

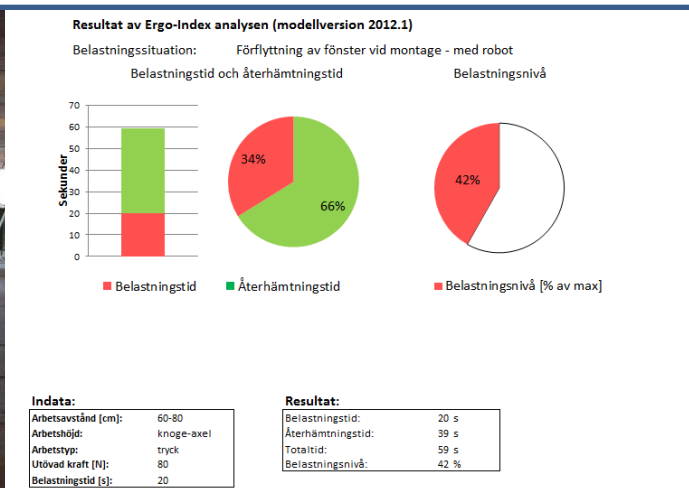
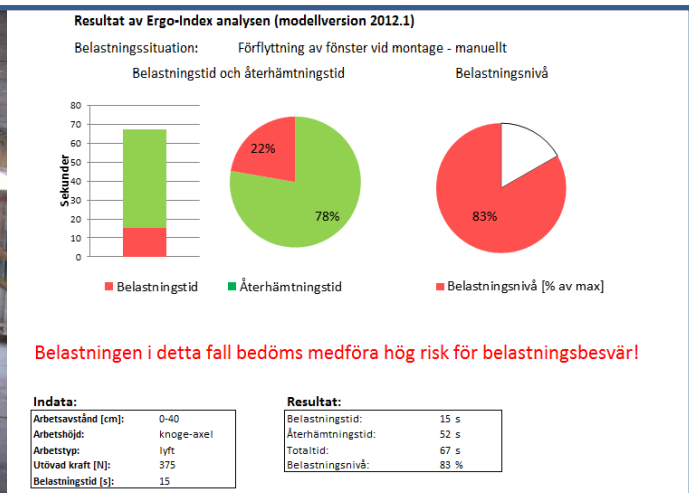


KTH Teknik och hälsa

Slutrapport för projektet (Dnr 0800030)

## Ergo-Index Etapp 2:

Vidareutveckling av metod för analys av produktionsmetoder  
– samband mellan belastningsfaktorer, återhämtning, risk och produktionstid



Linda Rose, KTH STH

Mars 2012



# Sammanfattning

Denna rapport beskriver arbetet med en vidareutveckling av Ergo-Index-modellen, som ursprungligen utvecklades på 1980-talet av en grupp forskare och praktiker. Ergo-Index är avsedd att möjliggöra jämförelser av olika metoder för att utföra en arbetsuppgift på med syfte att stödja valet av arbetsmetoder som skulle vara bättre ur såväl belastningsergonomiskt som tidsperspektiv. Modellresultatet visar bedömningar av återhämtningsbehov, produktionstid och fysisk belastningsnivå. Projektet har genomförts i två delar, varav denna rapport behandlar den andra delen.

Målet har varit att samla relevant information och utveckla Ergo-Index modellen ytterligare, speciellt vad gäller återhämtningsbehov, baserat på en litteraturstudie och en experimentell studie. I den experimentella studien bestämdes maxkrafter liksom subjektivt bestämda uthållighets- och återhämtningstider för 15 olika belastningsfall med olika belastningsnivåer och belastningstider.

Resultaten visade ett tidigare okänt trötthets - belastningsfenomen, nämligen att återhämtningsbehovet var kortast, uttryckt i relativ belastningstid, för en medelbelastningsnivå (30% av max), jämfört med låga (10% av max) och höga (50% av max) belastningsnivåer. Detta medförde en del oväntade svårigheter i projektet. Efter flera omgångar av modellering av uthållighetstid och återhämtningsbehov utvecklades den nya Ergo-Index modellen. Detta gjordes dels genom regressionsanalys, dels genom att använda resultat från andra publicerade studier och även Arbetsmiljöverkets rekommendationer från den Belastningsergonomiska föreskriften AFS 1998:1. Modellutvecklingen beskrivs i rapporten.

Sju exempel av tillämpningar av modellen ges också. Dessa bildar början av en planerad databas där tillämpade exempel samlas för att underlätta användningen av metoden. Arbetsmomenten i exemplen utvärderades också med subjektiva metoder av de medverkande med hjälp av Borgs CR10 skala, en kroppskarta och intervjuer samt foto-och video-dokumenterades.

Den nya modellen bör tillämpas och utvärderas mer än vad som gjorts hittills innan den sprids i större omfattning. Tillämpning och utvärdering är planerad med några företag.

De experimentella resultaten har också använts för att utveckla en prediktionsmodell för upplevd trötthet. Dessutom presenteras en modell för ackumulering av trötthet, baserad på data från den experimentella studien som genomfördes med en repetition. Dessa två sistnämnda modeller har inte testats eller utvärderats, men det föreslås att de utvärderas vid studier av tillämpade repetitiva arbetsmoment. Dessa resultat kan också användas för att bilda en utvidgad modell för bedömning återhämtning vid arbetsuppgifter och vara en grund för val av arbetsmetoder och arbetsutformning från såväl belastningsergonomiska som tidsperspektiv vid repetitivt arbete.

Frågeställningar kring modellering, såsom giltighetsområde och tillförlitlighet, diskuteras och spridning av resultatet, såväl till företag och utbildningar som vetenskapligt, beskrivs också.

## Summary

This report describes the work with refinement of the Ergo-Index model, initially developed in the 1980's by a group of researchers and practitioners. Ergo-Index is intended to enable comparison of different methods to perform a work task with the aim to support the choice of working methods to satisfy ergonomics requirements as well as requirements on time consumption and production economics. The outputs from the method are assessments of recovery need, production time and load level. The project has been carried out in two parts, of which this report deals with the second part.

The objective has been to gain relevant information and to develop the Ergo-Index model further, especially regarding recovery, based on a literature review and an experimental study. In the experimental study maximum exerted forces as well as subjectively assessed Endurance and Resumption times for 15 different loading cases were determined with different load levels and loading times.

The results revealed a previously unknown fatigue-load phenomenon, namely that the recovery need was found to be shortest, expressed in relative loading time, for a medium load level (30 % of max), compared to low (10 % of max) and high (50 % of max) load levels. This led to some unexpected difficulties in the project.

After several rounds of modeling relations for endurance and recovery need, the new Ergo-Index was developed. This, partly performed by deriving mathematical relationships via regression analysis and partly by using results from other published studies and also Swedish physical ergonomics legislation recommendations, is described in the report. Seven examples of applications of the model are also given. These form a start of a planned database where applied examples are gathered to facilitate the use of the method. These tasks were also evaluated with subjective methods by the participants, using Borg's CR10 scale, a body map and interviews and photo- and video-documented.

The new model should to be applied and evaluated more than has been done up until now, before it is spread to a large extent. Application and evaluation is planned with a couple of companies.

The experimental results have also been used for developing a prediction model of perceived fatigue. Further, also based on the experimental study, where the working task was carried out with one repetition in two subsequent trials, a model for accumulation of fatigue is presented. Both these parts have not been tested or evaluated, but it is suggested to evaluate them in studies with applied repetitive working tasks. These results may also be used to form an enhanced recovery assessment model on occupational tasks for selection of working methods and job design from ergonomics and time perspectives for repetitive work.

Issues regarding modeling, such as field of application and accuracy, are discussed. Dissemination of the results, to companies, in educations as well as in the research community, is also described.

## Innehåll

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | Inledning.....   | 1  |
| 1.1   | Bakgrund .....   | 1  |
| 1.1.1 | Ergo-Index: En metod för jämförelse av arbetsmoment ur ergonomi- och tidsaspekter .....  | 1  |
| 1.1.2 | Varför genomföra en modellutveckling av Ergo-Index modellen? .....   | 2  |
| 1.2   | Mål.....   | 3  |
| 1.3   | Organisation .....   | 3  |
| 1.4   | Avgränsningar.....   | 3  |
| 2     | Genomförande och metoder .....   | 4  |
| 2.1   | Genomförande i sju steg .....  | 4  |
| 2.2   | Metoder.....   | 5  |
| 3.    | Resultat.....  | 7  |
| 3.1   | Resultat från litteraturgenomgången.....   | 7  |
| 3.2   | Resultat från försöksstudien .....   | 8  |
| 3.3   | Modellering av uthållighetstid och återhämtningstid.....   | 10 |
| 3.4   | Modellering av ackumulerad trötthet i form av ändrad uthållighetstid och återhämtningstid vid repetitiv belastning.....          | 11 |
| 3.4.1 | Uthållighet.....   | 11 |
| 3.4.2 | Återhämtning.....  | 12 |
| 3.5   | Modellering av trötthetsnivå baserad på subjektivt skattad trötthet .....  | 13 |
| 3.6   | Modellutveckling av Ergo-Index modellen .....  | 15 |
| 3.7   | Användargränssnitten i Ergo-Index modellen och ett exempel.....  | 16 |
| 4.    | Diskussion.....  | 20 |
| 4.1   | Giltighet och tillförlitlighet .....   | 20 |
| 4.2   | Oväntat försöksresultat och dess påverkan på modellutvecklingen .....  | 20 |
| 4.3   | Olika definitioner av trötthet, uthållighetstid och återhämtningstid och deras betydelse vid modelleringen i detta projekt ..... | 21 |
| 4.4   | Uppskattning av maxkrafter .....   | 22 |
| 4.5   | Vidgat perspektiv för modellering inom området.....  | 23 |
| 4.5.1 | Risker för belastningsskada.....   | 23 |
| 4.5.2 | Hänsyn till ogynnsam arbetsställning .....   | 24 |
| 4.5.3 | Hänsyn till belastning av kroppsegments egentyngd .....  | 24 |
| 4.5.4 | Hänsyn till repetitivitet .....  | 24 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.5.5 | Koppling till andra forskningsprojekt.....   | 25 |
| 4.6   | Psykosociala faktorer .....  | 25 |
| 5.    | Projektförändringar samt spridning av resultat .....   | 26 |
| 5.1   | Avvikelse i projektet utifrån projektbeskrivningen.....  | 26 |
| 5.2   | Insatser som skett och planeras för att resultatet ska komma till praktisk användning i arbetslivet..... | 27 |
| 6.    | Fortsatt arbete.....   | 28 |
| 7.    | Slutsatser .....   | 29 |
|       | Referenser .....   | 31 |
|       | Bilaga 1: Medverkande i projektets Etapp 2 .....   | 36 |
|       | Bilaga 2: Exempel på några ytterligare Ergo-Index analyser .....   | 37 |
|       | Bilaga 3: Individbaserad modellering .....   | 42 |

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

Byggnadsarbetare har under många decennier varit bland den yrkesgrupp som haft flest arbetsskador (ASS & SCB, 1994; Nilsson & Rose, 2004; Holmström & Engholm, 2003; AFA, 2007). Mellan 4000 – 5000 byggnadsarbetare blir varje år långtidssjukskrivna och många av dem förtidspensioneras (Afa, 2006). Belastningsskadorna utgör en stor del av arbetsjukdomarna. Under lång tid har de främsta faktorerna vid utvecklande av belastningsskador ansetts vara belastningens storlek och art, arbetsställningen, belastningstiden och återhämtningstiden samt relationen mellan arbete och paus (t ex Putz-Anderson, 1988).

För att kunna minska antalet belastningsskador behöver man kunskap om hur dessa faktorer samverkar och vad man bör beakta vid utformning av arbetsuppgifter för att t ex ge tillräcklig återhämtning mellan tröttande repetitiva belastningar. Tidsåtgången är en viktig faktor ur två aspekter. Dels är den viktig ur risksynpunkt. För lång belastningstid i förhållande till tid för återhämtning ökar risken för belastningsskador. Dels är den viktig ur produktivitetssynpunkt. Det är viktigt att hitta en rimlig balans mellan arbete och paus.

När man vill motivera arbetsmiljöförbättringar är det en fördel att kunna visa nyttan av investeringen, såväl ur arbetsmiljö- som ur produktivitetsspekter (Oxenburgh et al., 2004; Rose & Orrenius, 2007). Till exempel kan effekten av att införa en vagn för gipsskivehantering analyseras med avseende på såväl belastningsergonomi som tidsåtgång och därigenom motiveras även i produktionsekonomiska termer (Danogips, 1992).

### 1.1.1 Ergo-Index: En metod för jämförelse av arbetsmoment ur ergonomi- och tidsaspekter

I ett försök att ta hänsyn till belastningsergonomiska och tids-aspekter utvecklades Ergo-Index-modellen i slutet av 1980-talet av Glimskär et al. (1987) för främst byggbranschen. Syftet var att kunna jämföra olika sätt att utföra ett arbete och välja det lämpligaste ur såväl belastningsergonomisk som ekonomisk (tidsmässig) synvinkel. Ju mer tröttande ett arbete är, desto längre återhämtningstid behövs för att man ska kunna fortsätta arbeta och det påverkar produktionstiden (summan av tiden man utför ett arbetsmoment och tiden det tar innan man återhämtat sig så pass att man kan fortsätta arbeta). Därmed får man en koppling mellan fysisk belastning, återhämtning och produktionsekonomi. Modellen baserades på publicerade resultat<sup>1</sup> samt egna studier. Den första Ergo-Index-modellen fick viss spridning i

---

<sup>1</sup> Rohmert's arbete om kraft och uthållighet (1960a), Martin's & Chaffin's resultat om lyft- tryck- och dragkapacitet i olika arbetsställningar (1972), Rohmert's relation mellan kraft, belastningstid och återhämtningstid (1960b), Andersson et al.'s resultat om kompressionskrafter i ländrygen i olika arbetssituationer (1983), rekommenderade lyftgränsvärden från NIOSH (1981).

byggbranschen, men den hade brister, främst genom att modellen inte gav tillförlitliga resultat vid låga belastningsnivåer. Den har därför vidareutvecklats i flera steg.

1992 kom den andra versionen dels som rapporter och vetenskapligt arbete (Rose, 1992a & b; Rose et al., 1992a & b), dels som dataprogram (BELAB, 1992). Utvecklingen bestod främst av att den anpassats så att den gav mer tillförlitliga värden vid låga yttre belastningsnivåer och olämpliga arbetsställningar. Den har använts i en del utvärderingsprojekt i svenska byggbranschen, t.ex. vid analys av arbete med gipsskivor (t.ex. Danogips, 1992) och infästningsarbete (Rose, 1994) och i utbildningar. Den har också använts sedan 1990-talet av bl.a. General Motors Oshawa Autoplex i Canada för att förbättra arbetet vid produktionslinjer. Resultaten från tillämpningen där visar att sedan man tagit hänsyn till belastning och återhämtningsbehov har de fysiska hälsoproblemen minskat hos montörerna (Combs, 2007; Grewal, 2007), men man har även noterat ökad effektivitet i produktionen när den använts vid arbetsmiljöförbättrande åtgärder (Combs, 2007).

Ytterligare resultat knutna till Ergo-Index modellerings sättet har presenterats (Rose, 2001), bland annat där eventuella skillnader mellan kvinnor och män i uthållighetstid och återhämtningsbehov studerats. Men, för att dessa resultat skulle bli användbara och kunna användas i modifierad Ergo-Index modell, behövde modelleringen av återhämtningsbehovet förfinas jämfört med modellen från 1992.

### **1.1.2 Varför genomföra en modellutveckling av Ergo-Index modellen?**

Av detta skäl, samt eftersom det från flera företag och utbildningar under 2000-talets första decennium fanns ett uttalat intresse av att få tillgång till en praktiskt användbar metod som tar hänsyn till sambanden mellan belastning, arbetsställning, belastnings- och återhämtningstid startades det nu aktuella projektet. Dock ville industrin ha tillgång till en förfinad metod som tog hänsyn till nyare resultat vad gäller belastning, trötthet och återhämtning. Det diskuterades bland annat med personer som arbetade arbetsmiljöfrågor på flera företag att en trovärdig metod för bedömning av olika arbetsmoments belastning och återhämtningskrav som är enkel att använda i olika delar av byggprocessen skulle utgöra ett viktigt prioriteringsinstrument för skadeprevention och produktionsutveckling. Ett sådant verktyg skulle stödja det systematiska arbetsmiljöarbetet. Genom att analysera olika arbetsmetoder och samla erfarenheterna i en exempelbank skulle man också lättare kunna motivera och välja bra arbetsmetoder. På sikt skulle det medföra mindre risker att få arbetsskador. Vidare diskuterades det att vid arbete med såväl utbildning som med prevention och rehabilitering skulle sådan information vara väsentlig.

I en studie om VVS-montörers arbete med pressmaskiner var en av slutsatserna att arbete med att pressfoga rör i tak är ergonomiskt sett olämpligt (Hallén & Rose, 2006; Rose, 2007) och där gavs förslag på fortsatt arbete för att minska skaderiskerna bland rörmontörer. Ett var att samla mer information och bygga kunskap om behovet av återhämtningstider efter arbete, vilket skulle ge bättre underlag för prioriteringar i arbetsmiljöarbetet. En vidareutvecklad Ergo-Index metod skulle kunna användas till detta.



## 1.2 Mål

Det övergripande målet med detta projekt har varit att vidareutveckla en praktiskt användbar metod, Ergo-Index, för arbetsmiljöarbete på företag. Den skulle kunna användas för att analysera olika sätt att utföra ett arbete på och välja det lämpligaste ur såväl belastningsergonomiska aspekter som ur tidsaspekter, som också påverkar produktionsekonomin. Som potentiella användare av metoden sågs personer på företag som arbetar med arbetsmiljöfrågor, t.ex. platschefer, produktionsplanerare, projektledare, personal- och ekonomiansvariga samt arbetsmiljöpersonal. Målet var också att tillämpa metoden på några typiska arbetsmoment i byggbranschen och samla exemplen i en exempelbank samt sprida kunskap om resultaten. För att nå detta definierades följande delmål:

1. samla kunskap om sambanden mellan belastning, belastningstid och återhämtning samt risken för överbelastningsskador,
2. samla data som ger underlag för modellering av återhämtningsbehovet,
3. utveckla en förfinad Ergo-Index metod,
4. tillämpa och utvärdera metoden för ett antal arbetsmoment i branschen,
5. samla resultat från tillämpningarna i en exempelbank,
6. öka ergonomikompetens bland studerande på såväl gymnasie- som universitetsnivå som bland anställda på företag i byggbranschen,
7. sprida resultatet nationellt och internationellt till byggföretag, näringsliv, utbildare och forskare.

## 1.3 Organisation

Projektet har genomförts i samarbete mellan flera olika aktörer och intressenter inom byggbranschen och även annan industri, utbildare och forskningsinstitutioner. *KTH Skolan för Teknik och hälsa, KTH STH*, har lett projektet med Tekn. Dr. Linda Rose som projektledare. I Bilaga 1 beskrivs medverkande företag, organisationer, forskare och forskargrupper, projektgruppen och referensgruppen.

## 1.4 Avgränsningar

En rad faktorer påverkar belastningen på människan under arbete och vid utveckling av trötthet och belastningsskador. De komplexa sambanden mellan dessa faktorer är trots stora forskningsinsatser inte klarlagda. Dessutom är sambanden mellan dessa faktorer och återhämtning mycket lite studerade. Det ska poängteras att detta projekt *inte* haft som syfte att klarlägga dessa samband och *inte* heller resultera i en metod som med fullständig exakthet kan användas för att bedöma belastningsgrad och återhämtningsbehov. *Målet har inte varit att i första hand utveckla en förklaringsmodell för vad som orsakar trötthet och behovet av återhämtning, utan att modellera hur detta sker.*

Vid sidan av detta projekt planerades vid projektstarten utveckling av ett användarvänligt datorprogram som ett examensarbete på KTH STH/KTH SCS. Ett sådant examensarbete har diskuterats med KTHSTH och KTH ITM och KTH SCS och kommer eventuellt att genomföras under det kommande läsåret.

Etapp 1 av detta projekt är rapporterat till SBUF (Rose, 2008). I den nu presenterade rapporten ges övergripande resultat. Detaljer från försöksupplägget och försöksdata finns beskrivet i SBUF-rapporten. De vetenskapliga bidragen från projektet, dels försöksupplägg, data och bearbetning av data samt modelleringen beskrivs i följande vetenskapliga arbeten:

- Rose, L. (2008) Ergo-Index Slutrapport Etapp 1: Resultat från litteraturstudie och försöksstudie. KTH, Kungliga tekniska högskolan, Skolan för Teknik och hälsa, Avdelningen för Ergonomi, Stockholm. (Forskningsrapport).
- Rose, L, Neumann, W P, Orrenius, U, Hägg, G, Kenttä, G och Örtengren R (manuskript) Fatigue and recovery reactions during and after static loading. Manuskript kommer att sändas till referee-granskad internationell vetenskaplig tidskrift under 2012.
- Rose, L, Beauchemin, C, Orrenius, U och Neumann, P (manuskript) Modeling fatigue and recovery reactions during and after static loading. Manuskript kommer att sändas till referee-granskad internationell vetenskaplig tidskrift under 2012.
- Rose, L (2012) Recovery need in manual work: Development and application of an assessment tool. Abstractet har accepterats till den 44e internationella Nordiska Ergonomisällskapets konferens 19-22 augusti 2012 i Stockholm. Fullt konferensbidrag till konferensens ”proceedings” kommer att sändas in i april 2012.

## **2 Genomförande och metoder**

### **2.1 Genomförande i sju steg**

Projektet har genomförts i följande sju steg, där Etapp 1 omfattade de fyra första och Etapp 2 de tre sista.

*1. Litteraturstudie:* En litteraturstudie genomfördes för att erhålla kunskap om de senaste årens relevanta forskningsresultat inom området.

*2. Försöksserie:* En försöksserie genomfördes för att få data till modellutvecklingen.

*3. Analys av försöksresultat:* Resultaten från försöksserien analyserades.

*4. Sammanställning av delresultat:* Resultaten av Etapp 1 sammanställdes och avrapporterades samt Etapp 2 förbereddes.

*5. Metodutveckling:* Baserat på resultaten från litteraturstudien och försöksserien modellerades sambanden till Ergo-Index metoden.

*6. Tillämpning och utvärdering:* Den vidareutvecklade Ergo-Index metoden började testas och tillämpas för några typiska arbeten. Vid utvärderingen uppmärksammades det att den nya modellen i vissa fall gav orimliga resultat. Detta ledde till en analys för att hitta orsakerna till detta. Projektet förlängdes med tre månader och i slutskedet har en ny modell utvecklats och testats i viss omfattning på några manuella arbeten, som också redovisas i denna rapport.

*7. Redovisning och spridning av resultat:* Resultatet från projektet har sammanställts dels i denna rapport, dels i vetenskapliga publikationer, som nämnts under 1.4. Resultaten sprids även via det kontaktnät som de medverkande har, mm.

Etapp 1 har avrapporterats till dess huvudfinansiär, Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF (Rose, 2008). Den här presenterade rapporten sammanfattar resultaten från Etapp 2 och är en del av rapporteringen till denna etapps huvudfinansiär, Afa Försäkring.

## **2.2 Metoder**

Litteratursökningen och metodiken samt medverkande i försökstiden finns beskrivna i slutrapporten för Etapp 1 (Rose, 2008).

I korthet genomfördes i Etapp 1 försök med 10 medverkande män med erfarenhet från byggbranschen (från REFIS) som sammanlagt genomförde 160 försök i en standardiserad sittande arbetsställning. Uppgiften var att trycka på ett handtag med en bestämd kraft under en bestämd tid. Syftet var att bestämma återhämtningstiden. Denna bestämdes subjektivt för tre olika belastningsnivåer och fem olika belastningstider. Maxförmågan bestämdes i ett inledande försök som ett medelvärde av tre maxbelastningar. Belastningsnivåerna utgjordes av 10 %, 30 % samt 50 % av maxförmågan. Uthållighetstider bestämdes för varje kraftnivå genom uthållighetsförsök. Belastningstiderna varierades mellan 10 %, 30 %, 50 %, 70 % samt 100 % av uthållighetstiden mellan de olika försöken. Detta resulterade i 16 olika kombinationer av belastningsnivån och belastningstiden. Figur 1 visar försökssituationen. I varje försök genomfördes två på varandra belastningar, var och en direkt följd av en återhämtningsperiod, som bestämdes subjektivt av de medverkande som återhämtningstiden.

Återhämtningstiden definierades som den tid efter belastningen då den medverkande skulle börja arbeta igen om detta var hans arbete. Uthållighetstiden definierades som belastningstiden till dess att den medverkande valde att avbryta försöket på grund av för hög obehag/trötthet/smärta, det vill säga tiden från belastningens början till avbrottet. Upplevd trötthet skattades med Borg's CR10-skala (Borg, 1982) var 30:e sekund. Upplevd ansträngning skattades med Borgs RPE skala (Borg et al., 1987) initialt, vid slutet av varje belastning samt vid återhämtningstiden. Maxkraftmätningar gjordes också initialt, efter avslutad belastning och vid återhämtningstiden.



**Figur 1: Illustration av hur försöken genomfördes. Under försöken tryckte den medverkande på det svarta handtaget med definierad kraft under en viss tid.**

Statistisk bearbetning av försöksresultaten gjordes med SPSS (18.0). För de beroende variablerna som inte bedömdes vara normalfördelade användes icke-parametriska tester, såsom Wilcoxon's signed rank test för att se om de två på varandra följande belastningarna medförde signifikanta skillnader i återhämtningsbehov och Friedmans test för att analysera eventuella skillnader av de olika belastningsfallen, till exempel på uthållighetstid. I studien valdes sannolikhetsnivån 0,05. Modelleringen har genomförts i huvudsak genom regression och kalkylprogrammet har utvecklats i excel.

Resultaten från försöken användes för modellering av

1. Modell för uthållighetstid. Baserat på försöksdata i studien i Etapp 1 modellerades uthållighetstiden som en funktion av belastningsnivå.
2. Modell för återhämtningstid. Baserat på försöksdata i studien i Etapp 1 modellerades återhämtningsbehovet som funktion av belastningsnivå och belastningstid.
3. Modell för upplevd trötthet under belastning som funktion av belastningsnivå, belastningstid och uthållighetstid.
4. Modell för upplevd trötthet under återhämtning efter belastning som funktion av belastningsnivå, belastningstid och återhämtningstid.
5. Modell för ackumulerad trötthet vid upprepad belastning i form av modell som predikterar minskad uthållighetstid med ökat antal repetitioner.
6. Modell för ackumulerad trötthet vid upprepad belastning i form av modell som predikterar ökad återhämtningstid med ökat antal repetitioner.

Av dessa sex olika modelleringstyper har de från 1 och 2 ovan använts för modelleringen av den nya Ergo-index modellen, som utvecklats till ett kalkylprogram såsom beskrivs i avsnitt 3.6,. Den övriga modelleringen har genomförts för att möjliggöra utveckling av en ny typ av modell som efterfrågats av såväl företag som forskargrupper (bland annat Human Factors Engineering Lab vid Ryersonuniversitetet och de tillämpade projekt den gruppen bedriver i samarbete med industriföretag).

Den nyutvecklade Ergo-Index modellen har testats på några typiska arbeten. De studerade arbetena har också utvärderats med Borgs CR10-skala (Borg, 1982), kroppskarta (Kuorinka et al., 1987), intervjuer och foto- och videodokumenterats.

### 3. Resultat

#### 3.1 Resultat från litteraturgenomgången

I slutrapporten från detta projekts etapp 1 (Rose, 2008) redovisas resultaten från litteraturgenomgången med fokus på trötthetsfenomen. Trötthet är ett komplext fenomen som beror på olika fysiologiska och mentala processer. Begreppet har olika innebörd i olika situationer och i olika sammanhang. Exempel på olika typer av trötthet är fysisk trötthet, såsom efter fysiskt krävande aktivitet; mental trötthet, t ex efter en mentalt påfrestande situation och emotionell trötthet, t ex efter att ha umgått med andra människor (Kenttä & Svensson, 2008). Det finns ingen entydig definition av begreppet som täcker alla de olika typerna av trötthet. En definition som används inom muskelfysiologin är att trötthet innebär en oförmåga att generera full kraft (Hägg, 2008) men man kan också tänka sig definitioner relaterade till uthållighet. I det nu aktuella projektet har trötthet knutits till subjektiv upplevelse av trötthet, smärta och obehag. Återhämningsförloppet för olika indikatorer för trötthet/återhämtning skiljer sig avsevärt beroende på vilken typ av indikator man studerar. Kraft återhämtas relativt snabbt medan uthålligheten återhämtas långsammare (Sahlin, 2008).

Trots flera litteratursökningar har endast ett fåtal modeller som kan användas för att uppskatta behovet av återhämtning i tid efter fysisk belastning för att kunna fortsätta med en arbetsuppgift påträffats. I slutrapporten för Etapp 1 (Rose, 2008) redogörs för flertalet av dessa. El ahrache och Imbeau (2009) presenterade en jämförelse av fyra återhämningsmodeller (Rohmert's (1973), Milners (1985), Rose et al's (1992) samt Byström och Fransson Halls (1994)). De funna modellerna skiljer sig åt på flera sätt, t ex vad avser definitioner av trötthet och återhämtningstid, studerade trötthetsindikatorer, typen av försök och medverkande som ingått samt om det är en experimentellt baserad modell. Återhämtningstiden definieras olika i modellerna, exempelvis som tiden under periodiskt arbete när ökningen per minut i pulsfrekvens var lägre än 0,1 för en viss belastning och belastningstid (Rohmert, 1960a) eller som den tid efter belastning när trötthet/ obehag/smärta sjunkit så pass mycket att personen i fråga är villig att börja arbeta igen (Rose et al., 2000). Detta gör det svårt att jämföra modellerna med varandra.

I flertalet av återhämningsmodellerna finns uthållighetstiden som en variabel. El ahrache et al. (2006) redogör för en jämförelse mellan 24 modeller för uthållighetstid. Mest känd bland dem är möjligen Rohmets modell (1960), men El ahrache et al. (2006) redovisar också modeller av bland annat Sato et al. (1984), Sjøgaard (1986) samt Rose et al. (1992). Även vad gäller uthållighetsmodeller förekommer olika typer av modelleringsansatser och definitioner, eller att man inte definierar de centrala variablerna såsom uthållighetstid. Detta gör det är svårt att jämföra även dessa med varandra.

### **3.2 Resultat från försöksstudien**

Resultatdata om kraft, uthållighetstid och återhämtningstid finns till del redovisat i Etapp 1's slutrapport (Rose, 2008). Här ges kort sammanfattning:

Resultaten visar att kraftutvecklingsförmågan var lägre i slutet av belastningarna jämfört med initialt innan försöken och att kraftutvecklingsförmågan återhämtat sig vid den subjektivt bestämda återhämtningstiden. Båda dessa resultat är statistisk signifikanta. Slutsatsen är att det sker en trötthetsutveckling under belastningen och en återhämtning under den efterföljande pausen, vilket är högst rimligt.

Resultaten visar också på statistiskt signifikanta skillnader i uthållighetstid för de tre olika belastningsnivåerna: ju högre belastningsnivå, desto kortare uthållighetstid. Dessutom visar resultatet att vid upprepad belastning efter en subjektivt bestämd återhämtningstid, är den andra uthållighetstiden statistiskt signifikant kortare än den första. Detta tolkas som att det sker en ackumulering av trötthet även då försöksdeltagaren fått vila tills han bedömer sig så pass återhämtad att han är villig att återuppta arbetet.

Resultaten visar även på statistiskt signifikanta skillnader i återhämtningstid för de olika belastningsnivåerna. Dock visade det sig att de kortaste återhämtningstiderna uppstod vid den medelhöga belastningsnivån 30 % av max förmåga, vilket ger ett U-format utseende för återhämtningstiden som funktion av belastningsnivån, se Figur 2. Vad detta beror på är inte klart. Oss veterligt har sådana resultat inte redovisats tidigare. Detta är, enligt projektgruppen och de forskare vi diskuterat resultatet med (se Bilaga 1 och avsnitt 3.3), viktig ny kunskap.

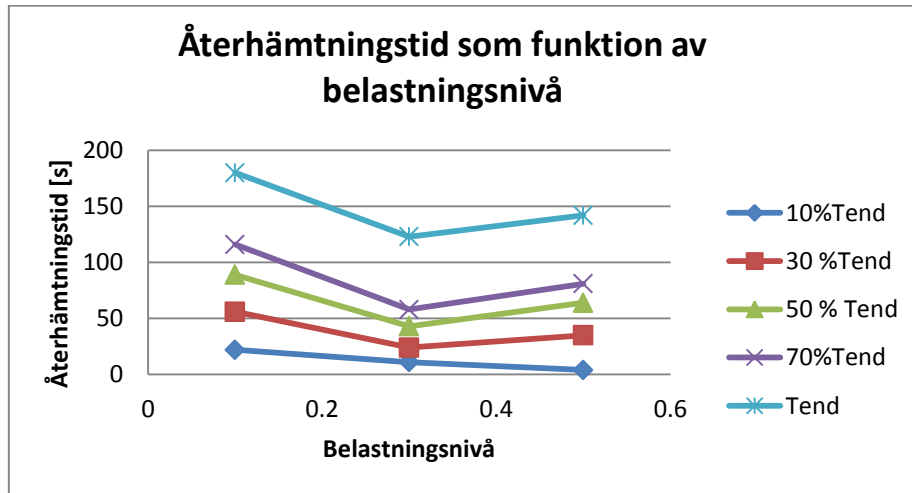
Resultaten visar att för de låga relativa belastningstiderna, det vill säga när belastningstiden angetts som en andel av uthållighetstiden (i försöken 10 %, 30 %, 50 %, 70 % eller 100 % av uthållighetstiden) uppgav flera av de medverkande i att de inte behövde någon återhämtningstid, utan skulle kunna fortsätta direkt med den andra belastningen. Detta förekom i större utsträckning vid 30 % belastningsnivån än för de två andra belastningsnivåerna, vilket också indikerar att de medverkande upplevde belastningen vid denna nivå som mindre tröttande.

Båda dessa resultat indikerar att det för 30-% belastningen som funktion av relativ belastningstid verkar finnas ett mindre behov av återhämtning jämfört med de två andra belastningsfallen, dvs de på 10 % och 50 % av maxförmågan.

Olika möjliga förklaringar till att resultaten tydligt visar att återhämtningsbehovet är kortast vid den medelhöga av de tre belastningsnivåerna, vid likadana relativa belastningstider har sökts. För dessa redogörs mer utförligt i den vetenskapliga rapporteringen.

Upplägget av försöket med belastningstid relaterad till uthållighetstid kan leda till dessa effekter. En förklaring kan vara att vid den lägsta belastningsnivån, 10 % av max, var uthållighetstiden nästan fyra gånger längre än vid 30 % belastningsnivån och nästan sex gånger längre än vid 50 % belastning. Det medför att vid samma relativa belastningstid, var den reella belastningstiden väsentligt längre för den lägsta belastningsnivån i jämförelse med tiderna med de andra två belastningsnivåerna och att detta kan ha en inverkan på

återhämtnings-behovet. Det finns också indikationer från andra studier på att man vid låga belastningsnivåer har svårt att bedöma belastningen och kanske inte heller har samma ”varningssystem” när en belastning kan börja ge ogynnsamma konsekvenser som man upplever vid högre belastningsnivåer (Hägg, personlig kommunikation, 2008). Det skulle kunna medföra att man inte känner hur trött man egentligen är vid de låga belastningsnivåerna och därför har en lång uthållighetstid.



**Figur 2:** Återhämtningstid som funktion av belastningsnivå för olika fraktioner av belastningstid (10%, 30 %, 50 % , 70 % samt 100% av uthållighetstid (Tend) och där värdena på x-axeln 0.1 , 0.3 respektive 0.5 anger belastningsnivån som 10%, 30 % respektive 50 % av maxförmågan. Resultat från den första återhämtningen efter den första belastningen. (medelvärden)

En annan förklaring kan vara att vid 10 % belastningsnivån är motoriska enheter av Typ I mest aktiva. Dessa har relativt låg kraftutvecklingsförmåga, men lång uthållighet. Vid uttröttning har de möjligen långsammare återhämtningsförlopp än Typ IIb. Vid 50% belastningsnivån är det sannolikt att en större andel av IIb typ är aktiva. Dessa har hög kraftutvecklingsförmåga, men tröttnas snabbare än Typ I. I medelfallet 30 % belastningsnivå kan det vara så att en blandning av de olika typerna av motoriska enheter är aktiva, och att detta påverkar återhämtningsbehovet.

Bland andra möjliga förklaringar som diskuteras är att vid ökad belastning sker en strypning av blodflödet och även en ansamling av sura metaboliter (slaggprodukter). Vid den högsta belastningsnivån (50 % av max) kan strypningen av blodflödet förkorta uthållighetstiden. Det har också diskuterats att vid 50 % belastningsnivån kan den absoluta tröttheten, kapaciteten att utveckla maximal kraft, leda till trötthet som kräver längre tid för återhämtning, medan det vid den låga belastningen (10 % av max), som dock är relativt lång, kan vara trötthet/ obehag från belastningssituationen, till exempel från trycket på handtaget öka snabbare än oförmågan att utveckla kraft och leda till att man avbryter försöken. Det kortare återhämtningsbehovet vid belastningsnivån som ligger mellan dessa, dvs vid 30 % av max belastning skulle kunna förklaras av ovanstående. Men, dessa resultat har väckt intresse bland de forskare de diskuterats med och lett till en önskan om fortsatt forskning för att försöka utreda vad dessa resultat kan förklaras av.

Resultaten visade också att ju kortare belastningstid, desto kortare återhämtningsbehov. Det visade sig att vid en upprepad belastning ökade återhämtningstiden, vilket tolkas som att det skett en ackumulering av trötthet under försöken.

### **3.3 Modellering av uthållighetstid och återhämtningstid**

Baserat på försöksdata från försöken gjordes en första modellering av uthållighetstid samt återhämtningstid. Här ansattes att uthållighetstiden (Endurance time,  $T_{end}$ ) är en funktion av belastningsnivån och att återhämtningstiden (Resumption time,  $T_{res}$ ) är en funktion av både belastningsnivå och den relativa belastningstiden. Denna definieras som den aktuella belastningstiden i sekunder delat med den maximala uthållighetstiden för det aktuella belastningsfallet. Det visade sig att en kurvanpassning genom regression gav bästa överensstämmelse till försöksdata med exponentiella samband.

Dessa användes i modellutvecklingen av den nya Ergo-Index modellen, som också började tillämpas på några typiska manuella arbeten. Vid analysen av dessa visade det sig dock att denna modell gav värden som bedömdes orimliga. Detta medförde att projektledaren bad om och fick en förlängning av projekttiden med tre månader för att försöka hitta problemen samt försöka göra en ny utveckling av modellen.

En ny analys av försöksdata gjordes och försöksresultaten samt hur de bör användas vid modellutvecklingen av den nya Ergo-Index modellen diskuterades med flera framstående forskare inom området, bland andra Richard Wells, Jim Potvin, Catherine Beauchemin, Patrick Neumann Mohamed Jaber, Ulf Orrenius och forskarna i projektets referensgrupp (se Bilaga 1 ). Det konstaterades att ett av problemen var att det är svårt att modellera för återhämtningstiden när en del av fallen medför ”noll” återhämtningsbehov. Ett annat problem var att i det exponentiella sambandet för återhämtning innehöll en del med en positiv konstant för belastningsnivån, men en negativ konstant för den relativa belastningstiden, dvs att ekvationen bestod av en ökande och en avklingande komponent. Dessutom konstaterades att de ingående variablerna belastningsnivå och relativ belastningstid inte var oberoende variabler, eftersom den relativa belastningstiden innehöll uthållighetstid som en variabel, men denna erhöles som en funktion av den andra variabeln, belastningsnivån.

Ny modellering av återhämtningsbehovet gjordes baserat enbart på de fall där de medverkande skattat ett återhämtningsbehov, det vill säga då de bedömt den vara skild från noll. Efter olika modellerings-ansatser användes en dosvariabel, definierad som belastningsnivån multiplicerad med den absoluta belastningstiden, vid modelleringen av återhämtningstiden då den gav bästa kurvanpassning i förhållande till försöksdata. Det medför också att det i återhämtningsmodellen inte finns något inbördes beroende mellan de två variabler som återhämtningstiden baseras på. Även det matematiska sambandet för uthållighetstiden modellerades på nytt.

Sambanden som används för den nya Ergo-Index modellen är potensfunktioner. För uthållighetstiden har den formen:



$$T_{\text{end}} = a * (\text{Load-level})^b \quad (1)$$

där  $T_{\text{end}}$  är uthållighetstiden i sekunder,

Load-level är belastningsnivån  $\in [0, 1]$  och a och b är konstanter.

För Återhämtningstiden,  $T_{\text{res}}$  (Resumption time) har den formen

$$T_{\text{res}} = c * (\text{Load-level} * t)^m \quad (2)$$

där Load-level är belastningsnivån  $\in [0, 1]$

t är belastningstiden i sekunder och c och m är konstanter.

### 3.4 Modellering av ackumulerad trötthet i form av ändrad uthållighetstid och återhämtningstid vid repetitiv belastning

#### 3.4.1 Uthållighet

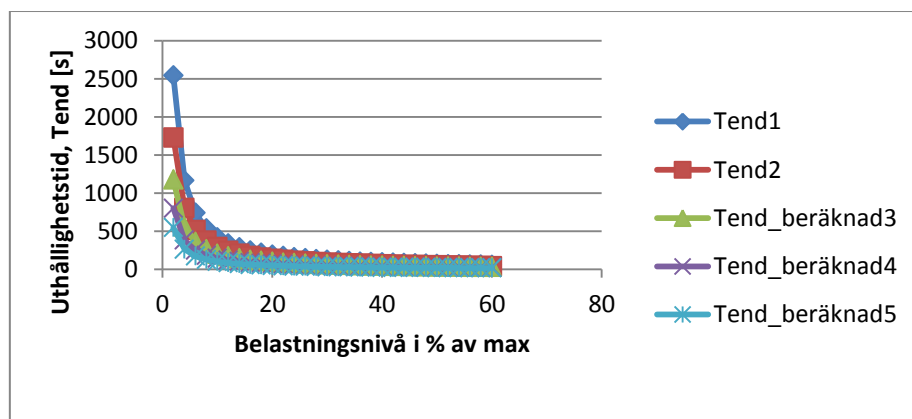
Från försöksresultaten framkom också att vid två på varandra följande belastningsperioder med en vilotid emellan som svarar mot återhämtningstiden, är den andra uthållighetstiden kortare än den första. För de två försöksserierna har två olika modeller definierats genom regressionsanalys, det vill säga två olika uppsättningar konstanter till ekvation (1).

Från dessa två modeller har därefter kvoten mellan uthållighetstiderna beräknats som funktion av belastningsnivån. För att prediktera uthållighetstiden efter flera upprepade belastnings- och viloperioder (repetitiv belastning) görs antagandet att uthållighetstiden minskar lika många procent för varje belastningscykel.

För den n:te belastningsperioden antas således uthållighetstiden vara:

$$T_{\text{end}(n)} = (T_{\text{end}(n-1)})^2 / T_{\text{end}(n-2)} \quad (3)$$

Uthållighetstiden som funktion av belastningen illustreras grafiskt i Figur 3 där både de uppmätta (n=1,2) och de predikterade sambanden (n=3,4,5) har plottats.



**Figur 3: Modellerad uthållighetstid vid repetitiv belastning. Här illustrerat för fem på varandra följande belastningar i ett linjärt diagram.**

Antagandet att den relativa minskningen av uthållighetstiden hålls konstant vid varje iteration innebär att uthållighetstiden aldrig går ner till noll i modellen.

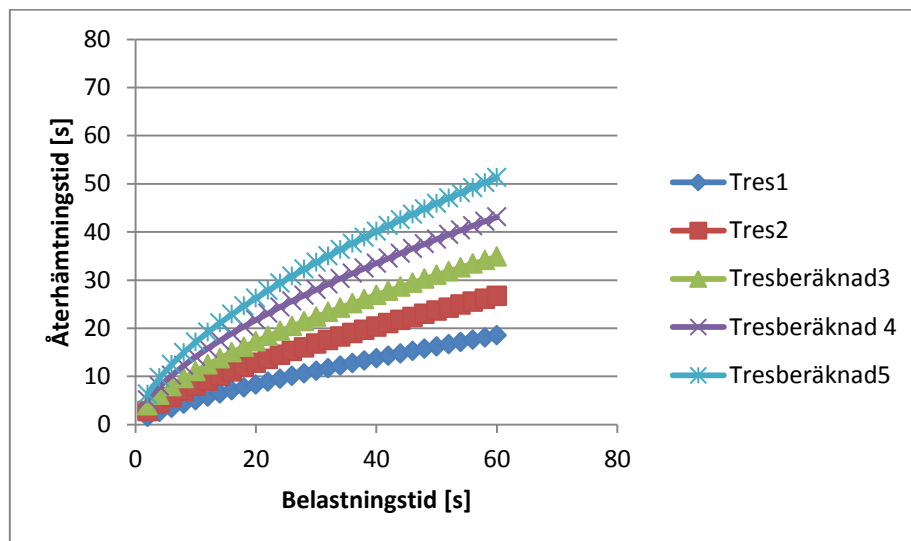
### 3.4.2 Återhämtning

På motsvarande sätt kan en modell för Återhämtningstiden ( $T_{res}$ , Resumption time) för upprepade belastningar tas fram. För de två försöksserierna har två olika modeller definierats genom regressionsanalys, det vill säga två olika uppsättningar av konstanterna  $c_i$  och  $m_i$  till ekvation (2). Från dessa två modeller har därefter skillnaden mellan återhämtningstiderna beräknats som funktion av belastningsnivån

$$T_{res}(n+1) = T_{res}(n) + \Delta T_{res} \text{ med } \Delta T_{res} = (A_2 * \text{Load-level} * t)^{m_2} - (A_1 * \text{Load-level} * t)^{m_1} \quad (4)$$

där 1 respektive 2 anger försöksnummer ( $n=1$  respektive  $n=2$ ).

För att prediktera återhämtningstiden efter flera upprepade belastnings- och viloperioder (repetitiv belastning) görs antagandet att återhämtningstiden ökar med lika många sekunder för varje belastningscykel. Återhämtningstiden som funktion av belastningstiden illustreras grafiskt i Figur 4 där både de uppmätta ( $n=1,2$ ) och de predikterade sambanden ( $n=3,4,5$ ) har plottats.



**Figur 4: Modellerad återhämtningstid vid repetitiv belastning. Här illustrerat för fem på varandra följande belastningar i ett linjärt diagram.**

Det finns, så vitt vi kunnat finna, inga rapporterade data för studier där man modellerat för uthållighetstid och återhämtningsbehov med de definitioner på dessa variabler som vi valt.

Det skall poängteras att underlaget för modellerna som presenteras i detta avsnitt är mycket begränsat. Dock är modellerna möjliga att börja provanvändas för utvärdering och förbättring. De har erhållit intresse av såväl andra forskare, bland annat vid Ryersonuniversitetet, som av personer som arbetar praktiskt med ergonomi, bland annat på Scania.

### 3.5 Modellering av trötthetsnivå baserad på subjektivt skattad trötthet

I försöksserien som beskrivs i avsnitt 2.2. registrerades även subjektivt skattad trötthet/obehag/smärta, hädanefter kallad ”trötthetsskattning” eller ”skattad trötthet”. Trötthetsnivån skattades var 30:e sekund både under belastnings- och återhämtningsfasen och bedömdes enligt Borgs CR10-skala (Borg, 1982), en logaritmisk skala med verbala ankare där ”0” motsvarar ”Inte alls” och ”10” motsvarar ”mycket, mycket stark, (nästan max)”.

Resultaten visar att skattad trötthet ökar under belastning och minskar under återhämtning. En empirisk modell anpassades till försöksdeltagarnas skattade trötthetsnivåer under belastnings- respektive återhämtningsförloppet och såväl linjära som exponentiella, kubiska och kvadratiske samband för belastnings- och återhämtningsförloppen ansattes för kurvanpassning enligt minsta kvadratmetoden. De samband som passade bäst till försöksdata var:

Under belastning - Linjär ökning av skattad trötthet,  $PF_{load}$  (Perceived Fatigue during loading):

$$PF_{load} = a_{load} + b_{load} * (T_{load}/T_{end}) \quad (5)$$

där  $a_{load}$  och  $b_{load}$  är konstanter.

Under återhämtning - Exponentiell avklingning av trötthet  $PF_{rec}$  (Perceived Fatigue during recovery):

$$PF_{rec} = c_{rec} * \exp(d_{rec} * (T_{load}/T_{res})) \quad (6)$$

där  $c_{rec}$  och  $d_{rec}$  är konstanter.

Med utgångspunkt i dessa resultat valdes en linjär modell vid belastning och en exponentiellt avklingande modell under återhämtning.

Från de analyserade belastningsförloppen framkom att koefficienten  $b_{load}$  är relativt oberoende av belastningen. För modellen ansattes därför konstanten  $b_{load}$  lika för alla belastningsnivåer. Däremot noterades att avklingningskoefficienten  $d_{rec}$  ökade med ökad belastningsgrad. För den begränsade datamängd som fanns att tillgå, belastningsnivåer 10%, 30% respektive 50% av max förmåga, ansattes ett linjärt samband enligt

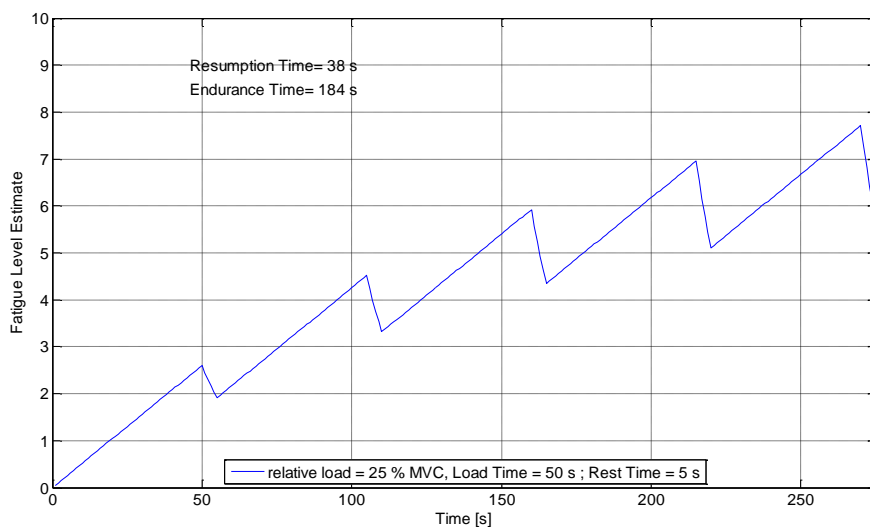
$$d_{rec} = a + b * \text{Load-level} \quad (7)$$

där Load-level är belastningsnivån relativt maxförmågan.

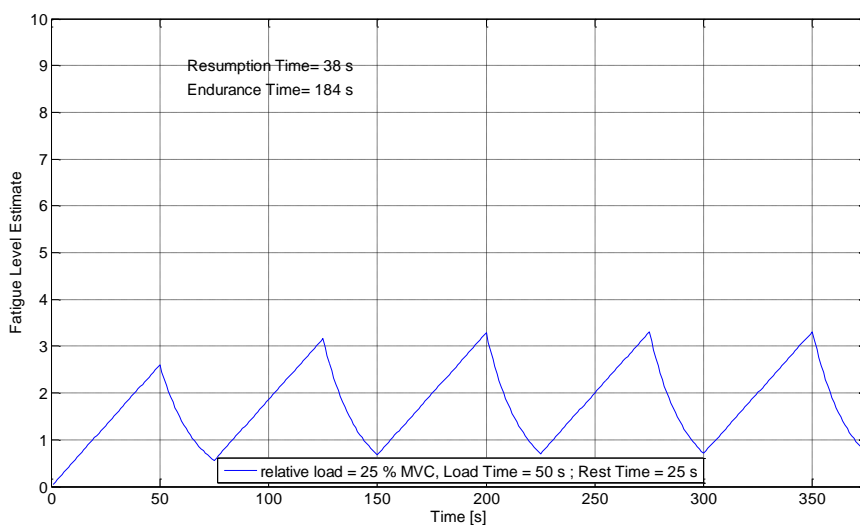
Notera att modellens giltighetsområde är begränsad till  $F_0 < 0,6$  om ej validering för högre belastningsnivåer kan genomföras.

För att beräkna ackumulerad trötthet antogs att de samband för koefficienterna  $b_{load}$  och  $d_{rec}$  som redovisats här ovan, är oberoende av trötthetsnivån samt att de inte förändras vid upprepad belastning.

I Figur 5 a och b nedan redovisas predikterad trötthetsnivå (Fatigue level estimate) för simuleringar av repetitiv belastning med två olika paustider. Skalan för trötthet är 10-gradig motsvarande Borgs CR10-skala (Borg, 1982). Exemplet i Figur 5a med kort paustid, visar att den predikterade trötthetsnivån stiger till höga nivåer redan efter ett fåtal belastningscykler. I exemplet i Figur 5b med längre paustid stabiliseras den predikterade trötthetsnivån efter ett fåtal belastningscykler till ett "steady-state"-läge. Detta kan tolkas som att det inte sker någon ackumulering av trötthet i detta fall, till skillnad från exemplet i Figur 5a där en sådan antas ske och som på kort sikt leder till att man inte kan fortsätta arbeta på detta sätt.



**Figur 5a: Exempel på predikterad trötthetsnivå för belastningscykler med 25 % belastningsnivå, 50 sekunders belastningstid och 5 sekunders paustid.**



**Figur 5b: Exempel på predikterad trötthetsnivå för belastningscykler med 25 % belastningsnivå, 50 sekunders belastningstid och 25 sekunders paustid.**

I en likande studie där återhämtningsbehovet också bestämdes genom subjektiv skattning (Rose et al., 2000) bedömde de medverkande att de skulle åretuppta arbetet vid en skattad trötthetsnivå på i medeltal 0.75 enligt Borgs CR10 skala. Detta resultat kan användas vid fortsatt modellutveckling. Om viloperioden är kortare än återhämtningstiden enligt Ekvation 2 kan man anta att trötthet ackumuleras, vilket modellen också påvisar.

Den ovan beskrivna modellen för trötthetsutveckling vid upprepad belastning har ännu inte tillämpats, men det finns ett starkt intresse från både forskargrupper och företag att få börja testa/använda den.

### **3.6 Modellutveckling av Ergo-Index modellen**

Ergo-Index är utvecklat för statiskt stående arbete med båda armarna i sagittalplanet.

I den fas av projektet då det konstaterades att den nyutvecklade Ergo-Index modellen gav orimliga resultat bedömde projektgruppen det som olämpligt att lansera modellen i dess dåvarande form. Under de därpå följande månaderna har vi arbetat med att identifiera problemen samt utvecklat en ny modell. Dock har det inte funnits möjlighet att testa, eller utvärdera den i någon större omfattning. Det vore av stort intresse och av vikt att få klarhet i vad som kan orsaka det U-formade sambandet som beskrivits i avsnitt 3.2. Men, i avvaktan på mer forskningsresultat, har vi valt att utveckla en ny Ergo-Index modell baserad på ekvationerna beskrivna i avsnitt 3.3. samt i detta avsnitt, 3.6. Modellen, som behöver testas och utvärderas systematiskt innan den sprids i större omfattning, har utvecklats baserat på följande.

För att kunna relatera en aktuell belastning till en maximal förmåga och därmed använda sig av sambanden för uthållighetstid och återhämtningstid, som redovisas i 3.2 och 3.3, behöver den maximala förmågan i olika belastningsfall uppskattas. Martin och Chaffin (1972) presenterade en biomekanisk simulering av kraftutvecklingsförmåga bland annat i form av styrkediagram. Dessa baserades på försöksdata från 89 medverkande arbetare i produktionen vid Western Electric Kansas City Works, biomekaniska beräkningar samt på datasimulering.

I modelleringen av Ergo-Index har tre diagram ur Martin och Chaffins artikel (1972) använts (Diagram 9, 13 respektive 14). Dessa anger värden för 50:e percentilen män för att relatera till maximal lyft-, tryck-, respektive drag-förmåga i sagittalplanet, det vill säga i planet ”framåt-bakåt”. I diagrammen anges maximal kraft i pounds beroende av arbetavstånd och arbetshöjd i tum. Författarna påpekar att de data som presenteras är konservativa data, det vill säga att i verkligheten bör man kunna utöva något högre kraft, samt att de angivna maximala värdena avser enstaka kortvariga belastningar.

Vid beräkningen av maximal förmåga har värdena som avlästs i Martin & Chaffin diagrammen omvandlats till SI enheterna kilogram [kg] och meter [m]. I Ergo-Index modellen har vi valt att uttrycka belastningen som kraft i Newton [N] istället för vikt i kg.

Vid modelleringen av Ergo-Index har arbetsställningar delats in i 12 olika områden, tre arbetsavstånd (0-40 cm, 40-60 cm samt 60-80 cm) framför kroppen, mätt från anklarna och

fyra arbetshöjder (mellan fot och knoge, mellan knoge och axel, mellan axel och huvud samt över huvud). Denna indelning har gjorts för att användarna av modellen lätt och snabbt ska kunna ange arbetshöjd och arbetsavstånd utan att behöva mäta upp dessa.

Antropometriska data presenterade av Hägg (2008, Tabell 4.1) har använts för att beräkna medelvärden för de fyra arbetshöjderna för kvinnor och män. Vid beräkning av maxförmåga har mittpunkten i varje arbetsområde, till exempel i avståndet 40-60 cm och höjden mellan fot och knoge använts vid avläsning av maxförmåga i Martin och Chaffins diagram.

Resultat om kvinnors och mäns muskelstyrka presenterade av Mital & Kumar (1998) har använts för att beräkna maxkraftvärden för en population med hälften kvinnor och hälften män (med data för unga kvinnor och män, Tabell 2), där kvinnor anges ha 62 % av männens styrka. Det medför att de värden som beräknats ur Martin & Chaffin-diagrammen har multiplicerats med konstanten 0,81  $((1,00 + 0,62)/2)$  för att erhålla maxkraftvärden i Ergo-Index modellen för en tänkt sådan ”medelgrupp”.

I Ergo-Index modellen normeras den aktuella belastningen som ges som indata till den uppskattade maximala belastningen som erhålls enligt ovan.

I det kalkylprogram som utvecklats för Ergo-Index, har modelleringen skett utan hänsyn till de fall då de medverkande uppgett att de inte har något återhämtningsbehov, dvs dessa har exkluderats vid modelleringen av återhämtningstid. I en mer sofistikerad modell som tar hänsyn till upprepade belastningar kan en sådan med fördel inkluderas.

I den nu utvecklade Ergo-Index modellen har dock de i Arbestmiljöverkets Författningssamling AFS 1998:1 rödmarkerade viktnivåerna (s 39) vid lyft och kraftnivåerna vid kontinuerligt skjuta och dra arbete (sid 41) beaktats, och lagts in som varning i modellen. Sådan visas om lyftkraften är större än 250 N i arbetsområdet med arbetsavståndet 0-40 cm framför kroppen, eller om den är större än 150 N vid arbete i området 40-60 cm eller 60-80 cm framför kroppen. Varning ges också vid tryck och drag om kraften överstiger 200 N.

### **3.7 Användargränssnitten i Ergo-Index modellen och ett exempel**

Ergo-Index modellen är framtagen för analys av statiskt stående arbete som utförs med båda händerna i sagittalplanet. Analysen baseras på en tänkt användargrupp som består av 50:e percentilen av befolkningen (en tänkt medelbefolkning bestående av lika andel personer svarande mot 50:e percentilen kvinnor och 50:e percentilen män), Användargränssnitten i kalkylprogrammet visas i Figur 6 och Figur 7. I programmet finns även hjälptexter enligt Tabell 2 inlagda, som visas då man för musen över de aktuella cellerna. Förutom dessa texter varnar programmet om den inmatade kraften överskrider den i AFS1998:1 rekommenderade nivån, dvs visar rött, se Figur 7. Om den beräknade belastningsnivån överstiger den maximala förmågan för denna befolkningsgrupp anges även detta som en varningstext.

**Tabell 2: Hjälptexter vid inmatning i Ergo-Index modellen.**

| Text                            | Hjälptext  |
|---------------------------------|--|
| Arbetsavstånd:                  | Ange hur långt ifrån kroppen arbetet utförs.<br>Utgå från anklarnas position.  |
| Arbetshöjd:                     | Utgå från en rakt stående person och relatera till denna när du uppskattar arbetshöjden.   |
| Arbetstyp:                      | Lyft: arbete där kraften är riktad uppåt.<br>Tryck: man utövar en horisontell tryckkraft (trycker något framför sig).<br>Drag: man drar något emot sig i horisontalplanet. |
| Utövad kraft [N]:               | Ange utövad kraft i Newton [N]. Lyfter man en vikt på 5 kg är kraften cirka 5*10 N, dvs 50 N.  |
| Belastningstid [s]:             | Belastningstiden är den tid, i sekunder, som man utför själva jobbet på, t ex borrar i tak eller drar en vagn.   |
| Vad vill du kalla denna analys? | Du kan namnge detta belastningsfall. Det är bra om du vill spara det och jämföra med andra analyser du gör.  |

**Ergo-Index indatablad (modellversion 2012.1)**

**Arbetsavstånd:**  0-40 cm  40-60 cm  60-80 cm

**Arbetshöjd:**  fot-knoge  knoge-axel  axel-huvud  över huvud

**Arbetstyp:**  lyft  drag  tryck

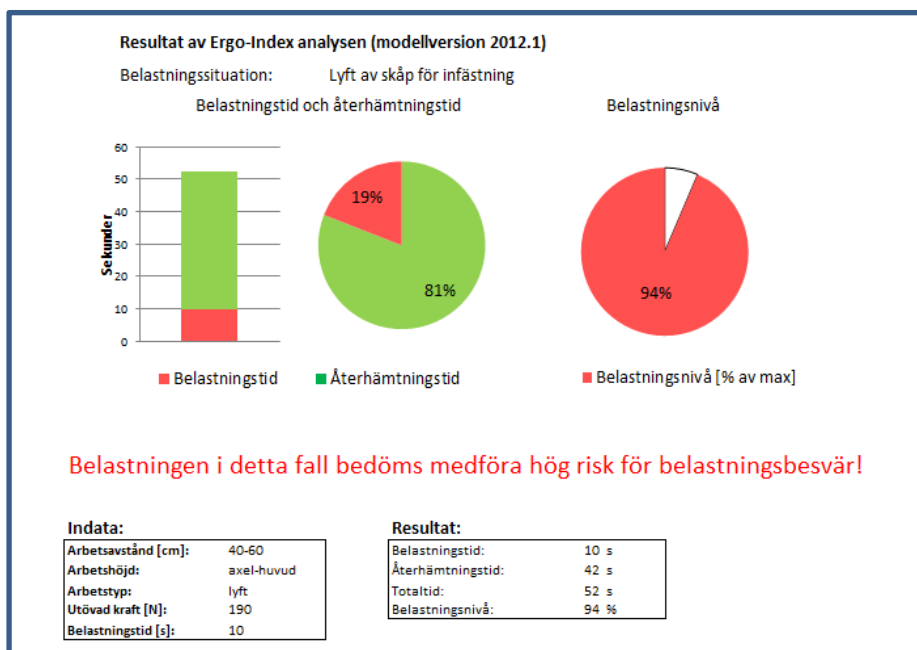
**Utövad kraft [N]:**

**Belastningstid [s]**

**Vad vill du kalla denna analys?**

**Figur 6: Användargränssnittet vid inmatning av data i kalkylprogrammet.**

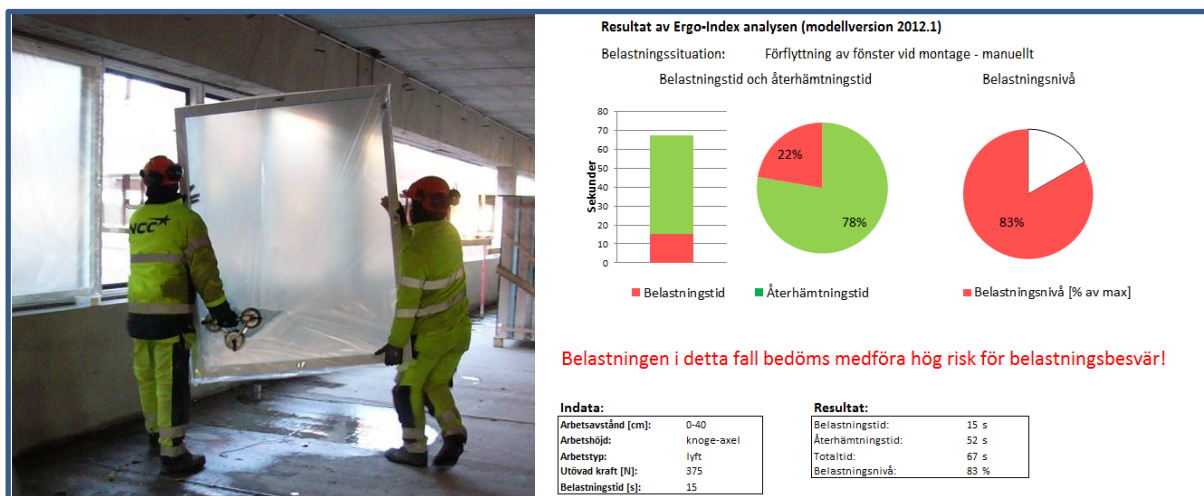
I resultatredovisningen i kalkylmodellen, enligt Figur 7, anges den uppskattade totala tiden i sekunder i en stapel, uppdelad på belastningstid (i rött) och återhämtningstid (i grönt). Resultatet redovisas också i ett cirkeldiagram som visar fördelningen av belastningstid respektive återhämtningstid i procent av den totala tiden (det vänstra av de två cirkeldiagrammen). Dessutom ges belastningen i förhållande till en uppskattad maxbelastning (i procent) i det högra cirkeldiagramet. Indata och beräknade data redovisas också i tabellform. Modellen har tillämpats på några typiska arbeten med båda händerna, se exemplet nedan samt Bilaga 2.



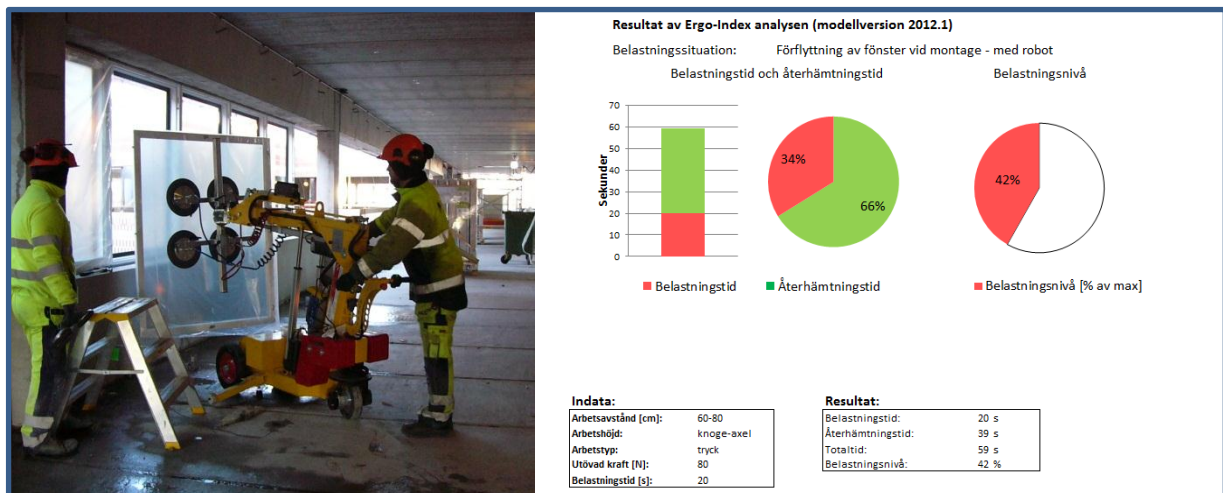
Figur 7: Användargränssnittet vid resultatredovisningen av analysen.

### Exempel: Förflyttning av fönster vid montage

Vid montering av fönster behöver de transporteras till önskad plats. Här har det ansatts att det tar 15 sekunder att bära ett fönster till önskad plats (övre bilden) och att det tar 20 sekunder att göra samma sak med roboten (nedre bilden). Analysen visar att totala tiden där återhämtningstiden är inkluderad, är kortare när man använder roboten. Detta beror på att återhämtningstiden är kortare i robot-fallet. Analysen visar också att den beräknade belastningen cirka hälften vid användningen av roboten jämfört med när man lyfter. Vid manuellt lyft bedöms belastningen medföra hög risk för belastningsbesvär (baserat på AFS1998:1).

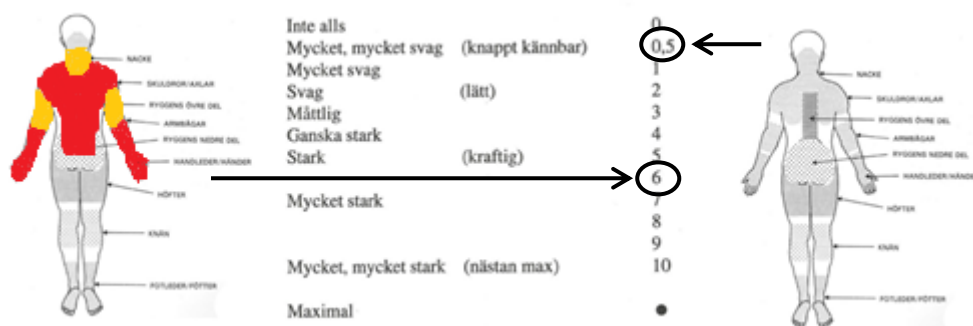






Figur 8: Foto samt Ergo-Index resultat för analys av förflyttning av fönster manuellt (överst) och med robot (underst). (Publiceras med tillstånd av de medverkande).

Utvärderingen på arbetsplatsen visade lägre upplevd belastning vid användande av roboten, se Figur 9. I kroppskartorna anger röd markering hög belastning och gul markering viss belastning. Subjektiv skattning av trötthet gjordes med Borgs CR10-skala och redovisas också i Figur 9. Resultaten visar att belastningen bedöms sjunka vid användandet av roboten även vid analys med de subjektiva utvärderingemetoderna.



Figur 9: Utvärderingen med subjektiva metoder: Trötthet obehag skattning med Borgs CR10-skala (i mitten), och utvärdering med kroppskarta där röd markering anger hög belastning och gul markering viss belastning. I det vänstra fallet för manuell transport och i det högra fallet med robot.

## **4. Diskussion**

En mängd relevanta frågeställningar har uppkommit under projektets gång. Nedan diskuteras några av dessa.

### **4.1 Giltighet och tillförlitlighet**

En modells giltighetsområde och tillförlitlighet beror till stor del på kvalitén och mängden data som den baseras på. Ergo-Index är utvecklat för statistiskt stående arbete med båda armarna i sagittalplanet. Underlaget i modellutvecklingen är begränsat. De ingående matematiska sambanden för uthållighet och återhämtning baseras på resultat från standardiserade försök som genomförts för en belastningssituation med statistiskt arbete framför kroppen där man utvecklade kraft i en kraftriktning (tryckkraft) och där belastningsnivå och tid varierade. Tio personer med yrkeserfarenhet av arbetet som simulerades medverkade i studien.

Mer data från andra typer av simuleringar och med fler deltagare vore önskvärda. I brist på sådana data har vi vid modelleringen ansatt att återhämtningen sker på samma sätt för alla belastningssituationer, såväl vad avser olika arbetsställningar, kraftriktningar mm. Fler resultat från olika typer av belastningssituationer skulle ge en bredare bas för modelleringen och troligen också förbättra modellens tillförlitlighet för belastningssituationer som inte är snarlika den som legat till grund för utvecklingen nu. Även faktorer som relaterar till arbetets karaktär t ex om det är statistiskt eller dynamiskt, och vilka delar i kroppen som belastas mest (såsom olika muskler och leder) påverkar belastningssituationen och därmed det man vill modellera.

### **4.2 Öväntat försöksresultat och dess påverkan på modellutvecklingen**

Det sofistikerade datainsamlingsprotokollet som använts i detta forskningsprojekt medförde möjlighet att modellera subjektivt skattad återhämtningstid som en funktion av belastningsnivå och belastningstid. Den icke-intuitiva, men tydliga, U-formade kurvan för återhämtningstiden, som illustreras i Figur 2, påvisar ett tidigare okänt fenomen. Att återhämtningstiden är kortast för den medelhöga relativa belastningen är ett öväntat resultat. Detta resultat i kombination med att hälften av de fall då de medverkande skattade att de inte behövde någon återhämtningstid efter en kort relativ belastningstid inträffade för fallen med 30 % belastningsnivå har diskuterats med flera framstående forskare inom området, utan att någon entydig förklaringsmodell presenterats.

Denna nya upptäckt om samband mellan belastningsnivå och återhämtningsbehov medför konsekvenser för varje generell modell som utvecklas med detta resultat som bas. Av den anledningen rekommenderar vi försiktighet tills detta nya fenomen kan förklaras i mer detalj. Därför har projektgruppen beslutat att inte göra den nya, här beskrivna Ergo-Index modellen tillgänglig för allmänheten i nuläget. Däremot förslås dels provanvändning av den nya modellen, och dels fortsatt forskning för att utröna mer om detta fenomen. Vid modelleringen har inte de fall där de medverkande skattade att de inte behövde någon återhämtningstid beaktats. Det är dock fullt möjligt att inkorporera dessa resultat i en mer sofistikerad modell

där en redovisning för sannolikheten för att man anser sig inte behöva vila efter en belastning kan vara en del av resultaten. Sådana resultat kan dock vara svåra att tolka om användaren inte har ingående kunskaper i ergonomi. Därför har detta inte prioriterats i Ergo-Index modellen.

#### **4.3 Olika definitioner av trötthet, uthållighetstid och återhämtningstid och deras betydelse vid modelleringen i detta projekt**

I uppstarten av projektet var tanken att använda resultat från uthållighetstids- och återhämtningstidsstudier rapporterade av olika forskargrupper. Under projektets gång har det blivit uppenbart att de olika definitioner av de centrala begreppen trötthet, uthållighetstid och återhämtningstid som används gör det olämpligt att blanda resultat från studier där olika definitioner använts. Olika trötthetsindikatorer uppvisar olika mönster under belastning och återhämtning, för översikter, se t ex Jonsson (1984) eller Rose (2008), vilket gjort att vi valt att modellera Ergo-Index främst med utgångspunkt i data från försökets Etapp 1 (Rose, 2008).

Peacock (2001) redovisar att uthållighetsmodellen presenterad av Rose et al. (1992), och som utgjorde en del av den Ergo-Index modell som presenterades 1992 (BELAB, 1992; Rose, 1992 a och b) är mer konservativ än till exempel Rohmerts. I en utvärdering av återhämtningsmodeller argumenterar El ahrache och Imbeau (2009) för att modellen presenterad av Rose et al. (1992a och b), verkar vara det säkraste valet vid höga belastningsnivåer. De hävdar att konservativa återhämtningsmodeller medför att man är mer på ”säkra sidan”, det vill säga löper mindre risk att utveckla belastningsskador på grund av för kort återhämtning.

Vid en jämförelse av resultaten presenterade av Rose (2008) som ligger till grund för den nu presenterade nya Ergo-Index modellen, och de presenterade av Frey-Law et al. (2010) och Rohmert (1960), visar det sig att resultaten från Rose (2008) visar på kortare uthållighetstider. Skillnaden är större vid den lägsta belastningsnivån (10 % av max förmåga), vilket är i linje med resultat rapporterade av Mathiassen och Winkel (1992).

Skillnaderna antas till stor del bero på olika definition av uthållighetstid. I Frey-Law et al.'s studie (2010), liksom i många andra studier, definieras uthållighetstiden som tiden tills förmågan att utveckla önskad kraft upphör, medan Rose's (2008) definition baseras på subjektiv skattning när man, trots att man är motiverad att fortsätta, avbryter på grund av för hög skattad trötthet, smärta eller obehag. I alla de studier som genomförts sedan början av 1990-talet med koppling till Ergo-Index har uthållighetstid och återhämtningstid bestämts subjektivt. Detta utgör en stor skillnad mellan denna modell och andra modeller som utgått från kraftutvecklingsförmåga istället. I de projekt som varit knutna till Ergo-Index utvecklingen sedan början av 1990-talet har studierna inte designats för att erhålla resultat för enstaka, specifika muskler, som i många andra rapporterade studier, utan för att erhålla resultat vad avser uthållighet, subjektivt upplevd trötthetsnivå samt återhämtningsbehov generellt för kroppen. För modelleringen med målet att erhålla en tillämpbar metod har det bedömts att sådana passar bättre.

I en studie där medverkande försökspersoner själva kunde välja belastningsnivå vid repetitivt lyftarbete fann Gamberale et al. (1987) att personer med yrkesmässig erfarenhet av lyftarbete (t ex lagerarbetare) systematiskt valde lägre lastnivå än personer som saknade sådan erfarenhet (t ex kontorsanställda).

Vid modelleringen av Ergo-Index har vi valt att utgå från subjektivt skattat återhämtningsbehov där skattningarna gjorts av personer med yrkesmässig erfarenhet och vana av det arbete som simuleras i försöksstudierna vid modellering av återhämtningstid. Det faktum att, som i flera av de studier vi genomfört knutna till Ergo-Index (Rose et al, 2001; Rose 2008), byggnadsarbetare som fortfarande är kvar i yrket gör sådana skattningar bedömer vi som en väsentligt i sammanhanget. Genom sin erfarenhet kan de antas kunna bedöma hur lång återhämtning de behöver för att inte utveckla belastningsbesvär. Vi hävdar att en modell baserad på sådana data är mer lämpad för att uppskatta lämplig återhämtningstid än modeller som baseras på data om återhämtning av kraftutvecklingsförmåga eller återhämtning av EMG-signalers effektspektrums centerfrekvens för att bestämma en lämplig återhämtningstid. Vi anser därför att den på detta sätt subjektivt skattade återhämtningstiden är en bättre parameter i arbetet med att verka för att minska risken att utveckla belastningsbesvär.

#### **4.4 Uppskattning av maxkrafter**

I den nya Ergo-Index modellen är beräkning av maxkraft väsentlig och görs för tre olika kraftriktningar i 12 arbetspositioner baserat på baserade på medelvärden enligt Martin och Chaffin diagrammen (1972). Detta är inte helt tillfredsställande. Det vore önskvärt att i stället kunna uppskatta maxkrafterna baserat på funktioner som steglöst anger arbetsavståndet och arbetshöjden vilket skulle medföra en bättre analys av arbeten i arbetsställningar som inte ligger nära de 12 nu definierade arbetspositionerna,. Det vore också önskvärt att kunna relatera avstånden och höjderna till antropomeriska mått om man vill möjliggöra analys mellan, till exempel, personer som är längre eller kortare än genomsnittet. Detta skulle kunna göras genom att digitalisera Martin och Chaffin diagrammen och utifrån digitaliseringen anpassa ekvationer för maxkrafter för lyft-, tryck- och dragarbete med arbetsavstånd och arbetshöjd som variabler. Det bör dock åter poängteras att fokus i projektet varit att jämföra arbeten, inte människor. Vidareutveckling av maxkraftuppskattningen i modellen enligt ovan har diskuterats som ett möjligt examensarbete.

Underlaget för maxkraftbestämning enligt Martin och Chaffin är närmare 40 år gammalt. Trots relativt omfattande sökning efter en lämplig metod för att bestämma maxkrafter för olika arbetsställningar och kraftriktningar har vi inte funnit någon bättre än de diagrammen från 1973. Det finns nyare forskning om maxförmåga för vissa specifika belastningssituationer, men vi har inte funnit resultat som vi uppfattar som mer användbara än resultaten från Martin och Chaffin. Mycket intressanta resultat har nyligen rapporterats från forskargruppen vid McMasteruniversitetet. Potvin et al. (2010) presenterade regressionskurvor baserade på ett stort antal försök i olika positioner utförda av 71 kvinnor i upprätt stående arbetsställningar för lyft, tryck och dragkrafter. För arbete i upprätt stående arbetsställningar skulle man kunna använda Potvin et al.'s (2010) ekvationer istället för de som använts i det nu aktuella

projektet. Dock saknas data för hur maxkraften förändras vid andra arbetsställningar än rakt stående, till exempel vid djup framåtböjning. Av detta skäl har dessa samband inte använts i Ergo-Index modellen, men ett framtida samarbete inom detta område mellan forskargruppen kring Jim Potvin vid McMasteruniversitetet och KTH STH har diskuterats och är intressant för bägge dessa grupper. En uppdatering av Chaffins material inkluderande även för andra arbetsställningar och kraftriktningar skulle utgöra ett intressant underlag för modellering inom detta område.

Det finns många publicerade studier där maximal styrka studerats (t ex Mital och Kumar, 1998, Greig & Wells, 2004), men mycket färre som relaterar till acceptabla arbetskrav. I en helt färsk vetenskaplig artikel redovisar Potvin (In press) acceptabla kraftnivåer för repetitivt arbete i förhållande till arbete/paustid ("duty cycle"). Vad som utgör en acceptabel ansträngning kan vara användbart vid utformning av praktiskt användbara modeller för utvärdering av verkligt arbete. På kort sikt ska man orka med arbetspasset och på lång sikt ska man undvika belastningsbesvär.

#### **4.5 Vidgat perspektiv för modellering inom området**

Syftet med Ergo-Index modellen är att möjliggöra jämförelser mellan olika sätt att utföra ett arbete på. Modellens resultat ger uppskattningar av total tid för ett arbetsmoment, som består av en given belastningstid och en beräknad återhämtningstid, samt en uppskattning av belastningsnivå. Dessutom ges en varning vid hög risk för belastningsbesvär. Det finns dock en rad olika aspekter inom det belastningsergonomiska området som är intressanta i predikterings-sammanhang.

##### **4.5.1 Risker för belastningsskada**

Den föreslagna Ergo-Index modellen har begränsningar i att endast krafter och tidsaspekter beräknas. Det centrala behovet att uppskatta risker för belastningsskador har endast mötts genom att modellen varnar för sådana risker då de rekommenderade gränsvärdena enligt AFS 1998:1 överskrids.

I tidigare versioner av Ergo-Index modellen (bl.a. dataprogram BELAB (Rose), 1992) fanns dessutom en varning inlagd vid ökad risk för ländryggsskada, baserat på dels NIOSH gränsvärdet om 3400 N maximal kompressionskraft i ländryggen samt på Andersson et al.'s (1983) sk "ryggkatalog" för uppskattning av ländryggsbelastning vid olika belastningsfall. Projektgruppen beslutade att i den nu utvecklade modellen inte inkludera bedömningar av risker för att utveckla belastningsskador, med undantag för maxkraftrekommendationerna från AFS 1998:1 enligt avsnitt 3.6. Anledningen är att det finns många olika modeller och rekommenderade värden som ej bör överskridas för att undvika belastningsskador för olika kroppsdelar (t ex olika länders lagstiftning, och värden i olika modeller såsom till exempelvis NIOSH-ekvationen (Waters et al., 1993) RULA (McAtamney & Corlett, 1993), och OCRA (Colombini, 2002), men ingen konsensus om vilka som är mest relevanta. För en översikt av riskbedömningsmodeller hänvisas till exempelvis *Arbete och teknik på människans villkor*

(Bohgaard et al., 2008), *Systematisk genomgång av observationsmetoder* (Takala et al., 2010) samt det pågående ”RAMP-projektet” (”Utveckling, implementering och spridning av belastningsergonomiskt bedömningsverktyg och åtgärdsprocess”, afa-Dnr 090168), (Rose et al., 2011).

#### **4.5.2 Hänsyn till ogynnsam arbetsställning**

Dåliga arbetsställningar förekommer i arbetslivet, t ex arbete med vriden överkropp, arbete på tå etc. El ahrache et al. (2006) redovisade en genomgång av olika ekvationer för olika typer av belastningar presenterade av olika forskare och forskargrupper. Rose (2001a) föreslog olika typer av ekvationer för att bestämma uthållighetstiden beroende av om belastningen var och utfördes i normal eller i dålig arbetsställning eller vid belastning där passiv belastning förekommer. I den nu föreslagna och utvecklade nya Ergo-Index modellen har endast en generell ekvation för beräkning av uthållighetstid ansatts. Dock skulle en framtida modellering kunna baseras på olika typer av matematiska samband, beroende på belastningssituation, till exempel där man tar hänsyn till vridna arbetsställningar. Det har dock bedömts att man i så fall även bör beakta eventuella möjliga olikheter i återhämtningstid, men det finns inte forskningsresultat redovisade i tillräcklig omfattning för att rättfärdiga detta i dagsläget.

#### **4.5.3 Hänsyn till belastning av kroppssegments egentyngd**

Vid hantering av små vikter/laster utgör kroppssegments egentyngd en relativt sett större andel av den totala belastningen. I Martin och Chaffins data tas dock hänsyn till dessa egentyngder genom försöksmetoden. Analyser med ett biomekaniskt simuleringsprogram (ALBA) för att analysera kroppssegments egentyngd har gjorts i projektet. Ett examensarbete för att utvärdera egentyngdernas inverkan vid olika belastningssituationer, till exempel med olika kraftriktningar för utövad kraft skulle kunna bidra med underlag till förfinade modeller.

#### **4.5.4 Hänsyn till repetitivitet**

Modellerna som presenteras i avsnitt 3.4 och 3.5 syftar att möjliggöra prediktering av trötthetsutveckling vid upprepad belastning. Denna kan vara repetitiv men kan också utgöras av en serie av på varandra följande olika arbetsmoment. Vid en fortsatt utveckling av dessa två modeller behöver mer kunskap om repetitiv belastning inkorporeras i modellerna, speciellt behövs mer data från upprepade belastningscykler. En viktig uppgift är att utvärdera hur dessa modeller stämmer överens med verkliga situationer, eftersom de bygger på mycket begränsade datamängder vad gäller repetitiva förlopp. Resultaten som framkommit i projektet skulle kunna vidareutvecklas till en mer omfattande modell som även predikterar trötthetsnivå och ackumulering av trötthet vid upprepad belastning. En sådan har diskuterats med andra forskare och ses som en naturlig fortsättning av forskningen och utvecklingen inom detta område.

#### **4.5.5 Koppling till andra forskningsprojekt**

Tidigare resultat knutna till Ergo-Index modellutvecklingen har visat sig användbara i olika sammanhang. Förutom att GM använt metoden både för att utvärdera befintliga arbetsstationer och vid utveckling av nya arbetsplatser, har resultaten använts i andra forskningsprojekt.

Bland de projekt som under de senaste åren varit knutna till konceptet med Ergo-Index modellen kan nämnas Perez (2010) arbete där han i Diskret Event Simuleringar (DES) av olika repetitiva belastningscykler jämförde sex olika uthållighetsmodeller (Rose, 1992b; Rohmert, 1960, 1986, 1973; Sato, 1984; Manenica, 1986; Sjøgaard, 1986 samt Mathiassen & Åhsberg, 1999) och fann att Rose et al.'s modell (1992 b) var den som bäst lämpade sig för trötthetssimulering vid upprepat arbete, fastän den inte utvecklats för detta syfte. Han fann också att endast metoderna presenterade av Rose et al. och av Manenica visade på signifikanta skillnader i ackumulering av trötthet. De nya modellerna som presenteras som resultat av det nu aktuella projektet kan bidra till bättre modellering av DES-modeller.

Uthållighets- och återhämtningsmodellerna som presenterades av Rose et al. (1992b) har också använts i ett aktionsforskningsprojekt inom ergonomi och DES i syfte att utveckla och testa en modell för arbetsplatsdesign (Dode, 2012). Att just dessa valdes berodde enligt Dode på att de var generella och inte muskelspecifika och att de även beaktar trötthetseffekter vid belastningar under 15 % av maxförmågan. Resultaten presenterade i det nuvarande projektet kan användas för att göra liknande modellering som beskrivits i de två ovanstående projekten, men med bättre underlag för modellutveckling framöver.

Ett resultat Rose et al. presenterade 1992 (Rose et al., 1992b) är att när personer i en studie med passiv belastning själva fick besluta om arbetscykel-tiden, valde de att avbryta arbetet vid ungefär 20 % av uthållighetstiden. Detta resultat har använts vid utformningen av standarden ISO 11226 (Delleman & Dul, 2007). Det kan också användas som ett underlag vid fortsatt modellutveckling inom området.

#### **4.6 Psykosociala faktorer**

”Begreppet psykosocial arbetsmiljö omfattar interaktion med samtliga komponenter i den totala arbetssituationen” (Thylefors, 2008). Ofta syftar man på de psykiska och sociala konsekvenserna som ett arbete medför (Thylefors, 2008). Litteraturstudien som genomfördes i detta projekt inriktades på att hitta modeller där psykosociala faktorer påverkan, uttryckt i kvantitativa mått, på risken att utveckla belastningsbesvär som skulle kunna inkorporeras i den vidareutvecklade Ergo-Index-modellen. Tyvärr har någon sådan inte påträffats vid litteraturgenomgången. Därför har psykosociala faktorer inte heller modellerats i den nya Ergo-Index modellen. Slutrapporten för detta projekts Etapp 1 (Rose, 2008) ges en genomgång av litteraturstudiens resultat som gjordes i projektets första etapp.

I den nyligen utkomna rapporten från Statens beredning för medicinsk utvärdering (SBU) ”Arbetets betydelse för uppkomst av besvär och sjukdomar, Nacken och övre rörelseappara-

ten, En systematisk litteraturoversikt” (2012), där man evidensgraderat resultaten från de studier som ingått, redovisas att det finns begränsat vetenskapligt underlag för att kombinationen av exponeringar med höga krav och låg kontroll ökar besvär för nacken. Desamma gäller för att höga krav ökar risken för besvär i nacken samt för att låg kontroll eller lågt beslutsutrymme ökar risken för besvär i nacke/axlar. För övriga psykosociala exponeringar som ingått i översikten redovisas att det finns otillräckligt vetenskapligt underlag.

Det finns dock många vetenskapliga arbeten publicerade inom området psykosociala faktorer i arbetsmiljön. Några exempel på faktorer som anses ha betydelse för hur vi mår och presterar på arbetet är krav-kontroll-stöd (även ansträngning-belöning), ”organisational justice and injustice”, interaktionen – ledarskap-medarbetarskap, balans i livet (sömn, träning, mm), interaktion, gränssättning, arbetsklimat, struktur och ordning (organisation) samt måltydighet (processer). Bland de mer kända publikationerna om psykosociala faktorer finns arbeten av Carayon et al. (1999) om arbetstorganisation, jobbstress och arbetsrelaterade muskuloskelettala besvär, Siegrist et al (2004) om ansträngning-belöning, Sluiter, et al. (2007) om behov av återhämtning från arbetsrelaterad trötthet, Kivimäki et al., (2003) om ”organisational justice” och Skakon et al. (2010) och Delleve et al. (2007) om ledarskapets betydelse. Tabenelli et al. (2008) redovisar metoder för mätning av psykosociala faktorer i arbetsmiljön.

## **5.           Projektförändringar samt spridning av resultat**

### **5.1           Avvikelser i projektet utifrån projektbeskrivningen**

Följande avvikelser har gjorts i förhållande till projektbeskrivningen.

I uppstarten av projektet planerades det att de exempel som den nya Ergo-Index modellen skulle testas på skulle hämtas från arbeten typiska för byggbranschen. I diskussioner med referensgruppens medlemmar och företag beslutades det att även arbeten från andra branscher bör ingå. Därför har modellen även testats i andra typer av arbeten.

I början av projektet var avsikten att lägga den nya modellen på förslagsvis CentralGalaxen AB's hemsida. Under projektets gång har det dock, i samråd med CentarGalaxen beslutats att det är lämpligare att lägga så att den kan nås via KTH's hemsida. Detta delvis eftersom den kan tillämpas på andra arbeten är de i byggbranschen och det därför är mer lämpligt att den ligger på en hemsida som inte främst associeras till byggbranschen. Detta gäller även exempelbanken. Dock skulle man med fördel kunna länka till den från CentralGalaxens hemsida.

På grund av problemen med att den första modellen som utvecklades i projektet gav orimliga värden, vilket uppmärksammades först i projektets slutskede, efterfrågades och erhöles en förlängning av projektiden med tre månader. Under denna tid har dels data analyserats på nytt, modelleringen skett på nytt och den nya modellen testats på några arbeten. Från början var avsikten att presentera analyser för tio arbeten, med i denna rapport redovisas sju. Det ska



poängteras att den nu utvecklade modellen behöver användas i större omfattning än vad som hunnits med under den förlängda projektiden, för att se om den behöver modifieras innan den sprids i större omfattning. Dessutom indikerar den nya kunskapen om kortare återhämtningsbehov vid medeltunga belastningar som erhållits i detta projekt att denna nya kunskap bör utredas ytterligare innan det är lämpligt att sprida modellen och dess exempel i en exempelbank offentligt via en hemsida.

Dock kommer intresserade att kunna få information om modellen och möjlighet att vara ”pilotanvändare” av den. Avsikten är att få fler tillämpningar av den nya modellen för feedback inför möjlig fortsatt utveckling och validering. Information om detta kommer att läggas på KTH STH’s hemsida.

Inga personalförändringar har skett i projektet. Dock har projektledaren sedan projektstarten varit anställd vid Skolan för Teknik och hälsa vid KTH, vid Avdelningen för Ergonomi, inte vid Avdelningen för Design, arbetsmiljö, säkerhet och hälsa (DASH).

## **5.2 Insatser som skett och planeras för att resultatet ska komma till praktisk användning i arbetslivet**

Den nya Ergo-Index modellen har provanvänts/ testats för några arbeten (för några exempel se avsnitt 3.7 och Bilaga 2) på några företag, till exempel NCC, Stena Line och Scania. Modellen har diskuterats med flera aktörer i svenskt näringsliv, främst med personer med relevant kompetens i sammanhanget (chefer, personer med produktionsansvar, personer som arbetar med arbetsmiljöfrågor). Några sådana exempel är personer verksamma vid NCC, SKANSKA, Bravida, APJ, Scania, KLE, Astra Zeneca och Volvo Technologies. Samtliga dessa har visat intresse för modellen och antingen redan fått en presentation av den eller visat intresse för att få en sådan. Under våren 2012 kommer modellen att erbjudas för provanvändning bland företag som är intresserade att vara ”testpiloter” av modellen. Det finns också ett intresse hos några av de ovanstående av att använda de andra modellerna som utvecklats i detta projekt.

Preliminära resultat från projektet har även spridits via utbildningar mm. Exempel på sådan spridning är i utbildningar på såväl gymnasienivå (på REFIS) som på universitetsnivå (på bland annat föreläsningar i kurser på KTH, Chalmers och Ryersonuniversitetet), på seminarier, workshops och konferenser (till exempel för Sjukgymnastförbundets ergonomisektion, på works-shops med industriföretag på Ryersonuniversitetet samt vid Leviprisutdelningen 2009). Det kommer också att presenteras på Nordiska ErgonomiSällskapetets konferens NES2012 med ett konferensbidrag om Ergo-Index modellutvecklingen och exempel på tillämpningar med den. I nuläget finns också två artiklar i manuskriptform, en om resultaten från försöksstudien och en om modelleringen. Dessa kommer att sändas till internationella vetenskapliga tidskrifter under 2012. Dessutom planeras en forskningsrapport för redovisning av data vad avser subjektivt

skattad trötthet. Den kan utgöra ett väsentligt bidrag för andra forskare vid utveckling av nya modeller.

På sikt föreslås att Ergo-Index också ingår som en metod i en omarbetad upplaga av ”Arbete och teknik på människans villkor” En rekommendation är att den innan en sådan publikation görs, har använts och utvärderats mer, samt om så behövs, modifierats.

Resultatet har spridits och kommer att fortsätta att spridas genom forskarnätverket och nätverket med företag och organisationer som projekt och referensgruppen har. Det har även diskuterats att låta det utgöra en del i några företags utbildningar och projekt inom arbetsmiljöområdet. Under det pågående projektet har General Motors i USA, som använt Ergo-Index modellen som presenterades 1992 (Rose et al., 1992 a och b) i många år uttryckt intresse för att ta del även av en ny Ergo-Index modell.

Resultatet från detta projekt kan komma att användas vid utvecklingen av det IT-baserade riskbedömningsverktyget ”RAMP” (afä projekt med Dnr 090168).

Under projektets gång har också förslag på möjliga examensarbeten diskuterats. Några sådana är:

1. Examensarbete om modellering av maxkraftförmåga. Här skulle målet vara att digitalisera Martin och Chaffin´s maxkraftsdiagram samt med dessa som underlag utveckla ekvationer för hur kraften varierar beroende på arbetsområde och kraftriktning, jämföra dessa ekvationer med andras resultat (t ex Potvin et al., 2010) och förändra modelleringsunderlaget i Ergo-Index modellen vad avser maxkraftbedömning.
2. Test och utvärdering av den nu utvecklade Ergo-Index modellen samt av de två andra typerna av modeller för ackumulering av trötthet och för prediktion av trötthetsupplevelse i en tillämpad studie, till exempel på lagerarbete och med möjlig utveckling av dessa modeller som ett önskvärt resultat.
3. Studera bidraget från kroppsegmentens egentygd och hur de skulle kunna inkorporeras i en belastningsmodell som Ergo-Index samt jämföra resultaten genom utvärdering med andra metoder.
4. Ett användarvänligt datorprogram med användarguide där även de två andra typerna av modellering som presenteras i denna rapport ingår i dataprogrammet.

## **6. Fortsatt arbete**

En slutsats från detta projekt är att det behövs mer forskning inom flera specialområden kopplade till denna typ av modellering. Några frågeställningar som behöver belysas ytterligare är:

- Orsakerna till U-formen för återhämtningstid som funktion av belastningsnivå.

- Mer data för olika arbetssituationers återhämtningsbehov för att få bättre underlag för fortsatt modellutveckling.
- Utveckling av metod för prediktering av maximal kraftutvecklingsförmåga. Ett sätt skulle kunna vara att basera en sådan på en sammanställning och jämförelse av i litteraturen rapporterade resultat, såsom Potvins regressionskurvor (2010), Martin och Chaffins prediktionsmodell (1972), Snooks data (1993) med flera. Ett annat sätt skulle kunna vara att experimentellt erhålla nya data för olika arbetsställningar och kraftriktningar som kan användas för uppskattning av maximal kraftutvecklingsförmåga.
- Studie om effekterna av repetitiv belastning för vidareutveckling och validering av modeller för uthållighetstid och återhämtningstid samt för trötthetsprediktion.
- Prediktering och analys av trötthetsnivå vid arbeten sammansatta av olika typer av belastningar.
- Inkludering av dynamiska effekter. Dode (2012) identifierade som huvudsaklig begränsning med Rose et al.'s (1992 b) modeller för uthållighet och återhämtning att de inte utvecklats för dynamiskt repetitivt arbete vid låga belastningsnivåer. Studier som fokuserar på att testa de i denna rapport föreslagna modellerna för repetitivt arbete vore intressanta och även ge en bas för vidareutveckling av modellen även för sådana tillämpningar.

## **7. Slutsatser**

Följande slutsatser har dragits från projektet:

I stort sett har projektmålen uppnåtts, även om de nya forskningsresultaten medfört att nya frågeställningar har uppdagats.

Projektet har på flera sätt bidragit till ökad kunskap. Exempel på detta är:

- Tillhandahållande av nya data vad avser trötthetsreaktioner som kan användas av andra forskare.
- Identifiering av ett ej tidigare observerat fenomen inom området (U-format samband för återhämtningsbehov som funktion av belastningsnivå).
- Nya modeller för uthållighets- och återhämtningstider.
- Nya modeller för prediktering av upplevd trötthet under och efter fysiskt belastande arbetsmoment.
- Nya modeller för ackumulering av trötthet.
- Beskrivning av den nya Ergo-Index modellen.
- Redovisning av exempel där den nya Ergo-Index modellen tillämpats – början på en exempelbank.
- Spridning av kunskap till utbildningar, företag, organisationer och forskarsamhället.

Ett nytt, inte tidigare rapporterat fenomen om ett U-format utseende av sambandet mellan återhämtningsbehov och belastningsnivå vid olika relativa belastningstider har påvisats i projektet. Detta fenomen bör undersökas närmare för att se hur olika belastningsnivåer påverkar återhämtningsbehovet. Resultatet med denna U-formade kurva för återhämtningsbehovet leder till att man bör iaktta försiktighet med att börja tillämpa den nya Ergo-Index modellen som presenteras i denna rapport. Detta har lett till slutsatsen att mer forskning behövs, men innan sådan finns är det lämpligt att den nya modellen till att börja med provanvänds av pilot-användare som kan ge återkoppling för vidare utveckling.

Matematiska samband för uthållighetstiden som funktion av belastningsnivå samt för återhämtningstid som funktion av belastningsnivå och belastningstid har modellerats. Bästa anpassning till mätdata erhöles med potensfunktioner.

Det sker en ackumulering av trötthet vid upprepad belastning som visar sig som kortare uthållighetstid och längre återhämtningstid vid en andra belastning. Fastän dataunderlaget är mycket begränsat genom att försöken skett med endast en upprepning, har en preliminär modell för ackumulering av trötthet utvecklats som också presenterats i rapporten.

Baserat på försöksresultaten har modellering för att prediktera trötthetsnivå under och efter belastning genomförts. Dessa modeller kan initialt användas i tillämpade forskningsprojekt där cykliska belastningar analyseras, men modellerna kan även användas för mer varierat arbete.

## Referenser

- AFA Försäkring (2007) *Allvarliga arbetsskador och långvarig sjukfrånvaro*. Rapport. AFA Försäkring
- Afa (2006) Beviljat ramprogram 2006 – 2007. Säkerhet, miljö och produktivitet – branschprogram för den svenska byggsektorn 2006-2010.
- Alba (LiTH) biomekanik och simulerings dataprogram.
- Arbetsmiljöverket/ Arbetarskyddsstyrelsen (1998) Arbetarskyddsstyrelsens Författningssamling AFS 1998:1, Belastningsregonomi.
- Andersson, G. B. J., Schultz, A. B., Örtengren, R. (1983) *A catalogue of loads on the lumbar spine and trunk during work*. Manuscript in Swedish, Department of Orthopaedic Surgery, Sahlgren Hospital, Göteborg, Sweden.
- ASS, Arbetarskyddsstyrelsen & SCB, Statistiska Centralbyrån, (1994) *Occupational risks 1990-1991: Occupational accidents and diseases*. Report in Swedish from Official Statistics of Sweden, National board of Occupational Safety and Health, Statistics Sweden. SCB förlag, Stockholm, Sweden.
- BELAB, Byggergolab AB (1992) Ergo-Index Dataprogram.
- Bohgard, M., Karlsson, S., Lovén, E., Mikaelsson, L.-Å., Mårtensson, L., Osvalder, A.-L., Rose, L., & Ulfvengren, P. (Eds) (2008) *Arbete och teknik på människans villkor*. Prevent. ISBN 978-91-7365-037-3, Stockholm, Sweden.
- Borg, G. (1982) *A category Scale with ratio properties for intermodal and interindividual comparisons. "Psychophysical judgement and the process of perception"*. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, DDR.
- Borg, G., Hassmen, P. & Lagerström, M. (1987) Perceived exertion related to heartrate and blood lactate during arm and leg exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 6; 56(6):679-685.
- Byström, S. & Fransson-Hall, C. (1994) Acceptability of intermittent handgrip contractions based on physiological response. *Human Factors*, 36(1):158-171.
- Carayon, P., Smith, M. J., and Haims, M. C. (1999) Work Organization, Job Stress, and Work-Related Musculoskeletal Disorders. *Human Factors*, 41 (4): 644-663.
- Chaffin, D. J. and Andersson, G. B. J. (1991) Occupational biomechanics. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- Colombini, D. (2002) Risk assessment and management of repetitive movements and exertion of upper limbs, volume 2. Elsevier (ISBN 0-08-0-44080-0).
- Combs, W. (2007) Personal communication with Wayne Combs, GM, OSHAWA Autoplex, Canada.
- Grewal, J. (2007) Personal communication with Jasdeep Grewal, Bombardier Aerospace, Toronto, Canada.
- Danogips (1992) Påfrestande byggskevimentage kan elimineras. *Danogips Magazine* Nr 1, 1992, sid 9-11.
- Dederling, A., Elfving, B. & Nemeth, G. (2004) EMG recovery and ratings after back extensor fatigue in patients with lumbar disc herniation and healthy subjects. *Eur J Appl Physiol* Jun:92(1-2):150-159.
- Delleman, N. J. & Dul, J. (2007) International standards on working postures and movements ISO 11226 and EN 1005-4, *Ergonomics*, 50:11, 1809-1819.

- Dellve, L., Skagert, K. and Vilhelmsson, R. (2007) Leadership in workplace health promotion projects: 1- and 2-year effects on long-term work attendance. *European Journal of Public Health*, 17(5): 471-476.
- Dode, P. (2012) The Integration of Human Factors into Discrete Simulation and Technology Acceptance in Engineering Design. Thesis for Master of Applied Science, Mechanical and Industrial Engineering, Ryerson University, Toronto, Canada.
- El ahrache, K., Imbeau, D. & Farbos, B. (2006) Percentile values for determining maximum endurance times for static muscular work. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36:99-108.
- El ahrache, K. & Imbeau, D. (2009) Comparison of rest allowance models for static muscular work. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(1):73-80.
- Frey Law, L. A. & Avin, K. G. (2010) Endurance time is joint-specific: a modeling and meta-analysis investigation. *Ergonomics*, 53(1) 109-129.
- Frey Law, L. A., Lee, J. E., McMullen, T. R., Xia, T. (2010) Relationships between maximum holding time and ratings of pain and exertion differ for static and dynamic tasks. *Applied Ergonomics*, 42:9-15.
- Gamberale, F., Ljungberg, A.-S., Annwall, G. and Kilbom, Å. (1987) An experimental evaluation of psychophysical criteria for repetitive lifting work. *Applied Ergonomics*, 18(4): 311-321.
- Glimskär, B., Höglund, P.-E. & Örtengren, R. (1987) Ergo-Index En beskrivning av ergonomiska effekter. Report in Swedish, TRITA-BEL 0036, LiTH-IERG-R-9, The Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Greig, M. & Wells, R (2004) Measurement of prehensile grasp capabilities by a force and moment wrench: Methodological development and assessment of manual workers. *Ergonomics*, 47: 41-58.
- Hawkins, D.A. & Hull, M.L. (1993) Muscle force as affected by fatigue: mathematical model and experimental verification. *Journal of Biomechanics*, 26: 1117-1128, Citerad av Tang CY, Stojanovic B, Tsui CP & Koijc M (2005) Modeling of muscled fatigue using Hill's model, *Biomed Mater Eng.*, 15(5):341-348.
- Holmström, E. & Engholm, G. (2003) Musculoskeletal disorders in relation to age and occupation in Swedish construction workers. *Am J Ind Med*. Oct;44(4):377-384.
- Hägg, G. M. , Ericson, M, Odenrick, P (200 *Fysisk belastning, Kapitel 4, i* Bohgard, M et al. (red) (2008) *Arbete och teknik på människans villkor* Prevent, ISBN 978-91-7365-037-3, Stockholm.
- Johansson, H.; Windhorst, U.; Djupsjöbacka, M. & Passatore, M.(Red) (2003) *Chronic work-related myalgia – Neuromuscular mechanisms behind Work-related Chronic Muscle Pain Syndromes*. Centre for Musculoskeletal Research , University of Gävle Gävle University Press ( Publ).
- Jonsson, B. (1984) Muscular fatigue and endurance basic research and ergonomic applications. In Neural and mechanical control of movement. (Ed. Shoten), 63-76, Kyoto, Japan.
- Karasek R & Theorell T (1990) *Healthy work: Stress, Productivity, and the Reconstruction of Working Life*. New York, Basic.
- Kenttä, G .& Svensson, M.§ (2008) *Idrottarens återhämtningsbok – Fysiologiska, psykologiska och närings-mässiga fakta för snabb och effektiv återhämtning*. SISU Idrottsböcker. Stockholm, ISBN:91-88941-91-4.
- Kivimäki M., Elovainio, M., Vahtera, J., and Ferrie, J. E. ( 2003) Organisational justice and health of employees: prospective cohort study. *Occup Environ Med*, 60: 27-34.
- Koijc, M. (2005) Modeling of muscled fatigue using Hill's model, *Biomed Mater Eng.*, 15(5):341-348.

- Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, Å., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G. & Jørgensen, K. (1987): Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculo-skeletal symptoms. *Applied Ergonomics*, 18:233-237.
- Linnamo, V., Häkkinen, K., Komi, P.V., 1998. Neuromuscular fatigue and recovery in maximal compared to explosive strength loading. *European Journal of Applied Physiology* 77, 176-181.
- Ma, L., Chablat, D., Bennis, F. & Zhang, W. (2009) A new simple dynamic muscle fatigue model and its validation. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(1): 211-220.
- Manenica, I. (1986) A technique for postural load assessment, In *The ergonomics of working postures*. (Eds Corlett, Wilson and Manenica), 270-277, Taylor & Francis, London, UK.
- Mannion, A.F., Dolan, P., 1994. Electromyographic median frequency changes during isometric contraction of the back extensors to fatigue. *Spine* Vol 19 No. 11, 1223-1229.
- Martin, J.B. and Chaffin, D. B. (1972) Biomechanical computerized simulation of human strength in sagittal plane activities. *AIIE Transactions (American Institute of Industrial Engineers)*, 4(1), 19-28.
- Mathiassen, S.E. & Winkel, J. (1992) Can occupational guidelines for work-rest schedules be based on endurance time data? *Ergonomics*, 35(3):253-259.
- Mathiassen, S.E., Åhsberg, E. (1999) Prediction of shoulder flexion endurance from personal factors. *Int. J. Ind. Erg.* 24, 315-329.
- McAtamney, L. & Corlett, E.N. (1993) RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2)April,91-99.
- Mital, A. & Kumar, S. (1998) Human muscle strength definitions, measurement and usage: Part I - Guidelines for the practitioner. *International Journal of Industrial Ergonomics* 22:101-121.
- Nilsson, B. & Rose, L. (2004) *Förbättrad arbetsmiljö för anläggningsmaskinförare*. (Improved Work Environment for Earth Moving Machinery Operators). Report (in Swedish), Prevent, Sweden.
- NIOSH (1981) *Work practices guide for manual lifting*. NIOSH technical report No. 81-122, US Department of Health and Human Services, National Institute of Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH, USA.
- Oxenburgh, M., Marlow, P. & Oxenburgh, A. (2004) *Increasing Productivity and Profit through Health and Safety: The Financial Returns from a Safe Working Environment*. 2<sup>nd</sup> edition Boca Raton, Florida, CRC Press.
- Peacock, B. (2001) My arms are getting tired. *Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications*, 9(3) 4-32.
- Perez, J. (2010) Virtual human factors tools for proactive ergonomics: Qualitative exploration and method development. Thesis for Master of Applied Science, Mechanical and Industrial Engineering, Ryerson University, Toronto, Canada.
- Potvin, J.R., Petrucci, C., & Avrahami, D. (2010) Predicting female arm strength based on hand location. In *Proceedings of the Association of Canadian Ergonomists conference in Kelowna, BC, Canada*.
- Potvin, J.R. (In press) Predicting maximum acceptable efforts for repetitive tasks: An equation based on duty cycle. *Human Factors*.
- Putz-Anderson, V. (1988) *Cumulative trauma disorders A manual for musculoskeletal disease of the upper limbs*, Taylor & Francis, London, UK.

- Rohmert, W. (1960a) Statische Haltearbeit des Menschen. *Sonderheft der REFA-Nachrichten*, Verband für Arbeitsstudien Refa eV. Darmstadt, Germany.
- Rohmert, W. (1960b) Ermittlung von Erholungspausen für statische Arbeit des Menschen. *Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie Einschliesslich Arbeitsphysiologie*, 18, 123-164.
- Rose, L. (2012) Recovery need in manual work: Development and application of an assessment tool. Abstract accepted for the 44<sup>th</sup> Nordic ergonomics Society, NES2012 conference in Stockholm, Sweden, in August 2012. Full conference paper to be submitted in April 2012.
- Rose, L. (2008) Ergo-Index Slutrapport Etapp 1: Resultat från litteraturstudie och försöksstudie) Rapport. KTH, Kungliga tekniska högskolan, Skolan för Teknik och hälsa, Avdelningen för Ergonomi, Stockholm.
- Rose, L. (2001a) Models and Methods for Analysis and Improvement of Physical Work Environments. *Thesis for degree of doctor of philosophy*, Dept. of Product and Production Development, Div. of Human Factors Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- Rose, L. (2001b) Endurance and fatigue in eye-level work with low loads. *Proceedings of the XV Annual International Occupational Ergonomics & Safety Conference (ISOES)*, Fairfax, Virginia, USA, June, 377-384.
- Rose, L. (1994) Ett intressant projekt: Gemensam infästning i tak. *Plåtslageri – Tidningen om plåt för byggbranschen*. Nr 10, Oktober 1994, sid 10-17.
- Rose, L. (1992a) Produktionsekonomisk beskrivning av ergonomiska effekter vid byggnadsarbete Ergo-Index 2. Report R23:1992, (in Swedish) Byggeforskningsrådet.
- Rose, L. (1992b) Ergo-Index Development of a model to estimate physical load, pause need and production time in different working situations. *Thesis for licentiate of engineering*, Dept. of Injury Prevention, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- Rose, L., Beauchemin, C, Orrenius, U and Neumann, P (manuscript 2012) Modeling fatigue and recovery reactions during and after static loading. Manuscript to be submitted to peer reviewed international scientific journal during 2012.
- Rose, L., Ericson, M., Örtengren, R. (2000) Endurance time, pain and resumption in passive loading of the elbow joint, *Ergonomics*, 43(3): 405-420.
- Rose, L., Lind, C., Franzon, H., Nord Nilsson, L. & Clausén, A. (2011) Development, Implementation and Dissemination of RAMP: Risk Assessment Tool for Manual Handling Proactively. Proceedings of the Nordic Ergonomics Society 43<sup>rd</sup> Annual Conference, NES2011, September 6-8, 2011, Oulu, Finland, pp 255-260.
- Rose, L., Neumann, W, P., Orrenius, U., Hägg, G., Kenttä, G. & Örtengren, R. (manuscript 2012) Fatigue and recovery reactions during and after static loading. Manuscript to be submitted to peer reviewed international scientific journal during 2012.
- Rose, L. & Orrenius, U. (2007) Beräkning av arbetsmiljöns ekonomiska effekter på företag och organisationer – En översikt av ett urval modeller och metoder. *Arbete och Hälsa Report No 2006:18* (in Swedish). The National Institute of Working Life, Stockholm.
- Rose, L., Örtengren, R., Ericson, M. (2001) Endurance, pain and resumption time in fully flexed postures, *Applied Ergonomics*, 32 (5), 501-508.
- Rose, L., Ericson, M., Glimsskär, B, Nordgren, B., Örtengren, R.(1992a) Ergo-Index. A model to determine pause needs after fatigue and pain reactions during work, *Proceedings of the Annual International Industrial Ergonomics and Safety Conference*, Denver, Colorado, USA, June, 303-310.



Rose, L., Ericson, M., Glimsskär, B, Nordgren, B., Örtengren, R.(1992b) Ergo-Index. Development of a model to determine pause needs after fatigue and pain reactions during work, *Proceedings of CAES '92 conference Applications in Ergonomics, Occupational Safety and Health*, Tampere, Finland, May, 461-468.

Sahlin, K. (2008) Återhämtning av styrka och uthållighet efter hårt arbete – relation till muskelns energiprocesser. *Svensk Idrottsforskning* 1-2008, s 10-13.

Sato, H., Ohashi, J., Iwanaga, K., Yoshitake., R. and Shimada, K. (1984) Endurance time and fatigue in static contractions. *Journal of Human Ergology*, 13, 147-154.

Siegrist, J. Starke, D., Chandola, T., Godin, I., Marmot, M. Niedhammer, I. and Peter, R. (2004) The measurement of effort – reward imbalance at work: European comparisons. *Social Science & Medicine*, 58: 1483-1499.

Sjøgaard, G., Kiens, B., Jørgensen, K. & Saltin, B. (1986) Intramuscular pressure, EMG and blood flow during low-level prolonged static contraction in man. *Acta Physiologica Scandinavica* 128: 475-484.

Sluiter J.K., de Croon, E. M., Meijman, T. F. and Frings-Dresen, M. H. W. (2007) Need for recovery from work related fatigue and its roel in the development and prediction of subjective health complaints. *Occup. Environ Med*, 60 (Suppl I): i62-i70.

Snook, S. H. (1999) Future directions of psychophysical studies. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 25(Suppl 4): 13-18.

Snook, S. H. (1999) *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 25(Suppl 4): 13-18.

Snook S.H. & Ciriello, V. M. (1991) The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces. *Ergonomics*, 34(9)1197-1213.

SPSS (18.0) statistikanalysprogram från PASW Statistics.

Statens beredning för medicinsk utvärdering, SBU, (2012),Arbetets betydelse för uppkomst av besvär och sjukdomar, Nacken och övre rörelseapparaten, En systematisk litteraturöversikt, SBU-rapport nr 210. SBU. ISBN 978-91-85413-48-5.

Tabanelli, M. C., Depolo, M., Cooke, R. M. T., Sarchielli, G, Bonfiglioli, R., Mattioli, S. and Violante, F. S. (2008) Available instruments for measurement of psychosocial factors in the work environment. *Int Arch Occup Environ Health*, 82: 1-12.

Takala E-P, Pehkonen I, Forsman M, Hansson G-Å, Mathiassen SE, Neumann WP, Sjøgaard G, Veiersted KB, Westgaard RH, Winkel J. (2010) Systematic evaluation of observational methods assessing biomechanical exposures at work. *Scand J Work Environ Health*, .36(1):3–24.

Thylefors, I (2008) Psykosocial arbetsmiljö. I *Arbete och teknik på människans villkor*, Prevent, Stockholm. ISBN: 978-91-7365-037-3.

Wilson JR & Corlett N (eds.) (2005) *Evaluation of Human Work*. Third Edition. Taylor & Francis, Boca Raton, FL, USA.

Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Garg, A and Fine, L. J. (1993) Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*, 36, 749-776.

## **Bilaga 1: Medverkande i projektets Etapp 2**

Samarabete med ett antal företag har skett även i Etapp 2. Bland byggföretagen har samarbetet skett främst med NCC, både vad avser modellen och dess utformning och användning, men också för att tillämpa och utvärdera metoden. Projektet har också diskuterats med andra företag i byggbranschen, bland annat med Skanska, Bravida, NVS Installation AB och APJ Betong & Anläggningsteknik AB. REFIS, Röntreprenörernas Friskola i Stockholm, som utbildar blivande rörmontörer har aktivt medverkat i projektet. Samarabete har också skett med CentralGalaxen Bygg AB som arbetar med prevention, rehabilitering och utbildning för arbete, bl a för att identifiera problemområden samt möjliga tillvägagångssätt i projektet. Även andra företag har medverkat i projektet på olika sätt. Projektet och modellen som utvecklas har diskuterats med personer på till exempel Scania, KLE, Astra Zeneca, Eesibed och Volvo Technologies. Representanter för Arbetsmarknadens parter har också medverkat i projektet. VVS Företagen i samverkan med Byggnads sökte finansiering för Etapp 1 hos SBUF. I Etapp 2 har företrädare för Teknikföretagen och LO ingått i referensgruppen och varit aktiva i diskussioner om hur modellen kan utformas och användas.

Samarabete har också skett med andra forskare och forskargrupper, bland andra Fil. Dr. Göran Kenttä på GIH, Gymnastik- och Idrottshögskolan, docent Göran Hägg Centrum för Belastningsskadeforskning, CBF och professor Roland Örtengren vid Chalmers tekniska högskola. Förutom de från början planerade samarbetena har projektet haft nytta av samarbeten som utvecklats under projektets gång. Speciellt värdefullt har samarbetet med forskare vid Ryersonuniversitetet i Toronto, Kanada varit och speciellt med ”Associate Professor” Patrick Neumann, och ”Associate Professor” Catherine Beauchemin. Projektet har också haft nytta av diskussioner med andra forskare om främst trötthet och återhämtning samt matematisk modellering. Några av dem som medverkat i sådana är professor Daniel Imbeau vid Polytekniska universitetet i Montreal, Kanada, professor Jim Potvin vid McMasteruniversitetet i Hamilton, Kanada och professor Richard Wells och doktoranden Marcus Yung, båda vid Waterloouniversitetet i Waterloo, Kanada, samt teknologie doktor Ulf Orrenius vid ERAK.

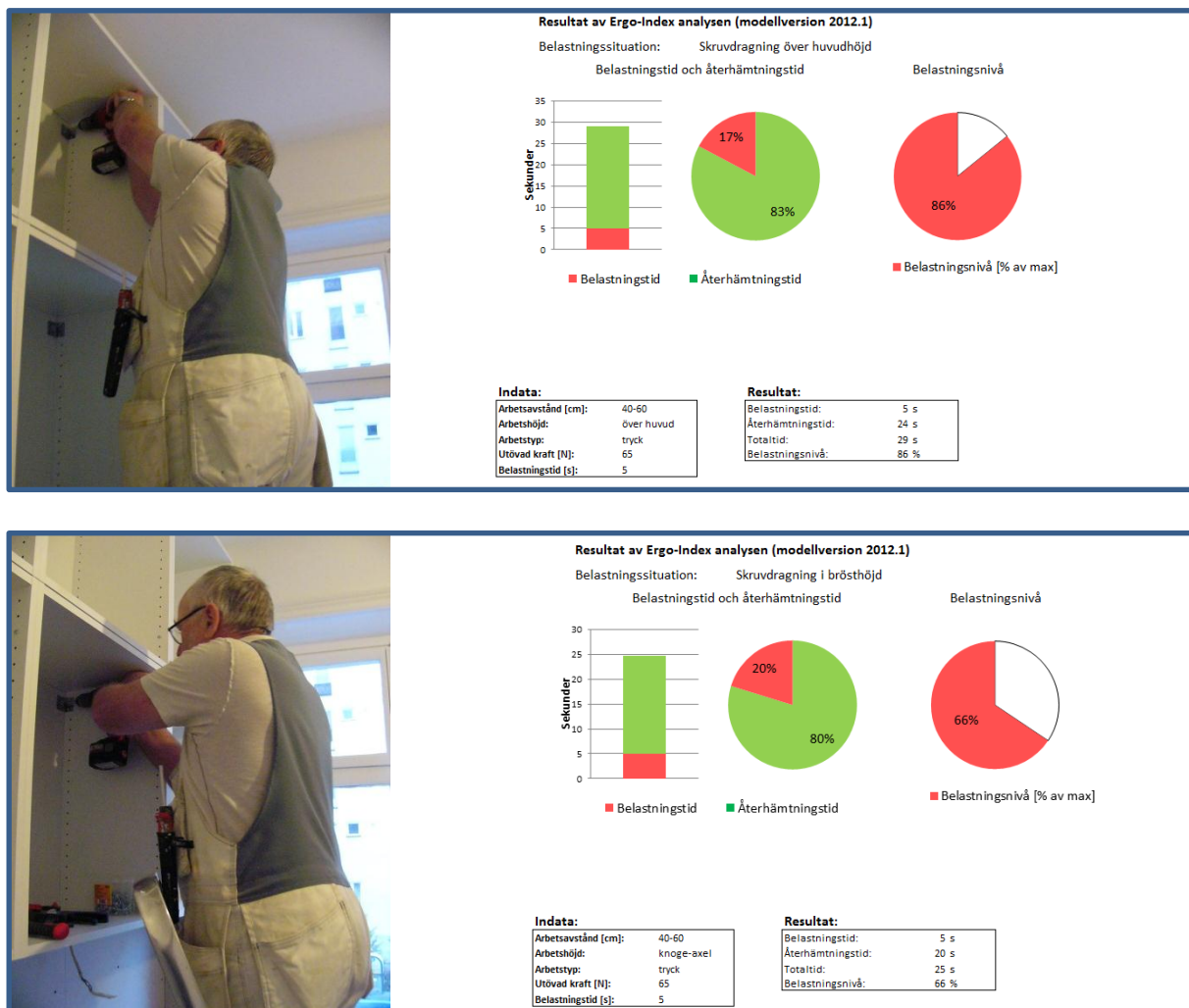
*Projektgruppen* för Etapp 2 har bestått av projektledare Linda Rose, Göran Hägg, Roland Örtengren, Göran Kenttä samt i vissa skeden av projektet informellt även Patrick Neumann och Ulf Orrenius. En *referensgrupp* har också knutits till projektets Etapp 2. Den har fungerat som ett forum där forskare och personer som arbetar med arbetsmiljöfrågor på företag och arbetsmarknadens parter organisationer bidragit både till konstruktiva diskussioner och med viktig kunskap i projektet, inte minst vad gäller användningen av den nya modellen som utvecklats i projektet. Den har bestått av Malin Nilsson, Teknikföretagen, Sten Gellerstedt, LO, Jan Hultgren, REFIS, Jan Hedälv, NCC, Henri Leray, CentralGalaxen, Roland Örtengren, Chalmers, Göran Hägg, CBF samt Göran Kenttä, GIH. Tanken har också varit att förankra och sprida resultaten från projektet med hjälp av referensgruppen och via dess nätverk. Olika upplägg för modellen användningen har diskuterats; från att ha några specialutbildade som gör denna typ av analyser (diskussion på NCC) till att ha med modellen i arbetsmiljösatningar (diskussion med Bravida). Lämpliga arbetsmoment till exempelbanken har valts ut i samråd med referensgruppen.

## Bilaga 2: Exempel på några ytterligare Ergo-Index analyser

(Samtliga foton publiceras med tillstånd av de medverkande.)

### Exempel B1: Skruvdragning vid montering av köksskåp

Beskrivning: I detta exempel jämförs arbete med infästning av köksskåp där den övre analysen visar på arbete över huvudhöjd och den under på arbete i brösthöjd. Ergo-Index analysens resultat visar på en väsentlig minskning av belastningsnivån och en ca 15 procentig minskning av behovet av återhämtning i det undre fallet.

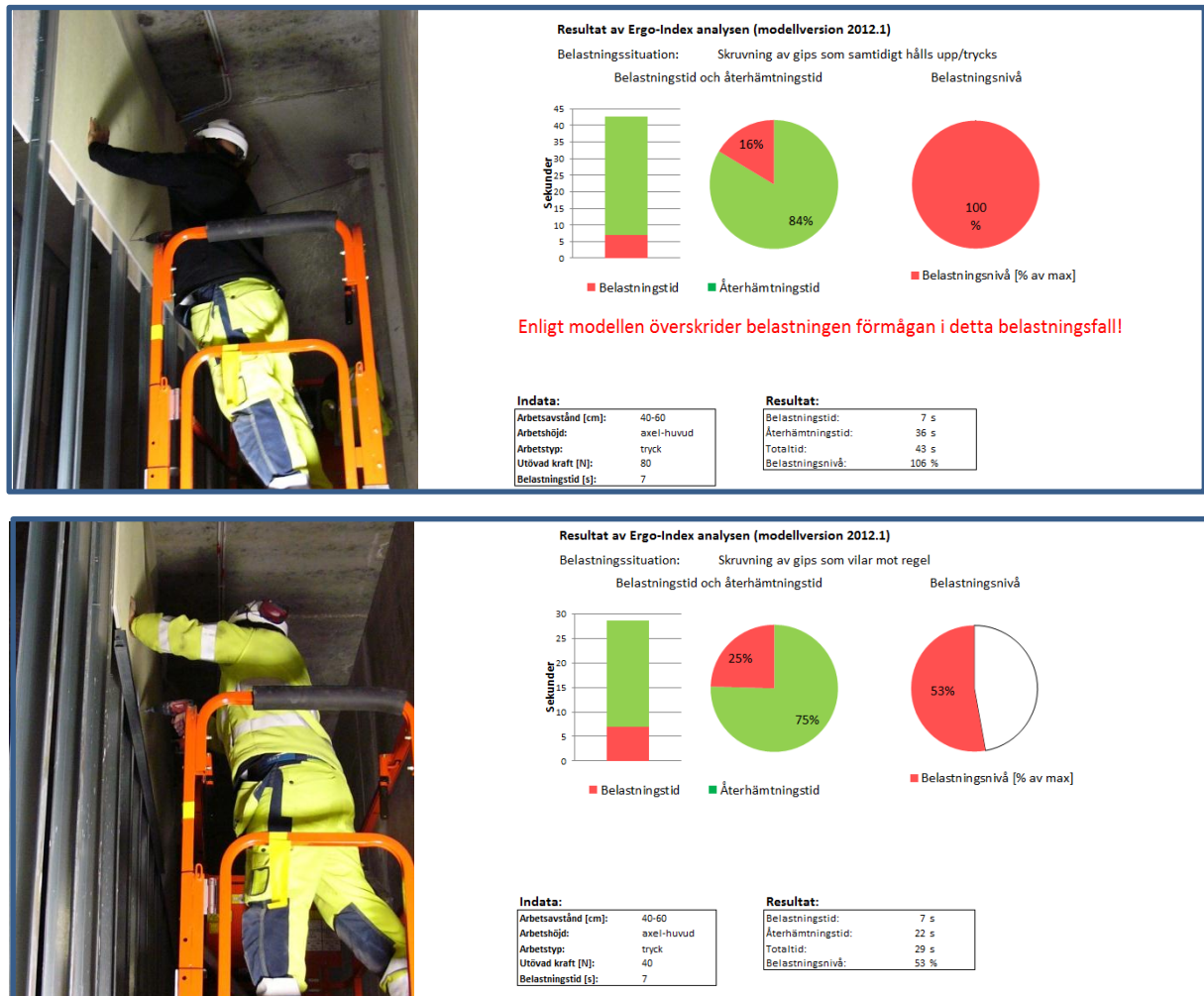


Figur B1: Foto samt Ergo-Index resultat för analys av skruvdragning vid montering av köksskåp.

### Exempel B2: Uppsättning av gipsskivor utan och med regel som stöd vid montringen

Beskrivning: I detta exempel jämförs arbete med uppsättning av gipsskivor för mellanväggar. I den övre analysen krävs att byggnadsarbetaren både håller/trycker upp gipsskivan mot reglarna bakom den och samtidigt gör infästningen med hjälp av skruvdragare. I det undre fallet vilar gipsskivan mot en stödregel och därigenom behöver byggnadsarbetaren inte hålla

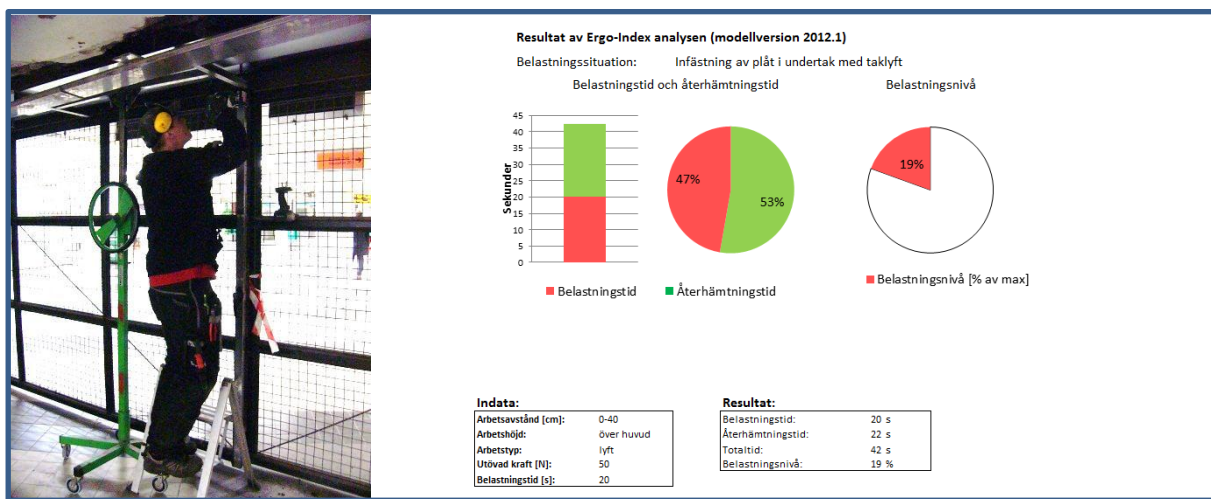
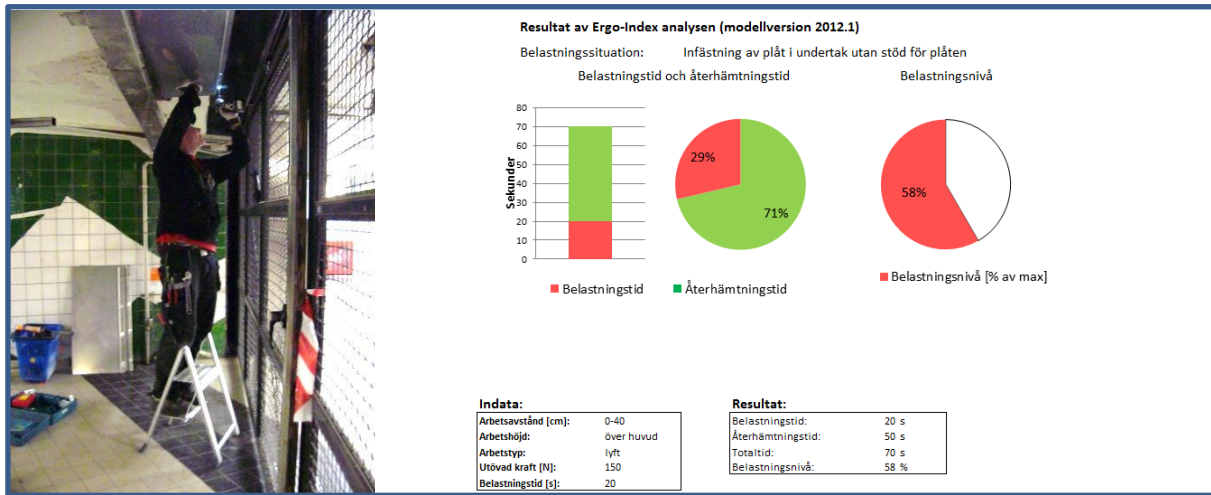
skivan uppe under infästningen. Ergo-Index analysens resultat visar att i det övre fallet överskrider belastningen förmågan för en ”medelperson” i den befolkningsgruppen som modellen baseras på. I det under fallet reduceras både belastningsnivån och återhämtningsbehovet enligt modellen.



**Figur B2: Foto samt Ergo-Index resultat för analys av uppsättning av gipsskivor utan och med regel som stöd vid monteingen.**

### Exempel B3: Takarbete utan respektive med skivhiss

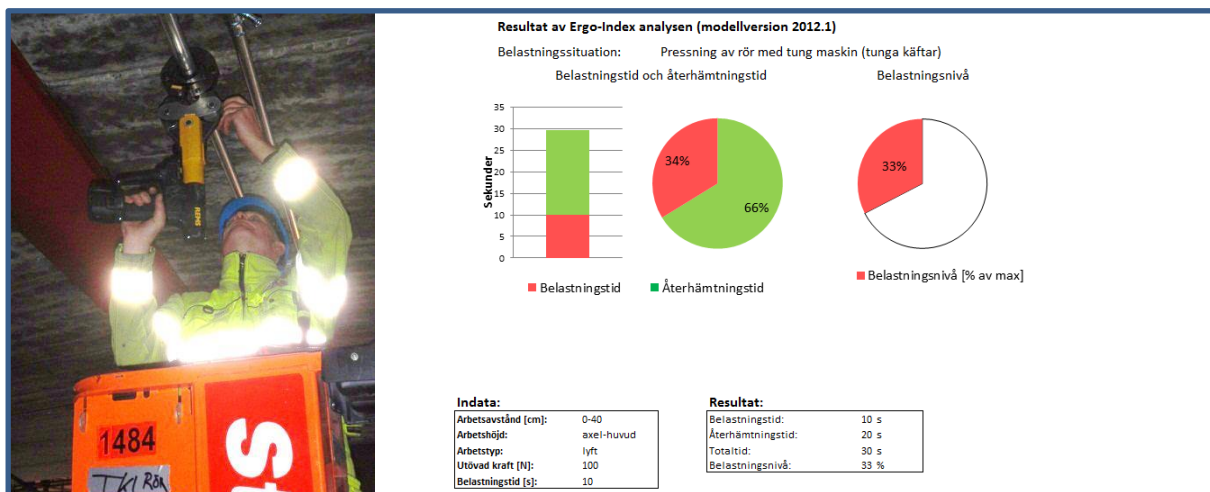
Beskrivning: I detta exempel jämförs takarbete där en skyddsplåt monteras. I den övre analysen sker arbetet utan stöd för att hålla upp plåten och den undre används en ombyggd skivhiss. Ergo-Index analysens resultat visar på en kraftig minskning av både belastningsnivån och behovet av återhämtning i det undre fallet.



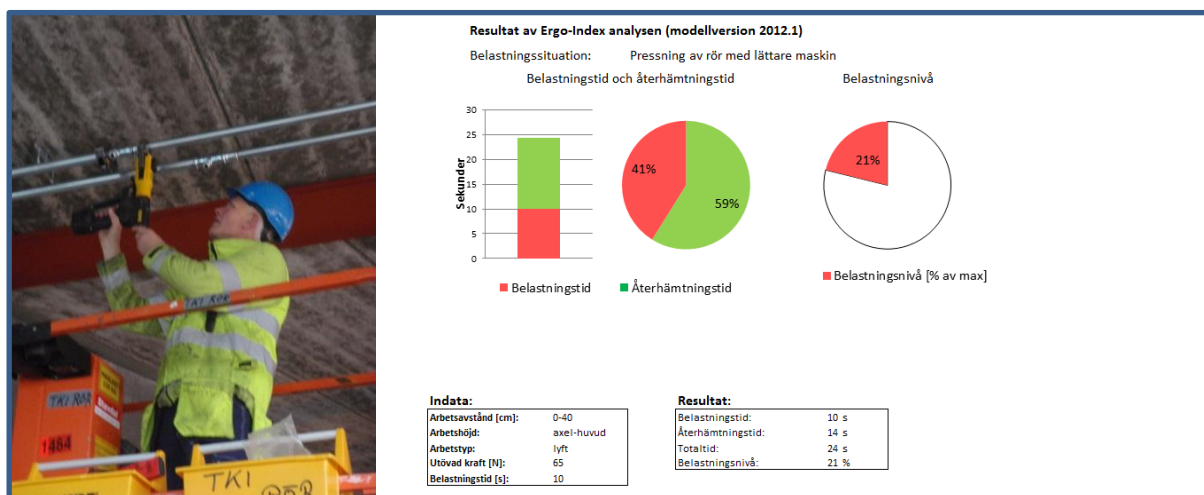
Figur B3: Figur B2: Foto samt Ergo-Index resultat för analys av takarbete utan respektive med skivhiss.

### Exempel B4: Pressning av rör med olika maskiner

Beskrivning: I detta exempel jämförs pressning av rör med olika maskiner (pressverktyg). I den övre analysen sker arbetet med en tung maskin som har tunga maskinkäftar. I den undre används en maskin som totalt väger mindre. Ergo-Index analysens resultat visar på en minskning av både belastningsnivån och behovet av återhämtning i det undre fallet.



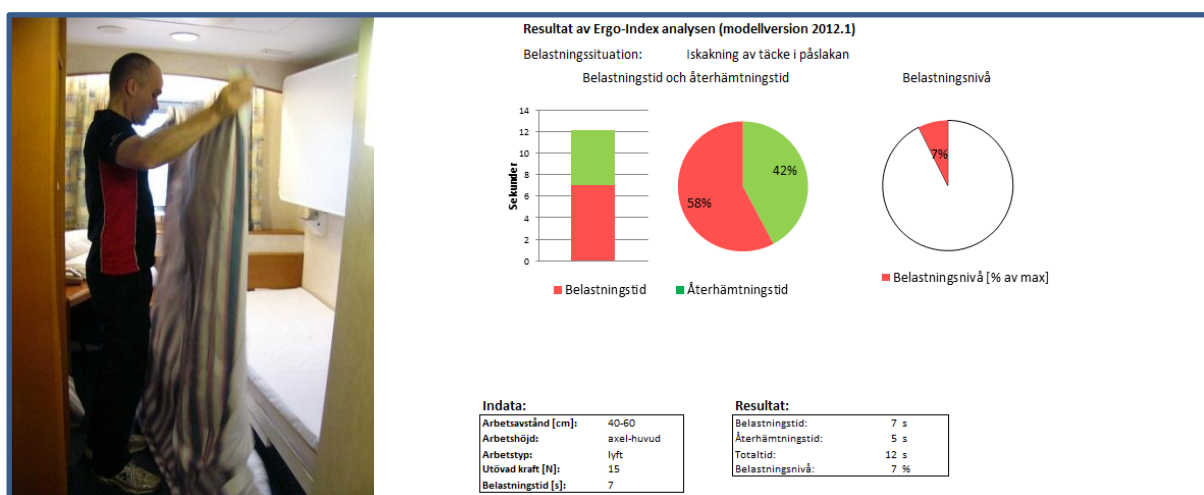


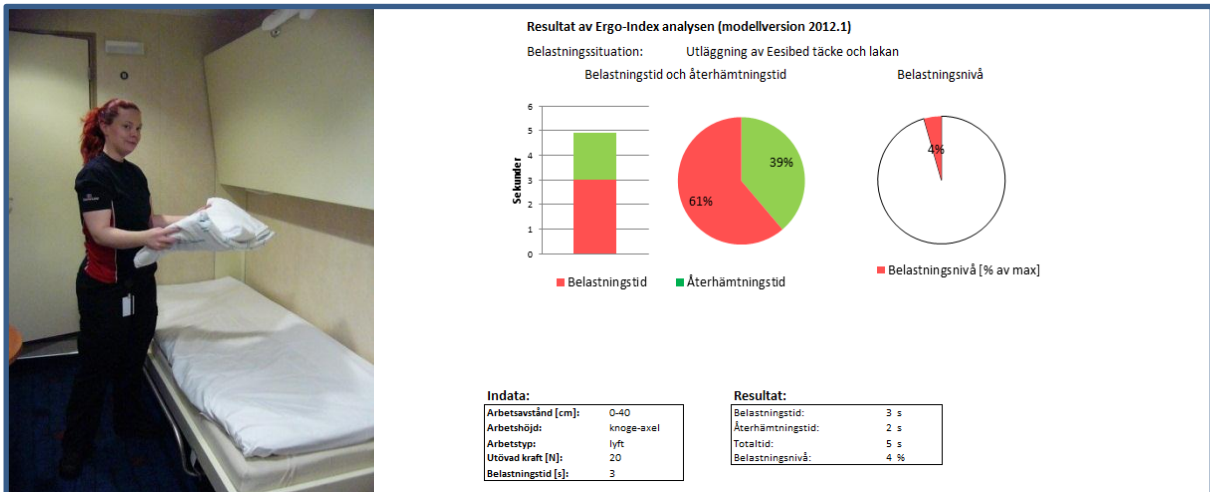


Figur B4: Foto samt Ergo-Index resultat för analys av ihopfogning (pressning) av rör med olika maskiner.

### Exempel B5: Bäddning av sängar traditionellt och med system för lakan och täcke i ett

Beskrivning: I detta exempel jämförs professionell bäddning med olika system för täcke och lakan. I det övre fallet görs analysen av arbetsmomentet att skaka ner täcket i påslakanet. I det undre fallet görs analysen av att förflytta ett system där täcke och lakan är fastsydda, så att man inte behöver stoppa i eller skaka ner täcket i lakanet (Eesibed). Ergo-Index analysens resultat visar på lägre belastningsnivå i det undre fallet trots att Eesibedsystemet väger en tredjedel mer än det traditionella med täcke och påslakan. Den lägre belastningsnivån förklaras av att man i det undre fallet har en gynnsammare arbetsställning. Resultatet av analysen visar också att totaltiden kortare i det undre fallet, vilket förklaras av minskning i både belastningstid och återhämtningstid i detta fall.

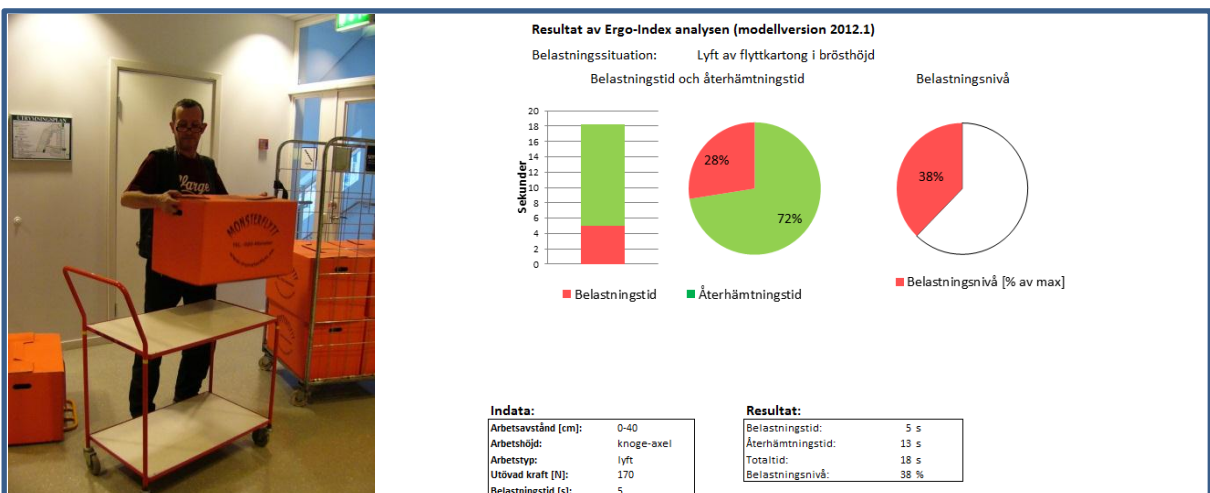
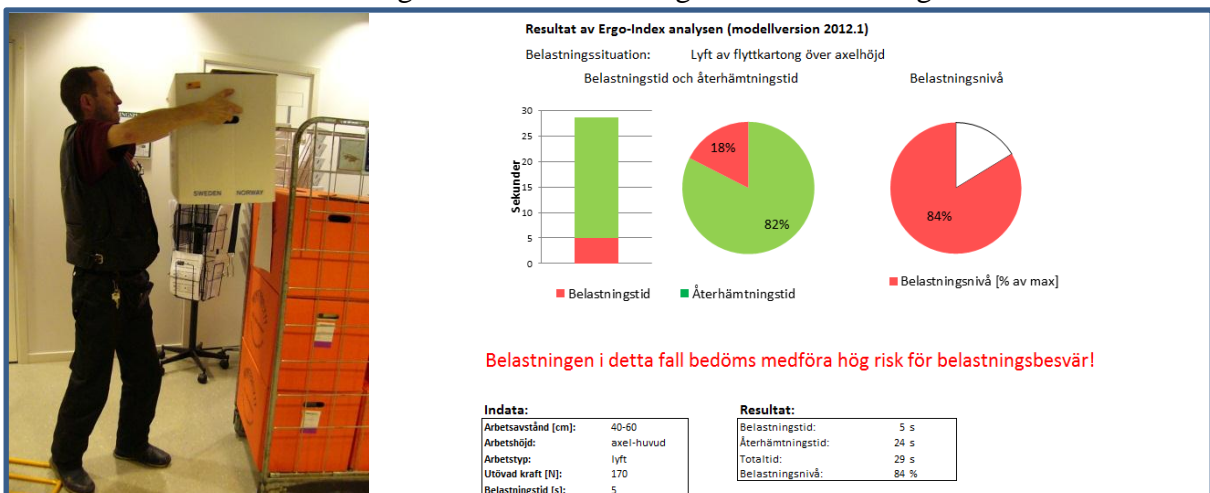




Figur B5: Foto samt Ergo-Index resultat för analys av bäddning av sängar traditionellt och med system för lakan och täcke i ett.

### Exempel B6: Materialhantering från olika arbetshöjd

Beskrivning: I detta exempel jämförs flytt av flyttkartonger, i den övre analysen från över axelhöjd och i den undre från brösthöjd. Ergo-Index analysens resultat visar på en kraftig minskning av både belastningsnivån och behovet av återhämtning i det undre fallet. I det övre visas också att denna belastning bedöms medföra hög risk för belastningsbesvär.



Figur B5: Foto samt Ergo-Index resultat för analys av materialhantering från olika arbetshöjd.

### **Bilaga 3: Individbaserad modellering**

Analyserna i Ergo-Index bygger på att angiven utövad kraft normeras mot en maxkraft som beror av vald arbetsställning och arbetstyp. I det nya programmet beräknas den maximala styrkan vid angivna arbetsförhållanden (höjd, avstånd, typ) för en tänkt individ som är baserad på medelvärdet av resultat för 50:e percentilen för kvinnor och män. Det är också fullt möjligt att räkna ut maxstyrkan olika för olika individer med hänsyn till kön och hur individens styrka förhåller sig till en medelpopulation. Detta skulle väsentligt påverka och resultatet som erhålls med modellen, dvs beräknad belastningsnivå, uthållighetstid och återhämtningstid.

I Ergo-Index modellen har vi valt att inte ha med faktorer på individnivå, såsom kön eller någon bedömning av hur stark den analyserade individen är i jämförelse med genomsnittsbefolkningen. Sådana faktorer var planerade att ha med från början och fanns med i de första prototypversionerna, baserat på resultat från Chaffin och Andersson (1991). Efter diskussioner i referensgruppen togs beslutet att ej använda indata på individnivå eftersom modellens syfte är att jämföra arbeten och arbetsmetoder, *inte* enskilda människors förmåga. Individbaserad modellering skulle kunna användas för att selektera eller välja arbetskraft, vilket inte är modellens syfte.

I detta avsnitt redogörs för hur en individrelaterad modellering skulle kunna göras även om den inte används i den nya Ergo-Index modellen

#### **Maxstyrka**

Maxstyrkan vid det aktuella arbetsfallet beräknas alltså för en medelpopulation bestående av lika delar kvinnor och män. Könsspecifika data för maxstyrka finns redovisade i Tabell 4.4 i Chaffins & Anderssons bok Occupational Biomchanics (1991) för styrkemoment för kvinnor och män för 5:e, 50:e och 95:e percentilerna (armbågsfleksion). Ur dessa kan matematiska samband tas fram som kan användas vid modelleringen.

#### **Ålder**

Detsamma gäller för ålderns inverkan på maxkapacitet. Här skulle resultaten från till exempel Mital och Kumar (1998) kunna användas, men av anledningen ovan avstår vi från detta i den nya modellen.

#### **Kön**

Generellt sätt är män fysiskt starkare än kvinnor. Exempelvis kan Mital och Kumars (1998) resultat om muskelstyrka för kvinnor och män (1998) användas för modellering. I litteraturen finns också resultat rapporterade om skillnader i trötthetsutveckling och återhämtning mellan kvinnor och män, bland annat vad gäller trötthetseffekter som studerats med EMG-metoder (t ex Linnamo, 1998, Mannion & Dolan, 1994). Skillnader i muskelfibersammansättning mellan kvinnor och män skulle kunna vara en förklaring till sådana skillnader. Från resultaten från en experimentell studie och litteraturstudie (Rose, 2001a) drogs slutsatsen att det inte finns entydiga eller övertygande argument för att det föreligger skillnader mellan kvinnor och män vad avser uthållighetstid under och återhämtning efter icke extrem statisk belastning på *samma relativa belastningsnivå*. En sådan skillnad skulle ha indikerat olika mekanismer eller mönster relaterade till kön. Detta har lett till att vid modelleringen av Ergo-Index anta att så



inte är fallet. Det ledde till ställningstagandet att man endast bör ta hänsyn till skillnader i kraftutvecklingsförmåga om man vill jämföra värden mellan kvinnor och män vad avser utveckling av trötthet och återhämtning av den vid icke extrema statistiska belastningssituationer.

### Vana av arbetet

Det har också övervägts att använda publicerade data för hur uthållighetstid och återhämtningsbehov skiljer sig åt mellan personer med respektive utan professionell vana av det aktuella arbetet. Vid jämförelse av olika arbetsmetoder, behövs dock inte denna typ av uppgifter och av samma skäl som ovan, har vi beslutat att inte ha med detta i modellen.. . Rose et al. (2001) jämförde resultat för en grupp personer som var ovana vid najningsarbete i fothöjd och en grupp med armerare med i genomsnitt över 16 års erfarenhet av detta arbete. Jämförelsen gav stora och signifikanta skillnader i uthållighetstid och återhämtningstid mellan grupperna enligt Tabell B3-1 nedan.

**Tabell B3-1: Signifikanta skillnader mellan vana (n=13) och ovana personers (n=13) uthållighetstid och återhämtningsbehov (från Rose et al. (2001) (sd = standardavvikelse). Alla värden i minuter.**

|                  | Vana  |      | Ovana |      |
|------------------|-------|------|-------|------|
|                  | medel | sd   | medel | sd   |
| Uthållighetstid  | 10,4  | 5,66 | 6,26  | 4,52 |
| Återhämtningstid | 2,21  | 1,45 | 2,66  | 0,61 |

Detta medför att om man normerar till de ovana får man:

$$\text{Vana personers uthållighetstid} = 1,70 * \text{ovana personers uthållighetstid} \quad (\text{A})$$

$$\text{Vana personers återhämtningstid} = 0,83 * \text{ovana personers återhämtningstid} \quad (\text{B})$$