
Nieuwe Eurocode voor windbelastingen

Windtrillingen van hoogbouw



In het deel van Eurocode 1 voor windbelastingen, EN 1991-1-4, zijn rekenregels opgenomen om de trillingen evenwijdig aan de wind in rekening te brengen. Met de herziening van de Eurocode worden ook deze rekenregels aangepast.

Sinds 2012 worden constructies in Nederland ontworpen en gecontroleerd aan de hand van de Eurocodes. Op Europees niveau wordt momenteel gewerkt aan de tweede generatie Eurocodes. Alle delen van de Eurocodereeks worden herzien, zowel de materiaalgebonden normbladen als de normbladen waarin de belastingen zijn gespecificeerd. Het is de bedoeling dat in 2028 de huidige Eurocodereeks in zijn geheel wordt ingetrokken. Vóór dit tijdstip worden alle Eurocodedelen aangepast, moeten deze door de formele stemming in Europa en worden de vertalingen en de nationale bijlagen gemaakt. Inmiddels zijn de werkzaamheden voor veel van de normbladen inhoudelijk zover dat duidelijk is hoe de rekenregels eruit gaan zien. In dit artikel wordt specifiek ingegaan op de berekening van de effecten van windtrillingen op (hoge) gebouwen in de Eurocode windbelastingen, EN 1991-1-4 [1].

Deze nieuwe rekenregels zijn nog niet beschikbaar voor de ontwerp praktijk, maar kunnen nu al relevant zijn voor het ontwerp van hoogbouw. Deze aanpassingen worden in twee artikelen beschreven. In dit eerste artikel wordt ingegaan op de berekening van de trillingen in de windrichting en hoe deze rekenregels eruit zien in prEN 1991-1-4 [2]. In een vervolgartikel worden de modellen voor dwars- en torsietrillingen beschreven. Aan de hand van drie cases worden de lezers uitgenodigd aan de slag te gaan met deze rekenregels. In een later artikel wordt de uitwerking van deze cases aan de hand van de nieuwe regels behandeld.

auteurs



**DR. IR. CHRIS
GEURTS**

Principal Consultant
TNO



**IR. OKKE
BRONKHORST**

Scientist
TNO

Windtrillingen in de huidige Eurocode

De basisformule voor de windbelasting F_w in EN 1991-1-4 is:

$$F_w = c_s c_d c_f q_p(z) A_{ref}$$

waarin:

A_{ref} is de oppervlakte waarop de windbelasting werkt die wordt uitgerekend

$q_p(z)$ is de waarde van de stuwdruk op (referentie)hoogte z

c_f is de van toepassing zijnde krachtcoëfficiënt

$c_s c_d$ is de gecombineerde factor voor afmetingen en trillingen

De factor $c_s c_d$ omvat een reductie van de windbelasting, gerelateerd aan het aangeblazen oppervlak, en een vergroting van de belasting als gevolg van resonantie van de constructie evenwijdig aan de windrichting. De factor $c_s c_d$ is in de Eurocode als volgt gedefinieerd:

$$c_s c_d = \frac{1 + 2k_p I_v(z_s) \sqrt{(B)^2 + (R)^2}}{1 + 7I_v(z_s)}$$

waarin:

$I_v(z_s)$ is de turbulentie-intensiteit op hoogte z_s (0,6 maal de gebouwhoogte), deze hangt af van de terreincategorie

k_p is een piekfactor

B is de zogeheten achtergrondresponsfactor

R is de dynamische responsfactor

Voor de berekening van k_p , B en R zijn in →

EN 1991-1-4 twee methoden gegeven waar- tussen een land (via de nationale bijlage [3]) of gebruiker (als dat is toegestaan via de NB) kan kiezen. Deze zijn opgenomen in bijlage B en bijlage C van de norm.

De factor $c_s c_d$ wordt gebruikt om de toets op sterkte uit te voeren (uiterste grenstoestand, UGT), en eventueel voor een doorbuigings- toets (bruikbaarheidsgrenstoestand, BGT). Daarnaast speelt bij windtrillingen de gevoe- ligheid van personen in het gebouw voor trillingen een rol. In de Eurocode zijn hier- voor rekenregels gegeven waarmee de maxi- maal optredende versnelling berekend kan worden. Deze versnelling wordt gebruikt voor toetsing van het gebruikerscomfort (BGT).

In Nederland is voor het bepalen van zowel de UGT als BGT bijlage C aangewezen via de nationale bijlage. Andere landen kiezen voor bijlage B of laten het aan de gebruiker. Beide bijlagen zijn afgeleid van het reken- model dat in de jaren 60 door Davenport is voorgesteld en door diverse onderzoekers verder is ontwikkeld. Hierover is eerder ge- schreven in [4] en [5]. De achtergronden zijn terug te lezen in internationale literatuur en handboeken zoals [6].

Rekenmodel voor langstrillingen in de nieuwe Eurocode

De windbelasting in de nieuwe Eurocode prEN 1991-1-4 wordt in termen van krachten gegeven door:

$$F_w = c_{sd} c_f q_p(z) A_{ref}$$

Deze uitdrukking is gelijk aan die van de huidige Eurocode.

In de nieuwe Eurocode prEN 1991-1-4 wordt de invloed van de fluctuaties in de windbelasting in rekening gebracht door een factor c_{sd} . Deze factor is op dezelfde wijze gedefinieerd als $c_s c_d$ in de huidige norm. De berekening van de piekstuwdruk $q_p(z)$ volgens prEN 1991-1-4 is anders dan in EN 1991-1-4, maar kan via de (nieuwe, nog op te stellen) nationale bijlage worden afgestemd op de huidige EN 1991-1-4. Dit wordt in dit artikel verder niet besproken.

De krachtcoëfficiënten c_f uit de huidige norm zijn niet veranderd, ook de druk-

coëfficiënten c_p zijn niet veranderd. Wel zijn voor meer situaties waarden voor deze coëfficiënten toegevoegd. Al met al betekent dit dat de nieuwe versie van de norm meer pagina's gaat tellen dan de huidige versie.

Bepaling van c_{sd} De berekening van c_{sd} is gebaseerd op dezelfde achtergronden als de twee methoden in de huidige norm, maar verschilt in de uitwerking. De werkgroep van de nieuwe Eurocode had onder meer de opdracht te komen tot één methode voor de berekening van c_{sd} in plaats van de bijlagen B en C in de huidige EN 1991-1-4. De factor c_{sd} wordt in de nieuwe prEN 1991-1-4 als volgt bepaald:

$$c_{sd} = \frac{1 + 2I_u \sqrt{(k_B B)^2 + (k_R R)^2}}{1 + 2k_B I_u(z)}$$

In afwijking van de vergelijking voor $c_s c_d$ in de huidige EN 1991-1-4, wordt gebruikge- maakt van piekfactoren k_B en k_R , in plaats van de piekfactor k_p . Deze factoren geven weer hoeveel maal de standaarddeviatie moet worden opgeteld bij het gemiddelde om de piekwaarde te verkrijgen. Deze ver- schilt voor het responsdeel (k_R toegepast met R , dynamische responsfactor) van het zogenoemde achtergronddeel (k_B , toegepast met B , de achtergrondresponsfactor). Dit onderscheid was in de huidige Eurocode niet gemaakt.

Verder is het verschil in de noemer dat in de huidige Eurocode een vaste waarde van 3,5 voor de piekfactor is gebruikt, waar in de nieuwe Eurocode de parameter k_B wordt gebruikt. Voor k_B wordt wel nog altijd een waarde 3,5 gegeven, behalve als voor de nieuwe nationale bijlage wordt besloten hier een andere waarde voor te geven.

De berekening van de turbulentie intensiteit I_u is gelijk aan de bepaling in de huidige norm.

Relevant voor de bepaling van c_{sd} is de bepaling van de factoren B en R . Hierna worden de rekenregels voor deze factoren uit prEN 1991-1-4 gegeven en wordt een voorbeeld uitgewerkt.

Bepaling van B De factor B (achtergrond- responsfactor) verrekent het effect van de

De nieuwe rekenregels voor wind zijn nog niet beschikbaar voor de ontwerppraktijk, maar kunnen nu al relevant zijn

afmetingen van het bouwwerk ten opzichte van de afmetingen van de vlagen in de turbulente wind. B hangt af van de breedte b , lengte of hoogte l van het bouwwerk en de lengteschaal L , die de grootte van een 'gemiddelde' vlaag representeert.

De factor B wordt in de nieuwe Eurocode als volgt berekend:

$$B^2 = \chi_u^2(\phi_{b,c}) \cdot \chi_u^2(\phi_{b,l})$$

$$\phi_{b,c} = 3,0 \cdot b / L_u^x(z_s)$$

$$\phi_{b,l} = 3,0 \cdot l / L_u^x(z_s)$$

Waarbij:

$$\chi_u^2(\phi) = \frac{2}{\phi^2} (\phi - 1 + e^{-\phi})$$

χ_u^2 is de admittantiefunctie die weergeeft in hoeverre de wind gecorreleerd aangrijpt afhankelijk van de parameter ϕ . ϕ is een dimensieloos getal, dat de verhouding geeft tussen de breedte of hoogte van het aangeblazen oppervlak van de constructie en de vlaag grootte.

De vlaag grootte wordt weergegeven met de lengteschaal $L_u^x(z_s)$, die wordt berekend met de volgende uitdrukking:

$$L_u^x(z) = L_t \left(\frac{z}{z_t} \right)^a \quad \text{for } z \geq z_{\min}$$

$$L_u^x(z) = L_t^x(z_{\min}) \quad \text{for } z < z_{\min}$$

waarin:

z_t is gelijk aan 300 m

L_t is gelijk aan 300 m

z_{\min} is afhankelijk van de ruwheids-categorie

De machtswetconstante α is afhankelijk van de terreinruwheid z_0 : $\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_0)$

Deze uitdrukking is ook in de huidige Eurocode opgenomen, met de kanttekening dat in de huidige EN 1991-1-4 geldt dat $z_t = 200$ m.

De referentiehoogte z_s (waarop $L_u^x(z_s)$ moet worden bepaald) is bij een hoog gebouw gelijk aan 0,6 maal de gebouwhoogte.

De admittantiefunctie χ_u^2 is in figuur 2 weer gegeven.

Als b of l klein is ten opzichte van $L_u^x(z_s)$, dan wordt ϕ kleiner. Als ϕ kleiner is dan 0,1, dan nadert de bijbehorende waarde van χ_u^2 naar 1. Indien zowel b als l klein is, dan is de resulterende waarde voor B ongeveer 1. Als b en of l groter worden ten opzichte van $L_u^x(z_s)$, dan neemt de waarde voor B af. Voor gebouwen ligt ϕ typisch tussen 1 en 20.

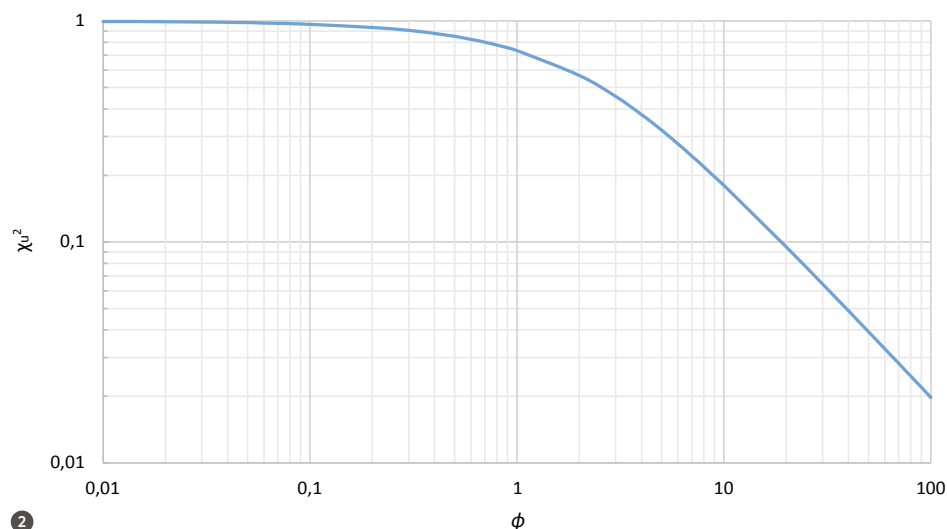
Bepaling van R De factor R (dynamische responsfactor) wordt als volgt bepaald:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2\delta} \cdot S_{N,u}(z_s, n_{1,x}) \cdot \chi_u^2(\phi_{r,c}) \cdot \chi_u^2(\phi_{r,l})$$

$$\phi_{r,c} = 8,6 \cdot \frac{b \cdot n}{v_m(z_s)}$$

$$\phi_{r,l} = 8,6 \cdot \frac{l \cdot n}{v_m(z_s)}$$

Waarbij de admittantiefunctie opnieuw beschreven is met: →



In de nieuwe Eurocode wordt de invloed van de fluctuaties in de windbelasting in rekening gebracht door een factor c_{sd} in plaats van $c_s c_d$

$$\chi_v^2(\phi) = \frac{2}{\phi^2} (\phi - 1 + e^{-\phi})$$

De parameter ϕ is voor de dynamische respons anders gedefinieerd dan voor de achtergrondrespons. Deze wordt bij de dynamische responsie bepaald door de eigenfrequentie van het gebouw ($n = n_{1,x}$). De verhouding tussen het product van de eigenfrequentie en een gebouwmaat (b of l) en de gemiddelde windsnelheid v_m op hoogte z_s (0,6 maal de gebouwhoogte) bepaalt ϕ .

De parameter δ is het logaritmisches decrement van de demping. De parameter $n_{1,x}$ is de (eerste) eigenfrequentie van de constructie voor trillingen in de langsrichting. Zowel voor de demping als voor de eigenfrequenties geeft de Eurocode vuistregels. De eigenfrequenties kunnen ook via een eindige-elementenmodel worden bepaald.

Voor het (dimensieloze) spectrum van de windsnelheid op hoogte z_s geldt:

$$S_{N,u}(z, n) = \frac{n \cdot S_u(z, n)}{\sigma_u^2} = \frac{6,8 f_u(z, n)}{(1 + 10,2 f_u(z, n))^{3/5}}$$

Met:

$$f_u(z, n) = \frac{n \cdot L_u^x(z)}{v_m(z)}$$

waarbij voor n de eigenfrequentie van het gebouw moet worden ingevuld ($n = n_{1,x}$).

De ingangsvariabelen voor de berekening van c_{sd} zijn hiermee vastgelegd:

- de afmetingen van het gebouw (hoogte en breedte);
- de eigenfrequentie en demping (eventueel via vuistregels);
- gegevens van de windsnelheid, turbulentie en de lengteschaal op referentiehoogte z_s .

Damping Voor de bepaling van R is ook de demping δ nodig. De demping δ bestaat uit verschillende bijdragen: de constructieve demping δ_s , de aerodynamische demping δ_a en de demping uit speciale maatregelen δ_d . Speciale maatregelen worden pas voorzien als het dynamisch gedrag onvoldoende wordt gedempt uit de constructieve en aerodynamische demping en worden hier verder niet behandeld.

Voor de constructieve demping geeft prEN 1991-1-4 waarden afhankelijk van constructie-eigenschappen. Deze waarden komen overeen met de waarden in de huidige EN 1991-1-4.

Voor de aerodynamische demping geldt (voor gebouwen met een uniforme verdeling van de massa over de hoogte):

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_e}$$

Hierin is ρ de volumieke massa van lucht (1,25 kg/m³) en c_f de krachtcoëfficiënt. De krachtcoëfficiënt kan worden bepaald uit de sommatie van de drukken aan wind- en zijzijde van het gebouw of op basis van de regels voor krachtcoëfficiënten. Deze regels zijn in de nieuwe prEN 1991-1-4 gelijk aan die in de huidige EN 1991-1-4. Eventueel kan gebruik worden gemaakt van specifiek afgeleide krachtcoëfficiënten, bijvoorbeeld bepaald uit windtunnelonderzoek.

De parameter m_e is de equivalente massa van het gebouw per eenheid lengte. Dit is het deel van de massa van het gebouw dat in trilling wordt gebracht. Dit hangt af van de trilvorm $\Phi(s)$ en de massaverdeling over de hoogte van het gebouw $m(s)$:

$$m_e = \frac{\int_0^l m(s) \cdot \Phi_t^2(s) ds}{\int_{L_{exp}} \Phi_t^2(s) ds} = \frac{M_{gem,i}}{\int_{L_{exp}} \Phi_t^2(s) ds}$$

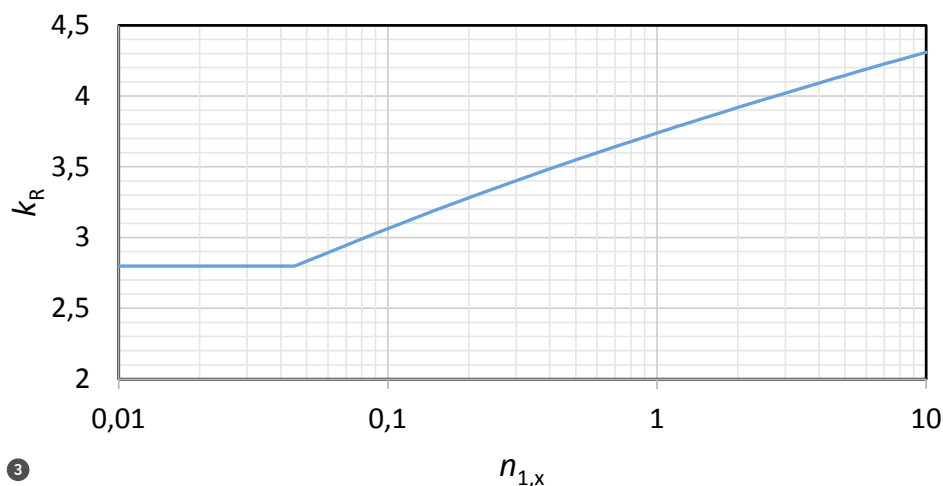
Voor een hoog gebouw met een constante verdeling van de massa over de hoogte is m_e gelijk aan de massa per eenheid van lengte $m(s)$.

Piekfactor Tenslotte moet voor de bepaling van c_{sd} ook de piekfactor k_R worden berekend. Deze volgt uit de volgende vergelijking:

$$k_R = \max \left[2,8; \sqrt{2 \cdot \ln(n_{1,x} T)} + \frac{0,5772}{\sqrt{2 \cdot \ln(n_{1,x} T)}} \right]$$

Waarbij $n_{1,x}$ de eigenfrequentie van de constructie is, T is de middelingstijd die wordt gebruikt voor de stuwdruk (10 minuten, of 600 s). In figuur 3 is k_R gegeven als functie van $n_{1,x}$, gegeven de definitie uit de Eurocode voor $T = 600$ seconden.

Relevant voor de bepaling van c_{sd} is de bepaling van de achtergrondresponsfactor B en de dynamische responsfactor R



Bepaling van a_p Voor de bruikbaarheids-toets wordt gerekend met de topwaarde voor de versnellingen. Deze wordt berekend met de volgende uitdrukking:

$$a_{p,x}(s) = \pm 2 \cdot k_R \cdot c_f \cdot I_u(z_s) \cdot q_m(z_s) \cdot b \cdot K_{R,L} \cdot R \cdot \frac{\Phi(s)}{m_e \cdot \Phi_{\max}}$$

De parameters k_R , c_f , I_u , b , R en m_e zijn hier-voor al geïntroduceerd. Opgemerkt wordt dat hier R wordt gebruikt in plaats van R^2 in de uitdrukking voor c_{sd} . De term $q_m(z_s)$ is de gemiddelde stuwdruk op referentiehoogte, deze wordt berekend uit de basiswindsnelheid en de ruwheid van het terrein (dit is dus niet de piekwaarde die in tabelvorm in de Nationale Bijlage is gegeven).

Voor de toetsing wordt gewerkt met een herhalingsstijd van 1 jaar. Dit wijkt af van de herhalingsstijd van 50 jaar die voor de sterktoets wordt gebruikt, en betekent dat andere waarden voor de stuwdruk, wind-snelheid en factor R worden berekend.

Voor de factor $K_{R,L}$ geldt:

$$K_{R,L} = \frac{1}{2}(\zeta + 2)$$

De waarde van ζ hangt af van de trilvorm. Voor hoge gebouwen met een hoofddraagcon-structie die voornamelijk in afschuiving ver-vormt (zoals bijvoorbeeld een kern in combi-natie met kolommen rondom) wordt een lineair verlopende trilvorm aangenomen, met

$\zeta = 1$. Voor gebouwen met een hoofddraagcon-structie die voornamelijk in buiging vervormt (zoals bijvoorbeeld een hoog gebouw met een gevelbuisconstructie), wordt een gekromde trilvorm aangenomen, met $\zeta = 1,5$. In bijlage I van prEN 1991-1-4 zijn waarden gegeven voor andere constructietypen.

$\Phi(s)$ is de waarde van de trilvorm ter plaatse van de locatie waar de versnelling wordt be-rekend. Φ_{\max} is de maximale waarde van de trilvorm voor de beschouwde eigenfren-quentie. Doorgaans wordt de toets gedaan voor de maximaal optredende versnelling in het gebouw. Dit is voor de betreffende trilvorm op de locatie in het gebouw waar $\Phi(s)$ gelijk is aan Φ_{\max} , de verhouding tussen beiden is dus gelijk aan 1.

Voorbeeld

In een voorbeeld worden de resultaten van de berekening van de factor c_{sd} voor een hoog gebouw gegeven. Uitgangspunt voor de berekening van de windgegevens is de huidige Nederlandse nationale bijlage, windgebied II, onbebouwd gebied.

De berekening betreft een hoog ge-bouw met afmetingen $H = 140$ m, $B = 35$ m en $D = 30$ m met draageconstructie van beton. Voor de dynamische eigenschappen wordt uitgegaan van de benaderingen uit de Euro-code: demping $\delta = 0,10$ en de eigenfrequentie (voor wind loodrecht op de breedste gevel) →

HIVIBE CONSORTIUM

Het HIVIBE-consortium heeft als doel om tot een nauwkeuriger voorspelling van het trillingsge-drag van hoogbouw te komen. Dit heeft impact op het leef-comfort, biedt mogelijkheden voor efficiënt gebruik van materialen en helpt construc-teurs om alternatieven voor de constructie af te wegen. Binnen het consortium worden metin-gen gedaan aan een aantal hoge gebouwen en worden bepalingsmethoden ontwikkeld om in de toekomst nog beter het dynamisch gedrag in de ontwerp-fase te kunnen inschat-ten. Het HIVIBE-consortium bestaat uit BAM, Zonneveld, Fugro, Geobest, IMd, Aronsohn, Structure Portante Grimaud, ABT, BESIX, Peutz, SCIA, SKW en TNO en is gefinancierd binnen het TKI Deltatechnologie.

REFERENTIES

- 1 CEN (2005), EN 1991-1-4 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions, Brussel.
- 2 CEN/TC 250/SC1 (2023), Draft prEN 1991-1-4 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions, 2023-03-30.
- 3 NEN (2019) NEN-EN 1991-1-4;2005/NB;2019, Nederlandse Nationale Bijlage bij EN 1991-1-4, 2019.
- 4 Vrouwenvelder, T., Geurts, C., Dynamica, Windbelasting en voorschriften. *Cement* 2006/1.
- 5 Steenberg, Geurts, van Bentum, Trillingen veroorzaakt door fluctuerende windbelasting. *Bouwen met Staal* 204, 2008.
- 6 Dyrbye and Hansen, *Wind Loads on Structures*, Wiley press, 1996.

is gelijk aan $n_{1,x} = 46/H = 0,33$ Hz. Voor de massa van het gebouw wordt 400 kg/m^3 aangehouden. De berekening is zonder aerodynamische demping uitgevoerd.

De volgende gegevens worden berekend:

Windgegevens			
z_s	$v_m(z_s)$	$I_u(z_s)$	$L^*(z_s)$
84 m	34,14 m/s	0,166	142 m

Berekening achtergrondresponsfactor B			
$\Phi_{B,C}$	$\chi_u^2(\Phi_{B,C})$	$\Phi_{B,L}$	$\chi_u^2(\Phi_{B,L})$
0,74	0,79	2,97	0,45

Berekening dynamische responsfactor R (zonder aerodynamische demping)			
$\Phi_{R,C}$	$\chi_u^2(\Phi_{R,C})$	$\Phi_{R,L}$	$\chi_u^2(\Phi_{R,L})$
2,90	0,47	11,59	0,16

Berekening c_{sd}					
B^2	R^2	k_R	c_{sd}	c_s	c_d
0,363	0,343	3,43	0,91	0,79	1,16

Berekening $a_{p,x,max}$			
R	m_e	c_f^*	$a_{p,x,max}$
0,418	$0,42 \cdot 10^6 \text{ kg/m}$	1,54	$0,035 \text{ m/s}^2$

* c_f is berekend uit een krachtcoëfficiënt en slankheidscorrectie. Aangenomen kan worden dat dit een conservatieve aanname is. $c_{f,0}$ is daarbij gelijk aan 2,25, de slankheid $\lambda = 0,7$ en ψ_λ is gelijk aan 0,69. Deze berekening kan ook met de huidige EN 1991-1-4 worden uitgevoerd.

Ter vergelijking zijn hieronder de resultaten gegeven van dezelfde berekening met de huidige EN 1991-1-4, volgens de Nederlandse

Nationale Bijlage:

Berekening volgens NEN-EN 1991-1-4			
$c_s c_d$	c_s	c_d	$a_{p,x,max}$
0,98	0,82	1,19	$0,037 \text{ m/s}^2$

Voor deze casus wordt in de nieuwe Eurocode dus een wat lagere dynamische respons berekend, en is de resulterende factor c_{sd} lager dan $c_s c_d$ in de huidige Eurocode.

Over wat dit uiteindelijk betekent voor de totale in rekening te brengen belastingen na invoering van de nieuwe Eurocodes, kan nog geen conclusie worden getrokken. In de nieuwe Eurocode zijn meerdere rekenregels en keuzes voor parameters aangepast en het zal in de komende periode duidelijk worden hoe dit in Nederland en andere landen wordt vertaald naar de Nationale Bijlagen.

HiViBe cases

In het HiViBe-consortium (zie kader 'HiViBe-consortium') zijn door de deelnemende partijen drie cases volgens de nieuwe prEN 1991-1-4 doorgerekend (fig. 4). Deze cases zijn gebruikt om met elkaar te bespreken welke keuzes er worden gemaakt in de berekening, waar eventuele verschillen zitten en om uiteindelijk overeenstemming te bereiken over de te volgen berekeningen. Deze cases zijn zowel voor de langs-, dwars- en torsietrillingen doorgerekend. De lezers van dit (en het volgende) artikel worden uitgenodigd deze cases ook door te rekenen, zoals voor het uitgewerkte voorbeeld in dit artikel weergegeven. De (tussen) uitkomsten van deze cases zullen in een later artikel uitgebreid worden behandeld. ●

Tabel 1 Drie cases volgens de nieuwe prEN 1991-1-4 doorgerekend in het HiViBe-consortium

parameter	case 1	case 2	case 3
hoogte h	150 m	200 m	64 m
breedte b	50 m	25 m	35 m
diepte d	20 m	25 m	25 m
constructiemateriaal	beton	staal	beton
totale massa	$75 \cdot 10^6 \text{ kg}$	$50 \cdot 10^6 \text{ kg}$	$10 \cdot 10^6 \text{ kg}$
eigenfrequentie $n_{1,x}$	0,31 Hz	0,23 Hz	0,72 Hz
eigenfrequentie $n_{1,y}$	0,34 Hz	0,25 Hz	0,79 Hz
eigenfrequentie $n_{1,torsion}$	0,40 Hz	0,30 Hz	0,93 Hz
demping $d_{structural}$	0,1	0,05	0,1

Wind volgens windgebied II, onbebouwd, huidige Nederlandse NB

