

**Eksponering for helkroppsvibrasjon  
og støy i hurtiggående fartøy  
Et delprosjekt i HMS Sjø**

Arbeidet er utført av:

**KS Gould, TA Standal, M Bråtveit og BE Moen**

Seksjon for arbeidsmedisin  
Universitetet i Bergen

Juli 2003

# INNHOLDSFORTEGNELSE

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| <a href="#">FORORD</a>                                                   | 3  |
| SAMMENDRAG                                                               | 4  |
| 1. INNLEDNING                                                            | 5  |
| Bakgrunn for studien                                                     | 5  |
| Mål for studien                                                          | 5  |
| Gjennomføring                                                            | 5  |
| Vibrasjonsteori                                                          | 6  |
| Yrkesgrupper med høy eksponering til helkroppsvibrasjon                  | 6  |
| Medvirkende faktorer                                                     | 6  |
| Lover og forskrifter med relevans for eksponering til helkroppsvibrasjon | 7  |
| Standarder for vurdering av helkroppsvibrasjon                           | 8  |
| ISO 2631-1                                                               | 8  |
| Akser                                                                    | 8  |
| Frekvens                                                                 | 8  |
| Måling                                                                   | 9  |
| 2. METODER                                                               | 10 |
| Vibrasjonsmålinger                                                       | 10 |
| Utstyr                                                                   | 10 |
| Kalibreringsprosedyre                                                    | 10 |
| Definerte akser                                                          | 11 |
| Programvare                                                              | 11 |
| Måleprosedyre                                                            | 11 |
| Feilkilder                                                               | 12 |
| Støymålinger                                                             | 12 |
| Utstyr                                                                   | 12 |
| Måleprosedyre                                                            | 12 |
| Programvare                                                              | 13 |
| Analyse                                                                  | 13 |
| 3. RESULTATER                                                            | 14 |
| Eksponering til helkroppsvibrasjon                                       | 14 |
| Totaleksponering                                                         | 14 |
| Maksimaleksponering                                                      | 14 |
| Gjennomsnittseksponering                                                 | 15 |
| Eksponering etter setetype og posisjon                                   | 15 |
| Crestfaktor                                                              | 16 |
| Støy                                                                     | 16 |
| 4. DISKUSJON                                                             | 18 |
| Vibrasjonseksponering                                                    | 18 |
| Setetyper                                                                | 19 |
| Forslag til tiltak                                                       | 20 |
| Behov for videre undersøkelser                                           | 20 |
| 5. KONKLUSJONER                                                          | 21 |
| 6. REFERANSER                                                            | 22 |
| Artikler og rapporter                                                    | 22 |
| Bøker                                                                    | 23 |
| Lover, forskrifter og direktiver                                         | 23 |
| APPENDIKS: VIBRASJONSTEORI                                               | 24 |
| Effekt av vibrasjon på mennesket                                         | 25 |
| Helkroppsvibrasjon                                                       | 25 |
| Mulige skademekanismer                                                   | 26 |
| Sjøtilstand                                                              | 27 |

## FORORD

Denne rapporten presenterer en undersøkelse av eksponering for støy og helkroppsvibrasjon fra setene på broen på tre hurtiggående fartøy. Rapporten ble skrevet på oppdrag fra Sanitetsinspektøren for Sjøforsvaret. Målingene ble gjort på fartøy ved Haakonssvern Orlogsstasjon i januar 2003.

Rapporten inneholder også en presentasjon av metodene som ble brukt for å vurdere helkroppsvibrasjon, og en oversikt over hvilke helserisikoer som er forbundet med eksponering. Resultater fra tidligere studier på yrkesgrupper som er utsatt for helkroppsvibrasjon er også presentert.

Vibrasjonsmålingene ble utført i samarbeid med mannskapene på fartøyer ved Haakonssvern Orlogsstasjon. Forfatterne ønsker å takke disse for deres samarbeid og hjelp i forbindelse med målingene.

En særskilt takk rettes til Statens Arbeidsmiljøinstitutt for tid og ressurser til gjennomføring av dette prosjektet.

Oslo, 07.07.03

Kristian Gould  
Ergonom

## SAMMENDRAG

Måling av eksponering for helkroppsvibrasjon og støy ble utført på to Stridsbåt 90 (SB 90) og en sikringsbåt ved Haakonvern Orlogsstasjon. Bakgrunnen for dette var meldinger om ryggplager fra mannskapene, og subjektive rapporter om høye vibrasjonsnivåer under seiling. I tillegg var det rapportert om høye støynivåer ombord i båtene.

Målingene ble gjort av vektet åttetimers rms-akselerasjon fra setene på broen i fartøyene. Metodene som ble benyttet var i samsvar med Internasjonal Standard ISO 2631-1 "Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration". Det ble gjort målinger under navigasjonstrening, med måleperioder på mellom 20 og 60 minutter. Fartøyene seilte i hastigheter mellom 5 og 40 knop. Målingene ble gjort under forhold med sjøtilstand 1 (0-0.1m bølgehøyde) opp til sjøtilstand 3 (0.5-1.25m bølgehøyde).

Det ble funnet relativt høye vibrasjonsnivåer fra setene i SB 90 og på sikringsbåten. Gjennomsnittseksponeringen for vektet åttetimers rms-akselerasjon var  $0.24 \text{ m/s}^2$  for x-aksen,  $0.30 \text{ m/s}^2$  for y-aksen og  $0.64 \text{ m/s}^2$  i z-aksen. Snitteksponeringen for de kombinerte aksene var  $0.78 \text{ m/s}^2$ . Det ble også registrert relativt høye peakakselerasjoner (maksimalverdier). De høyeste registrerte peakverdiene var  $3.03 \text{ m/s}^2$  for x-aksen,  $3.98 \text{ m/s}^2$  for y-aksen og  $7.29 \text{ m/s}^2$  for z-aksen.

Vibrasjonseksponeringene oversteg i de fleste tilfeller tiltaksverdien i EU-direktivet om eksponering til vibrasjon, som vil være juridisk bindende i Norge senest i 2010. Grenseverdien ble ikke oversteget. Dette medfører at arbeidsgiver (herunder Sjøforsvaret) vil være forpliktet til å innføre tiltak for å redusere mannskapets eksponering til helkroppsvibrasjon, i form av tekniske og organisatoriske løsninger.

På grunnlag av vibrasjonsnivåene funnet i tidligere studier, er det grunn til å tro at eksponeringen til helkroppsvibrasjon ombord i SB 90 er høy nok til å medføre en økt risiko for ryggplager. En eventuell økt risiko for ryggplager kan imidlertid ikke isolert knyttes til vibrasjonseksponering, ettersom andre faktorer også kan ha betydning for plageutvikling. Denne studien var kun rettet mot eksponering til helkroppsvibrasjon i fartøyene. Andre faktorer som arbeidsstillinger og arbeidsoppgaver vil kunne ha en medvirkende effekt i form av økt risiko for muskel-skjelettplager. Det anbefales at fremtidige undersøkelser også rettes mot disse faktorene.

Støymålingene viste relativt høye støynivåer ombord i båtene. Dette gjaldt spesielt maskinisten på SB 90, som var eksponert for støy med ekvivalentnivå på 94dB(A). Dette var godt over grensen for sannsynlig helserisiko, og påbudt bruk av hørselsvern i Forskrift om støy på arbeidsplassen. Det ble også registrert relativt høye støynivåer på broen i SB 90 og sikringsbåten, med ekvivalentnivåer på henholdsvis 79-80dB(A) og 81,5-82,5dB(A).

# 1. INNLEDNING

## Bakgrunn for studien

Bakgrunnen for denne studien var at Sanitetsinspektøren for Sjøforsvaret hadde mottatt klager om ryggsmarter fra mannskapene fra Stridsbåt 90 (SB 90). Mannskapene ombord på SB 90 består i hovedsak av yngre menn og kvinner med høy fysisk kapasitet og motivasjon, og burde dermed ikke være i høyrisikozonen for ryggsmarter. Individuelle årsaksfaktorer ble derfor tidlig utelukket som potensiell kilde til disse problemene. Arbeidsplassbesøk i prosjekt HMS Sjø bekreftet at slike plager var til stede, og det ble besluttet å se nærmere på problemet.

Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI) utførte derfor en vurdering av akselerasjonsnivåene ombord i SB 90 i 2000. Forskerne fra FFI utførte en serie eksperimentelle målinger som ble utført med triaksial aksellerometri under ulike hastigheter og værforhold. Resultatene fra målingene ble publisert som FFI-rapport året etter (Sagvolden et al, 2001).

Metodene som ble benyttet i denne studien hadde dessverre enkelte svakheter, og rapporten gir ikke en fullstendig dokumentasjon av vibrasjonseksposeringen ombord SB 90.

Standarden NS/ISO 2631-1 ble kun delvis fulgt i denne studien. FFI utførte målinger ved å montere akselerometre under festene til førerstolene, på dørken i troppettransportrommet, og på en bjelke i motorrommet. NS/ISO 2631 spesifiserer at akselerometerne skal plasseres for å indikere vibrasjonen i kontaktflaten mellom kroppen og vibrasjonskilden. I dette tilfellet vil det si på stolsetene. Årsaken til dette er at både stolens dempingsevne og kroppens masse vil moderere den endelige vibrasjonseksposeringen. Videre ble de målte akselerasjonene ikke frekvensvektet etter  $W_k$ - og  $W_d$ -kurvene, hvilket standarden krever. Uten disse blir det ikke tatt hensyn til effekten av resonans, som kan ha en betydelig innvirkning på effekten av vibrasjon på menneskekroppen.

## Mål for studien

Målet for dette prosjektet var å vurdere eksponering til helkroppsvibrasjon ombord i Stridsbåt 90 (SB 90), evt. andre hurtiggående fartøy, og å gi forslag til videre oppfølging (hvis behov) av problemstillingen.

## Gjennomføring

Målingene ble utført på ulike SB 90 ved Haakonvern Orlogsstasjon i januar 2003.

Målingene ble utført av Kristian Gould<sup>1</sup>, Torill Standal<sup>2</sup> og Magne Braatveit<sup>3</sup> over en periode på to uker.

---

<sup>1</sup> Statens Arbeidsmiljøinstitutt, Arbeidsmedisinsk seksjon (Oslo).

<sup>2</sup> X-lab AS (Bergen).

<sup>3</sup> Universitetet i Bergen, Seksjon for arbeidsmedisin (Bergen).

## **Vibrasjonsteori**

For en gjennomgang av grunnleggende vibrasjonsteori og forklaring av begrepene brukt i denne rapporten, vises det til appendikset bakerst i rapporten. Forklaringer på måleenheter og forkortelser finnes her.

### **Yrkesgrupper med høy eksponering til helkroppsvibrasjon**

Vibrasjonseksponering har blitt vist å være høy i enkelte yrker, hvor prevalensen av ryggsmarter også ofte er høy. Blant annet har studier av maskinførere (Gould, 2002; Schwartze et al, 1998; Miyashita et al, 1992), bønder og traktorkjørere (Bovenzi og Betta, 1994; Boshuizen et al, 1990), bussjåfører (Bovenzi, 1992) og truckførere (Boshuizen et al, 1992) funnet høye vibrasjonsdoser og/eller en økt risiko for utvikling av ryggsmarter i disse yrkene i forhold til kontrollgruppene (som oftest håndverkere, verkstedsarbeidere eller kontoransatte). Flere av disse studiene er imidlertid tverrsnittsundersøkelser, hvor andre faktorer enn helkroppsvibrasjon heller ikke ble undersøkt. Det har derfor blitt reist tvil om kravene til kausalitet er blitt oppfylt for helkroppsvibrasjon som enkeltstående årsak til utvikling av ryggsmarter (Stayner, 2000). Få nyere studier har fokusert på eksponering til helkroppsvibrasjon på skip. I en undersøkelse av to svenske kystvaktfartøy (Ulén, 1992) ble det målt vibrasjonsnivåer som var så lave at de ikke ble vurdert som et komfort- eller helseproblem. Derimot fant Griffin (1990, s. 518) vibrasjonsnivåer i hydrofoiler og passasjerskip som var relativt høye, i og over "komfortgrensen" satt i ISO 2631-1. Bruksområdet til disse fartøyene er imidlertid ikke detaljert beskrevet.

### **Medvirkende faktorer**

En rekke av yrkene med høy vibrasjonseksponering, er også utsatt for en rekke andre kjente risikofaktorer for utvikling av ryggsmarter. Ofte innebærer arbeid i et vibrasjonsmiljø også assymetriske, vedvarende og ubekvemme arbeidsstillinger. Disse vil kunne ha en selvstendig effekt på skadeutvikling, eller ha en forsterkende eller modererende effekt på vibrasjonen. Faktorer som er vist å kunne ha en negativ effekt på utviklingen av ryggsmarter inkluderer: 1) arbeidsstillinger med høy fleksjon, rotasjon eller lateralfleksjon i ryggen; 2) arbeid med armene hevet uten støtte og 3) tunge løft eller belastninger umiddelbart etter lengre sittende arbeid (Magnusson og Pope, 1998).

Selve aktiviteten "kjøring" er vist å innebære en signifikant økning i risiko for utvikling av ryggsmarter hos personer som kjører bil >26 timer/uke, i forhold til personer som sitter eller står mesteparten av tiden. (Porter og Gyi, 2002). Forfatterne påpekte at det var kombinasjonen av ulike belastninger som kjøring innebærer, som var det sannsynlige opphavet til problemer. Vedvarende arbeidsstillinger og lumbal kyfosing ble trukket frem som de viktigste av faktorene. Aktiviteten "sitting" alene er derimot i seg selv ikke vist å innebære en signifikant økning i risiko (Hartvigsen et al., 2002).

I en studie nylig publisert av Bridger og medarbeidere (2002), ble det funnet en ettårs-prevalens på 80% for ryggsmarter blant 246 helikopterpiloter i den engelske marinen. I studien ble det undersøkt eksponering til helkroppsvibrasjon, oppgaver, arbeidsstillinger og fysisk utforming av cockpit. En sterkere sammenheng ble funnet mellom ryggsmarter og arbeidsstilling (fra arbeidsoppgaven), enn ryggsmarter og eksponering til helkroppsvibrasjon. Dette fremkom ved at førstepilotoppgaven medførte flere assymetriske arbeidsstillinger og medførte hyppigere ryggsmarter, enn annenpilotoppgaven (på tross av lik vibrasjonseksponering).

Liknende funn ble også gjort i en studie av Mansfield og Marshall (2001), der forekomsten av muskel-skjelettsymptomer blant britiske rallykjørere og kartlesere ble undersøkt i en tverrsnittsundersøkelse. Bakgrunnen for dette var at disse er eksponert for relativt høye vibrasjonsnivåer, i tillegg til at de har belastninger fra arbeidsstillinger og høyt tidspress.

Prevalensen av symptomer var høy for begge grupper, rundt 91% rapporterte plager fra minst én del av kroppen etter hvert løp. Forekomsten av smerter i nedre del av ryggen var imidlertid høyere blant sjåførene (73%) enn blant kartleserne (67%), mens nakkesmerter var mer utbredt blant kartleserne (62%) enn sjåførene (46%). Forfatterne av studien la vekt på ulikheten i arbeidsoppgavene til de to; mens sjåførene måtte manøvrere rattet hurtig, var kartleserne hele tiden nødt til å se ned på kartet og kunne heller ikke holde seg fast i noe.

### **Lover og forskrifter med relevans for eksponering til helkroppsvibrasjon**

Generelle bestemmelser om funksjonssikkerhet finnes i §4 i Forskrift om tekniske innretninger, §13/§15 i Forskrift om bruk av arbeidsutstyr og §17 i Arbeidsmiljøloven. Ingen av disse behandler vibrasjon som en spesifikk risikofaktor. Det finnes for øyeblikket ingen forskrifter, grenseverdier eller administrative normer som omhandler begrensning i eksponering til helkroppsvibrasjon i Norge. På generell basis stilles det krav til tekniske innretninger og utstyr i Arbeidsmiljølovens §9:

*"Ved oppstilling og bruk av tekniske innretninger og utstyr skal det sørges for at arbeidstakerne ikke blir utsatt for uheldige belastninger ved støy, vibrasjon, ubekvem arbeidsstilling o.l."*

I juni 2002 ble det imidlertid vedtatt et nytt EU-direktiv om helseeffekter fra eksponering til vibrasjon, som omhandler både delkropps- og helkroppsvibrasjon. Under EØS-avtalen er Norge forpliktet til å innlemme bestemmelsene fra direktivet i sitt eget lovverk i løpet av en periode på tre år (2005). Forskriften har en overgangsperiode frem til 2010, etter dette er den juridisk bindende for alle arbeidsgivere. Bestemmelsene i direktivet er minimumskrav; det vil si at den norske utgaven av regelverket kan stille krav som er enda strengere. Arbeidstilsynet er i ferd med å utarbeide norske regler på basis av dette direktivet.

Vibrasjonsdirektivet stiller konkrete krav til begrensning i eksponering til delkropps- og helkroppsvibrasjon. To begrensningsverdier er spesifisert; en tiltaksverdi og en grenseverdi.

- Grenseverdien er en absolutt verdi, som ikke skal overskrides under noen omstendigheter. For helkroppsvibrasjon er grenseverdien  $1.15 \text{ m/s}^2$  standardisert til en åtte-timers eksponeringsperiode, eller  $21 \text{ m/s}^{1.75}$  etter vibration dose value-metoden.
- Tiltaksverdien kan lovlig overskrides, men forplikter arbeidsgiver til å utføre tiltak for å redusere eksponering til et minimum. For helkroppsvibrasjon er tiltaksverdien  $0.5 \text{ m/s}^2$  standardisert til en åtte-timers eksponeringsperiode, eller  $9.1 \text{ m/s}^{1.75}$  etter vibration dose value-metoden.

Arbeidsgiver er forpliktet til å utføre en rekke tiltak dersom det foreligger grunn til å tro at ansatte er eksponert for helseskadelig vibrasjon. Hvis en slik mistanke er tilstede, er arbeidsgiver pålagt å utføre en vurdering av de ansattes vibrasjonseksponering. Utstyrsp produsentenes informasjon om vibrasjonseksponering kan være tilstrekkelig dersom dette foreligger, hvis ikke må tekniske vurderinger utføres fra kompetent hold. Metodene for vurdering er spesifisert i vedlegget til direktivet. Dersom tiltaks- eller grenseverdier overskrides, er arbeidsgiver pålagt å redusere eksponeringen ved hjelp av tekniske og/eller organisatoriske tiltak. Videre er arbeidsgiver forpliktet til å informere ansatte om eksponeringsnivåer og farer forbundet med eksponering, samt utføre systematiske helsekontroller.

## Standarder for vurdering av helkroppsvibrasjon

### ISO 2631-1

Internasjonal standard ISO 2631-1 (1997) er den vanligste standarden benyttet for almen måling av helkroppsvibrasjon. Det eksisterer tilsvarende standarder med små avvik i beregningsmetoder, disse inkluderer britisk standard BS 6841 og amerikansk standard ANSI S3.18. Kun ISO 2631-1 vil bli beskrevet og benyttet i denne studien. Standarden gir en bred beskrivelse av metoder for å kvantifisere helkroppsvibrasjon, med hensyn til menneskets helse og komfort. ISO 2631-1 setter ingen grenser for vibrasjonseksponering, men er utformet slik at resultatene kan benyttes med andre definerte verdier (som f.eks. vibrasjonsdirektivet). Et sammendrag av kravene formulert i standarden er gjengitt her.

### Akser

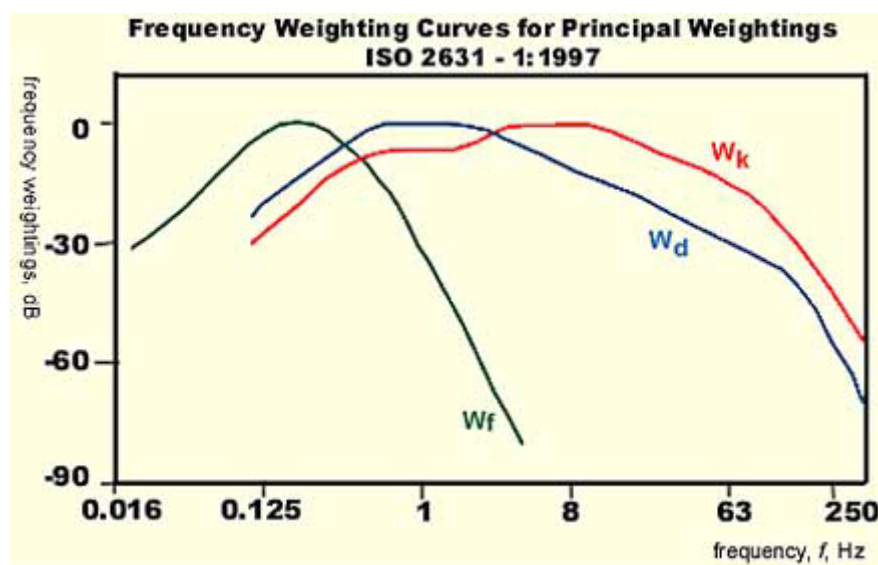
ISO 2631-1 spesifiserer bruken av tre lineære akser, vist i Figur A.1 og A.2 i appendikset. Aksene er alltid relative til menneskekroppen, og vil derfor forandre seg ved endring av kroppstilling. Definisjonen av "opp" vil i alle vibrasjonssammenhenger være z-aksen, selv om den ikke alltid vil være vertikal. Dette medfører at effekten av tyngdekraften og omgivelsene ikke alltid vil være korrekte for hver akse.

### Størrelsesenhet

Standarden sier at lineær akselerasjon alltid skal uttrykkes i meter per kvadratsekund ( $\text{m/s}^2$ ) dersom det er brukt "root-mean-square"-verdier (rms-verdier). Root-mean-square-metoden brukes til å beregne gjennomsnittsverdier for vibrasjon, og står nærmere beskrevet i metodekapittelet.

### Frekvens

ISO 2631-1 regner vibrasjon i frekvensområdet 0.5 – 80 Hz for å ha en effekt på helse, komfort og persepsjon. Innenfor dette området vektet akselerasjonene etter frekvens for hver akse. Dette gjøres for å ta hensyn til den varierende effekten av vibrasjon på kroppsvæv i ulike frekvensområder. Vektingene er beregnet ut fra de kroppens egenfrekvens, hvilket for nedre del av columna er mellom 4.5 og 5.5 Hz (Griffin, 1990). For beregning av helkroppsvibrasjon benyttes hovedsakelig to vektingskurver;  $W_d$  for x- og y-aksen og  $W_k$  for z-aksen. Disse kan sees i figur 1.1.  $W_d$ -kurven vektlegger akselerasjon i frekvensområdet 1-2 Hz, mens  $W_k$ -kurven gjør det samme for akselerasjon i området 4-8 Hz. Når de vektete akselerasjonsverdiene for hver akse sammenlignes, multipliseres x- og y-aksene med en faktor på 1.4. Dette gjøres for å korrigere for at frekvensvektingen av z-aksen er 1.4 ganger høyere enn for x- og y-aksen.





**Fig. 1.1.** Vektingskurver for x/y-aksen ( $W_d$ ) og z-aksen ( $W_k$ ). I tillegg sees vektingskurve for beregning av transportsyke ( $W_i$ ). Hentet fra ISO 2631-1 (1997)

### Måling

ISO 2631-1 stiller noen grunnleggende krav til hvordan helkroppsvibrasjon skal måles. Dette omfatter de grunnleggende konseptene akselerasjon, frekvens og akser (forklart tidligere), samt retningslinjer for plassering, retning og målelengde. Måleretningene skal svare til de ortogonale aksene x, y og z, med måleavvik ikke større enn  $15^\circ$ . Akselerometerne for de ulike aksene skal være plassert så nært hverandre som mulig. Videre heter det at akselerometerne skal posisjoneres "i kontaktflaten mellom mennesket og vibrasjonskilden". Det anbefales også at det utføres målinger fra seteryggen og underlaget føttene står på. Målelengden skal være "tilstrekkelig til å sikre måling av typisk eksponering". Ingen spesifikk minimumslengde er oppgitt.

## 2. METODER

### Utvalg

Målingene ble utført på tre forskjellige fartøy. To av disse var av typen Stridsbåt 90, som var modifisert for navigasjonstrening ved at det var ett eller to instruktørseter montert mellom setene til skipssjef (styrbord side) og nestkommanderende (babord side). Det ble også utført målinger på et tredje fartøy, som var en sikringsbåt med liknende bruksegenskaper og konstruksjon, men med en nyere setetype. Alle båtene var lokalisert ved Haakonsvern Orlogsstasjon i Bergen, hvor de ble benyttet til opplæring og navigasjonstrening. Målinger ble utført under navigasjonstrening over fem dager, med måleperioder på 20 til 60 minutter. Lengre målinger ble ikke utført på grunn av at mannskapene byttet plass relativt ofte, og at det var hyppige avbrudd i seilingene. Det ble forsøkt å utføre målinger under sammenhengende kjøring, uten lengre perioder med motorstans eller tomgangskjøring.

### Vibrasjonsmålinger

#### Utstyr

Et triaksialt akselerometer av typen Endevco ISOTRON 2650 ble benyttet, med kapasitet til å måle lineær akselerasjon i området  $\pm 10g$ . Akselerometeret var montert inne i en halvmyk plastskive ("SAE-pad") med en diameter på 20cm og tykkelse på 12mm (Fig. 2.1). Den samlede vekten på akselerometeret og plastskiven var 285 gram. Akselerometeret var bygget inn i plastskiven, slik at det ikke kunne forskyves eller endre posisjon. En tynn metallskive med en diameter på 10 cm var montert utenpå for å fikse akselerometeret. Akselerometeret var koblet med en koaksial ledning til en batteridrevet forsterker- og vektingsenhet for helkroppsvibrasjon av typen Brüel & Kjær 1700 (Fig 2.2). Signalene ble her forsterket, low-pass filtrert, vektet (etter ISO 2631) og modulert i 1/3 oktavbånd før de ble lagret på en digital lydmåler av typen Brüel & Kjær 2260 Observer (Fig. 2.3). Signalene ble her lagret digitalt, før de ble lastet over til en bærbar datamaskin for videre analyse.



**Figur 2.1.** SAE-pad med innebygget akselerometer (Endevco, inc.)



**Figur 2.2.** Forsterker- og vektingsenhet (Brüel og Kjær AS)



**Figur 2.3.** Digital lydmåler (Brüel og Kjær AS)

#### Kalibreringsprosedyre

Kalibrering ble utført ved å bruke en kalibratorenhet av typen Brüel & Kjær 4294 Exciter, sammen med den interne kalibreringskommandoen i B&K 2260-enheten. B&K 4294 er en batteridreven vibrasjonskilde, som produserer et referansesignal på  $10 \text{ m/s}^2$  ( $\pm 3\%$ ) ved en frekvens på  $159.15 \text{ Hz}$  ( $\pm 0.02\%$ ). Vibrasjonen produseres av en elektromagnetisk vibrator, drevet av en krystalloscillator. Et konstant vibrasjonsnivå ivaretas ved hjelp av en feedback-servo og et lite akselerometer montert inne i enheten.

Kalibreringen ble utført ved at akselerometeret ble festet til B&K 4294-enheten ved hjelp av en 1mm metallskrue. Kalibratorenheten produserer vibrasjon i ca. 100 sekunder. Programvaren i B&K 2260-enheten kalibrerer instrumentet automatisk under vibrasjonsstimuleringen.

### Definerte akser

Målinger ble utført i tre ortogonale akser. Målinger ble utført for antero-posteriør aksellerasjon (x-aksen), medio-lateral aksellerasjon (y-aksen) og vertikal aksellerasjon (z-aksen). Disse er også definert i Figur A.1 og A.2 i appendikset.

### Programvare

Måledataene ble overført fra B&K 2260-enheten til bærbar datamaskin ved hjelp av Brüel & Kjær 2260 Investigator Communication Link. Filene ble lagret i S3D-format, og analysert i Brüel & Kjær Noise Explorer Type 7515, ver. 4.5.

### Måleprosedyre

1. Nye batterier ble brukt i alle instrumentene under hver måling. Plastskiven med akselerometeret ble plassert på midten av setet, mellom tuber ischiadicum (sitteknutene) til personen som satt på setet. Personen som satt på setet ble instruert i å ikke flytte på akselerometerets posisjon og å utføre sine oppgaver som vanlig.
2. Det ble utført målinger fra fire ulike posisjoner: Styrbord sete, babord sete og midtsetene (til instruktør) på broen, samt fra dørk (gulv) under broen. Der det var mulig, ble det gjennomført flere målinger fra samme posisjon.
3. Målinger ble igangsatt straks båten var i bevegelse. Det ble ikke stilt krav til minimumshastighet, men målingene ble ikke startet under tomgangskjøring. Målinger ble utført over perioder opp til 60 minutter, med standardperioder på 20 minutter. Målelengden ble avgjort av oppgave og kjøredistanse. Hastighet og sjøtilstand ble notert etter endt måling.

### Analyse

Vibrasjonseksposering ble vurdert ved å bruke vektete r.m.s. (root-mean-square) aksellerasjonsmålinger. Vektete r.m.s.-verdier, uttrykt i meter per kvadratsekund ( $\text{m/s}^2$ ) ble beregnet fra formelen

$$a_w(t) = \left[ \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} (a_w(t))^2 dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

hvor

$a_w(t)$  = den vektete aksellerasjonen som en funksjon av tid (i  $\text{m/s}^2$ ), og  
 $\tau$  = målelengden i sekunder

Vektingskurven  $W_d$  ble brukt på målingene for x- og y-aksen, mens vektingskurven  $W_k$  ble brukt for z-aksen.

I tillegg til å beregne vektet akselerasjon for hver individuelle akse, ble det også beregnet en totalverdi for de samlede aksenes vektete r.m.s.-akselerasjon ("root sum of squares"). Dette ble gjort ved å bruke formelen

$$a_{wxyz} = \sqrt{k_x a_{wx}^2 + k_y a_{wy}^2 + k_z a_{wz}^2}$$

hvor

$a_{wxyz}$  = totalverdien (i  $m/s^2$ );

$a_{wx}$ ,  $a_{wy}$  og  $a_{wz}$  = de vektete r.m.s. akselerasjonene for hver akse, og

$k_x$ ,  $k_y$  og  $k_z$  = multipliseringsfaktorene (1.4 for x- og y-aksen; 1.0 for z-aksen).

Crestfaktoren ble beregnet for å finne en indikasjon på forholdet mellom maksimal (peak-) akselerasjonene og r.m.s.-vibrasjonen i hver akse. Denne ble kalkulert ved å dele maksimalverdien med r.m.s.-verdien.

### Feilkilder

Det eksisterer potensielle feilkilder i målingene utført i denne studien. Med hensyn til oppgavene som ble utført, er det ikke sikkert at navigasjonstrening er representativt for annen bruk av SB 90. Båtene seilte under målingene vesentlig i høy fart, men med hyppige avbrudd pga. brannøvelser og liknende. Reelle oppgaver kunne medført en annen type bruk, som kunne resultere i enten høyere eller lavere vibrasjonseksposering. På den annen side er navigasjonstrening en "reell" oppgave, med hensyn til instruktørene og befalelevne som fører båtene.

Målingene ble gjort etter ISO 2631-1, gjennom beregning av åttetimers rms-vibrasjon. Det har vært hevdet at denne metoden kan undervurdere effekten av enkeltstøt, i miljøer hvor disse er hyppige (Fahy og Walker, 1998; Stayner, 2000). Det er derfor mulig at disse målingene undervurderer akselerasjonene som mannskapet er eksponert for, ettersom sterke enkeltstøt er fremtredende. Nyere studier har i større grad benyttet "vibration dose value"-metoden (vdv), som vektlegger enkeltstøt høyere enn åttetimers rms-metoden. Rms-metoden er imidlertid den som er best dokumentert og hyppigst brukt i tidligere studier, hvilket er fordelaktig med hensyn til sammenlikning med tidligere forskning. Utstyret som ble benyttet i denne studien tillot heller ikke bruk av vdv-metoden.

Variasjonen i miljøforhold var i tillegg relativt liten – det ble ikke gjort målinger under sterk vind eller med høy sjøtilstand. Dette ville imidlertid ikke ha gitt et realistisk bilde av vibrasjonseksposeringen ombord i SB 90, ettersom de sjelden eller aldri brukes ved sjøtilstand 3 eller høyere. Konstante forhold i avgrensede måleperioder kunne gitt informasjon om sammenhengen mellom hastighet/sjøtilstand og vibrasjonseksposering, men ville ikke vært overførbart til virkelig bruk av båtene.

### Støymålinger

#### Utstyr

Støymålinger ble utført ved bruk av personlige dosimetre på mannskapet ombord i SB 90 og på sikringsbåten. Dosimetrene var av typen Brüel og Kjær 4436.

#### Måleprosedyre

1. Nye batterier ble brukt ved hver måling. Loggerenheten ble plassert i brystlommen på mannskapene, mikrofonen ble festet til jakkeslaget deres. Det ble sikret at mikrofonen satt fast trygt, uten at mikrofonhodet ble berørt.

2. Målingen ble igangsatt når mannskapet var ombord i båten, og avsluttet ved seilasens slutt.

Målingene ble utført gjennom hele seilasen, hvilket vanligvis var omtrent fire timer lang.

### **Programvare**

Måledataene ble overført fra B&K 4436-enheten til bærbar datamaskin ved hjelp av Brüel & Kjær 2260 Investigator Communication Link. Filene ble lagret i S3D-format, og analysert i Brüel & Kjær Noise Explorer Type 7515, ver. 4.5.

### **Analyse**

Målingene ble brukt til å beregne A-vektede ekvivalentnivåer ( $L_{Aeq}$ ) for hele måleperioden, høyeste A-vektede nivå ( $L_{Amax}$ ) og A-vektet 10. og 90. percentilnivåer.

### 3. RESULTATER

#### Eksponering til helkroppsvibrasjon

##### Totaleksponering

Tabell 3.1 og 3.2 (under) summerer eksponeringen til helkroppsvibrasjon fra alle målingene i de ulike måleposisjonene ombord i de to båtene. Vindretning og vindhastighet var ikke konstant i forhold til fartøyene, dette er derfor ikke inkludert i disse resultatene. Sjøtilstanden indikerer høyden på bølgene. Disse er definert i tabell A.1 i appendikset. Hastighetene på båtene var i hovedsak enten ca. 40 knop eller full stans.

**Tabell 3.1** Vibrasjonseksponering i SB 90, etter sjøtilstand og setetype/mannskapsposisjon.

| N  | Dato       | Sjø* | Sete/posisjon       | Tid** | awx***      | awy***      | awz***      | awxyz***    | peak x'     | peak y'     |
|----|------------|------|---------------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1  | 20.01.2003 | 2(3) | KAB301/styrb.       | 20    | 0,38        | 0,41        | 1,04        | 1,18        | 1,42        | 1,34        |
| 2  | 20.01.2003 | 2(3) | KAB301/styrb.       | 20    | 0,11        | 0,23        | 0,58        | 0,64        | 0,77        | 0,96        |
| 3  | 21.01.2003 | 2    | KAB301/styrb.       | 60    | 0,14        | 0,25        | 0,43        | 0,59        | 0,69        | 1,39        |
| 4  | 22.01.2003 | 1(2) | KAB301/styrb.       | 30    | 0,16        | 0,23        | 0,62        | 0,69        | 1,53        | 1,20        |
| 5  | 29.01.2003 | 1(2) | KAB301/styrb.       | 30    | 0,10        | 0,16        | 0,41        | 0,49        | 0,72        | 0,66        |
| 6  | 21.01.2003 | 2    | KAB301/bab.         | 60    | 0,57        | 0,34        | 0,63        | 0,96        | 3,03        | 1,47        |
| 7  | 22.01.2003 | 1(2) | KAB301/bab.         | 30    | 0,30        | 0,39        | 0,81        | 0,98        | 1,22        | 1,75        |
| 8  | 22.01.2003 | 1(2) | KAB301/bab.         | 30    | 0,27        | 0,39        | 1,14        | 1,28        | 1,02        | 1,67        |
| 9  | 20.01.2003 | 2(3) | KAB101/midt         | 60    | 0,15        | 0,30        | 0,63        | 0,71        | 1,08        | 1,49        |
| 10 | 21.01.2003 | 2    | KAB101/midt         | 40    | 0,21        | 0,32        | 0,63        | 0,76        | 1,14        | 1,45        |
| 11 | 29.01.2003 | 2    | KAB101/midt         | 30    | 0,28        | 0,37        | 0,54        | 0,71        | 1,46        | 1,79        |
| 12 | 29.01.2003 | 2    | KAB101/midt         | 20    | 0,16        | 0,21        | 0,21        | 0,34        | 0,86        | 0,69        |
|    |            |      | <b>Gjennomsnitt</b> |       | <b>0,24</b> | <b>0,30</b> | <b>0,64</b> | <b>0,78</b> | <b>1,24</b> | <b>1,32</b> |

\*Sjøtilstand  
 \*\* Måleperiode i minutter  
 \*\*\* Frekvensvektet åttetimers r.m.s-akselerasjon i  $\text{m/s}^2$ , med multiplikasjonsfaktorer etter ISO 2631-1 (1.4 for x/y, 1 for z)  
 † Maksimal akselerasjon i  $\text{m/s}^2$

**Tabell 3.2** Vibrasjonseksponering i sikringsbåt, etter sjøtilstand og setetype/mannskapsposisjon.

| N | Dato       | Sjø* | Sete/posisjon       | Tid** | awx***      | awy***      | awz***      | awxyz***    | peak x'     | peak y'     | peak z'       |
|---|------------|------|---------------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 1 | 24.01.2003 | 1    | Möve/styrbord       | 30    | 0,42        | 0,32        | 1,16        | 1,53        | 1,95        | 1,47        | 7,07          |
| 2 | 24.01.2003 | 1    | Möve/babord         | 30    | 0,15        | 0,23        | 0,31        | 0,63        | 2,88        | 3,89        | 2,30          |
| 3 | 24.01.2003 | 1    | Möve/babord         | 30    | 0,24        | 0,33        | 0,35        | 0,70        | 3,92        | 5,18        | 4,52          |
| 4 | 24.01.2003 | 1    | Möve/midtpos.       | 30    | 0,39        | 0,34        | 0,94        | 1,07        | 3,98        | 2,28        | 5,01          |
| 5 | 24.01.2003 | 1    | Möve/midtpos.       | 30    | 0,07        | 0,14        | 0,43        | 0,51        | 0,51        | 0,61        | 1,56          |
|   |            |      | <b>Gjennomsnitt</b> |       | <b>0,25</b> | <b>0,27</b> | <b>0,64</b> | <b>0,89</b> | <b>2,65</b> | <b>2,69</b> | <b>4,09 *</b> |

\*Sjøtilstand  
 \*\* Måleperiode i minutter  
 \*\*\* Frekvensvektet åttetimers r.m.s-akselerasjon i  $\text{m/s}^2$ , med multiplikasjonsfaktorer etter ISO 2631-1 (1.4 for x/y, 1 for z)  
 † Maksimal akselerasjon i  $\text{m/s}^2$

##### Maksimaleksponering

I SB 90 var de høyeste målte åttetimers-eksponeringene (rms)  $0.57 \text{ m/s}^2$  for x-aksen,  $0.4 \text{ m/s}^2$  for y-aksen og  $1.14 \text{ m/s}^2$  for z-aksen. Den høyeste verdien for de kombinerte aksene var  $1.28 \text{ m/s}^2$ . De høyeste målte peakverdiene i SB 90 var  $3.03 \text{ m/s}^2$  for x-aksen,  $1.79 \text{ m/s}^2$  for y-aksen og  $7.29 \text{ m/s}^2$  for z-aksen.

I sikringsbåten var de høyeste målte åttetimers-eksponeringene (rms)  $0.42 \text{ m/s}^2$  for x-aksen,  $0.34 \text{ m/s}^2$  for y-aksen og  $1.16 \text{ m/s}^2$  for z-aksen. Den høyeste verdien for de kombinerte aksene var  $1.53 \text{ m/s}^2$ . De høyeste målte peakverdiene i sikringsbåten var  $1.52 \text{ m/s}^2$  for x-aksen,  $3.98 \text{ m/s}^2$  for y-aksen og  $5.18 \text{ m/s}^2$  for z-aksen.

### Gjennomsnittseksponering

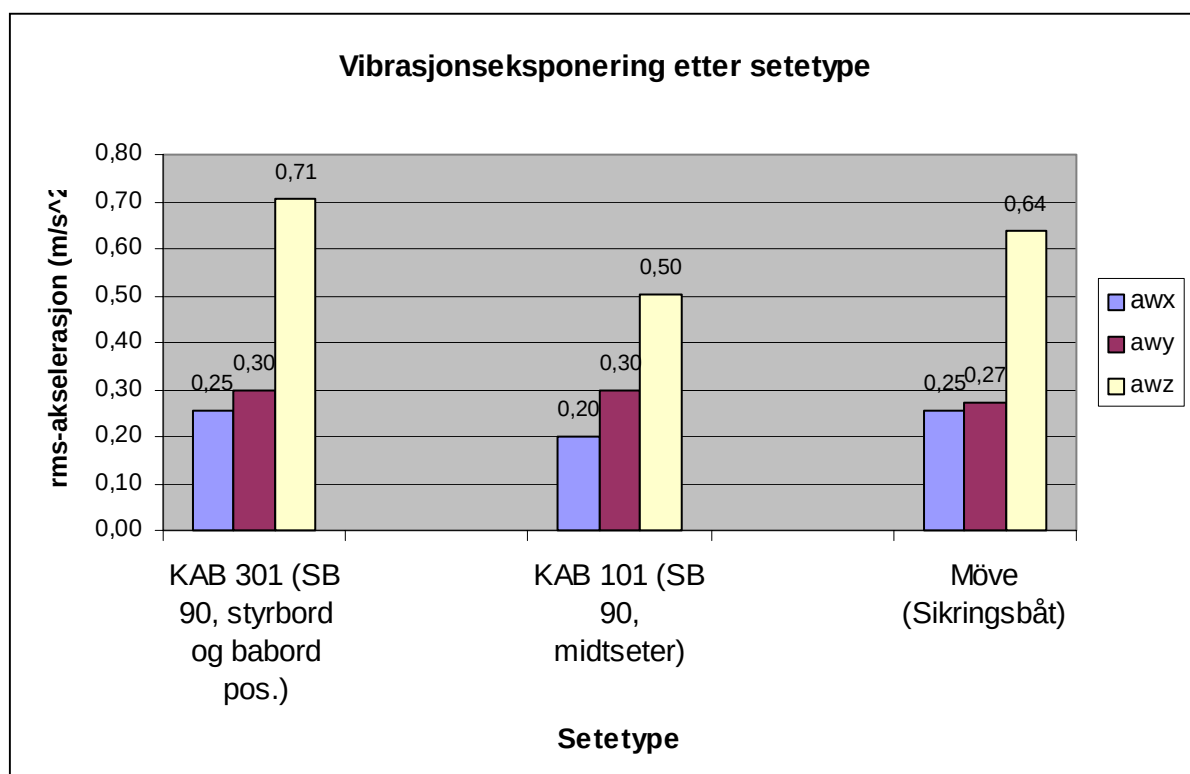
Gjennomsnittseksponeringen (åtte timer rms) på broen i SB 90, uavhengig av posisjon, var  $0.24 \text{ m/s}^2$  for x-aksen (0.1-0.57, SD 0.13),  $0.30 \text{ m/s}^2$  for y-aksen (0.16-0.4, SD 0.08), og  $0.64 \text{ m/s}^2$  for z-aksen (0.21-1.14, SD 0.26). Snitteksponeringen for de kombinerte aksene var  $0.78 \text{ m/s}^2$  (0.34-1.28, SD 0.27).

Gjennomsnittseksponeringen (åtte timer rms) fra setene på broen i sikringsbåten var  $0.25 \text{ m/s}^2$  for x-aksen (0.07-0.42, SD 0.15),  $0.27 \text{ m/s}^2$  for y-aksen (0.14-0.34, SD 0.09) og  $0.64 \text{ m/s}^2$  for z-aksen (0.31-1.15, SD 0.42). Snitteksponeringen for de kombinerte aksene var  $0.89 \text{ m/s}^2$  (0.5-1.53, SD 0.42).

### Eksponering etter setetype og posisjon

I SB 90 var det installert lik setetype (KAB 301) på styrbord og babord side på broen. Forskjeller mellom disse regnes derfor som tilfeldige. I instruktørsetene i midtposisjonen, var det installert seter av typen KAB 101. På sikringsbåten var setene av typen Möve, og like i alle posisjoner. En oversikt over vibrasjonseksponeringen i de ulike setene kan sees i Fig. 3.1 nedenfor.

**Figur 3.1** Snitteksponering for vibrasjon (åtte timer) i ulike setetyper.



I setene av typen KAB 301, var gjennomsnittseksponeringen (åtte timer rms) for x-aksen  $0.25 \text{ m/s}^2$ , for y-aksen  $0.30 \text{ m/s}^2$ , og for z-aksen  $0.71 \text{ m/s}^2$ . Eksponeringen for de kombinerte aksene var  $0.85 \text{ m/s}^2$ . Høyeste peakverdier var  $3.03 \text{ m/s}^2$  for x-aksen,  $1.75 \text{ m/s}^2$  for y-aksen og  $7.29 \text{ m/s}^2$  for z-aksen.

I setene av typen KAB 101, var gjennomsnittseksposeringen (åtte timer rms) for x-aksen  $0.20 \text{ m/s}^2$ , for y-aksen  $0.30 \text{ m/s}^2$ , og for z-aksen  $0.50 \text{ m/s}^2$ . Eksposeringen for de kombinerte aksene var  $0.85 \text{ m/s}^2$ . Høyeste peakverdier var  $1.46 \text{ m/s}^2$  for x-aksen,  $1.79 \text{ m/s}^2$  for y-aksen og  $3.82 \text{ m/s}^2$  for z-aksen.

I setene av typen Möve, var gjennomsnittseksposeringen (åtte timer rms) for x-aksen  $0.25 \text{ m/s}^2$ , for y-aksen  $0.27 \text{ m/s}^2$ , og for z-aksen  $0.64 \text{ m/s}^2$ . Eksposeringen for de kombinerte aksene var  $0.85 \text{ m/s}^2$ . Høyeste peakverdier var  $3.98 \text{ m/s}^2$  for x-aksen,  $5.18 \text{ m/s}^2$  for y-aksen og  $7.07 \text{ m/s}^2$  for z-aksen.

### Crestfaktor

Crestfaktoren beregnes ved å dele peakverdien på den vektete rms-verdien, og er en indikasjon på forholdet mellom enkeltstøt og gjennomsnittlig rms-vibrasjon. Gjennomsnittlig, høyeste og laveste crestfaktor kan sees i tabell 3.3 under. Crestfaktorer mellom 3.3 og 19.7 ble funnet, med høyeste verdier i x-aksen. Det ble funnet høyere crestfaktorer i sikringsbåten enn i SB 90. I følge Griffin (1990) er crestfaktorer høyere enn 6 en indikasjon på at det forekommer kraftige enkeltstøt (i forhold til vedvarende vibrasjon). Crestfaktorene i SB 90 var noe lavere enn dette, men var som regel høyere i sikringsbåten.

**Tabell 3.3** Oversikt over crestfaktorer i ulike båt- og setetyper.

|             | Maksimum | Minimum | Gjennomsnitt |
|-------------|----------|---------|--------------|
| Alle        | 19,7     | 3,3     | 6,5          |
| SB 90       | 9,4      | 3,3     | 5,2          |
| Sikringsbåt | 19,7     | 3,6     | 9,4          |
| KAB 301     | 9,4      | 3,3     | 5,1          |
| KAB 101     | 8,2      | 3,3     | 5,5          |
| Möve        | 19,7     | 3,6     | 9,4          |

### Støy

Tabell 3.4 og 3.5 viser resultatene fra støymålingene som ble utført på mannskapene på SB 90 og sikringsbåten. For begge båttypene ble det kun utført én dagsmåling på fire timer. Dosimetrene benyttet i disse målingene tillot ikke registrering av toppverdi av lydtryknivå, så maksimalverdiene rapportert (LAFmax) beskriver kun det maksimale A-vektede lydnivået med "Fast" tidsvekting.

**Tabell 3.4** Støynivåer målt i SB 90 (personlige dosimetermålinger). Alle verdier i dB(A). "Bro (1)" og "Bro (2)" var plassert på styrbord og babord side på broen i omtrent halvparten av måleperioden.

| Posisjon  | L <sub>Aeq</sub> * | L <sub>AFmax</sub> * | L <sub>10</sub> /L <sub>90</sub> * |
|-----------|--------------------|----------------------|------------------------------------|
| Bro (1)   | 82                 | 107                  | 87,5/70                            |
| Bro (2)   | 81,5               | 106                  | 87/71                              |
| Maskinist | 94                 | 118                  | 88/73                              |

**Tabell 3.5** Støynivåer målt i sikringsbåt (personlige dosimetermålinger). Alle verdier i dB(A).

| Posisjon  | L <sub>Aeq</sub> * | L <sub>AFmax</sub> * | L <sub>10</sub> /L <sub>90</sub> * |
|-----------|--------------------|----------------------|------------------------------------|
| Skipssjef | 80                 | 106                  | 84/72                              |
| NK        | 79                 | 105,5                | 83/70                              |
| Maskinist | 82                 | 116                  | 85/73                              |

\* L<sub>Aeq</sub> = A-vektet ekvivalentnivå. L<sub>Amax</sub> = maksimalt A-vektet lydnivå. L<sub>10</sub>/L<sub>90</sub> = A-vektet 10. og 90. percentil lydnivå (høyeste ekvivalentnivå for 10% og 90% av måleperioden).



Mannskapet på broen på SB 90 var eksponert for ekvivalentnivåer (LAeq) på 81,5 til 82 dB(A). Mannskapene på SB 90 var i alle tilfeller eksponert for støy over grensen for hørselskontroll på 80 dB(A) i Forskrift om støy på arbeidsplassen. Mannskapet på broen var imidlertid ikke eksponert for støy som overskred grensen for hørselsskaderisiko på 85dB(A) i forskriften. Maskinisten på SB 90 var eksponert for de høyeste støynivåene, med et ekvivalentnivå på 94dB(A). Dette er godt over grensen for påbudt bruk av hørselsvern på 85dB(A) i Forskriften.

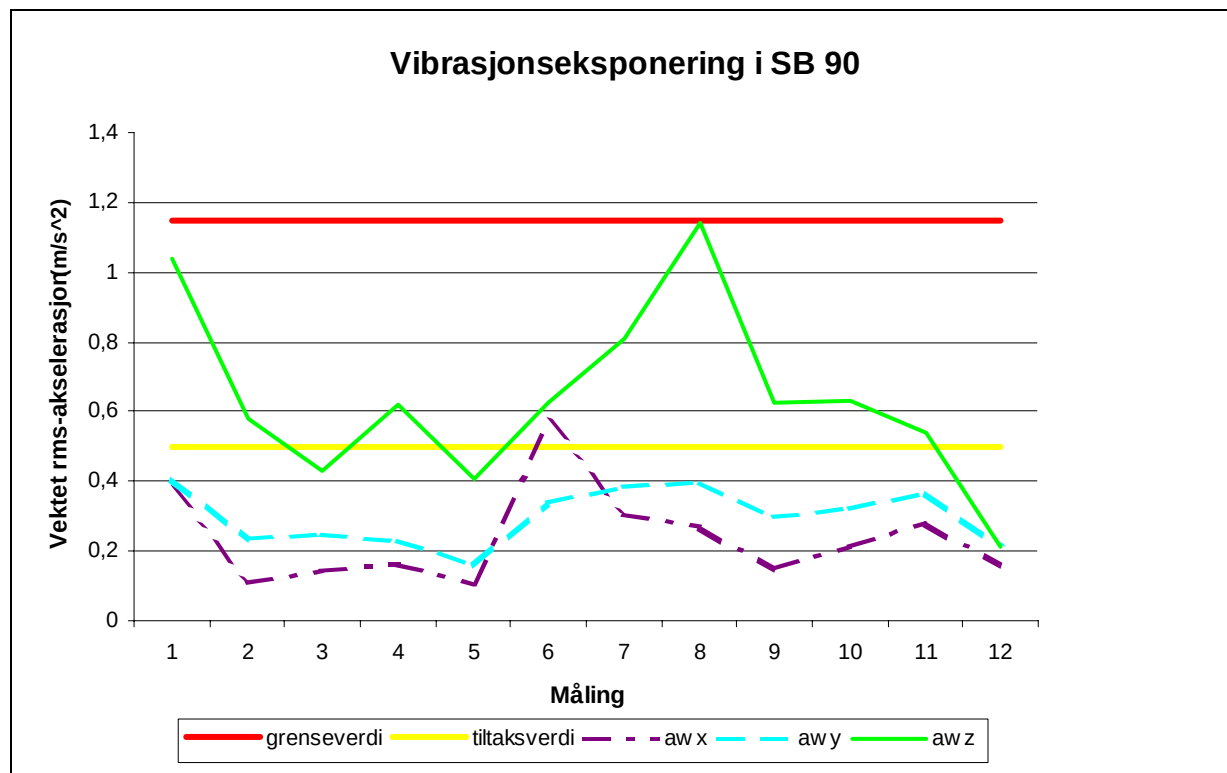
Mannskapet på sikringsbåten var eksponert for liknende støynivåer som i SB 90. Unntaket her var maskinisten, som tilsynelatende var eksponert for vesentlig lavere støynivåer enn på SB 90. Dette kan muligens forklares ut fra at maskinisten på sikringsbåten tilbrakte vesentlig kortere tid i maskinrommet på båten enn maskinisten på SB 90.

## 4. DISKUSJON

### Vibrasjonseksposering

Vibrasjonsnivåene som ble målt ombord i SB 90 i denne studien var høye. Eksposeringen oversteg i nesten alle tilfeller tiltaksverdien på  $0.5 \text{ m/s}^2$  i EU sitt vibrasjonsdirektiv, men ble ikke funnet å være over grenseverdien på  $1.15 \text{ m/s}^2$  (Fig 4.1).

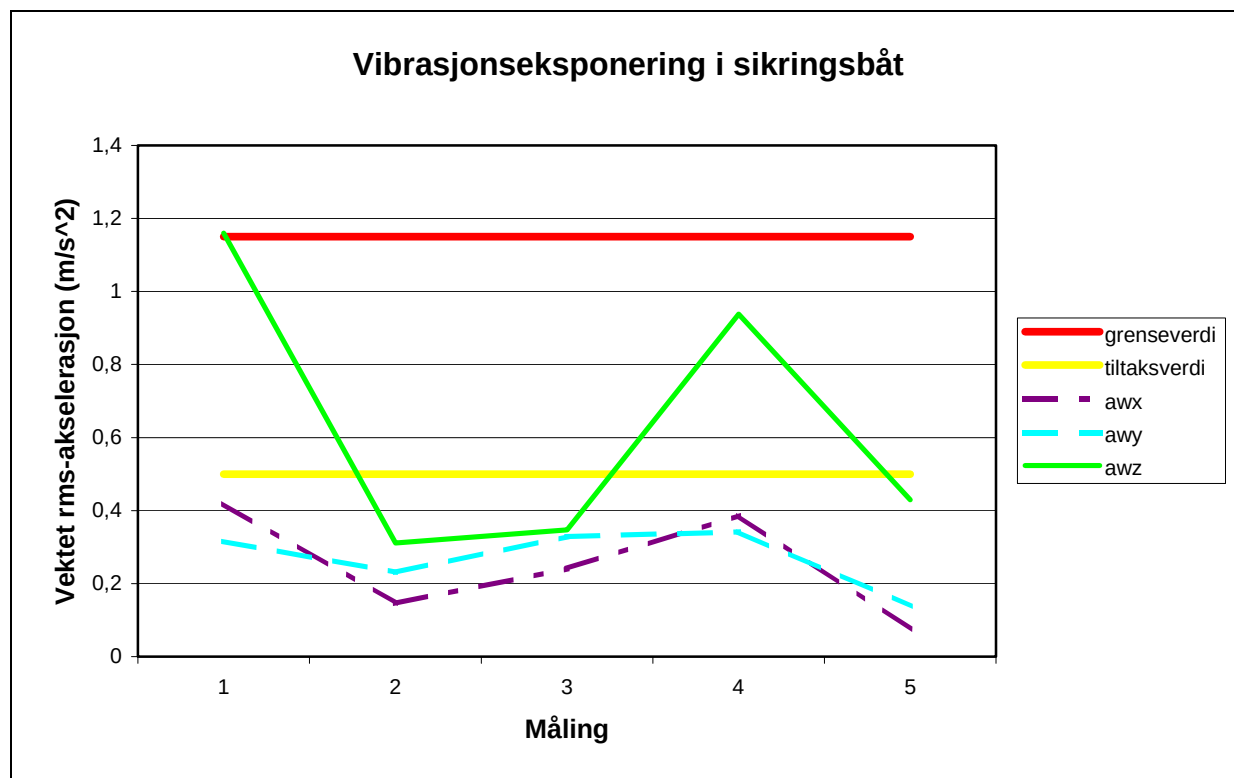
Figur 4.1 Vibrasjonseksposering i SB 90, med grense- og tiltaksverdier fra EU-direktiv 44/2002/EC.



Eksposeringen i sikringsbåten var generelt lavere enn i SB 90, men oversteg i ett tilfelle tiltaksverdien og i ett tilfelle grenseverdien (Fig 4.2). Det ble imidlertid bare gjort målinger på denne båttypen én dag, hvilket gjør datagrunnlaget noe mer usikkert.

I alle setetypene det ble gjort målinger på, ble det registrert at de "bunnet ut" (end-travel stop). Dette gjorde at peakverdiene ble svært høye. Effekten av disse enkeltstøtene må regnes for å ha en relativt stor effekt i tillegg til effekten av vedvarende vibrasjonseksposering, hvilket kan bety at målingene i denne studien til en viss grad undervurderer risikoen for ryggskade forbundet med bruk av SB 90. Det ble også funnet høye crestfaktorer, 70% av målingene hadde en crestfaktor over 6 for minst én av aksene. Dette indikerer at forholdet mellom rms-akselerasjon og peakakselerasjoner var stort. Målinger gjort med vibration dose value-metoden (VDV) ville derfor sannsynligvis ha gitt noe høyere måleverdier enn de som ble funnet gjennom bruk av åttetimers rms-metoden.

**Figur 4.2** Vibrasjonseksponering i sikringsbåt, med grense- og tiltaksverdier fra EU-direktiv 44/2002/EC.



Sammenliknet med tidligere studier, var eksponeringsverdiene i denne studien også høye. Studier på svenske kystvaktfartøy (Ulén, 1992) og britiske hydrofoiler og skip (Griffin, 1990 s.517-518) fant vibrasjonsnivåer som var vesentlig lavere enn i denne studien. Mangelen på rapporterte data fra denne typen fartøy gjør imidlertid sammenlikningsgrunnlaget svakt. I sammenlikning med resultater fra studier på ulike typer landfartøy, som studiene til Schwartze og medarbeidere (1999) og Bovenzi og Betta (1994), var vibrasjonseksponeringene i SB 90 vesentlig høyere. Begge disse studiene fant også høy forekomst av ryggsmarter blant personer eksponert til vibrasjonsnivåer lavere enn de på SB 90, men med andre arbeidsoppgaver.

Målingene utført av FFI (Sagvolden et al, 2001) kan vanskelig sammenliknes med denne studien, på grunn av ulike måle- og analysemetoder. Det bør imidlertid merkes at det i FFI-studien ble funnet høyere peakverdier enn i denne studien, muligens pga. at målingene deres ble utført i større bølgehøyder og andre værforhold.

### Setetyper

Setene i SB 90 (KAB 301 og KAB 101) var hydrauliske dempingsseter uten mulighet til individuell dempingsregulering. Ryggvinkelen kunne justeres på KAB 301, utover dette var det ingen muligheter til å tilpasse stolene brukeren. I stolene brukt i sikringsbåten (Möve) var det mulighet til å justere dempingsgraden (hydraulisk) ved hjelp av en bryter på siden av setet. Det var også mulig å justere ryggvinkelen.

Snitteksponeringen for de kombinerte aksene var lavest i setene av typen KAB 101, etterfulgt av KAB 301 og Möve. For de individuelle aksene hadde KAB 101 de laveste eksponeringene, etterfulgt av Möve og KAB 301. Denne "rangeringen" er noe usikker, ettersom det eksisterte betydelige forskjeller i bruk og hastighet mellom målingene. Alle stolene ga utilstrekkelig vibrasjonsdemping ved høye eksponeringer, og samtlige "bunnet ut"

ved sterke enkeltstøt. Dette skjedde også med setetypen "Möve", som selv med maksimal demping bunnet ut når den hadde en person som veide 70kg sittende på seg.

### **Forslag til tiltak**

#### *Organisatoriske tiltak*

Med utgangspunkt i bruksområdet til SB 90, virker det noe usannsynlig at effektive organisatoriske tiltak vil kunne gjennomføres i større grad. I studien gjort av FFI (Sagvolden et al, 2001) ble det funnet en sammenheng mellom hastighet, vinkel mot bølgeretning og akselerasjonsnivåer. På tross av vanskene med å innføre absolutte begrensinger i hastighet ved seiling mot bølgeretning, kan det være av verdi å informere mannskapene om denne sammenhengen. Informasjon om vibrasjonsnivåer og mulige helsesikeroer er påkrevd i vibrasjonsdirektivet, men vil også kunne bidra til mindre ekstrem bruk av fartøyene der dette ikke er nødvendig. På en større organisatorisk skala kan det også vurderes om SB 90 bør erstattes av andre båttyper som er mer egnet til bruk i forhold med høy sjøtilstand.

#### *Tekniske tiltak*

På grunnlag av denne studien, bør anskaffelse av nye seter til broen på SB 90 vurderes sterkt. Setene som var installert i båtene hvor målingene ble gjort, hadde ikke kapasitet til å effektivt dempe vibrasjon til akseptable nivåer. De var heller ikke i stand til å dempe sterke enkeltstøt, og bunnet ut ved flere anledninger. På grunnlag av eksisterende forskningsmateriale, er det sannsynlig at kombinasjonen av vedvarende vibrasjonseksposering og sterke enkeltstøt på disse nivåene innebærer en risiko for helseskade. En utprøving av eventuelle nye setetyper under reelle forhold er nødvendig for å være sikker på at disse vil ha en positiv effekt på reduksjonen av vibrasjonseksposering. Effekten av belastninger fra arbeidsstillinger ble ikke vurdert i denne studien, men disse bør også vurderes med hensyn til en eventuell ny brodesign på SB 90.

### **Behov for videre undersøkelser**

Denne studien var liten i omfang, og fokuserte på relativt få variabler. Det ble imidlertid funnet flere nye problemstillinger som bør undersøkes i fremtiden:

- Denne studien vurderte kun eksponering til vibrasjon, ikke effekter i form av f.eks. ryggsmertor eller andre symptomer. En undersøkelse av forekomsten av muskel-skjelettplager og andre symptomer i tillegg til vibrasjonsmålinger, vil kunne gi informasjon om bruk av SB 90 innebærer større risiko for plager enn andre fartøytyper.
- En studie rettet mot arbeidsstillinger, gjennom bruk av tekniske målemetoder som f.eks. goniometri og overflate-EMG, ville gitt informasjon om eventuelle andre mekaniske faktorer som påvirker risiko for utvikling av plager.
- En ergonomisk vurdering av broens utforming ved hjelp av f.eks. oppgaveanalyse (task analysis) og brukervedvirkning ville også kunne danne grunnlag for å "designer ut" problemer med broens utforming. Det anbefales at alle disse undersøkelsene gjennomføres, om ikke annet enn i begrenset omfang.

## 5. KONKLUSJONER

Denne studien målte eksponering for helkroppsvibrasjon fra setene på broen i Stridsbåt 90. Sammenlignende målinger ble også gjort fra en sikringsbåt. Med bakgrunn i denne studien kan det gis følgende konklusjoner:

- Det ble påvist høye vibrasjonsnivåer fra alle mannskapsposisjoner på broen i Stridsbåt 90 og sikringsbåten. Både de vektete åttetimers-eksponeringene (rms) og enkeltstøtene (peakverdi) var høye i undersøkelsen.
- Det ble funnet til dels høye støy nivåer, spesielt for maskinisten på SB 90. Bruk av hørselsvern er nødvendig for å unngå helserisiko for maskinisten. Det ble også funnet relativt høye støy nivåer på broen i SB 90 og sikringsbåten.
- Den gjennomsnittlige vektete åttetimers vibrasjonseksponeringen fra alle posisjonene på broen i SB 90 var  $0.24 \text{ m/s}^2$  for x-aksen,  $0.30 \text{ m/s}^2$  for y-aksen, og  $0.64 \text{ m/s}^2$  for z-aksen. Snitteeksponeringen for de kombinerte aksene var  $0.78 \text{ m/s}^2$ .
- Eksponeringsnivåene på SB 90 oversteg i de fleste tilfeller tiltaksverdien på  $0.5 \text{ m/s}^2$  i EU-direktivet om eksponering til vibrasjon. Ingen av målingene på SB 90 oversteg grenseverdien på  $1.15 \text{ m/s}^2$ .
- Ingen av setene på broen det ble gjort målinger fra ga tilstrekkelig demping av vibrasjon og enkeltstøt.
- En reduksjon av vibrasjonseksponering vil være avhengig av tekniske tiltak, i hovedsak utskifting av seter. Organisatoriske tiltak vil også kunne bidra til å redusere eksponeringen.
- Denne studien var kun rettet mot vibrasjons- og støyeksponeringen ombord i SB 90. Den undersøkte ikke forekomsten av helseplager, og kan derfor ikke fastslå en økt risiko for plager ved bruk av SB 90.
- Det er behov for videre undersøkelser av mannskapets arbeidsoppgaver og arbeidsstillinger. Det vil også være hensiktsmessig å utføre ergonomiske undersøkelser av broen på SB 90, med hensyn til behov for eventuelle endringer i utforming.

## 6. REFERANSER

### Artikler og rapporter

Bonney RA, Corlett EN (2003). Vibration and spinal lengthening in simulated vehicle driving. Applied Ergonomics, **34**: 195-200

Boshuizen HC, Bongers PM, Hulshof CTJ (1992). Self-reported back pain in fork-lift truck and freight container tractor drivers exposed to whole-body vibration. Spine, **17**(1), 59-65.

Boshuizen HC, Hulshof CTJ, Bongers PM (1990). Self-reported back pain in tractor drivers exposed to whole-body vibration. International Archives of Occupational & Environmental Health, **62**: 109-115.

Bovenzi M, Betta A (1994). Low-back disorders in agricultural tractor drivers exposed to whole-body vibration and postural stress. Applied Ergonomics, **25** (4), 231-241.

Bovenzi M, Hulshof CTJ (1998). An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain. Journal of Sound and Vibration, **215**(4), 595-611.

Bovenzi M, Zadini A (1992). Self-reported low-back symptoms in urban bus drivers exposed to whole-body vibration. Spine, **17**(9), 1048-1058.

Bridger RS, Groom MR, Jones H, Pethybridge RJ, Pullinger N (2002). Task and postural factors are related to back pain in helicopter pilots. Aviation, Space, and Environmental Medicine, **73**(8), 805-811.

Gould KS (2002). *Exposure to whole-body vibration in excavators*. Hovedoppgave, Loughborough University, Loughborough.

Hartvigsen J, Leboeuf-Yde C, Lings S, Corder EH (2002). Er siddende arbejde årsag til lændesmerter? Ugeskrift for Læger, **164**: 759-761.

Lings S, Leboeuf-Yde (2000). Whole-body vibration and low back pain: a systematic, critical review of the epidemiological literature 1992-1999. International Archives of Occupational and Environmental Health, **73**: 290-297.

Lloyd DCEF, Troup JDG (1983). Recurrent back pain and its prediction. Journal of Occupational Medicine. **33**: 66-74.

Magnusson ML, Pope MH (1998). A review of the biomechanics and epidemiology of working postures. Journal of Sound and Vibration, **215**(4), 965-976.

Mansfield NJ, Marshall JM (2001). Symptoms of musculoskeletal disorders in stage rally drivers and co-drivers. British Journal of Sports Medicine, **35**: 314-320.

Miyashita K, Morioka I, Tanabe T, Iwata H, Takeda S (1992). Symptoms of construction workers exposed to whole body vibration and local vibration. International Archives of Occupational & Environmental Health, **64**: 347-351.

Porter JM, Gyi DE (2002). The prevalence of musculoskeletal troubles among car drivers. Occupational Medicine, **52**(1), 4-12.

Pope MH, Wilder DG, Magnusson M (1998). Possible mechanisms of low back pain due to whole-body vibration. Journal of Sound and Vibration, **215**(4), 687-697.

Sagvolden G, Pran K, Wang G (2001). *FFI Rapport: Målinger av akselerasjoner på Stridsbåt 90*. FFI/Rapport-2001/04408.

Schwartz S, Notbohm G, Dupuis H, Hartung E (1998). Dose-response relationships between whole-body vibration and lumbar disc disease – A field study on 388 drivers of different vehicles. Journal of Sound & Vibration, **215** (4), 613-628.

Seidel H (1993). Selected health risks caused by long-term, whole-body vibration. American Journal of Industrial Medicine, **23**: 589-604.

Stayner RM (2001). Whole-body vibration and shock: A literature review. HSE Contract Research Report, 333/2001. Health and Safety Executive, London.

Ulén K (1992). *Buller och vibrationer ombord på Kustbevakningens fartyg KBV 259 och KBV 04*. Eksamensrapport. Arbetsmiljöinstitutets skyddsingeniörutbildning, Umeå.

## **Bøker**

Fahy F (red.), Walker J (red.) (1998). *Fundamentals of noise and vibration*. E & FN Spon, London

Griffin MJ (1990). *Handbook of human vibration*. Academic Press, London

International Organization for Standardization (1997). ISO 2631-1. *Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements*. International Organization for Standardization, Geneva.

Wilson J (red.), Corlett EN (red.) (1995). *Evaluation of human work*. Taylor & Francis, London

## **Lover, forskrifter og direktiver**

Direktiv 2002/44/EC av det europeiske parlamentet og rådet om fysiske agenser (vibrasjon) av 25 juni 2002. Official Journal of the European Communities, L177/13.

Forskrift om tekniske innretninger (1982). Arbeids- og administrasjonsdepartementet.

Forskrift om bruk av arbeidsutstyr (1998). Arbeids- og administrasjonsdepartementet.

Lov om arbeidervern og arbeidsmiljø m.v. (1977).

## APPENDIKS: VIBRASJONSTEORI

Begrepet vibrasjon kan defineres som oscillatorisk bevegelse i et materiale. Fenomenet oppleves i et utall sammenhenger i dagliglivet, fra lyden skapt av musikkinstrumenter til vibrasjonsvarsling på mobiltelefoner. Bevegelsen i et objekt som vibrerer beskrives ut fra tre måleretninger, som er definert i et koordinatsystem av tre vinkelrette akser.

Disse er:

- x-aksen: Antero-posterior bevegelse, eller fra foran til bak.
- y-aksen: Lateral bevegelse, eller fra side til side.
- z-aksen: Vertikal bevegelse, eller fra topp til bunn.

Aksene, slik de er definert for måling av helkroppsvibrasjon er vist i figurene A.1 og A.2. I tillegg til de tre lineære aksene, kan det også eksistere rotasjonsbevegelse. Rotasjonsaksene er vist i figur A.2. Det benyttede måleutstyret tillater ikke måling av rotasjonell vibrasjon, og disse er derfor ikke tatt hensyn til i denne studien.

Fig. A.1 Stående

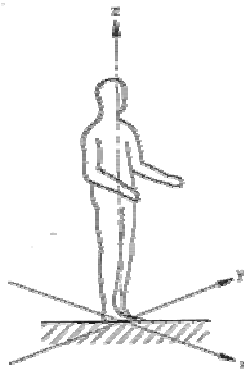
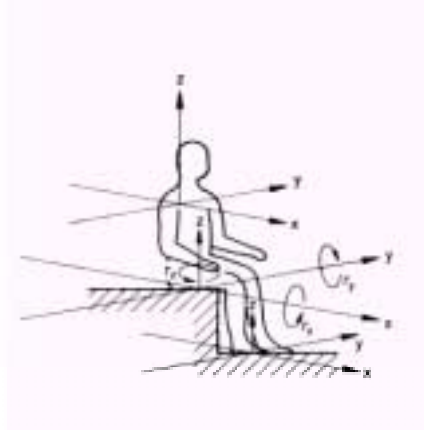


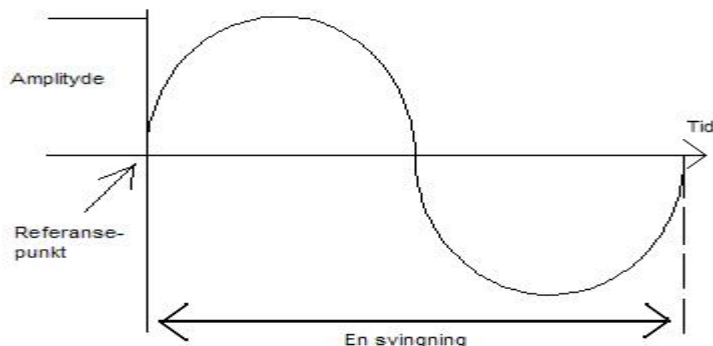
Fig. A.2 Sittende



Begge figurer er fra ISO 2631-1

Vibrasjon beskrives også ut fra to faktorer. Disse er amplitude og frekvens. Amplituden beskriver den maksimale avstanden objektet forflyttes fra sitt utgangspunkt. Frekvens beskriver antall svingninger per tidsenhet, hvilket vanligvis er ett sekund. Hertz (Hz) er standardenheten for vibrasjonsfrekvens, hvor én svingning per sekund tilsvarer 1 Hz. Forholdet mellom amplitude og frekvens er beskrevet i figur A.3.

Figur A.3 Frekvens (svingninger per tidsenhet) og amplitude for sinusoidal vibrasjon.





For å oppnå en bestemt amplitude med en gitt frekvens kreves akselerasjon, hvilket er definert som bevegelse per tidsenhet. På grunn av dette forholdet, kan vibrasjon beskrives ut fra enhetene frekvens og akselerasjon (fremfor amplitude), hvilket vanligvis gjøres. Akselerasjon beskrives ut fra enheten meter/sekund/sekund, eller  $m/s^2$ .

Alle materialer med elastiske kvaliteter, vil ha en tendens til å vibrere fritt ved en bestemt frekvens, kalt materialets egenfrekvens. Dersom materialet vibreres i denne frekvensen vil vibrasjonsamplituden bli større enn den som er påført materialet, hvilket vil si at den resonerer. Resonans kan ha en svært stor forsterkende virkning på effekten av vibrasjon. Den motsatte effekten av resonans skjer ved andre frekvensområder, hvor amplituden materialet vibrerer i er mindre enn den som påføres. Her "absorberer" materialet vibrasjonen, gjennom det som kalles demping.

Menneskekroppen er en kompleks struktur som består av indre organer, ben, ledd og muskulatur. Alle består av ulike typer vev, som har ulike vibrasjonsegenskaper. Vibrasjonseksposeringen vil som oftest ikke bestå av en enkel sinusoidal vibrasjon, men flere sinusoidale vibrasjoner ledsaget av enkeltstøt og tilfeldige vibrasjoner. Effekten på mennesket vil derfor være avhengig av en kompleks sammensetning av faktorer, deriblant vibrasjonstypen, og summen av resonans og demping i de ulike delene av kroppen. Effekten av resonans kan uansett være svært sterkt, og derfor tas denne hensyn til ved måling av vibrasjonsdose gjennom vekting av akselerasjonene.

### **Effekt av vibrasjon på mennesket**

Med relevans til menneskets helse og funksjon er vibrasjon i hovedsak studert i tre sammenhenger: Delkroppsvibrasjon (eller segmental vibrasjon), helkroppsvibrasjon, og transportsyke.

*Delkroppsvibrasjon* kalles ofte for "hånd-arm vibrasjon", ettersom dette som regel dreier seg om vibrasjon fra håndholdte gjenstander. Eksposering til delkroppsvibrasjon innebærer risiko for utvikling av hånd-arm vibrasjonssyndrom (HAVS), særlig i kalde miljøer. Denne tilstanden inkluderer vaskulære skader, nevrale skader og skader til benvev perifert i hånden. Vibrasjon fra håndholdte gjenstander i frekvensområdene mellom 5 og 1500 Hz regnes for å kunne ha en effekt i utviklingen av HAVS.

*Sjøsyke* er en konsekvens av en type helkroppsvibrasjon, med akselerasjon i svært lave frekvensområder (mellom 0.6 og 1.25 Hz). Tilstanden skyldes sensorisk konflikt (som oftest mellom syns- og vestibulærsans) i sentralnervesystemet, og resulterer i kvalme og oppkast. Utsatte grupper er i hovedsak passasjerer og mannskap ombord skip.

*Helkroppsvibrasjon* forekommer der kroppens understøttelsesflate vibrerer, hvilket i de fleste tilfeller vil si enten gulvet eller setet. Helkroppsvibrasjon oppleves i alle typer motoriserte fremkomstmidler (bl.a. biler, tog og skip), samt fra enkelte typer industrielt maskineri. Skadelig helkroppsvibrasjon regnes for å oppstå i frekvensområdet mellom 1 og 80 Hz.

### **Helkroppsvibrasjon**

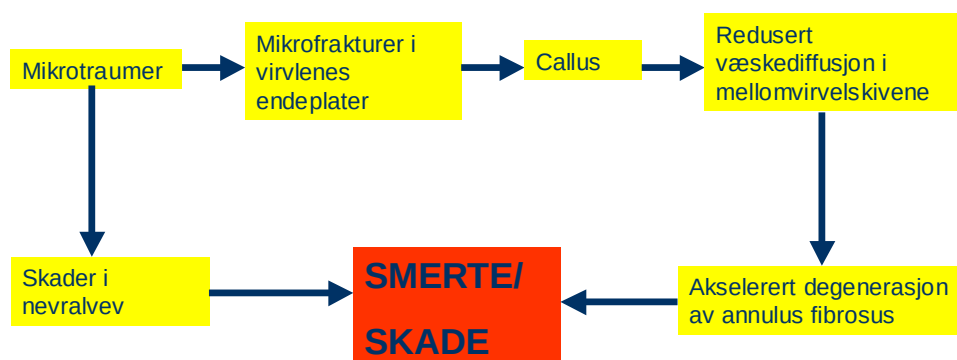
#### **Patologiske tilstander assosiert med helkroppsvibrasjon**

Til forskjell fra delkroppsvibrasjon, er ikke helkroppsvibrasjon assosiert med én spesifikk skadetilstand. Det er rapportert et bredt utvalg skadetilstander som kan være assosiert med eksponering; disse inkluderer patologiske tilstander i fordøyelsessystemet, sentralnervesystemet og reproduksjonssystemet (Seidel, 1993). En økt risiko for spontanabort som følge av langvarig eksponering er også sannsynlig, men lite forskning eksisterer som kan underbygge dette. Dette skyldes at det generelt er svært lav kvinneandel i yrker som innebærer høy eksponering (Griffin, 1990). Helsepåvirkninger av helkroppsvibrasjon er generelt omdiskutert, pga. lite forskning på feltet.



Mekanismene for ryggskade som følge av eksponering til helkroppsvibrasjon er derfor fremdeles i liten grad klarlagte. Figur A.5 viser en mulig modell for skadeutvikling, etter Griffin (ibid.). Modellen er i stor grad basert på studier på menneskekadaver, hvor in vivo målinger er gjort etter langvarig vibrasjonsstimulering. Opphavet til skaden er mikrotraumer som følge av langvarig vibrasjonseksponering, med resulterende skader til nevralvev og virvlenes endeplater. Dette leder til dannelsen av arrvev (callus), med påfølgende reduksjon i væskediffusjon til mellomvirvelskivene. Dette vil forskynde den normale aldringsprosessen i mellomvirvelskivene, med degenerasjon av annulus fibrosus og mindre væskeholdighet i nucleus pulposus.

**Figur A.5.** Modell for kumulativ skadeutvikling i columna etter langvarig eksponering til helkroppsvibrasjon. Modifisert etter Griffin (1990).



Modellen i Figur A.5 forteller ikke noe om varigheten på vibrasjonseksponering som er nødvendig for at skade skal oppstå. Det er fremdeles uklare sammenhenger mellom grad og varighet av vibrasjon, faktorer som arbeidsstilling, og dannelsen av skade/smerte. Det er heller ikke enighet om den relative skadeeffekten av denne typen vibrasjon i forhold til sterke enkeltstøt (Stayner, 2000). Metodene som er blitt benyttet for å måle vibrasjonsdose har hittil konsentrert seg om langvarig, vedvarende vibrasjon, og har ikke fokusert på effekten av gjentatte enkeltstøt i arbeidet.

## Sjøtilstand

Sjøtilstand (sea state) indikerer den gjennomsnittlige signifikante bølgehøyden på vannet. Den beregnes fra middelverdien av den største tredjedelen av bølgen, og måles fra bølgetopp til bølgedal. En oversikt over bølgehøyder sees i tabell A.1.

**Tabell A.1.** Oversikt over bølgehøyder ved ulike sjøtilstander.

| Sjøtilstand | Signifikant bølgehøyde (m) |
|-------------|----------------------------|
| 1           | 0-0.1                      |
| 2           | 0.1-0.5                    |
| 3           | 0.5-1.25                   |
| 4           | 1.25-2.5                   |