

# Biomekanisk analys av belastning i höft och skuldra vid varierande sittställning i hjullastare

*Biomechanical analysis of hip and shoulder load  
at varying sitting postures in wheel loaders*

Niklas Adolfsson  
Kurt Öberg  
Anna Torén

© **JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik 2002**  
Enligt lagen om upphovsrätt är det förbjudet  
att utan skriftligt tillstånd från copyrightinnehavaren  
helt eller delvis mångfaldiga detta arbete.



# Innehåll

Förord.....	5
Sammanfattning .....	7
Summary .....	8
Nomenklatur.....	9
Inledning .....	9
Anknytande utveckling av förarplatser i tunnelbanetåg .....	10
Exponering för reglageaktivering.....	11
Syfte .....	14
Material och metod.....	14
Försökspersoner .....	14
Mock-up .....	15
Mätmetodik.....	17
Kropposition och rörelse.....	17
Belastningsanalys .....	18
Frågeformulär.....	20
Procedur.....	21
Resultat .....	22
Sits- och spakposition .....	22
Belastningsanalys.....	23
Skulderledsbelastning.....	23
Höftledsbelastning.....	26
Känslighetsanalys.....	27
Komfort och arbetsfunktion .....	30
Diskussion.....	31
Slutsatser .....	32
Referenser .....	33



## Förord

Detta projekt planerades av Kurt Öberg vid Institutionen för lantbruksteknik vid Sveriges lantbruksuniversitet (LT/SLU) samt Mats Bohm och Olle Norén, båda vid JTI. Projektledare var initialt Mats Bohm och senare Anna Torén vid JTI. Från Volvo Wheel Loaders AB deltog Leif Jacobsson, Jonny Lindblom, Per Höglund och Sverker Armö.

Fältstudierna genomfördes av Johan Henriksson inom ramen för ett examensarbete för Agronomlinjen vid SLU, med Kurt Öberg som handledare. Uppbyggnaden av mock-upen och det ergonomiska laboratoriet genomfördes av Anna Torén, Mats Bohm och Kurt Öberg. De biomekaniska försöken och analyserna genomfördes av Niklas Adolfsson under ledning av Kurt Öberg och Anna Torén.

Projektet finansierades av VINNOVA (f.d. Rådet för arbetslivsforskning) och Volvo Wheel Loaders AB. Till alla som deltagit i projektet riktar JTI ett stort tack.

Uppsala i januari 2002

*Lennart Nelson*

Chef för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik



## Sammanfattning

Arbetskadestatistik och yrkesmedicinsk forskning har visat att arbete i terränggående arbetsmaskiner kan ge belastningsproblem, som främst härrör från statiska och kanske olämpliga sittställningar i kombination med olämpliga reglage och dess placering. För att undvika dessa problem rekommenderas dels att sträva efter arbetsställningar i kroppsneutrala positioner, dels att i mycket högre grad växla och variera ställningarna.

Syftet med detta projekt var att med biomekanisk belastningsanalys och praktiska prov i simulator prova nya lösningar för reglage och pedaler som passade de nya varierande arbetsställningarna i terränggående arbetsmaskiner, samt utforma rekommendationer för en bra utformning av förarplatsen med hänsyn till ergonomi och komfort.

I denna studie redovisas resultaten från de biomekaniska analyserna, där skulderleds- och höftledsbelastning simulerats utifrån i laboratorium uppmätta arbetsställningar hos förare. En mock-up konstruerades med samma invändiga mått som en Volvo hjullastarhytt Care Cab II, men med större möjligheter att variera placeringen av reglage och sitsar. Stolen var specialkonstruerad för sittande i varierande sittställning, där framkanten viktes nedåt när stolen höjdes. Höjdinställning av stolen kunde göras i intervallet 42-67 cm.

Tio förare deltog i försöket. Registrering av arbetsställningen skedde med video och MacReflex. Två olika reglage användes vid försöken, linjärspakar och joystick. Förarna hade ett väl definierat läge på reglagen vid sittande i normal sittställning (här använt som beteckning på den sittställning förarna normalt arbetar vid). Vid förhöjd sittställning provades både det fasta och ett valfritt läge på reglagen. Det innebär att 60 olika sittställningar inklusive de två typerna av reglage provades. De uppmätta arbetsställningarna matades in i simuleringsprogrammet Jack® och belastningen i axel och höft simulerades vid de givna krafterna på reglage och pedal. Resultaten visade att skulderledsbelastningen ökade med 6 - 9 % när föraren satt i förhöjd sittställning jämfört med normal sittställning och med bibehållen position på spakarna. När föraren satt i förhöjd sittställning men med valfritt läge på reglagen ökade skulderledsbelastningen med 3 - 6 % jämfört med normal sittställning. Höftledsbelastningen, däremot, minskade med 15 - 17 % när förarna satt i förhöjd sittställning jämfört med normal sittställning.

Resultaten från denna studie visar på vikten av flexibilitet i förarhytten. Med hjullastare utförs en rad olikartade arbetsuppgifter. Arbetsuppgifterna utförs av förare med olika antropometri, fysisk kapacitet, ålder och kön. Det bör vara lätt att förändra sittställningen under arbete, så att föraren kan erhålla nödvändig variation i sitt arbete. Hytten bör göras större, med större innermått, så att föraren får möjlighet att kunna sitta i förhöjd sittställning och även få plats till andra önskade inställningar av stol, ratt, reglage och pedaler.

## Summary

Statistics of occupational injuries and research of occupational medicine have shown that work in terrain vehicles may cause musculoskeletal disorders. These disorders are foremost a result of static and inappropriate sitting positions in combination with badly placed levers. In order to avoid these problems it is recommended to work sitting in neutral working postures and to shift working postures in a higher degree.

The objective of this project was to simulate new solutions of levers and pedals for varying working postures in terrain vehicles. The work was to be performed with biomechanical analysis and practical trials in a simulator. Furthermore, the project was to work out recommendations for a good design of the driver's workplace with regard to ergonomics and comfort.

This study reports the results from the biomechanical analyses. The load in the shoulder and hip joint was simulated on the information from laboratory measurements of drivers working postures. For this purpose a mock-up was constructed based on a Volvo Wheel Loader Care Cab II cab, but with improved possibilities to vary the positions of the levers and the seat. The seat was specially constructed to facilitate varying sitting postures, the front of the seat was angled downwards when the seat was raised. The seat could be raised from 42 cm to 67 cm above the cab floor.

Ten drivers participated in the study. The working postures were video recorded and recorded with the MacReflex optoelectronic measurement system. Two types of levers were used, pilot valve control levers and a joystick. Sitting in a normal sitting position, the drivers had the levers in a well-defined position on the mock-up. When the drivers sat in the raised sitting position, the levers were positioned both in the well-defined position and in an optional position on the mock-up. Thus, 60 different sitting postures were recorded, including the two types of levers and the two seat heights. The measured postures was fed into the software Jack®, where the load in the shoulder and hip joint was simulated using the known forces exerted on the levers and pedals during the activation. The results show that the shoulder joint load increased by 6 - 9 per cent when the drivers sat in a raised sitting position compared to the normal sitting position. When the drivers sat in a raised sitting position with the optional lever placement the shoulder joint load increased by 3-6 per cent. The hip joint load decreased by 15-17 per cent when the drivers sat in the raised sitting position.

The results from this study show that the flexibility of the cab interior is very important. Wheel Loaders carry out a number of different working operations globally. Together with this, drivers of different anthropometry, gender, age and physical capacity are to drive the same vehicle, which means that the steering wheel, levers, pedals and seat must be easily adjustable to fit each driver. It should also be easy to change the settings during work, in order to receive enough variation of the working posture.



## Nomenklatur

Medelvärde och standardavvikelse (SD) har beräknats enligt gängse normer. Av författarna angivet uttryck ”i genomsnitt” avser medelvärde. Av författarna angivna uttryck ”normal sittställning” och ”normal spakplacering” anger den av försökspersonerna initialt självvalda sitshöjden respektive den i en hjullastarkytt ursprungliga (inte självvalda) spakplaceringen. Uttrycket ”hög sitshöjd” avser den av försökspersonerna självvalda högre sitthöjden, dvs. då han/hon sitter i förhöjd sittställning. Slutligen avser uttrycket ”valfri spakplacering” den av försökspersonen självvalda spakpositionen sittande i förhöjd sittställning.

## Inledning

Arbetskadestatistik och yrkesmedicinsk forskning har visat att arbete i terränggående arbetsmaskiner (skogsmaskiner, jordbrukstraktorer, lastare, schaktmaskiner etc.) ger belastningsproblem som främst härrör från statiska och kanske olämpliga sittställningar i kombination med olämpliga reglage och deras placering. Arbetet i maskinerna innebär bl.a. långa arbetspass i en stillasittande arbetsställning. Den traditionella sittställningen i arbetsmaskiner ger en kutryggig form på ryggraden och kan ge en ogynnsam ställning för hela bålen inklusive nacken och skuldran. Olämpligt placerade reglage med för höga reglagekrafter försvårar belastningssituationen. Det vanligaste problemet är ländryggsbesvär men även nacke- och skulderbesvär förekommer (Flam et al., 1992). Sittställningen har även en inverkan på vibrationskänsligheten då leder blir styvare ju mer positionen är i ändläge. För att undvika dessa problem rekommenderas dels att sträva efter arbetsställningar i kroppsneutrala positioner, dels att i mycket högre grad växla och variera ställningarna.

Den nya publikationen ”Nordiska Ergonomiska Riktlinjer för Skogsmaskiner” (Frumerie, 1998), ger rekommendationer på mycket varierande sittställningar under arbetets gång i skogsmaskinerna. Rekommendationen förordar större variation i sittställning, som främst innebär större variation i höjd och dessutom att sittdynan skall kunna vinklas framåt-nedåt och roteras under körning. Ett problem vid varierad sittställning är hur reglagen skall placeras. Hur skall reglagen placeras när stolen roteras eller flyttas i höjddled under arbetets gång? Vilka aktiveringskrafter kan accepteras och vilken precision erfordras?

I ett projekt som avslutats på Institutionen för lantbruksteknik vid Sveriges lantbruksuniversitet (LT/SLU) har konceptet sadelsits i jordbrukstraktorer prövats för att traktorförarna skall få en bättre sittställning och att den för traktorkörning i fält så karaktäristiska ländryggsrotationen skall kunna reduceras. Tre olika sadelsitsformer och en konventionell sits prövades av tio professionella traktorförare. Vidare mättes funktion, komfort och sittställning med strukturerade frågor och videoinspelning. Förarna kunde själva ställa in stolarna och valde att ställa sadelstolarna 13 cm högre än den konventionella stolen. Denna högre sittställning var enligt målsättningen med sadelstol eftersträvad men medförde också förväntade problem. Ett av problemen var förmågan att kunna manövrera fotpedaler och handreglage, som ju var anpassade för en lägre sittställning. Vid rätt positionering horisontellt av sadelstolarna tyckte förarna att det gick bra att trycka på pedalerna. Det var dock ovant att fötterna var mera isär då de satt på vissa stolar. Vid manövrering av handreglage

var det mycket tydligt att de besvärades av att reglagen satt för lågt. Dessa data har bearbetats och har rapporterats i ett antal publikationer (Hansson, 1998; Öberg et al., 1998; Torén, 1999; Öberg et al., 2000).

Kunskaper om belastning i leder vid olika utformningar av reglage är begränsade och i det närmaste obefintliga med avseende på utformning och placering vid växlande arbetsställningar. I de forskningsarbeten som genomförts inom området har man främst inriktat sig på att studera vilka krafter en förare maximalt kan åstadkomma i olika riktningar (Hansson et al., 1992a; Hansson et al., 1992b; Kroemer & Grandjean, 1997).

Den andra typen av studier är att man har för olika traktorfabrikat uppmätt nödvändiga pedalkrafter för bromsning och koppling. En omfattande studie i detta sammanhang presenterades i tidningen Lantmannen 1995 (Emgardsson, 1995), där man i samarbete med Skogs- och Lantbrukshälsan hade gjort en omfattande arbetsmiljötest av de tio vanligaste traktorfabrikaten. 14 olika arbetsmiljöfaktorer undersöktes. Av dessa fanns pedalkrafter för bromspedal och koppling. Det rekommenderade värdet enligt standard för dessa pedalkrafter är 150 Newton. Värdena från testerna var långt över för både koppling och bromspedaler. Medelvärde för bromspedaler var 425 Newton varierande från 250 till 610 Newton, medan medelvärdet från kopplingspedalerna var 210 Newton varierande från 150 till 260 Newton. Dessa data kan utgöra en viktig referensbakgrund för fortsatt analys av ledbelastning.

En mera ingående biomekanisk studie av höftledsbelastning vid pedalaktivering under traktorkörning har gjorts vid LT/SLU (Adolfsson, 2001). Dessa resultat visar att höftledsbelastningen vid pedalaktivering inte ger större belastning än vid andra vanliga aktiviteter.

## **Anknytande utveckling av förarplatser i tunnelbanetåg**

Stockholms Lokaltrafik anlät design- och ergonomikon­sulter för att utveckla en tunnelbanevagn med förarplats för 2000-talet. Den bärande tanken för utveckling av förarplatsen var dels att åstadkomma snabb individuell inställning av förarstolen med personlig kod vid förarbyte, dels att arbetsställningen skulle vara från lågt sittande med möjlighet till korslagda ben till stående ställning. Placering av reglage och instrument skulle i princip utföras så att ett kompakt instrument och reglagebord följde med vid olika valda sitthöjder, som skulle kunna varieras under körning. Utformningen har på ett realistiskt sätt genomförts i en så kallad mock-up där förarnas inställningskrav och preferens kunde studeras i olika skeden av utvecklingsarbetet. Skillnaden mot terrängmaskiner är att förarplatsen i tåg har större utrymme för bl.a. rotation av stolen samt saknar ratt och pedaler.

Vid ett studiebesök hos SL fick vi senare tillfälle att studera den färdiga tunnelbanevagnen, "Vagn-2000". Tyvärr hade inte de intentioner som provades i fullskalemodellen kunnat genomföras av främst kostnadsskäl. Dessutom prioriterades designutformning högre. Reglagen var installerade på fast höjdnivå och förarstolen var av en konventionell typ för bussar. Inga resultat från denna utveckling av "Vagn 2000" kunde därigenom tillföras till vårt projekt.

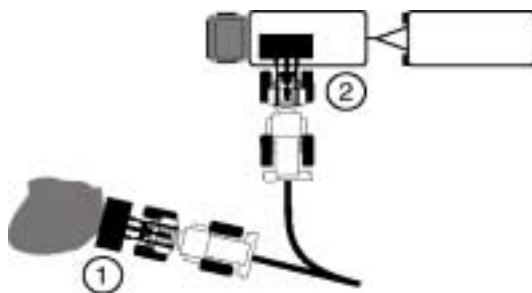
## Exponering för reglageaktivering

Inom ramen för detta samarbetsprojekt mellan JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, LT/SLU och Volvo Wheel Loaders AB skulle vi studera hur belastningsdosen varierar i skuldra och i höftled vid varierade körställningar och alternativa placeringar av reglage. I ett examensarbete gjordes därför en delstudie med syfte att utveckla och testa lämplig utrustning samt registrera varaktighet och frekvens vid aktivering av manöverspakarna för arbetshydrauliken, gas- och bromspedal under fältmässiga förhållanden (Henriksson, 2000).

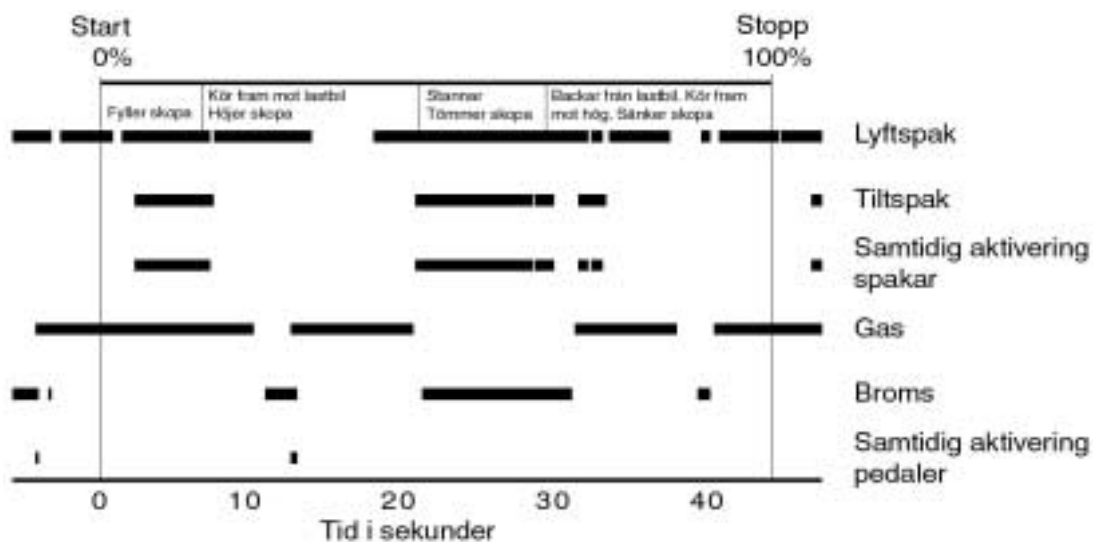
Metodiken som användes i Henriksson (2000) var att studera arbete med hjullastare på plats ute i fält visuellt genom videofilmning av arbetsuppgifter, förare och manöverspaksanvändning och att samtidigt registrera spakutslag och pedalnedtrampningar. Genom att ta ut väl valda och likartade cykler för arbetsuppgifterna där tidsvariationerna för operationerna och de totala cykeltiderna var små har analysen av varje uppgift kunnats göras mycket noggrann. Manöverspakarnas vinkelutslag registrerades med potentiometer och pedalernas aktivering med mikrobrytare. Sammanlagt deltog fem manliga yrkesförare på fyra hjullastare av märket Volvo (modellbeteckningar L70C, L120C respektive L180C) indelade i tre storleksklasser med en maskinvikt från 10,5 till 27 ton. Sju arbetsuppgifter analyserades. Arbetsuppgifterna var arbete med

- skopa: lastning av stenkross på lastbil med släp, lastning och transport av sand till sorteringsverk, blandning av spån och flis, påfyllning av jord till säckfabrik,
- pallgafflar: borttransport av pallade jordsäckar,
- timmergrip: flyttning av timmerstockar till upplag samt lossning av timmerbil med släp.

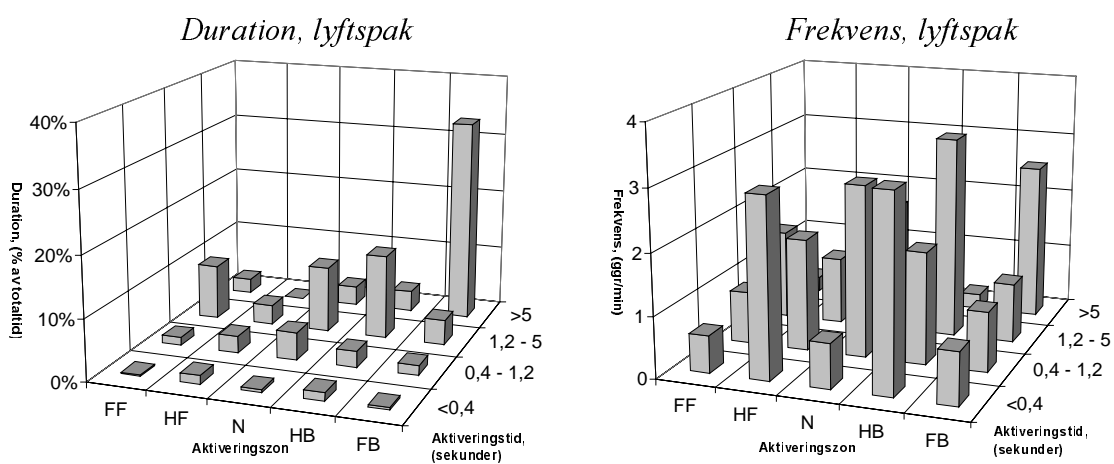
Materialet har analyserats med avseende på reglage- och pedalanvändningens duration och frekvens. Linjärspakarna på höger sida om föraren (de som används för manövrering av redskap) har studerats med avseende på aktiveringsgrad, duration och tid. Aktiveringsgraden innebär att spakutslaget delats in i fem olika zoner och tiden som spaken varit aktiverad i varje zon har analyserats så att tredimensionella diagram i linje med Mathiassen (1993) erhållits. Figur 1-4 visar resultaten från en av de studerade arbetscyklerna, lastning av lastbil med släp.



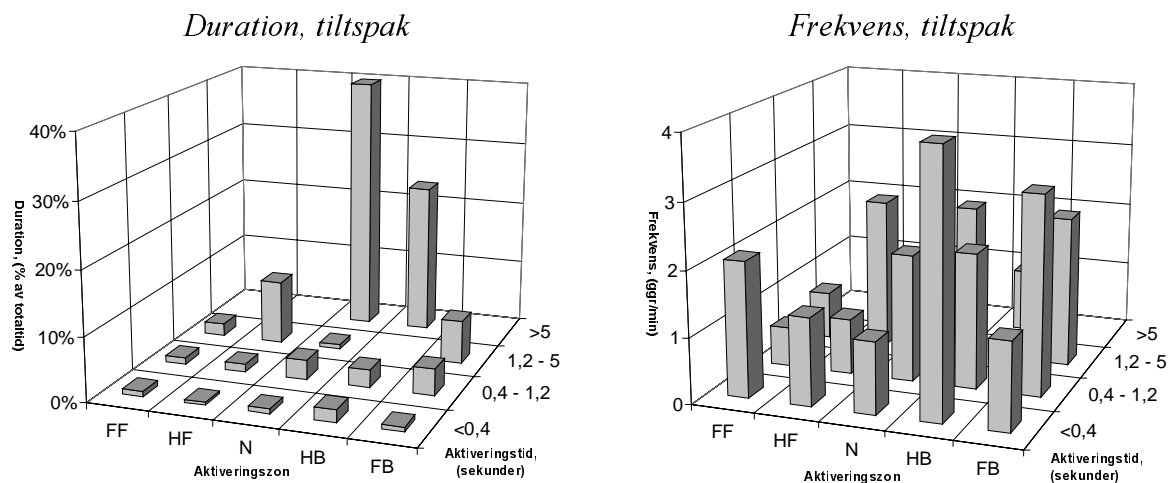
Figur 1. Lastning av lastbil med släp. 1) Start på cykeln. Lastning i upplagd hög av stenkross. 2) Avlastning av materialet på flaket. Cykeln avslutas vid punkten 1 alternativt en ny börjar (Henriksson, 2000).



Figur 2. Tidsdiagram för en cykel vid lastning av lastbil med släp. Cykeltiden är 44 sekunder (Henriksson, 2000).



Figur 3. Lyftspakens aktiveringsmönster vid lastning av lastbil med släp (Henriksson, 2000).



Figur 4. Tiltspakens aktiveringsmönster vid lastning av lastbil med släp (Henriksson, 2000).

Resultaten visade att några av arbetsuppgifterna i hjullastarna var mycket intensiva med tidsmässigt upp till 95 % engagemang av manöverspakarna under en arbetscykel. Den enskilda manöverspak som aktiverades mest var i alla mätningarna lyftspaken. Pedalerna aktiverades mellan 70–80 % av tiden. Inga direkta jämförelser kunde göras mellan de olika arbetsuppgifterna när det gällde användningsfrekvensen av linjärspakarna, men tiltspaken hade fler aktiveringar per minut än de övriga spakarna. Lyftspaken aktiverades mellan 2,5-8 ggr/min, tiltspaken 5-10 ggr/min och spaken för tredje hydraulfunktion 3-6 ggr/min.

Sammanfattningsvis kan sägas att resultaten indikerade en hög aktiveringsnivå för manöverspakar och pedaler vid några vanligt förekommande arbetsuppgifter. Höger hand var under den största delen av tiden placerad på manöverspakarna, även under perioder då arbetshydrauliken inte aktiverades. De studerade arbetsuppgifterna uppvisade relativt kort cykeltid och liten variation i cykeltid inom arbetsuppgift. Även variationen i tid mellan olika delmoment inom cykler inom samma arbetsmoment visade liten variation. Den enskilt största orsaken till variationer i resultat var beroende av arbetsuppgiften. Individvariation bland förarna och de olika maskinmodellerna var andra faktorer som troligtvis hade betydelse för det slutliga resultatet.

Förutom analyserna utförda i Henriksson (2000) har också följande analyser gjorts ur videofilmerna av de sju arbetsuppgifterna och redogörs för nedan (Torén et al., 2002):

- användningsfrekvens för riktningväljare och kick-down,
- frekvens och duration av samtliga spakar aktiverade av händerna under en timmes arbete,
- vänster hands placering på ratten när ratten används hos två förare.

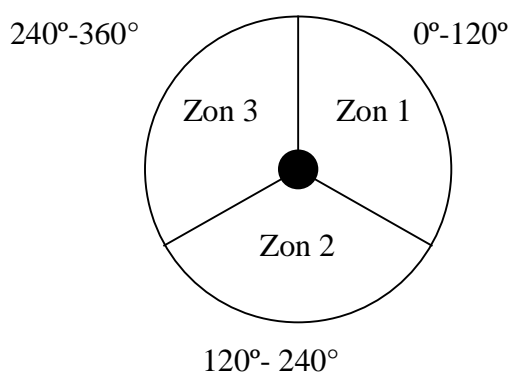
Användningsfrekvensen för riktningväljaren och kick-down registrerades hos samtliga arbetsuppgifter analyserade av Henriksson (2000), genom visuell observation av videofilmerna under arbete i de väl avgränsade cyklerna. Riktningväljaren användes mellan 4 och 8 ggr/cykel, eller 2,0 till 5,9 ggr/min. Kick-down funktionen användes endast vid lastning av lastbil med släp, lastning och transport av sand till sorteringsverk samt blandning av spån och flis. Användningsfrekvensen varierade mellan 1 och 3,5 ggr/cykel, eller 0,6 till 1,8 ggr/min.

Analysen av frekvens och duration av de spakar som aktiveras av händerna under en timmes arbete (inte intensivcykler) gjordes på tre förare som arbetade med skopa (sand och grus), pallgafflar och skopa (jord) respektive timmergrip och skopa (spån). Användningen av riktningväljaren varierade här mellan 3 och 4 ggr/min och användningen av kick-down varierade mellan 0,7 och 0,84 ggr/min. Vänster hand var huvudsakligen placerad på vänster armstöd med reglaget för Comfort Drive Control (CDC), 88 – 96 % av arbetstiden. Höger hand användes huvudsakligen till att aktivera linjärspakarna (76 till 92 % av tiden). Resterande tid ”vilade” högerhanden huvudsakligen och 0,26 till 0,78 % av tiden användes handen till att manövrera ratten.

Vänster hands placering på ratten när ratten används har registrerats hos två förare som använde ratten istället för CDC. Ratten delades in i tre zoner: 0-120°, 120-240° och 240-360°. De studerade arbetsuppgifterna var avlastning av timmer från lastbil med släp och flyttning av timmerstockar till upplag. Avlastning av timmer

från timmerbil med släp är ett kortcykligt arbete med mycket ratt rörelser. Resultaten visade att vänster hands placering inom de olika zonerna varade huvudsakligen under korta tidsperioder (1-3 s) och placeringen fördelade sig jämnt mellan de tre zonerna. Flyttning av timmerstockar till upplag som innebär längre transporter visade att handen var placerad huvudsakligen i zonen 240-360° under långa tidsperioder (mer än 5s) i 35 % av tiden.

Henriksson (2000) och Torén et al. (2002) gav uppgifter om exponeringen vid reglage- och pedalaktivering. Men för att ta fram hela belastningsdosen i skuldra och höftled måste belastningen vid aktivering beräknas. Det arbetet är vad som avrapporteras i denna publikation.



Figur 5. Rattens indelning i tre zoner för analys av vänster hand placering på ratten när ratten används.

## Syfte

Målsättningen med detta projekt är att med biomekanisk belastningsanalys i skuldra och axel samt praktiska prov i en fullskalemodell, mock-up, prova lösningar och placeringar för reglage som passar varierande arbetsställningar i terränggående arbetsmaskiner, som i det här fallet begränsas till hjullastare.

## Material och metod

För att kunna beräkna och analysera kroppsbelastningar krävs att arbetsställningen för den aktuella arbetsuppgiften och de till kroppen ingående krafterna från spakar och pedaler kan mätas och bestämmas. För att kunna definiera arbetsställningen valde vi att simulera densamma vid körning i en fullskalemodell av förarplatsen (en s.k. mock-up) i vårt ergonomiska laboratorium.

## Försökspersoner

Tio försökspersoner deltog frivilligt i försöken, där nio var män (FP1-9) och en var kvinna (FP10). Alla var professionella hjullastarförare. Ålder, vikt, längd, antal år de kört hjullastare, antal år de arbetat med nuvarande arbetsuppgifter samt vad dessa bestod i vid tiden för försöket visas i tabell 1. Tre förare använde CDC (Comfort Drive Control) istället för ratt i det dagliga arbetet. Sju förare var

högerhänta, två var vänsterhänta och en förare uppgav att han arbetade lika bra med vänster som med höger hand.

Tabell 1. Ålder, vikt, längd, antal år de kört hjullastare, antal år de arbetat med nuvarande arbetsuppgifter samt vad dessa bestod i för försökspersonerna. FP1-9 är män och FP10 är kvinna.

	Ålder, år	Vikt, kg	Längd, cm	Antal körår	År med nuv. arbetsuppg.	Nuvarande arbetsuppgifter
FP1	39	80	180	6	1	Grushantering
FP2	59	85	185	31	25	Berghantering
FP3	28	87	176	10	10	Krosshantering
FP4	34	100	173	10	10	Diverse arbeten
FP5	29	117	190	10	3	Lärare
FP6	46	123	187	25	20	Grushantering
FP7	39	101	182	10	6	Pallhantering, mm
FP8	49	90	175	30	30	Timmerhantering
FP9	51	60	167	5	2	Timmerhantering
Medelvärde	42	94	179	15	12	
SD	10	19	7	10	11	
FP10	33	52	161	5	5	Timmerhantering

För att registrera eventuella besvär i rörelseapparaten i händelse av avvikande resultat fick förarna fylla i Nordiska ministerrådets formulär angående muskuloskeletal besvär (Kuorinka et al., 1987). Den senaste 12-månadersperioden hade fem förare haft besvär i nacken, två i ryggens övre del och fyra i ryggens nedre del. Tre förare hade haft besvär i vänster skuldra och fyra i den högra. Tre förare hade haft besvär i en höft och två hade haft besvär i båda handlederna. En förare hade varit hemma den senaste 12-månadersperioden på grund av besvär i nacke, ryggens nedre del samt höger skuldra. Samma förare hade haft besvär de senaste sju dagarna i nacke och ryggens nedre del. Ytterligare en förare hade varit hemma den senaste 12-månadersperioden på grund av besvär i nacke och båda skuldrorna.

## Mock-up

En mock-up (modell) av en hjullastarhytt byggdes enligt Volvos hjullastarhytt CareCab II, med avseende på skop-/gripreglagens, stolens, rattens och pedalerens placeringar (figur 6). För att med kameror kunna filma och följa försökspersonens arbetsställning och rörelse fanns inga väggar, tak och glasrutor.

Vid försöken användes två olika typer av spakar för skop-/gripstyrning, linjärspakar respektive joystick (en-spaksventil el. koordinatspak, figur 7). Fästet för spakarna var utformat så att spakarna kunde ställas in i olika positioner och vinklar i förhållande till stolen.

Motståndet i linjärspakar och pedaler vid aktivering mättes upp med dynamometrar i en hjullastare av modell L220D med motorn påslagen. Hos linjärspakarna var det ca 15 N i respektive spak, hos gaspedalen ca 128 N och hos bromspedalen ca 246 N. Dessutom jämfördes de uppmätta värdena med diagram från Volvo Wheel Loaders AB som visade motståndet i linjärspakar och pedaler. Motståndet

i linjärspakarna består främst av den inbyggda fjädringen och därför behövdes inget ytterligare motstånd byggas in i reglagestället i mock-upen. Detsamma gällde för bromspedalen. I gaspedalen byggdes däremot en fjäder in för att erhålla det uppmätta motståndet.

Armstöd med CDC på vänster sida om föraren installerades inte, då enbart höger sida filmades.



*Figur 6. Den i försöken använda hyttmock-upen med linjärspakar, stol, ratt och pedaler.*



*Figur 7. Joysticken som användes i försöken.*



Stolen i mock-upen utgjorde en modifierad Volvo original förarstol (ISRI® Type ISRI6000/577). Modifieringen bestod i att sitsen var utbytt mot en s.k. coxitsits (Euroflex System AB) där den främre tredjedelen av sitsen kan vinklas ner steglöst med hjälp av gångjärn. Gasfjädrar monterades så att den delen av sitsen som vinklades ner innehöll ett givet motstånd, vilket medförde att låren fick mer stöd. Stolen var monterad på en elektriskt driven och styrd höjningsmekanism (Sit Right RKN AB) med vilken försökspersonerna kunde ställa in sitthöjden steglöst från ca 42 till 67 cm höjd över golvet (figur 8).



Figur 8. Den modifierade prototypstolen som användes i försöken.

## Mätmetodik

### Kroppsposition och rörelse

Försökspersonernas position och rörelse mättes med ett tredimensionellt optoelektroniskt mätsystem, MacReflex (Qualisys AB). Systemet registrerar den tredimensionella positionen hos reflexmarkörer. Reflexmarkörerna applicerades på förarens högra skulder-, armbågs-, hand-, knä- och fotled samt på olika segment (hand, fot och lår). Reflexmarkörernas position visas i figur 9.

Sitthöjden mättes enligt definitionen för stolens referenspunkt (SRP), som är den punkt där sitsen och ryggstödet möts mitt på stolen (SS 2863). Det vinkelräta avståndet från pedaler till SRP i längsled mättes från en referenspunkt placerad där hälen tar i golvet då foten är placerad på bromspedalen (den s.k. heelpoint). Både sitt höjd och position i längsled mättes med försökspersonen sittande kvar i stolen. En reflexmarkör var placerad på reglagestället och en på armstödet för registrering av deras respektive position.

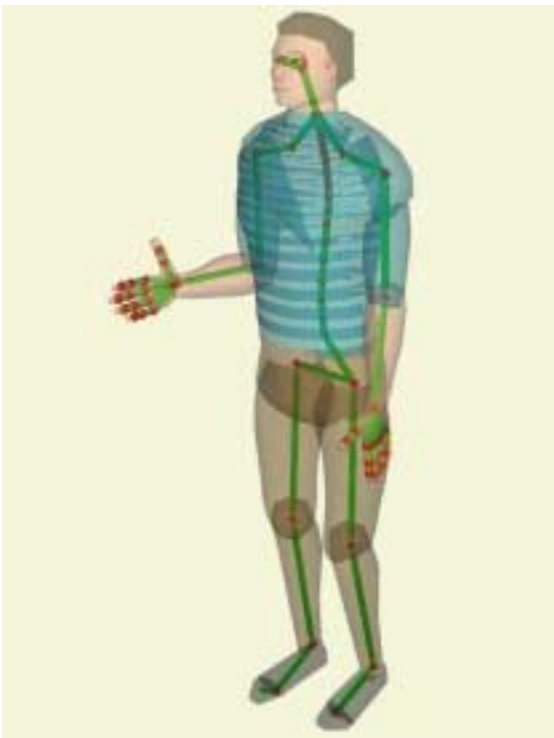
För att dessutom erhålla ett bildokument av hela förloppet användes en analog S-VHS-C videokamera och en digital videokamera tillsammans med en Video Quad processor, en videobandspelare och en monitor för att bildmässigt spela in föraren och hur han/hon arbetade i mock-upen.



Figur 9. Bild över reflexmarkörernas placering på försökspersonen. Reflexmarkörerna på reglageställ och armstöd är inte monterade i bilden.

## Belastningsanalys

De uppmätta positionerna och rörelserna från försökspersonerna matades in i simuleringsprogrammet Jack® version 2.2i (EDS). Jack® är ett program särskilt utvecklat för simulering av människofigurer, s.k. manikiner. Manikinerna (manliga eller kvinnliga) är uppbyggda av 69 segment och 68 leder (figur 10).



Figur 10. Bild på Jack och hur manikinen är uppbyggd.

Programmet simulerar och animerar kroppsställningar och arbetsrörelser i realtid. Det innehåller en rad olika analysverktyg för att studera t.ex. synfält, räckvidd och komfort hos manikiner med olika antropometri. Dessutom kan olika belastnings-

analyser utföras, såsom ”static strength prediction” (University of Michigan, USA) med beräkning av vridmoment kring olika leder.

Manikinen skalades till respektive försökspersons längd och vikt och positionerades i den virtuella mock-uppen med hjälp av tredimensionella positionsdata från reflexmarkörerna (figur 11). Då manikinens proportioner mellan över- och underkropp inte överensstämde med försökspersonernas användes videofilmerna för att i bästa möjliga mån positionera manikinen så nära respektive försökspersons verkliga kroppsposition som möjligt. I vissa fall var det även nödvändigt att modifiera de antropometriska segmentstorlekarna hos manikinen för att de bättre skulle överensstämma med respektive försöksperson. Längd och vikt hos manikinen överensstämde dock alltid med respektive försöksperson.

Spakkräfterna gavs i simuleringarna värdet 20 N och pedalkräfterna gavs värdet 240 N. Spakkräfterna applicerades i handen med riktningen rakt bakåt medan pedalkräften applicerades i höger fot med riktningen bakåt–uppåt i 45 graders vinkel. För att simulera pedalkräften lades även en stödkraft om 100 N på låret med riktningen rakt uppåt för att först erhålla jämvikt i höftleden, dvs. så att vridmomentet i leden blev nära 0 Nm. Måttet på belastningen definierades som vridmomentet i skuldra och höft.



Figur 11. Exempel på manikin positionerad i Jack®

### ***Känslighetsanalys***

En känslighetsanalys gjordes i Jack® för att se hur skulderledsbelastningen varierade. Denna gjordes med manikin FP7. Dels förändrades spakplaceringen, dels förändrades spakkräftens storlek. Analysen gjordes för båda spaktyperna och för normal samt hög sitshöjd och normal och valfri spakplacering. Spakplaceringen ändrades (i färdriktningen) 10 cm upp, ner, höger, bakåt samt

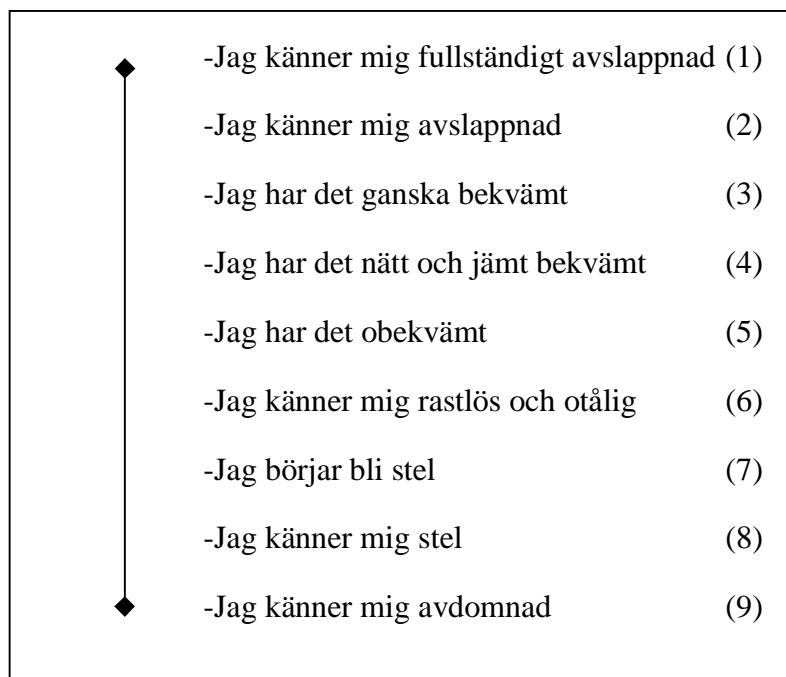
10 cm bakåt och neråt samtidigt. I den andra analysen jämfördes skulderledsbelastningen vid spakkrafterna 0, 20, 50, 100 och 200 N med varandra. Vid denna analys användes positionen för normal spakplacering.

## Frågeformulär

Försökspersonerna fick fylla i två frågeformulär (modifierade efter Shackel et al., 1969) under och efter försöket, då de hade suttit ungefär 2 timmar i stolen i till största delen förhöjd sittställning.

Det ena formuläret rörde uppfattningen av stol, ryggstöd och arbetsfunktion (efter Chair Feature Checklist). Det inleddes med tre frågor rörande förarens uppfattning av sitsen, om den kändes smal eller bred, kort eller djup respektive mjuk eller hård. Skalan var femgradig (från ett till fem), där ett stod för smal, kort respektive mjuk sits och fem för bred, djup respektive hård sits. De fem sista frågorna rörde förarens uppfattning om ryggstöd, möjligheter till manövrering av pedal, spak och ratt respektive total arbetsfunktion. Även denna skala var femgradig, där ett innebar dålig och fem bra. Databearbetningen bestod här i att beräkna medelvärde och SD utifrån de av försökspersonerna inringade eller förkryssade siffrorna för respektive fråga.

I det andra frågeformuläret skulle försökspersonerna beskriva hur avslappnade de kände sig i kroppen genom att markera var som helst på en linje med nio olika tillstånd beskrivna (efter General Area Comfort Ranking). Frågeformuläret och linjen visas i figur 12. Avståndet till markeringarna mättes upp med linjal. Siffrorna som visas i figuren användes enbart vid analysen av resultaten och fanns inte med på det formulär som visades för försökspersonerna.



Figur 12. Frågeformulär om hur avslappnade förarna kände sig (siffrorna inom parentes visades ej för försökspersonen).

## Procedur

Försöken började med att försökspersonen fick information om vad som skulle hända under försöket. En kort beskrivning av försöksutrustningen och mätmetodiken gavs också. Sedan mättes förarens längd och vikt. Föraren fick svara på frågor om sin ålder, antal körår med hjullastare, hur många år han/hon arbetat med sina nuvarande arbetsuppgifter samt vad de innebar. Föraren fick slutligen fylla i frågeformuläret om muskuloskeletal besvär.

Försökspersonen fick sätta på sig en mörk åtsittande tröja (av typen underställ) för att reflexmarkörerna skulle synas bra samt sitta kvar då föraren rörde sig.

Mätningarna med Mac Reflex började med att de sfäriska reflexmarkörerna tejpadades fast på föraren. Därefter instruerades föraren att ställa in stol, ratt och armstöd efter hur han/hon ville ha det med tanke på den normala arbetsställningen i det dagliga arbetet. Det innebär att spakarna i början av försöket alltid hade ”normal” placering. Den typ av spak som användes först slumpades enligt tabellen nedan (tabell 2).

Tabell 2. Första spaken som filmades med Mac Reflex för respektive försöksperson.

Försöksperson	Spaktyp	
	linjärspak	joystick
FP1	✓	
FP2	✓	
FP3		✓
FP4		✓
FP5	✓	
FP6	✓	
Fp7	✓	
FP8		✓
FP9		✓
FP10	✓	

Försöket började med två mätningar med stolen och de båda spaktyperna i normalposition. Sedan gjordes en mätning med försökspersonen sittande i förhöjd (hög) sittställning men med en spaktyp i oförändrat läge och därefter en fjärde mätning med samma spaktyp i valfri spakposition med stolen kvar i förhöjt läge. Slutligen gjordes de två sista mätningarna om men med den andra spaktypen. Det innebär att för varje försök med en försöksperson gjordes upp till sex mätningar beroende på om försökspersonen ville ändra spakens placering vid mätning fyra och sex. Ett exempel på hur ett försök med linjärspakar gjordes visas i tabell 3.

Tabell 3. Exempel på hur försöket kunde se ut om föraren började med linjärspak.

Mätning nr	Spak	Sitthöjd	Spakplacering
1	Linjärspak	Normal	Normal
2	Joystick	Normal	Normal
3	Joystick	Hög	Normal
4	Joystick	Hög	Valfri
5	Linjärspak	Hög	Normal
6	Linjärspak	Hög	Valfri

Försökspersonerna fick instruktioner om att under mätningarna manövrera reglagen ungefär på samma sätt som de gör i arbetet, dvs. de fick först trampa ner (aktivera) gaspedalen och sedan föra spakreglaget framåt, bakåt, åt höger och åt vänster. Sidorörelserna utfördes endast med joysticken. Efter försöket fick de fylla i frågeformulären om sin uppfattning av stol, ryggstöd och arbetsfunktion respektive hur avslappnade de kände sig.

## Resultat

### Sits- och spakposition

Medelvärdet för försökspersonernas självvalda sitshöjder var 46,7 cm vid normal sittställning respektive 53,8 cm vid hög sittställning (tabell 4). De höjde således sitsen i genomsnitt 7,1 cm. Den lägsta sitthöjden som uppmättes var 43 cm och den högsta var 61 cm.

Tabell 4. Försökspersonernas självvalda sitshöjder i försöket (cm) samt medelvärde och SD för dessa.

	Normal	Hög	Differens
FP1	49	55	6
FP2	53	61	8
FP3	49	56	7
FP4	45	51	6
FP5	44	52	8
FP6	48	57	9
FP7	47	54	7
FP8	43	49	6
FP9	45	50	5
FP10	44	53	9
Medelvärde	46,7	53,8	7,1
SD	3,1	3,6	1,4

Förändring av spakplacering gjordes av sju försökspersoner för båda spaktyperna. De övriga tre bibehöll således den ursprungliga spakpositionen och för dessa utfördes ingen mätning för hög sitshöjd med valfri spakplacering. Tabell 5 visar försökspersonernas förändring av placeringen av de två spaktyperna i längdled och höjddled. Samtliga försökspersoner valde att låta spakarnas placering i sidled vara oförändrad. I tabell 5 gäller positiva tal för riktningarna framåt (färdriktningen) respektive uppåt.

Medelvärdet för höjningen av linjärspakarna var 5,4 cm och för joysticken 4,1 cm. Den förändring som uppstod i längdled samverkar med höjningen av spakarna då en sådan förde spakarna framåt. Förändringen i längdled uppgick dock som mest till 3,2 cm vid en höjning av 9,1 cm. En försöksperson (FP7) avvek från de övriga genom att han valde att placera linjärspaken 2,4 cm bakåt och 1,3 cm uppåt och joysticken 5,2 cm bakåt.

Tabell 5. Förändring mellan normal och valfri spakplacering i försöket (cm) samt medelvärde och SD för dessa.

	Linjärspak		Joystick	
	Längdled	Höjdled	Längdled	Höjdled
FP1	0,2	4,6	1,2	3,3
FP2	2,2	8,9	1,2	4,2
FP3	1,0	2,4	2,9	6,2
FP4	3,2	9,1	3,4	6,9
FP5	2,5	6,9	2,1	6,2
FP6	-*	-*	0,7	1,9
FP7	-2,4	1,3	-5,2	-0,1
FP8	2,0	4,5	-*	-*
FP9	-*	-*	-*	-*
FP10	-*	-*	-*	-*
Medelvärde	1,2	5,4	0,9	4,1
SD	1,9	3,0	2,9	2,6

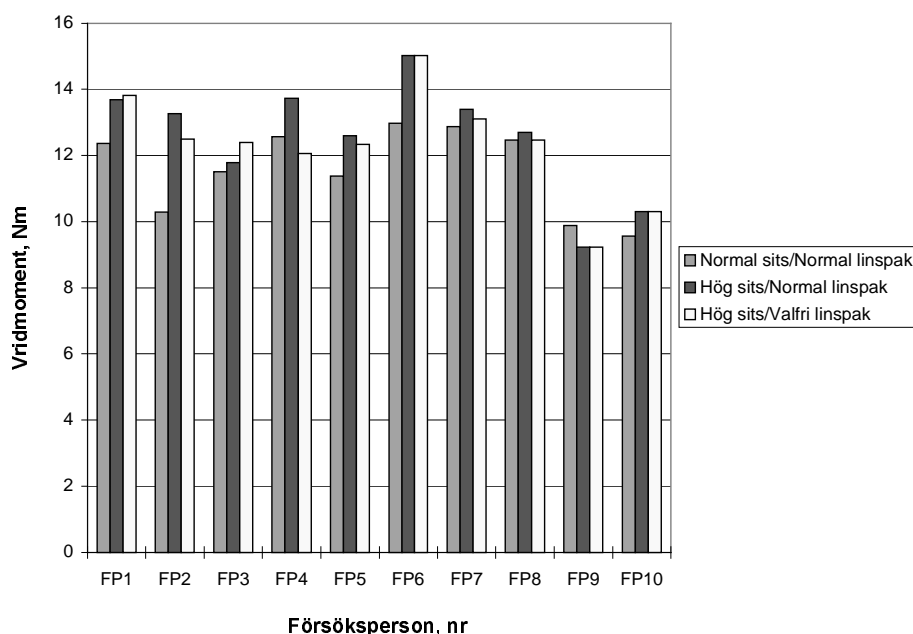
\* ingen förändring av reglagets placering

## Belastningsanalys

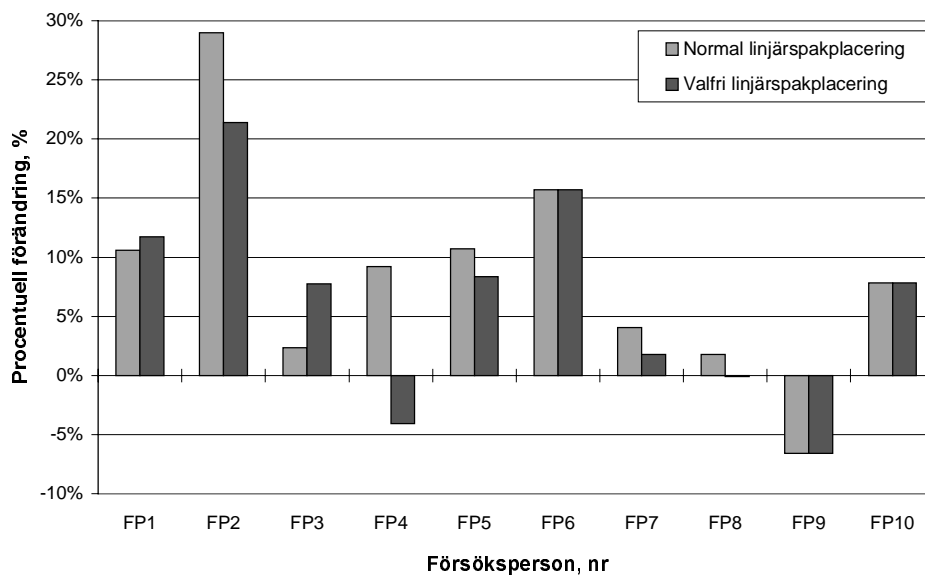
### Skulderledsbelastning

#### Linjärspak

Skulderledsbelastningen och den procentuella förändringen av densamma visas i figur 13 respektive 14. Skulderledsbelastningen ökade i genomsnitt från 11,6 Nm (SD 1,3) till 12,6 Nm (SD 1,7) då sitsen höjdes från normal sittställning till hög med oförändrad position av spakarna. Sedan minskade momentet till 12,3 Nm (SD 1,6) vid förhöjd sittställning och spaken flyttades från normal till valfri spakplacering. Detta motsvarade en procentuell ökning med 8,5% i första fallet och med 6,4% i det andra fallet jämfört med normal sittställning.



Figur 13. Simulerad skulderledsbelastning vid försöken med linjärspak.



Figur 14. Procentuell förändring av skulderledsbelastningen från normal till hög sitt höjd med linjärspaken.

Tabell 6 visar medelvärden och SD för överarmsflexion, -abduktion och armbågsvinkel under försöken med linjärspak.

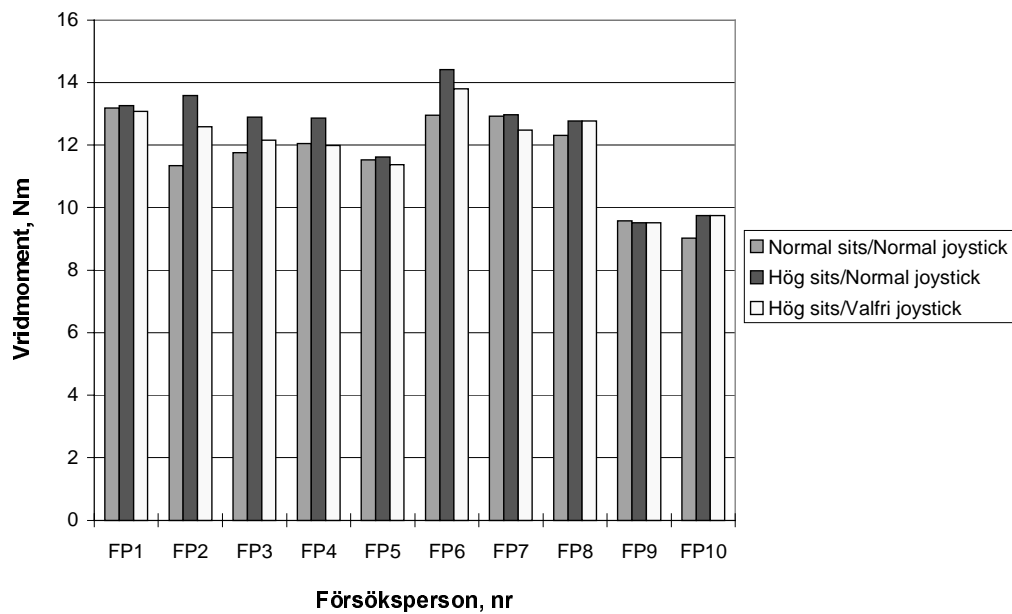
Tabell 6. Medelvärde och SD för överarmsflexion, -abduktion och armbågsvinkel vid manövrering av linjärspak.

	Överarmsflexion		Överarmsabduktion		Armbågsvinkel	
	Medel	SD	Medel	SD	Medel	SD
Normal sits/Normal spakplacering	4,5	8,0	24,4	6,5	118,9	11,4
Hög sits/Normal spakplacering	4,6	7,8	22,1	4,3	132,6	14,5
Hög sits/Valfri spakplacering	5,1	7,3	24,3	2,4	126,8	14,6

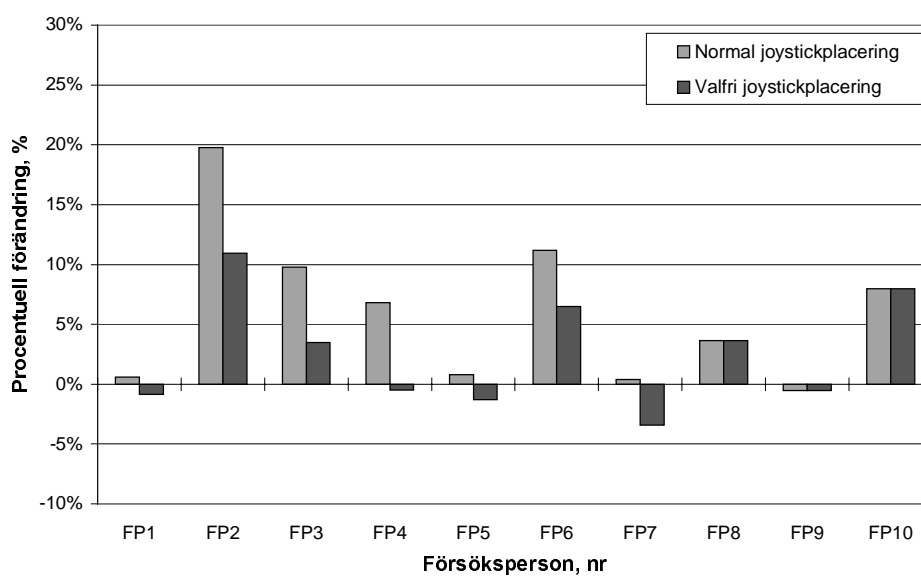
### Joystick

Skulderledsbelastningen ökade i genomsnitt med 6,0% från 11,7 Nm (SD 1,4) till 12,4 Nm (SD 1,6) då sitsen höjdes från låg till förhöjd sittställning med oförändrad position av spaken och minskade sedan till 11,9 Nm (SD 1,4) vid förhöjd sittställning och spaken flyttades från normal till hög spakplacering, vilket blev 2,6% över den ursprungliga belastningsnivån. Skulderledsbelastningen och den procentuella förändringen visas i figur 15 respektive 16.





Figur 15. Simulerad skulderledsbelastning (Nm) vid försöken med joystick.



Figur 16. Procentuell förändring av skulderledsbelastningen från normal till hög sitthöjd med joystick-spaken.

Tabell 7 visar medelvärde och SD för överarmsflexion och -abduktion samt genomsnittlig armbågsvinkel vid försöken med joystick.

Tabell 7. Medelvärde och SD för överarmsflexion, -abduktion och armbågsvinkel vid manövrering av joystick.

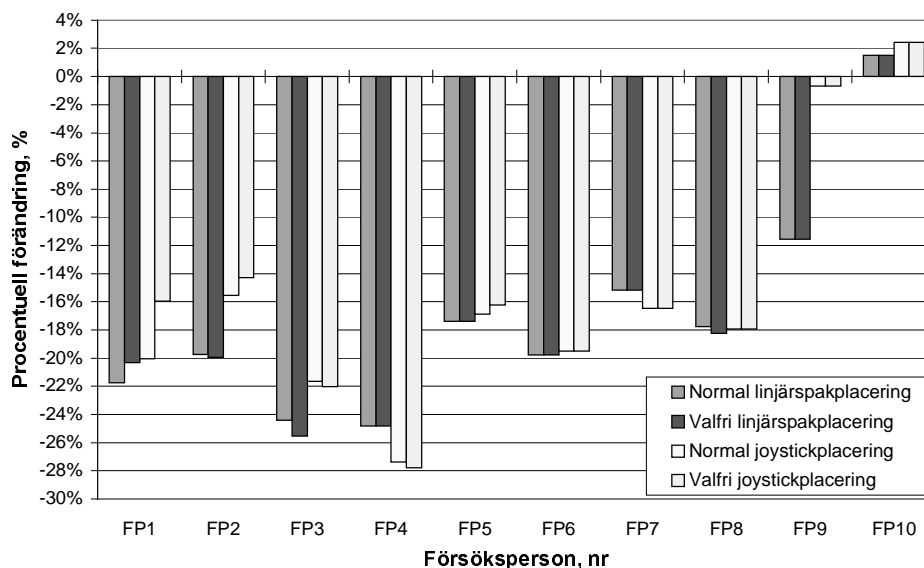
	Överarmsflexion		Överarmsabduktion		Armbågsvinkel	
	Medel	SD	Medel	SD	Medel	SD
Normal sits/ Normal spakplacering	6,6	7,3	25,1	7,7	119,7	12,1
Hög sits/Normal spakplacering	3,6	7,3	22,6	5,5	127,5	14,0
Hög sits/Valfri spakplacering	3,8	7,2	23,8	4,8	123,9	13,0

### Höftledsbelastning

Höftledsbelastningen minskade i genomsnitt med 17,1% från 67,2 Nm (SD 9,4) till 55,5 Nm (SD 7,5) då sitsen höjdes från normal till förhöjd sittställning vid försöken med linjärspak, och minskade 15,1% till 56,8 Nm (SD 7,6) vid försöken med joystick. Spakarnas position påverkade inte höftledsbelastningen. Höftledsbelastningen och dess procentuella förändring visas i tabell 8 respektive figur 17.

Tabell 8. Simulerad höftledsbelastning (Nm) vid normal och förhöjd sittställning uppdelat på spaktyp och spakplacering samt medelvärde och SD för desamma.

	Normal sitthöjd		Hög sitthöjd			
	Normal linjärspak	Normal joystick	Normal linjärspak	Valfri linjärspak	Normal joystick	Valfri joystick
FP1	82,7	81,6	64,7	65,9	65,3	68,6
FP2	64,3	64,2	51,6	51,5	54,3	55,1
FP3	59,0	59,0	44,6	43,9	46,2	46,0
FP4	59,7	60,9	44,9	44,9	44,2	44,0
FP5	73,8	73,6	61,0	61,0	61,2	61,7
FP6	67,0	66,8	53,7	53,7	53,8	53,8
FP7	66,4	66,4	56,3	56,3	55,5	55,5
FP8	82,3	82,3	67,7	67,3	67,5	67,5
FP9	60,5	60,5	53,5	53,5	60,1	60,1
FP10	56,6	56,1	57,4	57,4	57,4	57,4
M	67,2	67,1	55,5		56,8	
SD	9,4	9,2	7,5		7,6	



Figur 17. Procentuell förändring av höftledsbelastningen vid förändring från normal till förhöjd sittställning.

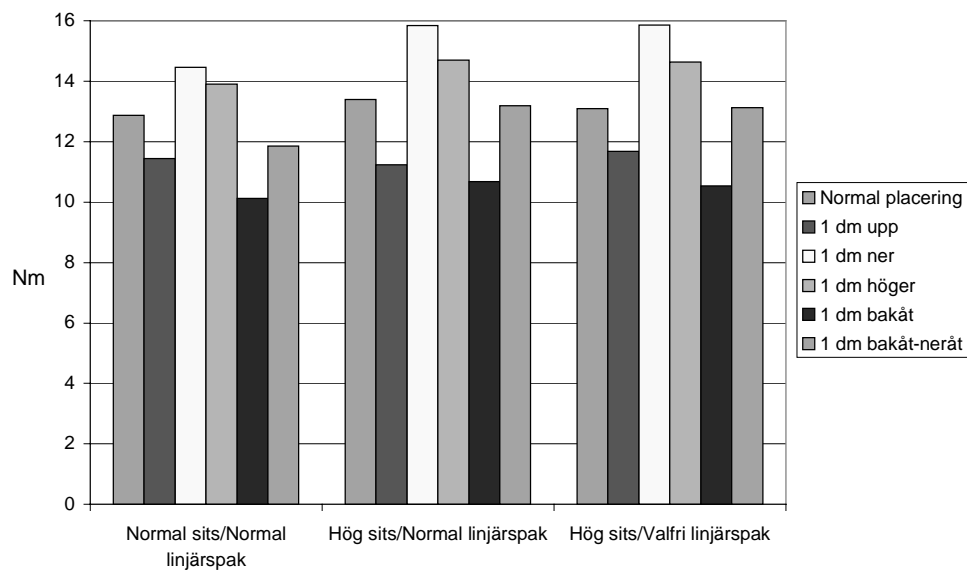
Tabell 9 nedan visar den genomsnittliga höftledsvinkeln vid normal och förhöjd sittställning för både normal och valfri spakplacering av linjärspaken och joystick. I genomsnitt ökade höftledsvinkeln med 7 ° vid båda spaktyperna.

Tabell 9. Medelvärde och SD för höftledsvinkeln vid normal och hög sitthöjd.

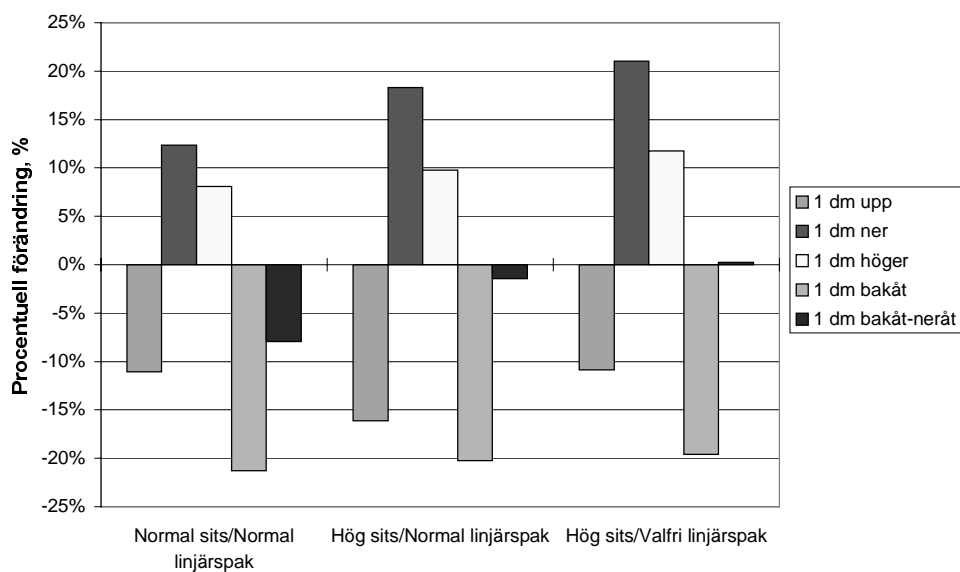
	Linjärspak		Joystick	
	Medel	SD	Medel	SD
Normal sits/Normal spakplacering	104,8	5,3	105,3	5,9
Hög sits/Normal & valfri spakplacering	112,4	5,0	111,7	5,9

## Känslighetsanalys

Skulderledsbelastningen minskade då linjärspaken flyttades 10 cm uppåt, bakåt och bakåt–nedåt. Minskningen av belastningen i skulderleden uppgick som mest till 21%. Skulderledsbelastningen ökade när linjärspaken flyttades nedåt och åt höger. Även här uppgick förändringen som mest till 21 %. Skulderledsbelastning när linjärspaken flyttades 10 cm i olika riktningar visas i figur 18 och den procentuella förändringen visas i figur 19. Skulderledsbelastningen var av samma storlek då joysticken flyttades på motsvarande sätt, därför redovisas här endast resultaten från analysen med linjärspakar.

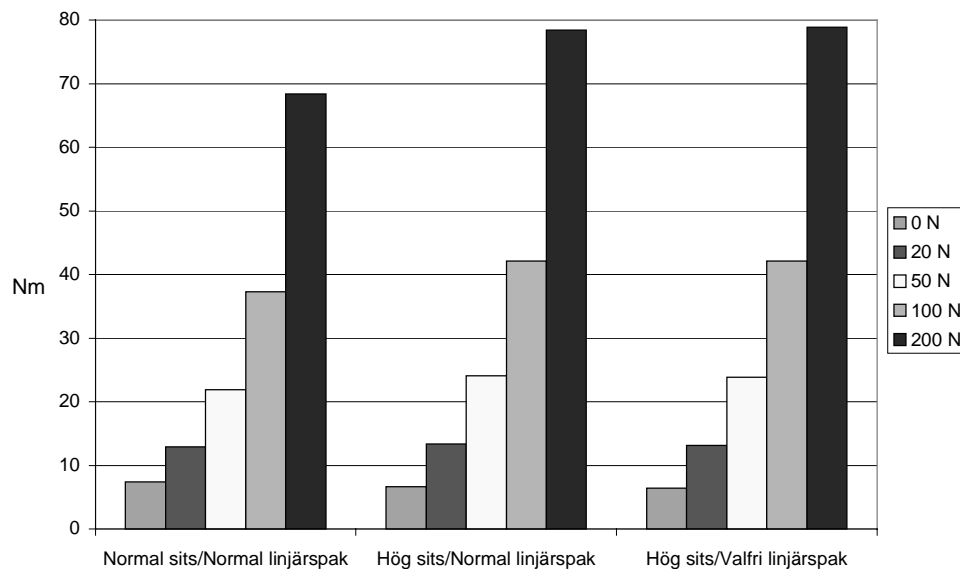


Figur 18. Skulderledsbelastningen (Nm) vid olika linjärspakplaceringar.

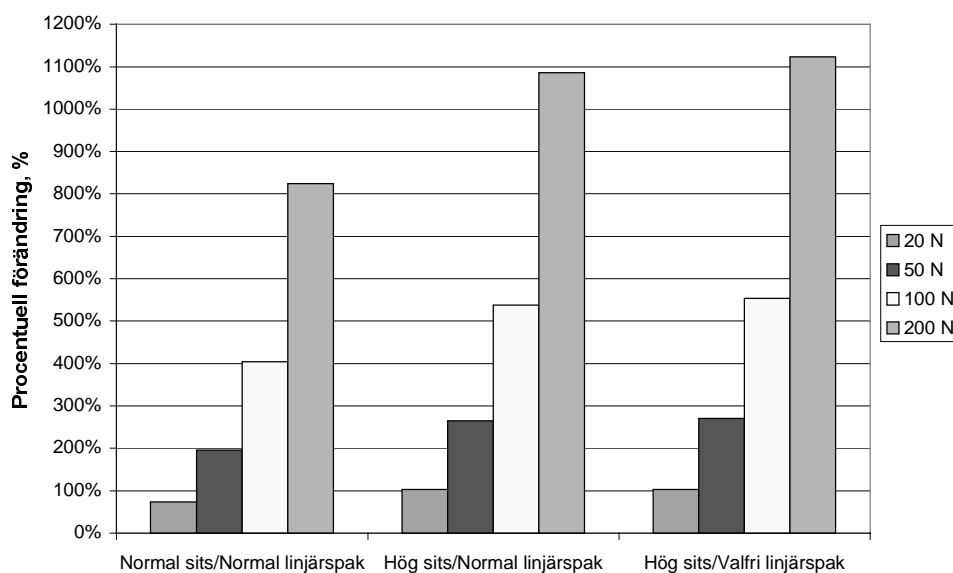


Figur 19. Den procentuella förändringen i skulderledsbelastningen vid olika linjärspakplaceringar.

Känslighetsanalysen vid förändring av spakkrifter visade att skulderledsbelastningen ökade i samma storleksordning som spakraften. Även här gällde detta både linjärspak och joystick. Därför redovisas även här endast känslighetsanalysen för linjärspaketen i figur 20 och 21 nedan.



Figur 20. Skulderledsbelastning vid olika storlek på motståndet i linjärspaketen vid manövrering av densamma.



Figur 21. Den procentuella förändringen i skulderledsbelastningen vid förändringen i motståndet i linjärspaketen vid manövrering av densamma.

## Komfort och arbetsfunktion

Tabell 10 visar medelvärdet på vad de tio förarna tyckte om komforten och möjligheten till att manövrera reglagen i mock-upen vid olika sitthöjd.

Tabell 10. Medelvärde och SD för upplevd stolsutformning, komfort och arbetsfunktion.

	Normal sitshöjd		Hög sitshöjd	
	Medel	SD	Medel	SD
Sits (smal–bred)	2,8	0,4	2,8	0,4
Sits (kort–djup)	2,9	0,3	2,8	0,6
Sits (mjuk–hård)	3,2	0,4	3,5	0,7
Ryggstöd	3,9	0,7	4,0	0,8
Pedalmanövrering	4,8	0,6	4,1	0,9
Spakmanövrering	4,7	0,7	4,5	1,0
Rattmanövrering	4,2	1,0	4,1	0,9
Total arbetsfunktion	4,2	0,6	3,8	1,0

Vad gällde formuläret om hur avslappnade förarna kände sig tyckte förarna att de satt mest avslappnat på den lägre sitshöjden, vilket gav ett värde på 1,7 (SD 0,7) jämfört med 2,9 (SD 1,8) för den högre sitshöjden.

## Sammanfattning av resultat

Förarna valde att i försöket höja stolen med i medeltal 7,1 cm när de instruerades att sitta i förhöjd sittställning. När de, sittande i förhöjd sittställning, skulle välja valfri spakplacering valde de att höja linjärspaken med i medeltal 5,4 cm och joysticken med i medeltal 4,1 cm.

Vid försöken med linjärspakar ökade skulderledsbelastningen med 8,5 % från normal till förhöjd sittställning med normal spakplacering och ökade med 6,4 % från normal till förhöjd sittställning med valfri spakplacering. Förändringarna i överarmsflexion och överarmsabduktion var små emedan armbågsvinkeln ökade med 14° när förarna ändrade sin sittställning från normal till förhöjd sittställning med normal spakplacering och med 8° när förarna ändrade sin sittställning från normal till förhöjd med valfri spakplacering.

Vid försöken med joystick ökade skulderledsbelastningen i genomsnitt med 6% då föraren förändrade sin sittställning från normal till förhöjd med bibehållen spakplacering och med 2,6 % vid förändring från normal till förhöjd sittställning med valfri spakplacering. Förändringarna i överarmsflexion, -abduktion och armbågsvinkel var här genomgående små.

Höftledsbelastningen minskade med i genomsnitt 17,1% då sitsen höjdes från normal till förhöjd sittställning vid manövrering av linjärspak och minskade med 15,1 % vid manövrering av joystick. Höftledsvinkeln ökade med 8° vid manövrering med linjärspak och med 7° vid manövrering med joystick. Vad gäller komfort och arbetsfunktion rankades sits, ryggstöd, spak- och rattmanövrering lika mellan normal och förhöjd sittställning. Pedalmanövrering och total

arbetsfunktion rankades något lägre sittande i förhöjd sittställning. Förarna ansåg att de satt något mindre avslappnade i förhöjd sittställning.

## Diskussion

Denna studie visar på vikten av att föraren kan ställa in stol och spakar efter egna önskemål, grundade på egna preferenser. Henriksson (2000) visade i sin studie att arbetsuppgifterna som utförs varierar stort, och då analyserades endast sju arbetsuppgifter. Eftersom marknaden för hjullastare är global kan antalet arbetsuppgifter varieras på ett antal olika sätt. Dessutom har förarna olika antropometri, de är olika tränade fysiskt, etc. Detta innebär att förarmiljön i hjullastare bör göras så flexibel som möjligt. Enskilda förare måste ha möjlighet att kunna ställa in sin arbetsställning efter egna preferenser. Dessutom måste arbetsställningen lätt kunna varieras under arbete, dvs. det ska vara lätt att göra inställningar av stol, ratt, reglage etc. Det kan tyckas att detta inte är något nytt i sammanhanget, men det tål att påpekas återigen, då det visas så tydligt i dessa projekt. Kravet på flexibilitet medför att hytten bör göras större, med större innermått, så att föraren får möjlighet att kunna göra de önskade inställningarna.

I försöken valde förarna att öka sitthöjden mer än spakhöjden när de fick välja fritt. Detta skulle kunna betyda att dagens reglage är placerade för högt. Tre försökspersoner valde dessutom att inte förändra spakplaceringen från den normala när de satt i förhöjd sittställning vilket också tyder på att de tyckte det var skönt att sitta med reglagen placerade något lägre än vad de vanligen arbetar med. Tyvärr var också mock-upen otympligt konstruerad i detta fall, det tog tid för forskningspersonalen att flytta reglagestället, vilket kan ha påverkat förarnas val att framförallt flytta reglagen i höjdd. Endast en förare valde att inte höja båda spaktyperna utan flyttade istället spaken mestadels bakåt.

Skulderledsbelastningen ökade hos nio av de tio förarna när de förändrade sitthöjden från normal till förhöjd sittställning vid normal spakplacering. Detta gällde både med linjärspak och joystick. När de sedan valde valfri spakplacering minskade skulderledsbelastningen hos fem förare vid försöken med linjärspak och hos sju förare vid försöken med joystick. Tre förare valde att inte ändra spakplaceringen med respektive spak. Hos dessa var sålunda belastningen densamma. Det var endast två förare som vid fritt vald spakplacering med linjärspakarna erhöll högre skulderledsbelastning jämfört med förhöjd sittställning och normal spakplacering.

Höftledsbelastningen var lägre hos samtliga förare utom en vid sittande i förhöjd jämfört med normal sittställning. När förarna väljer sin sittställning tar de hänsyn till en rad faktorer om vilka både vi och förarna till viss del är omedvetna. Men resultaten i denna studie tyder ändå på att förarna väljer en så bra sittställning som det är möjligt utifrån de givna förutsättningarna. Detta visar på vikten av att förare har möjlighet att fritt välja arbetsställning under sitt arbete och att kunna variera den. Höftledsmomentet hos en förare ökade vid sittande förhöjt jämfört med i normal sittställning. Detta var den enda kvinnan som deltog i försöket. Hon var kortare och lättare än de övriga förarna samtidigt som hon var en av de två förare som höjde stolen mest i försöket. Detta kan indikera att om stolen höjs för mycket så ökar höftledsbelastningen och sittande i för hög sittställning inte bör rekommenderas.

I känslighetsanalysen, som genomfördes före försöket, valde vi något för stora förändringar av spakplaceringarna. Men om förändringen i skulderleden vid flyttning av spaken i en riktning antas vara linjär så torde en cm flyttning av spaken rakt bakåt ge en förändring i skulderledsbelastningen på ca 2%. Vid positioneringen av förarnas arbetsställning i Jack® användes både reflexmarkörerna och videoupptagningarna. Det innebär att det fel som försökspersonalen kan ha infört i analysen torde vara marginellt men inte kan uteslutas.

Känslighetsanalysen visar att flyttning av spaken uppåt och bakåt gav de största förändringarna i skulderledsbelastningen. Tyvärr medförde i försöken en förändring uppåt att spaken samtidigt flyttades framåt. Den förare som uttryckligen flyttade spaken bakåt erhöll i försöken också minskad skulderledsbelastning. Samtidigt är det svårt att uttala sig om enskilda försökspersoner då en annan försöksperson erhöll minskad skulderledsbelastning trots en bibehållen spakplacering. Skulderledsbelastningen var i detta fall lägre än där föraren satt i normal sittställning.

Simuleringsprogrammet Jack® är endast ett verktyg för att göra ungefärliga beräkningar av belastningar i leder och inte ett exakt sådant. Jack® kan endast simulera statiska händelser, vilket försvårar analysen av resultatet. Jämförs dock simulerade värden med varandra kan slutsatser dras om huruvida en arbetsställning är bättre än en annan.

## Slutsatser

Resultaten från denna studie visar att höftledsbelastningen minskar när föraren sitter i förhöjd sittställning. Dessutom visar resultaten på vikten av flexibilitet i förarhytten. Med hjullastare utförs en rad olikartade arbetsuppgifter. Dessa utförs av förare med olika antropometri, kön och kulturell bakgrund, särskilt som marknaden för hjullastare är global och antalet arbetsuppgifter kan varieras på ett antal olika sätt. Stol, ratt, reglage och pedaler bör kunna ställas in efter individers olika önskemål om sittställning. Det bör vara lätt att förändra sittställningen under arbete, så att föraren kan erhålla nödvändig variation i sitt arbete. Med en ökad flexibilitet ges föraren möjlighet att optimera sin egen skulderledsbelastning, vilken då sannolikt kan komma att sjunka. Kravet på flexibilitet medför att hytten bör göras större, med större innermått, så att föraren får möjlighet att kunna göra de önskade inställningarna.



## Referenser

- Adolfsson, N. 2001. *Höftledsbelastning vid pedalaktivering under traktorkörning*. Institutionsmeddelande 2001:02. Inst. för Lantbruksteknik, SLU, Uppsala.
- Emgardsson, P. 1995. *Du får vad du betalar för*. Lantmannen nr 1, pp 34-41.
- Flam, P., Linder, M., Norlander, S. & Andersson, B. 1992. *Förarmiljö i grävmaskiner*. Rapport 90-1519. Statens Maskinprovningar. Uppsala.
- Frumerie, G. (red.) 1998. *Nordiska ergonomiska riktlinjer för skogsmaskiner*. ISBN 91 7614 091 1. SkogForsk, Uppsala, Sweden.
- Hansson, J-E., Kihlberg, S., Andersson, L., Aoki, M., Carlsöö, S., Friberg, M., Isaksson, A. & Wilhelmi, T. 1992a. *Ergonomic parameters for the driver's workplace*. Undersökningsrapport 23. Arbetsmiljöinstitutet. Solna.
- Hansson, J-E., Kihlberg, S., Andersson, L., Friberg, M., Isaksson, A., Wilhelmi, T. 1992b. *Förararbetsplatser. Maximal förmåga till kroppsvridning samt maximal förmåga till kraftutveckling vid reglagemanövrering*. Arbete & Hälsa 1992:14. Arbetslivsinstitutet, Solna.
- Hansson, M. K. J. 1998. *Komfort och funktion med sadelstol i jordbrukstraktor*. Institutionsmeddelande 98:02, Ins. för lantbruksteknik, SLU, Uppsala.
- Henriksson, J. 2000. *Exponering för reglageaktivering i anläggningsmaskiner*. Institutionsmeddelande 2000:08. Inst. för lantbruksteknik, SLU, Uppsala.
- Kroemer, K. H. E. & Grandjean, E. 1997. *Fitting the task to the human – A textbook of occupational ergonomics*. 5:e uppl. Taylor and Francis. London.
- Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, Å., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G. and Jørgensen, K. 1987. *Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms*. Appl Ergon 18(3), 233-237
- Mathiassen, S.E. 1993. *Variation in shoulder-neck activity. Physiological, psychophysical and methodological studies of isometric exercise and light assembly work*. Arbete och hälsa 1993:7. Arbetsmiljöinstitutet. Solna.
- Shackel, B., Chidsey, K. D. & Shipley, P. 1969. *The assessment of Chair comfort*. Ergonomics 12(2), pp 269-306.
- SS 2863. *Lantbruk - lantbrukstraktorer och lantbruksmaskiner - förarstolens referenspunkt*.
- Torén, A. 1999. *Twisted trunk postures during tractor driving –with special reference to low-back load and exposure*. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria 144.
- Torén, A., Öberg, K & Henriksson, J. 2000. *The use of levers and pedals in wheel loaders – frequency and duration*. Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress, San Diego, USA, vol 5, p 373.
- Torén, A., Adolfsson, N., Henriksson, J. & Öberg, K. 2002. *Hand position of wheel loader operators – a pilot study*. Paper for presentation at NES 2002, October 1-3, Kolmården, Norrköping.
- Öberg, K., Adolfsson, N., Torén, A. 2002. *Biomechanical load at sitting postures and locations of control levers during driving of wheel loaders*. Proceedings of the ORP'2002 Congress, February 20-22, Gran Canaria Island, Spain. ISBN 84-931134-8-4.
- Öberg, K., Torén, A. & Hansson, M. 2000. *Saddle seats for tractor drivers – a conceptual study*. Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress, San Diego, USA, vol 3, pp 624-627.
- Öberg, K., Torén, A. & Hansson, M. 1998. *Sadelsits för traktorförare - en konceptuell studie*. Slutrapport Dnr SLF Projektnr 9635008. Stiftelsen lantbruksforskning, 103 55 Stockholm.