

Jämförelse av tvåmaskinsystem med drivaren Komatsu X19

*Comparison between a two-machine system
and Komatsu X19 harwarder*



Foto: SkogForsk

Petter Berggren & Philip Öhrman

Sveriges Lantbruksuniversitet
Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Kandidatarbete i skogsvetenskap, 15 hp
Handledare: Tomas Nordfjell, SLU, Inst för skogens biomaterial och teknologi
Bitr. handledare: Raul Fernandez Lacruz, SLU, Inst för skogens biomaterial och teknologi

Program: Jägmästarprogrammet

Kurs: EX0592 Nivå: G2E



Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Fakulteten för skogsvetenskap,
Sveriges lantbruksuniversitet

Enhet/Unit	Institutionen för skogens ekologi och skötsel / Department of Forest Ecology and Management
Författare/Author	Petter Berggren & Philip Öhrman
Titel, Sv	Jämförelse av tvåmaskinsystem med drivaren Komatsu X19
Titel, Eng	<i>Comparison between a two-machine system and Komatsu X19 harwarder</i>
Nyckelord/ Keywords	<i>Händelsestyrd simulering, skördare, skotare, drivare, ExtendSim/Discrete event simulations, harvester, forwarde, harwarder, ExtendSim</i>
Handledare/ <i>Supervisor</i>	Tomas Nordfjell, SLU, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi/Department of Forest Biomaterials and Technology Bitr. handledare: Raul Fernandez Lacruz, SLU, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi/Department of Forest Biomaterials and Technology
Examinator/Examiner	Tommy Mörling Institutionen för skogens ekologi och skötsel/ Department of Forest Ecology and Management
Kurstitel/Course	Kandidatarbete i skogsvetenskap Bachelor Degree in Forest Science
Kurskod	EX0592
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning på arbetet	15 hp
Nivå och fördjupning på arbetet	G2E
Utgivningsort	Umeå
Utgivningsår	2017

Förord

Denna studie har gjorts som ett kandidatarbete motsvarande 15 högskolepoäng i skogshushållning med inriktning på skogsteknologi. Studien är utförd vid institutionen för biomaterial och teknologi.

Vi vill tacka våra handledare Tomas Nordfjell och Raul Fernandez Lacruz (SLU) för bra stöd och Imagine That Inc. som tilldelade oss en licens i simuleringsprogrammet ExtendSim vilket gjorde det möjligt för oss att utföra denna studie.

Umeå, april 2017

Petter Berggren och Philip Öhrman

Sammanfattning

Det kommersiella skogsbruket använder sig idag nästan uteslutande av tvåmaskinsystem där skördare faller, kvistar, apterar och sorterar virket till olika högar på marken som därefter plockas upp av skotare vilken fraktar ut virket till bilväg. Systemet är välbeprövat och är inarbetat under årtionden. Tidigare försök till effektivisering har gjorts med en annan typ av system där en drivare sköter hela drivningsprocessen själv, främst vid gallring. Komatsu har utvecklat en ny drivare (X19) som inriktar sig mot slutavverkningar och ligger till grund för studien. Arbetet har gått ut på att med tidsstudier av de två konkurrerande systemen modellera och köra simulationer i ExtendSim. Simulationerna syftar till att ta reda på om, när och isåfall hur bra Komatsu X19 kan konkurrera med nuvarande tvåmaskinsystem.

Simulationsresultaten visar på att Komatsu X19 har signifikant mindre drivningskostnader vid små trakter och kort terrängtransportavstånd. Detta beror främst på transportkostnader av maskiner och att drivaren vinner tid på att aptera, till skillnad från tvåmaskinsystemet, virket direkt på lastbäraren.

Nyckelord: Händelsestyrd simulering, skördare, skotare, drivare, ExtendSim

Summary

The commercial forestry uses today almost exclusively a two-machine system where the harvester fells, twigs, cuts and sorts the wood on the ground and is then picked up by a forwarder which transports the wood from the forest to the road. The system is proven and has been developed for decades. Earlier attempts for efficiency have been made with another type of system where a harwarder manages the entire process, primarily at thinning. Komatsu has developed a new harwarder (X19) that focuses on final fellings and this machine is the motive for the study. The work has been to model and run simulations in ExtendSim with time studies of the two competing systems. The simulations aim to find out if, when and in that case, how good the harwarder can compete with the current two-machine system.

The simulation results show that the harwarder has significantly lower process costs during small objects with short terrain transport distances. This is mainly due to transport costs of the machines and that the harwarder reduces time during loadig while cutting the logs, unlike the two-machine system, directly to the cargo carrier.

Keywords: Discrete event simulation, harvester, forwarder, harwarder, ExtendSim

Innehållsförteckning

1 Inledning	7
1.1 Syfte	8
2 Material och metoder	9
2.1 Förutsättningar	9
2.1.1 Maskiner	9
2.1.2 Datainsamling	9
2.1.3 Momentindelning	11
2.2 Maskinkostnadskalkylering	14
2.3 Tidsåtgång	15
2.3.1 Drivare	15
2.3.2 Skördare	15
2.3.3 Skotare	15
2.4 Program	16
2.4.1 Adonis	16
2.4.2 ExtendSim	17
2.4.3 Excel	17
2.4.4 MiniTab	17
3 Resultat	18
3.1 Tidsåtgång	18
3.2 Kostnader	20
3.3 Känslighetsanalys	22
3.4 Produktivitet	23
4 Diskussion	25
4.1 Tidsåtgång	25
4.2 Kostnad	25
4.3 Produktivitet	26
5 Referenser	27
6 Bilagor	29
6.1 Adonis	29
6.1.1 Modell drivare	29
6.1.2 Modell skördare	30
6.1.3 Modell skotare	31
6.2 ExtendSim	32
6.2.1 Drivarsystemet	32
6.2.2 Tvåmaskinsystemet, TMS	38

1 INLEDNING

Vid avverkning av skog, främst i Europa, tillämpas idag en metod kallad cut-to-length (CTL) där hela träd upparbetas till timmer- och massavedsstockar. CTL-systemet använder sig av ett tvåmaskinsystem (TMS) d.v.s. ett system med en skördare och en skotare (Nurminen et al. 2006). Skogsbruket har dominerats av detta system sedan skördarna infördes på 1970-talet och i jakten på högre netto har TMS inarbetats väl och effektiviserats till den grad att man nu söker efter andra system med utvecklingspotential (Bergkvist, 2010).

Ett koncept som utvecklats under årens lopp är den så kallade drivaren. Drivaren är ett enmaskinsystem som utför hela drivningsprocessen själv med avverkning, aptering och skotning till bilväg. Den utveckling som skett sedan den första moderna drivaren, Pika 828 Combi som kom i slutet på 1990-talet, har tagit många steg i en allt mer kostnadseffektiv riktning genom det helt integrerade system som avverkning och skotning ger (Vesterlund, 2016).

År 2001 lanserades Valmet 801 Combi (Valmet, senare Komatsu Forest) där lastutrymmet kom i två olika varianter - ett fast lastutrymme för standardlängder med ett tvärlägg fram till för ved i 3 meterslängder (Bergkvist et al. 2002) och ett vrid- och tiltbart lastutrymme som i transportläge kunde dras fram något (Bergkvist et al. 2003). Under 2014 började Komatsu Forest att tillverka en drivarprototyp med slutavverkning som primärt användningsområde. Den baseras på ett skotarchassi (Komatsu 895) med beståndsdelar från skördarna Komatsu 911 och 931 och kom att gå under namnet X19. I spetsen på maskinkranen finns ett snabbfäste som möjliggör byte till skördaraggregat vid avverkning och till skotargrip vid lossning (Ågren et al. 2016).

Marknadspotentialen för drivaren har enligt Bergkvists (2010) teoretiska beräkningar visat sig vara betydligt större i Sverige än i Finland. Drivarsystemet gynnas i södra Sverige av korta terrängtransportavstånd och mindre objekt. TMS belastas då med större kostnader vid samma förhållanden eftersom det tillkommer fler flyttar. En slutavverkningsdrivare skulle därför teoretiskt sett kunna konkurrera på en del av den totala slutavverkningsvolymen.

Ett för drivaren fördelaktigt moment är lastmomentet där drivaren apterar och sorterar virket direkt på lastutrymmet i jämförelse med TMS som under apteringsmomentet sorterar virket på marken och därefter sorterar och lastar skotaren från marken till lastutrymmet. Ytterligare en vinst är att rundvirket inte tar i marken innan det har blivit skodat till väg, det smutsas alltså inte ned. Det är skillnader som i slutändan kan påverka både produktiviteten och kostnadseffektiviteten.

1.1 Syfte

Syftet med studien var att jämföra drivaren Komatsu X19 med ett konventionellt två-maskinsystem avseende tidsåtgång och kostnader vid varierande slutavverkningstrakter. Vid vilka specifika drivningsförhållanden kommer drivaren ha potential att konkurrera med två-maskinsystemet vid slutavverkning, hur stor är vinsten och hur känsligt är drivarsystemet för förändrade förutsättningar.

Vår hypotes var att Komatsu X19 bör kunna konkurrera i för drivaren fördelaktiga slutavverkningstrakter, dvs. kort terrängtransportavstånd och mindre volym. De besparingar som görs i mindre transportkostnader vid små avverkningar är en avgörande faktor.

2 MATERIAL OCH METODER

För att jämföra Komatsu X19 med motsvarande tvåmaskinsystem användes ExtendSim för att simulera en modellering av drivningsförfarandet för båda systemet. Med hjälp av tidigare genomförda tidsstudier (Jonsson et al. 2016) uppdelade på olika arbetsmoment kunde normer beräknas. Normer som sedan infördes i modeller i ExtendSim.

2.1 Förutsättningar

2.1.1 Maskiner

I Skogforsks tidsstudie har drivaren Komatsu X19 ett 365-aggregat och en lastkapacitet på 19 ton. I simuleringen jämför vi drivaren med en lika stor skotare (Komatsu 895) och en skördare (Komatsu 941) med ett jämlikt aggregat.

Tabell 1. Tekniska data för Komatsu X19, 895 och 941

Specifikationer	Komatsu X19	Komatsu 895	Komatsu 941
Tillverkningsår	2014	2015	2012
Motoreffekt, kW	193	193	210
Kranlängd, m	9,7	10	10
Lastkapacitet, ton	19	20	-
Aggregat	365	-	370
Griparea	0,36	0,4	-

2.1.2 Datainsamling

Som bas för att simulera användes publicerade kvantitativa tidsstudier för drivarens, skördarens och skotarens arbete i slutavverkningsbestånd. De mest användbara tidsstudierna återfanns i två av Skogforsks arbetsrapporter, arbetsrapport 911 -2016 (Jonsson et al. 2016) och arbetsrapport 912 -2016 (Jonsson et al. 2016). Dessa rådata har presenterats i olika arbetsmoment som sedan använts i simuleringen. Då flera olika trakter använts i arbetsrapporternas tidsstudier med exempelvis olika medeltransportavstånd, förare och medelstamsvolym, gick det på ett enkelt sätt få en indikation på hur parametrarna påverkar produktiviteten. Tiderna per arbetsmoment som användes är medelvärden från Skogforsks arbetsrapporter (tabell 2).

Jonsson et al. (2016) utförde sina studier utanför Sollefteå med goda grundförhållanden och medelgrov skog samt i bestånd i Västerbottens län med bra grundförhållanden och talldominerade bestånd. Två maskinförare studerades i förstnämnda studien och en i den andra. Maskinförarna fick köra både drivare och skördare för att få en bättre jämförelse mellan maskinerna. Maskinerna är utvalda för att vara jämbördiga varandra vid en förnygringsavverkning.

Tabell 2. Tidsstudier som utnyttjats för simuleringarna. Högra kolumnen med tider för X19 tillhör arbetsrapport 911 -2016 (Jonsson et al. 2016). De övriga kommer från arbetsrapport 912 -2016 (Jonsson et al. 2016)

Maskin	X19		941		895		X19		
Förare	A	B	A	B	A	B			
Beståndsvariabler									
Medelstamvolym	0,38	0,38	0,32	0,36	0,32	0,36	0,32	0,32	0,21
Enkelt terrängtransportavstånd	262	274	-	-	387	319	380	250	198
Antal sortiment per lass	4,2	4			2,8	3,1	3	2	3,8
Antal sortiment på objektet	5	5			5	5	3	2	6
Volymtäthet, m ³ fub/ha	159	172	238		238		167	167	182
Stamantal/ha	413	451	690		690		558	558	930
Ytstruktur	2	2	2	2	2	2	1	1	2
Lutning	1	1	1	1	1	1	1	1	3
Avverkningsarbete, sekunder/stam									
Kran ut	3,9	3,4	3,3	3,3			4,3	3,3	5,3
Fällning	3,3	2,7	2,3	2,2			2,4	2,7	2,4
Intagning	4,9	4	3,2	2,5			4,5	4,3	4,3
Kvistning/ kapning	14,8	14,1	10,3	11,4			14,2	13,3	11,3
Topp	1,1	1,1	2,3	1,8			1,3	1,3	1,6
Kran in			0,1	0,1					
Körning	7,1	5,9	3,2	2,6			3,6	4,2	4,5
Vridning av lastbärare	1,5	0,9					2,7	2	2
Röjning	0,4	0,2					0	0	0,4
Körning till/från			2,4	1			0	0	0
Skotningsarbete, minuter/lass									
Kran ut					2,59	2,22			
Gripa					2,19	1,99			
Sammanföring					0,24	0,44			
Kran in					4,58	3,21			
Jämndragning					0,19	0,1			
Släppa					1,91	1,54			
Tillrättläggning	1,6	0,4			1,05	0,44			
Tomkörning	4,57	4,91			6,88	5,54	7,76	3,8	4,83
Körning under lastning					5,37	2,38			
Körning full	4,91	5,56			6,02	6,21	5,63	4,61	4,74
Av aggregat	0,59	0,39					0,49	0,47	0,47
På grip	0,28	0,35					0,48	0,38	0,51
Av grip	0,24	0,21					0,42	0,32	0,28
På aggregat	0,58	0,3					0,48	0,38	0,51
Lossning	8,04	7,06			6,07	4,97	9,08	6,17	7,35
Körning vid avlägg	0,54	0,97			0,55	0,71	1,59	0,09	0,97
Antal krancykler i lossning	27	28			18	19	28	24	25
Gemensamma moment, X19 och 895 redovisas som minuter/lass, 941 som sekunder/stam									
Övrigt	0,1	0,03	0,36	0,16	0,04	0,02	0	4,5	0
Störning	4,49	0,1	1,29	1,36	1,9	1,14	2,7	1,7	3,3
Totaltid, X19 och 895 redovisas som minuter/lass, 941 som sekunder/stam									
Samtliga moment utom röjning									
	55,3	50,1	26,6	24,2	37,7	29,8	67,1	55,2	74,6

Observera att tiderna är ojusterade medeltider vilket innebär att en direkt jämförelse ej går att statistiskt säkerställa.

2.1.3 Momentindelning

Momentindelningen (Tabell 3) och de tidsstudier (Tabell 2) som ligger till grund för vår studie är tagna från arbetsrapport nr. 911, 912 (Jonsson et al. 2016).

Tabell 3. Beskrivning av ingående arbetsmoment för maskinerna X19, 941 och 895

Kategori och moment	ID	Maskin	Beskrivning
<u>Avverkningsarbete</u>			
<i>Kran ut</i>	1	X19, 941	Från att topp släpps till att aggregat är 0,5 meter från avverkningsstam.
<i>Fällning</i>	2	X19, 941	Slutar när avverkningsstammen lättar från stubben.
<i>Intagning</i>	3	X19, 941	Slutar när aggregatet börjar mata stammen.
<i>Kvistning/kapning</i>	4	X19, 941	Slutar när sista virkesbiten kapas.
<i>Topp</i>	5	X19, 941	Slutar när toppen släpps ur aggregatet.
<i>Kran in</i>	6	941	Slutar när kranen passerar framför maskinen.
<i>Justering</i>	7	X19	Justering av virke på lastbäraren.
<i>Körning</i>	8	X19, 941	Börjar när hjulen börjar snurra inför flytt till ny uppställningsplats och slutar när hjulen stannar.
<i>Vridning av lastbärare</i>	9	X19	Börjar när lastbäraren börjar röra sig och slutar då lastbäraren stannar.
<i>Röjning</i>	10	X19, 941	Röjning av underväxt med aggregat. Börjar när aggregatet är 0,5 meter från underväxten och slutar när aggregatet släpper underväxten.
<i>Körning till/från</i>	11	941	Börjar när hjulen börjar snurra inför transportsträcka mellan avverkningsplats och koja, slutar när hjulen stannar.
<u>Skotningsarbete</u>			
<i>Kran ut</i>	12	895	Från att grip släppt virke tills gripen vidrör virke på marken.
<i>Gripa</i>	13	895	Slutar när gripen lyfts med virke i gripen.
<i>Sammanföring</i>	14	895	Från att grip vidrör virke tills grip lyfts med virke i gripen.

<i>Kran in</i>	15	895	Slutar när gripen är mitt över lasset.
<i>Jämndragning</i>	16	895	Jämndragning av virket mot grinden under lastning. Slutar när virkesknippe släppts.
<i>Tillrättaläggning</i>	17	X19, 895	Justering av virke på lastbäraren.
<i>Tomkörning</i>	18	X19, 895	Körning från avlägg till lastningsplats.
<i>Körning under lastning</i>	19	895	Körning under pågående lastning. Från att hjulen börjar snurra tills de slutar snurra vid nästa uppställningsplats.
<i>Körning fullastad</i>	20	X19, 895	Körning från lastningsplats med fullt lass till avlägg.
<i>Av aggregat</i>	21	X19	Från att maskinen saktar in inför redskapsskifte tills aggregatet lossats från kranspetsen.
<i>På grip</i>	22	X19	Slutar när maskinen återupptar körning mot avlägg med gripen monterad.
<i>Av grip</i>	23	X19	Från att maskinen saktar in inför redskapsskifte tills gripen lossats från kranspetsen.
<i>På aggregat</i>	24	X19	Slutar när maskinen återupptar körning mot avverkningsplats med aggregatet monterat.
<i>Lossning</i>	25	X19, 895	Från att gripen flyttas mot lastbäraren inför första krancykeln i lossningen tills gripen återgår efter lossningens sista krancykel inför transport mot avverknings-/lastningsplats.
<i>Körning vid avlägg</i>	26	X19, 895	Körning vid avlägg. Från att hjulen börjar snurra tills de slutar snurra vid nästa uppställningsplats.
<u><i>Gemensamma moment</i></u>			
<i>Övrigt</i>	27	X19, 941, 895	Övrigt arbete som är nödvändigt för drivningen, exv. risning av basväg.
<i>Störning</i>	28	X19, 941, 895	Arbete som inte är nödvändigt för drivningen, exv. telefonsamtal.

De mer övergripande arbetsmomenten vilka innehåller underkategorier och underliggande arbetsmoment är avverkning, avverkning/lastning, skotning, körning tom/full, lossning, aggregatbyte och avbrott/störning.

För att förenkla simuleringen sammanfördes delmomenten och fördes in under respektive huvudmoment vilket visas nedan. (Tabell 4)

Tabell 4. Påverkande arbetsmoment för Komatsu 941, 895 och X19 med tillhörande underliggande arbetsmoment

Påverkande arbetsmoment	Beskrivning	Moment (från tabell 1, ID)	Maskin
<i>Avverkning och lastning</i>	Pågick under tiden som drivaren utförde alla moment kopplade till avverkning och skotning.	1 – 10, 12 - 17	X19
<i>Avverkning</i>	Pågick under tiden skördaren utförde avverkning ute vid trakten.	1 – 6, 8, 10	941
<i>Lastning</i>	Pågick under tiden skotaren utförde lastning ute vid trakten. Slutade då sista stocken var lastad.	12 – 20	895
<i>Körning, tom/full</i>	Pågick då hjulen rullade från lastplats till avlägg, på avlägget och transport tillbaka till lastplatsen.	11, 18 - 20, 26	X19, 895
<i>Lossning</i>	Började när hjulen slutat rulla vid avlägg/lastbäraren justeras inför lossning eller när kranen gick mot lasset. Slutade när sista stocken var lossad och hjulen började rulla mot beståndet.	25	X19, 895
<i>Aggregatbyte</i>	Började när hjulen slutat rulla vid avlägget vid plats för aggregatbyte. Slutade när hjulen började rulla för transport mot avlägget för lossning eller lastplatsen ute på trakten.	21 - 24	X19
<i>Avbrott/störning</i>	Pågick under tiden då den för stunden gällande aktiviteten inte utfördes.	27, 28	X19, 941, 895

2.2 Maskinkostnadskalkylering

Excel har använts för att beräkna fasta och rörliga kostnader för drivare och TMS. Dessa kostnader skalas ned till kostnad per G15-timme per maskin och alla maskinerna körs i tvåskift. Förarlöner innehåller lön, arbetsgivaravgifter, ersättning för resor och ersättning för obekvämt arbetstid. Drivmedelskostnad innehåller kostnader för olja och diesel.

Maskinernas timkostnader ligger något lägre än tidigare studier, vi har räknat på samma sätt för samtliga maskiner. Notera att vi inte har räknat på vinstmarginal. Alla kostnader är tagna från arbetsrapportens bilaga med några ändringar (Jonsson et al. 2016). Flyttkostnaden sattes till 2000 kr/maskin.

Tabell 5. Formler för kostnadsberäkning

Förklaring	Formel
Ammorteringsfaktor :	$A = \frac{i \times (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$
Restvärdets nuvärde (kr):	$R_n = R \times (1 + i)^n$
Kapitalkostnad (kr/år):	$K_{kap} = (I - R_n) \times A$
Rörlig kostnad (kr/h):	$K_{rörl} = K_{ur} + K_{driv} + K_{för}$
Fast kostnad (kr/h):	$K_{fast} = (K_{kap} + K_{uf}) / S$
Timkostnad maskin (kr/h):	$K_T = K_{fast} + K_{rörl}$
Drivningskostnad maskin (kr/m ³):	$K_D = K_T / P$

Tabell 6. Underlag för kostnadsberäkningar gällande alla maskiner.

Förklaring	Drivare	Skördare	Skotare	Enhet
Ekonomisk livslängd (n)	5	5	5	år
Amorteringsfaktor (A)	0,22	0,22	0,22	
Restvärdets nuvärde (R _n)	1 130 127	753 418	764 241	kr
Investering (I)	6 000 000	4 000 000	3 500 000	kr
Förarlön (K _{för})	300	300	300	kr
Drivmedelskostnad (K _{driv})	194,4	195,9	185,4	kr
Rörlig underhållskostnad (K _{ur})	190	200	160	kr
Systemtid (S)	2 800	2 800	2 800	h/år
Fast underhållskostnad (K _{uf})	70 000	70 000	35 000	kr
Kapitalkostnad (K _{kap})	1 063 358	708 906	597 365	kr
Rörlig kostnad (K _{rörl})	684,4	695,9	645,4	kr
Fast kostnad (K _{fast})	404,77	278,18	225,85	kr
Timkostnad för maskin (K _t)	1 089,17	974,08	871,25	kr/h

Maskintidkostnaden har utifrån kalkylen beräknats till:

- 1 089 kr/G₁₅-timme för X19
- 974 kr/ G₁₅-timme för 941
- 871 kr/ G₁₅-timme för 895

Enligt den nordiska skogsarbetsstudienomenklaturen från 1978 definieras G₁₅-tiden som ”den tid (G) som åtgår för arbetsuppgiftens egentliga lösande jämte smärre uppehåll vars längd inte överskrider 15 minuter per tillfälle”

2.3 Tidsåtgång

2.3.1 Drivare

För Komatsu X19 (drivare) förklaras avverkningstiden (s/stam) av stamvolym. Ett genomsnitt av de sammanslagna avverkningsmomenten har använts vilket resulterade i en norm enligt nedan.

$$B = 22,3 + 29,2 \times \text{stamvolym}$$

$$B = \text{bearbetningshastighet, s/stam}$$

$$\text{stamvolym} = \text{volym/för enskild stam, m}^3 \text{ fub}$$

Skotningstiden (s/lass) förklaras av terrängtransportavstånd. Ett genomsnitt av drivarens skotningstider beroende av terrängtransportavstånd har använts för att få fram norm enligt nedan. Formeln inkluderar tid för körning full och tom. I simuleringsmodellen finns normalfördelade randomiseringsmoduler med uträknad standardavvikelse för varje konstant.

$$B = 1,626 + 8,372 + 0,04615 \times \text{stamvolym}$$

2.3.2 Skördare

För Komatsu 941 (skördare) förklaras avverkningstiden per stam av medelstamsvolym, mst. Då data från tidsstudierna är otillräcklig är normen enligt Skogforsks arbetsstudie (Jonsson et al. 2016).

$$B = \frac{30,9 + 32,3 \times \text{mst}}{\text{mst}} / 100$$

$$\text{mst} = \text{volym medelstam m}^3 \text{ fub}$$

2.3.3 Skotare

För Komatsu 895 (skotare) förklaras skotningstiden (min/lass) av främst terrängtransportavstånd. I simuleringsmodellen finns normalfördelade randomiseringsmoduler med uträknad standardavvikelse för varje konstant.

$$B = 15,22 + 6,15 + 0,035 \times TTA$$

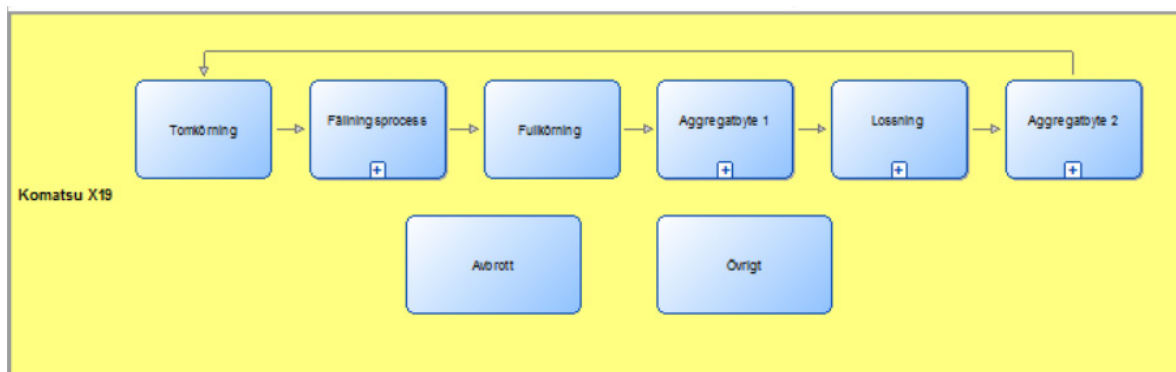
$$TTA = \text{Terrängtransportavstånd, m}$$

2.4 Program

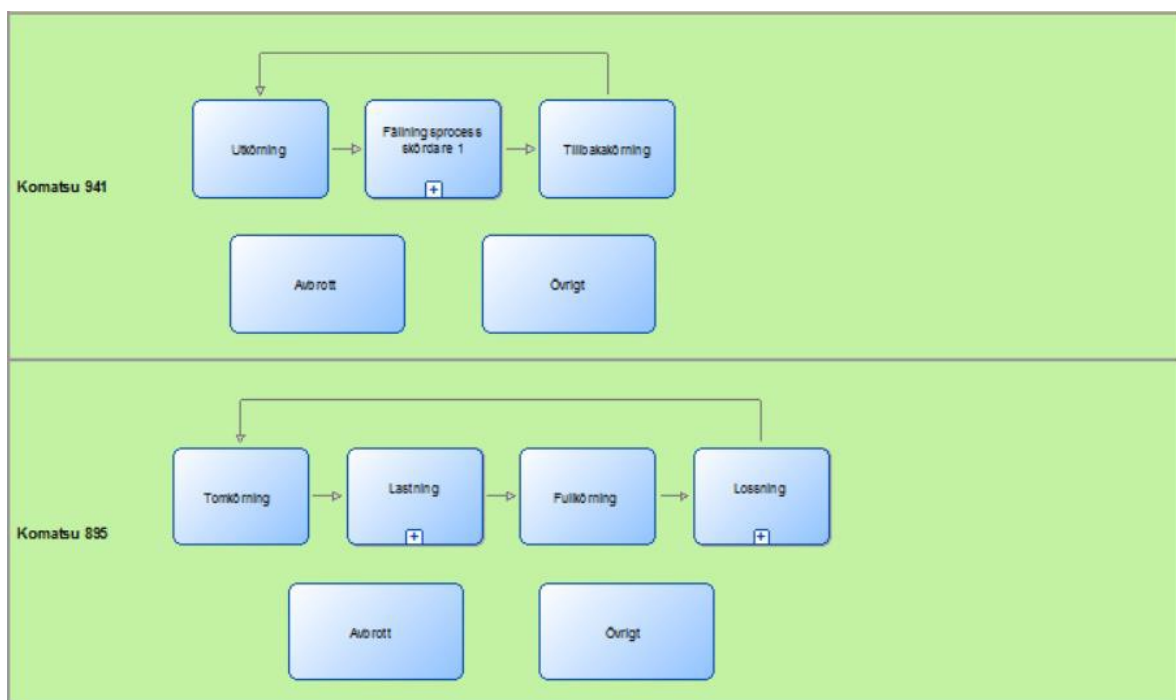
I arbetet med att jämföra systemen gjordes först modeller över de olika arbetscyklerna. (Figur 1, 2) Senare skulle modellerna visualiseras tydligare och kopplas till ett simuleringsprogram som kunde omsätta insamlade data till ett analyserbart resultat. Analyser gjordes i Excel och MiniTab.

2.4.1 Adonis

Med hjälp av ADONIS:CE som är ett modelleringsverktyg för processer i och för ett brett spektra av verksamheter. I figur 1 och 2 visas modelleringen av de två olika systemen med tillhörande övergripande arbetsmoment.



Figur 1. Övergripande modell över arbetsmoment för drivaren



Figur 2. Övergripande modell över arbetsmoment för (överst) skördare och (nederst) skotare

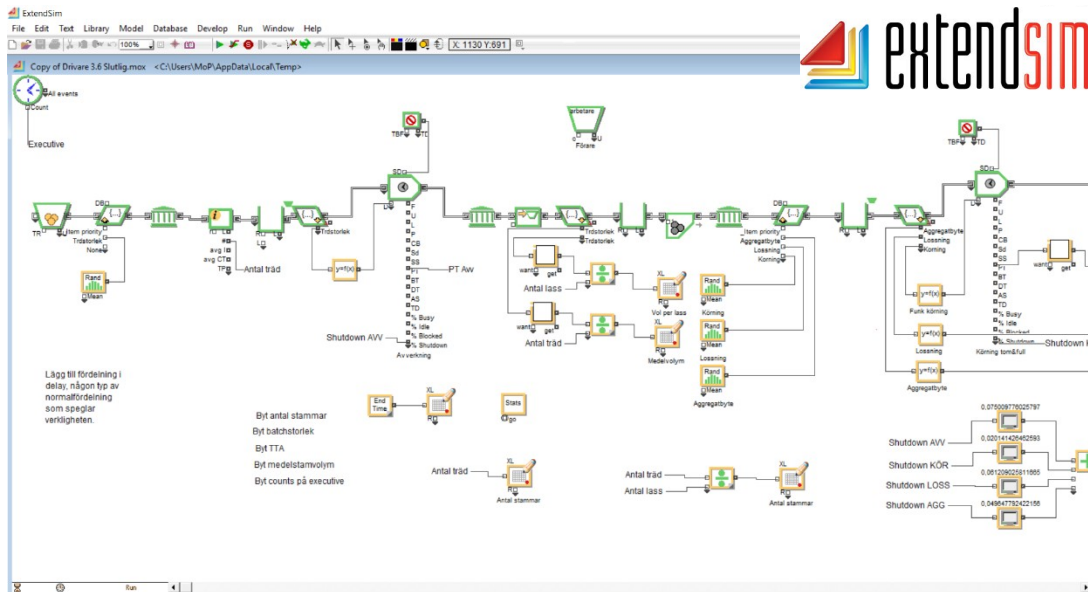
De mer detaljerade och specifikt modellerade arbetsmomenten för varje maskin återfinns i bilaga 6.1.

2.4.2 ExtendSim

ExtendSim som är ett kraftfullt verktyg för processsimulering användes för att simulera tidsåtgång i drivnings- och TMS-processen.

Inledningsvis söktes en licens för programmet. Efter erhållen licens inleddes en inlärningsperiod om tre veckor för att förstå och utveckla en modell som senare skulle användas för att simulera och generera användbara data.

Fremst utnyttjades programmet för att efter olika förutsättningar och slumpmässiga händelser påverka maskinernas arbetsförlopp.



Figur 3. Modellerad del av simuleringsprocess i ExtendSim för drivare

Komplett beskrivning över genomförande och modellbyggande i ExtendSim för drivare och TMS återfinns i bilaga 6.2.

2.4.3 Excel

Allt rådata som skapades i simuleringsprogrammet (ExtendSim) kopplades till Excel. Analyser och beräkningar är till grund för resultaten och den diskussion som följer.

2.4.4 MiniTab

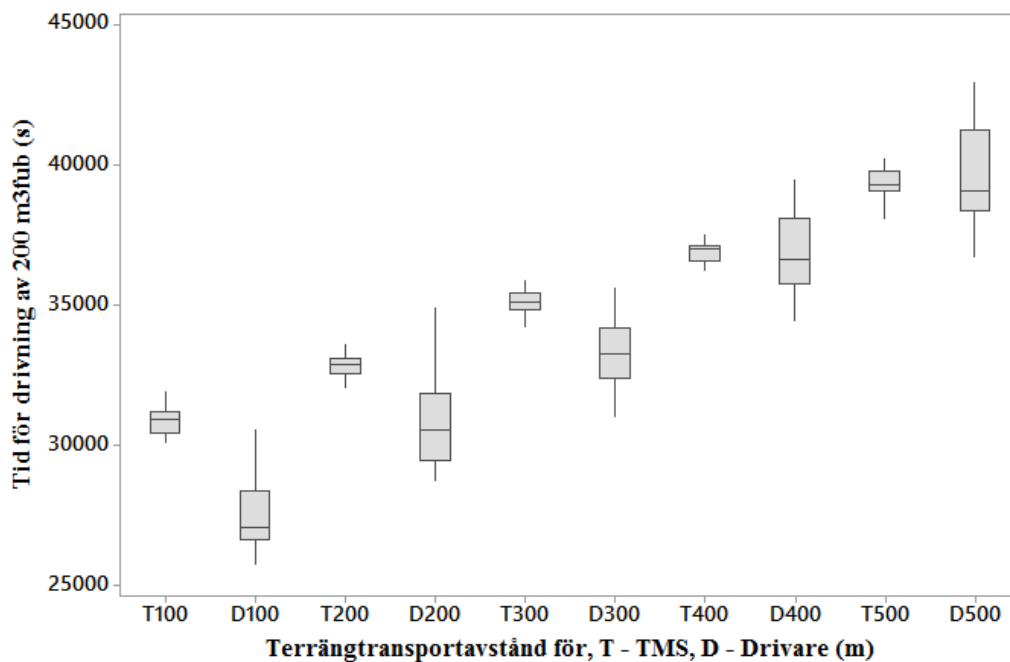
MiniTab som är ett mjukvaruprogram för att statistiskt analysera data har använts för att kunna dra slutsatser om det data som genererats i ExtendSim och vidare i Excel.

3 RESULTAT

3.1 Tidsåtgång

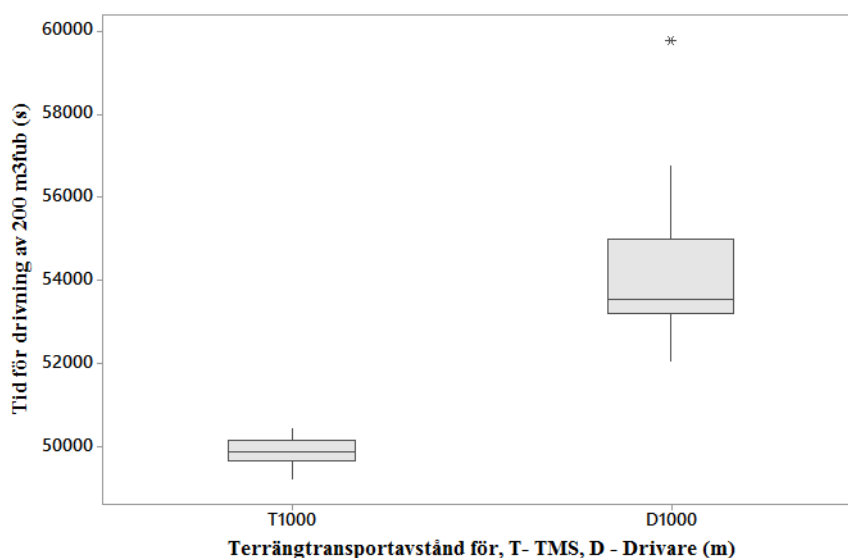
Tidsåtgången (s) är den enhet som i simuleringsprogrammet lett till den i slutändan beräknade produktiviteten.

En boxplot kan förtydliga sambandet mellan tidsåtgång och TTA. I figur 4 avtar tidsåtgången mer per 100 meter för TMS än för drivaren vilket visar på fördel för drivaren vid korta TTA.



Figur 4. Boxplot över tidsåtgångar som är kopplade till respektive system och avstånd (TTA). Medelstamsvolym = 0,4 m³fub.

När TTA har ökat till 1000 m (figur 5) så är TMS förbi och drivaren kan inte längre konkurrera vad gäller tidsåtgång (och produktivitet). Nu är den signifikanta skillnaden till TMS fördel dvs. TMS har lägre total tidsåtgång än drivaren.



Figur 5. Boxplot över tidsåtgångar som är kopplade till respektive system och avstånd (TTA). Medelstamsvolym = 0,4 m³fub.

För att statistisk redogöra för eventuella skillnader mellan drivare och TMS har ett flertal parade T-test utförts med resultaten som följer i tabell 7 och 8. Nollhypotesen är att drivare och TMS är lika tidseffektiva. Ett högt/lågt T-värde ($T \geq 3$) med tillhörande lågt p-värde ($p \leq 0,05$) visar på signifikant skillnad mellan systemen där drivaren har konkurrensfördel. När T-värdet närmar sig negativa värden ($-3 \geq T$) med tillhörande $p \leq 0,05$ då är den signifikanta skillnaden till TMS fördel.

Tabell 7. Parat T-test där medelstamsvolymen = 0,4 m³fub

	Terrängtransportavstånd (m)					
	100	200	300	400	500	1000
T-värde	11,54	6,99	8,6	0,06	-0,79	-13,44
p-värde	0,000	0,000	0,000	0,952	0,435	0,000

Konfidensintervall: 95 %

Vid en ökad medelstamsvolym (tabell 7) förskjuts drivarens fördel än mer åt ett längre TTA och en signifikant skillnad finns nu vid TTA = 400. De båda systemen visar på jämbördighet vid TTA = 400 och 500.

Om medelstamsvolymen förändras till 0,6 m³fub (tabell 8) sker en förskjutning till TTA = 500 där drivarsystemet inte längre skiljer sig signifikant från TMS men är konkurrenskraftig vid TTA = 400.

Tabell 8. Parat T-test där medelstamsvolymen = 0,6 m³fub

	Terrängtransportavstånd (m)					
	100	200	300	400	500	1000
T-värde	16,26	12,62	7,93	3,26	-0,53	-11,06
p-värde	0,000	0,000	0,000	0,003	0,600	0,000

Konfidensintervall: 95 %

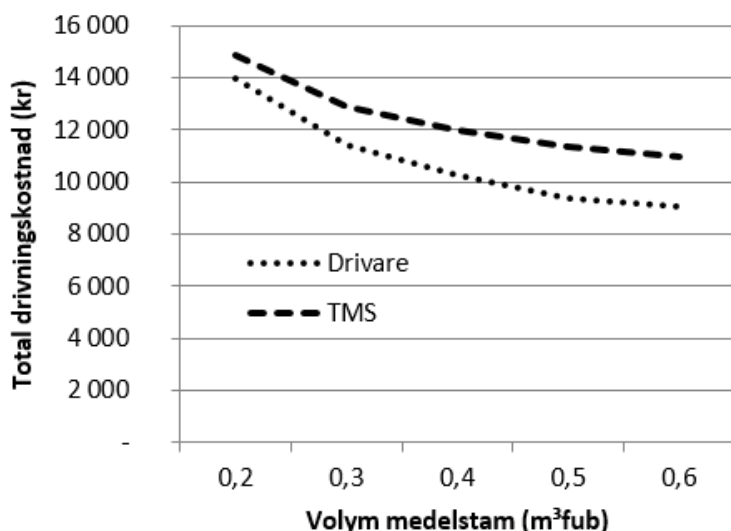
3.2 Kostnader

Resultaten är hämtade från det Exceldokument som kopplats med ExtendSim i de två modeller som simulerat drivare respektive skördare/skotare.

Tabell 9. Avverkningsvolym som påverkande faktor

Avverkningsvolym (m ³ fub)	Terrängtransportavstånd, TTA (m)	Medelstam (m ³ fub)	Figur
200	100	0,2 - 0,6	6
1000	100	0,2 - 0,6	7

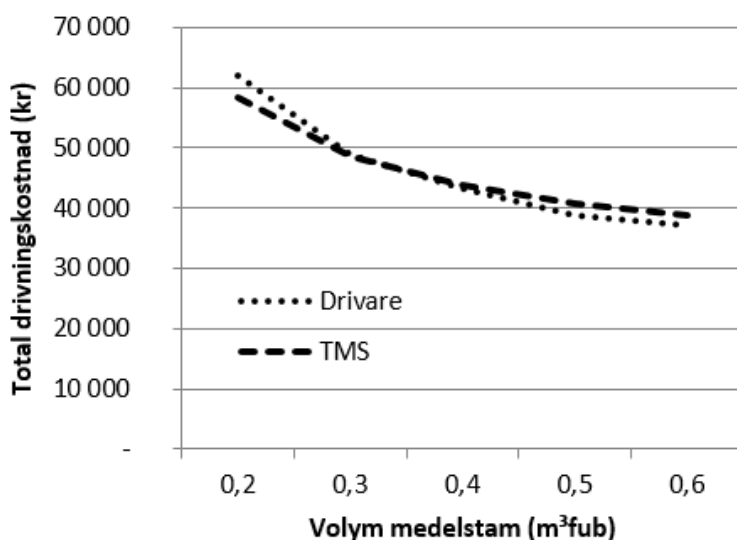
Det som påverkar resultaten för drivaren är avverkningsmomentet som är beroende av medelstamsvolym och totalvolym samt TTA (Tabell 9). Mindre medelstam för avverkning ger högre tidsåtgång vilket ger utslag på en högre kostnad (Figur 6). Flyttkostnaden var satt till 2000kr/maskin i alla jämförelser.



Figur 6. Kostnadsjämförelse. Avverkningsvolym = 200 m³fub, TTA = 100 m

Kostnaden för drivaren minskar mer än för TMS då medelstamsvolymer ökar givet en avverkning på 200 m³fub. Här är lönsamheten för en drivare högre och den har en konkurrensfördel när avverkningsvolymen är låg och TTA är kort.

När avverkningsvolymen ökas till 1000 m³fub är kostnaderna för drivaren och TMS jämbördiga. Endast små avvikelser sker till respektive systems fördel. Vid medelstam = 0,2 m³fub har TMS en fördel på ca 4 %, vid 0,3 m³fub har den skiftat till drivarens fördel med 1 % och vid 0,5 m³fub är fördelen som störst för drivaren, nämligen 8 %.



Figur 7. Kostnadsjämförelse. Avverkningsvolym = 1000 m³fub, TTA = 100 m

Drivaren visar att den kan konkurrera med TMS vid avverkningar upp till 1000 m³fub utan att skilja sig avsevärt då TTA är satt till 100 m. När TTA förändras till 200, 300, 400, 500 respektive 1000 m sker en tydlig förändring i tidsåtgång för drivaren. Tiderna ökar vilket minskar övertaget som drivaren har vid korta TTA. Om volymuttaget är detsamma för simuleringar med olika TTA kommer endast tiden för terrängtransporten att ge utslag på resultatet då tiden för avverkning inte avviker mer än 1 %.

Om resultatet visar ett negativt värde (grå markering, tabell 10) så är det till fördel för TMS, positivt värde visar fördel för drivare. Raden för TTA = 100 m beskriver resultaten för figur 6 och 7. Övriga rader visar hur mycket TMS närmar sig eller går ifrån drivaren i procent (%) när avverkningsvolym och TTA ökar. Drivarens konkurrenskraft minskar med ökande TTA och avverkningsvolym.

Tabell 10. Skillnader på total drivningskostnad mellan drivare och TMS i procent (%) beroende av TTA och avverkningsvolym med en medelstam = 0,3 m³fub. Flyttkostnad 2000 kr per maskin

TTA (m)	Avverkningsvolym (m ³ fub)				
	200	300	400	700	1000
100	20	13	9	4	1
200	17	10	6	1	-2
300	14	7	4	-2	-4
400	10	3	0	-5	-8
500	7	2	-3	-8	-10
1000	-4	-9	-12	-16	-17

3.3 Känslighetsanalys

Ränta

Om räntan förändras kommer även maskinkostnaden per timme för drivare att förändras med ungefär 1,2 procentenheter per 1 procentenheters förändring. För samma premisser med förändrad ränta ger för skördaren en ökad kostnad på 0,9 procent per procentenheter. För skotaren är kostnadshöjningen mindre och endast 0,5 procent per 1 procent skillnad i räntehöjning. Skillnader i konsekvenser av ränteförändringar är helt naturligt med tanke på att drivaren är betydligt dyrare i inköp än skördare eller skotare och utgör alltså en större del av maskinkostnaden.

Flyttkostnad

Flyttkostnaden har en stor inverkan på resultatet av hur mycket drivaren skiljer sig från TMS, framförallt då transportavståndet är långt och kostnaden hög. Vid en låg kostnad/maskin (Tabell 11) blir det fördelaktigt att använda TMS (grå markering, Tabell 11, 12) vid näst intill alla slutavverkningsbestånd.

Tabell 11. Skillnader i total drivningskostnad där flyttkostnad = 1000 kr. Tabellresultaten visar skillnad i procent (%).

TTA (m)	Avverkningsvolym (m ³ fub)				
	200	300	400	700	1000
100	5	2	0	-2	-3
200	2	-1	-3	-5	-6
300	0	-3	-5	-7	-8
400	-4	-7	-8	-10	-11
500	-6	-9	-10	-12	-13
1000	-15	-17	-18	-20	-20

Om flyttkostnaden ökas så märks en tydlig skillnad där enmaskinsystemet kan ta sig an en större del av trakter med längre TTA och högre avverkningsvolym.

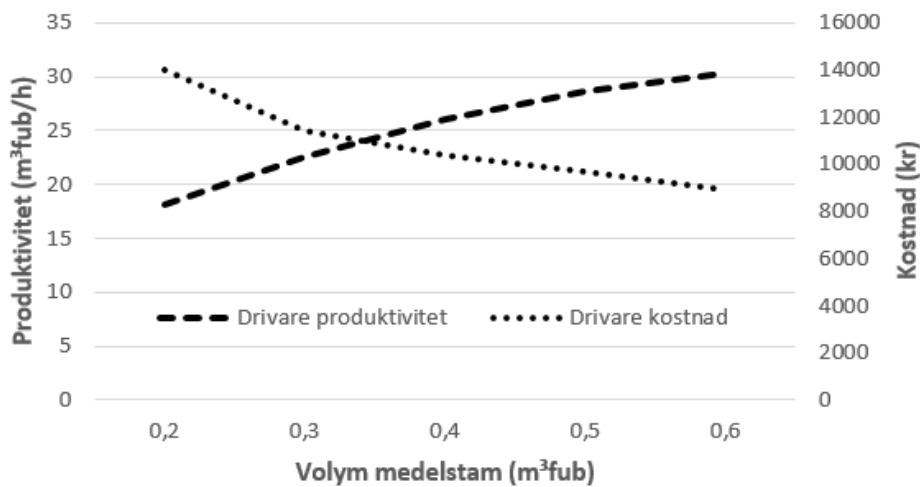
Tabell 12. Skillnader i total drivningskostnad där flyttkostnad = 3000 kr. Tabellresultaten visar skillnad i procent (%).

TTA (m)	Avverkningsvolym (m ³ fub)				
	200	300	400	700	1000
100	20	13	9	4	1
200	17	10	6	1	-2
300	14	7	4	-2	-4
400	10	3	0	-5	-8
500	7	1	-3	-8	-10
1000	-4	-9	-12	-16	-17

I förlängningen av allt mer ökad flyttkostnad så ökar möjligheterna för drivaren just för att den blir mer kostnadseffektiv.

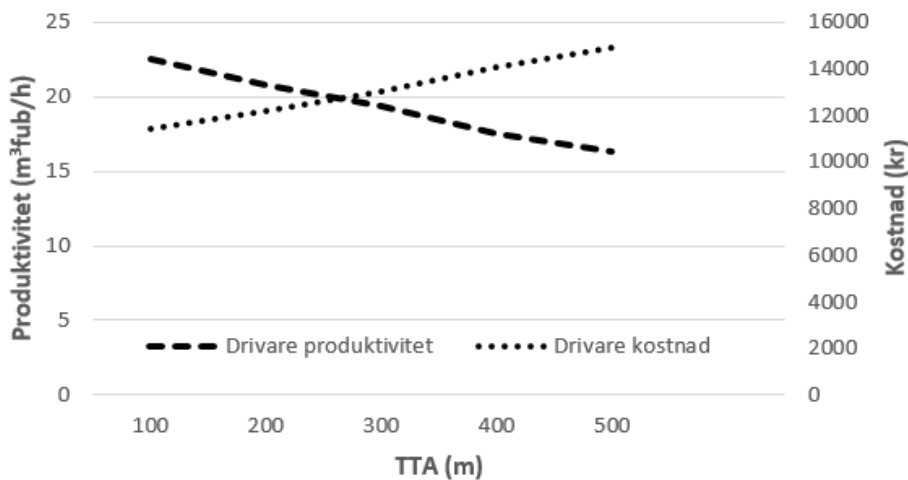
3.4 Produktivitet

Produktiviteten för drivaren ökar när medelstamsvolymen ökar. Kostnaderna minskar däremot med ökad medelstamsvolym.



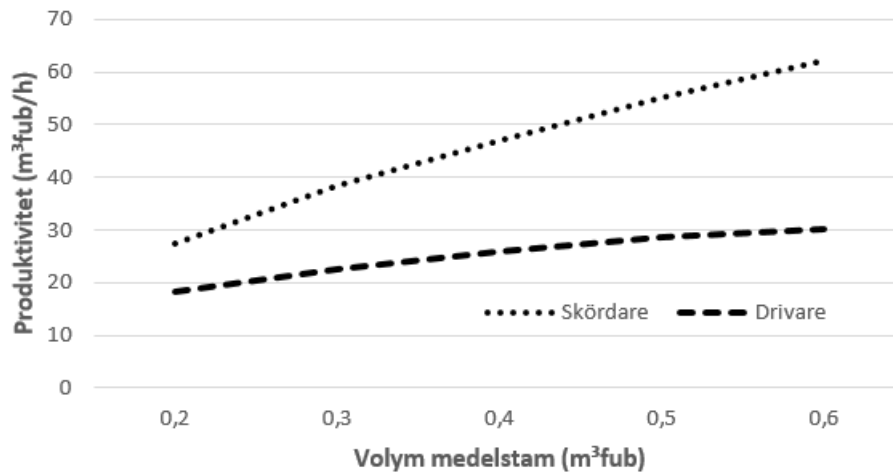
Figur 8. Drivarens produktivitet och kostnad med avseende på medelstamsvolym. Avverkningsvolym = 200 m³fub.

Produktiviteten minskar för drivaren när TTA ökar. Med ett ökat TTA så ökar även kostnaderna per m³fub.



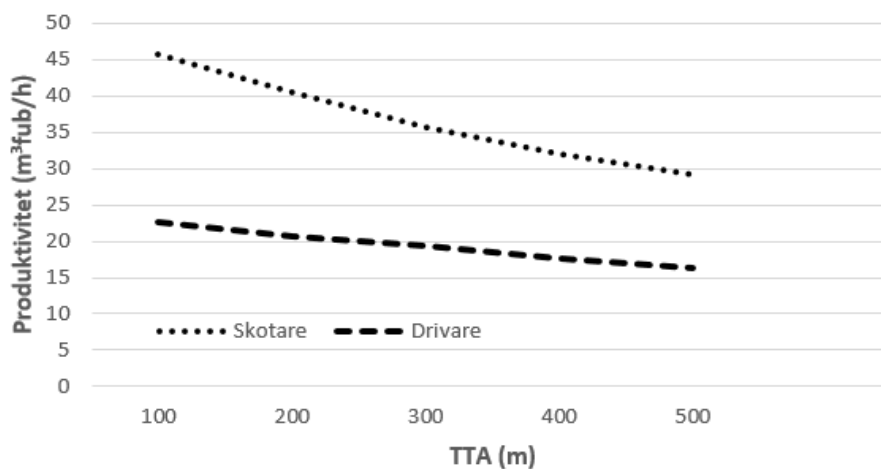
Figur 9. Drivarens produktivitet och kostnad med avseende på TTA. Avverkningsvolym = 200m³fub.

Produktiviteten kan sägas vara tydligt högre för skördaren än för drivaren. Skördarens enda uppgift är att avverka och sortera virket medan drivaren påverkas av ett lass som behöver tömmas vilket påverkar produktiviteten som blir lägre. Ett tillägg är TTA (100 m) som är inräknat för drivaren. En första terrängtransport för skördaren är inte inräknad vilket kan ge en liten förändring men i jämförelse med drivaren som påverkas av TTA varje gång lasset är fullt så är produktivitetsskillnaden som visas i figur 10 fortfarande stor.



Figur 10. Jämförelse av skördare och drivare med avseende på produktivitet.

Vid en jämförelse mellan skotare och drivare över produktivitet så kan det även här uttydas att drivaren ligger efter. De korta avstånden visar på högst produktivitet för båda maskinerna.



Figur 11. Jämförelse av skotare och drivare med avseende på produktivitet.

De separata jämförelserna (figur 10 och 11) visar en lägre produktivitet för drivaren. Detta kan förklaras i att hela drivningsprocessen är inräknad i produktiviteten för just drivaren.

4 DISKUSSION

De resultat simuleringarna visar är att drivaren Komatsu X19 kommer kunna konkurrera med likvärdiga TMS vid slutavverkningsbar skog. De största vinsterna finns främst då transportkostnader är höga, terrängtransporter korta och där avverkningsvolymerna är mindre (tabell 10 och 12). Detta går i linje med tidigare studier (Kärhä et al. 2008, Bergkvist et al. 2003) och ger vikt åt hypotesen.

Simuleringsresultaten visar på en ökad konkurrenskraft för drivare vid högre medelstamsvolym. Detta går emot arbetsrapporterna som studerats (Jonsson et al. 2016) men får stöd hos Lindroos (2011) teoretiska analyser. Resultatet bör ses som en jämförelse mellan systemen i sin helhet, främst procentuella skillnader. Produktionen kan inte användas som en framtida norm för drivare, skördare eller skotare då de erfarna förarna som ingått i tidsstudien presterar betydligt bättre än gemene skogsmaskinsförare och att större avbrott inte kommer fångas in av mindre studier.

För att göra modellen så enkel som möjligt har körning tom och körning full bakats ihop, detta tvärt emot Nurminen et al. (2006) men i linje med Talbot et al. (2003). Vinstmarginaler i jämförelsen mellan maskinsystemen har inte tagits med då olika aktörer har olika stora vinstkrav.

4.1 Tidsåtgång

Tidsstudierna som beräkningarna baserats på är relativt begränsade i sin omfattning. Tiderna för arbetscyklerna är normalfördelade och bedöms tillräckligt bra i jämförelsen av drivningssystemen. Tiden *övrigt* (Tabell 2) har ej använts i simuleringen då den är relativt lika för alla testade maskiner. Arbetsmomentet innefattar risning av basväg, byggande av vattenövergång mm. Tiden för variabeln *övrigt* är mycket beroende av drivningstrakten.

Storlekar på lass som körs av drivare och skotare kommer variera relativt kraftigt i modellen eftersom trädstorlekar randomiseras med lognormal fördelning och standardavvikelse på 0,2 m³fub. Detta medför att modellen ibland räknar på överlass och underlass. Detta påverkar inte antal lass eller storleken på ett medellass då tidsåtgången i resultatet blir lika.

Tidsskillnader, beroende på sortiment för drivaren, är en aspekt som inte räknats på. Enligt skogsforsks arbetsrapporter finns en signifikant skillnad mellan sortimentantal och tidsåtgång för drivare. Tidsskillnader beroende av sortiment kan minskas med fler fack i drivarens lastutrymme (Jonsson et al. 2016).

4.2 Kostnad

För att förenkla simuleringen sattes flyttkostnaden till 2000 kr/maskin. Detta påverkade maskinerna lika men transportkostnader är till TMS nackdel då två maskiner flyttas vid varje ny avverkningsstrakt. De resultat som figur 6 och 7 visar påverkas av denna flyttkostnad till drivarens fördel då avverkningsvolymen är relativt låg (200 m³fub).

Vid den känslighetsanalys som gjordes med en förändrad flyttkostnad (1000kr/maskin och 3000kr/maskin) syntes en klar skillnad i hur det påverkar de två olika systemen. När den lägre kostnaden analyserades (tabell 11) visar det på en större fördel för TMS. Resultatet för den högre kostnaden (tabell 12) visar hur fördelaktigt en flyttkostnadsökning är för drivare gentemot det som visas i tabell 11.

Flyttkostnaden är beroende av transportavståndet mellan avverkningstrakterna och skillnaden mellan de två systemen är avgörande för vilket system som kan vara mest lämpat för just en avverkning. Ett kort transportavstånd kan visa sig dubblera flyttkostnaden (Codd & Nieuwenhuis 2008) för TMS i jämförelse med en drivare men skillnaden avtar ju längre avståndet till/från trakten är. Detta visas även i en liknande rapport av Affenzeller & Stampfer (2007) där TMS ställs mot 3 varianter av kombinerade maskiner.

Den största kostnadsskillnaden sker när TTA ökar. Som beskrivet av tabell 10 så ökar skillnaderna och går över till TMS fördel ju längre ner och till höger i tabellen man förflyttar sig, dvs. med ökat TTA och ökad avverkningsvolym så minskar drivarens konkurrenskraft. Det beskrivna sambandet är något som Laitila & Aiskainen (2006) också visar på i sina studier med drivare.

Ingen beräkning har gjorts på hur mycket kostnaderna blir då maskiner (TMS) kan tvingas vänta på varandra vid maskinhaverier och utdragna transporter mellan trakter. För enkelhetens skull så antas spannet mellan skördare och skotare blir så stort att de inte påverkar varandra vid störningar. Känslighetsanalysen pekar mot större påverkan hos drivare när räntan går upp. Då inköpskostnader, och därmed lån, är högre så är detta system känsligare för räntesvängningar.

4.3 Produktivitet

Resultaten visar på en ökad produktivitet gällande både skördare och skotare gentemot andra studier (Eriksson & Lindroos 2014; Nurminen et al. 2006) som studerat TMS och dess produktivitet. Produktiviteten ökar med den tekniska utvecklingen och gör att maskinerna blir allt snabbare och effektivare (Nordfjell et al. 2010). Ett led i detta är att den drivare som jämförts följt utvecklingen och anpassats till en sådan nivå där den kan konkurrera med TMS under vissa förutsättningar.

Tekniska utnyttjandegraden, TU, har reglerats genom att använda maskinstopp (*Shutdown* i modellen, ExtendSim). En kalibrering har gjorts för att stämma överens med verkligheten; TU för skotare blir ca 90%, för skördare ungefär 87% och för drivare ca 85%. TU för drivare har uppskattats som något mindre än skördare, då denna ej har beprövats i samma utsträckning och snabbfästet (byte mellan aggregat och gripklo) som drivaren använder sig av har rimligtvis inte lika hög tillförlitlighet som skördarens fasta installation.

Komatsu X19 och 941 har olika typer av aggregat (tabell 1). 941 har ett 370-aggregat som är något större och kraftfullare än det 365-aggregat som X19 har. 370-aggregatet är däremot äldre och har ej lika effektiva matarvalsar vilket likställer maskinernas aggregat (Jonsson et al. 2016).

5 REFERENSER

Affenzeller, G. & Stampfer, K. (2007). Comparison of integrated with conventional harvester-forwarder-concepts in thinning operations. Proceedings of the International Mountain Logging and 13th Pacific Northwest Skyline Symposium, Corvallis, OR. 2007.

Bergkvist, I. (2010). Drivare i svenskt skogsbruk. Redogörelse Nr. 1. Skogforsk Bergkvist, I.,

Hallonborg, U. & Nordén, B. (2002). Valmet 801 Combi i gallring med fast lastutrymme för standardlängder. Skogforsk, Arbetsrapport 518. 17pp.

Bergkvist, I., Hallonborg, U. & Nordén, B. (2003). Valmet 801 Combi i gallring och slutavverkning med vridbart lastutrymme för fallande längder. SkogForsk, Arbetsrapport 526.

Codd, J. & Nieuwenhuis, M. (2008). A feasibility study on the performance of a harwarder in the thinning of small scale forests in Ireland. *Irish Forestry* 65: 37-46

Eriksson, M. & Lindroos, O. (2014). Productivity of harvesters and forwarders in CTL operations in northern Sweden based on large followup datasets, *International Journal of Forest Engineering*, 25(3) 179-200,

Jonsson, R. Jönsson, P. & Lundström, H. Prestation och kostnader för slutavverkningsdrivare Komatsu X19 med snabbfäste. Arbetsrapport från Skogforsk nr. 911 -2016.

Jonsson, R. Jönsson, P. Manner, J. Björheden, R. & Lundström, H. Prestation och kostnader för drivaren Komatsu X19 och tvåmaskinsystem med Komatsu 941 och 895 i grov slutavverkning. Arbetsrapport från Skogforsk nr. 912 -2016.

Kärhä, K., Rieppo, K., Poikelo, A., & Oy, M. (2008). Why Harwarders for Wood Harvesting? *Scandinavian Society of Forest Economics* 42: 117-126

Laitila, J., and Asikainen, A. (2006). Energy Wood Logging from Early Thinnings by Harwarder Method. *Baltic Forestry*, 12 (1): 94.102.

Lindroos, O. 2011. Evaluation of technical and organizational approaches for directly loading logs in mechanized cut-to-length harvesting. *Forest Science* 58(4) 326-341

Nordfjell, T., Björheden, R., Thor, M. & Wästerlund, I. (2010). Changes in technical performance, mechanical availability and prices of machines used in forest operations in Sweden from 1985 to 2010. *Scandinavian Journal of Forest Research* 25(4) 382-389

Nurminen, T., Korpunen, H. & Uusitalo, J. (2006). Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica* 40(2): 335–363.

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.

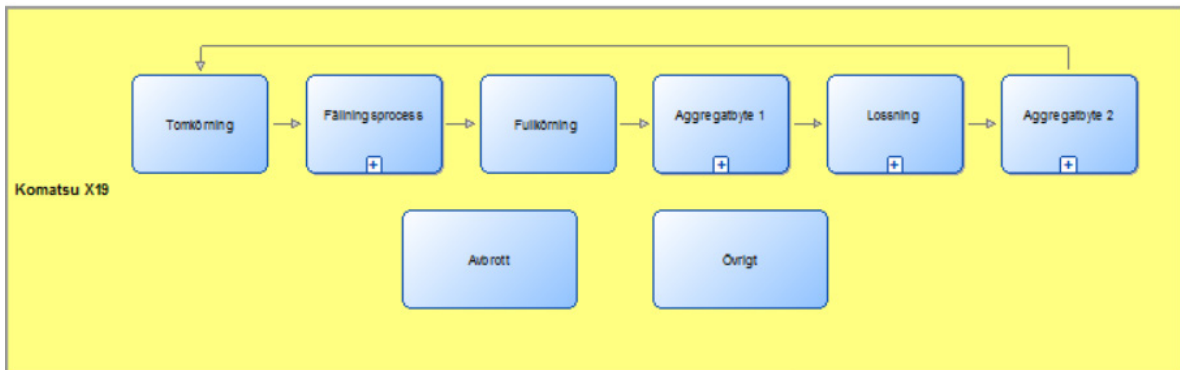
Vesterlund, F. (2016). Kartläggning av överlappande arbetsmoment vid slutavverkning med drivarprototypen Komatsu X19. Arbetsrapport 15-2016, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi.

Ågren, K., Hannrup, B., Jonsson, R., Jönsson, P., Lundström, H. & Nordström, M. (2016). Utvärdering av dimensionsmätning och förekomst av kapsprickor vid avverkning med Komatsu X19. Arbetsrapport från Skogforsk nr. 892–2016.

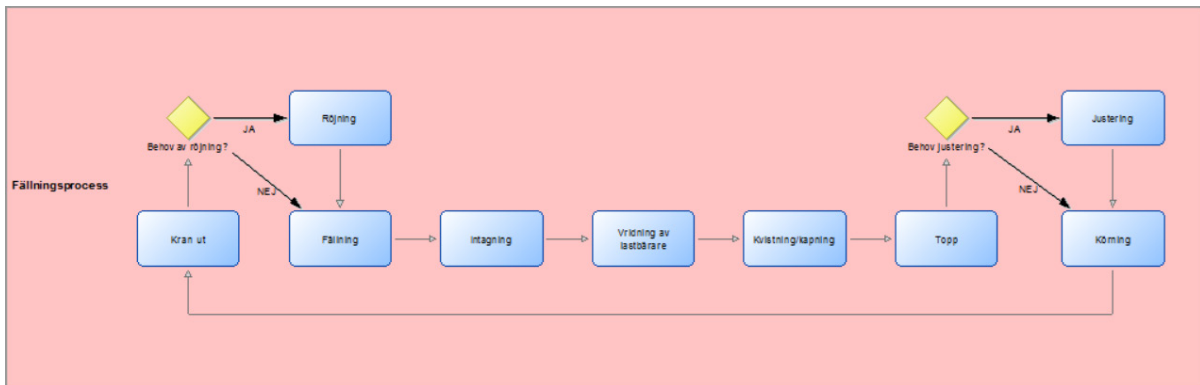
6 BILAGOR

6.1 Adonis

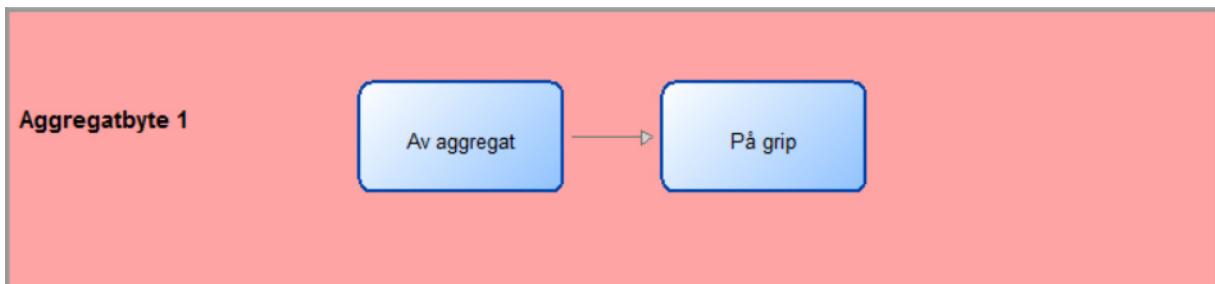
6.1.1 Modell drivare



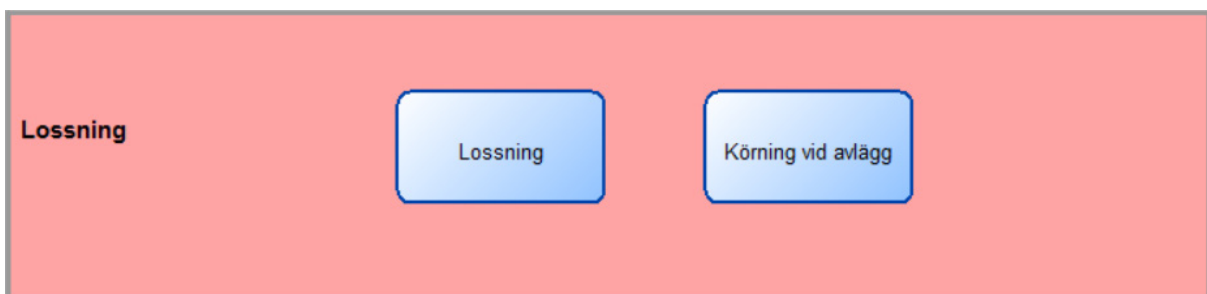
Figur 12. Övergripande modell över arbetsmomenten



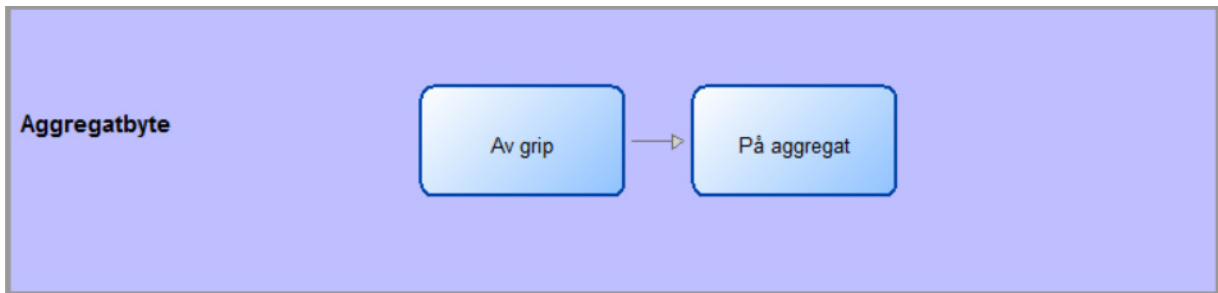
Figur 13. Modell över fällningsprocessen



Figur 14. Modell över aggregatbyte 1

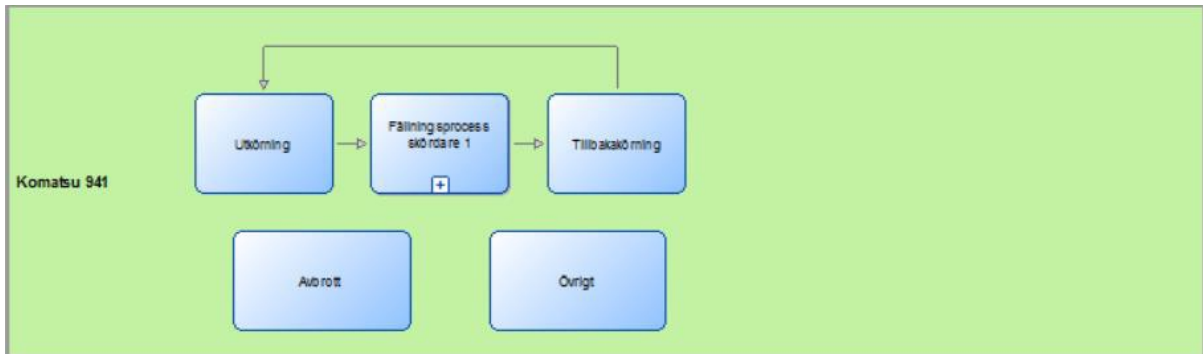


Figur 15. Modell över lossning

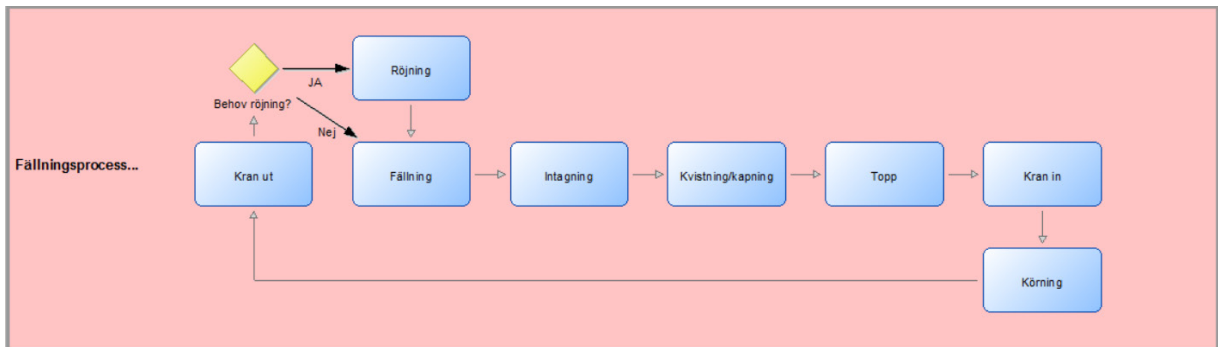


Figur 16. Modell över aggregatbyte

6.1.2 Modell skördare

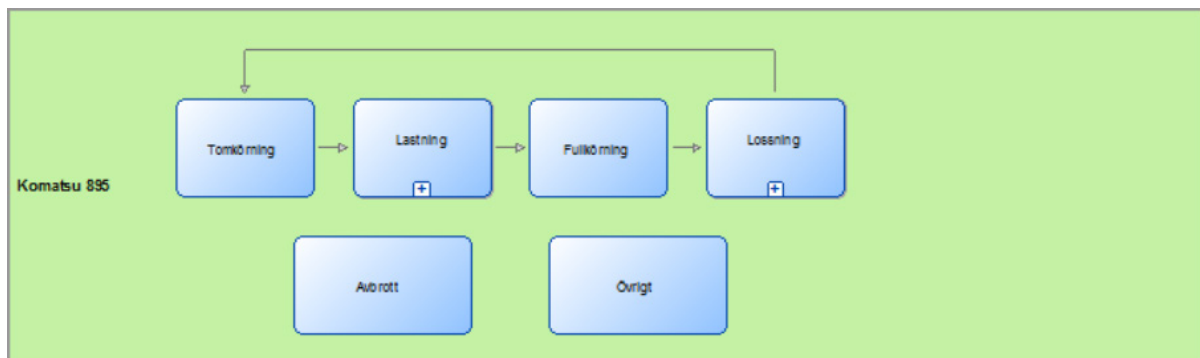


Figur 17. Övergripande modell över arbetsmomenten



Figur 18. Modell över fällningsprocessen

6.1.3 Modell skotare



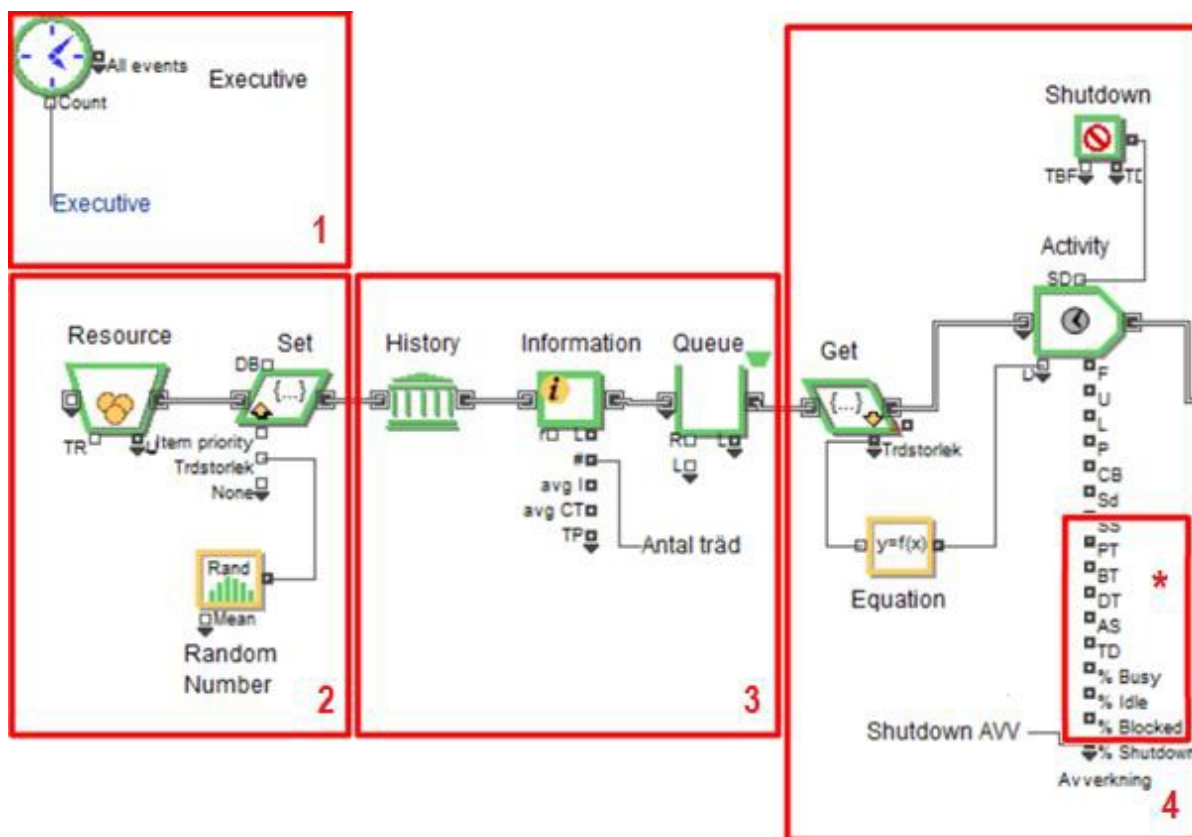
Figur 19. Övergripande modell över arbetsmomenten



Figur 20. Modell över lastningsprocessen



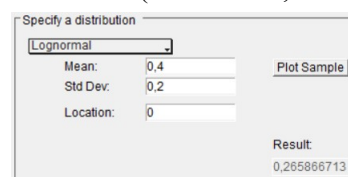
Figur 21. Modell över lossning



Figur 23. Beskrivning av inledande delen av simuleringsprocessen där objekt genereras och tilldelas värden

1.
Executive kontrollerar och styr händelseförloppet för diskreta händelser och måste placeras längst till vänster om alla andra block. *Executive* håller processen igång så länge inställningen för slutparametern $<$ angivet heltal.
 Via variabeln *Executive*, skickas inställningsvärden till *Information* – # (*count*) (punkt 10) som avslutar processen då värdet sammanfaller med uppnått värde.

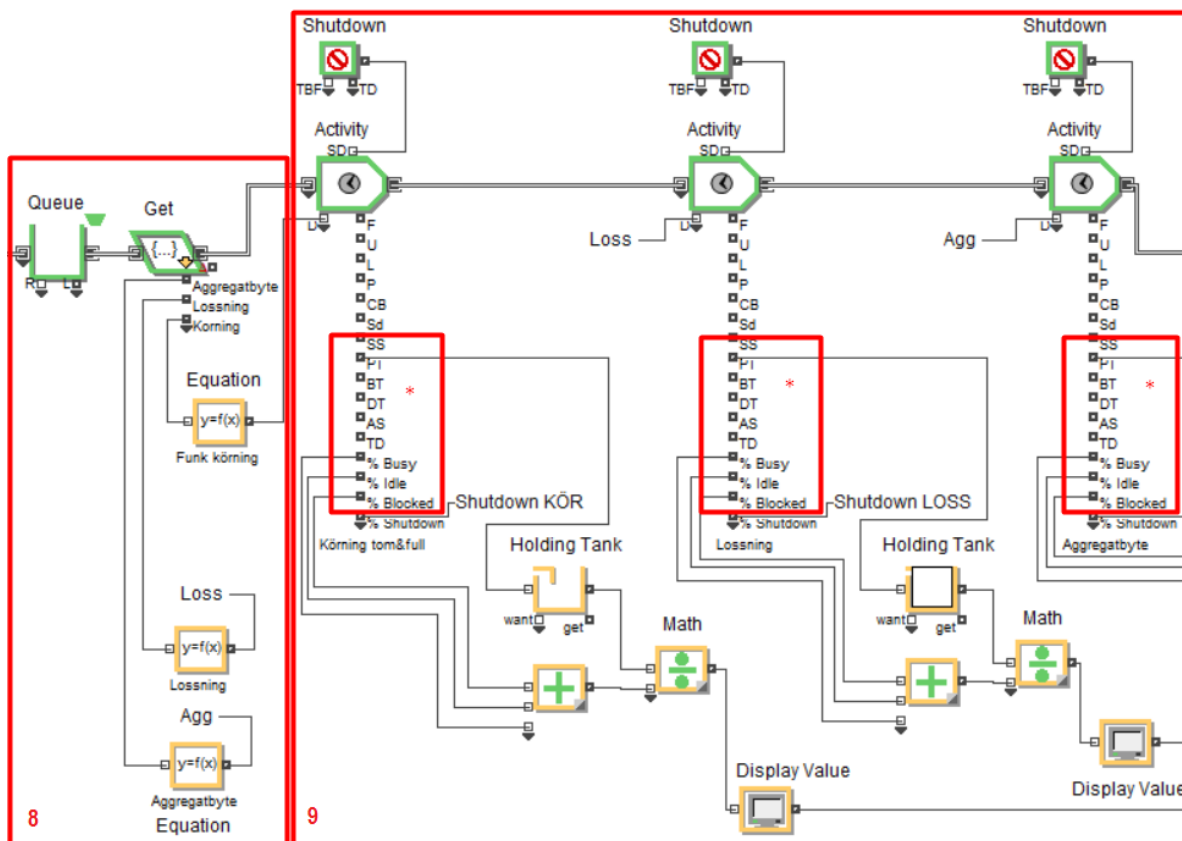
2:
 Inledande fas där *Resource* genererar så många objekt som användaren anger. Varje enskilt objekt går vidare till *Set* där det får ett specifikt värde kopplat till indataparametern *Trdstorlek* (Trädstorlek, m3fub) via *Random Number*.
Random Number ger här olika värden på de objekt som passerar *Set*, givet en normalfördelning över den medelvolym vi angett med tillhörande standardavvikelse.



Figur 24. Inställning i *Random Number*

3:
 Objekten passerar *History* och deras värden registreras ett och ett i en lista med de variabler som är kopplade, i detta fall *Trdstorlek*. När objekten kommer till *Information* skickas +1 enhet till variabeln *Antal träd* (informationen används i punkt 6, 15 och 16) för att summera hur många objekt som passerat. Objekten hamnar sedan i *Queue* (kopplad till *Resource Pool*, punkt 5) som håller objekten köade så länge en resurs inte finns tillgänglig.

4.
 Det enskilda objektet passerar *Get* som tar värdet för *Trdstorlek* och skickar det till *Equation* där en beräkning sker över hur lång tid det tar att bearbeta den specifika volymen. Detta värde skickas sedan till *Activity* (simulerad avverkningsprocess) som kopplar ihop värdet med objektet för vidare behandling.



Figur 26. Beskrivning av objektets (lasset) väg från trakt till avlägg med tillhörande lossning och aggregatbyte

8.

Från *Set* (punkt 7) lagras objektet/objekten i *Queue* så länge det inte finns någon resurs (resurs = arbetare, tilldelas från *Resource Pool* om sådan finns att tillgå). Vidare i funktionen *Get* tas de värden som finns kopplade till variablerna *Aggregatbyte*, *Lossning* och *Körning* och omvandlas genom en variabelspecifik ekvation/funktion till tidsåtgångar för respektive aktivitet (*Körning*, *Lossning*, *Aggregatbyte*, punkt 9).

Enter the equation in the form "result = formula,"

```
outCon0 = (inCon0 + 0.0278 * 100) * 60
```

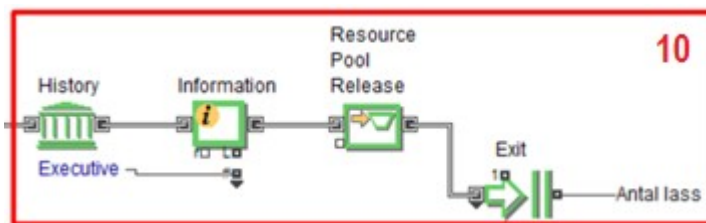
Figur 27. Ekvation för momentet *Körning*

Ekvationen i figur 6 visar hur omvandlingen sker där $OutCon0$ (variabel som tilldelas det nya värdet) = $(InCon0$ (variabel med inkommande objektsvärde) + $0,0278 * 100) * 60$ ger ett värde i sekunder för tidsåtgång för det behandlade objektet.

9.

Objektet som kommer passera 3 st. *Activity* (*Körning tom & full*, *Lossning* och *Aggregatbyte*) får ett adderat värde till sig från tidigare *Get* och dess omvandlingar (punkt 8). *Shutdown* (punkt 4) finns med även här för den chans till avbrott som kan medföra tidstillägg. *Shutdown KÖR/LOSS/AGG* skickar vidare sina respektive värden och beskrivs närmare i punkt 14.

* (skotning). Samma procedur som vid avverkning men med skillnaden att tre processer adderas och skapar en total tidsåtgång för momentet skotning.



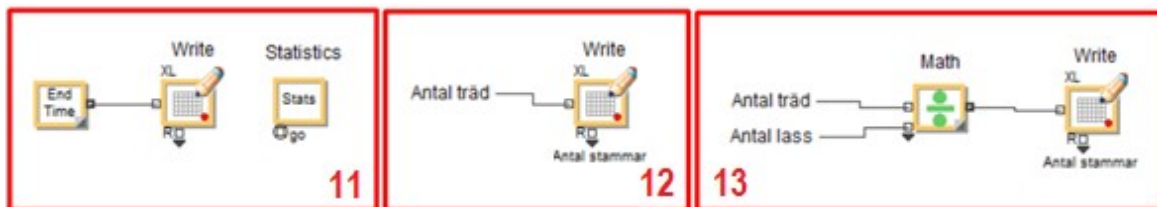
Figur 28. Beskrivning av processen slutskede med överföring av data till Excel och avslut av processen

10.

Efter 3 st. *Activity* (punkt 9) passerar objektet ytterligare en *History* där de nyaste värdena registreras. Vid *Information* (rapporterar objektstatistik) finns här kopplat variabeln *Executive* (punkt 1) som vid det här steget reglerar hela processen när ett avslut skall ske.

Då objektet passerat *Information* och kommer till *Resource Pool Release* så återförs den resurs som varit aktiv under senaste processen (Körning, Lossning, Aggregatbyte).

Sista anhalt är *Exit* som räknar antalet passerade objekt och ser till att objekten tas bort. Registrering av antalet borttagna objekt sker till *Antal lass*.



Figur 29. Beskrivning av den registrering som sker av resultat till Excel

11.

Den vänstra processen skriver över den totala tiden för hela processen till ett Excel-dokument via *Write*. Tiden för processen är viktig för att jämföra med de delresultat som ackumuleras över processens alla delar i ett slutskede.

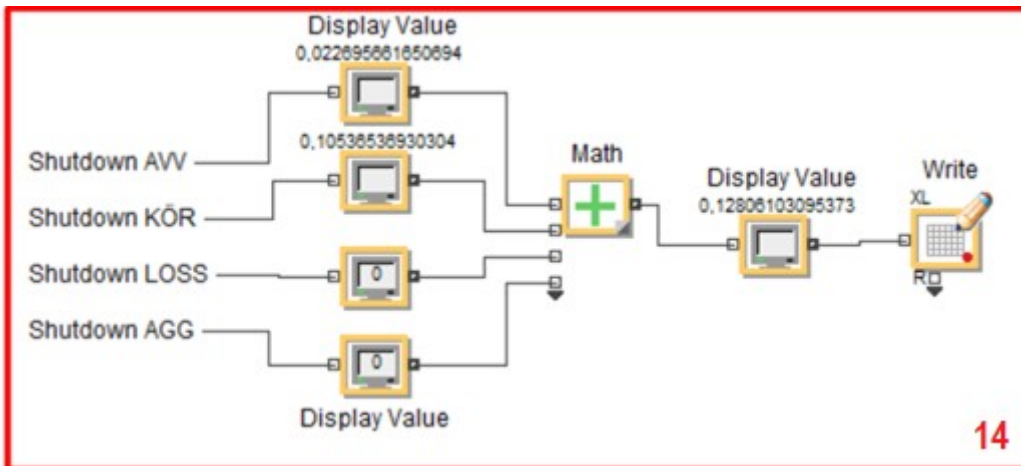
Statistics registrerar de statistiska värden som användaren önskar veta vad gäller processen.

12.

Värdet i variabeln *Antal träd* registreras och skrivs över i ett Excel-dokument via *Write*.

13.

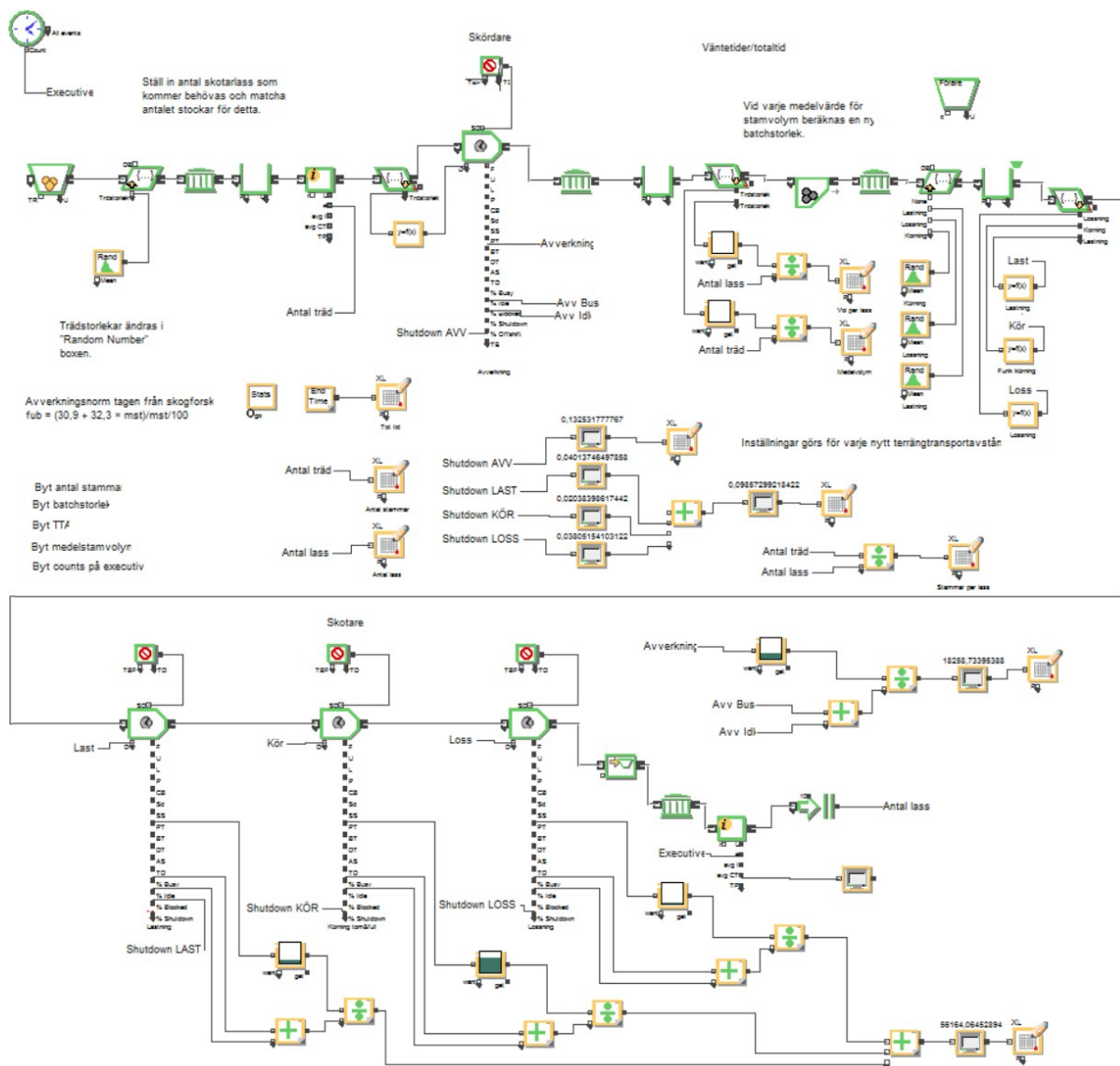
Variablerna *Antal träd* och *Antal lass* divideras i funktionen *Math* och skickar sedan värdet till ett Excel-dokument via *Write*.



Figur 30. Beskrivning av hur de tiderna för samtliga avbrott läggs samman och skickas till Excel

14.

Variablerna *Shutdown AVV*, *KÖR*, *LOSS* och *AGG* och deras respektive värden visas upp via *Display Value* och adderas sedan i funktionen *Math*. Efter detta visas summan i nästa *Display Value* för att sedan skickas till ett Excel-dokument via funktionen *Write*.



Figur 31. Modell över TMS i ExtendSim

6.2.2 Tvåmaskinsystemet, TMS

Upplägget är likt för tvåmaskinsystemet (TMS) och innehåller till stor del liknande aktiviteter och moment. Annorlunda för TMS är att endast skotnings-, lossnings- och aggregatbytesprocessen är beroende av en resurs. Båda aktiviteter kan alltså verka samtidigt och vara effektiva.