

## Eerste advies panel van hoogleraren over risicobeleid en veiligheidsmaatregelen geïnduceerd aardbevingsrisico.

d.d. 27-6-2018

### Abstract

Aan dit panel van drie hoogleraren is gevraagd door de minister om op twee hoofdvragen antwoord te geven:

- Is de berekening van het individueel risico van woningen methodologisch correct verricht conform de door de commissie Meijdam beschreven wijze?
- Hoe zou het advies van de commissie Meijdam methodologisch correct kunnen worden vertaald naar de versterkingsopgave in het aardbevingsgebied in Groningen?

Gezien de zeer korte doorlooptijd van het advies rapporteren we in twee fasen. Deze eerste rapportage bevat de bevindingen op hoofdlijnen tot 19 juni 2018. In de tweede reportage die eind juli voorzien is zal het panel meer in detail op enkele verdiepende vragen die aan het panel zijn gesteld ingaan.

Onze eerste bevinding is dat tot op heden bewust (door experts) en beleidsmatig (door de NCG) op een conservatieve en daarmee methodologisch incorrecte wijze het individueel risico is berekend waardoor een systematische overschatting van het individueel risico bij de berekeningen is ontstaan.

Op dit moment wordt de NPR 9998, versie 2015 (die feitelijk gebaseerd is op de inzichten uit 2014 voor de aardbevingssterkte – modellering en de toenmalige gasproductie – en uit 2015 voor de constructieve sterkte van woningen) gebruikt voor beoordeling van individuele woningen. Het effect op de inschatting van het aantal woningen dat niet aan de  $10^{-5}$  norm voldoet, bedraagt dan tenminste een factor tien maar mogelijk een aanmerkelijk grotere factor. Bij gebruik in de praktijk door consultants ontstaat uit 'voorzichtigheid' nog een extra conservatisme in de beoordeling. De verwerking van de inzichten die sinds 2015 zijn verkregen in de aardbevingssterkte en in de sterkte van woningen (maar dus nog niet zijn geïmplementeerd) leidt naar onze inschatting tot een realistischer NPR 9998, versie 2018 in de zin dat deze berekening waarschijnlijk niet meer dan één orde-grootte systematische overschatting van het aantal woningen dat niet voldoet aan de norm voor het individueel risico oplevert.

Cruciaal voor de versterkingsopgave is volgens ons het inzicht dat voor bestaande bouw een zinvolle beoordeling van het risico van bouwwerken essentieel slechts op catalogusniveau kan plaatsvinden: individuele inspectie van woningen heeft slechts zin tot op het niveau van enkele hoofdeigenschappen van de woning omdat de onzichtbare onzekerheden in de woning al snel groter worden dan de extra informatie die detailinspectie op woningniveau oplevert. Mutatis mutandis geldt dit ook voor de te nemen versterkingsmaatregelen, ook die kunnen beter generiek op catalogusniveau worden beschreven.

De bouwstenen voor zo'n catalogusaanpak voor een combinatie van risico-inschatting en versterking zijn al beschikbaar zodat een catalogusaanpak die naar onze inschatting correct is, naar inschatting van de geraadpleegde experts voor 1 oktober definitief kan zijn. Toepassing op heel Groningen levert dan naar alle waarschijnlijkheid orde-grootte honderd woningen op die tegen in-plane falen (globaal bezwijken hoofdconstructie) versterkt moeten worden en een nog onbekend aantal woningen die tegen out-of-plane falen (lokaal bezwijken van zijdelings belaste metselwerkwallen) versterkt moeten worden. Out-of-plane maatregelen kunnen in het algemeen van buitenaf aangebracht worden en /of met beperkte hinder binnen worden verricht.

Tot slot adviseren wij de minister om bij het bepalen van het individueel risico per jaar, zoals bedoeld door de commissie Meijdam, uit te gaan van de best mogelijke inschatting van dit risico, waarbij zo goed mogelijk rekening wordt gehouden met onzekerheden in onze kennis van relevante parameters. Het is dus af te raden om bovenop deze inschatting nog een arbitraire marge te hanteren (zoals een 'P90'), juist omdat de onzekerheden die er inderdaad zijn al een belangrijke rol spelen in de correcte berekening van het risico.

## 1. Inleiding

### 1.1 Aanleiding

Uit de uitspraak van de Raad van State over het vorige instemmingsbesluit (201608211/1/A1) volgt een aantal beleidsvragen.

Een fundamentele eerste vraag gaat over de uiteenlopende interpretaties van de veiligheidsnorm die in de praktijk zijn ontstaan sinds het Kabinet de veiligheidsnorm die geadviseerd is door de commissie Meijdam eind 2015 heeft vastgesteld.

Het beleid voor de risico's van geïnduceerde aardbevingen als gevolg van de gaswinning is eind 2015 vastgesteld door het kabinet, met gebruikmaking van advies door de commissie Meijdam.<sup>1</sup> De voornaamste elementen daarin zijn:

- De veiligheidsnorm voor het omkomen in of nabij een gebouw vanwege een geïnduceerde aardbeving is een individueel risico van  $10^{-5}$  per jaar.
- Gebouwen die een individueel risico opleveren tussen  $10^{-4}$  en  $10^{-5}$  moeten binnen een bestuurlijk te bepalen termijn (bijvoorbeeld vijf jaar) op norm gebracht zijn. Snellere maatregelen zijn nodig als het individueel risico groter is dan  $10^{-4}$  (interventiedrempel).
- Het maatschappelijk risico wordt berekend volgens de voorstellen van de commissie Meijdam.

Een tweede vraag komt voort uit de opvatting van de Raad van State dat het noodzakelijk is dat de minister een inschatting geeft van het risico zowel als gevolg van het toegestane winningsniveau als van het effect van de versterkingsoperatie. Evident zal een dergelijke inschatting ook de effecten van de voorgenomen vermindering van de gaswinning moeten meenemen. De vraag is daarmee hoe risicoberekeningen hiermee om kunnen/moeten gaan.

Aan een 'panel van hoogleraren, onder auspiciën van de Mijnraad' bestaande uit prof. dr. Eric Cator (Applied stochastic, Radboud Universiteit Nijmegen), prof. dr. Ira Helsloot (Besturen van veiligheid, Radboud Universiteit Nijmegen) en prof. dr. ir. Jan Rots (Structural mechanics, Technische Universiteit Delft) zijn daarom door de minister de volgende hoofdvragen gesteld:

1. Hoe verhouden de berekeningsmethodieken van de veiligheidsnorm, uitgaande van het advies van de commissie Meijdam, zich tot elkaar?
2. Hoe zou bij het gegeven gaswinningsniveau om moeten worden gegaan met het advies van de commissie Meijdam, en de doorvertaling van de berekeningsmethodieken naar de versterkingsoperatie?

De Mijnraad heeft een aantal verdiepende vragen benoemt in haar adviesaanvraag aan het panel:

Met betrekking tot hoofdvraag 1 wordt het panel gevraagd:

- Welk advies kunt u geven ter verduidelijking of aanvulling van het risicobeleid voor de Groningse gaswinning zoals dat is vastgesteld door het Kabinet, zodat eenduidiger wordt hoe getoetst zou moeten worden of de situatie voldoet aan de veiligheidsnormen zoals omschreven in het advies van de Commissie Meijdam? Bijvoorbeeld wat betreft:
  - de manier waarop de veiligheidsnorm is vertaald in risicoberekeningsmethodieken en de verschillende elementen hierin (zoals hantering van het Objectgebonden Individueel

<sup>1</sup> Brief van de minister van EZ van 3 november 2015 over tweede advies commissie Meijdam (TK 33 529, nr. 205); brief van de minister van EZ van 18 december 2015 over o.m. de gaswinning in Groningen en het eindadvies van de commissie Meijdam (TK 33 529, nr. 212).

Aardbevingsrisico dan wel het Individueel Risico als uitgangspunt, met daarbij het wel of niet meewegen van de verblijfsduur);

- in hoeverre kunnen gebouwen in het aardbevingsgebied met een individueel risico groter dan  $10^{-4}$  per jaar 'met voorrang' worden aangepakt, zoals geadviseerd door de Commissie Meijdam<sup>2</sup>, en hoe kunnen zij worden gelokaliseerd binnen een redelijke termijn?
- de vereiste mate van zekerheid in risicoberekeningen (welke marge van nauwkeurigheid, uitgedrukt in een waarschijnlijkheidspercentage, is redelijk en passend bij het risicobeleid zoals vastgelegd door het Kabinet? Hoe gaan beleidsmakers en toezichthouders in vergelijkbare andere domeinen om met hantering van bandbreedten in onzekerheden van risicoberekeningen?).

Met betrekking tot hoofdvraag 2 wordt het panel gevraagd:

- Welke manieren zijn er om een (semi-kwantitatief) inzicht te geven in de omvang van het risico voor bewoners in het aardbevingsgebied (rekening houdend met gebouwen, industrie en infrastructuur), mede in relatie tot het niveau van gaswinning en de voortgang van mitigerende en versterkende maatregelen aan gebouwen en andere infrastructurele of industriële constructies?
- Welke gevolgen heeft een verlaging van de gaswinning op de omvang van het maatschappelijk veiligheidsrisico, waarvoor een berekeningsmethode is geadviseerd door de Commissie Meijdam<sup>3</sup> en overgenomen door het Kabinet, en de toegevoegde waarde daarvan in het totaalbeeld van het risico?
- Welke aanknopingspunten zijn er om bestuurlijk te bepalen (zoals gesteld in artikel, lid 2 van de Mijnbouwwet) wanneer schade, of aantasting van functionaliteiten (in het hele gaswinningsgebied), onaanvaardbaar is in relatie tot het winningsniveau van leveringszekerheid? Bieden andere terreinen waarin deze aspecten beleidsmatig of bestuurlijk zijn genormeerd een bruikbare invalshoek voor zulke aanknopingspunten?
- Als de gebouwen waarvan het individueel risico vermoedelijk groter is dan  $10^{-4}$  per jaar gevonden zijn, is het dan noodzakelijk om de omvang van risico alsnog te berekenen? Zo ja, hoe? Kan een bepaald type kwalitatief oordeel voldoende basis zijn voor de constatering dat het risico met voorrang verholpen moet worden?
- Is op de korte termijn, ter aanvulling van de kwantitatieve benadering met de NPR, een meer kwalitatieve benadering mogelijk van de versterkingsoperatie, zoals geadviseerd door het internationale NPR-reviewteam ("qualitative engineered measures may decrease substantially the vulnerability of a structure at optimised cost and in a short period of time" <sup>4</sup>), zodat bijvoorbeeld woningen waarbij het individueel risico groter is dan  $10^{-4}$  per jaar sneller op norm gebracht kunnen worden met "no regret" maatregelen?

## 1.2 Werkwijze

Om dit advies te kunnen opstellen zijn in een iteratief proces analyses gemaakt van de wijze waarop risicoberekeningen en versterkingsmogelijkheden zijn beschreven en zijn op basis daarvan gesprekken gevoerd met een tiental direct betrokken inhoudelijke experts van zowel private partijen als van wetenschappelijke zijde. Onze conceptbevindingen hebben we op verschillende momenten gedurende de laatste twee weken 'beproefd' in grotere sessies met deskundigen waar we aanwezig waren, daar hebben we slechts inhoudelijke instemming gekregen.

---

<sup>2</sup> Op pagina 4 van het eindadvies van de Commissie Meijdam is hierover het volgende geadviseerd: "Bouwwerken met een groter veiligheidsrisico dienen met voorrang te worden aangepakt, of inwoners moeten de gelegenheid krijgen – als zij dat zelf willen – hun woning te verlaten, op basis van een opkoop- en vertrekregeling"

<sup>3</sup> Zie pagina 6 van het advies van de Commissie Meijdam: "Het maatschappelijk veiligheidsrisico beschrijft de verwachting van de kans, inclusief de variantie ervan, dat een groep mensen omkomt als gevolg van een aardbeving. In dit maatschappelijk veiligheidsrisico is rekening gehouden met het basisveiligheidsniveau en de schade die ontstaat als gevolg van een aardbeving."

<sup>4</sup> NEN, *International Review of NPR 9998* (final report December 2017) blz. 6.

In eerste instantie tot onze verbazing hecht een meerderheid van de gesprekspartners aan anonimiteit. Deze gesprekspartners vrezen voor negatieve gevolgen voor hun werkzaamheden als zij als bron met naam en toenaam in deze rapportage zouden worden vermeld en wilden daarom alleen spreken onder voorwaarde van anonimiteit. Wij hebben daarom besloten geen respondentenlijst op te nemen in de rapportage.

### **1.3 Fasering en oplevering**

De vragen aan het panel zijn begin mei 2018 gesteld, met als verzoek een compleet advies op de twee hoofdvragen medio juni 2018 op te leveren. Gezien de korte gewenste doorlooptijd kan op de verdiepende vragen medio juni 2018 slechts beperkt worden ingegaan, en dan alleen indicatief, verkennend en voorlopig. Een definitief advies zal eind juli 2018 klaar zijn.

## 2. Over de wijze van berekening van het individueel aardbevingsrisico

### 2.1 Definitie van individueel aardbevingsrisico

De commissie Meijdam heeft in navolging van het risicobeleid op andere domeinen aanbevolen om ook voor het risico op geïnduceerde aardbevingen gebruik te maken van de '10<sup>-5</sup> norm' voor het individueel risico als gevolg van de geïnduceerde aardbevingen.

Een norm heeft pas betekenis als er een berekeningswijze aan is gekoppeld. De commissie Meijdam heeft deze op hoofdlijnen aangegeven middels de definitie van (objectgebonden) individueel aardbevingsrisico.

#### **Definitie van (objectgebonden) individueel aardbevingsrisico.**

Het **objectgebonden individueel aardbevingsrisico** (OIA) is het jaarlijkse risico dat iemand, die zich in of rond een bouwwerk bevindt, overlijdt als het gevolg van het bezwijken (van delen) van een bouwwerk, veroorzaakt door een aardgasbeving

Hierin wordt de duur dat iemand gemiddeld in een bouwwerk verblijft, meegewogen en wordt gesommeerd in de tijd over de verschillende bouwwerken. Deze werkwijze is bijvoorbeeld in het externe veiligheidsdomein of bij normen voor overstromingsrisico's zeer gebruikelijk. Ook wordt in deze definitie het risico meegenomen dat iemand in de directe omgeving van een bouwwerk overlijdt door vallende onderdelen van dat bouwwerk.

Met behulp van het OIA is vervolgens het **individueel aardbevingsrisico** op de volgende wijze te berekenen:

Het individueel aardbevingsrisico is het jaarlijkse risico dat een individu loopt in de verschillende bouwwerken waarin dit individu verblijft of waar dit individu langsloopt.

Het individueel aardbevingsrisico is daarmee een mathematisch construct dat een enkel getal toekent aan een combinatie van alle onderliggende fenomenen uit de echte werkelijkheid die variëren van de verblijfstijd van mensen nabij een object, via de kans op (totaal of partieel) bezwijken van dat object vanwege een aardbeving van een bepaalde sterkte, tot de kans op zo'n aardbeving in het betreffende gebied.

Concreet moet het individueel aardbevingsrisico worden berekend door de samenstelling van al die onderliggende risico's, op de reguliere wijze daarvoor bij kansberekening gebruikelijk, namelijk door integratie van de onderliggende kansberekeningen die op **de best mogelijke wijze** worden 'geschat'. Er is, simpel gezegd, één bekende correcte wiskundige wijze om van het geheel aan onderliggende kansverdelingen tot het individueel aardbevingsrisico te komen. We noemen dit ook wel de convolutie van de onderliggende kansberekeningen.

#### **Van theorie naar praktijktoepassing**

Een probabilistische aanpak heeft pas betekenis als ze praktisch kan worden uitgevoerd. Toepassing van een probabilistische aanpak is ingewikkeld en vaak veel werk zodat het lastig is direct te gebruiken als er veel objecten zijn waarvan het risico moet worden bepaald. Er zijn in dat geval grofweg twee methoden beschikbaar om de probabilistische aanpak toepasbaar te maken.

De eerste is een volledig probabilistische aanpak per sub-typologie. Alle objecten (woningen bijvoorbeeld) worden ondergebracht in een beperkt aantal (sub)categorieën waarvoor volledige probabilistische berekeningen worden gemaakt met alle best mogelijk geschatte gemiddelden en spreidingen (bijvoorbeeld van verdelingen van belastingen, geometrieën, hoofddragconstructie-typen en materiaaleigenschappen

van componenten en verbindingen). Een voorbeeld van deze aanpak is de Hazard & Risk Analyse van de NAM.

De tweede mogelijkheid is een vereenvoudiging tot een zogenaamde semi-probabilistische aanpak. In plaats van met een hele kansverdeling wordt dan met een enkele waarde gerekend. De keuze van die waarde is dan natuurlijk essentieel. Dit zijn de rekenregels die het eindproduct van de verschillende NPR's voor bouwen zijn, de bouwcodes. Hierdoor is het mogelijk om per individueel object of categorie een vereenvoudigde berekening met rekenwaarden voor sterkte en belasting uit te voeren. Een voorbeeld is de op NPR-9998 gebaseerde seismische assessment analyse die consultants momenteel uitvoeren voor CVW/NCG aan individuele objecten in Groningen.

## 2.2 Definitie en effect van conservatisme in risicoberekeningen

We spreken over *conservatieve inschattingen* als in een risicoberekening (probabilistisch of semi-probabilistische) bewust niet met de best mogelijke inschatting wordt gewerkt maar gebruik wordt gemaakt van inschattingen die zogenaamd 'aan de veilige kant blijven'.<sup>5</sup>

De consequentie van het gebruik van conservatieve inschattingen is dat de uitkomst niet meer correspondeert met het individueel risico en dat het in het algemeen onbekend is hoeveel de uitkomst van de conservatieve berekening afwijkt van het 'echte' individuele risico (zie de bijlage voor een poging tot een simpele uitleg van dit verschijnsel).

Wanneer gewerkt wordt met conservatieve inschattingen is de consequentie dat extra kennis die leidt tot minder conservatisme grote invloed heeft op de uitkomst van de berekeningen.

## 2.3 Het effect van conservatisme op de huidige berekening van het individueel aardbevingsrisico in woningen

Het blijkt al bij een eerste beschouwing van de wijze waarop het individueel aardbevingsrisico wordt berekend in de huidige praktijk dat er op veel vlakken conservatieve inschattingen worden gemaakt. We lichten de drie stappen waardoor het risico systematisch wordt overschat toe.

De *eerste risico-overschattingstap* ligt aan de belastingskant, bij de zogenaamde hazard, de mogelijke sterkte en frequentie van de geïnduceerde aardbevingen. Voor de berekening van de hazard wordt gebruik gemaakt van een door de NAM ontwikkeld (internationaal gevalideerd) model. Desgevraagd geven de ontwikkelaars aan dat in de eerste versies van dit model bewust conservatieve inschattingen zijn gemaakt wegens een gebrek aan kennis; men wilde geen 'ethisch risico' lopen dat er in de werkelijkheid een hogere hazard zou zijn dan in de berekeningen.

Het gevolg van deze keuze is dat de toenemende kennis (in vaktermen van de ground motion prediction equations) de afgelopen jaren leidde tot een sterk afnemende berekende hazard in het voorspellende model.<sup>6</sup>

De *tweede risico-overschattingstap* ligt aan de weerstandskant, bij de bepaling van de sterkte van en de eventuele versterkingsmaatregelen voor gebouwen. Hier wordt gebruik gemaakt van de NPR 9998,

<sup>5</sup> Vergelijk bijvoorbeeld het Meerjarenplan 2017-2021 van de NCG die benoemt dat de NCG bewust aan 'de voorzichtigte kant blijft' op verschillende terreinen: de omvang van het gebied dat geïnspecteerd wordt, de beoordeling van de sterkte van huizen en de 'zwaarte' van de versterkingsmaatregelen (pg 49 e.v.).

<sup>6</sup> Ook de afnemende gaswinning heeft natuurlijk bijgedragen aan een afname van de berekende (en feitelijke) hazard maar het effect van betere inschattingen is groter op de berekeningen dan het effect van de afnemende gaswinning. Zichtbaar is daarom bijvoorbeeld dat extrapolatie gedurende 1 of 2 jaar op basis van de KNMI-inzichten over het huidige aardbevingsrisico steeds meer op de uitkomsten van het voorspellende NAM-model zijn gaan lijken.

de Nederlandse praktijkrichtlijn voor het ontwerpen en beoordelen van aardbevingsbestendigheid van gebouwen, versie 2015. De NPR-filosofie is op het meest abstracte niveau precies de 'correcte', namelijk dat het risico wordt bepaald door convolutie van de onderliggende kansberekeningen. In de uitwerking tot concrete praktijkvoorschriften neemt de NPR enerzijds de hazard uit het NAM-model over en anderzijds worden de ingewikkelde berekeningen versimpeld door de *kansverdelingen* van parameters te vervangen door de keuze van *vaste parameters*, de eerder genoemde rekenwaarden in de semi-probabilistische aanpak. De ijking van de praktijkvoorschriften uit de NPR aan de  $10^{-5}$  norm is dan gebaseerd op een combinatie van return-periode van de belasting, een gekozen fractiel van drift limits (vervormingscapaciteit van componenten) en op het gebruik van *gemiddelde* materiaalparameters. De verleiding is groot voor de opstellers van de NPR om voor de materiaalparameters aan de 'voorzichtige kant' te gaan zitten, dus onder het gemiddelde. Een dergelijke bias geeft per saldo een conservatieve afwijking van de  $10^{-5}$  norm.

Het resultaat is dat de NPR 9998, versie 2015 conservatieve (=hoge) seismische belastingen aannam, die, gecombineerd met conservatieve (=lage) inschattingen van de sterkte van huizen per saldo een overschatting van het individueel risico geeft in vergelijking met het gebruik van de NPR 9998, versie 2017. Zoals al gesteld is het niet goed mogelijk het effect van het gebruik van conservatieve aannames op het uiteindelijke individueel risico precies te kwantificeren maar tenminste is duidelijk dat het aantal woningen dat met het gebruik van de NPR 9998, versie 2015 niet aan de norm van  $10^{-5}$  voldoet tenminste een factor 10 maar mogelijk een aanmerkelijk grotere factor scheelt met toepassing van de op de laatste inzichten over de hazard aangepaste NPR 9998, versie 2018.

Onze **eerste conclusie** is daarmee dat de huidige berekeningswijze (NPR 9998, versie 2015) geen goede indicatie van het aantal woningen dat niet voldoet aan de norm voor het individueel aardbevingsrisico geeft maar een structurele overschatting ervan. Het verschil met de uitkomsten van een correcte berekening van het aantal woningen dat niet aan de  $10^{-5}$  norm voldoet, bedraagt tenminste een factor tien maar mogelijk een aanmerkelijk grotere factor.

#### **Voortschrijdend inzicht van NPR 2015 naar NPR 2018**

De NPR staat toe gebruik te maken van lineair-statische, lineair-dynamische, niet-lineair statische en niet-lineair dynamische rekenmethoden. De versie van 2015 bevatte nauwelijks richtinggevende informatie betreffende de niet-lineair statische methoden.

In de periode 2016-2018 is de binnen de NPR grote voortgang gemaakt met de ontwikkeling, calibratie en beschrijving van niet-lineair statische methoden. In het bijzonder betreft dit Annex G (Niet-lineaire pushover berekeningen voor in-plane globaal bezwijken) en Annex H (Niet-lineair kinematische analyses voor out-of-plane partieel bezwijken).<sup>7</sup>

Annex G in de NPR 2018 omvat een consistente, uniforme, rekentechnisch efficiënte en effectieve methode, in lijn met internationale benaderingen en met de adviezen van het internationale NPR-review panel. Essentie is dat de capaciteit van het gebouw (kracht-verplaatsingsrelatie) gescheiden wordt van de vraag (spectrum van versnelling- tegen verplaatsing, gevraagd door de beving, op specifieke locatie). Groot voordeel is dat het effect van nieuwe hazard inzichten (bijv. door voortschrijdend inzicht in GMPE's en Mmax verdelingen of door nieuwe gasbesluiten) snel doorgerekend kan worden, gegeven een eenmaal bepaalde capaciteit van het gebouw. Omgekeerd kan voortschrijdend inzicht in de capaciteit van gebouwen snel verwerkt worden, bij een gelijkblijvende hazard. Ander voordeel is dat een heldere Capacity-over-Demand ratio wordt bepaald, die richting geeft of we ver van de eis zitten (bijv. 30%) of dichtbij de eis (bijv. 90%), hetgeen sturend is voor de prioritering van versterkingsmaatregelen.

Zeer recent, in de eerste twee weken juni 2018) is de calibratie van Annex G aan lab-experimenten bij het EU Centre en de TU Delft, rekeningen houdend met de  $10^{-5}$  norm, voltooid en is overeenstemming bereikt

<sup>7</sup> In-plane staat voor het globaal bezwijken van hoofdconstructies. Out-of-plane voor het lokaal bezwijken van loodrecht op hun vlak belaste metselwerkwallen.

over te hanteren belangrijke parameters als demping en drift limits (vervormingscapaciteit van metselwerk wanden).

Met deze begin-juni versie van NPR 2018 zijn voorlopige analyses gemaakt in combinatie met de nieuwste hazard inzichten, zowel voor bestaande gasdepletie-scenario's als scenario's volgens het basispad van het kabinet. De voorlopige conclusie is dat de omvang van de versterkingsopgave tegen globaal in-plane bezwijken reduceert tot orde grootte honderd gebouwen. Dit betreft een forse reductie van de versterkingsopgave ten opzichte van eerdere schattingen. Deze NPR-gebaseerde analyse is nu meer in lijn met de probabilistische H&R-analyse.

De omvang van de versterkingsopgave tegen partieel out-of-plane bezwijken is nog niet vast te stellen. Er is consensus dat de huidige versie van Annex H in de NPR te conservatief is (aardbevingsbelasting ongunstig, two-way bending niet meegenomen, vloer-response spectra ongunstig, etc.) om praktisch bruikbaar te zijn: toepassing van de huidige Annex H maakt nog onterecht bijna elke woning onveilig. De huidige versie laat een zeer grote omvang van de opgave zien. Er dient snel een task force te worden ingericht om calibratie en aanscherping van annex H te ontwikkelen, analoog aan annex G. Opgemerkt dient te worden dat maatregelen tegen out-of-plane bezwijken minder intrusief zijn dan maatregelen tegen in-plane bezwijken. Ze kunnen meestal van buitenaf en/of met beperkte hinder binnen worden verricht. Naar verwachting zal de opgave groot blijven.

Opgemerkt wordt dat Annex G zich goed leent voor een expert-systeem en een catalogus-achtige aanpak voor typologieën/subcategorieën. Dit kan de engineering van assessments en de design en engineering van versterkingsmaatregelen aanmerkelijk versnellen. NCG verifieert en verkent op dit moment het op annex G gebaseerde GSAT-tool met dit doel.

Als *derde risico-overschattingstap* geldt dat de huidige praktijk een nog bepalender systematische fout introduceert: de NCG heeft in het Meerjarenplan 2017-2011 beleidsmatig gekozen voor een aanpak waarbij in een groot deel van het aardbevingsgebied elke woning individueel wordt 'geïnspecteerd', dat wil zeggen tot op detailniveau wordt opgenomen en vervolgens individueel wordt doorgerekend en beoordeeld.

**Vragen aan NCG over de ratio en het effect van haar beleidsmatige keuze om af te wijken van de risicoberekening door de NAM.**

Op pagina 49 van het meerjarenplan 2017-2021 schrijft de NCG dat: 'NAM berekent in de Hazard & Risk Analysis het aantal woningen dat niet aan de normen voor pand gebonden individueel risico voldoet. NCG heeft ook hiervoor een gevoeligheidsanalyse gedaan, namelijk met de KNMI-invoer voor aardbevingsgevaar en kwetsbaarheidscurves van TNO (alleen voor grondgebonden woningen), die aan de veilige kant zijn geschat. Op grond van die analyse wordt het gebied en het aantal woningen dat nader onderzoek verdient vooralsnog ruimer gehouden dan door NAM geadviseerd. Ook hier geldt dat aan de veilige kant wordt gebleven.'

Het panel heeft gevraagd naar de bron(nen) voor deze berekening van de NCG die zo sterk afwijkt van die van de NAM-berekening (ongeveer 100 woningen in heel Groningen). Voor de NAM-analyse is wel een verwijzing in het rapport opgenomen, voor die van de NCG-berekening niet. Het panel heeft het onderliggende rapport *Prioritering van inspecties, beoordeling en versterking gebouwen aardbevingsgebied Groningen* van Deltares uit 2017 dat door de NCG als geheim is betiteld<sup>8</sup> mogen inzien. Het rapport geeft aan dat bewuste conservatieve aannames de reden zijn voor het verschil van zo'n vijfduizend te versterken woningen met de NAM-inschatting. Deze aanpak is daarmee in onze analyse niet correct.

Een andere vraag van het panel aan de NCG is of de NCG een analyse heeft die laat zien of de door de NAM benoemde zwakste woningen nu ook binnen de door de NCG gedefinieerde hoog prioritaire (eerste

<sup>8</sup> Het panel heeft moeten tekenen voor het niet verspreiden van de inhoud van het rapport.



tot en met derde batch) te inspecteren en te versterken woningen vallen? Het antwoord op deze vraag is dat de NCG dat nog niet heeft. Uit een rapport dat de NAM op een vraag van het panel heeft opgeleverd blijkt dat minder dan 50% van de zwakste woningen in Groningen in de batches 1-3 zitten.<sup>9</sup>

Een derde vraag aan de NCG betreft het volgende: de NCG stelt dat zij bewust aan 'de voorzichtige kant blijft' op verschillende terreinen: de omvang van het gebied dat geïnspecteerd wordt, de beoordeling van de sterkte van huizen en de 'zwaarte' van de versterkingsmaatregelen. De vraag van het panel is of de NCG zicht heeft op de fractie van het resulterende aantal te versterken woningen dat daardoor vanuit voorzichtigheid wordt versterkt terwijl deze niet of minder versterkt zou moeten worden wanneer met een zo goed mogelijke inschatting (dus zonder bewust conservatisme) zou worden gerekend? Het antwoord op deze vraag is dat de NCG dat nog niet heeft.

Deze aanpak levert een systematische risico-overschatting op, zo geven de consultants die worden ingezet om de individuele woningen te beoordelen zelf aan. Zij voelen een persoonlijke verantwoordelijkheid en hebben op bedrijfsniveau een financiële aansprakelijkheid waardoor zij altijd kiezen voor een 'zekerder' inschatting.

Als concreet praktijkvoorbeeld: stel van een bepaalde categorie woningen is door onderzoek bekend dat de draagbalken van de verdiepingsvloer gemiddeld 5 centimeter liggen op de draagmuur met een variantie van  $\sigma = 2$  centimeter. Dit geeft de mogelijkheid een kansverdeling op falen te bepalen en daarmee het (verwachte) risico voor de inwoners. Extra niet-destructieve inspectie van een individuele woning geeft nu geen extra inzicht (want de werkelijke lengte van de draagbalk op de draagmuur is niet zichtbaar zonder te hakken en breken) maar leidt in de praktijk tot inspecteurs die het zekere voor het onzekere nemen en dan maar van bijvoorbeeld een 90%-marge uitgaan en dus van ongeveer  $5 - 2 * \sigma = 1$  cm lengte van de draagbalk op de draagmuur. Dit is wetenschappelijk en praktisch een heilloze weg die echter al voor een belangrijk deel het grote aantal woningen verklaart dat nu na inspectie niet aan de veiligheidsnorm lijkt te voldoen en daarom in aanmerking lijkt te komen voor versterking.

Onze **tweede conclusie** is daarmee dat de bewust beleidsmatig gekozen aanpak voor een gebiedsgerichte individuele inspectie voorspelbaar heeft geleid tot een incorrecte berekening van het individueel risico van de te inspecteren woningen die op zijn beurt heeft geleid tot een grote overschatting van het aardbevingsrisico en daarmee weer van de versterkingsopgave.

Het viel ons op dat alle geraadpleegde experts stelden dat zij zich bewust waren van de grote overschatting van het aardbevingsrisico die de berekeningen met de 'achterlopende' NPR opleverden en de toepassing ervan op individuele woningen door gecontracteerde consultants (opname van de woningen en berekening van de sterkte ervan). Allen stelden ook dat zij de NCG hierover geïnformeerd hebben, over zowel het conservatisme aan de kant van de hazard, de sterkte van woningen en de toepassing door consultants als over de beschikbaarheid van nieuwe minder conservatieve inzichten daarin.

## **2.4 Beoordeling van de meest recente, nog niet geïmplementeerde risicoberekeningen uit 2017 en 2018**

Vooruitkijkend geldt dat naar mening van de geraadpleegde experts het meeste conservatisme uit tenminste de hazard berekeningen is verdwenen (de kennislacunes op dat gebied lijken gering dankzij het intensieve onderzoek van de laatste jaren) zodat de meest recente hazard inschattingen realistisch lijken op enkele punt na:

---

<sup>9</sup> Confidential Report Maps of High Risk Buildings, NAM, June 2018.

- De maximaal mogelijke aardbevingssterkte  $M_{max}$  is op dit moment ingeschat met een kansverdeling die voor een deel boven de  $M=5$  uitkomt. Het gaat hier om een inschatting van de kans dat een geïnduceerde aardbeving een tektonische aardbeving 'triggert'. Voor specifiek Groningen (waarvoor de risicoberekeningen gemaakt zijn) geldt dan dat de tektonische aardbeving zou moeten plaats vinden in een nog onbekende breuklijn diep onder het reservoirniveau waarin het aardgas zich bevindt. De vraag is daarmee of hiermee rekening moet worden gehouden in Groningen. Een dergelijke diepe aardbeving zou aan de oppervlakte minder effect moeten hebben dan een aardbeving van gelijke sterkte op het reservoirniveau en dat laatste is waarmee tot op heden wordt gerekend.
- Op dit moment wordt verder nog gerekend met het effect van verweking van de bodem als gevolg van aardbevingen. Dit effect is nergens ter wereld aangetroffen voor aardbevingen met een sterkte van minder dan (omgerekend naar aardbevingen in het reservoir in Groningen)  $M=5$ . De verwachting is dat dit effect dan ook bij nader onderzoek zal verdwijnen.

Voor de sterkteberekeningen in de NPR 9998 geldt dat er nu verschillend validatieonderzoek loopt dat juist de laatste maanden veel conservatisme uit de berekeningsmethodieken heeft gehaald. Blijkens de meest recente inzichten zit er nog vooral betekenisvol conservatisme in de berekening van het risico op out-of-plane bezwijken. Zie het kader vorige onderdeel.

**NPR: van convolutie naar praktisch hulpmiddel**

De NPR 9998 voert de theoretisch correcte convolutie van de onderliggende kansberekeningen uit op de achtergrond en laat de constructeur in de praktijk een eenvoudiger berekening uitvoeren met rekenwaarden, de zogenaamde semi-probabilistische berekening. Dit is geheel overeenkomstig alle internationale bouwnormen. Men kan de procedure opvatten als een "slim gekozen eenpuntsintegratie". De NPR 9998 gaat uit van een definitie van deze rekenwaarden in unbiased verdelingsfuncties van belasting en sterkte. Daarom geldt ook hier dat dit strikt moet zijn toegepast zonder toevoeging van extra onzekerheidsmarges die een systematische fout introduceren. De NPR 9998 zal dus zo veel mogelijk gebruikt moeten worden in combinatie met unbiased belasting- en sterkteparameters en hun onzekerheden.

Onze **derde conclusie** is daarmee dat de semi-probabilistische risicoberekeningen als die volgens de meest recente inzichten met de NPR 9998, versie 2018 worden uitgevoerd waarschijnlijk eenzelfde orde-grootte aantal te versterken huizen opleveren als de probabilistische risicoberekeningen in het H&R-programma van NAM. Beide geven volgens de meest recente inzichten een goede inschatting van het werkelijk aantal woningen dat niet aan de norm voor het individueel risico voldoet, dat wil zeggen dat beide methodes niet meer dan een factor 10 overschatting geven van het werkelijk aantal woningen dat niet aan de norm voor het individueel risico voldoet.

Let wel, toepassing van de NPR is in de praktijk vooral geschikt voor de berekening van het aardbevingsrisico in de ontwerpfase. Zodra deze wordt toegepast op bestaande bouw zal in de praktijk het verschijnsel ontstaan dat we hiervoor beschreven, namelijk dat consultants die aan individuele objecten rekenen vanuit 'zekerheid' redeneren een systematische overschatting introduceren van het aardbevingsrisico.

**NPR: conservatief voor andere objecten dan woningen**

De NPR 9998 hanteert een eigen aanscherping van de Meijdam-norm door bouwwerken onder te verdelen in 'consequence classes'. Voor bouwwerken waarbij meer mensen aanwezig kunnen zijn of die van groter maatschappelijk belang worden geacht door de NPR dan woningen, hanteert de NPR 9998 een norm die een factor 10 tot 1000 strenger is dan de  $10^{-5}$  norm voor woningen. Deze berekeningswijze is niet conform de Meijdam-norm voor het individueel risico. In feite neemt de NPR hiermee een politiek besluit. Deze

aangescherpte berekeningswijze is een belangrijke reden waarom veel scholen in het aardbevingsgebied als onveilig werden betiteld.

## **2.5 Wat is de waarde van het krijgen van extra inzicht in de onderliggende kansverdelingen als de sterkte van individuele huizen?**

Een punt van aandacht blijft hoeveel energie er gestoken moet worden in het verkrijgen van meer zekerheid over elk van de onderliggende kansverdelingen.

De probabilistische benadering vergt onderzoek om verdelingen in kaart te brengen. In essentie zijn de twee belangrijkste parameters de verwachting en de spreiding van de onderliggende kansberekeningen. Een beschouwing van de kansverdeling van een van de factoren, kan leiden tot de conclusie dat nader onderzoek geen significante invloed heeft op de verwachting en een beperkte op de spreiding. In dat geval is het niet opportuun is om voor veel geld nader onderzoek te doen naar die kansverdeling omdat dat geen effect heeft op het totale risico.

Om het concreter te maken, het zou kunnen voorkomen dat de modellen voorspellen dat van 5000 huizen in een bepaald gebied, er met grote kans een klein aantal woningen is (bijvoorbeeld minder dan 3) die zo zwak zijn dat de kans op overlijden voor mensen in zo'n huis groter is dan  $10^{-5}$ . Omdat we niet weten welke huizen dat zijn, is het individueel risico voor een willekeurige persoon in elk van die 5000 huizen kleiner dan  $10^{-5}$ . Moet de overheid op dat moment veel geld gaan investeren om uit te zoeken welke paar huizen te zwak zijn (zo die al bestaan)? Dit lijkt ons een politieke vraag waarbij ook bestuurlijke afwegingen over de proportionaliteit bij gemaakt kunnen worden. Zo kan precies dezelfde vraag worden gesteld over screening voor een bepaalde ziekte, ook dan is er een bestuurlijk besluit nodig over de proportionaliteitstoets. In deze laatste situatie wordt er een norm gehanteerd voor de kosten per verwacht gewonnen gezond levensjaar dat een screening (dus extra inzicht in de kansverdeling per individu) moet opleveren.

Wij denken niet dat het proportioneel is dat de overheid met elke mogelijke conditionering van onzekere factoren rekening moet houden. Als er echter op een relatief simpele wijze een poging gedaan kan worden om toch aan meer relevante informatie te komen, dan moet dat ook niet nagelaten worden. In ons voorbeeld met de paar zwakke huizen, zou je bijvoorbeeld de bewoners zelf kunnen laten rapporteren wat zwakheden zijn van hun huis op grond van een checklist op internet, zodat experts vervolgens kunnen beslissen of een nadere inspectie nodig is.

Er is nog een fundamenteel probleem met het krijgen van extra inzicht in de praktijk: er is een grens aan wat een niet-destructieve inspectie aan extra kennis kan opleveren. Zie hiervoor het praktijkvoorbeeld van de draagbalken in paragraaf 2.3.

Onze aanbeveling is daarom om te werken met een zodanig gedetailleerde catalogus van huizen dat elk huis op grond van enkele standaardkenmerken in een bepaalde categorie kan worden ingedeeld en dat voor die categorie door onderzoek/experts een kansverdeling op falen kan worden opgesteld die voldoende betrouwbaar is. Er zijn bouwstenen voor zo'n categorie-indeling beschikbaar, waarbij wij vooral denken aan de GEM-gebaseerde aanpak in de H&R studie en een indeling in het expertsysteem GSAT.

Deze mogelijk theoretisch ogende overweging heeft een directe praktische consequentie. Het is niet nodig en zelfs niet wenselijk om elk huis apart te inspecteren om te bepalen of aan de individuele risico norm voor de bewoners wordt voldaan: het is voldoende om verstandig rekening te houden met het feit dat huizen (ook van hetzelfde type) onderling kunnen verschillen. Natuurlijk is de risicoberekening van woningen wel specifiek in de zin dat rekening gehouden moet worden met de locatie van de woning, die bepaalt immers de belasting waaraan een woning blootstaat.

Uiteraard zou de overheid kunnen besluiten alle huizen te inspecteren, met het doel een betere inschatting van het risico te krijgen voor elk huis. Naar onze mening zou dit alleen moeten gebeuren als dit een efficiëntere manier zou zijn om aan de risiconorm te voldoen. Een voorbeeld: stel we modelleren een bepaald type huis met een brede spreiding voor de sterkte van het huis (dus er is een niet al te kleine kans dat een dergelijk huis zou instorten bij een aardbeving). Hierdoor is de ingeschatte kans, berekend met de volledig probabilistische methode, te groot voor dit type huis in een bepaald gebied. De overheid heeft nu een aantal opties: zij zou alle huizen van dit type kunnen versterken met een of andere gestandaardiseerde versterkingsmethode. Hierdoor zeggen de modellen dat we op een aanvaardbaar risico uitkomen. Een andere optie zou zijn om alle huizen te inspecteren. Door de grote sterkte-verschillen in dit type huis zou er dan een klein percentage huizen gevonden kunnen worden die in slechte staat verkeren. Deze huizen zouden dan versterkt kunnen worden met een maatwerk aanpak, zodat hierna alle huizen weer aan de risiconorm voldoen. Naar onze mening zou het goed zijn als de overheid uitzoekt wat *in verwachting*, gegeven alle modellen, de meest kosteneffectieve manier is om aan de risiconorm te voldoen. Wij zien de risiconorm dus eigenlijk als een randvoorwaarde: de overheid mag zelf bepalen hoe zij aan deze norm gaat voldoen, zolang ze er maar aan voldoet.

Een belangrijke vraag is hoe groot de spreiding van het seismisch risico binnen één typologie is. Indien deze spreiding groot is geldt het advies dat op korte termijn nader te inventariseren en tot een verbeterde typologie-indeling te komen om 'uitmiddeling' binnen een typologie zoveel mogelijk te beperken. Het advies is daarom om deze spreiding op termijn zo goed mogelijk te kennen.

Tot het moment van beschikbaar komen van deze nadere inzichten moet echter niet gerekend worden met een conservatieve waarde voor de sterkte en moet gerekend worden met de verscheidenheid in de sterkte binnen de typologie. Pas wanneer we meer weten over de nadere subtypologie, bijvoorbeeld door een inspectie of nader rekenen, dan kunnen we een extra conditionering doen op deze kennis, om zo een betere inschatting van de kans te maken.

## **2.6 Is er een wetenschappelijke basis om tijdelijk een hoger risico toe te staan?**

Ook als alle risicoberekeningen correct zijn uitgevoerd, kan blijken dat er huizen zijn die een groter individueel risico veroorzaken dan  $10^{-5}$ . Als dit veel huizen zijn, dan is het praktisch ondoenlijk om deze binnen korte tijd allemaal te verstevigen. Vandaar dat de commissie Meijdam voorstelt om 5 jaar lang een risico van maximaal  $10^{-4}$  toe te staan. Binnen deze periode zou de overheid het risico dan moeten verkleinen. In feite is dit een politiek besluit gebaseerd op praktische overwegingen. Het is ook een politiek besluit om vast te stellen vanaf wanneer deze vijf jaar zou moeten ingaan.

De vijf jaar is dus ingesteld om de overheid de noodzakelijke tijd te geven risico's te verkleinen, daarvoor bestaat geen wetenschappelijke basis en kan dus ook geen wetenschappelijk onderbouwd advies door wie dan ook worden gegeven.

Zoals de commissie Meijdam al opmerkte is de 5 jaar een in het bouwbeleid gebruikelijke, maar niet voorgeschreven, methode.

## **2.7 Hoe moet de overheid rekening houden met onzekerheid in (de effecten van) toekomstige gaswinning?**

Een consequentie van de bovenstaande filosofie is dat altijd uitgegaan wordt van de *huidige* kennis over (dus) het *heden*.

In bijvoorbeeld een jaarlijkse update van de risico-inschatting kan telkens (zonder dat veel extra werk noodzakelijk is) tot een bijstelling van de risico-inschatting en daarmee van de versterkingstaak van de overheid worden gekomen. Dit kan een vergroting of een verkleining van die versterkingsopgave betekenen.

Zo moet in de risico-inschatting nu niet worden vooruitgelopen op een nog onzekere verlaging van het aardbevingsrisico door de voorgenomen verlaging van de aardgaswinning. Met andere woorden, de situatie zou zeer wel kunnen ontstaan dat woningen die nu niet aan de  $10^{-5}$  norm voldoen dat over enkele jaren wel doen omdat de verwachte sterkte van de aardbevingen minder wordt. In de huidige berekeningen van het risico zou deze verwachting geen rol moeten spelen. Wel kan, op logische gronden, als eerste worden ingezet op de meest kwetsbare woningen in het vijfjarenversterkingsplan. Het kan dan na enkele jaren blijken dat de woningen die al het meest in de buurt van de  $10^{-5}$  kwamen geen versterking meer nodig hebben.

Dezelfde redenering moet ook gebruikt worden bij het probleem van de onbekende gaswinning in de toekomst: we schatten in dat de gaswinning zal verminderen, maar als de winters erg koud worden, dan is er meer gas nodig. Moeten we *nu* rekening houden met de onzekerheid in de *toekomstige* gaswinning? Ons advies zou zijn: nee! Het enige waar de overheid zich aan dient te houden is het handhaven van de risiconorm. Dit betekent dat als de minister zich volgend jaar genoodzaakt ziet om meer gas te winnen, dan moeten we opnieuw de risico's berekenen aan de hand van de nieuwe voorspelde gaswinning. Mochten de risico's te hoog uitvallen voor sommige gebouwen, dan moet de overheid ofwel versneld deze huizen versterken, ofwel de gaswinning zodanig omlaag schroeven dat het risico binnen de norm blijft. Dit is dus een optimalisatieprobleem voor de overheid, maar de randvoorwaarde dat de risiconorm gehaald wordt, blijft staan.

Dit betekent dus, nogmaals, wel dat er geregeld moet worden gekeken hoe de individuele risico's zich ontwikkelen in de loop van de tijd, en dat er op een realistische manier wordt ingeschat welke verstevigingsoperaties binnen welke termijn kunnen worden uitgevoerd.

Bij sommige adviesorganen leeft de gedachte dat hier met (al dan niet tijdelijke) extra arbitraire marges moet worden gerekend om te voorkomen dat de risicoberekening de aankomende jaren anders uitpakt. Men spreekt dan soms over het hanteren van 'een 90% marge' of een 'P90'. Om drie redenen zijn wij hier sterk tegen:

- Wij zien dit als een denkfout omdat in de berekeningen van de aankomende jaren wanneer je *diezelfde* arbitraire marge weer meeneemt toch ook weer een veranderend risicobeeld zullen opleveren (als het correct berekende risico verandert). Ook voor dit vraagstuk geldt daarmee dat er geen wetenschappelijk onderbouwde keuze valt te maken door welk adviesorgaan dan ook, maar dat dit een essentieel politieke keuze is.
- Bovendien moet beseft worden dat een aanpassing van de norm of inbouw van een extra marge in de norm een niet triviale nieuwe calibratie van de NPR naar rekenwaarden voor de belastings- en sterkteparameters vereist, hetgeen zeker een half jaar werk betekent.
- Heel specifiek, we noemden dat al eerder, heeft de betiteling P90 geen wiskundige betekenis in dit verband: het hanteren van een onzekerheidsmarge in de loop van de berekeningen levert een eindgetal op waarvan de relatie met de (correct berekende) verwachtingswaarde onbekend is. In de bijlage leggen we aan de hand van wat voorbeelden uit dat het een conceptuele vergissing is om het risico dat uit de modellen komt te zien als een verdeling rond het 'echte' risico, met een verwachting en een spreiding. Naast het enigszins filosofische probleem dat het 'echte' risico niet is gedefinieerd, is het alleen mogelijk om een spreiding in onze inschatting te krijgen door te conditioneren op een bepaald deel van onze ontbrekende kennis. Echter, elke keuze tot conditioneren (bijvoorbeeld de kracht van een mogelijke aardbeving of de sterkte van een huis) leidt tot een andere verdeling van het risico (en dus tot een andere waarde van P90). Alleen het methodologisch correct uitintegreren van deze verdelingen levert altijd de oorspronkelijke correcte inschatting op.

### 3. Over de wijze van versterken tegen aardbevingen

Wanneer de sterkte van woningen, dat wil zeggen van de typologie waartoe zij behoren, bekend is, is de vraag op welke wijze ze versterkt kunnen worden.

Zoals inmiddels duidelijk zal zijn, denken wij dat ook hier een individuele aanpak per woning methodologisch niet te verantwoorden is en overigens een disproportionele investering in de berekening van de versterkingsmaatregelen per woning betekent.

Wij pleiten ook hier voor een definiëring van de versterkingsmaatregelen per cataloguselement. Juist omdat de gevraagde versterkingsmaatregelen blijkens de meest recente inzichten een klein deel van de woningvoorraad aangaan en relatief licht zijn (maatregelen die van buitenaf aangebracht kunnen worden zonder dat de bewoners ervoor hun huis moeten verlaten) kan er proportioneel vaart in de versterking worden gebracht door generieke maatregelen te gebruiken.

Bij het bepalen van het risico van een bepaald type huis, zou het goed zijn om te bepalen of min of meer voor de hand liggende verbouwingen aan een huis van invloed zijn op de sterkte, en zo ja, in welke mate. Ook zou met een beperkte steekproef nagegaan kunnen worden met welke regelmaat belangrijke verzwakkingen van een huis voorkomen (denk aan het doorbreken van de muur tussen de keuken en de woonkamer, bijvoorbeeld).

Heel erg concreet is de voor de hand liggende aanbeveling om op de korte termijn de versterking te richten op de meest kwetsbare woningen, zijnde rijtjeswoningen met een groot openingspercentage in de langsggevels, in heel Groningen. Minder dan de helft van die woningen is volgens de studies van de NAM te vinden in de batches 1-3, in de laatste twee batches gaat het zelfs om minder dan 15%.

Wij zouden voorstellen om woningen waar flinke schade is opgetreden bij 'lichte' bevingen met voorrang te behandelen. De kans dat er met deze woningen wat aan de hand is en de kans dat deze woningen eerder dan andere woningen de limit state near collapse bereiken bij de eventuele 'grote' beving is groter dan in woningen zonder grote schade. Dit is een pragmatische manier om te prioriteren, los van rekenexercities en veiligheidsfilosofieën. Let wel, een groot deel van schades in woningen bevindt zich in niet-dragende onderdelen en heeft daarmee geen consequenties voor de near collapse state, maar bij een klein deel zijn bijzondere dingen aan de hand (bijv. ernstige zettingsschade waardoor balken niet meer goed opliggen of de draagconstructie anderszins is aangetast). Uit de schadeafhandeling kan getraceerd worden om welke woningen het gaat.

Pak eerst de in-plane opgave voor de kwetsbaarste rijtjeshuizen aan (ordegrootte honderd). Bijvoorbeeld door betere verbindingen, versterkte wanden of (tijdelijke) steunberen van buitenaf aan te brengen, indien nodig gecombineerd met doorkoppeling van vloeren (vereist wel binnen de woning weghakken van enkele lagen metselwerk boven de vloer) mochten de vloeren niet doorgaand zijn.

Pak daarna vrijstaande woningen aan (de H&R-analyse en verkennende GSAT-analyses laten zien dat ze aanmerkelijk minder bijdragen aan het veiligheidsrisico dan een hoofdtype rijtjeshuizen).

Pak de out-of-plane opgave aan, beginnend in de meest kwetsbare gebieden met de laagste capacity/demand ratio's (de omvang van de opgave is anders dan bij in-plane minder gerelateerd aan het type woning, ruwe inschatting, zoals eerder vermeldt, ordegrootte duizend). In eerste instantie met maatregelen van buitenaf, als verbinden buitenblad spouwmuur aan binnenblad met ankers van buitenaf en/of spouwdonuts, verbinden van wanden aan vloeren door vanaf buiten diep te boren waar mogelijk, vastzetten kopgevels door op zolder te verbinden aan dakconstructie, (niet-dragende) binnenwanden via bijv. hoekstalen tijdelijke verbindingen c.q. gedeeltelijke inklemmingen geven en als dat niet voldoende is, plaats er dan aan beide kanten een gaas/vlies/textiel op.

**Verbetering van de NPR, tenminste noodzakelijk voor nieuwbouw.**

De volgende drie aanbevelingen richten zich op een betere bruikbaarheid van de NPR 9998.

Zorg dat de juni-versie van Annex G zo spoedig mogelijk van kracht wordt. Maak een noodverordening of tijdelijke short-cut die het reguliere traject naar witte en vervolgens groene versie van de NPR binnen zeg 2 maanden regelt. Consultants zullen in verband met liability de Annex pas gebruiken als een der overheden dat expliciet oplegt, anders wachten ze (begrijpelijk) tot het officiële pad gevolgd is (de reden waarom nu nog met NPR 2015 wordt gewerkt). Deze annex leidt tot transparantie en duidelijkheid voor de in-plane versterkingsopgave.

Zorg dat Annex H zo spoedig mogelijk gecalibreerd en doorontwikkeld wordt. Deze annex is nu te conservatief en geeft geen duidelijkheid aan Groningers over de (omvangrijke doch per huis minder intrusive) versterkingsopgave tegen out-of-plane bezwijken.

Regel dat de NPR "losbladig" wordt, zodat voortschrijdend inzicht aan de belastingskant (de hazard), beslissingen over de gasproductiescenario's en voortschrijdend inzicht aan de weerstandskant van gebouwen sneller meegenomen kunnen worden dan voorheen. Update deze losbladige NPR per half jaar. Zorg daarbij dat er een gremium is dat de betrokken stakeholders verbindt en mandateer haar voor snelle beslissingen.

#### 4. Slotsom en advies

Voor een correcte berekening van het individueel aardbevingsrisico conform het advies van de commissie Meijdam en de gebruikelijke berekeningsmethodes voor risico's in Nederland moet de convolutie-integraal van de onderliggende (onafhankelijke) kansberekeningen worden genomen zonder toevoeging van extra onzekerheidsmarges die een systematische fout introduceren.

Onzekerheden moeten altijd naar beste weten door experts worden ingeschat en in de kansverdeling worden verwerkt zonder introductie van ad hoc veiligheidsmarges, want dat maakt de systematiek als geheel onbetrouwbaar. De uiteindelijke waarde voor het individueel risico is daarmee een verwachtingswaarde.

De huidige wijze van berekening van het risico en de versterkingsmaatregelen zijn gebaseerd op de NPR 9998, versie 2015, dat wil zeggen de NAM-modelering uit 2014 van het hazard en de inzichten over sterkteberekeningen uit 2015. Volgens ons is die aanpak methodologisch incorrect door de bewuste invoeging van onzekerheidsmarges.

Naar onze inschatting is de resulterende inschatting van het individueel aardbevingsrisico voor woningen tenminste een factor tien maar waarschijnlijk meer dan een factor honderd te groot. Daarmee lijkt ook de inschatting van de versterkingsopgave eenzelfde factor te groot (zowel voor het aantal woningen als voor de wijze van versterking).

Wij stellen concreet voor om te werken met een catalogusaanpak waardoor de noodzaak van een individuele detail-inspectie van woningen vervalt. Basis hiervoor zou de nieuwste versie van het hazardmodel van de NAM, dat is reviewed door internationale experts en gevalideerd door de KNMI, samen met het internationale GEM-model waarin de nieuwste inzichten voor de sterkte van de Groningse huizen zijn verwerkt, te gebruiken om middels een methodologisch volledig correcte aanpak (een volledig probabilistische aanpak) een individuele overlijdensrisicokans per jaar te bepalen. Als deze kans per cataloguselement, waarin dus ook onzekerheden zo goed mogelijk zijn gemodelleerd, kleiner is dan  $10^{-5}$ , dan heeft de overheid voldaan aan haar plicht om bewoners een veilige woonomgeving aan te bieden op een gelijke wijze als in andere veiligheidsdomeinen gebeurt. Het risico per cataloguselement zou door een beperkte groep experts kunnen worden doorgerekend, en de versterkingsadviezen per cataloguselement zouden eveneens door een beperkte groep experts kunnen worden bepaald. Daarna kunnen de opdrachten tot versterken worden uitbesteed. Voor deze gehele procedure hoeft dus niet eerst bijvoorbeeld een nieuwe NPR worden vastgesteld, hetgeen tot een aanzienlijke versnelling van de versterkingsopgave zou moeten leiden.

Er is geen noodzaak om dan nog extra rekening te houden met (toekomstige) onzekerheden in het bepalen van deze kans, want het risico kan elk (half) jaar opnieuw worden bepaald, aan de hand van de laatste inzichten en de feitelijke gaswinning.



## Bijlage

### Over de berekening van risico's, een poging tot een korte simpele uitleg

De berekening van het individueel aardbevingsrisico voor personen in een bepaald gebied kan slechts uitgevoerd worden door (model)aannames te doen over een groot aantal onbekende factoren die bijdragen tot deze kans. Dit moet in dit geval net als op andere risicoterrainen geaccepteerd worden (sommige dingen weten we nu eenmaal niet precies). We verwachten dat experts de best mogelijke modellen maken die de werkelijkheid beschrijven, en dat diezelfde experts een indicatie kunnen geven in hoeverre de werkelijkheid *kan* afwijken van deze modellen. Deze aanpak wordt bijvoorbeeld regulier gebruikt bij het berekenen van de kans op een overstroming, maar ook op die van tektonische aardbeving van een bepaalde sterkte in een bepaald gebied.

We kunnen zelfs stellen dat het 'echte' individueel aardbevingsrisico in feite niet is gedefinieerd: we modelleren ons gebrek aan kennis door middel van kansverdelingen, waardoor we uiteindelijk op een kans uitkomen. Of iemand daadwerkelijk het komende jaar overlijdt als gevolg van een aardbeving is in grote mate een deterministisch gevolg van de huidige eigenschappen van het relevante fysische systeem, en dus niet de uitkomst van een kansexperiment. Toch is het modelleren van ons gebrek aan kennis door middel van kansmodellen een in veel gebieden van de wetenschap niet alleen een geaccepteerde, maar zelfs uiterst succesvolle methode om toch relevante conclusies te kunnen trekken.

Om aan te geven waar een probleem bij de interpretatie van de onzekerheden kan optreden, bekijken we een voorbeeld. Voor het berekenen van de versnelling van het aardoppervlak bij een aardbeving van een bepaalde sterkte, zouden we de viscositeit van de ondergrond moeten weten (lieft op elke plek). Dit is uiteraard niet precies bekend, maar experts kunnen een educated guess doen: laten we zeggen (precieze getallen zijn hier niet van belang) dat de viscositeit 5 is, plus of min 2. In een probabilistische aanpak zouden we dan zeggen dat de viscositeit een normale verdeling heeft met verwachting 5 en standaarddeviatie 1. De echte viscositeit is natuurlijk simpelweg een (onbekend) getal voor elke plek van de ondergrond. Je zou dus nu kunnen zeggen dat er een onzekerheid is in de gevolgen van de aardbeving, omdat viscositeit 3 een ander antwoord geeft dan viscositeit 7. De eerste neiging zou dan kunnen zijn om aan de veilige kant te gaan zitten. Het gevolg hiervan zou zijn dat de op die manier bepaalde kans een sterk conservatieve bovengrens is, die geen recht doet aan de inschattingen van de experts.

Om het (hopelijk) nog concreter te maken, stel er zijn twee dobbelstenen<sup>10</sup>, een met alleen de oneven uitkomsten 1,3 en 5, en een met de even uitkomsten 2,4 en 6. De twee verschillende dobbelstenen stellen de mogelijke waarden van de viscositeit voor, en hoe dit doorwerkt in de overlevingskans. Een uitkomst van 6 zou overeenkomen met niet overleven. Iemand kiest nu willekeurig tussen de twee dobbelstenen, gooit deze en kijkt naar de uitkomst. Wat is de kans op een 6? Het is duidelijk dat deze kans afhangt van welke dobbelsteen de persoon kiest, maar dat weten we niet; we weten alleen dat hij tussen de twee dobbelstenen kiest. Dit is vergelijkbaar met de onzekerheid over de viscositeit: we kennen deze niet, maar we 'weten' (of modelleren) dat dit een trekking is uit een normale verdeling. Het is duidelijk dat als we middelen over de kans op de ene of de andere dobbelsteen, dan komen we op een kans van 1/6 op een zes. Dit is precies de probabilistische aanpak. De voorzichtige aanpak zou erop neerkomen dat we er voor de zekerheid vanuit gaan dat de even dobbelsteen is gepakt, zodat we uiteindelijk op een kans 1/3 uitkomen. Als we dit gehele experiment vaak herhalen, dan is het duidelijk dat 1/6 de juiste inschatting van de kans is. Eigenlijk is alleen deze laatste opmerking (het herhalen van het experiment) niet van toepassing op de viscositeit, maar we blijven bij de conclusie dat de probabilistische methode de beste aanpak is om de kans te bepalen.

---

<sup>10</sup> Geen misverstand: het risico of de aanpak van aardbevingen heeft niets met een gokspel te maken.

Deze overwegingen hebben nog meer gevolgen: stel we berekenen de kans op instorten van een bepaald type huis in een bepaald gebied. We doen dit op de probabilistische methode, en vinden een kans die klein genoeg is om aan de norm te voldoen. We zouden dan kunnen opmerken dat voor een willekeurig aangewezen persoon in dat gebied met een dergelijk huis, zeg mevrouw Pietersen, het niet duidelijk is of zij ook een kans op instorten heeft die klein genoeg is. Immers, misschien is het huis van mevrouw Pietersen verbouwd, of heeft het reeds scheuren, waardoor het makkelijker kan instorten. Ons punt is dat wanneer we dit niet weten, we deze verscheidenheid in de sterkte binnen dit type huis moeten meenemen in het berekenen van de kans, en dat we de kans van mevrouw Pietersen dan toch inschatten op deze kans voor het type huis. Pas wanneer we meer weten over het huis van mevrouw Pietersen, bijvoorbeeld door een inspectie, dan kunnen we een extra conditionering doen op deze kennis, om zo een betere inschatting van de kans te maken. Om terug te grijpen op ons dobbelsteen voorbeeld: stel we kiezen voor elke persoon apart uit de twee dobbelstenen. Zolang we niet weten welke dobbelsteen is gekozen voor mevrouw Pietersen, zouden we haar kans op 1/6 inschatten. Pas wanneer we weten welke dobbelsteen voor haar is gekozen, passen we de kans aan.

*Hoe moeten we omgaan met onzekerheden in het bepalen van het risico?*

Naar onze mening is de juiste manier van omgaan met onzekerheden om te proberen deze onzekerheden te kwantificeren door middel van een kansverdeling. Een grotere spreiding van deze verdeling komt dan overeen met een grotere onzekerheid over het onderliggende object. Als er dan meerdere onzekere factoren zijn in het berekenen van bijvoorbeeld een overlijdensrisico, dan worden al deze verdelingen op de juiste manier geconvolveerd (of geïntegreerd) om de juiste kans te bepalen. Dit heet ook wel de volledig probabilistische aanpak, en de uitkomst wordt dan de verwachting genoemd van onderliggende verdeling. Deze naamgeving is verwarrend: het is namelijk niet de verwachting van de kans, maar de verwachting van de 0-1 variabele die aangeeft of een bepaald individu overlijdt of niet. De kans zelf heeft in dit model geen verdeling. Toch bestaat de neiging om te zeggen dat kans afhangt van onbekende factoren, en dus dat deze zelf een verdeling heeft. Om dit te illustreren beschouwen we een (hopelijk) verhelderend voorbeeld.

Stel we hebben een aantal normaal verdeelde stochasten  $Z_1, \dots, Z_n$ , elk met verwachting  $\mu = 0$ , en stochast  $Z_i$  heeft variantie  $\sigma_i^2$ . U moet dit zien als de verdelingen behorende bij onbekende factoren zoals bodemeigenschappen, precieze locatie van een aardbeving, eigenschappen van het huis van de individu die we beschouwen, etc. Verder modelleren we de kans op overlijden als de kans op de gebeurtenis dat  $Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n > 1$ . Deze kans kunnen we nu met de probabilistische methode uitrekenen, want  $Z_1 + \dots + Z_n$  heeft weer een normale verdeling met verwachting 0 en variantie  $\sigma_1^2 + \dots + \sigma_n^2$  (hier gebruiken we de aanname dat alle  $Z_i$ 's onafhankelijk zijn; dit zou dus betekenen dat onzekerheden in de ene factor niet de onzekerheden in de andere factor beïnvloeden, hetgeen vaak een redelijke veronderstelling is).

Stel  $Z_n$  gaat over de sterkte van het huis. Nu bestaat de neiging om denken dat de sterkte kan variëren, en dus kan ook de kans op overlijden variëren. In dit voorbeeld komt dat op het volgende neer: als we conditioneren op een bepaalde waarde van  $Z_n$ , dan hangt de kans af van die waarde, en dus krijgt de kans zelf (door  $Z_n$ ) een verdeling. Dit is inderdaad een bekend fenomeen in de kansrekening: definieer  $X$  als de stochastische variabele die de waarde 1 krijgt als  $Z_1 + \dots + Z_n > 1$ , en anders krijgt  $X$  de waarde 0 ( $X$  is dus de indicator-variabele voor het overlijden van het individu). De verwachting van  $X$ ,  $E(X)$ , is de gevraagde kans. Als we nu conditioneren op de waarde van  $Z_n$  krijgen we  $E(X | Z_n)$ , en dit is inderdaad weer een stochastische variabele (met een verdeling). Dit is echter niet meer de kans op  $X=1$ ! Om dit verder te illustreren, kunnen we ons realiseren dat we nu hebben geconditioneerd op  $Z_n$ , maar er is a priori geen reden om niet op bijvoorbeeld  $Z_1$  of  $Z_2$  te conditioneren, of op alle drie tegelijk. Het punt is dat de verdeling afhangt van de keuze van conditionering. Sterker nog, als we op alle  $Z_i$ 's conditioneren, dan krijgen we een kans die of 0 of 1 is. Dit zou neer komen op de situatie dat alle fysisch relevante informatie bekend is, zodat we simpelweg zeker weten of een huis komend jaar instort met overlijden tot gevolg, of niet. Het is dus niet correct

om over een verdeling van de kans te spreken, simpelweg omdat er geen canonieke set variabelen is waarop je zou moeten conditioneren. Let wel, de onzekerheid die wel degelijk bestaat over veel factoren spelen nog steeds een belangrijke rol in het bepalen van het risico, net zoals in ons voorbeeld de verschillende varianties een rol spelen in het eindantwoord: hoe groter deze varianties, hoe dichter het antwoord naar  $1/2$  klimt.