

Normen en waarden

Welke trillingsniveaus zijn toelaatbaar?

67

Het waarnemen van trillingen

Trillingen neem je waar door:

- ▼ ze daadwerkelijk als zodanig te voelen
- ▼ door secundaire effecten als:
 - Contactgeluid / Laagfrequent geluid
 - Het rammelen van kopjes, ramen, kasten, etc.
 - Zichtbare effecten als:
 - Het trillen van de krant
 - Het bewegen van kamerplanten etc.

68

Voelbaarheid

trillingssnelheid v in mm/s	snelheidsniveau L_v in dB t.o.v. 10^{-9} m/s	voelbaarheid
< 0,1	< 100	niet voelbaar
0,10 - 0,25	100 - 108	nauwelijks voelbaar
0,25 - 0,63	108 - 116	voelbaar
0,63 - 1,60	116 - 124	goed voelbaar
1,60 - 4,00	124 - 132	sterk voelbaar
≥ 4	≥ 132	zeer sterk voelbaar

Hinderscore wegverkeer

maximale trillingssnelheid v_{\max} in mm/s	snelheidsniveau L_v in dB t.o.v. 10^{-9} m/s	hinderscore
< 0,1	< 100	geen hinder
0,1 - 0,2	100 - 106	weinig hinder
0,2 - 0,8	106 - 118	matige hinder
0,8 - 3,2	118 - 130	hinder
$\geq 3,2$	≥ 130	ernstige hinder

69

Richtlijnen

▼ Schade

▼ SBR-richtlijn A (2002)

‘Trillingen – Schade aan gebouwen. Meet- en beoordelingsrichtlijn’

▼ Gezondheidsaspecten

▼ Meetsystematiek volgens ISO 2631-1 / ISO 5349

▼ Grenswaarden volgens EU-richtlijn 2002/44/EG

▼ Hinder

70

De EU-richtlijnen voor het beoordelen van trillingen in het kader van de “ARBO-wetgeving” moeten worden gezien als wetgeving.

De SBR-richtlijnen e.d. voor het beoordelen van schade en hinder zijn dit nadrukkelijk niet. Wel wordt in Nederland in het kader van de vergunningverlening in een deel van de AMvB's naar deze richtlijnen verwezen.

71

Schade aan gebouwen (SBR richtlijn A)

- ▼ Grenswaarde afhankelijk van:
 - ▼ frequentie
 - ▼ bouwkundige staat object
 - ▼ trillingsduur
- ▼ Geen schade te verwachten indien:
 - ▼ topwaarde trillingssnelheid kleiner dan **16 mm/s** voor in goede staat verkerende gebouwen van gewapend beton of hout
 - ▼ topwaarde trillingssnelheid kleiner dan **6 mm/s** voor constructies bestaande uit niet-gewapend beton, metselwerk of brossen steenachtige materialen

72

Arbo / gezondheid

- ▼ Richtlijnen in EU-verband (EU-richtlijn 2002/44/EG)
- ▼ Frequenties tot ongeveer 500 Hz interessant
- ▼ Actie- en grenswaarden op basis van equivalente waarde gedurende gehele werkdag. Te weten:
 - hand-/armtrillingen (ISO 5349 (2001))
 - . Actiewaarde: 2,5 m/s²
 - . Grenswaarden: 5 m/s²
 - lichaamstrillingen (ISO 2631-1 (1997))
 - . Actiewaarde: 0,5 m/s²
 - . Grenswaarde: 1,15 m/s²

73

Grenswaarde lichaamstrillingen

$$a_{\max} = 1,15 \text{ m/s}^2$$

met: $a = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot v$ en $f = 25 \text{ Hz}$

$$v_{\max} = 7,3 \text{ mm/s}$$

Dit is hoog!

De werknemers in het bedrijf met de trilkoeler vonden een snelheid van 0,89 mm/s bij 25 Hz al hoog

74

Hinder

Hinder kan worden veroorzaakt door:

- ▼ De waarneming van trillingen zonder meer.
- ▼ De waarneming van trillingen met een zodanige sterkte dat bepaalde activiteiten fysiek worden belemmerd of verstoord.
- ▼ Secundaire effecten

75

Hinderrichtlijnen

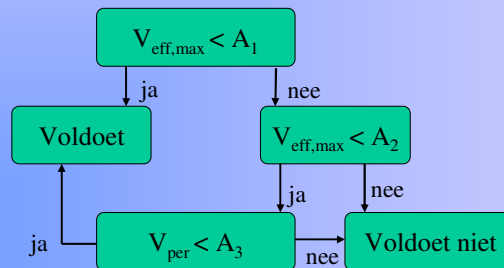
- ▼ ISO 2631-2 (2002)
- ▼ DIN 4150-2 (1999)
- ▼ SBR-richtlijn B (2002) 'Hinder voor personen in gebouwen. Meet- en beoordelingsrichtlijn'.
- ▼ Handreiking industrielawaai (1998)
- ▼ Div. beoordelingsrichtlijnen LF-geluid waaronder NSG-richtlijn

Beoordeling in frequentiegebied van 1 – 80 Hz

76

SBR richtlijn B

gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃
gezondheidszorg en wonen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
bijeenkomst-, onderwijs- en kantoorgebouw	0,15	0,6	0,07	0,15	0,6	0,07
kritische werkruimte	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-



77

SBR richtlijn B

▼ Continu voorkomende trillingen gedurende lange tijd

gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃
gezondheidszorg en wonen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
bijeenkomst-, onderwijs- en kantoorgebouw	0,15	0,6	0,07	0,15	0,6	0,07
kritische werkruimte	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-

▼ Herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd (weg- en railverkeerslawaai, bestaande situaties)

gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃
gezondheidszorg en wonen	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
bijeenkomst-, onderwijs- en kantoorgebouw	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15
kritische werkruimte	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-

78

Handreiking versus SBR richtlijn 2

Handreiking industrielawaai

woningen in	dag en avond				nacht		
	A ₂			A ₃	A ₁	A ₂	A ₃
	A ₁	dag	avond				
landelijk gebied	0,1	2	1	0,05	0,1	0,15	0,05
woonwijken, stadscentra	0,15	2,5	1,5	0,07	0,1	0,2	0,05
mix wonen en bedrijven	0,2	4	2	0,1	0,15	0,3	0,07
gebied met veel bedrijven	0,3	5,5	3	0,15	0,2	0,4	0,1
industrieterreinen	0,4	6	4	0,2	0,3	0,5	0,15

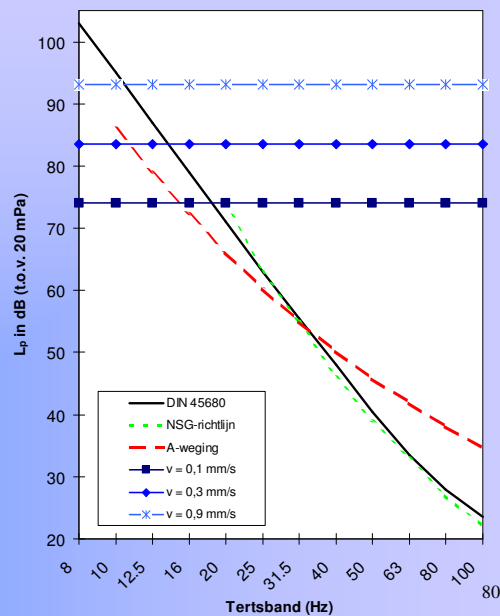
SBR richtlijn B

gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃
woning	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05

79

LF-geluid

trillingen versus LF-geluid

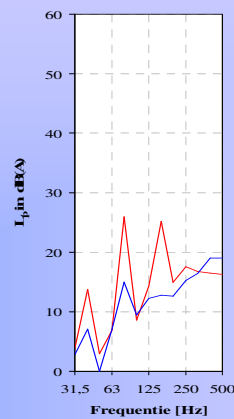
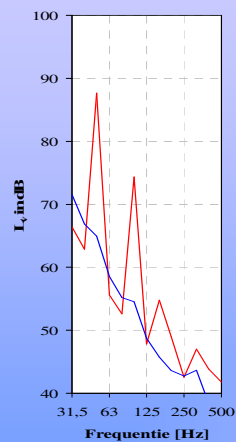


Conclusie

- ▼ Frequentie 1-20 Hz:
Trillingssterkte maatgevend voor beoordeling hinder
- ▼ Frequentie > 25 Hz:
Afgestraald LF-geluid maatgevend voor beoordeling van hinder

81

Woning boven groenteboer



31,6 dB(A)

27,4 dB(A)

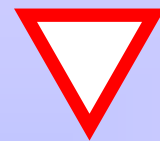
— Koelcompressor aan

— Koelcompressor uit

82



Let op !

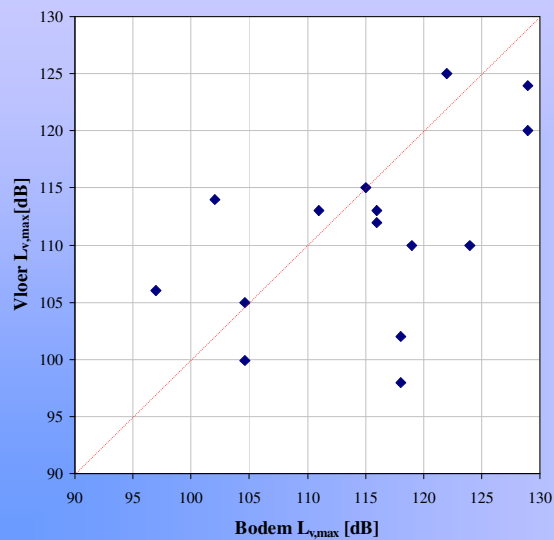


Eventuele hinder moet altijd ter plaatse worden beoordeeld

Een meting op afstand is vaak niet betrouwbaar

83

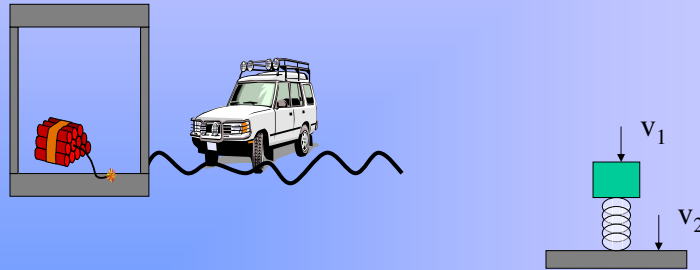
Verkestrillingen
Correlatie trillingsniveau bodem - woningvloer



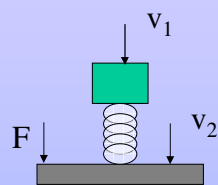
84

Passieve trillingisolatie

Het beperken van trillingen uit de omgeving naar
bijvoorbeeld gevoelige apparatuur



85



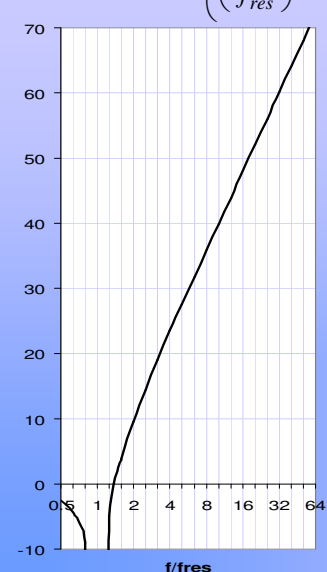
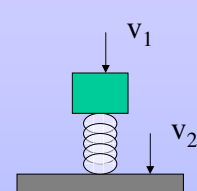
$$F = Z_{veer} \cdot (v_2 - v_1) = \frac{k}{j\omega} \cdot (v_2 - v_1) = j\omega m \cdot v_1$$

$$\left(j\omega m + \frac{k}{j\omega} \right) \cdot v_1 = \frac{k}{j\omega} \cdot v_2$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\frac{k}{j\omega} + j\omega m}{\frac{k}{j\omega}} = 1 - \omega^2 \frac{m}{k}$$

$$\Delta l_v = 20 \cdot \lg \left| \frac{v_2}{v_1} \right| = 20 \cdot \lg \left(\omega^2 \frac{m}{k} - 1 \right) = 20 \cdot \lg \left(\left(\frac{f}{f_{res}} \right)^2 - 1 \right)$$

86

$$\Delta L_v = L_{v_2} - L_{v_1} = 20 \cdot \lg \left(\left(\frac{f}{f_{res}} \right)^2 - 1 \right)$$



$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Isolatie neemt toe met 12 dB/octaaf

Isolatie is onafhankelijk van de eigenschappen van de vloer

De isolatie neemt met 6 dB toe bij verdubbeling van de massa

De isolatie neemt met 6 dB toe bij halvering van de veerconstantie

87

Voorbeeld

Isolatie balans:
hinder ondervonden van voorbijrijdende vrachtwagens

$f_{\text{bodemtrillingen}} = 16 \text{ Hz}$

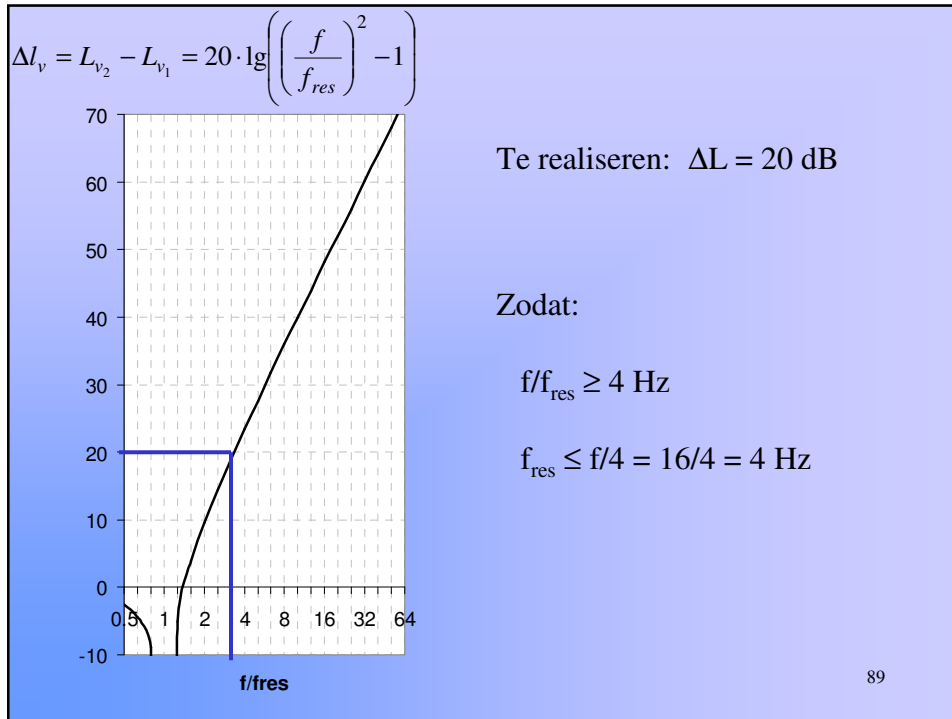
$v_{\text{vloer}} = v_2 = 0,1 \text{ mm/s}$ (net voelbaar) $L_{v_2} = 100 \text{ dB}$

Dit niveau willen we met een factor 10 verkleinen:
naar $v_{\text{balans}} = v_1 = 0,01 \text{ mm/s}$

$L_{v_1} = 80 \text{ dB}$

Te realiseren: $\Delta L = 20 \text{ dB}$

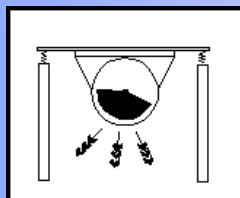
88



Materiaaleigenschappen

Bij de keuze van trillingsisolatoren zijn vooral de volgende eigenschappen van belang:

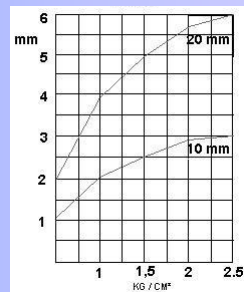
- ▼ de verticale stijfheid
- ▼ de verhouding horizontale stijfheid - verticale stijfheid



Materiaaleigenschappen

Bij de keuze van trillingsisolatoren zijn vooral de volgende eigenschappen van belang:

- ▼ de verticale stijfheid
- ▼ de verhouding horizontale stijfheid - verticale stijfheid
- ▼ de maximaal toelaatbare belasting
- ▼ de minimaal benodigde (voor-)belasting
- ▼ a-lineaire eigenschappen



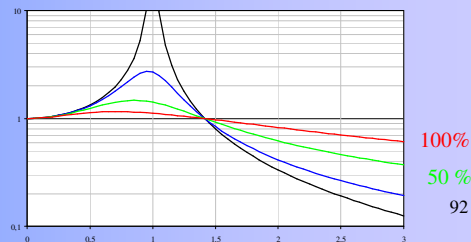
Optimale belasting 1,5 kg/cm²

91

Materiaaleigenschappen

Bij de keuze van trillingsisolatoren zijn vooral de volgende eigenschappen van belang:

- ▼ de verticale stijfheid
- ▼ de verhouding horizontale stijfheid - verticale stijfheid
- ▼ de maximaal toelaatbare belasting
- ▼ de minimaal benodigde (voor-)belasting
- ▼ a-lineaire eigenschappen
- ▼ de demping



100%

50%

10%

Materiaaleigenschappen

Bij de keuze van trillingsisolatoren zijn vooral de volgende eigenschappen van belang:

- ▼ de verticale stijfheid
- ▼ de verhouding horizontale stijfheid - verticale stijfheid
- ▼ de maximaal toelaatbare belasting
- ▼ de minimaal benodigde (voor-)belasting
- ▼ a-lineaire eigenschappen
- ▼ de demping
- ▼ het gedrag bij hoge frequenties, eventuele resonanties en eigenfrequenties van de isolator zelf
- ▼ veroudering, bestendigheid tegen allerlei invloeden, enz.

93

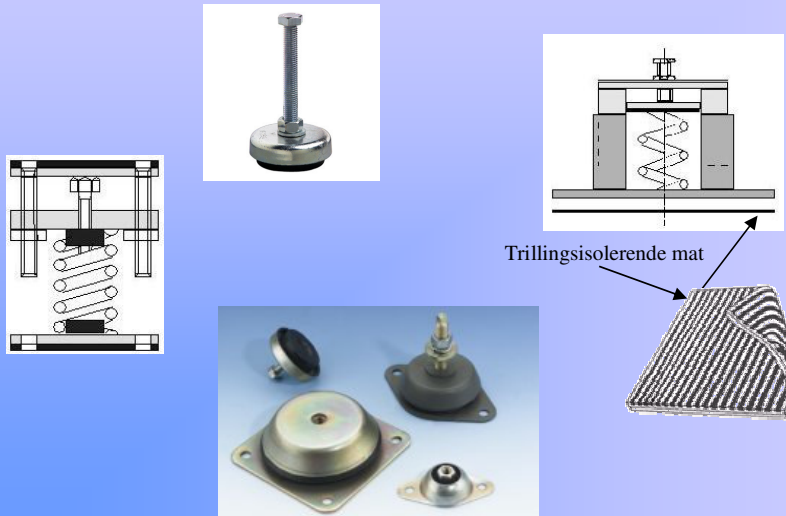
Materialen

Voor isolatoren toegepaste materialen zijn:

- ▼ Stalen spiraalveren
- ▼ Luchtbalgen
- ▼ Rubberisolatoren- en matten
- ▼ Kurk
- ▼ Andere materialen waar de vering op lucht berust als steenwol, kokosmatten, vilt, etc.

94

Machinevoeten



95

Veerhangers



96

Tegenvallende resultaten

- ▼ De machineopstelling was minder star dan gedacht
- ▼ Er is ook sprake van luchtgeluid
- ▼ Het optreden van staande golven in de isolatoren zelf, hetgeen met name een rol speelt voor hoge frequenties
- ▼ De massa van de isolatoren zelf

97

Resumerend

- ▼ Het doel van trillingsisolatie is het beperken van de overdracht van trillingenergie
- ▼ Het tot nul terugbrengen van de energieoverdracht is niet mogelijk
- ▼ Er is zowel actieve als passieve trillingsisolatie
- ▼ De formules voor de krachtoverdracht zijn voor actieve en passieve isolatie hetzelfde
- ▼ De formules voor de energieoverdracht c.q. het verschil in trillingssnelheid tussen massa en vloer **niet!**
- ▼ Trillingsisolatie treedt pas op als de aanstootfrequentie een factor $\sqrt{2}$ hoger is als de eigenfrequentie van de opstelling

98

Voorbeeld examenopgave

(september 1997)

In de bedrijfshal van een drukkerij staat op een fundatie met een massa van 400 kg een rotatiedrukkers met een massa van 1200 kg opgesteld. Tussen de betonfundatie en onderliggende vloer is voorzien in een trillingsisolerende mat. De onderliggende vloer is 200 mm dik.

De door de leverancier versterkte specificaties van de trillingsisolerende mat zijn in onderstaande tabel samengevat.

belasting kg	invering mm
400	0,40
800	0,60
1600	1,00
2400	1,30

Vraag 1.

Bereken de totale veerconstante van de onder de betonfundatie aangebracht trillingsisolerende mat

99

Antwoord vraag 1

belasting kg	invering mm
400	0,40
800	0,60
1600	1,00
2400	1,30

M (fundatie + drukpers) = 400 + 1200 = 1600 kg
 statische invering = 1,0 mm

$$k \cdot x_{stat} = m \cdot g \quad [N]$$

$$k = \frac{m \cdot g}{x_{stat}} = \frac{1600 \cdot 10}{0,001} = 1,6 \cdot 10^7 \quad N/m$$

Vraag 2.

Bereken de resonantiefrequentie van het door de mat plus betonfundatie en drukpers gevormde massa-veersysteem.

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^7}{1600}} = 16 \quad Hz$$

100

Het bedrijf is van plan te verhuizen naar een nieuwe locatie. In de nieuwe bedrijfshal worden een aantal kantoorunits gerealiseerd. De nieuwe bedrijfshal krijgt een betonvloer met een dikte van 400 mm.

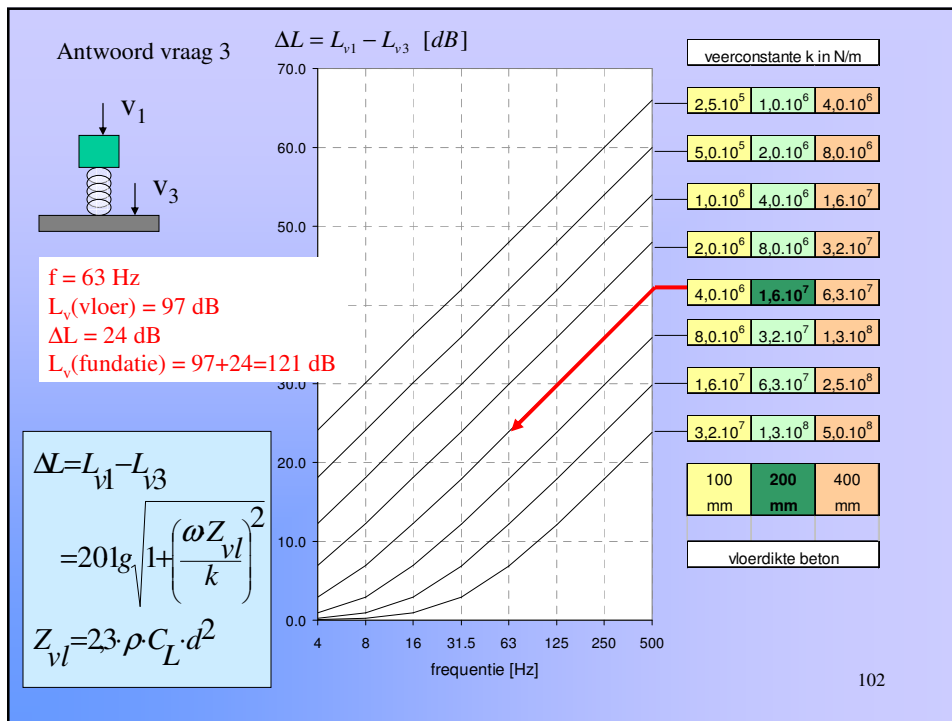
Om te kunnen nagaan in hoeverre de opstelling van de rotatiedrukkers moet worden aangepast, opdat in de nieuwe situatie geen hinder van trillingen en laagfrequent geluid wordt ondervonden, is het snelheidsniveau van de in de vloer van de huidige bedrijfshal optredende trillingen bepaald. Het frequentiespectrum bleek te worden gedomineerd door trillingen met een frequentie van 63 Hz. Het in deze octaafband gemeten snelheidsniveau van de optredende trillingen bedroeg:

97 dB (t.o.v. 10^{-9} m/s)

Vraag 3.

Bereken het snelheidsniveau waarmee de betonfundatie trilt (63 Hz-octafband)

101



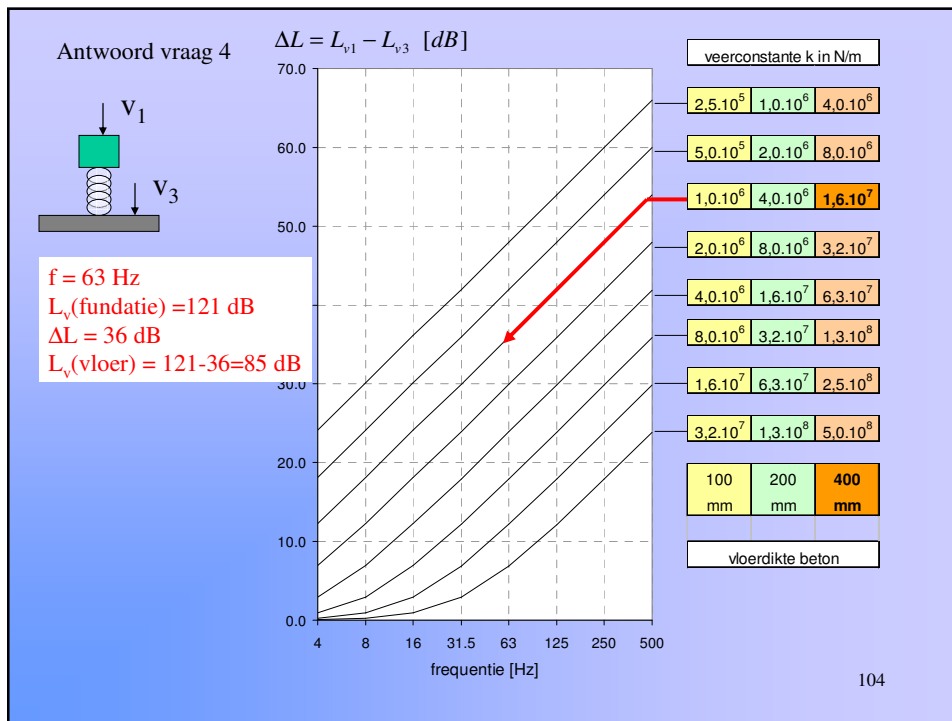
Vraag 4.

Bereken het snelheidsniveau (bij 63 Hz) van de in de vloer van de nieuwe bedrijfshal optredende trillingen indien de opstelling van de drukpers ongewijzigd blijft.

D (nieuwe vloer) = 400 mm

k = $1,6 \cdot 10^7$ N/m

103



De wanden van de kantoorunits worden opgebouwd met behulp van gipskartonplaten op stalen U- en C-profielen, die zodanig op de grond worden bevestigd dat eventueel in de vloer optredende trillingen niet aan de wanden worden overgedragen.

De units krijgen een vloeroppervlak van $4 \times 5 = 20 \text{ m}^2$ en worden 2,5 m hoog. Gestreefd wordt een nagalmtijd van 1,0 s bij 63 Hz te realiseren.

Vraag 5.

Bereken het door de vloertrillingen in een kantoorunit veroorzaakte geluidsniveau in de 63 Hz-octaaftband

$$L_p = L_v + 10 \cdot \lg \sigma + 10 \cdot \lg \frac{S \cdot T}{V} - 20 \quad \text{dB}$$

$$L_p = 85 + 10 \cdot \lg 1 + 10 \cdot \lg \frac{20 \cdot 1}{20 \cdot 2,5} - 20 = 61 \quad \text{dB}$$

105

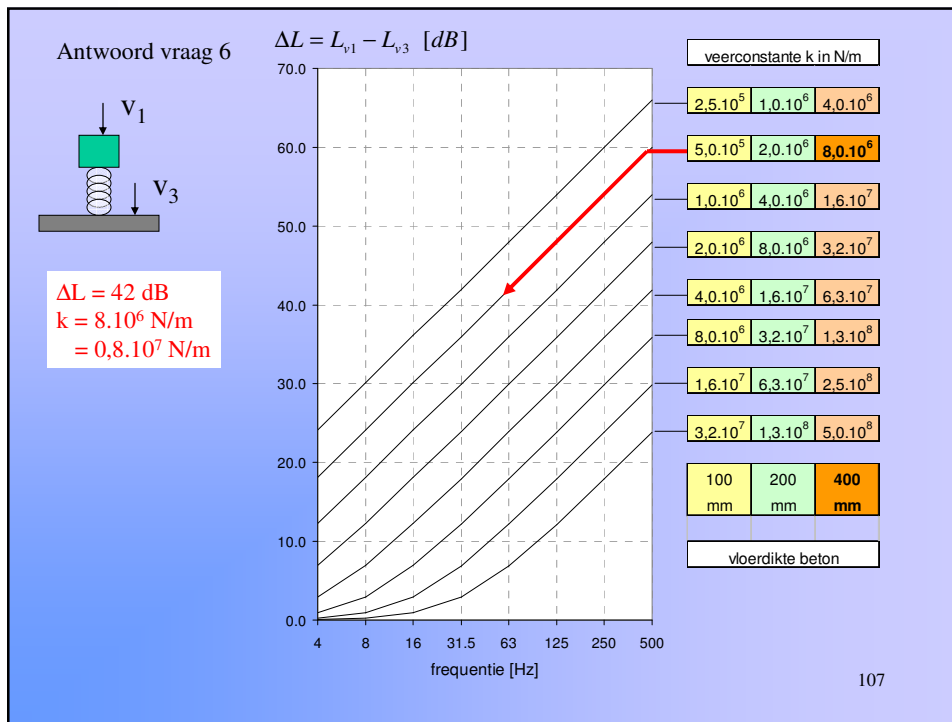
Het geluidsdrukkniveau in de 63 Hz-octaaftband moet worden gereduceerd tot 55 dB om te komen tot een in de werksituatie acceptabel te achten niveau.

Vraag 6.

Hoe groot moet de totale veerconstante van de in plaats van de nu aanwezige trillingsisolerende mat nieuw aan te brengen trillingsisolerende elementen zijn?

Te realiseren extra reductie: 6 dB bij 63 Hz
-> totale reductie: 36 + 6 = 42 dB bij 63 Hz

106



Vraag 7.

Kan de benodigde reductie worden gerealiseerd door onder de huidige trillingsisolerende mat een tweede, identieke mat aan te brengen?

JA

108

2^e voorbeeld examenopgave

(maart 2005)

In de controlekamer van een pompstation wordt hinder ondervonden van een aan het gebruik van de pompen gerelateerde bromtoon. In het gebouw worden om de exacte oorzaak van de bromtoon op te sporen geluid- en trillingmetingen uitgevoerd. De resultaten zijn onderstaand samengevat.

maatgevende frequentie	50 Hz
geluiddruk niveau pompenruimte, pompen aan	90 dB bij 50 Hz
trillingsniveau vloer pompenruimte	115 dB t.o.v. 10-9 m/s bij 50 Hz
trillingsniveau betonfundatie pompstelling	115 dB t.o.v. 10-9 m/s bij 50 Hz
trillingsniveau vloer controlekamer	107 dB t.o.v. 10-9 m/s bij 50 Hz
trillingsniveau wanden controlekamer	82 dB t.o.v. 10-9 m/s bij 50 Hz
geluiddruk niveau pompenruimte, pompen uit, ruisbron aan	85 dB bij 50 Hz
geluiddruk niveau controlekamer, pompen uit, ruisbron aan	35 dB bij 50 Hz

109

De controlekamer heeft de volgende afmetingen:

vloer: $5 \times 8 = 40 \text{ m}^2$

hoogte: 2,7 m

De nagalmtijd bedraagt 1,5 s in de 63 Hz-octaaftband.

Vraag 1

Bereken het door de pompen in de controlekamer veroorzaakte geluiddruk niveau in de 50 Hz-tertsband, uitgaande van het feit dat de trillingoverdracht bepalend is.

Het geluidsniveau in de controlekamer wordt bepaald door geluid dat wordt afgestraald door de vloer. De bijdrage van de wanden is verwaarloosbaar.

$$\begin{aligned}
 L_p &= L_v + 10 \cdot \lg \sigma + 10 \cdot \lg \frac{S \cdot T}{V} - 20 \\
 &= 107 + 10 \cdot \lg \frac{40 \cdot 1,5}{40 \cdot 2,7} - 20 \\
 &= 84 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

110

Vraag 2.
Is dit de maatgevende overdrachtsweg?

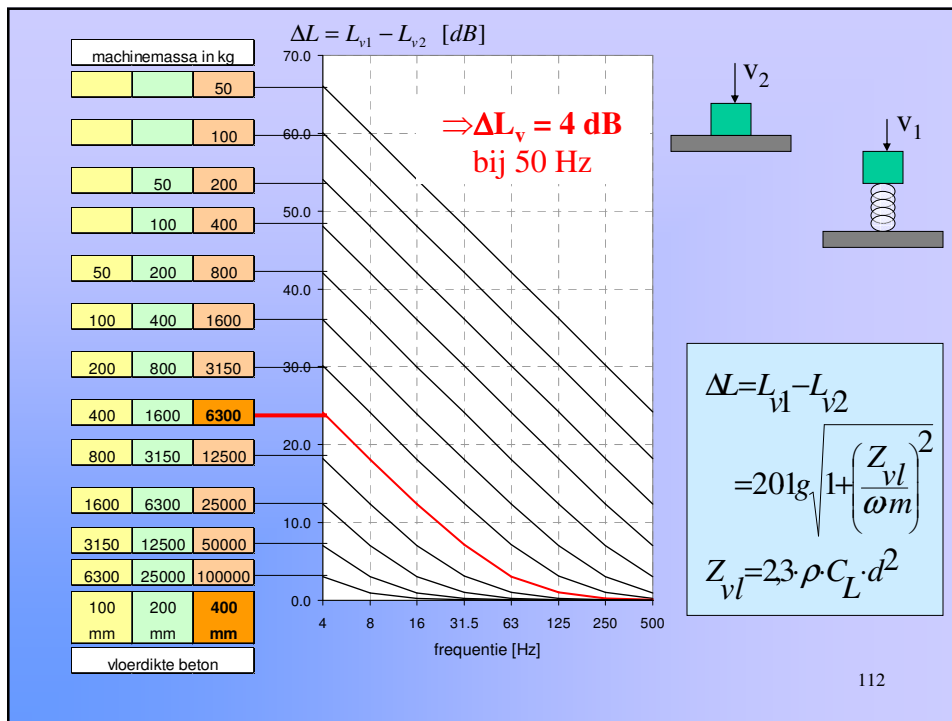
Ja.
De bijdrage door direct overgedragen luchtgeluid is gelijk aan:
 $90 - (85 - 35) = 40 \text{ dB}$

Dit niveau is te hoog. Om de hinder te beperken is een reductie gewenst van ten minste 24 dB.

In de pompenruimte staan in totaal 4 pompen met ieder een massa van 400 kg. De pompen zijn op een gezamenlijke betonfundatie geplaatst met een massa van 4700 kg. De betonfundatie is op een als uitgestrekt te beschouwen bedrijfsvloer zonder eigenfrequenties met een dikte van 400 mm vastgezet.

Vraag 3.
Wat wordt het trillingsniveau van de betonfundatie als onder de fundatie veren worden geplaatst (afveerfrequentie < 20 Hz)?

111



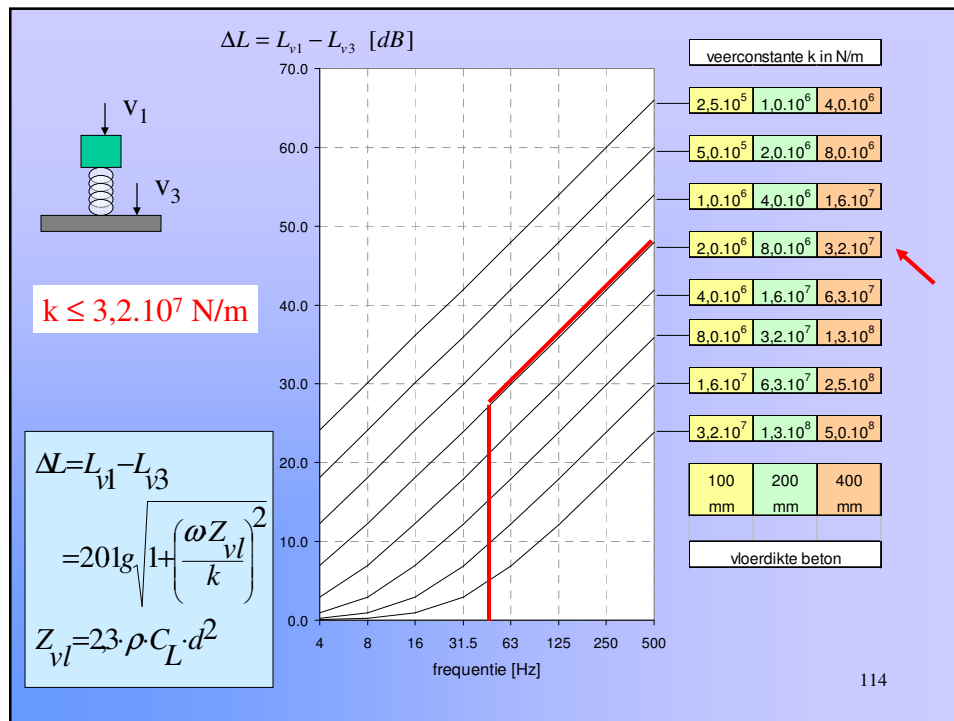
$$L_v(\text{fundatie}) = 115 + 4 = 119 \text{ dB}$$

Vraag 4.

Bepaal de totale veerconstante van de onder de betonfundatie van de pompen aan te brengen veren opdat het geluidrukniveau in de controlekamer met 24 dB afneemt.

De pompstelling zelf gaat 4 dB harder trillen als deze op veren wordt geplaatst, zodat tussen de fundatie en de vloer een reductie van $24 + 4 = 28 \text{ dB}$ moet worden gerealiseerd.

113



Vraag 5.

Bepaal de afveer frequentie van de te realiseren opstelling.

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3,2 \cdot 10^7}{6300}} = 11,3 \text{ Hz}$$

115

Bij een leverancier van isolatoren wordt documentatie opgevraagd.
Gekozen kan worden uit de volgende types:

F-A-01: inverting = 1,3 mm bij 16.000 N

F-B-01: inverting = 2,6 mm bij 16.000 N

F-C-01: inverting = 3,9 mm bij 16.000 N

Vraag 6.

Welk type kan worden toegepast als onder de fundatie 4 evenredig belaste veren worden aangebracht?

$$m \cdot g = k \cdot x \Rightarrow x = \frac{m \cdot g}{k} = \frac{6300 \cdot 10}{3,2 \cdot 10^7} = 0,002 \text{ m} = 2 \text{ mm}$$

De belasting per veer is gelijk aan $63.000 / 4 = 15.750 \text{ N}$ => Type F-B-01

116

Het aanpassen van de pompopstelling blijkt in verband met de continuïteit van de installatie en de aanwezige leidingkoppelingen ingewikkeld te zijn. Besloten wordt om in de kostenoverweging ook de realisatie van een nieuwe controlekamer mee te nemen. Deze kan naast de huidige controlekamer op veren op dezelfde vloer als waarop de huidige controlekamer is gebouwd worden geplaatst.

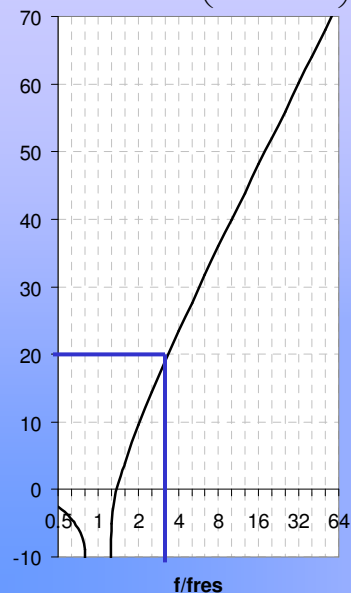
De op een losse betonplaat te bouwen controlekamer heeft een totaal gewicht van 30.000 kg (inclusief vloer, wanden, plafond en inrichting).

Vraag 7.

Bepaal de frequentie waarop de controlekamer moet worden afgeveerd en de totale veerconstante opdat geen hinder van een bromtoon wordt ondervonden (dwz. geluiddruk niveau in controlekamer 24 dB lager dan in de oorspronkelijke situatie).

117

$$\Delta L_v = L_{v_2} - L_{v_1} = 20 \cdot \lg \left(\left(\frac{f}{f_{res}} \right)^2 - 1 \right)$$



Te realiseren: $\Delta L = 20$ dB

Zodat:

$$f/f_{res} \geq 4 \text{ Hz}$$

$$f_{res} \leq f/4 = 50/4 = 12,5 \text{ Hz}$$

$$\Rightarrow k = m (2\pi f_{res})^2 = 185 \cdot 10^6 \text{ N/m}$$

118

Bedankt voor jullie aandacht
en
wel thuis