

- ir. F.H. van der Linde, directeur
- ing. J.P. van der Windt, directeur
- ir. M.J. Durian
- ing. H.J. Hoorn
- ir. A. J. Robbemont

Leidraad berekenen van een aardbevingsbelasting conform NEN-EN 1998-1:2004 en NPR 9998:2005 volgens de Lateral Force Method of analysis

projectnr.: 2014-024

Opdrachtgever : Nederlandse Aardolie Maatschappij b.v.
De Nieuwbouwregeling
Postbus 28000
9400 HH Assen
telefoon: 0592 - 36 91 11
internet : www.nam.nl

Rotterdam, 20 maart 2014

DISCLAIMER

In deze leidraad wordt een berekeningsmethode voor een bouwconstructie uitgewerkt om te voldoen aan de grenstoestand NC van de NPR 9998 februari 2015 (groene versie).

De aangegeven berekening zal voor elk project variëren en dient te worden aangepast aan de constructieve uitgangspunten van het te berekenen project.

De initiatiefnemer/hoofdconstructeur van een project is verantwoordelijk voor de juiste toepassing van de in dit rapport gehanteerde normen/voorschriften.

NAM b.v. en Zonneveld ingenieurs b.v. aanvaarden geen enkele aansprakelijkheid voor de bouwwerken die mede met dit rapport tot stand worden gebracht en/of de financiële gevolgen die uit het gebruik van dit rapport voortvloeien.

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	2
Voorwoord	3
1 Inleiding	4
2 Berekeningsmethodes	5
Inleiding tot berekeningsmethodes	5
Lateral Force Method	5
3 Constructieve afwegingen	10
Torsiegevoeligheid	10
Hoogteverschil	11
Demping	12
4 Opmerkingen t.b.v. berekeningen	13
Berekening massa	13
Berekenen van aardbevingsbelasting	13
Toepassen van de aardbevingsbelasting	15

Voorwoord

Voor het ontwerp van een aardbevingsbestendige woning dienen constructieberekeningen volgens de NEN-EN 1998-1:2004 en de NPR 9998:2015 (februari) te worden gemaakt.

Een initiatiefnemer of opdrachtgever van een bouwproject dient hiervoor een constructieadvies aan te vragen. Als het constructieadvies wordt ingediend volgens deze leidraad zal het beoordelingsproces sneller verlopen omdat dan in een keer alle gewenste informatie kan worden aangeleverd. De initiatiefnemer wordt verzocht deze leidraad aan hun constructieadviseur ter beschikking te stellen.

1 Inleiding

Ten behoeve van het bepalen van een aardbevingsbelasting volgens de nationale voorschriften heeft Zonneveld Ingenieurs deze leidraad opgesteld. Uitgangspunt voor deze leidraad zijn de NEN-EN 1998-1:2004 en de NPR 9998:2015 (februari), verder te noemen EC8/NPR.

Deze leidraad bevat uitgangspunten, ontwerpadviezen en een te hanteren stappenplan voor het definiëren van een aardbevingsbelasting volgens de 'Lateral Force Method'. De 'Lateral Force Method' is de meest eenvoudige rekenwijze om aan te tonen dat een project aardbevingsbestendig kan worden gebouwd. Voor meer geavanceerde methoden dient de Eurocode 8 geraadpleegd te worden.

De berekening van een aardbevingsbelasting conform deze methode mag slechts worden toegepast indien aan de uitgangspunten voldaan wordt. Vervolgens kan het stappenplan gehanteerd worden om de belasting te bepalen waarbij de ontwerpadviezen in overweging genomen kunnen worden.

2 Berekeningsmethodes

Inleiding tot berekeningsmethodes

Berekeningen worden gebaseerd op EC8/NPR. In EC8 worden drie methodes gepresenteerd om een aardbevingsbelasting te berekenen:

1. Lateral force method of analysis (§ 4.3.3.2)
2. Modal response spectrum analysis (§ 4.3.3.3)
3. Non-linear methods (§ 4.3.3.4)

Van deze methodes is de Lateral force method of analysis (LFM) de meest eenvoudige methode, deze is gebaseerd op een 1-massa-veer-demper-systeem. Uitgangspunten en te hanteren getallen voor toepassing van deze methode worden gepresenteerd in EC8/NPR. In onderstaande tabel is weergegeven wanneer elke methode toegepast dient te worden.

	Lateral force method of analysis	Modal response spectrum analysis	Non-linear methods
Wanneer toe te passen?	Voor gebouwen waarvan de respons niet significant beïnvloed wordt door eigenmodes hoger dan de eerste	Voor lineaire berekeningen indien het bouwwerk niet aan de voorwaarden van de 'Lateral force method of analysis' voldoet	Als een lineaire analyse niet volstaat

In deze leidraad zal verder alleen ingegaan worden op de LFM.

Lateral Force Method

Uitgangspunten

Indien de LFM toegepast wordt, dient de constructie te voldoen aan de uitgangspunten zoals beschreven in EC8/NPR en in deze leidraad.

Grenstoestanden

In EC8 worden drie grenstoestanden onderscheiden:

1. Near Collapse (NC): de bouwconstructie staat op instorten maar stort niet in
2. Significant Damage (SD): significante beschadiging
3. Damage Limitation (DL): schadebeperking

De grenstoestand NC dient te allen tijde te worden beschouwd terwijl de toestanden SD en DL optioneel kunnen worden beschouwd. Bij een berekening conform de EC8/NPR kan met de grenstoestand NC worden volstaan.

Ductiliteitklassen

Ductiliteit of vervormbaarheid is de mate waarin een materiaal plastische vervorming toelaat. De mate van ductiliteit is gecategoriseerd in EC8/NPR in

ductiliteitklassen. Hierin zijn de categorieën lage, medium en hoge ductiliteit onderscheiden. Bij een constructie die valt in DCL (lage ductiliteit) zullen geringere verplaatsingen toelaatbaar zijn dan voor een constructie in DCM of DCH alvorens te bezwijken.

De ductiliteitklassen zijn daarmee gerelateerd aan de gedragsfactor q : een hogere ductiliteitsklasse zal leiden tot een hogere gedragsfactor. Dit heeft een gunstig effect heeft op het spectrum van de respons omdat de piek van het spectrum gereduceerd wordt bij een hogere gedragsfactor.

Ductiliteit kan beschouwd worden voor elementen, verbindingen en de gehele constructie. Het is hierbij van belang dat de verbindingen eerder plastisch vervormen dan de elementen.

Symmetrie in plattegrond en hoogte

Voor de berekening van de basiskracht F_b als gevolg van een aardbeving worden in EC8/NPR voorwaarden gegeven met betrekking tot symmetrie in plattegrond en hoogte. In het geval van een asymmetrische plattegrond kan een van de volgende oplossingen aangedragen worden:

1. Symmetrie in stijfheid genereren door het correct positioneren van de stabiliserende elementen. Hierbij dient eerst het zwaartepunt van de massa bepaald te worden. De symmetrie kan getoetst worden door een stabiliteitsberekening uit te voeren waarbij een niet prismatische ligger gedefinieerd wordt.
2. Wanneer dit niet haalbaar is, zal de LFM niet toegepast kunnen worden. Voor bepaalde gebouwen kan het toepassen van seismische verbindingen gunstig zijn. Hierbij wordt het gebouw opgedeeld in meerdere compartimenten waarbij per compartiment de symmetrie van de plattegrond bekeken kan worden. Berekeningen met seismische verbindingen worden beschreven in §4.4.2.7 van EC8 ;
3. Als bovenstaande voorwaarden niet voldoen, dient een andere methode volgens de norm gehanteerd te worden

Het verschil in hoogte kan worden meegenomen door een reductie van 20% toe te passen op de gedragsfactor.

In onderstaande tabel (tabel 4.1 EC8/NPR) is een overzicht gepresenteerd aan welke voorwaarden een gebouw moet voldoen opdat de LFM toegepast mag worden.

Regelmaat			Gedragsfactor	
Plattegrond	Hoogte	Model	Lineair elastische analyse	(voor lineaire analyse)
Ja	Ja	Plenair	Lateral force	Referentie waarde
Ja	Nee	Plenair	Modaal	Gereduceerde waarde
Nee	Ja	Ruimtelijk	Lateral force	Referentie waarde
Nee	Nee	Ruimtelijk	Modaal	Gereduceerde waarde

Gedragfactor

De materiaalkeuze voor de hoofddraagconstructie, de ductiliteitsklasse en het constructietype bepalen welke gedragfactor gehanteerd dient te worden. De gedragfactor beïnvloedt de hoogte van de piek van het elastisch respons spectrum. Er geldt: hoe hoger de gedragfactor, hoe lager de piek van het spectrum. De hoogste gedragfactor wordt verkregen door een combinatie van de volgende eigenschappen:

1. Een hoofddraagconstructie met veel vervormingcapaciteit
2. Een evenredige hoogte verdeling van verdiepingen
3. De keuze voor een ductiel materiaal

Voor constructies opgebouwd uit beton en staal of staal en metselwerk worden in EC8 waarden gegeven voor de gedragfactor. Een samenvatting hiervan is weergegeven in de tabel op pagina 9. In deze tabel is de factor α_u/α_i de ductiliteit van de constructie. De te hanteren waarden kunnen worden verkregen vanuit EC8 (opmerkingen bij tabellen gedragfactoren) of vanuit een pushover berekening. Bij toepassing van de LFM zullen de waarden in EC8 afdoende zijn.

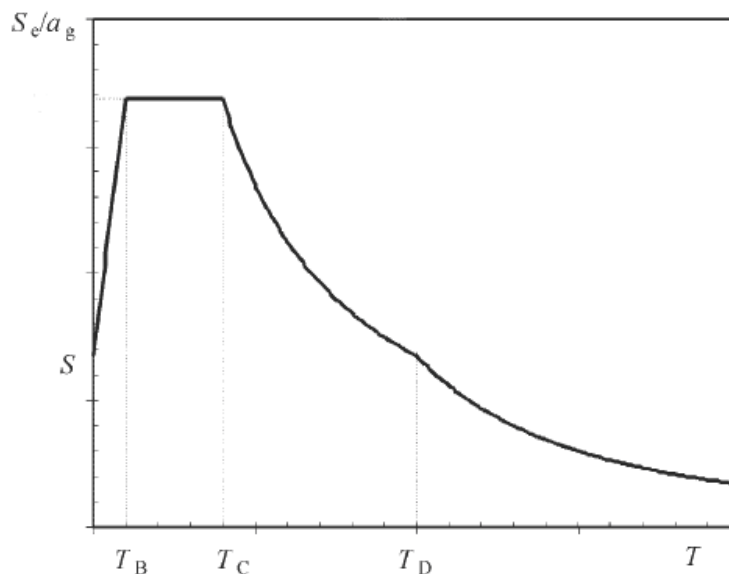
Stappenplan

Voor de berekening van de aardbevingsbelasting volgens EC8/Memo dienen de volgende stappen te worden doorlopen:

- | | | |
|----------------|--|-------------------|
| Stap 1: | Bepaal gevolgklasse, grenstoestand en γ_1 | (NPR: Tabel 3.1) |
| Stap 2: | S , T_B , T_C , en T_D , uit | (NPR: Tabel 3.2) |
| Stap 3: | Bepaal a_g afhankelijk van gebied | (NPR: Figuur 3.1) |
| Stap 4: | Bepaal ductiliteitsklasse en q | (EC8: 2.2.2 (2)) |
| Stap 5: | Bepaal T_1 | (EC8: f.4.6) |
| Stap 6: | Bereken $S_d(T_1)$ | (NPR: pag.25) |
| Stap 7: | Bepaal m volgens gewichtsberekening met | (EC8/NPR: 3.2.4) |
| Stap 8: | Bepaal λ en F_b | (EC8/NPR: f.4.5) |

Deze stappen dienen te worden doorlopen voor elk van de twee hoofdrichtingen. Verdere opmerkingen bij het stappenplan zijn:

- | | |
|----------------|---|
| Stap 1: | Hanteer near collapse (NC) |
| Stap 2: | Er geldt voor het horizontale elastisch respons spectrum:
$S = 1,00$
$T_B = 0,10 s$
$T_C = 0,22 s$
$T_D = 0,45 s$ |



Dimensieloos elastisch responspectrum uit NPR (fig 3.1)

- Stap 3:** -
- Stap 4:** Na het lezen van EC8: 2.2.2 (2) zal de gedragsfactor q uiteindelijk bepaald dienen te worden aan de hand van tabellen uit hoofdstuk 5-9 uit EC8. Hierbij dienen ook de bijbehorende opmerkingen in beschouwing genomen te worden om eventuele hoogteverschillen van het gebouw mee te nemen. De gevonden waarde mag volgens NPR art. 3.2.2.5 worden vermenigvuldigd met 1,33.
- Stap 5:** Voor het bepalen van de factor C_t zal een keuze uit de gepresenteerde waarden bij EC8 f.4.6 voldoende zijn, deze hoeft niet verder berekend te worden met artikel 4.3.3.2.2(4).
- Stap 6:** -
- Stap 7:** In de gewichtsberekening hoeft de massa van de begane grondvloer niet meegenomen te worden
- Stap 8:** -

	Beton		Staal		Staal-beton		Hout		Metselwerk	
	DCM	DCH	DCM	DCH	DCM	DCH	DCM	DCH	DCM	DCH
Frame, <u>dual frame</u>	3 α_u/α_i	4,5 α_u/α_i	-	-	-	-	-	-	-	-
Gekoppeld wand systeem	3	4 α_u/α_i	3	4 α_u/α_i	3 α_u/α_i	4,5 α_u/α_i	-	-	-	-
<u>Ongekoppeld</u> wand systeem	3	4 α_u/α_i	3	4 α_u/α_i	-	-	-	-	-	-
Torsie flexibel systeem	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-
Omgekeerd <u>pendulum</u> systeem	1	2	2	2 α_u/α_i	2	2 α_u/α_i	-	-	-	-
Momentvaste frames	-	-	4	5 α_u/α_i	4	5 α_u/α_i	-	-	-	-
Frames met diagonale schoren	-	-	4	4	4	4	-	-	-	-
Frames met <u>V-schoren</u>	-	-	2	2,5	2	2,5	-	-	-	-
Excentrisch geschoorde frames	-	-	4	5 α_u/α_i	4	5 α_u/α_i	-	-	-	-
Momentvaste frames met schoren	-	-	4	4 α_u/α_i	-	-	-	-	-	-
Gevulde momentvaste frames *										
a) <u>Ongekoppeld</u> betonnen of metselwerk vullingen	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-
b) Gewapend beton	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
c) <u>Ongekoppeld</u> vullingen	-	-	4	5 α_u/α_i	-	-	-	-	-	-
<u>Shear walls</u>	-	-	-	-	3 α_u/α_i	4 α_u/α_i	-	-	-	-
Gelijmde panelen verbonden met nagels en bouten; Vakwerken met <u>deuvels</u> en bouten - Constructies met portalen en niet dragende <u>infill frames</u> - Verbindingen met, met <u>Polyurethaan ingelijmde draadeinden</u>	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
Genagelde wandpanelen met gelijmde wandschijven vakwerken met draadnagels	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-
Genagelde wandpanelen met genagelde wandschijven - Statisch bepaalde portalen met <u>gedeuvelde</u> en <u>geboute</u> verbindingen, mits voldoende slankheid en/of gewapend;	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-
Ongewapend metselwerk	-	-	-	-	-	-	-	-	1,5-2,5	1,5-2,5
Gedeelte metselwerk	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0-3,0	2,0-3,0
Gewapend metselwerk	-	-	-	-	-	-	-	-	2,5-3,0	2,5-3,0

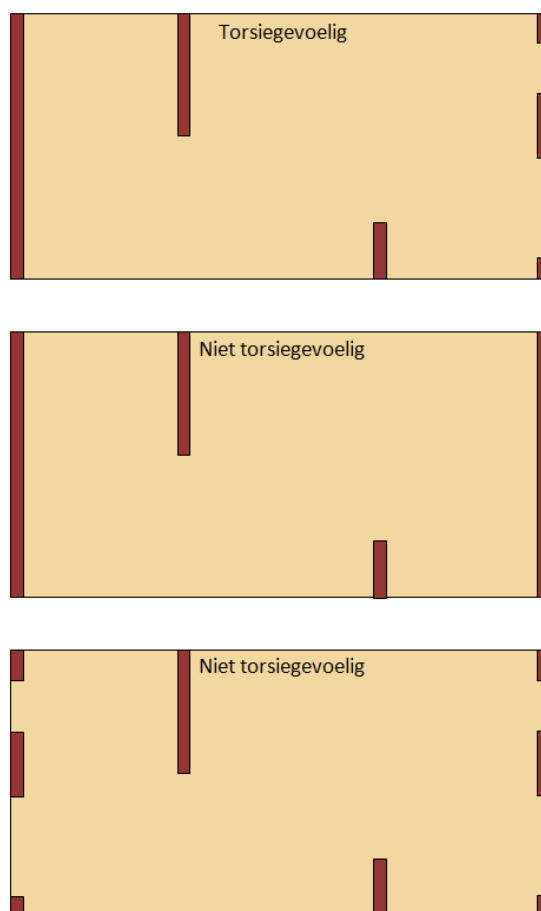
3 Constructieve afwegingen

In dit hoofdstuk worden constructieve afwegingen ten behoeve van een aardbevingsbestendig constructief ontwerp gepresenteerd.

Torsiegevoeligheid

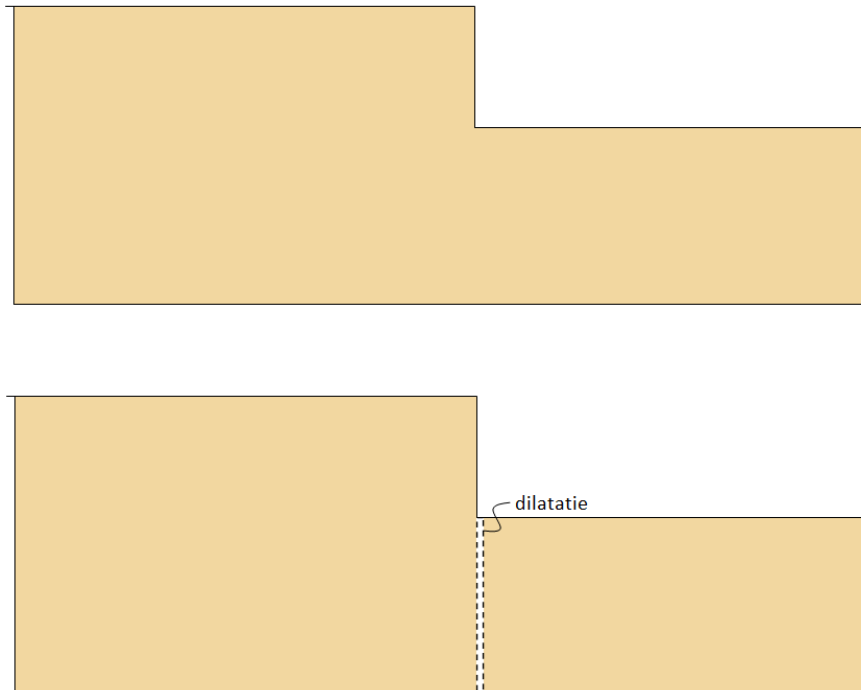
Om de LFM toe te kunnen passen, dient een constructie ongevoelig te zijn voor torsie in elk van de twee hoofdrichtingen. Dit kan opgelost worden door ervoor te zorgen dat er een gelijkmatige stijfheidverdeling is van de stabiliserende elementen.

In onderstaande afbeelding is te zien dat de bovenste indeling van de plattegrond een ongelijkmatige stijfheidverdeling heeft en dus torsiegevoelig is. De LFM mag niet worden toegepast op de constructie met deze plattegrond.



De stijfheidverdeling kan gelijkmatig worden door op de rechteras stijfheid toe te voegen (middelste indeling) of door op de linker as stijfheid weg te nemen (onderste indeling). Met deze maatregel is de constructie ongevoelig voor torsie en dus mag de LFM toegepast worden.

De bovenste plattegrond in onderstaande afbeelding is asymmetrisch en dus kan de LFM niet worden toegepast. Dit kan worden opgelost door de plattegrond op te splitsen in twee delen waartussen een dilatatie gemaakt wordt zoals is weergegeven in de onderste figuur.

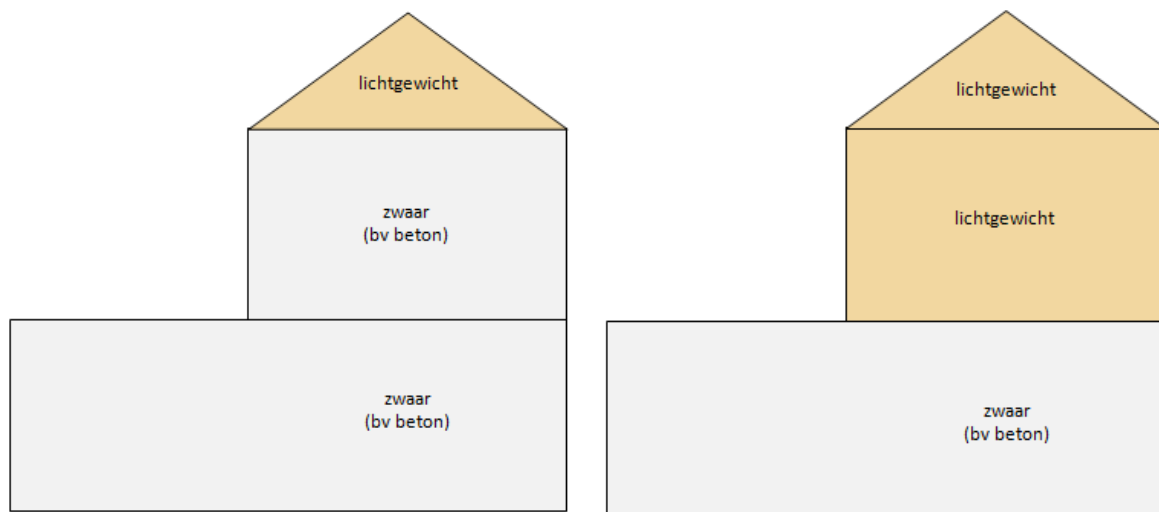


Beide delen dienen afzonderlijk beschouwd en getoetst te worden op torsiegevoeligheid in de twee hoofdrichtingen om te toetsen of de LFM toegepast kan worden. Ook dient voor beide delen een berekening van een aardbevingsbelasting en de corresponderende respons gemaakt te worden in beide hoofdrichtingen. De dilatatie dient te voldoen aan de detailleringregels uit EC8.

Hoogteverschil

Een constructie waarbij geen constante verdiepingshoogte is, kan toch als 1-massa-veer-demper-systeem beschouwd worden indien de constructie gemodelleerd kan worden als zijnde constant in hoogte. Dit is bijvoorbeeld mogelijk indien de bovenbouw van de constructie lichtgewicht is ten opzichte van de onderbouw. In onderstaande figuur is links weergegeven dat zowel de begane grond als de verdiepingvloer zijn opgebouwd uit beton. In dit geval kan de LFM niet worden toegepast.

Indien de betonnen opbouw van de verdiepingvloer wordt vervangen door een lichtgewicht constructie zoals weergegeven in de rechterfiguur dan kan de verdieping en het dak gemodelleerd worden als een extra belasting op de constructie. Op deze manier kan de constructie gemodelleerd worden als een gebouw met een gelijkmatige verdiepingshoogte.



Dit is tevens gunstig voor de te hanteren aardbevingsbelasting op de constructie doordat de massa een lineaire relatie heeft met de horizontale belasting die door de aardbeving wordt opgewekt. Indien de massa gereduceerd wordt dan zal de aardbevingsbelasting dus ook gereduceerd worden.

Om bij een lichte bovenbouw rekening te houden met het hoogteverschil moet alsnog wel een reductie van 20% worden toegepast op de gedragsfactor.

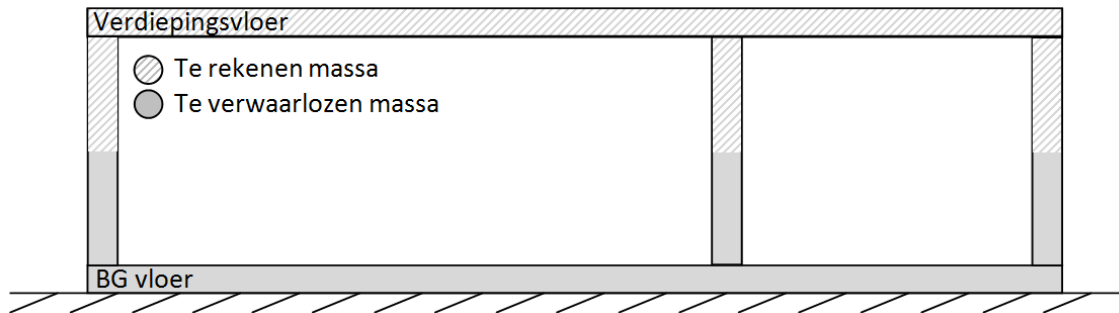
Demping

Indien de optredende versnellingen als gevolg van een aardbeving te hoog zijn en de constructie niet aangepast kan worden om deze meer aardbevingbestendig te maken dan kan er gekozen worden om dempers toe te passen. Hierbij kan worden gedacht aan in de constructie geïntegreerde dempers en aan externe dempers.

4 Opmerkingen t.b.v. berekeningen

Berekening massa

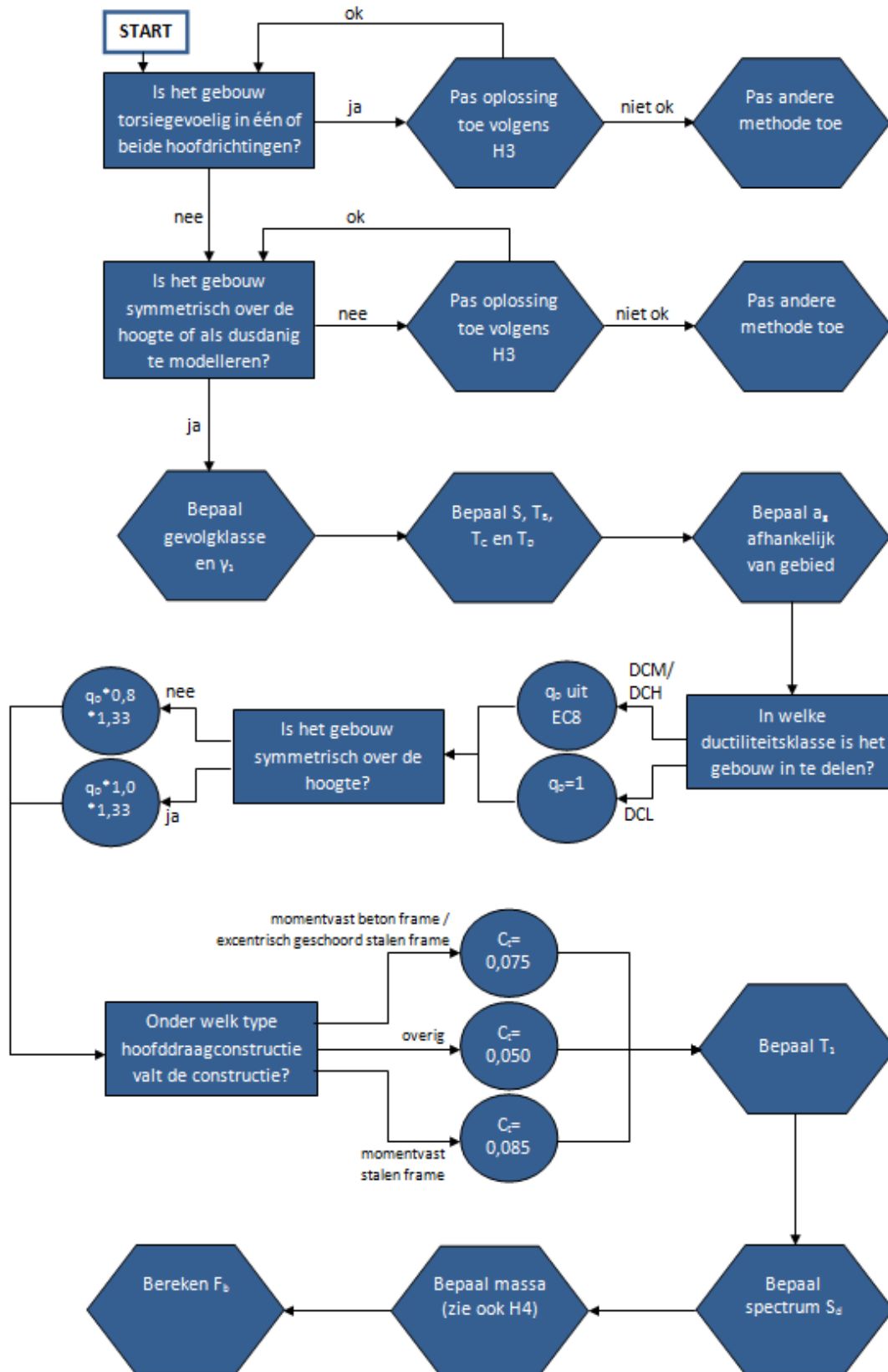
De in rekening te brengen massa is alle massa boven de helft van de wanden op de begane grond, zie ook onderstaande afbeelding.



Berekenen van aardbevingsbelasting

Op de volgende pagina is een stroomschema weergegeven waarmee een aardbevingsbelasting berekend kan worden volgens de LFM. Dit stroomschema dient te worden doorlopen voor elk van de twee hoofdrichtingen van de te toetsen constructie.

In de eerste stappen van het stroomschema zullen de uitgangspunten van de LFM getoetst worden. Indien de constructie hieraan voldoet dan zullen de stappen zoals gepresenteerd in het stappenplan in Hoofdstuk 2 doorlopen worden. De artikelnummers, tabellen en figuren behorende bij elke stap zijn dan ook in dit stappenplan vermeld. Uiteindelijk zal er een aardbevingsbelasting F_b volgens de LFM berekend worden voor beide hoofdrichtingen.



Toepassen van de aardbevingsbelasting

Belastingsgevallen

Voor een eenvoudig gebouw welke voldoet aan de voorwaarden van de LFM kunnen de volgende standaard belastingsgevallen beschouwd worden:

- BG1: Permanent
- BG2: Variabel (personen e.d.)
- BG3a: Aardbeving NC (inclusief variabele verticale belasting)
- BG3b: Aardbeving NC (exclusief variabele verticale belasting)

Hierbij is wind verwaarloosd. Conform EC8/NPR dient alleen NC beschouwd te worden.

Belastingcombinaties

Bovenstaande belastinggevallen kunnen gecombineerd worden tot verschillende belastingcombinaties:

- BC1: $1,0 \cdot BG1 + 1,0 \cdot \psi_2 \cdot BG2 + 1,0 \cdot BG3a$
- BC2: $1,0 \cdot BG1 + 1,0 \cdot BG3b$

Indien deze combinaties gebruikt worden om bijvoorbeeld een berekening in Technosoft te maken dan dienen de belastingen in twee richtingen per hoofdrichting aangebracht te worden.

Slotwoord

Het berekenen van een aardbevingsbestendige constructie is een complex proces. In deze leidraad wordt de meest eenvoudige methode toegelicht. Voor meer geavanceerde methoden verwijzen wij naar Eurocode 8. Wij hopen dat deze leidraad een bijdrage zal leveren aan het snel doorgronden van de methodiek en de gebruiker op weg zal helpen bij het uitwerken van een aardbevingsbestendig bouwwerk.