



Produktivitet och lönsamhet vid skogsbränsleuttag i klena gallringar

- En tidsstudie av Vimek 608 BioCombi i contortabestånd

*Productivity and profitability in early bioenergy-thinnings
- A timestudy of Vimek 608 BioCombi in stands of Lodgepole pine*



Linnea Nordin

**Arbetsrapport 315 2011
Examensarbete 30hp D
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:
Dan Bergström**

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
901 83 UMEÅ
www.slu.se/srh
Tfn: 090-786 81 00



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-315-SE

Produktivitet och lönsamhet vid skogsbränsleuttag i klena gallringar

- En tidsstudie av Vimek 608 BioCombi i contortabestånd

*Productivity and profitability in early bioenergy-thinnings
- A timestudy of Vimek 608 BioCombi in stands of Lodgepole pine*

Linnea Nordin

Examensarbete i Skogshushållning vid inst för skoglig resurshushållning, 30 hp
jägmästarprogrammet

EX0628

Handledare: Dan Bergström, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, teknologi

Examinator: Tomas Nordfjell, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, teknologi

Extern handledare: Mikael Forsman Norra Skogsägarna:

Förord

Denna studie har genomförts under höstterminen 2010 som ett examensarbete på jägmästarprogrammet inom huvudämnet skogshushållning med inriktning mot skogsteknik. Arbetet omfattar 30 högskolepoäng på D-nivå och motsvarar 20 veckors heltidsstudier. Vårdorganisation till denna studie har varit Norra Skogsägarna.

Jag vill skänka mitt största tack till min handledare Dan Bergström på SLU. Tack för all hjälp och motivation du har bistått med under arbetets gång.

Jag vill också tacka Mikael Forsman och Niklas Karlsson på Norra Skogsägarna som har gjort detta examensarbete praktiskt möjligt att utföra. Tack för alla råd och tips ni har kommit med.

Tack till Ronny Karlsson på NH Skogsentreprenad AB som har varit mycket tillmötesgående under fältstudierna och tack till Fredrik Lundberg på Vimek AB som har gett svar på mina frågor.

Jag vill också rikta ett varmt tack till min familj som har stöttat och motiverat mig genom hela arbetet.

Linnea Nordin
Norrflärke februari 2011

Sammanfattning

Efterfrågan på förnyelsebara energikällor ökar ständigt. Det innebär att skogen har fått en allt viktigare roll som energiförsörjare i Sverige. Det finns idag en stor outnyttjad biomassaresurs i unga och täta skogar där den potentiella årliga avverkningen uppgår till fem miljoner ton torrsubstans (TS) vilket motsvarar 23 TWh/år. Däremot blir avverkningskostnaderna höga vid skörd av klena stammar och det efterfrågas idag kostnadseffektiva lösningar på detta problem.

Syftet med studien var att mäta produktiviteten på Vimek 608 BioCombi vid uttag av helträd i klen förstagallring av contorta samt beräkna drivningens ekonomi och skatta gallringens kvalitet. Tidsstudien utfördes i Åmarken, Västerbottens län, som före avverkningen bestod av 4724 stammar/ha och där medelstammen var 26,6 dm³pb.

Den skördade biomassan uppgick i medeltal till 15,3 tonTS/ha och i medeltal skördades 1614 stammar/ha. Gallringsstyrkan motsvarade 34% av den ursprungliga grundytan och andelen stamskador på de kvarvarande stammarna var totalt 12%. Vid 100 meter skotningsavstånd var den totala tidsåtgången i medeltal 17,6 G₀-timmar/ha vilket gav en medelproduktivitet på 0,88 tonTS/G₀-timme. Produktiviteten påverkades starkt av skotningsavståndet, mängden avverkad biomassa, storleken på den uttagna medelstammen samt andelen contorta av den avverkade biomassan. Vid en drivningskostnad på 550 kr/G₀-timme, ett råvarupris på 210 kr/m³f, ett skotningsavstånd på 100 m, en medelproduktivitet på 0,88 tonTS/G₀-timme samt en uttagen medelstam på 19 dm³pb gav skogsbränsleuttaget ett negativt netto på -1 633 kr/ha till skogsägaren. BioCombin är en relativt ny maskin på marknaden och det finns möjligheter att utveckla både teknik och arbetsmetoder för ökad effektivitet, och således lägre drivningskostnader.

Nyckelord: Drivare, kombinerad skördare-skotare, prestation, helträdsuttag, röjning

Summary

The annual demands for forest fuels increases in Sweden. At present, large unutilized biomass resources is found in young, dense forests from which about five million oven-dry tonnes (ODt) (23 TWh) could annually be extracted as forest fuel. But harvesting small trees give high logging costs and new cost-efficient harvesting techniques are therefore required.

The aim was to study the productivity of Vimek 608 BioCombi in forest fuel thinning of Lodgepole pine and to calculate the economy of the harvesting and estimate the thinning quality. The time study was performed in Åmarken in the county of Västerbotten. The study area had 4724 trees/ha with an average tree volume of 26.6 dm³ (on bark).

On average, 15.3 ODt/ha and 1614 trees/ha was harvested. The thinning intensity of the initial basal area was 34%, and 12% of the remaining trees had stem damages. At 100 m forwarding distance the hourly effective work time (E₀-hour) consumption per ha was 17.6 giving a productivity of 0.88 ODt/E₀-hour. The productivity was influenced by forwarding distance, the harvested biomass/ha, tree volume and the proportion of Lodgepole pine of harvested biomass. At machine cost of 550 SEK/E₀-hour, a forest fuel prize of 210 SEK/m³solid, a forwarding distance of 100 m, a productivity of 0.88 ODt/E₀-hour and harvested tree size of 19 dm³solid the profitability was -1 633 SEK/ha. The BioCombi is a relative new machine on the market and development of both technology and work methods are possible to increase efficiency, and thus reduce logging costs.

Keywords: Harwarder, combined harvester-forwarder, performance, whole-tree harvesting, pre-commercial thinning

Innehållsförteckning

1. INLEDNING	6
1.1 BAKGRUND	6
1.1.1 Skogen som energiförsörjare	6
1.1.2 Skogens potentialer	6
1.2 CONTORTATALL	7
1.3 AVVERKNING AV KLENA STAMMAR	8
1.3.1 Två-maskinsystemet	8
1.3.2 En-maskinsystemet	9
1.3.3 Prestation	9
1.4 TEKNIKUTVECKLING	10
1.4.1 Syfte	10
2. MATERIAL OCH METODER	11
2.1 FÖRSÖKSLOKAL	11
2.1.1 Studieytor (parceller)	11
2.2 BESTÅNDSINVENTERING FÖRE DRIVNING	13
2.3 STUDERAD MASKIN OCH FÖRARE	16
2.4 GALLRINGSINSTRUKTION	16
2.5 ARBETSMETOD	16
2.5.1 Arbetsmomentindelning	19
2.6 TIDSSTUDIE	20
2.7 BESTÅNDSINVENTERING EFTER DRIVNING	21
2.8 INMÄTNING AV SKÖRDAD BIOMASSA	21
2.9 EKONOMI	22
2.9.1 Maskinkostnad	22
2.9.2 Intäkter	22
2.10 STATISTIK OCH ANALYSER	22
3. RESULTAT	23
3.1 GALLRINGSUTTAG	23
3.2 BESTÅNDSDATA EFTER GALLRING	24
3.2.1 Kvalitet	27
3.3 TIDSSTUDIERESULTAT	28
3.4 TERRÄNGTRANSPORT	31
3.5 PRODUKTIVITET	31
3.6 EKONOMI	37
3.6.1 Kostnader	37
3.6.2 Intäkter	37
3.6.3 Drivningsnetto	37
4. DISKUSSION	40
4.1 MATERIAL OCH METODER	40
4.2 GALLRINGSRESULTAT OCH KVALITET	42
4.3 TIDSSTUDIERESULTAT	43
4.4 PRODUKTIVITET	44
4.5 EKONOMI	45
4.6 JÄMFÖRELSE MELLAN OLIKA SORTIMENT	48
4.7 UTVECKLING AV TEKNIK OCH METODER	49
4.8 HUVUDRESULTAT	50
5. SLUTSATSER	52
REFERENSER	53

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Skogsbränsle definieras som ett nytt sortiment, men faktum är att människan har nyttjat skogen som energikälla ända sedan den lärde sig använda elden. I dag betraktas skogsbränsle, tillsammans med massaved och timmer, som ett av de tre största sortimenten inom skogssektorn. Skogsbränsle består av oanvänd trädbiomassa och kan delas in som primärt- eller sekundärt skogsbränsle. Primära skogsbränslen består av avverkningsrester i form av grenar och toppar (GROT), avverkningsstubbar, tekniskt skadat virke (som inte anses användbart för industrin), röt-, brand- och stormskadat virke samt okvistade klensammar som tagits ut vid röjning och tidig gallring till energiändamål. Sekundära skogsbränslen består bl.a. av sågspån, kutterspån och bark som är biprodukter från skogsindustrin och har ej processats kemiskt (Egnell, 2009). I detta arbete kommer det primära skogsbränslesortimentet okvistade klensammar att beröras.

1.1.1 Skogen som energiförsörjare

När den första oljekrisen inträffade var Sverige nästan helt beroende av importerade fossila bränslen (förutom för elproduktion). Oljekriserna ledde till att det söktes inhemska och ekonomiskt fördelaktiga bränslen. Det har medfört att sedan 1970-talet har skogen fått en allt viktigare roll till Sveriges energiförsörjning. Intresset att utveckla och öka produktionen av förnyelsebara energikällor har ökat ytterligare på senare år i och med debatten om oron för uppvärmningseffekter genom växthusgaser av främst koldioxid från fossila bränslen (Anon. 2010b).

Den totala energiförsörjningen år 2009 uppgick till ca 568 TWh där 22% bestod av biobränslen (ca 127 TWh) (Anon. 2010c). Skogsbränslen står i dag för cirka sex procent av Sveriges energiförsörjning (ca 30 TWh) där de primära skogsbränslena representerar ca 12 TWh (11 TWh från GROT och ca 1 TWh från klensammar) (Iwarsson Wide & Belbo, 2009). År 2009 stod de förnyelsebara energikällorna för ca 34% av Sveriges totala energitillförsel (Anon. 2010c).

En ytterligare anledning till att marknaden för energisortiment från skogen har ökat är energipolitiken (Egnell, 2009). År 2008 antog Europeiska Unionen (EU) ett "klimat- och energipaket" där de enades om att utsläppen av växthusgaser inom EU ska minskas med minst 20% fram till år 2020. Ett ytterligare mål är att andelen förnybar energi ska motsvara 20% av all energianvändning inom EU. För att målen ska kunna nås till utsatt tid innehåller "klimat- och energipaketet" också riktlinjer för varje medlemsland (Anon. 2009b). För Sveriges del innebär det t.ex. att öka sin andel förnybar energi till 49%. Ska dessa mål uppfyllas innebär det en allt hetare marknad för biobränslen (Egnell, 2009).

1.1.2 Skogens potentialer

En aktuell fråga för energiindustrin är tillgången på skogsbränslen. Hur mycket finns det tillgängligt idag och hur mycket kommer det att finnas i våra skogar i framtiden? Svenska bioenergiföreningen (Svebio) bedömer att potentialen för trädbränslen uppgår till cirka 130 TWh/år på kort skikt och kan öka ytterligare till 190 TWh/år på längre sikt. Svebio tror

därför att det är möjligt att öka Sveriges användning av bioenergi så att ”klimat- och energipaketets” mål kan uppnås och däröver (Anon. 2008a). Nästan 70% av den uppskattade potentiella kvantiteten betraktas som uttag i form av GROT eller stubbar vid förnygringsavverkning (Egnell, 2009).

I Sverige uppskattas det årliga röjningsbehovet till 275 000 hektar (ha) varav den verkligt utförda röjningen motsvarar cirka 150 000 – 200 000 ha/år. Alltså ökar det akuta röjningsbehovet med cirka 100 000 ha/år (Anon. 2002). Som ett resultat av andelen utebliven röjning står vi idag inför stora arealer unga skogar som är i behov av att glesas ur innan en traditionell och kostnadseffektiv gallring kan genomföras (Bergström m.fl. 2010a). I Sverige finns det totalt 4,13 miljoner ha ogallrad skog med en höjd under 15 m och som innehåller mer än 30 ton torrsubbstans (TS)/ha, vilket motsvarar 18,4% av den totala skogsmarksarealen. Den totalt stående volymen på dessa områden uppgår till 258 miljoner ton TS varav 56% finns beläget i norra Sverige. Potentialen årlig avverkning från dessa unga, täta och tidiga gallringsskogar uppgår till cirka fem miljoner ton torrsubbstans (Nordfjell m.fl. 2008) vilket motsvarar cirka 23 TWh/år (Bergström m.fl. 2010a). Sverige har alltså en stor outnyttjad biomassaresurs i just dessa unga och täta skogar (Nordfjell m.fl. 2008).

Biomassans tillväxt ökar kontinuerligt i de svenska skogarna men samtidigt ökar också konkurrensen om biomassans segment, vilket är en av anledningarna till att priserna har pressats upp. Den ökande konkurrensen visade sig främst under 2006 då priset för flis till energiändamål var högre än priset för massaved. År 2007 ökade priset på massaved kraftigt igen för att sedan under första halvåret av 2008 återigen vara högre än priset för flis (Anon. 2008b). Det är svårt att på förhand bedöma om det är mest ekonomiskt att göra ett uttag av massaved eller skogsbränsle i tidiga gallringar. Beslut om förstagallringssystem grundar sig främst på 1) mängden utfallande massaved respektive skogsbränsle för en särskild åtgärd eller beståndstyp, 2) det rådande prisförhållandet mellan massaved och skogsbränsle som styrs av den aktuella prislistan samt 3) transportavstånd och transportalternativ till respektive köpare (Bergström m.fl. 2010a).

1.2 Contortatall

Den totala arealen skogsmark i Sverige som odlats med contortatall (*Pinus contorta*) uppgick år 2009 till ca 620 000 ha där ca 40% finns beläget i Jämtlands län (Anon. 2010a). I Sverige används den kanadensiska contortatallen som ett snabbväxande alternativ till den inhemska tallen (*Pinus sylvestris*). Virkesegenskaper och krav på ståndortsindex är likartat mellan de två trädslagen, men contorta producerar cirka 30% mer stambiomassa. Contortans produktionsöverlägsenhet beror på den snabba tillväxten. Den producerar längre skott, barr och knoppar och har en högre sträckningshastighet (framförallt tidigt på säsongen) än tall vilket leder till att årsbarr snabbt exponeras och kan på så vis bidra till biomassaproduktion. Contortan innehåller i genomsnitt 200 fler stammar per ha vid en första gallring än tall pga. att den överlever plantstadiet bättre. Den högre överlevnaden i plantstadiet beror bl.a. på sin motståndskraft mot skadesvampar som normalt drabbar tall (t.ex. gråbarrsjuka och knäckesjuka). Egenskaper som; god vitalitet, tolerans mot låga temperaturer och frost, mindre utsatt av älgbetning, effektivt upptag av kväve samt snabb rottillväxt är sådant som också bidrar till att contortan har en högre överlevnad i plantstadiet än tall. I och med contortans snabba tillväxt har den också en lägre veddensitet än tall. Däremot har den en högre vedandel som följd av att den har tunnare bark. Den

snabba tillväxt har också sina nackdelar som innebär en lägre stabilitet där äldre contortabestånd drabbas i större utsträckning av vind- och snöskador än tall. Sådd och naturlig förnygring kan vara alternativ som förbättrar contortans stabilitet. Men pga. contortans stora krona i förhållande till dess stam- och rotvolym kommer den alltid vara mer känslig för snö- och vindskador än tall (Norgren & Elfing, 1995).

1.3 Avverkning av klena stammar

Huvudproblemet med klena förstagallringar är bland annat höga avverkningskostnader. Höga kostnader och låg produktivitet hänger samman med en låg medelstam, lågt uttag/ha, högt kvarstående stamantal och en tät undervegetation (Sirén & Aaltio, 2003). I klena gallringar och eftersatta röjningar tas skogsbränsle ut i form av hela och okvistade stammar. I och med att medeldiametern är låg i täta ungskogar blir det svårt att få lönsamhet när träden avverkas ett i taget (Egnell, 2009). Flerträdshantering, dvs. ackumulering av flera stammar per krancykel, är helt avgörande för ekonomin (Anon. 2009a). Därför krävs en avancerad avverkningsteknik med ett aggregat som samlar flera träd i ett knippe (Anon. 2009c).

Till att avverka klena stammar maskinellt finns två principiellt sätt skilda system (Laitila, 2008):

- 1) det traditionella två-maskinssystemet med en skördare som fäller och höglägger biomassan och en skotare som transporterar biomassan till bilväg;
- 2) en-maskinsystemet där en kombinationsmaskin som både skördar och skotar (drivare) biomassan används.

1.3.1 Två-maskinsystemet

Sedan 1990-talet har engreppsskördaren dominerat som maskinsystem i både konventionella gallringar samt slutavverkningar. För vidare transport av rundvirket ut till bilväg har skotaren dominerat som maskinsystem sedan 1970-talet då den i stort sett helt övertog hästens roll som transportör (Andersson, 2004). Den vanligaste metoden för att ta ut skogsbränsle vid förstagallring är att skörda hela träd eller träddelar, dvs. okvistade stammar som är kapade i längder, och därefter transportera ut biomassan till avlägg med en skotare. Därefter läggs biomassan i högar för mellanlagring och efterföljande sönderdelning innan vidaretransport till sin slutanvändare (Egnell, 2009). Tidigare utförda studier på skogsbränsleuttag av Kärhä m.fl. (2005) har visat att en beståndsgående skördare (14 ton) med 10 meters kran erhöll en produktivitet på 1,15 tonTS/G₀-timme (effektiv arbetstimme utan stillestånd) vid ett uttag på ca 4700 stammar/ha motsvarande 12,7 tonTS/ha. Ersson (2007) studerade tidsåtgången och produktiviteten hos en liten skördare (3 ton) med ett ackumulerande aggregat i en bioenergiröjning i ett tätt ungskogsbestånd. Skördaren var en Vimek 404R med en frontmonterad kran med fem meters räckvidd. Produktiviteten i den täta röjningsskogen uppgick till 0,98 tonTS/G₀-timme vid ett uttag av 13 000 stammar/ha motsvarande ca 56 tonTS/ha.

1.3.2 En-maskinsystemet

Drivaren introducerades i slutet av 1990-talet. Maskinen bestod av en skotare som hade försetts med ett vridbart lastutrymme samt ett engreppsskördaraggregat (Andersson, 2004). Johansson (2010) har studerat en drivares produktivitet vid uttag av skogsbränsle i förstagallringsbestånd av contorta. Drivaren var en Valmet 801 Combi som var en stickvägsgående drivare (19,8 ton) med en 11-meters vikarmskran. Resultaten visade att drivarens produktivitet var 1,87 tonTS/G₀-timme vid ett uttag av ca 2100 stammar/ha motsvarande 26,2 tonTS/ha.

Drivaren har vissa fördelar i jämförelse med det konventionella två-maskinsystemet (Bergkvist m.fl. 2003): flyttkostnaderna blir lägre eftersom det är endast en maskin som måste flyttas; administrationen blir enklare eftersom ”skördaren och skotaren” är på samma plats samtidigt; och det blir också färre överfarer på känslig mark i terrängen vilket anses positivt. En annan fördel med drivaren är den tidsvinst som direktlastningen tillför. Jämfört med två-maskinsystem, direktlastar drivaren de fällda stammarna vilket innebär att prestationen blir högre då de fällda stammarna inte behöver lastas från mark. Talbot m.fl. (2003) har kommit fram till att den huvudsakliga fördelen med ett integrerat maskinsystem är minskade flyttider vilket gör drivaren lämplig för avverkning av små objekt och vid svaga eller tidiga gallringar. I Kärhä's (2006) arbete om helträdsuttag i unga bestånd i Finland blev hans slutsatser att drivare bör vara gynnsamma, jämfört två-maskinsystem, i bestånd där:

- skotningsavståndet är under 150 meter;
- de hela stammarna som ska avverkas är relativt små och mindre är 20 dm³;
- den totala volymen (av de hela stammarna som avverkas) är relativt låg, under 55 m³f/ha och under 100 m³f/avverkningsobjekt.

Sirén och Aaltio (2003) skriver att maskiner med låga investeringskostnader kan vara en av lösningarna till avverkningsproblemet i förstagallringar. Med en rimlig produktivitet och låga kapitalkostnader kan maskiner bli konkurrenskraftiga och de anser också, likt Kärhä (2006), att t.ex. en drivare är mest konkurrenskraftig i små bestånd med korta skotningsavstånd.

1.3.3 Prestation

Ett lämpligt sätt att skatta en maskins produktivitet är att göra en tidsstudie och mäta prestationen under denna tid. Produktivitet kan t.ex. vara antal skördade kubikmetrar per timme, det vill säga producerad mängd per tidsenhet. För att finna sambandet mellan prestation och påverkande faktorer görs oftast en sambandsstudie (korrelationsstudie). Exempel på faktorer som kan påverka tidsåtgången vid avverkning är bl.a. medelstam, underväxt, avverkade stammar/ha m.m. Några påverkande faktorer vid skotning är bl.a. uttag m³f/ha, lasstorlek, skotningsavstånd, terräng m.m. Huvudproblemet är att särskilja de påverkande faktorer man vill studera från övriga. I studiesammanhang innebär detta att man måste konstanthålla faktorer man ej ska studera, t.ex. terrängförhållanden, maskintyp, förare etc. (Bergstrand, 1987).

1.4 Teknikutveckling

Idag efterfrågas en lösning på problematiken kring att finna lönsamhet vid avverkning av klens stammar samt nya metoder för att på ett ekonomiskt och biologiskt hållbart sätt ta till vara på biomassan från skogen (Iwarsson Wide & Belbo, 2009).

En ny maskin på marknaden från Vimek AB i Vindeln är Vimek 608 BioCombi som är en drivare avsedd för skörd av hela och klens träd, vilket gör den intressant för gallringsarbeten i täta och unga bestånd (Anon. 2010d). Några utförda studier på denna drivares produktivitet vid skörd av hela träd kan inte hittas i litteraturen. Sommaren 2006 studerades dock en prototyp till Vimek 608 BioCombi (Vimek 606 TT) som även den var utrustad med hydrauliska stöttor för komprimering av lasten. Syftet med studien var att undersöka om det var möjligt att öka lastutnyttjandet genom komprimering av träddelar. Resultaten visade att komprimeringen gav ett lastutnyttjande som var 14-34% högre än normala (okomprimerade) laster (Bergström m.fl. 2010b).

1.4.1 Syfte

Syftet med studien var att:

- 1) Mäta produktiviteten på Vimek 608 BioCombi vid uttag av hela träd (skogsbränsle) i unga täta förstagallringsbestånd av contorta med varierad medelstam och stamtäthet;
- 2) beräkna drivningens ekonomi;
- 3) och skatta kvaliteten på gallringen utifrån skadeandel, stickvägsandel och stickvägsbredd.

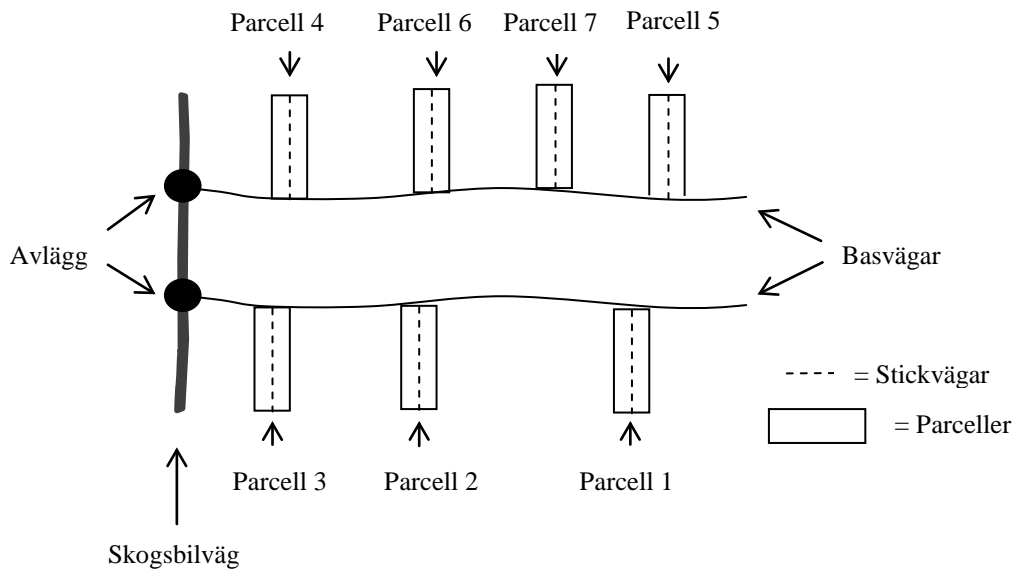
2. Material och metoder

2.1 Försökslokal

Försökslokalen tillhörde en privatägd fastighet i Åmarken cirka 15 km sydost om Burträsk i Västerbottens län. Fastigheten var belägen ca 100 meter över havet med koordinaterna X:7155348 Y: 1741138. Lokalen var hyggesplöjd och bestod till större delen av planterad contortatall som hade uppnått en ålder av 25 år. Tidigare utförda skogsvårdsåtgärder var en lövröjning i slutet av 90-talet samt en förröjning, på stora delar av lokalen, strax innan studiens utförande. Det dominerande trädslaget var contorta och med Skogshögskolans boniteringssystem av Hägglund och Lundmark (2003) bedömdes ståndortindex (med hjälp av ståndortsbonitering) att motsvara T21.

2.1.1 Studieytor (parceller)

Uppmätning av parceller och inventeringsarbete av provytor före avverkning pågick under fem dagar mellan den 30 september och 6 oktober år 2010. I försökslokalen placerades sju stycken parceller (Fig. 1). Vid placering av parcellerna eftersträvades en variation av variablerna medelstam, stamtäthet och trädslagsblandning mellan de olika parcellerna. Parcellerna placerades efter två befintliga basvägar och virkesavläggen fick sin placering där basväg och skogsbilväg anslöt till varandra (Fig. 1). I samtliga parceller, utom i parcell nummer tre, hade en förröjning utförts före studien och då hade framförallt löv röjts bort.

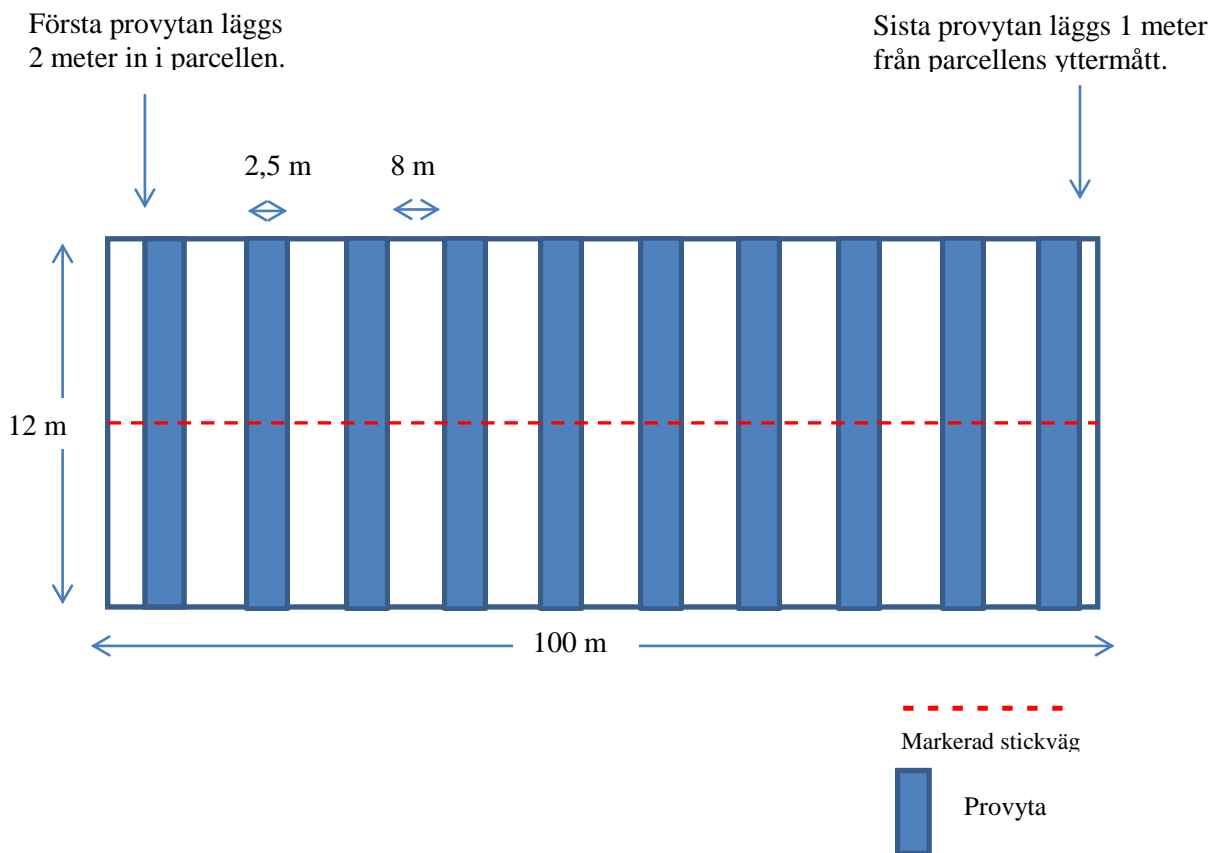


Figur 1. Schematisk bild som beskriver parcellernas placering i försökslokalen med anslutande basvägar, avlägg och skogsbilväg.

Figure 1. Schematic sketch describing the locations of the study units in the experimental room with adjoining base roads, lay up places and the forest road.

Antalet och storleken på parcellerna valdes för att säkerställa så att tillräckligt många upprepningar av maskinens arbetsmoment kunde genomföras. Storleken av en parcell planerades att uppnå en skördad biomassa av ca tre fulla lass. Bredden på parcellen bestämdes utifrån kranens räckvidd som motsvarade 5,2 m, vilket ledde till att bredden på parcellen sattes till 12 m. Längden på parcellen sattes utifrån erfarenhet som föraren angivit och i detta fall var erfarenheten att 100 m stickväg motsvarade ungefär tre skördade och skotade lass (Fig. 2). Varje parcell motsvarade alltså en areal på 1 200 m² (0,12 ha). För att förenkla arbetet vid datainsamlingen mättes parcellerna upp och yttermått samt stickvägen i mitten av parcellen markerades med snitselband. Stickvägarna placerades parallellt med plöjningsfårorna för att förenkla körningen för föraren.

Inom varje parcell placerades tio stycken bandprovtytor tvärs över parcellens längdriktning för inventering av beståndsdata. För att uppnå en beståndsinventering av minst 25% av parcellens yta sattes bandprovtytans bredd till 2,5 m och med en längd av 12 m. Varje bandprovtyta hade alltså en storlek på 30 m² och totalt inventerades 300 m² (25%) av parcellens areal. Den första bandprovtytan lades ut två meter in i parcellen och därefter placerades bandprovtytorna systematiskt med åtta meter mellan bandprovtytorna (Fig. 2).



Figur 2. Schematisk bild som beskriver parcellen med stickvägscentrum och placering av bandprovytor för beståndsinventering.

Figure 2. Schematic sketch describing a study unit with strip road centerline and location of sample plots used for inventory of stand characteristics.

2.2 Beståndsinventering före drivning

Före drivningens utförande inventerades i varje bandprovyta stamantal, trädslag, brösthöjdsdiameter (dbh), stubbskärsdiameter, höjd samt grund-, yt- och lutningsförhållanden (GYL). Varje levande träd över 1,3 meter klavades. GYL klassades enligt Bergs (1982) terrängtypsschema med skalorna 1-5. Trots hyggesplöjningen var klassificeringen på GYL likartad mellan parcellerna där medelvärdet mellan samtliga parceller uppgick till 3:2:1. Av litteratur som söktes och granskades vid examensarbetets planeringsfas drogs slutsatsen att mäta vart femte träd som provträd (se Johansson, 2010). På provträden mättes höjden och dbh varpå regressionsfunktioner för samband mellan provträdets höjd och dbh för respektive trädslag beräknades. Dessa funktioner användes sedan för att beräkna höjden på övriga klavade träd. Stubbskärsdiametern mättes också på provträden.

För att beräkna stamvolymen på tall, gran (*Picea abies*) och björk (*Betula ssp.*) ≥ 5 cm i dbh användes Näslunds (1940) mindre funktioner för norra Sverige och för beräkning av stamvolym på contorta användes Erikssons (1973) funktioner. Till beräkning av stamvolymen för tall, gran och björk < 5 cm i dbh användes Anderssons (1954) funktioner för småträd i norra Sverige. Samtliga av dessa funktioner, för att beräkna stamvolymen, anges som dm^3 på bark (pb) och är baserade på variablerna dbh (cm) och höjd (m). För att beräkna biomassan av hela trädet på contorta användes Snorrason & Einarssons (2006) funktioner som också är baserade på dbh (cm) samt höjd (m). För beräkning av biomassan på svensk tall, gran och björk användes Ulvcronas (2010) biomassafunktioner som är baserade på variablerna dbh (mm) och höjd (dm). Biomassafunktionerna ger beräknad mängd i kgTS. Tabell 1 visar en sammanställning av parcellernas karaktär före gallring där volym och andel biomassa baseras på funktioner.

Tabell 1. Beståndsdata från parcellernas inventering före gallring. Värden inom parantes står för standardavvikelsen (sd) inom en parcell
Table 1. Forest stand data from inventory in each study unit before thinning. Values in parentheses represent the standard deviation (sd) within a study unit

	Parcell							Medel, max, min och sd över samtliga parceller.			
	1	2	3	4	5	6	7	Medel	max	min	sd
Stam/ha	4000 (1457)	4367 (1418)	11 567 (3868)	3267 (1063)	3567 (1296)	3333 (981)	2967 (987)	4724	11 567	2967	3054
Dbh (cm)	8,0 (1,9)	6,6 (1,8)	4,1 (0,8)	8,4 (1,9)	6,2 (1,6)	8,8 (0,9)	9,0 (1,6)	7,3	9,0	4,1	1,8
Höjd (m)	7,2 (1,3)	6,4 (1,4)	5,2 (0,5)	7,8 (1,2)	6,3 (1,2)	7,9 (0,7)	8,0 (1,1)	7,0	8,0	5,2	1,1
Grundyta (m²)	23,9 (5,1)	19,8 (7,8)	21,6 (6,5)	20,5 (7,7)	15,5 (9,2)	23,9 (6,8)	21,9 (7,8)	21,0	23,9	15,5	2,9
Tall	2/1	2/1	0/0	1/0	5/3	4/2	5/3	3/1	5/3	0/0	2/1
Gran	5/5	34/15	23/16	22/7	28/9	14/2	15/2	20/8	34/16	5/2	10/6
Björk	11/11	33/18	69/52	21/8	25/13	15/5	8/3	26/16	69/52	8/3	21/17
Contorta	82/83	31/66	8/32	56/85	42/75	67/91	72/92	51/75	82/92	8/32	26/21
Stamvolym (m³sk/ha)	121 (26)	99 (43)	95 (34)	100 (44)	75 (47)	121 (35)	111 (41)	103	121	75	16
Medelstammens volym (dm³pb)	30,3 (12,2)	22,7 (11,8)	8,2 (5,4)	30,6 (13,9)	21,0 (8,9)	36,3 (10,1)	37,4 (11,8)	26,6	37,4	8,2	9,6
Biomassa (hela trädet) (tonTS/ha)	84,6 (18,8)	68,2 (29,1)	64,9 (22,1)	72,1 (29,4)	53,6 (33,3)	85,0 (23,4)	78,8 (28,3)	72,5	85,0	53,6	11,4
Medelträdetets biomassa (kgTS)	21,1 (8,5)	15,6 (7,9)	5,6 (3,5)	22,1 (10,2)	15,0 (6,6)	25,5 (6,2)	26,6 (7,8)	18,8	26,6	5,6	6,8

Trädslagsfördelning
X/Y
där X = % av stamantal och Y = % av biomassa

2.3 Studerad maskin och förare

Drivaren som användes i studien var en Vimek 608 BioCombi (tillverkad av Vimek AB). Maskinen var 1,90 m bred, 6,20 m lång, vägde 3,7 ton och hade en lastkapacitet på 4,5 ton. Lastarean var 1,65 m² med ett lastutrymme som var utrustat med fyra flexibla stöttor med vilka man kan komprimera lasten. Drivaren var utrustad med en MOWI P25-kran (tillverkad av FTG Cranes AB) med en svängvinkel på 250°, en räckvidd på 5,2 m och en lyftkapacitet på 330 kg. Som kranpetsutrustning hade den en specialtillverkad fällgripsåg av märket FG 45 Special "Vimek" (tillverkad av Hypro AB) som vägde 125 kg med en kapdiameter på 350 mm och maximal öppning på 700 mm (Anon. 2010d).

I studien användes en 44-årig manlig förare med 14 års erfarenhet av gallring och slutavverkning. Den studerade drivaren hade föraren kört vid uttag av skogsbränslen i klena gallringar i ca fyra månader vid studiens utförande.

2.4 Gallringsinstruktion

Maskinförarens mål var att skapa ett bestånd med ca 1700-1800 kvarvarande stammar per ha. Vilket motsvarar ett kvadratförband på ca 2,4 m (Karlsson & Westman, 1991). Maskinföraren avverkade i första hand de klenaste träden och lämnade de grövre, d.v.s. beståndet gallrades underifrån. Dessutom skulle föraren gynna kvalitén på de kvarvarande stammarna samt eftersträva en jämn spatial fördelning av kvarvarande stammar beståndet.

2.5 Arbetsmetod

Studien utfördes på ett område med befintliga basvägar (Fig. 1), därför ingick inte arbetsmomentet skörd av basvägar i studien. Drivaren arbetade på tre markant olika sätt under drivningen:

- 1) Drivaren kan bara arbeta med kranen snett bakåt, vilket innebär att vid upptag/skörd av stickväg (stickvägsavverkning) så backar maskinen och direktlastning kan inte ske eftersom sikten då försämras avsevärt av de lastade träden (se Fig. 3). Vid upptag av stickvägar arbetade således maskinen som en skördare, där en kranarbetscykel innebar att stammarna fälldes och lades i buntar vid sidan om stickvägen. När full stickväglängd (100m) var skördad, gick föraren ut ur hytten för att manuellt "ställa upp" last- och komprimeringsstöttorna (vilka är i vägen när maskinen jobbar som en skördare);
- 2) Därefter arbetade drivaren framåt och föraren skördade träd mellan stickvägarna (beståndsavverkning) samt lastade de skördade stickvägsträden (se Fig.3). Vid beståndsavverkning lades de avverkade träden i buntar vid sidan om maskinen och när föraren sedan bedömde att en full grip var avverkad kapade han buntarna på mitten, placerade topparna ovanpå resten av buntarna, tog ett nytt tag om buntarna och lastade hela buntarna med skärytorna mot grinden på lastutrymmet. Vid beståndsavverkning förekom det även arbetscykler där föraren direktlastade avverkade träd (som en drivare) samt arbetscykler med lastning av fällda stickvägsträd (som en skotare). Vid lastning av de skördade stickvägsträden behandlades buntarna på liknande sätt som de beståndsavverkade,

dvs. buntens kapades på mitten, lades ihop med den resterande buntens och lastades därefter på lastutrymmet;

3) När ett fullt lass var uppnått skötades träddelarna ut till avlägg för efterföljande avlastning i vänta. De komprimerade stöttorna använde föraren för att komprimera lasten innan han förflyttade drivaren. I figur 4 ges en schematisk beskrivning av drivarens arbetscykel.



Figur 3. Den studerade drivaren med definitioner för körriktning "framåt" respektive "backning".
Figure 3. The studied harvester with definition of the driving directions "forward" and "reverse".

2.5.1 Arbetsmomentindelning

Eftersom den studerade drivaren arbetar som en drivare/skördare och en skotare utformades två olika arbetsmomentindelningar (Tabell 2 och 3). För att särskilja överlappade arbetsmoment bestämdes en prioritetsordning för arbetsmomentangivelse (se Tabell 2 och 3). Förslag på arbetsmomentindelning har samlats från tidigare studier av Ersson (2007) och Johansson (2010) och har därefter kompletterats för att passa denna studie.

Tabell 2. Drivararens arbetsmoment vid avverkning, momentgränser och prioritetsordning
Table 2. Definition of the harwarder's work, its limits and hierarchy under harvesting

Arbetsmoment	Momentgränser	Prioritetsordning
Kran ut tom	Kran ut med tomt aggregat tills att griparmarna hade omslutit stammen helt för avskiljning. I detta moment ingick också då aggregatet förflyttas tomt ifrån att ha släppt en stam eller bunt tills att det helt hade omslutit en ny stam eller bunt.	1
Kapning	Från att sågsvärdet startade tills att det stannade.	1
Fällning	Från att sågsvärdet hade stannat tills att trädet fällts och släppts från aggregatet.	1
Kran in tom	Från att en stam eller en bunt hade släppts från aggregatet tills att det hade förts in mot lastutrymmet och ett nytt moment påbörjats.	1
Lastning från mark	Från att aggregatet hade omslutit bunten helt tills att bunten hade lagts på lastutrymmet.	1
Direktlastning	Från att stammen hade avskilts tills att aggregatet hade lagt stammen/bunten på lastutrymmet, inklusive tillrättaläggning.	1
Kapning av bunt	Från att aggregatet helt hade omslutit mitten på bunten, kapning och tills att topparna var tillrättalagd med den övriga bunten eller tills att bunten släpptes.	1
Kapning av stående topp	Från att den stående stammen hade omslutits på mitten och tills att den hade avskilts.	1
Komprimering	Från att stöttorna började komprimera lasten tills att stöttorna fällts upp igen.	2
Ompositionering	All maskinkörning kortare än 10 meter.	3
Körning	All maskinkörning längre än 10 meter.	3
Störning	T.ex. när aggregatet puttade omkull stammar eller när stammar tappades och plockades upp igen (omtag).	3
Stöttor	Från att föraren hade öppnat dörren till hytten samt gått ut och ställt upp stöttorna tills att han hade satt sig i hytten igen.	1
Övrig verktid	När föraren rekognoserade från hytten samt manuellt arbete (som ej innefattar uppställning av stöttor).	4
Avbrott	Störningar som ej ingick i verktiden som telefonsamtal, maskinfel m.m.	4

Tabell 3. Drivararens arbetsmoment vid skotning, momentgränser och prioritetsordning
Table 3. Definition of the harwarder's work, its limits and hierarchy under forwarding

Arbetsmoment	Momentgränser	Prioritetsordning
Körning med last till avlägg	Från att aggregatet lagts tillrätta på lastutrymmet, och drivaren började förflytta sig, tills att drivaren stannade vid avlägg och kranen började röra sig.	1
Lossning	Från att drivaren stannade vid avlägget, och kranen började röra sig, tills att sista stammen/bunten var avlastad och aggregatet lades tillrätta på lastutrymmet.	1
Tillrättläggning	Från att aggregatet hade släppt bunten och började ordna till i vältan tills att aggregatet började gå tillbaka till lastutrymmet för fortsatt avlastning.	2
Tomkörning till avverkning	Från att aggregatet var, efter avlastning, tillrättalagt på lastutrymmet och drivaren började förflytta sig tills att den stannade vid avverkningsområdet och kranen började röra sig.	1
Ompositionering	All maskinkörning kortare än 10 meter.	3
Störning	T.ex. när stammar tappades och plockades upp igen.	3
Övrig verktid	T.ex. när föraren rekognoserade från hytten samt manuellt arbete.	4
Avbrott	Störningar som ej ingick i verktiden som telefonsamtal, maskinfel m.m.	4

2.6 Tidsstudie

Tidsstudien genomfördes som en frekvensstudie. Var sjunde sekund angavs en tydlig signal och det rådande arbetsmomentet registrerades. För angivelse av tidpunkt (signal) för registrering användes en metronom av märket KORG MA-30. Tiden mättes även kontinuerligt där den totala tiden för varje lass registrerades och startade när drivaren, vid en viss markering, körde av skogsbilvägen och in på basvägen. Tiden stoppades när föraren avslutat avlastningen och lagt aggregatet på lastutrymmet. Under studien särskildes också tider för tomkörning, skörd av stickväg, beståndsavverkning och skotning till avlägg. Antalet fällda stammar per krancykel noterades också under tidsstudien.

Tidsstudien genomfördes under fyra dagar, mellan den 12-15 oktober år 2010. Vädret var stabilt med klar sikt och temperaturen var kring -10°C under de två dagar parceller 1-4 gallrades. Den tredje dagen då parcell 6 gallrades kom ett rejält snöfall och den fjärde dagen då parcell 5 och 7 gallrades var det mycket klart väder med skarp sol. Stickvägarna i parcell 1-3 skördades i nordlig riktning och stördes därför inte av solljuset. Stickvägarna i parcell 4-7 skördades i sydlig riktning och stördes delvis av det skarpa solljuset. Ett längre haveri uppstod under studietiden då en hydraulslang gick sönder samt att variatorremmen byttes vilken innebar cirka en halv dags stillestånd. Utöver det så uppstod det endast något enstaka och kortare sågkedjehaveri.

2.7 Beståndsinventering efter drivning

Efter att tidsstudien hade genomförts inventerades parcellernas bandprovytor igen. På samma vis som vid inventering före gallringen klavadas samtliga träd över 1,3 meter i dbh och dessutom klavadas alla synliga stubbar. Kvalitetsfaktorer i form av stamskador mättes på liknade sätt som i Johanssons (2010) examensarbete, d.v.s, stamskador över- och under 15 cm² noterades och beräknades sedan procentuellt av de kvarvarande stammarna. I det här fallet betraktades stamskador som skador där stamveden var synlig.

För att bestämma stickvägsbredden användes Björheden och Frödings (1986) rutin för praktisk gallringsuppföljning. Avståndet mellan de två träd som på vardera sida stod närmast stickvägen mättes där bandprovytan korsade stickvägen. Utifrån de tio värden som bandprovytorna i varje parcell gav beräknades ett medelvärde på stickvägsbredden i varje specifik parcell.

Stickvägsyta och stickvägsavstånd beräknades sedan på liknade sätt som i Johanssons (2010) examensarbete. Stickvägsbredden multiplicerades med parcellens/stickvägens längd för att beräkna parcellens stickvägsyta. För att beräkna stickvägsavståndet mättes avståndet från det träd som hade avverkats längst bort från stickvägen (vinkelrätt mot stickvägscentrum) och avståndet multiplicerades sedan med två.

2.8 Inmätning av skördad biomassa

Samtliga lass särskildes vid avlägget genom att de tydligt märktes upp med snitselband vid avlastning. Tre dagar efter att tidsstudien hade genomförts vägdes samtliga lass med en GROT-lastbil (Volvo FH 16) utrustad med en kranvåg (Jonsered 1090). För att kalibrera lastbilens kranvåg korrigerades dess vägning med värmeverkets invägning av trädelarna. Efter att studien var genomförd fälldes provträd i samtliga parceller för att kapa trissor till fukthaltbestämning. Provträden bestod av gran, björk och contorta som generellt matchade parcellens och trädslagets medeldiameter och medelhöjd. Det innebar att det togs tre provträd från varje parcell. Trissor togs 5 cm in på rotstocken, på mitten- och 20 cm in från toppen av stammen. Därefter vägdes trissor råa och torkades sedan i torkskåp under 24 timmar i 100° C. Trissor vägdes sedan i torrt tillstånd och fukthalten beräknades som skillnaden i vikt mellan rå och torr trissa dividerat med den råa vikten. Medelfukthalten beräknades för de olika trädslagen och användes sedan för att beräkna mängden TS för respektive trädslag.

2.9 Ekonomi

2.9.1 Maskinkostnad

I resultatberäkningarna är timkostnaden baserad på effektiv arbetstimme utan stillestånd/avbrott (G_0 -timme) eftersom det är så ersättningen är uppgjord mellan entreprenör och uppdragsgivaren (i detta fall). Den rådande timkostnaden för drivaren uppgick till 550 kr/ G_0 -timme, baserat på data från Norra Skogsägarna. Flyttkostnaden uppgick till 1000 kr/objekt. (Forsman pers. komm. 2010).

2.9.2 Intäkter

Intäkterna i resultatberäkningarna är baserade på det pris som skogsägaren får för sortimentet osönderdelade träddelar vid bilväg vilket uppgick till 210 kr/ m^3f (Forsman pers. komm. 2010).

För att omvandla uttagen torrs substans till m^3f användes vedens torr-rådensitet. Torr-rådensiteten beskriver mängden torrs substans i förhållande till vedens råa volym (Ringman, 1996). Vedens torr-rådensitet kan variera mellan trädslag men också inom stammens olika delar. Breddgrad, bonitet, och höjd över havet är också några egenskaper som kan ha inverkan på torr-rådensitet (Anon. 1994). Generella värden på torr-rådensiteten är 385 kgTS/ m^3f för gran, 510 kgTS/ m^3f för björk och 430 kgTS/ m^3f för tall (Ringman, 1996). I Gardmos (2007) studie var torr-rådensiteten för contorta i ett försök i Medelpad i norra Sverige 373 kgTS/ m^3f . Studier som är utförda i contortabestånd i Norrbotten har visat att där liknade torr-rådensiteten svensk tall (se Kero 2007). Gardmos och Keros studier visar alltså på att torr-rådensiteten kan variera ganska mycket för contortatall så därför har ett omvandlingstal som uppgick till 400 kgTS/ m^3f valts att användas i detta arbete för att omvandla tonTS till m^3f . För att omvandla mängden torrs substans till mängden m^3f divideras mängden torrs substans med torr-rådensiteten.

2.10 Statistik och analyser

Studiens beräkningar och analyser utfördes i Excel 2010.

3. Resultat

3.1 Gallringsuttag

I medeltal skördades 1614 stammar/ha, vilket motsvarade en grundyta på 5,4 m²/ha. Gallringsstyrkan motsvarade 34% av stamantalet och 26% av grundytan. I medeltal skördades 20,3 tonTS/ha (baserat på biomassa-funktioner) vilket motsvarade 28% av den totala biomassan före gallring som var 72,5 tonTS/ha. Motsvarande uttag baserat på invägt material uppgick i medeltal till 15,3 tonTS/ha (Tabell 4). Cirka 24 m³sk/ha gallrades under studien vilket motsvarade 23% av den stående volymen före studiens utförande. Den skördade biomassan bestod av ca 60% contorta, 23% björk, 14% gran och 3% tall. Av det skördade stamantalet motsvarade det ca 46% contorta, 28% björk, 23% gran och 3% tall. Fukthalten för hela träden var i medeltal 60% för contorta, 46% för björk och 58 % för gran. Detta gav i medeltal en fukthalt av 57% för hela studien, det innebär att 1 kgTS motsvarar en rå vikt på ca 2,3 kg.

Tabell 4. Data över skördad biomassa för respektive parcell samt värden mellan parceller
Table 4. Data on harvested biomass of each study unit, and values between study units

	Parcell							Medel, max, min och sd över samtliga parceller.			
	1	2	3	4	5	6	7	Medel	max	min	sd
Stam/ha	1533	934	4534	967	1167	1066	1100	1614	4534	934	1302
Dbh (cm)	7,8	7,0	3,5	6,8	7,4	8,3	7,5	6,9	8,3	3,5	1,6
Höjd (m)	7,0	6,6	4,7	7,4	7,4	8,0	7,3	6,9	8,0	4,7	1,1
Grundyta (m²)	5,5	5,8	6,0	3,7	4,7	6,2	5,7	5,4	6,2	3,7	0,9
Tall	0/0	3/6	0/0	0/0	9/6	6/5	6/3	3/3	9/6	0/0	4/3
Gran	26/12	31/18	23/24	24/16	17/5	17/14	25/12	23/14	31/24	17/5	5/6
Björk	28/29	16/11	71/56	32/18	23/22	20/18	5/6	28/23	71/56	5/6	21/16
Contorta	46/59	50/65	6/20	44/66	51/67	57/63	64/79	46/60	64/79	6/20	19/19
Stamvolym (m³/sk/ha)	24	29	24	12	22	28	26	24	29	12	6
Medelstammens volym (dm³/pb)	15,7	31,0	5,3	12,4	18,9	26,3	23,6	19,0	31,0	5,3	8,8
Funktionsbaserad biomassa (hela trädet) (tonTS/ha)	26,0	15,2	22,6	22,9	18,7	19,6	17,1	20,3	26,0	15,2	3,7
Medelträdetets biomassa (kgTS) (funktionsbaserat)	17,0	16,3	5,0	23,7	16,0	18,4	15,5	16,0	23,7	5,0	5,6
Invägd biomassa (hela trädet) (tonTS/ha)	18,2	10,2	10,4	17,0	17,0	15,8	18,8	15,3	18,8	10,2	3,6
Medelträdetets invägd biomassa (kgTS)	11,9	10,9	2,3	17,6	14,6	14,8	17,1	12,7	17,1	2,3	5,2

Trädslags-
fördelning
X/Y
där X = %
av
stamantal
och
Y = % av
biomassa

3.2 Beståndsdata efter gallring

I det gallrade beståndet stod det kvar i medeltal 3110 stammar/ha vilket motsvarade en grundyta på 15,7 m²/ha. Det kvarstående beståndet bestod av 79 m³sk/ha och en biomassa på 52,5 tonTS/ha (baserat på biomassafunktioner). Den kvarvarande biomassan bestod av 76% contorta, 15% björk, 8% gran och 1% tall (Tabell 5). Parcell 3 var stamtät både före och efter gallring. Medelvärdet av det kvarvarande stamantalet uppgick till 2456 st/ha om parcell nummer tre inte räknades med i medelvärdet.

Tabell 5. Beståndsdata från parcellernas inventering efter gallring, där volymer är baserade på funktioner. Värden inom parantes står för standardavvikelsen (sd) inom en parcell

Table 5. Forest stand data from inventory in each study unit after thinning, where volumes are based on functions. Values in parentheses represent the standard deviation (sd) within a study unit

	Parcell							Medel, max, min och sd över samtliga parceller.	
	1	2	3	4	5	6	7	Medel	sd
Stam/ha	2467 (1269)	3433 (1361)	7033 (2733)	2300 (1291)	2400 (1514)	2267 (872)	1867 (477)	3110	1795
Dbh (cm)	8,9 (1,8)	6,0 (1,6)	4,5 (1,2)	9,3 (2,0)	7,0 (3,0)	9,4 (1,8)	9,3 (1,5)	7,8	2,0
Höjd (m)	7,7 (1,3)	5,9 (1,1)	5,5 (0,7)	8,0 (1,4)	6,6 (1,9)	8,1 (1,1)	8,1 (0,9)	7,1	1,1
Grundyta (m²)	18,5 (7,1)	14,0 (6,7)	15,6 (6,6)	16,8 (5,1)	10,8 (6,8)	17,9 (6,2)	16,2 (7,1)	15,7	2,6
Tall	1/2	1/1	0/0	2/1	3/1	5/2	4/3	2/1	2/1
Gran	25/4	41/14	24/15	21/6	27/10	15/2	16/1	24/8	9/6
Björk	17/7	35/25	66/52	16/6	21/11	9/3	11/2	25/15	20/18
Contorta	57/87	23/60	10/33	61/87	49/78	71/93	69/94	49/76	23/22
Stamvolym (m³ sk/ha)	97 (39)	70 (38)	71 (38)	88 (35)	53 (36)	93 (34)	85 (40)	79	15
Medelstammens volym (dm³ pb)	39,3 (13,1)	20,4 (12,1)	10,1 (8,5)	38,3 (15,4)	22,1 (22,6)	41,0 (14,3)	45,5 (12,6)	31,0	12,5
Biomassa (hela trädet) (tonTS/ha)	66,6 (25,7)	48,0 (25,3)	48,4 (24,2)	43,6 (13,0)	37,5 (24,2)	64,5 (22,4)	59,2 (26,5)	52,5	11,0
Medelträdet biomassa (kgTS)	27,0 (8,8)	14,0 (7,9)	6,9 (5,6)	19,0 (6,6)	15,6 (15,3)	28,5 (9,4)	31,7 (8,0)	20,4	8,7

Trädslags
fördelning
X/Y
där X = % av
stamtal och
Y = % av
biomassa

3.2.1 Kvalitet

I medeltal var stickvägsbredden 4,5 meter och stickvägsandelen utgjorde medeltal till 38% av parcellens totala yta. Avståndet mellan två stickvägar (stickvägsavstånd) uppgick i medeltal till 7,2 m. Av de kvarvarande stammarna var förekomsten av skador med en storlek över 15 cm² i medeltal ca 4% och förekomsten av skador under 15 cm² var ca 7%. Total andel av de kvarvarande stammarna med stamskador uppgick i medeltal till ca 12% (Tabell 6).

Tabell 6. Kvalitetsdata från gallringen i varje parcell samt medel-, max-, min- och sd-värden för samtliga parceller

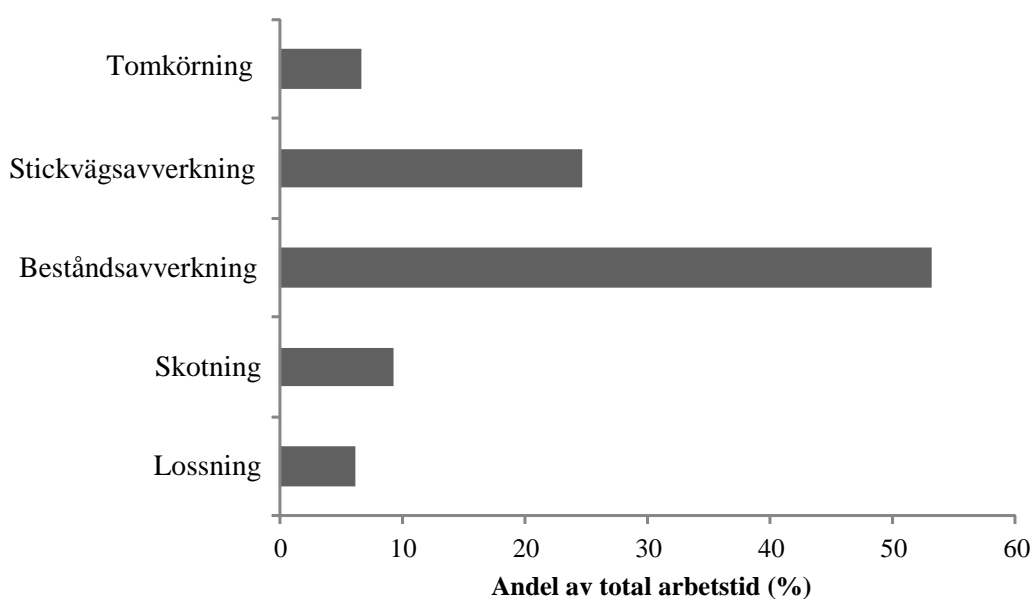
Table 6. Quality data of the thinning in each study unit and mean-, maximum-, minimum- and SD values for all study units

	Parcell							Medel, max, min och sd över samtliga parceller.			
	1	2	3	4	5	6	7	Medel	max	min	sd
Stickvägsbredd (m)	4,7	5,7	3,2	4,4	5,2	3,4	5,2	4,5	5,7	3,2	0,9
Stickvägsavstånd (m)	7,8	7,7	7,5	7,3	5,1	7,8	6,9	7,2	7,8	5,1	1,0
Stickvägsandel (% av parcellyta)	39	48	27	37	43	28	44	38	48	27	8
Stamskador > 15 cm ² (% av kvarvarande stammar)	8,1	3,9	1,9	2,9	0	11,8	1,8	4,3	11,8	0	4,2
Stamskador < 15 cm ² (% av kvarvarande stammar)	9,5	4,9	5,7	8,7	8,3	5,9	8,9	7,4	9,5	4,9	1,9
Total andel stamskador (% av de kvarvarande stammarna)	17,6	8,7	7,6	11,6	8,3	17,6	10,7	11,7	17,6	7,6	4,2

3.3 Tidsstudieresultat

Drivaren tidsstuderades totalt under 16,01 timmar varav avbrottstiden utgjorde 1,39% av den totala tiden. Under studien skördades och skotades totalt 29,44 ton (rått) skogsbränsle som bestod av 12 stycken fullt lastade lass och fem mindre lass. Vidare är beräkningar baserade på den invägda biomassan.

Från här och vidare anges tiden utan avbrottstid, dvs. effektiv arbetstid (G_0). Vid ett skotningsavstånd på 100 meter uppgick i medeltal den totala arbetstiden för att skörda och skota 1 tonTS till 72,9 minuter, med en variation från 51,2 till 113,5 min/tonTS. Av den totala arbetstiden bestod 53% av beståndsavverkning, 25% av stickvägsavverkning, 9% av skotning, 7 % av framkörning (tomkörning) till avverkning och 6% av lossning (Fig. 5).



Figur 5. Relativ tidfördelning mellan de olika huvudarbetsmomenten vid 100 meters stickvägsavstånd.

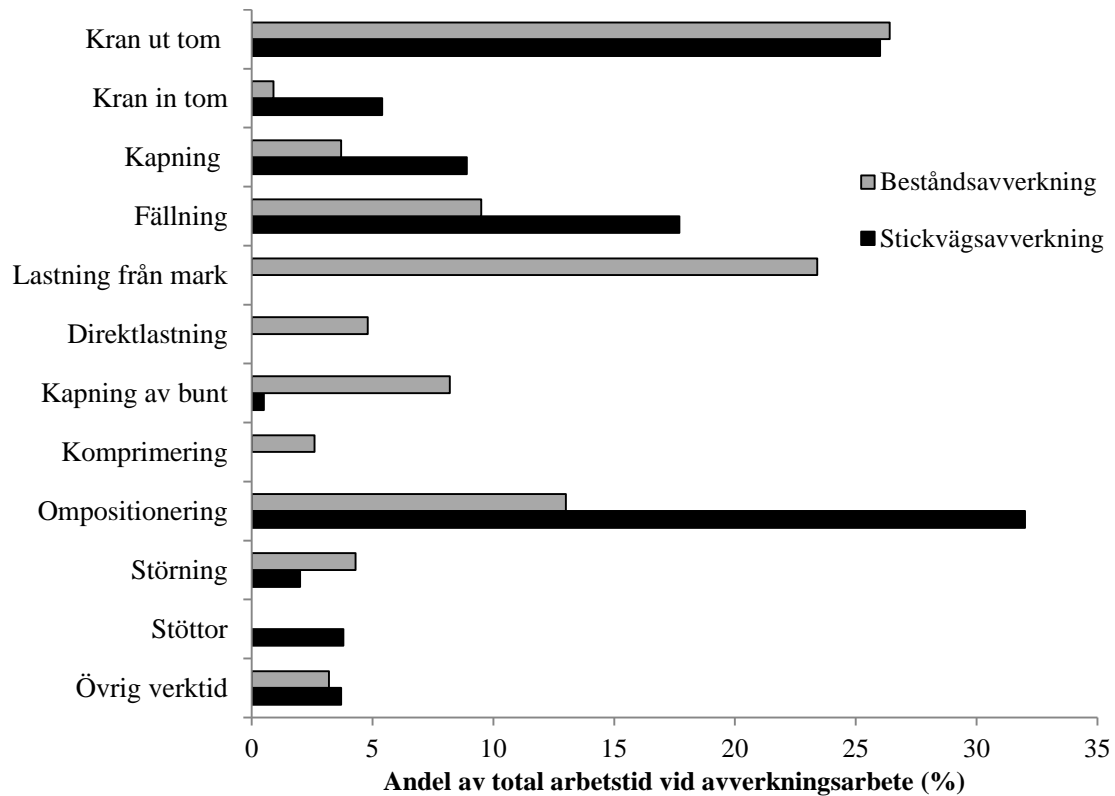
Figure 5. Relative distribution of time consumption for the different work elements for the harwarder at a forwarding distance of 100 m.

Den totala arbetstiden för att skörda 1 tonTS vid stickvägsavverkning var i medeltal 17,96 min och vid beståndsavverkning 38,78 min (Tabell 7). Det arbetsmoment som upptog störst andel av tiden vid stickvägsavverkning var ”ompositionering” (32%) och vid beståndsavverkning var det arbetsmomentet ”kran tom ut” (26%) som upptog störst andel av tiden. I figur 6 ges en beskrivning av de olika arbetsmomentens relativa tidfördelning av den totala arbetstiden vid avverkningsarbetet, där har arbetsmomentet ”kapning av stående topp” inkluderats i momentet ”kapning” eftersom det inte uppnådde ett värde över 0,5 %.

Tabell 7. Tidsåtgång (G_0 -tid) per skördad biomassa (min/tonTS) för de olika arbetsmomenten vid avverkningsarbetet

Table 7. Time consumption (min/oven-dry tonnes, effective worktime) for the different work elements at the harvesting work

Arbetsmoment	Stickvägsavverkning (min/tonTS)				Beståndsavverkning (min/tonTS)			
	Medel	max	min	sd	Medel	max	min	sd
Kran tom ut	4,67	11,48	2,89	3,06	10,21	15,21	6,58	2,87
Kran in tom	0,97	1,60	0,00	0,54	0,34	0,85	0,00	0,29
Kapning	1,60	3,92	0,86	1,11	1,44	2,71	0,86	0,68
Fällning	3,18	7,84	1,55	2,16	3,68	5,87	2,12	1,25
Lastning från mark	0,01	0,05	0,00	0,02	9,06	12,69	6,41	2,37
Direktlastning	0,03	0,10	0,00	0,05	1,87	6,06	0,68	1,91
Kapning av bunt	0,09	0,29	0,00	0,13	3,13	4,36	1,87	0,87
Kapning av stående topp	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,28	0,00	0,12
Komprimering	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	1,80	0,00	0,57
Ompositionering	5,71	11,20	3,27	2,82	5,07	7,74	3,41	1,70
Körning	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Störning	0,37	0,57	0,16	0,16	1,70	2,89	1,26	0,57
Stöttor	0,67	1,05	0,31	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
Övrig verktid	0,66	1,87	0,11	0,64	1,21	3,64	0,52	1,11
Summa	17,96				38,78			



Figur 6. Relativ tidfördelning av den totala arbetstiden mellan de olika arbetsmomenten vid avverkningsarbetet.

Figure 6. Relative time consumption of the total work time between the different work elements in the harvest work.

Vid ett givet skotningsavstånd på 100 meter uppgick i medeltal den totala tidsåtgången per hektar till 17,6 G_0 -timmar, med en variation från 14,5 till 20,4 G_0 -timmar/ha mellan samtliga parceller. Den avverkade biomassan motsvarade i medeltal 15,3 tonTS/ha med en variation från 10,2 till 18,8 tonTS/ha. Drivaren avverkade i medeltal 89 stammar/ G_0 -timme med en variation från 53 till 230 stammar/ G_0 -timme och i medeltal skördades 1,1 (max 3) stammar per krancykel.

3.4 Terrängtransport

Skotarlansens vikt i rått tillstånd uppgick i medeltal till 2086 kg för fullt lastade lass och tidsåtgången för lossningsarbetet var då i medeltal 4,53 min/tonTS (Tabell 8). I medeltal var terrängkörningshastigheten fram till avverkning utan last (tomkörning) 0,49 m/s och med ett fullt lass (skotning) var hastigheten i medeltal 0,36 m/s (Tabell 8).

Terrängkörningshastigheten minskade med ca 27% när drivaren körde ett fullt lass i jämförelse med att köra utan last.

Tabell 8. Sammanställning av skotningsarbetet med hastighet (m/s) för tomkörning och skotning med fulla lass, tidsåtgång för lossningsarbete (min/tonTS) samt skotarlansens vikter i rått tillstånd (kg)

Table 8. Compilation of the forwarding work with speed (m/s) for driving unloaded and driving loaded (with full load), time consumption for unloading (min/oven-dry tonnes) and fresh weights (kg) for loads

	Medel, max, min och sd över samtliga parceller			
	Medel	max	min	sd
Hastighet tomkörning (m/s)	0,49	0,66	0,32	0,10
Hastighet skotning (m/s)	0,36	0,47	0,22	0,09
Lossning (min/tonTS)	4,53	5,47	3,78	0,52
Rå lassvikt (kg)	2086	2478	1735	193

3.5 Produktivitet

I tabell 9 ges en sammanställning över samtliga parceller och lass som studerades. Vid ett givet skotningsavstånd på 100 meter var produktiviteten för hela arbetscykeln i medeltal 0,88 tonTS/G₀-timme, med en variation mellan 0,53 till 1,18 tonTS/G₀-timme.

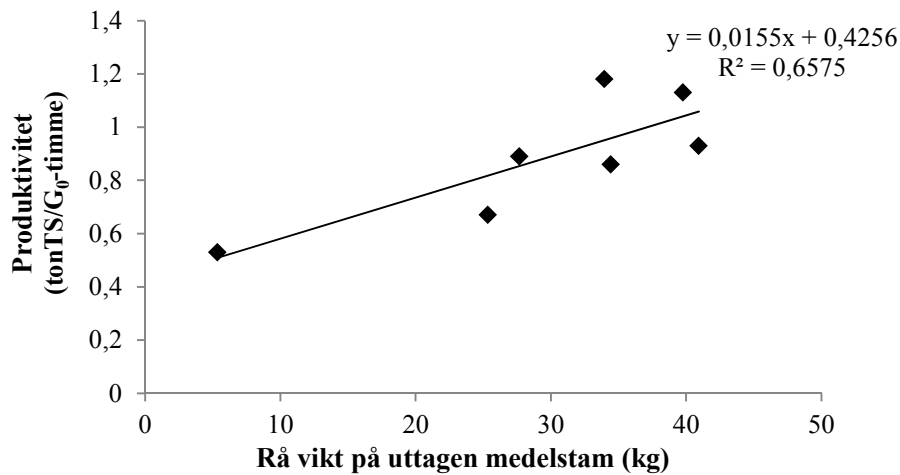
Tabell 9. Sammanställning av samtliga parceller och studerade lass med dess tidsåtgång (G_0 -timme), skördad biomassa (tonTS), lassets andel av parcellen (%) samt produktivitet (tonTS/ G_0 -timme)

Table 9. Compilation of all study units and its studied loads with time consumption (h), harvested biomass (oven-dry tonnes), the loads proportion of the study unit (%) and productivity (oven-dry tonnes/ E_0 -hour)

Parcell nr.	Lass nr.	Fullt lass (X = fullt lass)	Uttag (tonTS/lass)	Tid (G_0 -timme/lass)	Andel av parcell (%)	Produktivitet (tonTS/ G_0 -timme)
1	1	X	0,915	1,14	42	0,80
	2	X	0,915	1,00	42	0,92
	3		0,349	0,32	16	1,09
Summa			2,179	2,46	100	
Medelproduktivitet*						0,89
2	1	X	0,812	1,31	67	0,62
	2		0,406	0,52	33	0,78
Summa			1,218	1,83	100	
Medelproduktivitet*						0,67
3	1	X	0,991	2,01	79	0,49
	2		0,260	0,35	21	0,74
Summa			1,251	2,36	100	
Medelproduktivitet*						0,53
4	1	X	0,956	1,39	47	0,69
	2	X	1,087	0,81	53	1,34
Summa			2,043	2,20	100	
Medelproduktivitet*						0,93
5	1	X	0,735	0,85	36	0,86
	2	X	0,840	0,55	41	1,53
	3		0,462	0,33	23	1,40
Summa			2,037	1,73	100	
Medelproduktivitet*						1,18
6	1	X	0,894	1,40	47	0,64
	2	X	1,001	0,81	53	1,24
Summa			1,895	2,21	100	
Medelproduktivitet*						0,86
7	1	X	0,962	1,06	42	0,91
	2	X	0,850	0,57	38	1,49
	3		0,447	0,37	20	1,21
Summa			2,259	2,00	100	
Medelproduktivitet*						1,13
Medelproduktivitet för hela drivningen						0,88

*Baserat på Summa Uttag/Summa Tid.

Figur 7 visar hur produktiviteten ökar linjärt med ökad storlek på den skördade medelstammens råa vikt.

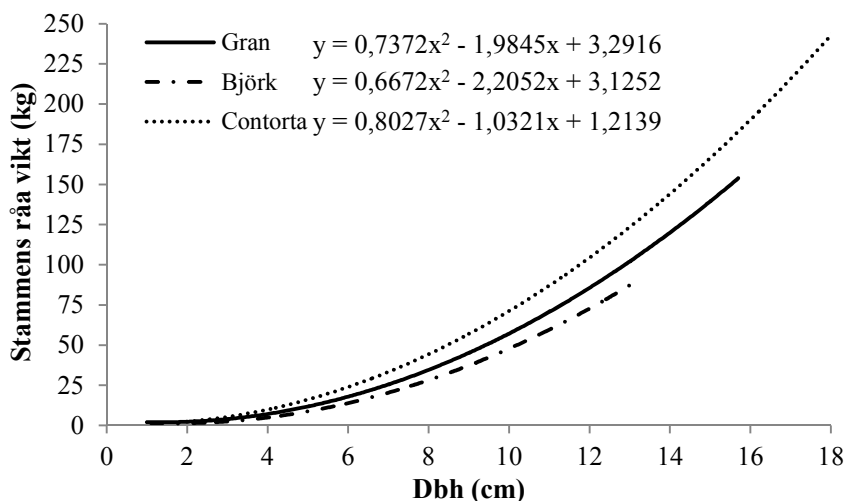


Figur 7. Produktivitet (tonTS/G₀-timme) för hela arbetscykeln som funktion av den råa vikten på uttagets medelstam (kg) vid 100 m skotningsavstånd.

Figure 7. The productivity (oven-dry tonnes/E₀-hour) of the whole work cycle as a function of the raw weight of the average harvested stem (kg) at 100 m of forwarding distance.

Stammens råa vikt har ett tydligt samband med stammens brösthöjdsdiameter.

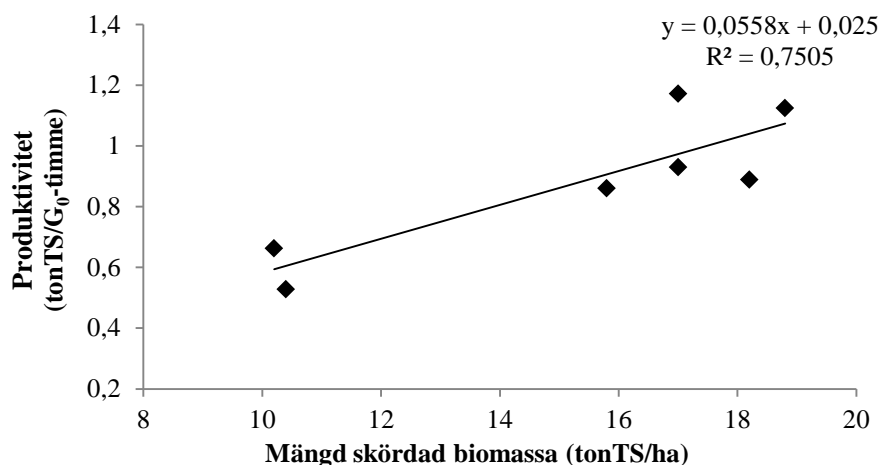
Figur 8 beskriver korrelationen mellan stammens råa vikt och dbh för trädslagen gran, björk och contorta. Exempelvis motsvarar en råa vikt på 10 kg en stamvolym på ca 6 dm³pb, en råa vikt på 40 kg motsvarar en stamvolym på ca 24 dm³pb och en råa vikt på 180 kg motsvarar en stamvolym på ca 106 dm³pb.



Figur 8. Stammens råa vikt (kg) som funktion av trädets brösthöjdsdiameter (cm) för trädslagen gran, björk och contorta.

Figure 8. The stems fresh weight (kg) as a function of breast high diameter (cm) for spruce, birch and lodge pole pine.

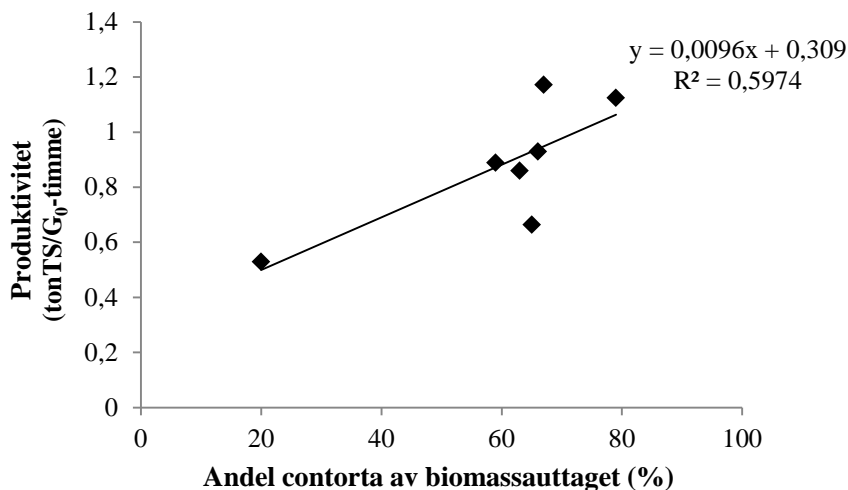
Det påvisades också att produktiviteten var starkt korrelerad (R^2 -värde 0,75) med mängden skördad biomassa (Fig. 9).



Figur 9. Produktivitet (tonTS/G₀-timme) för hela arbetscykeln som funktion av den skördade biomassan (tonTS/ha).

Figure 9. The productivity (oven-dry tonnes/E₀-hour) of the whole work cycle as a function of the harvested amount of biomass (oven-dry tonnes/hectare).

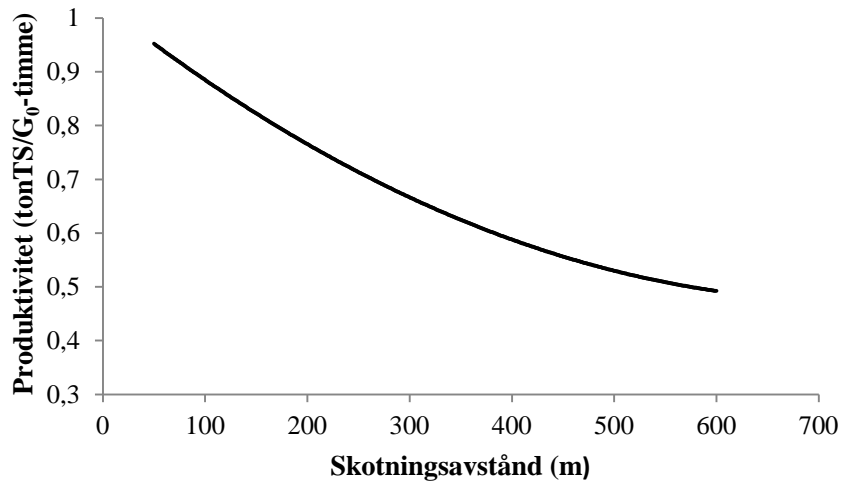
Det fanns också ett positivt samband mellan produktivitet och andelen contorta (%) av den skördade biomassan (R^2 -värde 0,60). Med en ökad andel contorta ökade också produktiviteten (Fig. 10)



Figur 10. Produktivitet (tonTS/G₀-timme) för hela arbetscykeln som funktion av andelen contorta (%) av den skördade biomassan.

Figure 10. The productivity (oven-dry tonnes/E₀-hour) of the whole work cycle as a function of the proportion of lodge pole pine in the harvested biomass.

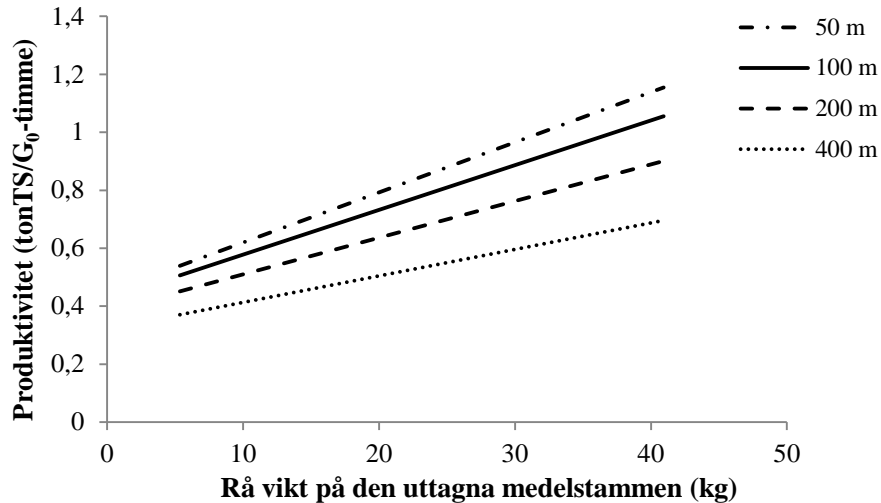
Figur 11 visar hur drivarens medelproduktivitet förändras vid ändrat skotningsavstånd. Vid ett ökat skotningsavstånd från 100 till 200 m minskade medelproduktiviteten från 0,88 tonTS/G₀-timme till 0,76 tonTS/G₀-timme, dvs. en minskning med ca 14%. Vid ett ökat skotningsavstånd från 100 till 400 m minskade medelproduktiviteten från 0,88 tonTS/G₀-timme till 0,59 tonTS/G₀-timme, dvs en minskning med ca 33% (Fig. 11).



Figur 11. Drivarens medelproduktivitet (tonTS/G₀-timme) för hela arbetscykeln som funktion av skotningsavståndet (m).

Figure 11. The harwarders productivity (oven-dry tonnes/E₀-hour) based on the whole work cycle as a function of the forwarding distance (m).

Vid en medelstam på 10 kg (rått tillstånd) var medelproduktiviteten 0,62 tonTS/G₀-timme när skotningsavståndet uppgick till 50 m, vid en medelstam på 30 kg (rå) var motsvarande medelproduktivitet 0,97 tonTS/G₀-timme. Vid ett skotningsavstånd på 400 m och en medelstam på 10 kg (rå) uppgick medelproduktiviteten till 0,41 tonTS/G₀-timme och när medelstammen var 30 kg (rå) var medelproduktiviteten 0,59 tonTS/G₀-timme vid ett skotningsavstånd på 400 m (Fig. 12).



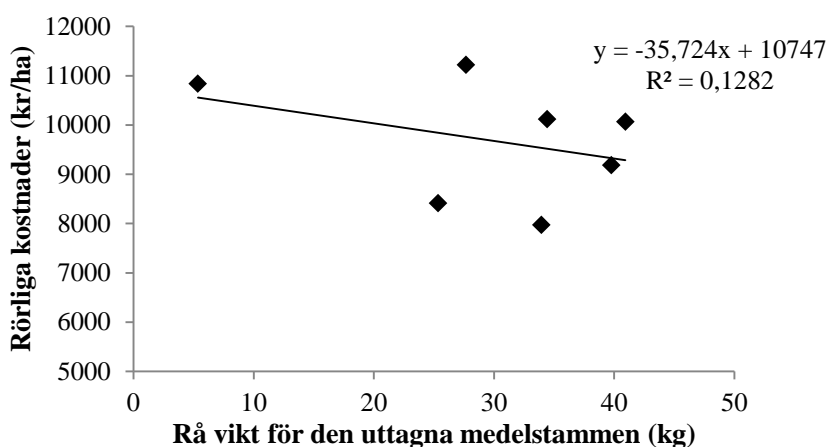
Figur 12. Drivarens produktivitet (tonTS/G₀-timme) för hela arbetscykeln som funktion av den rå vikten på uttagets medelstam (kg) vid skotningsavstånden 50m, 100m, 200m och 400m.

Figure 12. The productivity (oven-dry tonnes/E₀-hour) of the whole work cycle as a function of the raw weight of the average harvested stem (kg) at forwarding distance of 50m, 100m, 200m and 400m.

3.6 Ekonomi

3.6.1 Kostnader

Vid ett skotningsavstånd på 100 meter och en timkostnad av 550 kr/G₀-timme uppgick den rörliga avverkningskostnaden i medeltal till 9 688 kr/ha (Tabell 10). Det påvisades ett samband mellan den råa vikten på den uttagna medelstammen och drivningens rörliga kostnader vilket innebar att vid en ökad vikt på medelstammen minskade kostnaderna (Fig. 13). Avverkningskostnaden (exklusive flyttkostnader) per avverkad tonTS var i medeltal 668 kr/tonTS med en variation från 469 till 1 042 kr/tonTS.



Figur 13. Drivningens rörliga kostnader (kr/ha) som funktion av den råa vikten på den uttagna medelstammen (kg).

Figure 13. Variable harvesting costs (SEK/ha) as a function of the raw weight of the average harvested stem (kg).

3.6.2 Intäkter

Intäkterna uppgick i medeltal till 464 kr/G₀-timme med en variation från 278 till 620 kr/G₀-timme. När skotningsavståndet uppgick till 100 meter var intäkten i medeltal 8 055 kr/ha (Tabell 10). Det påvisades ett tydligt samband mellan produktivitet (tonTS/G₀-timme) och intäkter (R²-värde 0,74) som innebar att vid ökad produktivitet ökade också intäkterna.

3.6.3 Drivningsnetto

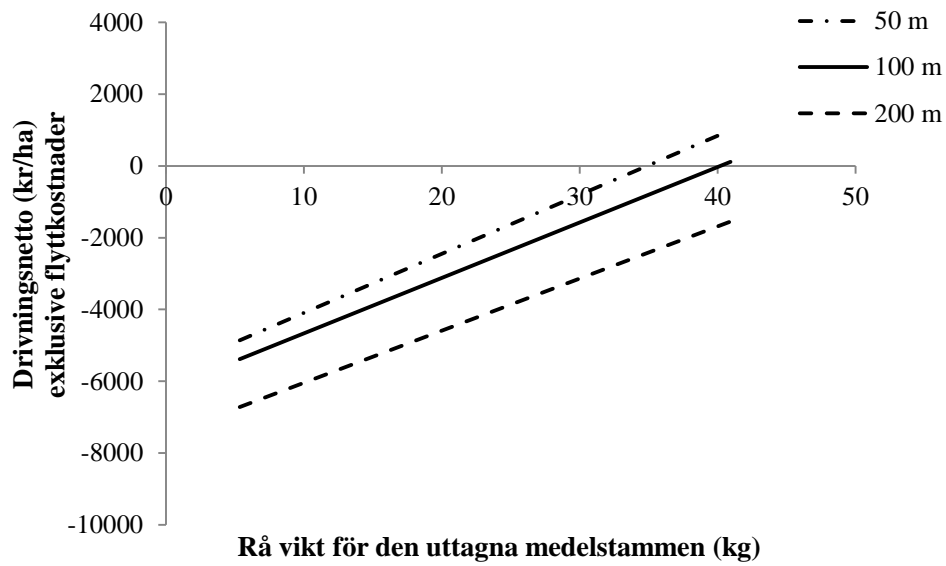
Vid ett skotningsavstånd på 100 meter, en uttagen medelstam på 19 dm³pb, en medelproduktivitet på 0,88 tonTS/G₀-timme samt en avverkningsareal som uppgick till 5 ha och en flyttkostnad på 1 000 kr/objekt blev det slutgiltiga nettot till skogsägaren - 9 165 kr. Vid samma förutsättningar men vid en avverkningsareal av endast 1 ha blev det slutgiltiga nettot - 2 633 kr.

Tabell 10. Sammanställning (kr/ha) för samtliga parceller (rörliga); intäkter, kostnader och drivningsnetton vid 100m skotningsavstånd. Samt medel-, max-, min- och sd-värden över samtliga parceller

Table 10. Compilation (SEK/ha) of all study units (variable); revenues, logging costs and net for the whole logging at forwarding distance 100m. Including average, maximum, minimum and standard deviation between all study units

Parcell nr.	Intäkter (kr/ha)	Drivningskostnader (kr/ha)	Netto, exkl. flyttkostnader (kr/ha)
1	9 555	11 220	- 1 665
2	5 355	8 415	- 3 060
3	5 460	10 835	- 5 375
4	8 925	10 065	- 1 140
5	8 925	7 975	950
6	8 295	10 120	- 1 825
7	9 870	9 185	685
Medel	8 055	9 688	- 1 633
max	9 870	11 220	950
min	5 355	7 975	- 5 375
sd	1 877	1 211	2 174

Drivningsnettot (exklusive flyttkostnader) per hektar hade ett tydligt positivt samband med storleken på de uttagna stammarna. Sambandet visas tydligt med den råa vikten på medelstammen (R^2 -värde 0,75 vid 100 m skotningsavstånd). Sambandet visar att vid en ökad medelstam ökade också nettot. Figur 14 beskriver hur drivningsnettot påverkas av den råa vikten för den uttagna medelstammen. Figuren visar att vid ett skotningsavstånd på 100 m krävs en uttagen medelstam på åtminstone 40 kg (rått tillstånd) för att uppnå ett positivt netto.



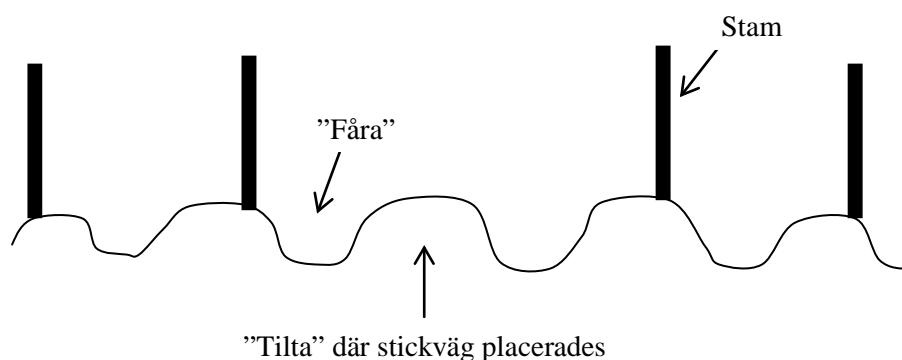
Figur 14. Drivningens netto (kr/ha) exklusive flyttkostnader som funktion av den råa vikten på uttagets medelstam (kg) vid skotningsavstånden 50m, 100m och 200m.

Figure 14. Net income (SEK/ha) excluding removal costs as a function of the raw weight of the average harvested stem (kg) at the forwarding distance 50m, 100m and 200m.

4. Diskussion

4.1 Material och metoder

Syftet med studien var att mäta produktiviteten på Vimek 608 BioCombi vid uttag av skogsbränsle i täta förstagallringsbestånd med contortatall. Hela försökslokalen var hyggesplöjd, vilket gav lika förutsättningar för samtliga parceller. Om resultatet ska jämföras med studier som är utförd på ej hyggesplöjd mark bör det uppmärksammas att hyggesplöjningen kan leda till att medelproduktiviteten från denna studie underskattas. Markens ytstruktur kan ha haft inverkan på körhastigheten men i denna studie uppmärksammades det också att tiltorna försvårade kranarbetet för att placera aggregatet så långt ner som möjligt på den stam som skulle kapas. Detta problem uppstod främst för de stammar som stod på tiltor som ej låg närmast stickväg (Fig. 15). Hur mycket hyggesplöjningen påverkade drivarens produktivitet är svårt att bedöma men det observerades under studien att föraren fick "trixa" och ta om för att kapa stammar som ej stod på den tilta som var närmast stickväg. Drivaren bör därför vidare studeras på plan mark för att göra en rättvis bedömning.



Figur 15. Schematisk bild som beskriver stickvägen och stammarnas placeringar upp på "tiltor". På vardera sida om en tilta ligger en "fåra".

Figure 15. Schematic sketch describing the placement of the strip road and the stems on top of the "ridge". On either side of the ridge is a "trench".

Försökslokalens ståndortsindex bedömdes till T21 men det bör det uppmärksammas att hyggesplöjningen ger området ett betydligt högre ståndortsindex i verkligheten. Mattsson och Bergsten (2003) har studerat hur olika markberedningsmetoder påverkar contortans tillväxt i boreala skogar. Utifrån deras fältförsök visade resultatet att produktionen av stambiomassa ökade upp till tre gånger med hyggesplöjning i jämförelse med utesluten markberedning.

Målet var att försöka variera trädslagsblandning, stamtäthet och medelstammens volym i försökslokalen för att undersöka om det t.ex. fanns något samband mellan produktivitet och storleken på de avverkade träden. Spridningen av medelstammens volym (dm^3pb) blev däremot ganska liten och resultat presenterades därför tydligare med den råa vikten på medelstammen.

Målet var att studera tre lass i varje parcell. Parcellens längd sattes därför utifrån erfarenhetstal av föraren, vilket vid tillfället var att tre lass motsvarade ca 100 meter stickväg. Vid tidsstudien visade det sig att detta mål inte uppnåddes. Antalet lass i varje parcell varierade från ett fullt lass plus ett mindre lass till två fulla lass plus ett mindre lass. Längden på parcellen hade därför kunnat utökas i studien för att nå tre fulla lass per parcell. Men det bör observeras att drivare i praktiken lämpar sig bättre till gallringar med korta skotningsavstånd (Kärhä, 2006). Alternativet till denna studie hade kunna varit att istället utöka antalet parceller för att uppnå fler studerade lass som blev fullt lastade, och på så vis också uppnå en större datamängd. I praktiken kan det enligt Brunberg (1999) istället vara lönsamt att vid skotningsavstånd över 125 m investera i tekniska lösningar som ökar lastutrymmet, men då är förutsättningen att maskinen används i slutavverkning. I gallringar anses det däremot inte lämpligt att utöka lastutrymmet pga. risken att skada de kvarstående stammarna.

Vid beståndsinventering före och efter gallring klavades alla träd över 1,3 meter i dbh. I och med att det fanns mycket underväxt i beståndet och att det inte skedde någon märkning av vilka träd som mättes vid den första inventeringen skiljde sig inventeringsvärdena före och efter gallring pga. att dbh kanske inte togs på exakt samma höjd. Därför hade det varit bättre om samtliga träd som mättes vid inventeringen före gallring märktes med en färg på träden samt ett ID-nummer. Då hade det varit enklare att beräkna volymer före och efter gallring samt skillnaden mellan dessa till beräkning av värden på det skördade materialet.

Likt Johanssons (2010) försök fanns det vid studiens utförande inga utgivna biomassafunktioner för hela trädet på contortatall i Sverige, vilket ledde till att biomassafunktionerna istället grundades på isländsk contortatall (se Snorrason & Einarsson 2006). Till skillnad från Johanssons (2010) studie så överskattade biomassafunktionerna mängden skördad biomassa i denna studie med ca 33% i jämförelse med den faktiskt invägda mängden biomassa. I medeltal var den faktiskt invägda mängden biomassa 15,3 tonTS/ha medan funktionerna i medeltal gav 20,3 tonTS/ha. I Johanssons (2010) studie underskattade biomassafunktionerna i medeltal mängden biomassa med ca 3%. I Snorrason och Einarssons (2006) studie gav deras funktion för den totala biomassan över mark hos contortatall högre värden än den studie de jämförde med som utfördes av Johnstone (1970) (se Snorrason & Einarsson, 2006). Hur pass mycket högre värdena var anges däremot inte men det ger i varje fall en indikation på att funktionerna kan ange höga värden på biomassan. Snorrason och Einarssons (2006) funktion för den totala biomassan över mark för contortatall baseras på höjd och diameter och för att uppnå en acceptabel ekvation skriver de att andra variabler som kronbredd (crown width) och kronhöjd bör också testas för att få en bättre regression. I resultatberäkningarna i denna studie är data däremot baserat på den faktiskt invägda mängden biomassa. Lastbilens kranvåg stämde väl med värmeverkets vägning och överskattade vikten med endast 1%.

Att utföra tidsstudien som en frekvensstudie var ett mycket lämpligt sätt i och med att det skapade ingen stress och det var lätt att hinna med att registrera arbetsmomenten var sjunde sekund. Fördelen med frekvensstudier är att det är ett enkelt arbetssätt och det ställs inte så högra krav på den person som utför tidsstudien, samt att det är möjligt att studera korta arbetsmoment. Ett annat sätt att utföra tidmätningar är med hjälp av kontinuitetsmetoden där totaltiden för respektive arbetsmoment noteras. Fördelen med kontinuerlig mätning är att det ger en total tid för respektive arbetsmoment i jämförelse med frekvensstudier som bestämmer arbetsmomentens relativa fördelning. En nackdel med kontinuerlig mätning är

att det ställs högre krav på den person som utför mätningen och det kan kännas stressigt att trycka av och på tiden för respektive arbetsmoment (se Wästerlund, 2008). Med hjälp av pilotstudien korrigerades momentlistorna så att de stämde väl överens med drivarens arbets sätt. Det var däremot desto svårare att registrera momenten under snövädret trots att ett vattenresistent papper användes. Föraren såg inga problem med snötäcket men påpekade att det skarpa motljuset kunde vara något störande.

4.2 Gallringsresultat och kvalitet

Förarens mål var att gallra ett bestånd som bestod av ca 1700-1800 kvarvarande st/ha. Detta uppnåddes inte men gallringsstyrkan av grundytan och stamantalet motsvarade däremot 34% respektive 26% av det ursprungliga beståndet vilket kan betraktas som ett lämpligt uttag. Det anses som lämpligt eftersom i praktisk skogshandbok anges gallringsstyrkan för en medelgallring i normala bestånd som 30% av grundytan och i en stark gallring i unga bestånd anges gallringsstyrkan som 40% av grundytan (Anon. 1994).

Stickvägsbredden var i medeltal 4,5 meter vilket kan anses högt om det ska jämföras med Johanssons studie (2010) där en 19,8-tons drivare (med maskinbredd 2,8 m) skapade en stickväg som i medeltal var 4,3 meter. Anledningen till att stickvägsbredden i denna studie blev så pass hög kan bero på hyggesplöjningen och det sätt stickvägsbredden mättes på. Enligt Björheden och Frödings (1986) rutin för gallringsuppföljning ska avståndet mellan de två träd som, på vardera sida, står närmast stickvägen mätas. I och med hyggesplöjningen lades stickvägen uppe på en tilta, det innebar att på vardera sida om stickvägen fanns det en fåra. Fårorens placering ledde till att det närmsta trädet till stickvägen stod på nästa tilta vilket innebar att stickvägsbredden blev ”förskjutet”. Fanns det inte någon stam på den tilta som stod närmast stickvägen blev stickvägsbredden ytterligare ”förskjutet” till nästa tilta (Fig. 15). I denna studie hade det kanske varit mer lämpligt att mäta den ”faktiska” bredden på stickvägen som tydligt kunde beskådas i fält (vilket ungefär motsvarade maskinbredden). Om det istället hade antagits att stickvägsbredden uppgick till 2 m så hade stickvägsandelen i parcellen uppgått till 17% i jämförelse med 38% vid en stickvägsbredd på 4,5 meter.

Andelen stamskador i denna studie anses hög där ca 4% av de kvarvarande stammarna hade stamskador över 15 cm² och ca 7% av de kvarvarande stammarna hade stamskador under 15 cm². I Johanssons studie (2010) var andelen stamskador över 15 cm² endast 2% av de kvarvarande stammarna. I den studie Kärhä m.fl. (2005) utförde på en 14-tons skördare var skadeandelen endast 0,4% där storleken på skadorna varierade från 8-30 cm². Deras slutsatser var att den större andelen av de skadade träden berodde på stötar från aggregatet samt de träd som fälldes. Om skadorna sedan i sin tur berodde på en ovarsam förare eller inte framgick inte i studiens resultat. I denna studie på BioCombin fastställdes det inte om skadorna låg i anslutning till stickväg eller om de låg längre ut i beståndet men den generella observationen var att skadorna fanns både i anslutning till stickväg samt i beståndet. Några anledningar till den höga skadeandelen kan vara att stamtätheten samt de stora yviga contortatallarna och underväxten av gran ledde till att det blev svårt för föraren att se om aggregatet stöttes mot en stam och skadade den. Hyggesplöjningen och problematiken med att tiltorna komplicerade placeringen av aggregatet kan också ha haft en inverkan på skadeandelen. I Erssons studie (2007) på Vimek 404R i en bioenergiröjning var skadeandelen hög där hela 25% av de kvarvarande stammarna hade någon stamskada,

men detta berodde troligtvis på att skördaren inte körde i raka stråk, utan svängde och backade in i stammarna.

4.3 Tidsstudieresultat

Den totala tidsåtgången per hektar uppgick till 17,6 G₀-timmar vid ett skotningsavstånd på 100 meter. I Johanssons (2010) studie uppgick motsvarande tidsåtgång vid 100 m skotningsavstånd i contortabestånd till 13,9 G₀-timmar/ha. En trolig anledning till att Johansson hade en lägre tidsåtgång än i denna studie beror troligtvis på att uttaget (tonTS/ha) var högre i Johanssons studie samt att de avverkade stammarna hade en större volym. Johanssons uttag uppgick till 26,2 tonTS/ha i jämförelse med ett uttag som uppgick till 15,3 tonTS/ha i denna studie. Dessutom avverkade den drivare som Johansson studerade hela 72% fler stammar per G₀-timme än vad BioCombin gjorde. Johanssons drivare avverkade i medeltal 153 stammar per G₀-timme medan BioCombin, i denna studie, i medeltal avverkade 89 stammar per G₀-timme.

Vid stickvägsavverkning var det arbetsmomentet ”ompositionering” som upptog störst andel av tiden. Av observationer vid tidsstudiens utförande görs bedömningen att detta kan bl.a. bero på hyggesplöjningen vilket gjorde att föraren fick backa och ta om flera gånger för att hålla sig ”uppe på” tiltan och försöka undvika att ”rasa” ner i fårorna. Arbetsmomentet ”kapning” tog en betydligt större andel av tiden vid stickvägsavverkning i jämförelse med beståndsavverkning. Anledningen till att andelen ”kapning” är större vid stickvägsavverkning är pga. att det inte utförs så många andra arbetsmoment än just ”kapning” vid skörd av stickväg. Om det istället jämförs hur lång tid drivaren lägger på att kapa varje träd i stickvägsavverkning och beståndsavverkning märks det knappt någon skillnad. Vid skörd av stickväg tar kapningsmomentet i medeltal 1,2 s/träd och vid beståndsavverkning tar det i medeltal 1,1 s/träd. Studien visade också att drivaren lägger mest tid på kranarbete i beståndsavverkning i form av arbetsmomenten ”kran tom ut” och ”lastning från mark”.

Drivarens terrängkörningshastighet var ganska känslig mot lassets vikt. Terrängkörningshastigheten minskade i medeltal med ca 27% när den skotade ut ett fullt lass i jämförelse med tomkörning. Den drivare som Johansson däremot studerade (2010) reagerade knappt på lassvikten och skillnaden i hastighet för tomkörning och körning med last var i medeltal endast 0,8 m/s.

Skotarlass som var fullt lastade hade i medeltal en rå vikt på 2086 kg. Det motsvarade 46% av drivarens totala lastkapacitet på 4500 kg. Anledningen till det låga lastutnyttjandet kan vara att contortatallen är ganska stor och yvig, vilket gör att lassets volym fylls utan att nyttja hela lastkapaciteten i vikt. Lastutnyttjandet i denna studie kan anses lågt i jämförelse med studien på BioCombins prototyp (Vimek 606 TT) där lastutnyttjandet på komprimerade laster var hela 75% och okomprimerade laster hade ett lastutnyttjande på 55-60%. I studien på BioCombins prototyp hade drivaren däremot en total lastkapacitet på 3000 kg och de studerade lassen innehöll då tall och björk (Bergström m.fl. 2010b).

4.4 Produktivitet

Parcellens medelproduktivitet beräknades utifrån total tid och det totala uttaget av biomassa i parcellen. I och med att drivaren alltid började med att skörda stickvägen i en parcell består samtliga parcellers första lass av 100 meter stickvägsavverkning samt en viss andel beståndsavverkning och lastning av stickvägsträd (Fig. 4). Andelen beståndsavverkning beräknades utifrån lassviktens andel av den totala vikten som skördades i parcellen. Övriga lass som skördades efter det första lasset bestod av endast beståndsavverkning och lastning av stickvägsträd. I samtliga parceller blev lass 1 fullt lastade. Lass 2 blev fullt lastade i samtliga parceller utom parcell 2 och 3. I parcell nummer 1, 5 och 7 skördades 3 lass men ingen av dessa blev fullt lastade (Tabell 9).

De första lasserna (som bestod av både stickvägsavverkning samt beståndsavverkning) fick i samtliga parceller en lägre produktivitet än resterande lass som studerades. Alltså hade drivaren en högre produktivitet när den skördade träd mellan stickvägar och lastade de skördade stickvägsträden. Anledningen till detta kan antagligen kopplas till den höga tidsandel drivaren lägger på ”ompositionering” vid stickvägsavverkning. Vid ”ompositionering” sker ingen produktion utan drivaren får istället trixa med backning och framkörning för att stå i rätt/lämplig position för att kunna avverka stickvägsträden. Även om andelen ”ompositionering” vid stickvägsavverkning hade minskats med hälften (så att den motsvarade ungefär lika stor tidsandel som vid beståndsavverkning) så hade medelproduktiviteten för studien endast ökat till 0,90 tonTS/G₀-timme.

Det bör observeras att i beräkningen för studiens medelproduktivitet ingår samtliga lass, dvs. både fullt lastade lass och de som inte fyller ett fullt lass. I de lass som ej är fullt lastade blir skotningstiden därför missvisande i och med att drivarens terrängkörningshastighet har en viss känslighet för lassets vikt. Anledningen till att samtliga lass ändå ingår i beräkningen är för att tiden ska överensstämja med den skördade mängden biomassa (tonTS) samt arealen (0,12 ha/parcell). Det ger på så vis en tydlig indikation på hur stor mängd (tonTS/ha) som har skördats i respektive parcell. Dessutom så överensstämmer arbetsmetoden med praktiken i och med de fall där drivaren endast fyller halvlass och en ny stickväg ska tas upp måste föraren först skota halvlasset till avlägg för avlastning. Därefter när lasset är tomt och inga träddelar skymmer sikten har föraren möjlighet att ta upp en ny stickväg.

Under tidsstudiens genomförande uppmärksammades att drivaren arbetade betydligt snabbare och effektivare i parcell 5. Detta konstaterades också när tidstudiedata analyserades, t.ex. vid efterföljande beräkning av produktivitet; i parcell 5 uppnåddes den högsta medelproduktiviteten (1,18 tonTS/G₀-timme) trots att den uttagna medelstammen var förhållandevis låg (18,9 dm³pb). Anledningen till det effektivare arbetet beror antagligen på att parcell 5 skördades som den sista parcellen under arbetsdagen samt att det inträffade på en fredag innan helg. Trots att studien begränsades till en och samma förare så kan tidpunkt för studiens utförande ha inverkan på produktivitet. Därför kan det till denna studie ha varit mer lämpligt att utöka antalet parceller så att den första parcellen som exempelvis studeras på en måndag samt den sista som studeras på en fredag kan uteslutas från resultatet om de visar sig att de är avvikande från resterande parceller. I denna studie har parcell nummer 5 ändå beräknats med i studiens medelproduktivitet. Den visar ändå vad drivaren har för möjlighet att prestera.

BioCombins medelproduktivitet vid avverkningsarbetet (dvs. endast fällningsmomentet) uppgick till 1,11 tonTS/G₀-timme och liknar produktiviteten i den studie Kärhä m.fl. (2005) utförde på en beståndsgående skördare. Medelproduktiviteten i deras studie uppgick till 1,15 tonTS/G₀-timme vid ett uttag av 4 700 st/ha motsvarande 12,7 tonTS/ha. Studierna har alltså liknande medelproduktivitet vid avverkningsarbete men träden i studien av Kärhä m.fl. (2005) innehöll stammar som var fler till antalet men mindre i storleken. BioCombin hade en högre medelproduktivitet vid avverkningsarbetet än Erssons studie (2007) av Vimek 404R som uppgick till 0,98 tonTS/G₀-timme. Däremot så var den studien utförd på en skördare i bioenergiröjning så där var biomassauttaget hela 56 tonTS/ha med betydligt fler stammar per hektar och mindre stammar i storleken. I den studien var dessutom föraren ovan med att köra maskinen i en bioenergiröjning. I jämförelse med Johanssons (2010) studie har BioCombin i denna studie en lägre medelproduktivitet (för hela arbetscykeln, dvs. både fällning- och skotningsmoment). Medelproduktiviteten i Johansson studie uppgick till 1,87 tonTS/G₀-timme, i jämförelse med BioCombins 0,88 tonTS/G₀-timme, men då bör det uppmärksammas att biomassauttaget (tonTS/ha) var hela 71% högre i jämförelse med denna studie.

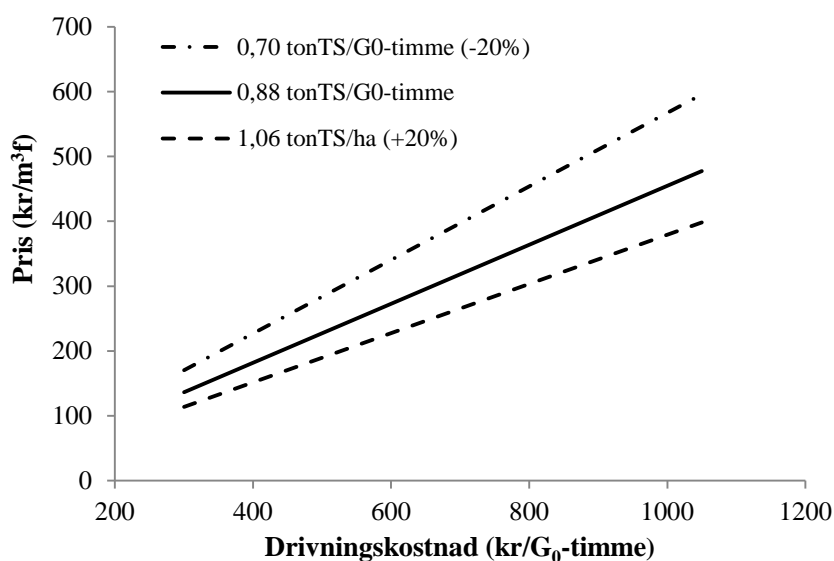
I parcell 3 hade drivaren en förhållandevis låg produktivitet (Tabell 9). Den uttagna medelstammen var också lägst i parcell 3 men det bör också uppmärksammas att parcellen inte heller var förrojd som de resterande parcellerna. Resultatet i parcell 3 gav också det lägsta nettot i studien (Tabell 10).

Studiens resultat visade också att det fanns ett positivt samband mellan produktivitet och andelen contorta (%) av den uttagna biomassan (Fig. 10). En anledning till detta kan vara att contortatallen hade en betydligt högre medelstamsvolym än de övriga trädslagen.

I denna studie beskrivs produktivitetens samband med den råa vikten på medelstammen med ett linjärt samband. Anledningen till detta är att intervallet på medelstammen är relativt snävt (om man bortser från parcell 3; medelstam 5,3 kg) och beskrivs mest tydligt med en linjär linje (se Fig. 7). Om intervallet för storleken på medelstammen hade varit större hade sambandet istället kunnat kurvanpassats.

4.5 Ekonomi

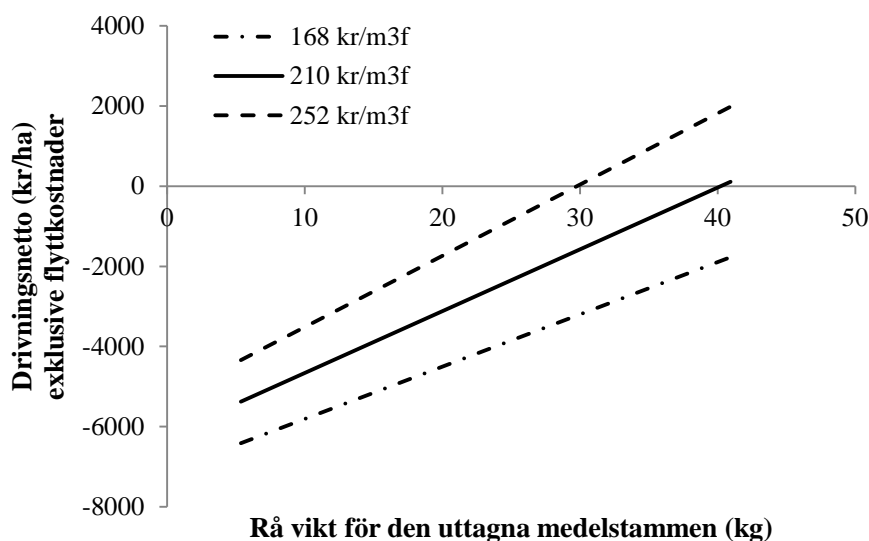
Vid en medelproduktivitet av 0,88 tonTS/G₀-timme, ett skotningsavstånd på 100 meter och en drivningskostnad på 550 kr/G₀-timme krävs ett pris på det osönderdelade sortimentet (vid bilväg) som uppgår till 250 kr/m³f för att täcka de rörliga drivningskostnaderna (Fig. 16). Om medelproduktiviteten istället ökar med 20% till 1,06 tonTS/G₀-timme så krävs det att priset uppgår till 208 kr/m³f för att täcka de rörliga drivningskostnaderna. Om medelproduktiviteten däremot minskar med 20% till 0,70 tonTS/G₀-timme krävs ett pris på 312 kr/m³f för att täcka de rörliga drivningskostnaderna.



Figur 16. Minimipris (kr/m³f (hela trädets volym inklusive grenar och barr)) på osönderdelat sortiment vid bilväg som krävs för att täcka den rörliga drivningskostnaden (kr/G₀-timme) vid 100 meter skotningsavstånd och produktiviteterna; 0,88 tonTS/G₀-timme, 1,06 tonTS/G₀-timme (+20% på medelproduktivitet) samt 0,70 tonTS/G₀-timme (-20% på medelproduktivitet).

Figure 16. The minimum price (SEK/m³ solid (whole tree including branches and needles) on undecomposed assortment at roadside that is required to cover the variable logging costs (SEK/E₀-hour) at the forwarding distance 100 meter and the productivities; 0,88 oven-dry tonnes/E₀-hour, 1,06 oven-dry tonnes/E₀-hour (+20% on the average productivity) and 0,70 oven-dry tonnes/E₀-hour (-20% on the average productivity).

Om drivningskostnaden istället hålls konstant på 550 kr/G₀-timme men priset varierade med 20 procents ökning och minskning påvisades prisets inverkan på drivningsnettot (exklusive flyttkostnader). Vid en produktivitet på 0,88 tonTS/G₀-timme, 100 meter skotningsavstånd samt ett pris på 210 kr/m³f uppnåddes inget positivt netto (kr/ha) när den uttagna medelstammen hade en rå vikt under 40 kg. Figur 17 beskriver hur drivningsnettot påverkas av den råa vikten på den uttagna medelstammen där priset på råvaran varierar med ± 20%.

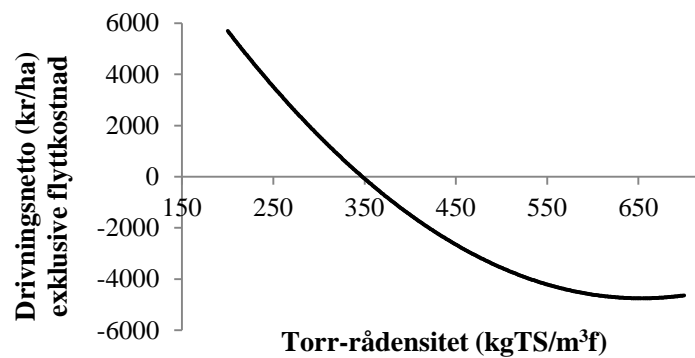


Figur 17. Drivningsnetto exklusive flyttkostnader som funktion av den råa vikten på avverkad medelstam. Produktiviteten är 0,88 tonTS/G₀-timme, skotningsavståndet är 100 m, drivningskostnaden är 550 kr/G₀-timme och priset på sortimentet varierar med 168 kr/m³f, 210 kr/m³f samt 252 kr/m³f.

Figure 17. Net income (SEK/ha) excluding removal costs as a function of the raw weight of the average harvested stem (kg) and the price for un-decomposed assortment at roadside vary with 168 SEK/m³solid, 210 SEK/m³solid and 252 m³solid. (When the forwarding distance is 100 m, the logging cost is 550 SEK/E₀-hour and the productivity is 0,88 oven-dry tonnes/E₀-hour).

En stam som väger 40 kg i rått tillstånd består av ca 17,2 kgTS (40 x 0,43(torrhalten)), 17,2 kgTS motsvarar i sin tur ca 0,043 m³f (hela trädets volym inklusive grenar och barr) (17,2/400(torr-rådensiteten). I och med att det sker en del omvandlingssteg mellan de olika enheterna bör det observeras att det medför en viss missvisning.

Torr-rådensiteten har inverkan på hur stort utbytet blir i m³f. En lägre torr-rådensitet ger ett högre utbyte i m³f. Det värde som används som torr-rådensitet har alltså inverkan på uttagets intäkter. Figur 18 beskriver hur storleken på torr-rådensiteten påverkar studiens drivningsnetto (kr/ha, exklusive flyttkostnader). En lägre torr-rådensitet ger ett högre drivningsnetto och om ett felaktigt värde på torr-rådensiteten används vid utfallets beräkning (ett som exempelvis är högre än det verkliga) blir resultatet ett lägre nettoför skogsägaren.



Figur 18. Drivningsnetto (kr/ha, exklusive flyttkostnad) som funktion av torr-rådensiteten (kgTS/m³f).

Figure 18. The study's net (SEK/ha, excluding removal cost) as a function of the dry-raw density (oven-dry kg/m³f).

4.6 Jämförelse mellan olika sortiment

En intressant aspekt kan vara att jämföra drivningens netto för olika sortimentsuttag, se tabell 11. I detta exempel betraktas försökslokalen som ett medelbestånd där drivarens medelproduktivitet är 0,88 tonTS/G₀-timme och skotningsavståndet är 100 m. Den uttagna medelstammen motsvarar 19 dm³pb och biomassauttaget uppgår till 15,3 tonTS/ha. Drivningens netto för skogsbränsleuttaget (kr/ha, exklusive flyttkostnader) är i det här fallet -1 633 kr/ha. Om uttaget istället hade bestått av endast massaved hade drivningsnettot i detta exempel också blivit negativt. Detta inträffar om det antas att det ursprungliga beståndet består av 4722 st/ha varav ca 1500 st/ha har en dbh över 8 cm vilket också motsvarar en volym på 85,3 m³sk/ha. Om beståndet gallras ned så att det efter gallringen består av 1100 kvarvarande stammar per hektar (dvs. 400 st/ha gallras bort) uppgår massavedsuttaget till 15,9 m³fub/ha. Där har ett omvandlingstal på 0,7 används för att omvandla m³sk till m³fub för kläna dimensioner (Anon. 1994). Om priset för massaveden antas vara 350 kr/m³fub (Anon. 2010e) blir intäkterna för massavedsuttaget 5 576 kr/ha. Om det också förutsätts att produktiviteten är densamma som vid skogsbränsleuttag blir det slutgiltiga nettot för det potentiella massavedsuttaget -4 112 kr/ha. Om sortimentsuttaget hade kombinerats, dvs. att det hade tagits ut både massaved och skogsbränsle hade drivningsnettot även där blivit negativt. Den faktiskt uttagna biomassan motsvarade ca 400 stammar/ha som hade en dbh över 8 cm. Det motsvarar ett massavedsuttag för kläna dimensioner på 12,5 m³fub/ha. De stammar i den faktiskt uttagna biomassan som hade en dbh under 8 cm motsvarade 5984 kgTS/ha. Intäkterna till det kombinerade uttaget uppgår då till 7 517 kr/ha och med samma produktivitet som vid skogsbränsleuttag blir då drivningsnettot för ett kombinerat uttag -2 171 kr/ha. I och med att stammarna i denna studie var så pass kläna var det alltså mest lönsamt att ta ut sortimentet som skogsbränsle ur detta bestånd.

Tabell 11. Jämförelse av uttagens intäkter och netton (kr/ha, exklusive flyttkostnad) för sortimenten; skogsbränsle, massaved och kombinerat uttag av massaved och skogsbränsle. Förutsatt att produktiviteten och kostnaden är densamma för massavedsskörd och skogsbränsleskörd

Table 11. Comparison of the outputs incomes and net amounts (SEK/ha, excluding removal cost) for the assortments; forest fuel, pulpwood and combined output of pulpwood harvesting and forest fuel harvesting. Provided that the productivity and costs are the same for pulpwood harvesting and forest fuel harvesting

Sortiment	Uttag	Intäkt (kr/ha)	Kostnad (kr/ha)	Drivningsnetto (kr/ha)
Skogsbränsle	15,3 tonTS/ha	8 055	9 688	- 1 633
Massaved (klen dimension)	15,9 m ³ fub/ha*	5 576	9 688	- 4 112
Kombinerat uttag (massaved klen dimension och skogsbränsle)	12,5 m ³ fub/ha + 5 984 kgTS/ha**	7 517	9 688	- 2 171

* Uttaget baseras på stammar med dbh över 8 cm och en gallring där det kvarvarande stamantalet uppgår till 1100 st/ha.

** Uttaget baseras på den faktiskt skördade mängden biomassa i studien där massavedsuttaget är baserat på stammar med dbh över 8 cm. Stammar med dbh under 8 cm har betraktats som skogsbränsleuttag.

4.7 Utveckling av teknik och metoder

Under studiens utförande var drivaren utrustad med en specialtillverkad fällgripsåg som saknade ackumulering. En förutsättning för att kostnaderna ska kunna minskas i avverkningar av klena träd är just möjligheten att i varje krancykel hantera flera stammar dvs. ackumulering (Iwarsson Wide, 2009). Det beror på att prestationen hänger samman med den volym som uppnås i varje krancykel. I ett typbestånd där stamantalet gallras ner från 5000 till 1200 st/ha och uttagets medelstam uppgår till 0,03 m³sk är den generella ackumuleringsgraden 2-3 stammar/krancykel. Skulle ackumuleringsgraden istället öka till 4-6 stammar/krancykel finns möjligheten att effektivisera kranarbetet med 30-40% (Iwarsson Wide & Belbo, 2009). Det kan alltså vara en fördel att utrusta gripsågen med ackumulering vilket under skrivandets stund är under utveckling hos tillverkaren (Lundberg pers. komm. 2011). Trots att drivaren saknade ackumulering så skördades ändå i medeltal 1,1 stammar per krancykel (och som max 3 stammar/krancykel), det beror på att föraren ibland förde samman ett knippe med klena stammar som stod nära varandra i en och samma krancykel.

Ett ytterligare steg i teknikutvecklingen för att uppnå effektiva avverkningar av klena stammar kan vara ”knäckkvistning”. Vid knäckkvistning avverkas träden på liknande sätt som vid helträdsuttag samt att buntarna kvistas med slöa kvistknivar vid fällningsmomentet. Barr och klena kvistar faller då av medan grövre grenar och kvistar knäcks och materialet kompakteras. Iwarsson Wide (2009) har studerat metoden samt jämfört den med tre andra metoder för uttag i klena bestånd. Studiens resultat visade att knäckkvistningen gav, i en klen gallring av tall, det högsta nettot i jämförelse med helträdsuttag, massavedsuttag och kombinerat uttag av massaved och skogsbränsle.

Anledningen till att knäckkvistningen gav en billigare avverkning än helträdsuttag var därför att trädbuntarna blev mer lätthanterliga när de med hjälp av matahjul kunde läggas ner till marken. En nackdel just vid helträdsuttag är nämligen problemet med att lägga ner de yviga trädbuntarna på marken eftersom att i täta bestånd har buntarna en tendens att fastna i stående stammar. Det kan alltså vara intressant att till BioCombin testa ett ackumulerande aggregat som också utrustas med slöa kvistknivar och matarhjul för att undersöka om knäckkvistning kan vara en lämplig metod till drivaren. Knäckkvistningen resulterade också i att skotningen blev mer effektiv i jämförelse med helträdsuttag i och med att materialet blev mer kompakt (Iwarsson Wide, 2009). Däremot bör det observeras att BioCombins terrängkörningshastighet hade en viss känslighet av lassets vikt vilket kan leda till att det inte uppnås någon effektivare skotning med ett mer kompakt lass på drivaren.

Ett annat nytt sätt att ta ut skogsbränsle i klena bestånd är att använda sig av en geometrisk metod i form av korridorsgallring där samtliga träd i smala stråk/korridorer skördas mellan stickvägar. Med en sådan metod skulle produktiviteten kunna öka med 16% i jämförelse med konventionell gallring i klena bestånd i och med att tidsåtgången till kranarbetet med ett ackumulerande fällningsaggregat kan reduceras (Bergström, 2009). I och med att samtliga träd i stråket avverkas vid korridorsgallring skulle det kunna vara en möjlig lösning på problemet med helträdsuttag där de skördade buntarna fastnar och stöter in i kvarvarande stammar vilket både är tidskrävande och skapar stamskador.

4.8 Huvudresultat

Studiens huvudresultat visar att drivarens medelprestation just i denna studie (0,88 tonTS/G₀-timme) gav ett negativt netto till skogsägaren som uppgick till - 1 633 kr/ha då priset på skogsbränslet uppgick till 210 kr/m³f och drivningskostnaden var 550 kr/G₀-timme. Däremot så behöver ett negativt netto inte betraktas som att skogsbränsleskörden ska uteslutas från eftersatta bestånd som är klena och täta. Eftersatta bestånd kräver akuta insatser och i dessa ställs frågan vilken skötselåtgärd som ligger närmast i tiden för att gynna beståndets framtida produktionsförmåga. Valet står då mellan en dyr röjning eller, som i det här fallet, ett helträdsuttag. Kostnaden för ett röjningsuppdrag uppgår i normalfallet till ca 2300-3700 kr/ha och vid en svårare röjning kan kostnaden uppgå till 3700-7000 kr/ha (Anon. 2007). Dessutom ges inga direkta intäkter vid röjning pga. att det inte tas ut något gagnvirke.

Det bör observeras att i denna studie har det inte lagts någon större arbetsinsats på att studera specifika fördelar och nackdelar som kan uppstå vid skogsbränsleskörd med drivare. Bergkvist m.fl. (2003) nämner några fördelar som en drivare har som exempelvis lägre flyttkostnad och förenklad administration. Däremot så bör det beaktas att skogsbränsleskörd har en hel del andra faktorer förutom skotningsavstånd och medelstam som ska stämma in på ett passande avverkningsobjekt. En faktor är exempelvis avläggets potential i form av storlek och bärighet. I och med att helträd är ett energisortiment så flisas det oftast direkt vid avlägg (Iwarsson Wide, 2009) vilket leder till att det vid avlägget ska finnas tillräckligt med plats och bärighet till den maskin som ska utföra flisningen.

Drivarens produktivitet påverkas starkt av storleken på de skördade träden samt skotningsavståndet. Studiens resultat stärker Sirén & Aaltio's (2003) slutsatser att

skogsmaskiner med rimlig produktivitet och låga kapitalkostnader kan vara en av lösningarna till avverkningsproblemet i förstagallringar. Resultatet överensstämmer också med deras slutsatser (likt Kärhä's 2006 slutsatser) att drivare är mest konkurrenskraftiga i små avverkningsobjekt med korta skotningsavstånd.

Studiens resultat för stickvägsbredd, stickvägsandel samt stickvägsavstånd bör tolkas med viss försiktighet eftersom att hyggesplöjningen kan ha haft inverkan på dessa faktorer och bör därför undersökas ytterligare i vidare studier som exempelvis görs på plan mark. Däremot så visar resultaten på en förhållandevis stor andel stamskador efter drivningen. Anledningar till detta kan exempelvis vara stamtäthet, underväxt eller ovarsam förare. Kvalitetsfaktorerna bör därför vidare studeras för att fastställa den verkliga anledningen till resultatet, det bör också fastställas om skadorna ligger i anknytning till stickväg eller om de är spridda i beståndet.

5. Slutsatser

- Vimek 608 BioCombi hade i denna studie en medelproduktivitet som vid 100 meter skotningsavstånd uppgick till 0,88 tonTS/G₀-timme där ett effektivt och snabbt arbetssätt kunde leda till en produktivitet på 1,18 tonTS/G₀-timme.
- Skotningsavstånd, storlek på de avverkade stammarna, mängd biomassa som avverkas samt andel contortatall av den avverkade biomassan är faktorer som påverkar drivarens produktivitet.
- Lastutnyttjandet motsvarade 46% av drivarens totala lastkapacitet vilket kan anses lågt. En anledning till detta kan vara att contortatallen är stor och yvig.
- Trots att skogsbränsleuttaget i det här fallet gav ett negativt netto behöver det inte uteslutas som skötselåtgärd. Eftersatta bestånd har ett akut behov av skötselåtgärder för att gynna den framtida produktionsförmågan och då står valet mellan en dyr röjning (utan några direkta intäkter) eller ett skogsbränsleuttag (som också är dyrt men kan generera intäkter).
- Det är tveksamt om drivningens kvalitet kan betraktas som godtagbar. Av de kvarvarande stammarna hade ca 12% stamskador men då kan hyggesplöjningen haft påverkan på den höga skadeandelen samt stickvägs- andel, bredd och avstånd. Därför bör vidare studier utföras på plan mark för att fastställa kvalitetsfaktorer samt undersöka om stamskador ligger i närhet till stickväg eller om de ligger spridda i beståndet.
- BioCombin är en relativt ny maskin på marknaden och det finns möjligheter till utveckling både vad gäller teknik och arbetsmetoder. Det rekommenderas därför att drivaren vidare studeras med nya tekniklösningar samt att studier utförs på plan mark.

Referenser

Andersson, S. 2004. Skogsteknik förr och nu. Skogshistoriska sällskapet årskrift. Tranås. Sid. 109, 113-114.

Andersson, S-O. 1954. Funktioner och tabeller för kubering av småträdd. Meddelande från statens skogsforskningsinstitut. 44 (12): 1-29.

Anon. 1994. PS: praktisk skogshandbok. Sveriges Skogsvårdsförbund. Djursholm.

Anon. 2002. Nu laddar professorn för tidernas röjarskiva. Skogseko [online] nr 1, 2002. Tillgänglig: <http://193.183.24.7/epi-server4/templates/SNormalPage.aspx?id=9441> [2011-01-24].

Anon. 2007. Røjningen skapar din skog. Norras skogsskola nr 2 2007. [online] Tillgänglig: http://www.norra.se/upload/pdf-filer/NORRA%20skogsmagasinet/Skogsskolan/Skogsskolan_rojning_NSM2007_02.pdf [2011-02-17]

Anon. 2008a. Rapport om potentialen för bioenergi – tillgång och användning. Svebio. [online]. Tillgänglig: <http://www.svebio.se/attachments/33/902.pdf> [2010-09-17].

Anon. 2008b. Biokonk. Konsekvenser för energi- och skogssektorn av förändrad efterfrågan på biomassa - sammanfattande rapport. Elforsk rapport 08:60. [online] Tillgänglig: http://www.elforsk.se/Rapporter/?rid=08_60 [2011-01-27].

Anon. 2009a. Stora mängder skogsbränsle i röjningsberget – nu kommer avverkningstekniken. Nytt från SkogForsk nr 3 2009, sid 4. ISSN 1652-0548.

Anon. 2009b. Regeringskansliet. Hemsida. [online] (2009-04-17) Tillgänglig: <http://www.sweden.gov.se/sb/d/8857> [2010-09-17].

Anon. 2009c. Kunskap Direkt- Tekniker för klenträdsuttag. Hemsida. [online] (2009-12-15) Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/skogsbransle/Klentrad/Metoder/Tekniker-for-klentradsuttag-utskrift/> [2010-09-20].

Anon. 2010a. Skogsstatistisk årsbok. Skogsstyrelsen. Jönköping. ISBN 978-91-88462-93-0.

Anon. 2010b. Skogen – En växande energikälla. Sammanfattande rapport från effektivare skogsbränslesystem 2007-2010. SkogForsk. [online] Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/PageFiles/61825/Skogen%20-%20en%20vaxande%20energik%20a4lla.pdf> [2010-12-28].

Anon. 2010c. Energiläget 2010. Statens energimyndighet. [online] Tillgänglig: http://webbshop.cm.se/System/ViewResource.aspx?p=Energimyndigheten&rl=default:/Resources/Permanent/Static/6792e3736ce045c4a41f2c397b1eff97/ET2010_45.pdf [2010-12-28].

Anon. 2010d. Vimek 608 Bio. Hemsida. [online] Tillgänglig: <http://www.vimek.se/14/608-bio/> [2010-09-21].

Anon. 2010e. Virkesprislista Skellefteå. Prislista nr. 158-12 gäller fr o m 2010-09-01. Norra Skogsägarna. [online] Tillgänglig: http://www.norra.se/upload/pdf-filer/prislistor/Virkespris_skell.pdf [2011-02-09].

Berg, S. 1982. Terrängtypsschema för skogsarbete. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Spånga. ISBN: 91-7614-035-0.

Bergkvist, I., Nordén, B. & Hallonborg, U. 2003. Drivaren är konkurrenskraftig. Resultat från SkogForsk nr. 14 2003. ISSN 1103-4173.

Bergstrand, K.-G. 1987. Planering och analys av skogstekniska tidsstudier. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Kista. Meddelande nr 17.

Bergström, D. 2009. Techniques and systems for boom-corridor thinning in young dense forest. Doctoral thesis no. 2009:87. Department of forest resource management, Swedish university of agricultural sciences, Umeå.

Bergström, D., Ulvcrona, T., Nordfjell, T., Egnell, G. & Lundmark, T. 2010a. Skörd av skogsbränsle i förstagallringar. Inst. f. skoglig resurshushållning, SLU, Umeå. Arbetsrapport 281 2010. ISSN 1401-1204.

Bergström, D., Nordfjell, T. & Bergsten, U. 2010b. Compression processing and load compression of young scots pine and birch trees in thinings for bioenergy. International journal of forest engineering 21 (1): 31-39.

Björheden, R. & Fröding, A. 1986. Ny rutin för praktisk gallringsuppföljning. Uppsatser och resultat. Nr 48 Sveriges lantbruksuniversitet, inst. f. skogsteknik.

Brunberg, T. 1999. Bättre lastutnyttjande hos skotare. Skogforsk resultat nr. 1 1999. SkogForsk Uppsala.

Egnell, G. 2009. Skogsskötselserien nr 17, skogsbränsle. Skogsstyrelsens förlag.

Eriksson, H. 1973. Volymfunktioner för stående träd av ask, asp, klibbal och contorta-tall. Institutionen för skogsproduktion, Royal college of forestry, Stockholm. Research Notes 26: 1-26.

Ersson, B. T. 2007. Produktivitet vid selektivt mekaniserad bioenergiröjning av eftersatta röjningsbestånd. Institutionen för skoglig resurshushållning. SLU, Umeå. Examensarbete 166 2007. ISSN: 1401-1204.

Gardmo, F. 2007. Uttag av energisortiment vid gallring av contorta, ett komplement till konventionell gallring? Institutionen för skogens ekologi och skötsel. SLU, Umeå. Examensarbeten 2007:14. ISSN: 1654-1898.

Hägglund, B. & Lundmark, J-E. 2003. Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringsystem. Del 2, Diagram och tabeller. 4:e upplagan. Skogsstyrelsen. Jönköping.

Iwarsson Wide, M. 2009. "Knäckkvistning" - en intressant metod för uttag av skogsbränsle i klen skog. Resultat från SkogForsk nr. 8 2009. ISSN: 1103-4173

Iwarsson Wide, M. & Belbo, H. 2009. Jämförande studie av olika tekniker för skogsbränsleuttag. - Skogsbränsleuttag med Naarva-Gripen 1500-40E, Bracke C16.A och LogMax 4000, Mellanskog, Färila. SkogForsk, Uppsala. Arbetsrapport nr 679 2009. ISSN 1404-305X.

Johansson, P. 2010. Skogsbränsledrivare i klen förstagallring med contorta. Institutionen för skoglig resurshushållning. SLU, Umeå. Examensarbete 283 2010. ISSN 1401-1204.

Karlsson, C. & Westman, S-E. 1991. Skogsuppskattning, skogsinventering. 2. uppl. Sollefteå: KW förlag.

Kero, I. 2007. Utbyte av massaved och biobränsle i några typbestånd av Contorta. Institutionen för skogens ekologi och skötsel. SLU, Umeå. Examensarbeten 2007:13. ISSN: 1654-1898.

Kärhä, K., Jouhiahao, A., Mutikainen, A. & Mattila, S. 2005. Mechanized energy wood from early thinnings. *International journal of forest engineering* 16 (1): 15-26.

Kärhä, K. 2006. Whole-tree harvesting in young stands in Finland. – *Forestry studies Metsanduslikud Uurimused* 45, 118-134. ISSN 1406-9954.

Laitila, J. 2008. Harvesting technology and the cost of fuel chips from early thinnings. *Silva Fennica* 42 (2): 267-283.

Mattsson, S. & Bergsten, U. 2003. Pinus contorta growth in northern Sweden as affected by soil scarification. *New forests* 26: 217-231.

Nordfjell, T., Nilsson, P., Henningsson, M. & Wästerlund, I. 2008. Unutilized biomass resources in Swedish young dense stands. *Proceedings: World Bioenergy 2008*, 27-29 May, Jönköping, Sweden. pp: 323-325.

Norgren, O. & Elfing, B. 1995. Tall eller contorta – valet mellan stabilitet och tillväxt avgör. *Fakta skog nr 15*, 1995. Sveriges lantbruksuniversitet ISSN: 1400-7789.

Näslund, M. 1940. Funktioner och tabeller för kubering av stående träd: Tall, gran och björk i norra Sverige. *Meddelande från statens skogsförsöksanstalt* 32 (4).

Ringman, M. 1996. Trädbränslesortiment – definitioner och egenskaper. Institutionen för virkeslära. SLU, Umeå. Rapport 250. ISSN: 0348-4599.

Sirén, M. & Aaltio, H. 2003. Productivity and costs of thinning harvesters and harvester-forwarders. *International journal of forest engineering* 14 (1): 39-48.

Snorrason, A. & Einarsson, S.F. 2006. Singel-tree biomass and stem volume functions for eleven tree species used in Icelandic forestry. *Icelandic Agricultural sciences* 19: 15-24.

Talbot, B., Nordfjell, T. & Suadicani, K. 2003. Assessing the utility of two integrated harvester-forwarder machine concepts through stand-level simulation. *International journal of forest engineering* 14 (2): 31-43.

Ulvcrona, K., Nilsson, U. & Lundmark, T. 2010. Biomass functions for young Scots pine dominated forests. *Proceedings: World Bioenergy 2010, 25-27 May, Jönköping, Sweden.*

Wästerlund, I. 2008. Kurskompendium i skogsteknologi. SH/TN 0090, HT 2008. Skogliga arbetsstudier sid. 1-4.

Muntliga referenser:

Forsman, M. 2010. Projektledare Norra Skogsägarna, Umeå.

Lundberg, F. 2011. Verkställande direktör Vimek AB, Vindeln.

