

ARBETSRAPPORT

FRÅN SKOGFORSK NR 652 2008



Fidelitystudie av en skogsmaskinsimulator

Björn Löfgren, Berndt Nordén & Hagos Lundström

Ämnesord: Skogsmaskinsimulator, fidelity.

SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

arbetar för ett lönsamt, uthålligt mångbruk av skogen. Bakom Skogforsk står skogsföretagen, skogsägareföreningarna, stiften, gods, skogsmaskinföretagare, allmänningar m.fl. som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

FORSKNING OCH UTVECKLING

Två forskningsområden:

- Skogsproduktion
- Virkesförsörjning

UPPDRAG

Vi utför i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter. Det kan gälla utredningar eller anpassning av utarbetade metoder och rutiner.

KUNSKAPSFÖRMEDLING

För en effektiv spridning av resultaten används flera olika kanaler: personliga kontakter, webb och interaktiva verktyg, konferenser, media samt egen förlagsverksamhet med produktion av trycksaker och filmer.

Innehåll

Sammanfattning.....	2
Inledning.....	2
Syfte.....	3
Simulator som forskningsverktyg	3
Fidelity.....	4
Validitet	4
Fysisk validitet	4
Beteende validitet	5
Skogforsks simulator.....	5
Scener i simulatorn.....	7
Studier.....	7
Genomförande	7
Insamling av data i fält.....	7
Inmätning av bestånd	7
Positionering.....	8
Mätning av spak- och knappfunktioner.....	9
Tidsstudier.....	10
Maskin och förare	11
Arbetsmetod	11
Återskapande av bestånd	11
Resultat.....	12
Positionering.....	12
Knapp- och spakfunktioner.....	13
Knappfunktioner.....	13
Spakar.....	14
Tidsstudier.....	17
Kommentarer till resultaten	18
Kran ut.....	18
Fällning-intagning.....	18
Kvistning – kapning.....	18
Röjning.....	18
Framflyttning	18
Övrig verktid.....	18
Stamprofiler	19
Analys av skördarens mätnoggrannhet	19
Analys av simulatorstammar.....	19
Diskussion	22
Tidsstudier.....	22
Spak- och knappfunktioner	22
Stamprofiler.....	22
Referenser.....	22
Bilaga 1 Tidsmomentindelning för skördare.....	25
Bilaga 2 Definition övriga data för skördare	27
Bilaga 3 Högmättningsinstruktion	29

Sammanfattning

Skogforsk har med stöd från Nils och Dorthi Troëdssons Forskningsfond införskaffat en skogsmaskinsimulator för att på ett mer tillämpat sätt, kunna testa och utvärdera nya idéer och koncept. För att kunna utnyttja simulatoren som ett analys- och forskningsverktyg har vi studerat överensstämmelsen mellan simulator och verklighet i en s.k. fidelitystudie.

Vi har mätt ca 500 träd i ett slutavverkningsmoget bestånd. Förutom höjd och diameter har vi också mätt in trädens position samt skördarens väg med GPS. Skogen återskapades i simulatoren för att kunna göra en jämförande test. Vid avverkningen och i simulatoren tidsstuderades skördarförarens arbete samtidigt som hans spakrörelser och knapptryckningar studerades via maskinens och simulatorns CAN-buss. Vi har använt samma förare vid studierna i fält och simulator.

Skillnaden i tidsåtgång mellan simulator och verklighet var ca $\pm 5\%$ vid kran- och aggregatarbete. Den största tidsskillnaden observerades vid framflyttning av skördaren, vilket beror på att kranen är starkare i simulatoren, färre förflyttningar, samt att det gick fortare att köra skördaren i simulatoren eftersom terrängens inverkan var mindre.

När det gäller antalet knapptryckningar registrerades större skillnader. Skillnaden uppstår framför allt vid kvistningen av stammen. I simulatoren har vi ett idealt förhållande, d.v.s. inga problem med kvistar och tillräckligt med dragkraft.

Spakrörelserna var mycket lika i simulatoren som i fält. De skillnader som noterades var spakarutslagen (spakrörelser). För teleskop och rotator är spakutslagen något mindre i simulatoren medan sväng och lyft är mycket lika. Övriga skillnader är att spakrörelserna var något ryckigare i fält beroende på att det uppstår vibrationer i fält som påverkar föraren. I simulatoren finns inga vibrationer.

Vid jämförelsen kunde vi konstatera att det var stor skillnad i avverkad volym mellan fält- och simulatorstudien. Vid en analys konstaterades att stamprofilerna inte gav rätt volym i simulatoren. Vi har föreslagit att en annan avsmalningsfunktion används och denna funktion är införd vilket medfört en bättre uppskattning av avverkad volym.

Vi bedömer sammanfattningsvis att simulatoren är ett mycket bra forskningsverktyg och att de resultat som kommit fram i fidelitystudien visar att man har en god överensstämmelse mellan simulator och verklighet.

Inledning

Storskogsbruket är i dag helt mekaniserat, och all drivning sker med tvåmaskinssystem bestående av engreppsskördare och skotare. Kostnaderna för att få fram virket till bilväg har dock planat ut de senaste fem åren och de teknisksprång som hittills karaktäriserat utvecklingen kan inte tas för givna.

I vissa avseenden har maskinerna större kapacitet än vad föraren kan utnyttja. Detta innebär att funktioner i skogsarbetet måste automatiseras. Det kan vara fråga om automation av t.ex. kranens rörelser eller aggregatets tillredning av

trädet, men även andra delar av arbetet kan automatiseras, såsom informationsinhämtning, överföring och rapportering. Ett annat skäl till att automatiseringen är angelägen är maskinförarens arbetssituation. Den allt högre arbetstakten, tillsammans med de många kvalificerade beslut som förarna hela tiden måste fatta under tidspress, har ökat den mentala belastningen. Detta kan i förlängningen leda till sjukfrånvaro, utslagning och rekryteringsproblem. Maskinföraren riskerar att bli en flaskhals i utvecklingen av såväl produktiviteten som av skogsutnyttjandet.

För studier och utvärdering av helt nya tekniska lösningar, system och metoder är det av intresse att ta till andra grepp än att bygga nya maskiner dels av kostnadsskäl, dels på grund av att det mesta av teknikutvecklingen som krävs är mer avancerad och pågår utanför skogsbrukets traditionella tillverkar- och FoU-led.

För att kunna utvärdera nya tekniska lösningar, system och metoder har Skogforsk med stöd från Nils och Dorthi Troëdssons Forskningsfond införskaffat en skogsmaskinsimulator. Simuleringstekniken ger oss möjlighet att kvantifiera nyttan av koncept som ännu inte finns fysiskt.

Simulering har blivit en allt viktigare del i utbildningen av skogsmaskinförare vid skogsbruksskolor. Däremot har inte skogsmaskinsimulatorer utnyttjats i forskningens tjänst på samma sätt som bil- och flygplanssimulatorer. Simulering ger forskare möjlighet att kombinera verklig hårdvara, omgivningsförhållanden och olika arbetsuppgifter med möjligheten att kontrollera händelser och förhållanden. Simulatorer gör det också möjligt att testa och utvärdera flertalet nya koncept utan att fysiskt behöva konstruera dem. Intresset för simulatorer har ökat kraftigt de senaste 30 åren på grund av minskade kostnader för utrustning och framför allt för datorer.

För att kunna avgöra om de resultat från de studier som kommer att göras i simulatoren är tillförlitliga har vi genomfört en jämförande studie mellan simulator och verklighet en s.k. ”fidelitystudie”.

I och med den ökade användningen av simulatorer har det ställts en hel del frågor om användningen av simulatorer för forskning och utveckling. Framför allt frågor kring vilken fidelity som krävs av simulatorerna för att uppnå tillfredsställande resultat.

Syfte

Syftet har varit att jämföra slutverkning med en engreppsskördare i fält och i en simulator. Jämförelsen har genomförts med avseende på tidsåtgång för enskilda arbetsmoment samt användningen av knapp- och spakfunktioner.

Simulator som forskningsverktyg

I och med den ökade användningen av simulatorer har det ställts en hel del frågor om användningen av simulatorer för forskning och utveckling. Framför allt frågor kring vilken fidelity som krävs av simulatorerna för att uppnå tillfredsställande resultat.

FIDELITY

Begreppet fidelity relaterar till i vilken grad som simulatorns karakteristika matchar ett verkligt fordon. Det finns i dag ingen enkel beskrivning av en simulators fidelity. Det finns över ett tjugotal olika definitioner i litteraturen för olika typer av fidelity. Några exempel på fidelity är; utrustningens fidelity, omgivningens fidelity, psykologisk fidelity, uppgiftens fidelity, funktionell fidelity, (Rehmann, 1995). Varje typ av fidelity kan vara tillämplig för en speciell situation men det innebär inte att de generellt gäller för alla typer av simuleringar.

Emellertid innebär det att de tillsammans, i åtminstone två dimensioner, får dagens simulatorer att skilja sig från ett verkligt fordon.

Dessa två dimensioner delar in simulatorer i två grupper beroende på vilka cues de levererar.

Utrustningens cues. En kopia av känslan av upplevelse i det simulerade fordonet.

Omgivningens cues. En kopia av omgivningen och förflyttning i omgivningen.

Fidelity är sedan en funktion av hur pass väl utrustningens och omgivningens cues beskriver ett riktigt fordon. En distinktion mellan verkliga cues, uppmätt objektivitet och de cues som föraren upplever leder till följande definition av två typer av fidelity.

- Objektiv fidelity.
- Upplevd fidelity.

För att kunna göra en bedömning av hur pass bra simulatorn återger den verkliga situationen för en skördarförare behöver vi känna till vilka faktorer som kan påverka studieresultatet. Det finns ett flertal faktorer som handlar dels om människans förmåga att uppfatta omvärlden, perception, i en virtuell miljö, dels de fysiska förutsättningarna i själva simulatorn.

VALIDITET

En simulator måste efterlikna den verkliga världen för att den ska kunna användas för utvärdering av människa – maskin – interaktion och för nya futuristiska lösningar. I litteraturen finns två nivåer omnämnda när det gäller validitet av simulatorer. Den ena nivån handlar om överensstämmelsen mellan simulatorn och världen avseende förarens beteende. Detta kallas beteendvaliditet (behavioral validity). Den andra nivå handlar om simulatorns fysikaliska data som layout och dynamiska karakteristika. Detta kallas fysisk validitet och betecknas allmänt som simulatorns fidelity.

Fysisk validitet

Ju mer en simulator liknar verkligheten i fråga om användning, i hur responsen på input presenteras på skärmen och ur den reagerar på fysiska på input ju större fidelity anses den ha. Av den anledningen anses en simulator som har en rörlig plattform ha en högre fysisk validitet än en fast plattform.

Det innebär dock inte att en mer sofistikerad simulator behöver ha större validitet när det gäller beteende validitet än en mindre sofistikerad simulator.

Beteende validitet

Beteende validitet är viktigt att ta hänsyn till i forskningen oavsett om det sker i simulator eller i verkligheten. Om en simulator används för att genomföra tester är det viktigt att de beslut som tas i simulatören stämmer överens med de beslut som sker i verkligheten. För en skogsmaskinsimulator är det viktigt att den återger den respons som sker i skogen.

Det finns flera metoder att bestämma validiteten för en simulator. Den metod som är mest uttömmande när man jämför en simulator och en maskin är när man har identiska uppgifter och förhållanden. Om de numeriska värdena är identiska för de två systemen anses man ha en absolut validitet. En annan teknik är om jämför prestandaskillnader mellan de två systemen, talar man om en relativ validitet. Det bästa vore om man kan kombinera dessa två metoder.

För att en simulator ska vara användbar inom forskningen är relativ validitet ett måste medan absolut validitet inte är nödvändig (Törnros, 1998). Detta beror på att forskningsfrågorna normalt relaterar till effekterna av oberoende variabler än de numeriska värdena.

SKOGFORSKS SIMULATOR

Simulatören är en realtidssimulator, vilket innebär att alla rörelser på skogsmaskinen är baserade på aktuella fysiska data som längd, vikt, friktion, tröghetsmoment och andra dynamiska egenskaper för de komponenter som finns på en riktig skogsmaskin. På det viset får man egenskaper i simulatören som väl stämmer överens med en verklig skogsmaskin förutsatt att egenskaperna är rätt representerade i simulatören. Samtidigt som man har bra dynamiska egenskaper har man också en mycket bra grafisk presentation. I vårt fall sker presentationen mot tre skärmar som är $2,0 \times 1,5$ m se figur 1.



Figur 1.
Skogforsks skogsmaskinsimulator.

I simulatorm finns följande skogsmaskiner, se också figur 2–3:

- Skördare Valmet 911 och Valmet 921.
- Skotare Valmet 860.
- Drivare Valmet 801.

I övrigt finns det möjlighet att skapa egna futuristiska lösningar eller att ändra befintliga konstruktioner.



Figur 2.
Skördare Valmet 911 i simulatorm.



Figur 3.
Skotare Valmet 860 i simulatorm.

Skogforsks skogsmaskinsimulator som används i alla försök och tester, är en simulator med en fast plattform från Oryx Simulations AB. Den består av en komplett inredning med stol och spakar från en skördare Valmet 911, se figur 2. Den grafiska presentationen, från datorsystemet, sker en på tre skärmar som är och har ett synfält på 180 grader och med ett ljudsystem som efterliknar det ljud som finns på en verklig skogsmaskin. Simulatorens är placerad i ett mörkt rum med extra ventilation.

Simulatorens reagerar på samma sätt som en verklig skogsmaskin när man aktiverar spak- och knappfunktioner, vilket är verifierat av tillverkaren genom tester.

Scener i simulatorens

Simulatorens är ursprungligen gjord för att utbilda blivande skogsmaskinförare och de scenarier som finns är speciellt uppbyggda för att passa mot olika situationer i dagens skogsbruk. Eftersom vi använder simulatorens för forsknings-syftet har vi varit tvungna att skapa en verklig skog i simulatorens.

STUDIER

Genomförande

För att kunna göra en jämförande studie krävdes att vi kunde avverka samma bestånd i simulatorens som i fält. För det ändamålet mätte vi in ett bestånd i Larsbo, Uppland. Markvärd var Korsnäs AB. Förutom bestånd har vi även mätt in terrängen samt stenar och övriga hinder. För att få en uppfattning om hur en förare använder spakar och knappar i sitt arbete mätte vi in alla knapp- och spakfunktioner. Dessutom gjorde vi en konventionell tidsstudie på både skördar- och skotningsarbetet. Vid jämförelsen mellan simulator och verklighet har vi använt oss av samma förare.

Insamling av data i fält

På 483 träd mättes brösthöjdsdiameter, trädets höjd, krongränser, krökar och stamfel. Varje träd försågs med ett nummer dels i brösthöjd – utnyttjades vid tidsstudien, dels i rotbenet – utnyttjades vid positionsbestämning av träden, för att man skulle kunna identifiera varje stubbe efter avverkningen.

Inmätning av bestånd

För varje mättes följande parametrar:

- Trädslag 1 = Tall, 2 = Gran, 3 = Björk och övr. löv.
- Brösthöjdsdiameter mötande kant (mm) 0.
- Brösthöjdsdiameter 90° mot mötande kant (mm).
- Trädhöjd (dm).

Krongränser mättes på två stamhalvor, den sida som har lägst grönkrongräns och motstående (180°). För torrkrongränser gäller att om minst två på varandra följande grenvarv ovanför en torrkvist är kvistfria flyttas torrkvistgränsen upp till nästa torrkvist på stamhalvan (Om även denna är en ”solitär” flyttas dock inte torrkvistgränsen ytterligare).

- Torrkrongräns lägsta grenstump (minst 3 cm lång) (dm).
- Torrkrongräns motstående sida (180°) (dm).
- Grönkrongräns lägsta sida (dm).
- Grönkrongräns motstående sida (180°) (dm).
- Antal årsringar i stubbens mitt, från märke och 20 mm ut.
- Antal årsringar utanför 20 mm och ut till bark (ev. påbörjad årsring från 2003 räknas ej).

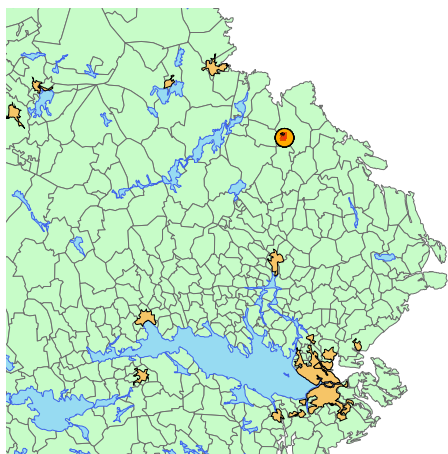
Krökar och stamfel bedömdes för gagnvirke ner till ca 5 cm diameter (p.b.)

- Krokighet (långkrök) på stammen. 5-gradig skala där 1 = Mycket rak, 2 = Nästan rak, 3 = Tydligt krokig men ej bedömd allvarligt försvårande för skördaren. 4 = Allvarlig ev. försvårande långkrök, ej timmerkvalitet. 5 = Riktig banan.
- Slängkrök 0 = Ingen tydlig slängkrök, 1 = Slängkrök i rotstocken 2 = Slängkrök högra upp än rotstock (Om det finns slängkrökar både i rotstock och längre upp skrivs 1).
- Formfel på stammen (1 = Dubbelstam, 2 = Annat drivningshämmande formfel).

Positionering

För att kunna återskapa beståndet i simulatören mättes positionen på varje träd med hjälp av en differentiell GPS med en noggrannhet av ± 2 cm i de tre riktningarna x, y och z. Positionen av varje träd mättes in efter slutavverkningen. Vi mätte också positionen på alla högar och antal stockar, sortiment samt diameter och längd på varje stock i varje hög. Skördarens körväg i beståndet registrerades också med hjälp av GPS. GPS-data matades sedan in ett GIS-program (ArcGis) och utifrån det skapades koordinater för varje träd som gjorde det möjligt att återskapa trädets position i simulatören. På liknande sätt återskapades positionerna för varje hög och på samma sätt för skördarens körväg.

Med hjälp av GPS mättes koordinaterna in för träden och terrängen enligt ett koordinatsystem kallat RT-90. Med hjälp av dessa koordinater kan man placera in exakt var i Sverige avverkningen ägt rum samt positionerna på varje träd och hög, se figur 4–5.



Figur 4.
Avverkningen vid Larsbo, Norra Uppland.

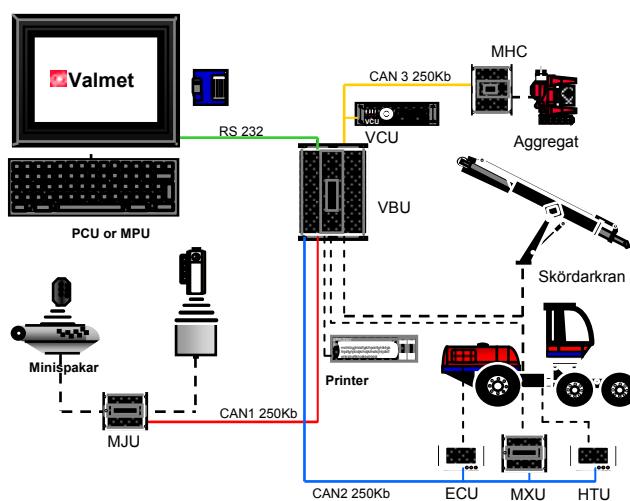


Figur 5.
Avverkningen vid Larsbo.

Mätning av spak- och knappfunktioner

För att kunna registrera hur föraren utnyttjar spakar, pedaler och knappar har vi ”lyssnat” av CAN-bussen på både skördaren och skotaren. CAN-bussen (Controller Area Network) är den kommunikationslänk som förbinder de distribuerade datorer med varandra som finns i dagens skogsmaskiner. För att möjliggöra detta utvecklades ett program som både kunde registrera CAN-data samt spara informationen i en bärbar dator. Informationen har sedan överförts till och bearbetats i Excel.

CAN-bussen registrerades (CAN1) vid MJUn (Machine Joystic Unit), se figur 6. Gaspedalen registrerades med hjälp av en omkopplare på pedalen. Varje gång föraren trampade på gaspedalen trampade han också på omkopplaren. Den analoga signalen registrerades också via MJUn. Mätningarna upprepades vid testerna i simulatoren.



Figur 6.
Nätverket på en
Valmet 921, från
Komatsu Forest AB.

Informationen från CAN-bussen registrerades 10 gånger/s. Vid mätningen registrerade datorn en 1:a om en knapp är aktiverad och en 0:a om den inte är aktiverad. Spakarnas rörelseutslag mättes i ett intervall mellan 0–256, där gränsen mellan 128 och 129 är neutralläget. Maximalt utslag är 0 respektive 256.

I fält gjordes mätningarna endast på skördaren då avlyssningen av CAN-bussen inte fungerade fullt ut på skotaren. För mer detaljerad information om spak-analyserna på skördaren i fält (Brander & Eriksson, 2004).

På skördaren gjordes två mätningar en på förmiddagen, 81 480 registreringar, och en på eftermiddagen, 97 952 registreringar. Materialet analyserades i Excel och på grund av begränsningar i Excel kunde endast 65 000 registreringar från varje mätning användas. Detta motsvarar ca två tredjedelar av alla värden. I tabell 1 visas hur registreringarna för respektive funktion är listade kolumnvis. För förmiddagen och eftermiddagen gjordes vardera en sådan tabell 1.

Tabell 1.
Funktionsregistrering av spakar.

Mätning nr.	Teleskop in/ut	Kran upp/ner	Kran sväng	o.s.v.
1	83	169	135	
2	88	173	135	
3	92	178	135	
-	-	-	-	
-	-	-	-	
64 999	116	159	128	
65 000	131	135	128	

För att minska mängden data analyserades endast förmiddagen, då denna inte skiljde sig nämnvärt från eftermiddagen. Excel har en begränsning i antalet rader, vilket innebar att det maximalt gick att analysera 50 minuters körning. Först skrevs en översikt ut för varje funktion på de första 50 minuterna för att få en övergripande bild av hur mycket funktionen i fråga användes. På grund av problem med att lyssna av CAN-bussen i simulatören kunde vi endast göra en djupare analys av funktionerna under 15 minuter. I detta intervall kunde 21 arbetscykler identifieras (21 träd). Varje arbetscykel börjar med Aggregat stäng vid ansättning.

På samma sätt har vi valt samma period vid simulatorstudierna med 21 arbetscykler (21 träd) och varje arbetscykel börjar med Aggregat stäng vid ansättning.

Tidsstudier

Vid igångsättandet av studien instruerades föraren att avverka skogen enligt deras normala rutiner. Tidmätningen gjordes enligt sedvanlig rutin med Husky Hunter i en centiminutstudie. Förutom tidsåtgången för varje enskilt moment registrerades trädslaget.

Vi registrerade följande på skördaren, för en mer detaljerad beskrivning se bilaga 1, 2 och 3:

- Körning.
- Kran ut.
- Fällning.
- Kran in.
- Kvistning-Kapning/stock (bit).
- Underväxtröjning.
- Övrig verktid.
- Avbrott.
- Skördarens stm-filer.
- Registrering av ytstruktur och grundförhållanden.
- Skördarens position, läge, vid avverkningen vid respektive träd.
- Virkeshögarnas utseende.

Maskin och förare

Den maskin som deltog i försöket var en Valmet 921, vars ålder var ca 3 år.

Maskinen bestod av komponenterna:

- Basmaskin = 921.1
- Kran = CH 1600.
- Aggregat Valmet 965.

Maskinen kördes under studien av Staffan Larsson. Staffan har flera års vana vid maskinen och mångårig vana med slutavverkning. Staffan har också vana från avverkningsarbete i gallring. Staffan bedöms vara en mycket skicklig förare.

Arbetsmetod

Arbetsmetoden var inte fixerad inför studien. Staffan valde vid studien att köra enkelsidig fällning.

Den enkelsidiga fällningen innebar att:

- Maskinen framfördes med yttersidan i höjd med beståndskanten.
- Träden fälldes snett framåt eller i beståndet.
- Virket lades upp i en sträng på yttersidan av maskinen.
- Stråkbredden blev 13–14 meter.

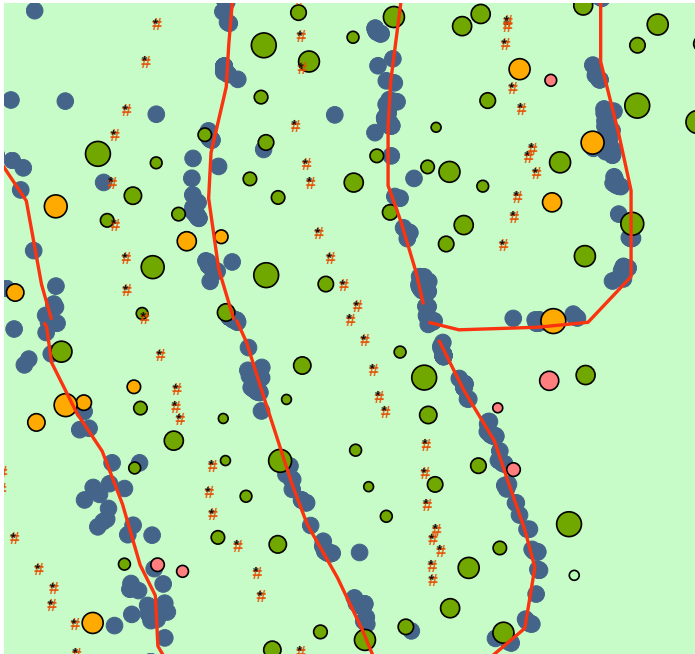
Återskapande av bestånd

I simulatoren fanns det vid införskaffandet inte någon möjlighet att skapa egna bestånd utifrån givna beståndsdata. Det gick endast att skapa slumpmässiga bestånd utifrån trädslagfördelning. Oryx Simulations AB har vidareutvecklat programvaran så att det är numera möjligt att lägga in specifika bestånd.

RESULTAT

Nedan redovisas resultaten från positionering, knapp- och spakfunktioner samt tidsstudier.

Positionering



Figur 7
Uppförstoring av en del i beståndet. Cirklarnas storlek är ett mått på diametern.
#-tecknet visar virkeshögarnas placering. Grön cirkel = gran, gul cirkel = tall,
rosa cirkel = löv och blå = uppställningspalts.



Figur 8.
Beståndet utseende i simulatören. Sett från söder.



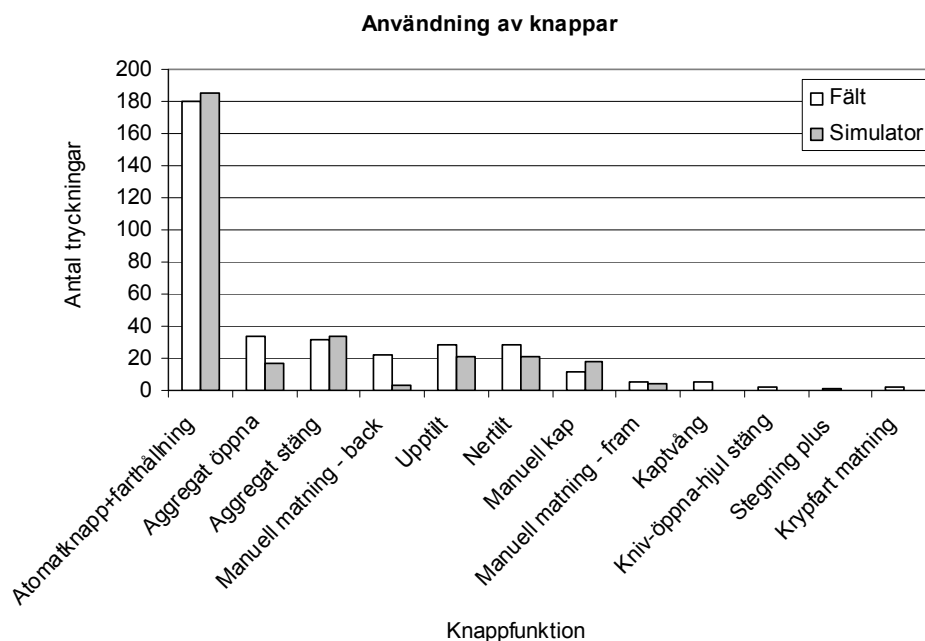
Figur 9.
Vy av beståndet sett inifrån skördaren. Trädnummer motsvarar det ursprungliga trädets nummer i tidsstudien.

Knapp- och spakfunktioner

Knapp och spakfunktionerna registrerades både i fält och i simulatorm.

Knappfunktioner

I figur 10 och redovisas hur ofta de olika knappfunktionerna har använts under 21 arbetscykler. Här redovisas de knappfunktioner som har gett utslag under mätperioden, vilket är 16 av totalt 42 stycken (med spakarnas utslag blir det totalt 46 stycken funktioner).



Figur 10.
Knappfunktionernas användning.

Som framgår av figuren finns det en del stora skillnader, vid arbete med aggregatet. Ett typexempel på det är manuell matning back, som användes 3 gånger i simulatorm och 17 gånger i fält. I simulatorm är kvistningen och

matningen problemfri. Det finns inga problem med slirning och grova kvistar, klykor eller krökar.

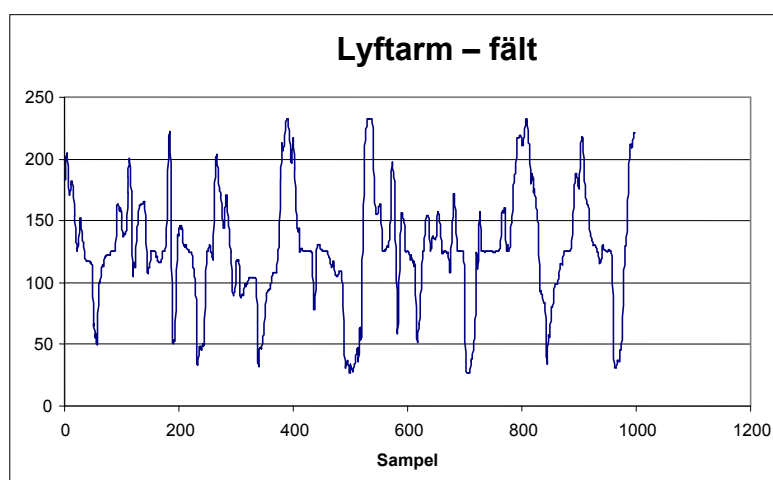
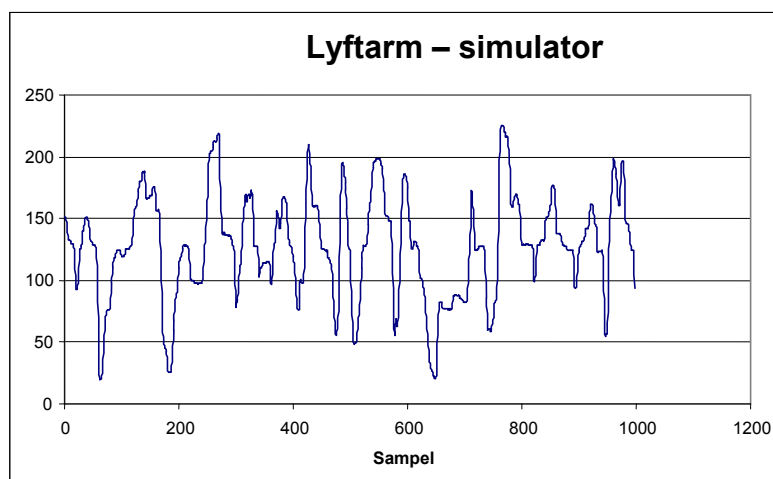
Alla toppar måste kapas manuellt i simulatoren därav den stora skillnaden för manuell kapning gentemot fältstudierna.

Spakar

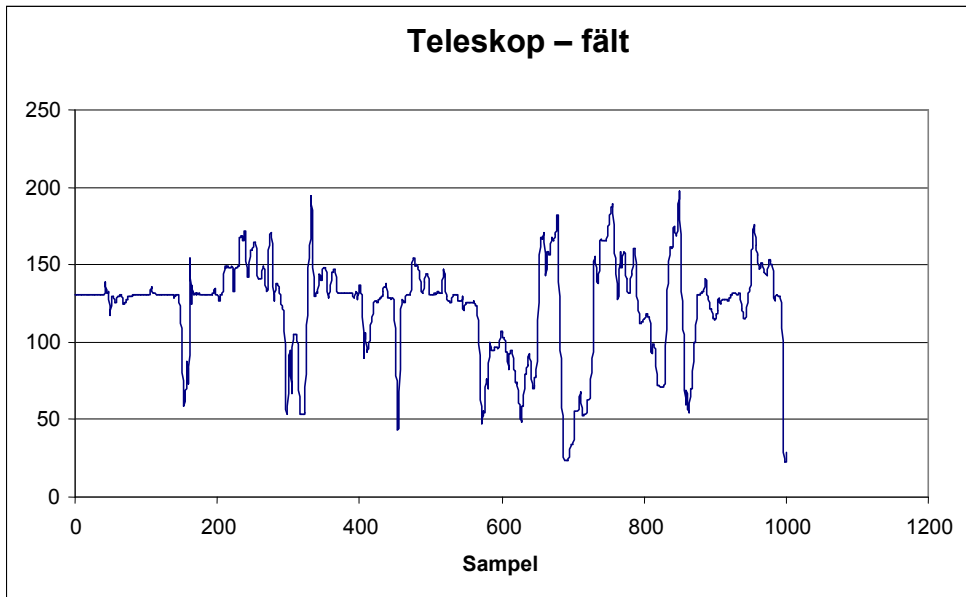
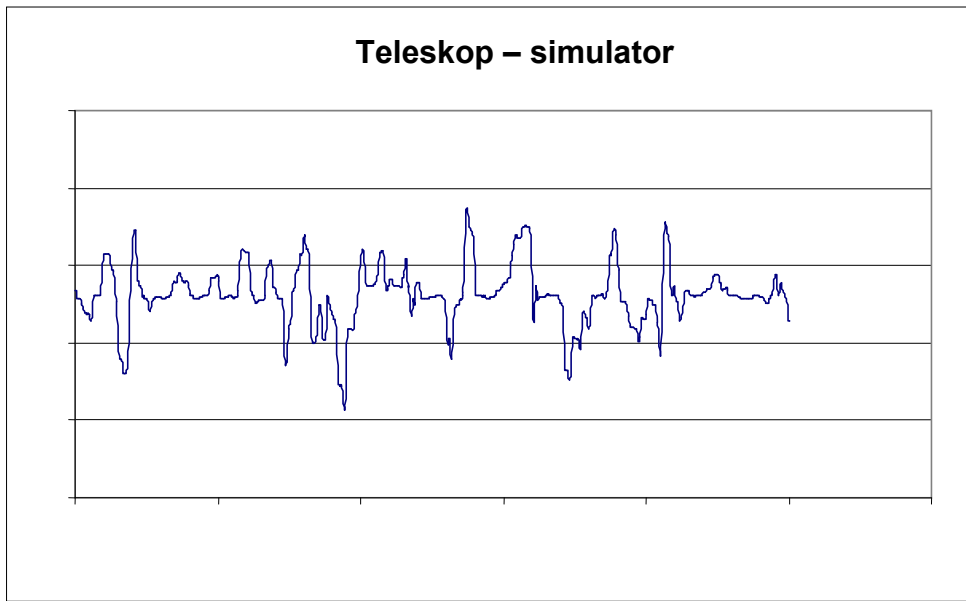
Att analysera spakrörelsernas utslag samt att kunna göra direkta jämförelser mellan fält och simulator är inte lika lätt som för knapparna, då de varierar i både storlek och tid. Det går dock att skönja att Kran upp/ner är den funktion som är aktiverad mest, följd av Kran sväng, Rotator samt Teleskop in/ut.

För att få så god överensstämmelse som möjligt mellan fält och simulator ställdes spakarnas ramper, dödband, nollpunkter etc. in lika i simulatoren som i fält. Även om de var relativt lika finns det skillnader. I simulatoren har man en ideal representation av hydrauliken medan i skördaren har man en dynamisk hydraulik. Någon exakt likhet går det inte att få med nuvarande programvara i simulatoren. Föraren fick provköra simulatoren innan utvärderingarna och han bedömde att spakfunktionernas inställning i simulatoren var lika som i skördaren.

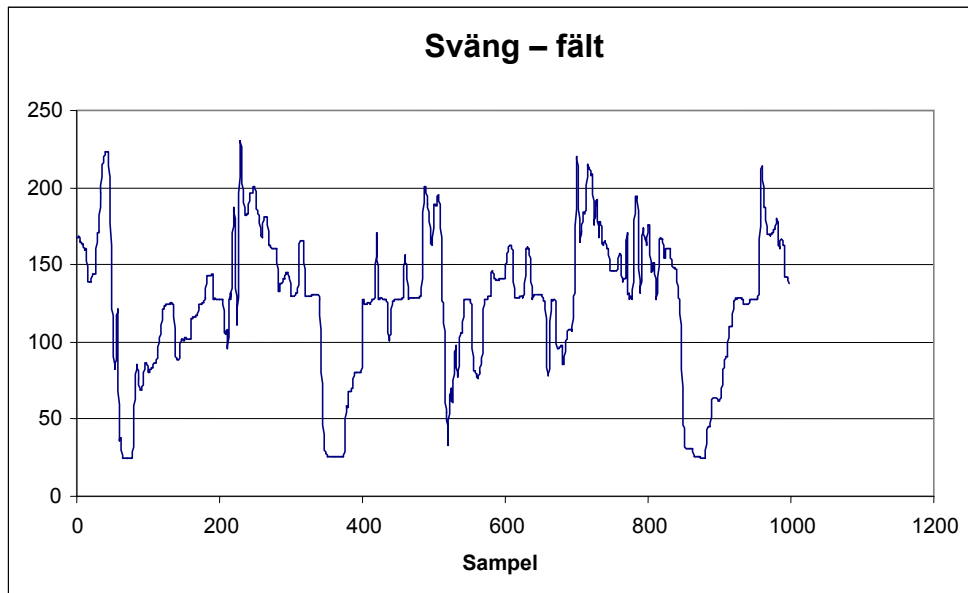
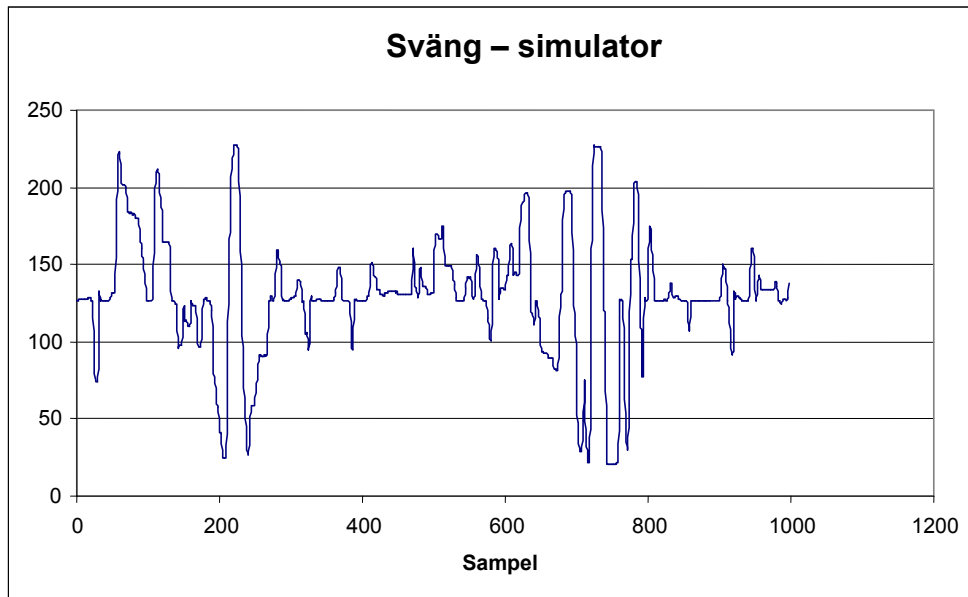
Exempel på hur det kan se ut figur 11–14.



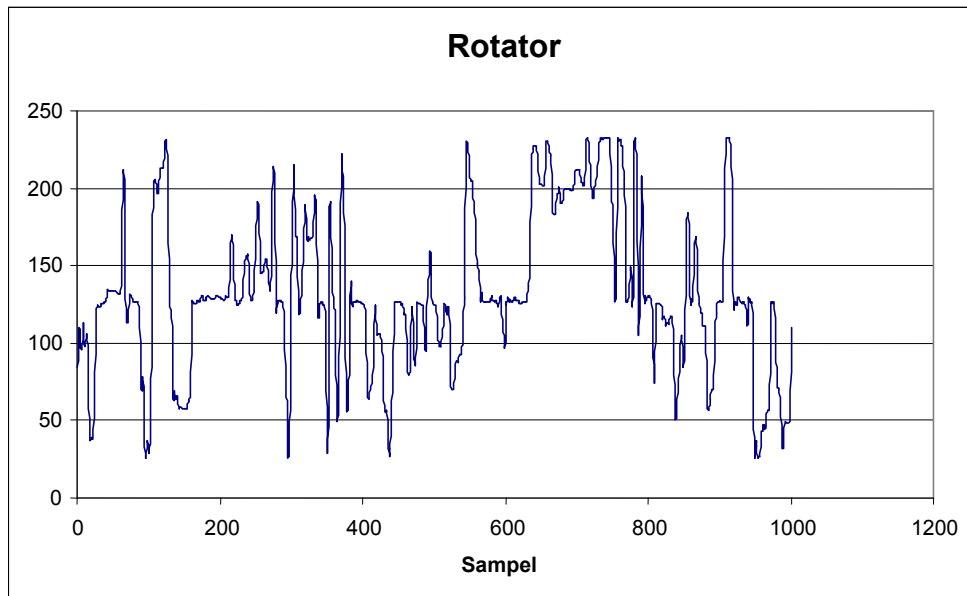
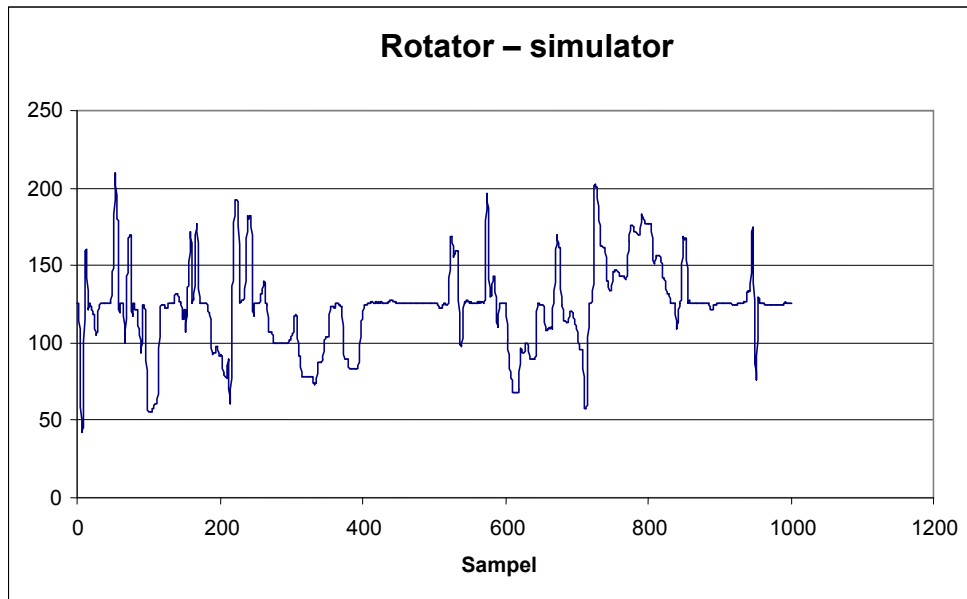
Figur 11.
Lyftarmsfunktionen.



Figur 12.
Teleskopfunktionen.



Figur 13.
Svängfunktionen



Figur 14.
Rotatorfunktionen

Spakrörelserna är mjukare i simulatören än i fält. I fält är kurvorna ”taggigare”, vilket kan tillskrivas de vibrationer som uppstår i skördaren. I simulatören finns inga vibrationer.

Spakutslagen för lyftarm och sväng var lika stora i simulatören som i fält medan det för rotator och teleskop var mindre utslag i simulatören.

Tidsstudier

I tabell 2 redovisas resultaten från tidsstudien i fält och i simulatören fördelat på olika moment.

Tabell 2.
Tidsåtgång i cmin/träd för avverkningen av 21 träd.

	Fältstudie	Simulator	Simulator/fält, %
Kran ut	11,71	10,86	92,8
Fällning-intagning	15,22	16,01	105,1
Kvistning-kapning	42,16	43,88	104
Framkörning	8,64	5,32	62
Övrig verktid	5,59	2,34	42
Totalt	84,12	78,41	93

KOMMENTARER TILL RESULTATEN

Kran ut

Kran ut gick snabbare i simulatorm. Trolig orsak är att det inte finns någon underväxt eller hinder t.ex. i form av stenar. Föraren var också mer försiktig i fält än i simulatorm för att undvika skador på svärd och aggregat.

Fällning-intagning

Momentet fällning och intagning har slagits ihop eftersom det är svårt att avgöra när själva momentet intagning börjar. I fält börjar moment intagning då stammen rör sig ifrån stubben. I simulatorm sitter studiemannen så till att han ser när föraren rör på spakarna och att det är den tiden som registreras.

Det tog längre tid i simulatorm. En trolig förklaring är att föraren gjorde längre intagningar i simulatorm eftersom man är mindre känslig för placeringen av maskinen. Kranen var mycket starkare i simulatorm, vilket innebär att man kan stå still längre på ett och samma ställe. Samma fenomen har kunnat ses i fältstudier vid jämförelse mellan en mindre och större skördare, där den större skördaren har en mycket starkare kran. Detta påverkar även tiderna för framflyttningen.

Kvistning – kapning

Det är en god överensstämmelse mellan simulator och fält.

Röjning

I simulatorm fanns det ingen underväxt varför detta tidsmoment inte finns med i analysen.

Framflyttning

Tidsskillnaden är starkt kopplat till intagningen. Eftersom föraren står mer stilla blir det mindre antal förflyttningar. Antalet förflyttningar är 13 % färre i simulatorm. Den stora skillnaden i tid är kopplad till att det tar längre tid att göra en förflyttning i fält än i simulatorm eftersom terrängen påverkar körningen i fält.

Övrig verktid

Med övrig verktid menas all övrig tid som åtgår för att utföra arbetet såsom problem vid kvistning, tappat träd, klykor, krökar, tillrättaläggning av virket. Eftersom kvistningen är problemfri och att det inte finns varken klykor eller krökar på stammarna i simulatorm förklarar det den stora tidsskillnaden.

STAMPProfiler

Vid avverkning av det inventerade beståndet uppmättes medelstamvolymen enligt skördaren till 507 m³fub. Vid de jämförande tidsstudierna i simulatorn uppmättes medelstamvolymen till 710 m³fub. Denna relativt stora skillnad (40 %) i volym föranledde en fördjupad analys för att utreda orsakerna till skillnaden mellan skördare och simulator.

Analys av skördarens mätnoggrannhet

I den fördjupade analysen samlades data in från 46 olika provträd från ett nytt slutavverkningsbestånd i norra Uppland. Samma skördare som i den ursprungliga studien användes. Fältdatainsamlingen genomfördes den 8 december 2003 i närheten av Finnsjön söder om Lövestabruk. Genomsnittsvärdena för de aktuella stammarna presenteras i tabell 3.

Tabell 3.
Aritmetiska medelvärden för provträd

	Tall	Gran
Antal stammar	22	24
Höjd (m)	24,1	21,3
Klavad DBH (cm)	32,6	23,7
Maskinmätt DBH (cm)	31,3	23,5

Manuella kontrollmätningar av diametrar och längder utfördes med hjälp av klave och måttband. Resultaten av dessa mätningar presenteras i tabell 4.

Tabell 4.
Differensen mellan mätning av maskin och manuellt (maskin-manuell kontroll)

	Medel, differens	Standardavvikelse, differens	Antal obs.
Diameter, mm	1,86	9,15	74
Längd, cm	-0,09	1,50	34
Volym, %	-0,35	2,66	8

Slutsatsen är att maskinen vid tidpunkten för datainsamlingen i genomsnitt mätte diameter, längd och volym med tillfredställande precision.

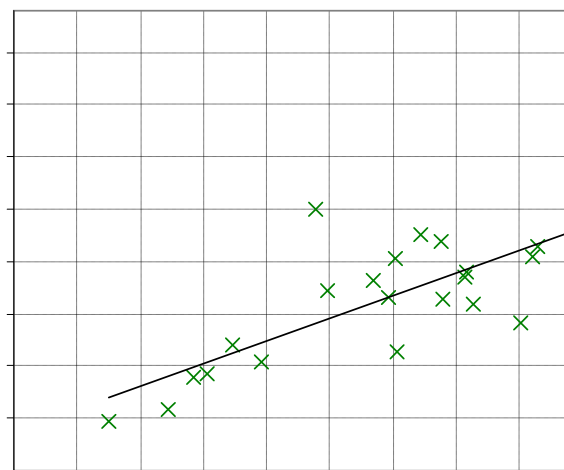
Analys av simulatorstammar

För att göra en jämförelse mellan olika beräkningsmetoder fick företaget Oryx tillgång till aktuella stamdata för att på så sätt generera 50 nya stammar, enligt deras stammodell, som sedan avverkades med hjälp av simulatorn. Resultatet med avseende medelstamvolymen presenteras i tabell 5, figur 15 och 16.

Tabell 5.

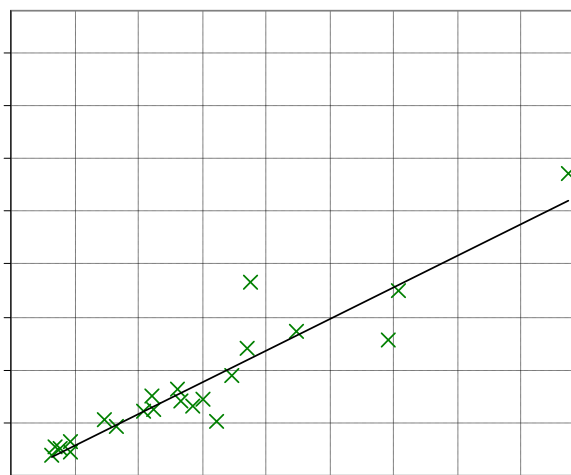
Medelstamvolym (dm³fub/stam) enligt olika beräkningsmetoder, inom parentes anges skillnad mot Oryx (vid beräkning m.h.a. Edgren-Nylinder antogs en formkvot om 0,66) .

	Skördarmätt volym	Brandels volym- funktion (1990)	Edgren-Nylinders avsmalningsfunktion (1957)	Oryx
Tall	823 (56 %)	829 (56 %)	851 (58 %)	1 475
Gran	429 (59 %)	453 (62 %)	444 (61 %)	728



Figur 15.

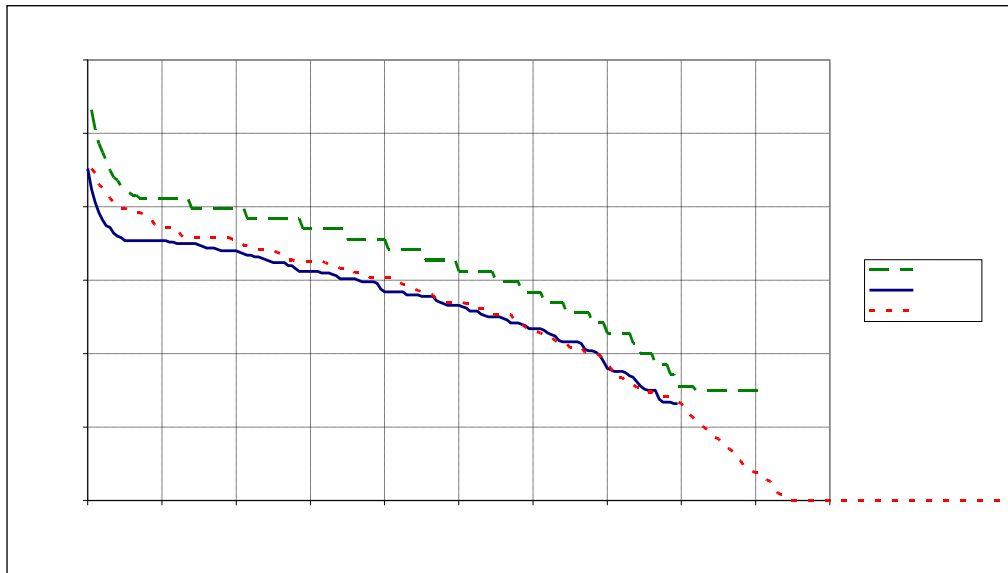
Jämförelse av stamvolym från maskin och simulator (tall).



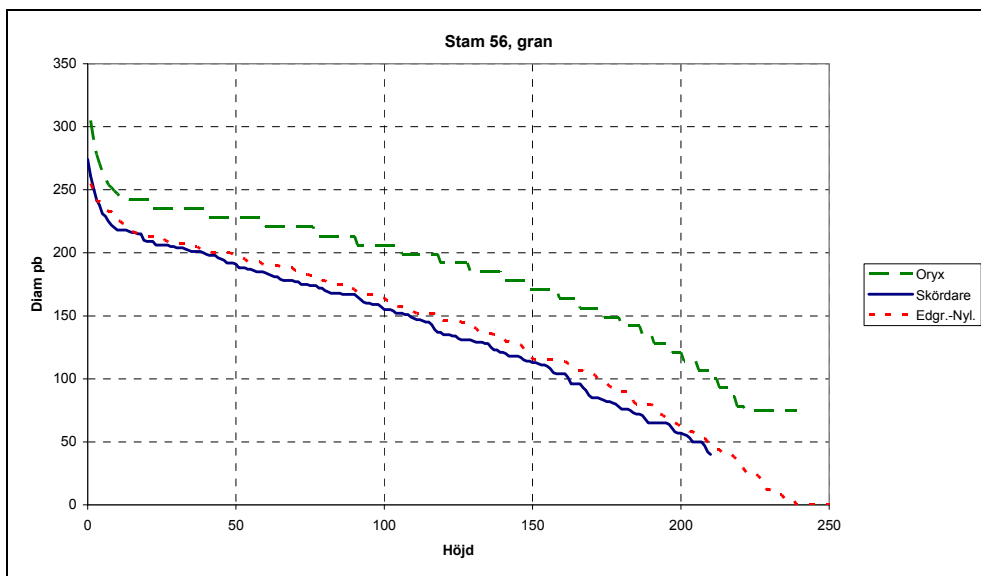
Figur 16.

Jämförelse av stamvolym från maskin och simulator (gran).

Vid en mer detaljerad analys av enskilda stammars diametervektor (en diameter registrerad per dm-modul) utmed stammen kunde en systematisk avvikelse konstateras. I figur 17 och 18 illustreras två av de analyserade stammarna. Observera att dessa valts ut subjektivt för att ge en ungefärlig bild av hur materialet ser ut. Mycket stora individuella skillnader existerar. Det framgår dock att samtliga stamprofiler från simulatören har en mindiameter satt till 75 mm.



Figur 17.
Jämförelse av avsmalningen för stam 54 (diametervektor) som registrerad hos skördaren samt som beräknad enligt Oryx respektive enligt Edgren-Nylinder.



Figur 18.
Jämförelse av avsmalningen för stam 56 (diametervektor) som registrerad hos skördaren samt som beräknad enligt Oryx respektive enligt Edgren-Nylinder.

Resultatet av volymbereäkningarna ovan indikerade tydligt att de av Oryx genererade stammarna avvek ifrån övriga sätt att beräkna stamvolymen.

DISKUSSION

Tidsstudier

Av tidsstudierna framgår att vi har en bra överensstämmelse mellan simulator och verklighet beträffande prestation och tidsåtgång. Vi har en differens i tidsåtgång på ca $\pm 5\%$ vid kran- och aggregatarbete. Den största tidsskillnaden uppstår vid framflyttning av skördaren, vilket beror på att kranen är starkare i simulatoren, färre flyttningar, samt att det går fortare att köra skördaren i simulatoren eftersom man inte har någon påverkan av terrängen, vilket man har i fält.

Spak- och knappfunktioner

När det gäller knapptryckningar har vi större skillnader. Skillnaden uppstår framför allt vid kvistning av stammen. I simulatoren har vi ett idealt förhållande d.v.s. vi har inga problem med kvistar och vi har tillräckligt med dragkraft.

Spakrörelserna är mycket lika i simulatoren och i fält. De skillnader som kan iakttas är spakarnas utslag. För teleskop och rotator är något mindre i simulatoren medan de är mycket för sväng och lyft. Övriga skillnader är att spakrörelserna är något ”ryckigare” i fält och förklaringen är att det uppstår vibrationer i fält som påverkar föraren. I simulatoren finns inga vibrationer.

Stamprofiler

Analyserna av stamprofilerna gav en relativt stor avvikelse ifrån inmätta värden samt att avvikelsen har en stor individuell variation. Förmodligen är det orsaken till att volymavvikelsen var större i denna fördjupade studie med få stammar än i fidelitystudien.

Vi har föreslagit att man går över till Edgren-Nylinders funktion för att beskriva avsmalningen av stammarna i simulatoren. Oryx Simulations har nu infört denna funktion för avsmalningen. I det kortare perspektivet bör man även åtgärda problemet med att den minsta tillåtna diametern är satt till 75 mm.

Referenser

- Ahlsén, B., Appelgren, Å. & Brander, M. 2003. Kranmanövrering – Ett styrdon för kranpetsstyrning. Tekniska Högskolan Linköping.
- Ahlsén, B. 2004. Styrdon för automatiserad kranstyrning. Skogforsk. Arbetsrapport 563.
- Andersson, P.-O., Berglund, H. & Bäckström, P.-O. 1977. Simulering av maskinella planteringsorgans arbete. Skogsarbeten Redogörelse nr 7.
- Almquist, A., Kempe, C. & Österblom, U. Simuleringsstudier av Jerfed-Grafströms fällare-läggare/kvistare/buntare. Skogforsk 1970.
- Almquist, A. 1971. Simulering av ÖSA 710 processor i 7 typbestånd. Skogsarbeten.
- Almquist, A. 1973. Simulering av skogsmaskiner. Skogsarbeten Meddelande nr 9.
- Brander, M. & Eriksson, D. 2004. Delautomatisering av kranfunktioner på engreppsskördare. Skogforsk, Arbetsrapport 562.

- Brander, M., Eriksson, D. & Löfgren, B. 2004. Automation av kranarbetet kan öka prestationen. Skogforsk Resultat Nr 8, Brunberg, T. 2002. Skogsbrukets kostnader och intäkter 2001: ett lugnt år. Skogforsk Resultat nr 15.
- Brunberg, T. & Löfgren, B. 1998. Simuleringsteknik i skogligt FoU-arbete. Skogforsk, Stencil 1998-11-03 (internt diskussionsunderlag).
- Erikson, G. & Thor, M. 1999. Interaktion människa-skogsmaskin. Rapport från ett SLO-projekt. Skogforsk, Arbetsrapport 423.
- Hallonborg, U. 1998. Ingen man på maskin – En förarlös vision. Skogforsk, Arbetsrapport nr 399.
- Löfgren, B. 2004. Kinematic control of redundant knuckle booms. Lic.Tech., Mechanical Design, Kungl. Tekniska Högskolan, Stockholm.
- Löfgren, B. 1989. Kranspetsstyrning. Skogforsk, Meddelande 18.
- Löfgren, B. 1997. Autonoma System. Skogforsk, Arbetsrapport nr 361.
- Löfgren, B., Attebrandt, M., Landström, M., Nordén, B. & Petersson, N. 1994. Kranspetsstyrning – en utvärdering. Skogforsk Redogörelse nr 1.
- Löfgren, B., Bergkvist, I., Brunberg, T., Hallonborg, U., Norin, K. & Thorsén, Å. 2002. Temaprojekt – delautomatisering. Fas1: Behov och möjligheter. Skogforsk Arbetsrapport nr 512.
- Löfgren, B. & Hallonborg, U. Automation – en möjlighet att öka produktiviteten i drivning. I: Utvecklingskonferens 2004. Skogforsk Redogörelse nr 1.
- Sjunnesson, S. 1970. Ett exempel på simulering som analysinstrument för människa-maskinsystem vid gallring. Skogshögskolan.

Tidsmomentindelning för skördare

Nedan återges de tidsmoment som urskiljdes i studien, samt deras definitioner.

Moment	Definition
Körning	Börjar då det sista trädet lämnat aggregatet och maskinen rör sig framåt. Momentet avslutas då hjulen åter står stilla.
Kran ut	Börjar då kranen förs ut mot trädet och griper trädet.
Fällning	Avskiljningen av trädet från roten.
Kran in påbörjas	Börjar då trädet avskiljts och avslutas då kvistning-kapning
Kvistning-kapning	Börjar då matarvalsarna rör sig och avslutas då sista delen av trädet lämnat aggregatet.
Underväxtröjning	Tid för röjning av underväxt.
Övrig verktid	Annan tid till gagn för arbetet.
Avbrott	Tid som inte kan hänföras till faktiskt arbete, såsom raster reparationer o.s.v.

Definition övriga data för skördare

De data som ingår framgår nedan:

Moment	Faktor
Fällning	Dubbelsågning, ansättningshinder.
Kvistning-kapning	Backning-slrning vid kvistning-kapning. Maskinellt förfällda träd.
Övrigt	Svårt träd följer med vid kvistning-kapning.

Faktorerna beskrivs enligt följande:

Faktor	Definition
Dubbelsågning	Fler än ett fällsnitt görs vid avkapningen av trädet från roten.
Ansättningshinder	Förrensning av trädet, t.ex. lågt sittande grenar.
”Backning-slrning”	Backning-slrning p.g.a. att aggregatet inte orkar kvista delar av trädet.
Maskinellt förfällda träd	Träd som fälls för att vid ett senare tillfälle kvistas och kapas.
”Svårt träd”	Svårt träd definieras som de träd som p.g.a. kvist, klyka eller krokighet ökar tidsåtgången påtagligt (som indikator på dessa träd kan backning-slrning vid kvistning-kapning användas).
”Följer med”	Träd som inte kan matas direkt genom aggregatet utan medverkan från kranen.

Högmättningsinstruktion

En virkeshög definieras av ett antal virkesbitar av samma sortiment som fysiskt ligger tillsammans.

Virkeshögarna i skogen delas upp i följande sortiment.

- Timmer.
- Granmassa.
- Sulfat.
- Björkmassa.
- Rötved.

Faktor	Definition
	<i>En hög betraktas som svår om ...</i>
Bredd	... bredden överstiger 1,5 meter och högens volym understiger en grip.
Längdspridning	... längdspridningen överstiger 1,5 meter.
Korslagd	... korslagd bit finns i högen (över 45 grader mot flertalet bitars längdriktning).
Ris	... högen är så risad att det menligt påverkar skotningsarbetet.
Avstånd	... högen ligger mer än 5 meter från stickvägens mitt.
Blandad hög	... hög i vilken mer än ett sortiment ingår.

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2007

År 2007

- Nr 629 Brunberg, T. 2007. Bränsleförbrukningen hos skördare och skotare vecka 13 och 39 2006. 11 s.
- Nr 630 Brunberg, T. 2007. Ekonomin hos extra stor skördare tillsammans med stor skotare. 5 s.
- Nr 631 Eriksson, B. 2007. Tillväxt i skogsvårdsföretag. 13 s.
- Nr 632 Frisk, M. & Ekstrand, M. 2007. Vilka vägar används av skogsnäringen – Visualisering av skogsbrukets virkesflöden. 23 s.
- Nr 633 Furness-Lindén, A. 2007. Affärsutveckling i relationen. Stor kund: liten leverantör – vad kan skogsbruket lära? ”Version 2 – utan intervjureferat – för allmän distribution” 54 s.
- Nr 634 Järrendal, D. & Tinggård Dillekås, H. 2007. Head-Up Display i engreppsskördare – Utvärdering i simulator och i fält. 153 s.
- Nr 635 Wählberg, A. 2007. Trafiksäkerhetseffekter av ökad storlek på lastbilar. 21 s.
- Nr 636 Jönsson, P. & Löfroth, C. 2007. Vibrationsmätningar på provbana – Ponsse Elk. 11 s.
- Nr 637 Bergkvist, I. 2007. Flerträdshantering i granbestånd – Pilotstudie av John Deere 754 med modifierade kvistknivar för flerträdsavverkning samt provkörning av flerträdshanterad graved i rensriet på Hallsta massabruk. 8 s.
- Nr 638 Ekstrand, M. 2006. Reseberättelse – Tunga virkesfordon – Nya Zeeland och Australien. 12 s.
- Nr 639 Sonesson, J., Almqvist, C., Andersson, B., Ericsson, T., Högberg, K-A., Jansson, G., Karlsson, B., Persson, T., Rosvall O., Stener L-G. & Westin J. 2007. Lägesrapport 2006-12-31 för förädlingspopulationer av tall, gran, björk och contortatall. 21 s.
- Nr 640 Rosvall, O., Simonsen, R., Elfving, B., Rytter, L. & Jacobson S. 2007. Tillväxthöjande skogs-skötselåtgärder i privatskogsbruket – underlag för lönsamhetsberäkningar. Slutrapport – Lönsam tillväxtökning. 62 s.
- Nr 641 Möller, J. J. & Moberg, L. 2007. Stambank VMF Qbera. 14 s.
- Nr 642 Möller, J.J., Arlinger, J., Wilhelmsson, L., Sondell, J. & Moberg L. 2007. Modell för automatisk kvalitetsbestämning vid virkesmätning med skördare. 24 s.
- Nr 643 Möller, J.J. & Arlinger J. 2007. Praktisk test av automatisk kvalitetssättning vid betalningsgrundande skördarmätning hos Södra skogsägarna i Götaland och Sveaskog i Bergslagen. 44 s.
- Nr 644 Jönsson, P., Löfroth C., Berger, R. & Mörk, A. 2007. Bränslebesparande och vibrationsdämpande skotning. 18 s.
- Nr 645 Möller, J.J. 2007. Stambank VMF Qbera VMR 1-07. 20 s.
- Nr 646 Möller, J.J. 2007. Stambank VMF Syd. VMR 1-99 & VMR 1-07.
- Nr 647 Bergkvist, I. & Lundström, H. 2007. Studier av Cranab Access i förstagallring av tall. 14 s.
- Nr 648 Stener, L.-G. 2007. Studie av klonskillnader i känslighet för askskottsjuka. 14 s.
- Nr 649 Stener, L.-G. 2007. Utvärdering av sydsvenska avkommeförsök med klibbal. 44 s.
- Nr 650 Stener, L.-G. 2007. Tidig utvärdering av fyra sydsvenska försök med olika lärkarter av olika genetiskt ursprung. 22 s.
- Nr 651 Wilhelmsson, L. 2007. Utveckling av egenskapsbeskrivning med avverkningsmaskiner – FoU-läget vid millenniumskiftet. 34 s.

2008

- Nr 652 Löfgren, B., Nordén, B. & Lundström H. 2007. Fidelitystudie av en skogsmaskinsimulator. 30 s.
- Nr 653 Norén J., Rosca, C. & Rosengren, P. 2007. Riktlinjer för presentation av apteringsinformation i skogsskördare. 70 s.