



Van ABT-Wassenaar | ir. 5.1.2e
Aan Gemeente Groningen, Twynstra Gudde
Datum 14 augustus 2015
Onderwerp Groningen – vergelijk spectra NPR versus locatie specifiek spectrum NAM

1.**Inleiding**

NAM heeft op 26 juni een rapport gestuurd met daarin een locatie-specifiek aardbevingspectrum en piekgrondversnelling voor de locatie van het Groninger Forum.

ABT heeft de gevolgen van deze informatie onderzocht voor het gebouw van het Groninger Forum. De resultaten zijn vastgelegd in de notitie met nummer 29 d.d. 25 juni 2015.

Aangezien het spectrum fundamenteel anders is dan dat van de NPR, heeft de gemeente gevraagd om een indruk te geven van wat dat betekent voor de binnenstad van Groningen. Alhoewel het lokale spectrum specifiek rekening houdt met de grondslag zoals die aanwezig is op de locatie van het Groninger Forum, kan gesteld worden dat voor een groot deel van de binnenstad eenzelfde studie zou leiden tot vergelijkbare resultaten.

Deze notitie kent de volgende opbouw:

- Het verschil in benaderingswijze wordt gegeven tussen het locatie specifieke spectrum en de tot op heden aangehouden spectrum van de NPR 9998:februari 2015
- Het benoemen van de verschillen tussen de spectra
- De gevolgen die het locatie specifieke spectrum heeft
- Het trekken van conclusies en geven van aanbevelingen.

Het doel is om inzicht te geven in de implicaties van het locatie specifieke spectrum (LSS) van het Groninger Forum indien deze wordt gebruikt voor de beoordeling van de gebouwen in de binnenstad van Groningen.



2. Feitelijke verschillen

Op 26 juni 2015 is er door NAM een rapport ('Seismic Design Loads for the Groningen Forum' d.d. 26 juni 2015) verstrekt, met daarin een locatie-specifiek spectrum en herziening van de ontwerpwaarde voor de piekgrondversnelling, waarbij rekening is gehouden met seismisch grondonderzoek ter plaatse.

Dit rapport is (nog) niet gevalideerd, waardoor het geen formele status heeft. Wel kan gesteld worden dat het onderzoek is uitgevoerd door gerenommeerde wetenschappers op dit gebied, die al geruime tijd voor NAM, en daarmee de werkgroep van de NPR-commissie, onderzoek verrichten aan de risico's ten aanzien van aardbevingen.

2.1.

Benaderingswijze

Wereldwijd wordt in normen het risico vastgelegd in spectra, dat de versnellingen afhankelijk van de trillingstijd van een gebouw weergeeft. Uit deze versnellingen kunnen de krachten worden bepaald, waarmee een gebouw ontworpen en getoetst kan worden. Afhankelijk van de zwaarte van de aardbeving (de magnitude), de afstand tot de bron en de grondslag ter plaatse van het gebouw, kan het effect worden bepaald. Dit algemene risico wordt meestal gebaseerd op een aardbeving met een kans van overschrijding van 10% in 50 jaar, ofwel uitgedrukt in een herhalingsstijd van 475 jaar. Omdat dit risico voor de meeste gebouwen te hoog is, zijn er verschalingsfactoren die de herhalingsstijd vergroten. Dit vertaalt zich in een hogere piekgrondversnelling en daarmee hogere ontwerpkrachten.

Om te voorkomen dat er per locatie en bouwtype een spectrum moet worden bepaald, wordt het risico gesplitst in een algemeen spectrum en een kaartje met piekgrondversnellingen. Samen met factoren afhankelijk van de specifieke grondslag en de belangrijkheid van het gebouw, kan dan het risico per gebouw worden bepaald.

Los van deze algemene benadering volgens de norm, mag altijd een locatie-specifiek spectrum worden bepaald. De verschillen tussen een algemeen spectrum en een algemeen kaartje met piekgrondversnellingen, zoals in de NPR weergegeven, en een lokaal bepaald spectrum kunnen vrij groot zijn, omdat bij het algemeen maken van het risico er aannames moeten worden gedaan.

De NPR gaat uit van de maximaal te verwachten aardbeving in Loppersum ($M=5$ op de schaal van Richter). Op basis van meetgegevens van meetstations van het KNMI zijn het spectrum en de kaart met de piekgrondversnellingen gegeven. Deze laatste worden gegeven op maaiveldniveau, zodat er geen factoren hoeven te worden gebruikt voor het verdisconteren van de grondslag. Per bouwcategorie wordt de piekgrondversnelling verschaald. Er is in de NPR ook nog een reductiefactor voor de weerstand of sterkte van het gebouw voor aardbevingen ingevoerd, om te voldoen aan het vereiste veiligheidsniveau met een kans op falen van 10^{-5} .

Voor het Groninger Forum houdt dit in dat de piekgrondversnelling volgens de kaart van het KNMI $0,24g$ is. Deze wordt voor nieuwbouw verschaald met een factor $1,7$, waardoor de ontwerpwaarde $0,41g$ wordt. De reductiefactor voor de sterkte kan bij lineair rekenen ook worden ingevoerd door de ontwerpwaarde voor de piekgrondversnelling te verhogen. De ontwerpwaarde voor het Groninger Forum wordt daarmee $0,41 \times 1,3 = 0,53g$.



De aanpak om tot piekgrondversnellingen te komen is wezenlijk verschillend dan die van de NPR. Volgens het NAM rapport (achtergrondinformatie van de NPR zelf is niet bekend) is bij de NPR gebruik gemaakt van een lineair model van het risicogebied, en rekent men met een scenario van een aardbeving in de buurt van Loppersum met een magnitude van $M=5$. Meetsignalen van opgetreden –kleinere- aardbevingen op maaiveldniveau zijn daartoe verschaald. Hiermee is de kaart en het spectrum bepaald.

In het NAM rapport met het locatie-specifieke spectrum wordt het te halen veiligheidsniveau van de NPR als uitgangspunt genomen. Wat men tot doel heeft is om de bron in de diepe laag, de steenlaag waarin het gas en de breuken aanwezig zijn (op ca. 350m diepte), te bepalen. De aardbevingsgolf zal namelijk door deze laag horizontaal voortplanten, en dan bij een gegeven locatie ook de bovenliggende grond in beweging brengen. De slappere grondlagen boven op de vaste steen of rotslagen zullen het signaal in bepaalde frequenties dempen maar in andere frequenties versterken. Dit laatste wil men dan bepalen voor de specifieke locatie van het Groninger Forum.

Om de bron te bepalen, het scenario waarmee gerekend moet worden, rekent men terug vanuit een waarde van de piekgrondversnelling op de locatie op maaiveldniveau en een vanuit het vereiste veiligheidsniveau bepaalde herhalingstijd. Hierbij worden meerdere scenario's doorgerekend. Volgens het NAM rapport levert het enkele bron scenario dat gehanteerd wordt in de NPR onvoldoende resultaat op om het spectrum te definiëren.

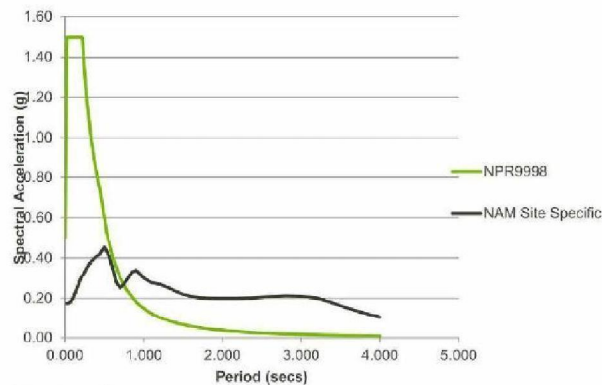
Voor het specifieke geval van het Groninger Forum levert dat een maatgevende aardbeving op met een grootte van $M=6$ op 9,1 kilometer van de locatie en een herhalingstijd van 8.500 jaar, terwijl deze volgens de NPR 3.600 jaar is (voor nieuwbouw). Hierbij moet echter worden aangegeven dat de reductiefactor van 1,3 voor de sterkte niet verwerkt is in de aangegeven herhalingstijd volgens de NPR, terwijl die bij het NAM rapport daar wel in is verwerkt. De bijbehorende piekgrondversnelling is 0,46g, hetgeen overeenkomt met de bepaling volgens de methode volgens de NPR. De piekgrondversnelling behorende bij de herhalingstijd van 475 jaar is veel lager dan volgens de NPR: volgens de NAM modellen is dat 0,13g, in plaats van de 0,24g volgens de NPR.

Nu het scenario en de herhalingstijd bekend zijn, rekent men vanuit de bronlocatie terug met modellen van de grondslag van zowel de rots als de grondlagen op de rots ter plaatse van het Groninger Forum. Op basis van die gegevens worden de piekgrondversnellingen en het spectrum gedefinieerd ter plaatse van het Groninger Forum.

Voor het Groninger Forum levert dat een piekgrondversnelling op van 0,175g (bij $T=0s$). Belangrijker om te zien is dat de spectrale versnellingen (het spectrum dus) vervolgens er heel anders uitziet. Zie paragraaf 2.2.

2.2. Vorm van het spectrum

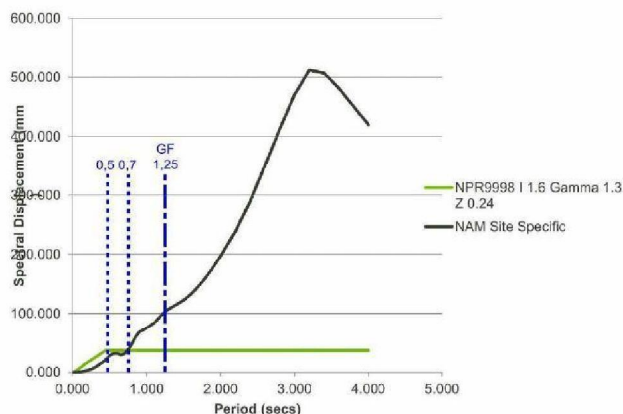
Indien het locatie-specifieke spectrum en dat van de NPR, verschaald naar het Groninger Forum, over elkaar worden geplaatst, dan ontstaat het volgende beeld:



Figuur 1:
Vergelijking spectrale versnelling NPR en LSS voor de Forum locatie en bouwklasse CC3

De belangrijkste verschillen op een rij:

- De vorm is veranderd van smal en hoog naar breed en laag.
- De vorm lijkt hiermee meer op die van een natuurlijke aardbeving, waarbij pas voor hogere trillingstijden (>3s) de spectrale versnelling gaat afnemen, terwijl dat bij het NPR spectrum al bij 0,22s gebeurt (en behoorlijk abrupt).
- De basis piekgrondversnellingen (bij T=0s) zijn bijna gehalveerd: basis volgens NPR is $0,24 \times 1,7 = 0,41g$; basis volgens NAM rapport is $0,175g$. Voor $T > 0,7s$ wordt de spectrale versnelling volgens het NAM rapport echter veel hoger (blijft ca. $0,2g$ terwijl volgens de NPR dit naar vrijwel 0 zakt).
- De verplaatsingen worden groter (figuur 2)



Figuur 2: Vergelijking spectrale verplaatsingen NPR en LSS voor het Groninger Forum



Wanneer het LSS wordt vergeleken met het spectrum uit de NPR998, kan worden geconcludeerd dat:

- Onder een trillingstijd van 0,5 seconde is het LSS aanzienlijk minder veeleisend dan de NPR998.
- Voor trillingstijden tussen 0,5 en 0,7 seconden zijn de twee spectra vergelijkbaar.
- Bij oplopende trillingstijden vanaf 0,7 seconden is het LSS steeds veeleisender ten opzichte van de NPR 998.
- Daar waar volgens het NPR spectrum de verplaatsingen boven de 0,22s gelijk blijven, lopen die volgens het LSS steeds verder op. Methoden waarbij gezocht wordt naar een hogere trillingstijd, wat beloofd wordt in het NPR spectrum met een lagere spectrale versnelling dus lagere belasting, leiden tot grotere verplaatsingen volgens het LSS, welk nadeel er dus volgens de NPR niet was.

Het LSS is voorgelegd aan Nieuw-Zeelandse seismische experts. Zij concluderen dat het LSS een aantal belangrijke overeenkomsten met feitelijke spectra afgeleid uit de metingen tijdens de 'Canterbury earthquakes' in en rond Christchurch in 2010 en 2011. Dat betroffen natuurlijke aardbevingen met een hypocentrum op een diepte van 4-5 kilometer. In de stad zijn grondversnellingen gemeten variërend van 0,4 tot 0,8g.

3. **Gevolgen voor de binnenstad**

Ieder gebouw reageert/trilt op zijn eigen manier. In het algemeen kan echter gesteld worden dat hoge gebouwen een langere trillingstijd hebben dan lage gebouwen. In relatie tot het spectrum zoals voor het Groninger Forum bepaald, betekent dit dat lage gebouwen onder het locatie-specifieke spectrum beter zullen presteren dan onder het NPR-spectrum (kleine trillingstijden, spectrale versnelling orde van grootte factor 3 lager). Het omgekeerde geldt voor hoge gebouwen; deze komen er mogelijk slechter vanaf dan eerder was voorzien (hogere trillingstijden, spectrale versnellingen veel groter).

Om de gevolgen voor een gebouw vast te stellen is echter meer informatie nodig dan de hoogte. De aardbevingsbelasting van een gebouw wordt, zoals hierboven aangegeven, bepaald door de versnellingen. Afhankelijk van de trillingsvorm trilt er een bepaalde hoeveelheid van de massa van het gebouw mee. Versnelling maal deze massa bepaalt de belasting.

Aangezien het gebouw in meerdere trillingen (zowel hoge als lage) tegelijk trilt, zullen ook de zogenaamde hogere modi moeten worden bepaald. Bij het NPR spectrum zal voor een hoger gebouw de belasting behorende bij de eerste trillingsvorm, met de langste trillingstijd, laag zijn, omdat de spectrale versnellingen zo laag zijn bij deze lange trillingstijden. Er zijn echter ook bijdragen uit de andere trillingsvormen met hogere spectrale versnellingen. De uiteindelijke te rekenen belasting is dan de som van alle trillingsvormen maal de bijbehorende spectrale versnelling.

Met een vorm van een spectrum als het LSS is het in het algemeen zo dat een groter deel van de belasting al verkregen wordt uit de eerste trillingsmodus. Bij het NPR spectrum komt het voor dat een hogere trillingsmodus een grotere bijdrage levert dan de eerste. Dat maakt een vergelijking van deze spectra moeilijk, en de gevolgen zullen in principe per gebouw bepaald moeten worden.



Het locatie-specifieke spectrum is opgesteld voor de locatie en het gebouw van het Groninger Forum (gebouwklassie CC3). Omdat de grondslag en de afstand tot het gasveld van de locatie niet veel afwijken van een groot deel van de binnenstad van Groningen, zijn de implicaties echter ook van toepassing kunnen zijn op andere gebouwen in de omgeving.

Kijkende naar de binnenstad van Groningen alwaar gebouwen meestal 3 lagen of meer hebben, is met het hiervoor gestelde de verwachting dat de impact bij de toepassing van het LSS groter zal zijn dan bij het huidige NPR-spectrum.



Figuur 3: Binnenstad Groningen (Bron: RTVnoord.nl)



4. **Conclusie & aanbeveling**

De conclusies zijn gebaseerd op een (nog niet gevalideerde) rapportage van de bepaling van een locatie specifiek spectrum (LSS) voor de locatie en het gebouw van het Groninger Forum. De implicaties zouden echter ook van toepassing kunnen zijn op andere gebouwen in de omgeving.

Het is wenselijk dat de rapportage van het LSS wordt gevalideerd en dat er een uitspraak komt over het in de NPR gehanteerde spectrum. Met name dit laatste is van een veel grotere importantie en overstijgt zelfs de belangen voor het project Groninger Forum. Zoals ook in het NAM rapport wordt gesteld (pagina 72): *"Rather than challenging the validity of this site-specific study, we consider this comparison to raise questions about the spectral shape specified in the NPR code and how appropriate it is for the soil conditions (deep layers of soft soils) encountered in the Groningen field."*

Zoals de NAM ook aantoont in de rapportage zijn de piekgrondversnellingen volgens de kaart van het KNMI zoals opgenomen in de NPR conservatief, hetgeen inmiddels ook in de media door diverse partijen wordt gemeld.

Het bepaalde spectrum is echter fundamenteel anders dan dat van de NPR 9998. Het wezenlijk andere spectrum zal resulteren in een wezenlijk andere belastingen. Een verlaging van de piekgrondversnellingen kan voor bepaalde type gebouwen eenvoudig teniet worden gedaan door de hogere spectrale versnellingen die moeten worden aangehouden.

Oftewel, ook al is de versnelling van de *grond* lager, als de te rekenen versnelling op het *gebouw* hoger is, kan dat een grotere impact op het gebouw geven:

"Impact = kaartje x spectrum"

Maatregelen die een oplossing bieden voor het NPR-spectrum kunnen hierdoor mogelijk niet één op één passen op het LSS en vice versa.

De maatregelen die nu worden getroffen om gebouwen te versterken, dienen bij toepassing van het LSS opnieuw te worden gevalideerd.

Herbeoordeling van gebouwen die reeds conform het NPR-spectrum zijn getoetst, zal noodzakelijk zijn.

Voor de lage gebouwen, naar schatting maximaal 2 lagen plus een kap, is het LSS naar verwachting gunstiger: daar zullen mogelijk minder maatregelen nodig zijn om het aardbevingsveilig te maken.

Bij hogere gebouwen zal door het toenemen van de verplaatsingen een maatregel als het versterken van een constructie in veel gevallen sterk onder druk komen te staan, of zelfs niet meer voldoen.