

Rekenvoorbeeld

Trillingen in vloeren

B.C.H. Vervest



Behorend bij:

Projectdocument

Renovatie woongebouw

De Leeuw van Vlaanderen,

Amsterdam

Trillingseisen

De staalframebouw vloeren van de optopwoningen zijn getoetst conform de geldende voorschriften zoals gegeven in "NEN 6702 – Technische grondslagen voor bouwconstructies – TGB 1990 – Belastingen en vervormingen". Artikel 10.5.2 Resonantie zegt, dat over vloeren waarover veel wordt gelopen, zoals vloeren van woningen, kantoren e.d. de eerste eigenfrequentie van de vloer niet lager mag zijn dan 3 Hz. Aan deze eis hoeft niet te zijn voldaan indien de som van de representatieve waarden van de permanente en momentane belasting tenminste 5 kN/m² bedraagt. Dit laatste is het geval bij de meeste woningvloeren.

Alle vloerliggers van de optopwoningen voldoen aan de in de norm NEN 6702 gestelde eisen. In de loop der jaren is echter gebleken, dat ondanks deze minimumeisen hinderlijke trillingen niet altijd voorkomen worden. Daarom is in september 2005 door SBR een richtlijn uitgegeven met hogere comforteisen: "Trillingen van vloeren door lopen. Richtlijn voor het voorspellen, meten en beoordelen". Deze privaatrechtelijke eisen kunnen in het programma van eisen van een gebouw worden opgenomen. De nieuwe richtlijn sluit beter aan bij de werkelijkheid en zal een nauwkeuriger inzicht geven in de te verwachten trillingen.

In de SBR-richtlijn worden twee methodes beschreven: een overdrachtsmethode en een handrekenmethode. Bij de overdrachtsmethode kan de respons worden bepaald van een vloer bij een bepaalde belasting. De respons kan worden gemeten door de zogeheten hielvaltest of worden voorspeld door middel van een computermodel in een eindige-elementen softwarepakket. Een minder nauwkeurige, maar veel eenvoudigere voorspelling kan worden gedaan met de handrekenmethode. Hierbij is met de berekende eigenfrequentie en massa van de vloer in diagrammen die in de richtlijn zijn opgenomen de trillingsgevoeligheid af te lezen. Het trillingsgedrag van de vloeren van de optopwoningen is conform de handrekenmethode van de nieuwe richtlijn getoetst.

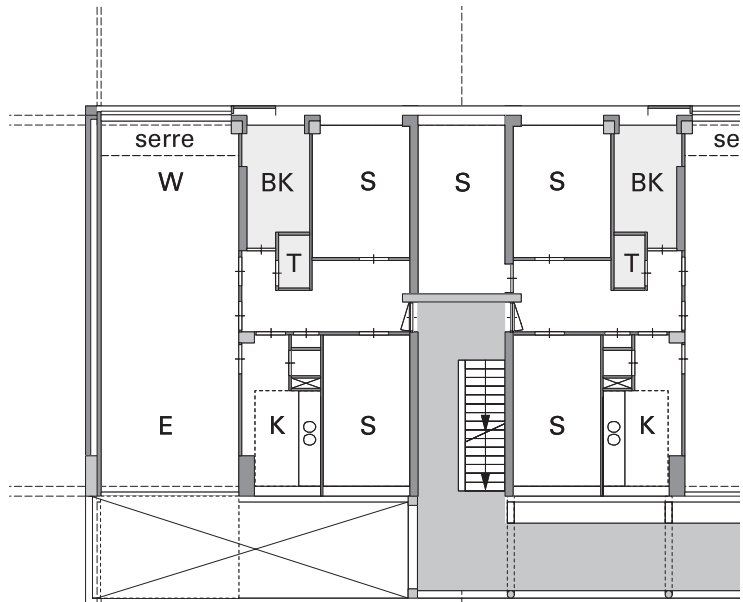
Handrekenmethode

Bij de handrekenmethode wordt er vanuit gegaan, dat de vloer zich gedraagt als een één-massa-veer dempersysteem. Metingen aan vergelijkbare vloeren (Smarthouse in Rotterdam en het kantoor van FeNB2 in Schagen) tonen aan, dat de resultaten van deze methode goed overeenkomen met de werkelijke gemeten waarde.

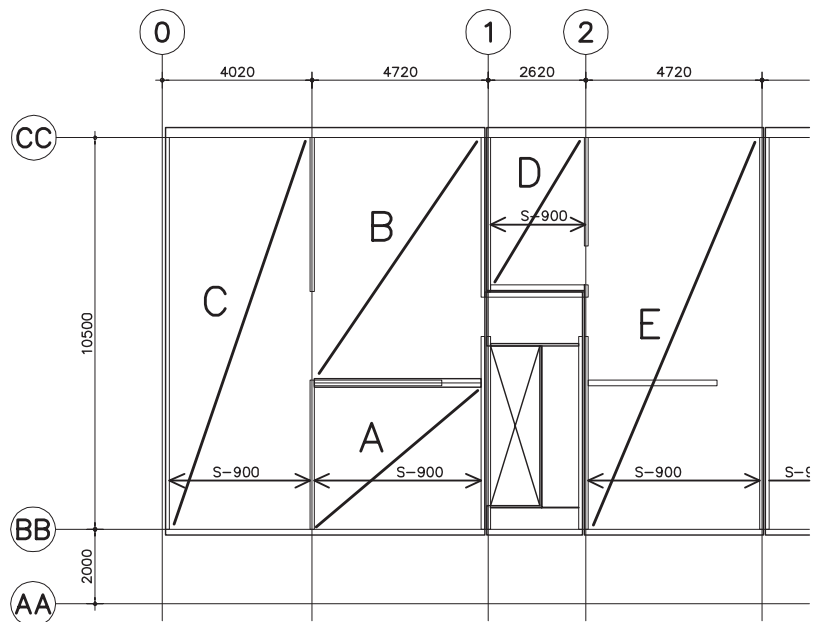
De vloer wordt geschematiseerd als een 4-zijdig opgelegde orthotrope plaat. Bij een staalframe vloer met vloerbalken die overspannen in één richting is de buigstijfheid in de overspanningsrichting beduidend groter dan de buigstijfheid loodrecht daarop. Met de formules van paragraaf 6.2 van de richtlijn, wordt voor de verschillende vloervelden (zie overzicht) de beoordelingsklasse bepaald. Afhankelijk van de gebruiksfunctie zijn er minimale eisen gesteld aan het trillingsgedrag van de vloer. De beste klasse, met een lage ES-RMS₉₀-waarde, is klasse A. De slechtste gedefinieerde klasse is klasse F. Vloeren in woningen, kantoren en winkels moeten minimaal voldoen aan klasse D, dus ook de vloeren in woongebouw "De Leeuw van Vlaanderen".



De staalframebouw vloeren van de optopwoningen zijn getoetst conform de geldende voorschriften. In dit rekenvoorbeeld zijn de toegepaste vloeren additioneel getoetst volgens de nieuwe SBR-richtlijn 'Trillingen van vloeren door lopen'.



3



Verdieping 1 Nivo 12370±

Overzicht van vijf verschillende vloervelden (onder) en de positie van die vloervelden in de optoplagen (boven).

Voor de verschillende vloervelden zijn de volgende resultaten gevonden (zie voor de berekeningen de paragraaf 'Spreadsheet'):

Veld	Eigenfrequentie (Hz)	Rekenmassa (kg)	ES-RMS ₉₀ (-)	Klasse
A	6,5	1943	8.5 – 11,0	E
B	7,8	3278	1,8 – 2,3	D
C	22,1	4452	< 0,8	C
D	29,5	1050	< 0,8	C
E	12,4	5267	< 0,8	C

Vloerveld A is het enige veld dat niet aan de eisen gesteld in de richtlijn voldoet. Dit vloerveld is relatief klein en heeft dus een relatief kleine rekenmassa. De opsplitsing van het vloerveld in twee delen (A en B) is ontstaan, doordat de stabiliteitswand in de eindwoning op een warmgewalste ligger staat en de vloer onderbreekt. Door de verbinding tussen de vloer en de wand is wel extra demping te verwachten, waardoor de hoge ES-RMS₉₀ waarde in de praktijk lager zal zijn. Vloerveld D is eveneens een erg klein veld, maar hiervoor geldt dat de vloer door de gelijk gebleven profielen en de korte overspanning zich stijver gedraagt. Hierdoor wordt het ontbreken van massa door de hoge eigenfrequentie gecompenseerd.



S p r e a d s h e e t

Voor de SBR-richtlijn is een spreadsheet in Excel opgesteld. Dit spreadsheet is niet vrij beschikbaar. Wel bieden de screenshots een handreiking voor constructeurs die met de richtlijn willen werken. De verschillende vloervelden A tot en met E zijn ingevuld in het spreadsheet en getoetst aan de richtlijn.

Vloerveld A - de Leeuw van Vlaanderen - methode SBR-richtlijn

Gegevens

Rechthoekig vloerveld van	4,500	x 3,800 m	(Lv*Bv)
Overspanning (L)	4,50 m		
Elementbreedte (be)	0,90 m		h.o.h. liggers
Liggers	Sigma 205x50x17/2		ix = 4,25E+06 mm ⁴
Plaatmateriaal	staal	d = 19 mm b = 1 m	Ex = 2,10E+05 N/mm ²
		(loodrecht op overspanning ->)	Ey = 2,10E+05 N/mm ²
Afwerklaag	anhydriet	d = 41 mm	ly = 0,00E+00 mm ⁴
		(minimale dikte)	Ey = 1,50E+04 N/mm ²
			ly = 5,74E+06 mm ⁴

Belasting **Qeigen** 1,75 kN/m²

Randvoorwaarden Scharnierend opgelegd aan de uiteinden

Berekening

	E (N/mm ²)		I (mm ⁴)	EI (Nmm ²)	EI (Nm ²)
per m1 Eix: (mm)	210000	staal	4,72E+06	9,91E+11	9,91E+05
	210000	osb	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	15000	anh.	5,74E+06	8,62E+10	8,62E+04
Eix: (tot)	102975		1,05E+07	1,08E+12	1,08E+06
Ely: (mm)	210000	osb	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	15000	anh.	5,74E+06	8,62E+10	8,62E+04
Ely: (tot)	15000		5,74E+06	8,62E+10	8,62E+04

1e mode Doorbuiging onder eigengewicht

$$f_1 = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{E I_x}{m l^4}} \sqrt{1 + \frac{2(b/l)^2 + (b/l)^4}{I_x} E I_y}$$

f1 = 6,54 Hz
↑
1,075

Eix / Eiy = 13

Massa (Mv)	2993	kg	hele vloerveld
Modale massa:	1913	kg	63,94% van totale vloer
te rekenen massa	1943	kg	incl. 30 kg persoon

Als geen representatieve meting voorhanden is, mag op basis van de richtlijn de volgende demping worden aangehouden

demping 2,5 % =1+1+0,5 staal + won + plafond

Klasse E
ES-RMS₉₀ 8,5 - 11

Acceptabel omdat de demping hoger zal zijn door de stabiliteitswand

Vloerveld B - de Leeuw van Vlaanderen - methode SBR-richtlijn

Gegevens

Rechthoekig vloerveld van	4,500	x 6,450 m	(Lv*Bv)
Overspanning (L)	4,50 m		
Elementbreedte (be)	0,90 m		h.o.h. liggers
Liggers	Sigma 205x50x17/2		$I_x = 4,25E+06 \text{ mm}^4$ $E_x = 2,10E+05 \text{ N/mm}^2$
Plaatmateriaal	staal	$d = 19 \text{ mm}$	$b = 1 \text{ m}$
		(loodrecht op overspanning ->)	$E_y = 2,10E+05 \text{ N/mm}^2$ $I_y = 0,00E+00 \text{ mm}^4$
Afwerklaag	anhydriet	$d = 41 \text{ mm}$	
	(minimale dikte)		$E_y = 1,50E+04 \text{ N/mm}^2$ $I_y = 5,74E+06 \text{ mm}^4$

Belasting **Qeigen** 1,75 kN/m2

Randvoorwaarden Scharnierend opgelegd aan de uiteinden

Berekening

	E (N/mm2)		I (mm4)	EI (Nmm2)	EI (Nm2)
per m1 Elx: (mm)	210000	staal	4,72E+06	9,91E+11	9,91E+05
	210000	osb	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	15000	anh.	5,74E+06	8,62E+10	8,62E+04
Elx: (tot)	102975		1,05E+07	1,08E+12	1,08E+06
Ely: (mm)	210000	osb	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	15000	anh.	5,74E+06	8,62E+10	8,62E+04
Ely: (tot)	15000		5,74E+06	8,62E+10	8,62E+04

1e mode Doorbuiging onder eigengewicht

	$Pl()/2$	*	wortel (Eix / pl4)	*	wortel $(1+[2(b/l)^2+(b/l)^4]*Ely / Eix)$
f1 =	1,571	*	3,8751	*	1,291
	↑				
	Eix / Eiy = 13				

f1 = 7,86 Hz

Massa (Mv)	5079	kg	hele vloerveld	
Modale massa:	3248	kg	63,94%	van totale vloer
te rekenen massa	3278	kg		incl. 30 kg persoon

Als geen representatieve meting voorhanden is, mag op basis van de richtlijn de volgende demping worden aangehouden

demping 2,5 % =1+1+0,5 staal + won + plafond

Klasse **D**
 ES-RMS₉₀ 1,8 - 2,3

Vloerveld C - de Leeuw van Vlaanderen - methode SBR-richtlijn

Gegevens

Rechthoekig vloerveld van	3,800	x	10,400 m	(Lv*Bv)
Overspanning (L)	3,80 m			
Elementbreedte (be)	0,90 m			h.o.h. liggers
Liggers	Sigma 205x50x17/2			$I_x = 4,25E+06 \text{ mm}^4$ $E_x = 2,10E+05 \text{ N/mm}^2$
Plaatmateriaal	staal	d = 19 mm	b = 1 m	$E_y = 2,10E+05 \text{ N/mm}^2$ $I_y = 0,00E+00 \text{ mm}^4$
Afwerklaag	anhydriet	d = 41 mm		$E_y = 1,50E+04 \text{ N/mm}^2$ $I_y = 5,74E+06 \text{ mm}^4$
	(minimale dikte)			

Belasting **Qeigen** 1,75 kN/m²

Randvoorwaarden Scharnierend opgelegd aan de uiteinden

Berekening

	E (N/mm ²)		I (mm ⁴)	EI (Nmm ²)	EI (Nm ²)
per m1 Eix: (mm)	210000	staal	4,72E+06	9,91E+11	9,91E+05
	210000	osb	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	15000	anh.	5,74E+06	8,62E+10	8,62E+04
Eix: (tot)	102975		1,05E+07	1,08E+12	1,08E+06
Eiy: (mm)	210000	osb	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	15000	anh.	5,74E+06	8,62E+10	8,62E+04
Eiy: (tot)	15000		5,74E+06	8,62E+10	8,62E+04

1e mode Doorbuiging onder eigengewicht

	$\frac{PI(\gamma)/2}{*}$		wortel (Eix / pl ⁴)	*	wortel (1+[2(b/l) ² +(b/l) ⁴]*Eiy / Eix)
f1 =	1,571	*	5,4342	*	2,585
f1 = 22,07 Hz					Eix / Eiy = 13

Massa (Mv)	6916	kg	hele vloerveld
Modale massa:	4422	kg	63,94% van totale vloer
te rekenen massa	4452	kg	incl. 30 kg persoon

Als geen representatieve meting voorhanden is, mag op basis van de richtlijn de volgende demping worden aangehouden

demping 2,5 % =1+1+0,5 staal + won + plafond

Klasse **C**

ES-RMS₉₀ **< 0,8** Grafiek loopt maar tot e.f. van 20 Hz

Vloerveld D - de Leeuw van Vlaanderen - methode SBR-richtlijn

Gegevens

Rechthoekig vloerveld van	2,400	x 3,800 m	(Lv*Bv)
Overspanning (L)	2,40 m		
Elementbreedte (be)	0,90 m		h.o.h. liggers
Liggers	Sigma 205x50x17/2		$I_x = 4,25E+06 \text{ mm}^4$ $E_x = 2,10E+05 \text{ N/mm}^2$
Plaatmateriaal	staal	$d = 19 \text{ mm}$ $b = 1 \text{ m}$	$E_y = 2,10E+05 \text{ N/mm}^2$
		(loodrecht op overspanning ->)	$I_y = 0,00E+00 \text{ mm}^4$
Afwerklaag	anhydriet	$d = 41 \text{ mm}$	$E_y = 1,50E+04 \text{ N/mm}^2$
		(minimale dikte)	$I_y = 5,74E+06 \text{ mm}^4$

Belasting **Qeigen** 1,75 kN/m2

Randvoorwaarden Scharnierend opgelegd aan de uiteinden

Berekening

	E (N/mm2)		I (mm4)	EI (Nmm2)	EI (Nm2)
per m1 Elx: (mm)	210000	staal	4,72E+06	9,91E+11	9,91E+05
	210000	osb	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	15000	anh.	5,74E+06	8,62E+10	8,62E+04
Elx: (tot)	102975		1,05E+07	1,08E+12	1,08E+06
Ely: (mm)	210000	osb	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	15000	anh.	5,74E+06	8,62E+10	8,62E+04
Ely: (tot)	15000		5,74E+06	8,62E+10	8,62E+04

1e mode Doorbuiging onder eigengewicht

	$Pl()/2$	*	wortel (Eix / pl4)	*	wortel ($1 + [2(b/l)^2 + (b/l)^4] * Ely / Eix$)
f1 =	1,571	*	13,6234	*	1,380
	↑				
	Eix / Eiy = 13				

f1 = 29,52 Hz

Massa (Mv)	1596	kg	hele vloerveld
Modale massa:	1020	kg	63,94% van totale vloer
te rekenen massa	1050	kg	incl. 30 kg persoon

Als geen representatieve meting voorhanden is, mag op basis van de richtlijn de volgende demping worden aangehouden

demping 2,5 % =1+1+0,5 staal + won + plafond

Klasse **C**
 ES-RMS₉₀ **< 0,8**

Grafiek loopt maar tot e.f. van 20 Hz

Vloerveld E - de Leeuw van Vlaanderen - methode SBR-richtlijn

Gegevens

Rechthoekig vloerveld van	4,500	x	10,400 m	(Lv*Bv)
Overspanning (L)	4,50 m			
Elementbreedte (be)	0,90 m			h.o.h. liggers
Liggers	Sigma 205x50x17/2			$I_x = 4,25E+06 \text{ mm}^4$ $E_x = 2,10E+05 \text{ N/mm}^2$
Plaatmateriaal	staal	d = 19 mm	b = 1 m	$E_y = 2,10E+05 \text{ N/mm}^2$ $I_y = 0,00E+00 \text{ mm}^4$
Afwerklaag	anhydriet	d = 41 mm		$E_y = 1,50E+04 \text{ N/mm}^2$ $I_y = 5,74E+06 \text{ mm}^4$
	(minimale dikte)			

Belasting **Qeigen** 1,75 kN/m²

Randvoorwaarden Scharnierend opgelegd aan de uiteinden

Berekening

	E (N/mm ²)		I (mm ⁴)	EI (Nmm ²)	EI (Nm ²)
per m1 Eix: (mm)	210000	staal	4,72E+06	9,91E+11	9,91E+05
	210000	osb	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	15000	anh.	5,74E+06	8,62E+10	8,62E+04
Eix: (tot)	102975		1,05E+07	1,08E+12	1,08E+06
Eiy: (mm)	210000	osb	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	15000	anh.	5,74E+06	8,62E+10	8,62E+04
Eiy: (tot)	15000		5,74E+06	8,62E+10	8,62E+04

1e mode Doorbuiging onder eigengewicht

$$f_1 = \frac{\pi \sqrt{E I_x}}{2 L} \sqrt{1 + \frac{2 I_y}{I_x} \left(\frac{L}{b} \right)^4} = 12,38 \text{ Hz}$$

$E_x / E_y = 13$

Massa (Mv)	8190	kg	hele vloerveld
Modale massa:	5237	kg	63,94% van totale vloer
te rekenen massa	5267	kg	incl. 30 kg persoon

Als geen representatieve meting voorhanden is, mag op basis van de richtlijn de volgende demping worden aangehouden

demping 2,5 % =1+1+0,5 staal + won + plafond

Klasse C
ES-RMS₉₀ < 0,8

Richtlijn

De SBR-richtlijn 'Trillingen van vloeren door lopen, richtlijn voor het voorspellen, meten en beoordelen' is te koop bij SBR in Rotterdam: www.sbr.nl.

Literatuur

- [1] P.H. Waarts, Trillingen van vloeren door lopen, richtlijn voor het voorspellen, meten en beoordelen, Rotterdam: SBR, september 2005
- [2] M. Pauw, Handboek Staalframebouw, Zoetermeer, Bouwen met Staal, november 2004
- [3] M. Pauw, Staalframebouw vloerenwijzer, Zoetermeer, Bouwen met Staal, 2005

