytterligare stark drivkraft som motiverar ökad mekanisering är svårigheterna att rekrytera kompetenta motormanuella huggare till arbetet, som beskrivs som tungt och riskfyllt.

Huvuddelen av lövträdsförrådet i de svenska skogarna består emellertid av ”triviallöv”, d.v.s. trädslag som björk, asp och al, tillsammans med över 15 procent (12, 1,6 respektive 1,5) av virkesförrådet (Skogsstatistisk årsbok, 2014). Då dessa trädslag växer i slutna bestånd, har egenskaper som liknar de som nämndes för barrträden. De kan i normalfallet avverkas och hanteras med samma teknik och metoder som används för barrträden (Figur 1).

De lövträd för vilka vi i dagsläget saknar verkligt effektiva mekaniserade alternativ är i stället grövre ädellövträd, främst bok, ek, ask, lönn och alm. Virkesförrådet av dessa trädslag, med dbh > 25 centimeter utgör totalt 46,5 miljoner m³sk, varav 42 i Götaland och, resterande i Svealand. Problemet med ”svår-mekaniserad lövträdsavverkning” härrör, i ett svenskt perspektiv, till cirka 1,5 procent av den stående virkesvolymen, koncentrerat till landets sydligaste delar (Skogsstatistisk årsbok, 2014). Värde mässigt torde betydelsen vara betydligt högre eftersom goda kvaliteter av lövtimmer är högt prissatta. Trots detta har volymen lövtimmer minskat något de senaste decennierna, från en nivå på 400–500 000 m³fub/år på 1990-talet till cirka 200 000 m³fub/år hittills, under 2010-talet (Skogsstatistisk årsbok, 2014).



Figur 1.
Så kallat triviallöv (björk, asp, al m.fl. utgör som regel inget stort problem för moderna avverkningssmaskiner. Insprängda i bestånd utvecklar de oftast gynnsam stamform och virkets tyngd och hårdhet påminner om barrträdens. De stora problemen gäller främst grövre ädellöv, främst bok och ek. (Foto: Torbjörn Brunberg)

Utvecklingstrycket för lövträdsteknik har, som en följd av den låga andelen grova lövträd, varit begränsat i Sverige även om vissa ansatser funnits, t.ex. i samband med NSR-projektet *Lövtråsteknik i nordisk skovbrug* (Kofman (Ed.), 1991) som på danskt initiativ genomfördes i slutet av 1980-talet. Man rekommenderade där ”blandsystem” vid avverkning i grövre lövbestånd – mekaniserat men med tillgång till motormanuella resurser. På tekniksidan noterades även att rörliga kvistknivar med en skärvinkel kring 30° skulle förbättra förmågan till mekaniserad kvistning. På senare tid har mera omfattande metod- och teknikutvecklingsprojekt genomförts t.ex. i Italien (Schweier m.fl., 2014), i Frankrike (Chakroun & Cacot, 2014) och i USA (LeDoux, 2009) där grov lövskog är en mer betydande del av skogsresurserna än vad som är fallet i Sverige. I Kanada bildades 2013 Northern Hardwoods Research Institute, inledningsvis med en tyngdpunkt på skötsel- och materialfrågor, men skogsteknik finns med på programmet (Labelle m.fl., 2016). Denna rapport baseras på studier av litteratur från de länder som gjort de största ansträngningarna att utveckla teknik och metoder för avverkning av grova lövträd. Jag har sökt begränsa litteraturstudien till att omfatta kortvirkessystem, som betraktats som mest relevanta för svenska förhållanden trots att litteraturen, särskilt den nordamerikanska är mer omfattande för stam- och långvirkesmetoder. Syftet är att ge en bild av de framsteg som gjorts, den teknik som i dagsläget finns tillgänglig och de rekommendationer kring teknik- och metodval som är aktuella i dessa länder.

I separata avsnitt redovisas resultat från studerad litteratur från projekt som genomförts med syfte att öka mekaniseringsgraden vid avverkning i bestånd med grövre lövträd. Avsnittet Slutsatser ägnas åt att utvärdera denna forskning ur ett svenskt perspektiv och att beskriva utestående frågeställningar och problem.

Nordisk utvecklingsinsats för mekaniserad lövträdsavverkning

NSR-projektet *Lövträteknik i nordisk skovbrug* utgjorde en samlad, nordisk utvecklingsinsats för mekanisering av lövträdsavverkning, genomförd under ledning av Skovteknisk Institut i Danmark under senare delen av 1980-talet. Projektet slutrapporterades 1991 (Kofman (Ed.) 1991). Insatserna berörde sex olika teman, (deltagarländer med underprojekt i respektive tema inom parentes):

1. Teknik för kvistning av lövträd (SE, DK, FI).
2. Metoder för avverkning och terrängtransport (SE, DK, FI).
3. Upparbetning i brant terräng (NO).
4. Teknik för fällning och sammanföring (DK, FI).
5. Avveckling av lövskärm (FI).
6. Kronbiomassa hos björk (FI).

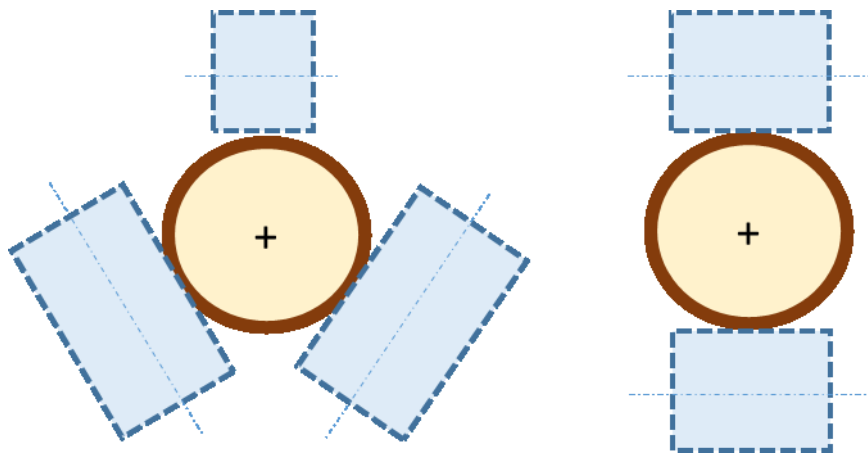
Av störst intresse i detta sammanhang är *Tema 1 och 4*. Övriga projekt berörde inte de stora, tunga lövträd som fortfarande skapar problem vid mekaniserad avverkning, avsåg småskalig teknik eller teknik som idag är föråldrad.

TEKNIK FÖR KVISTNING AV LÖVTRÄD

Träteknik genomförde i samarbete med SLU en del grundläggande tekniska studier av mekaniserad kvistning av lövträd. De viktigaste resultaten av dessa undersökningar (Kofman (Ed.) 1991) sammanfattas nedan. Inledningsvis konstateras att de grundläggande faktorer som påverkar kvistningsresultat och prestation är desamma oavsett trädslag, men då svårighetsgraden är högst för grova lövträd så är det också där som kravet på god utformning av tekniska lösningarna är som störst. *En bearbetningsenhet som med gott resultat och prestation klarar att upparbeta grova lövträd torde därmed också vara väl lämpad att upparbeta mindre utmanande sortiment.* De faktorer som påverkar resultat och prestation är:

- Bearbetningsenhetens grepp om stammen vid matning och kvistning.
- Principen för centrering av stammen i bearbetningsenheten.
- Styrning av bearbetningsenheten längs stammen.
- Kvistverktygens utformning.
- Matningsanordningens utformning.
- Tillgänglig och i kontaktytan mellan stam och matningsanordning överförbar effekt.

Ett fast grepp om stammen är viktigt för hantering av trädet under fällningssammanföring. Det erhålls vanligen med hjälp av matningsanordningen i kombination med kvistknivar och, eventuellt, griparmar. Då kvistknivar (och griparmar) utnyttjas för att bära stammen även under uppabetning så uppstår en avsevärd anliggningskraft mot stammen, vilket kraftigt ökar friktionen och därmed kravet på matningskraft. Om trädet under uppabetning huvudsakligen bärs av mataranordningen, så minskar behovet av matningskraft, vilket är fördelaktigt (Figur 2). Glidskenor på kvistknivarnas anliggningsyta minskar friktionen ytterligare och ersätter dessutom behovet av underfas, vilket ger möjlighet till aggressiv eggvinkel utan att risken för vedinträngning ökar.

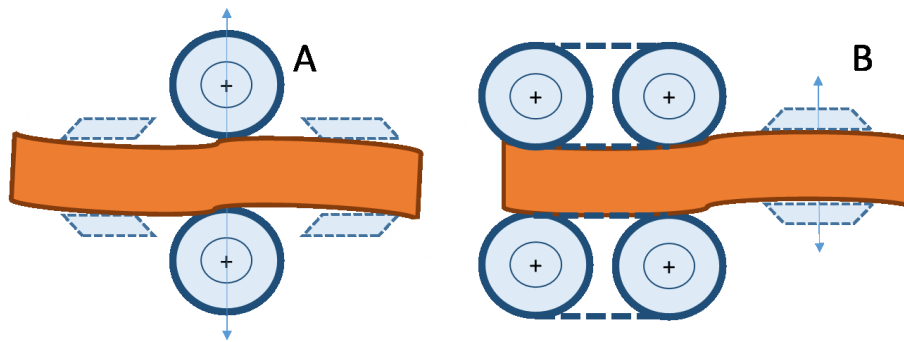


Figur 2.

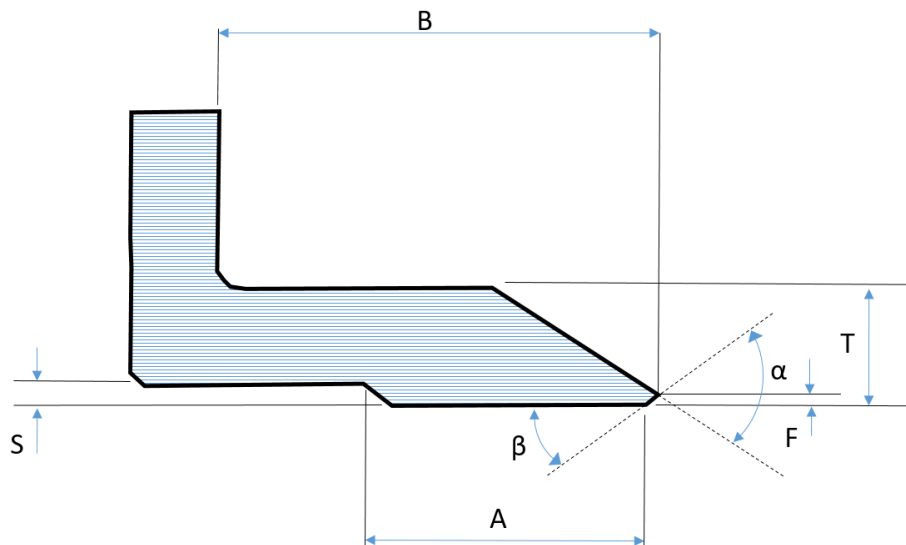
Matarvalsar som bär trädet under uppabetning, med minimal hjälp av kvistknivar och griparmar skulle minska behovet av matningskraft och öka förmågan att kvista, (efter Kofman (Ed.) 1991).

Centreringen av stammen sker i de flesta aggregat genom *kantcentrering*. Stammen trycks emot de fasta kvistknivarna i aggregatets rygg, vilket innebär att stammens centrum flyttas allt närmre ryggen då diametern minskar. Om i stället *mittcentrering* tillämpas så kommer stamcentrum, i aggregatets diameterregister, att i princip ligga i ett fixerat läge i virkesbanan, vilket gör det enklare att utforma kvistverktyg med god stamomslutning.

Styrningen av bearbetningsenheten längs stammen, sker med de verktyg som används för att hålla och driva trädet, matningsanordning, kvistknivar och eventuella griparmar. Ju kortare avståndet är mellan dessa, desto ojämna blir bearbetningsenhetens gång men samtidigt underlättas matning av krokiga stammar. Styrningen av stammen bör endast ske i två punkter, för att undvika brytningar och friktionskrafter (Figur 3). För att minska problemet att kvistknivarna skär in i krokiga stammar bör antingen matningsanordning eller (helst) kvistningsverktyget flytande kunna följa stammens krökning. Den senare principen (Alternativ B, Figur 3) testades på ett Silvatec 330-aggregat (Andersson & Eickhoff, 1989). Även aggregatets kvistknivar modifierades och försågs med glidskenor för minskad friktion vilket även möjliggör aggressivare eggvinkel. Resultatet blev att tidsåtgången minskade vid avverkning av träd >15 centimeter dbh, en lägre andel vedskador men ingen skillnad i kvistningsresultat. Materialet innehöll träd upp till 23 centimeter dbh, d.v.s. en måttlig trädstorlek.



Figur 3.
Principiella tekniska lösningar för att erhålla god kvistning av krokiga stammar, A med styrpunkter i form av fasta kvistknivar/bärande och flytande matningsanordning samt B med styrpunkter i form av fast matningsanordning och flytande kvistknivar, (efter Kofman (Ed.) 1991).



Figur 4.
Några viktiga parametrar hos kvistknivar (efter Kofman (Ed.) 1991).

A = Anligningslängd mellan kvistkniv och stam, bör vara kort för låg friktion. Längden för kvistknivar som ej bär upp stammen (= låg anligningskraft) uppges till 20–30 millimeter och för knivar som skall medverka till att bära stammen till 40–70 millimeter. För kort anligningslängd ökar risken för barkning.

B = Avstånd från egg till förstövning, avgörs av de krav på gren diameter (= B) och grenvinklar som aggregatet skall klara. Friktionen mellan kvistkniv och grenved kan minskas genom en yttre anordning som böjer grova grenar framåt under avskiljning.

T = Kvistknivens tjocklek, vilken bör göras så liten som kraven på mekanisk stabilitet medger, 10–15 millimeter anges som riktvärden.

S = Släppning. Minst 3 millimeter, men behöver ökas något för breda knivar. Övergången från S till A, liksom knivens bakkant, bör fasas för att undvika barkning vid backmatning. Släppningssulan kan ersättas av glidskenor vilket ger möjlighet att slipa utan underfas (β), med en aggressivare eggvinkel (α) och även minskar friktionen mellan stam och kvistkniv.

F och vinkeln β avgör kvistknivens underfas. Lämpliga värden på F anges till 0,5–4 millimeter och $\beta < 30^\circ$. Vid låga värden på F och β ökar verktygets aggressivitet och benägenhet att skära in i stamved och bark, medan höga värden ger benägenhet att glida över klenare kvistar och att grenstumpar.

α = eggvinkel, bör vara $< 60^\circ$ för att undvika stora krav på avskärningskraft.

För tveeggade knivar, som kvistar även vid backmatning, uppges att α kan ökas till 75° , β till 45° och F till 5 millimeter.

Kvistverktygens utformning är av mycket stor betydelse för ett gott resultat. Materialval och teknisk utformning har stor betydelse för förmågan att följa stammens mantelyta, för knivarnas hållbarhet och för eggens förmåga att behålla skärpan. Ett noggrant underhåll krävs för att vidmakthålla verktygens funktion. I Figur 4 (efter Kofman (Ed.) 1991) markeras några betydelsefulla parametrar, efter Träteks studier, vilka kommenteras i figurtexten.

Vinklade kvistknivar har förespråkats som ett sätt att minska kraftbehovet vid kvistning. Särskilt vid avkvistning av utpräglade grenvarv skulle detta kunna medföra att grenarna avskiljs en i taget, vilket då skulle minska kraftbehov och påfrestning på kvistknivarna. Laboratoriemätningar (Helgesson, 1976), där rak respektive 45° vinklad kniv testades för grendiametrar från 1 till 5 centimeter påvisade inte någon sådan effekt. Fältförsök med 16° snedslipade knivar på ett skördaraggregat (Eickhoff, 1988) gav snarast det motsatta resultatet: att kraftbehovet ökade vid snedslipning av egglinjen, men skillnaderna var små. Prestation och kvistningsresultat påverkades inte märkbart. Försöksförarna påpekade dock att de upplevde att aggregatet fick en mjukare gång med de snedslipade knivarna.

Som ett led i NSR-projektet genomfördes också praktiska test hos Sydved som då hade tagit initiativ för att förbättra kvistningsresultatet (Pilkvist, 1991). Man hade upplevt betydande vrakning och nedklassning av främst lövvirke till följd av dålig kvistning. Pilkvist underströk särskilt:

- Bästa möjliga material för att hålla skärpa och undvika rundslitning.
- Minimera knivbladets tjocklek och slipa överfasen med rundad ”kulle”.
- Glidskenor på anliggningsfasen minskar friktion, behov av underfas och medger en önskvärd, mer aggressiv eggvinkel.
- Minst 50 millimeter mellan egglinje och eventuellt förstyrningsjärn (B, Figur 4).
- Rörlig toppkniv, helst rörlig knivkasett.
- Sneda eggar i förhållande till stammen kan ge en mjukare gång hos aggregatet.
- Undvik höga kvistknivtryck.

Sydveds observationer överensstämmer i huvudsak med och bekräftar de studier som genomfördes av Träteck och av Skogsarbeten.

METODER FÖR AVVERKNING OCH TERRÄNGTRANSPORT

Kombinationen med mekaniserad avverkning med ett motormanuellt stöd vid avverkningen av de ”besvärligaste” lövträden undersöktes av Skogsarbeten (Eickhoff, 1989). Resultaten visade att en kombination av engreppskördare och motormanuell insats kan sänka kostnaden vid avverkning av bestånd med hög andel krokiga och grovkvistiga träd. En utveckling av aggregaten för att bättre klara de grövre lövträden ansågs som möjlig och skulle i sådana fall minska behovet av motormanuellt stöd för avverkning och upparbetning.

De finska och danska studierna inom detta delmoment genomfördes i relativt klenta gallringsbestånd och resultaten bedöms inte ha relevans för den frågeställning som hanteras i denna litteraturstudie.

TEKNIK FÖR FÄLLNING OCH SAMMANFÖRING

Fällare och fällare-buntare testades i danska försök som ett sätt att delmekanisera avverkning av grövre lövträd. Den mekaniserade fällningen underlättade den efterföljande apteringen av stamdelar till tvåmeters kubb medan topparna lämnades för efterföljande flisning. Resultaten visade att kombinationen mekaniserad fällning, motormanuell aptering av rundvirke samt flisning av gren och toppvirke gav prestations- och kostnadsmässiga fördelar jämfört med rena mekaniserade eller motormanuella system.

De finska studierna genomfördes i relativt klenta, björkdominerade bestånd på torvmark med delmekaniserad avverkning där fällning gjordes motormanuellt varefter en skotare med gripsåg kapade och lastade de fällda träden som okvistat kortvirke, d.v.s. träddelar. Resultaten bedöms inte ha relevans för den frågeställning som hanteras i denna litteraturstudie.

Utveckling av kortvirkessystem för lövträdsavverkning i östra USA

LeDoux (2009) redovisar hur utvecklingen i Appalachenas lövskogsområden går från det traditionella långvirkessystemet, med motormanuell fällning, kvistning och kapning vid avlägg, mot en ökad andel mekaniserade kortvirkessystem (Figur 5). De vanligaste systemen bygger på avverkning och upparbetning vid stubbe med bandgående fällare-buntare och processor eller med skördare och terrängtransport av kortvirket släpat med griplunnare, men även skotare, med buren last har allt mer kommit till användning. Denna utveckling uppges driven av kostnads- och produktivitetsskäl, men är också föranledd av arbetarskyddsfrågor, svårigheter att rekrytera motormanuella resurser och av strävan mot ökad skonsamhet emot mark och fältskikt under avverkningsarbetet (Wester & Eliasson, 2003).

En sammanfattning av referenserna från LeDoux (2009) visar att den nordamerikanska erfarenheten av detta systemskifte är att de mekaniserade systemen ger högre produktivitet och lägre kostnader, signifikant lägre påverkan på mark och miljö. Bell (2002) visar att mekaniseringen har betydande fördelar även för säkerhet och arbetarskydd där företag som gått från motormanuell till mekaniserad fällning sett olycksfallen sjunka från 19,4 till 5,2 per 100 manår som en följd av mekaniseringen. En ytterligare fördel som nämns är ett jämnare flöde av virke vilket minskar behovet av kapitalbindning i lager (American Pulpwood Association, 1997). LeDoux anger även att bandgående

skördare och fällare-buntare med hyttnivellering särskilt är att föredra då terrängen är småbruten, brant och stenig. Sannolikt bygger detta påstående på jämförelse med fyrhjuliga alternativ och inte på sex- eller åttahjuliga avverkningsmaskiner av nordisk typ. Hjulgående skotare med band/kedjor uppges vara att föredra vid längre terrängtransportavstånd under förutsättning att det inte är för brant. Fördelar som nämns är, jämfört med lunning, lägre markpåverkan och sänkt kostnad på längre transportavstånd.



Figur 5.
Fällare-läggare, JD 903J. Nordamerikansk teknik för lövträdsavverkning bygger ofta på utveckling av stam- och trädsystem. Denna typ av system bedöms vara svåra att tillämpa i svenskt skogsbruk. Foto: Rolf Björheden.

OPTIMERING AV KVISTKNIVAR FÖR EFFEKTIVARE KVISTNING AV LÖVTRÄD

Under 1990-talet genomförde USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, tekniska laboratorieförsök för att utveckla kvistknivdesign som ger en effektiv kvistkniv med minimerat kraftbehov. Försöken genomfördes i en testbänk där erforderlig kraft uppmättes för att driva ett rakt knivblad genom fastmonterade klena stammar av sockerlönna (*Acer saccharum*) som simulerade grenar. Ett stort antal variabler testades: ”grenarnas” diameter och vinkel, knivbladets vinkling och tjocklek samt eggens utformning och vinklar (Mattson & Sturos, 1996). Eggvinklar, en emot matningsriktningen sned angreppsvinkel samt knivbladets tjocklek var, tillsammans med grendiameter, de faktorer som signifikant påverkade kraftbehovet (Sturos & Matsson, 1996). Resultaten visade att knivbladets utformning och angreppsvinkel har stor betydelse för kraftbehovet samt att då förekommande aggregat skulle få betydligt ökad kapacitet om knivarna modifierades (Sturos & Matsson, 1996).

ECOMEF – fransk teknikutveckling för mekaniserad lövträdsavverkning

Det franska tekniska institutet FCBA (en sammanslagning av tidigare AFOCEL och CTBA) har mellan 2009 och 2015 drivit det ambitiösa teknikutvecklingsprojektet ECOMEF som syftar till att utveckla effektiva och ändamålsenliga redskap för mekaniserad lövträdsavverkning. Arbetet har bedrivits experimentellt och syftar till att ta fram ett prototypaggregat. Så vitt känt har arbetet bedrivits utan egentligt samarbete med maskintillverkare.

Bakgrunden till projektet anges av Cacot m.fl. (2015) främst vara:

- En tilltagande knapphet på motormanuella resurser. En omfattande upphandling av motormanuella resurser från östra Europa är otillräcklig och bedöms endast temporärt avhjälpa bristen. Detta gör att en ökande andel av lövskogsavverkningen måste göras med mekaniserade system. (Kombinationen av motormanuella och mekaniserade resurser framhålls som det alljämt effektivaste systemet i grövre lövskog).
- En förutsedd kraftig ökning av lövträdsandelen i årsavverkningen, delvis som en följd av ökat intresse för bränseflis, men också som råvara till delar av den franska skogsindustrin i övrigt.
- De brister som nuvarande tekniska lösningar för mekaniserad avverkning av barrträd uppvisar då de används vid avverkning av (grövre) lövträd. Det gäller främst aggregatets stamföljning, kvistning och mätning samt i någon mån fällning, vid avverkning av buketter och träd med kraftiga rotben.

I slutrapporten för ECOMEF (Cacot m.fl., 2015) görs en genomgång av de krav som uppställts för ett lövträdsanpassat skördarhuvud. Bakgrunden till de tekniskt mer utmanande krav som ställs på ett aggregat för lövträdsavverkning är de redan tangerade skillnaderna mellan löv- och barrträd där lövträden generellt har tyngre och hårdare trä, grövre grenar och spetsigare grenvinkel, stamkrök, flerstammighet och stamklykor samt för fällningsarbetet besvärande rotben och bukettväxt. Dessa förhållanden bidrar till en svår teknikmiljö där särskilt kvistningen medför mycket stora mekaniska påkänningar, men där även kraven på basmaskinen påverkas som en följd av stort behov av kraft och stabilitet för att kunna utföra ett tyngre avverkningsarbete och hantera mycket tunga träd.

BASMASKIN I LÖVTRÄDSAVVERKNING

För franska förhållanden rekommenderas att basmaskinen skall ha en motoreffekt på minst 150 kW, en robust kran med ett lyftmoment vid normal arbetslängd på lägst 190 kNm (Cacot m.fl., 2015). Man bör, enligt franska erfarenheter, snarast överdimensionera basmaskinen. För att öka stabiliteten på hjulmaskiner kan däckena vätskefyllas.

Som prisvärda alternativ hänvisas till anläggningsbranschens maskiner, framför allt grävare med sin robusta, starka kran. Man påpekar också problem med ett sådant maskinval; sämre hydraulkapacitet gör ofta att extra pumpar måste installeras; sämre terrängkörningsförmåga (och ergonomi vid körning i terräng); omfattande rot- och markskador. Kranarbetet är långsamt jämfört med avverkningsmaskinens och maskinerna är för otympliga för att kunna användas vid blädning/gallring.

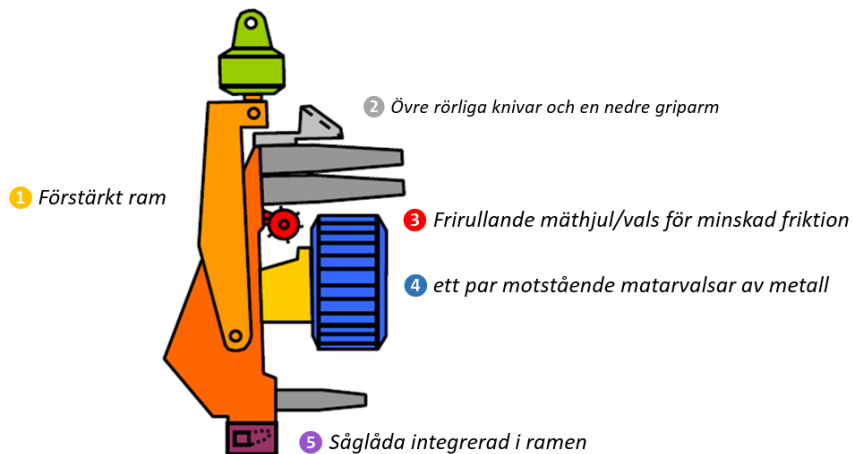
GRUNDLÄGGANDE KRAV PÅ ETT SKÖRDARAGGREGAT FÖR LÖVTRÄD

I NSR-projektet Løvtræteknik i nordisk skovbrug gjordes en ganska grundlig genomgång av hur ett aggregat för mekaniserad upparbetning av grövre löv bör se ut. Man konstaterade där att den styrande längden (Figur 8) bör vara ”så kort som möjligt” och att endast två styrande punkter skall finnas, vilket kan åstadkommas genom flytande kvistknivar (”knivkasett”) eller matningsanordning (Figur 3). Frågan har ägnats en hel del uppmärksamhet även i det franska ECOMEF-projektet. Här sammanfattas några av resultaten från det franska utvecklingsprojektet.

Robusthet, förmåga att följa stamkrökar och att avskilja grova grenar samt tillräcklig kraft är de huvudparametrar som efterfrågas, enligt ECOMEF. Starkast möjliga konstruktion bör väljas och materialet bör vara högpresterande stål, t.ex. Strenx, Hardox eller Weldox, som kombinerar styrka och abrasionsstålighet med relativt låg vikt.

Vid frekvent arbete i lövdominerad skog bör aggregatet ha en ”överkapacitet” på minst 50 procent i förhållande till medeldiametern (om den genomsnittliga diametern är 30 centimeter så bör man ha ett aggregat med minst 45 centimeter kapacitet). Aggregatets knivar/griparmar och matarvalsar bör så smidigt som möjligt kunna komma åt enskilda stammar i bukettväxande träd. Det är en fördel om aggregatets matningsanordning kan bära och hålla trädet under upparbetning (jfr. Figur 2). Måthjulet kan då utnyttjas som frirullande vals för att förbättra styrning och minska friktionen. Man avråder från huvuden med tre eller fyra matarvalsar (se framsidesbilden), vilka ofta marknadsförs som ”lövträdsaggregat”, om förekomsten av bukettväxande träd är stor, eftersom dessa aggregat har svårt att komma in i buketterna. Att aggregatets upphängning i kranspetsen kan växla över till flytläge under upparbetning uppges underlätta arbetet.

För att förse aggregatet med erforderlig kraft rekommenderas en pump med cylindervolym 180 cm³, helst lastavkännande, med variabelt displacement. Alternativt föreslås ett system med två pumpar där en med 300 bars tryck driver matarvalsar och såg och den andra, med lägre tryck (80–100 bar) förser kvistknivar och griparmar med kraft.



Figur 6.
Schematisk bild av aggregat som uppfyller ECOMEF:s kriterielista (efter Cacot m.fl., 2015).

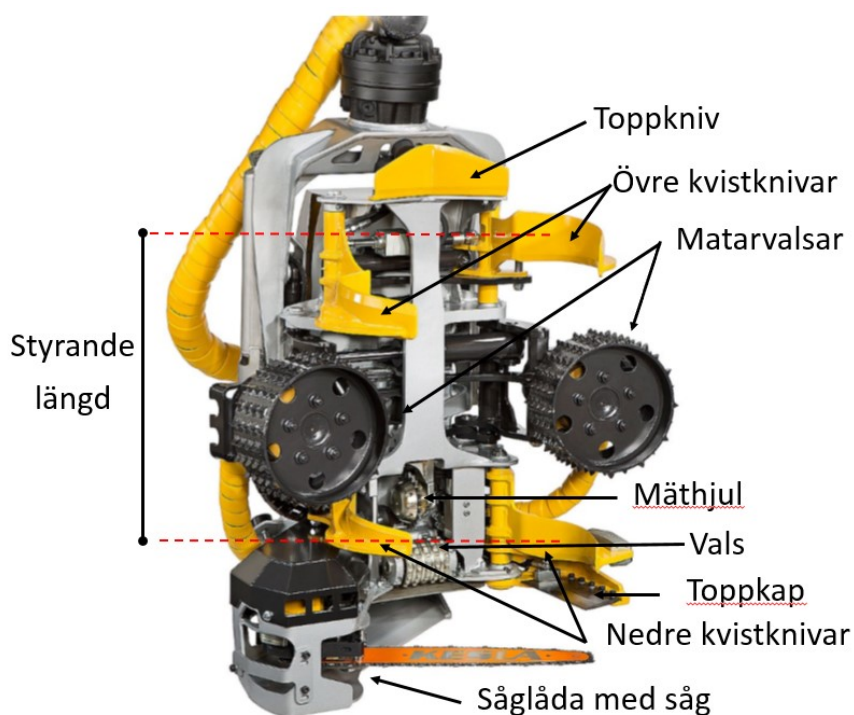
Farroux m.fl. (2014) utvärderar nuvarande aggregat med avseende på deras lämplighet att mata stammar med krökar, vilket är en vanlig orsak till problem då det gäller grövre lövträd. För godtagbar förmåga att följa stamkrökar gäller att aggregatets ”styrande längd” (avstånd mellan aggregatets övre och nedre griporgan (Figur 6 och Figur 8), begränsas till maximalt 50–60 cm.

ECOMEF-projektet (Cacot m.fl., 2015) konstaterar att inget av de aggregat som i dag finns på marknaden helt uppfyller dessa krav, även om några varianter har anpassats för att passa bättre för lövträd. Särskilt framhålls Risleys skördaraggregat (Figur 7), (www.risleyequipment.com), Rolly II som har en maximal stamomfattning på 71 cm, en maximal kapdiameter på 61 centimeter med flera olika alternativa avskiljningsdon. Huvudet är konstruerat i moduler, vilket gör att olika utrustningsalternativ finns som tillval. Det har ovanligt kort stamkontaktlängd vilket i kombination med ett flytläge för hela aggregatet uppges göra det enklare att följa stamkrök under kvistning.



Figur 7.
Risleys skördaraggregat Rolly II uppfyller flera av de krav som uppställs av det franska ECOMEF projektet. Bild från www.woodbusiness.ca/harvesting/harvesting-and-processing-heads 2016-03-24.

SKÖRDARAGGREGATETS UPPBYGGNAD OCH KONTAKTORGAN



Figur 8.
Exempel på uppbyggnad av ett engreppsskördaraggregat och termer använda i denna rapport.
(Fotot från KESLA:s produktblad).

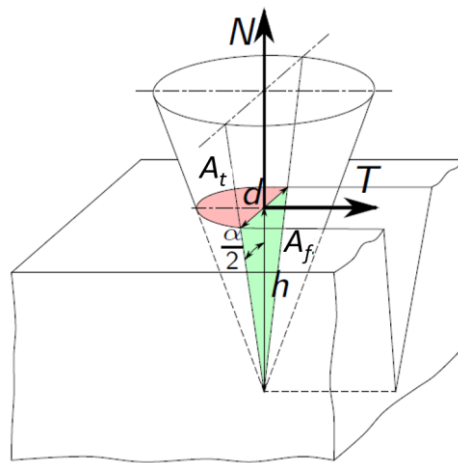
MATNINGSFUNKTION OCH UTTAGBAR MATNINGSKRAFT

I ECOMEF:s grundläggande ansats har ingått att studera de fundamentala förloppen vid avverkning av kortvirke, där matningen har kritisk betydelse såväl för kvistningsförlopp som för uppdelningen av stammen i sortiment. Eftersom lövträdsstammar är krokigare och mer ojämna än barrträd och dessutom tyngre och har grövre grenar, med ofördelaktig grenvinkel så ställs särskilt stora krav på stamhållning och matningskraft, samtidigt som stamföljningen snarast bör vara mer flexibel (Hatton m.fl., 2013a).

I praktiken har två olika matningsprinciper utvecklats för skördaraggregat:

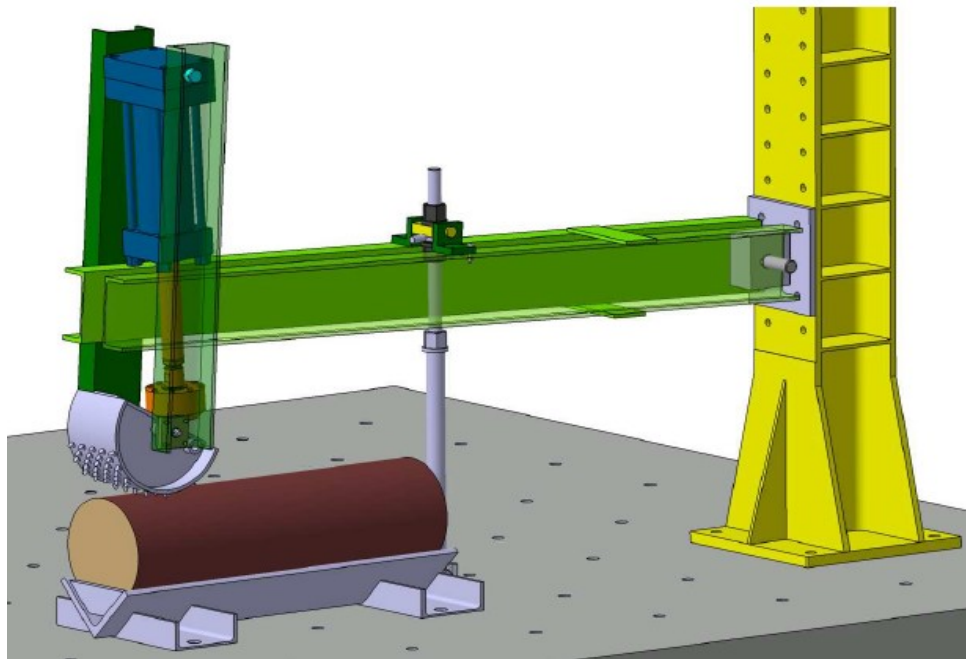
- Stegmatning, där två par griporgan (som ibland även utgör kvistknivar), växelvis griper stammen medan matning (kvistning), sker genom mekanisk eller hydraulisk pistongrörelse längs stammen av det par griporgan som vid varje tillfälle släppt sitt grepp om stammen. En betydande kvistningskraft kan utvecklas av stegmatande aggregat, men de matar långsamt jämfört med alternativet, valsmatning, och behandlas inte vidare i denna litteraturstudie.
- Valsmatning, där stammen drivs genom aggregatet med hjälp av två eller flera matarvalsar. Valsarna förses med dubbar eller kammar för att öka greppet och den överförda matningskraften. Då fler än två matarvalsar utnyttjas förbinds de ibland med ett band för att öka kontaktytan emot stammen, vilket medger uttag av ännu högre matningskraft. Ett generellt problem vid valsmatning är att balansera önskan om hög matningskraft och kontroll mot risken att aggressiva kontaktytor kan ge dubbinträngning och virkesskador.
- I tillägg till ovanstående kan matningen underlättas genom kranrörelser under upparbetning.

Friktionskoefficienten mellan aggregatets kontakt med stammen utgör den grundläggande storhet som avgör hur stor matningskraft som kan överföras från matarvals till stam. Klamecki (1976) lanserade en relativt enkel modell för hur denna kan beräknas, baserat på dubbens inträngning och icke-elastiska deformation av ved under matningsförloppet (Figur 9).



Figur 9.
Transversell (A_t) och frontal (A_f) ingreppsytta för matardubb enligt Klamecki (1976).
Figur efter (Hatton m.fl. (2013b))

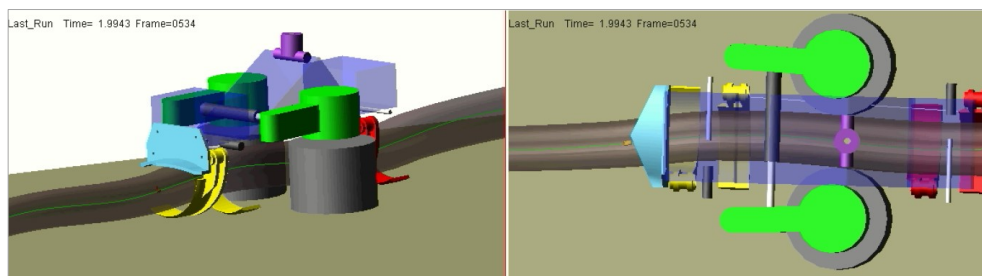
Baserat på Klamecki:s modell genomfördes laborietest i en anordning (Figur 10), där en sektion av en matarvals kunde pressas emot ett stamsegment med känt tryck motsvarande N (Figur 9). Därefter uppmättes vilken kraft som erfordrades för att trycka stamsektionen emot matarvalssegmentets längsriktning. Trycket i matningsriktningen vid ”slirning” beräknades genom att den uppmätta kraften delades med aktuell transversell ingreppsytta och varierade mellan 8 och 34 MPa, men med ett relativt stabilt medelvärde på drygt 18 MPa (Hatton m.fl., 2013a).



Figur 10.
Testbänk för uppmätning av friktion mellan matarvals och stam vid olika bestyckning av matarvalsen och olika valstryck, d.v.s. olika grad av dubbinträngning. (Från Hatton m.fl., 2013b)

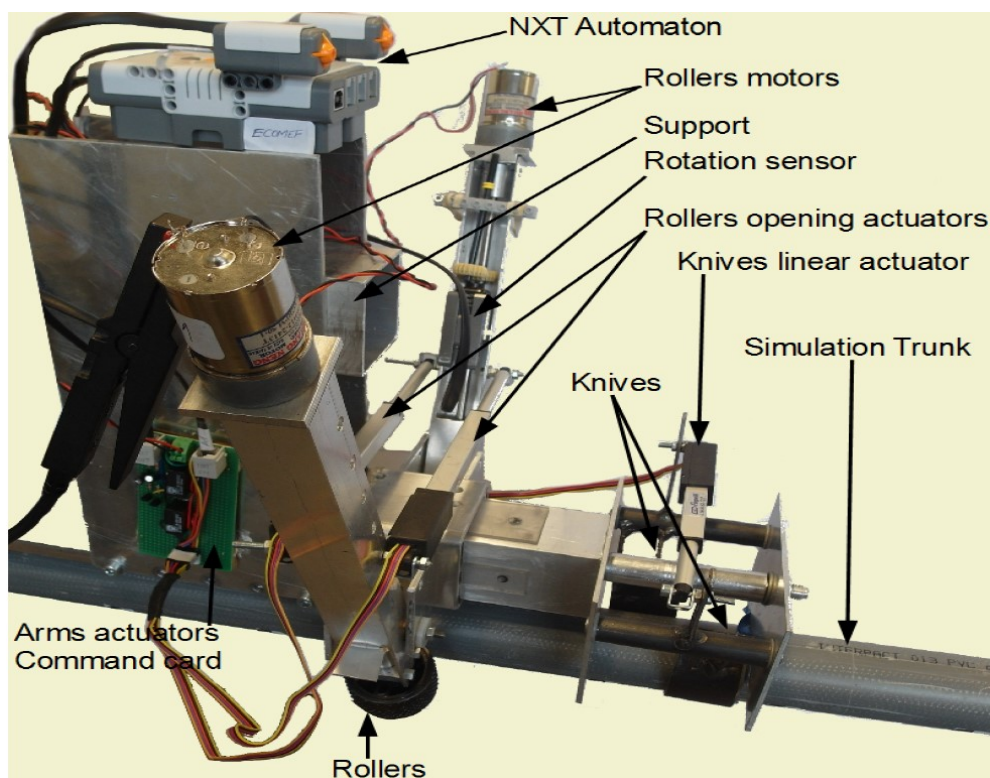
Chebab m.fl. (2014) fann tydliga begränsningar vid matning av krokiga lövträdsstammar, jämfört med rakare barrträd. I ett experiment fick man genomsnittlig prestation på $1,4 \text{ m}^3/\text{min}$ i upparbetning av ädelgran, medan genomsnittsprestationen för bok endast var $0,5 \text{ m}^3/\text{min}$. Den lägre prestationen berodde av flera orsaker men i ett försök att isolera olika orsaker anger de att förbättrad förmåga att följa en krokig stam skulle kunna öka prestationen med 40 procent.

Efter de orienterande fältförsöken analyserades ett KESLA 25RH-aggregats interaktion med en krokig stam och en modell för Adams-simuleringar av ett aggregat med hydrauliskt variabel styrlängd och valbara två eller tre kontaktpunkter (matarvalsar plus ett eller två par kvistknivar) byggdes (Figur 11.) vare sig fältförsöken eller de utförda Adams-simuleringarna tillfredsställde de kunskapskrav man uppställt. Därför avslutades försöken att visa hur stamföljningsförmågan hos ett upparbetningsaggregat skulle kunna förbättras med att man som demonstrator byggde en modell i liten skala av ett aggregat (Figur 12).



Figur 11.
Adamssimulering av ett flexibelt upparbetningsaggregat (från Chebab m.fl, 2014)

De experiment som utfördes på demonstratorn (Figur 22) gav flera intressanta resultat. Av tre testade styrlängder (143, 71 och 5 millimeter) gav alternativet 71 millimeter kortast matningstid liksom minst behov av kraft och moment. Detta tyder på att styrlängden inte skall vara ”kortast möjlig” som ibland anges utan att det finns ett optimum, sannolikt beroende av virkets diameter och graden av krokighet hos stammen. Dock var den allra kortaste styrlängden överlägsen krök i vertikalplanet på teststammen (representerade av gummiklädda PVC-rör som böjts till 10 procent d.v.s. 10 cm/m). Avståndet mellan matarvalsarna kunde varieras. Man testade två uppsättningar: 71 och 78 millimeter och även detta visade sig påverka förmågan att mata stammen. Även här är stamdiametern en betydelsefull faktor att ta hänsyn till. Chebab m.fl. (2014) konkluderar att fortsatta tester behövs för att kunna fastställa optimal konfiguration av ett upparbeitungsaggregat.



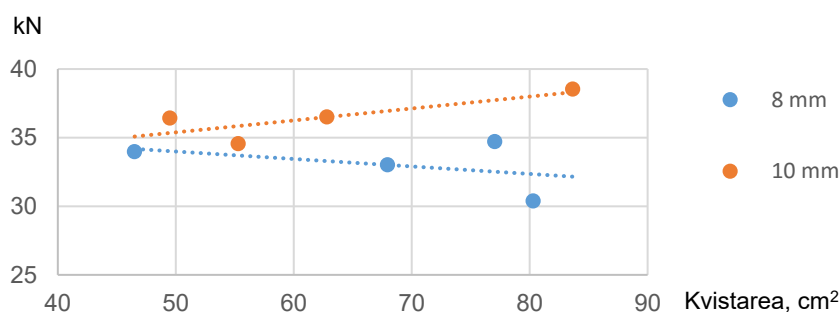
Figur 12.
Experimentell skalmodell/demonstrator av ett flexibelt upparbeitungsaggregat (från Chebab m.fl., 2014).

UTVECKLING AV KVISTKNIVAR FÖR LÖVTRÄDSAVVERKNING

Ett delprojekt i ECOMEF har syftat till att optimera kvistknivarna med tanke på de krav som ställs i samband med avverkning av lövträd (Dargnat m.fl., 2014). Spetsiga grenvinklar gör att aggressiv slipning av kniven är fördelaktig. Samtidigt ställer det hårda virket och kraftiga grenarna krav på stabilitet och seghet i kvistverktygen. Målsättningen för delprojektet var att utveckla effektiva kvistknivar jämfört med dagens konventionella utformning. Utvärdering har skett avseende prestation, kraftbehov, energiförbrukning och kvistningsresultat. Försöket genomfördes dels laboriemässigt i en testbänk, dels i fält med de nya knivarna monterade på ett Kesla 25 RH aggregat.

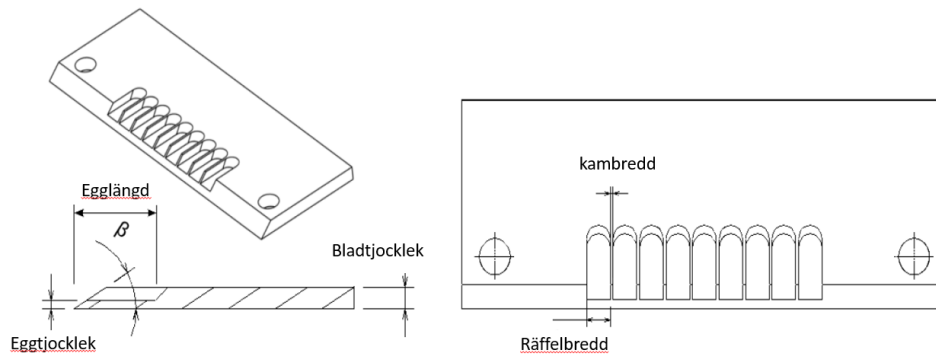
Knivarnas tjocklek har betydelse för vilken kraft som erfordras för att avskilja grenar under kvistningen. Dargnat m.fl. (2014) redovisar, efter att ha genomfört ett sextiototal test (se exempel i Figur 13), uppgiften att kraftbehovet för avskiljning av en cirka 80 millimeter grov ekgren sänktes med cirka 10 procent från 36,5 kN till 33,0 kN då tjockleken för en enkel kvistkniv sänktes från 10 till 8 millimeter. Att en tunnare kniv lättare kan avskilja en gren är intuitivt lätt att förstå, men samtidigt minskar verktygets styrka. En optimal kniv måste alltså balanseras mellan kravet på styrka och önskemålet om tunt knivblad.

Kniven påverkades i försöket inte av friktionsförluster mot stam. För att utveckla tillräcklig kraft är det en fördel om så mycket som möjligt av aggregatets dragkraft kan tas upp via kvistknivarna med ett minimum av friktionsförluster. Detta innebär bl.a. att kvistknivarnas anliggningsstryck bör begränsas. Även knivarnas övriga utformning spelar stor roll för hur stora friktionsförluster som uppstår.



Figur 13. Kraftbehov, kN vid kvistning av lövträd med 8 respektive 10 millimeter tjock kvistkniv vid olika kvistarea. (Efter Dargnat m.fl., 2014).

Med syftet att åstadkomma kombinera en tunn kniv med önskemålen aggressiv eggvinkel, låg friktion och hög hållfasthet utvecklades och testades i COMEF-projektet den design som avbildas i (Figur 14). Hur tunn eggen är bestäms genom räffloras djup i förhållande till bladtjockleken. Egglängden bestäms av längden på de urfrästa räfflor. Mellan de urfrästa räfflor lämnas material kvar i kammar, vilka ökar knivens hållfasthet och styvhet, men också ökar friktionen och displacement under kvistningen. Dargnat m.fl. (2014) anger en eggvinkel, β , kring 30° som en god kompromiss mellan styrka och hållfasthet och anger på liknande sätt lämpliga värden för räffelbredd till 16 millimeter, och egglängd 40 millimeter. Testerna av olika värden på egg-tjocklek (3, 5, 7, 8, 10 och 12 millimeter) och kambredd (1 och 2 millimeter) utfördes därefter på knivar med en bladtjocklek på 8, 10 respektive 12 millimeter. Man fann att eggens tjocklek bör vara minst 5 millimeter för att undvika deformation och eggbrott. En ökad kambredd från 1 till 2 millimeter, vilket ger eggen bättre hållfasthet, ökade endast kraftbehovet marginellt.



Figur 14.

Patenterad kvistkniv utvecklad inom ECOMEF kombinerar fördelarna med en tunnare eggs förmåga till avskärning med ett kraftigare knivblads styvhet och styrka genom urslipade av räfflor, där mellanliggande kammar bidrar till styvhet och styrka samtidigt som friktionen minskas. Bild från (Dargnat m.fl., 2014).

För knivar med en bladtjocklek på 8 millimeter medförde urfräsningen av räfflor att kraftbehovet vid kvistning minskade med 10–12 procent, för 10 millimeter blad var minskningen cirka 20 procent och för de tjockaste bladen, 12 millimeter, var minskningen 25 procent vid egg-tjocklek 5 millimeter. Tendensen är alltså att kraftbehovsminskningen är större, ju tjockare blad som används som utgångsmaterial. Det är intressant att notera att den genomsnittliga kvistningskraften är lika vid samma egg-tjocklek, oberoende av bladtjocklek. Räfflorna verkar således ge god effekt.

De försök inom ECOMEF som studerade kvistningens effektivitet med avseende på kraftbehov utfördes med raka knivar av den typ som avbildas i (Figur 24), i en testbänk. Med hjälp av FEM-simulering kontrollerades att en normal, kurvformad kvistkniv med motsvarande modifiering av egglinjen skulle klara de krafter och påkänningar som noterades under försöken i testbänk. FEM-modelleringen gav även stöd för att optimera den nödvändiga kompromissen mellan hållfasthet och kvistningseffektivitet. Därefter tillverkades en uppsättning av övre, rörliga kvistknivar med beräknade specifikationer och monterades på ett Kesla 25 RH skördaraggregat, som framgår av (Figur 15). Därpå genomfördes fältförsök med olika varianter av de nya knivarna.



Figur 15.
Med stöd från laborieförsök och FEM-modellering tillverkades kvistknivar som monterades på ett Kesla 25RH aggregat för fältförsök av de inom ECOMEF utvecklade knivarna. Detalj av foto, Dargnat m.fl., 2014.

Samtliga konfigurationer av den nya knivtypen gav betydande prestationshöjningar jämfört med konventionella kvistknivar (Tabell 1). Som mest ökade prestationen med 40 procent, för en 12 millimeter kniv med 7 millimeter egg och 43 millimeter långa räfflor. Fortsatta försök kommer att genomföras för att ytterligare förfina dessa lovande resultat.

Tabell 1.

I fältförsök med ett Kesla 25 RH skördaraggregat uppmätt prestationshöjning i kvistning för olika konfigurationer av de modifierade ECOMEF-knivarna, jämfört med aggregatets originalknivar. Jämför begreppsförklaring i Figur 24.

Bladtjocklek, mm	Egg tjocklek, mm	Kambredd, mm	Egg längd, mm	Prestationshöjning, %
12	5	2	43	8
10	3	2	43	23
12	7	2	43	40
12	5	2	94	32
12	7	2	94	32

Slutsatser och implikationer för svenska förhållanden

Nordamerikansk utveckling går delvis på en linje som knappast är förenlig med svensk och nordisk kortvirkestradition. Några av de mera ruggade aggregat som marknadsförs kan tjäna som inspiration genom att de är mycket robusta och klarar att överföra energi från en mycket kraftfull basmaskin. De bästa kandidaterna är huvuden med låg bygghöjd, d.v.s. kort styrande längd (litet avstånd mellan aggregatets kontaktorgan (se Figur 8), vilket ger god förmåga att följa krokiga stammar. Detta är dock en nackdel om även god förmåga till flertådshantering eftersträvas, vilket torde vara fallet i bestånd med hög andel underväxt/klena stammar.

Att med hjälp av förädlat plantmaterial och individval vid röjning och gallring skapa värdefulla och lättavverkade lövbestånd kommer att vara betydelsefullt även om tekniken kan utvecklas och bli bättre på att upparbeta lövträd. Labelle m.fl. (2016) analyserade inverkan av olika formfel (Pelletier, 2013), hos lövträd på skördarens prestation. Man kunde t.ex. visa att ett enda av för lövträd relativt vanliga formfel som flerstammighet, klyka eller kraftig stamlutning ($> 15^\circ$) sänke skördarens produktivitet med minst 15–25 procent för det enskilda trädet. Målet bör således vara att tidigt rensa ut trädindivider som uppvisar sådana fel.

Det känns naturligt att syd- och framförallt mellaneuropeiska länder tar en ledande roll vad gäller utveckling av mekaniserade avverkningssystem för grövre lövträd. Det för nordiskt skogsbruk mest lovande teknikutvecklingsprojekt som bedrivits under senare tid bedöms vara det franska ECOMEF-projektet. Men även många av de rön som redovisas av det 25–30 år äldre samnordiska projektet *Lövträdteknik i nordisk skovbrug* (Kofman, Ed., 1991) äger fortsatt relevans. Det vore intressant att kombinera några av de designelement som kännetecknar en god kvistningskniv enligt NSR-projektet (släppning, underfas, glidskenor, eventuellt även vinklad egglinje) med de lovande innovationer som redovisas från ECOMEF (Hatton m.fl., 2013; Dargnat m.fl., 2014).

Såväl de centraleuropeiska skogsländerna med stor andel grovt löv som den nordamerikanska marknaden gör bedömningen att det hittills dominerande avverkningssystemet (en kombination av mekaniserade och motormanuella resurser) kommer att lida brist på kvalificerade huggare. För de nordiska maskintillverkarna kan därför vara av stort intresse att noga följa och bidra till utvecklingen av lövträdsteknik, då trenden nu tycks vara att även avverkningen av grövre löv mekaniseras så långt som möjligt i ett flertal mycket betydande skogsländer.

Referenser

- American Pulpwood Association. 1997. Active cut-to-length equipment in northern New England.
- Andersson, G. & Eickhoff, K. 1989. Studie av Silvatec 330 engreppsskördare med modifierade kvistknivar. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Stencil 1989-12-20.
- Bell, J. L. 2002. Changes in logging injury rates associated with use of feller bunchers in West Virginia. *Journal of Safety Research*. 33(4): 463–471.
- Bigot, M. & Cuchet, E., 2003. Mechanized harvesting systems for hardwoods. Proceedings of the 2nd Forest Engineering Conference, Växjö, Sweden, 2003.
- Cacot, E., Maire, L., Chakroun, M., Peuch, D., Montagny, X., Perrinot, C. & Bonnemazou, M. 2016. La mécanisation du bûcheronnage dans les peuplements feuillus – Synthèse opérationnelle, FCBA Institut Technologique, Octobre 2015.
- Chakroun, M. & Cacot, E., 2014. Using systematic innovation to develop a new hardwood harvesting tool. Proceedings of the FORMEC 47th Intl. Symposium on Forestry Mechanisation in Nancy, France 2014.
- Chebab, C. E., Perriguy, N., Fauroux, J.-C., Hatton, B., Goubet, D., Devemy, C., Dargnat, G., Gagnol, V., Bouzgarrou, B.-C. & Gogu, G. 2014. Harvesting Machines for crooked trees, Proceedings of the FORMEC 47th Intl. Symposium on Forestry Mechanisation in Nancy, France 2014.
- Dargnat, G., Devemy, C., Faroux, J.-F., Pellet, H.-P., Hatton, B., Perriguy, N., Goubet, D., Chebab, Z., Bouzgarrou, B.-C., Gagnol, V. & Gogu, G. 2014. Determination and optimization of delimiting forces on hardwood harvesting heads. Proceedings of the FORMEC 47th Intl. Symposium on Forestry Mechanisation in Nancy, France 2014.
- Eickhoff, K. 1988. Kvistknivarnas utformning på engreppsskördare, en studie av kvistningsresultat och prestation. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Stencil 1988-06-13.
- Eickhoff, K. 1989. Arbetsfördelning mellan skördare och huggare vid avverkning av grova lövträd. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Stencil 1988-11-17.
- Goubet, D., Fauroux J.-C. & Gogu, G. 2012. Structural synthesis of innovative gripping mechanisms for wood harvesting, in Viadeiro, F. & Ceccarelli, M. (Eds.): *New Trends in Mechanism and Machine Science*, Springer, Mechanisms and Machine Science Vol. 7, ISBN 978-94-007-4901-6, Proc. 4th European Conference on Mechanism Science, EUCOMES 2012, September 18th-22nd, 2012, Santander, Spain.
- Goubet, D., Fauroux J.-C. & Gogu, G. 2013. Gripping mechanisms in current wood harvesting machines. *Frontiers of Mechanical Engineering*. SP Higher Education Press. March 2013, Volume 8, Issue 1, pp. 42–61.
- Hatton, B., Gagnol, V., Bouzgarrou, B.-C. & Gogu, G., 2013a. Modelling of the hardwood harvesting process: feeding model, 21^{ème} Congrès Français de Mécanique 2013, 26-30 August, 2013, Bordeaux (submitted paper).
- Hatton, B., Gagnol, V., Bouzgarrou B. C. & Gogu, G. 2013b. Presentation: Modélisation d'un procédé de bûcheronnage mécanisé – modèle d'entraînement, 21^{ème} Congrès Français de Mécanique, Bordeaux, August 26-30, 2013.
- Helgesson, T., 1976. Snedställd kniv ger mjukare kvistning än rak? STFI-nytt nr 26.
- LeDoux, C. B., 2009. Mechanized Systems for Harvesting Eastern Hardwoods, USDA, Forest Service, NRS, General Technical Report NRS-69.

- Klamecki, B.E. 1976. Friction Mechanisms in Wood Cutting. *Wood Science and Technology* 20, pp. 209–214.
- Kofman, P. D., (Ed.) 1991. Løvtræteknik i nordisk skovbrug – slutrapport af NSR projektet. Danish Institute of Forest Technology, Report 1–1991.
- Labelle, E. R., Soucy, M., Cyr, A. & Pelletier, G., 2016. Effect of Tree Form on the Productivity of a Cut-to-Length Harvester in a Hardwood Dominated Stand, *Croatian J. For. Eng.* Vol 37, 2016: 1, pp 175–183.
- Mattson, J.A. & Sturos, J.B., 1996. Reducing the forces required to delimb hardwoods. Tech. rep., U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station.
- Pelletier, G., Landry, D. & Girouard, M., 2013. A Tree Classification System for New Brunswick. Northern Hardwoods Research Institute, Edmundston, New Brunswick, 53 p.
- Pilkvist, H., 1991. Maskinell kvistning av lövträd. I: Kofman, P. D., (Ed.) 1991. Løvtræteknik i nordisk skovbrug – slutrapport af NSR projektet. Danish Institute of Forest Technology, Report 1–1991.
- Schweier, J., Spinelli, R., Magagnotti, N. & Becker, G., 2014. Analysing different machines for mechanized harvesting of hardwoods in Italy. Proceedings of the FORMEC 47th Intl. Symposium on Forestry Mechanisation in Nancy, France 2014.
- Sturos, J.B. & Mattson, J.A. Mechanical delimiting of northern hardwoods: results from laboratory tests. IUFRO Subject group S3.04-00 meeting, Marquette, Michigan, July 29 – August 1, 1996.
- Skogforsk, 2012. Skogforsks Ramprogram 2013–2016.
- Skogsstatistisk årsbok 2014. Statistiska Centralbyrån, Skogsstyrelsen.
- Wester, F. & Eliasson, L. 2003. Productivity in final felling and thinning for a combined harvester-forwarder (harwarder). *International Journal of Forest Engineering*, Vol. 14 No. 2, July 2003.

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. Vagrust – Projektrapport. 2015. – Vagrust – 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 fukthalsmätare 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., Asmoarp, 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. 9 s.
- 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 Siljebo, W., Möller, J.J., Hannrup, B. & Bhuiyan, N. 2016. Modul för beräkning av skogsbränsle baserat på skördardata. – HPRCM-version 1.0. Baserad på Stanford 2010 version 3.2. 66 s.
- 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.

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. 907–2016



www.skogforsk.se