B-91-0702 Achtergronden bij de beoordeling van de toelaatbaarheid van trillingen in verband met gevoelige apparatuur

Nov. 1991
PVS/LM
revisie jan. 1993

Aan: Stichting Bouwresearch

Projectnummer: 64.4.2240
Auteurs : Ing. C.A.J. Rasenberg[1]
Ir P.C. van Staalduinen[2]
Mr L.G. Kok[2]

Bladzijden: 58
Tabellen : 2
Figuren : -
Bijlagen : 4

WP-onderwerp : 215-2
Trefwoord(en) : trillingen

INHOUD Pag.

1.	INLEIDING	1
2.	TRILLINGEN EN TRILLINGSGEVOELIGE APPARATUUR	3
2.1	Trilling en schokgevoeligheid	3
2.2	Trillingsgevoelige apparatuur	3
3.	INVENTARISATIE	5
3.1	Eisen gesteld door fabrikanten	5
3.2	Normen en richtlijnen	6
3.3	Resultaten van metingen	7
4.	EVALUATIE EISEN FABRIKANTEN	8
5.	NORMEN EN RICHTLIJNEN	11
6.	RESULTATEN VAN DE METINGEN	15
7.	AANBEVELINGEN	16
7.1	Algemeen	16
7.2	Specificaties van toelaatbare trillingen voor apparatuur	16
7.3	Meetmethodiek	20
7.4	Toetsing van meetresultaten aan specificaties	23
8.	VOORSTEL RICHTLIJN VOOR DE BEOORDELING VAN MEETRESULTATEN	26
8.1	Algemeen	26
8.2	Soorten opgegeven grenswaarden	26
8.3	Classificatie van trillingen	28
8.4	Toepassing van grenswaarden bij continue trillingen	29
8.5	Toepassing van grenswaarden bij kortdurende trillingen	32
9.	CONCLUSIES	34

REFERENTIES 35

BIJLAGE 1 - Overzicht eisen van fabrikanten

BIJLAGE 2 - BBN en FHA Vibration Criteria

BIJLAGE 3.1 - Metingen in gebouwen met microprocessen
BIJLAGE 3.2 - Meetresultaten
BIJLAGE 3.3 - Vergelijking meetresultaten met BBN en FHA-criteria
BIJLAGE 3.4 - Vergelijking meetresultaten met apparatuur specificaties

BIJLAGE 4 - Juridische status van specificaties

1. INLEIDING

Op plaatsen in gebouwen waar micro-technologieën worden toegepast is het noodzakelijk dat zowel de gebouwconstructie als de gebouwinstallatie zodanig worden uitgevoerd dat de apparatuur kan werken op de specificaties waarop ze is ontworpen. Onder micro-technologieen worden in dit verband verstaan alle technische activiteiten waaraan nauwkeurigheden ten grondslag liggen met een afmeting van 5 μm of minder. Om dat te bereiken worden de diverse bij deze activiteiten te gebruiken toestellen met zorg gebouwd, maar het uiteindelijke resultaat is mede afhankelijk van de mate waarin trillingen in de ondersteunende bouwconstructie voorkomen.

Zowel via het uitvoeren van trillingsproeven op de apparatuur, als op theoretische wijze is het mogelijk aan te geven welke trillingsterkte in de opstelvloer mag voorkomen opdat de specificaties waarop het apparaat is gebouwd ook kunnen worden gerealiseerd. Onder trillingsterkte zullen we hier verstaan een maat voor de sterkte van de trilling (bijv. effectieve waarde of RMS, amplitude, piek-piek en dergelijke) in combinatie met de trillingsfrequentie.

In dit rapport is nagegaan welke trillingseisen door fabrikanten en leveranciers worden gegeven voor diverse apparaten die bij microprocessen worden gebruikt, alsmede voor disc-drives van computers. Nagegaan is of zij zodanig zijn gedefinieerd dat op basis daarvan de resultaten van trillingsmetingen kunnen worden beoordeeld. Verder is nagegaan of er meer algemeen toepasbare richtlijnen of normen bestaan, die aangeven welke trillingen in gebouwen mogen voorkomen, indien in die gebouwen microprocessen plaatsvinden. Tevens zijn resultaten verzameld van metingen in gebouwen waarin microprocessen worden toegepast.

Op basis van de verzamelde gegevens zijn commentaren geleverd en zijn er onderlinge vergelijkingen gemaakt. Conclusies zijn getrokken, zoals t.a.v. de manier waarop trillingseisen bij voorkeur zouden moeten worden geformuleerd en over de wijze waarop de resultaten van trillingsmetingen aan specificaties kunnen worden getoetst. Als resultaat van het onderzoek is een voorstel geformuleerd voor een richtlijn, op basis waarvan resultaten van trillingsmetingen aan specificaties kunnen worden getoetst.

2. TRILLINGEN EN TRILLINGSGEVOELIGE APPARATUUR

2.1 Trilling en schokgevoeligheid

Of apparatuur trillingsgevoelig is moet blijken uit de door de fabrikant overgelegde specificaties. Vaak wordt daarbij onderscheid gemaakt tussen trillingen ('vibration') en schok ('shock'). Onder trillingen moeten worden verstaan verstaan wisselende verplaatsingen, snelheden of versnellingen, sinusvormig, periodiek of random met een min of meer continu karakter. De trillingsterkte kan overigens in de tijd varieren.

Schok daarentegen is te beschouwen als een korte, pulsvormige excitatie. Doorgaans is ook de duur van de puls omschreven (bijv. 10 ms).

De zuivere vorm van schok komt in gebouwen zelden voor, meestal alleen dan, wanneer het apparaat direct aangestoten wordt. Als de bouwconstructie (gebouw, gebouwvloer etc.) door een pulsvormige belasting wordt geexciteerd zal deze in principe het eigen trillingsgedrag aan de daarin of daarop opgestelde apparatuur doorgeven. Dit zal in het algemeen een (gedempte) sinusvormige responsie zijn, waarin een of meerdere eigenfrequenties voorkomen. Hoewel de trillingsterkte van deze responsie in de tijd gezien niet stationair is, vertoont de - via de bouwconstructie - aan de apparatuur opgelegde excitatie doorgaans het karakter van een 'trilling' in plaats van 'schok'.

2.2 Trillingsgevoelige apparatuur

Apparatuur waarvoor door de fabrikant eisen worden gesteld aan in de opstelvloer voorkomende trillingen betreffen in het algemeen:

- apparaten waarin activiteiten plaatsvinden met lijnnauwkeurigheden van 0.005 mm en minder, zoals steppers, CD-masters, E-beams, ionen-inplanters;

- apparaten waarin vergrotingen plaatsvinden van 150.000 x en meer, die geen beeldonscherpte kunnen verdragen, zoals electronen-microscopen en meetapparatuur zoals massaspectrometers;
- fijnmechanische productie-apparatuur met nauwkeurigheden van ca. 0.003 mm en minder, bijv. vonkverspaners.
- computerapparatuur, speciaal de disk-drives;
- apparatuur voor het uitvoeren van nauwkeurige wegingen.

Ook andere soorten apparatuur of bepaalde onderdelen of verbindingen in apparatuur kunnen trillingsgevoelig zijn, zij het dat dit vaak pas het geval zal zijn bij zodanig hoge trillingsterkten, dat ook voor de mens in het gebouw trillingshinder optreedt.

3. INVENTARISATIE

3.1 Eisen gesteld door fabrikanten

In bijlage 1 zijn ter illustratie enkele voorbeelden gegeven van door fabrikanten opgegeven trillingseisen. De gepresenteerde voorbeelden betreffen alle specificaties, die door fabrikanten bij de apparatuur worden geleverd. Het betreft hier overigens slechts een deel van de, in het kader van dit onderzoek, bestudeerde specificaties.

. **CD-master**
  - fabrikaat Philips
  - Laser Beam recorder

. **Wafer Stepper**
  - fabrikaat CGA, type DSW 6000
  - fabrikaat ASET, type 5X

. **Electron Beam Pattern Generator**
  - fabrikaat Philips, type EBPG-4 en EBPG-5
  - fabrikaat ATEQ

. **Electronen-microscopen**
  - fabrikaat Philips, typen SEM 515, SEM 525, SEM 535, CM 10, CM 12, CM 20, CM 20, CM 30.

. **meetapparatuur**
  - fabrikaat Zeiss, type UMC, UMPC, MC, WMM, PMC.
  - fabrikaat KLA-Micrion
  - massaspectrometer, fabrikaat VG Analytical, type 70 250S en 250SE;
  - massaspectrometer, fabrikaat JEOL, type JMS SX 102 en DX 303

. **disk-drives**
  - fabrikaat NEC, type D 2352 A;
  - fabrikaat Prime
  - fabrikaat Digital
  - fabrikaat Philips

(van **weegapparatuur** zijn geen specificaties aangetroffen)

Met nadruk wordt opgemerkt dat de specificaties, die in dit rapport zijn opgenomen slechts dienen om een indruk te geven van de wijze, waarop trillingseisen worden gesteld. Aangeraden wordt te allen tijde de van toepassing zijnde specificaties van apparatuur bij de leverancier of fabrikant op te vragen.

Over de status van specificaties bestaat vaak onduidelijkheid. Sommige fabrikanten beschouwen de specificaties als een garantie voor de werking van de apparatuur. In dit geval zullen fabrikanten of leveranciers apparatuur ook niet onder hun verantwoordelijkheid installeren op plaatsen waar de specificaties overschreden worden. Wanneer de specificatie het karakter heeft van een garantie kan de leverancier of fabrikant hierop worden aangesproken. In bijlage 4 zijn de mogelijkheden daartoe op een rij gezet. Daarentegen staat ook soms in de specificaties expliciet vermeld dat de gegevens uit de specificatie niet verbindend kunnen zijn in het kader van overeenkomsten.

In hoofdstuk 4 zijn de specificaties nader besproken.

3.2 Normen en richtlijnen

Er bestaan normen over toelaatbare trillingen in gebouwen, maar deze betreffen trillingen die voor mensen toelaatbaar zijn of in mindere mate, die in gebouwen mogen optreden zonder dat gebouwschade optreedt. Voorbeelden hiervan zijn DIN 4150 (deel 2 en 3), BS 6472, ONORM S 9010, NEN-ISO 2631/1 en 2631/2. Voor de achtergronden van deze normen wordt verwezen naar [1] en [2].

Voorts is er door ISO een norm opgesteld (ISO 8569) over de wijze waarop trillingsmetingen uitgevoerd kunnen worden, opdat de resultaten bruikbaar zijn voor het beoordeling van de geschiktheid van een locatie voor gevoelige apparatuur. De norm ISO 8569 biedt, naast enkele algemene principes, echter weinig concrete informatie

Omtrent in gebouwen toelaatbare trillingen gerelateerd aan het toepassen van microtechnologiën bestaan er wel algemeen bekende richtlijnen van adviesbureaus uit de Verenigde Staten. Deze zijn:

BBN-criteria (Bolt, Beranek and Newman)
FHA-Vibration Criteria (Frank Hubach Associates)

In beide richtlijnen worden variabele toelaatbaarheidscurven gedefinieerd, welke worden gerelateerd aan de maatnauwkeurigheid waarmee in microprocessen wordt gewerkt. In bijlage 2 is door middel van grafieken en tabellen inzicht gegeven in de BBN-curven en in de FHA-Vibration Criteria. Voor een nadere discussie, zie hoofdstuk 5.

3.3 Resultaten van metingen

Uit de resultaten van trillingsmetingen in diverse gebouwen zijn meetresultaten geselecteerd van vier gebouwen waarin microprocessen plaatsvinden. Voor elk van die gebouwen geldt dat tijdens de procesvoering de gewenste nauwkeurigheden (1 μm) worden bereikt, zoals bij navraag bij de gebruikers is gebleken. Deze metingen geven daarmee een goed beeld van de trillingen, die in speciaal voor microprocessen ingerichte gebouwen voorkomen. In dit rapport zijn de desbetreffende gebouwen door middel van een nummer aangeduid (1 tot en met 4).

Van de relevante metingen in deze gebouwen is per gebouw uitgezocht welke meting het ongunstigste trillingsbeeld had. De resultaten van deze metingen zijn in een tabel ondergebracht, die is weergegeven in bijlage 3. Van de waarden in die tabel zijn tevens grafische voorstellingen gemaakt. De meetresultaten zijn verder besproken in hoofdstuk 6.

4. EVALUTIE EISEN FABRIKANTEN

Uit de geraadpleegde specificaties kan worden geconstateerd dat er geen uniformiteit bestaat in de manier waarop trillingseisen worden geformuleerd. Bij evaluatie van de specificaties blijkt bovendien dat in veel gevallen de beschikbare gegevens onvolledig waren. Hierdoor zijn de specificaties vaak onbruikbaar als beoordelingsgrondslag voor trillingsmetingen en moeten door de betrokken adviseurs aanvullende aannamen worden gedaan.

Enkele voorbeelden van de aard van de gegevens, die bij specificaties vaak ontbreken zijn hieronder gegeven. Niet zelden ontbreken meerdere essentiele gegevens.

de kwantificering van de specificaties:

- of de gegeven toelaatbare waarden RMS-waarden, piek-piekwaarden of 0-piek-waarden (ampltude) zijn;
- op welke analysevorm de gegeven toelaatbare waarden zijn gebaseerd, zoals 1/3 octaafband-, octaafband- of smalle band-analyse (incl. bandbreedte);
- of, met name bij frequentie-band analyses, de specificaties zijn gebaseerd op het gebruik van specifieke window-functies (zoals bijv. Hanning of rectangular) of van enige andere weegfunctie of filter.

de achtergronden van de specificaties:

- hoe de specificatie tot stand is gekomen, bijvoorbeeld:
  . op basis van een theoretische analyse;
  . door op enigerlei wijze, tijdens een productie-cyclus, het apparaat aan trillingen bloot te stellen van wisselende grootte, waarna op basis van kwaliteitscontrole een keuze is gemaakt;
  . op basis van een trillingsexcitatie, waarbij van belang is of de excitatie heeft plaatsgevonden met een sinusvormige sweep of met een random signaal (ruis);

- er wordt zelden gerefereerd aan de gehanteerde procedures of normen bij het uitvoeren van een onderzoek ter bepaling van de trillingsgevoeligheid van apparatuur. Er bestaan een aantal goede IEC richtlijnen, waarin de beproeving van apparatuur onder schok- en trillingen is vastgelegd [8,9,10,11,12,13].

de presentatie van de specificaties:

- de presentatie van de trillingseisen gebeurt meestal in grafische vorm. Daardoor is de toelaatbare trillingsterkte, zeker bij een logaritmische schaal, moeilijk nauwkeurig af te lezen.
- de trillingseisen worden gespecificeerd middels verschillende grootheden (versnelling, snelheid, verplaatsing). Ook komen in een specificatie combinaties ervan voor. Als in een specificatie de toelaatbare trillingsterkte in verschillende grootheden wordt gegeven (bijv. voor het ene frequentie-interval als verplaatsing, voor een aansluitend interval als versenlling), kloppen de trillingsterkten nabij de begrenzing van het interval soms niet met elkaar (discontinuiteiten). Soms wordt dit ook veroorzaakt door het slordig gebruik van eenheden en van aanduidingen als RMS, zero-to-peak, peak-peak etc.
- in een specificatie werd geconstateerd dat de voorgeschreven instelling van de apparatuur ter toetsing van de specificaties niet overeenstemde met de voor die situatie door de fabrikant van de meetapparatuur opgegeven instelling.

het toepassingsgebied van de specificaties

- Indien specificaties zijn gebaseerd op sinusvormige trillingen (bijv. met een sweep test), hoe moeten breedbandige random trillingen met dergelijke specificaties getoetst worden? Slechts in een geval werd hieraan aandacht besteed.

Het algemene beeld is dat de specificaties van trillingsgevoelige apparatuur niet gelijkvormig zijn, vaak onvolledig zijn en er soms komen fundamentele fouten in voor. Ze zijn veelal onvoldoende van achtergronden en instructie voorzien en zijn daardoor zelden geschikt om daarop een min of meer reproduceerbare trillingsmeting uit te voeren.

In hoofdstuk 7 zijn enkele aanwijzingen gegeven om toch met dergelijke specificaties om te gaan.

In dit verband moet worden opgemerkt dat sommige leveranciers, met name van computer-apparatuur, zelfs niet een trillingsmeting ter bepaling van de omgevingscondities aanbevelen, maar een proef, waarbij een tot de rand gevuld glas water ten gevolge van de trillingen niet mag spatten of overlopen! Een dergelijke procedure is naar ons oordeel hoogst onbetrouwbaar.

5. NORMEN EN RICHTLIJNEN

In dit hoofdstuk zijn de internationaal bekende ontwerprichtlijnen (BBN- en FHA-Vibration Criteria) nader toegelicht. De criteria zijn expliciet van toepassing op 'trillingen'.

BBN

De criteria volgens BBN zijn tot stand gekomen uit een analyse van specificaties door fabrikanten. Men constateerde dat frequentie-afhankelijke specificaties werden begrensd door lijnen met een constante snelheidsamplitude. Voor apparaten die niet van luchtveren zijn voorzien, geldt in het interval van 8 tot 80 Hz een constante snelheid terwijl voor frequenties in het interval van 4 tot 8 Hz de versnelling constant is (continu aansluitend bij 8 Hz). Buiten het interval van 4 tot 80 Hz zou de trillingsterkte hoger mogen zijn. Voor apparaten met luchtvering zou de constante snelheid moeten gelden van 1 tot 80 Hz.

De toelaatbare trillingsterkten volgens BBN zijn gegeven in RMS-waarden per 1/3 octaafband. De aldus geformuleerde toelaatbaarheidscurve blijkt dan dezelfde vorm te hebben als de curven volgens ISO 2631/1 en ISO 2631/2. De A curve volgens BBN ligt bij een frequentie van 8 Hz op een niveau dat een factor 2 lager is dan de curve uit ISO 2631/2 voor kritische werkruimten.

De indeling en criteria volgens BBN is onderstaand weergegeven [4]:

type apparatuur of gebruik	v_{RMS} μm/s *)
woningen; computersystemen	200
operatie-kamers, microscopen met een vergroting tot 100 x	100
microscopen met een vergroting tot 400 x, optische en andere precisie-balansen; plaatsbepalingsapparatuur; metrologische laboratorium-ruimten optische comparators; fabricage apparatuur voor micro-electronica (class A)	50
micro-chirurgie, oog- en zenuw-operaties; microscopen met een vergroting meer dan 400 x; optische apparatuur op geisoleerde opstellingen fabricage apparatuur voor micro-electronica (class B)	25
electronen-microscopen met vergrotingen tot 30000 x; microtomes, magnetic resonance imagers; fabricage apparatuur voor micro-electronica (class C)	12,5
electronen-microscopen met vergrotingen > 30000 x; massa-spectrometers; cell implant equipment; fabricage apparatuur voor micro-electronica (class D)	6,25
Niet geisoleerde laser en optische onderzoeksystemen fabricage apparatuur voor micro-electronica (class E)	3,15

*) in het frequentie-gebied van 8 tot 80 Hz, per 1/3 octaafband.

klasse aanduiding fabricage-apparatuur volgens BBN [4]:

class	apparatuur
A	Inspection, probe test and andere ondersteunende apparatuur bij de fabricage
B	Aligners, steppers en andere kritische apparatuur voor foto-lithografie met lijnbreedten van 3 μm of meer
C	Aligners, steppers en andere kritische apparatuur voor foto-lithografie met lijnbreedten van 1 μm
D	Aligners, steppers en andere kritische apparatuur voor foto-lithografie met lijnbreedten van 0,5 μm, alsmede E-beam apparatuur;
E	Aligners, steppers en andere kritische apparatuur voor foto-lithografie met lijnbreedten van 0,25 μm, alsmede E-beam apparatuur;

De keuze voor 1/3 tertsband als frequentie-interval voor de bepaling van de RMS waarden wordt door BBN beschouwd als een goed compromis tussen te veel detail en een te geringe resolutie, dat met de op de markt beschikbare apparatuur goed te verifieren valt.

FHA

De FHA vibration Criteria zijn door het bureau Frank Hubach Associates ontwikkeld. Ook hierbij heeft men zich gebaseerd op een inventarisatie van diverse soorten apparatuur, met variabele lijnnauwkeurigheden. De specificatie is gegeven als RMS-waarde, gebaseerd op een smalle band analyse met een bandbreedte van 0.125 Hz, en is geldig in het interval van 2 tot 50 Hz. Ze is gespecificeerd in het interval van 2 tot 10 Hz als een constante snelheid, daarboven als een constante verplaatsing.

Het resultaat van de uiteindelijke formulering is, dat de totaal toelaatbare RMS waarde van de verplaatsing (in het frequentie-interval van 2 tot 50 Hz) ongeveer gelijk is aan de lijnnauwkeurigheid waarvoor de desbetreffende apparatuur is ontworpen.

Onderstaand is zijn de criteria volgens FHA gegeven [5].

klasse	technologie	geldigheidsinterval	grens (RMS)*
A	Submicron	2 - 10 Hz	1.6 μm/s
		10 - 50 Hz	0.025 μm
B	1 Micron	2 - 10 Hz	3.1 μm/s
		10 - 50 Hz	0.05 μm
C	2 Microns and above	2 - 10 Hz	6.3 μm/s
		10 - 50 Hz	0.1 μm

*) per interval van 0.125 Hz

Discussie

Voor zowel de BBN- als de FHA curven geldt dat de specificatie reeds enkele jaren geleden heeft plaatsgevonden. De apparatuur die heden ten dage t.b.v. microprocessen wordt ontworpen, wordt steeds ongevoeliger voor trillingen. Daarentegenover staat evenwel dat de lijnnauwkeurigheden in apparatuur nog steeds toenemen. Mogelijk zullen beide criteria daarom in de toekomst nog worden bijgesteld.

6. RESULTATEN VAN DE METINGEN

De geselecteerde meetresultaten betreffen metingen in drie verschillende typen gebouwen in Nederland. De meetresultaten zijn gepresenteerd in bijlage 3.

In gebouw 1 betreft het metingen op een vloer op zand, midden in een fabriekscomplex waarbij vanuit de omringende gebouwen weinig trillingen worden opgewekt. Gebouwen 2 en 3 zijn zware constructies. De opstelvloer is een 450 mm dikke vloer op 6000 + gesteund door kolommen en wanden op een stramien van 3,6 x 3,6 m. Gebouw 2 is gefundeerd op palen, gebouw 3 is gefundeerd op zand. Gebouw 4 betreft een prefab betonconstructie waarbij de opstelvloer op 6000 + peil bestaat uit een cassette-achtige vloer die gesteund wordt door 4 kolommen h.o.h. ca. 20 m.

De metingen geven opvallend veel gelijkvormigheid te zien en de verschillen zijn erg gering. De sterkte van de verticale versnellingscomponent is in de 1/3 octaafbanden tot 50 Hz ongeveer gelijk, in de orde van 0,3 mm/s^2. De horizontale componenten zijn in het algemeen bij frequenties tot 10 Hz iets groter dan de verticale component.

Ten behoeve van de vergelijking met specificaties en richtlijnen is het resultaat van de ongunstigste meting in gebouw 2 gebruikt, omdat die over het algemeen het slechtste trillingsbeeld geeft. In het interval van 8 tot 80 Hz is de grootste trillingsnelheid per 1/3 octaafband in de orde van 16 $\mu m/s$. Aan de hand van de BBN-criteria kan de geschiktheid van het gebouw globaal worden beoordeeld. In bijlage 3 is de vergelijking tussen de meetresultaten van gebouw 2 en de criteria volgens BBN en FHA gegeven.

In het vervolg van dit rapport wordt nog teruggekomen op het toetsen van resultaten van trillingsmetingen aan specificaties van apparatuur.

7. AANBEVELINGEN

7.1 Algemeen

In het voorgaande is uiteengezet dat er globale eisen aan gebouwen kunnen worden gesteld (de BBN- en FHA-criteria), ten einde de daarin opgestelde trillingsgevoelige apparatuur voor micro-technologieen te kunnen laten werken. Deze eisen zijn helder en duidelijk omschreven en laten zich door middel van trillingsmetingen toetsen, zoals hiervoor is aangegeven.

In hoodfstuk 4 werden de specificaties besproken die fabrikanten van trillingsgevoelige apparatuur opgeven Geconstateerd werd dat er geen eenvormigheid is, dat de meeste specificaties onvolledig zijn en er zelfs fouten in kunnen voorkomen. Zij werden in het algemeen niet goed bruikbaar geacht voor het beoordelen van resultaten van trillingsmetingen. De uiteindelijke beoordeling van de geschiktheid van een gebouw moet in het algemeen toch worden uitgevoerd op basis van apparatuur-specificaties, in het bijzonder in het geval van garanties.

Onderstaand zijn daarom enige aanbevelingen om te komen tot bruikbare specificaties van apparaten; verder zijn aanbevelingen gegeven om specificaties te gebruiken voor het toetsen van resultaten van trillingsmetingen.

7.2 Specificaties van toelaatbare trillingen voor apparatuur

7.2.1 Algemeen

Wanneer fabrikanten c.q. leveranciers van apparatuur specificaties afgeven voor toelaatbare trillingen op de opstelplaats moeten deze voldoen aan de volgende eisen.

7.2.2 Eisen

De specificaties moeten zodanig zijn gespecificeerd dat aan de hand daarvan metingen kunnen worden uitgevoerd, waarvan de resultaten kunnen worden vergeleken met de geformuleerde trillingseisen. Daarvoor moeten de specificaties ten minste bevatten:

a) het toepassinggebied van de specificatie moet zijn aangegeven:
   - schok
   - trillingen: - sinusvormig of smalbandig random;
     - breedbandig random

b) aangegeven moet worden welk frequentiegebied van belang is (het geldigheidsgebied van de specificaties).

c) aangegeven moet worden of de gedefinieerde eis is gegeven in de vorm van amplitude, effectieve waarde (RMS), zero-peak of peak-peak-waarde.

d) inzicht moet worden gegeven, eventueel in de vorm van documentatie of technische rapporten, op welke manier de specificaties tot stand zijn gekomen:
   - bijvoorbeeld middels een theoretische analyse;
   - proefondervindelijk, door het apparaat aan trillingsproeven te onderwerpen, gekoppeld aan een kwaliteitscontrole. Aangegeven moet zijn aan welke vorm van trillingsexcitatie het apparaat tijdens die proef is onderworpen, bijv. sinus-sweep of een random signaal (ruis). Bij voorkeur worden hiervoor gestandaardiseerde procedures aangehouden, zie referenties [8, 9, 10, 11, 12, 13].

e) aangegeven moet worden op welke analysevorm de specificatie is gebaseerd, zoals bijv. frequentie-band analyses (inclusief opgave van de bandbreedte) of anderszins. Het is dan mogelijk de meetresultaten op een overeenkomstige wijze te verwerken en te presenteren.

f) aangegeven moet worden of bij de verwerking van de meetresultaten eisen gelden ten aanzien van de te gebruiken filters of weegfuncties, in het bijzonder bij frequentie-band analyses de te handeren windows (Hanning, rectangular, etc).

g) de presentatie van de specificatie zou in ieder geval numeriek moeten geschieden. Hierdoor wordt voorkomen dat door verkeerde aflezing van grafieken fouten ontstaan, bijvoorbeeld wanneer meetresultaten worden vergeleken met uit logaritmische grafieken verkregen waarden.

h) de eisen worden bij voorkeur uitgedrukt in lineaire schaal, dus niet in dB, gebruik makend van één SI-eenheid. Bij voorkeur wordt hiervoor de eenheid van versnelling gekozen, omdat voor het uitvoeren van trillingsmetingen meestal versnellingsopnemers worden gebruikt. Het is dan mogelijk om, zonder allerlei omrekeningen de meetresultaten direct met de gegeven specificaties te vergelijken.

i) een verantwoording moet kunnen worden gegeven, bijv. in de vorm van een technisch rapport, van de meetprocedure en opgave van de meetapparatuur die is gebruikt, wanneer meetgegevens aan de specificatie ten grondslag liggen.

7.2.3 Opmerkingen

Naar aanleiding van het in 7.2.2 gestelde zijn de volgende opmerkingen van belang.

ad a) Bij het bepalen van toelaatbare trillingen door middel van trillingsexcitatie kunnen twee vormen van excitatie worden onderscheiden, nl. van een sinusiodiale sweep en door een breedbandig random signaal. Wanneer het resultaat van deze twee methoden, toegepast op hetzelfde toestel, wordt vergeleken blijken de toelaatbaarheidscurven verschillend te zijn. De beproeving met een sweep geeft in het algemeen hogere toelaatbare waarden, omdat het daarbij gaat om een signaal dat werkt over een smaller

frequentiegebied dan bij excitatie met een random signaal. Eventuele resonanties worden dus afzonderlijk aangesproken. Omdat in de praktijk bij microprocessen normaal gesproken de trillingsexcitatie plaatsvindt via een breedbandige random trillingen zou dan opgegeven moeten worden:

- ofwel de totaal toelaatbare trillingsterkte voor een ruisachtig signaal;
- ofwel de toelaatbare trillingsterkte voor een bepaald frequentiegebied;
- en/of een procedure volgens welke de meetresultaten met de specificaties op basis van de sweep mogen worden vergeleken.

ad b) Over het geldigheidsgebied van trillingen voor apparatuur voor microprocessen bestaan nogal uiteenlopende meningen. Ze varieren van 5-50 Hz (FHA) tot 4-80 Hz (BBN). Gedacht zou ook kunnen worden aan het gebied van 3.15 - 50 Hz, een gebied dat aan de onderkant wordt begrensd door de hoogste instelling van het high-pass filter van veel gebruikte meetapparatuur en aan de bovenkant door de frequentie 50 Hz, waarbij t.o.v. de eigen frequenties van de in de apparatuur opgenomen veren al gauw een factor wordt bereikt van 7, waarbij in ongedempte toestand een isolatiefactor optreedt van ca. 98%.

ad c) Bij voorkeur zouden de grenswaarden moeten worden gepresenteerd als RMS-waarde omdat de gebruikelijke meetapparatuur bij smalle band, 1/3-octaaf en octaafband-analyses zijn resultaten ook als zodanig weergeeft.

ad d) Met deze achtergrond-informatie kan, indien nodig, worden beoordeeld of de fabrikant/leverancier geen onredelijke eisen stelt aan de trillingscondities in de gebouwen, waar de apparatuur moet werken.

ad f) Bedacht moet worden dat bij het gebruik van windows de resultaten van de meting niet altijd de werkelijk voorkomende RMS-waarden aangeven. Dit is apparatuur-afhankelijk en geldt soms ook bij het gebruik van het rectangular window. Bij het gebruik van andere windows is de werkelijke bandbreedte waarover wordt gemeten steeds groter dan de numerieke waarde van de bandbreedte waarover de analyse wordt uitgevoerd. Dit heeft ten gevolge dat de geregistreerde amplituden groter zijn dan in werkelijkheid het geval is. Een duidelijke opgave van het gebruikte filter en (bijv. bij windows) van de implementatie op de desbetreffende meet- en verwerkingsapparatuur is belangrijk voor het beoordelen van de meetresultaten in relatie tot de gegeven specificatie. Aangezien bij de gebruikelijke meetapparatuur het Hanning window meestal actief is bij continue trillingen verdient het aanbeveling de specificaties 'Hanning-weighted' te presenteren.

ad i) Vermelding van gebruikte analyse apparatuur met de gebruikte meterinstelling kan informatie geven over details in de presentatie van de specificaties die mogelijkerwijs vergeten zijn.

7.3 Meetmethodiek

7.3.1 Classificatie trillingen

De soort meting die moet worden uitgevoerd hangt af van de aard van de trillingen die in een gebouw optreden. Bovendien is de wijze waarop de resultaten van een meting aan specificaties worden getoetst hiervan afhankelijk. Alvorens een beoordeling op meetresultaten uit te voeren dienen de trillingen geclassificeerd te worden.

We mogen ervan uitgaan dat in gebouwen waarin microtechnologieën worden toegepast in het algemeen stationaire trillingen voorkomen met een random, dus niet samenhangend karakter. Voor zover de trillingen afkomstig zijn van een groot aantal onsamenhangende bronnen, zijn zij meestal als **breedbandig random** te beschouwen.

Uitzonderingen hierop zijn trillingen waarin de invloed van een bepaalde bron dominant is, bijv. ten gevolge van een bepaalde pomp of ventilator of ten gevolge van een groep gelijksoortige machines. Dergelijke stationaire trillingen zijn vaak als **smalbandig random** te beschouwen.

Trillingen veroorzaakt door intern en extern verkeer, waaronder lopen over vloeren hebben een meestal een meer uitgesproken niet-stationair karakter hebben. Indien de apparatuur via de gebouwconstructie wordt aangestoten zal toch vaak de invloed van de eigenfrequenties in de responsie van het gebouw dominant zal zijn. Daardoor zijn deze trillingen toch vaak te beschouwen als smalbandige random trillingen.

Zuiver **sinusvormige trillingen** komen in gebouwen maar zelden voor. Ditzelfde geldt voor **periodieke trillingen**, die zijn te beschouwen als een sommatie van sinusvormige trillingen, waarbij alle voorkomende frequenties gehele veelvouden van een laagste grondfrequentie zijn. Meestal is er dan sprake van een zeer dominante bron in de vorm van een machine (vaak pompen, compressoren of meer algemeen machines waarin grote onbalanskrachten ontstaan).

Alleen in bijzondere gevallen zijn moet de responsie ten gevolge van een aanstoting als 'schok', dus als **kortdurende trilling** worden beschouwd. Meestal gaat het dan om stootachtige belastingen, die direct op het apparaat worden uitgeoefend. De kortdurende trilling wordt gekenmerkt door een intense (doorgaans vrij hoogfrequente) responsie, die vervolgens (afhankelijk van de mate van demping van het systeem) in vrij korte tijd weer uitdempt.

7.3.2 Uitvoering van metingen

Wanneer het gaat over het uitvoeren van trillingsmetingen in verband met trillingsgevoelige apparatuur is het noodzakelijk dat gemeten wordt onder omstandigheden, die representatief zijn voor de situatie waaronder de apparatuur aan trillingen wordt onderworp. Dit betekent dat men zich ervan dient te vergewissen of mogelijk belangrijke trillingsbronnen bijv. tijdelijk buiten werking zijn.

Het is verder van belang dat een indruk wordt gekregen van de aard van de trillingen, die in een bepaalde situatie optreden. Voor dergelijk verkennend onderzoek naar trillingen in gebouwen kan in het algemeen worden volstaan met een 1/3-octaafband analyse. Hiermee kan een goede indruk worden verkregen van de mate waarin de trillingen breed of smalbandig zijn, alsmede van de voorkomende frequenties. Een classificatie van de voorkomende trillingen is dan vaak al mogelijk. Voor een nadere analyse kan een Fourier of smalle band analyse worden toegepast. Ook een inspectie van het tijdsignaal (real-time) kan hier goede diensten bewijzen.

OOk zal moeten worden nagegaan of en in welke mate de trillingen stationair zijn. Dit kan bijvoorbeeld geschieden door de RMS waarde in een frequentieband als functie van de tijd te volgen. Zo mogelijk wordt een relatie gelegd naar oorzaken van het niet stationair zijn van de trillingen. Te denken valt bijvoorbeeld aan het niet voortdurend in bedrijf zijn van bepaalde machines, het werken met wisselende toerentallen of het optreden van zwevingen (een periodiek fluctuatie in de trillingsterkte veroorzaakt door een klein verschil in frequentie van twee bronnen). Pas indien hierover duidelijkheid bestaat kan een zinvolle meting worden uitgevoerd, waarbij bij voorkeur de expliciet stationair gedeelten van de trillingen worden meegenomen.

De resultaten van de trillingsmeting kunnen op verschillende manieren worden verwerkt. Met name bij breed- of smalbandige random trillingen, die in gebouwen in de meeste gevallen voorkomen, is een presentatie van de resultaten van verkennende metingen in de vorm van Fourierspectra,

smalle band of 1/3 octaafband spectra gebruikelijk. Deze analysemethoden zijn op de meetapparatuur veelal standaard beschikbaar.

Voor diagnostische doeleinden is random trillingen een Fourier- of smalle band analyse aan te bevelen, zoals bijvoorbeeld voor brondetectie, voor het ontwerpen van oplossingen tot vermindering van trillingen.

Voor sterk niet-stationaire trillingen en voor kortdurende trillingen is een presentatie in het tijdsdomein noodzakelijk. Kortdurende trillingen moeten daarbij worden bepaald via een transient meting. Hierbij moet de apparatuur zodanig zijn getriggerd dat het signaal zo volledig mogelijk wordt opgenomen. Daarna kan voor het bepalen van dominante frequenties over het geregistreerde tijdssignaal een Fourier- of smalle band analyse worden uitgevoerd.

7.4 Toetsing van meetresultaten aan specificaties

Zoals al eerder opgemerkt komt de wijze waarop de meetresultaten worden gepresenteerd overeen met de wijze waarop de specificaties zijn opgegeven. Niet altijd is dat mogelijk, omdat men veelal werkt met standaard meetapparatuur en de vorm waarin de specificaties zijn gegeven sterk kan verschillen. Bij voorkeur zou men dus:

- bij specificaties die zijn gebaseerd op random trillingen de effectieve waarden van de trillingsgrootheid toetsen met behulp van Fourier, smalle band of 1/3 octaaf-analyse; Voorwaarde is dan wel dat de trillingen ook daadwerkelijk als smal- of breedbandig random zijn te beschouwen, maar dit is in gebouwen meestal geen probleem.
- bij specificaties die zijn gebaseerd op excitatie door harmonische trillingen de amplitude van de trillingsgrootheid toetsen met behulp van het tijdsignaal of aan de hand van een Fourier analyse. Voorwaarde is dan wel dat de trillingen min of meer sinusvormig of periodiek zijn; dit zal minder vaak aan de orde zijn.

In de praktijk zal men vaak geconfronteerd worden met specificaties die op basis van een sinus-sweep zijn bepaald, terwijl de trillingen als uitgesproken random zijn te beschouwen. Voor die gevallen worden onderstaande regels voor de toetsing aanbevolen:

1) Specificaties gebaseerd op random excitatie

1a) bij harmonische signalen is de beoordelingsgrondslag 0,7 * amplitude; deze dient kleiner te zijn dan de toelaatbare effectieve waarde bij de desbetreffende frequentie.

1b) bij periodieke signalen is de beoordelingsgrondslag de wortel uit de som van de kwadraten van 0.7 maal de amplituden, $\sqrt{\Sigma\ (0{,}7\ x_i)^2}$, waarbij $0{,}7\ x_i$ gewogen wordt naar de toelaatbare waarde bij de desbetreffende frequentie. De beoordelingsgrondslag dient kleiner te zijn dan 1.

1c) bij smalle band random trillingen is de beoordelingsgrondslag de effectieve waarde in de smalle band; deze dient kleiner te zijn dan de toelaatbare effectieve waarde bij de desbetreffende frequentie.

1d) bij breedbandige random trillingen in de beoordelingsgrondslag de wortel uit de som van de kwadraten van de effectieve waarde in verschillende frequentiebanden, $\sqrt{\Sigma\ (x_{eff})^2}$, waarbij de effectieve waarde x_{eff} gewogenis naar de toelaatbare waarde bij de desbetreffende frequentie. De beoordelingsgrondslag dient kleiner te zijn dan 1.

1e) kortdurende trillingen zijn niet goed te beoordelen.

2) Specificaties gebaseerd op harmonische excitatie:

2a) bij harmonische signalen is de beoordelingsgrondslag de amplitude; deze dient kleiner te zijn dan de toelaatbare amplitude bij de desbetreffende frequentie.

2b) bij periodieke signalen is de beoordelingsgrondslag de som van de amplituden, gewogen naar de toelaatbare waarde bij de desbetreffende frequentie. De beoordelingsgrondslag moet kleiner zijn dan 1.

2c) bij smalle band random trillingen is de beoordelingsgrondslag de effectieve waarde in de smalle band; deze dient kleiner te zijn dan 1/4 a 1/5 van de toelaatbare amplitude bij de desbetreffende frequentie.

2d) bij breedbandige random trillingen in de beoordelingsgrondslag de wortel uit de som van de kwadraten van de effectieve waarde in verschillende frequentiebanden, $\sqrt{\Sigma (x_{eff})^2}$, waarbij de effectieve waarde x_{eff} gewogenis naar de toelaatbare waarde bij de desbetreffende frequentie. De waarde van de beoordelingsgrondslag moet kleiner zijn dan 1/4 a 1/5.

2e) Aanbevolen wordt aan te houden dat de topwaarde van een kortdurend trillingsverschijnsel kleiner is dan de toelaatbare amplitude bij de dominante frequentie.

Deze regels voor de interpretatie zijn in hoofdstuk 8 in de vorm van een voorstel voor de tekst van een richtlijn gepresenteerd. In bijlage 3 (Meetgegevens) zijn enkele resultaten van metingen op deze wijze vergeleken met de specificaties van enkele apparaten.

8. VOORSTEL RICHTLIJN VOOR DE BEOORDELING VAN MEETRESULTATEN

8.1 Algemeen

In dit hoofdstuk is een voorstel geformuleerd voor de wijze waarop de resultaten van trillingsmetingen kunnen worden beoordeeld op basis van door fabrikant of leverancier verstrekte specificaties. Tevens is in dit voorstel ingegaan op de beoordeling van zaken, die vaak niet expliciet in de specificaties zijn vermeld, zoals bijvoorbeeld de beoordeling van signalen met meerdere frequenties of van breedbandige random signalen. De tekst van dit hoofdstuk is zoveel mogelijk geformuleerd als 'richtlijn'.

Bij de beoordeling van trillingen moet onderscheid worden gemaakt in de wijze waarop de grenswaarden voor de desbetreffende apparatuur zijn gegeven, zoals omschreven in 8.2, en in de aard van de trillingen, zoals omschreven in 8.3. De wijze waarop de specificaties kunnen worden geinterpreteerd is gegeven in 8.4 voor continue trillingen en in 8.5 voor kortdurende trillingen.

8.2 Soorten opgegeven grenswaarden

8.2.1 Algemeen

Grenswaarden kunnen zijn gegeven in de vorm van een toelaatbare trillingsterkte voor afzonderlijke frequenties (doorgaans bepaald op basis van een sinus-sweep) of als een toelaatbare trillingsterkte voor een frequentie-interval gezamenlijk of als een combinatie van beide vormen.

8.2.2 Eisen aan afzonderlijke frequenties

De toelaatbare trillingsterkte kan zijn aangegeven in de vorm van de amplitude of effectieve-waarde van een trillingsgrootheid bij afzonderlijke frequenties van de trilling of voor alle frequenties in een bepaald frequentie-interval.

Opmerking: Meestal is de gevoeligheid van de apparatuur in dit geval onderzocht door het functioneren van de apparatuur bij discrete frequenties te testen, of bij een trilling met continue oplopende op dalende frequentie (sweep).

Voorbeeld: In specificaties kan zijn vermeld:

"
De amplitude van de trilling mag de volgende waarden niet overschrijden:

$5 < f < 15$ Hz: 25 μm

$15 < f < 100$ Hz: 0,2 m/s^2

"

In dit geval is sprake van een eis aan afzonderlijke frequenties binnen het interval van 5 tot 15 Hz en van 15 tot 100 Hz.

8.2.3 Eisen aan de trillingsterkte per frequentie-interval

De toelaatbare trillingsterkte kan zijn aangegeven in de vorm van een effectieve-waarde van een trillingsgrootheid in een frequentie-interval.

Opmerking: Meestal is de gevoeligheid van de apparatuur in dit geval onderzocht door het functioneren van de apparatuur bij trillingen met een random karakter te testen.

Opmerking: De bedoelde frequentie-intervallen kunnen zijn octaafbanden, 1/3 octaafbanden en dergelijke. Bij de criteria moet zijn aangegeven welk frequentie-interval bedoeld is. Voor een overzicht van de genormaliseerde octaafbanden en 1/3 octaafbanden wordt verwezen naar bijlage 2.

Voorbeeld: Stel, in een specificatie is vermeld dat in de 1/3 octaafbanden tussen 2 en 63 Hz het trillingsniveau niet hoger mag zijn dan 0.1 m/s^2 (RMS). In dit geval is sprake van een eis aan een aantal frequentie-intervallen waarbij in elk interval de RMS waarde (= effectieve waarde) van de versnelling kleiner moet zijn dan 0.1 m/s^2.

8.3 Classificatie van trillingen

8.3.1 Algemeen

Trillingen worden onderscheiden in continue trillingen (zie 8.3.2) en in kortdurende trillingen (zie 8.3.3).

8.3.2 Continue trillingen

Onder continue trillingen worden verstaan trillingen die ten opzichte van de laagste eigenfrequenties die in de apparatuur voorkomen gedurende een lange tijd aanwezig zijn. Continue trillingen kunnen zijn harmonische trillingen, periodieke trillingen of random trillingen. Continue trillingen kunnen stationair zijn of niet-stationair.

Voorbeelden van continue trillingen zijn trillingen opgewekt door machines met roterende onderdelen, achtergrond-trillingen, trillingen door verkeer, wind en dergelijke.

8.3.3 Kortdurende trillingen

Onder kortdurende trillingen worden verstaan trillingen die in relatief korte tijd hun maximum waarde bereiken en daarna weer sterk afnemen. In het algemeen zijn kortdurende trillingen het gevolg van stootachtige belastingen. Kortdurende trillingen kunnen ook herhaald voorkomen; er is geen sprake van continue trillingen, indien telkens na een kortdurende trilling de rust-situatie terugkeert.

Voorbeelden van kortdurende trillingen zijn bijvoorbeeld trillingen ten gevolge van explosies, het lopen over vloeren, heiwerkzaamheden en dergelijke.

8.4 Toepassing van grenswaarden bij continue trillingen

8.4.1 Algemeen

Indien de grenswaarden zijn geformuleerd per frequentie (zie 8.2.2) dient te worden voldaan aan 8.4.2. Indien de grenswaarden zijn geformuleerd per frequentie-interval (zie 8.2.3) dient te worden voldaan aan 8.4.3. Bij een combinatie van deze eisen wordt aanbevolen beide eisen te toetsen en te voldoen aan de strengste eis.

8.4.2. Eisen aan afzonderlijke frequenties

8.4.2.1 Algemeen

Aanbevolen worden onderscheid te maken in het type continue trilling waarbij voldaan moet worden aan 8.4.2.1 tot en met 8.4.2.6.

8.4.2.2 Harmonisch

De gemeten amplitude van de trilling dient kleiner te zijn dan de volgens 8.2.2 gegeven toelaatbare amplitude.

Opmerking: indien de grenswaarde in 8.2.2 gegeven is als effectieve waarde of tweemaal de amplitude (zgn. 'double amplitude' of 'peak-peak') geldt de eis voor de effectieve waarde resp. tweemaal de amplitude. De effectieve waarde wordt gevonden door de amplitude te vermenigvuldigen met 0.707.

8.4.2.3 Periodiek

De periodieke trilling is opgebouwd uit frequentie-componenten met bijbehorende amplituden. De gemeten amplitude van elke frequentie dient in ieder geval kleiner te zijn dan de in 8.2.2 gegeven toelaatbare amplitude bij de desbetreffende frequentie.

Als veilige benadering voor de cumulerende effecten van verschillende frequenties dient te worden aangehouden dat de som van de gemeten amplituden van de verschillende frequentie-componenten, elk gewogen naar de bij de desbetreffende frequentie toelaatbare amplitude volgens 8.2.2, kleiner is dan 1.

8.4.2.4 Stochastische trilling

Als veilige benadering voor de cumulerende effecten van verschillende frequenties dient te worden aangehouden dat de som van het kwadraat van de gemeten effectieve waarden van de verschillende frequentie-componenten, elk gewogen naar de bij de desbetreffende frequentie toelaatbare amplitude volgens 8.2.2, kleiner is dan 1/5.

8.4.3. Eisen per frequentie-interval

8.4.3.1 Algemeen

Voor continue trillingen moet worden voldaan aan het gestelde in 8.4.3.2 en 8.4.3.3. Er behoeft voor de beoordeling geen onderscheid te worden gemaakt in het type continue trilling.

8.4.3.2 Eis in het gespecificieerde interval

In het gespecificeerde frequentie-interval dient de gemeten effectieve waarde kleiner te zijn dan de volgens 8.2.3 gegeven effectieve waarde.

Opmerking: indien de grenswaarde in 8.2.3 gegeven is als amplitude of tweemaal de amplitude (zgn. 'double amplitude' of 'peak-peak') geldt de eis voor de amplitude resp. tweemaal de amplitude. De amplitude wordt gevonden door de effectieve waarde te delen door 0.707

8.4.3.3 Eis aan meerdere frequentie-intervallen

Indien in meerdere frequentie-intervallen moet worden voldaan aan 8.4.3.2, dient ook te worden nagegaan of de combinatie van de intensiteiten in verschillende frequentie-intervallen toelaatbaar is.

Opmerking: over de wijze waarop deze verificatie moet worden uitgevoerd wordt in de meeste specificaties geen duidelijke informatie verschaft.

Als veilige benadering voor de cumulerende effecten van verschillende frequenties kan worden aangehouden dat de wortel uit de som van de kwadraten van de effectieve waarden van de verschillende frequentie-intervallen, elk gewogen naar de bij het desbetreffende interval toelaatbare effectieve waarde volgens 8.4.2, kleiner is dan 1.

8.4.4 Combinatie van eisen

In geval van een combinatie van eisen volgens 8.2.2 en 8.2.3 dienen zij afzonderlijk volgens 8.4.2 en 8.4.3 te worden geevalueerd, waarbij de strengste eis moet worden aangehouden.

8.5 Toepassing van grenswaarden bij kortdurende trillingen

8.5.1 Algemeen

Indien de grenswaarden zijn geformuleerd per frequentie overeenkomstig 8.2.2 dient te worden voldaan aan 8.5.2. Indien de grenswaarden zijn geformuleerd per frequentie-interval valt omtrent kortdurende trillingen geen oordeel te geven.

8.5.2. Eisen aan afzonderlijke frequenties

8.5.2.1 Algemeen

Voor kortdurende trillingen moet worden voldaan aan het gestelde in 8.5.2.2 en 8.5.2.3.

8.5.2.2 Eis aan de topwaarde van de trillingsgrootheid

De topwaarde van de trilling dient kleiner te zijn dan de volgens 8.2.2 gegeven toelaatbare amplitude bij de dominante trillingsfrequentie.

8.5.2.3. Eis aan de amplitude van afzonderlijke frequenties

De kortdurende trilling mag met behulp van Fourier reeks worden opgebouwd uit een sommatie van een groot aantal frequentie-componenten met bijbehorende amplituden. De amplitude van elke frequentie dient kleiner te zijn dan de in 8.2.2 gegeven toelaatbare amplitude bij de desbetreffende frequentie.

Opmerking: ten behoeve van de toepassing van een Fourier reeksontwikkeling op een kortdurende trilling mag worden aangenomen, dat de trilling zich met een periode gelijk aan ten minste de duur van het trillingsverschijnsel herhaalt. Als frequentiecomponent mag worden beschouwd een interval van ten hoogste 1 Hz.

Als veilige benadering voor de cumulerende effecten van verschillende frequenties dient te worden aangehouden dat de som van de amplituden van de verschillende frequentie-componenten, elk gewogen naar de bij de desbetreffende frequentie toelaatbare amplitude volgens 8.2.2, kleiner is dan 1.

9. CONCLUSIES

Voor het goed functioneren van apparatuur ten behoeve van microprocessen, of anderszins van apparatuur die gevoelig is voor trillingen, is van belang in welke mate trillingen in de ondersteunende bouwconstructie voorkomen.

Indien de apparatuur gevoelig is voor trillingen worden doorgaans specificaties door de fabrikant of leverancier van de apparatuur verstrekt, op basis waarvan nagegaan zou moeten kunnen worden of de apparatuur op een bepaalde plaats kan werken.

Dergelijke specificaties zijn meestal opgesteld door het uitvoeren van trillingsproeven op de apparatuur of soms op basis van een theoretische analyse. Een groot aantal van dergelijke specificaties is verzameld en bestudeerd. Enkele voorbeelden zijn in dit rapport gegeven. Verder zijn niet-apparatuur gebonden specificaties verzameld, zoals deze door bekende adviesbureaus in de trillingstechniek worden gehanteerd.

We hebben in dit rapport geconstateerd dat op de specificaties van apparatuur het nodige valt aan te merken. Vaak blijken de specificaties niet compleet of eenduidig, zodat zij geen goede basis vormen waaraan resultaten van trillingsmetingen kunnen worden getoetst. Over de wijze waarop de specificaties bij voorkeur zouden moeten worden gepresenteerd zijn in hoofdstuk 7 aanbevelingen gedaan. Ten aanzien van procedures voor het onderzoeken van de trillingsgevoeligheid door middel van shock en sinusvormige of random trillingsbelasting wordt verwezen naar IEC publicaties [8-13].

Voorts is op basis van de bestudeerde specificaties in hoofdstuk 8 een voorstel opgesteld, waarmee resultaten van trillingsmetingen aan door de leverancier of fabrikant opgestelde specificaties kunnen worden getoetst. Hiermee is beoogd een procedure te geven opdat - ondanks de veel voorkomende onvolkomenheden in de specificaties - een verantwoorde toetsing kan plaatsvinden.

REFERENTIES

[1] TNO-Bouw rapport B-90-822 "Trillingscriteria m.b.t. schade aan gebouwen", Rijswijk ZH, 1991.

[2] TNO-Bouw rapport B-91-151 "Hinder ten gevolge van trillingen voor mensen in gebouwen", Rijswijk ZH, 1991

[3] NEN-ISO 8569:1990 "Mechanische trillingen - Schok en trillingsgevoelige electronische apparatuur - meetmethoden en presentatie van meetresultaten van de effecten van trillingen en schokken in gebouwen".

[4] E.E. Ungar, D.H. Sturz, C.H. Amick, "Vibration Control Design of High Technology Facilities", Sound and Vibration, July 1990.

[5] ISO 2631-1:1990 "Mechanische trillingen - beoordeling van de invloed van trillingen op het menselijk lichaam - deel 1: Algemene eisen".

[6] NEN-ISO 2631-2:1990 "Mechanische trillingen - beoordeling van de invloed van trillingen op het menselijk lichaam - deel 2: voortdurende en door schok veroorzaakte trillingen in gebouwen (1 tot 80 Hz)".

[7] C.A.J. Rasenberg, "Conversion of FHA Vibration Criteria into criteria valid for measurements using B&K 2515 Vibration Analyzer", Philips Building Design and Engineering AIB, Study Report AIB 380299, Eindhoven, January 1991.

[8] IEC 68-2-27:1987 'Basic environmental testing procedures - Part 2: Tests - Test Ea and guidance: Shock'

[9] IEC 68-2-6:1982 'Basic environmental testing procedures - Part 2: Tests - Test Ec and guidance: Vibration (sinusoidal)' incl. Amendment No. 1 (1983), Amendment No. 2 (1985)

[10] IEC 68-2-34:1973 'Basic environmental testing procedures - Part 2: Tests - Test Fd: Random vibration wide band - General requirements' (Amendment No. 1, 1983)

[11] IEC 68-2-35:1973 'Basic environmental testing procedures - Part 2: Tests - Test Fda: Random vibration wide band - Reproduceability High' (Amendment No. 1, 1983)

[12] IEC 68-2-36:1973 'Basic environmental testing procedures - Part 2: Tests - Test Fdb: Random vibration wide band - Reproduceability Medium' (Amendment No. 1, 1983)

[13] IEC 68-2-37:1973 'Basic environmental testing procedures - Part 2: Tests - Test Fdc: Random vibration wide band - Reproduceability Low' (Amendment No. 1, 1983)

[14] BS 6841:1987 "British Standard Guide to Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock"

[15] BS 6472:1984 "British Standard Guide to Evaluation of human exposure to vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)"

[16] ANSI S3.29-1983 (ASA 68-1983) "Guide to the evaluation of human exposure to vibration in buildings" (American National Standard)

[17] DIN 4150 Teil 2:1975 (Vornorm) "Erschütterungen im Bauwesen - Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden"

[18] DIN 4150 Teil 2:1986 (Entwurf) "Erschütterungen im Bauwesen - Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden"

[19] DIN 4150 Teil 2:1992 "Erschütterungen im Bauwesen - Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden"

BIJLAGE 1 - Overzicht eisen van fabrikanten

. CD-MASTER EN LB-RECORDER

VIBRATION CRITERIA FOR CD–MASTER

Valid for 1/3–octave band analysis.

VIBRATION CRITERIA FOR CD–MASTER

Valid for 1/3–octave band analysis.

VIBRATION CRITERIA FOR LB–RECORDER

Valid for 1/3–octave band analysis.

VIBRATION CRITERIA FOR LB–RECORDER

Valid for 1/3–octave band analysis.

. WAFER STEPPERS (CGA DSW 6000, ASET 5X

VIBRATION CRITERIA FOR DSW 6000 STEPPER

For high mass tabel,using 23% analysis

VIBRATION CRITERIA FOR DSW 6000 STEPPER

For low height tabel,using 23% analysis

VIBRATION CRITERIA FOR DSW 6000 STEPPER

For standard tabel, using 23% analysis.

VIBRATION SPECIFICATION FOR STEPPER ASET 5X

Valid for 1/3−oct. band analysis, accuracy= 0.025 μm (from TABLE 2c).

VIBRATION SPECIFICATION FOR STEPPER ASET 5X

Valid for 1/3−oct. band analysis, accuracy= 0.05 μm (from TABLE 2b).

VIBRATION SPECIFICATION FOR STEPPER ASET 5X

Valid for 1/3−oct. band analysis, accuracy= 0.1 μm (from TABLE 2a).

. ELECTRON BEAM PATTERN GENERATOR (EPBG 4 EN EPBG 5)

FLOOR VIBRATION CRETERIA FOR EBPG−4 and EBPG−5

Valid for 1/3−octave band analysis

VIBRATION SPECIFICATION FOR E−BEAM ATEQ.

Valid for 1/3−octave band analysis.

VIBRATION SPECIFICATION FOR E–BEAM ATEQ.

Valid for 1/3–octave band analysis.

. ELECTRONEN MICROSCOPEN (PHILIPS SEM, CM)

VIBRATION CONDITIONS FOR PHILIPS XL's.

Valid for 1/3 octave band analysis.

VIBRATION CONDITIONS FOR PHILIPS SEM's.

Valid for 1/3−octave band analysis.

VIBRATION CONDITIONS FOR PHILIPS CM's.

Valid for 1/3−octave band analysis.

. MEETAPPARATUUR (ZEISS, MICRION, VGA, JEOL)

VIBRATION CRITERIA, ZEISS MC–STANDARD.

Valid for 1/3–octave band analysis

VIBRATION CRITERIA, ZEISS MC–ISOLATED.

Valid for 1/3–octave band analysis

VIBRATION CRITERIA FOR ZEISS UMC + UPMC

Valid for 1/3–octave band analysis

VIBRATION SPECIFICATION FOR MICRION.

Valid for 1/3−oct. band analysis.

VIBRATION SPECIFICATION FOR MICRION.

Valid for 1/3−oct. band analysis.

JEOL TYPEN 70−250S en 70−250SE.

Trillingsspecificatie geldig voor 23%'s analyse.

JEOL JMS-SX102 en JMS-DX303.

Trillingsspecificatie geldig voor 23%'s analyse.

. DISK-DRIVES (NEC, PRIME, DIGITAL)

VIBRATION CRITERIA FOR DISKDRIVES.

Valid for 23% – analysis.

VIBRATION CRITERIA FOR DISKDRIVES.

Valid for 23% – analysis.

BIJLAGE 2 - BBN en FHA VIBRATION CRITERIA

VIBRATIONCRITERIA ACCORDING TO B.B.N.

Amplitudes R.M.S., HANNING WEIGHTED.

VIBRATIONCRITERIA ACCORDING TO B.B.N.

Amplitudes R.M.S., HANNING WEIGHTED.

VIBRATIONCRITERIA ACCORDING TO B.B.N.

Amplitudes R.M.S., HANNING WEIGHTED.

FHACULHA

CONVERTED FHA–CURVES

For 1/3–octafb. anal.,Hann. Weighted.

FHACULHV

CONVERTED FHA–CURVES

For 1/3–octafb. anal.,Hann.Weighted.

FHACULHD

CONVERTED FHA–CURVES

For 1/3–octafb. anal.,Hann.Weighted.

BIJLAGE 3.1 - METINGEN IN GEBOUWEN MET MICROPROCESSEN

Beschrijving uitgevoerde metingen

De metingen zijn uitgevoerd met de hieronder aangegeven meetapparatuur en instellingen:

- trillingsanalysator (fabrikaat Bruel & Kjaer, type 2515)
- versnellingsopnemer (fabrikaat Bruel & Kjaer, type 4378)
- recorder (fabrikaat Bruel & Kjaer, type 2306)

De meetresultaten zijn verwerkt op de PC, gebruik makend van een spreadsheet programma (LOTUS-1,2,3).

Opmerkingen:
- de instellingen zijn afhankelijk van eventueel voorkomende overload;
- alle metingen zijn uitgevoerd met een high-pass filtering op 3 Hz;
- alle metingen zijn uitgevoerd als versnellingsmetingen, omdat de opnemers versnellingsopnemers zijn. Bovendien, wanneer in de input-module geintegreerd wordt naar snelheden en/of verplaatsingen dan kan hierdoor met name bij de lage frequenties een onnauwkeurigheid ontstaan.
- voor de metingen in de drie verschillende richtingen (vertikaal en twee onderling loodrechte horizontale richtingen) zijn drie identieke opnemers gebruikt. Via een schakelkastje tussen opnemer en ingang van de trillingsanalysator werden de signalen van de opnemers beurtelings ingevoerd, waarna de meetresultaten werden opgeslagen in het geheugen.
- alle metingen uitgevoerd volgens de aangeduide meterinstellingen geven de trillingsterkte als RMS en zijn met een Hanning-window gewogen. Dit laatste betekent dat de bandbreedte waarvoor wordt gemeten 1,5 maal zo groot is als de gedefinieerde bandbreedte. De meetresultaten geven maximaal $\sqrt{1,5}$ maal hogere RMS-waarden aan dan in werkelijkheid voorkomen.

verwerking meetresultaten

Alle meetresultaten zijn met een PC-verwerkingsprogramma via een spreadsheet bewerkt tot snelheden en verplaatsingen.

presentatie meetresultaten

Hierna zijn de meetresultaten gepresenteerd. De ongunstigste resultaten, namelijk van gebouw 2, zijn vergeleken met de criteria volgens BBN en FHA en met de specificaties van enkele apparaten.

BIJLAGE 3.2 - MEETRESULTATEN

COMPARISON OF RESULTS OF VIBRATION MEASUREMENTS EXECUTED IN FOUR DIFFERENT BUILDINGS IN USE FOR HIGH TECHNOLOGY ACTIVITIES.

VIBRATION MEASUREMENTS DONE AS 1/3-OCTAVE BAND ANALYSIS.

Measured are amplitudes of acceleration RMS.

		BUILDING 1, meas. d.d. 21-11-1989			BUILDING 2, meas. d.d. 23-11-1989			BUILDING 3, meas. d.d. 04-01-1990			BUILDING 4. meas. d.d. 17-02-1988		
MEASURING DIRECTION	MID-FREQUENCY of 1/3-OCTAVE BAND in Hz.	ACCELERATION in 10E-6 m/sE2	VELOCITY in 10E-6 m/s	DISPLACEMENT in 10E-6 m	ACCELERATION in 10E-6 m/sE2	VELOCITY in 10E-6 m/s	DISPLACEMENT in 10E-6 m	ACCELERATION in 10E-6 m/sE2	VELOCITY in 10E-6 m/s	DISPLACEMENT in 10E-6 m	ACCELERATION in 10E-6 m/sE2	VELOCITY in 10E-6 m/s	DISPLACEMENT in 10E-6 m
VERTICAL	2.50	262.80	16.74	1.07	289.30	18.43	1.17	319.00	20.32	1.29	335.00	21.34	1.36
	3.15	312.30	15.79	0.80	297.10	15.02	0.76	376.70	19.04	0.96	342.00	17.29	0.87
	4.00	319.70	12.73	0.51	309.10	12.30	0.49	319.00	12.70	0.51	375.00	14.93	0.59
	5.00	293.40	9.34	0.30	325.40	10.36	0.33	314.30	10.01	0.32	289.00	9.20	0.29
	6.30	287.00	7.25	0.18	275.80	6.97	0.18	323.40	8.17	0.21	300.00	7.58	0.19
	8.00	293.40	5.84	0.12	302.20	6.02	0.12	341.80	6.80	0.14	289.00	5.75	0.11
	10.00	262.10	4.17	0.07	302.50	4.82	0.08	254.80	4.06	0.06	292.00	4.65	0.07
	12.50	317.00	4.04	0.05	300.70	3.83	0.05	268.10	3.42	0.04	274.00	3.49	0.04
	16.00	409.50	4.08	0.04	299.80	2.98	0.03	265.00	2.64	0.03	253.00	2.52	0.03
	20.00	426.00	3.39	0.03	277.40	2.21	0.02	265.90	2.12	0.02	885.00	7.05	0.06
	25.00	1740.00	11.08	0.07	322.50	2.05	0.01	299.10	1.91	0.01	524.00	3.34	0.02
	31.50	398.70	2.02	0.01	250.50	1.27	0.01	258.80	1.31	0.01	344.00	1.74	0.01
	40.00	419.90	1.67	0.01	287.70	1.15	0.00	305.30	1.22	0.00	273.00	1.09	0.00
	50.00	3480.00	11.08	0.04	3132.00	9.97	0.03	635.20	2.02	0.01	481.00	1.53	0.00
	63.00	332.50	0.84	0.00	289.20	0.73	0.00	485.30	1.23	0.00	302.00	0.76	0.00
	TOTALS 5-50Hz.	4030.65	22.10	0.39	3268.18	18.72	0.41	1118.50	16.24	0.41	1401.22	16.82	0.38
HORIZONTAL 1.	2.50	391.20	24.92	1.59	1012.00	64.46	4.11	539.70	34.38	2.19	318.00	20.25	1.29
	3.15	431.70	21.82	1.10	1229.00	62.13	3.14	768.00	38.82	1.96	290.00	14.66	0.74
	4.00	352.80	14.04	0.56	779.40	31.03	1.24	623.40	24.82	0.99	292.00	11.62	0.46
	5.00	368.90	11.75	0.37	550.70	17.54	0.56	551.50	17.56	0.56	287.00	9.14	0.29
	6.30	416.80	10.53	0.27	520.40	13.15	0.33	336.30	8.50	0.21	313.00	7.91	0.20
	8.00	378.80	7.54	0.15	418.30	8.33	0.17	348.50	6.94	0.14	287.00	5.71	0.11
	10.00	265.00	4.22	0.07	606.00	9.65	0.15	275.80	4.39	0.07	294.00	4.68	0.07
	12.50	312.40	3.98	0.05	461.80	5.88	0.07	278.70	3.55	0.05	273.00	3.48	0.04
	16.00	279.80	2.78	0.03	417.60	4.16	0.04	303.00	3.02	0.03	276.00	2.75	0.03
	20.00	296.80	2.36	0.02	335.00	2.67	0.02	303.00	2.41	0.02	280.00	2.23	0.02
	25.00	373.90	2.38	0.02	369.20	2.35	0.01	240.80	1.53	0.01	258.00	1.64	0.01
	31.50	262.40	1.33	0.01	231.30	1.17	0.01	275.80	1.39	0.01	251.00	1.27	0.01
	40.00	277.40	1.10	0.00	270.20	1.08	0.00	275.30	1.10	0.00	297.00	1.18	0.00
	50.00	901.40	2.87	0.01	554.90	1.77	0.01	303.30	0.97	0.00	259.00	0.82	0.00
	63.00	259.70	0.66	0.00	267.20	0.68	0.00	306.00	0.77	0.00	234.00	0.59	0.00
	TOTALS 5-50Hz.	1373.18	19.23	0.49	1478.82	26.71	0.69	1085.31	21.96	0.62	929.03	15.22	0.38
HORIZONTAL 2.	2.50	1714.00	109.17	6.95	762.60	48.57	3.09	324.40	20.66	1.32	617.00	39.30	2.50
	3.15	1918.00	96.96	4.90	708.40	35.81	1.81	297.10	15.02	0.76	721.00	36.45	1.84
	4.00	417.30	16.61	0.66	676.90	26.95	1.07	290.10	11.55	0.46	615.00	24.48	0.97
	5.00	364.80	11.62	0.37	741.60	23.62	0.75	324.40	10.33	0.33	510.00	16.24	0.52
	6.30	476.50	12.04	0.30	573.80	14.50	0.37	267.70	6.77	0.17	501.00	12.66	0.32
	8.00	843.90	16.80	0.33	736.00	14.65	0.29	282.00	5.61	0.11	349.00	6.95	0.14
	10.00	446.50	7.11	0.11	606.80	9.66	0.15	349.80	5.57	0.09	330.00	5.25	0.08
	12.50	303.50	3.87	0.05	362.90	4.62	0.06	293.30	3.74	0.05	286.00	3.64	0.05
	16.00	299.80	2.98	0.03	276.60	2.75	0.03	250.20	2.49	0.02	211.00	2.10	0.02
	20.00	301.80	2.40	0.02	265.00	2.11	0.02	294.10	2.34	0.02	265.00	2.11	0.02
	25.00	330.80	2.11	0.01	389.70	2.48	0.02	283.20	1.80	0.01	272.00	1.73	0.01
	31.50	264.80	1.34	0.01	260.70	1.32	0.01	271.50	1.37	0.01	274.00	1.39	0.01
	40.00	288.40	1.15	0.00	235.90	0.94	0.00	278.30	1.11	0.00	371.00	1.48	0.01
	50.00	933.40	2.97	0.01	618.90	1.97	0.01	327.90	1.04	0.00	292.00	0.93	0.00
	63.00	282.30	0.71	0.00	264.60	0.67	0.00	273.60	0.69	0.00	267.00	0.67	0.00
	TOTALS 5-50Hz.	1636.67	25.67	0.60	1651.08	33.50	0.90	976.11	15.75	0.40	1144.69	23.02	0.63
TOTALS 5-50Hz. HOR.+VERT.		4561.85	38.95	0.87	3948.92	46.75	1.21	1838.95	31.53	0.85	2033.92	32.32	0.83

File: BU1234ME.WK3

COMPARISON OF MEASURING RESULTS IN 4 HIGH TECH. BUILDINGS.

Result of 1/3−octafband analysis, vertical

COMPARISON OF MEASURING RESULTS IN 4 HIGH TECH. BUILDINGS.

Result of 1/3−octafband analysis, vertical

COMPARISON OF MEASURING RESULTS IN 4 HIGH TECH. BUILDINGS.

Result of 1/3−octafband analysis, vertical

COMPARISON OF MEASURING RESULTS IN 4 HIGH TECH. BUILDINGS.

Result of 1/3−octafband analysis, hor.1.

COMPARISON OF MEASURING RESULTS IN 4 HIGH TECH. BUILDINGS.

Result of 1/3−octafband analysis, hor.1.

COMPARISON OF MEASURING RESULTS IN 4 HIGH TECH. BUILDINGS.
Result of 1/3−octafband analysis, hor.1.

COMPARISON OF MEASURING RESULTS IN 4 HIGH TECH. BUILDINGS.
Result of 1/3−octafband analysis, hor.2.

COMPARISON OF MEASURING RESULTS IN 4 HIGH TECH. BUILDINGS.

Result of 1/3−octafband analysis, hor.2.

COMPARISON OF MEASURING RESULTS IN 4 HIGH TECH. BUILDINGS.
Result of 1/3−octafband analysis, hor.2.

BIJLAGE 3.3 - VERGELIJKING MEETRESULTATEN MET BBN EN FHA-CRITERIA

COMPARISON OF MEASURING RESULTS BUILDING 2 WITH BBN–CURVE D.
Valid for 1/3–octave band analysis, HANNING WEIGHTED.

COMPARISON OF MEASURING RESULTS BUILDING 2 WITH FHA–CURVE A.
Valid for 1/3–octave band analysis, HANNING WEIGHTED.

BIJLAGE 3.4 - VERGELIJKING MEETRESULTATEN MET APPARATUUR SPECIFICATIES

COMPARISON OF MEASURING RESULTS BUILDING 2 WITH SPEC'S ELECTRON BEAM PATTERN GENERATORS EBPG 4 and 5.

Valid for 1/3–octave band analysis and vibrations in vertical direction.

COMPARISON OF MEASURING RESULTS BUILDING 2 WITH SPEC'S ELECTRON BEAM PATTERN GENERATORS EBPG 4 and 5.

Valid for 1/3−octave band analysis and vibrations in horizontal direction.

COMPARISON OF MEASURING RESULTS BUILDING 2 WITH SPECIFICATIONS OF CD–MASTER and LB–RECORDER

Valid for 1/3–octave band analysis.

COMPARISON OF MEASURING RESULT BUILDING 2 WITH VIBRATION CRITERIA FOR ZEISS MEASURING EQUIPMENT.
Valid for 1/3−octave band analysis, VERTICAL.

COMPARISON OF MEASURING RESULT BUILDING 2 WITH VIBRATION CRITERIA FOR ZEISS MEASURING EQUIPMENT.

Valid for 1/3–octave band analysis, HORIZONTAL 1

COMPARISON OF MEASURING RESULT BUILDING 2 WITH VIBRATION CRITERIA FOR ZEISS MEASURING EQUIPMENT.
Valid for 1/3−octave band analysis, HORIZONTAL 2.

COMPARISON OF MEASURING RESULTS BUILDING 2 WITH SPECIFICATIONS FOR DISKDRIVES FOR PC's.

Valid for 1/3−octave band analysis, over the frequencyrange 2.5 − 63 Hz.

BIJLAGE 4 - JURIDISCHE STATUS VAN SPECIFICATIES

De juridische status van specificaties

Mr. L.G. Kok

In deze bijlage is de volgende probleemstelling nader uitgewerkt:
"Wat zijn de juridische mogelijkheden indien apparatuur, met bijgeleverde technische gegevens, niet goed blijkt te functioneren en eventueel daarnaast nog andere schade veroorzaakt?"

Binnen deze probleemstelling zijn er twee mogelijkheden:
- men heeft zich gehouden aan de technische gegevens;
- men is buiten het gebied van de technische gegevens getreden.

De juridische mogelijkheden bestaan uit de EEG-richtlijn voor productaansprakelijheid, de verborgen gebreken regeling, beroep op wanprestatie en dwaling.
Hieraan voorafgaand kan men zich de vraag stellen of deze technische gegevens gezien kunnen worden als een garantie van de verkoper. Over het algemeen worden garanties in algemene bewoordingen gesteld; de verkoper garandeert dat het gekochte binnen een bepaalde tijd gerepareerd en/of vervangen zal worden als het niet aan de eisen voldoet.
De technische gegevens kunnen niet als garantie worden gezien, maar meer als een beperking van de garantie. Indien men zich niet aan de technische gegevens houdt en een beroep doet op de garantievoorwaarden, dan zal men al gauw van de verkoper tegengeworpen krijgen dat hier sprake is van eigen schuld.
Een echte garantie is bijvoorbeeld dat de verkoper verklaart dat een product geschikt is voor een bepaald gebruik. Blijkt in de praktijk dat het product voor dit gebruik ongeschikt is, dan kan men met succes schadevergoeding eisen.

De koper kan tengevolge van het niet-goed functioneren van het gekochte twee soorten schade lijden:

- vervangingsschade: de waarde van de oorspronkelijke prestatie, d.w.z. vergoeding van de waarde van het oorspronkelijke product, indien dit niet meer geleverd kan worden;

- vertragingsschade: alle schade die hij tengevolge van het niet-goed functioneren lijdt.

Niet-goed functioneren en schade moeten tot elkaar staan als oorzaak en gevolg. Anders hoeft de schade niet vergoed te worden. De schadevergoedingsplicht wordt bovendien nog afhankelijk gesteld van de vraag welke gevolgen *naar redelijkheid* aan de aangesprokene toegerekend kunnen worden.

A. De EEG-richtlijn:
De schade die volgens de EEG-richtlijn (art 9) wordt vergoed, is de schade veroorzaakt door dood en letsel (zgn. persoonsschade) en beschadiging of vernietiging van een andere zaak dan het gebrekkige product (zgn. zaakschade) indien deze zaak gewoonlijk gebruikt wordt voor ge- of verbruik in de privé-sfeer. Apparatuur die zakelijk gebruikt wordt en kapot gaat en/of vertragingsschade veroorzaakt, valt dus niet onder deze richtlijn. Hierbij maakt het geen verschil of men zich aan de technische gegevens heeft gehouden.

B. De verborgen gebreken regeling:
Bij deze regeling moet men wel onderscheid maken of men zich aan de technische gegevens heeft gehouden. Bovendien moet men hierbij ook onderscheid maken tussen genuskoop en specieskoop, d.w.z. betreft het hier een naar de soort bepaalde zaak of is het een individueel bepaalde zaak.

De regeling houdt in dat de verkoper, volgens art. 1540 BW., gehouden is tot vrijwaring wegens de verborgen gebreken van het verkochte goed, die het ongeschikt maken tot het gebruik waartoe het bestemd is, of die dat gebruik in dier voege verminderen dat, indien de koper de gebreken gekend had, hij het goed, of in het geheel niet, of niet

dan voor een mindere prijs, zou hebben gekocht. De verkoper is niet gehouden in te staan voor zichtbare gebreken, welke de koper zelf had kunnen ontdekken (art. 1541). De verkoper moet echter wel instaan voor de gebreken die hij niet kende (art. 1542).
Indien de verkoper de gebreken van het goed heeft gekend, is hij behalve tot teruggave van de koopprijs ook verplicht tot vergoeding van alle kosten, schaden en interessen. Was de verkoper te goeder trouw, d.w.z. dat hij het gebrek niet kende noch behoorde te kennen, dan is hij verplicht tot restitutie van de koopprijs. Daarnaast is hij slechts gehouden tot vergoeding van de kosten op de koop en levering gevallen.
Indien de verkochte zaak tengevolge van verborgen gebreken is teniet gegaan, heeft de koper toch de beide hierboven genoemde acties. Gaat het goed door toeval of schuld van de koper, dan komt het verlies voor zijn rekening.

Genuskoop:
Genuskoop betreft zaken die identiek zijn en waarbij het de verkoper vrij staat de ene dan wel de andere zaak te leveren. Er is dus geen onderscheid te maken tussen de ene zaak en de ander.
Ten aanzien van de verborgen gebreken regeling heeft de Hoge Raad in zijn arrest van 16 mei 1952, NJ 1953, 159 beslist dat deze regeling in geval van genuskoop niet van toepassing is en dat er ook geen termen bestaan deze regeling analogisch op genuskoop toe te passen. De opvatting dat de verborgen gebreken regeling wel toepasselijk zou zijn indien de gehele soort een gebrek zou vertonen, is door de H.R. verworpen in zijn arrest van 3 april 1970, NJ 1970, 252. De actie uit verborgen gebreken speelt derhalve bij genuskoop geen rol.

Specieskoop:
Bij specieskoop betreft het zaken die wel onderling verschillend zijn en waarbij het de verkoper dus niet vrij staat een andere dan de gekochte zaak te leveren.
De verborgen gebreken regeling geldt dus alleen in geval van specieskoop. We moeten hier echter wel onderscheid maken tussen het

geval waarin de koper zich heeft gehouden aan de technisch gegevens en het geval waarin deze zich daar niet aan heeft gehouden.
Heeft men zich aan de technische gegevens gehouden en functioneert de apparatuur desondanks niet naar behoren en/of veroorzaakt het nog andere schade (zgn. vertragingsschade), dan kan de koper de verkoper aanspreken op grond van de verborgen gebreken regeling en de volledige schade vorderen, tenzij de verkoper te goeder trouw was. In geval van toepasselijheid van de verborgen gebreken regeling staat geen beroep op wanprestatie open (H.R. 27 juni 1941, NJ 1941, 781). Indien de verkoper te goeder trouw was, blijft in dat geval de koper het risico van de vertragingsschade dragen. In geval van een verborgen gebrek bij een specieskoop kan de koper echter wel een beroep doen op wanprestatie, indien de verkoper de aanwezigheid van een eigenschap of de afwezigheid van een verborgen gebrek heeft gegarandeerd (H.R. 10 mei 1963, NJ 1963, 288).
Is men buiten het gebied van de technische gegevens getreden, dan zal men in het algemeen geen beroep op de verborgen gebreken regeling kunnen doen, tenzij de verkoper gegarandeerd heeft dat de koper buiten het gebied van de technische gegevens kan treden.

C. Beroep op wanprestatie

Wanprestatie is de toerekenbare niet-nakoming van een verbintenis, d.w.z. dat de niet-nakoming te wijten is aan de verkoper en niet aan toeval of schuld van de koper.
Indien de niet-nakoming aan de verkoper wordt toegerekend, heeft de koper de keus uit de vogende mogelijkheden:

- hij kan nakoming vragen;
  de koper kan dus vragen om een vervangende zaak, die wel aan alle eisen voldoet en goed functioneert.
- hij kan nakoming plus schadevergoeding vragen;
  de koper kan vragen om een vervangende zaak en bovendien alle vertragingsschade door de verkoper laten vergoeden.

- hij kan alleen schadevergoeding vragen;
  dit is uiteraard alleen mogelijk voor wat betreft de vertragingsschade. Wie vervangingsschade vordert moet onomstotelijk te kennen geven dat hij van de oorspronkelijk prestatie afziet en dus ontbinding vragen, tenzij de wanprestatie nakoming onmogelijk heeft gemaakt dan behoort tot de de schadevergoeding ook vervangingsschade; het recht op nakoming is dan opgelost in dat op schadevergoeding.
- hij kan ontbinding vragen;
  de koper kan in rechte ontbinding van de overeenkomst vragen. Hij verliest daardoor zijn recht op nakoming (of op de schadevergoeding die daarvoor in de plaats zou treden), maar daartegenover staat dat hij van zijn kant wordt bevrijd van de verplichting om de contraprestatie (bijvoorbeeld betaling van het geleverde) te leveren en dat zijn banden met de verkoper voorgoed worden gestaakt.
- hij kan ontbinding met schadevergoeding vragen.
  hiervoor geldt hetzelfde als het bovenstaande, met als aanvulling dat de koper ook de vertragingsschade kan laten vergoeden.

Ingeval men binnen de technisch gegevens blijft, zal over het algemeen wel sprake zijn van toerekenbare niet-nakoming van de verbintenis van de verkoper. De verborgen gebreken regeling wordt gezien als een speciale regeling, die voorrang heeft boven de algemene regeling (wanprestatie). Indien dus het niet-goed functioneren gezien kan worden als een verborgen gebreken, dan moet men een beroep doen op de verborgen gebreken regeling en niet op wanprestatie.
In het geval men buiten het gebied van de technische gegevens is getreden, zal men geen beroep kunnen doen op wanprestatie, omdat het dan geen toerekenbare niet-nakoming van de verkoper is maar schuld van de koper, tenzij de verkoper het gebruik buiten het gebied van de technische gegevens had gegarandeerd.

In het NBW is er geen verschil meer tussen verborgen gebreken en wanprestatie. Er is o.a. sprake van wanprestatie, indien het gekochte niet de eigenschappen bezit welke de koper mocht verwachten. Ook het onderscheid tussen genuskoop en specieskoop wordt niet meer gemaakt. Daarnaast kan men ook nog een beroep doen op dwaling.

D. Beroep op dwaling

Dwaling is volgens art. 1358 aanwezig wanneer men heeft gewild en een verklaring heeft afgelegd in overeenstemming met die wil, maar die wil gederailleerd is doordat men zich een foute voorstelling heeft gemaakt over het voorwerp van de overeenkomst. Wil men met succes aan de rechter vernietiging op grond van dwaling vragen dan moet er sprake zijn van dwaling in de zelfstandigheid van de zaak (d.w.z. dat waar het in de overeenkomst om te doen is) en de dwaling moet kenbaar zijn geweest voor de tegenpartij. Kenbaarheid wil zeggen dat de tegenpartij geweten heeft of als normaal mens had behoren te weten waar het de ander om te doen was. Daarnaast dient de dwaling verschoonbaar te zijn, d.w.z. dat het beroep op dwaling dient te worden afgewezen wanneer de dwaling zo ongewoon dom was dat de wederpartij de houding van de dwaler niet au sérieux heeft kunnen nemen. De dwaling moet dus normaal zijn. De goede trouw kan immers meebrengen dat een gerechtigde zijn recht, gezien zijn eigen gedraging, niet mag hanteren. In deze zin kan dus een beroep op dwaling stranden doordat de wederpartij mag tegenwerpen: "u heeft de normale zorg, te weten dat men naar bepaalde omstandigheden een onderzoek instelt alvorens tot het sluiten van het contract over te gaan, veronachtzaamd; nu is het in strijd met de goede trouw u op uw dwaling te beroepen. De plicht om zelf een onderzoek in te stellen neemt echter niet weg dat men tot op zekere hoogte op de mededelingen van zijn wederpartij moet kunnen afgaan. Indien de koper zich zowel op wanprestatie als op dwaling kan beroepen, dan staat in beginsel een beroep op dwaling een actie uit wanprestatie niet in de weg (H.R. 5 februari 1932, NJ 1932, 399).

Indien men binnen de grenzen van de technische gegevens is gebleven, dan kan men een beroep doen op dwaling. Dit heeft echter alleen maar

zin, wanneer er geen schade is opgetreden. Dwaling ontbindt de overeenkomst, zodat men een niet-goed functionerende zaak kan teruggeven aan de verkoper en restitutie van de koopprijs (voorzover al betaald) ontvangt. Men kan op grond van dwaling geen andere schadevergoeding vragen.
Is men echter buiten de grenzen van de technische gegevens getreden, dan kan een beroep op dwaling alleen slagen indien men is afgegaan op de garantie van de verkoper dat dit mogelijk is. Ook hiervoor geldt natuurlijk het bovenstaande.

CONCLUSIE:
Een koper van een soortzaak, die schade heeft geleden en die binnen de gebied van de technische gegevens is gebleven, kan zich beroepen op wanprestatie en subsidiair op dwaling. Bij wanprestatie kan hij vergoeding van vervangings- en vertragingsschade eisen, bij een beroep op dwaling alleen vervangingsschade. Wil een beroep op dwaling slagen, dan moet de koper gedwaald hebben omtrent de eigenschappen van de gehele soort, d.w.z. dat alle zaken van die soort niet goed functioneren en niet alleen de door de koper gekochte zaak.
Indien de koper buiten het gebied van de technische gegevens is getreden, dan kan hij alleen met succes een beroep doen op wanprestatie dan wel dwaling, als de verkoper uitdrukkelijk gegarandeerd heeft dat dit mogelijk is.
Bij een specieskoop kan een koper alleen een beroep doen op de verborgen gebreken regeling en niet op wanprestatie, omdat de verborgen gebreken regeling als speciale regeling de algemene regeling (wanprestatie) opzij zet. Een beroep op dwaling is ook mogelijk. In het geval van een specieskoop kan de koper alleen de vervangingsschade vergoed krijgen. Ditzelfde geldt zowel voor het geval dat men binnen het gebied van de technische gegevens is gebleven als voor het geval dat men met uitdrukkelijke garantie van de verkoper hierbuiten is getreden.

REFERENTIES BIJ BIJLAGE 4:

[1] Pitlo, Het Nederlands Burgerlijk Wetboek, Deel 3, Gouda, 1979

[2] J. Hijma, M.M. Olthof, Compendium van het Nederlands vermogens recht, Deventer, 1984

[3] Van Zeben, Sterk, Arresten Burgerlijk Recht, Zwolle, 1984

[4] Schut, G.H.A., Productenaansprakelijkheid, Tjeenk-Willink, Zwolle, 1974

- Nieuwenhuis, J.H., Hoofdstukken Verbintenissenrecht, 3e druk, Kluwer, Deventer, 1986