



Witte versie Nederlandse Praktijkrichtlijn over aardbevingen beschikbaar

# NPR 9998: van groen naar wit

*Om een goede basis te scheppen voor het ontwerpen en dimensioneren van nieuwe gebouwen en het bepalen van de constructieve veiligheid van bestaande gebouwen werd in februari 2015 de groene versie van NPR (Nederlandse Praktijk Richtlijn) 9998 uitgebracht. Op deze versie kon vanuit de bouwpraktijk commentaar worden geleverd. Met behulp van dit commentaar, en verdere studies, is in december 2015 de witte versie van NPR 9998 uitgebracht. In dit artikel wordt op enkele van de meest essentiële aanpassingen ingegaan.*

Op 18 december 2015 is NPR 9998 'Ontwerp en beoordeling van aardbevingsbestendige gebouwen bij nieuwbouw, verbouw en afkeuren – geïnduceerde aardbevingen' gepubliceerd. Daarin zijn meer dan 300 ontvangen commentaren verwerkt en is rekening gehouden met de laatste stand der techniek ten opzichte van de 'groene' versie van februari 2015. De minister van Economische Zaken heeft de NPR toegestuurd aan de Tweede Kamer. Hij heeft daarbij aangegeven in samenspraak met zijn collega van BZK begin 2016 te zullen besluiten over eventuele aansturing van deze NPR via de Regeling Bouwbesluit 2012.

Ten opzichte van de groene versie, die in januari 2015 voor commentaar werd aangeboden, is een aantal aanpassingen doorgevoerd. Dit betreft onder meer de volgende aspecten:

- eisen aan veiligheid en schadebeperking;
- bepaling van de seismische belasting op de constructie;
- het in rekening brengen van het gedrag van de ondiepe ondergrond;
- bepaling seismische weerstand van gebouwen met geavanceerde numerieke rekenprogramma's.

### Eisen aan veiligheid en schadebeperking

De eisen die aan bouwwerken kunnen worden gesteld, hebben een relatie met de mate van beschadiging van de bouwconstructie, en worden onderscheiden naar drie grenstoestanden:

- de bouwconstructie staat op het punt in te storten (Near Collapse, NC);
- de bouwconstructie is significant beschadigd (Serious Damage, SD);
- de bouwconstructie is beperkt beschadigd (Damage Limitation, DL).

Het niveau NC wordt gebruikt als uitgangspunt voor de bepaling van de persoonlijke veiligheid.

### Eisen aan de persoonlijke veiligheid

In het Bouwbesluit 2012, dat NEN 8700 aanstuurt, is voor bouwwerken een maximaal toelaatbaar individueel risico (IR) vastgelegd van  $10^{-5}$ . Dit geldt zowel voor nieuwbouw als voor bestaande bouw [1]. Dit minimumveiligheidsniveau is door de minister van Economische Zaken in zijn brief aan de Tweede Kamer van 16 december 2015 ook vastgesteld voor het beoordelen van gebouwen onder geïnduceerde aardbevingsbelasting in Noord-Nederland.

Hierbij verdienen twee aspecten de aandacht die in NPR 9998 vooralsnog niet zijn meegenomen. Nagegaan zal worden of deze aspecten in toekomstige versies van de NPR een plaats moeten krijgen. Het betreft:

- Indien er sprake is van meerdere slachtoffers als gevolg van bouwkundig falen door aardbevingen kan het groepsrisico maatgevend worden [2].
- De meeste gebouwen in Nederland hebben een veel grotere veiligheid dan het vereiste minimum vanuit individuele veiligheid; vraag is of we nog tevreden kunnen zijn met het IR-criterium als dat ineens op grote schaal werkelijkheid wordt.

Het betrouwbaarheidsniveau wordt in een probabilistische veiligheidsbeschouwing uitgedrukt in de kans op falen of, gelijkwaardig daaraan, in de betrouwbaarheidsindex  $\beta$ . Het verband tussen beide grootheden wordt gegeven door:

$$P_f = \Phi(-\beta)$$

met:

$P_f$  = faalkans

$\Phi(\cdot)$  = verdelingsfunctie voor de normale verdeling

De hoogte van de betrouwbaarheidsindex  $\beta$  wordt bepaald door de eisen ten aanzien van de menselijke veiligheid. Voor de conditionele overlijdenskans  $P_{dlf}$  uitgaande van falen van de constructie, worden de waarden gebruikt zoals deze ook al in de groene versie van de NPR waren opgenomen (zie ook [3]). Per gevolgklasse kan dan de uit het oogpunt van veiligheid acceptabele bezwijkkans van de constructie op jaarbasis worden berekend:

$$P_f \times P_{dlf} < 10^{-5}$$

leidend tot:

$$\text{gevolgklasse 1B: } P_{dlf} = 0,07 \quad P_f \leq 1,43 \cdot 10^{-4} \quad \rightarrow \beta \geq 3,6$$

$$\text{gevolgklasse 2: } P_{dlf} = 0,15 \quad P_f \leq 6,67 \cdot 10^{-5} \quad \rightarrow \beta \geq 3,8$$

$$\text{gevolgklasse 3: } P_{dlf} = 0,50 \quad P_f \leq 2 \cdot 10^{-5} \quad \rightarrow \beta \geq 4,1$$



2

Hierin is  $P_f$  de kans op instorten van een bouwwerk ten gevolge van de aardbevingsbelasting en is  $P_{dlf}$  de kans op overlijden gegeven de instorting. Op basis van de gevonden betrouwbaarheidsindices zijn herhalingscyclen voor de rekenwaarden van de aardbevingsbelasting afgeleid (tabel 1).

Op basis van de hazardcurves uit het KNMI-model (2015) (zie onder kopje 'Bepaling van seismische belasting: basisoverwegingen', verderop in dit artikel), zijn de partiële factoren uit tabel 1 berekend. Hierbij is rekening gehouden met een fragility curve (verdelingsfunctie van de seismische weerstand van een gebouw) met een variatiecoëfficiënt van  $V = 0,3$  voor nieuwbouw en  $V = 0,5$  voor bestaande bouw. Dit zijn internationaal gangbare waarden.

Tabel 1 Berekening  $\gamma_i$  en  $\gamma_M$

		$T_{herm}$ [jaar]	$V(R)$	$\gamma_M$	$\gamma_i$
nieuw	CC1B	1200	0,3	1,1	1,4
	CC2	1800	0,3	1,2	1,6
	CC3	3600	0,3	1,3	1,9
bestaand	CC1B	800	0,5	1,1	1,2
	CC2	1500	0,5	1,2	1,5
	CC3	3000	0,5	1,3	1,8

Opgemerkt wordt dat  $\gamma_M$  hier niet de materiaalfactor  $\gamma_m$  (waarmee vloeï- of breukspanning wordt gereduceerd) is, maar de partiële factor voor de sterkte uitgedrukt in de PGA (maximale grondversnelling bij een aardbeving) waarbij bezwijken optreedt. Hierin is tevens de modelonzekerheid opgenomen.  $\gamma_i$  is de belangrijkheidsfactor voor de beschouwde gevolgklasse en beoordelingssituatie (in dit geval Near Collapse (NC)). Er kan daarom – bij lineaire berekeningen – ook worden gerekend met een  $\gamma_i \cdot \gamma_M$  - factor aan de belastingskant.

#### Eisen aan schadebeperking

Voor nieuwbouw zijn ook rekenregels gegeven voor SD en DL (aansluitend bij de Eurocode, NEN-EN 1998-1) alsmede herhalingscyclen van de aardbevingsbelasting voor de in NEN 8700 opgenomen gevolgklassen. Deze herhalingscyclen zijn gekozen aansluitend bij wat internationaal gebruikelijk is. In de Australische/Nieuw-Zeelandse normen [4] wordt een systematische aanpak gevolgd bij het indelen van constructies. Dit wordt ook gedaan voor bruikbaarheidsgrenstoestanden met als gevolg daarvan toepassen van een bepaalde belangrijkheidsfactor. Met betrekking tot de bruikbaarheidseisen gaat het er vooral om of, na de aardbeving, de belangrijkste functies van het gebouw kunnen doorgaan, en hoe snel herstel kan plaatsvinden. Deze denkwijze is ook ingevoerd in NPR 9998 met strenge eisen voor bouwwerken die levensreddend kunnen zijn na een aardbeving (bijv. ziekenhuizen).

## Bepaling van seismische belasting: basisoverwegingen

Met betrekking tot de geïnduceerde bevingen in Groningen voerden zowel NAM als KNMI onafhankelijk seismische hazardstudies uit [5, 6, 7]. Deze hazardstudies resulteerden in PGA-kaarten en in waarden voor de spectrale versnellingen op elke locatie.

Een Probabilistische Seismische Dreigingsanalyse (PSHA; probabilistic seismic hazard analysis) is internationaal de meest gebruikte methode om uit de seismische dreiging de seismische belasting te bepalen.

Voor een PSHA zijn de volgende gegevens nodig:

1. een verdeling van het aantal bevingen (in ruimte en tijd);
2. een verdeling van die bevingen naar sterkte (Gutenberg-Richter-relatie);
3. een relatie tussen grondversnelling en magnitude (Ground Motion Prediction Equation; GMPE).

### Aantal bevingen

Het KNMI heeft gekozen om voor het aantal bevingen en het patroon van ruimtelijke spreiding binnen Groningen het gemiddelde over de afgelopen vijf jaar te nemen (ca. 22 bevingen per jaar met een magnitude  $M > 1,5$  op de schaal van Richter) en dit als representatief aan te nemen voor de (nabije) toekomst. De ruimtelijke verdeling is gebaseerd op een viertal zones waarbinnen een homogene verdeling wordt verondersteld.

### Sterkte van de bevingen

Binnen elke zone veronderstelt het KNMI voor de seismiciteit eenzelfde Gutenberg-Richter-karakteristiek. Voor elke zone wordt de  $b$ -waarde bepaald, die de verhouding tussen het aantal grote en kleine bevingen beschrijft. Op basis van een literatuurstudie naar geïnduceerde bevingen bij gasvelden elders in de wereld houdt het KNMI voor het Groninger veld een maximale magnitude aan van  $M_{\max} = 5,0$  voor de PGA-waarden. Een sluitend bewijs dat dit geldt voor het Groningen gasveld is (nog) niet geleverd en is dan ook nog onderwerp van voortgaande studies.

### GMPE

De ontwikkeling van de GMPE's vindt plaats bij NAM. De eerste versie van deze relatie, versie 0, werd in 2013 ontwikkeld. Deze kennis is in 2014 gebruikt voor de toenmalige KNMI- PGA-kaart [5] en dus ook opgenomen in de groene versie van NPR 9998. Deze versie (GMPE v0) was gebaseerd op empirische data afkomstig uit aardbevingsgebieden elders in Europa. In het voorjaar van 2015 is de volgende versie (GMPE v1) beschikbaar gekomen [8]. Deze versie is meer modelmatig van aard en gebaseerd op uitsluitend data uit Groningen. De GMPE voor hogere magnitudes dan tot nu toe waargenomen in Groningen is bepaald met behulp van theoretische seismologi-

sche modellen (stochastische simulaties) en modelmatig vastgestelde schalingsparameters, omdat empirische gegevens bij hogere magnitudes vanwege de zeer specifieke karakteristieken van de Groningse diepe ondergrond niet beschikbaar zijn. In GMPE v1 wordt aangenomen dat de ondiepe ondergrond een schuifgolfsnelheid heeft gelijk aan  $v_{s30} = 200$  m/s. Niet-lineaire site-effecten zijn daarbij niet meegenomen. KNMI (2015) gaat uit van deze GMPE v1. Daarop zijn correcties aangebracht voor andere, lokale, schuifgolfsnelheidsprofielen en de niet-lineaire site-effecten. Dit is in NPR 9998 verdisconteerd in het responspectrum (zie onder kopje 'Bepaling van seismische belasting, rekening houdend met opbouw en eigenschappen ondiepe ondergrond', verderop in dit artikel).

Intussen is door NAM een nieuwere versie van de GMPE ontwikkeld: versie 2 [7]. Deze is in principe gelijk aan GMPE-versie 1, echter met de toevoeging dat rekening is gehouden met verschillen in de ondiepe ondergrond in de regio. Ook wordt in versie 2 rekening gehouden met een niet-lineaire respons van de ondergrond. De GMPE-versie 2 was echter tijdens het afronden van de NPR nog in ontwikkeling. Naar verwachting zullen de nu in ontwikkeling zijnde GMPE-versies worden verwerkt in toekomstige versies van de NPR.

Voor de bepaling van het seismische risico zijn vooral de grotere magnitudes van belang. Voor die grotere magnitudes berust de GMPE vooral op modellen. SodM (Staatstoezicht op de Mijnen) merkt in dit kader in haar rapportage van december 2015 [9] op dat bevingen met een grote magnitude volgens de huidige GMPE-modellen resulteren in lagere piekgrondversnellingen dan elders in de wereld voor vergelijkbare bevingen

3



(geïnduceerde bevingen op vergelijkbare diepte) worden waargenomen. Cruciaal is, dat wordt begrepen waar deze verschillen vandaan komen. Dit wordt verder onderzocht.

Op basis van de KNMI 2015-studie en GMPE-versie 1 kan ook een uniform hazard spectrum (UHS) worden bepaald. GMPE-versie 1 geeft namelijk ook de relatie tussen magnitude en spectrale versnelling voor verschillende trillingsperioden. Uit het NAM-achtergrondrapport bij GMPE-versie 1 blijkt dat de spectrale versnellingen voor de grotere trillingsperioden zeer gevoelig zijn voor kleine veranderingen in de maximale magnitude. Daarom is voor die trillingsperioden een maximale magnitude gekozen die iets groter is dan 5,0.

Figuur 4 geeft het resulterende spectrum. Ter vergelijking is ook het spectrum geplottend resultierend uit de KNMI 2013-studie die is gebaseerd op GMPE-versie 0. Dit maakt het mogelijk de relatie te beschouwen tussen de KNMI 2013- en de KNMI 2015-studie voor elke spectrale versnelling. Daar waar de PGA-waarden en de spectrale versnellingen voor korte trillingsperioden afnemen, nemen de spectrale versnellingen voor grotere trillingsperioden toe; de verschillen zijn grotendeels toe te schrijven aan de overgang van GMPE-versie 0 naar GMPE-versie 1.

Een grafiek van het versnellings- en verplaatsingsspectrum genormaliseerd naar een PGA van  $1 \text{ m/s}^2$  ( $\approx 0,1 \text{ g}$ ) is weergegeven in figuur 5.

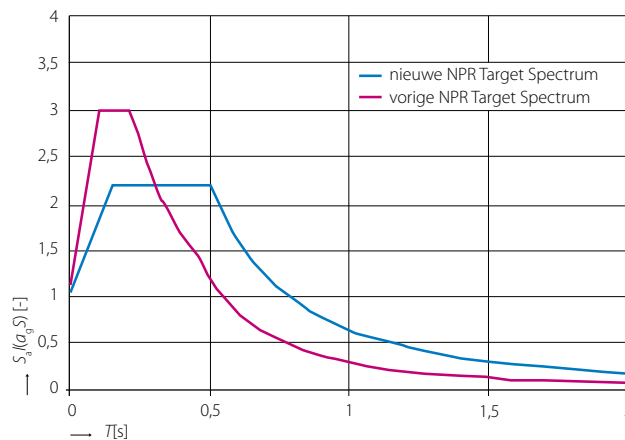
Het verticale spectrum is vastgesteld door middel van het vergelijken van de in Groningen gemeten verhoudingen tussen verticale en horizontale componenten van een range aan spectrale versnellingen.

### Bepaling van seismische belasting, rekening houdend met opbouw en eigenschappen ondiepe ondergrond

De KNMI 2015-studie gaat uit van GMPE v1 waarin voor de ondiepe ondergrond een over de bovenste 30 m gemiddelde schuifgolfsnelheid van 200 m/s is aangehouden. In GMPE v1 is dit geïmplementeerd via een lineaire site amplification term op basis van de literatuur (modellen en empirie uit andere landen). Niet-lineaire site-effecten zijn daarbij niet meegenomen.

Er moet dus worden gecorrigeerd voor het verschil tussen de grondopbouw in GMPE v1 en de werkelijke grondopbouw (er is vaak sprake van slappe lagen met een  $v_{s,30} < 200 \text{ m/s}$ ). Ook moeten de niet-lineaire site-effecten worden toegevoegd [10]. Door middel van 1D-siteresponsberekeningen (gebruikmakend van niet-lineaire tijdsdomeinmodellen als Deepsoil of Siren) voor een groot aantal representatieve grondkolommen, variaties daarin en gebruikmakend van 14 horizontale tijdsignalen, is voor de NPR een spectrum op maaiveldniveau afgeleid.

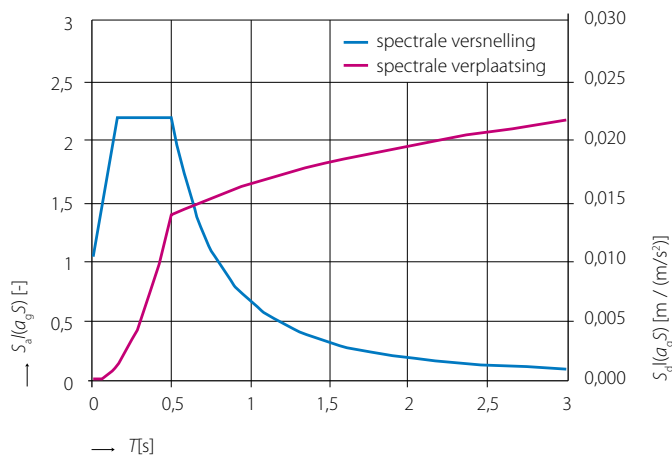
- 4 Oude en nieuwe versie van het responspectrum (geen onderscheid naar samenstelling ondiepe ondergrond)
- 5 Horizontaal versnellings- en verplaatsingsspectrum



De site responsmodellen zouden zo moeten worden ingericht dat, indien er inderdaad sprake zou zijn van  $v_{s30}$  van 200 m/s, de grondopbouw die ten grondslag lag aan de site amplification uit GMPE v1, en lineair grondgedrag, de PGA-waarden en spectrum volgend uit de KNMI 2015-studie zouden resulteren. Hier is geen algemene exacte oplossing voor omdat er vele profielen bestaan met  $v_{s30}$  van 200 m/s. In de NPR wordt hier op de volgende wijze mee omgegaan. De NPR schrijft voor om een schuifgolfsnelheid van 300 m/s of hoger te gebruiken voor de lagen dieper dan 30 m. De tijdsignalen (gematcht aan het KNMI 2015 spectrum) worden als outcrop opgelegd op 30 m diepte. Het effect hiervan is onderzocht voor een typisch stijf grondprofiel en een typisch zeer slap grondprofiel en lineair grondgedrag. Het blijkt dat voor alle gevallen de relatie tussen het (output) maaiveld spectrum en het (input) 'elastic outcrop' spectrum groter is dan 1.0. De methode is daarom conservatief. Bij grotere eigenperioden is de mate van conservatisme echter beperkt. In het doorrekenen van de 46 profielen is ervoor gekozen de schuifgolfsnelheid voor de lagen dieper dan 30 m nog iets hoger te nemen, namelijk 360 m/s. Daardoor is voor alle profielen de relatie tussen het input- en outputspectrum groter dan 1.0 in geval van lineair grondgedrag. Vervolgens is het niet-lineaire grondgedrag meegenomen om het feitelijke NPR-spectrum te bepalen.

Het gedrag van de ondiepe ondergrond is in hoge mate niet-lineair. Dit is het gevolg van de beperkte capaciteit van de slappe grondlagen om seismische golven over te brengen door hun beperkte sterkte en de grote hysteresis demping behorend bij de wisselingen met grote rekken.

Het blijkt dat voor typische Groningse bodems, voor kleine inputwaarden van de PGA's (0,1 tot 0,15 g), er een amplificatie (versterking) plaatsvindt (maaiveld > input) terwijl voor grotere inputwaarden van de PGA's (> 0,15 g), er een uitdemping (afzwakking) plaatsvindt (maaiveld < input). Spectrale versnel-



5

lingen voor eigenperioden  $> 1$  s worden versterkt, omdat de eigenfrequenties van de grondkolommen in deze range liggen. De uitwerking van deze berekeningen, die hebben geresulteerd in een spectrum dat van toepassing is ter hoogte van het maaiveld, heeft plaatsgevonden volgens de NEHRP (United States National Earthquake Hazard Reduction Program) voorschriften [11].

In tegenstelling tot de Eurocode EN 1998-1, waarin voor de elastische responspectra een diagram met vijf algemene grondtypen is opgenomen, is in NPR 9998 een analytische formulering gebruikt om de specifieke grondcondities van de bovenste grondlaag van 30 m in Groningen, in combinatie met de PGA-kaart te kunnen weergeven.

Uitgaande van de KNMI-kaart opgenomen in de NPR 9998 en de analytische formulering van het elastisch responscentrum inclusief de siterespons, kan de seismische belasting op elke locatie in Noord-Nederland worden bepaald. Het spectrum in NPR 9998 is daarin een spectrum dat geldig is voor de gehele regio; mogelijk dat voor een bepaalde locatie een gunstiger (of soms ook ongunstiger) beeld wordt verkregen.

### Gebruik van geavanceerde rekenmodellen

Er zijn volgens de NPR diverse berekenings- en toetsingsmethoden beschikbaar, van eenvoudig tot zeer geavanceerd. Bij de meest eenvoudige methode wordt volstaan met een ruwe benadering van de seismische weerstand van het gebouw. Bij de geavanceerde methoden wordt een gedetailleerde beschouwing van de weerstand meegenomen. Het voordeel van de geavanceerde methoden is in principe dat de beslissing om voor een bepaalde versterkingsmaatregel te kiezen op grond van betrouwbaardere gegevens kan worden genomen. Het nadeel van het gebruik van geavanceerde rekentechnieken is echter dat het verkrijgen van de benodigde gedetailleerde informatie tijd-

rovend en specialistisch werk is waarbij er een zeer grondige kalibratie en validatie moet plaatsvinden.

Bijlage F bij NPR 9998 geeft een eerste aanzet voor een raamwerk voor niet-lineaire eindige-elementenberekeningen in het tijdsdomein. Voorgeschreven is het gebruik van gemiddelde waarden voor de materiaaleigenschappen. Rekening is gehouden met spreiding in de seismische weerstand. Er is namelijk gerekend met een fragility curve, waarmee de kwetsbaarheid van een gebouw statistisch wordt beschreven, met een variatiecoëfficiënt voor bestaande bouw van  $V = 0,5$ ; dit is ook gedaan bij de afleiding van de veiligheidsfactoren in de hoofdttekst (zie onder kopje 'Eisen aan de persoonlijke veiligheid', eerder in dit artikel). Vervolgens wordt een aantal numerieke 'proefbelastingen' van het gebouw gedaan met verschillende tijdsseries, waarmee op basis van een Bayesiaans model wordt bepaald met welke betrouwbaarheid de gemiddelde waarde van de seismische weerstand bekend is; de nauwkeurigheid van het kennen van deze gemiddelde waarde neemt toe met het aantal numerieke 'proefbelastingen'.

Vervolgens wordt een 5%-fractiel van de seismische weerstand bepaald (nog steeds op basis van een fragility curve met  $V = 0,5$ ). Deze analyse leidt tot informatie over welke PGA gebruikt moet worden bij de gehanteerde tijdsignalen. Bij 11 tijdsignalen geldt  $PGA = 1,25 \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_M \cdot PGA_{T=475\text{jaar}}$

De factor 1,25 corrigeert voor twee zaken: 1. het feit dat het aantal signalen te klein is voor het met zekerheid bepalen van de karakteristieke waarde van de weerstand en 2. het feit dat in de EEM-berekening gerekend wordt met gemiddelde materiaaleigenschappen in plaats van random materiaaleigenschappen.

Voor bijvoorbeeld normale woonhuizen in CC1B waar een faalkans geldt van  $P_f = IR / P_{df} = 10^{-5} / 0,07 = 1,4 \cdot 10^{-4}$  per jaar (zie paragraaf 2.1) betekent het voorschrift dat 11 maal een tijdsdomeinberekening met verschillende tijdsignalen met elk  $PGA = 1,65 \cdot PGA_{T=475\text{jaar}}$  moet worden uitgevoerd. Dit laatste komt ongeveer overeen met een PGA met een herhalingstijd van  $T = 2200$  jaar. Als in geen van deze gevallen de NC-grenstoestand wordt overschreden, mag de constructie als voldoende veilig worden beschouwd.

Het is interessant om deze methode te vergelijken met de meest recente internationale praktijk, beschreven in de onlangs uitgebrachte, nieuwe NEHRP richtlijnen. Hier wordt voorgeschreven ook 11 tijdsignalen te gebruiken met een PGA met een herhalingstijd van 2475 jaar, zeer vergelijkbaar met de procedure in Bijlage F. Er heeft in de VS een kalibratie van deze procedure plaatsgevonden om een faalkans per jaar van  $2 \cdot 10^{-4}$  te realiseren [12]; deze waarde is zeer vergelijkbaar met de streefwaarde van de faalkans uit NPR 9998.

Er is dus een duidelijke overeenkomst in de streefwaarde van



6

de veiligheid en ook in de voorgeschreven procedure tussen ASCE 7-10 en NPR 9998, bijlage F.

Opgemerkt wordt dat de nauwkeurigheid van numerieke niet-lineaire tijdsdomeinberekeningen afhangt van de geschiktheid en betrouwbaarheid van de invoerparameters. Deze moeten afdoende bekend zijn. Verder moeten, zoals ook bij statische niet-lineaire elementenberekeningen, aannamen worden gedaan ten aanzien van programmagerelateerde parameters. De betrouwbaarheid van de berekeningen kan worden opgevoerd indien programma's 'op maat' kunnen worden ontwikkeld waarbij prototypen van gebouwen zijn gekalibreerd aan representatieve proeven. Dit kunnen schudtafelproeven zijn, zoals recentelijk voor een Groningse doorzonwoning in het Italiaanse Pavia zijn uitgevoerd (foto 6). Ook kunnen push-over-tests, zoals onlangs aan de TU Delft werden uitgevoerd, zeer informatieve en nuttige informatie geven om de betrouwbaarheid van de geavanceerde numerieke tijdsdomeinanalyses te vergroten. Annex F geeft aanwijzingen voor een verantwoord gebruik van NLFEM-tijdsdomeinanalyses, waarbij technische vakkennis een onmisbare component is.

6 Aardbevingstest op Gronings huis in het Italiaanse Pavia (2015)

### Samenvatting en conclusies

1. In de in december 2015 uitgekomen 'witte versie' van NPR 9998 is rekening gehouden met 300 punten van commentaar, gerelateerd aan de eerder in 2015 uitgebrachte 'groene versie'.
2. De kaart waarop de maximale waarden van de grondversnelling tijdens een aardbeving zijn weergegeven (de zogeheten PGA-kaart), is aan de nieuwste inzichten aangepast.
3. In de witte versie van NPR 9998 wordt rekening gehouden met de invloed van de opbouw van de ondiepe ondergrond (tot 30 m diepte gerekend vanaf het maaiveld) op de seismische belasting. Hiervoor zijn analytische uitdrukkingen gegeven. Om de seismische belasting op een gebouw te bepalen, moeten deze uitdrukkingen in combinatie met de PGA-kaart worden gebruikt.
4. In de informatieve annex F worden aanbevelingen gedaan voor het gebruik van numerieke niet-lineaire tijdsdomeinanalyses voor het bepalen van de seismische weerstand van gebouwen. Aan de verdere verbetering van de witte versie van NPR 9998 wordt gewerkt. Verbeteringen van voldoende betekenis zullen in toekomstige uitgaven hun plaats krijgen.. ☒

### LITERATUUR

- 1 TNO-rapport Veiligheidsbeoordeling bestaande bouw, Achtergrond-rapport bij NEN 8700 TNO-060-DTM-2011-03086, december 2011.
- 2 Steenberg, R.D.J.M., Vrouwenvelder, A.C.W.M. Scholten, N.P.M., TNO-rapport 2013 R12071 Veiligheidsbeschouwing aardbevingen Groningen t.b.v. NPR 9998, 9 April 2015.
- 3 Steenberg, R.D.J.M., Vrouwenvelder, A.D.J.M., Scholten, N.P.M., Veiligheidsfilosofie bij aardbevingsbelasting. *Cement* 2015/1.
- 4 AS/NZS 1170.0:2002, Structural design actions, Standards New Zealand, 2002.
- 5 Van Eck T., Caccavale M., Dost B., Kraaijpoel D., Probabilistic Seismic Hazard Analyses Induced Earthquakes Groningen. KNMI, 2013.
- 6 Dost, B., Spetzler, J., Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Induced Earthquakes in Groningen; Update 2015. KNMI, oktober 2015.
- 7 NAM Hazard and Risk Assessment for Induced Seismicity in Groningen, Interim Update 7th November 2015.
- 8 NAM Development of GMPEs for Response Spectral Accelerations and for Strong-Motion Durations (V1), juni 2015.
- 9 Seismisch risico Groningenveld, Beoordeling rapportages & advies, Staatstoezicht op de Mijnen, december 2015.
- 10 Aardbevingsbestendig ontwerpen. *Bouwen met Staal* 248, p. 28.
- 11 NEHRP (United States National Earthquake Hazard Reduction Program) voorschriften, Dobry et al, 1999.
- 12 ASCE 7-10; American Society of Civil Engineers, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE, Reston, VA, 2010.