

# ARBETSRAPPORT

FRÅN SKOGFORSK NR 718:2010



## Vibrationskomfort och ergonomi på förarstolar i skotare

Charlotte Palmquist & Joakim Sandberg

Examensarbete MMK 2010:31 MKN 024, MMK 2010:31 MCE 214.  
KTH Industriell teknik och management  
Maskinkonstruktion  
SE-100 44 STOCKHOLM

Ämnesord: Vibrationskomfort förarstolar, överföringsfunktion, ergonomi förarstolar.

---

#### 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.

## Förord

Vi vill börja med att tacka Björn Löfgren på Skogforsk i Uppsala för möjligheten att få göra det intressanta examensarbetet. Vidare skulle vi vilja tacka Ulf Sellgren, vår handledare och examinator vid maskinkonstruktion på KTH, för stöd och råd under arbetets gång. Ett extra tack riktas till Petrus Jönsson på Skogforsk för hjälp och stöd vid mätningar och analys av mätdatat.

Vi vill även rikta ett stort tack till alla de som bidragit med hjälp under examensarbetet, ni vet vilka ni är.

Stockholm 2010-03-18

*Charlotte Palmquist & Joakim Sandberg*

# Innehåll

Förord.....	1
Abstract .....	5
Sammanfattning.....	6
1. Introduktion.....	8
1.1 Bakgrund.....	8
1.2 Skogforsk.....	9
1.3 Syfte.....	9
1.4 Avgränsning.....	9
1.5 Stolarna .....	9
1.6 Metod.....	10
2. Referensram .....	10
2.1. Vibrationer .....	10
2.2. Lagar och direktiv.....	11
2.3. Mätning av vibrationer.....	11
2.4. Tids och frekvensplan .....	12
2.4.1. Fouriertransformen.....	12
2.4.2. Snabb fouriertransform – FFT .....	12
2.5. Överföringsfunktion.....	12
2.6. Filtrering .....	13
2.7. Skador från hand-armvibrationer .....	13
2.8. Skador från helkroppsvibrationer.....	14
2.9. Bidragande orsaker – Bristande ergonomi.....	14
2.10. Generella belastningsproblem.....	14
2.10.1. Statiskt samt dynamiskt muskelarbete .....	14
2.10.2. Förebyggande faktorer .....	15
2.11. Arbetsställningar.....	15
2.11.1. Sittande arbetsställning.....	15
2.11.2. Sittande arbetsställning speciellt för skogsmaskiner.....	16
2.11.3. Utformning av en förarstol .....	16
2.11.4. Utformning av omgivningen kring föraren .....	18
2.11.5. Anpassning till förarna.....	18
2.12. Åtgärder vid vibrationer för sittande arbetsställning.....	19
2.13. Underreden .....	19
2.13.1. Komponenter.....	19
2.13.2. Plandämpare .....	20
3. Metod .....	20
3.1. Stage-Gate Processen .....	20
3.2. Front-end analysis .....	20
3.2.1. Användaranalys.....	20
3.2.2. Funktions- och uppgiftsanalys .....	21
3.2.3. Omgivningsanalys .....	22
3.2.4. Identifiering av användarpreferenser och krav.....	22
3.3. Funktionsmedelträd.....	22
3.4. Litteraturstudie.....	23
3.5. Intervjuer och val av respondenter (skotarförare) .....	23
3.6. Genomförande och metod vid mätningar .....	23
3.6.1. Verifiering.....	24
3.7. Frekvensvägda accelerationer.....	25
3.8. Fjäder- och dämparkonstant.....	26
3.9. En-masse-system.....	27
3.10. Utvärdering av stolens ergonomi.....	28
3.11. Riskanalys .....	29
3.12. Kravsinsamling.....	29

4. Resultat.....	29
4.1. Vibrationsanalys av förarstol.....	30
4.1.1. Lågpassfilter.....	30
4.1.2. A(8)-värdet.....	30
4.2. Sänkning av vibrationsexponering.....	32
4.2.1. Y-riktningens höga värde.....	32
4.2.2. Överföringsfunktion.....	33
4.2.3. Simulering i Adams.....	36
4.3. En-masse-system.....	37
4.4. Front-end Analysis.....	37
4.4.1. Användaranalys.....	37
4.4.2. Funktions- och uppgiftsanalys.....	43
4.4.3. Omgivningsanalys.....	44
4.4.4. Identifiering av användarpreferenser och krav.....	45
4.5. Ergonomisk utvärdering av stolarna.....	46
4.5.1. KAB air 65/K4.....	46
4.5.2. Be-Ge 3000 DPS.....	47
4.6. Stolens justeringsmöjligheter.....	50
4.7. Funktionsmedelträd.....	51
4.8. Konzeptgenerering sammanfattning.....	52
4.9. Konzeptgallring.....	52
4.10. Konzeptbeskrivningar.....	53
5. Verifiering.....	60
5.1. Fast fouriertransform – FFT.....	60
5.2. Frekvensvägda accelerationer.....	61
5.3. Överföringsfunktionen.....	61
5.4. En-masse-system.....	62
5.5. Ny ergonomisk utvärdering.....	63
6. Diskussion.....	67
6.1. Referensram.....	67
6.2. Metod.....	67
6.3. Resultat.....	68
6.3.1. Resultat ergonomi.....	68
6.3.2. Resultat vibrationsdämpning.....	72
7. Framtida arbete.....	75
7.1. Ergonomi.....	75
7.1.1. Jack och andra manikin-program.....	75
7.1.2. Antropometrisk data.....	75
7.1.3. Resterande ergonomiska koncept.....	75
7.1.4. Benchmarking.....	76
7.1.5. Reglagepåverkan av vibrationer.....	76
7.2. Vibrationsdämpning.....	76
7.2.1. Skakbordsstudie.....	76
7.2.2. Kompletterande mätningar.....	77
7.2.3. Aktiv dämpning.....	77

8. Slutsatser .....	78
8.1. Ergonomi.....	78
8.2. Vibrationsdämpning .....	79
9. Referenser.....	80
Bilaga 1 Ergonomisk checklista.....	83
Bilaga 2 RMS accelerationer och A(8)-värde.....	89
Bilaga 3 Överföringsfunktioner för utvärderade stolar .....	91
Bilaga 4 Antropometriska figurer.....	95
Bilaga 5 Ergonomisk utvärdering KAB air 65/K4 .....	97
Bilaga 6 Ergonomisk utvärdering Be-Ge 3000 DPS.....	99

## Abstract

As a result of a directive from the European Union that came in 2002, Arbetsmiljöverket (Work Environment Authority), enforced a law to reduce the amount of vibrations sustained by working drivers. The exposure of vibrations is a huge problem for drivers of forwarders and harvesters in the Swedish forest industry. They are daily exposed to vibrations that in time will become harmful to their bodies. In the law enforced by Arbetsmiljöverket, two limits were set. The first limit, called “action value” marked the limit for vibration exposure during a working day of 8 hours, where actions needed to be taken to reduce exposure to vibrations before the work could carry on. The second limit was the limit called “limit value” which marked the limit for where the work should be terminated for the day. The action value is  $0.5 \text{ m/s}^2$  and the limit value is  $1.1 \text{ m/s}^2$ . As there is a wide selection of driver seats for forwarders on the Swedish market there was a need to evaluate them with regards to vibration exposure during an 8 hour working day. Seven different driver seats were evaluated on two different tracks, on a standardized vibration track and on a track in the forest in the near vicinity. The transfer function of each driver seat was calculated. The driver seat that received the lowest vibration exposure on the standardized vibration track was KAB air 65/K4. The driver seat that received the lowest vibration exposure on the forest track was Be-Ge 3 000 DPS. The vibrations in the y-direction were the biggest reason for the high value of vibration exposure. Any enhancements concerning the vibration exposure that a driver is affected by could not be done. This was because of a bad choice of method to evaluate the dynamic properties of the driver seats. Instead a future method for evaluating driver seats is suggested.

An ergonomic evaluation of the two best driver seats with regards to vibration exposure was also made. It was during this evaluation found that the best driver seat with regard to ergonomics was Be-Ge 3000 DPS. With some changes the ergonomic classes of Be-Ge 3000 DPS can be heighten from a C to a B. With the same changes applied to KAB air 65/K4 the class of C is not changed, but only 11 point more are needed for it to be in ergonomic class B instead.

## Sammanfattning

Efter ett EU-direktiv, som kom år 2002, införde Arbetsmiljöverket en lag ämnad att minska den exponering av helkroppsvibrationer som yrkesförare utsätts för. I lagen sätts två gränser för  $A(8)$ -värdet, som representerar vibrationsexponeringen under en arbetsdag på 8 timmar, det första värdet kallas insatsvärdet och det andra för gränsvärdet. Insatsvärdet är 0,5 m/s och markerar den gräns vid vilken insatser måste göras för att minska på vibrations-exponeringen innan arbetet får fortgå. Gränsvärdet är 1,1 m/s<sup>2</sup> och markerar den gräns där arbetet bör avbrytas helt för dagen.

En del av examensarbetet var att, med avseende på vibrationsexponering, utvärdera sju olika stolar som används av svenska skotarförare, ta fram överföringsfunktionen för samtliga stolar samt förbättra den bästa stolen så att den blir dubbelt så bra med avseende på vibrationsexponering. En annan del i examensarbetet var att även analysera de ergonomiska förutsättningarna hos de bäst dämpande stolarna. Ergonomin är en viktig del av förarhälsan då en kombination av både vibrationer och dålig ergonomi kan öka risken för skador och bestående problem. Förslag på ergonomisk vidareutveckling av stolarna skulle också ges.

Vibrationer mättes på stolarna då de kördes över en vibrationsbana samt en snitslad terrängbana i skogen i nära anslutning till vibrationsbanan. Vid utvärderingen av stolarna på vibrationsbanan framgick det att alla stolar utom en vid en eller fler mätningar överskred insatsvärdet. Vidare framgick det även att det var y-riktningen som bidrog till det höga  $A(8)$ -värdet. Den stol som vid mätningarna på vibrationsbanan erhöll det lägsta  $A(8)$ -värdet och därmed var den bästa stolen med avseende på vibrationsexponering var KAB air 65/K4. Efter mätningen i terrängbanan visade det sig att det var en annan stol som erhöll det lägsta  $A(8)$ -värdet nämligen Be-Ge 3000 DPS. Några förbättringar gällande den vibrationsexponering som förare utsätts för kunde inte genomföras. Det berodde på ett felaktigt metodval för utvärdering av förarstolarnas dynamiska egenskaper. Istället föreslås en skakbordsstudie som metod för framtida utvärderingar av förarstolar. Be-Ge 3000 DPS visade bäst ergonomiskt resultat, både den och KAB air 65/K4 tillhörde den ergonomiska klassen C (A-E). Vid ett teoretiskt införande av koncepten höjde sig dock Be-Ge 3000 DPS till klass B medan KAB air 65/K4 stannade kvar i klass C (men mycket närmare gränsen för B). En antropometrisk tabell togs fram där de största samt minsta kroppsmåtten från de länder som skotare används i mest fanns representerade. Den visade på stora skillnader mellan västerländska länder samt asiatiska och sydamerikanska länder. Tabellen användes även för att jämföra med stolarnas olika mått.



## Nomenklatur

I detta avsnitt redovisas de begrepp och förkortningar som används i rapporten.

Symbol	Beskrivning
$m$	Massa (kg)
$k$	Fjäderkonstant (N/m)
$c$	Dämpningskonstant (Ns/m)
$x$	Lägeskoordinat (m)
$\dot{x}$	Hastighet, tidsderivata på läge (m/s)
$\ddot{x}$	Acceleration, tidsderivata på hastigheten $m/s^2$ $m/s^2$
$\zeta$	Dämpkoefficient

## Förkortningar/Beteckningar

Antropometri	Läran om människokroppens måttförhållanden.
Boggi	Ett par tätt sittande hjul, här sittande på en arm fäst i ramen.
CAD	Computer Aided Design.
CSD	Cross spectral density.
FFT	Fast Fourier Transformation. Algoritm för att snabbt göra en numerisk fouriertransformation av ett stort antal mätvärden.
Fourieranalys	Analys som letar efter upprepningar i en dataserie. Resultatet ges som en graf där svängningsamplituden visas som funktion av frekvensen.
Matlab	Beräkningsprogramvara för numerisk beräkning
MD Adams	MBS-programvara för simulering av stelkroppsdyamik
RMS	Root Mean Square, effektivvärde
Simulink	Grafiskt gränssnitt för beräkning i Matlab
PSD	Power spectral density, en signals styrka vid en viss frekvens.
Skotare	Skogsmaskin som används för att hämta de stockar skördaren avverkat och föra stockarna till närmsta plats där timmertransport kan hämta stockarna.
Skördare	

# 1. Introduktion

Detta kapitel beskriver bakgrund, syfte, avgränsning och metod för det utförda examensarbetet.

## 1.1 BAKGRUND

Ett stort arbetsmiljöproblem inom skogsbruket i dag är vibrationer. Vibrationerna kan påverka en person på olika sätt beroende på arbete, till exempel handvibrationer eller helkropps vibrationer. Examensarbetet har avsett att behandla helkropps vibrationer som förekommer när någon står, sitter eller ligger på ett vibrerande underlag. Enligt nya EU-direktiv (beskrivet i AFS 2005:15 Vibrationer) får en person, till exempel en förare av en skogsmaskin, endast utsättas för vibrationer upp till  $0,5 \text{ m/s}^2$ . Om det värde, som kallas för insatsvärdet, skulle överskridas måste åtgärder mot vibrationerna göras innan arbetet kan fortskrida. Skulle vibrationerna öka ytterligare och därmed överskrida gränsvärdet  $1,1 \text{ m/s}^2$  måste arbetet stoppas (Löfgren, 2009).

En typ av skogsmaskin som i dag ger upphov till höga värden på vibrationer är skotare, se figur 1. En skotare är ett fordon som transporterar virket ut ur skogen. En skotare kan ofta lasta en vikt mellan 10–18 *ton*. Vibrationerna i skotaren överstiger i dag nästan alltid insatsvärdet och i många fall även gränsvärdet (Löfgren, 2009).



Figur 1.  
Skotare av modell Valmet 860.

Helkropps vibrationer kan påverka en person mycket negativt. Vid vissa frekvenser kan vibrationerna förstärkas i olika kroppsdelar eller organ. Det kan medföra varierande töjningar eller hoptryckningar av vävnader. Förutom frekvens beror graden av påverkan av både intensitet och riktning av vibrationerna. Helkropps vibrationerna påverkar inte enbart kroppen fysiskt i form av problem i leder, muskelfästen och diskar i kotpelaren utan även psykisk i form av ökad trötthet och nedsatt prestationsförmåga. Bestående skador med koppling till helkropps vibrationer har vanligtvis att göra med problem i rygg, nacke och skuldror. Dock är de bestående problemen inte med säkerhet endast orsakade av vibrationerna då liknande problem även kan komma av till exempel olämpliga arbetsställningar. Det betyder att en kombination av både vibrationer och dålig ergonomi kan öka risken för skador och bestående problem (AFS 2005:15, Vibrationer).

Examensarbetet utformades som en åtgärd mot de höga vibrationer som förare i skotare utsätts för i dag men även för att analysera de ergonomiska förutsättningarna då det kan vara en stor bidragande riskfaktor.

## **1.2 SKOGFORSK**

Skogforsk är finansierat av staten och skogsnäringen och är det svenska skogsbrukets forskningsinstitut. Skogforsk arbetar för att bidra till ett hållbart och lönsamt bruk av skogen med hjälp av att utbilda personal inom skogsnäringen samt utveckla nya produkter. På Skogforsk arbetar ca 100 personer där ungefär 65 stycken forskar. Forskningen behandlar bland annat skogsförädling, driftsteknik samt logistik (Skogforsk, 2009).

## **1.3 SYFTE**

Syftet med examensarbetet var att med hjälp av en standardiserad vibrationsbana samt en terrängbana mäta de vibrationer som sju stycken förarstolar ger, finna den stol som dämpar vibrationerna bäst samt vidareutveckla denna stol ytterligare så att vibrationerna minskas till hälften. Vidare skulle överföringsfunktionerna för varje stol bestämmas. En uppgift i examensarbetet var även att analysera de ergonomiska förutsättningarna som den eller de bästa dämpande förarstolarna kan ge. Förslag på vidareutveckling av denna/dessa stolar skulle ges.

## **1.4 AVGRÄNSNING**

Ergonomin var avgränsad till att behandla belastning och sittställning. Mätning och analys av helkroppsvibrationer har endast gjorts på de stolar som tillhandahållits av Skogforsk. Analysen av vibrationerna sträckte sig till en jämförelse mellan de olika stolarna med avseende på de accelerationer som påverkar föraren.

## **1.5 STOLARNA**

Följande sju stolar vibrationstestades, se figur 2:

- Be-Ge 3000 DPS.
- Be-Ge 7000 airvent.
- KAB air 65/K4.
- Be-Ge 9000.
- Be-Ge 2000.
- Be-Ge 7000.
- Grammer, Actimo XL, MSG95A/722.

Be-Ge-stolarna 7000 och 7000 airvent är lika rent mekaniskt förutom att 7000 airvent har fläktar i stolen.



Figur 2.  
De sju förarstolarna som vibrationstestades, uppställda efter punktlistan ovan.

## 1.6 METOD

Examensarbete delades in i tre delar. Examensarbetet inleddes med en ”Front-end analysis”, d.v.s. en analys med användarna i centrum (Wickens et al., 2004). Denna analys omfattade även en litteraturstudie som genererade en tvådelad referensram. Del två av examensarbetet bestod av att genomföra mätningar samt genomföra en idé- och konceptgenerering. De valda koncepten vidareutvecklades till färdiga koncept. Den tredje och sista delen av arbetet bestod av att avsluta samt färdigställa arbetet. Mer om hur arbetet styrdes finns att läsa i avsnitt 3, ”Metod”.

## 2. Referensram

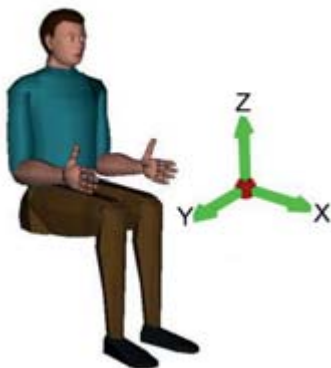
Referensramen i examensarbetet behandlar två ämnesområden, dock kopplade till varandra. Det första ämnet handlar om utvärdering av de olika förarstolarna m.a.p. vibrationsnivå samt framtagning av förarstolarnas *överföringsfunktion* och det andra ämnet behandlar vibrationernas påverkan av människan, ergonomin bakom muskelbelastningar samt ergonomi till förarstolar.

### 2.1. VIBRATIONER

Ljud och vibrationsvågor är mekaniskt elastiska vågor. Förutsättningen för att de skall finnas är att mediet har en massa och är elastiskt. Med fysisk kontakt kan vibrationer genom känseln uppfattas i föremål eller ytor (Bodén et al, 2001). Hur stora vibrationerna och stötarna blir på föraren av ett fordon beror på ett flertal faktorer. Markegenskaper, körhastighet, däck och däckspår samt fjädring och dämpning av chassi och förarstol kan nämnas som bidragande faktorer. För att minska vibrationer och stötar kan ett flertal lösningar implementeras, exempel på sådana lösningar är t.ex. bredare däck, dämpande pendel- armar, boggiupphängning av hjulen eller dämpning av förarhytt och förarstol. Studier har visat på att en centralt och lågt placerad förarhytt minskar vibrationer. Dock så finns även exempel där en högt placerad och dämpad förarhytt haft låga vibrationer (Mansfield, 2005).

Helkroppsvibrationerna uppkommer vanligtvis i förarens dagliga arbete, vare sig det är körning i skogen eller lastning av stockar. Helkroppsvibrationerna färdas genom fordonets däck och chassi, genom hytten och upp genom förarstolen till föraren (Bodén et al., 2001). Helkroppsvibrationer definieras som de vibrationer som överförs till hela kroppen genom ytan som en person står, sitter eller ligger på (AFS 2005:15, Vibrationer). Vibrationerna kan uppkomma i tre olika riktningar (Bohgard et al., 2005). För översikt av dessa tre riktningar se

figur 3. Känsligheten för helkroppsvibrationer är som störst i frekvensområdet 1–2 Hz för x- och y-riktningen, samt i frekvensområdet 4–8 Hz för z-riktningen. Frekvenser under 1 Hz är dock de frekvenser som har störst betydelse för åksjuka och påverkan på balansorganen. (Bodén et al., 2001).



Figur 3.  
Vibrationsriktningarna i förarstolen.

## 2.2. LAGAR OCH DIREKTIV

Efter ett EU-direktiv införde Arbetsmiljöverket en lag (AFS 2005:15, Vibrationer) som reglerar den mängd vibrationer som en förare av en skogsmaskin får utsättas för under en arbetsdag. AFS 2005:15, Vibrationer säger att när en förare utsätts för vibrationer över  $0,5 \text{ m/s}^2$  måste han eller hon åtgärda vibrationsnivån för att få fortsätta arbeta. Detta värde kallas för insatsvärdet. Vidare säger AFS 2005:15, Vibrationer att om vibrationerna överstiger  $1,1 \text{ m/s}^2$  måste föraren omedelbart avbryta arbetet. Standarden SS-ISO 2631-1 är en vägledning för bedömning av helkroppsvibrationers inverkan på människan. I ISO 2631 specificeras metoder för att ange mätvärden för att kunna bedöma helkroppsvibrationer med avseende på hälsa, komfort och känsla samt åksjuka. Standarden anger bland annat att vid utvärdering med avseende på komfort hos sittande personer så kan komforten ibland påverkas av rotationsvibrationer kring koordinataxlarna i stolsitsen samt vibrationer i fötternas stödyta. Frekvensområdet för hälsa, komfort och känsla ligger mellan 0,5 – 80 Hz medan frekvensområdet för åksjuka ligger mellan 0,1 – 0,5 Hz.

## 2.3. MÄTNING AV VIBRATIONER

Vid utvärdering av effekterna som uppkommer av vibrationerna på föraren, så måste vibrationens intensitet (acceleration i  $\text{m/s}^2$ ), frekvensen i Hz och riktning mätas. Även den tid som operatören utsätts för vibrationerna måste också mätas. Mätning och utvärdering av helkroppsvibrationer är baserad på standarden ISO 2631. Standarden anger att mätningen sker genom att en accelerometer med tre stycken axlar fästes i en sittplatta som placeras på förarstolen. Vid mätningen samlas accelerationer  $\text{m/s}^2$  i de tre riktningarna (x, y, z) in från accelerometrarna. Värdena för x- och y-riktningen multipliceras sedan med 1,4 då kroppen är mer känslig för vibrationer i dessa riktningar jämfört med de vibrationer som sker längs med ryggraden (z-riktningen). Vibrationerna mäts alltid som funktion av tiden. Vibrationerna registreras i tidsplanet. Utifrån det så kan vibrationerna sedan överföras till frekvensplanet.

## 2.4. TIDS OCH FREKVENSPLAN

Tid- och frekvensplanet är likvärdiga begrepp där en signal kan beskrivas i vilket som helst utav dem. För att överföra en signal från det ena planet till det andra (vanligtvis från tidsplanet till frekvensplanet) så används det som kallas för fouriertransform. Anledningen till att denna överföring utförs är den att frekvensplanet är mer fördelaktigt att använda sig av vid analysen av signalen. Det görs för att kunna urskilja enskilda frekvenser. Ett exempel som illustrerar detta är t.ex. när en mätning skall utföras på eller i närheten av en roterande motor. En roterande maskin har alltid en dominerande frekvenskomponent, denna frekvenskomponent motsvaras av den roterande maskinens varvtal. I frekvensplanet kan alltså övriga frekvenskomponenter också urskiljas (Bodén et al., 2001).

### 2.4.1. Fouriertransformen

Fouriertransformen är den transform som används för att överföra en signal från ett plan till ett annat. Funktionen uttrycks som summan av sina sinusoidala basfunktioner eller deltoner (Bodén et al, 2001).

### 2.4.2. Snabb fouriertransform – FFT

Snabb fouriertransform eller FFT (Fast Fourier Transform) som den ofta benämns är den effektiva algoritmen som används för att beräkna en diskret begränsad fouriertransform. Vid en jämförelse med den vanliga fouriertransformen kan vissa skillnader urskiljas (Mansfield, 2005).

## 2.5. ÖVERFÖRINGSFUNKTION

Överföringsfunktionen är en matematisk representation av relationen mellan indata och utdata hos ett linjärt tidsinvariant system i frekvensplanet, se ekvation (1). För att ta fram överföringsfunktionerna för respektive stol så måste en signalanalys göras i frekvensplanet. Responskaraktärstiken hos ett system för någon frekvens beräknas med hjälp av överföringsfunktionen. För att bestämma frekvensresponsen för ett system måste mätningar göras samtidigt på två olika ställen dels vid förarstolen, dels vid hyttgolvet (Mansfield, 2005).

Förhållandet mellan utgående vibration och ingående vibration vid någon frekvens ger frekvensresponsfunktionen. Power-spectral density (PSD) möjliggör en mätning av vibrationsenergin vid varje frekvens. På grund av att det är en division mellan PSD för utgående acceleration och PSD för ingående acceleration genereras en överföringsfunktion för alla frekvenser i en enda beräkning (Mansfield, 2005).

$$(PSD) \text{ Överföringsfunktion } (f) = \sqrt{\frac{PSD \text{ utgående } (f)}{PSD \text{ ingående } (f)}} \quad (1)$$

Metoden kallas för PSD-metoden och är korrekt om vibrationer finns i indata för alla frekvenser, om det inte är något bakgrundsbrus (orsakat av mätutrustningen) och om systemet är linjärt (Mansfield, 2005).

En mer pålitlig metod är den metod som kallas för cross-spectral density (CSD) metoden. CSD mäter relationen mellan två signaler, men den genererar även en fasskillnad mellan signalerna. Styrkan med CSD-metoden är att den bara inkluderar vibrationssignalerna från de två mätpunkterna som korrelerar med varandra. På detta sätt elimineras påverkan från bakgrundsbrus och det skapas även en fasrespons för systemet. Med ett linjärt system utan något bakgrundsbrus kommer modulen för överföringsfunktionen som erhålls med CSD-metoden att vara identisk med överföringsfunktionen erhållen från PSD-metoden. Överföringsfunktionerna för respektive stol beräknas med cross-spectral density (CSD) metoden. Den ser ut som följer: (Mansfield, 2005).

$$(CSD) \text{ Överföringsfunktion } (f) = \frac{CSD_{ingående/utgående}(f)}{PSD_{ingående}(f)} \quad (2)$$

Där  $CSD_{ingående,utgående}(f)$   $CSD_{ingående}(f)$  beräknad med ekvation (2) är CSD mellan accelerationen uppmätt från hyttgolvet och accelerationen uppmätt i siddynan, och  $PSD_{ingående}(f)$   $PSD_{ingående}(f)$  är PSD för accelerationen uppmätt i hyttgolvet (Mansfield, 2005).

## 2.6. FILTRERING

Det finns ett flertal olika typer av filter, de vanligaste är:

- Lågpasfilter
- Högpasfilter
- Bandpassfilter
- Bandstopfilter

Av ovanstående är lågpasfilter den vanligaste typen av filter. Lågpasfiltret filtrerar bort de frekvenskomponenter som ligger ovanför det område som skall analyseras. Detta filter kallas även antivikningsfilter eller anti-aliasing filter. I examensarbetet har ett lågpasfilter använts för att filtrera bort de frekvenser som är över 80 Hz (Bodén et al., 2001).

## 2.7. SKADOR FRÅN HAND-ARMVIBRATIONER

Hand-armvibrationer uppstår då en person arbetar med ett vibrerande verktyg eller maskin som överför vibrationer till handen/armen på användaren, d.v.s. genom t.ex. ett handhållet verktyg som slipmaskiner eller nithammare. De vibrationerna kan i värsta fall orsaka symptom som kallas för ”vita fingrar”. De mest vibrationsutsatta fingrarna bleknar och personen upplever att fingrarna domnar och sticks, samt att finmotoriken blir lidande. Det kan bero på att vibrationerna skadar nerver och känselkroppar i fingrarna så att känseln blir nedsatt. Även värk i hand, arm eller handled kan uppstå (Bohgard et al., 2005).

## **2.8. SKADOR FRÅN HELKROPPSVIBRATIONER**

Tillskillnad från hand-armvibrationer är den totala effekten av helkroppsvibrationerna inte lika säkert fastställda. Helkroppsvibrationer har kopplats ihop med flertalet symtom som högt blodtryck, yrsel och svår smärta i ländryggen (Rehfish, P. & Wälinder, R., 2009). Dock är det känt att en person som utsätts för helkroppsvibrationer riskerar att drabbas av ohälsa som smärttillstånd i rygg, axlar och skuldra. Kraftig exponering för vibrationer kan även bidra till negativ påverkan i leder, muskelfästen samt diskarna i ryggens kotpelare. Vibrationer kan vid vissa frekvenser, riktningar och intensitet förstärkas i människokroppen och ge upphov till resonans. Det kan leda till töjningar och hoptryckningar av muskler och vävnader (AFS 2005:15, Vibrationer). Även ögonen kan påverkas av denna resonans vilket gör att synarbetet blir lidande vilket i sin tur kan leda till att olycksrisken ökar samt att arbetsprestationen eller motivationen kan bli lidande. Den utsatta personen kan även bli lidande av ögonvärk eller huvudvärk (Bohgard et al., 2005). Dock påverkar vibrationer människan inte enbart fysiskt. Exponering av helkroppsvibrationer kan även påverka människan psykiskt i form av ökad trötthet och reducerad arbetsförmåga (AFS 2005:15, Vibrationer).

## **2.9. BIDRAGANDE ORSAKER – BRISTANDE ERGONOMI**

Bestående skador kopplade till helkroppsvibrationer som problem med rygg, nacke och skuldra är inte helt säkert enbart orsakade av just vibrationerna. De problemen kan med stor sannolikhet även bero på en bristande ergonomi i form av dålig arbetsställning och/eller ett monotont arbete. Det medför att en person som utsätts för både vibrationer och en bristande arbetsergonomi löper större risk för att drabbas av ohälsa (AFS 2005:15, Vibrationer).

## **2.10. GENERELLA BELASTNINGSPROBLEM**

Beroende på vilken arbetsställning samt vilket arbete som en person utför kan dennes muskler utsättas för olika typer av belastningar. Muskelbelastningar delas upp i två grupper, statisk belastning och dynamisk belastning (Bohgard et al., 2005).

### **2.10.1. Statiskt samt dynamiskt muskelarbete**

Statiskt muskelarbete uppstår när muskler arbetar och spänns utan att egentligen genomföra några rörelser, ofta räcker det med endast den egna kroppstyngden som belastning (AFS 1998:01 Belastningsergonomi). Musklerna har en konstant längd vid statisk belastning, det vill säga de varken förkortas eller förlängs (Rose, 2007). Konsekvenser som kan uppstå på grund av statiskt muskelarbete är trötthet, smärta i muskler samt nedsättning av muskelfunktioner (AFS 1998:01 Belastningsergonomi). Vid dynamisk belastning arbetar musklerna tvärtemot statisk belastning. Musklerna är omväxlande förlängda och förkortade (Rose, 2007). De skador som förekommer vid dynamisk belastning uppstår ofta genom ensidigt upprepad belastning vilket innebär att samma muskelgrupper används på samma sätt under en lång tid utan variation eller vila. Det i sin tur kan leda till att muskler omkring de belastade musklerna tvingas att arbeta statiskt för att stabilisera kroppen. Fler bidragande orsaker till belastningsskador och besvär kan vara omgivningsfaktorer, klimat samt vibrationer. De kan förstärka de risker som orsakas av bristande ergonomi som olämplig arbetsställning eller annat statiskt muskelarbete (AFS 1998:01, Belastningsergonomi).



## 2.10.2. Förebyggande faktorer

Vid belastningsarbete anges tiden för arbetet under belastning som ”belastningstiden”. Under belastning genereras trötthet i musklerna som kräver återhämtning, vilket sker under vila, det vill säga musklernas ”återhämtningstid”. Återhämtningstiden är mycket viktig för att undvika skador orsakade av belastning. Hur lång tid som krävs för återhämtning är inte helt fastslaget men vid mycket ansträngande arbete kan återhämtningstiden vara flera dagar. Det visar på att små raster eller pauser i arbetet är mycket viktiga för att undvika belastningsskador. Vid förebyggande av skador vid repetitiva arbeten tas både belastningstiden och återhämtningstiden med i beräkningen, men även hur stor kraften vid belastningen är. Ett arbete med hög belastningsnivå men låg repetitivitet kan medföra en hög risk för belastningsskador men det kan även ett arbete med låg belastningsnivå och hög repetitivitet (Rose, 2007).

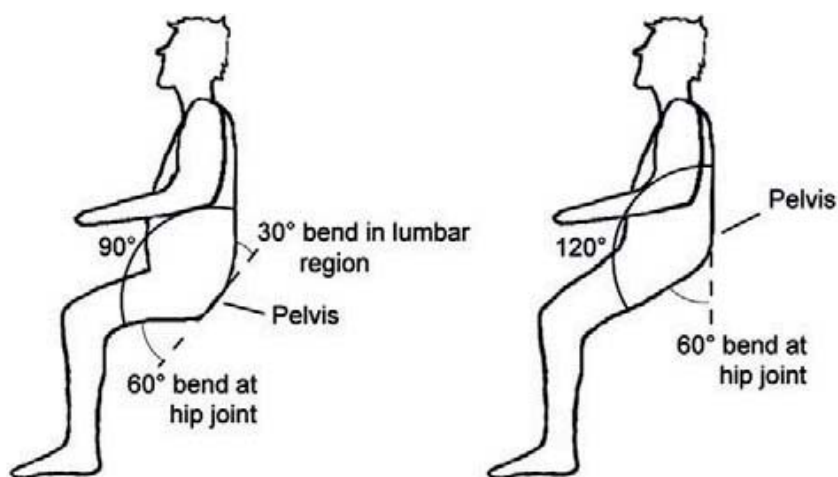
## 2.11. ARBETSSTÄLLNINGAR

En dåligt utformad arbetsplats tvingar människor till en obekväm arbetsställning. Vid en obekväm och dåligt utformad arbetsställning måste personen som ska arbeta vrida eller sträcka på sig vilket kan leda till belastningsskador. En dålig arbetsställning är en ställning som ergonomiskt sett inte gynnar en naturlig ställning för kroppen. En arbetsställning som personen själv kan välja och tycker är bekväm anses bra. Att ha en arbetsställning där kroppens leder är nära sina ytterlägen är dåligt sett ur ett ergonomiskt perspektiv. Det bästa är att möjliggöra en arbetsställning där lederna får vara i sina naturliga neutrallägen, det vill säga ett läge där personen inte behöver vrida eller sträcka på sig. Sammanfattningsvis bör arbetsställningen vara varierande och undvika repetitivt mönster, möjliggöra naturliga lägen och inte extremlägen för kroppen, ha anpassade arbetshöjder och avstånd samt erbjuda anpassade verktyg eller arbetsföremål (Rose, 2007). Fler generella rekommendationer när det gäller arbetsställningar är att undvika att huvudet samt kroppen får en framåtlutad ställning, se till att kroppen inte behöver inta vridna eller asymmetriska ställningar, möjliggöra ett tillräckligt stöd för ryggen vid en sittande arbetsplats samt att vid användning av dessa stöd undvika att känslig mjukvävnad får utstå höga tryck (Bohgard et al., 2005).

### 2.11.1. Sittande arbetsställning

Det är mycket viktigt att rätt stöd finns för personer som sitter mycket i sitt arbete. Muskler i ryggen, speciellt i ländryggen och svanken, måste kunna hållas upprätta utan att några muskler får arbeta. Ryggen ska kunna hållas i samma naturliga läge som finns vid en stående ställning. Det som händer vid en sittande ställning, det vill säga när det bildas en rät vinkel mellan både smalben och lår samt mellan lår och överkropp, är att bäckenet vrids bakåt på grund av att musklerna på baksidan av låren sträcks ut. Utan ett ordentligt stöd tvingas musklerna djupt inne i ryggen att arbeta och detta kan leda till belastningsskador (Bohgard et al., 2005).

Sammanfattningsvis bör kroppens ställning vara så bekväm och naturlig som möjligt. Det kan både innebära en låg och hög sittställning, se figur 4. Axlarna ska vara avslappnade, underarmarna bör ha en vinkel på 105° eller mer gentemot överarmarna som i sin tur bör vara parallella med överkroppen. Om föraren vill ska han eller hon kunna sträcka ut kroppen, böja på knän samt kunna placera sina fötter där det känns bekvämt för stunden, både längre framför stolen samt under stolen. Det gör att föraren själv kan justera och kompensera för att lårets bakre muskler sträcks ut och förhindrar på så sätt onödig aktivitet av musklerna i ländryggen (European ergonomic and safety guidelines for forest machines, 2006).



Figur 4.  
Låg och hög sittställning (European ergonomic and safety guidelines for forest machines, 2006).

### 2.11.2. Sittande arbetsställning speciellt för skogsmaskiner

I skogsmaskiner händer det ofta att fordonet lutar lite eller kraftigt. För att undvika belastningsskador bör föraren fortfarande kunna sitta rakt och inte lutad. Det bör helst göras möjligt genom att antingen hela fordonet kan rätas upp, hytten på fordonet kan rätas upp eller sist att stolen som föraren sitter på kan rätas upp. Det bör även undvikas att föraren måste vända på huvudet för att kunna se bakåt. Det gäller speciellt när skogsmaskinen framförs i terrängen då stötar och vibrationer tillsammans med belastningen kan orsaka skador. Om föraren vrider på huvudet måste musklerna i skuldrorna arbeta mer än vad de redan gör då de aktiveras vid manövrering av fordonet (European ergonomic and safety guidelines for forest machines 2006).

### 2.11.3. Utformning av en förarstol

För att undvika onödiga skador bör vissa rekommendationer följas när det gäller utformning av en stol för sittande arbetsställning. Sitsen på stolen bör vara vinklad bakåt ca 10–15° och vinkeln mellan ryggstödet och sitsen ska ha en vinkel på omkring 105–120° (ryggstödet ska alltså ha en vertikalt större lutning än endast sitsen) (Bohgard et al., 2005). Vinklingen av sitsen möjliggör samma ställning i ryggen vid sittande som vid stående. Ryggstödet bör vara tillräckligt stort för att kunna stödja hela ryggen på föraren utan att negativt påverka hur föraren rör sig (European ergonomic and safety guidelines for forest machines, 2006). Ryggstödet ska även vara anpassat efter hur människans rygg böjer sig, den naturliga kurva som ryggraden bildar. Stolen bör även

ha ett reglerbart svankstöd för att föraren ska kunna anpassa ryggstödet till sitt individuella behov, både i horisontell led och vertikal led. Sitsen på stolen får inte vara djupare eller lägre än vad som anses nödvändigt och ryggstödet på stolen ska även fungera som stöd om föraren vill vila från arbetet en stund (Bohgard et al, 2005). Sitsen bör vara något kuperad för att öka komforten men får inte påverka negativt på förarens förmåga att röra sig. Sitsen bör även vara tillräckligt stor för att passa de flesta användare samt vara något rundad fram vid knävecken. Det bör även finnas ett litet utrymme mellan sitsen och knävecken på ungefär 30–50 mm (European ergonomic and safety guidelines for forest machines, 2006).

Armstöden på stolen bör vara placerade på ett sätt som gör sittställningen bekväm oavsett vilken position föraren har för tillfället, samt att de ska underlätta för föraren när han eller hon använder kontroller, knappar eller spakar. Precis som ryggstödet och sitsen ska armstöden vara anpassade för personer av olika storlekar, möjliggöra en varierad sittställning samt lätt kunna justeras av föraren själv. Viktigt är att armstöden även ska kunna justeras i höjddled då överarmarnas längd kan variera. Armstöden ska, utan att negativt påverka förarens rörelser, tillgodose ett bra stöd för hela underarmarna då detta minskar belastningen för axlarna (European ergonomic and safety guidelines for forest machines 2006). Hur förarens huvud eller nacke ska stödjas beror på hur omgivningen ser ut och vad föraren måste observera, både utanför och i hytten. Rekommenderat är dock att förarens ögon ska riktas 30° under den horisontella linjen rakt framför ögonen på föraren. Det är mest bekvämt för föraren även om hela 45° är accepterat ur ergonomisk synpunkt. För bästa gynnsamma ställning med benen rekommenderas en vinkel på ca 13° mellan lår och horisontalplanet samt böjda knän med en vinkel på ca 66° (Bohgard et al., 2005).

Stolens olika reglage för anpassning till föraren bör vara placerade på ställen där förarna kan förvänta sig att reglagen ska finnas samt att reglagen är lätta att komma åt och använda. (Bohgard et al, 2005) Det ska inte behövas verktyg för att justera reglagen och allt ska kunna justeras på ett lätt sätt för att föraren hela tiden ska kunna ha fri sikt utan att behöva böja eller sträcka på sig. Om inte hytten kan vara horisontell vid arbete där marken lutar, samt om underredet på stolen inte har denna tilläggsfunktion som t.ex. Sitt-right (Nordén B, & Granlund, P. Resultat nr 1, 2003) bör stolen ha denna funktion inbyggd. Stolen ska även kunna ta upp vibrationer som genereras från fordonet i tre riktningar samt vara tillräckligt robust för att kunna ta emot de stötar och svängningar som skogsmaskiner utsätts för. Om stolen ska användas i skogsmaskiner som kan köras eller arbeta i två riktningar ska stolen kunna roteras (European ergonomic and safety guidelines for forest machines, 2006). Fler mått och avgränsningar avseende stolens utformning samt frihetsgrader kan ses i figur 5.

Längdreglering  ≥ 24 cm	Höjdreglering  40-55 cm <sup>1)</sup>	Tiltning sidled <sup>2)</sup>  ±10-15°	Tiltning längdled <sup>2)</sup>  > ± 20°	Ryggstöd lutning  - 5-30°	Sitslutning  Upp 8° Ned 15°
Avstånd mellan armstöd  42-52 cm	Armstöd vridning  In 30° Out 15°	Armstöd höjdreglering  12-27 cm	Armstöd vinkling  < - 30-0°	Armstöd längd  20-30 cm	Vinkling sidled  ± 10°

Figur 5.  
Stolens justeringsintervall (European ergonomic and safety guidelines for forest machines, 2006).

#### 2.11.4. Utformning av omgivningen kring föraren

Om en person arbetar med datorer och skärmar finns vissa rekommendationer för utformningen av denna miljö. Om en bildskärm används i arbetet bör denna vara justerbar, speciellt i höjddled. Föraren ska kunna placera skärmen 0–45° under den horisontella linjen rakt framför ögonen, där det känns mest bekvämt. Skärmen ska även gå att vrida för att föraren själv ska kunna undvika reflektioner samt för att skärmen ska kunna vara vinkelrät mot förarens synlinje. Tangentbordet ska vara separerad från skärmen samt vara placerad i höjddled så att ingen extra belastning på handlederna bildas. Tangentbordets nedersta knappar rekommenderas att inte vara belägna högre upp än 3 cm från bordet samt att tangentbordet ska kunna luta 5–15° i förhållande till horisontalplanet (Bohgard et al., 2005).

#### 2.11.5. Anpassning till förarna

Vid utformning av en arbetsplats och arbetsställning bör ett par frågor ställas, nämligen hur föremål och omgivning ska väljas för att kunna passa olika förare samt när det är viktigt att ha en arbetsplats med justerbara inställningar. För att kunna besvara dessa frågor behövs information om förarna och deras behov. Det som behöver kännas till är förarnas antropometriska mått och egenskaper, vilka begränsningar denna information ger samt en definition på när en utformning av arbetsplatsen och ställningen har förbättrats. Med denna information kan arbetsplatsen utformas för att passa alla användare. En del generella riktlinjer vid utformning av olika utrymmen omkring arbetsplatsen är som följande: rörelseutrymmet bör anpassas för 95:e percentilen, räckvidden bör anpassas efter 5:e percentilen, kroppsställningen är något mer komplex och kräver därför anpassning efter både 95:e och 5:e percentilen (Bohgard et al., 2005).

## 2.12. ÅTGÄRDER VID VIBRATIONER FÖR SITTANDE ARBETSSTÄLLNING

Vid dämpning av vibrationer i vibrerande skogsmaskiner läggs mycket energi på att vibrationsisolera. Detta sker till stor del i förarstolen, men även om stolen isoleras med dämpande och fjädrande element så uppkommer ändå resonansfrekvenser. För att de inte ska bidra med ytterligare skador så måste resonansfrekvenserna ligga mycket lägre än 10 Hz. Detta skapar dock ytterligare problem då fjädningen blir så pass mjuk att den inte klarar av de stötar som skotare måste klara av (Bohgard et al., 2005).

## 2.13. UNDERREDEN

Underreden syftar på de komponenter som sitter under stolens sittdyna och möjliggör att stolen kan dämpa vibrationer i olika riktningar. Hur de komponenterna ser ut och vilka funktioner de har varierar från stol till stol. Nedan visas ett underrede för att ge en ökad förståelse för hur det kan se ut och fungera (Be-Ge, 2009).

### 2.13.1. Komponenter

Det vanligaste är att stolen är utrustad med mekaniska glidskenor närmast stolsinfästningen. Glidskenorna har till funktion att se till att stolen kan flyttas fram och tillbaka i x-riktningen för att föraren ska kunna ställa in hur långt fram eller bak han/hon vill sitta. Ovanpå glidskenorna placeras bottenramen. I bottenramen fästs en saxmekanism och oftast även en fjäder och en eller flera dämpare. De två delarna hjälper till att ta upp de vibrationer som uppstår i z-riktningen, längst med förarens ryggrad. Saxmekanismen består av två delar, en inre och en yttre del. De fungerar som en vanlig fyrledsmekanism. Saxmekanismen kopplar samman bottenramen med sittramen där stolens dynor fästs (Be-Ge, 2009). För översikt av de olika komponenterna se figur 6.



Figur 6.  
Underrede från Be-Ge 3000 DPS.

### **2.13.2. Plandämpare**

Vad flera av dagens förarstolar saknar är en lösning som dämpar vibrationer i x- och y-riktningen. Flertalet stoltillverkare säljer dock plandämpare som tillval. Plandämparen består av en platta och två fjädrar. Fjädrarna som är inställbara (förspänningen i fjädrarna ändras) dämpar vibrationerna i x- och y-riktningen (Be-Ge, 2009).

## **3. Metod**

Kapitlet beskriver den arbetsprocess som examensarbetet genomgått samt de metoder som användes för att föra arbetet framåt.

### **3.1. STAGE-GATE PROCESSEN**

För att arbetet skulle fortskrida i rätt takt och för att det skulle hålla hög kvalitet utfördes arbetet enligt Stage-gate processen. Det är en process som delar in produktutvecklingen i flera olika steg. Stegen är avskilda från varandra med hjälp av gater, grindar, som är utsatta vid vissa bestämda tidpunkter för att arbetet ska vara tidskontrollerat. Varje steg innehåller en viss mängd arbete som ska ha blivit gjort innan projektet nått nästa grind. Innan nästa steg påbörjas måste arbetet komma igenom grinden. Vid grindarna beslutades det om arbetet har gått som önskat eller inte efter förutbestämda kriterier, som examensarbetets tidsplanering eller kravspecifikation. Här fick arbetet en viss status som visade på om arbetet kunde gå vidare, behövde göras om eller kanske bara pausas ett tag i väntan på ny/annan information. Förutom detta fungerade grindarna även som kvalitetskontroller (Hagman, L., 2006). Examensarbetet delades in i fem större steg, Referensram, Metod, Resultat, Diskussion/slutsatser samt Avslut. Det var dessa större steg som kontrollerades vid grindarna. Grindarna var satta efter planeringsrapporten som gjordes i början av arbetet. Stegen delades även i sin tur in i ett antal mindre steg som gavs en mindre kontrollgrind i slutet av varje vecka. För att styra stegen vidare i rätt riktning samt se till att de olika stegen delas in på rätt sätt användes en metod som heter Front-end analysis.

### **3.2. FRONT-END ANALYSIS**

Då syftet med examensarbetet var att förbättra stolen i skotaren valdes en metod som sätter användarna i centrum, ”Front-end analysis”. Syftet med front-end analysis är att förstå användarna och kraven för arbetssituationen. Innan designlösningarna genererades besvarades fyra frågor om användarna och produkten (All information om Front-end analysis under 3,2 kommer från (Wickens et al., 2004) om inget annat anges).

#### **3.2.1. Användaranalys**

Vilka är användarna för produkten? Innan någon annan analys genomförs identifieras potentiella användare för varje steg i produktens livscykel. I detta fall representeras ”användarna” av skotarförarna. Viktigt kan vara att tänka på är vilka som kommer att installera eller underhålla produkten. Användarna av produkten, d.v.s. skotarförarna, kan komma från flera olika länder och det är då viktigt att hänsyn tas till olika fysiska möjligheter eller begränsningar. I examensarbetet har programmet Jack använts för att illustrera hur skillnader mellan olika befolkningsgrupper kan se ut och hur viktigt det är med en fullständig användaranpassning.

## Jack

I programmet Jack skapas en eller flera ”manikins”, modeller av människokroppar som går att göra både manliga och kvinnliga. Med modellerna går det att göra flera olika analyser. Exempel på funktioner är (Sundin, A. & Sjöberg, H., 2004):

- Med importerade CAD-modeller kan hela arbetsplatser testas i Jack i stället för att bygga fullskaliga miljöer som en verklig människa ska testa.
- Jack kan även simulera synfält, det går att se hur mycket av en arbetsplats eller från t.ex. en förarstol som modellen verkligen kan se, både utifrån på modellen och från modellens egna perspektiv.
- Det är möjligt att med rätt indata utföra belastningsergonomiska analyser. Analyserna kräver dock en ordentlig ergonomisk kunskap för att analyserna inte ska bli fel.
- Något som är aktuellt i examensarbetet är den inbyggda funktionen som möjliggör ändring av kroppsmått hos modellerna. I Jack finns det antropometriska mått lagrade så att användaren kan välja att ge sin modell en viss storlek efter en viss percentil (1, 5, 50, 95). Något användaren måste komma ihåg är att de antropometriska måtten i Jack kanske inte representerar just den befolkning eller grupp som modellen ska illustrera (Sundin, A. & Sjöberg, H., 2004).

## Percentil

Percentil används för att beskriva modellernas kroppsform och syftar till en statistisk indelning av de antropometriska måtten hos den aktuella befolkningen. Percentilen kan delas in i hundra delar, från 1:a percentil till 100:e percentil, men vanligast är det med en uppdelning på 5, 50 och 95. En person som är av den 50:e percentilen är en person av medelstorlek medan en person av 95:e percentilen är större än 95 % av den aktuella gruppen. Eftersom människor i olika länder kan ha olika längd på olika kroppsdelar (som armar och ben). Trots samma kroppslängd är det viktigt att vara noga med att rätt data tillämpas på modellen (Sundin, A. & Sjöberg, H., 2004).

### 3.2.2. Funktions- och uppgiftsanalys

Vilka är huvudfunktionerna som produkten ska klara av? Vilka uppgifter ska genomföras? I detta fall representeras ”produkten” av en förarstol till skotare.

- **Funktionsanalys:** När användarna, d.v.s. förarna, var identifierade genomfördes en analys över vilka funktioner som produkten, förarstolen, ska kunna uppfylla.
- **Uppgiftsanalys:** Detta är en av de viktigaste analyserna för att förstå användarna. Ju mer komplex produkten är, desto mer detaljrik blir analysen. Task analysis kan beskrivas med fyra punkter:

- **Definiera analysens syfte och identifiera vilken data, information, som krävs.** Exempel på frågor som kan behövas besvaras är: Är uppgifterna av fysisk karaktär eller kognitiv? Hur förhåller sig de olika uppgifterna sig till varandra, hierarkisk? I vilken ordning bör uppgifterna komma?
- **Samla uppgiftsdata.** På vilket sätt som informationen samlas in beror på vad för slags information som behövs till analysen.
- **Sammanfatta uppgiftsdata.** När informationen väl är insamlad används ofta flera olika metoder för att sammanfatta alla resultat.
- **Analysera uppgiftsdata.** Att endast läsa av grafer och flödesscheman räcker inte för att förstå omfattningen av ett komplext system. För detta krävs mer avancerade metoder. Exempel på sådana metoder är network analysis, workload analysis, simulation and modeling, safety analysis och scenario specification.

### 3.2.3. Omgivningsanalys

Vilka är miljövillkoren/omgivningsvillkoren som produkten, förarstolen, kommer att användas i? Vid design av en produkt är det viktigt att tänka på omgivningen där produkten kommer att användas. Tål den väderförhållanden? Krävs handikappanpassning? Kommer användarna, skotarförarna, behöva ha tunga ytterkläder eller kanske vantar på sig vid användandet? Denna analys kan göras parallellt med användaranalysen samt uppgiftsanalysen.

### 3.2.4. Identifiering av användarpreferenser och krav

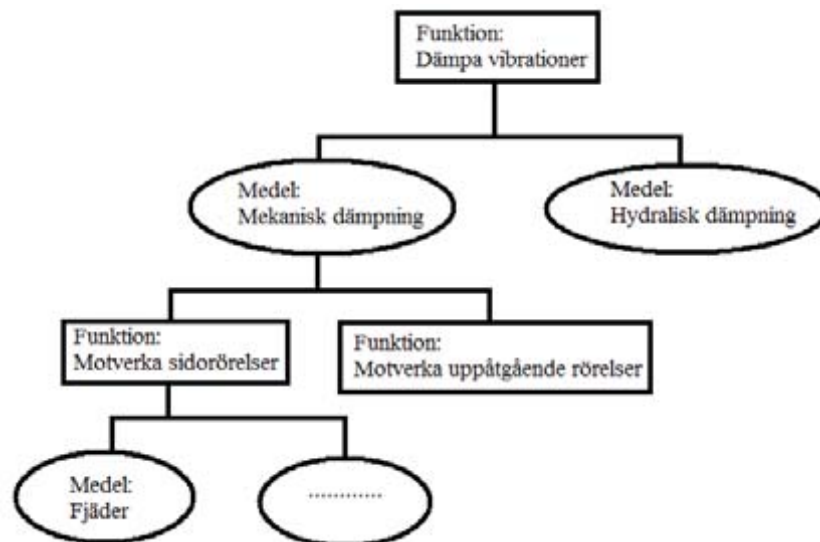
Vilka är användarens önskemål och krav för produkten, dvs. hur vill förarna att stolen ska fungera och innehålla? Det är mycket viktigt att användarnas önskemål och prioriteringar (bland funktioner och uppgifter) kommer med när en produkt tas fram.

Metoden ”Front-end analysis” fortsätter efter detta med idégenerering och konceptgenerering. I detta steg användes ytterligare metoder som funktionsmedelträd.

## 3.3. FUNKTIONSMEDELTRÄD

Funktionsmedelträd fungerar genom att en produkt delas in i de funktioner som den ska kunna utföra samt på vilket sätt som funktionerna ska uppfyllas på, ett medel för detta. Analysen ställs upp hierarkiskt med funktion över och ett medel under, i förgreningar. Syftet är att generera koncept som kan realiseras, samtidigt som alla förslag får komma med men kanske inte utvecklas vidare t.ex. på grund av svårigheter i att förverkliga eller andra restriktioner som att det kanske blir för dyrt. Det är alltså två typer av information som krävs för varje steg, funktioner och de medel som krävs för att realisera funktionerna. Hierarkin fortsätter sedan med att dessa medel i sin tur kräver ytterligare funktioner för att stödja lösningen och att de nya funktionerna kräver nya medel. Så fortsätter trädet tills krav och kriterier stoppar flödet och en eller flera lösningar har blivit genererade, se figur 7 (Janhager, J. 2006).





Figur 7.  
Början på ett funktionsmedelträd där huvudfunktionen är att dämpa vibrationer.

### 3.4. LITTERATURSTUDIE

Parallellt med produktens förstudie gjordes två litteraturstudier. De gjordes inom ämnena ergonomi samt signalanalys genom att söka genom olika databaser samt KTH:s egna bibliotek. Sökord som användes var (ensamma eller i kombination) ”ergonomi”, ”vibrationer”, ”ergonomics”, ”vibrations”, ”förarstol”, ”skogsfordon”, ”skogsmaskin” och ”signalbehandling”, ”FFT”, ”transferfunktion” m.m. De databaser som söktes igenom var Scopus, Inspec, Compendex samt Google scholar. Resultatet från litteraturstudien genererade referensramen ovan i avsnitt 2.

### 3.5. INTERVJUER OCH VAL AV RESPONDENTER (SKOTARFÖRARE)

De skotarförare som intervjuades valdes ut från en lista med namn som Skogforsk samlat ihop under en mäsas. Personer på denna lista rekommenderade i sin tur andra skotarförare med varierande erfarenhet. De intervjuer som gjordes var semistrukturerade samt gjordes över telefon. För intervjufrågor se 4.4.2. Function and Task analysis.

### 3.6. GENOMFÖRANDE OCH METOD VID MÄTNINGAR

På grund av att skotaren som använts inte skulle finnas tillgänglig efter augusti månad inleddes examensarbetet med att utföra mätningarna direkt. Skotaren som användes kommer från Komatsu Forest och är av modell Valmet 860.4. Vibrationerna mättes på vardera av de sju förarstolarna då de kördes över två banor, en vibrationsbana (hinderbana) framtagen av Skogforsk och Hultdins AB och en 230 meter lång terrängbana. Vibrationsbanan var 28 meter lång och bestod av utplacerade metallhinder på en grusplan. Metallhindren är placerade i två rader som motsvarar höger och vänster sida av skotaren.

Mätningen gjordes genom att två stycken accelerometrar placerades i förarhytten. Den första accelerometern placerades på golvet under föraren. Accelerometern på golvet skruvades fast i en plåt som var hårt fastkilad under förarstolens fundament. Innan första körningen kalibrerades accelerometern med hjälp av jordens gravitation. Den andra accelerometern var en sittplatta lånad från MWL-laboratoriet på KTH. Båda accelerometrarna mäter accelerationerna i

m/s<sup>2</sup> i x-, y- och z-riktning. Sittplattan placerades på halva bredden av förarsätet samt så att den tangerade rygglutet på stolen. Plattan sattes fast med silvertejp på sätet på ett sådant sätt att den satt fast stadigt utan möjlighet till rörelse vid själva körningen.

Proceduren var den samma för alla sju stolar. Föraren (Petrus Jönsson, Skogforsk) ställde in varje stol så att den kändes bekväm. Alla stolar justerades så att sittedynan befann sig 50 cm över hyttgolvet. Därefter kördes skotaren över vibrationsbanan fem gånger, se figur 8. Hastigheten i skotaren ställdes in med en vridpotentiometer som föraren försökte hålla i samma läge. Det gjordes för att hastigheten över banan skulle vara någorlunda lika. För att kontrollera att så var fallet klockades varje körning och resultatet blev en medelhastighet av 1,2 km/h. Denna hastighet var enligt skoterföraren en bra uppskattning på den hastighet med vilken skotaren vanligtvis framförs i terräng. Efter att varje stol körts fem gånger på vibrationsbanan kördes skotaren även ett varv i terrängbanan som fanns i skogen och som låg i nära anslutning. Terrängbanan är en uppkörd bana i skogen med stenar och andra liknande hinder och som används för utbildning av blivande skogsmaskinförare.



Figur 8.  
Skotaren på vibrationsbanan.

### 3.6.1. Verifiering

För att verifiera att FFT analysen var korrekt gjordes en jämförelse mellan den inverterade fouriertransformen (IFFT) som funktion av tiden och den ursprungliga accelerationen (som sedan fouriertransformen utfördes på) som funktion av tiden. Då inga stora skillnader kunde urskiljas i jämförelsen kunde FFT metodens korrekthet verifieras.

För att verifiera att den vägda accelerationsvektorn var korrekt gjordes en jämförelse mellan den viktade och oviktade accelerationen som funktion av frekvensen. Då den viktade accelerationen generellt har lägre amplitud vid samma frekvens så kan den anses vara korrekt.

Då det finns en modell i MCS *Adams* (MCS Adams) över samma vibrationsbana som mätningarna genomfördes på (Karlsson & Nisserud, 2009) var denna lämplig att använda för att verifiera sänkning av vibrationsexponeringen till följd av ändringar på stolens fjäder- och dämpningskonstant. Eftersom

modellen har visat sig stämma bra överens med tidigare mätningar utförda på vibrationsbanan så bör ändringar som visar sig vid simuleringar med modellen reflektera de ändringar som skulle ske i verkligheten.

### 3.7. FREKVENSVÄGDA ACCELERATIONER

Insats- och gränsvärdet syftar på den dagliga exponeringen av vibrationer som en förare utsätts för. Den dagliga vibrationsexponeringen beräknas med ekvation (3).

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{8} \sum_{i=1}^n a_i^2 T_i} \quad (3)$$

$a_i$  är effektivvärdet för den frekvensvägda accelerationen som funktion av tiden.  $T_i$  är tiden som varje aktivitet utförs.

Viktningen av accelerationsvektorn sker i frekvensplanet då det är tersbanden som har olika viktsfaktorer. Utifrån de mittfrekvenser som syns nedan i tabell 1 beräknades undre och övre tersbandsgräns enligt ekvation (4) och (5).

Tabell 1.

Tabell över mittfrekvenser, undre och övre tersbandsgränser samt viktningen för x- och y-led samt z-led kallade  $W_d$  och  $W_k$ .

Tersband nr.	Mitt-frekvens	Undre tersbandsgräns	Övre tersbandsgräns	Viktning x- och y-led	Viktning z-led
1	0,5	0,45	0,56	0,85	0,42
2	0,63	0,56	0,71	0,94	0,46
3	0,8	0,71	0,9	0,99	0,48
4	1	0,89	1,12	1,01	0,48
5	1,25	1,11	1,4	1,01	0,48
6	1,6	1,43	1,8	0,97	0,49
7	2	1,78	2,24	0,89	0,53
8	2,5	2,23	2,81	0,78	0,63
9	3,15	2,81	3,54	0,64	0,8
10	4	3,56	4,49	0,51	0,97
11	5	4,45	5,61	0,41	1,04
12	6,3	5,61	7,07	0,32	1,05
13	8	7,13	8,98	0,25	1,04
14	10	8,91	11,22	0,21	0,99
15	12,5	11,14	14,03	0,16	0,9
16	16	14,25	17,96	0,13	0,77
17	20	17,82	22,45	0,1	0,64
18	25	22,27	28,06	0,08	0,51
19	31,5	28,06	35,36	0,06	0,41
20	40	35,64	44,9	0,05	0,31
21	50	44,54	56,12	0,04	0,25
22	63	56,13	70,72	0,03	0,19
23	80	71,27	89,8	0,02	0,13

För att beräkna undre tersbandsgräns användes ekvation (4).

$$f_{undre} = f_{mitt} \cdot 2^{-1/6} \quad (4)$$

Vid beräkning av övre tersbandsgräns användes ekvation (5):

$$f_{övre} = f_{mitt} \cdot 2^{1/6} \quad (5)$$

När tersbandsgränserna beräknats kunde de enskilda tersbanden urskiljas ur frekvensvektorn erhållen från fouriertransformationen. Accelerationer i accelerationsvektorn som motsvarade en frekvens som ingick i något tersband viktades med viktfaaktorn för tersbandet. På så vis erhöles den viktade accelerationsvektorn som funktion av frekvensen. För att återgå till tidsplanet och erhålla den viktade accelerationsvektorn som funktion av tiden gjordes en inverterad fouriertransform på den viktade accelerationsvektorn som funktion av frekvensen.

Effektivvärdet beräknades för den viktade accelerationen som funktion av tiden. Effektivvärdet multiplicerades sedan med en riktningfaktor  $K$  ( $K_x, K_y = 1,4$   $K_z = 1$ ,  $K_x, K_y = 1,4$ ,  $K_z = 1$ ) Det gjordes för att ta hänsyn till att kroppen påverkas olika mycket beroende på vilken riktning vibrationerna har.

### 3.8. FJÄDER- OCH DÄMPARKONSTANT

Efter att resonansfrekvensen tagits fram ur plottar för överföringsfunktioner så kunde fjäder- och dämparkonstanten beräknas enligt följande, ekvation (6)–(7).

$$k = (f_{Hz} \cdot 2\pi)^2 \cdot m [N / m] \quad (6)$$

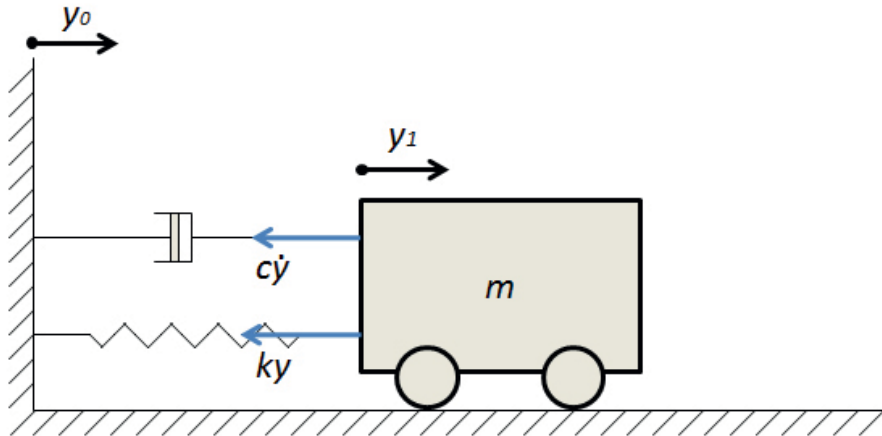
$$c = 2 \cdot \sqrt{k \cdot m} [Ns/m] \quad (7)$$

Där  $f_{Hz}$  är resonansfrekvensen i Hz,  $m$  är massan i kg.

Där  $k$  är fjäderkonstanten i  $[N / m]$  beräknad med ekvation (6).

### 3.9. EN-MASSE-SYSTEM

För att ta reda på hur fjäder- och dämparkonstanten påverkar stolens position som funktion av tiden skapades ett en-masse-system bestående av en massa, en fjäder och en dämpare. Systemet skapades i Simulink som är en plug-in modul till *Matlab* (MATLAB R2008b). För att systemet skulle kunna skapas togs rörelseekvationerna fram.



Figur 9.  
Illustration som visar hur ett en masse system för y-riktningen kan se ut.

Figur 9 beskriver ett en masse system i y-riktningen. Här har massan (stolens rörliga delar samt föraren) förflyttats en sträcka  $y$  från sitt jämviktsläge. Det gör att krafter uppstår i fjäder och dämpare som ämnar föra tillbaka massan till sitt jämviktsläge. Krafterna är, ekvation (8)–(9):

$$F_k = k \cdot \sigma y \quad (8)$$

$$F_c = c \cdot \sigma \dot{y} \quad (9)$$

Där  $k$  och  $c$  är fjädern respektive dämparens konstant,  $\delta y$  är skillnaden mellan markens (hyttgolvet) och massans (stol+förare) förflyttning och  $\delta \dot{y}$  är nettohastigheten som denna förflyttning sker med.

Friläggning av massan ger ekvation (10):

$$-c(\dot{y}_1 - \dot{y}_0) - k(y_1 - y_0) = m\ddot{y}_1 \quad (10)$$

Med substitutionen  $y_A = y_1 - y_0$  erhöles sedan ekvation (11):

$$\ddot{y}_A + \ddot{y}_0 + \frac{c}{m} \dot{y}_A + \frac{k}{m} y_A = 0 \quad (11)$$

På denna ekvation utfördes en Laplacetransformation. Denna gav:

$$y_A = y_1 - y_0 \quad s^2 + y_A + \frac{c}{m} s y_A + \frac{k}{m} y_A = U \quad U = -\ddot{y}_0 \quad (12)$$

Utifrån ekvation (12) ovan kunde  $y_A$   $y_A$  beräknas och en krets som löser denna i simulink kunde skapas.

### 3.10. UTVÄRDERING AV STOLENS ERGONOMI

Utvärderingen av stolen skedde praktiskt genom användning av måttband/-tumstock samt gradskiva. Utvärderingen gjordes efter en checklista som heter *European ergonomic and safety guidelines for forest machines, 2006*. Checklistan innehåller tabeller på vad som ska mätas samt intervall med poäng och viktning. Beroende på var i intervallet den uppmätta delen av stolen faller tilldelas den ett visst antal poäng. Ju högre poäng desto sämre resultat, se bilaga 1. Beroende på de poäng som stolen erhållit tilldelas stolen en ergonomisk klass, se tabell 2 och 3.

Tabell 2.  
Poängintervallen i procent för de olika ergonomiska klasserna.

	Klass	Skördare och skotare	
		Min. poäng, %	Max. poäng, %
Ergonomisk profil	A	0	3
	B	>3	10
	C	>10	25
	D	>25	50
	E	>50	100

Tabell 3.  
Poängintervallen för stolarna för de ergonomiska klasserna.

	Klass	Skördare och skotare	
		Min. poäng	Max. poäng
Ergonomisk profil	A	0	22
	B	23	75
	C	76	189
	D	190	378
	E	379	756

#### Klass A

Året runt arbete med hög produktivitet och effektivitet i alla typer av terräng och förutsättningar i skogen. Hög nivå av säkerhet. Enkelt och säkert underhållsarbete.

#### Klass B

Arbete med hög produktivitet men under något enklare förutsättningar än i klass A (t.ex. enklare terräng, lugnare tempo eller kortare arbetstid). Samma höga nivå av säkerhet som klass A men annars har klass B inte lika hög standard som klass A.

#### Klass C

Enklare förutsättningar och/eller lugnare tempo/kortare arbetstid än klass B. Samma nivå av säkerhet som klass B men annars har klass C inte lika hög standard som B.

### **Klass D**

Enklare förutsättningar och/eller lugnare tempo/kortare arbetstid än klass C. Inte lika hög standard som klass C, men en bra nivå av säkerhet.

### **Klass E**

Maskinen uppfyller inte lagkraven (EU direktiv för maskiner och nationella bestämmelser) och/eller har så pass allvarliga brister att operatören utsätts för en stor skaderisk. Maskinen får inte användas tills bristerna har blivit korrigerade och maskinen når kriterierna som specificeras i klass A–D.

## **3.11. RISKANALYS**

Vid arbetets början genomfördes en riskanalys. Analysen genererade ett par risksituationer med hög eller låg risk samt konsekvens. De risksituationer som ansågs vara mest aktuella samt hade värst konsekvens med avseende på arbetet med själva stolen var:

- Nya mätningar krävs, fel på de genomförda. Det skulle innebära problem då tillgången till skotaren är högst begränsad. Problemen skulle behövas lösas numeriskt eller genom möjligtvis kompletterande beräkningar/mätningar.
- En åttonde stol läggs till. Det hittills genomförda arbetet skulle behöva analyseras om då den nya stolen kanske är bättre.
- Problem med att analysera mätningar, vilket skulle resultera i eventuell tidsbrist.
- ”Visningsexemplaret” av stolen är trasig/oåtkomlig. Stolen måste arbetas utvärderas/analyseras på annat sätt, möjligtvis genom CAD-modeller.

## **3.12. KRAVSINSAMLING**

För att underlätta konceptgenereringen gjordes en enklare kravinsamling samt kravanalys. Kravinsamlingen gjordes från referensramen och från sex stycken skotarförare. Den kompletteras även av rekommendationer från European ergonomic and safety guidelines for forest machines, 2006. Olika krav avseende funktioner och egenskaper samlades in. När alla krav var insamlade analyserades de för att kunna bilda en uppfattning om vad koncepten skulle bestå av. Kraven som skapade koncepten valdes efter vissa kriterier (Davis, 2000).

- Korrekta, kraven beskriver något som t.ex. användarna vill ha. Överensstämmande, kraven får inte vara i konflikt med andra krav.
- Otvetydigt, kraven hade en möjlig tolkning.
- Verifierbar, det gick att verifiera att det slutgiltiga resultatet möter upp kraven.

Grunden till konceptgenereringen redovisas under 4.4 Front-end analysis.

## **4. Resultat**

I detta kapitel samlas de resultat som genererats med de metoder som beskrivits tidigare.

## 4.1. VIBRATIONSANALYS AV FÖRARSTOL

För att utvärdera vilken av de sju stolarna som är bäst ur vibrations synpunkt så utvärderades de med avseende på vibrationsexponeringen som föraren utsätts för under en typisk arbetsdag.

### 4.1.1. Lågpasfilter

För överföringsfunktionerna användes ett lågpasfilter för att filtrera bort de frekvenskomponenter som finns över frekvensområdet 0,5 – 80 Hz där utvärderingen enligt ISO 2631-1 genomförs. Lågpasfiltret skapades i *Matlab* med ett så kallat Butterworth filter. Butterworth filter kan enkelt skapas med *Matlab* funktionen `butter`.

```
fNorm = 80/(Fs/2);
```

```
[b,a] = butter(5,fNorm,'low');
```

```
fYx3 = filtfilt(b,a,Yx3);
```

I Matlabkoden ovan ser vi ett exempel på hur ett femte ordningens Butterworth lågpasfilter konstruerades.  $F_s$  är här samplingsfrekvensen för körningen och  $Y_{x3}$  är accelerationen som funktion av frekvensen som erhölls ur FFT beräkningen. Värdet 80 är cutoff frekvensen för lågpasfiltret varefter alla frekvenskomponenter skall filtreras bort. Funktionen `filtfilt` är också den en inbyggd funktion i *Matlab* som skapar den filtrerade signalen med hjälp av vektorerna  $b$  och  $a$  erhållna från `butter` funktionen.

### 4.1.2. A(8)-värdet

A(8)-värdet är den mätstorhet som anger hur stor vibrationsexponering som föraren utsätts för under en typisk arbetsdag. Nedan visas två tabeller över de beräknade värdena för respektive stol. Varje stol kördes 5 gånger över vibrationsbanan och en gång på en terrängbana i skogen. Medelvärdena som redovisas i tabell 4 nedan är medelvärdet av de 5 körningarna över vibrationsbanan för respektive riktning (inklusive riktningsfaktor) samt A(8)-värdet. Tabell 4, visar rms accelerationerna för samtliga riktningar (inklusive riktningsfaktor) för samtliga stolar då de kördes genom terrängbanan. A(8)-värdet är beräknat med antagandet att föraren spenderar 40 % av arbetsdagen med att framföra fordonet i terräng som är jämförbar med vibrationsbanan. Alla vibrationer som uppstår vid lastning av timmer och andra arbetsuppgifter än just körning av fordonet har försumrats.



## Vibrationsbanan

I tabell 4 kan resultaten från vibrationsbanan urskiljas. Värt att notera är att:

- KAB air 65/K4 stolen hade lägst rms-värde för accelerationer i y- och z-riktningen, och hade således även lägst A(8)-värde.
- Ingen stol utmärker sig som dålig med sämst resultat i flera riktningar.

Tabell 4.

Resultaten från mätningar på vibrationsbanan, gröna fält markerar lägsta värdet, röda fält markerar högsta värdet.

Stolsmodell	Medelvärden			
	X	Y	Z	A(8)
Be-Ge 2000	0,72	0,78	0,49	0,49
Be-Ge 3000 DPS	0,41	0,78	0,47	0,49
Be-Ge 7000	0,44	0,86	0,52	0,54
Be-Ge 7000 Airvent	0,61	0,84	0,47	0,53
Be-Ge 9000	0,5	0,79	0,46	0,5
Grammer	0,5	0,85	0,52	0,53
KAB air 65/K4	0,48	0,71	0,42	0,45

För körningarna över vibrationsbanan bedöms KAB air 65/K4 vara den bästa stolen med avseende på vibrationsexponering under en arbetsdag. KAB air 65/K4 lyckas dämpa vibrationerna bra i samtliga riktningar även om det finns andra stolar som dämpar vibrationerna bättre i x-riktningen. Samtliga resultat från mätningarna på vibrationsbanan återfinns i bilaga 2.

## Terrängbanan

Det gjordes en mätning per stol på terrängbanan som låg i skogen i nära anslutning till vibrationsbanan. Även här mättes accelerationerna i samtliga riktningar och A(8) värdet beräknades. I tabell 5 redovisas resultatet från mätningen.

Tabell 5.

Resultat från mätningen i terrängbanan, gröna fält markerar lägsta värdet, röda fält markerar högsta värdet. Resultat från mätningen i terrängbanan, gröna fält markerar lägsta värdet, röda fält markerar högsta värdet.

Stolsmodell	Uppmätta värden			
	X	Y	Z	A(8)
Be-Ge 2000	0,51	0,56	0,38	0,36
Be-Ge 3000 DPS	0,22	0,37	0,22	0,24
Be-Ge 7000	0,39	0,49	0,35	0,31
Be-Ge 7000 Airvent	0,3	0,44	0,25	0,28
Be-Ge 9000	0,4	0,48	0,33	0,3
Grammer	0,58	0,71	0,52	0,45
KAB air 65/K4	0,84	0,89	0,42	0,56

Även vid mätningen på terrängbanan utmärker sig KAB air 65/K4 stolen, men i detta fall negativt. KAB air 65/K4 visar på en mycket högre nivå på accelera-

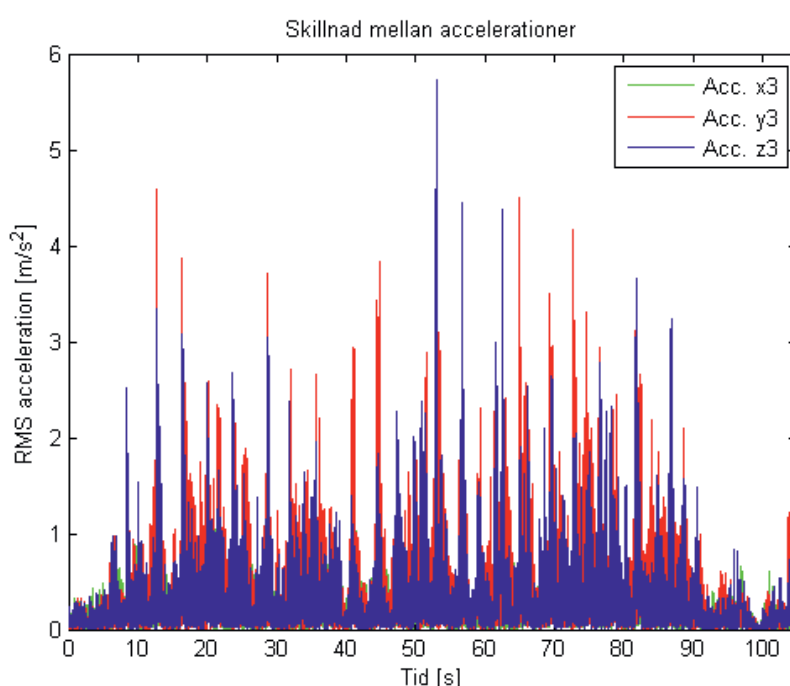
tionerna i x- och y-riktningen. Be-Ge 3000 DPS är den stol som har lägst vibrationsnivå i samtliga riktningar, och således även lägst A(8)-värde.

## 4.2. SÄNKNING AV VIBRATIONSEXPONERING

Vid beräkningen av A(8)-värdet för samtliga stolar framgick det att det var de höga accelerationsamplituderna i y-riktningen som bidrog till de höga A(8)-värdena.

### 4.2.1. Y-riktningens höga värde

För att ta reda på anledningen till varför y-riktningen uppnår ett så högt värde så plottades en jämförelse mellan de 3 accelerationerna som påverkar Be-Ge 3000 DPS på vibrationsbanan som funktion av tiden. I figur 10, nedan kan den jämförelsen ses.



Figur 10.  
Skillnaden i accelerationernas amplitud som funktion av tiden.

Det man kan se i figur 8 är att amplituden hos accelerationen i y-led under korta tidsperioder sticker iväg. Detta beror troligtvis på att förarstolen i den mät-punkten utsattes för en kort men kraftig stöt i y-riktningen. Från den ergonomiska utvärderingen (som redovisas senare i rapporten) framgick det att alla utom en stol, Grammer Actimo XL, MSG95A/722, som utvärderades saknade dämpning i det horisontella planet (x- och y-riktningen). I CAD modellen av Be-Ge 3000 DPS (se figur 5) kan ingen dämpning i det horisontella planet urskiljas. Be-Ge 3000 DPS har dock dämpare riktade i x, z-planet och kommer genom dessa ta upp vibrationer i x- och z-riktningen. Avsaknaden av dämpning i y-led leder till höga accelerationsamplituder.

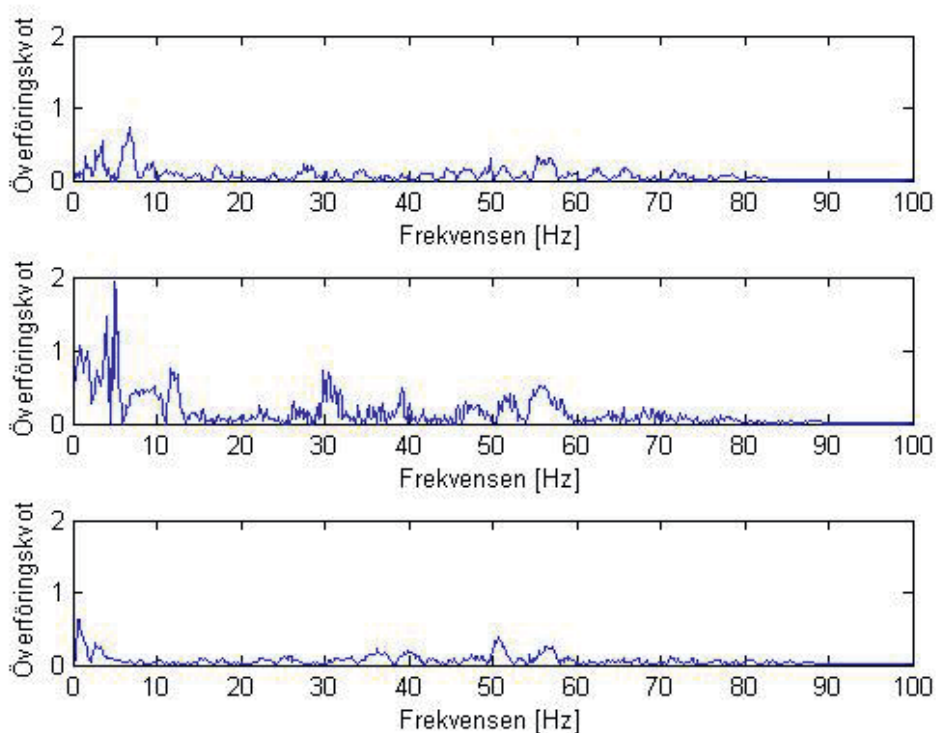
## 4.2.2. Överföringsfunktion

För att ta reda på hur mycket av vibrationerna som överförs från hyttgolvet genom stolen till föraren så togs överföringsfunktionen fram för samtliga riktningar och stolar. Överföringsfunktionen beräknades i *Matlab* med funktionen `tffestimate` som använder CSD-metoden för att ta fram överföringsfunktionen.

```
[Tacc,F] = tffestimate(In,Ut,[],[],NFFT,Fs);
```

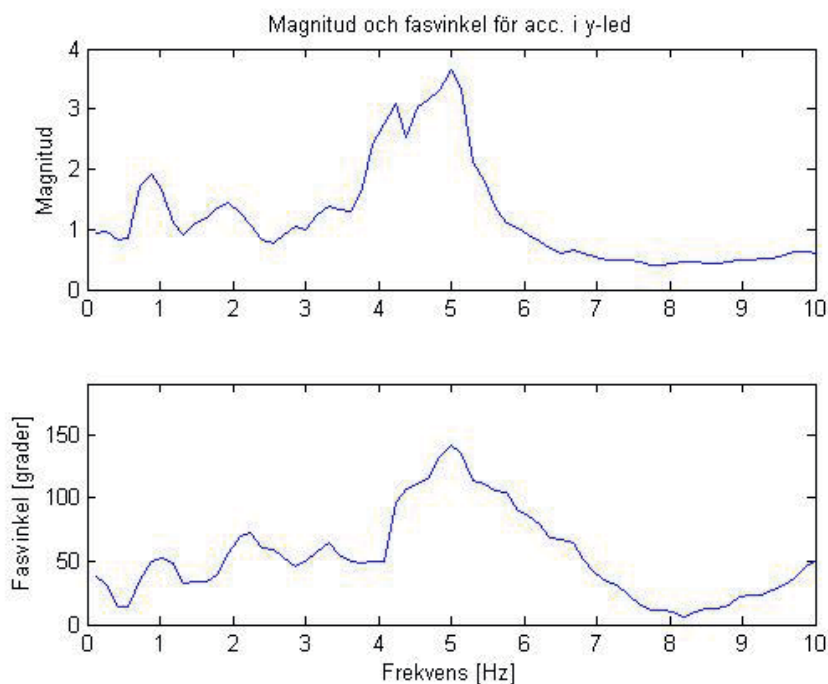
Funktionen `tffestimate` returnerar två vektorer, `Tacc` och `F`. `Tacc` är vektorn med överföringskvoten mellan ingående signal och utgående signal. `F`-vektorn är en vektor över de frekvenser som överföringsfunktionen beräknas för. De två tomma matriserna anger att standardvärdet skall användas för det inbyggda Hamming (dela upp signalen i 8 delar) fönstret och överlappningen (här har 50 %-ig överlappning använts). `NFFT` är tvåpotensen av de accelerationsvektorer som skall utvärderas och `Fs` är samplingsfrekvensen för accelerationerna som skall utvärderas.

I figur 11 kan överföringsfunktionen för Be-Ge 3000 DPS ses för samtliga riktningar vid mätning i terrängbana. Värt att notera är att överföringen av vibrationer från golvet genom stolen till föraren är störst i y-led.



Figur 11. Överföringsfunktion för x-,y- och z-riktningen vid körning i vibrationsbanan för Be-Ge 3000 DPS.

Överföringsfunktionen spelade även en viktig roll vid framtagningen av fjäder- och dämpningskonstanter för den stolen som enligt utvärdering var bäst. I figur 10 visas magnituden samt fasvinkeln för överföringsfunktionen i y-led för Be-Ge 3000 DPS.



Figur 12.  
Magnitud och fasvinkel för överföringsfunktionen som funktion av frekvensen för Be-Ge 3000 DPS.

I figur 12 ovan så kan en tydlig topp urskiljas vid frekvensen 5 Hz. I kurvan för fasvinkeln ser vi även att det sker ett fasskifte vid denna frekvens. Denna frekvens är alltså resonansfrekvensen för stolen i y-riktningen (förarstolen har en resonansfrekvens per frihetsgrad). Med beräknad resonansfrekvens och massan, dvs. förarens vikt och stolens rörliga delar ( $88 + 32 = 120$  kg), kunde fjäder- och dämpningskonstanten beräknas med ekvation (6) och (7). Resultatet av beräkningarna visas nedan.

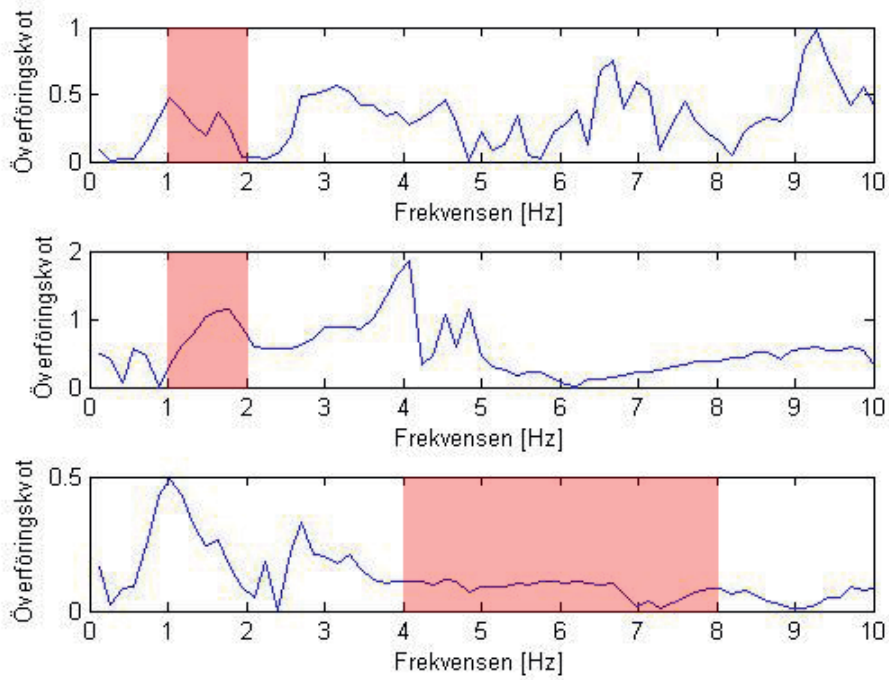
$$k_y = 118435 \text{ N/m}$$

$$c_y = 7540 \text{ Ns/m}$$

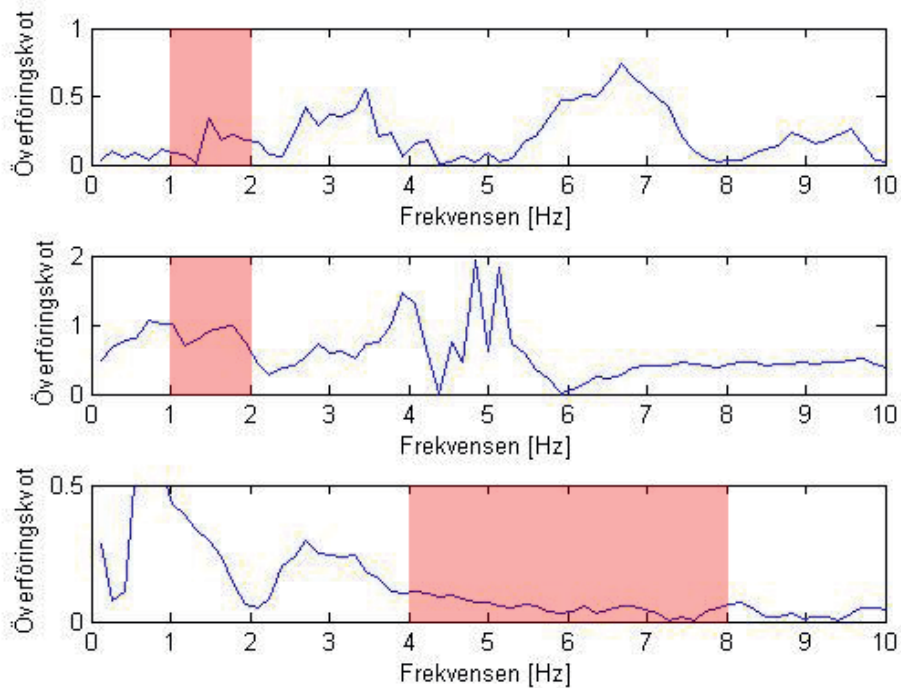
$k_y = 118435 \text{ N/m}$ ,  $c_y = 7540 \text{ Ns/m}$  Ovanstående värden användes vid simuleringarna i Adams i den skotarmodell som skapats i ett tidigare examensarbete för Skogforsk (Karlsson & Nisserud, 2009). Överföringsfunktionerna för samtliga stolar återfinns i bilaga 3.

### Skadliga frekvensområden

Överföringsfunktionen användes även för att se hur mycket av vibrationerna från hyttgolvet som överförs till föraren inom de frekvensområden där kroppen har en högre känslighet (1–2 Hz för x- och y-led samt 4–8 Hz för z-led). I figur 13 och 14 visas överföringsfunktionerna för KAB air 65/K4 samt Be-Ge 3000 DPS (de stolar som ansågs bäst vibrationsmässigt på de två banorna). I figurerna är de skadliga frekvensområdena rödmarkerade.



Figur 13.  
Överföring i de frekvensområden där kroppen visar en känslighet för KAB air 65/K4.

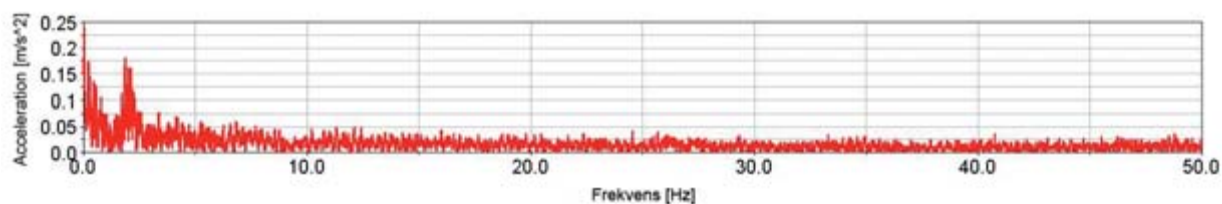


Figur 14.  
Överföring i de frekvensområden där kroppen visar en känslighet för Be-Ge 3000 DPS.

Som visas i figurerna 13 och 14 överför bägge stolarna nästan alla vibrationer (i de känsliga frekvensområdena) från hyttgolvet i y-led medan de dämpar vibrationerna bra i både x- och z-led. Då dessa områden är de som är högst viktade ger det automatiskt ett högt A(8)-värde i y-led men inte lika högt i x- och z-led.

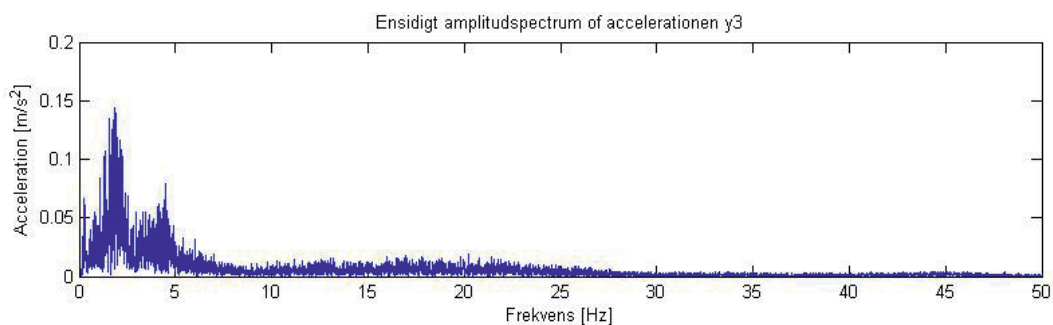
### 4.2.3. Simulering i Adams

Med ovan redovisade fjäder- och dämparkonstant erhöles följande kurva, se figur 15, från simuleringen i Adams för acceleration i y-led för Be-Ge 3000 DPS.



Figur 15.  
Accelerationen för förarstolen i y-led som funktion av frekvensen.

Denna kurva är klart jämförbar med den kurva som erhöles för accelerationen för förarstolen i y-riktningen från mätningarna, se figur 16.



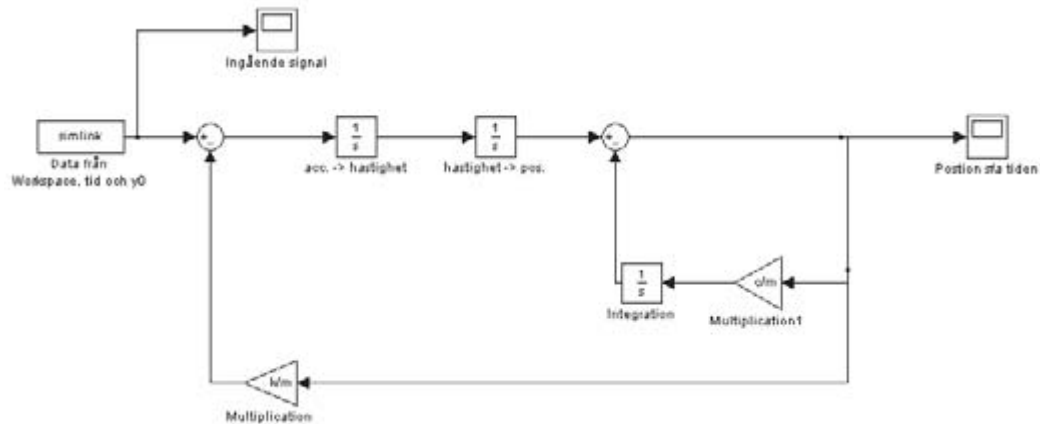
Figur 16.  
Accelerationen för förarstolen i y-riktningen som funktion av frekvensen.

### 4.3. EN-MASSE-SYSTEM

Enligt ekvation (12) kunde simulink modellen för  $y_A$  ställas upp enligt:

$$y_A = \frac{1}{s^2} \left( U - \frac{k}{m} y_A \right) - \frac{1}{s} \left( \frac{c}{m} y_A \right) \quad (13)$$

Ekvation (13) gav en Simulink modell enligt figur 17 nedan.



Figur 17.

Simulink modell för en masse systemet. Denna modell användes för att se påverkan från fjäder och dämparkonstanten på positionen  $y_A$ .

### 4.4. FRONT-END ANALYSIS

Nedan beskrivs frågorna som ”Front-end Analysis” genererade, samt de resultat som kom fram från dessa frågor och svar.

#### 4.4.1. Användaranalys

Användarna av förarstolen är skotarförarna själva. Dock finns inga specifika uppgifter på hur en genomsnittlig skotarförare är byggd eller hur gammal han eller hon är. För att stolen ska kunna passa nästan alla kommer den behöva vara anpassad till 95:e percentilen man och 5:e percentilen kvinna taget från en grupp bestående av flera olika befolkningar från olika länder. Det behövs därför en kännedom om de olika befolkningarnas antropometri, d.v.s läran om människokroppens måttförhållanden. Enligt Skogforsk säljs det i Europa flest skotare till Sverige, Finland, Norge, Tyskland och Frankrike (i denna ordning). Andra länder där skotare används eller kommer att användas är Canada, USA, Brasilien, Chile, Nya Zeeland, Australien och Indonesien. De största (från män) och minsta (från kvinnor) antropometriska måtten från varje land sattes ihop till en gemensam tabell som visar hur stort anpassningsspänn stolen bör ha, se tabell 6. Bilder över alla olika kroppsområden återfinns i bilaga 4. Störst mått hade männen från USA och de minsta måtten borde ha kommit i från Indonesien (Pheasant, 2006). Dock kunde inga kroppsmått från Indonesien finnas vilket ledde till att de måtten fick substitueras med mått från södra

Indien då deras kroppsmått är relativt lika (Dined Anthropometric database, Delft University of Technology).

De mått som redovisas i tabellerna valdes utifrån de mått som den ergonomiska utvärderingen av stolen görs efter, se bilaga 1. Helst hade fler mått varit att föredra men då flera av de länder som ingår i denna grupp hade stor brist i insamlade antropometriska data fick en viss begränsning göras. Det ledde till att de värden som saknades fick uppskattas. Uppskattningen gjordes genom att ta ett förhållande mellan de data som fanns och jämföra dem med ett av de länder som hade fullständiga tabeller. De uppskattade värdena är rödmarkerade i tabell 6.

Förutom de fysikaliska måtten som stolen ska anpassas efter måste reglage vara lättåtkomliga samt lättjusterade eftersom det oftast är skotarförarna själva som justerar stolen. Det bör därför inte behövas några verktyg för att klara av detta.

Tabell 6.  
De antropometriska mått som stolen bör anpassas efter.

Dimension		Max samt min värden			
		Män, %		Kvinnor, %	
		95	sd	5	sd
8	Sitthöjd	975	36	746	33
10	Sittaxelhöjd	670	31	489	-
11	Sittarmbågshöjd	295	31	154	-
13	Säte-knä	650	31	481	21
14	Säte-knäveck	555	33	400	-
15	Knähöjd	605	32	437	20
16	Knäveckshöjd	495	29	326	-
17	Skulderbredd (bideltoides)	515	28	330	18
18	Skulderbredd (biacromium)	435	21	303	-
19	Höftbredd	410	30	276	21
23	Armbåge-fingertopp	515	21	275	15

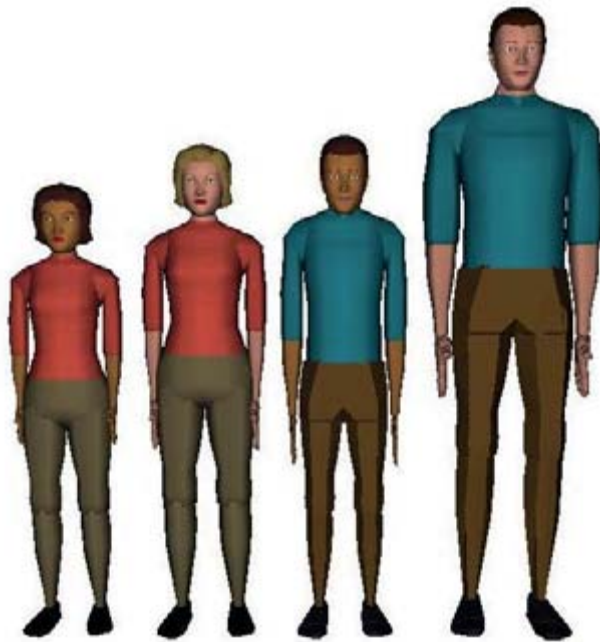
Vid kontakt med Be-Ge framkom det att de mestadels använder antropometriska tabeller som representerar Europa och USA, främst västerlänningar. Dock ändras måtten på stolen kontinuerligt efter kundernas önskemål för att kunna anpassa produkten till användarna.

### Jack

Med hjälp av programmet Jack skapades fyra olika modeller som visar hur mycket det kan skilja den valda gruppen åt, se figur 18 (från vänster till höger). De modeller som skapades var:

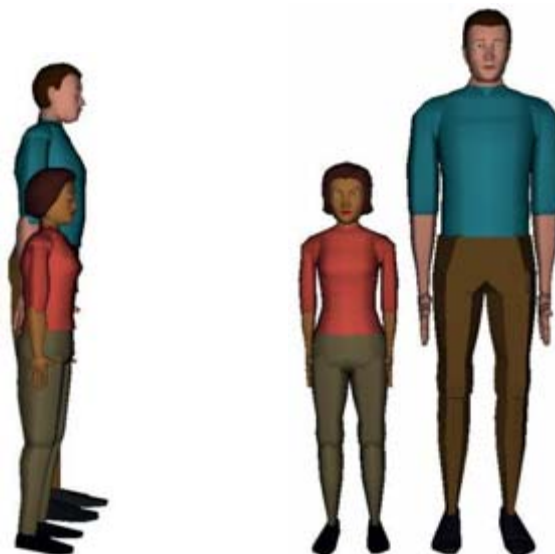
- Kvinna av 5:e percentilen från landet med de minsta antropometriska måtten (södra Indien).
- Kvinna av 5:e percentilen från landet med de största antropometriska måtten (USA).
- Man av 95:e percentilen från landet med de minsta antropometriska måtten (södra Indien).
- Man av 95:e percentilen från landet med de största antropometriska måtten (USA).



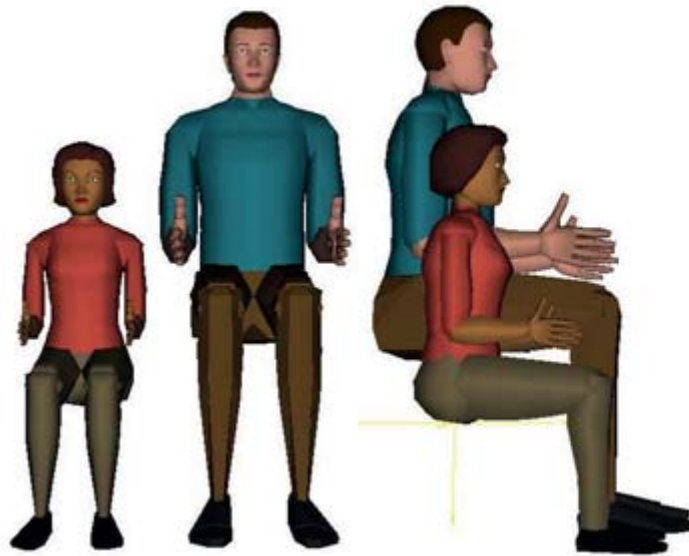


Figur 18.  
De fyra modellerna som representerar de störta samt minsta människorna i gruppen.

Vid en jämförelse mellan den största mannen och den minsta kvinnan syns tydligt hur stora skillnaderna är, både när de sitter, rakt och avslappnat, samt när de står, se figur 19, 20 och 21.



Figur 19.  
Största mannen och minsta kvinnan i stående position.

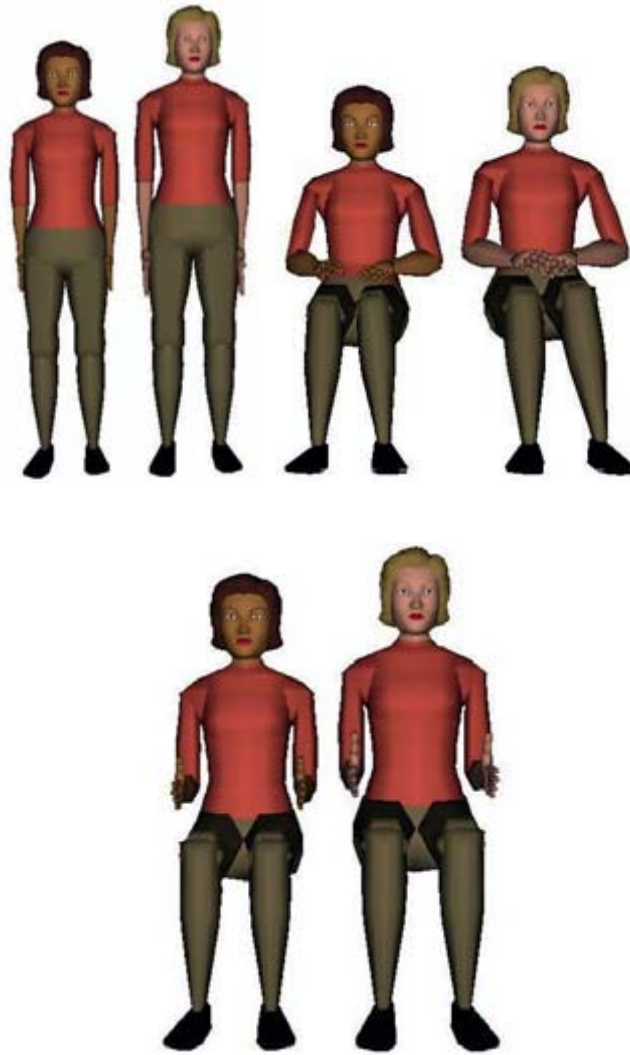


Figur 20.  
Största mannen och minsta kvinnan i rak sittande position.



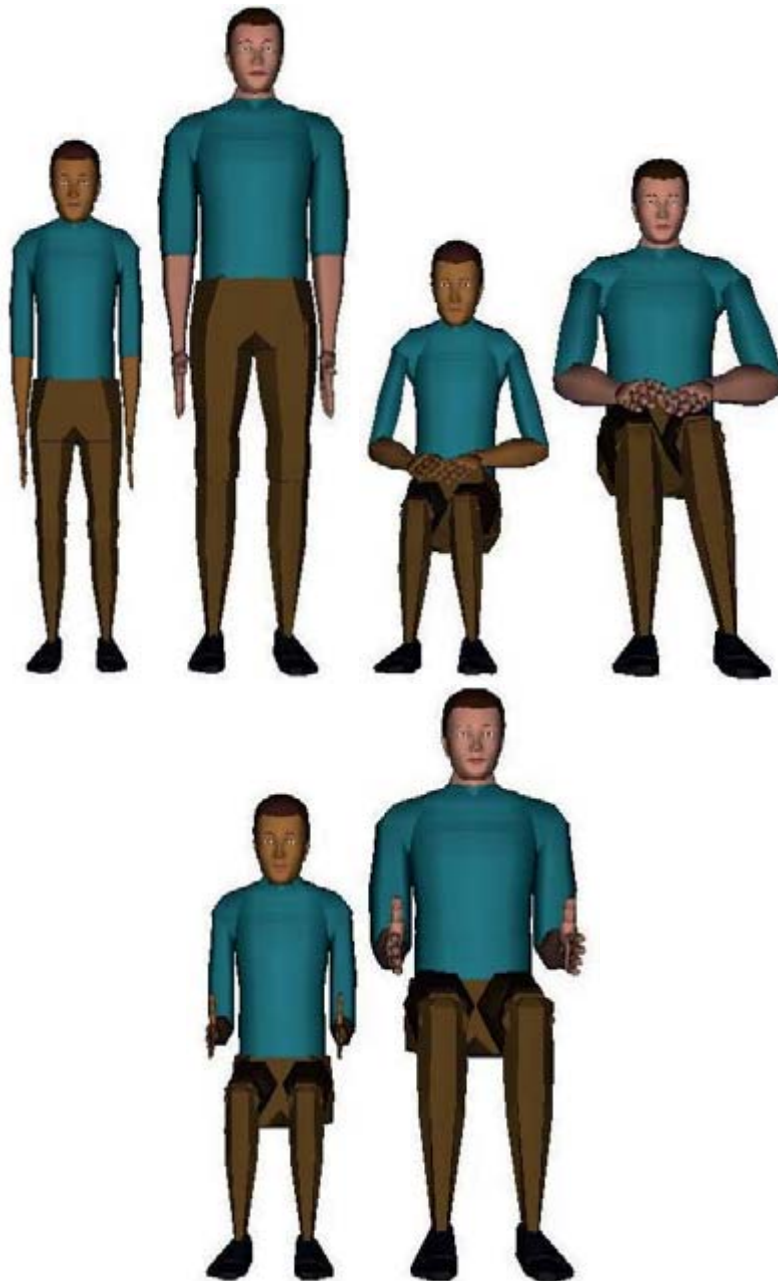
Figur 21.  
Största mannen och minsta kvinnan i avslappnad sittande position.

Det syns även en tydlig skillnad mellan de båda kvinnorna inom samma percentil men från olika länder, USA och Indien, se figur 22.



Figur 22.  
Kvinnor 5:e percentilen, från Indien och USA.

En tydligare skillnad syns mellan de båda männen från samma percentil men olika länder, USA och Indien, se figur 23.



Figur 23.  
Män 95:e percentilen, från Indien och USA.

### Intervjuer av skotarförare

Vid intervjuerna av skotarförarna efterfrågades även längd, vikt och ålder. Resultaten visade sig variera kraftigt. Bland skotarförarna var fem av sex män. Medelåldern låg på ca 40 år och längden var i genomsnitt 178,5 cm. Vikten varierade mest där den tyngsta vägde 115 kg och den lättaste vägde bara 65 kg. Även om sex stycken skotarförare är för få för att kunna skapa en statistisk uppfattning visar det ändå på hur en genomsnittlig skotarförare kan variera i längd, vikt och ålder, se tabell 7.

Tabell 7.  
Längd, vikt och ålder hos de skotarförare som intervjuades.

Förare	Längd (cm)	Vikt (kg)	Ålder	Kön
1	177	74	41	K
2	175	110	35	M
3	185	115	44	M
4	171	65	40	M
5	186	98	42	M
6	177	67	37	M
<b>Genomsnitt</b>	<b>178,5</b>	<b>88,2</b>	<b>39,8</b>	<b>M</b>

#### 4.4.2. Funktions- och uppgiftsanalys

**Funktionsanalys:** Nedan följer en analys över vilka funktioner som stolen ska kunna uppfylla.

- Det ska gå att sitta på stolen.
- Det ska gå att arbeta i stolen.
- Det ska gå att vila i stolen.
- Det ska gå att justera stolen efter användare.
- Det ska gå att justera stolen med endast kraft från en person (t.ex. genom handstyrka).
- Det ska gå att rotera stolen.
- Armstöden ska ge stöd åt underarmar.
- Armstöden ska kunna hålla styrreglage till skotaren.

Denna punkt genererades samtidigt som funktionsträdet genomfördes och beskriver därför endast en del av huvudfunktionerna som stolen redan har och som stolen ska fortsätta att kunna erbjuda. För fler funktioner och koncept se resultatet från funktionsmedelträdet under punkt 4.4.

**Uppgiftsanalys:** Nedan följer identifiering av vilken data, information, som krävs för att vidareutveckla stolen.

Följande frågor användes vid telefonintervjuer med förare. Svaren redovisas under avsnitt 4.2.4 Identifiering av användarpreferenser och krav.

- Vilka funktioner används mest frekvent?
- Används SIT-RIGHT under stolen? Om inte, används stolens egna tiltfunktion?
- Vad anser användarna vara de viktigaste funktionerna?
- Vilka funktioner fungerar sämst?
- Vad saknar användarna på stolen?
- Övriga önskemål/krav på förarstolen?

Följande frågor besvarades av referensramen samt genom att prata med skotarförare. Svaren på frågorna redovisas direkt nedan vid varje fråga.

- Hur ser de ergonomiska rekommendationerna för en förarstol ut?
- Se bilaga 1.
- Hur rör sig hytten och därmed stolen samt föraren?
- Skotarens hytt utsätts för vibrationer samt stora lutningar, både i sidled och framåt eller bakåt. Föraren kan behöva luta sig kraftigt för att kunna se åt alla håll samt för att kunna komma åt styrreglage eller pedaler.

Informationen ovan har samlats in på följande sätt.

- Telefonintervjuer.
- Frågor via mail.
- Referensram.

#### **4.4.3. Omgivningsanalys**

Stolen kommer att användas i en hytt som vid användning konstant utsätts för vibrationer. Det kommer även att uppstå stora lutningar vilket kan skapa stor påfrestning av stolens fästanordningar.

När det gäller klimat så har de flesta skotare dieselvärmare som värmer upp hytten i god tid innan skotarföraren kommer på morgonen vilket gör att risken för att reglage ska ha fryst är obefintlig. De flesta skotare har även klimatanläggning vilket medför att skotarförarna på vintern kan arbeta i lätta arbetskläder och de slipper använda tjockare jackor, handskar och dylikt.

#### 4.4.4. Identifiering av användarpreferenser och krav

Flera olika krav och önskemål genererades genom telefonintervjuer med sex stycken skotarförare. Frågorna som ställdes gällde de förarstolar som de själva använde och var därför ganska generella.

- Vilka funktioner används mest (justeras) frekvent?
  - Ryggstöd.
  - Armstöd.
  - Lufttryck för dämpning.
- Används SIT-RIGHT under stolen? Om inte, används stolens egna tiltfunktion?
  - Endast två förare använde SIT-RIGHT, i sidled. Av de övriga var det en person som brukade justera dynan på sitsen så att vinkeln kändes bättre.
- Vad anser användarna vara de viktigaste funktionerna?
  - Samma funktioner som användes mest, dvs. ryggstöd, armstöd och lufttryck för dämpning.
- Vad fungerar sämst (funktioner/inställningar)?
  - Armstöd som var svåra att justera eller hade dåliga valmöjligheter att justeras.
  - Svankstöd som hade dåliga valmöjligheter eller som inte fanns alls. Inte anpassat för en kortare person, stödet hamnar mitt i ryggen vid skuldrorna och inte i svanken.
  - Sitsen erbjöd ofta dåligt stöd för lår.
  - Dåligt stöd av ryggstödet ovanför midjan.
  - Bältet som knappt användes.
  - Svårt att hitta tillbaka till egna tidigare inställningar efter att en annan förare använt stolen.
  - Nacken får dåligt stöd om hytten och stolen lutar bakåt och ingen SIT-RIGHT finns. Föraren måste själv hålla upp huvudet för att kunna se framåt.
  - Nackstödet kan vara i vägen då föraren behöver se bakåt eller åt sidan.
  - Med SIT-RIGHT kan höjden byggas upp lite för mycket. Korta förare får svårt att nå ner till golvet.
  - Svårt att rotera stolen om den kräver en låsning, dvs. att föraren måste hålla in en knapp när han eller hon vill rotera.

- Knappar som är samlade på flera olika ställen.
- Ryggstödet åker bak under körning, glapp i reglaget (reglaget består av en ratt som vrider stolen till rätt läge).
- Stolens skenor blir lätt ”rackliga” efter mer än 5000 timmars körning.
- Vilka stolar använde förarna?
  - BEGE 7000
  - BEGE 9000
  - BEGE 2000
- Övriga önskemål/krav på förarstolen?
  - Nivellering åt alla håll, helst utan så mycket extra höjd.
  - Kunna dra in armstöden närmare mot kroppen, fast fortfarande parallella.
  - Underlätta för föraren att hitta tillbaka till gamla inställningar.
  - Elektrisk justering av stöd.
  - Ett bälte som håller föraren på plats när skördaren lutar kraftigt, som t.ex. i rallybilar (när SIT-RIGHT inte finns att tillgå).
  - Mer skålformad stol, ”som i rallybilar”.

#### **4.5. ERGONOMISK UTVÄRDERING AV STOLARNA**

Nedan redovisas resultatet från den ergonomiska utvärderingen av två av stolarna, nämligen den stol som visade bäst vibrationsdämpande resultat på vibrationsbanan, KAB air 65/K4, samt den stol som visade bäst resultat i terrängbanan, Be-Ge 3000 DPS. Av utrymmes skäl redovisas endast de delar av stolarna som erhöll högre straffpoäng  $\geq 12$ , för fullständig tabell se bilaga E.

##### **4.5.1. KAB air 65/K4**

Totalt fick KAB air 65/K4, se figur 24, 148 straffpoäng, vilket placerade stolen i ergonomiklass C, se tabell 8 och 9.





Figur 24.  
KAB air 65/K4. Det är den stol som vibrationstestades samt som utvärderades ergonomiskt.

Stolen som utvärderades hade nackstöd tillverkad av KAB Seating samt armstöd tillverkade av Sitt AB, vanlig leverantör av armstöd. Vid utvärderingen användes inget stolsfundament.

#### 4.5.2. Be-Ge 3000 DPS

Be-Ge 3000 DPS, se figur 25, fick bäst resultat i den ergonomiska utvärderingen med endast 81 straffpoäng, sex poäng ifrån en högre ergonomi-klass, B, se tabell 10 och 11. Be-Ge 3000 DPS ligger även hela 67 poäng under KAB air 65/K4, varav nästan hälften, 30 av dessa poäng, kommer från att KAB air 65/K4 inte har ett bälte som alltid följer med stolen vid köp.



Figur 25.  
Be-Ge 3000 DPS. Det är den stol som vibrationstestades samt som utvärderades ergonomiskt.

Att Be-Ge 3000 DPS är så pass bättre beror på fler stora skillnader som att Be-Ge 3000 DPS kan erbjuda ett större benutrymme samt har uppvärmning och ventilation i ryggstöd och sits. För fullständig utvärderingstabell se bilaga 6.

Tabell 8.  
Den ergonomiska utvärderingen av KAB air 65/K4 med de högsta straffpoängen. Röd färg visar det valda.

Artikel	Vikt	Nivå 1	Nivå 2	Nivå 3	Nivå 4	Nivå 5	Straff

	faktor	0 poäng	1 poäng	3 poäng	7 poäng	15 poäng	poäng
1. Justering av benutrymme.	4	>240 mm	>180 mm	>140 mm	≥100 mm 115 mm	<100 mm	28
4. Fjädring och dämpning.	4	Bra dämpning vertikalt och horisontellt, skydd mot vibrationer samt även skakningar och stötar.	Bra dämpning vertikalt. Mindre brister; skakningar; måttlig horisontell dämpning.	Bra dämpning vertikalt; horisontell dämpning saknas.	Dålig dämpning för lätta eller tunga personer eller vid extrema nivåer.	Dålig dämpning för personer som väger mellan 70-100 kg.	12
22. Individuella inställningar av säte/stol och armstöd kan programmeras och snabbt återställas automatiskt.	4	Stol med minne för fler än fyra funktioner.	Stol med minne upp till fyra funktioner.	Stol med minne för två till tre funktioner eller manuell justering med graderade skalor för både stol och armstöd.	Manuell justering går snabbt och enkelt utan graderade skalor.	Verktyg behövs.	28
24. Det finns plats för fötter under framsidan av stolen när benen är böjda bakåt i en vinkel av 60° eller mindre.	4	Ja	60 - 80°	Ingen plats för fötterna under sätet (>80°).			12
25. Sisten och ryggstödet är utrustat med termostatisk uppvärmning, ventilation och tvättbara överdrag.	2	Ja	En funktion saknas.	Två eller fler funktioner saknas.			14
27. Stolen är försedd med lämplig utrustning för säker fasthållning i stolen (t.ex. säkerhetsbälte).	2	3-punkts säkerhetsbälte	Utdragbart säkerhetsbälte runt midjan.		Fast bälte.	Ej försedd med säkerhetsbälte.	30
<b>Summering av de högsta straffpoängen</b>							<b>124 straffpoäng</b>

Tabell 9.  
KAB air 65/K4 ergonomiska klass.

	Klass	Skördare och skotare		Klass
		Min. poäng	Max. poäng	
Ergonomisk profil	A	0	22	C
	B	23	75	
	C	76	189	
	D	190	378	
	E	379	756	

Tabell 10.  
Den ergonomiska utvärderingen av Be-Ge 3000 DPS med de högsta straffpoängen. Röd färg visar det valda alternativet, blå färg visar den genererade straffpoängen.

Artikel	Vikt faktor	Nivå 1	Nivå 2	Nivå 3	Nivå 4	Nivå 5	Straff poäng
		0 poäng	1 poäng	3 poäng	7 poäng	15 poäng	
1. Justering av benutrymme.	4	>240 mm	>180 mm	>140 mm	≥100 mm 115 mm	<100 mm	12
4. Fjädring och dämpning.	4	Bra dämpning vertikalt och horisontellt, skydd mot vibrationer samt även skakningar och stötar.	Bra dämpning vertikalt. Mindre brister; skakningar; måttlig horisontell dämpning.	Bra dämpning vertikalt; horisontell dämpning saknas.	Dålig dämpning för lätta eller tunga personer eller vid extrema nivåer.	Dålig dämpning för personer som väger mellan 70-100 kg.	12
22. Individuella inställningar av säte/stol och armstöd kan programmeras och snabbt återställas automatiskt.	4	Stol med minne för fler än fyra funktioner.	Stol med minne upp till fyra funktioner.	Stol med minne för två till tre funktioner eller manuell justering med graderade skalor för både stol och armstöd.	Manuell justering går snabbt och enkelt utan graderade skalor.	Verktyg behövs.	28
24. Det finns plats för fötter under framsidan av stolen när benen är böjda bakåt i en vinkel av 60° eller mindre.	4	Ja	60–80°	Ingen plats för fötterna under sätet (>80°).			12
<b>Summering av de högsta straffpoängen</b>							<b>64 straffpoäng</b>

Tabell 11.  
Be-Ge 3000 DPS ergonomiska klass.

Ergonomisk profil	Klass	Skördare och skotare		Klass
		Min. poäng	Max. poäng	
	A	0	22	C
	B	23	75	
	C	76	189	
	D	190	378	
	E	379	756	

De delar av de båda stolarna som fick högst straffpoäng, dvs. som mest akut behöver åtgärdas enligt den ergonomiska utvärderingen är:

- Längdjusteringen, dvs. benutrymmet behöver ökas.
- Inställning sker för tillfället utan graderade skalor samt att det krävs manuell inställning.
- Det finns inget utrymme under stolen för föraren att placera sina fötter.
- Avsaknad av ventilation samt tvättbara överdrag.
- Avsaknad av bälte eller liknande för att hålla föraren på plats.

#### 4.6. STOLENS JUSTERINGSMÖJLIGHETER

I tabell 12 jämförs justeringsmöjligheterna för stolarna Be-Ge 3000 DPS och KAB 65/K4 med varandra. Måtten är tagna från måttskisser enligt respektive företag. Eftersom måttinformation om armstöd ändras beroende på vilket armstöd som väljs till stolen så finns det inte så mycket information om detta. Även hur mycket vissa av stolens komponenter kan ändras framgick inte helt.

Tabell 12.

Jämförelse mellan måtten på de två stolarna samt den antropometriska tabellen, tabell 6, enhet i mm eller grader. Rekommendationerna är från European ergonomic and safety guidelines for forest machines 2006.

Nr	Komponent	Intervall	Be-Ge 3000 DPS	KAB air 65/K4	Kommentarer	Ant. mått
1	Ryggstöd höjd	Totalt	587	593		Sittaxelhöjd 670/489
2	Ryggstöd bredd	Totalt	518	490		Skulderbredd 515/330. 430-510 är rekom.
3	Ryggstöd vinkel	Fram	38	66		5° fram, 30° bak = 35° tot
		Bak	36	72		
		Diff	74	138		
4	Ändring av sitsdjup	Totalt	Framgår ej	50	Måttskissen för Be-Ge visade ej något om detta eller det sitsdjup som är standard.	Säte-knäveck 555/400
5	Sittdjup	Min	442	Framgår ej		Säte-knäveck 555/400. 370-480 är rekom.
		Max	522	Framgår ej		
6	Sitsbredd	Totalt	518	490		Höftbredd 410/276. 460-510 är rekom.
7	Sitsens höjdställ.	Min	283	340		Knäveckshöjd 495/326. 400-650 är rekom.
		Max	383	405		
		Diff	100	60		
8	Sitstilt grader	Upp	15	7,5		8° upp, 15° ner = 23° tot
		Ner	4	0		
		Diff	19	7,5		
9	Armstöd höjd	Min	Framgår ej	Beroende på armstöd	Måttskissen för Be-Ge visade endast ett armstöd i maxläge. I övrigt beror detta på vilket armstöd som väljs till.	120-170 bör armstöden kunna justeras (från dess min till maxläge).
		Max	532	-		
10	Armstöd bredd	Min	Beroende på armstöd	Beroende på armstöd		420-520

#### 4.7. FUNKTIONSMEDELTRÄD

Ur funktionsmedelträdet genererades flertalet önskvärda funktioner och koncept. Dessa var:

- Steglösa reglage.
- Profiler för förarna, automatisk inställning av stolen, personligt login.
- Fotstöd för kortare personer.
- Plats under stolen för fötter.
- Nackstöd.
- Lätt för stolen att glida fram och tillbaka som på bilar.

#### **4.8. KONCEPTGENERERING SAMMANFATTNING**

Ur användarkrav/önskemål, stolsutvärderingen samt funktionsmedelträdet kunde följande koncept genereras:

- Numrerade reglage för att lätt hitta önskade inställningar.
- Profiler för förarna, automatisk inställning av stolen, personligt login.
- Fotstöd för kortare personer.
- Plats under stolen för fötter.
- Nackstöd som kan anpassas för en bakåtlutad sittställning.
- Lätt för att stolen att glida fram och tillbaka som på bilar.
- Utökat benutrymme.
- Ventilation i stolen.
- Tvättbara överdrag.
- Bälte (4-punkt eller 6-punkt) för att föraren inte ska ramla ut stolen eller behöva spänna kroppen onödigt mycket (om SIT-RIGHT inte används).
- Nivellering åt alla håll.
- Armstöd som kan dras in mot kroppen, parallella.

#### **4.9. KONCEPTGALLRING**

Av de genererade koncepten valdes 6 stycken ut för vidareutveckling. Att resterande koncept gallrades bort beror på avgränsning med avseende på tid och behov.

1. Numrerade reglage för att lätt hitta önskade inställningar.
2. Fotstöd för kortare personer.
3. Plats under stolen för fötter.
4. Nackstöd som kan anpassas för en bakåtlutad sittställning.
5. Bälte (4-punkt eller 6-punkt) för att föraren inte ska ramla ur stolen eller behöva spänna kroppen onödigt mycket (om SIT-RIGHT ej används).
6. Parallella armstöd som kan dras in mot kroppen.

## 4.10. KONCEPTBESKRIVNINGAR

Nedan följer beskrivningar av de olika koncepten som valdes ut för vidareutveckling. Varje koncept kan ha flera olika lösningar med olika för och nackdelar. Koncepten är beskrivna med problem, önskad funktion, eventuellt befintliga lösningar samt konceptförslag.

### 1. Numrerade reglage för att lätt hitta önskade inställningar.

#### Problem:

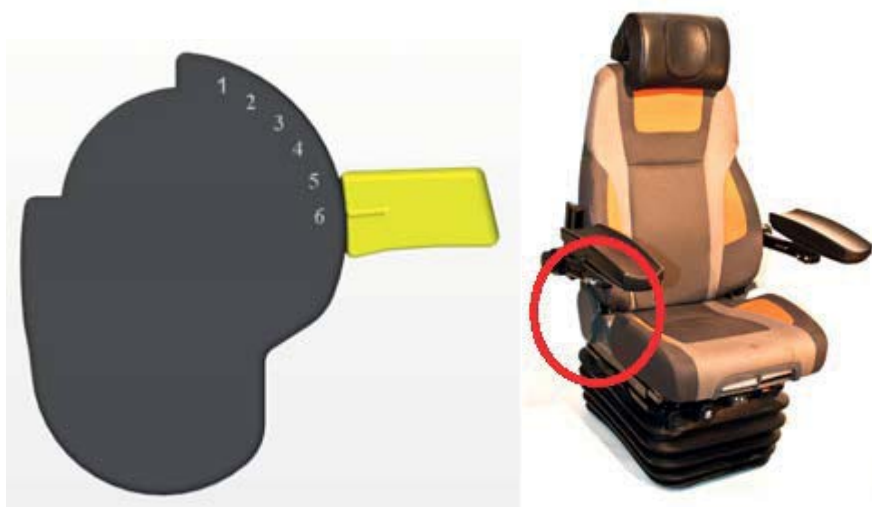
När förarna ska börja arbeta och på nytt ställa in stolen så att de kan arbeta bekvämt resten av dagen är det ett problem med att hitta tillbaka till sina egna inställningar efter det att någon annan har ändrat på reglagen. Reglagen i sig, på stolen KAB air 65/K4, är väl utformade.

#### Önskad funktion:

Reglage med numrerade skalor som hjälper föraren att hitta tillbaka till sina inställningar genom att komma ihåg sitt värde och ställa in stolen efter.

#### Koncept:

Numrerade reglage där det är möjligt. Där siffror eller skalor inte går att sätta dit bör reglagen vara stegade så föraren själva kan räkna stegen till det läget han eller hon föredrar, se figur 26.



Figur 26.  
Reglage för att fälla bak ryggstödet.

### 2. Fotstöd för kortare personer.

#### Problem:

När skotaren lutar kraftigt bakåt så får kortare personer problem med att nå ner till golvet, deras fötter får inget då stöd utan benen hänger löst.

### Önskad funktion:

Möjlighet till fotfäste genom att t.ex. förse stolen med ett fotstöd. Stödet ska dock inte vara i vägen utan tanken är att fotstödet ska gå att fälla undan när det inte önskas användas och kunna tas fram vid behov (som när föraren ska lasta eller behöver köra med pedaler). Det ska även gå att ändra höjd på stödet så det kan passa människor av olika längd samt justera stödets gentemot fötterna.

### Befintliga lösningar:

För vissa fordon i industriella och marina miljöer finns det möjlighet till att använda ett fotstöd till förarstolen. De fotstöden är dock inte kompatibla till förarstolar i skotare samt är inte möjliga att enkelt ta bort utan att använda verktyg. De har inte heller alla ergonomiska önskbara justeringsmöjligheter.

### Konceptförslag:

1. Fotstöd i form av en platta. Plattan har plats för hela fötterna men det måste gå att justera plattans vinkel gentemot fötterna samt på något sätt kunna fälla undan hela plattan så den inte är i vägen då den inte används.
2. Fotstöd i form av en cylinder som går att fälla ut och sedan låsas med hjälp av skruvar. Även höjden på fotstödet justeras med hjälp av skruvar, se figur 27. I och med att fotstödet är cylinderformat så behöver föraren inte ställa in någon speciell vinkel gentemot fötterna, utan endast höjd på stödet och hur långt ut från stolen det ska sitta vid användningen.



Figur 27.  
Fotstödet som justeras med hjälp av 4 skruvar.

3. Fotstöd i form av en cylinder som går att fälla ut och sedan låsas med hjälp av två skruvar, se figur 28. Precis som tidigare behöver föraren inte ställa in någon speciell vinkel gentemot fötterna eftersom stödet är helt cylindriskt. För att öka friktionen sitter det en gummipackning mellan fotstödet samt skenan som fotstödet kan glida längs (när skruven lossas). Här justeras höjden och hur långt ut fotstödet ska gå samtidigt med hjälp av de två skruvarna. På så vis blir det färre justeringar för föraren att utföra. Att fotstödet har två extra profiler som i sin tur glider i de statiska skenor gör att de statiska skenor kan vara kortare eftersom fotstödet profiler gör totallängden större.





Figur 28.  
Fotstödet som justeras med hjälp av 2 skruvar.

4. Fotstöd som fälls ut på samma sätt som en bock, se figur 29. Fotstödet har två lägen, hopfälld och utfälld. Föraren fäller enkelt ner fotstödet vid behov och trycker ihop det när det inte längre behövs. I detta koncept behöver inte föraren skruva på något vilket kan vara krångligt när skotaren lutar mycket. Dock kommer föraren inte att kunna justera fotstödet efter sin längd eller hur mycket föraren vill att fotstödet ska stå ut. Fotstödet kommer att kunna ta upp de momentkrafter som blir av förarens fötter utan att det glider ur sin position.



Figur 29.  
Fotstödet infällt och utfällt.

## 2. Plats under stolen för fötter.

Problem:

Förarna har ingen möjlighet att variera sittställning med avseende på benen då dämparpaketet tar upp all plats under stolen. Detta medför att föraren inte kan ha benen bakåt i en vinkel på 60-80 grader (som rekommenderas) eftersom fötterna inte kan sättas in under stolen.

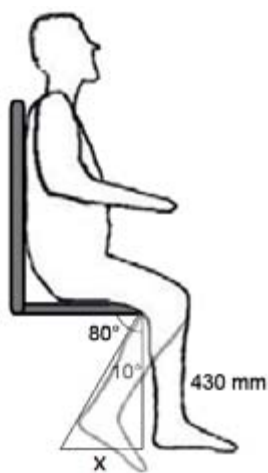
### Önskad funktion:

Utrymme under stolen där föraren kan få plats med fötter för att kunna sitta bekvämt.

**Koncept:**

För att fötterna ska få plats och för att benen ska kunna ha en vinkel på 60–80° krävs att utrymme skapas under stolen, se figur 30. För att kunna uppnå en vinkel på 80° så måste undre delen av dämparpaketet flyttas bakåt 75,8 mm, se ekvation (14). Beräkningarna utförs med antagandet av en höjd upp till knävecket som representerar 50:e percentilen man i Sverige, dvs. 430 mm. För att uppnå en vinkel på 60° så måste dämparpaketet flyttas bakåt 248 mm. Utrymme vid dämparpaketet skulle kunna skapas genom att bottenramen flyttas bakåt. Enligt ekvation (14) erhöles följande:

$$\frac{x}{430} = \tan(10^\circ) \quad x = 75,8 \text{ mm} \quad (14)$$



Figur 30.  
Utrymme under stolen samt de mått som beräkningarna gjordes efter.

#### 4. Nackstöd som kan anpassas för en bakåtlutad sittställning

**Problem:**

Ibland kan det uppstå besvärliga lutningar i skotaren och om skotaren inte är utrustad med en nivelleringsfunktion är det upp till föraren att hålla upp kropp och huvud för att kunna arbeta och se ordentligt. Det kan vara jobbigt för både rygg, skuldror och nacke samt kan leda till statiska belastningar.

**Önskad funktion:**

Ett nackstöd som kan vinklas fram för att ge föraren det stöd bakom nacken som krävs för att kunna slappna av när stolen lutar bakåt, men som även ger stöd från sidan av nacken om stolen lutar åt sidan.

**Befintliga lösningar:**

- Skålat nackstöd som fångar upp huvudet från sidorna.
- Utfällbart nackstöd. Sitt AB har en bra lösning på detta, nackstödet heter KOMFORT och kan fällas ut för att stödja nacken på ett bra sätt.

**Koncept:**

Skålat nackstöd samt utfällbart, se figur 31.



Figur 31.  
Nackstödet i ISO-vy samt i profil. Här syns hur nackstödet går att fälla ut.

Bälte (4-punkt eller 6-punkt)

**Problem:**

I dagsläget erbjuder KAB air 65/K4 som tillval ett midjebälte. Om skotaren inte är utrustad med någon nivelleringsfunktion som t.ex. SIT-RIGHT fungerar midjebältet som en viss säkerhet mot att inte ramla ur stolen. Midjebältet har dock inte någon större ergonomisk funktion. Om skotaren inte är utrustad med SIT-RIGHT så måste föraren vid stora lutningar själv hålla sin kropp i upprätt läge för att kunna köra och se ordentligt. Det skapar påfrestningar och statisk belastning på muskler och leder. Det blir även svårt att ändra sittställning på ett önskat kontrollerat sätt.

**Önskad funktion:**

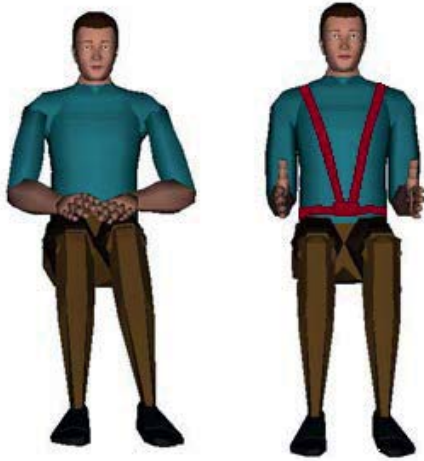
En fasthållning som håller föraren på plats utan att hindra honom/henne i sitt arbete.

**Befintliga lösningar:**

Bälten i rallybilar. Där används 6-punktsbälte eller 4-punktsbälte. Bältet fästs i själva bilen och håller föraren på plats.

**Koncept:**

Utrusta stolen med ett 4-punktsbälte eller alternativt ett 6-punktsbälte, se figur 32. Sådana bälten skulle kunna hålla föraren på plats i stolen trots lutning och tillåta fler muskelgrupper att slappna av. I stället för att bältets fästen sätts fast i själva fordonet som i rallybilar ska istället fästena sättas ihop på förarens framsida. Bältet sitter fast i stolen men i och med att det kopplas i och ur på magen får föraren möjligheten att enkelt göra om bältet till endast ett midjebälte vilket underlättar vid byte av sittställning samt att föraren inte behöver känna sig fastlåst när det inte är nödvändigt.



Figur 32.  
4-punktsbälte. Figuren till vänster använder endast remmarna som bildar midjebälte medan figuren till höger använder hela 4-punktsbältet.

## 6. Armstöd.

### **Problem:**

Dåliga justeringsmöjligheter på armstöden, t.ex. möjligheten att dra armstöden närmare eller längre ifrån kroppen, fortfarande hållna parallellt.

### **Önskad funktion:**

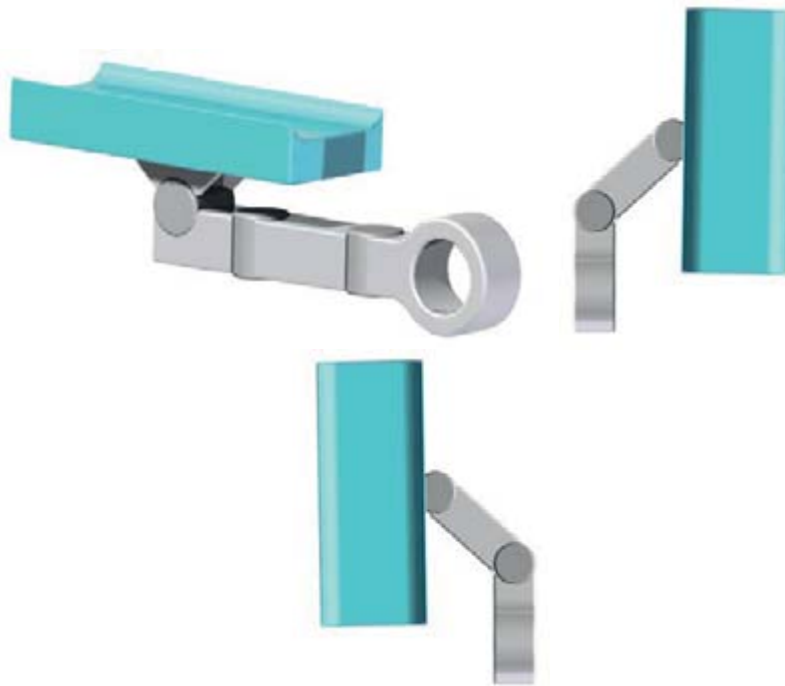
Armstöden kan dras ihop eller isär, parallellt.

### **Befintliga lösningar:**

Sitt AB har en lösning på detta som är väldigt bra. 4-leder som ger föraren stor valfrihet och möjlighet att sitta bekvämt.

### **Koncept:**

Armstöd bestående av 4 leder som tillåter föraren att justera armstöden efter hur nära eller långt ifrån kroppen de ska vara, se figur 33.



Figur 33.  
Armstödet när det är helt rakt samt uppifrån, i böjt tillstånd.

### Sammanslagning av koncepten

Nedan i figur 34 har de sex koncepten integrerats i stolarna KAB air 65/K4 och Be-Ge 3000 DPS.



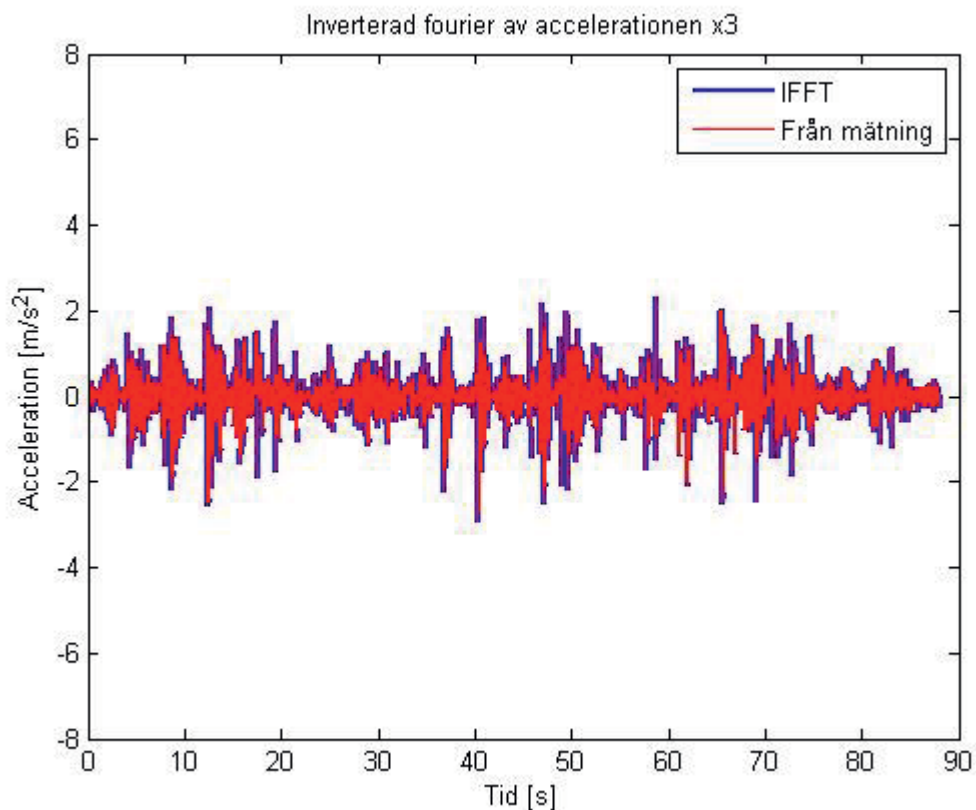
Figur 34.  
Koncepten integrerade i stolarna.

## 5. Verifiering

För att säkerställa erhållna resultat gjordes en verifiering av de beräkningar som resultaten är baserade på.

### 5.1. FAST FOURIERTRANSFORM – FFT

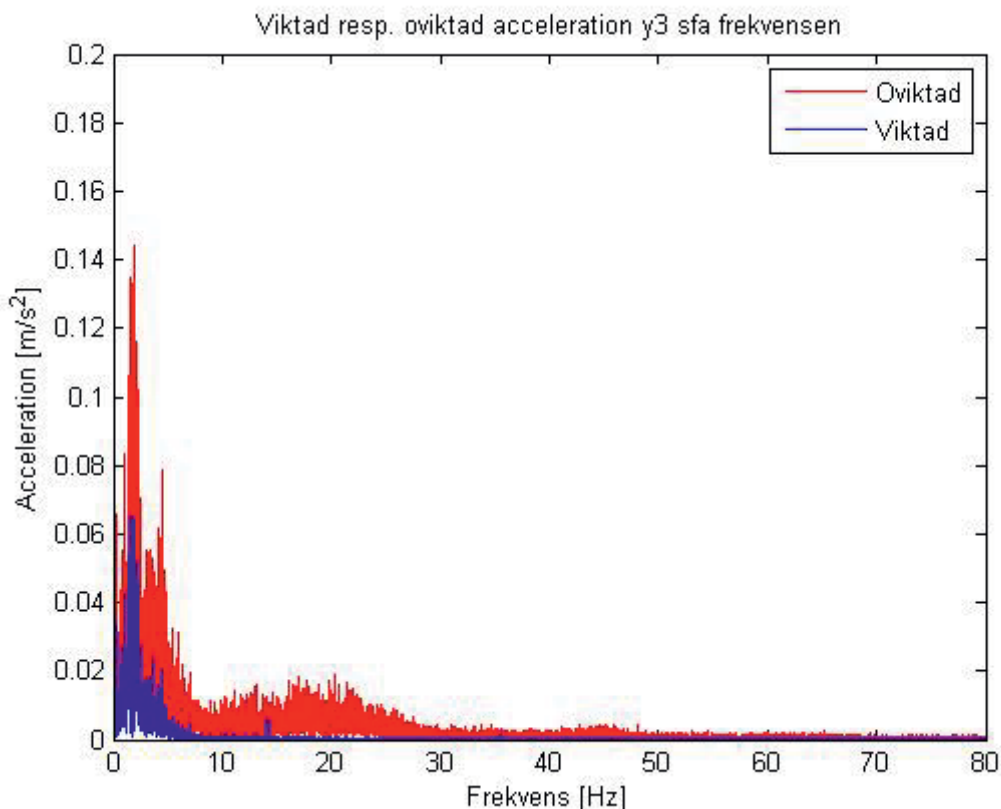
Efter det att accelerationsvektorn omvandlats från tidsplanet till frekvensplanet togs även den inverterade fouriertransformen fram (omvandling från frekvensplanet till tidsplanet). Då denna jämfördes med den ursprungliga accelerationsvektorn som funktion av tiden kunde inga märkbara skillnader urskiljas. Jämförelsen gjordes genom att de två accelerationsvektorena visades i en och samma figur. I figuren skall de två vektorerna helt överlappa varandra och några skillnader i amplitud eller form skall inte förekomma. Nedan visas figur 35 som användes vid verifieringen, i den ses de två vektorerna liggandes ovanpå varandra. Från figur 35 kan slutsatsen dras att omvandlingen mellan planen gjorts korrekt.



Figur 35.  
Den inverterade FFT- analysen och accelerationsvektorn som funktion av tiden.

## 5.2. FREKVENSVÄGDA ACCELERATIONER

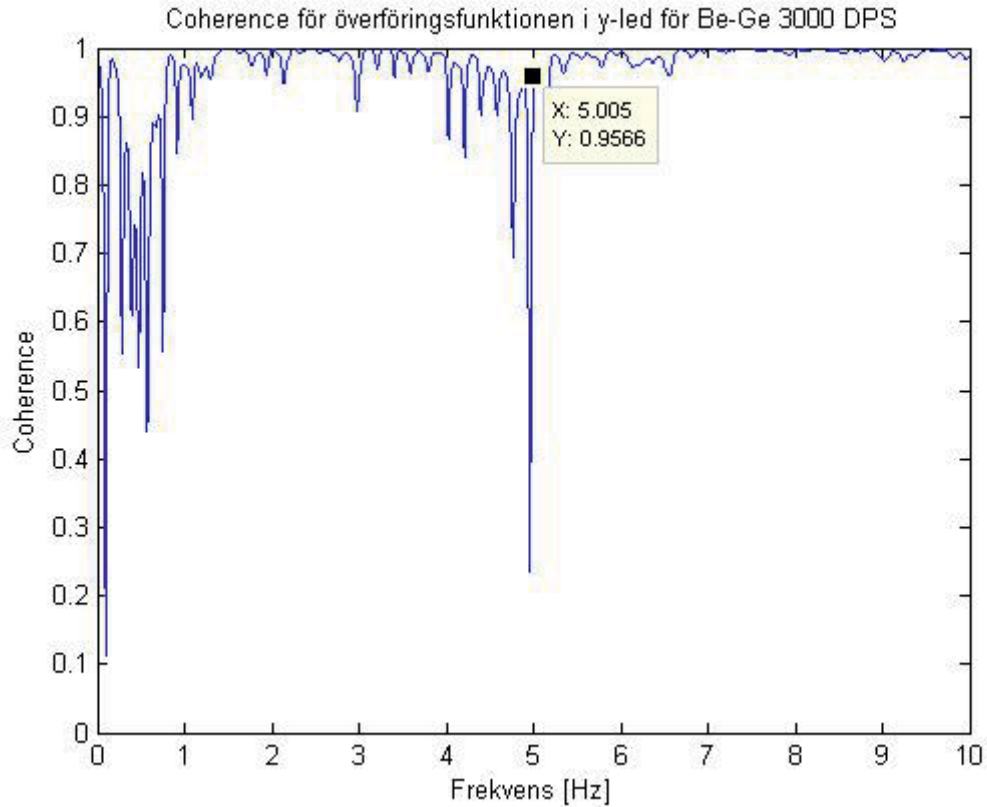
För att se om viktningen av accelerationsvektorn gjorts på rätt sätt plottades en jämförelse mellan den viktade och oviktade accelerationsvektorn som funktion av frekvensen. Skillnaden mellan den viktade och oviktade accelerationsvektorn ligger i amplituden hos accelerationen inom tersbanden. Skillnaden i amplitud bör följa den viktning som anges i tabell 1. Figur 36 nedan visar denna jämförelse, i den följer den viktade accelerationsvektorn de viktningar inom respektive tersband som föreskrivs i tabell 1. Generellt har den viktade accelerationsvektorn lägre amplitud än den oviktade vilket även syns i figur 36.



Figur 36.  
Figur som visar en jämförelse av den viktade respektive oviktade accelerationsvektorn som funktion av frekvensen.

## 5.3. ÖVERFÖRINGSFUNKTIONEN

För att utreda tillförlitligheten hos överföringsfunktionen togs den så kallade koherens funktionen fram, se figur 37. Koherensfunktionen visar hur bra en ingående och en utgående signal korresponderar mot varandra vid varje frekvens. Om den utgående vibrationen är perfekt korrelerad mot den ingående signalen så kommer koherensvärdet att vara 1. Värdet mindre än 1 beror på icke linjariteter eller andra fel i signalen som t.ex. elektriskt brus. Resultat från överföringsfunktionen bör tolkas med försiktighet i de områden där koherensvärdet är mindre eller mycket mindre än 1. Från detta kan man dra slutsatsen att resonansfrekvensen vid frekvensen 5 Hz är att lita på då koherensvärdet vid den frekvensen är nära 1.



Figur 37.  
Koherens för överföringsfunktionen i y-led för Be-Ge 3000 DPS. Resonansfrekvensen 5 Hz är i figuren markerad, denna användes vid beräkning av fjäder och dämpningskonstant för y-led.

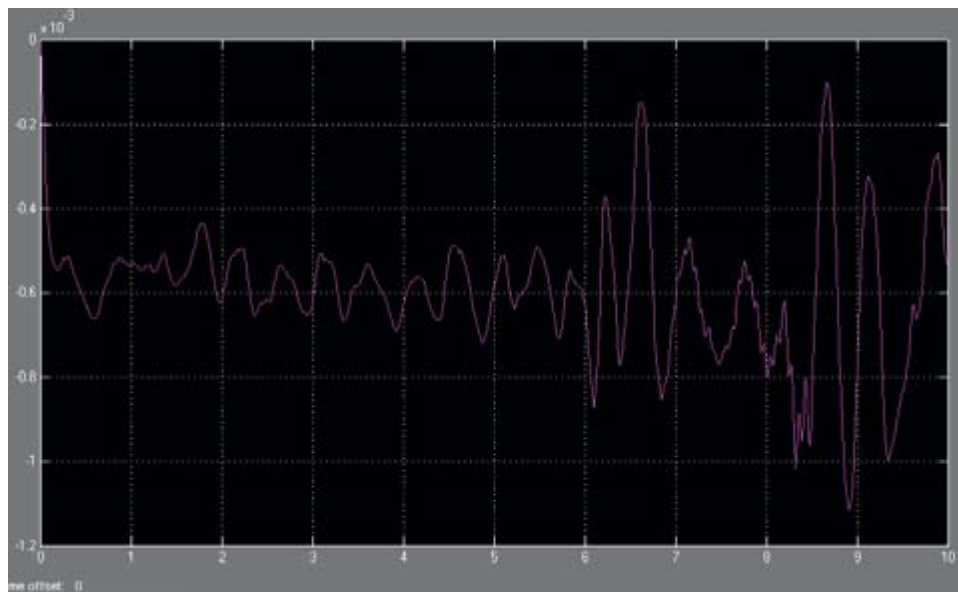
#### 5.4. EN-MASSE-SYSTEM

För att verifiera att den skapade Simulink modellen för beräkning av  $y_A$  var korrekt togs överföringsfunktionen för en-masse-systemet fram enligt ekvation (15) nedan.

$$\frac{y_a}{y_0} = \frac{1}{\left(s^2 + \frac{c}{m}s + \frac{k}{m}\right)} \quad (15)$$

Överföringsfunktionen skapades som ett block i modellen och positionen  $y_A$  från blocket plottades tillsammans med  $y_A$  beräknad från ekvation (12). Resultatet syns i figur 38 nedan.





Figur 38.  
Det som ser ut som en kurva är i själva verket två kurvor som ligger ovanpå varandra.

Då båda kurvorna ligger ovanpå varandra kan  $y_A$  beräknad enligt ekvation (12) anses vara korrekt.

## 5.5. NY ERGONOMISK UTVÄRDERING

Vid en ny ergonomisk utvärdering av stolen KAB air 65/K4 med kompletterande koncept enligt samma ergonomiska checklista erhålls ett nytt resultat, se tabell 13 och 14. Det totala antalet straffpoäng sjunker från 148 till 86 (minus 62). De samlade högsta poängen sjunker från 124 till 68. Tyvärr räcker inte den nya poängen (86) för att höja stolen till en högre ergonomisk klass utan KAB air 65/K4 stannar inom klass C. Dock är det endast 11 poäng till klassbyte till skillnad från tidigare 73.

Tabell 13.

Den nya ergonomiska utvärderingen av KAB air 65/K4 med de högsta straffpoängen. Röd färg visar det gamla alternativet, grön färg det nya alternativet och blå färg visar den genererade straffpoängen med dem gamla poängen inom parentes.

Artikel	Vikt faktor	Nivå 1	Nivå 2	Nivå 3	Nivå 4	Nivå 5	Straff poäng
		0 poäng	1 poäng	3 poäng	7 poäng	15 poäng	
1. Justering av benutrymme.	4	>240 mm	>180 mm	>140 mm	≥100 mm 115 mm	<100 mm	28 (28)
4. Fjädring och dämpning.	4	Bra dämpning vertikalt och horisontellt, skydd mot vibrationer samt även skakningar och stötar.	Bra dämpning vertikalt. Mindre brister; skakningar; måttlig horisontell dämpning.	Bra dämpning vertikalt; horisontell dämpning saknas.	Dålig dämpning för lätta eller tunga personer eller vid extrema nivåer.	Dålig dämpning för personer som väger mellan 70-100 kg.	4 (12)
22. Individuella inställningar av säte/stol och armstöd kan programmeras och snabbt återställas automatiskt.	4	Stol med minne för fler än fyra funktioner.	Stol med minne upp till fyra funktioner.	Stol med minne för två till tre funktioner eller manuell justering med graderade skalor för både stol och armstöd.	Manuell justering går snabbt och enkelt utan graderade skalor.	Verktyg behövs.	12 (28)
24. Det finns plats för fötter under framsidan av stolen när benen är böjda bakåt i en vinkel av 60° eller mindre.	4	Ja	60 - 80°	Ingen plats för fötterna under sätet (>80°).			4 (12)
25. Sitsen och ryggstödet är utrustat med termostatisk uppvärmning, ventilation och tvättbara överdrag.	2	Ja	En funktion saknas.	Två eller fler funktioner saknas.			14 (14)
27. Stolen är försedd med lämplig utrustning för säker fasthållning i stolen (t.ex. säkerhetsbälte)	2	3-punkts säkerhetsbälte	Utdragbart säkerhetsbälte runt midjan.	Fast bälte.	Ej försedd med säkerhetsbälte.		0 (30)
<b>Summering av de högsta straffpoängen</b>							<b>68 (124) straffpoäng</b>

Tabell 14.  
KAB air 65/K4 ergonomiska klass.

	Klass	Skördare och skotare		Klass
		Min. poäng	Max. poäng	
Ergonomisk profil	A	0	22	C
	B	23	75	
	C	76	189	
	D	190	378	
	E	379	756	

Vid en ny ergonomisk utvärdering av stolen Be-Ge 3000 DPS med kompletterande koncept enligt samma ergonomiska checklista erhålls ett nytt resultat, se tabell 15 och 16. Det totala antalet straffpoäng sjunker från 81 till 47 (minus 34). De samlade högsta poängen sjunker från 64 till 30. Tillskillnad från KAB air 65/K4 räcker den nya poängen (47) för att höja stolen till en högre ergonomisk klass, från C till B.

Tabell 15.

Den ergonomiska utvärderingen av Be-Ge 3000 DPS med de högsta straffpoängen. Röd färg visar det gamla alternativet, grön färg det nya alternativet och blå färg visar den genererade straffpoängen med dem gamla poängen inom parantes.

Artikel	Vikt faktor	Nivå 1	Nivå 2	Nivå 3	Nivå 4	Nivå 5	Straff poäng
		0 poäng	1 poäng	3 poäng	7 poäng	15 poäng	
1. Justering av benutrymme.	4	>240 mm	>180 mm	>140 mm	≥100 mm 115 mm	<100 mm	12 (12)
4. Fjädring och dämpning.	4	Bra dämpning vertikalt och horisontellt, skydd mot vibrationer samt även skakningar och stötar.	Bra dämpning vertikalt. Mindre brister; skakningar; måttlig horisontell dämpning.	Bra dämpning vertikalt; horisontell dämpning saknas.	Dålig dämpning för lätta eller tunga personer eller vid extrema nivåer.	Dålig dämpning för personer som väger mellan 70-100 kg.	4 (12)
22. Individuella inställningar av säte/stol och armstöd kan programmeras och snabbt återställas automatiskt.	4	Stol med minne för fler än fyra funktioner.	Stol med minne upp till fyra funktioner.	Stol med minne för två till tre funktioner eller manuell justering med graderade skalor för både stol och armstöd.	Manuell justering går snabbt och enkelt utan graderade skalor.	Verktyg behövs.	12 (28)
24. Det finns plats för fötter under framsidan av stolen när benen är böjda bakåt i en vinkel av 60° eller mindre.	4	Ja	60–80°	Ingen plats för fötterna under sätet (>80°).			4 (12)
<b>Summering av de högsta straffpoängen</b>						<b>32 (64) straffpoäng</b>	

Tabell 16.  
Be-Ge 3000 DPS nya ergonomiska klass.

Ergonomisk profil	Klass	Skördare och skotare		Klass
		Min. poäng	Max. poäng	
	A	0	22	B
	B	23	75	
	C	76	189	
	D	190	378	
	E	379	756	

## 6. Diskussion

I detta kapitel diskuteras de resultat som presenterats samt verifierats i förhållande till referensramen.

### 6.1. REFERENS RAM

Ett par områden som utforskades visade sig ha bristfällig information. Ett försök till benchmarking med avseende på ergonomi av olika sorters förarstolar visade sig vara väldigt svårt. Det som önskades var en sammanställning av olika förarstolar, för olika fordon, och vad i ergonomin som var specifikt för varje stol och fordon. Frågan som ställdes var hur ergonomiska svårigheter arbetades bort, dvs. bemötande av varje fordons ergonomiska brister som påverkar föraren negativt. De fordon som var intressanta var bussar, tåg, hjulastare m.m.

När det kom till information om hur en stol bör utformas fanns det gott om fakta, dock inte specifikt avseende förarstolar till skogsmaskiner. Information om hur en stol bör utformas är fortfarande relevant men det var även viktigt att känna till vad som påverkar föraren negativt med avseende på ergonomi i just en skotare. Eftersom denna information inte gick att finna samlades den istället in genom intervjuer med skotarförare och fick bli en del av konceptgenereringen.

### 6.2. METOD

Valet att arbeta efter Stage-gate processen gjordes då arbetet kunde synkroniseras och planeras trots två helt olika områden. Med hjälp av gater, eller deadlines, kunde arbetet stämmas av på ett enkelt sätt. Arbete som gällde de båda områdena, t.ex. konstruktion av utrymme för förarens fötter, kunde planeras in och stämmas av på ett sätt som säkerställde ett fullgjort arbete från båda sidor. Eftersom de två områdena (ergonomi samt vibrationsdämpning) som examensarbetet omfattar var så pass olika var det mycket svårt att ha full kontroll. Därför passade just Stage-gate processen bra då den tillåter ett integrerat men ändå separat arbete.

En annan metod som tillämpades var Front-End Analysis. Den valdes eftersom den fokuserar på användaren samt strategiskt går igenom hur utvecklingsprocessen bör se ut. Metoden fungerade som ett stöd vid konceptgenereringen, för att veta vad som behövdes och hur samt var informationen skulle samlas in. Då vissa delar av metoden inte utfördes till fullo eftersom vissa delar kräver mer tid och resurser än vad som var möjligt. Därför blev en del av metoden en enklare version av vad som kunde ha blivit gjort.

För att besvara vissa frågor i Front-End analysis användes metoden funktionsmedelträd. Metoden syftar egentligen på att noggrant beskriva tekniska och praktiska lösningar till koncepten som genereras. Dock fanns det redan en viss uppfattning om vad på stolen som skulle kräva arbete (efter diskussioner och intervjuer med skotarförare samt efter den ergonomiska utvärderingen) och därför fokuserades det mest på dessa delar. Efter denna avgränsning kunde funktionsmedelträdet stödja konceptgenereringen på det sättet som den är menad för.

I examensarbetet utfördes vibrationsmätningarna på förarstolarna först av allt. Det gjordes på grund av att tillgången till skotare att utföra mätningar på var tidsbegränsad. Att påbörja ett arbete med att utföra mätningar är inte att rekommendera då mätdata som kan visa sig behövas senare i arbetet kanske inte kunde samlas in vid mättillfället. I examensarbetet samlades all nödvändig information in vid mätningarna, tack vare erfaren hjälp från Skogforsk. Undantaget var roll, pitch och yaw (rotation kring de tre axlarna) eftersom det visade sig i efterhand att den 6-axliga accelerometern inte registrerat några värden. Hade mätningarna kunnat genomföras senare i arbetet hade större fokus lagts på utrymme kring stolen som t.ex. benutrymme och utrymme vid rotation av stolen. Fokus hade även lagts på att notera hur reglage såg ut och fungerade samt andra viktiga ergonomiska faktorer som hade medfört en mer noggrann ergonomisk utvärdering.

### **6.3. RESULTAT**

Nedan diskuteras resultaten uppdelade efter ergonomi och vibrationsdämpning.

#### **6.3.1. Resultat ergonomi**

##### **Antropometriska data**

Vid insamling av antropometriska data upptäcktes att flertalet länder inte hade några tabeller över befolkningen, det saknades data. Det medförde att vissa länder fick bytas ut mot andra med liknande befolkning och med antropometriska data. Egentligen skulle Indonesien ha representerat de minsta i gruppen med eftersom det inte fanns några tabeller över Indonesien användes istället södra Indien. Dock var dessa tabeller inte helt fullständiga. Det medförde att de värden som den ergonomiska utvärderingen krävde fick uppskattas. Uppskattningen genomfördes genom att ta ut ett förhållande mellan Sverige och de mått som fanns för södra Indien. Det förhållandet tillämpades sedan på de mått som saknades för Indien. Vid modellerande med Jack krävdes ytterligare mått för att kunna skapa en modell över olika personer vid olika percentiler. För de större modellerna, 95:e percentilen man (USA) och 5:e percentilen kvinna (USA) fanns fullständiga tabeller att tillgå. För de mindre modellerna,

95:e percentilen man (Indien) och 5:e percentilen kvinna (Indien) var tabellerna ofullständiga. Dock kan Jack själv fylla i de mått som saknas för att modellen ska bli proportionerlig. Det medför dock att viktiga kroppsproportioner som gäller för både gruppen från Indien och från USA inte helt stämmer i Jack-modellen.

Förutom att endast ta fram den största mannen inom 95:e percentilen samt den minsta kvinnan inom den 5:e percentilen togs även den minsta mannen inom 95:e percentilen samt den största kvinnan inom den 5:e percentilen fram. Det gjordes för att kunna jämföra hur stora skillnaderna kan vara inom samma percentil men inom olika grupper. Även om stoltillverkarna anpassar stolarna till 5:e percentilen kvinna och 95:e percentilen man så måste även rätt grupper ingå för att anpassningen ska bli korrekt. Det är viktigt då det inte bara är längd och bredd på personerna i gruppen som behöver tas hänsyn till utan även resterande kropps mått som kan skilja sig rejält från land till land (t.ex. olika längd på armar i förhållande till kroppslängd o.s.v.). Även om alla mått kanske inte kan tas hänsyn till direkt kan de största skillnaderna uppmärksammas.

### **De olika skotarförarna**

Frågorna till förarna var väldigt generella och berörde inte en specifik stol utan skotarförarna fick svara utifrån sin egen stol och de stolar de sedan tidigare har erfarenhet av. Intervjuerna gjordes över telefon och var semistrukturerade. Att frågorna var generella tillät fler skotarförare att kunna besvara frågorna, vilket var närmast nödvändigt eftersom det var mycket svårt att få tag på förare. Det medförde även att svaren innehöll både positiva och negativa tankar om olika stolar som kunde tas hänsyn till vid konceptgenereringen. Dock blev användarnas åsikter om KAB air 65/K4 samt Be-Ge 3000 DPS inte så många, vilket kunde ha varit till fördel vid den ergonomiska utvärderingen men även vid konceptgenereringen. Vid intervjuerna med förarna efterfrågades även förarnas vikt, längd och ålder. Ingen av förarna var varken längre eller tyngre än 95:e percentilen man för Sverige och ingen överskred stolarnas tyngdkapacitet som vanligtvis når upp till ca 175 kg (stolen KAB air 65/K4 har ett viktintervall som ligger mellan 50-175 kg). Det hade varit önskvärt att kunna talat med fler skotarförare (och gärna fler kvinnor), nu får 6 stycken representera Sveriges förare. Positivt var dock att de skotarförare som intervjuades var utspridda över hela landet och arbetar därmed i olik terräng. Detta bidrog till olika insikter i stolarnas ergonomiska förmågor och begränsningar.

### **Koncepten**

Det var flera av konceptförslagen som aldrig utvecklades. Det berodde på en viss avgränsning med avseende på tid och kunskap men det berodde även på hur prioriterat området redan var för stoltillverkarna. Delar som t.ex. stöd för ländrygg och ryggstöd är delar som är högt prioriterade hos stoltillverkarna. Att analysera de delarna och försöka förbättra dem var inte lika aktuellt som att analysera de mindre uppmärksammade delarna och försöka göra något där. Dock lades även en stor vikt vid de delar som trots uppmärksamhet från stoltillverkarna fick förbättringsmöjligheter med hjälp av skotarförare och funktionsmedelträdet. Exempel på detta är nackstödet.

De flesta av koncepten har endast ett alternativ förutom konceptet med bälte som har två och konceptet med fotstöd som har fem. Bältets alternativ, 4-punkt och 6-punktsbälten, fungerar på samma sätt och är mer en smaksak. Att även ha benen fastspända (6-punktsbälte) kan upplevas som obehagligt och därför är kanske ett 4-punktsbälte att föredra. De olika alternativen till fotstöd har alla sina fördelar och nackdelar. Vid val av alternativ handlar det egentligen mest om prioritering mellan användarvänlighet eller anpassning efter person. Det är dock viktigt att komma ihåg att i nuläget finns inget fotstöd alls så minsta lilla förändring (så länge inget kommer i vägen eller negativt påverkar en annan del eller funktion) blir till det bättre även om det inte blir perfekt direkt.

Alternativ ett var egentligen endast ett förslag på något som redan fanns. Dock visade det sig att i dess befintliga skick var det inte riktigt tillämpligt på en skotare. Dessutom kräver en platta mer korrekt arbete från föraren då vinkelinställningar i förhållande till fotsulorna blir viktiga. Alternativ två och framåt tar bort det problemet då alla alternativen innehåller en cylinderformad stång som fötterna vilar emot. Alternativ 2 är det alternativ som har störst justeringsmöjligheter med sina 4 skruvar, men som kräver mest av föraren. Att behöva skruva och justera när föraren redan befinner sig i en situation som kräver fotstöd kan bli väldigt besvärligt. Det är inte heller helt säkert att skruvarna klarar att hålla emot det momentet som skapas av tyngden från förarens fötter och ben utan att glappa och glida. Alternativ tre tar viss hänsyn till att det kan vara jobbigt att behöva justera fotstödet mitt i en lutning och har därför endast två skruvar som behöver justeras av föraren. Dock har det alternativet fortfarande stora justeringsmöjligheter. Föraren kan själv bestämma hur högt eller lågt fotstödet ska sitta i förhållande till golvet och föraren kan till viss del själv bestämma hur långt ut från stolen fotstödet ska vara. Med detta koncept kan även materialåtgången begränsas. Alternativ fyra underlättar mest för föraren då allt som krävs är en fällande rörelse. Fotstödet kan dock inte justeras ytterligare utan har endast ett läge i förhållande till både golvet och stolen. Det ska inte vara något problem att fälla ut fotstödet även om skotaren lutar. Trots flera olika alternativ görs inget slutgiltigt konceptval då dessa koncept inte, i denna rapport, leder till ett konstruktionsunderlag. Det går att utveckla alla dessa alternativ ytterligare och att välja endast ett att uppmärksamma kan leda till att bra lösningar försvinner.

Ett koncept som flera av skotarförarna önskade var möjlighet till automatisk inställning av stolen, förslagsvis genom att koppla förarnas personliga login till stolen, dvs. när föraren loggar in på skotarens dator skulle stolen automatisk ställas in efter förinställda justeringar. Efter kontakt med Be-Ge framgick det att detta är något som tidigare har funnits på spårvagnar och bussar men som inte har kunnat tillämpas på skogsfordon på grund av de stora påfrestningar som stolarna måste kunna utstå. En automatisk inställning skulle ske elektriskt via en elmotor och det är här problemet ligger. En elmotor klarar inte de hållfasthetsproblem som uppstår i en skotare. Konceptet har tidigare diskuterats hos bland annat Be-Ge men i dag finns inga planer på att ta fram något liknande eller några lösningar som realiserar konceptet.



Flera delar på stolen valdes att lämnas som de är, som t.ex. reglagen. De delar som fungerade till belåtenhet (enligt skotarförarna vid intervju samt enligt den ergonomiska utvärderingen) lämnades och fokus lades på de delar med mer uppenbara brister.

### **Den ergonomiska utvärderingen**

Utvärderingen av stolarna gjordes med hjälp av ”European ergonomic and safety guidelines for forest machines 2006”. Skogforsk själva hade genomfört denna utvärdering och det resultat som används i rapporten är tagen från denna. Utvärderingarna stämde bra överens och orsaken till att Skogforsks utvärdering användes var på grund av deras möjlighet till en noggrannare utvärdering. Utifrån utvärderingen valdes vissa problemområden ut för att tas hänsyn till vid konceptgenereringen. Vid konceptgenereringen valdes de områden ut som hade högre straffpoäng, dvs. de områden som var värst för föraren och mer akut behövde arbetas med. Då straffpoängen blir mycket högre för varje nivå kunde även det totala antalet straffpoäng reduceras kraftigt bara genom att sänka de problemområden med högst poäng endast någon nivå. Med den största viktningen, fyra, skiljer det sig hela 32 straffpoäng från högsta nivå (fem) till näst högsta nivå (fyra) medan det endast skiljer sig 1 poäng mellan nivå ett och två. Det kan även visa sig vara lättare att åtgärda de områden med högst straffpoäng då det finns fler marginaler att arbeta med till skillnad från områden som redan räknas som bra där marginalerna kan vara ganska små.

Efter konceptgenerering och konceptval samt beskrivningar av dem gjordes den ergonomiska utvärderingen om. Denna gång gjordes utvärderingen med antagandet att de ergonomiska koncepten nu var en del av stolarna. Resultatet blev bättre för de båda stolarna även om endast en av stolarna höjde sig en klass (båda tillhörde klass C från början). KAB air 65/K4 stannade kvar i klass C men med en stor poängsänkning och mycket färre poäng kvar till nästa klass. Be-Ge 3000 DPS höjde sig en klass och tillhör nu klass B. Detta var möjligt eftersom Be-Ge 3000 DPS inte hade så många allvarliga brister men de brister som fanns hade höga straffpoäng. Genom att endast sänka bristerna en nivå kunde de höga straffpoängen reduceras tillräckligt för att höja upp stolen till klass B.

### **Jämförelse mellan stolens mått och den antropometriska tabellen**

I dagsläget är det viktigast att stolarna är anpassade efter de människor i de länder där skotarna säljs mest, dvs. Sverige, Finland, Norge, Tyskland och Frankrike. Så är dock fallet och det är därför jämförelsen mellan stolarnas mått inte görs efter dessa utan efter extremmåten, dvs. 95:e percentilen man och 5:e percentilen kvinna inom hela gruppen för användare världen över.

Flera av måtten på stolarna var väldigt generösa i fråga om utrymme som t.ex. sitsbredden. Dock kan det innebära problem för en mindre person som kan behöva ett sidostöd. I de fallen kan extra stöd i form av t.ex. kuddar vara bra som tillval. Huruvida stolarnas armstöd är bra eller inte går det inte riktigt att dra slutsatser kring då måttskisserna inte innehåller armstöd. Flera av stolarna har inget armstöd som standard utan det är ett tillval som kunden får göra. Beroende på armstöd varierar höjd, bredd och vinklar.

Ryggstöden på båda stolarna är något för korta för den 95:e percentilen man. Det betyder dock inte att stolen blir dålig då ett bra nackstöd kan komplettera det som saknas. Måttet på båda stolarna ligger nästan precis mellan måtten för 95:e och 5:e percentilen. Det kan dock vara svårare för en kortare person att klara av ett för långt ryggstöd än tvärtom. I dessa fall finns kortare ryggstöd att välja till vid beställning av stol. Ryggstödet på Be-Ge 3000 DPS är något för bred (maxbredden) men inte med många millimeter.

Djupet på Be-Ge 3000 DPS sits är nästan perfekt anpassad för 95:e percentilen man då den lämnar ungefär 30 mm mellanrum mellan knäveck och sits. För 5:e percentilen kvinna är det tvärtom, sitsen är något för lång men inte allt för mycket då 5:e percentilen kvinna kommer från södra Indien. Hade jämförelsen varit med 5:e percentilen från Sverige hade sitsen passat bra. Dock säger European ergonomic and safety guidelines for forest machines 2006 att justeringen ska kunna göras mellan 370-480 mm, med de måtten kan det sägas att resultatet är helt tvärtom, sitsen är väl anpassad för 5:e percentilen kvinna men inte 95:e percentilen man. För att kunna säga vilket som är rätt eller fel måste det vara klargjort vart rekommendationerna från "European ergonomic and safety guidelines for forest machines 2006" kommer ifrån, dvs. vilken grupp måtten är anpassade efter.

Beroende på glidskenor, stolsfundament samt om stolen är utrustad med SIT-RIGHT eller inte så kan stolens max och minimihöjd variera. Det är därför svårt att dra slutsatser kring dessa mått. Ingen av stolarna klarade heller av att vinkla sitsen de grader som krävs för att slippa straffpoäng i den ergonomiska utvärderingen. Dock hade Be-Ge 3000 DPS ett bra intervall på hela 19 grader. KAB air 65/K4 var sämre med endast 7,5 graders vinkel upp.

### **Förarnas och entreprenörernas ansvar**

Ytterligare en anledning till att vissa konceptförslag inte utvecklades var hur mycket området var påverkat av ett korrekt underhållsarbete. Ett konceptförslag var t.ex. att förbättra skenorna på stolarna så förarna lätt kan glida fram och tillbaka med stolen som i bilar. Detta var ett exempel på där underhållsarbetet är mycket viktigt. Från början är skenorna lätta att glida fram och tillbaka med men dock försämras kvalitén av brist på underhåll. I sådana fall spelar kvalitet och konstruktion inte så stor roll om föraren alternativt entreprenören inte tar sitt ansvar. Vid samtal med en förare önskades bättre bussningar, dock framgick det efter en stund att bussningarna rekommenderas att bytas ut efter ca 3000 timmar (75 arbetsveckor, dvs. ett år och nästan 6 månader utan semester) men att detta inte har skett.

### **6.3.2. Resultat vibrationsdämpning**

#### **Utvärdering med vibrationsbanan**

På grund av de skillnader i resultat som visade sig vid mätning på vibrationsbanan kontra mätningar i terrängbanan så kan användningen av vibrationsbanan för utvärdering av förarstolar ifrågasättas. Det kommer alltid finnas ett behov av att ha en bana som används som referens när mätningar görs, frågan är om vibrationsbanan är lämplig eftersom samtliga stolar visade stora avvikelser i resultat. Eftersom det endast gjordes en mätning i terrängbanan skall inte allt för stor vikt läggas på resultaten från den, men då mätningen i terrängbanan gjordes efter sista körningen på vibrationsbanan med varje stol är

resultatet från den med samma utrustning och kalibrering som den sista körningen på vibrationsbanan. Det bör även tilläggas att terrängen ser annorlunda ut i vissa av de länder som skotare och därmed förarstolar till skotare säljs. Den stol som ur vibrationssynpunkt anses vara bäst på vibrationsbanan eller i terrängbanan måste inte möjligtvis vara bäst ur vibrationssynpunkt i Brasilien. Med detta i åtanke borde istället ett skakbord användas för utvärderingen av förarstolarna, där simulering av olika terränger kan utföras.

### Felkällor

Mätningen av vibrationer på samtliga stolar kunde inte genomföras på en dag. Som ett resultat av detta var det varierat väder vid de olika mättillfällena. Det bidrog troligtvis till att det blir viss skillnad i mätdata då skotaren hade en tendens att glida av hindren när de var blöta, vilket medför en högre acceleration än normalt. Eftersom mätningarna genomfördes på en grusplan kunde marken bli lerig och mjukare, även spårbildning uppstod lättare de dagar det regnade.

Olika Matlab koder användes för viktningen av accelerationer. Den ena koden användes då stolarna mättes på vibrationsbanan och den andra då stolarna mättes i terrängbanan eftersom koden skriven för mätning i vibrationsbanan var beroende av tvåpotensen för mätserien och samplingsfrekvensen. Då tvåpotensen var högre vid den längre mätserien (mätningen i terrängbanan) användes en kod skriven av Petrus Jönsson på Skogforsk. För att säkerställa att den observerade skillnaden i A(8)-värdet inte beror på två olika koder för viktningen så användes båda viktningsskoderna på vibrationsbanan. De båda koderna jämfördes och en medelavvikelse för A(8)-värdet på 2,5 % observerades. Skillnaden beror högst troligtvis på att vissa element inom tersbanden viktas två gånger med den kod skriven av Petrus Jönsson. På grund av det erhöles en lägre amplitud på accelerationerna inom detta överlappade område, vilket även speglas i resultaten för A(8)-värdet.

Det framgår inte i standarden ISO 2631-1 hur man ska hantera de accelerationer vars frekvens ingår i två olika tersband. Viktningen för respektive tersband representerar kroppens känslighet för vibrationer inom tersbandets frekvensområde. Att ett mindre frekvensområde (de överlappade elementen) inom detta frekvensområde skulle viktas två gånger (och då erhålla en lägre amplitud) verkar inte troligt. Det bidrog till antagandet att de överlappande elementen endast bör viktas en gång. Om de ska viktas med den högre eller lägre viktningen är fortfarande oklart, antagandet som gjordes var att de viktas enligt den högre viktningen (vilket innebär en mindre skillnad från den uppmätta vibrationen).

Avståndet mellan de två givarna (50 cm) gör troligtvis att den givare placerad på stolen kommer att visa en högre acceleration då den är placerad längre ifrån rotationscentrum för boggiaxeln än vad givaren fäst på golvet är. Det kommer troligtvis inte att ge något större utslag för accelerationer i x- och z-riktningen, men ett utslag av detta för accelerationer i y-led kommer att uppstå.

CAD modellen som erhöles från stoltillverkaren var i formatet step och innehöll därmed ingen information om material. I och med det så hade CAD-modellen ingen massa då den skulle importeras till Adams. För att ge förarstolen korrekt totalvikt så antogs en densitet på stolen. Det medför dock att massfördelningen och därmed trögheterna troligtvis inte stämmer överens med verkligheten.

### **Problem med Adams**

Den Adams modell som användes hade stora svårigheter att hantera höga samplingsfrekvenser. Vid mätningarna användes en samplingsfrekvens på 2 000 Hz. Adams simuleringar med samma samplingsfrekvens var praktiskt taget omöjligt. Av denna anledning var samplingsfrekvensen tvungen att sättas till 100 Hz för att simuleringarna över huvud taget skulle kunna genomföras. Resultat från Adams kunde därför endast jämföras för frekvensområdet 0-50 Hz (då fouriertransformen görs för halva samplingsfrekvensen). Då frekvensområdet 0-80 Hz inte kunde erhållas från simuleringarna kunde inte heller A(8)-värdet för den förbättrade stolen beräknas. Erhållande av A(8)-värdet för den förbättrade stolen var av vikt för en jämförelse med det A(8)-värde som erhöles vid mätningarna. Genom detta hade en procentuell förbättring kunnat beräknas genom kvoten mellan de två A(8)-värden.

Då en enklare modell togs fram stämmer inte geometrin överens med den verkliga stolens geometri. Geometrin som användes för stolen i Adams togs fram i syftet att tillåta mätningar i de 3 olika riktningarna. Då inget material var satt på den stolen som erhöles från Be-Ge så kunde inte trögheter beräknas och en modell med liknande trögheter skapas för simulering. Det bidrog till att den totala massan för stolen och förare stämmer i Adams, men att massfördelningen i verkligheten är annorlunda. Det medförde att några förbättringar av stolens nuvarande vibrationsexponering inte kunde genomföras. Från vibrationsanalysen av stolarna kunde dock anledningen till det höga A(8)-värdena identifieras. Med en plandämpare bör vissa delar av dessa vibrationer dämpas ut.

### **Resultat**

Från mätningarna på vibrationsbanan framgick det att samtliga stolar utom en (KAB air 65/K4) överskred insatsvärdet vid en eller flera mätningar. Vid beräkningen av medelvärdet för A(8)-värdet var det 3 stycken stolar vars medelvärde överskred insatsvärdet. Att med medelvärdet för fem mätningar överskrida insatsvärdet måste anses som ett väldigt negativt resultat. De stolar vars medelvärde som överskred insatsvärdet var Be-Ge 7000, Be-Ge 7000 Airvent samt Grammer Actimo XL, MSG95A/722. De stolarna uppvisade dock inte samma negativa resultat vid mätningen på terrängbanan. Om de stolarna bör ägnas någon större uppmärksamhet på grund av resultatet från mätningarna i vibrationsbanan är väldigt osäkert då resultatet från terrängbanan inte visar på samma brist i dämpförmåga.

Från mätningarna i terrängbanan var det en stol som överskred insatsvärdet vid mätningen, KAB air 65/K4. Det får anses vara ett mycket överraskande resultat då den stolen var den enda som inte överskred insatsvärdet vid mätning på vibrationsbanan. Något kan naturligtvis ha blivit fel med just den enda mätning som gjordes för den stolen på terrängbanan. Det var därför synd att inte fler

mätningar i terrängbanan per stol utfördes. Det är dock något som bör göras med denna stol hur som helst, för att se om det uppmätta resultatet verkligen stämmer. Om det visar sig att resultatet stämmer bör nog vibrationsbanan roll som standardiserad mätbana ses över.

## 7. Framtida arbete

I detta kapitel rekommenderas framtida arbete som kan eller bör genomföras.

### 7.1. ERGONOMI

Nedan rekommenderas framtida arbete för den ergonomiska delen av examensarbetet.

#### 7.1.1. Jack och andra manikin-program

Programmet Jack har många funktioner och möjligheter. Inför ett fortsatt arbete med stolen bör Jack användas ytterligare för att t.ex. beräkna hur skotarens kraftiga lutningar påverkar förarens leder och hur stolens utformning påverkar. På detta sätt kan ytterligare brister upptäckas och åtgärdas. Omgivningen kring stolen i hytten på skotaren är också viktig för att arbetsmiljön ska bli optimal. Med Jack kan förarens synfält simuleras för att se hur mycket av omgivningen som föraren egentligen ser. Det bör göras, speciellt med konceptet för nackstödet för att säkerhetsställa att nackstödet skålning inte påverkar synfältet negativt. Ett annat program som rekommenderas för framtida arbete är AnyBody som kan beräkna belastningar i muskler, något som Jack inte behandlar.

#### 7.1.2. Antropometrisk data

Inför vidareutveckling bör rätt länder ingå i den antropometriska gruppen. Ytterligare försök att finna data från Indonesien bör göras. Även de mått som saknas bör finnas för att byta ut de antaganden som blev gjorda i denna rapport, det är mycket viktigt för att få korrekta mått på alla individuella kroppsdelar. En större analys av hur hela gruppens mått egentligen kan implementeras bör genomföras. Frågan som bör ställas är huruvida det är möjligt på ett praktiskt sätt att anpassa stolen för både Indonesiens befolkning och för USAs befolkning. Det bör även utredas om det är bättre att kanske utforma två stolar, en som används i väst och en som används i Asien/Sydamerika. Det är självklart även en cost-benefit fråga. I dagsläget utformas stolarna för väst men möjligheten finns att komplettera måtten när kunder önskar detta. Frågan är bara hur stor denna möjlighet är på stolen för användarna utanför Europa/USA.

#### 7.1.3. Resterande ergonomiska koncept

Flera av koncepten som inte valdes att vidareutvecklas ytterligare var inte dåliga och kan definitivt arbetas med i ett framtida arbete. Även om personliga profiler som automatiskt ställer in stolen vid login på datorn i skotaren inte är något som stoltillverkarna arbetar med just nu så betyder inte att det bör lämnas helt. Ett fortsatt arbete med elmotor till detta rekommenderas.

Även koncepten för stolens glidskenor, ökat benutrymme samt en inbyggd nivelleringsfunktion bör arbetas vidare med. Precis som elmotorn kan glid-

skenornas hållfasthet utredas och möjligtvis förbättras för att förarna ska slippa underhållsarbete som det vanligtvis kanske slarvas med. Ökat benutrymme beror inte endast på stolens utformning utan även hur hytten på skotaren ser ut, dock finns stolar med mer eller mindre utrymme så självklart kan förbättringar göras. Tillägget SIT-RIGHT kan monteras på stolen och nivellerar då stolen antingen i y-led eller i x-led. Detta är ett mycket bra tillägg, dock skulle det vara önskvärt att SIT-RIGHT klarade båda riktningarna och inte bara en av dem. Inte alla entreprenörer väljer att köpa in SIT-RIGHT och därför kan det vara en god idé att arbeta på att få in en nivelleringsfunktion på stolen som följer med vid köp.

För att ytterligare förbättra vibrationsdämpningen bör sitsens utformning och stoppning ses över för att se om de är i behov av förbättring med avseende på fjäderkonstanter.

#### **7.1.4. Benchmarking**

En utförlig benchmarking är att rekommendera i framtida arbeten för att se vad som redan finns på marknaden med avseende på förarstolar till skogsmaskiner, men även inom hela området för förarstolar. Även förarstolar för andra fordon som bussar, tåg m.m. kan vara till hjälp då olika fordon har olika extremlägen och situationer som kräver en viss sorts vibrationsdämpning samt ergonomisk lösning. Dessa lösningar kan vara till hjälp vid ytterligare utformning av förarstolar till skotare.

#### **7.1.5. Reglagepåverkan av vibrationer**

För att påvisa vibrationspåverkan vid reglagejusteringar måste fler mätningar på stolarna genomföras där stolarnas inställningar ändras för varje mätning. På grund av examensarbetets avgränsning samt den begränsade åtgången till skotaren att utföra mätningarna på kunde detta inte genomföras.

### **7.2. VIBRATIONSDÄMPNING**

Nedan rekommenderas framtida arbete med avseende på vibrationsdämpning.

#### **7.2.1. Skakbordsstudie**

Metodvalet att utifrån resultat från mätningar på vibrationsbanan analysera förarstolarnas dynamiska egenskaper visade sig inte vara bra. Det berodde på att det var mycket svårt att identifiera egenfrekvenser och resonansfrekvenser för förarstolens frihetsgrader (det finns en resonansfrekvens per frihetsgrad). Identifieringen av resonansfrekvenser är oerhört viktig då de behövs för att beräkna de fjäder- och dämpningskonstanter som sedan behövs för en dynamisk modell av stolen. En modalanalys av stolarna bör göras där överföringsfunktionen för var och en av moderna identifieras. Tillvägagångssättet för modalanalysen bör vara som följer.

- Stolarna placeras en i taget på ett skakbord. Mätningar av accelerationer i samtliga 6 frihetsgrader görs både på skakbordet och på förarstolens sittyta.
- Skakbordet utsätts för en konstant acceleration över ett frekvensområde, förslagsvis ett frekvensområde som sträcker sig över den sjätte egenfrekvensen. Överföringsfunktionen mellan skakbordet och den uppmätta accelerationen vid förarstolens sittyta tas fram för samtliga frihetsgrader.
- Utifrån överföringsfunktionen identifieras egenfrekvenser och resonansfrekvens för respektive stol och frihetsgrad.
- Resonansfrekvensen används för att beräkna fjäder- och dämpningskonstant för respektive riktning.

Nästa steg är att demontera underredet på den förarstolen som visade bäst resultat för att kunna mäta längder och vikt på alla ingående delar samt notera hur komponenterna är fästa i varandra. Med denna information kan en dynamisk modell av stolen med rätt massa och trögheter skapas. I den dynamiska modellen kan de fjäder- och dämpningskonstanter (för respektive riktning) som tidigare beräknats föras in. Den dynamiska modellen kan sedan användas för att ta fram nya fjäder- och dämpningskonstanter som leder till en lägre överföring av vibrationer. För att verifiera förbättringen av förarstolen m.a.p. vibrationer kan terrängen från vibrationsbanan simuleras och resultatet från simuleringen kan jämföras med de resultat erhållna från mätningen på vibrationsbanan i detta examensarbete.

### 7.2.2. Kompletterande mätningar

Mätning av vibrationer på stolar utrustade med plandämpare skulle vara intressant att genomföra för att påvisa att dämpning i det horisontella planet faktiskt leder till en sänkning av  $A(8)$ -värdet. Prioritering bör ligga på att dämpa vibrationerna i y-led. Framtida arbeten bör göras för att uppnå en sänkning. Då  $A(8)$ -värdet baseras på värsta riktningen (den riktningen med högst rms acceleration) kommer en annan riktning bestämma  $A(8)$ -värdet om y-led dämpas så mycket att rms-värdet är lägre än rms-värdet för x eller z-riktningen. Mätning med KAB air 65/K4 i terrängbanan bör göras om för att undersöka om resultatet från den genomförda mätningen verkligen stämmer.

### 7.2.3. Aktiv dämpning

En aktiv dämpning av hytt eller förarstol är värd att undersöka. På grund av skillnader mellan olika länders terräng (och även olika sorters terräng inom samma land) bör en stol med inställbara dämpare tas fram. Två olika alternativ kan här undersökas, det ena där vibrationsmätning sker kontinuerligt och är återkopplat till ett mekatroniskt system som ställer in fjäder- och eller dämpkonstant beroende på den rådande accelerationsamplituden. Det andra alternativet är att föraren manuellt ställer in fjäder- och eller dämpkonstant på stolen.

## 8. Slutsatser

I detta kapitel ges de slutsatser som kunde dras av det genomförda arbetet.

### 8.1. ERGONOMI

Det ergonomiska syftet var att analysera de bäst vibrationsdämpande stolarna med avseende på ergonomi och därefter ge lämpliga förbättringsförslag. Slutsatserna kring detta är som följer:

- Stolen Be-Ge 3000 DPS var bäst på terrängbanan och visade även bäst resultat i den ergonomiska utvärderingen. De områdena med högst straffpoäng var:
  - Längdjustering (benutrymme).
  - Inställning av stolen med hjälp av reglage som saknar graderade skalor alternativt en automatisk funktion.
  - Brist på utrymme under stolen för att kunna placera fötter på.
  - Avsaknad av horisontell dämpning.
- Stolen KAB air 65/K4 hade något fler områden med högre straffpoäng än Be-Ge 3000 DPS. Förutom ovan nämnda förbättringsområden saknade KAB air 65/K4 ventilation i stolen samt tvättbara överdrag. Stolen hade även inget bälte som alltid följer med vid köp utan finns endast som tillval. Bältet som kan väljas till är ett midjebälte.
- De mått som dagens förarstolar utformas efter är anpassade efter europeiska samt amerikanska personer. Det är stor skillnad mellan västerländska människors kroppsmått samt asiatiska/sydamerikanska kroppsmått. Då skotare även säljs/kommer att säljas utanför Europa och USA är det viktigt att detta tas hänsyn till.
- Beroende på om hänsyn togs till den antropometriska tabellen som togs fram eller till ”European ergonomic and safety guidelines for forest machines 2006” var stolarnas mått mer eller mindre bra. För att kunna säga vilket som är rätt eller fel måste det vara klargjort vart rekommendationerna från ”European ergonomic and safety guidelines for forest machines 2006” kommer ifrån, dvs. vilken grupp de måtten är anpassade efter.
- De konceptförslag som samlades in via intervjuer med skotarförare, funktionsmedelträd samt den ergonomiska utvärderingen analyserades och gallrades. De koncept som slutligen valdes att utveckla ytterligare var:
  - Graderade skalor på reglagen för att enklare hitta tillbaka till gamla inställningar
  - Fotstöd vid stora lutningar för att slippa hänga med benen (gäller främst något kortare förare).



- Nackstöd som stödjer huvudet även när det lutar, både X och Y riktning.
- 4-punktsbälte alternativt 6-punktsbälte som hjälper föraren att sitta kvar i stolen så föraren inte själv behöver spänna muskler och på så sätt utsättas för statisk belastning.
- Utrymme under stolen för föraren att placera fötterna så att föraren kan ha ökad möjlighet till en varierad och bekväm sittställning.
- Armstöd som går att parallellt dra närmare eller längre ifrån kroppen.

Koncepten fokuserar på att undvika statisk belastning samt främja en varierande och bekväm sittställning.

- Efter att koncepten hypotetiskt lades till stolarnas gjordes den ergonomiska utvärderingen om. KAB air 65/K4 stannade inom ergonomiklass C (dock med endast 11 poäng till klasshöjning) medan Be-Ge 3000 DPS höjde sig från klass C till B.

## 8.2. VIBRATIONSDÄMPNING

Syftet var att med hjälp av en standardiserad vibrationsbana samt terrängbana mäta vibrationerna som sju stycken förarstolar ger, finna den stol som dämpar vibrationerna bäst samt vidareutveckla denna stol ytterligare till att minska vibrationerna till hälften. Även överföringsfunktionerna för varje stol skulle bestämmas. Slutsatserna kring detta är som följer:

- Sex av sju stolar överskred insatsvärdet vid körning på vibrationsbanan.
- KAB air 65/K4 var den stol som erhöll det lägsta A(8)-värdet vid mätningar på vibrationsbanan.
- En av sju stolar överskred insatsvärdet vid körning i terrängbanan, nämligen KAB air 65/K4.
- Be-Ge 3000 DPS var den stol som erhöll det lägsta A(8)-värdet vid mätningar på vibrationsbanan.
- För samtliga stolar erhöles den högsta rms accelerationen för y-riktningen vid mätning på vibrationsbanan.
- Med undantag för KAB air 65/K4 och Grammer Actimo XL, MSG95A/722 visade samtliga stolar lägre rms acceleration för samtliga riktningar vid mätning i terrängbanan än vid mätning i vibrationsbanan.
- Vid mätning i terrängbanan erhöles den högsta rms accelerationen för y-riktningen för samtliga stolar.
- Resultatet för stolarna varierade kraftigt beroende på vilken av banorna som de mättes på.

- Vibrationsbanans roll som standardiserad mätbana kan ifrågasättas.
- Överföringsfunktionerna som togs fram kan användas för att se hur mycket av hyttgolvets vibrationer som överförs vid olika frekvenser. Det användes för de två från vibrationsanalysen bästa stolarna för att undersöka hur mycket av vibrationerna som överförs i de skadliga områdena. Överföringen i y-led inom det skadliga frekvensområdet 1–2 Hz var inte tillfredsställande. Båda stolarna uppvisade brister i dämpning av vibrationer i y-led.
- I överföringsfunktionen erhållen från mätningarna var egenfrekvenser och resonansfrekvens svåra att identifiera.
- En skakbordstudie på samtliga stolar bör genomföras för att ta fram en dynamisk modell av den bästa förarstolen. I den dynamiska modellen kan sedan fjäder- och dämpningskonstant ändras för att erhålla en lägre överföring av vibrationer.

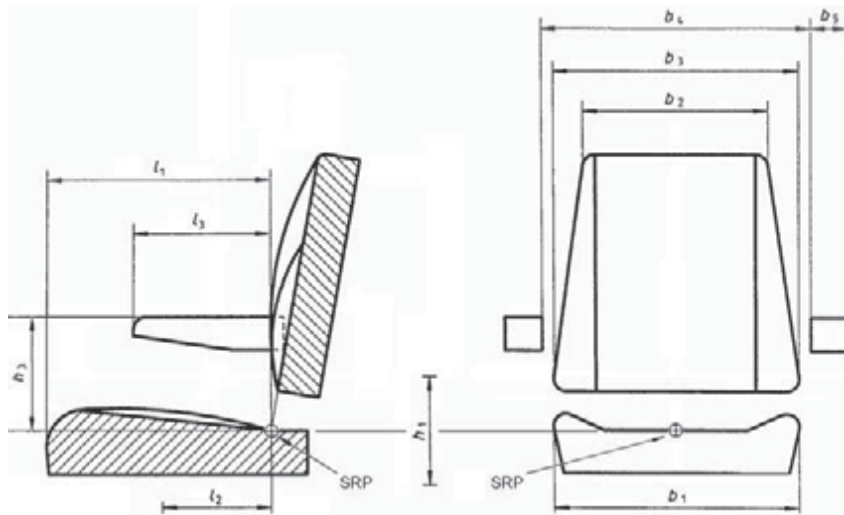
## 9. Referenser

- MCS Adams, Copyright MSC Software. AFS. 1998:01. "Belastningsergonomi", Arbetskyddsstyrelsens föreskrifter om belastningsergonomi samt styrelsens allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna.
- AFS. 2005:15. "Vibrationer", Arbetskyddsstyrelsens föreskrifter om belastningsergonomi samt styrelsens allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna.
- Be-Ge. 2009. [www.begeforarmiljo.se](http://www.begeforarmiljo.se), 2009-09-26.
- Bodén, Carlsson, U., Glav, R., Wallin, H.P. & Åbom, M.. 2001. "Ljud- och vibrationer", Marcus Wallenberg Laboratoriet för Ljud- och Vibrationsforskning, Inst. för Farkostteknik, KTH, 2001. ISBN 91-7170-434-5.
- Bohgard, M. et al. 2005. "Arbete-Människa-Teknik", Prevent/Arbetskyddsnämnden, 2005.
- Davis, A., M, Y., Ed, Z. & Ann. S. 2000. "Requirements Management Made Easy", 2000, Omni-Vista, Inc.
- Delft, University of Technology. 2010. Dined Anthropometric database, <http://dined.io.tudelft.nl/dined/> (last 2010-01-26).
- Gellerstedt, S., Eriksson, G. et al. 2006. "European ergonomic and safety guidelines for forest machines 2006", A handbook produced by ErgoWood, a project co-financed by the EUROPEAN COMMISSION, 2006.
- Hagman, L. "Effektivt arbetssätt i produktutveckling", 2006. [http://www.md.kth.se/edu/mce/4F1901/process\\_hagman.pdf](http://www.md.kth.se/edu/mce/4F1901/process_hagman.pdf) (läst 2009-10-09).
- ISO 2631, Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration
- Janhager, J. 2006. "Systematisk konceptutveckling", 2006. <http://www.md.kth.se/edu/mce/4F1901/Systematisk%20konceptutv.pdf> (läst 2009-09-25).
- Karlsson, O. & Nisserud, F. 2009. "Utveckling av en dynamisk helfordonsmodell för skotare" KTH Industriell teknik och management, Maskinkonstruktion.

- Löfgren, B. 2009. "Examensarbete inom vibrationer på skogsmaskiner, 2009-04-26, [http://www.sci.kth.se/polopoly\\_fs/1.38762!Stolsvibrationer20090426.pdf](http://www.sci.kth.se/polopoly_fs/1.38762!Stolsvibrationer20090426.pdf) (läst 2009-09-10).
- Mansfield, J. 2005. Neil, "Human Response to Vibration", Boca Raton, Fla. : CRC Press, 2005. ISBN 0-415-28239-X.
- MATLAB, R. 2008b. Copyright 1984-2008, The MathWorks Inc.
- Nordén, B. & Granlund, P. 2003. "Horisontering av förarstolen ökar skördarens prestation – även i relativt flack terräng", Resultat 2003-01, ISSN: 1103-4173, Skogforsk.
- Pheasant, S. & Haslegrave, C.M. 2006. "Bodyspace: anthropometry, ergonomics and design of work", 2006, 3. Ed, Taylor & Francis.
- Rehfishch, P. & Wälinder, R. 2009. "ABC om Vibrationsskador", Läkartidningen nr 7, 2009, volym 106.
- Rose, L. 2005. "Ergonomi i produktutvecklingen", kurskompendium Ergonomi i produktutvecklingen, KTH, 2005.
- Sundin, A. & Sjöberg, H. 2004. "*Datormanikiner och ergonomi i produkt- och produktionsutveckling* – hur används manikiner i Sverige och vilken nytta kan de göra?", Arbetslivsinstitutet Väst, Chalmers, Institutionen för Produkt- och Produktionssystemutveckling, ARBETSLIVSRAPPORT NR 2004:X, ISSN 1401-2928.
- Wickens, C. D., Lee, J., Liu, Y., Gordon Becker, S. 2004. "An introduction to Human Factors Engineering", 2004. 2nd Edition. Prentice Hall. ISBN 0321012291.



## Ergonomisk checklista



Figur 39. Mätpunkter på förarstolen och armstöden (European ergonomic and safety guidelines for forest machines, 2006).

<p><b>Legroom</b></p> <p>± 240</p>	<p><b>Height</b></p> <p>400-650 <sup>1)</sup></p>	<p><b>Damping</b></p>	<p><b>Backrest angle</b></p> <p>- 5-30°</p>	<p><b>Seat pitch</b></p> <p>Up 8° Down 15°</p>	<p><b>Lumbar-support convexity</b></p> <p>&gt; 80</p>	
<p><b>Lumbar-support height</b></p> <p>150-230</p>	<p><b>Seat depth</b></p> <p>370-480</p>	<p><b>Fore-and-aft tilt <sup>2)</sup></b></p> <p>&gt; ± 20°</p>	<p><b>Lateral tilt <sup>2)</sup></b></p> <p>±10-15°</p>	<p><b>Seat swivel <sup>3)</sup></b></p> <p>220°/270°</p>	<p><b>Seat width</b></p> <p>460-510</p>	<p><b>Backrest width</b></p> <p>b<sub>2</sub>: 310-360 b<sub>3</sub>: 430-510</p>

Figur 40. Justeringsintervall på förarstolen.

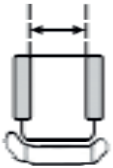

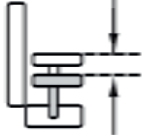

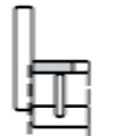

Tabell 17.  
Ergonomisk checklista för förarstolen.

Item	Measurement	Weight factor	Level 1 0 points	Level 2 1 point	Level 3 3 points	Level 4 7 points	Level 5 15 points	Penalty points
1. Legroom adjustment ( $l_2$ ) <sup>1)</sup> , mm	_____	4	>240 mm	>180 mm	>140 mm	≥100 mm	<100 mm	
2. Lowest height SRP <sup>2)</sup> , mm	_____	4	≤400 mm	401 - 450 mm	451 - 500 mm	501 - 550 mm	>550 mm	
3. Height range ( $h_1$ ) <sup>3)</sup> , mm	_____	4	>250 mm	151 - 250 mm	75 - 150 mm	<75 mm	Fixed	
4. Spring suspension and damping.		4	Good damping vertically and horizontally protecting from vibrations as well as jolts and shocks.	Good vertical damping. Minor shortcoming; jolts; moderate horizontal damping.	Good vertical damping; horizontal damping is lacking.	Poor damping for light or heavy persons or at extreme altitudes.	Poor damping for persons weighing 70 - 100 kg.	
5. Backrest angle, °	_____	1	-5 - +30°; adjustable	0 - +20°; adjustable		+5 - +15°; adjustable	Fixed or less than Level 4.	
6. Seat pitch, °	_____	1	-15 - +8°; adjustable	-5 - +10°; adjustable	0 - +10°; adjustable	+5 - +10°; adjustable	Fixed or less than Level 4.	
7. Lumbar support convexity, mm	_____	1	>80 mm	≥50 mm - 80 mm	<50 mm	Lacking		
8. Lumbar support height, mm	_____	1	150 - 230 mm	Two fixed points; adjustable	One fixed point; adjustable	Lacking		
9. Seat depth ( $l_1$ ), mm	_____	2	370 - 480 mm; adjustable	370 - 450 mm; adjustable	Fixed 400 - 450 mm	Fixed 450 - 480 mm	Fixed >480 mm	
10. Fore and aft tilt (seat or cab) <sup>4)</sup> , °	_____	1	> ±20°	±15 - 20°	±10 - 15°	< ±10	Fixed	
11. Lateral tilt (seat or cab) <sup>4)</sup> , °	_____	2	±10 - 15°	< ±10°	Missing			
12A. <u>Harvester:</u> Seat or cab swivel, °	_____	2	≥220°; continuously variable	190 - <220°; continuously variable	≥180 - <190°; continuously variable	<180°	Missing	
12B. <u>Forwarder and grapple skidder:</u> Seat or cab swivel, °	_____	2	≥270°; continuously variable	>180 - <270°; continuously variable		180°; two point	Missing	

Tabell 18 och 19.

Ergonomisk checklista för förarstolen fortsättning samt checklista för armstöd.

13. Seat and backrest width ( $b_1$ , $b_2$ , $b_3$ ), mm	$b_1$ : _____ $b_2$ : _____ $b_3$ : _____	2	$b_1 \geq 460 - \leq 510$ mm $b_2 \geq 310 - \leq 360$ mm $b_3 \geq 430 - \leq 510$ mm	$b_1 > 430 - \leq 550$ mm $b_2 > 360$ mm $b_3 > 400 - \leq 550$ mm	$b_1 < 430$ mm $b_2 < 310$ mm or $> 400$ mm $b_3 < 400$ mm	
14. Backrest height, mm	_____	1	$> 580$ mm	$\geq 280$ mm	$< 280$ mm or $> 700$ mm	

<p>Distance between armrests</p>  <p>420-520</p>	<p>Armrest swivel</p>  <p>In 30° Out 15°</p>	<p>Armrest height</p>  <p>120-270 <sup>1)</sup></p>	<p>Armrest pitch</p>  <p><math>&lt; -30-0^\circ</math></p>	<p>Armrest length</p>  <p>200-300</p>	<p>Pitch sideways</p>  <p><math>\pm 10^\circ</math></p>
---	---	--	---	---	--

Tabell 20.  
Ergonomisk checklista för armstöd.

Item	Measurement	Weight factor	Level 1 0 points	Level 2 1 point	Level 3 3 points	Level 4 7 points	Level 5 15 points	Penalty points
15. Distance between armrests ( $b_4$ ) <sup>5)</sup> , mm	_____	2	Adjustable 420 - 520 mm	Adjustable 450 - 500 mm	≥470 mm, not adjustable	<470 mm, not adjustable	Armrests not provided.	
16. Armrest swivel, °	In: _____ Out: _____	1	In >30° Out >15°	In 20 - 30° Out 10 - 15°	In 10 - 19° Out 0 - 9°	0 - 9°		
17. Armrest height ( $h_3$ ) <sup>6)</sup> , mm	_____	4	Adjustable 120 - 270 mm	Adjustable 150 - 250 mm	Fixed 180 - 250 mm	Fixed <180 mm or >250	Armrests not provided.	
18. Armrest pitch lengthways, °	_____	2	< -30 - 0°; adjustable	-30 - 0°; adjustable	-20 - 0°; adjustable	-15 - 0°; Fixed	Not adjustable	
19. Armrest length ( $l_3$ ), mm	_____	2	200 - 300 mm	301 - 350 mm		<200 mm or >350 mm	Armrests not provided.	
20. Armrest pitch sideways, °	_____	1	±10°	±5°	Can not be pitched or only possible to pitch in one direction.			
21. Armrest width ( $b_5$ ), mm	_____	2	≥140 mm	≥120 mm	≥100 mm	<100 mm		
22. Individual settings of seat and armrests can be programmed and quickly reset automatically. <sup>7)</sup>		4	Seat with memory of more than four functions.	Seat with memory of up to four functions.	Seat with memory of two to three functions or manual adjustment with graded scales for seat and armrest.	Manual adjustment quick and easy without graded scales.	Tools needed.	
23. Armrests follow seat movements automatically.		4	Yes			Can be readily adjusted manually.	Major shortcomings	
24. Feet have room under front of seat when legs are being bent as far back as an angle of 60° or smaller.	_____	4	Yes	60 - 80°	No room for feet under the seat (>80°).			



Tabell 21.  
Ergonomisk checklista för armstöd, fortsättning.

25.	Seat cushion and backrest equipped with thermostatic heating, ventilation, and washable loose covers.		2	Yes	One feature missing.	Two or more features missing.		
26.	Stable seat (i.e. well sited and anchored) and easy to maintain.		4	Yes		Minor shortcomings	Major shortcomings	
27.	Suitable means of restraint provided (e.g. seat belt).		2	3-point seat belt	Inertia-reel seat belt around the waist.	Fixed belt	Belt not provided	
							<b>SUM</b>	

<sup>5)</sup> Measured with parallel armrests.

<sup>6)</sup> Measured with horizontal armrests from SRP.

<sup>7)</sup> Automatic adoption of operator settings for legroom, backrest, seat height, damping force, seat depth, lumbar support convexity, lumbar support height, distance between armrests, armrest height, armrest pitch, armrest length, or armrest swivel.



## RMS accelerationer och A(8)-värde

Tabell 24.

Uppmätta RMS värden för accelerationer samt A(8)-värde för samtliga stolar.

Be-Ge 2000					Be-Ge 3000 DPS				
	X	Y	Z	A(8)		X	Y	Z	A(8)
1	0,6744	0,7723	0,4616	0,4884	1	0,3974	0,7312	0,4625	0,4625
2	0,7263	0,7535	0,4772	0,4766	2	0,4114	0,813	0,4801	0,5142
3	0,6808	0,7662	0,4887	0,4846	3	0,4268	0,7856	0,4696	0,4969
4	0,7522	0,8001	0,536	0,5061	4	0,3938	0,7639	0,4528	0,4832
5	0,7615	0,8073	0,4764	0,5106	5	0,4176	0,7862	0,4676	0,4972
Medel	0,71904	0,77988	0,48798	0,49326	Medel	0,4094	0,77598	0,46652	0,4908

Be-Ge 7000					Be-Ge 7000 Airvent				
	X	Y	Z	A(8)		X	Y	Z	A(8)
1	0,4608	0,8682	0,5092	0,5491	1	0,6564	0,902	0,4619	0,5705
2	0,4556	0,8531	0,51	0,5396	2	0,618	0,8267	0,4873	0,5229
3	0,4633	0,8463	0,516	0,5353	3	0,6041	0,8468	0,4691	0,5355
4	0,4327	0,8674	0,5311	0,5486	4	0,6134	0,8073	0,4743	0,5106
5	0,409	0,8401	0,5254	0,5313	5	0,571	0,8238	0,4469	0,521
Medel	0,44428	0,85502	0,51834	0,54078	Medel	0,61258	0,84132	0,4679	0,5321

Be-Ge 9000					Grammer				
	X	Y	Z	A(8)		X	Y	Z	A(8)
1	0,4581	0,7911	0,4813	0,5004	1	0,4819	0,8169	0,5456	0,5166
2	0,5327	0,8143	0,4695	0,515	2	0,5281	0,8504	0,5448	0,5378
3	0,5181	0,8179	0,4482	0,5173	3	0,469	0,8318	0,4976	0,5261
4	0,4941	0,756	0,4462	0,4781	4	0,5419	0,8728	0,5148	0,552
5	0,4785	0,7649	0,4368	0,4838	5	0,4706	0,8536	0,5141	0,5399
Medel	0,4963	0,78884	0,4564	0,49892	Medel	0,4983	0,8451	0,52338	0,53448

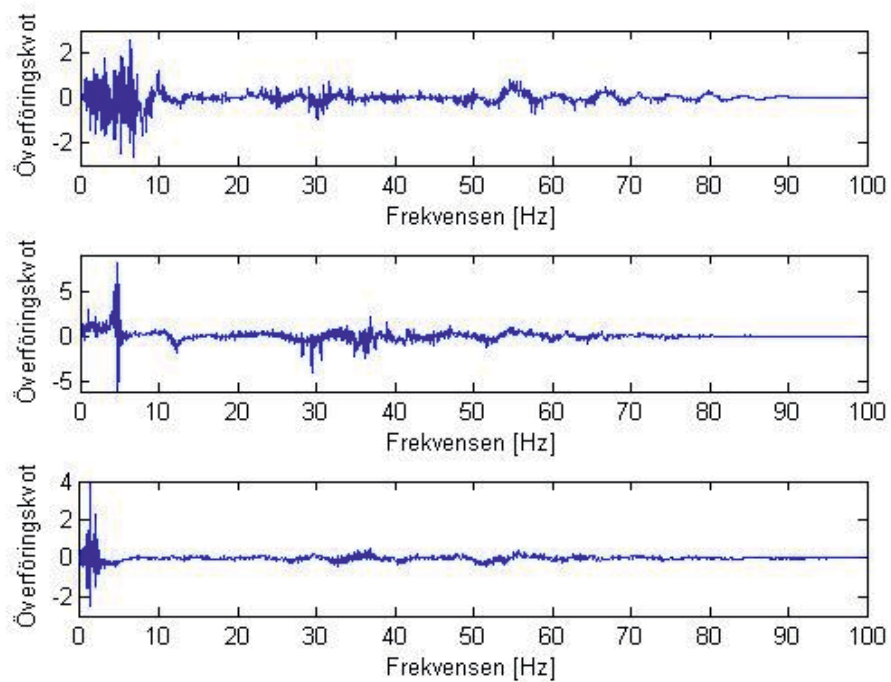
KAB 600				
	X	Y	Z	A(8)
1	0,4768	0,6801	0,4245	0,4301
2	0,4833	0,7118	0,4397	0,4502
3	0,4829	0,7517	0,4329	0,4754
4	0,4781	0,7005	0,416	0,443
5	0,4749	0,7131	0,4011	0,451
Medel	0,4792	0,71144	0,42284	0,44994

X,Y,Z = RMS av viktad acceleration i respektive. Inklusive riktningsfaktor [m/s<sup>2</sup>]

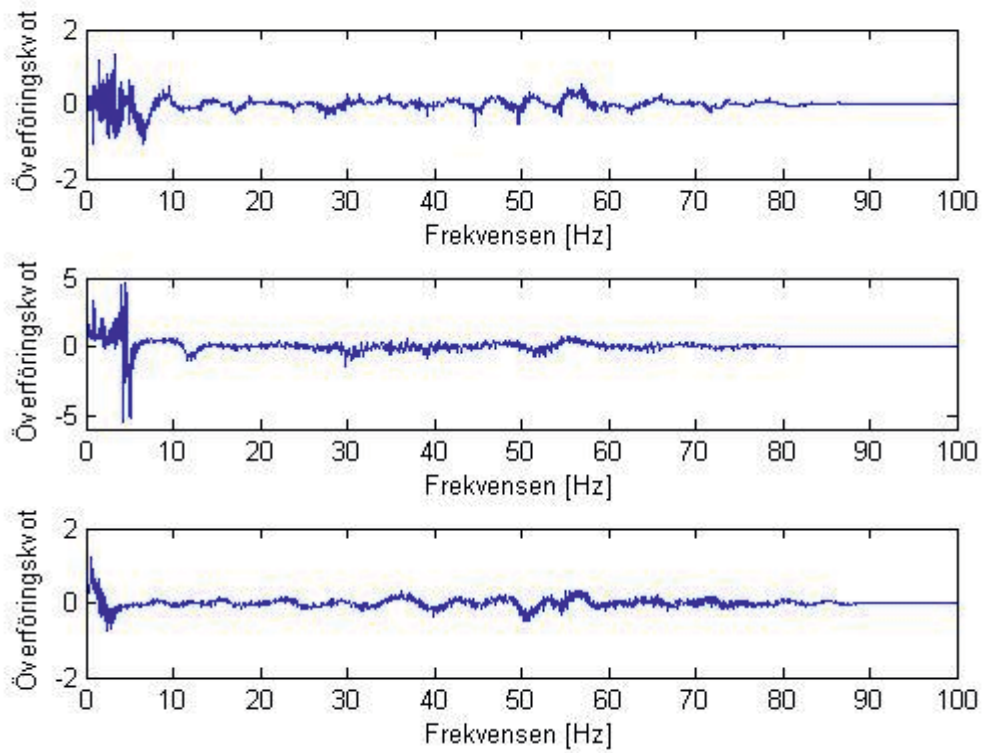
A(8) = Vibrationsexponering under 8 timmars arbetsdag



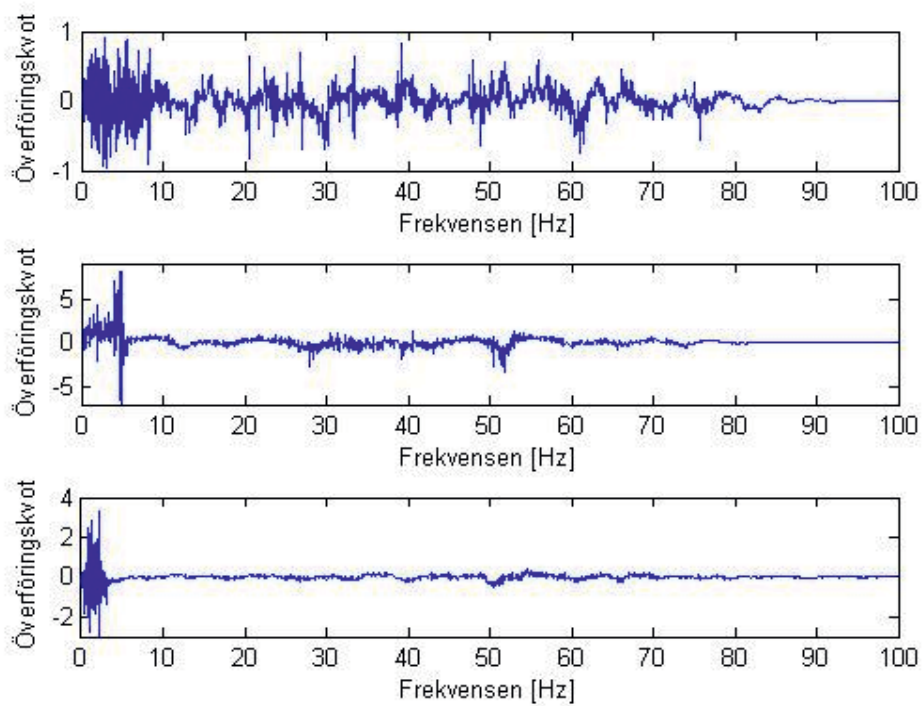
## Överföringsfunktioner för utvärderade stolar



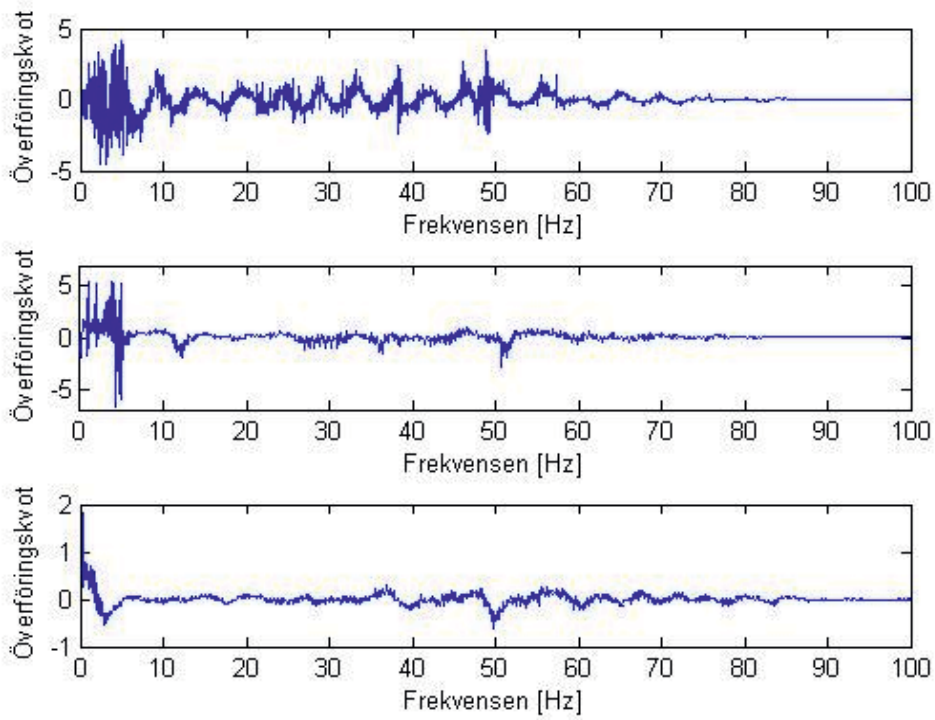
Figur 41.  
Be-Ge 2000.



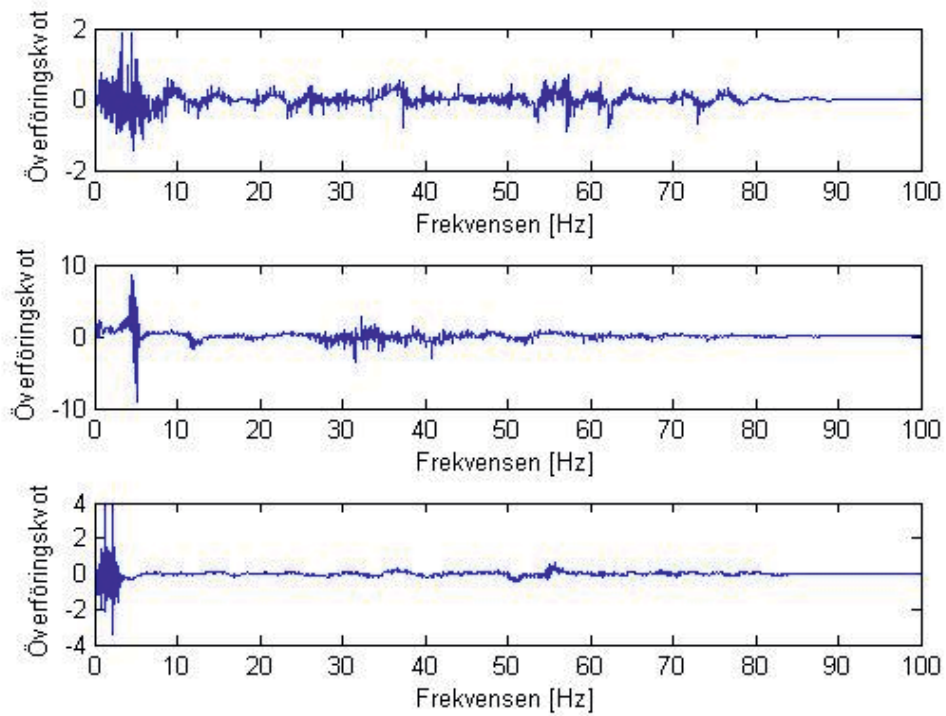
Figur 42.  
Be-Ge 3000 DPS.



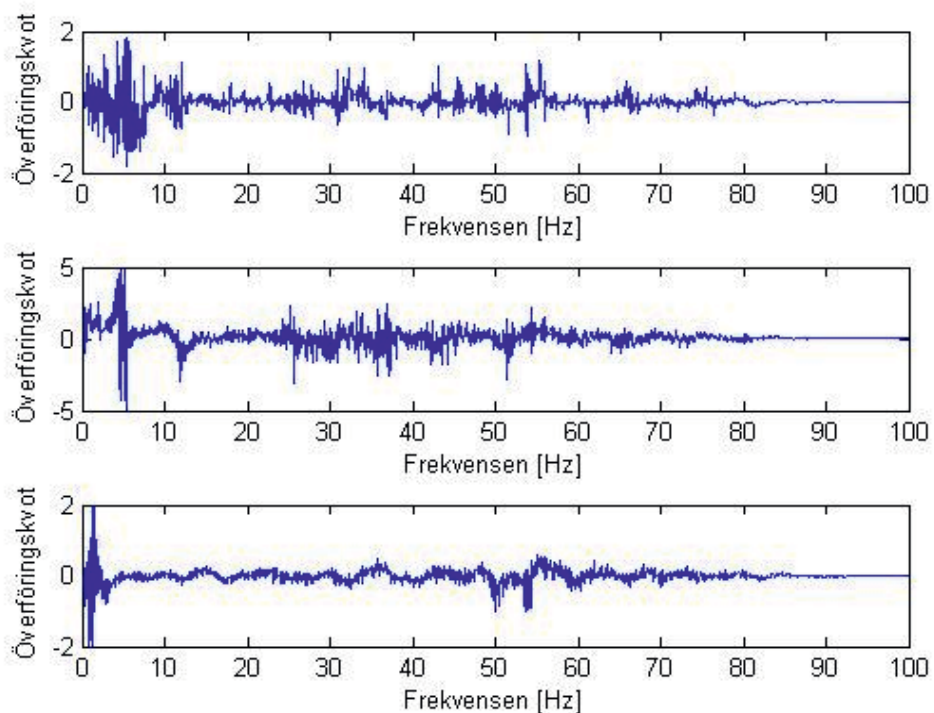
Figur 43.  
Be-Ge 7000.



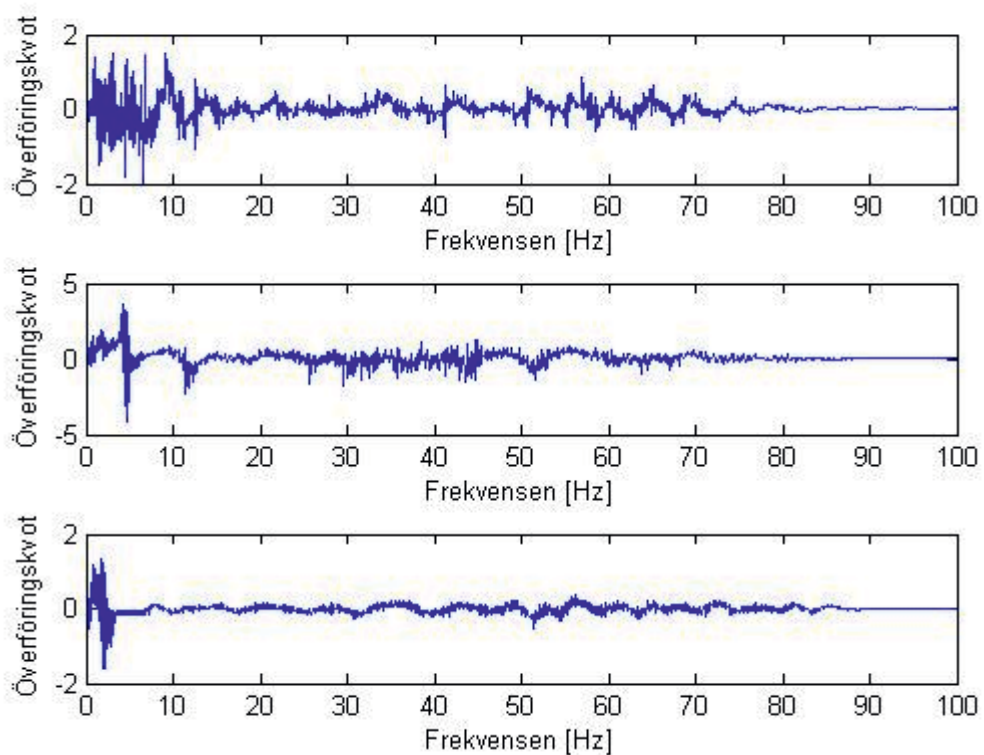
Figur 44.  
Be-Ge 7000 airvent.



Figur 45.  
Be-Ge 9000.



Figur 46.  
Grammer, Actimo XL, MSG95A/722.

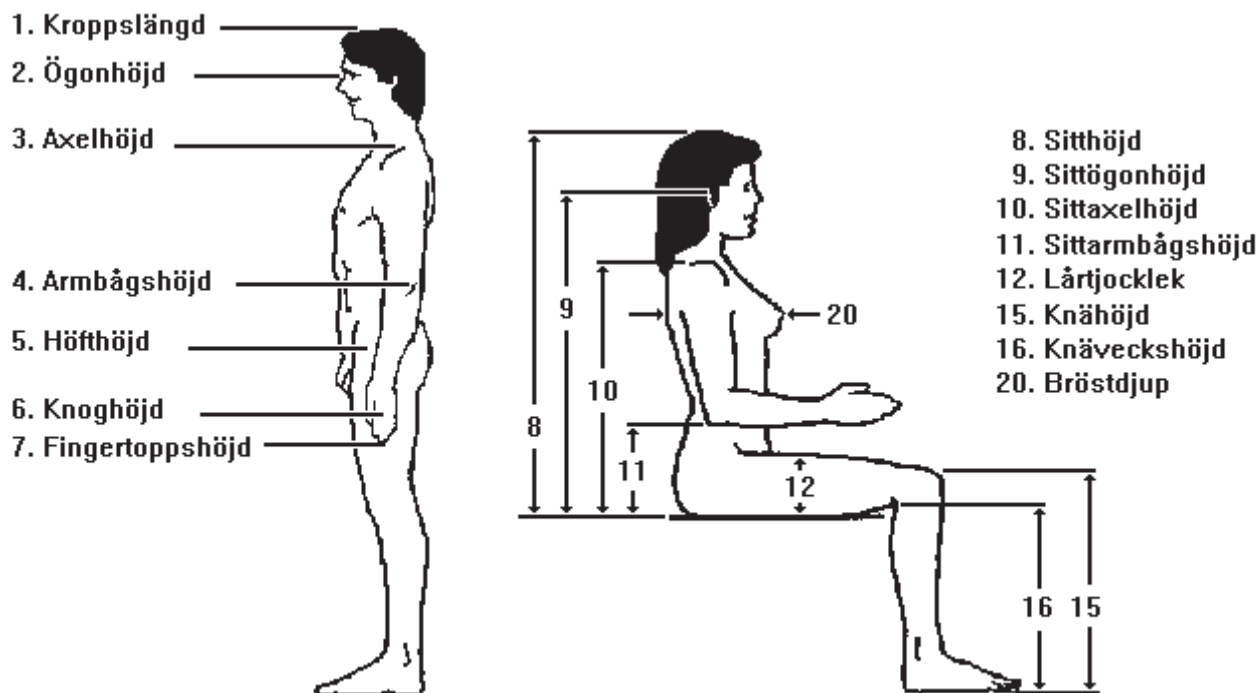


Figur 47.  
KAB air 65/K4.

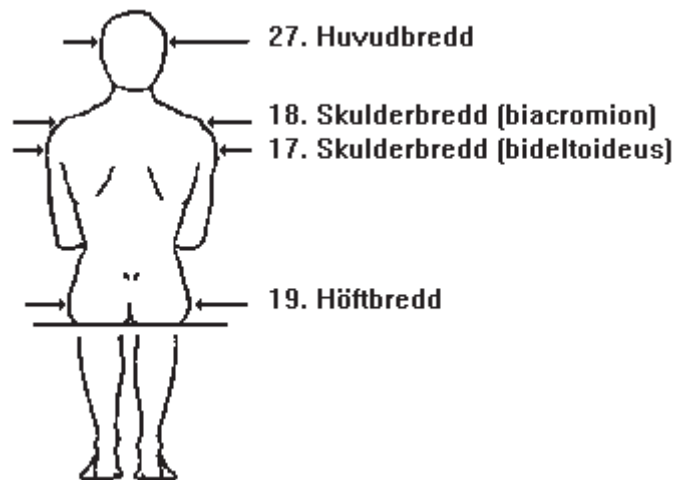
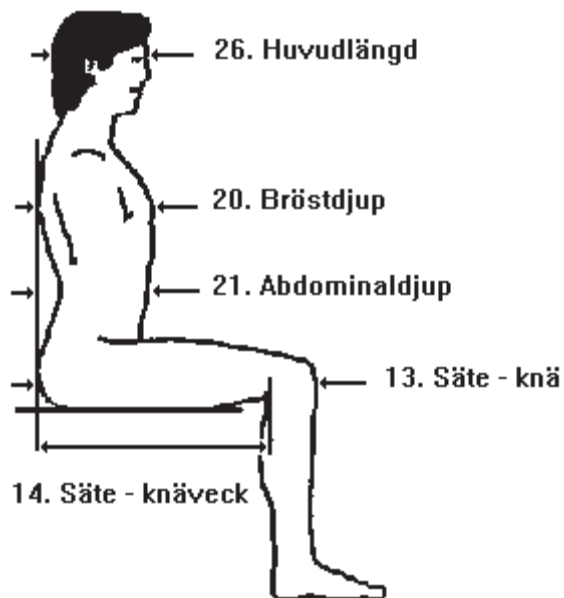


### Antropometriska figurer

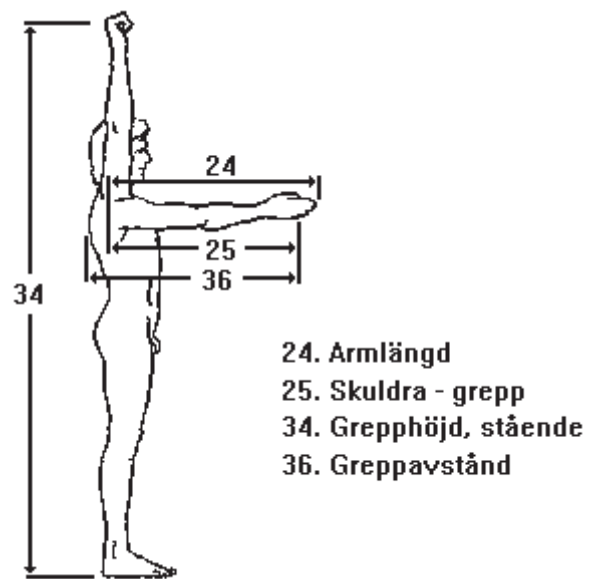
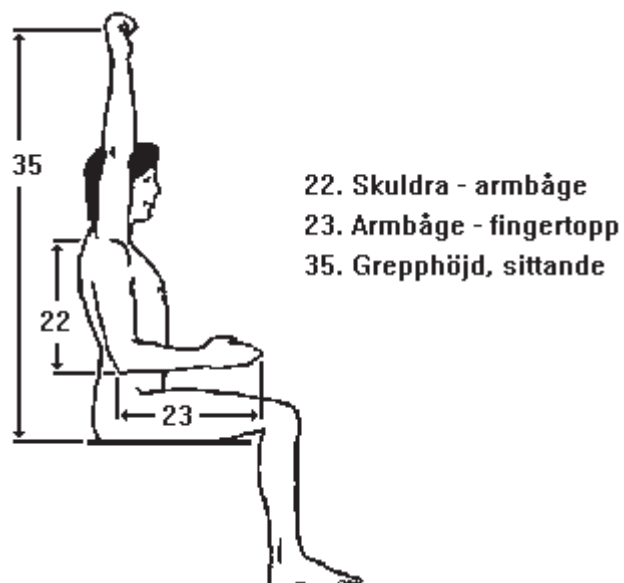
Alla nedanstående figurer kommer från programmet ALBA, utvecklat av *Avdeleningen för industriell arbetsvetenskap vid Linköpings tekniska högskola*.



Figur 48 och 49.  
Kroppsmått.



Figur 50 och 51.  
Kroppsmått.



Figur 52 och 53.  
Kroppsmått.

## Ergonomisk utvärdering KAB air 65/K4

Tabell 22.  
Ergonomisk utvärdering av KAB air 65/K4.

Item	Vikt faktor	KAB		
		Straffpoäng (Mått)	Kommentar	
1. Längdreglering ( $l_1$ ) <sup>1</sup> , mm, maximal längdjustering för stolen	4	28	(115mm)	
2. Lågsia höjd SRP <sup>2</sup> , mm	4	0	240mm	Bedömning gjord utan stolsfundament
3. Höj och sänk ( $h_3$ ) <sup>3</sup> , mm	4		Stolshöjden kan regleras med fjädring & dämpning	Bedömning gjord utan stolsfundament
4. Fjädring och dämpning.	4	12		Bedömning gjord utan stolsfundament
5. Ryggstöd vinkel, °	1	0	0	
6. Sitslutning, °	1	7	(0-6°)	
7. Svankstöd konvexitet, mm	1	3	(35 mm)	
8. Svankstöd höjd/reglering, mm	1	3		
9. Sitsdjup ( $l_4$ ), mm	2	2	(430-480 mm)	
13. Sitsens och ryggstöds bredd ( $b_1$ , $b_2$ , $b_3$ ), mm	2	0	( $b_1$ -480mm $b_3$ -500mm)	
14. Ryggstöd höjd, mm	1	0	(660mm)	
15. Avstånd mellan armstöd ( $b_4$ ) <sup>4</sup> , mm	2	0	(340-650mm)	
16. Armstöd vridning in och ut, °	1	0	(↔)	
17. Armstöd höjd ( $h_5$ ) <sup>5</sup> , mm 6) Measured with horizontal armrests from SRP.	4	4	(135-235mm)	
18. Armstöd lutning längsled, °	2	0	(-38-0°)	
19. Armstöd längd ( $l_5$ ), mm	2		(320mm)	
20. Armstöd lutning sidled, °	1	3	(fast)	
21. Armstöd bredd, mm	2	2	(120mm)	
22. Individuella inställningar av stol och armstöd kan programmeras och snabbt ställas in automatiskt. <sup>7</sup>	4	28		
24. Feet have room under front of seat when legs are being bent as far back as an angle of 60° or smaller.	4	12		
25. Sits och ryggstöd utrustade med termostatisk uppvärmning, ventilation och tvättbara överdrag.	2	14	(saknar, ventilation och tvättbara överdrag.)	
26. Stabil sits och enkel att underhålla	4	0		
27. Säkerhetsbälte	2	30		
Summa		148		
Ergonomisk profil		C		



## Ergonomisk utvärdering Be-Ge 3000 DPS

Tabell 23.

Ergonomisk utvärdering av Be-Ge 3000 DPS.

3000DPS				
Item	Vikt faktor	Straffpoäng (Mått)	Kommentar	
1. Längdreglering ( $l_1$ ) <sup>1)</sup> , mm, maximal längdjustering för stolen	4	12	(140mm)	
2. Lägsta höjd SAP <sup>2)</sup> , mm	4	0	(240mm)	Bedömning gjord utan stolsfundament
3. Höj och sänk ( $h_2$ ) <sup>3)</sup> , mm	4		kan reglera fjädring & dämpning	Bedömning gjord utan stolsfundament
4. Fjädring och dämpning.	4	12		Bedömning gjord utan stolsfundament
5. Ryggstöd vinkel, °	1	0	(- 90- +33)	
6. Sitslutning, °	1	1	(-2 - +17)	
7. Svankstöd konvexitet, mm	1	0	(80 mm)	
8. Svankstöd höjd(reglering), mm	1	1		
9. Sitsdjup ( $l_3$ ), mm	2	2	(430 - 520 mm)	
13. Sitsens och ryggstödet's bredd ( $b_1$ , $b_2$ , $b_3$ ), mm	2	0	( $b_1$ -500mm $b_3$ -465mm)	
14. Ryggstöd höjd, mm	1	0	(670mm)	
15. Avstånd mellan armstöd ( $b_4$ ) <sup>4)</sup> , mm	2	0	(350-640mm)	
16. Armstöd vridning in och ut, °	1	0	(±90°)	
17. Armstöd höjd ( $h_4$ ) <sup>5)</sup> , mm	4	4	(195-295mm)	
6) Measured with horizontal armrests from SAP.				
18. Armstöd tillning längsled, °	2	0	(-30-+8)	
19. Armstöd längd ( $l_4$ ), mm	2		(320mm)	
20. Armstöd tillning sidled, °	1	3	(fast)	
21. Armstöd bredd, mm	2	2	(120mm)	
22. Individuella inställningar av stol och armstöd kan programmeras och snabbt ställas in automatiskt. <sup>7)</sup>	4	28		
24. Feet have room under front of seat when legs are being bent as far back as an angle of 80° or smaller.	4	12		
25. Sits och ryggstöd utrustade med termostatisk uppvärmning, ventilation och tvättbara överdrag.	2	2	(Inget överdrag)	
26. Stabil sits och enkel att underhålla	4	0		
27. Säkerhetsbälte	2	2		
Summa		81		
Ergonomisk profil		C		



## Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2010

2010	
Nr 700	Hannerz, M. & Cedergren, J. 2010. Attityder och kunskapsbehov – förädlat skogsodlingsmaterial. 56 s.
Nr 701	Rytter, R.M. 2010. Detektion av röta i bokved – resultat av måthöjd, riktning och tidpunkt. 10 s.
NR 702	Rosvall, O. & Lundström, A. 2010. Förädlingseffekter i Sveriges skogar - kompletterande scenarier till SKA-VB 08. 31 s.
Nr 703	von Hofsten, H. 2010. Skörd av stubbar – nuläge och utvecklingsbehov. 18 s.
Nr 704	Karlsson, O. & Nisserud, F. 2010. Utveckling av en dynamisk helfordonsmodell för skotare. 73 s.
Nr 705	Eliasson, L. & Johannesson, T. 2010. Förrojningens påverkan på grotskotning – En studie av produktivitet, ekonomi, grotkvalitet hos SCA skog. 9 s.
Nr 706	Rytter, L. & Stener L.G. 2010. Uthållig produktion av hybridasp efter skörd – Slutrapport 2010 för Energimyndighetens projekt 30346. 23 s.
Nr 707	Bergkvist, I. 2010. Utvärdering av radförbandsförsök anlagda mellan 1982-1984. 16 s.
Nr 708	Hannrup, B. & Jönsson, P. 2010. Utvärdering av sågmotorn F11-iP med avseende på uppkomsten av kapsprickor – en jämförande studie. 28 s.
Nr 709	Iwarsson Wide, M., Belbo, H. 2010. Jämförande studie av olika tekniker för skogsbränsleuttag i mycket klen skog Skogsbränsleuttag med Naarva-Gripen 1500-40E och Log Max 4000, Mellanskog, Simeå 28 s.
Nr 710	Englund, M., Löfroth, C. & Jönsson, P. 2010. Inblandning av rött ljus i LED-lampor – Laboratoriestudier av hur människor uppfattar tre olika ljusblandningar. 7 s.
Nr 711	Mullin, T.J., Hallander, J., Rosvall, O. & Andersson, B. 2010. Using simulation to optimise tree breeding programmes in Europe: an introduction to POPSIM™. 28 s.
Nr 712	Jönsson, P. 2010. Hydrauliskt dämpad hytt – ett lyft för arbetsmiljön? 14 s.
Nr 713	Eriksson, B. & Sonesson, J. 2010. Tredje generationen skogsbruksplaner – Slutrapport DElproj 4 – Arbetsgång vid planläggning. 23 s.
Nr 714	Sonesson, J. 2010. Nya arbetssätt i skogsbruksplanläggning. 20 s.
Nr 715	Eliasson, L. 2010. Huggbilar med lastväxarsystem. 13 s.
Nr 716	Eliasson, L. & Granlund P. 2010. Krossning av skogsbränsle med en stor kross – En studie av CBI 8400 hos Skellefteå Kraft. 6 s.
Nr 717	Stener, L.G. 2010. Tillyväxt, vitalitet och densitet för kloner av hybridasp och poppel i sydsvenska försök. 46 s.
N 718	Palmquist, C. & Sandberg, J. & Vibrationskomfort och ergonomi på förarstolar i skotare. 100 s.
Nr 719	Thor, M. 2010. Avverkning och hantering av virke och avverkningsrester vid angrepp av tallvedsnematoder i svensk skog. 42 s.
Nr 720	Fogdestam, N. 2010. Studier av Biotassu Griptilt S35 i gallring. 11 s.
Nr 721	Brunberg, T. 2010. Bränsleförbrukningen i skogsbruket. 12 s.
Nr 722	Brunberg, T. 2010. Rätt begrepp. 25 s.
Nr 723	Löfroth, C. & Svenson, G. 2010. ETT – modulsystem för skogstransporter – Delrapport för de två första åren. 130 s.
Nr 724	Rytter, L. & Lundmark, T. 2010. Slutrapport för Energimyndighetens projekt 30658. Trädslagsförsök med inriktning på massproduktion. – Tree species trial with emphasis on biomass production. 24 s.
Nr 725	Rytter, R.M. & Högbom, L. 2010. Slutrapport för Energimyndighetens Projekt 30659. Markkemi och fastläggning av C och N i produktionsinriktade bestånd med snabbväxande trädslag – Soil chemistry and C and N sequestration in plantations with fast-growing tree species. 64 s.

Nr 726	Brunberg, T., Eliasson, L. & Lundström, H. 2010. Skotning av färsk och hyggestorkad grot. 15 s.
Nr 727	Enström, J. 2010. Inlandsbanans potential i Sveriges skogsbränsleförsörjning. 34 s.
Nr 728	Häggström, C. & Thor, M. 2010. Human factors in forest harvester operation. 25 s.
Nr 729	Westlund, K. 2010. WP-5100 Alternative logistics concepts fitting different wood supply situations and markets. 50 s.
Nr 730	von Hofsten, H. Jämförelse mellan CeDe stubbrytare och Pallari 140. 9 s.
Nr 731	Berg, R., Bergkvist, I., Lindén, M., Lomander, A., Ring, E. & Simonsson, P. Förslag till en gemensam policy angående körskador på skogsmark för svenskt skogsbruk 18 s.
Nr 732	Jönsson, P. 2010. Stolar och armstöd – Ergonomisk granskning enligt European ergonomic and safety guidelines for forest machines. 37 s.
<b>2011</b>	
Nr 733	Rytter, L., Johansson, T., Karačić, A., Weih, M. m.fl. 2011. Orienterande studie om ett svenskt forskningsprogram för poppel. 210 s.
Nr 734	Hannerz, M. & Fries, C. 2011. Användningen av webbtjänsterna Kunskap Direkt och Skogsskötselserien. – En enkätundersökning bland skogsbrukets fältpersonal. 48 s.
Nr 735	Andersson, M. & Berglund, A. 2011. Test av pekskärmsmobiler. 22 s.
Nr 736	Löfgren, B., Englund, M., Forsberg, N., Jönsson, P., Lundström, L. & Wästerlund, I. 2011. Spårdjup och vibrationer för banddrivna skotare Lightlogg C och ProSilva. 32 s.
Nr 737	Brunberg, T. 2011. Studie av flerträdshantering i slutavverkning med John Deere 1470D hos SCA Skog hösten 2010.
Nr 738	Fogdestam, N. & Lundström, H. 2011. Studier av Offset Crane Concept, OCC hos Kjellbergs Logistik & Teknik i Hällefors. 15. S.
Nr 739	Bhuiyan, N., Arlinger, J. & Möller J.J. 2011. Utveckling och utvärdering av en standardiserad metod för volymbestämnig och stamräkning vid avverkning med flerträdshanterande skördaraggregat. 30 s.
Nr 740	Iwarsson Wide, M. & Fogdestam, N. 2011. Jämförande studie av olika uttagsmetoder av massaved och skogsbränsle i klen gallring. – Energived- och massavedsuttag med LOG MAX 4000B, Stora Enso Skog, Dalarna. 45 s.
Nr 741	Brunberg, T. 2011. Uppföljning av utbildningseffekten hos maskinlag hos SCA Skog AB 2010. 8 s.
Nr 742	Hannrup, B., Andersson, M., Bhuiyan, N., Wikgren, E., Simu, J., Skog, J. 2011. Vinnova_Slutrapport_P34138-1_101221. – Slutrapport för projekt ”Beröringsfri diametermätning i skördare – utveckling av mätsystem och tester i produktionsmiljö”. 84 s.
Nr 743	Åström, Hannes. 2011. Förbättring av arbetsförhållande i skördare. 126 s.
Nr 744	Cheng, C. 2011. Modeling the Ride Comfort of a Forwarder. Modellering av åkkomforten i en skotare. 93 s.
Nr 745	Jonsson, J. 2011. Dynamisk däckmodellering och markinteraktion för skogsmaskiner. Dynamic tire modeling and soil interaction regarding forestry machines. 52 s.
Nr 746	Grönqvist, D. 2011. Konzeptutveckling av hybriddrivlina för skogsmaskiner. Concept development of a hybrid powertrain for forest machines. 180 s.