

AAN Staatstoezicht op de Mijnen
 VAN
 LEUVEN 8 april 2017
 C.C.
 AANTAL BLZ. 3

Review TNO-rapport TNO 2016 R11209
Evaluatie mogelijke oorzaak aardbevingen bij Anna Paulowna in juni 2015

Met betrekking tot de twee aardbevingen die zich op 23 juni 2015 hebben voorgedaan in de omgeving van Anna Paulowna heeft TNO een aantal mogelijke oorzaken geëvalueerd en er een waardeoordeel over uitgesproken aan de hand van een welomschreven kwalitatieve classificatiesysteem (van zeer waarschijnlijk tot zeer onwaarschijnlijk; p. 20). Het waardeoordeel is uitgesproken voor twee scenario's betreffende de lokaliserings van de aardbevingshaarden, enerzijds de KNMI locatie en anderzijds een locatie in het Slootdorp gasveld. Voor de KNMI locatie acht TNO het mogelijk dat we te maken hebben met natuurlijke aardbevingen; voor de locatie in het gasveld acht TNO het mogelijk dat spoelingsverliezen de 'trigger' kunnen geweest zijn van de aardbevingen op een breuk die mogelijk door de gaswinning verzwakt is geweest. Hierbij kan al onmiddellijk worden opgemerkt dat zelfs het waardeoordeel van TNO – mogelijk tot onwaarschijnlijk – ook een natuurlijke oorzaak als mogelijk acht in het geval van de locatie van de aardbevingshaarden in het gasveld. In de managementsamenvatting voegt TNO er nog aan toe dat er eigenlijk geen eenduidige uitspraak kan gedaan worden, voornamelijk door het ontbreken van een voldoende dicht seismisch meetnetwerk in de regio.

Beide voorgestelde hypothesen lijken plausibel, rekening houdend met de voorhanden zijnde, relatief beperkte, informatie over de aardbevingen en de ondergrondse context. Toch zijn er mijns inziens zoveel onzekerheden en aannames dat de kwalitatieve waardeoordelen van de verschillende mogelijke oorzaken in de twee scenario's als eerder vrijblijvend moeten aanzien worden. De wetenschappelijke onderbouwing ervan is eerder beperkt. Zeker voor de tweede hypothese schuilt het gevaar dat een correlatie in de tijd tussen spoelingsverliezen en aardbevingen al te snel gezien wordt als een causaal verband. Ik onderschrijf daarbij de bevinding van TNO (p. 3) dat het ontbreken van een meer nauwgezette seismische monitoring in de omgeving van het Slootdorp gasveld elke poging tot het vastleggen van de effectieve oorzaak van de aardbevingen in de weg staat. Hieruit kan alleen maar een pleidooi volgen voor een meer proactieve aanpak waarbij dergelijke nauwgezette seismische monitoring deel uitmaakt van elke exploratie- en exploitatievergunning van ondergrondse activiteiten (bv. olie- & gaswinning; schaliegasontginning; geothermie). Enkel met een performantere seismische monitoring zal het mogelijk zijn de effectieve oorzaak van een aardbeving in de omgeving van een ondergrondse activiteit met grotere zekerheid te karakteriseren.

De kritische review bestaat verder uit twee delen, vooreerst een synthese van mijn belangrijkste, algemene bedenkingen en vragen bij dit rapport, vervolgens een oplistings van meer gedetailleerde opmerkingen, waarop de synthese voornamelijk gebaseerd is. Daarnaast zijn er ook nog een aantal aanmerkingen, correcties en persoonlijke bedenkingen aangebracht in het originele rapport (annotated pdf in bijlage).

Synthese van kritische review

- De belangrijkste tekortkoming van deze *post-factum* studie situeert zich voornamelijk bij de registratie van de aardbevingen zelf. Zij zijn enkel geregistreerd door zeer excentrisch gelegen waarnemingsstations (bv. Bergen, Harlingen; p.12). Dit maakt dat de lokaliserings van de aardbevingshaarden (hypocentra) van de twee aardbevingen te lijden heeft aan een hoge graad van onzekerheid, en dit in de drie dimensies. Elke daaropvolgende interpretatiestap leidt tot een verdere accumulatie van onzekerheden, waardoor de validiteit van de interpretaties verder



ondergraven wordt. De associatie van de aardbevingshaarden met specifieke breuken, geïdentificeerd op 3D seismiek (met al zijn intrinsieke onzekerheden) is hiervan het meest illustratieve voorbeeld. Dit heeft in dit rapport geleid tot twee *end-member* hypothetische locaties voor de aardbevingshaarden, enerzijds de KNMI locatie en anderzijds een locatie in het Slootdorp gasveld. Rekening houdend met de zeer ruime onzekerheidsellipsoïde (in 3D!), is de keuze van deze twee hypothetische locaties eerder arbitrair.

- De associatie van de aardbevingen met een van de belangrijke breuken in de omgeving van het Slootdorp gasveld (p. 16-17) lijkt me uitermate speculatief en wetenschappelijk moeilijk verdedigbaar. Ten eerste is er de grote onzekerheid met betrekking tot de lokalisering van de aardbevingshaarden; ten tweede ontbreekt elke informatie over de breukvlakoplossing (*'fault plane solution' / 'focal mechanism'*), waaruit de eventuele oriëntatie van de verantwoordelijke breuk zou kunnen worden afgeleid (naast de breukbeweging zelf, die nu speculatief verondersteld wordt; p. 29); en ten derde zijn dergelijke kleine aardbevingen ($M \sim 2.0$) het gevolg van een breukbeweging op een klein breukvlak (diameter ~ 100 m; verplaatsing ~ 5 mm); de vraag kan dan ook gesteld worden of dergelijke kleine breuken überhaupt waarneembaar zijn op de 3D seismiek; rekening houdend met de vereiste breukdimensies voor het opwekken van deze microaardbevingen zijn de mogelijkheden binnen de onzekerheidsellipsoïde (in 3D!) van de aardbevingshaarden bijna onbegrensd.
- De waardeoordelen van de verschillende oorzaken (in de twee scenario's) blijken systematisch gebaseerd te zijn op weinig sluitende argumenten; vaak ook vertrekken ze vanuit een welbepaalde aanname (bv. bij natuurlijke seismiciteit; p. 30) of vanuit een welbepaald model (bv. bij reservoir drukdepletie; p. 34).
- Bij het lezen van dit rapport kan ik mij dus niet van de indruk ontdoen dat deze studie geleid wordt door een zeker 'kokerdenken' van de betrokken onderzoekers; het onderzoek stoelt op standaardmodellen en gestandaardiseerde methodiek (*'black box'*); dit komt o.a. tot uitdrukking in de veelvuldige verwijzing naar eigen rapporten en publicaties; er wordt mijns inziens onvoldoende vertrokken vanuit de feitelijke waarnemingen zelf, de aardbevingen met hun fysische parameters (bv. magnitude, *'focal mechanism'*, effectief seismisch moment), en de recente internationale seismologische literatuur; eerder vertrekken de onderzoekers vanuit hun gekende standaardmodellen (bv. compactiemodel door gasdepletie), waarbij nagegaan wordt in hoeverre de feitelijke waarnemingen al of niet in deze standaardmodellen passen.

Gedetailleerde opmerkingen op rapport

- Op verschillende plaatsen in het rapport (bv. p.3, p.9, p.34) wordt gemeld dat er geen seismiciteit is waargenomen. Hierbij moet natuurlijk duidelijk vermeld worden wat de gevoeligheid is van het gebruikte seismische meetnetwerk. Wat is immers de ondergrens van de waarneembare aardbevingen in de betrokken context? Het niet waarnemen van aardbevingen betekent immers niet dat er geen (micro)seismiciteit zou kunnen voorkomen onder de meetbare grenswaarde.
- Op p. 15 wordt geconcludeerd dat op basis van een projectie van de aardbevingshaarden – waarvan de diepte eigenlijk niet gekend is – op een laagvlak op een diepte van ~ 2 km, dat de aardbevingshaarden in een breukzone gelegen zijn (figuur 6). Dit lijkt me een vreemde redenering om uiteindelijk de aardbevingen te associëren met breuken in de omgeving van het gasveld.
- Rekening houdend met de grote onzekerheid over de effectieve locatie van de aardbevingshaarden, is de associatie van de aardbevingshaarden met specifieke breuken (afgeleid uit 3D seismiek?) volledig arbitrair; elke daaruit volgende conclusie is dan ook uitermate speculatief, zoals bv. op p. 22 waar besloten wordt dat de aardbevingshaarden (KNMI locatie & onzekerheidsellips) niet op de randbreuken van het Slootdorp gasveld gelegen zijn; bovendien is er geen enkel argument in te brengen dat deze kleine aardbevingen zich hebben voorgedaan op een van de 'grote' breuken, geïdentificeerd op 3D seismiek.
- De berekeningen die te maken hebben met de spanningstoestand van de breuken (figuur 17, figuur 20, figuur 27) zijn onvoldoende uitgewerkt in het rapport; het is dan ook ontzettend moeilijk de validiteit van deze resultaten te evalueren, alsook de validiteit van de gevolgtrekkingen die daaruit genomen worden, in te schatten: (1) dat de breuken 'van nature uit' niet kritisch gespannen



zijn (figuur 17); (2) dat de breuken in het gasveld niet kunnen gereactiveerd worden ten gevolge van de drukdaling door de gaswinning (figuur 20); en (3) dat de MC-faallijn overschreden wordt door de injectie van koud productiewater (figuur 27).

- De breuken in de regio van het Slootdorp gasveld worden als hydraulisch conductief (“open”) beschouwd (p. 22); verwijzend naar de studie van Townend & Zoback¹ met betrekking tot de spanningstoestand van breuken in intraplaatcontexten, kan verondersteld worden dat de breuken rondom het gasveld kritisch gespannen zijn. Dit gaat in tegen de ‘gangbare aanname’ (p. 30) dat de breuken in dit deel van Nederland nu niet kritisch gespannen zouden zijn; dit gaat ook in tegen de afleiding van de spanningstoestand (figuur 17; p. 29), die suggereert dat de breuken rond de put SLD-1 bij de aanvang van de productie in 1977 niet kritisch gespannen waren (p.29).
- De beschouwingen in het hoofdstuk over de natuurlijke seismiciteit (hoofdstuk 5) over het al of niet “van nature actief” zijn van de ‘grote’ breuken (p. 30), lijkt me weinig relevant te zijn; ook ‘fossiele’ breuken kunnen kritisch gespannen geraken en verantwoordelijk zijn voor aardbevingen, vooral in een intraplaatcontext².
- TNO gaat er vanuit dat de breuken niet kritisch gespannen zijn en dat dus langs deze breuken geen natuurlijke aardbevingen kunnen ontstaan (p. 30). Deze aanname kan mijns inziens in vraag worden gesteld net door het voorkomen van aardbevingen. Het feit dat er zich aardbevingen (hoe klein ook) voordoen in de diepe ondergrond van Nederland kan aanzien worden als bewijs dat aanwezige breuken kritisch gespannen zijn en maar een kleine spanningsverstoring – al of niet natuurlijk – nodig hebben om door te bewegen en dus een aardbeving te veroorzaken. Dit ligt in de lijn van de bevindingen van Townend & Zoback (2000) van een ‘sterke’ seismogene korst in intraplaatcontexten, alsook op de wijze waarop naar intraplaataardbevingen tegenwoordig gekeken wordt (cf. Calais *et al.* 2016).
- Op p. 41 wordt naar voren gebracht dat de lagere temperatuur van het injectiewater verantwoordelijk kan zijn voor het feit dat op breuken aardbevingen mogelijk zijn. Deze aanname wordt echter niet beargumenteerd. Er wordt bovendien ook beweerd dat het injectiewater in korte tijd voldoende wordt opgewarmd voordat het in de breuk terechtkomt, zodat dit temperatuursverschil geen invloed heeft en injectie op zich niet leidt tot een kritisch gespannen breuk. Deze bewering wordt op geen enkele manier wetenschappelijk onderbouwd.

Prof. Dr.
Leuven, 8 april 2017

¹ 2000. How faulting keeps the crust strong. *Geology* **28**(5), 399-402.

² Zie bijvoorbeeld 2016. A new paradigm for large earthquakes in stable continental plate interiors. *Geophysical Research Letters* **43**, 10621-10637. DOI: 10.1002/2016GL070815.