



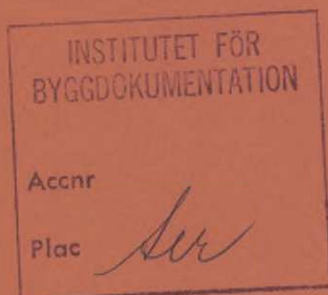
Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Mättekniska anvisningar för vibrationsnormer

Kent Allard
Ove Bennerhult
Peter Holzmann
Göran Lande



R119:1982

MÄTTEKNISKA ANVISNINGAR
FÖR VIBRATIONSNORMER

Kent Allard
Ove Bennerhult
Peter Holzmann
Göran Lande

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
790910-6 från Statens råd för byggnadsforsk-
ning till Inst för jord- och bergmekanik, KTH,
Stockholm.

I Byggeforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R119:1982

ISBN 91-540-3804-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1982

INNEHÅLL

	FÖRORD	5
1.	SAMMANFATTNING	6
2.	INLEDNING	7
2.1	Bakgrund	7
2.2	Målsättning	7
3.	ERFORDERLIG INFORMATION FÖR KONTROLL AV VIBRATIONER	8
3.1	Allmänt	8
3.2	Tillämpningsområde och begränsningar	8
3.3	Mätpunkt	8
3.3.1	Val av mätpunkter	8
3.3.2	Mätriktningar	9
3.4	Dimensionerande vibrationskälla	9
3.5	Mät- och analysteknik	9
3.5.1	Montering av givare	9
3.5.2	Vibrationskaraktär	9
3.5.3	Mätstorhet	9
3.5.4	Mätvärde	9
3.5.5	Vibrationsriktningar	10
3.5.6	Mättid	10
3.5.7	Kalibrering	10
3.6	Dokumentering	11
4.	BEDÖMNING AV VISSA NORMER MED AV- SEENDE PÅ ERFORDERLIG INFORMATION FÖR KONTROLL	12
4.1	Tabellsammanställning	13
5.	DISKUSSION AV PUNKTER SOM BÖR IN- GÅ I MÄTVÄGLEDNING TILL VIBRATIONS- NORMER	14
5.1	Allmänt	14
5.2	Mätstrategi	14
5.2.1	Vägledande kontrollmätning	14
5.2.2	Utredande kontrollmätning	14
5.3	Problemställningar som i före- kommande fall måste beaktas	16
5.3.1	Val av mätpunkter	16
5.3.2	Dimensionerande vibrationskälla	16
5.3.3	Mät- och analysteknik	17
5.3.3.1	Montering av givare	17
5.3.3.2	Vibrationskaraktär	18
5.3.3.3	Mätstorhet	22
5.3.3.4	Mätvärde	23
5.3.3.5	Vibrationsriktningar	26
5.3.3.6	Kalibrering och kontroll av mät- systemet	26
5.3.4	Dokumentering	27
5.3.5	Övriga punkter som bör behandlas	28
6.	SLUTSATSER OCH SYNPUNKTER PÅ FRAM- TIDA UTVECKLINGSARBETEN	29

APPENDIX A	Sammanfattning av Nitro Consults mätanvisningar	31
APPENDIX B	Kommentarer till tabell 4.1 "Sammanfattning av bedömning av ett antal vibrationsnor- mer ur mätsynpunkt"	51
APPENDIX C	Förenklad mätonoggrannhets- analys	57
APPENDIX D	Tillämpningsexempel: Mätväg- ledning till SS ISO 2631 Väg- ledning för bedömning av hel- kroppsvibrationers inverkan på människan	67

FÖRORD

Föreliggande rapport som finansierats av Statens råd för byggnadsforskning har utarbetats på initiativ av Arbetsgrupp 2 (mät- och analysteknik) i IVA:s kommitté för vibrationsfrågor.

Författarna vill härmed rikta ett tack till medlemmarna i Ag 2 och till Alf Olsson, SEK, för de bidrag och synpunkter som lämnats under utredningsarbetet. Ett speciellt tack till Kjell Spång, IFM Akustikbyrån AB vars engagemang haft stor betydelse för att denna rapport har kunnat komma till stånd.

Stockholm i april 1982

Kent Allard

1. SAMMANFATTNING

En studie av några vibrationsnormer som utfördes 1978 av Arbetsgrupp 2 inom IVA:s vibrationskommitté visade klara brister i mättekniska anvisningar avseende kontroll för verifiering av i normen uppställda fordringar. Här redovisad utredning har utförts av en grupp inom Ag 2 och syftar till att ge underlag att angripa dessa brister.

Som ett första steg har upprättats en förteckning över den typ av information som måste finnas med i normerna för att den mättekniska verifieringen skall tillgodoses. Denna redovisas i kapitel 3. Förteckningen kan användas som "check-lista" vid utarbetande och remissbehandling av förslag till vibrationsnormer.

Kapitel 4 i rapporten redovisar en genomgång av ett antal för svenska förhållanden intressanta normer och normförslag mot bakgrund av check-listan. Ur denna framgår att en del krav är någorlunda tillgodosedda, t ex mätpunktsplaceringar, montering av givare medan andra genomgående ej tillgodosetts. Till de senare hör krav på dokumentation av kontrollmätningar samt analys av mätnoggrannhet. Genomgående saknas erforderlig mätteknisk vägledning.

En allmän diskussion om innehållet i den typ av mätvägledning som bör finnas med i normerna redovisas i kapitel 5 och ett exempel på en sådan mätvägledning för SS ISO 2631 ges i Appendix D. Exemplet bör kunna ligga till grund för en mer genomarbetad mätvägledning för SS ISO 2631 och underlag dels till svensk standard och dels förslag till ISO-standard. Kapitel 6, i vilket förslag till framtida utvecklingsarbeten framförs, rekommenderar bl a utarbetande av ett sådant normförslag.

Nitro Consults praxis för vibrationsmätningar i samband med anläggningsarbeten har en utbredd användning i Sverige även om den ej har formen av en norm. En redovisning och uppdatering av denna praxis sådan Nitro Consult idag tillämpar den finns medtagen i Appendix A.

2. INLEDNING

2.1 Bakgrund

Inom arbetsgrupp 2 (mät- och analysteknik) i IVA:s kommitte för vibrationsfrågor gjordes 1978 en undersökning av några olika vibrationsnormer. Syftet var att kartlägga eventuella brister då det gäller mättekniska anvisningar för att normens kriterier entydigt skall kunna kontrolleras.

Undersökningen visade att de studerade normerna ej innehåller tillräcklig mätteknisk information för entydig kontroll. Mätteknisk vägledning saknas också, där praktiska synpunkter beträffande val och användning av lämplig mät- och analysmetodik kan behandlas.

Som resultat av studien föreslog Ag 2 BFR ett projekt för att dels utreda vad som behöver ingå i en vibrationsnorm för att den mättekniskt skall kunna verifieras, dels ge exempel på lämpliga kompletteringar av någon norm för att illustrera problemen. BFR anslog medel för ett sådant projekt hösten 1979 och en arbetsgrupp med Kent Allard, KTH, Institutionen för jord- och bergmekanik som samordnare fick Ag 2:s uppdrag att driva projektet. Arbetsgruppen i övrigt har bestått av Ove Bennerhult, IFM Akustikbyrån AB, Peter Holzmann, Bygghälsans Forskningsstiftelse och Göran Lande, Nitro Consult AB.

Resultatet av gruppens arbete presenteras i denna rapport.

2.2 Målsättning

Avsikten med föreliggande rapport är att åstadkomma ett bättre normunderlag för vibrationsfrågor och därvid studera följande problemställningar:

- Vad måste ur kontrollsynpunkt ingå i en norm?
- Vilka parametrar måste anges för att medge entydig kontroll?
- Hur uppfyller befintliga normer och rekommendationer kraven på erforderlig information?
- Hur bör en mätteknisk vägledning utformas?

Det är således enbart faktorer som är av betydelse för att kunna kontrollera ett normvärde som behandlas i denna utredning. De värderingar som ligger till grund för normernas gränsvärden ifrågasätts ej.

3 ERFORDERLIG INFORMATION FÖR KONTROLL AV VIBRATIONER

3.1 Allmänt

För att med en vibrationsnorm eller rekommendation som utgångspunkt utföra mätningar för verifiering av i nor- men uppställda fordringar krävs att normen formuleras så att tveksamhet beträffande tolkningen undviks samt att tillräcklig information om tillvägagångssätt vid mätning lämnas.

Följande förteckning är ett försök att sammanställa alla de olika faktorer som är av betydelse för att kontrollera ett uppställt normvärde och som följakt- ligen måste vara preciserade i normen. Förteckningen är indelad i fem grupper:

1. Tillämpningsområde och begränsningar
2. Mätpunkt
3. Vibrationskälla
4. Mät- och analysteknik
5. Dokumentering

Normen bör dessutom åtföljas av en separat mätvägled- ning, där mät- och analystekniska synpunkter kan be- handlas mer detaljerat och där praktiska problem för- knippade med mätningarna kan belysas.

3.2 Tillämpningsområde och begränsningar

En klar definition av normens omfattning och tillämp- ningsområde är en förutsättning för att planera och genomföra en mätning där avsikten är att kontrollera normens uppställda fordringar. I första hand måste frek- vensområde och vibrationstyp anges. Begränsning av nor- mens tillämpning kan förekomma inom olika verksamhets- områden, t ex arbetsmiljö, bostadsmiljö, sjukhusmiljö etc. Av betydelse är också om normen avser externt el- ler internt alstrade vibrationer. Det bör också framgå om normens gränsvärden tar hänsyn till mätnoggrannheten. I de fall normen anger gränsvärden som tar hänsyn till mättoleransen måste acceptabla toleransvärden anges. Normalt bör gränsvärden dock anges såsom rena övre grän- ser och mättoleransen inkluderas vid presentation av mätresultaten.

3.3 Mätpunkt

3.3.1 Val av mätpunkter

I normen skall entydigt framgå var normvärdet är defi- nierat. Formuleringar av typen "Mätpunkt skall väljas där vibrationen är störst", måste undvikas då dessa gör normen svår att kontrollera.

3.3.2 Mätriktningar

Beskrivning av koordinatsystem som definierar de mät-riktningar för vilka normens gränsvärden gäller.

3.4 Dimensionerande vibrationskälla (gäller i första hand kontroll av emission)

Till de frågor som bör behandlas hör

- lokalisering av dimensionerande vibrationskälla
- kartläggning av representativt driftfall
- samverkan av flera likvärdiga vibrationskällor

3.5 Mät- och analysteknik

3.5.1 Montering av givare

För att givaren skall återge underlagets rörelse krävs att den är tillräckligt styvt monterad. Härvid bör normen ge vägledning om monteringsprinciper när det är lämpligt att använda speciellt anpassad stödplatta eller annan typ av monteringshjälpmedel.

3.5.2 Vibrationskaraktär

För att kunna göra en entydig bedömning av en uppmätt vibration fordras att vid mätningen hänsyn tagits till vibrationsförloppets karaktär så att ändamålsenlig mät- och analysutrustning utnyttjas. Därför är det av stor betydelse att en karakterisering av olika vibrationsförlopp ingår i normen, med anvisning om hur respektive vibrationstyp skall behandlas. Av speciellt intresse är behandlingen av transienta förlopp.

Toppfaktorns (kvoten mellan max. toppvärde och effektivvärde) inverkan på mät- och analysförfarande bör också klarläggas.

3.5.3 Mätstorhet

Uppgift om i vilken av storheterna acceleration, hastighet eller förskjutning som vibrationen skall representeras.

3.5.4 Mätvärde

Specifikation av vilken eller vilka parametrar som skall användas för att bestämma vibrationens intensitet.

Toppvärde: frekvensområde(n) måste anges.

Effektivvärde (RMS-värde): frekvensområde(n) och tidskonstant (integrationstid) måste anges.

Frekvensspektrum: analysbandbredd och tidskonstant (integrationstid) måste anges. För effekttäthetsspektrum anges maximalt tillåten analysbandbredd.

Responsspektrum: Q-värde och frekvenstäthet måste anges.

Sammanställning av parametrar som kan utnyttjas för att beskriva vibrationer av olika slag:

Typ av vibration	Toppvärde ¹⁾	Effektivvärde ²⁾	Fourierspektrum		Effekt-täthets-spektrum	Energi-täthets-spektrum	Responsspektrum (maxi-max).
			Belopp	Belopp +fas			
STATIONÄR							
Periodisk	x	x	x	x			x
Brus	x	x	x ⁴⁾		x		x
ICKE STATIONÄR							
Brus	x	x	x ⁴⁾		x		x
Transient	x	3)	x ⁵⁾	x ⁵⁾		x	x

- 1) Frekvensområde måste anges. Frekvensområdet kan också begränsas med vägningsfilter med specificerad frekvenskaraktistik.
- 2) Frekvensområde och tidskonstant måste anges. Frekvensområde kan avse ett eller flera frekvensband (t ex tersbandanalys). Frekvensområdet kan också begränsas med vägningsfilter med specificerad frekvenskaraktistik. I de fall normen föreskriver eller rekommenderar användning av vägningsfilter för att erhålla ett sammanvägt mätvärde för hela det aktuella frekvensområdet, måste filtrets frekvenskaraktistik specificeras så att det är praktiskt realiserbart.
- 3) I stället för effektivvärde kan totalenergi bestämmas.
- 4) Möjligt i generaliserad form. Se ISO 2041 A 18 not 1.
- 5) Egentligen fouriertransform.

3.5.5 Vibrationsriktningar

I de fall normen föreskriver mätning av vibrationer i mer än en riktning, måste bl a information anges om fasförhållanden mellan olika riktningar. Anvisningar bör också finnas för lämpligt tillvägagångssätt vid mätning respektive utvärdering.

3.5.6 Mättid

Tillräcklig mättid för att analysen skall kunna bli representativ. Anvisningar för hur intermittenta eller fluktuerande vibrationer skall utvärderas.

3.5.7 Kalibrering

Förutom att i normen hänvisas till relevanta normer och rekommendationer bör även ställas krav på lämplig metod för fältkalibrering inför varje mätning (funk-

tionskontroll) samt krav på periodiskt återkommande noggranna kalibreringar.

3.6 Dokumentering

Då det är av stor betydelse att alla omständigheter rörande mätningen noga dokumenteras bör krav på dokumentation definieras i normen.

De uppgifter som därvid bör uppmärksammas är:

- Beskrivning av mätpunkten och den struktur som den aktuella mätningen har för avsikt att kontrollera.
- Givarmontage med beskrivning av eventuella monteringshjälpmedel.
- Driftsbetingelser hos vibrationskällan.
- Beskrivning av den använda mät- och analysutrustningen med mätnoggrannhetsanalys
- Kalibreringsmetod

Vid mätningar avseende vibrationers inverkan på människan måste de biomekaniska tillstånden noggrant beskrivas.

Exempel på parametrar som behandlas kan vara:

- Arbetsställning med redogörelse för olika förekommande arbetsmoment.
- Viktfördelning
- Greppkraft vid mätningar på handhållna maskiner.
- Matningskraft

4 BEDÖMNING AV VISSA NORMER MED AVSEENDE PÅ
ERFORDERLIG INFORMATION FÖR KONTROLL

För att få en uppfattning om hur några befintliga normer och förslag till normer uppfyller de i kap. 3 redovisade kraven på erforderlig information följer en översiktstabell av kravspecifikationen med en bedömning av normerna:

- SS ISO 2631 Vägledning för bedömning av helkropps-vibrationers inverkan på människan.
Här avses det förslag till svensk standard som utarbetats inom Svenska Elektriska Kommissionen, SEK, och som är en svensk översättning av ISO 2631 Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration, Second edition 1978-01-15, med tilläggen i ISO 2631/DAM 1 såsom dessa utformats och fastställdes 1980-09.

Det föreslagna tillägget ISO 2631/DAD 1 är under revision och medtages därför ej i denna sammanställning.

- DIN 4150 Erschütterung im Bauwesen, 1975-09, som består av tre delar, varav endast delarna 2 och 3 som innehåller gränsvärden medtagits i denna bedömning.
- ISO 5349. Här avses Draft Proposal for a Second Draft International Standard ISO/DIS 5349 "Guide for the measurement and the assessment of human exposure to vibration transmitted to the hand" reviderad 1980-09.
- ISO 2372 Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 20 rev/s - Basis for specifying evaluation standards. First edition 1974-11-01.

I samma kolumn inkluderas ISO 3945 Mechanical vibration of large rotating machines with speed range from 10 to 200 rev/s - Measurement and evaluation of vibration severity in situ, First edition, då denna norm i stort sett är en upprepning av ISO 2372.

Då dessa normer, vad gäller mät- och analysteknik, hänvisar till ISO 2954 Mechanical vibration of rotating and reciprocating machinery - Requirements for instruments for measuring vibration severity, First edition 1975-07-15, medtages även denna i samma kolumn.

I Sverige har under lång tid tillämpats en praxis för vibrationsmätningar i samband med anläggningsarbeten (sprängning, pålning etc) som härrör från Nitro Consults arbeten. Denna praxis är allmänt känd och använd men har ej formulerats i sådan form att den kunnat bedömas parallellt med ovanstående normer.

En skriftlig sammanställning av Nitro Consults anvisningar har av Göran Lande tagits fram i samband med här redovisat projekt. Denna bifogas i Appendix A och kan ses som en konkretisering av mätanvisningen till tillämpad praxis.

Tabell 4.1 Sammanfattning av bedömning av ett antal vibrationsnormer ur mätsynpunkt

	SS ISO 2631		DIN 4150			ISO 5349		ISO 2372 3945 2954	
			Del 2		Del 3				
TILLÄMPNINGSSOMRÅDE OCH BEGRÄNSNINGAR	x	1.1	x		x		xx		xx
MÄTPUNKT									
Val av mätpunkter	xx		x	2.1	xx	2.6	xx	3.1	xx
Mätriktningar	xx		xx		xx		xx	3.3	xx
DIMENSIONERANDE VIBRATIONSKÄLLA	x	1.2	x		-		x	3.4	xx
MÄT- OCH ANALYS- TEKNIK									
Montering av givare	xx		x		x		xx	3.2	x 4.1
Mätstorhet	xx		xx		xx		xx	3.6	xx
Mätvärde:									
Toppvärde	-		xx		xx		-		-
Effektivvärde	x	1.3	x	2.2	-		x	3.7	xx
Frekvensspektrum	x	1.3	x	2.3	x		x	3.8	-
Responsspektrum	-		-		-		-		-
Vibrationskaraktär	x	1.4	x	2.2	x	2.7	x	3.9	- 4.2
Vibrationsriktningar	xx		xx	2.4	xx	2.6	xx	3.10	xx
Mättid	x	1.5	x	2.5	x			3.11	- 4.2
Kalibrering	x	1.6	x	2.8	x	2.8	x	3.12	x 4.3
DOKUMENTERING	x	1.7	x		x		x	3.5	-

Markeringarna i respektive kolumn har följande betydelse:

- Behandlas ej
- x Behandlas något men ej fullständigt
- xx Behandlas entydigt

I kolumnerna hänvisas också till kommentarer i Appendix B.

5 DISKUSSION AV PUNKTER SOM BÖR INGÅ I MÄTVÄGLEDNING TILL VIBRATIONSNORMER

5.1 Allmänt

En norm eller rekommendation avseende vibrationer bör åtföljas av en mätvägledning där normen förtydligas vad gäller mät- och analysteknik. Ett sådant vägledningsdokument bör bl a ge konkreta anvisningar för praktiska mätningar samt varna för fel som lätt kan uppkomma. I detta kapitel diskuteras de punkter som bör tas upp i sådana mätvägledningsdokument.

5.2 Mätstrategi

5.2.1 Vägledande kontrollmätning

Tillvägagångssättet bör vara att med enkel och lättskött mätutrustning snabbt kunna konstatera om vibrationsnivån ligger i närheten av något fastställt eller rekommenderat gränsvärde. Med enkel mätutrustning avses här en mätgivare (accelerometer eller hastighetsgivare) ansluten till ett toppvärdes- och/eller effektivvärdeskännande avläsningsinstrument försett med lämpliga filter för frekvens- och tidsvägning. Mätutrustningens frekvensområde måste vara anpassat till det område för vilket normens gränsvärden gäller, för att inte signaler utanför frekvensgränserna skall påverka mätresultatet.

Syftet med den vägledande kontrollmätningen är således att snabbt och enkelt få en översiktlig bild av vibrationstillståndet för att konstatera huruvida normen efterlevs. Hur enkel och tillförlitlig mätutrustningen än är, måste dock grundläggande krav tillgodoses vad gäller val av mätpunkter och montering av givare samt hänsynstagande till vibrationsförloppets karaktär. Genom att exempelvis mäta i den dominerande vibrationsriktningen och med felmarginalerna i det aktuella mätförfarandet åt "rätt håll" dvs vid tolkningen erhålls för höga värden på vibrationsnivån, kan denna första mätning ge en vägledning om mer noggrann mätutrustning behövs för att i tveksamma fall göra en utredande kontrollmätning.

5.2.2 Utredande kontrollmätning

Då den vägledande kontrollmätningen givit besked om att något gränsvärde överskridits eller att risk föreligger och då tveksamhet uppstår beträffande jämförelsen med normens gränsvärden kan det krävas att en utredande kontrollmätning utförs.

Med hänsyn till aktuella förhållanden utnyttjas lämplig mät- och analysteknik för att kunna karakterisera vibrationsförloppet och med större säkerhet bedöma vibrationsnivån.

Den mätutrustning som används för den utredande kontrollmätningen kan i vissa fall bestå av det enkla in-

strument som används vid den vägledande kontrollmätningen, men med större vikt på val av mätpunkter och mätförfarande med hänsyn till vibrationsförloppets karaktär. Sammanvägning av vibrationer i olika riktningar och noggrannare analys av vibrationens varaktighet och exponeringstid kan då erfordras. Vid effektivvärdesmätning måste signalens toppfaktor kontrolleras då denna typ av instrument har begränsad möjlighet att hantera signaler med höga toppfaktorer. Ofta vill man dock erhålla mer information ur mätsignalen än vad som kan fås ur ett topp- eller effektivvärde. Genom att studera tidsförloppet hos signalen i ett oscilloskop eller oscillograf kan vibrationsförloppet karakteriseras, toppvärdet avläsas och en grov uppskattning av den dominerande frekvensen och signalens frekvensinnehåll utföras. Mätssystem för denna typ av mätning kan också innehålla ett flertal mätgivare för samtidig registrering i olika mätpunkter och i olika riktningar. För att kunna studera signalen i frekvensplanet krävs någon typ av frekvensanalysator.

Den enklaste frekvensanalysatorn består av ett kontinuerligt eller stegvis inställbart bandpassfilter som släpper igenom den inställda frekvensen. Bandbredden kan varieras beroende på typ av analys, t ex oktavband, tredjedelsoktavband (tersband) etc. För att erhålla god upplösning krävs ett filter med smal bandbredd och med detta filter sveper man över hela frekvensområdet. Då detta svepförfarande måste ske långsamt tar analysen lång tid att utföra och förutsätter att mätsignalen ej varierar under mätningen.

Med datoriserade smalbandsanalysatorer baserade på FFT-algoritmen kan insignalen behandlas praktiskt taget ögonblickligt och resultatet presenteras på en bildskärm. Olika analysmetoder och signalbehandlingsfunktioner finns ofta inprogrammerade i instrumentet.

För att kunna göra jämförelser av resultat från olika frekvensanalyser är det av stor vikt att mätförfarande, analysmetod och analysparametrar noga dokumenteras. Analysbredd och integrationstid måste anges samt uppgift om på vilket sätt eventuell medelvärdesbildning utförts.

Ofta innehåller mätssystemet enheter för lagring av mätdata för att möjliggöra kompletterande bearbetning vid senare tillfälle. Lagring av data kan göras analogt eller digitalt. Analog lagring innebär i detta sammanhang vanligtvis inspelning av mätdata på en databandspelare med FM-teknik. Det begränsade dynamikområdet (45 dB) medför att mätsignalen från givaren måste anpassas till bandspelaren med lämplig förstärkning så att tillräcklig noggrannhet erhålls vid återgivningen.

Vid digital lagring av mätdata samplas ett tidsavsnitt ur mätsignalen och översätts till digital form i en analog/digitalomvandlare. Mätsignalen representeras av ett antal punkter med konstant tidsavstånd. För att

inte förlora någon information i en signal måste samlingsfrekvensen vara minst dubbelt så stor som signalens högsta förekommande frekvens. Den A/D-omvandlade signalen kan sedan lagras i någon typ av digitalt minne, band, kassett, diskett, skiva, hålremsa m m. Dynamiken hos ett digitalt datalagringsystem kan uppgå till 60-70 dB, vilket innebär att olika mätsignaler med varierande amplituder kan lagras och återges med tillräcklig noggrannhet utan att förstärkningen behöver ändras före A/D-omvandlaren.

Vid vissa typer av vibrationsmätningar kan den föreslagna strategin vara olämplig, t ex vid övervakning av vibrationer i en mätpunkt under längre tid. Avancerad mätteknik bör inledningsvis användas och när vibrationsförloppet är känt kan eventuellt ett enkelt övervakningsinstrument sättas in.

5.3 Problemställningar som i förekommande fall måste beaktas

5.3.1 Val av mätpunkter

Beskrivning av olika metoder för val av representativa mätpunkter.

Beroende på om det är en emissions- eller immissionsmätning som skall utföras kan valet av mätpunkt göras med olika utgångspunkter. Vid en immissionsmätning då man vill se hur mätobjektet påverkas av en vibrationskälla, bör flera mätpunkter kontrolleras för att upptäcka eventuellt förekommande lokala resonanser. Då stora variationer mellan olika element kan förekomma beroende på skillnader i styvhet är det ofta nödvändigt att konstruktionen avsöks för att lokalisera den maximala vibrationsnivån och undersöka bärande konstruktionselement.

Vid en emissionsmätning av en vibrationskälla bör mätpunkter väljas så att mätresultatet ej påverkas av icke representativa lokala resonanser. I vissa fall kan impedansmätning utnyttjas för bedömning av lämpliga mätpunkter.

5.3.2 Dimensionerande vibrationskälla

Vid immissionsmätningar är det av stor vikt att den dimensionerande vibrationskällan lokaliseras.

Det kan vara lämpligt att även mäta på vibrationskällan dels för att konstatera vilken eller vilka vibrationskällor som är av betydelse för den aktuella mätningen och dels för att få en uppfattning om hur vibrationsöverföringen från källan till omgivningen fungerar. Ofta är det en kombination av två eller fler vibrationskällor där samverkan av vibrationerna resulterar i att gränsvärden överskrids.

Kan vibrationskällans hastighet eller varvtal varieras bör hastighets- resp varvtalsberoendet kartläggas för att få kännedom om strukturens dynamiska egenskaper. I enkla fall kan en sådan mätning ligga till grund för val av lämpliga åtgärder för att minska vibrationer, t ex om en vibrationskälla vid ett visst driftfall orsakar resonanssvängning i en närliggande struktur. För att studera olika driftfall bör även andra variabla parametrar ändras, t ex belastningar.

Det förtjänar att understrykas vikten av att rapportera och dokumentera de driftbetingelser som var rådande vid måttillfället. Detta krav på dokumentering bör även anges i den aktuella normen då mätresultat från vibrationsmätningar är svårtolkade om de ej kan relateras till drifttillstånd hos vibrationskällan och till andra yttre betingelser som kan påverka mätningen.

5.3.3. Mät- och analysteknik

5.3.3.1 Montering av givare

Kopplingen mellan mätgivare och underlag är ett svårt problem som ofta förbises. Två delproblem kan urskiljas, dels att givaren belastar mätobjektet så att dess rörelse påverkas och dels att givaren rör sig relativt mätobjektet på grund av bristfällig montering. Mätssystemets övre gränsfrekvens blir i allmänhet bestämd av monteringsens egenskaper.

Vid mätning av stora fasta objekt, t ex byggnaders grundmurar, innebär belastningen orsakad av mätgivarens vikt i de flesta fall inget problem. Däremot krävs omsorg vid monteringen så att en tillräckligt styv förbindning erhålls. Förbindningens styvhet i relation till givarens massa bestämmer övre gränsen för det erhållna frekvensområdet. Lämning av givaren, direkt eller via en i strukturen införd pinnbult, med epoxylim eller t ex "Plastic Padding" kan rekommenderas. Man bör också försäkra sig om att den strukturdelen till vilken givaren fästs verkligen är i god förbindning med strukturen i sin helhet. Fasadmateriäl, puts, golvplattor och dylikt har ofta dålig kontakt med stommen och bör ej utnyttjas för givarfastsättning.

Ofta används varierande typer av konsoler, stödplattor eller monteringsblock, exempelvis för att enkelt medge montering av givare i tre olika riktningar. Härvid bör kontrolleras att konsolen ej påverkar vibrationsöverföringen eller förorsakar rotationssvängningar.

Dessa synpunkter gäller i princip också vid andra typer av vibrationsmätning.

Vid mätning i mark kan problem uppstå att erhålla en tillräckligt styv förbindning. Problemet kan lösas med s k impedansanpassning, som när givaren har dimensioner som är små i förhållande till förekommande våglängder, kan förenklas till att ge givaren samma effektiva densitet som den omgivande jorden. Då de flesta

givare har större densitet än jord kan detta åstadkommas genom att innesluta givaren i en stel och lätt kåpa så att medeldensiteten sänks. Konstruktionen bör i görligaste mån omslutas av jord som packas så att den ursprungliga densiteten bibehålls.

Mätning av de vibrationer som människan utsätts för genom mätning i gränsytan människa-underlag och på människan påverkas av samma svårigheter. Möjligheterna att kringgå problemen är dock mindre och normalt rekommenderas mätning även på det fasta underlaget, t ex bjälklag eller stolsits.

I ISO 5008 "Agricultural wheeled tractors and field machinery-measurement of whole-body vibration of the operator" specificeras en styv platta för montering av accelerometrar lämplig att användas vid mätningar på stolsitsar.

För ytterligare information angående montering och fastsättning av givare hänvisas till ISO/DIS 5348 "Mechanical mounting of accelerometers (seismic pickups)", där bl a resonanskurvor för olika monteringsalternativ på fasta strukturer visas, samt hur signalkabeln från givaren bör fästas för att ej orsaka störningar. Vid montering av givare måste också hänsyn tas till sådana miljöfaktorer som kräver elektrisk, mekanisk eller termisk isolering samt skydd mot fukt etc.

5.3.3.2 Vibrationskaraktär

Den enklaste formen av vibration är den enkla harmoniska rörelsen, ofta kallad sinusvibration.

Rörelsen är periodisk med perioden T , se fig. 5.3.3.2. Periodens inverterade värde benämns frekvens, f .

Av fig. 5.3.3.2 framgår även att den enkla omvandlingen mellan de olika rörelsestorheterna för sinusvibration, derivering respektive integrering är ekvivalenta med multiplikation respektive division med ω samt en fasvinkeländring med $\pi/2$.

Andra typer av vibrationer med mera komplicerad karaktär kan i allmänhet inte karakteriseras lika enkelt och med bara två parametrar. Vissa typer, t ex brusvibration, kan överhuvudtaget inte beskrivas fullständigt med ett ändligt antal parametrar. Man eftersträvar normalt en så enkel karakterisering som möjligt, dvs så få parametrar som möjligt med hänsyn till det aktuella problemet.

Det skulle föra alltför långt att i detalj gå igenom de olika typerna av vibrationer. Här görs en uppdelning och karakterisering av de begrepp som är av mest betydelse för den praktiskt arbetande teknikern.

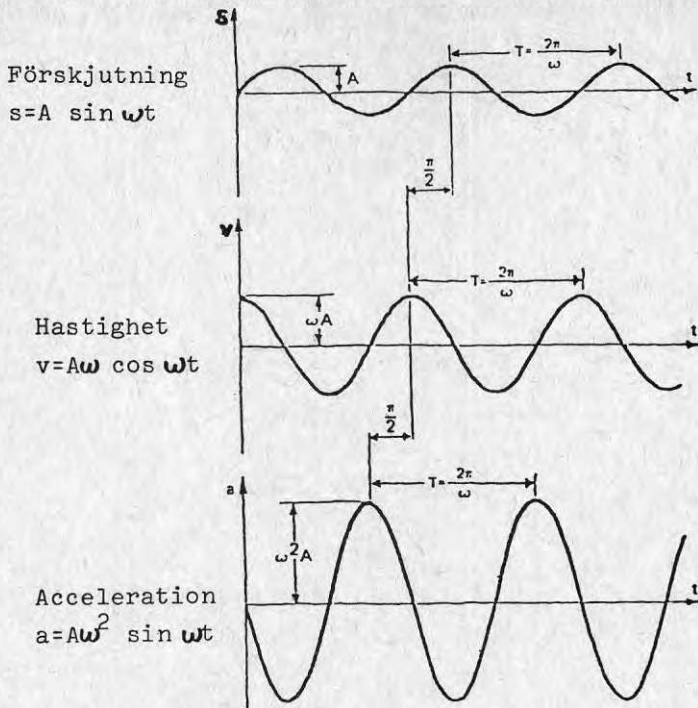
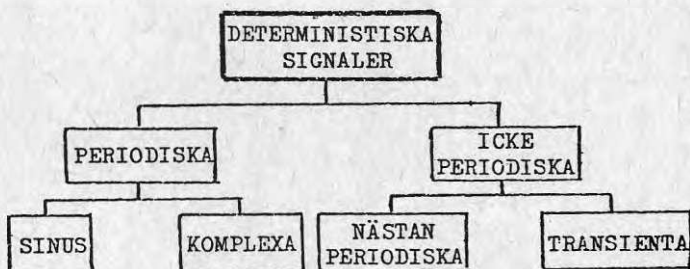
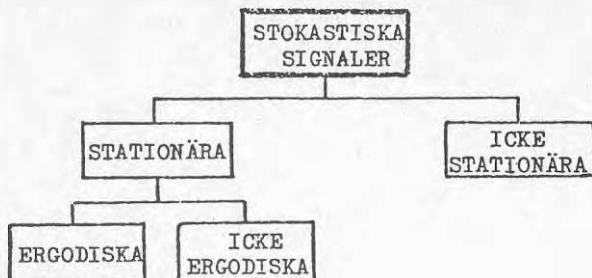


Fig. 5.3.3.2 Harmonisk svängning

A = rörelseamplitud
 T = period
 ω = vinkelfrekvens
 f = frekvens ($= \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$)

Mättsignaler kan karakteriseras i två kategorier, deterministiska resp stokastiska (icke deterministiska, brus). Med deterministiska signaler menar man sådana tidsförlopp som kan beskrivas med matematiska uttryck medan stokastiska signaler endast kan beskrivas med statistiska metoder. Inom dessa två kategorier kan signaler delas upp på följande sätt:





Deterministiska vibrationer och stötar

Med deterministisk menas att vibrationsrörelsen kan förutsägas genom att den kan beskrivas med någon matematisk funktion, t ex en sinusfunktion. I praktiken existerar i strikt mening inga deterministiska vibrationer men i många fall kan den matematiska funktionen vara en användbar approximation.

Periodiska vibrationer är den vanligaste arten av deterministiska vibrationer och kännetecknas av att förloppet åter upprepas med en period T . Sådana förlopp kan vanligen uppdelas i ett antal frekvenskomponenter, s k Fourierserie med frekvenserna $f_0 = 1/T$, $2 f_0$, $3 f_0$ De senare frekvenskomponenterna benämns ofta övertoner. Sinusvibration är ett specialfall där endast en frekvenskomponent, f_0 , förekommer.

Periodiska vibrationer erhålls från många typer av maskiner som har en periodisk arbetscykel, t ex olika slag av roterande maskiner såsom förbränningsmotorer, pumpar, kompressorer och fläktar men även sådana som mer har karaktären av fram- och återgående såsom ramsågar. Betongvibrater, vibrovältar för jordpackning och vibrohejare för pådrivning är andra exempel på källor till periodiska vibrationer.

Transienta vibrationer och stötar av deterministiskt slag förekommer heller aldrig i strikt mening. Många praktiskt förekommande vibrationer kan dock relativt väl approximeras med en exponentiellt avklingande sinusvibration. Exempel är byggnadsvibrationer när byggnaden exciterats av en kortvarig stöt från t ex påslagning eller av interna stötar.

Brusvibrationer (stokastiska vibrationer)

Deterministiska vibrationer kan beskrivas med matematiska uttryck som gör det möjligt att när man känner ett vibrationsförlopps förhistoria exakt förutsäga dess fortsättning.

Detta är ej möjligt för brusvibrationer, utan de kan endast beskrivas med statistiska metoder. Man säger att rörelsen är slumpartad även om den i många fall är styrd av kända naturlagar; det är oftast i stället

en mångfald av samverkande källor och/eller inflytelser som gör det praktiskt omöjligt att i detalj överblicka situationen.

De mest utnyttjade begreppen som utnyttjas för att beskriva brusvibrationer är effektivvärde (standardavvikelse), effekttäthetsspektrum, autokorrelationsfunktion och sannolikhetstäthetsfunktion.

Stationära brusvibrationer

Teorierna för brusvibrationer är relativt komplicerade och det skulle föra för långt att gå in på dem i detalj i all synnerhet som man i praktiken oftast arbetar med något annorlunda begrepp. När praktiskt arbetande tekniker talar om stationära brusvibrationer menar man vanligtvis vad som rätteligen bör kallas självstationära brusvibrationer. Med detta menas att man om man bestämmer de ovan nämnda parametrarna för en brusvibration under ett tillräckligt långt men ändligt tidsintervall får värden på parametrarna som är oberoende av den absoluta tidpunkten. Parametrarnas värden, t ex effektivvärde och spektrum, varierar således inte signifikant med tiden utan är konstant. Trafik och byggverksamhet ger relativt sällan upphov till stationära brusvibrationer men på något avstånd från en tätt trafikerad väg kan man erhålla något som har den karaktären.

Icke stationära brusvibrationer och stötar

Till denna grupp hör de brusvibrationer som ej är stationära, dvs har medelvärden, standardavvikelser osv som varierar signifikant i tiden. Variationerna kan vara långsamma eller snabba, i det senare fallet kallas förloppen transienter. Vad som ska kallas långsamt respektive snabbt måste givetvis relateras till de strukturer eller system som påverkas av vibrationen. Ett exempel på den förstnämnda typen av vibration kan vara de ovan nämnda vibrationerna från en tätt trafikerad väg när trafikintensiteten varierar med tiden på dygnet. Ett exempel på den senare typen kan vara vibrationer från en glest trafikerad väg där varje fordonspassage ger upphov till en transient vibration.

Trots att egentligen alla i praktiken förekommande vibrationer i strikt mening är icke-stationära brusvibrationer är teorierna för dessa tämligen dåligt utvecklade och behandlingen av t ex mätvärden från sådana vibrationer är svår.

Praktiska synpunkter på vibrationernas karaktär

Som ovan nämnts är i strikt mening i stort sett alla i praktiken förekommande vibrationer icke-stationära brusvibrationer. I många fall kan dock vibrationerna approximativt betraktas t ex som deterministiska periodiska. Det är det aktuella problemets art som får avgöra vilka approximationer som är tillåtna.

De avvikelser som ofta förekommer i approximativt deterministiska vibrationer är variationer i amplitud och frekvens samt överlagrade brusvibrationer. Stationära brusvibrationer är oftast endast "korttids-stationära", dvs stationära under en begränsad tid, ofta beroende på att vibrationskällans drifttillstånd varierar. I sådana fall är det i allmänhet mest fruktbart att betrakta vibrationerna vid varje drifttillstånd som var för sig stationära. De parametrar man bestämmer får då i allmänhet skilda värden för de olika drifttillstånden. T ex kan enbart nivån hos frekvensspektrum variera medan dess form kan vara oförändrad.

I normala fall används således begreppet deterministisk när den stokastiska variationen är så liten att den saknar praktisk betydelse.

Andra problemställningar i samband med vibrationsförloppets karaktär och som bör behandlas är exempelvis de mätfel som kan uppstå beroende på frekvensinnehåll utanför normens gränser.

5.3.3.3 Mätstorhet

En vibration kan karakteriseras genom hur läget för en kropp eller partikel varierar i tiden. Som alternativ till lägets variation, förskjutning, kan rörelsen beskrivas genom svängningshastigheten eller accelerationen. I dagligt tal benämns ofta förskjutningen amplitud, ett ordval som bör undvikas eftersom amplitud rätteligen är benämningen för en sinussvängnings maximala värde (= toppvärde), se vidare nedan.

De olika storheterna för beskrivning av rörelsen är var för sig tillräckliga, genom derivering och integrering med avseende på tiden kan en omvandling mellan de olika storheterna utföras.

I praktiken medför omvandling av t ex mätdata ofrånkomligen felkällor som emellertid inte nödvändigtvis är större än andra mätfel. En accelerometer med integrator kan t ex vara att föredra framför en geofon när givarens vikt är kritisk eller när geofonens tvärkänslighet är alltför stor.

Likspänningsdrift (nollpunktsförskjutning) kan ge upphov till stora fel vid integrering. Högfrequensbrus vid derivering är i allmänhet ett något mindre problem, men bör uppmärksammas. Vid användning av instrument med inbyggda integrerings- resp deriveringskretsar måste kontrolleras att dessa arbetar inom det önskade frekvensområdet.

De enkla omräkningsformler och nomogram som förekommer för omvandling av mätstorheter gäller endast för det sällsynta fallet rena sinusvibrationer, och kan således ej tillämpas generellt.

Med hänsyn till de omvandlingsproblem som föreligger, framstår den grundläggande principen vid val av mätgivare att om möjligt mäta med en givare som direkt ger den önskade mätstorheten.

5.3.3.4 Mätvärde

Det finns ett stort antal begrepp som utnyttjas för att beskriva vibrationers intensitet och variation i tiden. Olika begrepp används för deterministiska och brusvibrationer, stationära och transienta vibrationer osv. Här ska kort redovisas de vanligaste.

I många fall existerar flera olika uppsättningar av parametrar som ger en nöjaktig beskrivning av ett visst vibrationsförlopp. En viktig del i behandlingen av många vibrationsproblem är att finna de parametrar som är mest lämpade för det aktuella problemet. Ofta gäller det att finna en mot den aktuella vibrationen svarande ekvivalent sinusvibration för vilken inverkan på t ex byggnader eller människor är känd. Karakteriseringen kan göras i tidsdomänen eller i frekvensdomänen (frekvensspektrum), det senare kanske det vanligaste. Det förtjänar att påpekas att det förekommer många olika slag av spektrum med olika dimension på den beroende variabeln och som därför inte utan vidare kan jämföras.

Samtliga nedan nämnda funktioner kan bestämmas alternativt för förskjutning, svängningshastighet eller acceleration. För att göra resonemanget allmängiltigt utgår vi från ett godtyckligt mått på rörelsen, $x(t)$, som också förutsätts ha de egenskaper som krävs för att de redovisade matematiska uttrycken ska ha relevans. De vibrationsförlopp som förekommer i praktiken har normalt sådana egenskaper.

Effektivvärdet (ofta kallat rms-värdet) är den vanligast utnyttjade parametern och den är tillämpbar på såväl deterministiska som brusvibrationer.

För transienta signaler måste beaktas att värdet blir beroende av tidsintervallet.

Toppvärdet är vibrationens till beloppet största värde under ett tidsintervall. I vissa fall tar man hänsyn till tecknet och anger positiva och negativ toppvärden.

För sinusvibrationer är toppvärdet lika med amplituden A (fig. 5.3.3.2). Toppvärdet är med definitionen ovan ett relevant mått för alla slag av vibration, även brusvibration.

Medelvärdet är oftast i vibrationsmanhang definitionsmässigt $= 0$.

Standardavvikelsen är när medelvärdet är noll detsamma som effektivvärdet.

Frekvensspektrum är en generell term för funktioner som anger vibrationens intensitet som funktion av frekvensen.

Fourierspektrum är ett komplext funktionspar ur vilket man med hjälp av matematiska operationer (inverstransformering) kan återskapa det ursprungliga tidsförloppet. Funktionsparet kan vara belopp- och fasspektrum eller real- och imaginärspektrum. Spektra kan vara kontinuerliga eller ha linjekaraktär (fouriertransform resp fourierserie).

Effektthetsspektrum är ett spektrum av effekttheter där effekttheten för frekvensen f är effektivvärdet av den del av vibrationssignalen som passerar genom ett smalt bandpassfilter med mittfrekvensen f . I definitionen låter man filtrets bandbredd gå mot noll men i praktiken kan man nöja sig med filter som är så smala att den sanna effekttheten är approximativt konstant inom filtrets bandbredd. Effektthetsspektrum används för brusvibrationer.

För transienter kan istället energitäthetsspektrum mätas. En transient har till skillnad från en stationär signal ändlig energi men istället en medeleffekt som går mot noll i samma mån som mättiden tilltar.

1/3-oktavbandsspektrum, oktavbandsspektrum, allmänt x-bandsspektrum

Sådana spektrum förekommer av många olika slag men skiljer sig normalt bara åt genom olika bandbredder. De bestäms genom att man låter vibrationssignalen passera filtret/-n och bestämmer effektivvärdet av den signal som erhålls på filtrets utgång.

Responsspektrum = stötspektrum är ett uttryck för de maximala rörelserna (förskjutning, hastighet eller acceleration) hos ett antal linjära mekaniska system (massafjädersystem) när de påförs den givna rörelsen, som en funktion av deras egenfrekvenser. Första ordningens responsspektrum är det spektrum som erhålls när det mekaniska systemet är av första ordningen (en frihetsgrad, massa + fjäder). I de flesta fall avses med responsspektrum när ej annat anges ett första ordningens responsspektrum. Responsspektrum är en utbredd metod för karakterisering av stötförlopp.

Definition av parametrar för olika mätvärden

För en signal $x(t)$ som t ex kan representera vibrationshastighet, acceleration eller förskjutning gäller följande definitioner:

Effektivvärdet, x_{eff} , definieras

$$x_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{\int_{t_1}^{t_2} x^2 dt}{t_2 - t_1}}$$

Toppvärdet, \hat{x} , är vibrationens till beloppet största värde under ett tidsintervall. I vissa fall tar man hänsyn till tecknet och anger positiva och negativa toppvärden.

Medelvärdet, \bar{x} , över tidsintervallet t_1 till t_2 definieras

$$\bar{x} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} x dt}{t_2 - t_1}$$

Medelvärdet är ofta i vibrationssammanhang definitions-
mässigt = 0.

Standardavvikelsen, oftast betecknad σ , för tidsinter-
vallet t_1 till t_2 definieras:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\int_{t_1}^{t_2} (x - \bar{x})^2 dt}{t_2 - t_1}}$$

Om medelvärdet $\bar{x} = 0$ erhålls:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\int_{t_1}^{t_2} x^2 dt}{t_2 - t_1}}$$

I det senare fallet är standardavvikelsen lika med
effektivvärdet.

Likriktat medelvärde, $|\bar{x}|$, över tidsintervallet t_1
till t_2 definieras:

$$|\bar{x}| = \frac{\int_{t_1}^{t_2} |x| dt}{t_2 - t_1}$$

Effekttäthetsspektrum, $G(f)$, definierat av:

$$G(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \lim_{B \rightarrow 0} \frac{1}{B T} \int_0^T x^2(f, t, B) dt$$

där $G(f)$ är effekttätheten vid frekvensen f ,

B = analysbandbredden i Hz

T = analystiden i s

$x(f, t, B)$ är den del av signalen $x(t)$ som passerar bandpassfiltret med mittfrekvensen f och bandbredden B .

För att mäta detta gör man en frekvensanalys av signalen och helst med en analysator med konstant absolut bandbredd. Under förutsättning att bandbredden är liten kan man visa att följande gäller:

$$G(f) = \frac{x_{\text{rms}}^2(f, B)}{B}$$

där x_{rms} är det uppmätta sanna effektivvärdet

(f, B) betyder att signalen är filtrerad omkring frekvensen f med bandbredden B .

För att bestämma exempelvis accelerationstätheten behöver man således bara kvadrera det uppmätta effektivvärdet av accelerationen (g) och dividera detta med den använda bandbredden (Hz) varvid resultatet erhålles i g^2/Hz .

Energitäthetsspektrum

$$G(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \lim_{B \rightarrow 0} \frac{1}{B} \int_0^T x^2(f, t, B) dt$$

Fouriertransform

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i\omega t} dt$$

5.3.3.5 Vibrationsriktningar

Problemställningar som bör behandlas kan vara:

Vibrationskällan och/eller mätobjektet flyttar sig under mätningen.

Koordinatsystemet som definierar mätriktningarna vrids eller roterar under mättiden.

5.3.3.6 Kalibrering och kontroll av mätsystemet

Beskrivning av enkla kalibreringsrutiner för praktiskt bruk att tillämpas mellan normerade kalibreringar.

Inom ISO/TC 108/SC 3 har utarbetats en standard "Metoder för kalibrering av vibrations- och stötgivare". Metoderna är närmast avsedda för kalibrering av normaler och referensgivare av piezoelektrisk typ.

Vid mätning av fysikaliska storheter får man ej förbigå förhållandet, att tolkningen av mätinstrumentens information ej kan göras säkrare än vad kalibreringen anger. Att återkommande kalibreringar måste utföras och felkalkyler genomföras är ofta förbisedda fakta. Vid kalibreringen räcker det dock ej att bara variera mätstorheten och registrera svaret. I kalibreringen ingår även att fastlägga den omgivande miljöns inverkan på mätförloppet och på mätutrustningen och korrigera för densamma.

Exempel bör ges på metoder för fältkalibrering som kan utföras vid varje mätning (funktionskontroll) samt metoder för periodiskt återkommande kalibreringar.

För att kunna komplettera ett mätvärde med uppgift om mätnoggrannhet bör beskrivas lämplig metod för mätnoggrannhetsanalys.

I Appendix C redovisas en förenklad mätnoggrannhetsanalys utarbetad av Sven Eskilsson, Saab-Scania, Linköping.

5.3.4 Dokumentering

Då det är av stor betydelse att alla omständigheter rörande mätningen nog dokumenteras bör krav på dokumentation definieras i normen.

De uppgifter som därvid bör uppmärksammas är:

- Beskrivning av mätpunkten och den struktur som den aktuella mätningen har för avsikt att kontrollera.
- Givarmontage med beskrivning av eventuella monteringshjälpmedel.
- Driftsbetingelser hos vibrationskällan.
- Beskrivning av den använda mät- och analysutrustningen med mätnoggrannhetsanalys.
- Kalibreringsmetod

Vid mätningar avseende vibrationers inverkan på människan måste de biokemiska tillstånden noggrant beskrivas.

Exempel på parametrar som behandlas kan vara:

- Arbetsställning med redogörelse för olika förekommande arbetsmoment.
- Viktfördelning
- Greppkraft vid mätningar på handhållna maskiner
- Matningskraft

Viktfördelningen kan vara av intresse om vibrationen överförs via ett flertal stödjande ytor, t ex hos en sittande person som vid olika tillfällen fördelar kroppsvikten till fötterna.

5.3.5 Övriga punkter som bör behandlas

Givare

Val av mätgivare - med hänsyn till:

- Önskad mätstorhet
- Frekvensområde
- Mätområde
- Mätriktningar
- Mätobjektets massa och styvhet
- Monteringsalternativ
- Temperatur
- Fukt
- Andra krav på miljötålighet

Signalbehandling

- Olika typer av signalförstärkare
- Filter, hög-, låg- och bandpass
- Vägningsfilter för frekvens- och tidsvängning
- Integrerings- och deriveringsnät
- Frekvensanalyssystem
- Responsanalyssystem

Registreringsutrustning och datapresentation

- Nivåindikator
- Olika typer av skrivare
- Oscilloskop
- Databandspelare
- Digitala minnen

6. SLUTSATSER OCH SYNPKUNKTER PÅ FRAMTIDA UTVECK- LINGSRARBETEN

Projektarbetet har bl a resulterat i en mätanvisning för SS ISO 2631. Tillgängliga resurser har inte gjort det möjligt att föra den till ett färdigt normförslag. Vi föreslår därför en fortsättning av projektet som skulle omfatta vidarebearbetning av mätvägledningen för SS ISO 2631 med syfte att göra den till svensk och om möjligt även till ISO standard.

Arbetet skulle innefatta remissförfarande samt vissa kompletteringar av innehållet i den nuvarande versionen med mätprotokoll, checklista och anvisning för feluppskattning.

Sedan dokumentet blivit färdigställt skulle en engelsk översättning utföras som skall kunna presenteras som svenskt normförslag till ISO.

Projektarbetet har också uppdagat vissa kunskapsluckor. Nedan angivna punkter rör sådana frågor som den praktiskt arbetande mätteknikern skulle ha stor nytta av att få utreda. Resultaten av sådana studier skulle också kunna utgöra delunderlag för ISO-normer.

- Mätvägledning för ISO 5349 (hand - armvibrationer) när denna standard färdigställts.
- Praktiskt inriktad studie av mätpunktspacering i byggnader (hur stora resonansförstärkningar erhålls i praktiken?).
- Praktiskt inriktad studie av givarfastsättning i byggnader (metoder för grundmurar, mjuka mattor etc) och eventuellt även på mark.
- Hur skall mätning och analys lämpligast utföras för vibrationer av olika karaktär, speciellt för transienter. Teoretisk och praktisk studie.
- Enkla fältkalibreringsmetoder

APPENDIX A

SAMMANFATTNING AV NITRO CONSULTS
MÄTANVISNINGAR

Sammanfattning av Nitro Consults mätanvisningar
avseende utförande av mätning av vibrationer
från trafik, pålning etc.

Innehållsförteckning

- A.0. Förord
- A.1. Kontroll av vibrationsförekomst
- A.2. Böjpåkänningar
- A.3. Utbredningshastighet, frekvens, våglängd
- A.4. Gränsvärden
- A.5. Mätpunkternas placering
- A.6. Montering av givare
- A.7. Kortfattat om mätutrustning

A.0 FÖRORD

Den här sammanfattningen avser att behandla mättekniken avseende små vibrationsnivåer, men där det stora antalet upprepningar ändå gör att de måste beaktas. Detta innebär också att människans störningsgrad spelar en stor roll vid bedömningen av dessa vibrationer.

Det är givet att det mesta som finns beskrivet i den första rapporten "Sammanfattning av Nitro Consults mätanvisningar ..." 1980-11-26 också är tillämpligt i det här fallet, varför det har blivit en del upprepningar.

A.1. Kontroll av vibrationens förekomst

Avsikten med en sådan mätning är att i en given anläggning konstatera vibrationsnivån samt hur ofta störningarna uppträder. För både människa och byggnad gäller att man brukar använda vibrationernas svängningshastighet för att beskriva vibrationsnivån. Instrumentet som användes skall således visa vibrationens maximala svängningshastighet samt tidpunkten för händelsen.

Avser mätningen kontroll av byggnad skall den utföras på nedre delen av stommen. Partikelhastigheten skall mätas i vertikal riktning. Mätningen bör också utföras på den sockel eller källarvägg som ligger närmast störkällan.

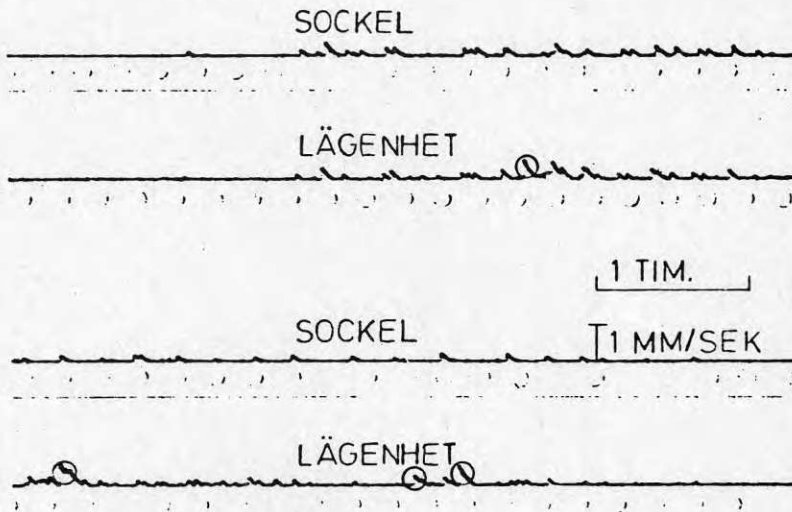
Vid ojämna grundförhållanden bör mätpunkten placeras där man har den sämsta undergrunden och största mäktigheten.

Gäller mätningen störningar för boende i fastigheten skall mätpunkten placeras så nära mitten på golvet som möjligt i det rum där man säger sig vara mest störd. Finns inga speciella krav på mätobjekt bör man välja ett stort rum högt upp i fastigheten. Man bör också kontrollera att golvet kan svänga fritt, dvs att det inte finns några väggar i underliggande våningsplan som styvar upp golvet.

En möjlighet vid den här typen av mätningar är att man använder ett mångkanaligt snabbregistrerande instrument. Fördelarna är då att man vet varifrån störningen kommer, man kan skilja på olika störningskällor, ha fler mätpunkter - bättre kontroll - samt

se vibrationsförloppet. Nackdelen är att man missar den där stora vibrationen "som var igår", då man av kostnadsskäl bara kan mäta under någon dag. Om man av detta skäl måste välja mellan någon av dessa metoder bör man ändå välja den med flera kanaler då en sådan mätning ger så mycket mer information.

Det är ofta mycket svårt att veta om registrerade toppar verkligen härrör från störkällan eller om de kommer från folk som går i lägenheten eller angränsande lägenhet eller någon annan verksamhet. Detta kan man enklast avgöra genom att samtidigt dessutom mäta inkommande vibrationer i sockeln. Kan man även mäta på marken nära körbanan t.ex. är det ändå bättre. Detta är av stor vikt då vibrationerna från steg ofta är mycket större än de från trafiken och således kan förrycka hela mätresultatet, se figur 1 nedan.



Figur 1 : Exempel på betydelsen av att mätning utförs både på sockel och i lägenhet samtidigt. Ovidkommande störningar markerade med 0.

A.2. Böjpåkänningar

Det är den här typen av påkänningar som förmodligen är dominerande i samband med pålnings- och trafikvibrationer. Den kan dock bara uppstå för låga konstruktioner. Böjpåkänningar uppstår när fastigheten är grundlagd på lösare jordarter som lera och sand där ytvågens utbredningshastighet är låg och våglängden är av samma storleksordning som byggnadens längd.

Om man antar att ytvågen liknar en sinusfunktion kan minsta krökningsradien för en vågtopp tecknas

$$R_{\min} = \frac{c^2}{A \cdot \omega^2} = \frac{\lambda^2}{A \cdot 4\pi^2} \quad (1)$$

där c = vågtoppens fasutbredningshastighet

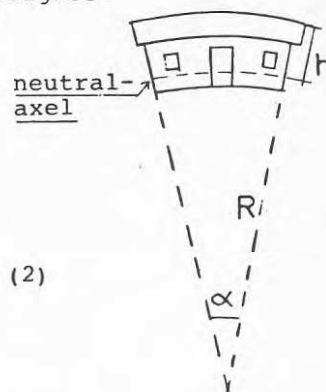
A = förflyttningsamplitud

ω = vinkelfrekvens

λ = våglängd

Den relativa töjningen ϵ ges av

$$\epsilon = \frac{(R+h)\alpha - R \cdot \alpha}{R \cdot \alpha} = \frac{h}{R} \quad (2)$$

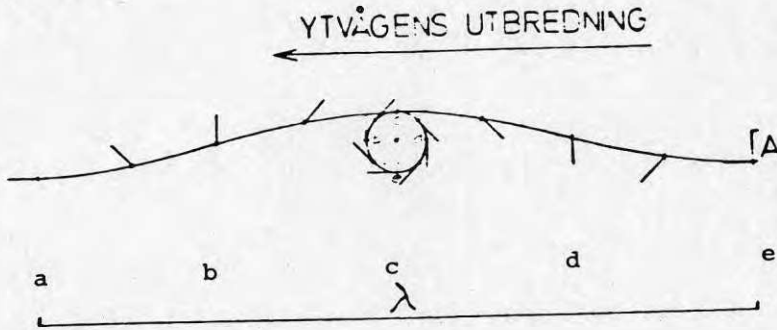


$$(1)+(2) \text{ ger } \epsilon_{\max} = \frac{h}{R} = \frac{h \cdot A \cdot \omega^2}{c^2} = \frac{h \cdot \dot{v}_{\max}}{c^2} = \frac{h \cdot A \cdot 4\pi^2}{\lambda^2} \quad (3)$$

Av (3) framgår att böjpåkänningen är proportionell mot rörelsens förflyttningsamplitud och byggnadens reducerade höjd och omvänt proportionell mot (våglängden)².

Nitro Consult AB

Till den härledda böjpkänningen kommer de drag- och skjuvpåkänningar att adderas som uppkommer på grund av partikelrörelsen hos ytvågen.



Figur 3. Figuren visar en period av ytvågen. Den har längden λ och förflyttningsamplituden A. Figuren visar också hur en enstaka partikel rör sig under denna period. Vi har antagit att det sker i form av en cirkel medan den i verkligheten är mer ellipsformad. Vi visar också hastighetsvektorerna för de olika faserna.

Har vågen amplituden A blir avståndet $b-d = \frac{\lambda}{2} + 2A$ och vi får alltså en töjning i samband med vågtoppens passage. Ett hus som befinner sig på en vågtopp dras således ut av partikelrörelsen i kontaktytan, en sträcka som motsvarar (jfr teori-delen; harmoniska vågor)

$$\epsilon_{\text{drag}} = \frac{2\pi \cdot A_H}{\lambda} = \frac{v_{\text{hor}}}{c_R} \quad (4)$$

där A_H = ytvågens horisontella förflyttningsamplitud

v_{hor} = " " svängingshastighet

λ = våglängden

c_R = ytvågens fashastighet

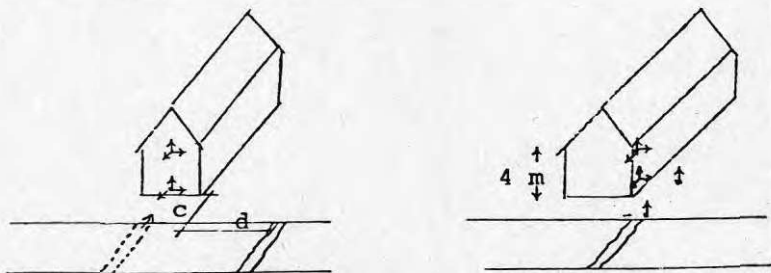
$$(3) (4) \text{ ger } \epsilon_{\text{resulterande}} = \frac{h \cdot A_V \cdot 4\pi^2}{\lambda^2} + \frac{2\pi \cdot A_H}{\lambda} \quad (5)$$

Nitro Consult AB

Arbetar byggnaden som en enhet med underliggande mark (vilket är förutsett) kommer $\epsilon_{\text{böj}}$ att adderas med ϵ_{drag} och mätpunkten för att bestämma ϵ_{drag} måste placeras uppe i byggnaden rakt ovanför den andra om nivån på neutralaxeln är $< \frac{h}{2}$. Det kan mättekniskt vara lockande att mäta maximala accelerationen för ytvågen samt dess utbredningshastighet (jfr (3)), men eftersom både P- och S-vågorna är mer högfrekventa än R-vågen kommer dessa vågor med stor sannolikhet att ge större accelerationsnivåer än R-vågen. Det krävs därför ett analogregistrerande instrument för vågtypsidentifikation samt en möjlighet att filtrera bort P- och S-vågorna innan accelerationsnivån bestäms.

A.2.1 Exempel

Antag att man mätt vibrationer på sockeln och fasaden till en fastighet vid en väg enligt figur 4 a nedan.



Figur 4 a

4 b

Är det en grop i körbanan mitt för fastigheten, utbreder sig de största vibrationerna i pilens riktning. De utförda vibrationsmätningarna kan då bara användas till att beräkna vilka dragpåkänningar som uppstått i gaveln på grund av ytvågens vertikala komponent. Den horisontella komponenten mot vägen ger p g a membran effekt ofta för stora värden. För att känna ytvågens böjpkänningar måste därför mätningen utföras enligt figur 4 b. Om däremot groppen ligger framför fastigheten så att $d > c$ ska man mäta enligt figur 4 a.

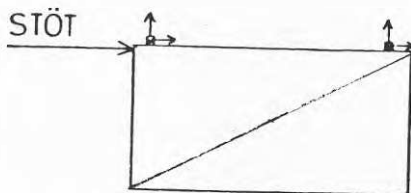
A.3. Mätning av utbredningshastighet, frekvens
och våglängd-----

Som framgått av föregående avsnitt måste man, för att kunna beräkna påkänningar, känna vibrationernas dominerande vågtyp och motsvarande utbredningshastighet och våglängd förutom vibrationsnivån.

Man måste då tänka på att det på olika avstånd från vägen kan vara olika vågtyper som ger högsta vibrationsnivå. Dispersion hos ytvägen kan också ge upphov till variationer. Det är därför viktigt att utbredningshastigheten mäts för den vågtyp och på det avstånd och plats där man skall utnyttja denna information.

Behövs uppgiften för skaderisikalanlys för något byggnadsmaterial finns det visserligen ofta tabellvärden på P-vågshastigheten eller på E-modul och densitet. Dessa direkta eller framräknade värden kan dock bara betraktas som riktvärden då ålder och kvalitet på byggnadsmaterialet kan ge betydande variationer.

Det bästa är därför att göra en direkt mätning på fastighetens stomme enligt figur 5 nedan.



Figur 5 : Uppmätning av P-vågshastighet i en fasad m h a en horisontell stöt i nivå med mät-punkterna. Analys av horisontella komponenten i utbredningsriktningen.

Nitro Consult AB

Man måste veta en vibrations dominerande frekvens om man ska kunna uttala sig om risken för resonansfenomen i byggnader t ex. Men lika vanligt är det att man behöver känna frekvensen för att kunna beräkna våglängden λ ur sambandet:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{där } c = \text{utbredningshastighet}$$

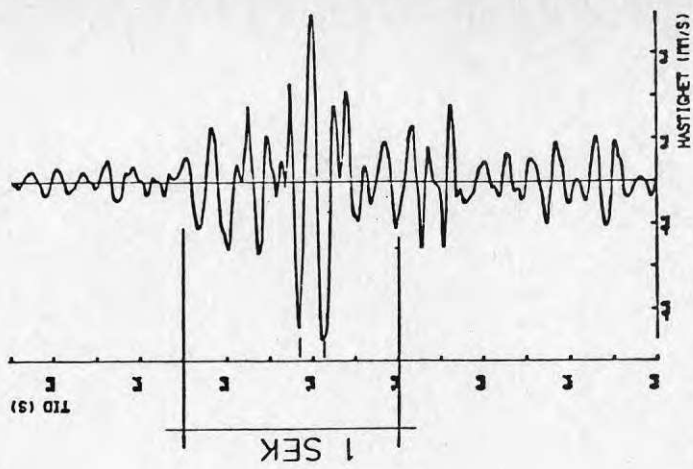
$$f = \text{frekvens}$$

$$\lambda = \text{våglängd}$$

Detta kan utföras på en hastighetsregistrering på ytvågor några 10-tal meter från störningskällan eller uppe i en byggnad där dessa har hunnit bli sinusformade. Frekvensen kan då ofta erhållas ur den analoga signalen genom att man t ex räknar halva antalet tillfällen kurvan skär 0-linjen under 1 sekund.

Utför man detta på en registrering av vibrationernas svängningshastighet närmare störningskällan kommer man sannolikt att övervärdera högre frekvenser eftersom $V = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot A$ och våglängden ska relateras till markens förflyttningsrörelser. Antingen man mäter perioden mellan de två dominerande topparna i figur 6 eller halva antalet 0-nivågenomgångar erhåller man dominerande frekvensen vid 8-9 Hz. Genom den utförda frekvensanalysen (diskuteras i ett senare avsnitt) ser vi att det i verkligheten förekommer tre st dominerande toppar 6.5, 9.0 och 11 Hz i svängningshastighetsspektrum. Dessa toppar kommer också att finnas i förflyttningsspektrumet men där kommer toppen vid 6.5 Hz att dominera. Den spektrala förflyttningssamplituden A_i kan nämligen beräknas om man dividerar varje frekvenspunkt i hastighetsspektrumet med motsvarande frekvens, dvs $A_i = \frac{V_i}{f_i}$.

Vid beräkning av våglängden kan man således antingen sätta $f = 6.5$ Hz eller ännu bättre integrera hastighetskurvan och räkna 0-genomgångar för den analoga förflyttningskurvan.



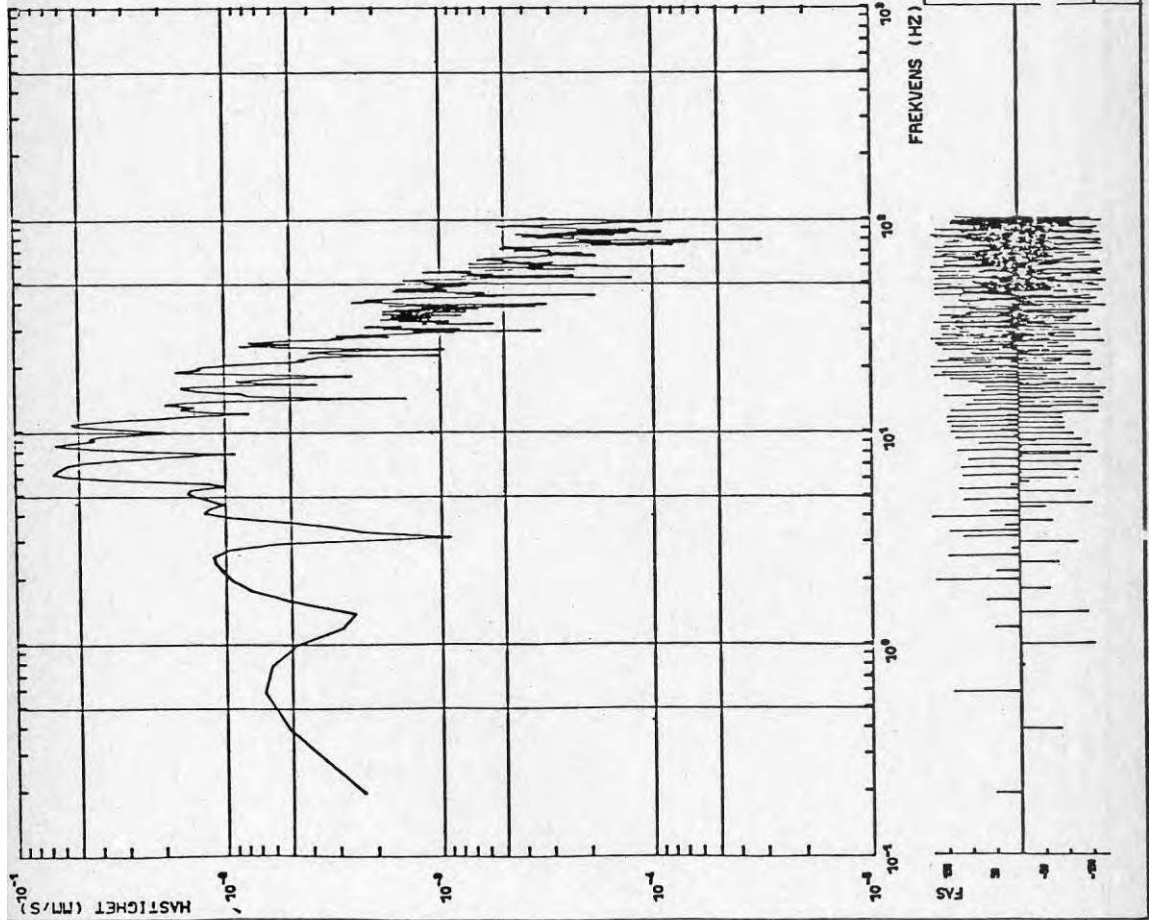
FOURIERTRANSFORMATION BERÄKNAD MED PROGRAM BIFFT

MSD 147 HASTIGHET (M/S) 81/88

Appendix A
s. 12

TRAFIKVIBRATIONER
ÖVERFYLLD SCHAKT

MSD 177 P08 SKALA 1:1
81/78 HASTIGHET (M/S)



Figur 6 : Exempel på hur tre frekvenskomponenter adderas.

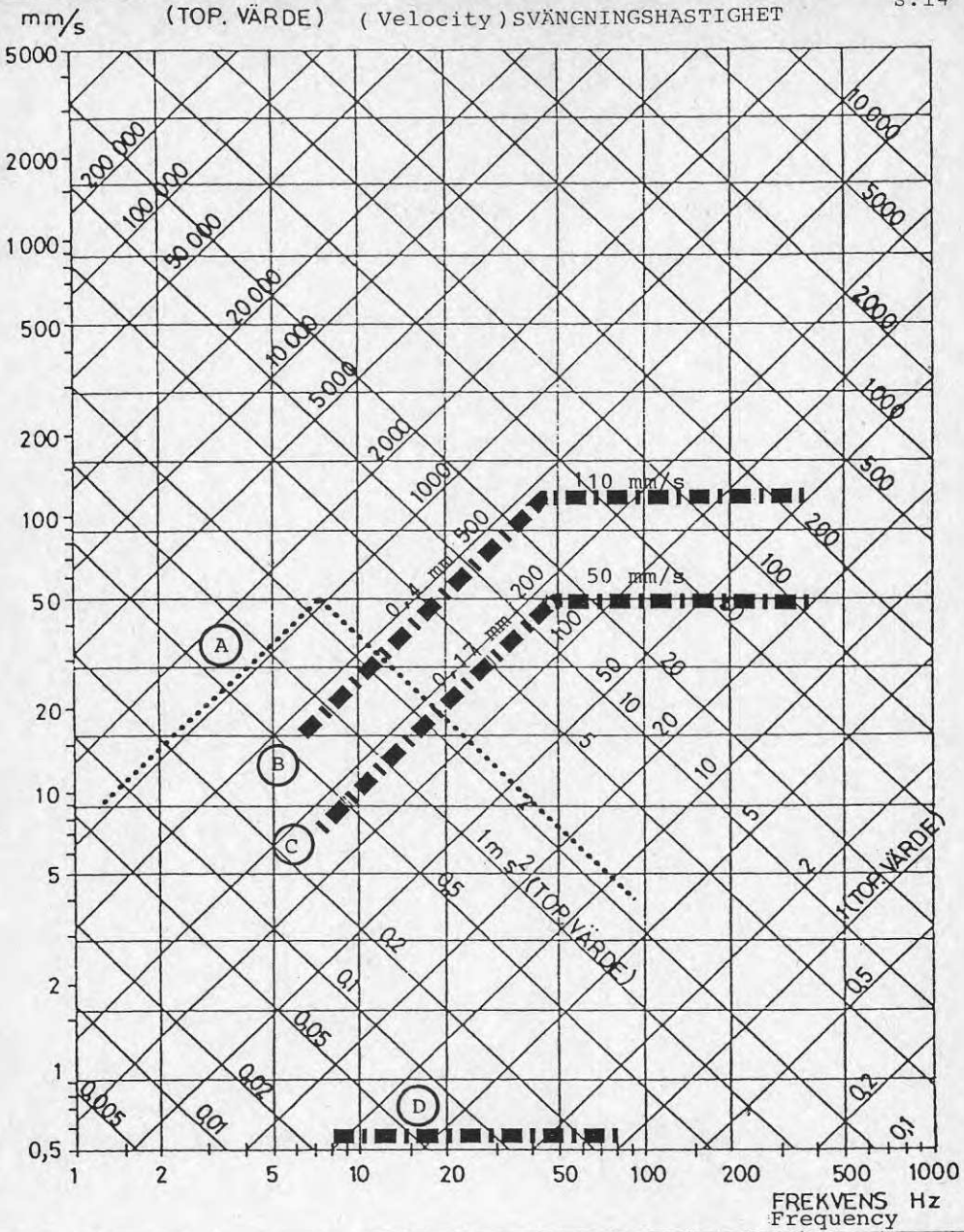
UPPÅLL
1979-11-14

A.4. Gränsvärden

MM/SEK	
150	Armerade betongkonstruktioner på hårt berg (Langefors-Kihlström)
110	Normal bostadsbebyggelse på hårt berg (forskningsvärde " <u> </u> ") (Se också fig 7 sid 14)
50	Normal bostadsbebyggelse på medelhårt berg. Upprepad sprängning Max.värde för sprängning inom Stockholms stad (Se också fig 7 sid 14)
20	Normal bostadsbebyggelse på mjuka jordarter och sand. Upprepad sprängning
10	Vissa byggnader i lättbetong. Upprepad sprängning
5	Byggnader på stöd- eller friktionspålar. Trafik
3	Byggnader på kohesionspålar. Trafik
2	Nybyggda byggnader och/eller grundläggning på sula. Trafik
1	Speciellt känsliga eller byggnader av särskilt kulturvärde. Trafik

De i ovanstående tabell angivna gränsvärdena på tillåtna vibrationsnivåer grundar sig på mätningar utförda på fastigheternas socklar av vibrationens vertikala komponent. För att man ska kunna utnyttja tabellen måste därför de övervakande mätningarna också utföras på samma sätt. Förekommer olika vibrationskänsligt stommaterial ska en andra mätpunkt placeras på den del av byggnaden som är dimensionerande för gränsvärdet.

Förslag till frekvensrelaterade gränsvärdena visas på sid 14 i fig 7. Förslaget avser sprängning i tätort.



Nitro Consult AB

BOX 32058, 126 11 STOCKHOLM / ATG
TEL. 08-744 25 20

Datum 1981-01-14

CB

Ch Kihlström B, Lande G

Underground blasting in a city

Vibration limit values as a function of frequency.

- A - IBM Computers (memory unit)
- B - Not noticeable cracking (Kihlström - Lande)
- C - Safe limit for normal buildings (Kihlström, Lande. Sthlm Police Authorities)
- D - Vibration level perceptible by a human being.

Fig 7

A.5. Mätpunkternas placering

Huvudprincipen är den att vibrationerna ska mätas där de inkommer i det störda objektet, vilket delvis redan redovisats i tidigare avsnitt.

Vid övervakning av datorer, reläer eller andra vibrationskänsliga installationer ska mätningen utföras på så sätt att man kontrollerar den inkommande vibrationen. Mätpunkten skall således placeras på eller vid fundament eller ramkonstruktion. Beroende på typ av installation mäts sedan förflyttning, hastighet eller acceleration.

Avser mätningen att fastställa störningsgrad hos människan ska man mäta vibrationens svängningshastighet i vertikal riktning. Mätpunkten ska placeras mitt på golvet. Den bör kompletteras med ytterligare en mätpunkt nertill i fastighetens stomme om det är en yttre störningskälla man ska kontrollera.

Vid mätningar som kräver noggrannare analys av vibrationsförloppet ska 3-komponentsmätning utföras för inkommande vibrationer. Dessutom ska utbredningshastighet för dominerande vågtyp kunna bestämmas, vilket kräver att två mätpunkter ligger på linjen mellan objekt och störkälla.

Nitro Consult AB

A.6. Montering_av_givare

Vid mätning på mark är det viktigt att givaren verkligen registrerar vibrationer i det övre elastiska lagret där vågorna går fram. Finns det ett löst humusskikt överst bör detta avlägsnas eller också får man använda spett på ca 5 dm för att rätt kontakt ska erhållas.

För att undvika störningar från vind kan det vara lämpligt att gräva ner givaren. Vid mätning av vibrationer längre ner i marken får man använda en speciell sond som trycks ner i marken. Den kan normalt bara användas i lera och löst lagrad sand, men kan med hjälp av förborrning även användas i hårdare material.

När givaren ska fästas på byggnadsstommen rekommenderas expanderbult men även gipsförband fungerar tillfredställande och kan också vara att föredra vid mätning på lättbetongelement där en expander kan ha svårt att fästa.

Under speciella omständigheter kan det också vara lämpligt att använda plastic padding eller magnetfot. Vid mätning inomhus på horisontella ytor är t ex ett montage med expanderbult i parkettgolvet ogenomförbart. I det fallet kan istället rekommenderas dubbelhäftande tejp som kan användas på alla hårda ytor i det aktuella frekvensområdet och för accelerationer understigande 0.1 g.

Nitro Consult AB

Ska man mäta på heltäckande mattor måste givaren belastas kraftigt för att inte mattan ska fungera som dämpare. Problemet blir mindre om man använder en givare med trepunktsfot med liten kontaktyta. Man bör ändå göra jämförande mätningar med olika belastningsgrad på givaren för kontroll.

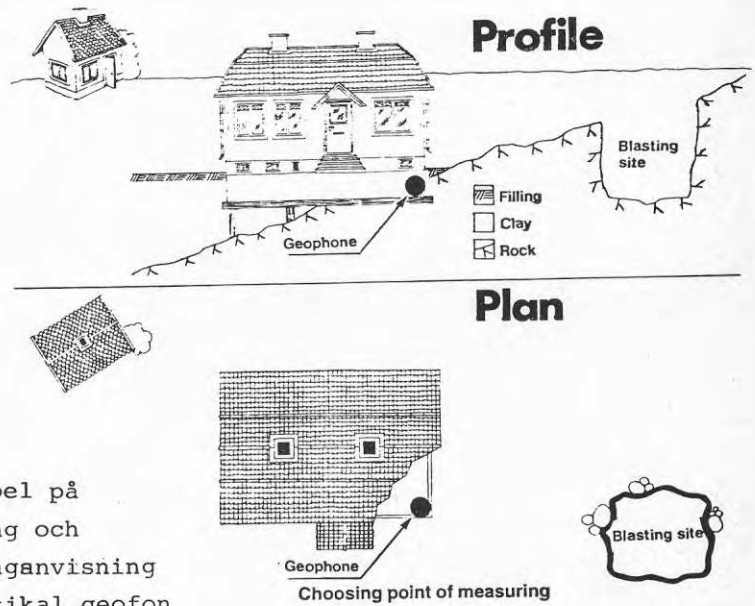
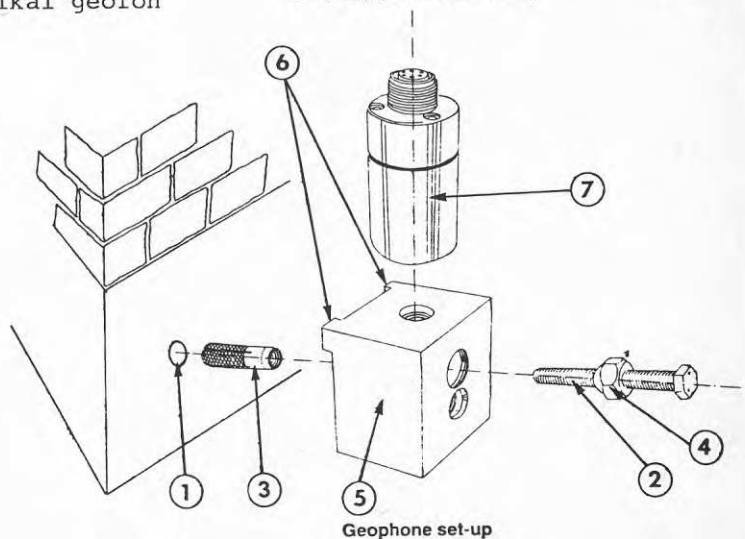


Fig 8. Exempel på placering och monteringsanvisning för vertikal geofon



A.7. Mätutrustning

Vid alla typer av mätningar bör man eftersträva att direkt mäta den sökta vibrationsparametern. Registrering ska sedan utföras på enklast möjliga sätt med hänsyn tagen till den information mätningen ska ge.

Man måste alltid förvissa sig om att vibrationernas frekvensinnehåll väl ligger inom mätutrustningens frekvensområde.

Eftersom det i allmänhet är vibrationernas svängningshastighet som söks ska man använda hastighetsgivare, geofoner. I de flesta fall kan geofoner med egenfrekvenser 4.5 Hz användas. Vid mätning av trafikvibrationer eller andra förlopp där man kan vänta sig låga frekvenser bör geofoner med egenfrekvensen 2.0 Hz användas.

I vissa fall där sprängning pågår under längre tid inom samma område, t ex stenbrott, kan man på större avstånd från vibrationskällan, där vibrationernas frekvensinnehåll är begränsat och känt, i övervakningssyfte även använda amplitudmätande instrument typ combigraf och ampligraf. Högkänsliga accelerometrar tillsammans med integrerande laddningsförstärkare kan användas för mätning av svängningshastighet från 1 Hz och kan därför ibland vara att föredra. Vid långtidsregistrering krävs dock tillgång till 220 V.

APPENDIX B

KOMMENTARER TILL TABELL 4.1

KOMMENTARER TILL TABELL 4.1 "Sammanfattning av bedömning av ett antal vibrationsnormer ur mätsynpunkt."

B.1 SS ISO 2631

B.1.1 I den svenska översättningen har ett förtydligande gjorts, där det påpekas att normen ej bör tillämpas vid kortvariga icke stationära vibrationer och stötar som orsakas av sprängning. Det kvarstår emellertid en del oklarheter som kräver definition, exempelvis vad som avses med begreppet "kontinuerliga vibrationer av stötkaraktär" samt på vilket sätt gränsvärdeskurvorna tar hänsyn till mätonoggrannheten.

B.1.2 En utförligare beskrivning av hur normen skall tillämpas vid fluktuerande och intermittenta vibrationer erfordras. Det kan t ex vara den typ av vibrationer som uppstår i olika slag av terränggående fordon.

B.1.3 Den tidskonstant (integrationstid) under vilken effektivvärdet skall mätas är ej specificerad.

Uppgift om tidskonstanten är en parameter som är väsentlig oavsett mätningen avser att fastställa effektivvärdet av en signal med en diskret frekvens eller en tersbandsanalys av en brussignal. Även vid mätningar med vägningsfilter, där signalen sammanvägs över hela frekvensområdet till ett mätvärde, måste en tidskonstant anges.

B.1.4 För att kunna utnyttja lämplig mät- och analysmetodik med hänsyn till vibrationsförloppets karaktär, fordras en mer detaljerad karakterisering av olika förekommande vibrationsförlopp med anvisning hur resp vibrationstyp skall behandlas.

B.1.5 I normen bör krav ställas på analysavsnittets längd för att analysen skall vara representativ.

B.1.6 Här sägs endast att "uppgifter lämnas om kalibrering och kalibreringsmetoder samt om noggrannhet vid effektivvärdesmätning, frekvensvägning, bandupptagning m m". I stället borde normen ställa krav på kalibrering och godtagbar noggrannhet.

B.1.7 Ytterligare krav på dokumentation bör ställas. De dokumentationskrav som finns är för allmänt formulerade. Det är exempelvis omständigheter rörande driftbetingelser, mätpunktplacering, givarmontering m m. De biomekaniska tillstånden måste också beskrivas, t ex kroppställning och viktfordelning.

B.2 DIN 4150, del 2 och 3

- B.2.1 Mätningen görs på bjälklag där vibrationsnivån är högst.
- B.2.2 Skillnad görs på sinusformade och övriga svängningar. För sinusformade kan även effektivvärde mätas.
- B.2.3 Den till toppvärdet hörande frekvensen skall bestämmas. Hur detta skall göras vid t ex transienter eller brus anges ej.
- B.2.4 Riktningen med den högsta vibrationsnivån är dimensionerande, samverkan av olika vibrationsriktningar förutsätts ej förekomma.
- B.2.5 Mättiden skall innefatta typiskt vibrations-tillstånd.
- B.2.6 Detaljerad beskrivning. Utförandet beroende på vibrationskaraktär. För stationära vibrationer mäts vinkelrätt mot det berörda byggnads-elementet.
- B.2.7 Stationära resp transienta vibrationer behandlas var för sig.
- B.2.8 Hänvisas till del 1 (allmän del).

B.3 ISO 5349

- B.3.1 Mätgivare mellan handtag och hand.
- B.3.2 Montering i vibrerande yta, ev på platta som kläms fast av handen. Hänsyn måste tas vid montering av givare så att vibrationsöverföringen ej påverkas.
- B.3.3 Mättriiktning definieras av handens ställning. Mätning i x-, y- och z-riktningen.
- B.3.4 Vibrationer vid representativt driftfall varierar vanligen mellan individer och olika arbetsfall.
- B.3.5 Greppstyrka och matningskraft rapporteras.
- B.3.6 Mätning av acceleration, ev svängningshastighet.
- B.3.7 Mätning av rms-värdet 5-1500 Hz.
- B.3.8 Rms-värdet per oktav- eller tersband. Vägningsfilter kan användas.
- B.3.9 Vid hög toppfaktor måste risken för överstyrning av mätutrustningen beaktas.
- B.3.10 Koordinatsystem bundet till handen (fig.). Redovisning av accelerationen i alla tre riktningarna.
Accelerationen bedöms för varje riktning för sig.
- B.3.11 Mätningen skall vara lång nog för att medge korrekt analys.
Exponering totalt för hel dag bedöms.
- B.3.12 Kalibrering enligt tillgänglig standard. Kalibreringsfrekvens mellan 16 och 125 Hz, noggrannhet ± 1 dB.

B.4 ISO 2372, ISO 3945 och ISO 2954

- B.4.1 Specifika anvisningar för hur man åstadkommer tillräckligt bra montering av givare saknas. För accelerometrar finns detta hos flera tillverkare, t ex Brüel & Kjaer, Mechanical Vibration and Shock Measurements eller Endevco, Shock and Vibration Technology. Där finns även anvisningar för jordning och skärmning av givare och anslutningar. Anvisningarna för accelerometrar kan med fördel tillämpas på övriga typer av vibrationsgivare. (ISO 5348, Mechanical mounting of accelerometers, är under utarbetande.)
- B.4.2 Normerna förutsätter stationärt tillstånd hos vibrationerna.
- B.4.3 Anvisningar saknas för kalibrering av givare. Detaljerade rekommendationer utarbetas f n i arbetsgruppen SEK NK-ISO 108-3 "Methods for the calibration of vibration and shock pickups" (Sven Eskilsson, Saab-Scania).

APPENDIX C

FÖRENKLAD MÄTONOGGRANNHETSANALYS
FÖR ENKLA MÄTKEDJOR

Utfärdare/Issued by TYP Sven Eskilsson/ <i>Sven Eskilsson</i>	Datum/Date 1981-10-13	Utgåva/Issue 2	Sida/Page 1
Godkänd, fastställd etc/Approved by etc.	Ärende/Subject FÖRENKLAD MÄTONOGGRANNHETSANALYS FÖR ENKLA MÅTKEDJOR		
Fördeining/To			

1. INLEDNING

Ett mätvärde är inte komplett om inte uppgifter om:

Mätonoggrannheten (inaccuracy)

och om:

sannolikheten (propability)

för att mätvärdet ligger inom angivna gränser samtidigt lämnas.
Sannolikheten arges som:

konfidensnivå (confidence level)

Nedan ges en förenklad, praktiskt användbar och för de flesta mätningar fullt tillräcklig metod för beräkning av mätosäkerheten för olika konfidensnivåer.

Mätonoggrannheten är sammansatt av

tillfälliga fel (random error)

systematiska fel (systematic error)

För allmän provning och mätning eftersträvas

konfidensnivån 95%

För speciella kalibreringar (t ex av normaler)

konfidensnivån 99%

2. TILLFÄLLIGA FEL

Om samma mätning upprepas flera gånger fås som regel flera olika mätvärden. Ett sådant mätvärdes avvikelse från medelvärdet kallas för tillfälligt fel.

Utfärdad/Issued by	Datum/Date	Utgåva/Issue	Sida/Page 2
--------------------	------------	--------------	----------------

Beräkningsgång

Mät minst 4 gånger

Beräkna medelvärdet \bar{x} (arithmetic mean)

Beräkna varje mätvärdes avvikelse e från medelvärdet

Drag roten ur summan av felens kvadrater dividerat med antalet mätvärden minskat med 1 d v s.

$$s = \sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2}{n - 1}} \quad (1)$$

eller
$$s^2 = \frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

s kallas standardavvikelsen (standard deviation)

s^2 " " variansen (variance)

hos en enskild mätning i en serie. (Då antalet mätvärden är oändligt stort (d v s $n \rightarrow \infty$) betecknas standardavvikelsen med σ)

s är alltså ett mått på spridningen kring aritmetiska medelvärdet vid ett begränsat antal mätvärden.

Vid en mätosäkerhetsangivelse önskas uppgift om hur stor avvikelsen hos medelvärdet kan vara vid ett oändligt stort antal mätningar. Denna avvikelse kan beräknas med statistiska metoder för olika konfidensnivåer (t ex 95% eller 99%) d.v.s sannolikheter för att felet håller sig inom givna gränser

Beräkna först standardavvikelsen ($s_{\bar{x}}$) hos medelvärdet:

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Mätosäkerheten för tillfälliga fel för konfidensnivån $xx\%$ är:

$$e_T (p = xx\%) = \pm t \cdot s_{\bar{x}} \quad (3)$$

där t fås ur tabell för önskad konfidensnivå (= p) och antal utförda mätningar (= n).

Utfärdad/issued by	Datum/Date	Utgåva/issue	Sida/Page 3
--------------------	------------	--------------	----------------

n \ t	p.	
	95%	99%
2	13	64
3	4,3	9,9
4	3,2	5,8
5	2,8	4,6
6	2,6	4,0
10	2,3	3,3
15	2,1	3,0
20	2,1	2,9
∞	2,0	2,6

t som funktion av antalet mätvärden för olika konfidensnivåer.

Exempel

Ett 100 k Ω motstånd kontrollmättes.

Värden: 10,04; 10,07; 10,03; 10,06 k Ω

Medelvärde beräknas: $s = 0,018$ (ekv 1)

$s_{\bar{x}} = 0,009$ (ekv 2)

Mätosäkerheten för $p = 95\%$:

Enligt tabell för $n = 4$ är $t = 3,2$

$$e_r (p = 95\%) = \pm 3,2 \times 0,009 = \pm 0,03 \text{ k}\Omega \text{ (0,3\%)}$$

Mätosäkerheten för $p = 99\%$

Enligt tabell för $n = 4$ är $t = 5,8$

$$e_r (p = 99\%) = \pm 5,8 \times 0,009 = \pm 0,05 \text{ k}\Omega \text{ (0,5\%)}$$

Utgivare/Issued by	Datum/Date	Utgåva/Issue	Sida/Page
			4

3. SYSTEMATISKA FEL

De systematiska felen består av kalibreringsfel hos olika instrument i mätkedjan och fel p g a störningar, omgivande miljö etc.

I första hand skall dessa fel elimineras genom åtgärder eller korrekitioner.

Återstoden, som kan bestå av restfel p g a att korrekTIONerna ej kunnat bestämmas helt och hållet, schematiskt angivna kalibrerings- och instrumentfel (ex $\pm 0,5\%$ av mätvärdet), distorsion, brum, temperaturinflytande, olinjariteter, mätområdersomkopplingsfel och uppskattningar av andra okända systematiska fel, beräknas enligt nedan.

Two möjligheter finnes:

Maximalfelet (addering av de absoluta maximala del-felen).

Medelfelet med angivande av konfidensnivå (geometrisk addering av, beroende på funktionstyp, absoluta eller relativa fel).

Vid alla räkningar med relativa fel anges felet relativt mätvärdet (ej relativt fullskalevärdet).

Maximalfelen och de geometriska medelfelen beräknas genom användning av nedanstående regler och formler:

1. Vid addition och subtraktion av mätvärden adderas de absoluta felen.
2. Vid multiplikation och division av mätvärden adderas de relativa felen.
3. Vid multiplikation och division med (exakt) faktor blir relativa felet oförändrat.
4. Vid potenser av mätvärden multipliceras relativa felet med potensvärdet.

Anm. Vid beräkning av maxfelen adderas felvärdena direkt (ingen hänsyn tas till tecken).

Vid beräkning av medelfelen adderas kvadratisk

($\sqrt{\text{summan av felvärdenas kvadrater}}$).

Utfärdad/Issued by	Datum - Date	Utgåva/Issue	Sida/Page
			5

r = slutresultatet

e = systematiska felet i slutresultatet (kan vara maxfelet e_{\max} eller medelfelet e_{med})

t, u, v, p = mätvärden

e_t, e_u, e_v, e_p = systematiska felet hos mätvärdena

$$\boxed{r = t + u + v + p} \quad \text{Max: } e = \pm \left\{ |e_t| + |e_u| + |e_v| + |e_p| \right\} \quad (4)$$

$$\text{Med: } e = \pm \sqrt{e_t^2 + e_u^2 + e_v^2 + e_p^2} \quad (5)$$

$$\boxed{r = \frac{t \cdot u}{v \cdot p}} \quad \text{Max: } \frac{e}{r} = \pm \left\{ \left| \frac{e_t}{t} \right| + \left| \frac{e_u}{u} \right| + \left| \frac{e_v}{v} \right| + \left| \frac{e_p}{p} \right| \right\} \quad (6)$$

$$\text{Med: } \frac{e}{r} = \pm \sqrt{\left(\frac{e_t}{t} \right)^2 + \left(\frac{e_u}{u} \right)^2 + \left(\frac{e_v}{v} \right)^2 + \left(\frac{e_p}{p} \right)^2} \quad (7)$$

$$\boxed{r = a \cdot t} \quad e = \pm a \cdot e_t \quad (8)$$

(a = konstant)

$$\boxed{r = t^d} \quad \frac{e}{r} = \pm d \frac{e_t}{t} \quad (9)$$

$$\boxed{r = \frac{t^d \cdot u^{\beta}}{v^{\gamma} \cdot p^{\delta}}} \quad \text{Max: } \frac{e}{r} = \pm \left\{ \left| d \frac{e_t}{t} \right| + \left| \beta \frac{e_u}{u} \right| + \left| \gamma \frac{e_v}{v} \right| + \left| \delta \frac{e_p}{p} \right| \right\} \quad (10)$$

$$\text{Med: } \frac{e}{r} = \pm \sqrt{\left(d \frac{e_t}{t} \right)^2 + \left(\beta \frac{e_u}{u} \right)^2 + \left(\gamma \frac{e_v}{v} \right)^2 + \left(\delta \frac{e_p}{p} \right)^2} \quad (11)$$

Det sannolika relativa systematiska medelfelet för olika konfidensnivåer beräknas

$$e_s (p = xx\%) = \frac{K}{\sqrt{3}} \cdot e_{\text{med}} \quad (12)$$

För konfidensnivån 95% är $K = 2,0$

" " 99% är $K = 2,6$

e_{med} = det relativa medelfelet beräknat ur formlerna ovan.

Utfärdad/Issued by	Datum/Date	Utgåva/Issue	Sida/Page
			6

De maximala felen används alltid då antalet felkomponenter är ringa (kanske 4 eller mindre) och dessutom då stor vikt läggs vid att osäkerheter i slutresultatet är fullständigt under kontroll t ex vid kalibrering och mätning av längd.

Vid sammansättning av en större mängd felvärden användes de relativa felen. En maxvärdesfelberäkning bör dock även utföras.

Exempel

Kalibreringsmätosäkerhet	$\pm 0,5\%$	± 5 mV
Stabilitet	$\pm 0,2\%$	± 2 mV
Temperaturberoende	$\pm 0,2\%$	± 2 mV
Mätområdesomkopplingsfel	$\pm 0,1\%$	± 1 mV

Maxfelet $5 + 2 + 2 + 1 = 10$ mV

Medelfelet $e = \pm \sqrt{5^2 + 2^2 + 2^2 + 1^2} = \pm 5,8$ mV (enl ekv 5)

Mätosäkerheten för $p = 95\%$

$$e_s (p = 95\%) = \pm \frac{2,0 \cdot 5,8}{\sqrt{3}} = \pm 7$$
 mV (enl ekv 12)

Mätosäkerheten för $p = 99\%$

$$e_s (p = 99\%) = \pm \frac{2,6 \cdot 5,8}{\sqrt{3}} = \pm 9$$
 mV (enl ekv 12)

4. TOTALA MÄTOSÄKERHETEN

De tillfälliga och de systematiska felen bör som regel anges var för sig.

Ofta kan dock en sammanslagning av tillfälliga och systematiska fel ge en förbättrad överblick över felen i slutresultatet.

Följande metoder kan nämnas:

- Det kvadratiske medelvärdet av det tillfälliga och det systematiska felet beräknas:

$$e_t = \pm \sqrt{e_r^2 + e_s^2} \quad (13)$$

e_r och e_s skall vara angivna för samma konfidensnivå.

Metoden används t ex vid mätningar med elektrisk mätutrustning och där en större mängd felvärden sammansätts.

- Det tillfälliga felets absolutvärde vid konfidensnivån 99% adderas till det systematiska maximalfelets absolutvärde

$$e_{tmax} = \pm \left\{ \left| e_r (p = 99\%) \right| + \left| e_{max} \right| \right\} \quad (14)$$

Metoden används då antalet felkomponenter är ringa (mindre än 4) och då stor vikt läggs vid att osäkerheten i slutresultatet är under fullständig kontroll t ex vid kalibrering och mätning av längd.

Ingen konfidensnivå kan anges.

- Det tillfälliga felets absolutvärde vid konfidensnivån 99% adderas till det systematiska medelfelets absolutvärde

$$e_{tmed} = \pm \left\{ \left| e_r (p = 99\%) \right| + \left| e_{med} \right| \right\} \quad (15)$$

Ingen konfidensnivå kan anges.

e_s = systematiska mätosäkerheten för angiven konfidensnivå enligt formel 12.

e_r = tillfälliga mätosäkerheten för angiven konfidensnivå enligt formel 3.

e_t = totala mätosäkerheten för e_r och e_s konfidensnivå.

e_{max} = systematiska maxfelet enligt ekv 4-10.

e_{med} = kvadratiska medelfelet enligt ekv 5-11.

e_{tmax} = totala adderade maxmätosäkerheten.

e_{tmed} = totala adderade medelmätosäkerheten.

Utfärdare/Issued by	Datum/Date	Utgåva/Issue	Sida/Page
			8

Referenser

1. Mätfelanalys TCP-0-77.25
S. Eskilsson 1972
2. Hur bör mätdata behandlas?
Erik Ingelstam. Svensk mätplatskalender 1975
Finns arkiverat på TCP-0-77.30
3. Hur bör ett mätresultat anges?
Olev Mathiesen
Svensk Mätplatskalender 1979.
Finns arkiverat på TYP-0-77.43
4. Metrologi - Angivande av mätresultat
Svensk standard SS 01 41 50. 1979
5. Systematic inaccuracy calculation TYP-0-77.41
S. Eskilsson 1981
6. The Expression of Inaccuracy in Electrical Measurements
British Calibration Service no 3003
I A Harris, LJT Hinton 1977
Finns arkiverat på TYP-0-77.44

APPENDIX D

TILLÄMPNINGSEXEMPEL:

MÄTVÄGLEDNING TILL SS ISO 2631

Appendix D

TILLÄMPNINGSEXEMPEL:

MÄTVÄGLEDNING TILL SS ISO 2631 VÄGLEDNING FÖR BEDÖMNING AV HELKROPPSVIBRATIONERS INVERKAN PÅ MÄNNISKAN

D.1 Allmänt

För att illustrera de förslag som förts fram i tidigare kapitel presenteras här ett utkast till mätvägledning till det svenska normförslaget.

I SS ISO 2631 definieras och ges gränsvärden för exponering av vibrationer överförda till människokroppen inom frekvensområdet 1-80 Hz.

Avsikten med vägledningen är att förtydliga normen vad gäller mät- och analysteknik, peka på faktorer som ej är klart definierade, ge konkreta anvisningar för praktiska mätningar samt varna för fel som lätt kan uppkomma.

Mätvägledningen följer samma indelning som kap. 3 "Erforderlig information för kontroll av vibrationer".

Under varje rubrik anges först relevanta avsnitt av SEK:s förslag till svensk standard SS ISO 2631, där efter följer mätvägledning och kommentarer.

Mätvägledningen omfattar ej Draft Addendum ISO 2631/DAD 1 "Guide to the evaluation of human exposure to vibration and shock in buildings".

D 2 Tillämpningsområde och begränsningar

1 Omfattning och tillämpningsområde

Denna standard omfattar termer, begrepp och exponeringsgränsvärden för vibrationer överförda från fasta ytor till människokroppen inom frekvensområdet 1 - 80 Hz. Den kan tillämpas för såväl periodiska vibrationer som brusvibrationer.

Den är i första hand begränsad till stationära vibrationer. För kontinuerliga vibrationer av stötcharaktär med huvuddelen av sin energi inom frekvensområdet 1 - 80 Hz kan denna standard i brist på annat underlag t v utnyttjas. 1)

De gränser som beskrivs i avsnitt 4 är satta så att komfort, arbetsförmåga samt hälsa och säkerhet kan bibehållas.

Gränserna kallas:

- Gräns för nedsatt komfort
- Gräns för trötthet och nedsatt arbetsförmåga
- Exponeringsgräns för hälsa och säkerhet.

Gräns för trötthet och nedsatt arbetsförmåga används som vägledning vid bestämning av acceptabel exponering av fordonsförare och maskinoperatör som utsätts för vibrationer i arbetet.

Om syftet är att åstadkomma god komfort vid utformningen av fordon bör gräns för nedsatt komfort tillämpas på motsvarande sätt.

Ovannämnda gränser är angivna i storheterna vibrationsfrekvens, accelerationsnivå och exponeringstid för olika vibrationsriktningar relativt människans bål. Riktningarna har definierats längs människokroppens anatomiska axlar i avsnitt 3.

- 1) Svenskt förtydligande: Denna standard bör inte tillämpas på den typ av kortvariga icke stationära vibrationer och stötar som orsakas av sprängning. Enl 4.3 Anm 1 bör angivna gränser ej heller användas för byggnadsvibrationer i privata hem eller i kontor orsakade av trafik, fotsteg etc.

Denna standard kan endast tillämpas för personer med normal hälsa, dvs personer som kan anses vara istånd att utföra normala livsrutiner inklusive resor och utstå normala påfrestningar under en typisk arbetsdag eller ett arbetsskift. Ingen del av denna standard är tillämplig på vibrationer utanför frekvensområdet 1 - 80 Hz.

- Anm 1 Gränserna är baserade på praktisk erfarenhet och laboratorieförsök av människans känslighet för mekanisk vibration. De undersökningar som använts gäller huvudsakligen frekvensområdet 1 - 100 Hz. Frekvensområden, frekvensband och gränsfrekvenser i denna standard har valts i överensstämmelse med ISO/R 266.
- Anm 2 Vibrationer med frekvenser lägre än ca 1 Hz utgör ett särskilt problem, enär sådana kan ge symtom av rörelsesjuka (kinetosis). Störningseffekterna är olika dem som uppträder vid exponering för vibrationer med högre frekvenser.

De symtom som kan uppstå beror på komplexa individuella faktorer som inte enbart kan hänföras till den påtvingade vibrationens intensitet, frekvens eller varaktighet. Mekaniska vibrationer med högre frekvens än 80 Hz överförda till fötter eller säte ger andra effekter som i hög grad beror på lokala faktorer såsom vibrationsriktning, överföringsområde samt förekomsten av dämpande material (t ex kläder eller skor).

Kommentarer:

D 2 Tillämpningsområde och begränsningar

Vad som menas med "kontinuerliga vibrationer av stöt-karaktär" är ej klart definierat, men en tänkbar tolkning är ett förlopp bestående av upprepade stötar med en repetitionsfrekvens som är så stor i förhållande till den enskilda stötens varaktighet att toppfaktorn ej blir alltför stor. (Om toppfaktorn ej överstiger värdet 6 torde man kunna betrakta vibrationen som en brusvibration.) Det förefaller också rimligt att kräva att tidsavståndet mellan enskilda stötar är måttligt i förhållande till utsvängningstiden hos människokroppens delar.

D 3 Mät punkt

D 3.1 Val av mätpunkter

3.2 Mätpunkter

Vibrationsmätningar skall göras i, eller så nära som det är möjligt, den punkt eller yta genom vilken vibrationer överförs till kroppen. På detta sätt erhålls mätvärden jämförbara med gränserna i denna standard.

D 3.2 Mät riktningar

3.1 Vibrationsriktning

3.1.1 Rätlinjiga vibrationer som överförs till hela människokroppen skall mätas i de riktningar som sammanfaller med axlarna i ett rätvinkligt treaxligt koordinatsystem med origo i hjärtat, se figur 1.

Anm I biomekaniken hänförs koordinatsystemet vanligen till skelettet i ett normalt anatomiskt läge. Accelerationen längs z-axeln "fot-huvud" betecknas $\pm a_z$, accelerationen längs x-axeln "rygg-bröst" betecknas $\pm a_x$ och accelerationen längs y-axeln "höger-vänster" betecknas $\pm a_y$. Dessa axlar illustreras i figur 1.

3.1.2 Vibrationer kring ett rotationscentrum är ofta en viktig del av vibrationsmiljön. I traktorer som går över oländig terräng eller i flygplan som flyger i turbulenta luftströmmar kan tipp- och rollrörelser vara mer störande än den rätlinjiga vibrationen "upp och ner". Kunskapen om effekterna av dessa vibrationer är emellertid begränsad. I praktiken kan centrum för sådana vibrationer ofta antas ligga så långt från den punkt där vibrationerna påverkar kroppen att den resulterande rörelsen kan beskrivas som rätlinjig. När det är möjligt bör emellertid tipp-, roll- och girrörelser relateras till de anatomiska axlarna och mätas och rapporteras för att öka kunskapen om människans känslighet för sådan vibrationspåverkan. 1)

3.1.3 Denna standard anger i två separata uppsättningar tabeller och kurvor gränser för vibrationer längs dels z-axeln (longitudinalaxeln $\pm a_z$), dels x- och y-axlarna (transversalaxlarna $\pm a_x$ resp $\pm a_y$).

1) Svenskt förtydligande: Lokala vibrationer innehåller utöver rätlinjiga komponenter även rotationskomponenter.

D 4 Dimensionerande vibrationskälla

Standarden kan tillämpas för såväl periodiska vibrationer som stationära brusvibrationer.

Den är ej tillämpbar på kortvariga (icke stationära) förlopp, t ex vibrationer som alstras i omgivningen av sprängningar. Den är ej heller lämplig att användas på något mer långvariga förlopp med mycket starkt varierande vibrationsnivåer. (Sådana vibrationer kan förekomma t ex i fordon vid körning i terräng eller på provbana.)

Kommentarer:

I första hand är det vibrationskällans inverkan på människan som skall undersökas. Det kan vara lämpligt att även mäta på vibrationskällan dels för att konstatera vilken eller vilka vibrationskällor som är av betydelse för den aktuella mätningen och dels för att få en uppfattning om hur vibrationsöverföringen från källan till omgivningen fungerar. Ofta är det en kombination av två eller flera vibrationskällor där samverkan av vibrationerna resulterar i att gränsvärden överskrids.

Kan vibrationskällans hastighet eller varvtal varierar bör hastighets- resp varvtalsberoendet kartläggas för att få kännedom om strukturens dynamiska egenskaper. I enkla fall kan en sådan mätning ligga till grund för val av lämpliga åtgärder för att minska vibrationer, t ex om en vibrationskälla vid ett visst driftfall orsakar resonanssvängning i en närliggande struktur. För att studera olika driftfall bör även andra varierbara parametrar ändras, t ex belastningar m m.

Mätningarna syftar vanligen till att bestämma vibrationsbelastningen under en typisk arbetsdag. I många fall är de individuella variationerna mellan skilda dagar stora, man måste då mäta under ett stort antal dagar så att verkan av tillfälliga variationer utjämnas. Alternativt kan man noggrant kartlägga driftvillkoren under t ex en dag, och med hjälp av andra informationer korrigera värdet till en typisk "medel-dag".

D 5 Mät- och analysteknik

D 5.1 Val av mätgivare

Kommentarer:

Normen omfattar vibrationer inom frekvensområdet 1-80 Hz. Denna begränsning innebär följaktligen att mätgivaren måste återge vibrationssignalen odistorderad inom detta frekvensområde.

För att minimera mätgivarinstallationens inverkan på systemet så att den inte mätbart ändrar den dynamiska responsen, måste hänsyn tas till mätgivarens massa i relation till systemets styvhet, då detta förhållande bestämmer den övre gränzfrequensen. Dimension och olika krav på miljötålighet påverkar också valet av mätgivare.

Normen anger acceleration som mätstorhet, oavsett vilken typ av mätgivare som används. Den grundläggande principen bör emellertid vara att mäta acceleration med en accelerometer (se kap. 3.2 "Mätvärde").

Accelerometer kan vara av två typer, resistiva (trådtöjningsgivare eller piezoresistiva element) eller piezoelektriska. Resistiva accelerometrar har sin undre gränzfrequens vid 0 Hz, den kan alltså användas vid statiska förlopp och kan därför enkelt kalibreras genom att vridas 180° varvid givaren under påverkan av jordaccelerationen ger en utsignal motsvarande ± 1 g.

Piezoelektriska accelerometrar självgenererar en elektrisk utsignal proportionellt mot accelerationen och har ett stort dynamiskt område. Den undre gränzfrequensen bestäms av den efterföljande signalförstärkaren och med en lämplig kombination givare - förstärkare är 0.5 - 1 Hz ett vanligt värde. Accelerometrar kan erhållas med låg vikt, under 1 gram, vilket gör dem lämpade för mätningar på lätta strukturer.

Seismiska hastighetsgivare (geofoner) kan inte generellt rekommenderas i detta sammanhang p g a begränsat frekvensområde, stor massa och känslighet för sidokrafter.

Geofonen är robust, enkel att använda och relativt okänslig för yttre störningar men givarens förhållandevis stora dimension och höga vikt begränsar dess användningsområde till mätning på tunga och massiva strukturer.

Vid mätningar där rotationsrörelser förekommer, t ex hos terränggående fordon och flygplan, eller andra mätningar där det anatomiskt relaterade koordinat-systemet inte alltid är parallellt med det jordbundna,

kan seismiska hastighetsgivare ej användas. På grund av givarnas konstruktion och arbetssätt kan vissa hastighetsgivare avsedda för mätning av vertikala vibrationer ej användas i horisontell riktning. Vinkelavvikelsen vid mätning vertikalt resp horisontellt bör ej överstiga $5-10^{\circ}$.

D 5.2 Montering av givare

3.2 Mätgivare skall monteras

på underlaget som personen står eller sitter på utan att det finns något elastiskt material mellan kroppen och underlaget. Då något fjädrande material, exempelvis en sittdyna, finns mellan kroppen och det vibrerande underlaget kan givarna fästas på en styv platta som placeras mellan kroppen och dynan. Man måste dock se till att en sådan anordning inte påtagligt förändrar vibrationsöverföringen genom dynan till kroppsytan eller medför att det uppstår andra vibrationer som tidigare inte förekom. Om det inte är möjligt att mäta vibrationer vid kontaktytan med kroppen på detta sätt måste överföringskaraktistiken hos sittdynan eller annat använt fjädrande material bestämmas och beaktas vid beräkning av de verkliga vibrationer som överförs till kroppen. I sådana fall skall det elastiska systemets egenskaper rapporteras.

Anm Laboratoriestudier av biomekanisk eller fysiologisk natur fordrar exakt definition av vibrationsöverföring till kroppsytan. Det har i sådana fall blivit vanligt att byta ut sittdynor mot styva underlag för att mätresultaten inte skall påverkas av sitsens egenskaper. Skillnader i publicerade forskningsresultat inom detta område kan hänföras till olikheter i försöksarrangemang vid olika laboratorier.

Kommentarer:

Den övre gränshfrekvensen för normens gränsvärden, 80 Hz, är ur mätteknisk synpunkt låg och orsakar normalt inga problem med infästningen av mätgivaren till fast underlag. En accelerometer av medelstorlek, 10-50 gram, kan skruvas, limmas, fästas via magnetfot eller för hand hållas mot mätobjektet utan att riskera att infästningens resonansfrekvens understiger 80 Hz. Monteringsytan bör vara väl preparerad och rengjord så att god mekanisk kontakt erhålls. Beträffande montering kan ytterligare information erhållas i ISO/DIS 5348 "Mechanical mounting of accelerometers (seismic pickups)", där bl a resonanskurvor för olika monteringsalternativ visas. Skruvförband är att föredra där det är möjligt, men det bör observeras att skruven inte gängas ända in i botten på accelerometern då detta kan orsaka mekaniska spänningar i accelerometerns bas och påverka känsligheten. Med hänsyn till temperaturkänsligheten bör accelerometern skämmas med exempelvis en plastkåpa för att minska inverkan av temperaturtransienter. Detta gäller speciellt vid mätningar i lågfrekvensområdet där långa mättider förekommer.

Accelerometern bör i förekommande fall även skyddas från lufttryckstransienter.

I ISO 5008 Agricultural wheeled tractors and field machinery - Measurement of whole-body vibration of the operator" specificeras en styv platta för montering av accelerometrar lämplig att användas vid mätningar på stolsitsar.

Ur mätteknisk synpunkt är det lämpligt att mäta både på det vibrerande underlaget och på plattan mellan kroppen och det elastiska elementet, för att därigenom få en kontroll av mätresultatets rimlighet. Samtidigt erhålls information om det elastiska elementets dynamiska egenskaper.

D 5.3 Mätstorhet

3.3 Vibrationsnivå

Den primära storheten för att ange vibrationsnivå är acceleration uttryckt i enheten meter per sekundkvadrat (m/s^2). Detta gäller oberoende av vilken typ av givare som använts.

Anm Inom fysiologisk forskning är det ofta vanligt att uttrycka acceleration dimensionslöst i "g-enheter" där 1 g är värdet av accelerationen vid fritt fall. Detta bruk är tillåtet i samband med pågående experimentarbete, förutsatt att normalaccelerationen vid fritt fall g_n används för omvandling till värden uttryckta i meter per sekundkvadrat när referens ges till gränserna i denna standard.

Kommentarer:

Vid användning av hastighetskännande givare (geofoner) måste mätsignalen deriveras. Vid derivering framhävs brus och andra högfrekventa störningar vilket minskar noggrannheten och kräver en mer komplicerad utrustning.

I frekvensområdet 8-80 Hz där gränsvärdeskurvorna motsvarar konstant vibrationshastighet kan istället den avlästa vibrationshastigheten ställas i relation till omräknade gränsvärden.

D 5.4 Mätvärde

Storleken av vibrationer måste uttryckas som effektivvärde ¹⁾ av acceleration för att kunna jämföras med gränserna i denna standard. För brusvibrationer och periodiska vibrationer som ej är sinusformade måste tidsfunktionens toppfaktor (förhållandet mellan det maximala toppvärdet och effektivvärdet) bestämmas eller uppskattas. Därvid vägs accelerationssignalen på det sätt som beskrivs i avsnitt 4.2.4. Maximala toppvärdet av den vägda signalen definieras som den maximala avvikelsen från medelvärdet. Toppfaktorn definieras som förhållandet mellan det maximala toppvärdet och effektivvärdet hos den vägda signalen. Accelerationssignaler med toppfaktorer upp till och med 6 kan utvärderas med hjälp av denna standard. Är toppfaktorn större än ca 6 kan den rekommenderade utvärderingsmetoden underskatta effekten av vibrationers inverkan på människan. Forskning pågår i syfte att söka bestämma hur sådana vibrationer kan jämföras med gränsvärdena.

Storleken på den beräknade toppfaktorn är i praktiken beroende av den tidsperiod under vilken toppvärdet och effektivvärdet beräknas. Det är nödvändigt att perioder av minst en minuts exponering används för att beräkna toppfaktorn. Förutom tillfälliga toppvärden kan stora nivåskillnader som inträffar under längre tidsperioder än en minut öka värdet hos den beräknade toppfaktorn.

Dessa vibrationer kan ofta utvärderas genom användning av metoden för beräkning av ekvivalent exponeringstid vilken är beskriven i avsnitt 4.4.

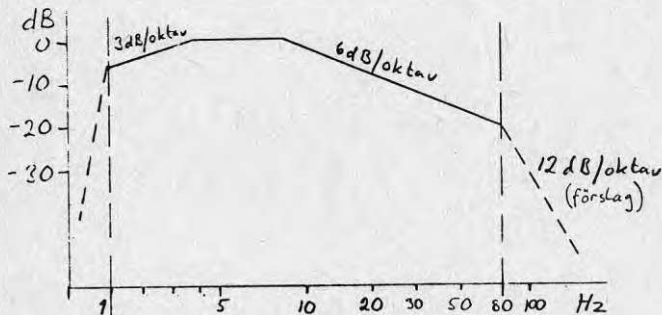
Det är ibland opraktiskt att beräkna toppvärdet av den vägda signalen på det sätt som beskrivs ovan. Toppvärden som beräknas för en icke vägdd signal (med bandpassfiltrering mellan 1 och 80 Hz) blir normalt större än de som beräknas för en vägdd signal.

En övre uppskattning av toppfaktorn kan därför först göras från en icke vägdd signal. Om värdet överskrider 6 är det nödvändigt att väga signalen för att bestämma om värdet 6 verkligen överskrids. Effektivvärdet skall alltid bestämmas från den vägda signalen.

Anm Vid mätningar av vibrationer i rotationsriktningar bör alltid vinkelaccelerationen (rad/s^2) anges som effektivvärde.

Kommentarer:

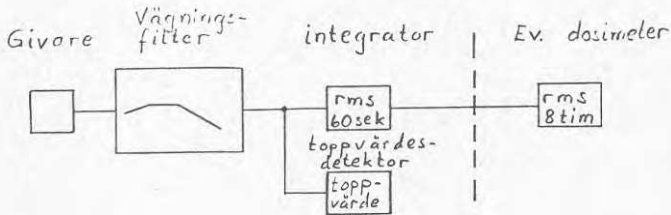
För att entydigt tolka en vibrations effektivvärde måste frekvensområde och tidskonstant (integrations-tid) vara normerade. Används vägningsfilter måste dess frekvenskaraktistiska överensstämma med normens specifikationer. I SS ISO 2631 är vägningsfiltrets karakteristiska angivna i frekvensområdet 1-80 Hz.



Lutningen på filtrets flanker är däremot ej specificerade. Filtret bör utanför bandet 1-80 Hz ha en dämpning av minst 12 dB/oktav. Se fig.

Tidsvägningskaraktäristiska är ej standardiserade i normen. Som riktvärde kan anges 60 sek linjär integrationstid för att vibrationssignaler med frekvensinnehåll ned till 1 Hz skall kunna analyseras korrekt.

En mätutrustning för mätning enligt vägningsfiltermetoden kan ha följande blockschema:



Mätning med vägningsfilter ger generellt högre värden än tredjedelsoktavbandsanalys. Skillnaden beror på spektrumets form och kan i ogynnsammaste fall uppgå till 13 dB (4.5 gånger) men torde i de flesta fall vara mindre än 5 dB. För det fall att all vibrationsenergi ligger inom ett tredjedelsoktavband ger båda metoderna samma resultat.

För närvarande finns ej tillräcklig kunskap för att avgöra vilken av de två metoderna som ger det mest korrekta resultatet.

Senare års mätningar har emellertid visat att en bättre korrelation mellan mätning och upplevelse av vibration erhålles då analysen baseras på ett vägt värde för hela frekvensområdet 1-80 Hz, istället för enbart nivån för den kritiska frekvensen.

För vibrationer som har ett komplicerat tidsförlopp är vägningsfiltermetoden den enda praktiskt användbara.

D 5.5 Vibrationskaraktär:

Den kan tillämpas för såväl periodiska vibrationer som brusvibrationer.

Den är i första hand begränsad till stationära vibrationer. För kontinuerliga vibrationer av stötcharaktär med huvuddelen av sin energi inom frekvensområdet 1 - 80 Hz kan denna standard i brist på annat underlag t v utnyttjas. 1)

- 1) Svenskt förtydligande: Denna standard bör inte tillämpas på den typ av kortvariga icke stationära vibrationer och stötar som orsakas av sprängning.
Enl 4.3 Anm 1 bör angivna gränser ej heller användas för byggnadsvibrationer i privata hem eller i kontor orsakade av trafik, fotsteg etc.

3.5 Analys av periodiska vibrationer och brusvibrationer

Analys av brusvibrationer eller vibrationer innehållande flera spektralkomponenter bör i första hand utföras med utrustningar som försetts med tersfilter vars egenskaper och karakteristik överensstämmer med rekommendationerna i IEC-publikationen 225. Standardfrekvenserna i denna publikation skall tillämpas analogt i området 1 - 16 Hz.

Vid vissa tillämpningar kan det vara lämpligare att mätutrustningen förses med ett vägningsfilter med en karakteristik som motsvarar gränskurvorna för vibrationer i z-riktning resp x- och y-riktningarna. Dess egenskaper anges i avsnitt 4.2.4 Anm 2.

4.2 Utvärdering av frekvensspektrum

4.2.1 Utvärdering av vibration med en diskret frekvens

Gränserna i diagrammen i figurerna 2 och 3 samt i tabellerna 1 och 2 gäller effektivvärdet av accelerationen av vibrationer med diskreta frekvenser i z-riktningen (a_z) eller i x- och y-riktningarna (a_x , a_y).

4.2.2 Utvärdering av vibrationer med flera diskreta frekvenser

När vibrationer uppträder samtidigt vid mer än en diskret frekvens inom området 1 - 80 Hz skall effektivvärdet av accelerationen beräknas separat för varje frekvenskomponent och därefter bedömas med hänsyn till gränsen vid varje frekvens

4.2.3 Smalbandiga brusvibrationer koncentrerade inom ett tersband eller frekvensband med mindre bandbredd

För smalbandsvibrationer koncentrerade inom ett tersband eller mindre skall effektivvärdet av accelerationen inom hela tersbandet beräknas och bedömas med hänsyn till gränsen vid bandets mittfrekvens.

4.2.4 Bredbandiga brusvibrationer

För vibrationer med ett frekvensspektrum som sträcker sig över flera tersband skall effektivvärdet av accelerationen beräknas separat för varje tersband. Jämförelser med gränskurvorna skall göras av accelerationsvärdet för mittfrekvensen i varje tersband.

Anm 1 Detta förfarande bygger på antagandet att ingen betydande interaktion uppträder mellan störningseffekter orsakade av exponering för olika frekvenser.

Anm 2 För att kunna karakterisera vibrationsmiljöer med avseende på dess effekter på människan i form av enkla talvärden med hjälp av förenklade mätningar, jämfört med frekvensanalyser som är svåra och obehäva att utföra, kan vibrationsignalen vägas med ett filter för frekvensområdet 1 - 80 Hz. Ett sådant vägningsfilter skall anslutas mellan vibrationsgivaren och mätapparaturen. Vägningsfiltrets frekvenskaraktistik skall överensstämma med kurvorna i figur 2a för a_z -mätningar och 3a för a_x - resp a_y -mätningar.

Filtrets dämpning skall vara noll inom frekvensområdet 4 - 8 Hz för vibration i z- riktningen och inom frekvensområdet 1 - 2 Hz för vibrationer i x- och y-riktningarna. Dämpningen skall inte avvika mer än ± 1 dB mellan två fasta frekvenser och inte mer än ± 2 dB för övriga frekvenser. De två fasta frekvenserna är 6,3 Hz och 31,5 Hz för vibration i z-riktningen och 1,25 Hz resp 31,5 Hz för vibrationer i x- och y-riktningarna.

Senare tids forskning om vibrationers inverkan på komfort och prestation har visat att när vibrationsspektrat innehåller flera spektralkomponenter eller är bredbandig, så ger ofta vägningsmetoden (bredbandsmetoden) en god approximation av påverkan på individen. Därför kan denna metod vara lämplig i de fall man önskar ett talvärde som mått för påverkan av individen från vibrationerna i en riktning.

Då de vägda accelerationsvärdena rapporteras bör frekvensinnehållet hos vibrationen också uppges. Vägda värden skall i första hand jämföras med vägda värden från andra vibrationer. Då jämförelse skall göras direkt med tabeller och figurer, bör en lämplig korrigerig av gränserna göras. 1)

- 1) Svenskt förtydligande: Detta innebär normalt en höjning av gränserna med 4 - 8 dB.

Kommentarer:

Till stationära signaler måste i detta sammanhang även hänföras "korttidsstationära" dvs signaler som är åtminstone approximativt stationära under en tillräckligt lång tid, dels för att systemet (människokroppens delar) skall hinna svänga ut och dels för att möjliggöra mätning. I det aktuella fallet kan en tid på 1 minut anses vara tillräckligt lång tid.

Hur vibrationsförlopp bestående av sekvenser av korttidsstationära vibrationer skall utvärderas framgår av 2631 avsnitt 4.4.

Tidigare har nämnts att för att mäta ett effektivvärde måste frekvensområde och integrationstid anges. Den i normen rekommenderade tredjedelsoktavbandanalysen specificerar ej integrationstiden. Av samma skäl som vid mätning med vägningsfiltermetoden bör minst 60 sek integrationstid användas för att få en säkrare bedömning av speciellt det lägre frekvensområdet.

För att ur en tredjedelsoktavbandanalys av en bredbandig vibration beräkna en vägd accelerationsnivå a_w kan följande metod användas enligt ISO/TC 108/SC 4/N 60:

$$a_w = \sqrt{\sum a_{w_i}^2}$$

där a_w är den med gränsvärdeskurvorna vägda accelerationsnivån för tredjedelsoktavbandsvärdet uttryckt i m/s^2 rms, i betecknar tredjedelsoktavbandets mittfrekvens.

I arbetarskyddsstyrelsens rapport Arbetet och Hälsa nr 1979:23 "Jämförelse av några tekniska metoder för bedömning av helkroppsvibrationer" rekommenderas att gränsvärdena höjs med ca 6-9 dB för att metoden bredbandsanalys med vägningsfilter skall vara jämförbar med gränsvärdena i ISO 2631.

Vad som menas med "kontinuerliga vibrationer av stötkaraktär" är ej klart definierat, men en tänkbar tolkning är ett förlopp bestående av upprepade stötar med en repetitionsfrekvens som är så stor i förhållande till den enskilda stötens varaktighet att toppfaktorn ej blir alltför stor. (Om toppfaktorn ej överstiger värdet 6 torde man kunna betrakta vibrationen som en brusvibration.) Det förefaller också rimligt att kräva att tidsavståndet mellan enskilda stötar är måttligt i förhållande till utsvängningstiden hos människokroppens delar.

D 5.6 Vibrationsriktningar

4.3 Vibrationer i flera riktningar

Om vibrationer uppträder i flera riktningar samtidigt gäller gränserna separat för varje vektorkomponent i de tre koordinataxlarna.

Är två eller tre vektorkomponenter hos en fleraxlig vibration ungefär lika stora kan effekten av den kombinerade vibrationen vara större på komfort och arbetsförmågan hos den kombinerade rörelsen än effekten av vektorkomponenterna var för sig. För att kunna bedöma effekten av en sådan vibration föreslås att de korrigerade vägda värdena a_{xw} , a_{yw} och a_{zw} först beräknas var för sig (se 4.2 Anm 2). Dessa tre värden adderas därefter enligt följande formel:

$$a = \sqrt{(1,4 a_{xw})^2 + (1,4 a_{yw})^2 + a_{zw}^2}$$

Faktorn 1,4 ($\sqrt{2}$) är kvoten mellan gränskurvornas nivå i kroppens längsriktning (z-) och tvärriktning (x- och y-) för det frekvensområde där människan är känsligast. Denna vektorsumma skall i första hand användas för jämförelse med andra vektorsummor. Bedömning av komfort och arbetsförmåga kan göras genom att jämföra vektorsumman med den horisontella delen av gränskurvan för z-riktad vibration.

D 5.7 Mättid

4.4 Vibrationens varaktighet (exponeringstid)

4.4.1 I diagrammen i figurerna 2b och 3b anges förhållandet mellan accelerationsnivå och exponeringstid. Som framgår av kurvorna för vissa gränsfrekvenser ökar den acceptabla accelerationsnivån med minskad exponeringstid. Motsvarande numeriska värden anges i tabellerna 1 och 2 för dagliga exponeringstider från 1 minut till 24 timmar. I diagrammen i figurerna 2a och 3a anges accelerationsnivåer för vibrationer i z-riktningen resp x- och y-riktningarna uttryckta som funktioner av frekvens och vissa utvalda värden på exponeringstiden som parameter.

Dessa gränser gäller för kontinuerlig exponering under en del av ett dygn och när exponeringen utprepas under många år, t ex för en industriarbetare i en vibrerande miljö eller för en fordonsförare. Vid tillfällig vibrationsexponering kan i regel högre nivåer accepteras. Det finns en förenklad metod att approximera hur acceptabla accelerationsnivåer förväntas avta med ökande exponeringstid upp till 8 timmar. Om a_1 är den acceptabla accelerationsnivån för en minuts exponering (se tabell 1 och 2) så blir den acceptabla accelerationsnivån (a_t) för exponeringstiden t minuter:

$$a_t = a_1 \quad t \leq 10 \text{ min}$$

$$a_t = a_1 \sqrt{\frac{10}{t}} \quad 10 \text{ min} < t \leq 480 \text{ min}$$

Denna approximation av kurvan i figur 2b och 3b tillåter något högre accelerationsnivå för exponeringstider mellan 4 min och ca 25 min. Högre accelerationsnivå erhålls också för perioder längre än 2,5 timmar (fig 4). Emellertid är kunskapen om tidsberoende effekter av vibrationspåverkan långtifrån fullständig. Ovanstående approximation av kurvorna kan dock anses vara tillämplig för de flesta praktiska situationer.

Anm Denna approximation kan provisoriskt tillämpas ända upp till 24 timmar per dygn, särskilt vid konstruktion av mätinstrument.

Då exponeringen avbryts av pauser eller uppdelas i flera intervall under en arbetsdag är det tänkbart att detta har positiv inverkan på människan. Om så är fallet skulle detta tillåta en förlängning av den acceptabla exponeringstiden. En sådan effekt har dock inte beaktats i denna standard eftersom tillräckligt kunskapsunderlag för närvarande saknas.

4.4.2 Om exponeringen för vibrationer är avbruten av pauser under arbetsdagen men intensiteten under de olika perioderna är densamma, beräknas den totala dagliga exponeringstiden genom att summera exponeringsperioderna.

4.4.3 Om accelerationens effektivvärde varierar avsevärt eller om den dagliga exponeringen kan uppdelas i perioder med olika exponeringstider t_i vid olika accelerationsnivåer A_i erhålls en "ekvivalent total exponering" genom följande förfarande.

4.4.3.1 Först väljs ett antaget accelerationsvärde A' som på lämpligt sätt ansluter till värdena A_i . Tillåten exponeringstid t' för nivån A' erhålls av kurvorna i figur 2b resp 3b eller tabell 1 resp 2. På samma sätt väljs motsvarande tillåtna exponeringstider t_i för vart och ett av värdena A_i . Om något A_i är lägre än tillåten nivå vid 24 timmar sätts motsvarande $t_i = 24$ timmar.

4.4.3.2 Den ekvivalenta exponeringstiden t'_i för varje exponeringsperiod beräknas sedan med hjälp av uttrycket

$$t'_i = t_i \times \frac{A_i}{A'}$$

4.4.3.3 Dessa ekvivalenta exponeringstider t'_i summeras sedan med hjälp av uttrycket

$$T' = \sum_i t'_i = T' \sum_i \frac{t_i}{T_i}$$

T' är den "ekvivalenta totala exponeringstiden" för den antagna accelerationen A' .
 T är den tillåtna exponeringstiden för accelerationsnivån A' .

4.4.3.4 Förhållandet T'/T bestämmer huruvida beräknad "ekvivalent exponering" är acceptabel. Detta gäller om förhållandet är större än 1, dvs då $\sum_i (t_i/T_i)$ är mindre eller lika med 1.

4.4.3.5 För vibrationer som uppträder samtidigt längs olika axlar skall den ekvivalenta exponeringstiden beräknas och utvärderas separat för varje riktning enligt 4.3.

4.4.4 I de fall då vibrationsexponeringen, även om den innehåller avbrott, pågår i mer än 24 timmar skall gränserna i denna standard tillämpas på varje 24 timmars-period eller resterande del därav. D v s då den ekvivalenta totala exponeringstiden beräknas begränsas perioden, under vilken exponering skall integreras, till 24 timmar.

Bilaga 1

Förenklad beskrivning av metoden enligt 4.4.3 och 4.4.4 för beräkning av tillåten exponeringstid vid varierande vibrationsnivåer

4.4.3 Om vibrationsexponeringens effektivvärde varierar avsevärt under exponeringstiden görs en uppdelning i tidsintervall där varje tidsintervall karaktäriseras av att effektivvärdets variation inom tidsintervallet är relativt begränsad. En tillåten exponeringstid T_i utläses ur figur 2b resp 3b för den effektivvärdesnivå som uppmätts för tidsintervall nr i .

Förhållandet $\sum \frac{t_i}{T_i}$, där t_i = längden av tidsintervall nr i , bestämmer om exponeringen ligger under respektive gräns. Så är fallet om $\sum \frac{t_i}{T_i} = \leq 1$.

Anm 1. För vibrationer som uppträder samtidigt längs olika axlar skall den tillåtna exponeringstiden beräknas och utvärderas separat för varje riktning enligt 4.3.

Anm 2. Enligt 4.4.1 och heldragen kurva i figur 4 kan den acceptabla vibrationsnivåns avtagande med ökad exponeringstid approximeras med

$$a_t^2 \cdot t \approx 10 a_1^2 = \text{konstant}; \quad 10 \text{ min} < t \leq 480 \text{ min}$$

Om vibrationens effektivvärde är relativt konstant inom olika intervaller och $a_1 < a_t < 0,14 \cdot a_1$ behöver därför ingen uppdelning i tidsintervaller göras. Det räcker då att beräkna effektivvärdet integrerat över hela exponeringstiden och jämföra med kurvorna i figur 2b och 3b.

D 5.8 Kalibrering och kontroll av mätsystemet

Vidare skall uppgifter lämnas om kalibrering och kalibreringsmetoder samt om noggrannhet vid effektivvärdesmätning, frekvensvägning, bandupptagning m m. Metoder som utförts vid signalbehandlingen såsom frekvensanalys och andra operationer skall också redovisas.

Anm 1 IEC-publikationen 184 bör användas för specifikation av vibrationsgivare och IEC-publikationen 222 för hjälputrustning, inklusive förstärkare, frekvensselektiv utrustning och bärfrekvenssystem.

Kommentarer:

En noggrann kalibrering och kontroll av mätutrustningens funktion bör genomföras med jämna intervall, exempelvis årligen, medan en enklare funktionstest bör utföras i anslutning till varje mätning.

Inom ISO/TC 108/SC 3 har utarbetats en standard "Metoder för kalibrering av vibrations- och stötgivare". Metoderna är närmast avsedda för kalibrering av normaler och referensgivare av piezoelektrisk typ.

Huvuddelen av kalibreringarna av normaler avses ske med laserinterferometer. Även kalibreringar i centrifug, med hjälp av gravitationen och i stötprovapparat är beskrivna. Det är utrustningar och kalibreringsmetoder avsedda för exempelvis en riksmätplats för kalibrering av normaler till auktoriserade mätplatser. Vid dessa auktoriserade mätplatser skall kalibreringar kunna utföras av de referensgivare som mätlaboratorier och mätpersonal bör ha tillgång till för kontroll av sina egna vibrationsgivare.

En enkel funktionskontroll av en givare kan göras genom att jämföra dess utsignal med utsignalen från en referensgivare när båda utsätts för samma vibration.

Med tillgång till en vibrator där frekvens och amplitud kan varieras, kan givarens respons över hela frekvensområdet kontrolleras.

Vid alla typer av vibrationsmätning är det av stor betydelse att kunna kontrollera hela mätsystemet från givaren till avläsnings- eller registreringsinstrumentet. Helst bör kontrollen göras omedelbart före och efter varje mätning. För detta ändamål finns små portabla batteridrivna vibratorer där givaren skruvas fast och exiteras med en känd frekvens och accelerationsnivå.

I många fall är det lämpligt att mäta nivån på "bakgrundsvibrationen" för att få en uppfattning om kvalitén på mätningen och en kontroll av mätutrustningen. Det kan göras antingen när vibrationskällan ej är i drift eller när givaren monteras på ett icke-vibrerande underlag. För godtagbar noggrannhet vid den aktuella vibrationsmätningen bör bakgrundsvibrationen vara mindre än en tredjedel av de uppmätta

vibrationerna, dvs bakgrundsnivån skall ligga minst 10 dB under vibrationsnivån. Med denna kontroll kan mätfel orsakade av jordningsfel och inducerat brum i kablar etc förebyggas.

För beräkning av mätosäkerheten hänvisas till Appendix C "Förenklad mätnoggrannhetsanalys för enkla mätkedjor".

D 6 Dokumentering

Av resultatredovisningar skall framgå hur mätningen utförts och de normer och rekommendationer som använts. Utrustningens egenskaper såsom frekvenskänslighet, dynamiska egenskaper, t ex tidkonstant, dynamikområde och upplösningsförmåga, skall anges.

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
790910-6 från Statens råd för byggnadsforskning
till Inst för jord- och bergmekanik, KTH,
Stockholm.

R119: 1982

ISBN 91-540-3804-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700619

**Abonnemangsgrupp:
V. Anläggningsteknik**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 30 kr exkl moms