



En analysmodell för tidsåtgång vid skotning med Komatsuskotare

*An analysis model for time consumption while forwarding with
Komatsu forwarders*

Alexander Andersson

**Arbetsrapport 27 2015
Examensarbete 30hp A2E
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:
Tomas Nordfjell**

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi
S-901 83 UMEÅ

www.slu.se/sbt

Tfn: 090-786 81 00

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

En analysmodell för tidsåtgång vid skotning med Komatsuskotare

*An analysis model for time consumption while forwarding with
Komatsu forwarders*

Alexander Andersson

Nyckelord: Skotning, Tidsåtgångsmodell, Litteraturstudie, Produktivitet, Effektivisering.

Arbetsrapport 27 2015

Examensarbete i skogshushållning vid Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi, 30 hp

EX0772, A2E

Jägmästarprogrammet

Handledare: Tomas Nordfjell, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Examinator: Urban Bergsten, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2015

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Förord

Denna studie är ett examensarbete motsvarande 30 högskolepoäng i skogshushållning med inriktning mot skogsteknologi. Arbetet har skrivits vid institutionen för Skogens biomaterial och teknologi, SLU Umeå med Komatsu Forest som värd företag (kontaktperson Kjell Rönholm).

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Tomas Nordfjell, SLU Umeå, som under arbetets gång varit en riktig klippa och ett stort stöd.

Jag vill även tacka mina klasskamrater i årskurs 10/15 för trevliga fikapauser och pratstunder i kafeterian.

Sammanfattning

Skogsindustrin är viktig för Sverige. Den avverkade nettovolymen i Sverige under 2013 uppgick till 68,9 miljoner m³fub. En betydande del av skogsbrukets totala kostnader utgörs av drivningskostnader. Cirka hälften av drivningskostnaderna utgörs av skotningskostnaden. Behovet av konstant förbättrad kostnadseffektivitet ger ett behov av konstant ökning av skotningsproduktivitet. Därför finns intresse för både effektivisering av arbetsmetodik och skotare.

Huvudsyftet med detta examensarbete har varit att utveckla en analysmodell för tidsåtgång vid skotning med Komatsuskotare baserad på bestånds-, terräng- och skotarparametrar. Andra delsyften har varit att göra modellen för Excel och att även redovisa en uppdelning på arbetsmoment vid skotning som är än mer detaljerad än den som används i tidsåtgångsmodellen. Modellen grundar sig på en litteraturstudie, dvs. ett stort antal tidigare rapporter och artiklar.

Analyser med modellen indikerar att tidsåtgången med stora skotare generellt blir lägre än för små skotare. Skillnaden varierar mellan 11-14 % vid 100 m skotningsavstånd beroende på terrängförhållanden. Stora gripar ger lägre tidsåtgång än små gripar, skillnaden varierar mellan 18-35% vid 100 m skotningsavstånd och 10-14 % vid 1000 m skotningsavstånd när 1 eller 4 sortiment skotas.

Snabbare kranarbete ger konstant inverkan på tidsåtgången oberoende av skotningsavstånd men har störst procentuell inverkan på total tidsåtgång vid korta skotningsavstånd. Samma tidsreduktion erhålls med 50 % snabbare kranarbete som med fördubblad körhastighet vid 350m skotningsavstånd. Detta kan tas i beaktande eftersom kranpetsstyrning nu utvecklas för att medge högre kranhastigheter.

De redovisade resultaten antyder att den utvecklade modellen bör kunna användas för meningsfulla analyser av framtida skotarkoncept.

Nyckelord: Skotning, Tidsåtgångsmodell, Litteraturstudie, Produktivitet, Effektivisering.

Summary

The forest industry is today, as well as historically, important for Sweden. The harvested net volume in Sweden in 2013 was 68.9 million m³fub. Logging costs represent a significant part of the forest industries total costs. Out of the logging costs, forwarding makes up for about half. Because of the need to constantly improve cost-effectiveness to maintain competitiveness, there is a need to constantly improve productivity. Hence, constant improvement in the forwarding of timber from the forest to the landing is needed. For this reason, there is interest in both the efficiency of the work methods and machinery.

The aim of this study has been to build up as detailed a time consumption model for hauling as possible, based on stand parameters, terrain parameters and machine parameters. A secondary aim was to present a breakdown of work elements in forwarding, in an even more detailed level than the one used in the time consumption model.

A literature study was conducted on the current state of knowledge regarding time consumption during forwarding, and relevant time consumption models were identified. The found models were used as starting point of the construction of a spreadsheet-based time consumption model. The created model was used to analyze the effects of various variables on time consumption.

The result indicates that large forwarders have lower time consumption than small forwarders. The difference varies between 11-14% at 100m extraction distance depending on terrain conditions. The results also indicate that large grapples provide lower time consumption than small grapples. The relative effect is greater at short extraction distances than at long extraction distances. According to the model, the difference varies between 18-35% at 100m extraction distance and 10-14% at 1000m extraction distance when 1 or 4 assortments are being forwarded.

Driving speed has the greatest impact on the time spent while forwarding over long distances. A potentially faster travel speed of future forwarders would mean substantial reductions in time consumption at long extraction distances. An increase in crane speed by 50% gives the same time reduction as the doubling of forwarding speed at 350m extraction distance.

The results indicate that the developed model should be used for meaningful analyzes on future forwarder concepts.

Keywords: Forwarding, Time consumption model, literature study, Productivity Efficiency.

Innehållsförteckning

1 INLEDNING.....	8
1.1 BAKGRUND.....	8
1.2 PRODUKTIVITET VID SKOTNINGSARBETE.....	9
1.2.1 Skotningsavstånd, lastförmåga och sortimentsuppdelning.....	9
1.2.2 Interaktion mellan skördare och skotare.....	9
1.2.3 Antal sortiment och virkeskoncentration.....	11
1.2.4 Virkeshögens påverkan.....	11
1.2.5 Skotarens hastighet.....	11
1.2.6 Lastning.....	13
1.2.7 Tidigare tidsåtgångmodeller.....	13
1.3 SYFTE.....	15
2 MATERIAL OCH METODER.....	16
2.1 Analysmodell och val av parametrar.....	16
2.2 Maskindata.....	17
2.4 Arbetsmoment.....	17
2.5 Standardinställningar i modellen.....	18
3 RESULTAT.....	19
3.1 Detaljerad uppdelning av arbetsmoment vid skotning.....	19
3.2 Analysmodell för tidsåtgång vid skotning.....	25
3.2.1 Lastning.....	25
3.2.2 Körning under lastning.....	26
3.2.3 Körning.....	26
3.2.4 Lossning.....	27
3.2.5 Körning under lossning.....	27
3.2.6 Korrigering för flera sortiment.....	28
3.2.7 Summering av funktioner till tidsåtgångsmodell.....	29
3.3 Tidsåtgång enligt utvecklad analysmodell.....	29
4 DISKUSSION.....	35
4.1 Jämförelse med tidigare beräkningsmodeller för tidsåtgång vid skotning.....	35
4.2 Produktivitetshöjande förändringar på skotare.....	37
4.3 Modellens styrkor och svagheter.....	38
4.4 Framtida forskning och egna reflektioner.....	39
4.5 Slutsatser.....	39
LITTERATURFÖRTECKNING.....	40

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Skogsindustribaserade produkter är idag, liksom historiskt sett, viktiga för Sverige. Den svenska skogindustrin är en stor aktör på den internationella exportmarknaden och således även på den nationella marknaden då skogsindustrin år 2013 svarade för ca 11 % av den totala svenska exporten (SCB, 2014). Skogsindustrin står idag inför utmaningen att fortsättningsvis införskaffa råvaran ännu mer kostnadseffektivt då kraven på ett uthålligt skogsbruk och den globala marknaden hårdnar (NRA, 2012).

I det svenska skogsbruket tillämpas idag framförallt den så kallade kortvirkesmetoden vid avverkning av virke (engelska: Cut-to-length method eller CTL). Denna metod bygger i huvudsak på ett två-maskinsystem med en skördare som fäller, kvistar och kapar virket i skogen samt en skotare som transporterar virket från avverkningsplatsen till avlägget (Kellog & Bettinger, 1994; Hiesl & Benjamin, 2013; Karjalainen et al. 2001). Den hjulburna skotaren introducerades i det svenska skogsbruket på 1960-talet och ersatte då lantbrukstraktorer och halvbandare som bara något årtionde tidigare gjort sitt intåg och startat mekaniseringen. Totalt sett var det emellertid med häst som merparten av virket transporterades innan skotarna blev vanliga (Konttinen & Drushka, 1997). Skotarens introduktion resulterade i att allt färre hästar användes för terrängtransport av virke och redan i början av 70-talet svarade hästarna endast för 5% av virkestransporten (Andersson, 2004). Skotaren har allt eftersom den introducerades försetts med mer och mer avancerad teknik, och blivit större för att idag kunna bära 10-20 ton från avverkningsplatsen till avlägget.

Den avverkade nettovolymen i Sverige under 2013 uppgick till 68,9 miljoner m³fub (Joshi & Eriksson, 2013). De totala avverkningskostnaderna i Sverige uppgick år 2012 till 9,4 miljarder kronor (Skogsstyrelsen, 2015a). Det motsvarar en kostnad på 89-99kr/m³fub. Skotningens andel av detta uppskattas till 42 % (Jfr Brunberg, 2014).

Med fortsatta krav på ökad kostnadseffektivitet och produktivitet ökar även kraven på drivningsmaskinerna. Av denna anledning finns intresse för både effektivisering av skotarna och av arbetsmetodik för skotning.

1.2 Produktivitet vid skotningsarbete

1.2.1 Skotningsavstånd, lastförmåga och sortimentsuppdelning

Jiroušek et al. (2007) menar att de främsta produktivetspåverkande faktorerna för skotning är avståndet och laststorleken där en större last ger högre produktivitet. Laststorleken påverkan på produktiviteten redovisas som ett delresultat i Nurminen et al. (2006) där produktiviteten i slutavverkning ökar med 10 % när laststorleken ökar från 10m³ till 14m³ vid ett skotningsavstånd av 200m. Nurminen et al. (2006) definierar skotningsavståndet som sträckan från avlägget till det ställe på trakten där lasset är fyllt till hälften.

Produktivitetsstudier där arbetsmetodik och generell produktivitet analyserats genomfördes i början av 1990-talet. Exempel på en sådan studie är Kellog & Bettinger (1994), där skördare och skotare utvärderades vid gallring av jättehemlock (*Tsuga heterophylla*) och Douglasgran (*Pseudotsuga menziesii*) i Oregon, nordvästra USA. I den tidsstudien delades arbetsmomenten för skotaren in i tomkörning, lastning, körning under lastning, körning lastad och lossning. Även sortering, rensning av rötter och grenar samt förflyttning mellan stickvägar och avbrott var moment som inkluderades. Arbetsmönstret för skotaren delades upp i sortimentsrena lass eller lass bestående av flera sortiment där skotaren sorterade dessa vid avlägget. Vid skotning av sortimentsrena lass bestående av enbart sågtimmer hade skotaren en produktivitet motsvarande 14,5m³ per produktiv arbetstimme (med alla avbrott borträknade) (G_0 -timme), vid skotning av enbart massaved 10,2m³/ G_0 -timme och vid skotning av flera sortiment samtidigt 10,95m³/ G_0 -timme. Studien resulterade även i en funktion för att beräkna produktivitet beroende på om sortimentsrena lass eller ej skotades. Funktionen påvisade en potentiell produktivitet som uppgick till 15,3m³/ G_0 -timme för sortimentsrena lass av sågtimmer, 10,7m³/ G_0 -timme för sortimentsrena lass av massaved. Vid blandade lass beräknas produktiviteten uppgå till 13,4m³/ G_0 -timme. Studien pekar även på en minskning av produktivitet upp till 8m³/ G_0 -timme då avståndet från avlägget till första platsen för lastning ökar från 60 till 720m.

Skotare kan indelas i storleksklasser baserat på maximal lastvikt. Brunberg (2004) redovisar en indelning i tre storleksklasser.

- Liten skotare – Lastkapacitet mindre än 10 000kg
- Mellanskotare – Lastkapacitet 10 000 – 14 000kg
- Stor skotare – Lastkapacitet större än 14 000kg

En senare indelning presenteras av Nordfjell (2015). Den indelningen innehåller fyra klasser och motiveras av att skotare i medeltal har blivit större över tid (Jfr. Öhman 2013).

- Liten skotare – Lastkapacitet mindre än 11 000kg
- Mellanskotare – Lastkapacitet 11 000 – 14 000kg
- Stora skotare – Lastkapacitet 14 000 – 17 000kg
- XL skotare – Lastkapacitet större än 17 000kg

1.2.2 Interaktion mellan skördare och skotare

Studier har även genomförts i syfte att analysera interaktionen mellan skördare och skotare. Exempel på en studie i detta ämne är Väättäinen et al. (2006). Angreppsvinkeln i denna artikel var något annorlunda då författarna valt att fokusera på hur skördarens arbete påverkar skotarens produktivitet. I artikeln arbetade sex erfarna skördarförare med avverkning i förstagallring av tall. Samtliga högar med timmer som upparbetats av skördarförarna mättes och karaktäriserades. Karaktäriseringen bestod bland annat av högens vinkel mot stickväg,

avståndet mellan högen och stickvägen, avståndet mellan högarna, medeldiameter på stockarna, högens form mm. Därefter skotades högarna. I studien låg fokus främst i arbetsmomentet lastning hos skotaren (tabell 1).

Tabell 1 Beskrivning av arbetsmomentet lastning vid skotning, enligt Väätäinen et al. (2006)
Table 1 Description of work elements while loading, from Väätäinen et al. (2006)

Moment	Beskrivning
Sträcka kran mot hög	Börjar då gripen rör sig från lastutrymmet till virkeshög. Avslutas när en hög har gripits.
Lyft av hög	Börjar då gripen med lastad hög rör sig från stället den fylldes tillbaka till last utrymmet. Momentet avslutas då gripen öppnas och lasten släpps.
Justering av högar	Då gripen används för att justera placeringen av stockar då två eller flera högar samlas ihop till ett griptag.
Justering av last	Då gripen används för att justera placeringen av stockar i lastutrymmet.
Störning	Icke produktiv tid. Inkluderades inte i studien.

Arbetsmomentet lyft tog längst tid vid lastning (53 % av tidsåtgången) följt av sträcka kran mot hög, justering av högar samt justering av last. Detta följdes sedan av sträcka kran mot hög, justering av högar, samt justering av last. Beroende på skördarförare varierade tidsåtgången mellan justering av last samt justering av högar.

Delar av resultatet i studien av Väätäinen et al. (2006) redovisas med hjälp av beräkningar från Gullberg (1997a). Beräkningarna pekar på en reducerad tidsåtgång på 21,3% vid en volymökning av varje enskild hög från 0,1m³ till 0,15m³ samt en totalt ökad volym vid varje stopp från 0,25m³ till 0,375 m³ vid ett skotningsavstånd på 150m. Vid ett skotningsavstånd på 600m motsvarade tidsbesparingen 15,4%.

I Nurminen et al. (2006) analyseras både skotaren och skördarens produktivitet. I denna studie liksom (Gullberg 1997b) har formler upprättats utifrån analyser av tidsstudier av både skördare och skotare. I studien har skotningsarbetet delats in mer detaljerat än i Väätäinen et al. (2006) samtidigt som fokus inte huvudsakligen legat vid lastningen. Resultatet pekar på att tidsåtgång för körning utan last beror på maskinens hastighet samt avståndet och volym per lass. I studien var den genomsnittliga hastigheten för lastad skotare 44m/min medan den olastade skotaren höll en medelhastighet på 56m/min. Vid körning under lastning var den främsta påverkande variabeln virkeskoncentrationen vid stickvägen. Lastningen påverkas främst av volymen per stopp. Avlastning och körning under avlastning berodde på vilken typ av sortiment samt antalet sortiment som lastades av.

I McNeel & Rutherford (1994) analyseras skotar- och skördarproduktivitet i bländningsbestånd. I studien har arbetsmomenten delats in i moment liknande de som finns i senare studier. Emellertid har inte författarna specificerat momenten mer än till körning utan last, lastning, körning under lastning, sortera virke, körning med last, lossning, körning på

avlägget, sortering på avlägget och avbrott. I Studien var lastning det mest tidskrävande momentet och upptar 30 % av den totala tidsåtgången. Näst mest tidskrävande var lossning.

1.2.3 Antal sortiment och virkeskoncentration

Påverkan av antalet sortiment har studerats i ett antal studier, bl.a Brunberg & Arlinger (2001) Manner et al. (2013) och Nurminen et al. (2006). Brunberg & Arlinger (2001) menar att för varje nytt sortiment som sorteras ut i skogen sänks skotarens prestation med 3-4%. En studie av Manner et al. (2013) är något annorlunda upplagd. Författarna menar här att tidsåtgången för lastning inte påverkades av virkeskoncentrationen. Istället påverkade antalet sortiment tiden för lastning. I studien framkom att det var mest tidseffektivt att skota sortimentsrent om virkeskoncentrationen för detta sortiment var minst 2,8m³/100m stickväg. Vid lägre virkeskoncentrationer var det mera tidseffektivt att samlasta flera sortiment.

1.2.4 Virkeshögens påverkan

Enligt Bergstrand (1985) tar lastning av svåra högar i genomsnitt 0,2 min längre tid än lastning av lätta högar. Med svåra högar menas:

- Högar med en bredd >1,5m och en volym <2m³fub
- Längdspridning >1,5m
- En stock av fel sortiment som ligger på, inuti eller tätt intill
- Högen ligger >5m från stickvägens mittpunkt
- Högen måste lyftas mellan kvarvarande träd vid lastning
- Avståndet mellan kvarvarande träd är <2,5m

Enligt Bergstrand (1985) är det även högarnas volym som framförallt påverkar lastningstiden vilket även Nurminen et al. (2006) menar.

1.2.5 Skotarens hastighet

Hastigheten vid terrängtransport av virket är av stor vikt vid beräkning av produktiviteten hos en skotare. Beroende på skotningsavståndet har emellertid körhastigheten olika inverkan på den totala tidsåtgången. Enligt Larsson (2014) är hastigheten på basväg ca 68m/min olastad respektive 58m/min lastad. I Brunberg (2004) anges hastigheten för skotaren som en funktion av markens ytstruktur samt lutning. Hastigheten varierar i detta fall från 60m/min vid de bästa terrängförhållandena till 18m/min vid de sämsta terrängförhållandena ytstruktur klass fyra i kombination med lutning klass fyra enligt terrängtypschemat för skogsarbete (Berg 1995). Skotarens hastighet är något lägre i gallring än vid slutavverkning Enligt Brunberg (2004) är skillnaden 10-20 %. I SCAs produktionsnorm från 2011 läggs tid till utifrån en matris i beroende på lass storlek samt ytstruktur och lutning.

Transport av virke på basväg skiljer sig något mot transport av virke på stickväg. Vid transport på basväg medges en något högre hastighet då kraven på denna väg är större eftersom större delen av den volym som avverkas på trakten beräknas transporteras via denna. Enligt SCAs produktionsnorm för skotare (SCA 2011) beräknas hastigheten kunna uppgå till 150-200m/min vid mycket goda förhållanden såsom vid transport på snöväg, 100-110 vid lättare ytstruktur och lutningsförhållanden samt 70-80m/min vid svårare förhållanden. Samma antaganden gällande transport hastighet på basväg görs i tidigare MoDo skogs produktionsnorm för skotare (MoDo 1993). Hastigheten för transport i terräng undersöktes även i äldre studier såsom Sondell (1978). I denna studie uppgår hastigheten för tomkörning med skotare i terräng till ca 51m/min, med last motsvarade denna hastighet ca 44m/min. I Sondells studie är dock inte terrängsvårigheten angiven. Hastigheten beror, som nämns ovan

på markens terrängklassificering, samt tid på året. Även rådande väderlek har inverkan på den hastighet skotaren tillåts hålla i terrängen. (Kuitto et al. 1994, Sondell 1978). Brunberg (2004) redovisar ett samband för skotningshastighet med ytstruktur och lutning som variabler. Sambandet innebär t.ex. i grova drag att hastigheten mer än halveras om både ytstruktur och lutning är klass 3 i jämförelse med om den är klass 1 (Tabell 3).

Tabell 3. Skotarens hastighet i terräng (m/G₀-min) vid olika lutning och ytstruktur (Brunberg 2004, SCA 2011, Edin & Forsman 2002).

Table 3. Speed (m/G₀-min) of the forwarder while hauling logs in terrain with different ground conditions and slope (Brunberg 2004, SCA 2011, Edin & Forsman 2002).

Brunberg 2004					
Ytstruktur (klass)	Lutning (klass)				
	1	2	3	4	5
1	60,6	56,7	50,2	41,1	29,4
2	53,0	49,1	42,6	33,5	21,9
3	45,4	41,5	35,0	25,9	14,3
4	37,8	33,9	27,4	18,3	6,7
5	30,2	26,3	19,8	10,7	-
SCA produktionsnorm 2011					
1	67	65	59	43	
2	60	55	48	34	
3	52	46	38	29	
4	39	36	33	24	
Edin & Forsman 2002					
1	74,6	72,3	65,4		
2	66,5	60,8	53,9		
3	57,4	51,6	42,4		

Transport av virke i terräng med ytstruktur och lutning i klasserna 4/4, 4/5, 5/4 och 5/5 är inte särskilt vanligt då endast 9 % av den svenska skogsmarken består av dessa klasser (Von Segebaden 1975), något som även Edin och Forsman (2002) diskuterar. Enligt funktionen ur Brunberg (2004) blir transporthastigheten negativ då transport sker i den brantaste lutningsklassen tillsammans med den högsta ytstruktur klassen, varför detta inte redovisas.

De värden för terränghastighet som Brunberg (2004; tabell 3) presenterat, är liknande de som finns i SCA:s nuvarande produktionsnorm för skotare samt i Edin & Forsman (2002). I de nyare normer som presenteras i tabell 3 är hastigheten genomgående högre, i synnerhet vid svårare terräng.

I en omfattande finsk studie (Kuitto et al. 1994) var körhastigheten för skotare utan last under sommarförhållanden 56m/min och med last 46m/min I denna studie var marken emellertid inte klassificerad enligt Berg (1995) vilket medför att värdena var svåra att jämföra. I ett examensarbete från 2002 har hastigheten i terräng antagits öka ca 15 % i förhållande till MoDos bortsättningsunderlag från 1993 (Edin & Forsman, 2002), (Tabell 3) Nurminen et al. (2006) och Kuitto et al. (1994) pekar på en lägre genomsnittlig hastighet vid transport av virke vid kortare distanser än vid transport på längre sträckor. Kort sträcka var i Kuitto et al. (1994) definierat som ≤ 200m. Kuitto menar även att hastigheten vid körning med eller utan last tenderar att bli mera lika vid skotning över längre sträckor.

Körning under lastning behandlas i Bergstrand (1985). Här antas hastigheten vid körning under lastning vara 25-30m/min, men varierar beroende på markens beskaffenhet. Denna

hastighet antas vara densamma även för moderna maskiner och antas ligga inom samma intervall vilket ges exempel på i Lindroos & Wästerlund (2013). Nurminen et al. (2006) ger också exempel på detta där hastigheten för körning under lastning var 27m/min.

Utifrån Kuitto et al. (1994) kan högre hastighet på längre sträckor kopplas till längre accelerationsträcka. Hastighet vid körning under lastning förefaller vara lika oberoende av skotarstorlek. (jfr Bergstrand, 1985. Nurminen et al. 2006. Lindroos & Westerlund, 2013)

1.2.6 Lastning

Lastning är ett moment som är av stor vikt vid skotning. Genom tidigare studier framgår att lastningen kan uppta så mycket som ca 60 % av skotningsarbetet beroende på virkeskoncentrationen längs stickvägarna (Kuitto et al. 1994). Även i en studie av Nordfjell et al. (2003) går det att utläsa att lastningen är det mest tidskrävande arbetsmomentet vid skotning. I denna rapport varierar tidsåtgången mellan 41,2 % och 46,5 % beroende på vilken skotarmodell som användes vid lastning av sågtimmer. Vid lastning av massaved uppgick tidsåtgången till 60,4% och 64,2%. Lastningen delas vid studier av detta arbetsmoment in i flera mindre beståndsdelar, där vart och ett av dessa moment bryts ned och studeras noggrannare.

Vid beräkning av tidsåtgång vid lastning finns flera exempel med olika upplösningsgrad. Lastning enligt Brunberg (2004) omfattar inte enbart momentet lastning då skotaren är helt och hållet stillastående utan omfattar även lastning under körning samt lossning i ett samlat begrepp benämnt terminaltid. Terminaltiden skiljer sig vid arbete i gallring eller slutavverkning

I Kuitto et al. (1994) samt Väätäinen (2006) har skotningen, och framför allt lastningen analyserats utifrån fler parametrar. Dessa studier är emellertid endast inriktade på lastning av endast ett sortiment, något som påpekas av Manner et al. (2013).

I studier av Gullberg (1997a,b) utvecklar författaren modeller för skotningsarbete utifrån en rent deduktiv ansats. I denna studie utvecklar författaren modeller för lastning i vilken griparea, flerhögs-lastning (dvs att mindre högar läggs samman få med sig större volymer i varje krancykel) samt andelen svåra högar inkluderas. I beräkningarna utifrån Gullberg (1997b) inkluderas parametrar som griparea samt högvolum vid lastning. Denna formel fokuserar inte i samma utsträckning vid det totala virkesuttaget som formeln för terminaltid i Brunberg (2004). Denna formel tar emellertid inte heller flera sortiment i beaktande vid lastning. Vad den däremot inkluderar är högstorleken vid lastning.

1.2.7 Tidigare tidsåtgångmodeller

Tidsstudier av skotare har i många fall likartad uppbyggnad. Det rör sig då i huvudsak om tidsstudier där hela skotningsarbetet studeras. Exempel på denna typ av studier är Kuitto et al. (1994) samt Nurminen et al. (2006) och Laitila et al. (2007). Med hela skotningscykler avses tiden från att den lämnar avlägget utan last till dess att den lastat av nästa lass virke på avlägget. (tabell 2). Definitionen av respektive arbetsmoment skiljer sig något från studie till studie beroende på hur författarna formulerats sig men är i huvudsak lika. Att alla arbetsmoment inte inkluderas i samtliga studier beror på studiens syfte. I fallen där körning med eller utan last exkluderats från studien har huvudsyftet inte varit att ta reda på körningens inverkan på produktiviteten utan snarare enskilda moment såsom lastning av flera sortiment eller hur den hög som skall lastas inverkar på den totala produktiviteten. Avbrott är något som inkluderas i flera studier. Avbrott innefattar reparationer, underhåll och dylikt. Avbrott kortare

än 15 minuter räknas in i termen G15-tid som är ett begrepp som figurerar vid beskrivning av produktivitet. Grundtid helt utan avbrott benämns som G₀-tid (Nordfjell et al. 2012).

Tabell 2. Beskrivning av arbetmomentindelning från ett urval av olika tidsstudier av skotningsarbete. Momentbeskrivning efter Nurminen et al. (2006)

Table 2. Work element classification from different studies. Classification from Nurminen et al. (2006)

Moment	Beskrivning av arbetsmoment	Studie
Körning utan last	Börjar då skotaren lämnar avlägget och avslutas då maskinen når första uppställningsplatsen för lastning.	Kellog & Bettinger (1994) Kuitto et al. (1994) Nurminen et al. (2006) Laitila et al. (2007)
Körning med last	Börjar då skotarens lastutrymme är fyllt och gripen vilas mot lasten. Avslutas när skotaren når avlägget och börjar avlastningen.	Kellog & Bettinger (1994) Kuitto et al. (1994) Nurminen et al. (2006) Laitila et al. (2007)
Lastning	Börjar då maskinoperatören lyfter gripen från lastutrymmet för att lasta virkeshögar. Avslutas då gripen vilas mot lasten eller då lastutrymmet fyllts.	Kellog & Bettinger (1994) Kuitto et al. (1994) Edin & Forsman (2002) Nurminen et al. (2006) Laitila et al. (2007) Manner et al. (2013)
Lossning	Börjar då skotaren stannar på avlägget och börjar avlastningen av virket i lastutrymmet. Avslutas då det sista virket lastats av och gripen positionerats i det tomma lastutrymmet	Kellog & Bettinger (1994) Kuitto et al. (1994) Edin & Forsman (2002) Nurminen et al. (2006) Laitia et al. (2007) Manner et al. (2013)
Körning under lastning	Den sträcka skotaren färdas mellan uppställningsplatserna för lastning. Börjar då gripen vilas mot lasten och skotaren förflyttar sig till nästa punkt för lastning. Avslutas då skotaren stannar och påbörjar lastningsarbetet.	Kellog & Bettinger (1994) Kuitto et al. (1994) Edin & Forsman (2002) Nurminen et al. (2006) Laitila et al. (2007) Manner et al. (2013)
Körning under lossning	Förflyttning mellan högar för olika sortiment på avlägget.	Nurminen et al. (2006) Manner et al. (2013)
Avbrott	Olika avbrott såsom reparationer och underhåll	Kuitto et al. (1994) Nurminen et al. (2006)

Tidsåtgångsmodellen som presenteras i *underlag till produktionsnorm för skotare* (Brunberg 2004) bygger på en mängd olika parametrar. Funktionen som presenteras för körning bygger

på variablerna skotningsavstånd, körhastighet vid olika terrängförhållanden samt laststorlek. Med skotningsavstånd menas avståndet mellan avverkningstraktens tyngdpunkt och avlägget (Tiger, 2012). Modellen är även uppbyggd kring begreppet terminaltid som omfattar alla moment skotaren utför vid lastning och lossning med uttagsvolym som påverkande variabel. Brunberg har även sortimentstid och sortering som påverkande faktorer med variabler såsom antalet sortiment och avverkad medelstam som påverkar dessa.

Tidsåtgångsmodellen som presenteras av (Gullberg 1997b) och (Gullberg 1997a) är teroretiskt uppbyggd. Modellen är uppbyggd kring momenten lastning, körning under lastning, körning och lossning. Funktionen gällande lastning bygger på lastning av en i förhand definerad medelhög samt gripens inverkan på hur mycket som kan lastas. Funktionerna för lossning som tagits fram bygger förenklat på gripens inverkan på lossningen. Körning under lastning bygger på maskinens ställtid vid varje lastningstillfälle samt volymen vid varje uppställning, sträckan maskinen färdas mellan uppställningspalteserna och hastigheten mellan dessa. Funktionen för körning bygger på skotningsavstånd på basväg och stickväg samt lastvolymen på maskinen.

I Nurminen et al. (2006) presenteras funktioner av tidskonsumtionen vid skotningsarbete. Funktionerna är baserade på empiriska studier av skotning i Finland. Funktionerna som presenteras kretsar kring körning, körning under lastning, lastning, lossning och körning under lossning. Vid körning har författaren angett tidsåtgången per kubikmeter som en funktion av hastighet och körsträcka tom respektive lastad. Körning under lastning bygger på stickväglängd, virkeskoncentration längs stickvägarna, körhastighet under lastning och lastvolym som påverkande variabler. Lastningsfunktionen är uppbyggd med antalet sortiment som lastas och virkesmängden vid varje uppställningsplats som påverkande variabler. Lossning och körning under lossning är uppbyggd av tre konstanter vilka beräknats ur materialet av den empiriska studien.

1.3 Syfte

Huvudsyftet med detta examensarbete har varit att utifrån bestånds-, terräng- och maskinparametrar utveckla en analysmodell för tidsåtgång skotning med Komatsuskotare.

Andra delsyften har varit att göra modellen för Excel och att även redovisa en uppdelning på arbetsmoment vid skotning som är än mer detaljerad än den som används i tidsåtgångsmodellen. Modellen grundar sig på en litteraturstudie, dvs. ett stort antal tidigare rapporter och artiklar.

2 Material och metoder

2.1 Analysmodell och val av parametrar

Analysmodellen har utvecklats genom utvärdering av olika beräkningsmetoder. Modellen bygger på arbetsmoment som identifierats genom litteraturstudier samt via figur 1. Formler för beräkning av respektive arbetsmoment har hämtats ur Gullberg (1997b), Nurminen et al. (2006), Kuitto et al. (1994) och Brunberg (2004). Den slutgiltiga beräkningsmodellen kompletterades för att inkludera korrigering för skotning av flera sortiment genom Manner et al. (2013). Modellen har likheter med kalkylsättet som använts i Väättäinen et al. (2006) men har omarbetats med syfte att inkludera fler parametrar.

Analysen har genomförts i form av beräkningar och jämförelser av skotare med en viss utrustning. I analysen har parametrar som kranhastighet, griparea, körhastighet och lastkapacitet alternerats för att se vilken inverkan de har på produktiviteten.

Funktionen för körhastighet har hämtats ur Brunberg (2004). Genom denna modell kan hastigheten alterneras beroende på underlag och lutning. Modellen ger även möjligheten att justera hastigheten beroende på avverkningsform och markens beskaffenhet gällande lutning och ytstruktur. Denna typ av justeringsmöjligheter finns inte tillgänglig i de andra modeller som analyserats under arbetets gång.

Funktionen gällande lastning och lossning har hämtats ur Gullberg (1997a,b) då denna funktion gör det möjligt att alternera gripstorlek samt vilken typ av virke som lastas och lossas. Modellen ger även möjlighet att inkludera lastning av svåra högar samt samlastning av mindre högar. I lastning- och lossningsfunktioner exempelvis Nurminen et al. (2006) samt Brunberg (2004) saknas möjligheten att alternera gripstorleken. Då olika skotare kan utrustas med olika gripar ansågs det motiverat att kunna alternera griparea. Griparea är av intresse vid olika konfiguration av de skotarmodeller som inkluderats i studien. Därtill validerades lastningsmodellen och ansågs ha god förankring i lastningsarbete i en studie publicerad av Väättäinen et al. (2006). Funktionen för lastning har därefter kompletterats för att ta hänsyn till flera sortiment i enlighet med resultatet ur Manner et al. (2013) där effekten vid lastning och lossning av flera sortiment påvisas.

Funktionen för körning under lastning har hämtats ur Nurminen et al. (2006). Genom denna formel ges möjligheten att alternera körhastigheten då maskinen färdas mellan högarna vid lastning. Därtill går det att kombinera med andra formler beroende på hur stor virkeskoncentration som finns per 100m stickväg.

Funktionen för körning under lossning är hämtad ur Manner et al. (2013). Genom denna funktion ges möjligheten att modellen tar hänsyn till den tidsåtgång som uppstår vid körning under lossning av virke på avlägget. Dessutom finns möjligheten att med hjälp av denna funktion modellera denna tidsåtgång vid lastning av flera sortiment.

I arbetet har skotningsavståndet, i likhet med Tiger (2012), definierats som avståndet från avlägget till tyngdpunkten på den trakt där virket skotas.

2.2 Maskindata

Indata i modellen har erhållits via Komatsu Forests hemsida gällande deras skotare (tabell 4). Indata består av parametrar såsom grindarea för beräkning av maximal lastvolym, maximal lastvikt för klassificering av storlek enligt Brunberg (2004) samt griparea för beräkning av maximal lastvolym i ett griptag vid lastning och lossning. Komatsus skotarprogram innehåller skotare med en lastvikt som varierar från 11 000 till 20 000kg (Komatsu 2014a, b, c, d, e). Skotarna utrustas vanligtvis med olika kombinationer av gripar utifrån kundens önskemål. Vilka gripar som vanligtvis kombineras med vilken skotare har angivits av Komatsu forest (Rönholm pers. komm. 2014).

Tabell 4. Grunddata för Komatsu forests olika skotarmodeller
Table 4. Technical description of Komatsu Forest's different forwarder models

	Skotarmodell									
	835		845		855.1		865		895	
Lastkapacitet (kg)	11 000		12 000		14 000		15 000		20 000	
Grindarea (m ²)	4,1	4,13	5,45	4,5	4,8	3,3	4,8	5,2	6,9	
Maximal lastvolym vid 4m virkeslängd (m ³ fub)*	10,7	10,7	14,2	11,7	12,5	8,6	12,5	13,5	17,9	
Vanliga gripmodeller	G28, G36, G36HD		G28, G36, G36HD		G28, G36, G36HD		G28, G36, G36HD		G40, G40HD	

* Vid 65 % fastvolymandel inkl bark

Praktisk griparea motsvarar den verkliga area med vilken gripen klarar av att lyfta virke utan att det faller ut. Griparea spets mot spets motsvarar den area gripen håller då gripklornas spetsar rör varandra. Praktisk griparea har tillhandahållits av Komatsu Forest (Rönholm pers. komm 2014) (tabell 5). Griparean på vilken resultatet grundar sig är den praktiska griparea som presenteras i tabell 7. I resultatet kommer endast det officiella namnet på gripen som nyttjats att redovisas.

Tabell 5. Griparea för gripmodeller som ingår i Komatsu forests utbud av virkesgripar
Table 5. Description of grapple area in the different grapple models that are being supplied by Komatsu Forest for round wood handling

	Gripmodell					
	G25	G28	G36	G36HD	G40	G40HD
Griparea Spets mot Spets (m ²)	0,23	0,26	0,33	0,33	0,4	0,4
Praktisk griparea (m ²)	0,30	0,34	0,43	0,43	0,53	0,52

2.4 Arbetsmoment

Varje arbetsmoment har avgränsats i likhet med andra studier (tabell 2), men har dessutom uppdelats i så detaljerade delmoment som möjligt och hur dessa kan eller inte kan överlappa varandra.

2.5 Standardinställningar i modellen.

När inget annat anges så avser resultaten i föreliggande publikation skotare med grindarea och gripmodell enligt tabell 6 vilket bygger på normal utrustning för respektive skotare (Rönholm pers. komm 2014).

Tabell 6. Komatsu forest skotarprogram 2015. Standardinställning av grindarea och gripmodell i tidsåtgångsmodell. Maximal lastvolym är angiven utifrån största lastarea vid 4m virkeslängd och 65 % fastvolymandel på bark.

Table 6. Komatsu Forest's 2015 forwarder program. Each forwarder has been equipped with it's normal grapple configuration. Maximum load volume is specified based on the largest area of the bunk at 4m timber length and a 65% volume share of solid volume over bark.

	Skotarmodell				
	835	845	855.1	865	895
Grindarea (m ²)	4,1	5,45	4,8	4,8	6,9
Gripmodell	G28	G28	G28	G36HD	G40HD
Maximal lastvolym vid 4m virkelängd (m ³ fub)	10,7	14,2	12,5	12,5	17,9

De inställningar som trakten kunnat åsättas inför redovisning av resultatet följer i tabell 7. Fastvolymandelen som anges är omräkning av en kubikmeter travat mått på bark (m³tpb) till en kubikmeter fast på bark (m³fpb) (skogstyrelsen, 2015b). Virkets rådensitet på bark har i beräkningarna angivits som ett medelvärde av granen och tallens medelrådensitet. Tallens medelrådensitet uppgår till 875kg/m³pb och granens till 815 kg/m³pb. Medelvärdet mellan dessa densiteter är 845kg/m³pb (Håkansson & Steffen, 1994)

Tabell 7. Justerbara parametrar i tidsåtgångsmodellen för skotning och hur dessa kan varieras.

Table 7. Settings in the forwarding time consumption model and how each parameter can be varied.

Parametrar	Inställning
Avverkningsform	Slutavverkning/Gallring
Virkeslängd (m)	Enligt svensk apteringsstandard (3-5,5m)
Högstorlek (m ³ fpb)	0,1-10
Virkets rådensitet (kg/m ³ fpb)*	800-975
Antal m ³ av ett sortiment per 100m stickvägslängd (m ³)	1-50
Körhastighet under lastning (m/G ₀ -min)	0-40
Körhastighet (m/G ₀ -min)	6,7-60,6
Skotningsavstånd (m)	100-1000
Ytstruktur/Lutning**	1/1-5/5
Antal sortiment (st)	1-10

*Rådensiteten som anges i tabellen är min värdet för gran och maxvärdet för tall.

**Hastigheten är beroende av rådande förhållanden vid ytstruktur och lutning.

Den totala stickvägslängden per hektar har antagits vara 500m/ha vid gallring och 769m/ha vid slutavverkning, dvs. vid ett avstånd mellan stickvägarna om 20m (gallring) och 13m (slutavverkning). Fastvolymandelen inklusive bark har antagits vara 65 %.

3 Resultat

3.1 Detaljerad uppdelning av arbetsmoment vid skotning

Skotning kan uppdelas upp i ett antal delmoment. Dessa illustreras i figur 1 och definieras i tabell 8. På en övergripande nivå består skotning av arbetsmomenten körning och kranarbete vilka har tilldelats momentnummer 1 och 2 i figur 1. Momentnummer kommer härnäst anges inom parentes och avser de moment som definieras i tabell 10 och illustreras i figur 1. Körning och kranarbete kan vid skotning delvis överlappa varandra då skotaren kan utföra arbetsmoment med kranen samtidigt som maskinen är i rörelse. Detta moment behöver emellertid inte överlappa momentet körning alls då kranarbete även kan ske då maskinen står stilla. Körning kan på så vis ske helt utan att kranarbete sker samtidigt, exempelvis vid körning mellan avverkningstrakt och avlägg.

Både körning och kranarbete kan brytas ned i ytterligare delmoment. Momentet körning kan delas in i körning med last (1.1) samt körning utan last (1.2). Kranarbetet kan i sin tur delas in i lastning (2.1) och lossning (2.2). Körning med last och körning utan last kan inte överlappa varandra, då momentbeskrivningen bygger på att maskinen är lastad eller olastad. Körning med eller utan last kan inte heller överlappa momenten lastning eller lossning då dessa moment bygger på att körning med last sker då sista stocken lastats och körning utan last bygger på att maskinen är tom. Lastning och lossning kan inte heller överlappa varandra då dessa moment är helt skilda.

Körning med last kan delas upp i ytterligare delmoment. Körning under lastning (1.1.1), under lossning (1.1.2) och lasskörning (1.1.3). Körning under lastning innefattar den tid skotaren rör sig under tiden den lastas. Detta moment kan helt eller delvis överlappa momentet lastning (2.1) beroende på om skotaren tvingas stanna under tiden lastning sker eller om skotaren kan hålla sig i rörelse. Körning under lossning definieras som den tid skotaren är i rörelse på avlägget under lossning. Detta moment kan helt eller delvis överlappa momentet lossning (2.2). För att momenten helt skall överlappa varandra krävs att skotaren inte stannar under tiden kranarbete sker för att lossa virke från skotaren. Lasskörning (1.1.3) överlappar inte med något annat arbetsmoment då lasskörningen endast avser den tid skotaren är i rörelse med last från det att sista stocken lastas på avverkningstrakten till och med att skotaren börjar lossa på avlägget. Då skotaren lossats parkerar skotaren kranen (2.3). Detta moment innebär att skotaren viker ihop kranen i lastutrymmet och återvänder till avverkningstrakten alternativt parkerar maskinen.

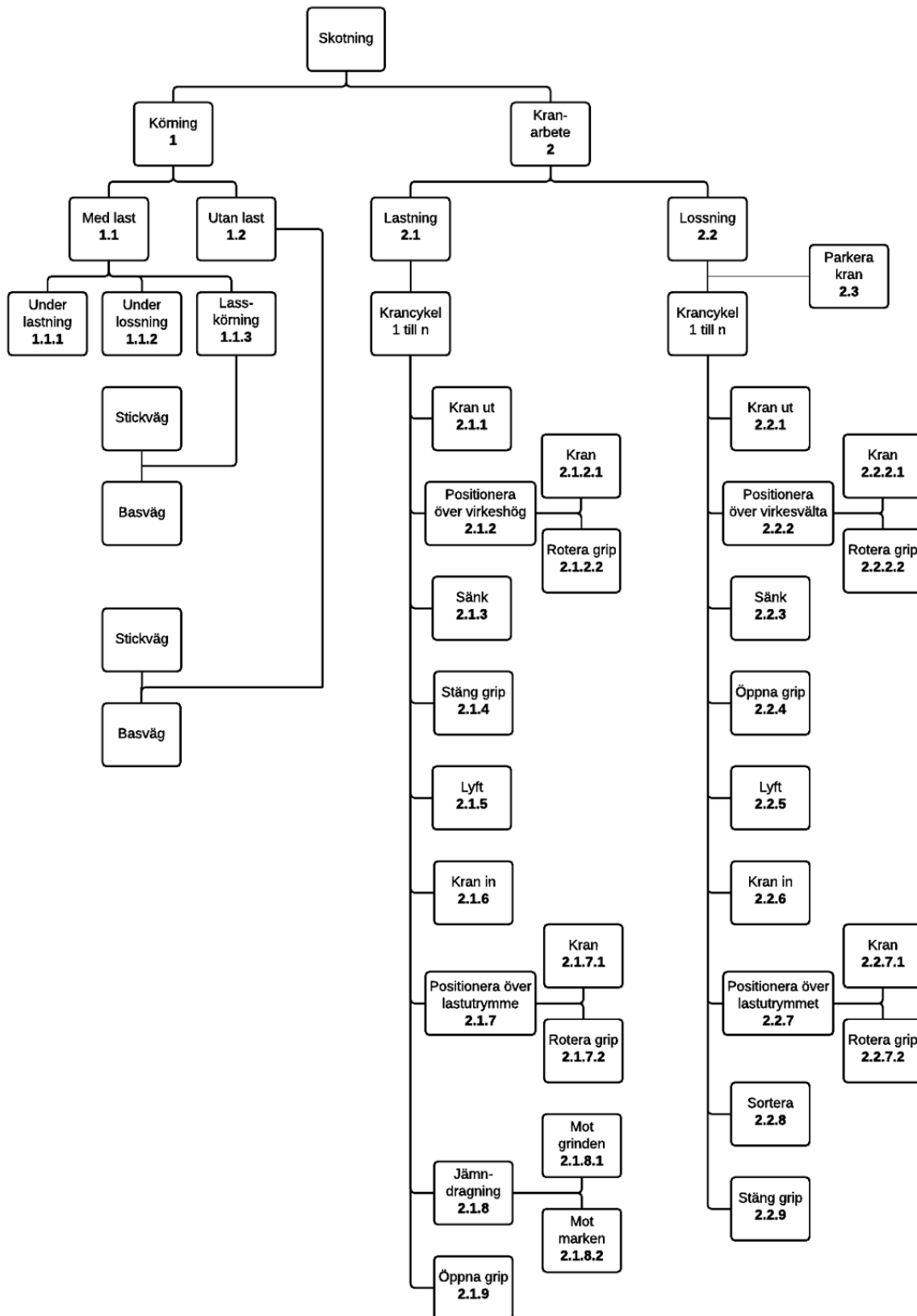
Varje krancykel består av ett antal mindre delmoment. Varje krancykel vid lastning inleds med momentet kran ut (2.1.1) momentet innebär kranens rotation runt kranpelaren ut från maskinen mot den virkeshög som avses lastas. Kran ut kan delvis överlappa den horisontella sänkningen av kranen (2.1.3). Positioneringen av kranen ovanför virkeshögen (2.1.2) kan däremot inte överlappa kran ut. Positioneringen kan helt överlappas av sänkningen av kranen förutsatt att momentet kran ut inte pågår. I Positionering över virkeshögen ingår lägesjustering av kranen (2.1.2.1) samt lägesjustering av gripen (2.1.2.2). Momentet där skotaren stänger gripen (2.1.4) om det virke som skall lastas kan inte heller överlappas av något annat moment. Momentet lyft (2.1.5), dvs. kranens vertikala uppåtrörelse kan delvis överlappas av kran in (2.1.6). Momenten kan inte helt överlappa varandra då kran in också innebär då kranen sänks i lastutrymmet. Då skotaren ska placera virket i lastutrymmet krävs viss positionering (2.1.7). Positioneringen innebär kranens lägesjustering (2.1.7.1) samt gripen eventuella lägesförändring (2.1.7.2). Dessa båda moment kan helt överlappa varandra. För att få en jämn ändyta på virket som lastas jämnas (2.1.8) detta mot antingen grinden

(2.1.8.1) eller mot marken (2.1.8.2). Om virket jämndras mot marken sker detta tidigare under varje krancykel. Varje krancykel avslutas med öppnandet av gripen (2.1.9). Detta moment kan inte överlappa något annat moment.

Krancyklerna för lossning delar många likheter med krancyklerna för lastning då vissa av delmomenten är lika, bara att de utförs i olika ordning. Varje krancykel för lossning börjar med momentet kran ut (2.2.1) vilket innebär en rotation runt kranpelaren med virke i gripen ämnat att lossas. Momentet kan delvis överlappas av momentet sänk (2.2.3). Då kranen sänks mot kan detta moment helt överlappa positionering över virkesvältan (2.2.2). Positionering över virkesvältan innebär justering av kranens läge (2.2.2.1) samt rotation av gripen (2.2.2.2). Rotation av gripen och justering av kranens lägen kan helt överlappa varandra. Sänk grip (2.2.4) sker då skotarföraren anser att virket befinner sig i sådan position att det kan läggas av på virkesvältan. Öppnandet av gripen överlappar inga andra moment. Skotaren lyfter därefter kranen (2.2.5) och börjar föra denna in mot skotaren (2.2.6). Lyftet och kranens rörelse in mot lastutrymmet kan delvis ske överlappande. Då kranen befinner sig över lastutrymmet positionerar föraren kran och grip (2.2.7) på ett sådant sätt att lossningen kan fortsätta. Positioneringen genomförs genom justering av kranens läge (2.2.7.1) samt rotation av gripen (2.2.7.2). Båda momenten kan ske helt överlappande. Vid behov kan föraren sedan sortera (2.2.8) bland sortimenten i lastutrymmet. Slutligen kan föraren stänga gripen (2.2.9) och påbörja en ny krancykel.

Tidsåtgången vid körning beror på hastigheten skotaren tillåts hålla. Hastigheten beror på underlaget som bestäms av ytstruktur och lutning men även vilken typ av väg skotaren färdas på. Hastigheten på stickväg varierar mot hastigheten på basväg både vid skotning med eller utan last.

Lastning och lossning består av ett antal olika krancykler. Antalet krancykler vid lastning bestäms av skotarens storlek, storlek på gripen, storlek på de högar som lastas samt antalet sortiment som lastas samtidigt. Antalet krancykler som krävs för att lossa skotaren delar vissa likheter med lastning av skotaren. Antalet bestäms av skotarens storlek, gripens storlek samt antalet sortiment som lossas.



Figur 1. Skotningens arbetsmoment. Siffror i boxarna indikerar momentets numrering i tabell 8.
Figure 1. The different work elements while forwarding. The numbers in the boxes indicates the element number in the description, see table 8.

Tabell 8. Beskrivning av varje enskilt moment som utförs av skotaren vid skotning av rundvirke. Varje moment har tilldelats ett momentnummer enligt hierarkisk struktur. Arbetsmoment markerade med (X) ingår i analysmodellen för tidsåtgång, se kapitel 3.2. Överlappning redovisar arbetsmoment som alltid överlappar (Helt) respektive arbetsmoment som i större eller mindre grad kan överlappa varandra (Delvis).

Table 8. Description of each work element that is being performed by the forwarder while hauling logs. Each element has been given a number that indicates in what order the element is being performed.

Moment Nr.	Beskrivning	Momentgräns	Överlappning	
			Helt	Delvis
Körning (X) 1	Den tid skotaren är i rörelse.	Från att skotarens hjul sätts i rörelse antingen framåt eller bakåt till och med att hjulen stannar.		2
Körning med last (X) 1.1	Den tid skotaren är i rörelse med last.	Från det att den sista stocken är lastad på avverkningstrakten till och med att kranen börjar röra sig för lossning på avlägget eller att hjulen stannar.		
Körning under lastning (X) 1.1.1	Den tid skotaren är i rörelse under lastning.	Från att kranen börjar röra sig mot första virkeshögen på trakten till och med att sista stocken är lastad, under förutsättning att hjulen rör sig under tiden.	2.1	
Körning under lossning (X) 1.1.2	Den tid skotaren är i rörelse under lossning	Från att kranen börjar röra sig för avlastning till och med att sista stocken är avlastad under förutsättning att hjulen rör sig.	2.2	
Lasskörning (X) 1.1.3	Den tid skotaren är i rörelse med last utan att lasta eller lossa.	Från att första stocken är lastad till och med sista stocken är lossad under förutsättning att ingen lastning eller lossning pågår och hjulen är i rörelse.		
Körning utan last (X) 1.2	Den tid skotaren är i rörelse utan last.	Från att sista stocken är avlastad till och med att kranen börjar röra sig mot första virkeshögen på avverkningstrakten eller att hjulen slutar rulla.		
Kranarbete (X) 2	Den tid kranen är i rörelse.	Den tid skotarens kran rör sig antingen med eller utan virke i gripen.		1
Lastning (X) 2.1	Den tid kranen är i rörelse under lastning	Från det att kranen börjar röra sig mot första virkeshögen på avverkningstrakten till och med att sista stocken är lastad under förutsättning att kranen rör sig och används för lastning.	1.1.1	
Kran ut 2.1.1 & 2.2.1	Kranens rotation runt kranpelaren samt rörelsen av huvudarmen, vipparmen och utskjutet från lastutrymmet mot virkeshög eller virkesvälta	Från att kranen börjar röra sig från lastutrymmet till och med att kranrörelsen stannar eller kranen sänks.		2.1.3 & 2.2.3
Positionera över virkeshög 2.1.2	Kranens och gripens positionerande rörelser inför lastning över	Från att kranen når virkeshögen till och med att grip och kran korrigerats i rätt läge för att gripa om virket, underförutsättning att kranen		2.1.3

	virkeshögen	och/eller gripen rör sig		
Läge kran 2.1.2.1	Kranens mindre korrigerande rörelser inför lastning av virkeshögen	Från att kranen når virkeshögen till och med att kranen med hjälp av mindre, korrigerande rörelser, fått gripen i rätt läge för lastning. Under förutsättning att kranen rör sig.	2.1.2.2	
Rotera grip 2.1.2.2	Gripens korrigerande rörelser inför lastning av virkeshögen.	Från att gripen når fram ovan virkeshögen till och med att den roterats i rätt läge, under förutsättning att gripen roterar.	2.1.2.1	
Sänk 2.1.3 & 2.2.3	Kranens vertikala rörelse mot marken.	Från att kranens vertikala rörelse mot marken inleds till och med att kranen stannar, när marken, virkeshög/virkesvälta eller lastutrymmet.	2.1.2 & 2.2.2	2.1.1 & 2.2.1
Stäng grip 2.1.4 & 2.2.9	Gripens slutande rörelse	Från att gripen börjar stängs till och med att rörelsen avslutas eller gripen är helt stängd.		
Lyft 2.1.5 & 2.2.5	Kranens vertikala uppåtrörelse	Från att kranen börjar röra sig uppåt i vertikal led från virkeshög, virkesvälta.		2.1.6 & 2.2.6
Kran in 2.1.6 & 2.2.6	Kranens rotation runt kranpelaren samt rörelsen av huvudarmen, vipparmen och utskjutet mot lastutrymmet från virkeshög eller virkesvälta	Från att kranen börjar röra sig från virkeshög eller virkesvälta till och med att den befinner sig ovanför lastutrymmet, under förutsättning att kranen rör sig.		2.1.5 & 2.2.5
Positionera över lastutrymme 2.1.7 & 2.2.7	Kranen och gripens positionerande rörelser över lastutrymmet inför lastning eller lossning av virke	Från att kranen återkommer till lastutrymmet till och med att grip och kran korrigerats i rätt läge för att lasta eller lossa virke, under förutsättning att kranen och/eller gripen rör sig.		
Läge kran 2.1.7.1 & 2.2.7.1	Kranens mindre, korrigerande rörelser inför lastning eller lossning av virke ur lastutrymmet.	Från att kranen når lastutrymmet till och med att kranen med hjälp av mindre, korrigerande rörelser, fått gripen i rätt läge för lastning eller lossning. Under förutsättning att kranen rör sig.	2.1.7.2 & 2.2.7.2	
Rotera grip 2.1.7.2 & 2.2.7.2	Gripens korrigerande rörelser inför lastning eller lossning av virke ur lastutrymmet.	Från att gripen når fram till lastutrymmet till och med att den roterats i rätt läge, under förutsättning att gripen roterar.	2.1.7.1 & 2.2.7.1	
Jämndragning 2.1.8	Kranrörelse för att jämna ut kortsidan på det virke som finns i gripen mot antingen marken eller grinden.			
Mot marken 2.1.8.1	Kranrörelse för att jämna ut kortsidan på det virke som finns i			

	gripen mot marken.		
Mot grind 2.1.8.2	Kranrörelse för att jämna ut kortsidan på det virke som finns i gripen mot grinden.		
Öppna grip 2.1.9 & 2.2.4	Öppnande av helt eller delvis stängd grip för att antingen gripa om virke som skall lastas eller släppa virke som finns i gripen	Från att rörelsen att öppna gripen inleds till och med att gripen är helt öppen eller rörelsen avstannar.	
Lossning (X) 2.2	Den tid kranen är i rörelse under lossning	Från att kranen börjar röra sig på avlägget till och med att sista stocken är avlastad under förutsättning att kranen rör sig och används till lossning	1.1.2
Positionera över virkesväلتa 2.2.2	Kranen och gripens positionerande rörelser över virkesväلتa inför lossning av virke	Från att kranen befinner sig ovanför virkesväلتan till och med att grip och kran korrigerats i rätt läge för att lossa virke, under förutsättning att kranen och/eller gripen rör sig.	2.2.3
Läge kran 2.2.2.1	Kranens mindre, korrigerande rörelser över virkesväلتan inför lossning av virke	Från att kranen når virkesväلتan till och med att kranen med hjälp av mindre, korrigerande rörelser, fått gripen i rätt läge för lossning. Under förutsättning att kranen rör sig.	2.2.2.2
Rotera grip 2.2.2.2	Gripens korrigerande rörelser inför lossning ovanför virkesväلتan	Från att gripen når fram till virkesväلتan till och med att gripen roterats i rätt läge under förutsättning att gripen roterar.	2.2.2.1
Sortera 2.2.8	Urval av rätt sortiment för avlastning	Från att kranen positioneras över lastutrymmet till och med att rätt sortiment är redo att placeras i gripen, under förutsättning att det finns flera sortiment i lastutrymmet.	
Parkera kran 2.3	Kranens position i lastutrymmet efter det att sista stocken lossats	Från att sista stocken lossats till och med att kranen vikits ihop och parkerats i skotarens lastutrymme.	

3.2 Analysmodell för tidsåtgång vid skotning

3.2.1 Lastning

Formeln för momentet lastning har hämtats ur Gullberg (1997 b). Modellen är uppbyggd av ett antal koefficienter, vilka författaren definierat i studien, samt ett antal påverkande parameterar, bl. a. griparea. Modellen är utformad ur ett teoretiskt perspektiv, något som författaren pekar på i ytterligare en publikation (Gullberg 1997a) (Formel 1):

[1]

$$T_1 = \frac{\left(\left(\frac{A+C*AS}{2-e^{-2\frac{HV}{GV}}} + (D * B * VT) * AF + \frac{A+B*GV+C*AS}{GV} * HV \right) * (1 + E * (VL - 3)) \right)}{(HV + AF * VT)}$$

Där:

T_1 = Tidsåtgång vid lastning (G_0 -min/ m^3 fpb)

A, B, C, D, E = Koefficienter för beräkning av krancykeltid (definieras i tabell 9)

HV = Högvoly (m³fpb)

AS = Andel svåra högar (%/100)

AF = Andel krancykler med flera högar (%/100)

$$AF = \frac{\text{antal högar} - \text{antal krancykler}}{\text{antal krancykler}}$$

VL = Virkeslängd (m)

GV = Maximal gripvoly = GA * VL * FV (m³fpb)

GA = Griparea (m²)

FV = Fastvolymandel

VT = Volymtillskott vid flerhögslastning (m³pb)

$$VT = HV \text{ om } HV \leq \frac{GV}{2}$$

$$= \frac{GV}{2} \text{ om } HV > \frac{GV}{2}$$

Tabell 9. Koefficienter till lastningsformel (formel 1) ur studie av Gullberg (1997b)

Table 9. Coefficients for the loading formula (formel 1) from Gullberg (1997b)

Maskinstorlek	GA	A		B		C	D	E	
	Gallr	Slutavv	Gallr	Slutavv	Gallr			slutavv	
Liten*	0,2	0,32	0,27	0,32	0,27	0,08	0,20	0,10	0,05
Mellan*	0,3	0,34	0,29	0,23	0,20	0,09	0,20	0,08	0,03
Stor*	0,4	0,36	0,31	0,17	0,15	0,10	0,20	0,05	0,02

*Med liten menas skotare med en maximal lastkapacitet om 10 000kg, mellan betyder skotare med lastkapacitet mellan 10 000-14 000kg och stor betyder skotare med en lastkapacitet >14 000kg.

I studien har inte bara griparean i tabell 9 nyttjats utan också varierats i enlighet med tabell 7 för att åskådliggöra skillnader beroende på gripstorleken.

3.2.2 Körning under lastning

För att kunna inkludera momentet körning under lastning i beräkningsmodellen användes en modell som tagits fram av Nurminen et al. (2006). Resultatet i studien pekar på en körhastighet motsvarande 27m/min vid körning under lastning, en hastighet som också nyttjats i beräkningarna men som går att variera enligt tabell 7 (formel 2).

[2]

$$T_2 = \frac{x_3}{a * v} = \frac{100}{z * a}$$
$$x_3 = \frac{100 * v}{z}$$
$$z = \frac{100 * r}{s}$$

Där

T_2 = tid för körning under lastning (G_0 -min/ m^3 fpb)

x_3 = Avståndet för körning under lastning (m)

a = Medelhastighet vid körning under lastning (m/min)

v = Volym per lass (m^3 fpb)

z = Virkeskoncentration längs stickvägen för det/de sortiment som lastas ($m^3/100m$ stickväg)

r = Virkeskoncentrationen för det/de sortiment som lastas (m^3 fpb/ha)

s = stickväglängd (m/ha)

Beräkningsmodellen har utgått från en stickväglängd per hektar som redovisas i text under tabell 7.

3.2.3 Körning

Formeln för körning har hämtats ur (Brunberg 2004). Denna formel bygger på ett medelskotningsavstånd samt tar lutning och ytstruktur i beaktande. För korrigering av G_{15} -tid till G_0 -tid har författarna antagit att varje G_0 -minut motsvarar 1,08 G_{15} -minuter (formel 3):

[3]

$$T_3 = \left(\frac{2 * A}{H * L}\right) / 1,08$$

Där

T_3 = Tidsåtgång för körning (G_0 -min/ m^3 fpb)

A = enkelt terrängtransportavstånd (skotningsavstånd) (m)

H = Körhastigheten i vid olika ytstruktur och lutning (m/min)

L = Laststorlek (m^3 fpb)

Ur Brunberg (2004) har även beräkandet av hastigheten vid olika terrängförhållanden hämtats. (Formel 4). För olika hastigheter se tabell 3.

[4]

$$H = (75 - 8,2 * YT - 1,4 * LUT^2)/1,08$$

H = hastigheten (m/ G_0 -min)

YT och LUT = Ytstruktur och Lutning enligt terrängtypschema, klass 1 – klass 5 (Berg, 1995)

3.2.4 Lossning

Formeln för lossning har hämtats ur tidsåtgångsmodell för skotning Gullberg (1997b). Liksom formeln för lastning är avlastningsformeln uppbyggd av koefficienter samt gripstorlek (formel 5).

[5]

$$T_4 = \frac{KC}{GA * VL * FV} * (1 + K * (L - 3))$$

Där

T_4 = Tidsåtgång för avlastning (G_0 -min/ m^3 fpb)

KC = Krancykeltid vid 3m virkeslängd (min) (tabell 10)

GA = Griparea (m^2)(tabell 5)

VL = Virkeslängd (m)

FV = Fastvolymandel(%/100)

K = koefficient för längdkorrigerig (tabell 10)

Tabell 10. Koefficienter till lossningsformel från Gullberg (1997b).

Table 10. Coefficients for the unloading formula from Gullberg (1997b)

Maskintyp	KC	K
Liten skotare*	0,40	0,05
Mellanskotare*	0,40	0,03
Stor skotare*	0,40	0,02

* Med liten menas skotare med en maximal lastkapacitet om 10 000kg, mellan betyder skotare med lastkapacitet mellan 10 000-14 000kg och stor betyder skotare med en lastkapacitet >14 000kg.

För lastning har griparean i tabellen inte använts utan har i stället varierats i enlighet med griparean på moderna skotare, se tabell 5

3.2.5 Körning under lossning

Formeln för körning under lossning har hämtats ur Manner et al. (2013). Denna formel har lagts till för att kunna modellera den förflyttning som sker på avlägget vid förflyttning mellan olika vältor då skotning av flera sortiment sker samtidigt (formel 6).

[6]

$$T_5 = 0,0789021\alpha - 0,0780896$$

där

T_5 körning under lossning (G_0 min/m³fpb)

α = antal lastade sortiment.

3.2.6 Korrigering för flera sortiment

För att kunna korrigera modellen för lastning och lossning av flera sortiment har studien av Manner et al. (2013) använts. Studien, som indikerar en ökad tidsåtgång vid både lastning och lossning, tar emellertid endast 5 sortiment i beaktande. Författarna har i studien tagit fram två ekvationer som visar hur tidsåtgången ökar vid hantering av flera sortiment. Ekvationerna har använts i syfte att skapa en fördelning att nyttja till modellen (formel 7 och 8)

[7]

$$t_{lastning} = 0,00833\alpha^2 + 0,06345\alpha + 0,8678$$

[8]

$$t_{lossning} = 0,00792\alpha^2 + 0,2312\alpha + 0,0909$$

Där

$t_{lastning}$ = (G_0 min/m³fpb)

$t_{lossning}$ = (G_0 min/m³fpb)

α = Antalet lastade sortiment

Ekvationerna ger en fördelning där sortimenten angetts i relation till ett sortiment som varit utgångspunkten. Beräkning av faktor t för lastning och lossning följer i formel 9 och 10. Fördelningen följer i tabell 11.

[9]

$$Faktor t_{lastning} = \frac{0,00833\alpha^2 + 0,06345\alpha + 0,8678}{0,00833*1^2 + 0,06345*1 + 0,8678}$$

Där

Faktor $t_{lastning}$ = Tidsåtgång vid lastning i förhållande till ett sortiment (%/100)

α = Antalet lastade sortiment

[10]

$$Faktor t_{lossning} = \frac{0,00792\alpha^2 + 0,2312\alpha + 0,0909}{0,00792*1^2 + 0,2312*1 + 0,0909}$$

Där

Faktor $t_{lossning}$ = Tidsåtgång vid lossning i förhållande till ett sortiment (%/100)

α = Antalet lastade sortiment

Tabell 11. Faktor för ökad tidsåtgång relativt ett sortiment vid lastning och lossning beroende på hur många sortiment som finns i skotarlasset (efter Manner et al. (2013)). (Se även formel 7 och 8.)

Table 11. Distribution of relative time consumption in relation to one assortment while the forwarder is handling one or more assortments during loading or unloading (From Manner et al. (2013)). (See formula 7 and 8).

Arbetsmoment	Antal sortiment								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lastning	1	1,10	1,21	1,34	1,49	1,65	1,84	2,04	2,26
Lossning	1	1,77	2,59	3,46	4,38	5,34	6,36	7,42	8,52

3.2.7 Summering av funktioner till tidsåtgångsmodell

Den slutgiltiga tidsåtgångsmodellen är summan av alla funktioner som listats ovan.

Tidsåtgångsmodellen följer nedan:

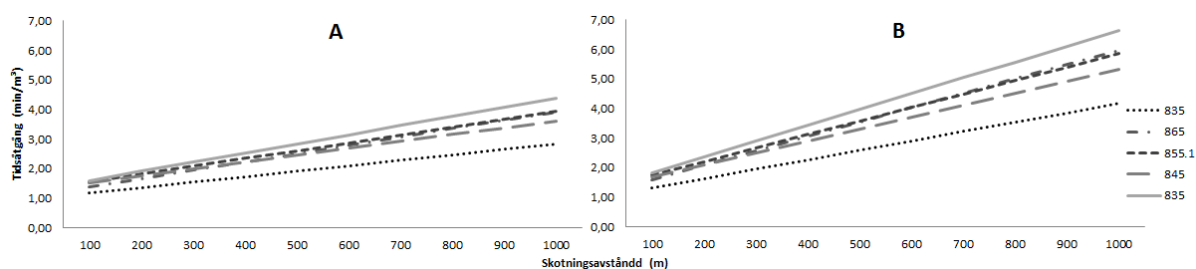
$$T_{tot} = (T_1 * \text{faktor } t_{\text{lastning}}) + T_2 + T_3 + (T_4 * \text{faktor } t_{\text{lossning}}) + T_5$$

Där:

$$T_{tot} = \text{Total tidsåtgång } (G_0\text{-min}/m^3\text{fpm})$$

3.3 Tidsåtgång enligt utvecklad analysmodell

Det tar längre tid att skota med en liten än en stor skotare, och skillnaden ökar med ökat skotningsavstånd (figur 2). Det tar längre tid att skota om terrängförhållandena är svåra än om de är lätta, och skillnaderna mellan små och stora skotare ökar. Tidsåtgången för skotning ökar med 11-14% vid 100m och 47-52% vid 1000m skotningsavstånd då ytstruktur och lutning ökar från klass 1 till klass 3. Ökningen är störst för den minsta skotaren (Jfr. figur 6, A och B).

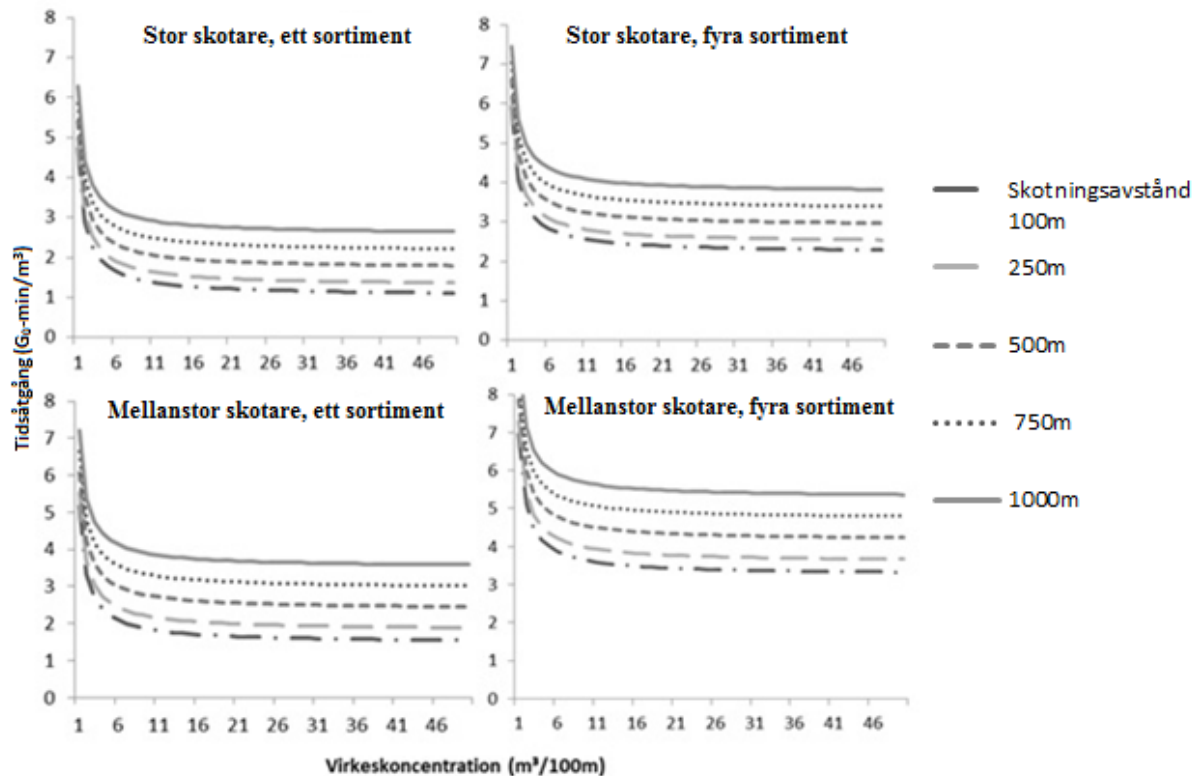


Figur 2. Tidsåtgång ($G_0\text{-min}/m^3\text{fpm}$) som funktion av skotningsavstånd för olika skotarmodeller (Jfr. Tabell 6) vid skotning av ett sortiment vid virkeskoncentration $30m^3/100$ stickväg och högstorlek $1m^3$. A: ytstruktur och lutning klass 1 (hastighet $60,6m/G_0\text{-min}$). B: ytstruktur och lutningsklass 3 ($35 m/G_0\text{-min}$).

Figure 2. Time consumption ($G_0\text{-min}/m^3$) as a function of forwarding distance for different forwarder models (see table 6) while forwarding one assortment in a timber concentration of $30m^3 / 100$ strip road and a pile size of $1m^3$. A. Surface texture and elevation Class 1 (speed $60,6m/G_0\text{-min}$). B. Surface texture and elevation of Class 3 ($35 m/G_0\text{-min}$).

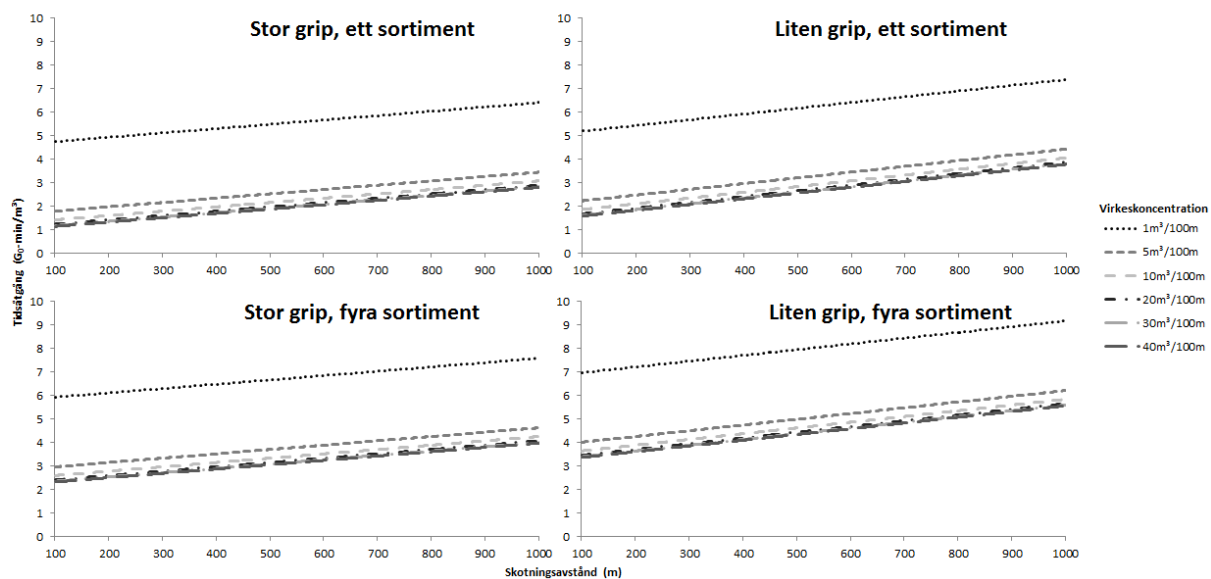
Skotning av virke tar längre tid då flera sortiment skotas samtidigt än då ett sortiment skotas åt gången. Skillnaden är störst vid korta skotningsavstånd (figur 3). Det tar längre tid att skota flera sortiment åt gången än ett enda. Tidsåtgången ökar 66-80% vid 100m och 36-42 % vid 1000m om fyra sortiment skotas istället för ett (jfr figur 3, A och B, C och D). Det är skillnad

i tidsåtgång vid skotning med olika skotarkonfigurationer. Skillnaden är störst vid skotning av flera sortiment (figur 3). Tidsåtgången ökar 24,7-34,8% vid 100m och 28,4-34,6 % vid 1000m om fyra sortiment skotas istället för ett (jfr figur 3, A och C, B och D).



Figur 3. Tidsåtgång (G_0 -min/ m^3) som en funktion av virkeskoncentration vid ett antal olika skotningsavstånd och olika antal sortiment samt $1m^3$ högstorlek. I A och B är skotaren utrustad med gripmodell G40HD och har $6,9m^2$ i lastarea. I C och D är skotaren utrustad med gripmodell G25 och har lastarean $5,2m^2$. I A och C lastas ett sortiment. I B och D lastas fyra sortiment.

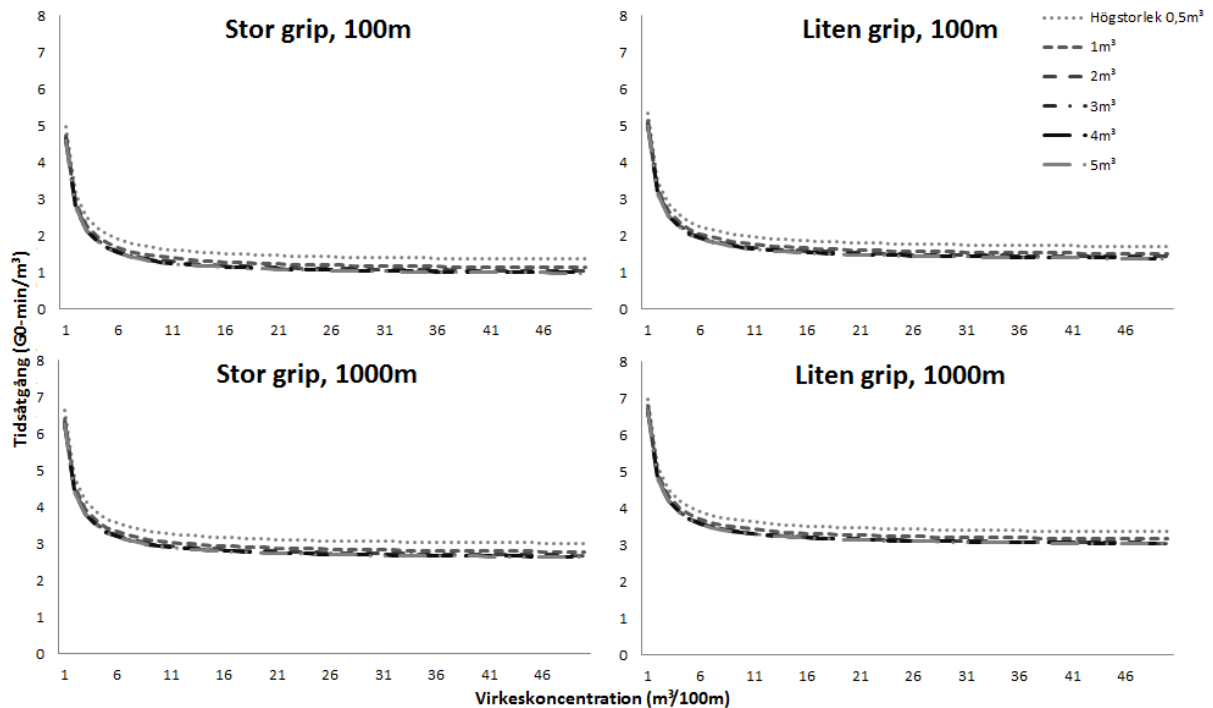
Figure 3. Time consumption (G_0 -min/ m^3) as a function of timber concentration at a number of different forwarding distances, different number of assortments and a $1m^3$ pile size. Chart A and B are forwarders equipped with grapple model G40HD and they have $6.9m^2$ in bunk area. In diagram C and D the forwarders are equipped with grapple model G25 and their bunk area is $5.2m^2$. In Chart A and C one assortment is being loaded. In Chart B and D four assortments are being loaded.



Figur 4. Tidsåtgång (G_0 -min/ m^3) som funktion av skotningsavstånd vid olika virkeskoncentrationer och olika antal sortiment med olika konfigurationer av skotarmodell Komatsu 895. Stor grip, ett sortiment illustrerar tidsåtgång vid skotning med gripmodell G40HD, 6,9 m^2 lastarea och ett sortiment. Liten grip, ett sortiment skotning med gripmodell G25, 5,2 m^2 lastarea och ett sortiment. Stor grip, fyra sortiment skotning med gripmodell G40HD, lastarea 6,9 m^2 och fyra sortiment. Liten grip, fyra sortiment skotning med gripmodell G25, lastarea 5,2 m^2 och fyra sortiment.

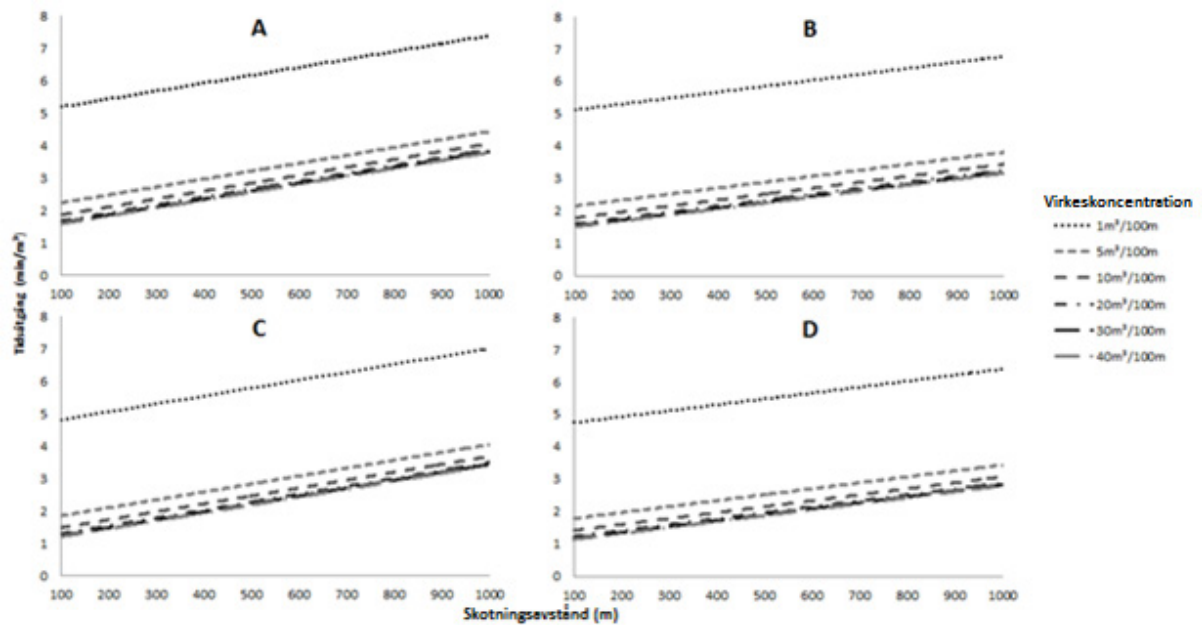
Figure 4. Time consumption (G_0 -min/ m^3) as a function of forwarding distance at different timber concentration levels and different number of assortments with different configurations of Forwarder komatsu 895. Stor grip, ett sortiment illustrates the time required for forwarding with grapple model G40HD, 6.9 m^2 bunk area and one assortment. Liten grip, ett sortiment forwarding with grapple model G25, 5.2 m^2 bunk area and one assortment. Stor grip, fyra sortiment forwarding with grapple model G40HD, bunk area 6.9 m^2 and four assortments. Liten grip, fyra sortiment forwarding with grapple model G25, bunk area 5.2 m^2 and four assortments.

Det tar längre tid att skota med en liten grip än med en stor grip vid stora högstolekar och höga virkeskoncentrationer. Vid mindre högstolekar och lägre virkeskoncentrationer är skillnaden mindre. (figur 5) Skillnaden är störst vid korta skotningsavstånd. Tidsåtgången ökar 18-35 % vid 100m och 10-14 % vid 1000m då griparean ökar från 0,3 m^2 till 0,52 m^2 . (jfr figur 5 stor grip, 100m och liten grip 100m, stor grip 1000m och liten grip 1000m).



Figur 5. Tidsåtgång (G_0 -min/ m^3) vid skotning med en Komatsu 895 med en $6,9m^2$ lastarea som en funktion av virkeskoncentration vid ett fast skotningsavstånd men med olika hög- och gripstorlekar. I Stor grip, 100m och Liten grip, 100m är skotningsavståndet 100m. I Stor grip, 1000m och Liten grip, 1000m är skotningsavståndet 1000m. I Stor grip, 100 och 1000m är skotaren utrustad med gripmodell G40HD. I Liten grip, 100 och 1000m är skotaren utrustad med gripmodell G25.

Figure 5. Time for forwarding (G_0 -min/ m^3) as a function of timber concentration at a fixed forwarding distance but with different piles volumes and grapples. In Stor grip, 100m and Liten grip, 100m is the hauling distance 100m. In Stor grip, 1000m and Liten grip 1000m are the hauling distance 1000m. In Stor grip, 100 and 1000m is the forwarder equipped with grapple model G40HD. In Liten grip, 100 and 1000m is the forwarder equipped with grapple model G25. The forwarder in the charts is a Komatsu 895 with a $6.9m^2$ bunk area.



Figur 6. Tidsåtgång (G_0 -min/m³) vid skotning med en Komatsu 895 som funktion av skotningsavstånd vid olika virkeskoncentrationer med ett sortiment och högstorlek 1m³. A illustrerar tidsåtgång vid skotning med Gripmodell G25 och lastarea 5,2m². B gripmodell G25 och lastarea 6,9m², C gripmodell G40HD och lastarea 5,2m², D gripmodell G40HD och lastarea 6,9m².

Figure 6. Time consumption (G_0 -min/m³) during forwarding as a function of hauling distance at different timber concentrations, one assortment and 1m³ pile size with komatsu 895. A illustrates the time required for forwarding with grapple model G25 and a bunk area of 5.2m². B, grapple model G25 and a bunk area of 6.9m². C, grapple model G40HD and a bunk area of 5.2m². D, grapple model G40HD and a bunk area of 6.9m².

I tabell 12 illustreras maskinernas relativa tidsåtgång i förhållande till varandra. Komatsu 855.1 tidsåtgång vid 300m skotningsavstånd representerar referensvärdet. Vid längre skotningsavstånd har skotare med stor lastkapacitet lägre relativ tidsåtgång än maskiner med liten lastarea. I figuren har virkeskoncentration uppgått till 230,7m³/ha och endast ett sortiment har funnits på trakten. Eftersom komatsu 845 har större lastarea har denna modell lägre relativ tidsåtgång trots att Komatsu 855.1 har större lastviktskapacitet.

Tabell 12. Jämförelsematrix av tidsåtgång mellan Komatsus olika skotarmodeller med stora lastareor och gripkonfigurationer enligt tabell 6 vid olika skotningsavstånd med en virkeskoncentration om 230,7m³/ha och ett sortiment. Tidsåtgång för Komatsu 855.1 vid 300m skotningsavstånd har angivits som referensvärde.

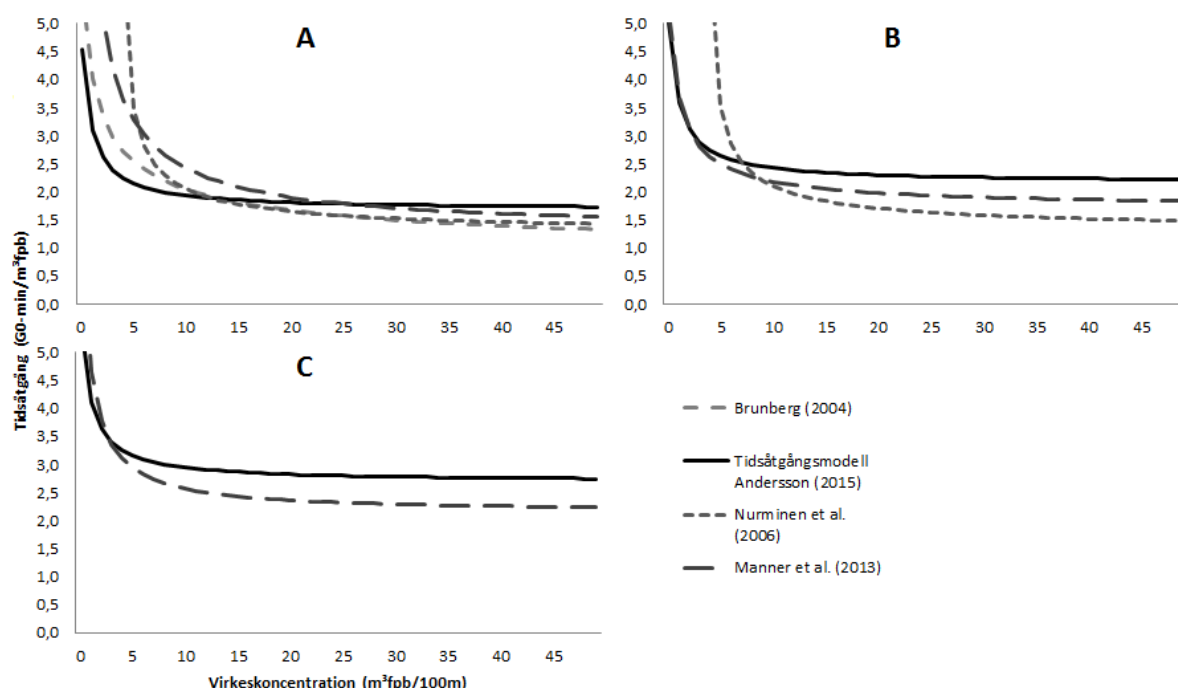
Table 12. Comparison Matrix of productivity between Komatsu different forwarder models with large loading areas and grapple configurations according to Table 6 at different forwarding distance with a timber concentration of 230.7m³/ha and an assortment. Time consumption with Komatsu 855.1 at 300m forwarding distance set as the reference value.

Ett sortiment						
Skotningsavstånd (m)	Skotarmodell					
	835	845	855.1	865	895	
100	77	73	75	66	56	
200	92	84	87	80	65	
300	107	95	100	93	74	
400	121	107	113	107	83	
500	136	118	125	121	92	
Fyra sortiment						
100	88	86	87	76	67	
200	96	92	93	84	72	
300	103	98	100	91	77	
400	111	103	107	98	81	
500	119	109	113	105	86	

4 Diskussion

4.1 Jämförelse med tidigare beräkningsmodeller för tidsåtgång vid skotning

Genom det underlag för prestationsnormer som finns upprättade för skotning (Brunberg, 2004) finns också möjlighet att jämföra en mer avancerad modell utifrån andra studier mot de redan befintliga normerna för skotning, utöver detta underlag kan studien även jämföras mot både en modern prestationsnorm samt ännu äldre normer. Genom att jämföra skotarmodeller med lika prestanda ur komatsus skotarprogram gentemot befintliga studier kan tidsåtgångsmodellen valideras. Jämförelserna mellan modellerna kan genomföras på flera sätt. Studier såsom Manner et al. (2013) inkluderar inte skotningsavstånd i sin analys, därför kan modellen valideras genom jämförelse mot momenten lastning, körning under lastning, lossning och körning under lossning. Mot exempelvis Brunberg (2004) kan tidsåtgångsmodellen istället jämföras med avseende på skotningsavstånd. Genom analyser av tidigare studier finns möjligheten att bryta ner skotningsarbetet i mindre beståndsdelar utifrån hur detaljerade de inkluderade studierna är. På så vis kan parametrar som antas vara relevanta inkluderas i analysen. Detta i sin tur ger upphov till att olika detaljeringsnivåer kan identifieras för att nyansera analysen mer än till endast de mest grundläggande elementen. Av dessa andra studier kan även uppbyggnad och uppdelning av skotningsmomentet och eventuella påbyggnadsmoment identifieras.

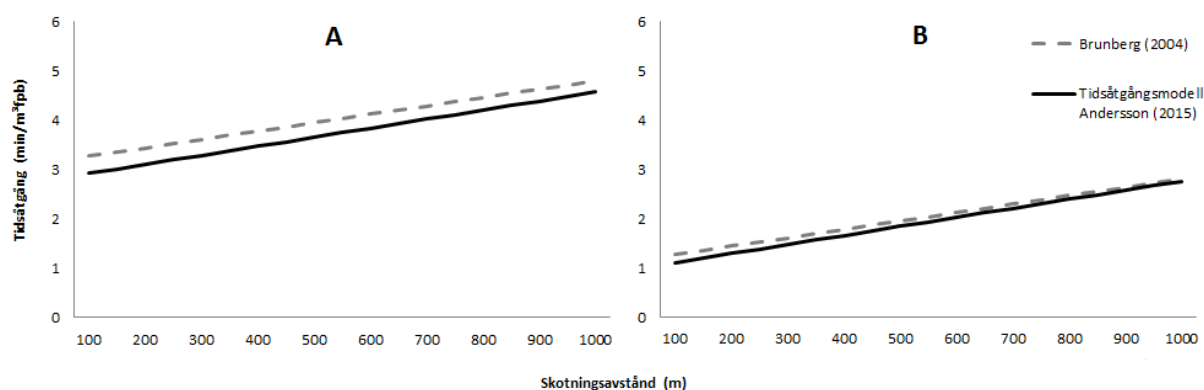


Figur 8. Jämförelse mellan tidsåtgångsmodeller. I Figuren illustreras tidsåtgången som en funktion av virkeskoncentrationen på avverkningstrakten. Maskinen som använts i diagrammen är Komatsu 865 utrustad med gripmodell G36 och lastarea $3,3\text{m}^3$. Högstorleken har uppgått till $0,26\text{m}^3\text{fpb}$ och virkeslängden har uppgått till 4m. I A skotas ett sortiment, i B skotas två sortiment och i C skotas tre sortiment.

Figure 8. Comparison between time consumption models. The figure illustrates the time required as a function of the concentration of timber on the felling area. The machine used in the charts is Komatsu 865 equipped with gripping model G36 and cargo area 3.3m^3 . The Pile size is $0.26\text{m}^3\text{fpb}$ and timber length is 4m. In A one assortment is forwarded. in B two assortments are forwarded. In C three assortments are forwarded.

Vid jämförelse av modellen gentemot andra studier med fokus på lastning, körning under lastning, körning under lossning och lossning visar den ett resultat som ligger i linje mot dessa sett till tidsåtgång. Skotarmodellen som utgjort underlaget för jämförelsen är en Komatsu 865 utrustad med gripmodell G36 samt lastarea 3,3m². Liknande maskindimensioner användes av Manner et al. (2013).

Vid jämförelse mot Manner et al (2013), Brunberg (2004) och Nurminen et al (2006) visar modellen en kortare tidsåtgång vid färre antal sortiment och lägre virkeskoncentrationer men då antalet sortiment ökar visar den en högre tidsåtgång. Vid virkeskoncentrationen 6m³/100m och högstorleken 0,26m³ger den nyutvecklade modellen en tidsåtgång som ca 18-52% % lägre. Vid virkeskoncentrationen 30m³/100m är tidsåtgången 3-15 % högre (se figur 8 A). Ökar antalet sortiment från 1 till 3 blir tidsåtgången ca 4% högre vid 6m³/100 samt 16 % vid 32m³/100m (se figur 8, C). En anledning till att resultatet varierar på detta vis kan bero på att storleken på de högar som lastas har stort genomslag i den tidsåtgångsmodell som tagits fram i arbetet. Högstorleken som jämförts mot Manner et al. (2013) är baserad på det medel om 0,26m³fbp per hög som finns angivet i studien. Vid större virkesvolym per hektar kan det antas att högstorleken ökar något, vilket inte fångas upp i den framtagna tidsåtgångsmodellen. Då formlerna framtagna av Nurminen inte medger att fler än två sortiment lastas samtidigt kunde detta inte modelleras i figur 8, C.



Figur 9. Jämförelse av tidsåtgång vid skotning mellan modell av Brunberg (2004) och den framtagna tidsåtgångsmodellen. Tidsåtgång är här en funktion av skotningsavstånd. Maskinen som används i jämförelsen är en Komatsu 895 utrustad med gripmodell G40HD och en lastarea på 6,9m². A illustrerar tidsåtgången vid en virkeskoncentration om 25m³/ha. B illustrerar tidsåtgången vid en virkeskoncentration om 500m³/ha.

Figure 9. Comparison of time spent on hauling the model of Brunberg (2004) and the produced amount of time model. Time is here a function of forwarding distance. The machine used in the comparison is a Komatsu 895 equipped with gripping model G40HD and a bunk area of 6.9m². A illustrates time spent at a lumber concentration of 25m³ / ha. B illustrates time consumption at a lumber concentration of 500m³ / ha.

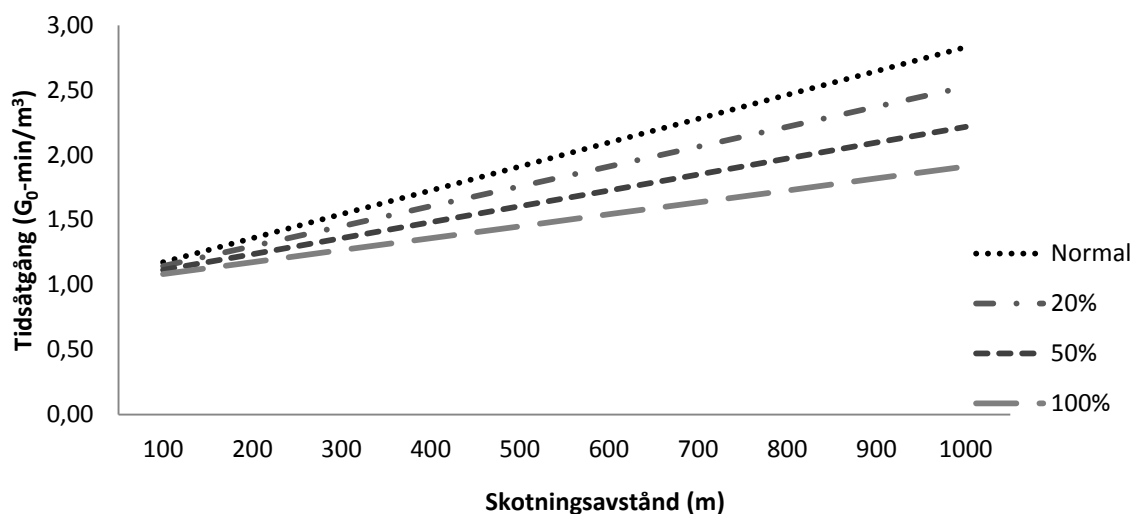
Då tidsåtgångsmodellen jämförs mot Brunbergs produktionsnorm med tidsåtgång som en funktion av skotningsavstånd har den en lägre tidsåtgång vid alla jämförda skotningsavstånd. Vid virkeskoncentrationen 25m³/ha, högstorleken 0,26m³fbp och 100m skotningsavstånd skiljer tidsåtgången 12 %. Vid 1000m skotningsavstånd är skillnaden 5 %. Vid en virkeskoncentration om 500m³/ha, högstorlek om 1m³fbp och ett skotningsavstånd om 100m är skillnaden 15 %. Skillnaden vid 1000m är 2 %.

Vid jämförelse mot den tidsåtgångsmodell som tagits fram av Brunberg i *Underlag till prestationsnorm för skotare* ligger modellen nära de siffror som beräkningar utifrån

antaganden om lika parametrar ger. Svårigheten vid en jämförelse mot just denna modell är liknande de som uppstår vid jämförelse mot Manner et al. (2013) där högstorleken vid lastning får ett stort genomslag. Brunberg presenterar alla moment gällande lastning och lossning i ett samlat begrepp vilket betyder att jämförelse mellan enskilda moment blir svårt samtidigt som enskilt påverkande parametrar blir svåra att härleda.

4.2 Produktivitetshöjande förändringar på skotare

Snabbare kranarbete ger konstant inverkan på tidsåtgången oberoende av skotningsavstånd men störst procentuell inverkan på total tidsåtgång vid korta skotningsavstånd, se figur 11. Snabbare kranhastighet verkar som motsatsen till snabbare körhastigheter på så vis att det har ett större genomslag på kortare sträckor än på längre. Vid 100m skotningsavstånd minskar tidsåtgången 12-37% medan tidsåtgången minskar 5-15 % vid 1000m skotningsavstånd.

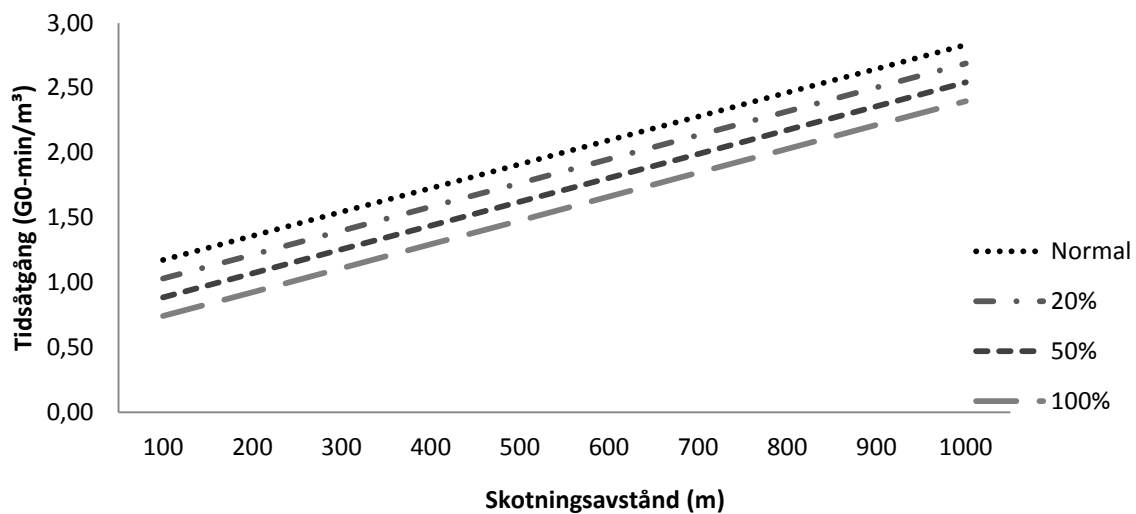


Figur 10. Tidsåtgång som en funktion av skotningsavstånd vid förändrad körhastighet vid virkeskoncentration om 230,7m³/ha. Körhastigheten har ökat mellan 20 och 100 % för skotare Komatsu 895 utrustad med 6,9m² lastarea och gripmodell G40HD.

Figure 10 Time as a function of hauling distances the change in travel speed when the timber concentration of 230.7m³ / ha. The travel speed is raised between 20 and 100% for forwarders Komatsu 895 equipped with 6.9m² bunk area and grapple model G40HD.

Körhastigheten har störst inverkan på tidsåtgången vid skotning över längre avstånd. En potentiellt snabbare körhastighet hos framtida skotare skulle innebära tidsvinster vid längre köravstånd vilket illustreras i figur 10. Vid 100m skotningsavstånd minskar tidsåtgången 3-8 % vid 20-100 % ökad körhastighet medan den vid 1000m minskar 11- 35 %. Ökade körhastigheter skulle troligtvis kräva mer än endast ökad prestanda hos maskinerna då ökad hastighet medför ökade påfrestningar på skotaren och föraren.

Sammanfattningsvis ger 50 % ökad kranhastighet samma tidsreduktion som fördubblad körhastighet vid 350m skotningsavstånd. Detta kan tas i beaktande allt eftersom ny teknologi såsom kranstyrt utvecklas vilket medger högre kranhastigheter.



Figur 11. Tidsåtgång som en funktion av skotningsavstånd vid förändrad kranhastighet. kranhastigheten har förändrats och ökats mellan 20 och 100 % för skotare Komatsu 895 utrustad med 6,9m² lastarea och gripmodell G40HD.

Figure 11. Time as a function of forwarding distance when changing crane speed. Crane speed has changed and has been raised from 20 to 100% for forwarder Komatsu 895 equipped with a 6.9m² loading bunk and grapple model G40HD.

4.3 Modellens styrkor och svagheter

Vid jämförelse mellan den modell som utvecklats under arbetet samt mot den befintliga kunskap som fanns sedan tidigare har parametrar som ansetts saknats tagits i beaktande. Flera studier har i detta fall kombinerats till en mer avancerad modell där ej tidigare inkluderade parametrar har inkorporerats. I jämförelse med tidigare tidsåtgångsmodeller som finns tillgängliga exv. Gullberg (1997a, b) & Väätäinen (2006) har i den utvecklade modellen även hänsyn tagits till hanteringen av flera sortiment, något som påpekats viktigt av Manner et al. (2013). I modellen finns potentialen att göra mer djupgående analyser av olika utrustningsgrad än tidigare då lastningsfunktioner i exv. Brunberg (2004) och Nurminen et al. (2006) inte tar hänsyn till gripstorlek. Gripstorleken påverkar både avlastning och lastning där en större grip reducerar tidsåtgången vid lossning samt lastning förutsatt att volymen är stor nog att tillgodogöra sig vinsten med en större grip. En parameter som försvårar jämförelse mellan diverse studier är antalet sortiment. Flera studier är genomförda med endast ett sortiment och funktionerna i dessa är anpassade därefter.

Den största svagheten med den modell som utvecklats i detta arbete är det beroende som ligger i anpassning av virkeshögarna som lastas. Svagheten i detta ligger i att storleken på högarna måste anpassas efter ett rimligt antagande om hur stora dessa kan vara givet den volym som avverkas vid varje trakt. Den formel för lastning som tagits fram av exv Nurminen et al. (2006) tar inte högstorleken i beaktande. Denna formel fungerar helt utan att den som använder den behöver ta detta i beaktande.

Styrkor med modellen är emellertid att den erbjuder användaren att justera fler parametrar än tidigare. Möjligheten att kunna alternera gripstorlekar, maskinstorlek mm ger nya analysmöjligheter.

4.4 Framtida forskning och egna reflektioner

Allt eftersom den teknologi som används för brukande av skogen utvecklas kommer nya studier att behöva genomföras. I och med att teknologin utvecklas där fler moment eventuellt automatiseras och genomförs av maskinen själv kommer nya normer för produktivitet och nya tidsåtgångsmodeller att behöva utvecklas. Flera moment som definieras i tabell 8 kommer troligen att kunna utföras snabbare. Även den formel som tagits fram i detta arbete inkluderas i det materialet. I framtida studier av både praktisk arbetsmetodik kommer nya definitioner och nya ramverk behöva utvecklas.

Framtida skotare bör enligt den modell som presenteras i rapporten modellen utvecklas med både ökad körhastighet och kranhastighet i beaktande. Jämförs utveckling av ökad kranhastighet mot ökad körhastighet ger 20 % ökad kranhastighet lägre tidsåtgång per kubikmeter till och med ett skotningsavstånd om ca 500m då 20 % ökad körhastighet istället ger lägre tidsåtgång (jfr. figur 6 och 7).

En hastighetsökning om 100 % kanske inte är rimlig givet det enorma slitaget detta skulle innebära på skotaren (och förstås även föraren) med den tekniska utformning av skotare som är norm i dagsläget. Ett antagande inför framtiden är att både hastighet och kranarbetet utvecklas parallellt. Nya tekniker såsom kranpetsstyrning har potential att öka effektiviteten vid kranarbete och är aktuellt bland flera tillverkar idag, bland annat John Deere som hävdar att produktiviteten ökar 3 % då rutinerade skotarförare jobbar med kranpetsstyrning (Löfgren, 2013).

4.5 Slutsatser

- Den utvecklade tidsåtgångsmodellen förefaller fungera som avsett och tar större hänsyn till fler påverkande parametrar än tidigare modeller, både tekniska- och virkesparametrar.
- Tidsåtgångsmodellen ger lägre tidsåtgång per kubikmeter i förhållande till andra modeller vid låga virkeskoncentrationer men vid höga koncentrationer är förhållandet det omvända.
- Nämnda skillnad i tidsåtgång är troligtvis kopplad till modellens beroende av den lastade högens storlek där högstorleken är konstant i modellen oavsett virkeskoncentration.
- Teknisk utveckling kommer troligtvis möjliggöra att fler arbetsmoment överlappas i större utsträckning.
- Framtida studier kommer krävas för uppdatering av produktionsnormer och tidsåtgångsmodeller, i takt med skotarnas tekniska utveckling.

Litteraturförteckning

- Andersson, S. (2004). Skogsteknik förr och nu. *Skogshistoriska sällskapets årsskrift*, ss. 102-116.
- Berg, S. (1995). *Terrängtypschema för skogsarbete*. Forskningsstiftelsen skogsarbeten. Oskarshamn: Skogsforsk.
- Bergstrand, K-G. (1985) *Underlag för prestationsmål för skotning*. Forskningsstiftelsen skogsarbeten. Redogörelse Nr 7 1985.
- Brunberg, T. (2004). *Underlag till prestationsnorm för skotare*. Uppsala: Skogforsk. Redogörelse 2004:3.
- Brunberg, T (2011) *Skogsbrukets kostnader och intäkter 2010*. [Elektronisk] Skogforsk Resultat 2011:4. Tillgänglig:
http://www.skogforsk.se/contentassets/03bdf6bf2f3248f9a2023f83fee5961e/resultat_nr4_2011_low.pdf [2015-03-17]
- Brunberg, T (2013-12-18) *Skogsbrukets intäkter och kostnader 2012*.
<http://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2013/Skogsbrukets-kostnader-och-intakter-2012/> [2015-03-17]
- Brunberg, T. (2014-09-12) *Skogsbrukets kostnader och intäkter 2013*.
<http://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2014/Skogsbrukets-kostnader-och-intakter-20131/> [2015-03-17]
- Brunberg, T. & Arlinger, J. (2001) *Vad kostar det att sortera virket i skogen*. [Elektronisk]. Skogforsk. Resultat 2001:3 Tillgänglig:
<http://www.kunskapdirekt.se/upload/Dokument/Resultat/2001-03.pdf> [2015-03-16]
- Edin, A. & Forsman, M. (2002). *Produktivitet vid skotning. En jämförelse av nuläget med Holmens bortsättningsunderlag*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Studentuppsatser Nr. 57.
- Gullberg, T. (1997a). A Deductive Time Consumption model for Loading Shortwood. *Journal of Forest Engineering* 8:1, 35-44.
- Gullberg, T. (1997b). *Tidsåtgångsmodell för skotning*. Sveriges lantbruksuniversitet , Uppsatser och resultat nr 297. Institutionen för skogsteknik. Uppsala.
- Hiesl, P., & Benjamin, J. G. (2013). Applicability of international harvesting equipment productivity studies in Maine, USA: a literature review. *Forests*, 4(4), 898-921.
- Håkansson, M. & Steffen, C. (1994) *Praktisk skogshandbok*. 14e Upplagan. Danderyd: Sveriges Skogsförbund.
- Jiroušek, R., Klavač, R. & Skoupý, A. (2007) Productivity and costs of the mechanised cut-to-length wood harvesting system in clear-felling operations. *Journal of forest science* [elektronisk], vol. 53(10), pp. 476-482. Tillgänglig:
<http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/00421.pdf> [2015-03-16]
- Joshi, S., & Eriksson, T. (2013). *Skogsstatistisk årsbok: Avverkning och virkesmätning*. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Karjalainen, T., Zimmer, B., Berg, S., Welling, J., Schwaiger, H., Finér, L. & Cortijo, P. (2001) *Energy, Carbon and other material Flow in the Life Cycle Assessment of*

Forestry and Forest Product. Achievements of the Working Group 1 of the COST Action E. European Forest Institute, Discussion Paper 10.

- Kellog, L., & Bettinger, P. (1994). Thinning productivity and cost for a Mechanized Cut-to-Length system in the Northwest Pacific Coast Region of the USA. *Journal of Forest Engineering*, 43-54.
- Komatsu (2014a) *Broschyr Komatsu 835* [Elektronisk]. Umeå: Komatsu forest. Tillgänglig: http://shop.mediahandler.se/pdf/komatsu/k835_b_se.pdf (2015-04-17)
- Komatsu (2014b) *Broschyr Komatsu 845* [Elektronisk]. Umeå: Komatsu forest. Tillgänglig: http://shop.mediahandler.se/pdf/partek/k845_b_se.pdf (2015-04-17)
- Komatsu (2014c) *Broschyr Komatsu 855.1* [Elektronisk]. Umeå: Komatsu forest. Tillgänglig: http://shop.mediahandler.se/pdf/partek/k855_1_b_se.pdf (2015-04-17)
- Komatsu (2014d) *Broschyr Komatsu 865* [Elektronisk]. Umeå: Komatsu forest. Tillgänglig: http://shop.mediahandler.se/pdf/komatsu/k865_b_se.pdf (2015-04-17)
- Komatsu (2014e) *Broschyr Komatsu 895* [Elektronisk]. Umeå: Komatsu forest. Tillgänglig: http://shop.mediahandler.se/pdf/komatsu/k895_b_se.pdf (2015-04-17)
- Konttinen, H., & Drushka, K. (1997). *Skogsmaskinernas historia*. Helsingfors: Timberjack Group.
- Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. (1994). *Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus - Mechanized cutting and forest haulage*. Helsingfors: Metsäteho Tiedotus.
- Laitila, J., Aisikainen, A. & Nuutinen, Y. (2007) *Forwarding of whole trees after manual and mechanized felling bunching in pre-commercial thinning*. International journal of forest engineering. Nr.18 (2) ss. 29-39
- Larsson, J. (2014). *Jämförelse av skotares körsträcka och bränsleförbrukning vid drivningskoncepten "Rätt metod" och konventionell metod*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi. Arbetsrapport 6. Examensarbete.
- Lindroos, O. & Wästerlund, I.(2013) *Utvärdering av skotning med påhängsvagn*. Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogen biomaterial och teknologi (Rapport 2013:1.)
- Löfgren, B. (2013) Så blir skogsmaskinerna snabbare och skonsammare. *Skogforsk: Vision*, vol. 3 ss. 10-12.
- Manner, J. Nordfjell, T. & Lindroos, O. 2013. Effects of the number of assortments and log concentration on time consumption for forwarding. *Silva Fennica* 47 (4).
- McNeel, J. F., & Rutherford, D. (1994). Modelling harvester-forwarder system performance in a selection harvest. *Journal of Forest Engineering*, 6(1), 7-14.
- MoDo (1993) *Underlag för prestationsprognos, Bortsättning Skotare*. Modo Skog 1993.
- Nordfjell, T., Athanassiadis, D. & Talbot, B. (2003) *Fuel consumption in forwarders*. International journal of forest engineering. Nr. 14 (2) ss. 11-20.
- Nordfjell, T. (2015) *Skogsteknologi 2015. Skogsmaskinen*. [Kurslitteratur] tillgänglig: http://slunik.slu.se/kursfiler/SG0120/30255.1415/Generell_maskinuppyggnad_2015.pdf

- NRA. (2012). *NRA*. En strategisk forskningsagenda för den skogsbaserade näringen i Sverige: http://www.nra-sweden.se/sites/nra-sweden.se/files/nra-dokumentation-hela_0.pdf [2015-04-19].
- Nurminen, T., Korpunen, H., & Uusitalo, J. (2006). Time Consumption analysis of the Mechanized Cut-to-length Harvesting System. *Silva Fennica*, 40(2), ss. 335-363.
- SCA (2011) *Prestationsnormer Skotare* SCA januari 2011.
- SCB. (den 27 02 2014). *Export och import av varor, januari-december 2013*: <http://www.scb.se/sv/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Handel-med-varor-och-tjanster/Utrikeshandel/Utrikeshandel-med-varor/7223/7230/Behallare-for-Press/370478/> den [2015-04-19].
- Skogsstyrelsen (2015-05-03a) *Ekonomi*. <http://www.skogsstyrelsen.se/skogek> [2015-05-03]
- Skogsstyrelsen (2015-03-04b) *Skogliga mått och enheter*. <http://www.skogsstyrelsen.se/Aga-och-bruka/Skogsbruk/Aga-skog/Matt-och-enheter/> [2015-05-04].
- Nordfjell, T., Wästerlund, I. & Lindroos, O. (2012) *Liten skogsteknisk ordlista, formelsamling & drivningskostnadstext*. SLU, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi.
- Sondell, J. (1978) *Genomförandet av "Skotaretest-78" samt redovisning av körhastighet och bränsleförbrukning för skoter i terräng och på väg*. Redogörelse: Forskningsstiftelsen Skogsarbeten nr 8 1978.
- Tiger, K. (2012) *Jämförelse av skattat och kört skotningsavstånd*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik. Arbetsrapport 357. Examensarbete.
- von Segebaden, G. (1975) *Riksskogstaxeringens terrängklassificering åren 1970-1972*. Stockholm: Skogshögskolan Institutionen för skogstaxering rapporter och uppsatser Nr 19 1975
- Väätäinen, K., Ala-Fossi, A., Nuutinen, Y., & Röser, D. (2006). The effect of single grip harvester's log bunching on forwarder efficiency. *Baltic Forestry*, 12(1), 64-69.
- Öhman, E. (2013) *Hjulskotarens tekniska utveckling*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skoglig resurshushållning. Arbetsrapport 395. Examensarbete.

Personligt Meddelande

Rönholm K. Komatsu forest AB. Tegelbruksvägen 1, 907 04 Umeå. +46(0)70 6261668
Personligt meddelande, 2014-11-11.