

Arbetsmiljö, prestation och bränsleförbrukning för fem stora skördare:

John Deere 1470G, Komatsu 951, Logset 12H, Ponsse Bear och Rottne H21



Innehåll

Förord	3
Summary.....	4
Studiens bakgrund, syfte och innehåll.....	5
De studerade maskinerna.....	6
Resultat och diskussion.....	7
Prestation.....	7
Bränsleförbrukning.....	8
Metodstudie	9
Arbetsmiljö.....	11
Förutsättningar för värdeskapande – stamhållning m.m.	14
Vilka slutsatser kan dras av studien?	16
Referenser.....	17
Bilaga 1 Momentbeskrivning för tidsstudie – avverkning.....	18
Bilaga 2 Studerade förare och maskiner	19
Bilaga 3 Använda studie- och mätmetoder	22



Förord

Denna studie har framförallt möjliggjorts genom stort tillmötesgående från de studerade förarna Leif Guldbrandsson, Tobias Holmgren, Didrik Nilsson, Anders Signarsson, Gerhard Sjölander, Andreas Söderlund och Jonas Wahlberg. Alla har utan knot accepterat alla våra påhitt och påföljande störningar i sitt dagliga arbete. De har samtliga i högsta grad bidragit till de nya kunskaper som genererats genom detta arbete.

Även berörda maskintillverkare och markvärden SCA har genom sina insatser bidragit till ett förhoppningsvis gott resultat. Flera besök från SCA visade att studien väckte ett uppriktigt intresse.

Skogforsks försökstekniker Hagos Lundström har, med sedvanligt gott humör, genomfört förberedelserna för fältarbetet och de krävande tidsstudierna. Han fick hjälp av produktionsledare Jesper Petterson från SCA att hitta ett lämpligt bestånd. Skogforsks nyanställda tekniske doktor Morgan Rossander besökte studien – en första upplevelse av skogsmaskinstudier i fält. Han fick senare ta hand om uppgiften att analysera data från vibrationstesterna. I andra änden av erfarenhetsspektrat återfinns jägmästare Torbjörn Brunberg, vilken som nybliven pensionär ansvarat för normering av studieresultat och signifikanstester. Anders Mörk hjälpte mig att analysera de videofilmer som gjordes av arbetet.

Slutligen är det på sin plats att tacka Jämtlands räddningstjänst och deras duktiga deltidbrandmän som snabbt och resolut släckte branden som uppstod då försöksvirket skulle skotas ut – en av de fåtaliga bränder som orsakades av skogsmaskiner i skogsbrändernas varma sommar 2018.

Uppsala i september 2018

Rolf Björheden

Summary

Ergonomics, performance and fuel consumption for five big cut-to-length harvesters:

JOHN DEERE 1470G, KOMATSU 951, LOGSET 12H, PONSSE BEAR AND ROTTNE H21.

Performance, fuel consumption, wood value recovery and basic ergonomic properties (vibrations, noise, cabin access and space) for five large cut-to-length harvesters was studied. The studied machines were John Deere 1470G, Komatsu 951, Logset 12H, Ponsse Bear and Rottne H21.

Previous studies, comparing machines of different size but of the same make, provided the background for this study. These studies showed that the larger machines had ergonomic advantages and indicated that wood value recovery was easier, when harvesting large-size trees. The technical production potential of current machines is considerably higher than what is normally achieved in practical operations. But how a performance rate closer to the technical potential would affect exposure to whole body vibrations, noise levels and wood value recovery has previously not been studied.

The study was carried out at SCA Skog between June 25th and July 5th, 2018 in a 130-year old, almost pure pine stand (*Pinus silvestris*), with an average tree size of 0,65 m³sub. The weather was sunny to partially cloudy with a westerly breeze for the full duration of the experiment and, thus, the conditions were very similar during all parts of the study.

Komatsu 951 and Logset 12H were driven by two different operators, which means that, to some extent, also the operator influence is illustrated. The tactical choices and driving mode of the operator is of decisive influence on performance and fuel economy, but also on vibration patterns and on the prerequisites for high value recovery, such as stem grasp. Thus, in delimited studies of mechanised harvesting each combination of a machine and an operator should be seen as an entity or *team*. In this study, each team was studied for approximately three hours productive time during which vibration levels were also measured and recorded. The operation was also registered by a GoPro camera for subsequent evaluation of working pattern and methods. After the time study, a short noise level recording was done while harvesting a limited number of trees and driving around 150-250 m in the stand.

All operators were highly skilled. They reached a performance between 160 – 210 per cent of the performance norm during the limited time of the study. This observation provides further evidence of the high technical potential for production of current harvesters. Thus, the most important factor currently limiting harvester productivity is that a normal operator cannot produce at the rate technically possible for any length of time.

It was found that all harvesters offer good working environment with respect to vibrations and noise levels, also during intense harvesting of large-sized trees. Further, bucking, stem grasp, piling and sorting were graded from 'acceptable' to 'good' for all studied teams.

The cab was generally roomy, although stow-away for clothes etc may be improved. The accessibility was acceptable although the height to the first step and placement of hand-rails commonly led to penalty points.

The essential conclusion of the study is that systems that simplify machine operation and reduces mental workload of the operator, e.g. through partial automation, would allow operators to increase their performance without improving the harvesters' basic technical properties. This observation is an important guiding statement for continued development.

Studiens bakgrund, syfte och innehåll

Arbetsrapporten presenterar uppgifter om prestation, bränsleförbrukning och grundläggande arbetsmiljöegenskaper (tillgänglighet och hyttutrymme, vibrationer och buller) för fem slutavverkningsskördare: John Deere 1470G, Komatsu 951, Logset 12H, Ponsse Bear och Rottne H21.

Skogforsk har utfört flera jämförande studier av maskiner från samma tillverkare, men av olika storlek. Studierna visade att de större maskinerna hade ergonomiska fördelar och indikerade även förbättrat värdeutnyttjande, särskilt vid avverkning av grov skog. Dessa observationer utgör bakgrund till denna studie, tillsammans med observationen att dagens maskiner har en betydande teknisk produktionspotential, som inte uthålligt kan utnyttjas av normalföraren. Syftet var att undersöka om mer av denna potential kan frigöras, utan att den ökade produktionstakten leder till försämrad arbetsmiljö, sämre aptering eller undermålig virkespresentation.

Studien genomfördes hos SCA Skog i juni-juli 2018. Försöksbeståndet var ett 130 år gammalt, nästan rent tallbestånd (*Pinus silvestris*) med medelstam 0,65 m³fub. Vädret var soligt och varmt med spridda moln och en stadig västlig bris.

Maskinerna körs till vardags åt SCA, som entreprenadmaskiner eller som företagsägda maskiner. De kördes av sina ordinarie förare, som alla är mycket körtekniskt skickliga. Varje ekipage (förare+maskin) tidsstuderades under ca tre timmar effektiv arbetstid (G₀h) och hpr-filer insamlades för analys av stamhållning med mera. Under tidsstudien registrerades även vibrationsnivåer. Arbetet filmades med GoPro-kamera för analyser av arbetsmönster och -metoder. Bullernivå i hytten registrerades under ca 150–200 m körning i beståndet samt vid upparbetning av 8–16 träd. Komatsu 951 och Logset 12H kördes av två olika förare vardera. Detta möjliggör, i någon mån, att illustrera resultatets starka förarberoende. Förarens körstil och metodtillämpning har stark inverkan på prestation och bränsleförbrukning, men inverkar även på vibrationer och andra mätbara variabler.

Syftet med studien har varit att översiktligt karakterisera större skördare med avseende på möjlig prestationsnivå, förutsättningar för tillvaratagande av virkets värde, bränsleförbrukning och arbetsmiljöfaktorer som buller och vibrationsnivåer. Studien kan alltså **inte** ligga till grund för rankning av maskinerna¹. Instruktionen till deltagande förare var att eftersträva hög effektivitet, men att ”köra som vanligt” med hänsyn till SCA:s instruktioner. Trots detta uppstod ett tävlingsmoment, som i olika grad påverkade de medverkande förarna.

Resultaten vad gäller prestation och bränsleförbrukning bör huvudsakligen ses som exempel på vad en skicklig förare i sin ordinarie maskin kan uppnå under koncentrerat produktivt arbete. Värde av studien ligger alltså främst i att de höga prestationsnivåerna kunnat kopplas till uppmätta värden på vibrationer och buller och bedömning av virkespresentation och tillredning. Studien har kunnat fastställa att en hög prestation vare sig medfört en oacceptabel arbetsmiljö eller medfört undermålig högläggning eller virkestillredning.

¹ Ett problem vid studier av detta slag är att erhålla jämförbarhet mellan ekipagen. Strategin att låta alla förare ”köra in sig” så att de får samma vana vid samtliga studerade maskiner är inte helt invändningsfri, och dessutom inte praktiskt och ekonomiskt möjligt att tillämpa vid en så omfattande studie. Strategin att använda ett mycket stort antal förare faller av samma skäl.

DE STUDERADE MASKINERNA

De stora skördarna John Deere 1470G, Komatsu 951, Logset 12H, Ponsse Bear och Rottne H21 ingick i studien. Tekniska data för basmaskinerna och de skördaraggregat de utrustats med redovisas i Tabell 1.

Tabell 1. Tekniska data för de studerade maskinerna. (Data från produktdatablad, kompletterat av maskinägare och -tillverkare, som ansvarar för att uppgifterna är riktiga).

	JD1470G	Komatsu 951	Logset 12H	Ponsse Bear	Rottne H21
Motortimmar vid studie	6 400	2 200	5 000	400	5 000
Tjänstevikt, kg	> 22 900	> 22 620	24 500	> 23 800	24 200
Motor	JD 6090	AGCO P 74	AGCO P 74	MB OM936	JD 6090
EPA	FT4	FT4	FT4	4F	FT4
Motoreffekt, kW	200	210	220	260	227
AdBlue, % av diesel	2 %	3,9 %	4 %	4,2 %	2–3 %
Vridmoment, Nm	1 315	1 200	1 200	1 450	1 351
Dragkraft, kN	200	232	230	230	230
Hydraulföde l/min (@1000 rpm)	400	330	420	380	385
Systemtryck, MPa	28	28	28	28	30
Hybridsystem	-	-	Elhybrid	-	-
Effekt	-	-	380	-	-
Vridmoment	-	-	800	-	-
Lagringskapacitet, kW	-	-	812	-	-
Kran	CH 9	270 H	Mesera L280V110³	C6	RK 250
Räckvidd, m	8,6/10/11	8,6/10,3	11	8,6/10	11 (utskjut 2,2)
Lyftmoment, kNm	225	274	280	310	325
Svängmoment, kNm	59	60	65	67	62,4
Aggregat	H 415	C144	TH75	H8	LogMax 6000B
Vikt, kg ¹	1 330	1 410	1 400	1250	1 306
Kvistn max dia, mm ²	460	510	480/550		550
Max öppn övre, mm	680	660	780	740	690
Max öppn nedre, mm	730	800	1040	780	690
Matningskraft, kN	41,6	29,6	36	36	26,6/29
Max fälldia, mm	710	710/750	780	850	650/720

¹ Exklusive rotator och länk

² Spets mot spets

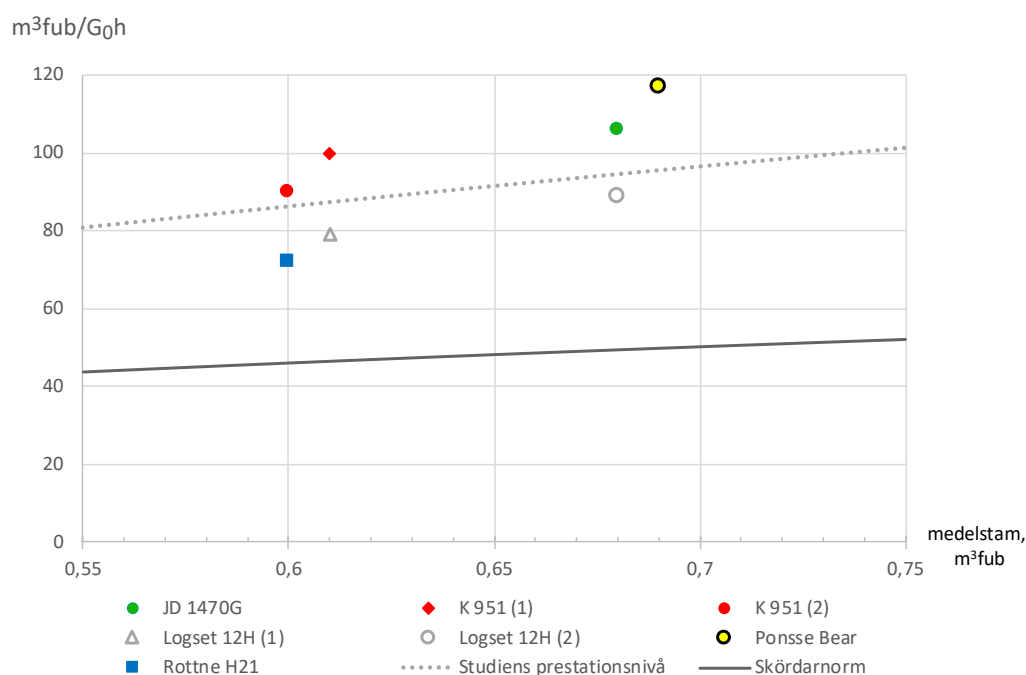
³ I denna studie, standardkranen är en Mesera 285H med räckvidd 9,7 m

Resultat och diskussion

PRESTATION

I Figur 1 redovisas observerad prestation för studerade ekipage, genomsnittlig prestationsnivå samt, som jämförelse, prestation enligt skördarnormen.

Eftersom medelstammen inte är lika mellan studieleden har materialet normerats med avseende på trädstorlek. Detta har gjorts genom en studiespecifik funktion för prestationens beorende av trädstorleken. Baserat på denna funktion kan därefter en mer rättvisande jämförelse av prestationen göras för alla maskiner, denna redovisas i Tabell 2.



Figur 1. Figuren visar studiens prestationsnivå mot medelstamvolym för de studerade ekipagen samt observerad prestation i m^3fub/G_0h för varje deltagande ekipage. Som jämförelse har skördarnormens prestationsnivå lagts in, med heldragen linje.

Som framgår av Tabell 2 utjämnades prestationsskillnaderna för de olika ekipagen då materialet korrigerades för skillnader i medelstamvolym. Det bör understrykas att eventuella skillnader mellan *maskiner* är vanskligt att uttala sig om efter ett kortare test i fält såsom detta. Sannolikt är *ekipaget*, det vill säga aktuell kombination av förare och maskin en mer avgörande förklarande faktor.

Tabell 2. Observerad prestation och prestation korrigerad genom normering för medelstam för de olika studieleden.

Maskin (Förare)	Medelstam m ³ fub	Observerad prestation m ³ fub/G ₀ h	Korrigerad prestation m ³ fub/G ₀ h
JD 1470G	0,68	106	100
Komatsu 951 (1)	0,61	100	102
Komatsu 951 (2)	0,60	90	94
Logset 12H (1)	0,61	79	81
Logset 12H (2)	0,68	89	84
Ponsse Bear	0,69	117	109
Rottne H21	0,60	72	77
Volymvägt medeltal	0,64	-	90

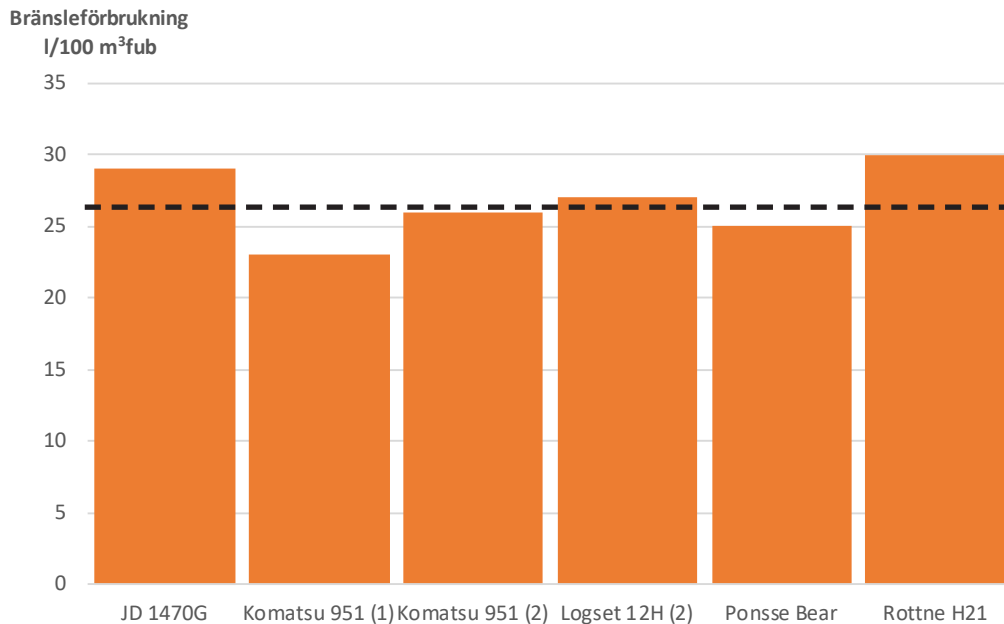
BRÄNSLEFÖRBRUKNING

Även bränsleförbrukningen påverkas av medelstamvolymen. Därför har också bränsleförbrukningen normerats. Som framgår av Tabell 3 blev effekten av denna korrigering måttlig. Bränsleförbrukningen för Logset 12H med förare 1 innehåller sannolikt mätfel, men orsaken åtgärdades innan studien av förare 2 på Logset 12H genomfördes.

Tabell 3. Bränsleförbrukning per m³fub, observerad och korrigerad genom normering för medelstam.

Maskin (Förare)	Medelstam m ³ fub	Observerad bränsle- förbrukning, l/m ³ fub	Korrigerad bränsle- förbrukning, l/m ³ fub
JD 1470G	0,68	0,28	0,29
Komatsu 951 (1)	0,61	0,23	0,23
Komatsu 951 (2)	0,60	0,26	0,26
Logset 12H (1) ¹	0,61	0,34	0,34
Logset 12H (2)	0,68	0,27	0,27
Ponsse Bear	0,69	0,24	0,25
Rottne H21	0,60	0,31	0,30

¹ Bränslemätningen för Logset 12 H (1) är ej tillförlitlig.



Figur 2. Normerad bränsleförbrukning, l/100 m³fub för de studerade ekipagen, samt genomsnittlig bränsleförbrukning markerad med en streckad linje. Eftersom den första mätningen för Logset 12H inte är tillförlitlig har den uteslutits ur figuren, men redovisas i Tabell 3.

METODSTUDIE

En metodstudie genomfördes, baserat på de GoPro-upptagningar som gjordes av arbetet. Analyserna visade att samtliga förare använde ett likartat fällningsmönster, som i hög grad är bestämmande för avverkningsmetoden, även om vissa varianter i metodtillämpningen kunde iakttas.

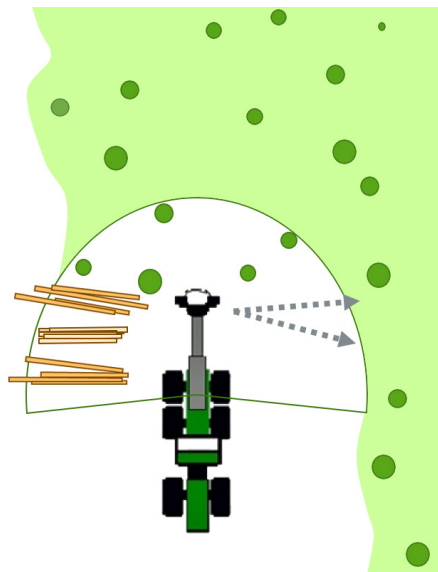
I detta avsnitt identifieras främst prestationspåverkande metodskillnader mellan de olika förarna, vilka bör uppmärksammas vid bedömningen av de olika ekipagens prestationsnivå.

Fällningsmönster

Fällningsmönstret, det vill säga i vilken riktning man fäller träden i förhållande till virkeszonen, är en viktig förutsättning för den arbetsmetod man kommer att tillämpa. Videoanalysen av det utförda arbetet visade att skillnaderna var små mellan de studerade förarna. Samtliga förare fällde stammarna i huvudsak enkelsidigt, det vill säga samtliga stammar fälldes i en och samma riktning. Självklart varierar fällningsriktningen från träd till träd, men genomsnittligt tillämpade de olika förarna i stort sett samma fällningsriktning, vilken var vinkelrät, svagt framåt eller svagt bakåt mot framryckningsriktningen (Figur 3).

Figur 3. Illustrationen visar det fällningsmönster som normalt tillämpades av samtliga förare i studien. Detta enkelsidiga fällningsmönster, med 10–12 m slagbredd, är lämpligt vid grov skog, eftersom det minskar behovet att fälla med lång kranarm. Man kan få relativt god koncentration av massaveden, om högen byggs från två positioner och slipper fälla över upparbetat virke. Risken för fastfällning är begränsad.

Den slutliga metodtillämpningen skilde sig dock mellan förarna trots att i stort sett samma fällningsmönster tillämpades. Framst berodde skillnaderna på att maskinförflyttningen skedde på olika sätt, vilket kom att påverka behovet av kranarbete.



Arbetsmetod

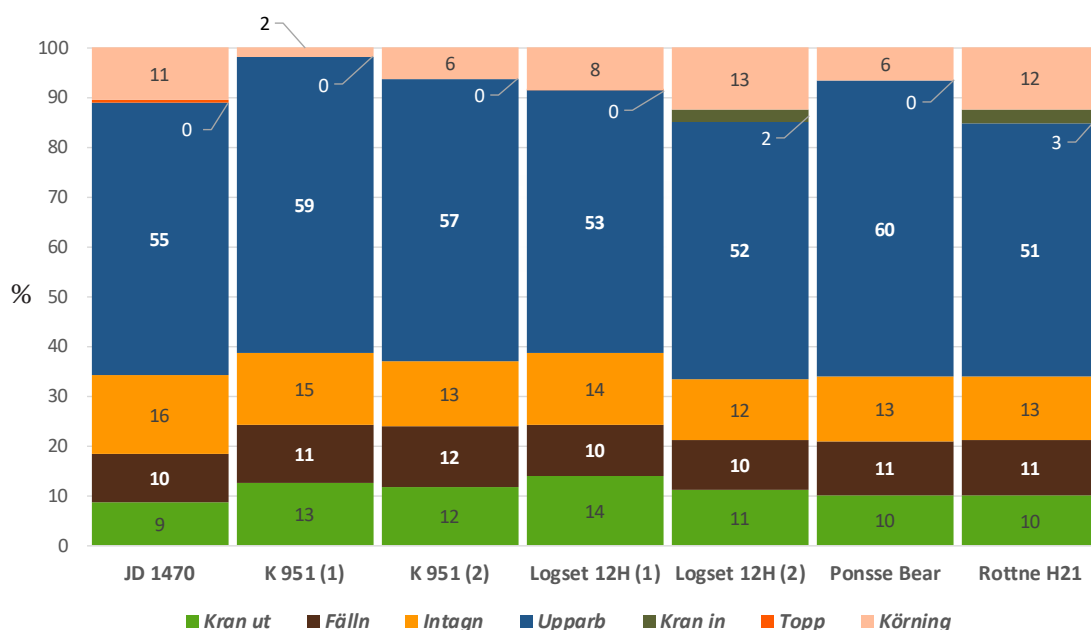
De olika arbetsmetoder som kunde observeras är främst knutna till momentet Körning, det vill säga maskinförflyttning under avverkningsarbetet. Följande tre varianter identifierades:

- Uppställningsmetoden. Maskinen förflyttas vanligen distinkt mellan olika uppställningsplatser, där ett antal träd avverkas innan ny maskinförflyttning sker. Ekipagen JD 1470, Logset (1) och (2) samt Rottne H21 arbetade huvudsakligen på detta sätt.
- Blandmetod. Maskinen förflyttas distinkt mellan uppställningsplatser, men dessutom krypkör maskinen vissa sträckor samtidigt som avverkning utförs. I momentanalysen syns detta genom att andelen körning halverats jämfört med föregående metod. Ekipagen Komatsu 951 (2), och Ponsse Bear arbetade på detta sätt.
- Krypkörningsmetoden. Maskinen krypkör huvudsakligen och förflyttas endast undantagsvis utan att avverkningsarbete samtidigt utförs. Ekipaget Komatsu 951 (1) arbetade enligt denna metod. Metoden, så som den här användes, innebar ibland arbete på lång kran och kan leda till att virke oftare blir korslagt i högarna.

I Figur 4 redovisas de olika förarnas relativa fördelning av arbetstiden på olika arbetsmoment. Av figuren framgår att krypkörningsmetoden i stort sett raderar momentet körning, eftersom det sker samtidigt som kranarbete och upparbetning. Metoden gav dock upphov till en hel del arbete på mycket lång kran, vilket gjorde att andelen *kran ut+fällning* och *intagning* blev relativt hög. Även andelen upparbetningstid, då virke löper genom aggregatet, blev hög med denna metod.

Av de ekipage som mestadels arbetat med uppställningsmetoden skiljer JD 1470 ut sig på så sätt att kran ut-positionering-fällning skett mycket effektivt. Detta tyder på mycket driven teknisk körskicklighet.

De två ekipage som tillämpade en blandmetod (Komatsu (2) och Ponsse) där krypkörning blandades med mer distinkt förflyttning tenderar att ha något högre andel upparbetning, jämfört med de ekipage som kört enligt uppställningsmetoden.



Figur 4. Grafisk presentation av de olika förarnas relativa fördelning av arbetstiden på olika moment i procent. Skillnader finns främst vad gäller andelen Kran ut+Fällning samt i momentet Körning.

Virkespresentation

Även virkespresentationen bedömdes baserat på GoPro-filmerna. Ekipagen hade vanligen en godkänd, ”normalgod” sortering och uppläggning av virket, men ekipagen Logset (1) och Rottne bedömdes som bättre än genomsnittet.

ARBETSMILJÖ

Arbetsmiljögranskningen omfattade insteg och hyttutrymme, vibrationer samt ljudnivå i hytten under avverkning och maskinförflyttning.

Insteg och hyttutrymme

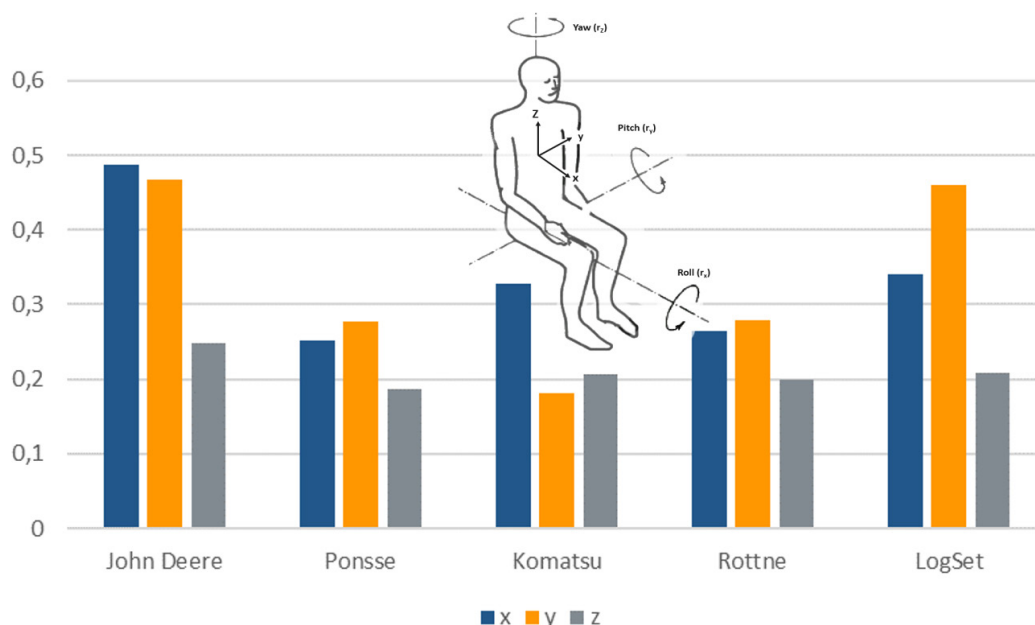
Hyttutrymmet var litet för Logset 12 H, men upplevdes som bekvämt av sina förare. För övriga maskiner var hyttutrymmet väl tilltaget, för Ponsse Bear mycket generöst och med gott om plats för utrustning med mera inne i hytten.

Tillgängligheten är godtagbar, men olämpligt placerade lejdare och stegdjup på vissa avsatser leder ofta till minuspoäng. Avstånd från mark till första steg var onödigt högt för samtliga maskiner. Samtliga maskiner kan förbättras vad gäller insteg, bedömt med hjälp av ergonomiska checklistan.

Vibrationer

Analys av skördarnas vibrationsnivåer skedde enligt ISO 2631-1, men enligt denna standard ska förarstolens säte användas som mätposition eftersom det visar vilka krafter som föraren utsätts för. En nackdel vid detta förfarande är att stolens egenskaper och förarens kroppsbyggnad får stor inverkan på resultatet.

I denna studie var målet att se skillnader mellan maskinernas vibrationsmönster och därför har istället hyttens golv valts som mätposition, med mätinstrumentet monterat mellan golv och stolsunderrede. Det innebär att de uppmätta värdena endast ska studeras i relation till varandra. Vibrationsvärdena (Figur 5) ska inte relateras till gällande hälso- gränsvärden. Tidigare studier har visat att stolen ger en betydande dämpning av vibrationer mellan golv och förare. Endast 3-30 procent av vibrationsamplituderna överförs till föraren från golvet beroende på arbetsmoment, kranvinkel och frekvens (Burström m.fl. 2006).



Figur 5. Frekvensviktade RMS-värden för de studerade maskinerna i x-, y- och z-led. För varje maskin har en serie av 19 träd med medelstamvolymen 0,6 m³fub valts för jämförelsen. Observera att värdena i figuren avser vibrationsvärden mellan golv och stol. Förarens exponering för vibrationer är endast 3–30 procent av de värden som anges ovan

Det observerade vibrationsmönstret redovisas i Figur 5. På några punkter avviker observationerna från vad som förväntats. Eftersom kran och hytt sitter monterade på gemensam svängkrans för Komatsu 951 var det förväntat att vibrationer i x-led (framåt-bakåt) skulle representera en högre andel av vibrationerna än för maskiner med annan konstruktion. Men även JD 1470G, där hytten följer kranspetsens rörelse men är separat monterad i höjd med midjan, visar en hög andel vibrationer i x-led. Logset 12H och Rottne H21 som har en liknande konstruktion som JD 1470G visar inte någon dominans för vibrationer i X-led. Detta tyder på att inte bara maskinens tekniska konstruktion, utan även förarens körstil, har en stor inverkan på vilken profil vibrationsmönstret får i praktisk drift.

Ljudnivå i hytten under körning och avverkning

Buller, det vill säga oönskat ljud, är ett vanligt arbetsmiljöproblem, inte minst för förare av arbetsmaskiner. I en avverkningsmaskin genereras buller av motor, av fläkt- och pumpsystem, av aggregatets matning och kapning samt genom slag och stötar i samband med att maskinen arbetar och rör sig på avverkningsobjektet.

De utförda mätningarna av bullernivån i hytten under avverkning och körning (Tabell 4) visar att samtliga maskiner är väl ljudisolerade. Den uppmätta, genomsnittliga ljudnivån låg för de maskiner som studerades under det lägre insatsvärdet, 80 dB(A). Även uppmätta kortvariga impuls ljud var under insatsvärdet, 135 dB(C).

Bullernivåerna för de studerade maskinerna skiljer sig inte statistiskt åt, vilket kan bero på att data loggades endast under tre till fyra mätperioder på ca 4-5 minuter vardera. Längre mätperioder hade behövts för att med statistisk säkerhet särskilja maskinerna, men detta ansågs inte nödvändigt eftersom ljudnivåerna inte var kritiska ur arbetsmiljösynpunkt. Typiska mätvärden presenteras i Tabell 4 och i Figurerna 6-7.

Tabell 4. Genomsnittlig bullernivå, dB(A) vid avverkning och körning för de fem testade skördarna. Bullernivån vid avverkning utgör ett genomsnitt av mätvärdena vid avverkning, nära respektive på längre avstånd från hytten.

Skördare	Körning, dB(A)	Avverkning, dB(A)
John Deere 1470G	50,9	61,8
Komatsu 951	63,6	70,0
Logset 12H ¹	55,0	-
Ponsse Bear	69,1	67,2
Rottne H21	57,9	57,7

¹ För Logset erhöles endast mätvärden för 56 sekunder avverkning, därför redovisas ej dessa värden.

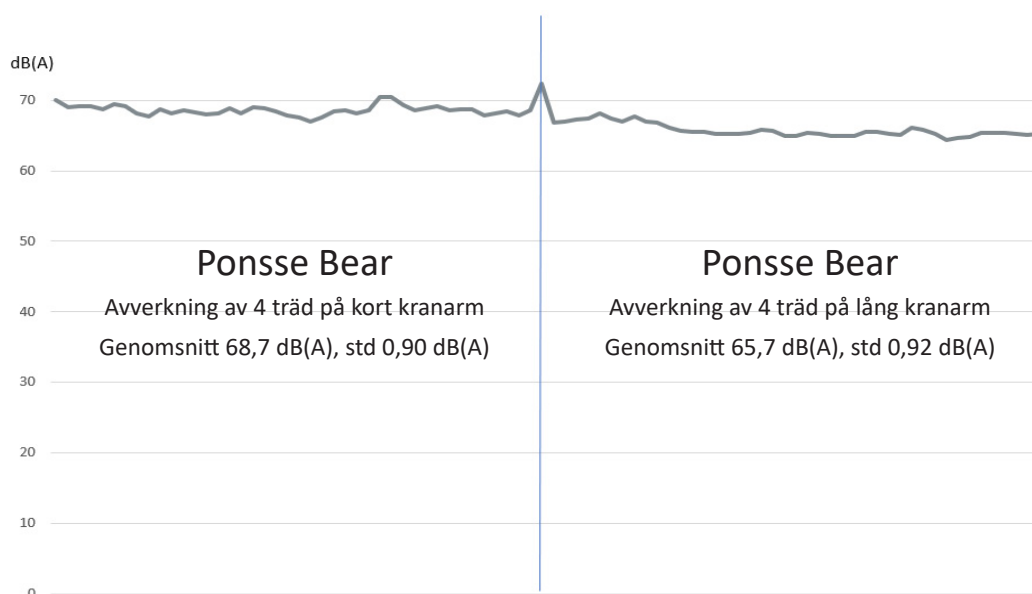


Fig 6. Som typiskt exempel från mätningen av bullernivå i hytten vid avverkning återges data för Ponsse Bear vid avverkning av 4 träd på kort kran, ca 5 m från hytten samt på lång kran omkring 10 m från hytten. Bullernivån sänks något då avverkning sker på långt avstånd. I figuren anges genomsnittlig ljudnivå samt standardavvikelse för mätvärdena.

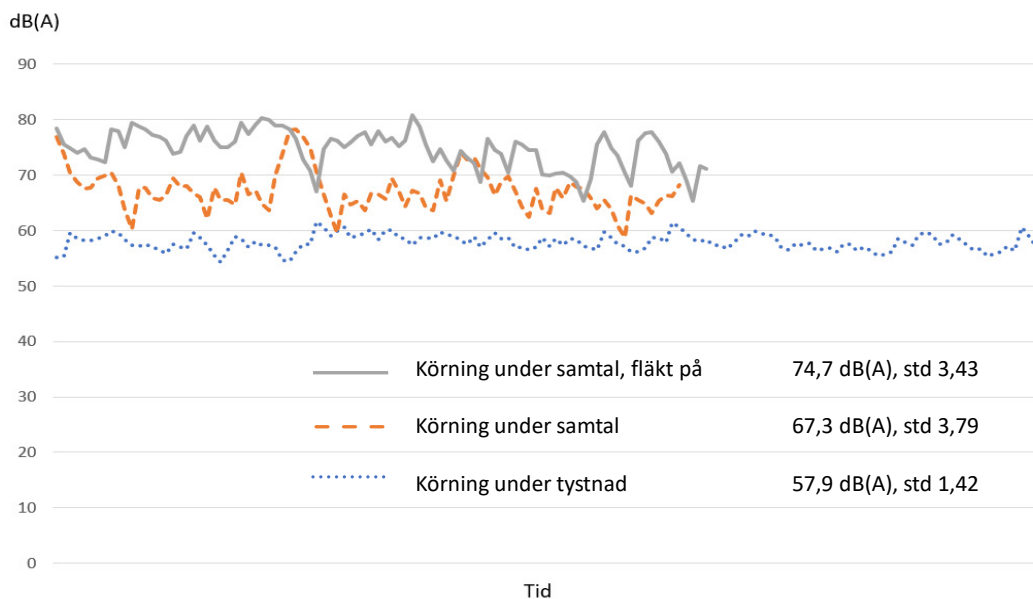


Fig 7. Som typiskt exempel från mätningen av bullernivå i hytten vid körning återges data för Rottne H21 vid körning under tystnad, körning under samtal samt körning under samtal då motorfläkten slagit till. Samtliga mätvärden ligger under insatsvärdet, 80 dB(A), men ljudet från fläkten upplevdes ändå något störande, liksom för övriga skördare.

FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR VÄRDESKAPANDE – STAMHÅLLNING M.M.

I samband med studien insamlades även hpr-filer för bedömning av vissa mätetal som har betydelse för värdeskapande och god aptering. JD 1470G, Komatsu 951 och Rottne H21 lämnade dock hpr-filer i ett sådant format att det var möjligt att utföra analysen, som redovisas i Tabell 5 och 6 samt grafiskt i Figur 8.

Eftersom försöksbeståndet nästan uteslutande bestod av tall (>90 procent) gjordes ingen analys av stamhållning på gran och löv.

Tabell 5. Mått på stamhållning, andel planområde och kap i plan för de olika ekipagen. Analysen har endast utförts för tall, som var det helt dominerande trädslaget.

Skördare ¹	Antal stammar	Granskad längd, m	Total andel planområde, %	Total andel kap i planområde, %
John Deere 1470G	415	7116,0	14,1	9,8
Komatsu 951 (1)	414	6694,7	16,2	13,5
Komatsu 951 (2)	380	6078,6	14,8	10,5
Ponsse Bear	317	5445,6	11,1	6,8
Rottne H21	358	5607,5	6,0	3,7

¹ För Logset 12H erhöles ej hpr-filer med information om stamhållningsparametrar.

Analysen avser andel planområden för total längd tillrett sortiment, samt andel kap som gjorts i planområde. Ett planområde definieras som en sträcka på minst 6 dm inom vilken ingen avsmalning registreras av maskinens diametermätning. Skogforsk (opublicerat manus) har gjort analyser av noggrant inmätta stamprofiler från i stort sett hela Sverige. Dessa analyser visar att tall från den latitud där försöksbeståndet ligger kan förväntas ha ca 6-7 procent verkliga planområden. Tall är mättekniskt ett ganska besvärligt trädslag på grund av ofta förekommande bulighet.

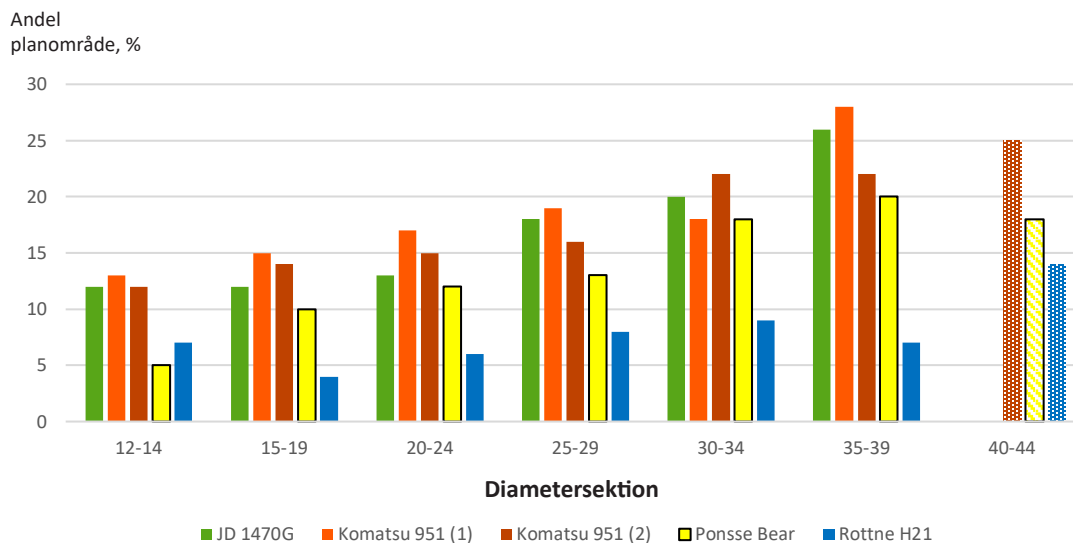
Rottne H21 registrerade 6 procent planområden, vilket motsvarar den förväntade verkliga andelen och indikerar mycket god stamhållning i denna studie. Detta är grunden för god diametermätning (ingen kontrollklavning utfördes dock). För god stamhållning krävs högre hydraultryck på knivar och matarhjul, vilket dock även medför högre bränsleförbrukning. För JD 1470G registrerades ca 14 procent planområde och för Komatsu 15-16 procent för de tallar som avverkades i försöket. De högre värdena kan bero på att aggregaten inte riktigt klarat att mäta diameter efter bästa förmåga för de grova träd som i försöket avverkades i högt tempo. Indikationen på bättre mätning för Rottne i denna studie kan därmed även ha att göra med upparbetningens hastighet. Mätt som utmatade längdmeter sortiment per tidsenhet strömmade virket 30 procent snabbare genom John Deeres aggregat (H415) och nära 20 procent snabbare genom det C144-aggregat som satt på Komatsu än det LogMax 6000B-aggregat som satt på Rottne-skördaren. Hypotesen styrks av det faktum att Komatsu ekipage 1 och 2 utgörs av samma maskin, med samma inställningar, men med två olika förare. Ekipage 2 lade 8 procent längre tid på upparbetning av en längdmeter virke än ekipage 1, som registrerat den högre andelen planområden. Även Ponsse Bear hade dock hög genomströmning genom aggregatet, i nivå med JD 1470G, men har inte en påfallande hög andel registrerade planområden.

Tabell 6. Andel kap i planområde i procent samt andel planområde i procent per diametersektion för de olika ekipagen. Kursiva siffror anger att färre än 100 stockar ingår i sektionsklassen. Analysen har endast utförts för tall som var det helt dominerande trädslaget.

Diametersektion, cm, kap i plan, %, samt (andel planområde, %)							
Skördare ¹	12-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44
John Deere 1470G	4 (12)	9 (12)	12 (13)	21 (18)	17 (20)	42 (26)	-
Komatsu 951 (1)	9 (13)	13 (15)	18 (17)	23 (19)	40 (18)	40 (28)	-
Komatsu 951 (2)	6 (12)	10 (14)	16 (15)	16 (16)	33 (22)	20 (22)	67 (25)
Ponsse Bear	1 (5)	7 (10)	8 (12)	13 (13)	28 (18)	29 (20)	0 (18)
Rottne H21	2 (7)	4 (4)	4 (6)	9 (8)	12 (9)	0 (7)	0 (14)

¹ För Logset 12H erhöjls ej hpr-filer med information om stamhållningsparametrar.

Andelen kap i planområde (Tabell 6 och Figur 8) följer i stort det mönster som redan beskrivits. JD och Komatsu har relativt förväntade andelar kap i planområde med hänsyn till trädslag och -storlek. Rottneskördarens Logmaxaggregat har utmärkt mätning i denna studie. Den höga andelen kap i planområde för grövre stamsektioner som noteras för John Deere och för Komatsu ekipage 1 kan möjligen åter förklaras genom det höga arbetstempot.



Figur 8. Andel planområde per diametersektion, %. Underlaget i diametersektion 40-44 cm är litet.

VILKA SLUTSATSER KAN DRAS AV STUDIEN?

Studien omfattar fem stora skördare som körts under likartade förhållanden i grov slutavverkning. Studien visar att:

- De förare som deltog i studien var körtekniskt skickliga. De uppnådde prestationer som låg 60 till 110 procent högre än skördarnormen.
- De höga prestationsnivåerna visar att maskinerna som tekniska system inte begränsar produktiviteten. Flaskhalsen ligger idag i att normalföraren inte uthålligt klarar att köra på den nivå som maskinen tillåter.
- Om förarstödande system som avlastar och förenklar för föraren utvecklas, till exempel genom ökad delautomation, skulle produktiviteten kunna höjas utan att maskinernas grundläggande tekniska prestanda förändras. Denna observation är viktig för den fortsatta teknikutvecklingen.
- Förarens inverkan är stark, inte enbart på prestation och bränsleförbrukning, utan även på vibrationsmönster och faktorer med betydelse för värdeskapande, som till exempel aggregatets stamhållning.
- Samtliga studerade skördare erbjuder god arbetsmiljö vad gäller exponering för buller och vibrationer, trots ett högt uppdrivet arbetstempo i grov skog.
- Samtliga studerade ekipage (förare+maskin) klarade, trots den höga produktions takten, att producera väl tillrett och presenterat virke.
- Hyttutrymmet kan i något fall förbättras och planeras på ett sådant sätt att förstärkningsplagg och liknande kan förvaras. Insteget är godtagbart, men kan förbättras för samtliga maskiner.

Referenser

- Tabell, L. 2003. Vibration transmission in a single-grip harvester. Licentiate thesis. SLU, Inst f skogsskötsel, Rapport 55 2003.
- Burström, L., Nordfjell, T., Wästerlund, I. & Tabell, L., 2006. Attempts to Standardise Vibration Measurements in a Single-Grip Harvester. Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active Control 25(1):11–21

Bilaga 1.

Momentbeskrivning för tidsstudie – avverkning

Moment	Beskrivning
Kran ut	Från att topp släpps till att aggregat är 0,5 meter från avverkningsstam.
Fällning	Slutar när avverkningsstammen lättar från stubben.
Intagning	Slutar när aggregatet börjar mata stammen.
Kvistning/kapning (Upparbetning)	Slutar när sista virkesbiten kapas.
Topp	Tiden från att toppen kapas tills att aggregatet släpper toppen. Om föraren släpper toppen direkt efter kapet noteras ofta kran in eller kran ut beroende av vad nästa steg är.
Kran in	Slutar när kranen passerar framför maskinen.
Körning	Börjar när hjulen börjar snurra inför flytt till ny uppställningsplats och slutar när hjulen stannar.
Körning till/från	Börjar när hjulen börjar snurra inför transportsträcka mellan avverkningsplats och koja, slutar när hjulen stannar.
Övrig G ₀	Övrigt arbete som är nödvändigt för drivningen, exempelvis risning av stickväg.

Bilaga 2.

Studerade förare och maskiner

Skördarna kördes under försöket av ordinarie förare. Samtliga utför normalt drivning åt SCA och därför är väl bekanta med prislista och den standard som gäller för olika åtgärder under drivningen. De är mycket erfarna skogsmaskinförare.

Logset 12H	Quickwood AB, Gerhard Sjölander Lillsele Skog AB, Anders Signarsson
John Deere 1470G	Ramsele skog & gräv AB, Leif Guldbrandsson
Ponsse Bear	D&D Nilsson AB, Didrik Nilsson
Komatsu 951	SCA Skog, Andreas Söderlund Tobias Holmgren
Rottne H21	Jonas Salomonsson Wahlberg, Jonas Wahlberg



Figur 1:1. John Deere 1470G ställdes till förfogande av Ramsele Skog & Gräv. Ägaren, Leif Guldbrandsson, körde maskinen.



Figur 1:2. Komatsu 951 kom från ett av SCA:s egna lag och kördes i ett pass vardera av sina ordinarie förare, Andreas Söderlund och Tobias Holmgren.



Figur 1:3. Hybridskördaren Logset 12H ställdes till förfogande av Quickwood AB och kördes i ett pass av ägaren, Gerhard Sjölander och i ett pass av Anders Signarsson, Lillsele Skog AB



Figur 1:4. Skördaren Ponsse Bear kom från D&D Nilsson AB och kördes av en av ägarna, Didrik Nilsson.



Figur 1:5. Rottnes H21, kördes av ägaren, Jonas Salomonsson Wahlberg, som driver företaget med samma namn.

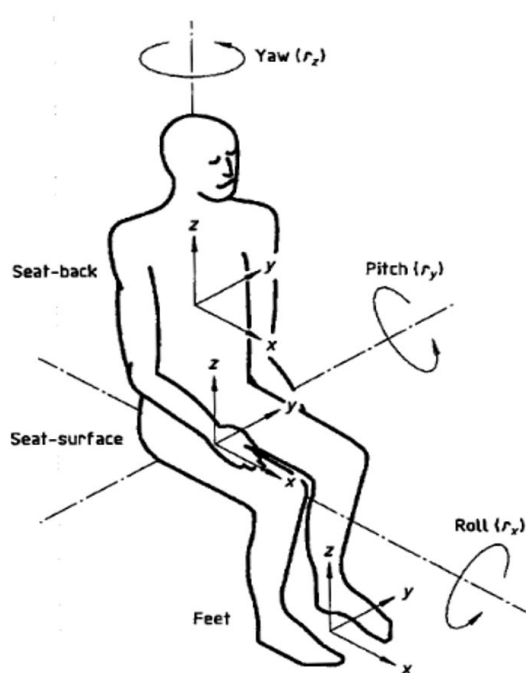
Bilaga 3.

Använda studie- och mätmetoder

Hyttergonomi

Skördarnas ergonomi uppskattades med avseende på maskinens vibrationsnivå och buller under avverkningsarbete samt genom en uppskattning av hyttens utrymme och tillgänglighet baserad på ergonomiska checklistan (Gellerstedt m fl, 2006).

Vibrationsmätning



Figur 3:1. Accelerations- och rotationsriktningar enligt ISO 2631-1

Vibrationer mättes i enlighet med ISO-standard 2631-1 (ISO, 1997). En sensor för mätning av vibrationer i x-, y- och z-led samt vinkelhastighet i rotationsrörelser, *pitch*, *yaw* och *roll* (Figur 3:1) monterades mellan stolens fundament och hyttgolvet (Figur 3:2). Härigenom mäts maskinens vibrationsnivå, utan inverkan av förarens vikt och kvalitet samt inställningar av stolen. De vibrationsvärden som registreras är därmed inte lika med det som föraren utsätts för, som ska mätas vid sätet enligt ISO 2631-1, utan snarare vad som fortplantas till stolen. Eftersom mätpunkten blir sänkt i förhållande till förarsätet innebär mätmetoden dessutom att vinkelrotationen i säteshöjd underskattas, men i lika hög grad för samtliga maskiner. Mätmetoden valdes eftersom den bedömdes ge ett bättre underlag för jämförelse av eventuella skillnader i vibrationsnivåer mellan maskinerna, än att mäta vid sätet.

Vibrationsnivåerna loggades under ca två timmars avverkning och datafilerna analyserades därefter med hjälp av MatLab. Hpr-filerna med avverkningsdata användes vid analysen för att detektera avverkningstidpunkter och stamvolym. Mät dator och maskindator synkroniserades inte. Vid monteringen av mätutrustning eftersträvades att sätta den linjerat med förastolen i körposition, men då detta inte var möjligt (gäller endast för Ponsse Bear) så mättes vinkelavvikelsen. En transformering av mätaxlarna gjordes i samband med analysen för att kompensera för vinkelskillnaden.



Figur 3:2. Vid mätningen av vibrationer monterades mätutrustningen på en spikplåt som sköts in mellan stolfundament och hyttgolv. För alla maskiner, utom Ponsse Bear, var det möjligt att sätta utrustningen linjerat med stolens riktning.

Vibrationsanalyser

Vibrationsnivåerna kvantifierades genom beräkning av RMS-värdet (Root Mean Square) för frekvensvägda accelerationer de olika riktningarna i enlighet med ISO 2631-1. De frekvensvärda signalerna multipliceras med faktorer som anger deras inverkan på föraren, enligt Tabell 3:1. Denna rapport begränsar sig till Health-värdena.

ISO standarden syftar till att bedöma förarens exponering för helkroppsvibrationer och ska egentligen mätas vid förarsätet. Stolens kvalitet och inställningar, liksom förarens vikt spelar härvid stor roll. Därför valdes istället att mäta vibrationerna i kontaktytan mellan stol och hyttgolv. Detta speglar eventuella maskinberoende skillnader i i vibrationsspektrum på ett mer rättvisande sätt, men kan förväntas ge förhöjda värden på vibrationerna. Burström m.fl. (2006) visade att vibrationerna reduceras kraftigt i kedjan kranfot-hyttgolv-säte och fann att vibrationsnivån i sätet endast var 10 procent av uppmätt nivå i kranfoten för en engreppskördare.

Samtliga accelerationssignaler kompenseras för eventuell offset som uppstår, bland annat på grund av gravitation, genom att dra bort medelvärdet från vald mätperiod. Efter kompensationen för offset genomförs en Fourier-transformation, från tids- till frekvensdomän av signalerna för att möjliggöra beräkning av frekvensviktade värden enligt ISO 2631. Signalerna tranformeras tillbaka till tidsdomän för utvärdering av RMS-värdena. Här redovisas endast vägda värden.

Tabell 3:1. Faktorer för beräkning av Comfort value och Health value enligt ISO 2631-1

	Comfort value ¹	Health value
X-acceleration: Wd, k x	1.0	1.4
Y-acceleration: Wd, k y	1.0	1.4
Z-acceleration: Wd, k z	1.0	1.0
Roll: We, k rx	0,63 m/rad	
Pitch: We, k ry	0,4 m/rad	
Yaw: We, k rz	0,2 m/rad	

¹ för referens, används ej i denna rapport

Mätning av bullernivå i hytten

Buller, det vill säga oönskat ljud, är ett vanligt arbetsmiljöproblem, inte minst för förare av arbetsmaskiner. I en avverkningsmaskin genereras buller av motor, av fläkt- och pumpsystem, av aggregatets matning och kapning samt genom slag och stötar i samband med att maskinen arbetar och rör sig på avverkningsobjektet. Karolinska Institutet uppger att 23 procent av den arbetande befolkningen utsätts för yrkesbuller som omöjliggör samtal i normal samtalston på en meters avstånd under minst en fjärdedel av arbetsdagen (ki.se/imm/buller). Nedan sammanställs en del av den kunskap som motiverade undersökningen av ljudnivån i skördarhytten under arbete.

Buller mättes med en Casella CEL 242 bullermätare och data loggades i en fil för senare analys. Mikrofonen hölls i närheten av operatörens öra (Figur 3:3), dels under körning, dels under stillastående avverkning, nära (~5 m) och längre (~10 m) ifrån hytten. Ljudstyrkan mättes i dB(A). Ljudnivån uttryckt som dB(A) innebär att mätning utförts med så kallade A-vägningsfilter i mätinstrumentet, vilket ger stor dämpning vid låga frekvenser och liten dämpning vid höga frekvenser. Därmed efterliknas det mänskliga örats känslighet för olika frekvenser.

Det lägre värde då insatser erfordras för att undvika hörselskador är en genomsnittlig ljudnivå över 80 dB(A) under en 8-timmars arbetsdag.

Buller påverkar människor på olika vis beroende på styrka och frekvenser samt hur ljudet varierar över tid. Buller aktiverar, genom det autonoma nervsystemet och det hormonella systemet, stresshormoner, som i sin tur påverkar blodtryck, ämnesomsättning och immunförsvar. Bullerexponering har samband med ett antal hälsoutfall av vilka kognitiva effekter, hörselnedsättning, allmänstörning, samt risk för hjärt-kärlsjukdom torde vara av störst betydelse för förare av skogsmaskiner.

Bullrets negativa effekter på kognitiv förmåga har stor potentiell betydelse för förare av skogsmaskiner, och kanske främst för skördarförare. Man har påvisat samband mellan bullerexponering och nedsatt prestationsförmåga i olika tankekrävande arbetsuppgifter. Uppmärksamhet, problemlösningsförmåga, minnesförmåga, motorik samt muntliga och skriftliga kommunikationsuppgifter påverkas negativt. Den nedsatta prestationsförmågan visas i ökat antal fel, vilket har betydelse såväl för arbetets kvalitet som för olycksrisker. Oregelbundet buller tycks dock ha större effekt än kontinuerligt monotont buller av det slag som överväger i maskinens hytt.

Risken för hörselskada ökar med ljudstyrkan och den tid man vistas i bullret samt beroende på ljudets karaktär. Det finns en stor variation i känsligheten för buller mellan olika individer. Ca 20 procent av arbetssjukdomarna utgörs av hörselnedsättning till följd av bullerexponering på arbetsplatsen. Risken kan vanligen helt undvikas vid korrekt användning av hörselskydd.



Figur 3:3. Bullermätning skedde inne i hytten med mikrofonen i närheten av operatörens öra, dels vid körning och dels vid avverkning och upparbetning på olika avstånd från hytten. Resultaten loggades till mättdator för senare analys.

Buller mättes med en Casella CEL 242 bullermätare och data loggades i en fil för senare analys. Mikrofonen hölls i närheten av operatörens öra, dels under körning, dels under stillastående avverkning – nära (~5 m) och längre (~10 m) ifrån hytten. Ljudstyrkan mättes i dB(A). Ljudnivån uttryckt som dB(A) innebär att mätning utförts med så kallat A-vägningsfilter i mätinstrumentet, vilket ger stor dämpning vid låga frekvenser och liten dämpning vid höga frekvenser. Därmed efterliknas det mänskliga örats känslighet för olika frekvenser. Det lägre värde vid vilket insatser erfordras för att undvika hörselskador ligger på en genomsnittlig ljudnivå på 80 dB(A) eller högre under en 8-timmars arbetsdag.

Manuell tidsstudie med stöd av maskindata

Maskinerna tidsstuderades genom kontinuitetsmetoden och data insamlades på en Allegro datasamlare. Normalt medföljde tidsstudiemannen i hytten (Figur 3:4) och kunde avläsa stamdiameter från apteringsdatorn, men hyttutrymmet i Logset 12 H gjorde det nödvändigt att genomföra tidsstudien från marken, med träden uppmätta och märkta i förväg (Figur 3:5). För samtliga maskiner insamlades dessutom StanForD 2010 hpr-filer från körningen i försöksbeståndet.



Figur 3:4. Den manuella tidsstudien genomfördes vanligen med tidsstudiemannen som medföljande i maskinen.



Figur 3:5. Logset 12H tidsstuderades från mark med träden uppmätta och märkta i förväg.

Bränslemätning

Innan avverkningen för studien påbörjades ställdes skördaren upp på grusplanen vid avlägget. Maskinens position (hjul och aggregat) markerades noggrant med märkfärg (Figur 3:6). Därefter toppfylldes maskinen tills en stabil bränslenivå uppnåts. Efter avslutad avverkning parkerades maskinen åter i samma position och toppfylldes på samma sätt och bränsleåtgången uppmättes.



Figur 3:6. Bränslemätning gjordes genom toppfyllningsmetoden. Maskinens position markerades noggrant för samtliga hjul och aggregat.

Metodstudie



Figur 3:7. Arbetet registrerades även med GoPro-kamera för att möjliggöra enklare analyser av arbetsmetod etc.

Arbetet filmades med hjälp av en GoProkamera monterad inne i hytten, framförallt för att möjliggöra metodjämförelser mellan förare (Figur 3:7).

Metodstudien förbereddes genom analys på momentnivå av dels tidsåtgång per moment, dels hur den använda arbetstiden fördelades på moment. Analysen genomfördes som signifikanstest med säkerheten 95 procent och omfattade momenten *Kran ut*, *Fällning*, *Intagning*, *Upparbetning* (kvistning-kapning), *Kran in*, *Topp* och *Körning* vilka definieras i Bilaga 1. Ett första signifikanstest avsåg skillnader i absolut tidsåtgång (hur snabbt de olika momenten utförts) medan ett andra test avsåg relativa skillnader i tidsåtgång (hur arbetstiden fördelats på olika moment). Statistiskt signifikanta skillnader i hur tiden fördelats lades till grund för antagandet att metodskillnader förekom.

De mer betydande skillnader som på detta sätt identifierades användes för att identifiera och beskriva metodskillnader mellan olika förare baserat på noggranna studier av de videoupptagningar som fanns för samtliga ekipage.