

1998:32

# Utveckling av apparatur för fältmässig registrering av grip- och matningskrafter vid användning av vibrerande handmaskiner

*Lage Burström  
Bertil Nordström  
Sonya H Bylund*

---

ARBETSLIVSRAPPORT

ISSN 1401-2928      <http://www.niwl.se/arb/>

TEKNIKENHETEN  
ENHETSCHEF: ULF LANDSTRÖM



*Arbetslivsinstitutet*

## **Förord**

Projektet "Utveckling av apparatur för fältmässig registrering av grip- och matningskrafter vid användning av vibrerande handmaskiner " har genomförts med medel från Rådet för Arbetslivsforskning (Pnr: 95-0072). Den fältmässiga delen av projektet har genomförts i samarbete med projektet "Riskbedömning av hand-armskador bland plåtslagare i relation till exponering för vibrationer, ergonomisk belastning och arbetsmiljöförändringar". Detta projekt stöds även av Rådet för Arbetslivsforskning (Pnr 96-1640) och är en longitudinell studie av en grupp plåtslagare. Resultatet av detta samarbete kommer att presenteras närmare i kommande rapporter.

Umeå i september 1998

Författarna

# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b>	1
<b>2. Genomförande</b>	2
2.1. Grundläggande funktionskrav på apparaturen	2
2.2. Handhållen adapter	2
2.2.1. Handadapter med töjningsgivare	2
2.2.2. Handadapter med piezoelektrisk givare	4
2.2.3. Handadapter med tryckgivare	5
2.2.4. Handadapter med tryckkänsligt motstånd	5
2.3. Kalibrering	6
2.4. Behandling av kraftsignalerna	6
2.5. Laborativa mätningar	6
2.6. Fältmässiga mätningar	7
<b>3. Resultat</b>	7
3.1. Handhållen adapter	7
3.1.1. Handadapter med töjningsgivare	7
3.1.2. Handadapter med piezoelektrisk givare	7
3.1.3. Handadapter med tryckgivare	8
3.1.4. Handadapter med tryckkänsligt motstånd	8
3.2. Laborativa mätningar	8
3.3. Fältmässiga mätningar	9
<b>4. Diskussion</b>	11
<b>5. Sammanfattning</b>	12
<b>6. Summary</b>	12
<b>7. Referenser</b>	13

# 1. Inledning

Människor som dagligen arbetar med handhållna maskiner utsätts för vibrationer som kan ge upphov till skador på framförallt perifera nerver och kärl. Skadorna kan vara kraftigt invalidiserande och medför ofta inskränkningar på livsföringen. De är sällan behandlingsbara och omskolning till annan sysselsättning blir ibland aktuell (6). Trots de insatser som gjorts är fortfarande mekanismerna bakom uppkomsten av skador till stor del okända (10, 11).

Den vibrationsexponering som krävs för att framkalla skada är inte känd, varken med avseende på vibrationsnivå och frekvens eller med avseende på daglig exponeringstid. De bedömningar av skaderisk som idag görs, utgår från den Internationella Standarden - ISO 5349 (14), vilken beskriver riktlinjer för mätning och bedömning av vibrationer som överförs till handen. Av standarden framgår, att bedömningen skall bygga på uppmätning av vibrationernas nivå och frekvens och skall uttryckas som frekvensvägd vibrationsnivå. Frekvensvägningen genomförs med syftet att avspegla människans känslighet för vibrationer och tar större hänsyn till vibrationer med låg frekvens än till höga.

Av ISO-standardens framgår vidare att fler faktorer kan påverka skaderiskbedömningen, t ex vibrationernas riktning, gripkrafter om maskinhandtaget, matningskrafter, handens, armens och kroppens ställning under exponeringen och arbetsmetoder. Någon större hänsyn till dessa faktorer tas emellertid inte i praktiken vid skaderiskbedömningen. Det är därför inte särskilt förvånande att man vid en genomgång av litteraturen inom området finner forskningsresultat som både stöder och inte stöder det exponerings-svars-samband som presenteras i standarden (10). En del studier antyder att standarden underskattar exponeringstiden innan symtom på blodflödesstörningar av typen "vita fingrar" börjar uppträda, medan andra antyder motsatsen.

En av flera tänkbara orsaker till denna avvikelse kan vara att standarden enbart bygger på mätning av hur mycket som den handhållna maskinen vibrerar och inte av de vibrationer som egentligen förs över till operatören. Detta måste betraktas som en allvarlig brist eftersom maskinen vibrerar vare sig användaren håller i den eller inte. De grip- och matningskrafter som förekommer vid arbete med vibrerande maskiner har en avsevärd inverkan på den vibrationsbelastning som en användare utsätts för. Ökningen av dessa krafter medför att kopplingen mellan handen och den vibrerande maskinen ökar, vilket leder till att överföringen av vibrationer till användaren ökar (4, 5, 12, 17). Studier har visat att en dubbling av gripkraften innebär att överföringen av vibrationer ökar med 10-15% (5). Andra studier har visat att vibrationsexponerade individer som använder en hög gripkraft också har en större risk att utveckla vibrationsskador av typen vita fingrar (8, 9, 18). Vidare har förändringar i den perifera cirkulationen kunnat påvisas vid ökningen av grip- och matningskrafterna (16). För närvarande pågår ett standardiseringsarbete inom området. Arbetet sker inom arbetsgruppen ISO/TC108/SC4/WG3 och har utmynnat i ett underlag för förslag till standard "Definition and measurement of feed and gripping forces on vibrating powered tools".

Mätningar av grip- och matningskrafter har utförts vanligtvis i laboratoriemiljö och då med hjälp av olika typer av specialkonstruerade mäthandtag (1, 2, 3, 13). Fältmätningar av handkrafter har utförts i mycket begränsad omfattning med skiftande resultat (7, 15, 18).

Syftet med föreliggande projekt har varit att konstruera och utveckla en fältmässig utrustning för att på ett tillförlitligt sätt kunna bestämma en användares grip- och matningskraft under användning av vibrerande maskin.

## 2. Genomförande

### 2.1. Grundläggande funktionskrav på apparaturen

För mätning av både grip- och matningskrafterna i samband med arbete med vibrerande maskiner krävs att de två kraftkomponenterna kan separeras från varandra. Matningskraften är den kraft som användaren trycker den vibrerande maskinen mot arbetsstycket. Gripkraften är den kraft användaren griper med runt maskinens handtag. I en normal arbetssituation innebär detta att handtagets ovansida utsätts för både användarens grip- och matningskraft medan undersidan enbart utsätts för gripkraften. Mätningarna måste därför ske på motstående sidor av handtaget, vilket antingen kan ske samtidigt eller via upprepade mätningar.

För att den fältmässiga utrustningen skulle kunna användas på ett tillförlitligt sätt vid mätningar av handkrafterna under normal maskinanvändning uppställdes ett antal grundläggande funktionskrav. Detta innebar främst krav på flexibilitet och mätnoggrannhet.

För att uppfylla kravet på flexibilitet konstaterades inledningsvis att det var nödvändigt att utveckla en handhållen adapter som kunde placeras mellan hand och maskin. Mätningar skulle då kunna utföras på olika typer av maskiner, oberoende av utformningen av deras handtag. Adaptern måste därmed vara liten och lätt för att kunna vara användbar och för att den inte skall inverka på mätningarna. Vidare innebär kravet på flexibilitet att behandlingen och registrering av signalerna från adapterns givare måste ske i små kompakta instrument.

För att uppfylla kraven på adapterns mätnoggrannhet är det dessutom nödvändigt att ett fungerande kalibreringsförfarande utvecklas.

### 2.2. Handhållen adapter

För mätning av kraft kan ett flertal olika tekniska lösningar vara aktuella. Efter genomgång av olika alternativ, framstod givare som bygger på mätning av töjning och tryck som mest intressanta. Olika typer av dessa givare har utnyttjats och framtagna slutgiltiga lösningar presenteras mer utförligt nedan.

#### 2.2.1. Handadapter med töjningsgivare

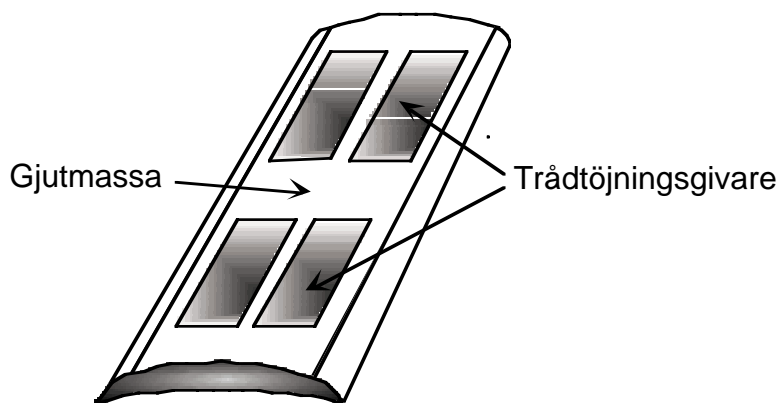
Alla material töjs när de utsätts för mekanisk påkänning. Mätning av töjning kan ske med resistiva töjningsgivare. Den ursprungliga töjningsgivaren bestod av en tunn tråd mellan två punkter, vars inbördes lägesförändring skall mätas. Tråden placeras mellan en täckfolie som limmas mot den yta som skall undersökas. Klistringen måste vara starkare än tråden så att tråden följer foliens rörelse då denna utsätts för töjning. Numera har trådslingen ersatts med en slinga av metallfolie med ett etsat mönster. Dessa givare kallas folietöjningsgivare.

För mätning med töjningsgivare har två olika alternativ prövats. Det ena alternativet har varit att utveckla en adapter helt av egen konstruktion. Det andra alternativet har varit att modifiera någon på marknaden förekommande givare.

Handadaptern skall i denna tillämpning omvandla kraft till elektrisk signal. Detta innebär att adaptern skall bestå av trådtöjningsgivare, limmade på en mekanisk kropp, som i princip fungerar som fjäder. Detta innebär att adapterns egenskaper är beroende av materialval och behandling av adaptern för att få låg krypning samt i övrigt stabila egenskaper. Krypning innebär, att utsignalen sakta ändrar sig vid konstant last och orsakas av eftergivlighet i materialet. Krypningen avtar med tiden och går inte att kompen-

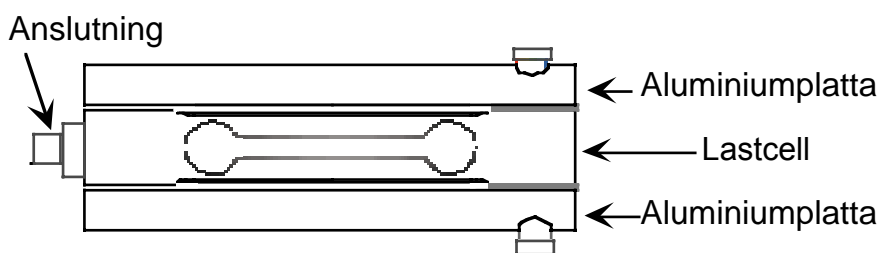
sera för och utgör den största begränsningen av noggrannheten. De signaler, som erhålls från töjningsgivare, är mycket låga, vilket innebär att adaptern skall ha så stora fjädrande egenskaper som möjligt. Val av trådtöjningsgivare, limningsförfarande med föregående ytbehandling och efterföljande värmebehandling har stor betydelse. Vid utveckling av adaptern är givarplaceringen av betydelse för noggrannheten. Detta innebär att en centrumbelastning av adaptern skall ge samma elektriska utslag som en last applicerad vid ena hörnet av givaren.

Handadaptern av egen konstruktion bestod av trådtöjningsgivare av folietyp (HBM LY13 6/350) som monterats infällda i en specialutformad mätkropp av aluminium (Figur 1). På mätkroppens undersida har aluminiumbitar med en höjd av 1 mm fastlimmats vid hörnen. Dessa bitar möjliggör att mätkroppen kan böjas och ger dessutom en anpassning av adaptern gentemot olika handtagsutformningar. Givarna har monterats i brygga för att kompensera temperaturberoendet och täckts med ett isolerande skydd. Därefter har gjutmassa (Plastic Padding) använts för att ge adaptern en utformning som passar handen. Adapterns vikt är 25 gram och dess längd, bredd och tjocklek är 60, 25 respektive 7 mm.



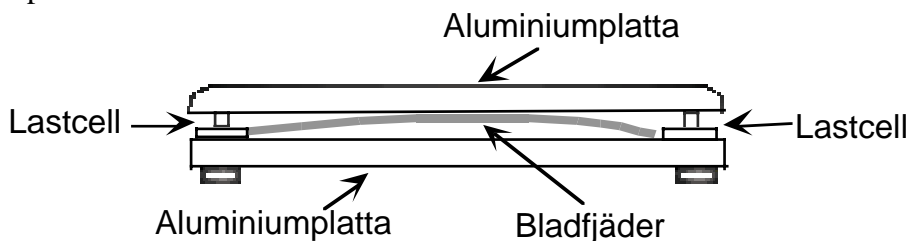
**Figur 1.** Principskiss över handadapter med folietöjningsgivare avsedd för mätning av handkrafter.

På marknaden erbjuds ett stort antal olika sk lastceller som kan mäta små och stora laster. Dessa lastceller består av en töjningsgivare som monterats på en mätkropp och levereras kalibrerade. I denna tillämpning har den minsta lastcellen som kunde uppfylla aktuellt mätområde, 0 till 200 N, utnyttjats (LPS-10). Lastcellen är utvecklad för användning i olika typer av vågar som kräver låg inbyggnadshöjd. Lastcellens längd, bredd och tjocklek är 130, 25 mm respektive 40 mm. På lastcellen fastsattes en övre och en undre aluminiumplatta. Plattorna var plana på insidan och rundade på utsidan. Dessa plattor monterades så att funktionen av en våg erhöles (Figur 2). Adapterns vikt är 375 gram och dess längd 130 mm. Höjden för adaptern uppgår till 43 mm och bredden är 34 mm.



**Figur 2.** Principskiss över handadapter med lastcell avsedd för mätning av handkrafter.

En annan typ av lastcell utnyttjades också. Denna lastcell (Endevco Mod 13) är en miniatyrlastcell med en diameter av 9.7 mm och en höjd av 3.3 mm och är speciellt framtagen för medicinskt - tekniskt ändamål. Principen för inbyggnad av denna lastcell är att den sätts mellan två plattor. Många olika tekniska lösningar provades för att utveckla en adapter med denna lastcell. Den slutgiltiga adaptorn bestod av två lastceller som fastsattes mellan två aluminium plattor (Figur 3). Den övre av dessa plattor var rundad för att passa handflatan. För att hålla plattorna på plats och skapa en adapter okänslig för hörnbelastning användes en bladfjäder av berylliumbrons. På adaptorns undersida fastsattes gummiklossar i hörnen för att få en anpassning mot handtag av olika utformning. Adapters totala vikt är 50 gram och dess längd, bredd och tjocklek är 80, 20 respektive 11 mm.

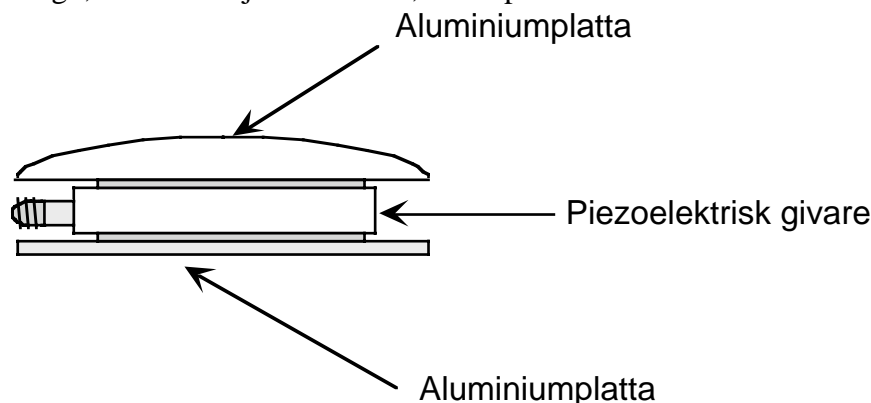


**Figur 3.** Principskiss över handadapter med miniatyrlastcell avsedd för mätning av handkrafter.

#### 2.2.2. Handadapter med piezoelektrisk givare

Principen för givaren är att ett piezoelektriskt material producerar ett elektrisk laddning vid sammanpressning. Laddningen som alstras är proportionell mot den kraft givaren varit utsatt för. Denna princip fungerar väl för dynamiska krafter men för statiska krafter kan vissa problem uppstå. Den elektriska laddning som alstras kan inte vidmakthållas under lång tid utan avtar över tiden. Detta innebär att det går bra att mäta stora laster över timmar eller dagar medan små laster endast kan mätas under delar av sekunder. Vidare innebär detta stora krav på efterföljande instrumentering.

Efter genomgång av de på marknaden förekommande kraftgivarna valdes en liten triaxiell givare med en längd, bredd och tjocklek av 32, 24 respektive 10 mm (Kistler 9251A). Vikten på givaren uppgår till 32 gram. Denna kraftgivare kan registrera både dynamiska och statiska krafter (skenbara). Kraftgivaren måste monteras med förspänning eftersom sidokrafterna överförs via statisk friktion. Förspänningen har utförts genom att kraftgivaren monteras mellan två plattor av aluminium. Den övre plattan har givits en skålad utformning för att passa handen (Figur 4). Adapters totala vikt är 50 gram och dess längd, bredd och tjocklek är 40, 30 respektive 17 mm.

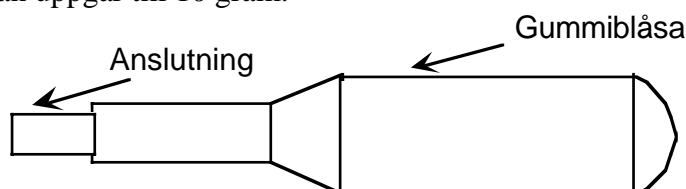


**Figur 4.** Principskiss över handadapter med piezoelektrisk givare avsedd för mätning av handkrafter.

### 2.2.3. Handadapter med tryckgivare

Principen för handadaptern är att kraften bestäms genom mätning av tryckförändringar i det media, luft eller vatten, som innesluts i en behållare. Den statiska kraft som påverkar inneslutningen kommer att motsvara tryckförändringen som kan uppmätas med tryckgivare.

En vätska är att föredra framför luft eftersom den är i det närmaste inkompressibel vilket medför mindre risk för lokalt sammantryck. En annan fördel med en vätska är dess högre känslighet för påverkan. Genomförda prov visade dock att det är svårt att få en vätskeinneslutning som enbart består av vatten. Luftbubblor uppstår som menligt inverkar på resultaten. Istället valdes att mäta tryckförändringar i innesluten luft. Den bästa lösningen som erhöles för konstruktion av inneslutning som täcker handflatan visade sig vara att utnyttja en "gummiblåsa" med ansluten slang (Figur 5). Tryckförändringarna uppmätts med en trycksensor (Motorola MPX5100DP) som registrerar tryckskillnaden mot atmosfärstrycket. Trycksensorn har inbyggd temperaturkompensation och signalkonditionering. Blåsans längd är 70 mm inklusive anslutning. Diametern uppgår till 20 mm. Anslutningsslangens längd är 300 mm och diametern 5 mm. Vikten av blåsan uppgår till 10 gram.

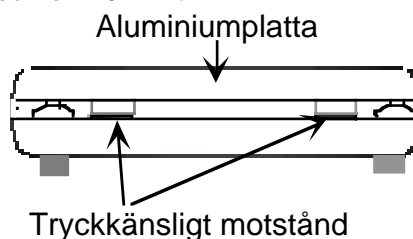


**Figur 5.** Principskiss över handadapter med luftinneslutning avsedd för mätning av handkraft.

### 2.2.4. Handadapter med tryckkänsligt motstånd

Tryckkänsligt motstånd bygger på principen att ju hårdare motståndet belastas desto lägre blir dess resistens. Givarna utvecklades ursprungligen för att användas i anslagskänsliga tangenter i elektriska pianon och består av ett ledande skikt, exempelvis silver, hoplaminerat med en polymer. Givarna är relativt okänsliga för vibrationer och temperaturförändringar. Flera olika på marknaden förekommande färdigutvecklade system provades bl a Tekscan, men dessa system var dels kostbara dels var mätnoggrannheten inte tillfredsställande.

För denna tillämpning införskaffades givare (Interlink 151NF) med olika diametrar mellan 10 och 15 mm och med en tjocklek mellan 0.2 och 0.5 mm. Dessa givare har alla ett mätområde mellan 10 gram och 20 kg. Den utvecklade adaptern bestod av två givare (Interlink 151NF, diameter 10 mm) som monterats mellan två aluminiumplattor (Figur 6). På den undre plattan limmades givarna fast och på dessa runda plastbrickor (diameter 10 mm). Plastbrickorna var i sin tur fastsatta i den övre plattan. De runda plastbrickorna påverkade den aktiva sidan av det tryckkänsliga motståndet. I undre plattan var gummibussningar fastsatta för att få en anpassning av adaptern gentemot handtag av olika utformning. Vikten för adaptern är 25 gram och dess längd är 60 mm, bredd 20 mm och tjocklek 10 mm.



**Figur 6.** Principskiss över handadapter med tryckkänsligt motstånd avsedd för mätning av handkrafter.



### 2.3. Kalibrering

För att kunna kalibrera de olika adaptrarna belastades dessa med kända vikter (mellan 0.1 och 15 kg). Vidare utnyttjades en elektrodynamisk vibrator (Ling Dynamic System 550) med tillhörande skakbord. Till vibratorn levererades både sinus- och brusformade signaler (General Radio Co 1381 Random Noise generator respektive Hewlett & Packard 3310A) via en effektförstärkare (Ling Dynamic System PA 1000). Under vibratorn var en sk vågplattform (Tedeo M1250) placerad för kontroll av krafterna. Adaptrarnas egenskaper under dynamisk vibrationsbelastning kunde därmed undersökas.

### 2.4. Behandling av kraftsignalerna

De generella krav på enheter för förstärkning, balansering och registrering är att de bör vara batteridrivna och att deras vikt och storlek hålls nere samt att de ska vara försedda med uttag för signalföljning.

Kraftsignalerna från töjningsgivarna och lastcellerna kopplades till bryggförstärkare med inbyggd balanseringsmöjligheter för tarering. Denna två-kanaliga enhet har byggts fristående för att passa både den egenutvecklade adaptorn och de ombyggda lastcellerna. Detta möjliggör dessutom en samtidig jämförelse mellan olika adaptrar. I den efterföljande bearbetningen av signalerna från den piezoelektriska adaptorn utnyttjas impedansomvandling i förförstärkare med låg undre gränshänsyn.

I samtliga förstärkare har ett lågpasfilter inmonterats för att ta bort de dynamiska kraftsignaler som alstras av vibrationerna.

För registrering av en användares handkrafter som funktionen av tiden krävdes att utrustningen kunde lagra likspänningssignaler. Vidare borde utrustningen ha ett tillräckligt stort dynamiskt område. Den lösning som utnyttjats var att lagra uppmätta signaler med en bandspelare (Sony PX204A).

### 2.5. Laborativa mätningar

I de laborativa mätningarna har mätnoggrannheten jämförts hos de två adaptrar som uppvisade de bästa egenskaperna i de inledande undersökningarna. Vid mätningarna har försökspersoner använt adaptrarna under vibrationsbelastning.

För kontroll av noggrannheten hos adaptrarna jämfördes resultaten från dessa med resultaten från ett specialutvecklat handtag för kraftmätningar. Krafthandtaget är uppbyggd av en lastcell (LPS-10) på vilket aluminium plattor fastsatts. Plattornas anliggningsyta mot handflatan har givits en ergonomisk utformning. Krafthandtagets utformning efterliknar ett sk stödhandtag som används på bland annat slipmaskiner. Krafthandtaget mäter i en riktning och kan vridas runt sin infästning. Krafthandtagets har hög reproducerbarhet (maximal avvikelse mindre än 0.05 %) och är inte beroende av vibrationspåverkan eller var på handtaget kraften appliceras.

Vid mätningarna monterades krafthandtaget på en elektrodynamisk vibrator. Till vibratorn levererades simulerade vibrationsbetingelser från en funktionsgenerator (Hewlett & Packard 3310A) via en effektförstärkare (Ling Dynamic System PA 1000). De simulerade vibrationerna motsvarande en roterande slipmaskin med en grundfrekvens av 50 Hz och mätningarna genomfördes vid en frekvensvägd acceleration av  $3 \text{ m/s}^2$ , i enlighet med ISO 5349.

I studien deltog 10 försökspersoner (5 män, 5 kvinnor) som med sträckt högerarm grep om mätbandtaget (vinkeln mellan överkropp och arm uppgick till  $90^\circ$ ). Mätbandtaget vibrerade i  $x_h$ -riktning definierat i enlighet med ISO 5349. Varje försöksperson deltog i två försök som vardera pågick under 5 minuter.

## 2.6. Fältmässiga mätningar

Den adapter som i de laborativa mätningarna visade den högsta reproducerbarheten har därefter utnyttjats vid de fältmässiga mätningarna. Den fältmässiga utrustningen kom således att bestå av tre separata delar, dels en handhållen adapter med givare, dels en förstärkare, dels en bandspelare för lagring av uppmätta signaler.

Mätningarna har genomförts på normalt förekommande arbetsuppgifter inom grövre plåtslageriverksamhet. Arbetet omfattar främst svetsning, slipning och kapning. De vibrerande handhållna maskiner som används är framför allt slipmaskiner och slagghackor. Maskinerna utnyttjas för ytbearbetning av olika slag. Vid mätningarna uppmanades plåtslagarna att arbeta med maskinen på ett normalt sätt. Kraftmätningen pågick under så lång tid att minst en för varje arbetsmoment typisk arbetscykel genomfördes. Registreringstiden varierade därför mellan 2 och 5 minuter. Vid kortare arbetsmoment upprepades registreringen. Mätningarna lagrades på band och har efter avslutade mätningar analyserats med ett databaserat insamlingsprogram (WorkBench). Vid analyserna utnyttjades ett 12-bits AD-kort med en samplingsfrekvens av 5 "sampels" per sekund.

Strax före och efter mättillfället kalibrerades hela mätkedjan med kända vikter. Orsaken till denna dubbla kalibrering var att säkerställa att inget fel uppstått på mätutrustningen under mätningen. Även kalibreringssignalen lagrades på magnetbandet.

## 3. Resultat

### 3.1. Handhållen adapter

I de följande delavsnitten redovisas de olika adapterarnas egenskaper för mätning av handkrafterna.

#### 3.1.1. Handadapter med töjningsgivare

Handadaptern av egen konstruktion har en känslighet för belastning av c:a 0.5 mV/N. Adaptern har en bra ergonomisk utformning, är liten och flexibelt användbar på olika handtagsutformningar. Nackdelar med adaptern är att resultaten inte är reproducerbara (avvikelsen större än 10%) utan är beroende av belastningens angreppspunkt. Detta innebär att hörnbelastning resulterar i andra resultat än centrumbelastning. Vidare är den känslig för temperaturpåverkan från handen.

Handadaptern bestående av den större lastcellen har en känslighet av c:a 2 mV/N. Adaptern storlek gör att dess användbarhet är begränsad och den kan företrädesvis användas för mätningar på maskiner med stödhandtag, där stödhandtaget då ersätts av adaptern. Adapterns resultat visar hög reproducerbarhet (avvikelsen c:a 0.03 %) och är inte beroende av lastens angreppspunkt. Handens temperaturlåverkan på resultaten är mycket låg.

Handadaptern bestående av två miniatyrlastceller har en känslighet av c:a 2 mV/N. Adaptern har en bra ergonomisk utformning, är liten och flexibelt användbar på olika handtagsutformningar. Adapterns resultat visar hög reproducerbarhet (avvikelsen c:a 0.1 %) och är inte beroende av lastens angreppspunkt. Temperaturpåverkan från handen är mycket låg.

#### 3.1.2. Handadapter med piezoelektrisk givare

I denna tillämpning har endast en av givarens tre riktningar använts. Den använda riktningen är den vinkelrätt mot mätobjektet. Adaptern har en godtagbar ergonomisk

utformning, är liten och användbar på olika handtagsutformningar. Känsligheten är c:a 4 pC/N. Nackdelar med adaptorn är att statiska krafter endast kan mätas under en 30 ms. Det innebär att en konstant kraft kommer att resultera i en snabb avklingning mot noll. Adaptorns resultat uppvisar låg reproducerbarhet (avvikelsen större än 10%). Temperaturpåverkan från handen är mycket låg.

### 3.1.3. Handadapter med tryckgivare

Handadaptorns tryckgivare har en känslighet för belastning av c:a 4 mV/N/cm<sup>2</sup>. Adaptorn har en bra ergonomisk utformning, är liten och användbar på olika handtagsutformningar. Adaptorn resultat visar hög reproducerbarhet (avvikelsen c:a 0.5 %) och är inte beroende av lastens angreppspunkt. Påverkan från handens temperatur är mycket låg.

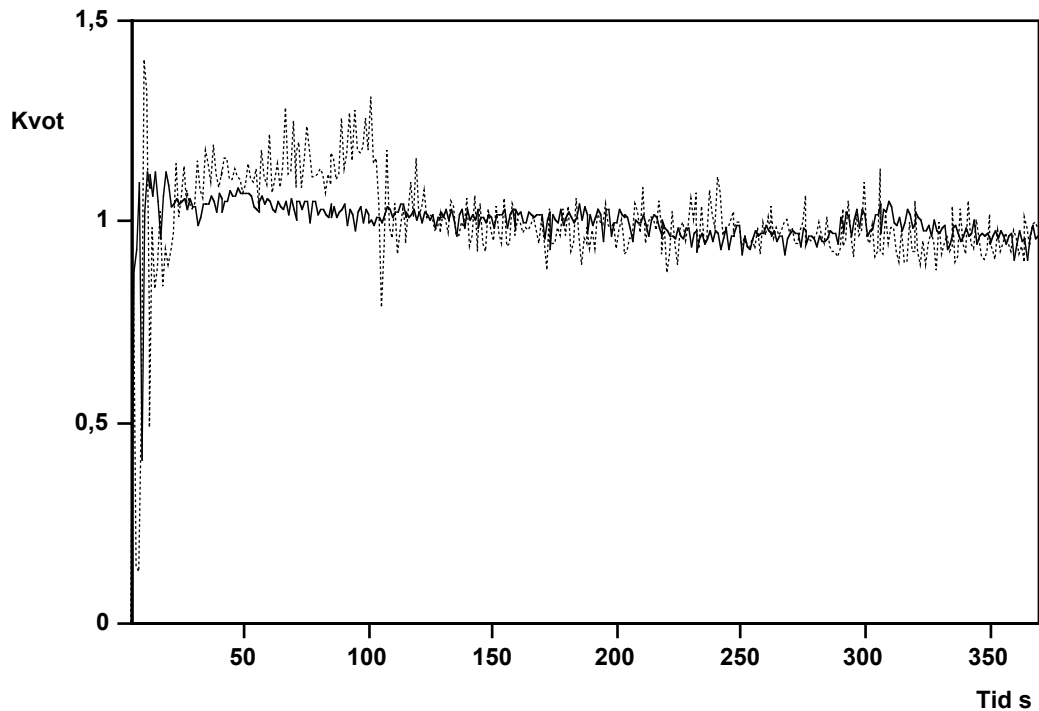
### 3.1.4. Handadapter med tryckkänsligt motstånd

Handadaptorn har en känslighet för belastning av c:a 4 mV/N/cm<sup>2</sup>. Adaptorn har en bra ergonomisk utformning, är liten och användbar på olika handtagsutformningar. Givarnas reproducerbarhet är god (avvikelsen c:a 2 %) men reproducerbarheten är låg (avvikelsen större än 10%) och mätresultaten är beroende på belastningens angreppspunkt. Sambandet mellan kraft och utsignal är olinjärt. Temperaturpåverkan från handen är mycket låg.

## 3.2. Laborativa mätningar

De adapterar som uppvisade de bästa egenskaperna var adaptorn bestående av två mini-tyrlastceller och adaptorn bestående av tryckgivaren. Dessa två adapterars egenskaper under praktisk användning vid vibrationsbelastning har sedan närmare studerats vid laborativa mätningar.

I Figur 7 framgår kvoten mellan referenskraft och uppmätt kraft som funktion av försökstiden för de två adapterarna. I figuren presenteras resultat från en typisk mätning för en försöksperson. Som framgår av figuren uppvisar adapterarna likartade värden men adaptorn med tryckgivaren visar en större variation. Den största avvikelsen kan noteras under mätningens inledning, där förmodligen gummimaterialets elasticitet inverkar. Statistiska analyser visar ett högre sambandet mellan referenskraften och uppmätt kraft för lastcellersadaptorn jämfört med tryckgivaradaptorn ( $r^2=0.96$  resp.  $r^2=0.79$ ).



**Figur 7.** Relationen mellan referenskraft och uppmätt handkraft under försökstiden för en försöksperson. Heldragen linje indikerar lastcellersadaptorn och streckad linje tryckgivaradaptorn.

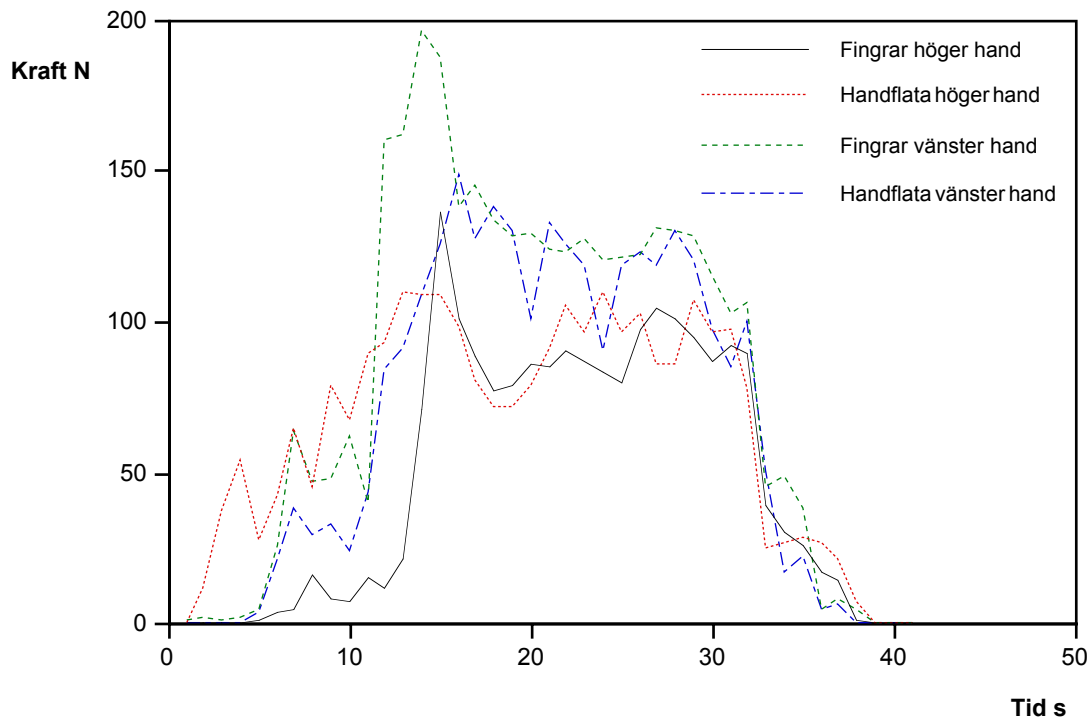
### 3.3. Fältnässiga mätningar

Adaptorn med miniatyrlastceller som uppvisade de bästa egenskaperna under de laborativa mätningarna, utnyttjades för de fortsatta fältnässiga mätningarna. Den fältnässiga utrustningen som utnyttjades bestod av adapter, förstärkare och bandspelare enligt Figur 8.



**Figur 8.** Bild som visar den fältnässiga utrustning som använts.

Antalet genomförda mätningar av handkrafterna uppgick till 40 och omfattar maskin-grupperna vinkelslipmaskiner, slagghackor, raka slipmaskiner och bormaskiner. Resultaten av en typisk mätningar av handkrafterna vid användning av en rak slipmaskin (Atlas Copco LSR 52 SO 90) framgår av Figur 9. I figuren redovisas uppmätta handkrafter som funktion av tiden för höger respektive vänster hand samt uppdelat på handflata och fingertoppar.



**Figur 9.** Typiskt utseende av uppmätta handkrafter för en försöksperson som funktion av tiden för höger respektive vänster hand samt uppdelat på handflata och fingertoppar.

Av figuren framgår att vid vibrationsexponeringens början ökar kraften först i höger handflata. Denna kraft används för att trycka in maskinens pådrag. När sedan maskinen sätts emot arbetsstycket ökar de övriga krafterna. Speciellt kan noteras att kraften i vänster handflata ökar kraftigt och uppvisar den högsta kraften. Detta beror på att det är vänsterhand som styr maskinen mot arbetsstycket. Om hänsyn tas till maskinens vikt utgör skillnaden i uppmätta krafter mellan handflata och fingertopp matningskraften. På motsvarande sätt erhålls gripkraften om från uppmätt resultat på fingertopparna maskinens vikt subtraheras.

Uppmätta grip- och matningskrafter beräknade för både vänster och höger hand tillsammans har sammanställts i Tabell 1.

**Tabell 1.** Medelvärde av uppmätta grip- och matningskrafter (N) uppdelat på olika maskintyper.

	MASKIN			
	Vinkelslip-maskin	Slagghacka	Rak slip-maskin	Bormaskin
Gripkraft	41	54	39	50
Matningskraft	26	24	52	56

Av tabellen framgår att storleken på grip- och matningskraften varierar mellan maskintyper. Detta beror på skillnader i bland annat maskineffekt, bearbetningsverktyg och arbetssätt. För bormaskiner och raka slipmaskiner måste maskinen pressas mot materialet för bearbetning vilket leder till högre matningskrafter än gripkrafter. För vinkel-slipmaskinen och slagghackan utnyttjas maskinens vikt för bearbetning vilket medför lägre matningskrafter.

## 4. Diskussion

Resultaten från detta projekt visar att det varit möjligt att konstruera och utveckla en fältmässig utrustning för att kunna bestämma de grip- och matningskrafter som används vid arbete med vibrerande maskiner. Den största utmaningen har varit att kunna åstadkomma en adapter som hålls i handen och som ger tillförlitliga resultat. Av de utvecklade och provade adapterna uppvisar flera goda egenskaper men deras användbarhet begränsas främst av deras dåliga mätnoggrannhet. Den adapter som uppvisade de bästa egenskaperna bestod av två miniatyrlastceller som monterats mellan två aluminiumplattor. Denna adapter hade hög mätnoggrannhet, litet format och låg påverkan av vibrationer och temperatur. Adaptern har kompletterats med en två-kanalig bryggförstärkare och en bandspelare.

Mätningarna bland plåtslagare visar också att den fältmässiga användbarheten är hög. Vid mätningarna utnyttjas en adapter. Detta innebar att mätningarna upprepades för att mäta båda grip- och matningskraften. Detta kan vara ett problem eftersom dessa krafter varierar över tiden. Ett alternativ skulle vara att utnyttja två adapter, där en hålls i handflatan och den andre mot fingertopparna. Praktiska undersökningar visade dock att utnyttjande av två adapter menligt inverkar på arbetet och dessutom blev den ergonomiska anpassningen gentemot handen olämplig. Upprepade mätningar med enbart en adapter hade dock inte dessa olägenheter.

Resultaten från de fältmässiga mätningarna visade att grip- och matningskraften varierar kraftigt över tiden och är beroende av många faktorer, bland annat typ av maskin, maskineffekt, bearbetningsverktyg och arbetssätt. De högsta handkrafterna, dvs summan av grip- och matningskraften uppvisade bormaskinerna. Detta beror naturligtvis på att håltagningen sker genom att maskinen belastas hårt.

Den utvecklade utrustningen ger en möjlighet att fältmässigt bestämma de handkrafter en operatör anbringat på en vibrerande maskin. Vidare finns det möjlighet att med utrustningen mäta de krafter som behövs för att använda andra typer av handhållna verktyg. Detta innebär en möjlighet att inte bara ta hänsyn vibrationsnivån utan också de handkrafter som används vid skaderiskbedömning. Den utvecklade utrustningen kommer att användas i olika undersökningar för att studera samverkan mellan uppmätt vibrationsnivå och handkrafter samt skadefrekvensen hos olika yrkesgrupper. Detta kan ge ett mer klart samband mellan vibrationssymtom och vibrationskarakteristiken hos en maskin. Vidare kommer de individuellt utnyttjade handkrafternas betydelse för skaderisk att kunna studeras. Den här typen av studier har efterfrågats av bland andra norm- och standardiseringsorganisationer för att de skall kunna formulera godtagbara exponerings-svars-samband i sina regler och anvisningar för skaderiskbedömning.

## 5. Sammanfattning

Burström, L, Nordström, B och H Bylund S: Utveckling av apparatur för fältmässig registrering av grip- och matningskrafter vid användning av vibrerande handmaskiner.

Nuvarande anvisningar för bedömning av skaderisker vid användning av vibrerande handhållna maskiner baseras på uppmätning av hur mycket maskinytan vibrerar. Någon hänsyn tas således inte till de vibrationer som egentligen förs över till användaren. Överföringen av vibrationer är i hög grad beroende på de använda grip- och matningskrafterna.

Syftet med detta projekt har varit att konstruera och utveckla en fältmässig utrustning som på ett tillförlitligt sätt kan mäta en användares grip- och matningskraft under användning av vibrerande maskin. Den utvecklade utrustningen består av en handhållen adapter med givare, som placeras mellan hand och handtag, en förstärkare och en bandspelare. För registrering av handkrafterna har sex olika tekniska lösningar provats. Av dessa uppvisade en adapter utrustad med miniatyrlastceller de bästa egenskaperna och var den som utnyttjades vid de fältmässiga mätningarna. Adaptern är möjlig att använda för mätning på maskiner med olika handtagsutformning.

Utrustningens tillförlitlighet, fältmässighet och noggrannhet har undersökts både genom laborativa och fältmässiga mätningar. Dessa mätningar visar att den utvecklade utrustningen fungerar bra och ger tillförlitliga resultat av en användares grip- och matningskrafter under arbete med vibrerande maskiner.

Nyckelord: Vibrationer, handkraft, gripkraft, matningskraft.

## 6. Summary

Burström, L, Nordström, B and H Bylund S: Development of equipment for measurement of grip and feed forces during use of vibratory hand-held tools.

Risk assessment for hand-transmitted vibration is at present based on measurements conducted directly on the vibrating surface and not on the amount of vibration that is transmitted and absorbed by the operator. It is, however, known that the transmission is highly related to the applied grip and feed forces.

The aim of the present project has been to develop equipment for field measurements of the grip and feed forces used during work with hand-held vibrating tools. The developed equipment consists of a handheld adapter placed in the contact area between the hand and the vibrating surface, an amplifier and a tape recorder. For the force measurements, six different technical solutions were tested. The adapter equipped with miniature loadcells showed the best characteristics and was used for further field investigations. The adapter can be used for measurement on tools with different types of handles.

The equipment's reliability and accuracy have been tested during laboratory and field measurements. The results show that the equipment gives reliable and accurate measurements of the grip and feed force applied by the operator during work with hand-held tools.

Key words: Vibration, hand force, grip force, feed force

## 7. Referenser

1. Burström L. Measurement of the mechanical energy absorption in the hand and arm whilst using vibrating tools. *J Low Freq Noise Vib* 9 (1990) 1-14.
2. Burström L. The influence of ergonomic factors on the absorption of mechanical energy in the hand and arm. In Gemne G, Brammer A, Hagberg M, Lundström R, Nilsson T (Eds). *Proceed. Stockholm Workshop 94. Hand-arm vibration syndrome: diagnostics and quantitative relationships to exposure*, Stockholm. National Institute of Occupational Health, *Arbete & Hälsa* 1995:5 (1994) 11-15.
3. Burström L. The influence of individual factors on the absorption of vibration energy in the hand and arm. *Journal of Low Frequency Noise and vibration* 14 (1994) 115-122.
4. Burström L, & Hörnqvist Bylund S. Samband mellan ergonomiska faktorer och handens mekaniska impedans. Arbetsmiljöinstitutet, Undersökningsrapport 1994:28, 1994.
5. Burström L, & Hörnqvist Bylund S. Samband mellan upptag av vibrationsenergi i handen och ergonomiska faktorer. Arbetsmiljöinstitutet, *Arbete & Hälsa* 1994:12, 1994.
6. Ekenvall L, Hagberg M, Lundborg G, & Lundström R. Att förebygga vibrationsskador. Arbetsmiljöfonden, Stockholm, 1991.
7. Ekenvall L, Johnson I, Ancker K, Gustavsson P, & Carlsson A. Konstruktion av handtag för mätning av kraften i handgreppet vid arbete med vibrerande verktyg. Yrkesmedicinska kliniken, Södersjukhuset, Stockholm, 1983.
8. Färkkilä M. Grip force in vibration disease. *Scand J Work Environ Health* 4 (1978) 159-166.
9. Färkkilä M, Pyykkö I, Korhonen O, & Starck J. Hand grip forces during chain saw operation and vibration white finger in lumberjacks. *Br J Ind Med* 36 (1979) 336-341.
10. Gemne G, Lundström R, & Hansson J-E. Skador och besvär av arbete med handhållna vibrerande maskiner. Arbetsmiljöinstitutet, *Arbete och Hälsa* 1992:49, 1992.
11. Griffin MJ. *Handbook of human vibration*. Academic Press, London, 1990.
12. Hartung E, Dupuis H, & Scheffer M. Effects of grip and push forces on the acute response of the hand-arm system under vibrating conditions. *Int Arch Occup Environ Health* 64 (1992) 463-467.
13. Inaba R, Koskimies K, Aatola S, Färkkilä M, Starck J, Pyykkö I, & Jäntti V. Muscular fatigue among forest workers as revealed by maximal voluntary contraction in the hand grip. *Arch Comp Environ Studies* 5 (1993) 1-11.
14. International Standard ISO 5349. *Mechanical vibration - Guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibration*. International Organization for Standardization, Geneva, 1986.
15. Kaulbars U, & Christ E. Gripping and pushing force and vibration exposure in field research. In Dupuis H, Christ E, Sandover DJ, Taylor W, Okada A (Eds). *6th Int Conf Hand-Arm Vibration*, Bonn. BIA, Sankt Augustin, (1993) 475-481.
16. Miyashita T, Miura H, & Futatsuka M. Hand-arm vibration, noise, temperature and static load: an experimental study of peripheral circulation while operating chain-saw. *Kurume Med J* 37 (1990) 73-83.
17. Pyykkö I, Färkkilä M, Toivanen J, Korhonen O, & Hyvärinen J. Transmission of vibration in the hand-arm system with special reference to changes in compression force and acceleration. *Scand J Work Environ & Health* 2 (1976) 87-95.
18. Starck J. Characteristics of vibration, hand grip force, and hearing loss in vibration syndrome. University of Kuopio, Finland, *Kuopion Yliopiston Julkaisuja* 4/1984, 1984.



## Arbetslivsinstitutet

### *Centrum för arbetslivsforskning*

Arbetslivsinstitutet är nationellt centrum för forskning och utveckling inom arbetsmiljö, arbetsliv och arbetsmarknad. Kunskapsuppbyggnad och kunskapsanvändning genom utbildning, information och dokumentation samt internationellt samarbete är andra viktiga uppgifter för institutet.

Kompetens för forskning, utveckling och utbildning finns inom områden som

- arbetsmarknad och arbetsrätt,
- arbetsorganisation,
- belastningsskador,
- arbetsmiljöteknik,
- hälsoeffekter av det nya arbetslivets psykosociala problem,
- arbetsmedicin, allergi, påverkan på nervsystemet,
- kemiska riskfaktorer och toxikologi.

Totalt arbetar omkring 400 personer vid institutet. Forskning och utbildning sker i samarbete med bl a universitet och högskolor.

Arbetslivsrapporterna är utgivna av Arbetslivsinstitutet.  
Ytterligare exemplar kan beställas från:

Förlagstjänst  
Arbetslivsinstitutet  
171 84 Solna

Tel: 08-730 98 00, Fax: 08-730 98 88, E-mail: [forlag@niwl.se](mailto:forlag@niwl.se)

Arbetskyddsstyrelsens tryckeri 1998  
ISSN 1401-2928  
<http://www.niwl.se/arb/>