



Nationaal Coördinator Groningen

Plan van aanpak – Pilot Tiltsensoren

Versie D1.0 | 19 juli 2018

Inleiding

Op 20 juli 2017 heeft NCG aangegeven een pilot te willen starten met tilsensoren in het aardbevingsgebied. De pilot is bedoeld om de toegevoegde waarde van tilsensoren bij het bepalen van het verband tussen mijnbouw en schade te onderzoeken en inzichtelijk te maken. Deze pilot zal in de loop van 2018 starten en loopt tenminste tot eind 2019 en maximaal tot eind 2020. Op basis van de pilot wordt bepaald of de inzet van tilsensoren gewenst is en op welke schaal.

Met betrekking tot de meetlocaties zijn keuzes gemaakt in overleg met maatschappelijke instellingen en overheden. NCG is ervan overtuigd dat de onderzoeksvragen technisch gezien met voldoende nauwkeurigheid kunnen worden beantwoord.

Omgeving pilot

Adviesbureau Antea Group heeft NCG technisch begeleid bij het voorbereiden van de proef. Leveranciers van tilsensoren en kennisinstellingen (TNO, Deltares, TU Delft, KNMI, HIT en Hanze Hogeschool) zijn betrokken bij de voorbereiding van de pilot. Kennisinstellingen zullen tevens deel uitmaken van de technische commissie (TC) die de pilot technisch gaat begeleiden. De rol van de technische commissie is om voor en tijdens de pilot de rapportages technisch te beoordelen en om aanbevelingen te doen. De Technische Commissie zal een adviserende en validerende rol vervullen. Concreet wordt de commissieleden gevraagd:

- Review van meetopstellingen zoals voorzien door opdrachtnemer;
- Monitoring onder begeleiding van opdrachtnemer interpretatie/begeleiding;
- Review tussenrapportage;
- Op basis van (tussen-)rapportages adviseren over consequenties voor de pilot;
- Concluderen of de onderzoeksvragen voldoende zijn beantwoord.

In de pilot wordt naast de technische commissie een begeleidingscommissie opgezet. De begeleidingscommissie zal bestaan uit afgevaardigden uit de Maatschappelijke en Bestuurlijke stuurgroepen (MS/BS). De begeleidingscommissie wordt gevraagd namens de MS en BS het project te volgen. Het doel van de Begeleidingscommissie is het informeren van de stuurgroepen en het adviseren over voorstellen vanuit de pilot over bijvoorbeeld communicatie. De Begeleidingscommissie zal een adviserende en signalerende rol vervullen. Concreet wordt de commissieleden gevraagd:

- te reflecteren en te adviseren over de vormgeving van de pilot langs de lijn van zijn/haar achterban;
- achterban te informeren over voortgang en inhoud;
- signalen/advies in te brengen in de vergaderingen;
- advies te geven over het communicatieplan bij de uitvoering van de pilot.

Doel van de pilot

Mede op basis van de input die is gegeven tijdens een brede bijeenkomst op 28 maart 2018 is het doel van de pilot als volgt vastgesteld:

Het doel van de pilot is om de meerwaarde van tilsensoren bij het bepalen van het verband tussen mijnbouw en schade, binnen de invloedssfeer van het Groningen-gasveld, inzichtelijk te maken.

Om dit doel te bereiken, zijn de volgende zaken van belang:

- De pilot dient lang genoeg te duren: uitgangspunt is twee jaar met een evaluatie na één jaar. Op basis van de evaluatie na 1 jaar wordt besloten of de pilot inderdaad nog 1 jaar wordt voortgezet en in welke vorm;
- Metingen moeten real-time zonder belemmeringen beschikbaar zijn; continue registratie is noodzakelijk om diverse mogelijke oorzaken van schade te kunnen onderscheiden;
- Detail meetplannen worden voorgelegd aan de deskundigen die de interpretatie doen;
- Interpretatie van data gebeurt door meerdere onafhankelijke en deskundige partijen.

Tiltsensoren dienen gedurende de pilot de scheefstand van constructie-onderdelen te meten en daarbij tijdelijke en blijvende veranderingen van de scheefstand onder invloed van diverse belastingen en veranderingen te registreren. Vermoed wordt dat met tiltsensoren kan worden bepaald of aardbevingen leiden tot tijdelijke of permanente veranderingen van de stand van constructie-onderdelen en dat de metingen informatie geven over de oorzaak van schade. De grootte van de gemeten rotaties bepaalt of deze relevant zijn in het kader van het ontstaan van schade. Het bepalen van de relevantie van meetwaarden vormt daarom onderdeel van de interpretatie van de metingen. Het is van belang om te bepalen hoe de invloed van aardbevingen op de scheefstand zich verhoudt tot de invloed van bijvoorbeeld zettingen en wind.

De pilot is geslaagd indien:

- Voldoende duidelijkheid wordt verkregen of tiltsensoren aanvullende informatie verschaffen (vergeleken met het bestaande meetnet), met name bij het beoordelen van schade en ook voor het bepalen van risico's;
- Met tiltsensoren onzekerheden in de beoordeling van schade en veiligheid verkleind kunnen worden;
- Kennis over de toepassing, interpretatie en meerwaarde is vergroot bij zowel professionals als belanghebbenden in Nederland.

Na één jaar meten dient te worden bepaald of bovenstaande vragen kunnen worden beantwoord, of dat voortzetting van de pilot gewenst is. Uitgangspunt bij dit Plan van Aanpak is dat na een jaar kan worden geconcludeerd dat een deel van de metingen en werkzaamheden kan vervallen of minder intensief kan worden voortgezet. Na één jaar en na twee jaar dient te worden bepaald of toepassing van tiltsensoren gewenst is als vervolg op de pilot. De volgende vragen dienen te worden beantwoord:

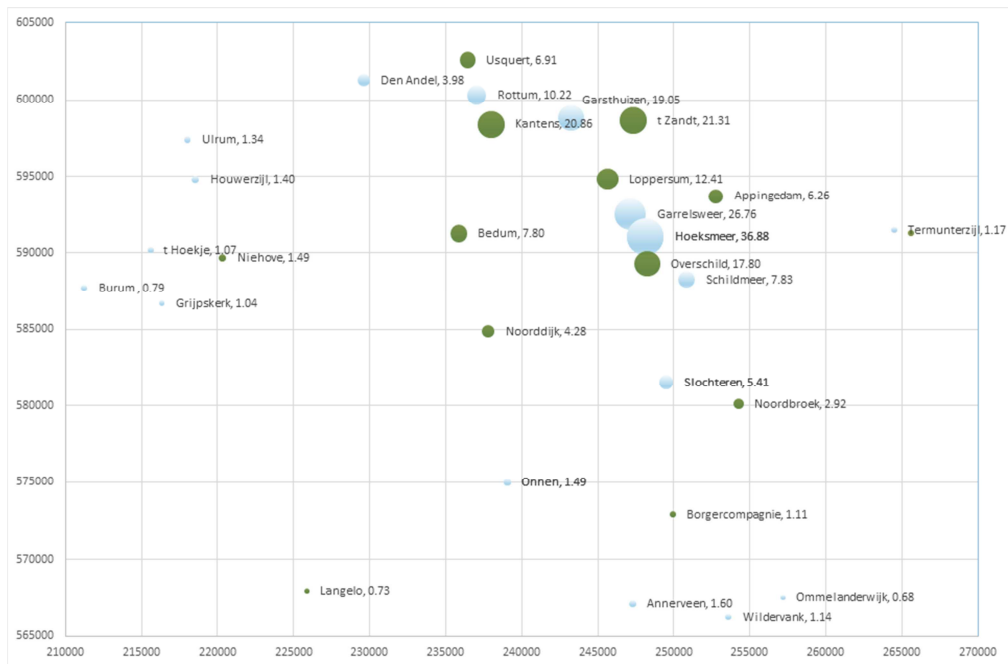
- In welke situatie dienen tiltsensoren te worden toegepast/ wat is het doel van dergelijke metingen;
- Een kosten/batenanalyse dient deel uit te maken van de rapportage;
- Een statistische analyse m.b.t. schaalgrootte van eventueel geadviseerde toepassing van tiltsensoren op basis van de kosten/batenanalyse;
- Welke typen tiltsensoren worden geadviseerd voor welke toepassingen;

Mogelijk leidt de pilot tot inzichten die niet specifiek verband houden met tiltsensoren. In dat geval dienen deze inzichten te worden meegenomen bij de (eind-)rapportage van de pilot.

Locaties

Bij het selecteren van locaties voor de pilot is als basis de input uit de bijeenkomst van 28 maart 2017 gebruikt, aangevuld met eerder aan NCG gegeven input en input vanuit kennisinstellingen. In totaal zijn aan NCG oorspronkelijk 27 locaties voorgelegd. Als commentaar op het concept Plan van Aanpak zijn nog eens 4 locaties voorgelegd, waardoor het totaal op 31 komt. Deze locaties zijn weergegeven op onderstaande kaart. Voor de betreffende locaties is met behulp van het empirisch GMPE (Bommer, 2017) uitgerekend welke maximale trillingssnelheid in het verleden is opgetreden tijdens de maatgevende aardbevingen per locatie. De trillingssnelheid is een maat voor de kans op schade aan gebouwen tijdens een aardbeving. Het empirisch GMPE is een model waarmee het effect van aardbevingen kan worden berekend en dat is geïjkt met behulp van metingen van KNMI. De kans is groot dat de werkelijke trillingssnelheden tijdens de uit te voeren pilot substantieel lager zijn dan de in de figuur vermelde waarden, met name door de beperkte tijdsduur van de proef (één tot twee jaar, afhankelijk van de locatie en evaluatie na één jaar).

De 13 locaties die door NCG zijn geselecteerd zijn in onderstaande figuur groen gemarkeerd (achter de plaatsnaam staat de maximaal opgetreden trillingssnelheid in mm/s, zoals berekend met het empirisch GMPE):



De geselecteerde locaties kunnen worden verdeeld over 3 groepen:

- 4 locaties in de kern van het aardbevingsgebied;
- 5 locaties rondom het kerngebied;
- 4 locaties aan de randen van het invloedsgebied van het Groningen-gasveld.

Kerngebied:

1. Overschild (of Hoeksmeer): relatief hoge trillingssnelheid
2. t Zandt: relatief hoge trillingssnelheid
3. Kantens: relatief hoge trillingssnelheid
4. Loppersum: relatief hoge trillingssnelheid

Rondom kerngebied:

5. Appingedam: trillingssnelheid, concentratie gebouwen
6. Bedum: trillingssnelheid, concentratie gebouwen
7. Noorddijk: trillingssnelheid, concentratie gebouwen (relatie met stad Groningen)
8. Noordbroek: trillingssnelheid, geografische spreiding
9. Usquert: trillingssnelheid, geografische spreiding

Grote afstand:

10. Niehove: gasopslag
11. Langelo/Steenbergen: gasopslag
12. Borgercompagnie/ Tripscompagnie: zoutwinning
13. Termunterzijl: geografische spreiding, relatief slappe ondergrond

Op bovenstaande locaties dient een geschikt object te worden geselecteerd waar metingen kunnen plaatsvinden. Hier is bovendien toestemming en medewerking van eigenaren/ bewoners nodig om te kunnen meten.

Verdere uitwerking en communicatie over meetlocaties dient nog plaats te vinden. Locaties die onderdeel zijn van arbitrage of een rechtszaak over schade-afhandeling komen niet in aanmerking.

Objecten

Bij de selectie van gebouwen zijn diverse afwegingen van belang:

- het type gebouw dient representatief te zijn voor gebouwen in de regio;

- er dient sprake te zijn van gebouwen waarbij in het verleden schade is opgetreden en waarbij tijdens de proef nieuwe schade kan worden verwacht; de mate van schade en aard van de schade kan wel verschillend zijn;
- schade dient goed zichtbaar te zijn;
- metingen moeten praktisch uitvoerbaar zijn.

Om een voldoende representatieve proef in te richten wordt de volgende clusterindeling van objecten voorgesteld, verdeeld over de eerder genoemde 13 locaties:

- cluster 1: 6 of 7 vrijstaande woningen, voldoende gespreid over het te onderzoeken gebied;
- cluster 2: 5 of 6 boerderijen met woongedeelte, voldoende gespreid over het te onderzoeken gebied;
- cluster 3: 1 brug.

De te selecteren woningen en boerderijen zouden een fundering op staal moeten hebben en dienen in ieder geval deels uit een categorie met relatief veel schade te komen (constructie, leeftijd). Gebouwen die nu namelijk weinig schade hebben zullen tijdens de proefperiode normaal gesproken niet of nauwelijks toename van schade laten zien. Voor een succesvolle proef is het gewenst dat er toename van schade zichtbaar is in de objecten. De brug dient een relatief kwetsbare brug te zijn (geen betonconstructie). Van belang is verder dat de te monitoren objecten bij voorkeur representatief zijn voor de regio en een cultuurhistorische waarde vertegenwoordigen.

Op de volgende meetlocaties en type objecten worden sensoren geplaatst:

1. Overschild (woning)
2. 't Zandt (woning)
3. Kantens (boerderij)
4. Loppersum (boerderij)
5. Appingedam (woning)
6. Bedum (woning)
7. Noorddijk/ Ruischerbrug (woning)
8. Noordbroek (boerderij)
9. Usquert (woning, monument)
10. Niehove (boerderij)
11. Langelo/Steenbergen (woning/boerderij)
12. Borgercompagnie/ Tripscompagnie (woning/boerderij)
13. Termunterzijl (brug)

Globale inrichting van de meetopstelling

Doel van de pilot is om de meerwaarde van tiltsensoren ten opzichte van bestaande metingen te bepalen. Daarom bestaat de meetopstelling in ieder geval uit verschillende sensoren die hoekverdraaiing kunnen meten. Schades aan gebouwen en huizen in het aardbevingsgebied zijn niet altijd toe te schrijven aan één oorzaak, maar veelal aan een combinatie van oorzaken. Vanwege de complexiteit en verscheidenheid van de oorzaken en de interactie ervan is het van groot belang deze metingen op een gecontroleerde manier uit te voeren. Dit betekent enerzijds dat de meetopstelling zo goed mogelijk onderscheid kan maken tussen de verschillende oorzaken, en anderzijds dat er voor een langere periode en continu gemeten moet worden om een goed beeld te krijgen van alle afhankelijkheden.

Op de pilotlocaties zullen meetopstellingen worden ingericht die worden afgestemd op het type object (brug, boerderij, woning), geografische locatie, bodemopbouw en aanwezigheid van mijnbouw.

De volgende typen sensoren zijn noodzakelijk:

Scheefstand

- Tiltsensoren
 - In/op/nabij fundering (ca. 4; meetfrequentie ca. 1x/s)
 - In de grond, pleistoceen (1; alleen bij gasopslag en zoutwinning; 1x/s; uiterst nauwkeurig)
 - In de grond, funderingsniveau (1; meetfrequentie 1x/s)

- Aan muren/ kolommen (ca. 8; minder nauwkeurig, meetfrequentie ca. 1x/s)
- Lintvoegwaterpassing (1x bij start pilot bij fundering op samendrukbare ondergrond)
 - Buitengevel rondom
- Nauwkeurigheidswaterpassing (10 tot 20 hoogteboutjes, 2x, optioneel extra fasen)
 - Buitengevel rondom
 - Glasvezelsensoren: deze techniek kan in grond of aan constructies worden toegepast en kan uiterst nauwkeurig rek meten en daarmee toe- of afname van trekspanningen in constructies maar ook vervorming van grond; bij voldoende budget toepassen bij 1 woning, 1 boerderij en 1 brug.

Trilling (continu/hoogfrequente meting)

- Accelerometers in/op/nabij fundering (1 of 2 stuks, waar mogelijk afstemmen op bestaand meetnet TNO/KNMI)

Waterhuishouding

- Grondwater peilbuizen (ondiep en diep: freatisch en eerste zandlaag; 1 meting/ 10 minuten)
- Oppervlaktewater niveau (1 meting/ 10 minuten)
- Waterspanningsmeting (1 in cohesieve laag en 1 in diepe zandlaag; 1 meting/s)

Grondparameters (eenmalig, vooraf)

- Bodemopbouw (sonderingen, boringen, voor zover niet voorhanden)

Klimaat (ca. 1 meting/10 minuten)

- Binnen- en buitentemperatuur
- Zoninval (optioneel)
- Neerslag
- Wind

Aan de diverse meetinstrumenten dienen eisen te worden gesteld m.b.t. de nauwkeurigheid. Onderstaand is een samenvatting gegeven van de minimum specificaties, die als selectiecriteria worden gehanteerd:

Type sensor	Minimum specificaties
Tiltsensor binnen, fundaties	nauwkeurigheid: 35 μ rad, meetbereik: ± 90 mrad meetfrequentie: 1 Hz, meetrichting: XY
Tiltsensor binnen, muren/kolommen	nauwkeurigheid: 35 μ rad, meetbereik: ± 90 mrad meetfrequentie: 1 Hz, meetrichting: XY,
Tiltsensor buiten	nauwkeurigheid: 35 μ rad, meetbereik: ± 90 mrad meetfrequentie: 1 Hz, meetrichting: XY
Tiltsensor ondergronds	nauwkeurigheid: 0.2-1 μ rad, meetbereik: ± 350 μ rad, meetfrequentie: 1 Hz, meetrichting: XY, bij gasopslag en zoutwinning
Tiltsensor (dynamisch), naast accelerometer in de grond	nauwkeurigheid: 35 μ rad, meetbereik: ± 90 mrad meetfrequentie: minimaal 100 Hz, meetrichting: XY
Accelerometer binnen	frequentie bereik: minimaal gelijk aan DC-120 Hz meetbereik: $\pm 2g$, meetrichting: XYZ zelfruisniveau: lager dan 1 micro-g, zelfs bij voorkeur lager dan 300 nanog-sqrt (Hz) as-gevoeligheid moet 0,002 g/g of lager zijn In het geval van een analoge sensor is een anti-alias filter nodig De sensor moet beschikken over een besturingssysteem, harddisk/buffer voor interne registratie en een accu/UPS als back-up voor de stroomvoorziening

	Het sensorsysteem moet compatibel zijn met ethernet, bereikbaar zijn met een IP-poort en poort De sensoren moeten een GPS-synchronisatie en tijdstempel hebben met een nauwkeurigheid van ten minste 5 milliseconden nauwkeurigheid: 0.2mm/s equivalent over frequentie bereik, De ADC (analoog-naar-digitaal-omzetter) moet 24bit zijn
Accelerometer buiten	frequentie bereik: minimaal gelijk aan DC-120 Hz meetbereik: ±2g, meetrichting: XYZ zelfruisniveau: lager dan 1 micro-g, zelfs bij voorkeur lager dan 300 nanog-sqrt (Hz) as-gevoeligheid moet 0,002 g/g of lager zijn In het geval van een analoge sensor is een anti-alias filter nodig De sensor moet beschikken over een besturingssysteem, harddisk/buffer voor interne registratie en een accu/UPS als back-up voor de stroomvoorziening Het sensorsysteem moet compatibel zijn met ethernet, bereikbaar zijn met een IP-poort en poort De sensoren moeten een GPS-synchronisatie en tijdstempel hebben met een nauwkeurigheid van ten minste 5 milliseconden nauwkeurigheid: 0.2mm/s equivalent over frequentie bereik, De ADC (analoog-naar-digitaal-omzetter) moet 24bit zijn
Grondwater Ondiep	Diepte: tot 5 meter nauwkeurigheid: 2 mmH2O, meetfrequentie: 1 Hz (events), 1x per 10 min (normaal)
Waterspanning 5m	Diepte: tot 5 meter nauwkeurigheid: 2 mmH2O, meetfrequentie: 1 Hz (events), 1x per 10 min (normaal)
Waterspanning 15m	Diepte: tot 15 meter nauwkeurigheid: 2 mmH2O, meetfrequentie: 1 Hz (events), 1x per 10 min (normaal)
Oppervlaktewater	Diepte: tot 5 meter nauwkeurigheid: 2 mmH2O, meetfrequentie: 1 Hz (events), 1x per 10 min (normaal)
Weerstation	Temperatuur, luchtvochtigheid, luchtdruk, regenval, windrichting en windsnelheid Meetfrequentie: 1 x per 5 minuten

Naast metingen dienen ook opnames van de gebouwen te worden uitgevoerd, waarbij alle schades en scheuren binnen en buiten worden beschreven, gemeten en gefotografeerd. Deze opnames dienen vooraf en vervolgens periodiek (ca. eens in 3 tot 6 maanden) te worden uitgevoerd en tevens direct na een bijzondere gebeurtenis, zoals een aardbeving met significante effecten (trilling, hoekverdraaiing).

Type opname	Minimum specificaties
Sondering	Diepte: 30 meter
Hoogtebouten	10-20 bouten Nauwkeurigheid: 0.5 mm Meetfrequentie: elk kwartaal + na elk event
Gebouwinspectie	Foto's + rapportage Meetfrequentie: elk kwartaal + na elk event
Lintvoegwaterpassing	Meetfrequentie: eenmalig

Raamwerk voor de aanbesteding

Voor een succesvolle pilot worden de volgende eisen gesteld aan de in te schakelen partijen op gebied van:

1. Metingen (type, specificaties, nauwkeurigheid, betrouwbaarheid);
2. Data-collectie en ontsluiting;
3. Inspectie, visualisatie en interpretatie;
4. Afstemming, communicatie;

Ad. 1 en 2

Voorgesteld wordt om de werkzaamheden onder 1 en 2 in één hand te houden. Alle werkzaamheden dienen door 1 partij (mogelijk met hulp van onderaannemers of leveranciers) te worden uitgevoerd.

Alle data moet worden opgeslagen op een server. Daarnaast is het noodzakelijk dat door middel van software de data wordt verzameld, de kwaliteit gecontroleerd en vervolgens wordt ontsloten (datamanagement systeem). De metingen dienen deels real-time middels een webapplicatie te worden ontsloten. De relevante data dient direct te worden opgeslagen, inclusief mogelijkheid om de data te downloaden.

In geval van vooraf vastgestelde waarschuwings- en grenswaarden dient een automatisch alarm te worden verzonden naar de geautoriseerde betrokkenen. Dit alarm dient met name om adequaat te reageren op afwijkende metingen en om zo nodig een verklaring voor afwijkende metingen te onderzoeken.

Ad. 3

Voor de inspectie, visualisatie en interpretatie kan een partij worden geselecteerd met aantoonbare kennis en ervaring op gebied van gebouwschade, aardbevingen, monitoring en ondergrond. Deze partij dient ook te adviseren over de lokale inpassing van de monitoring in/aan de objecten. Het biedt voordelen als de opdrachtnemer van onderdeel 3 in een vroeg stadium wordt geselecteerd. De onderdelen 1 en 2 dienen bij voorkeur niet door de opdrachtnemer van onderdeel 3 te worden uitgevoerd, zodat belangenverstremming wordt voorkomen.

Voor een efficiënte uitvoering van de proef, kwaliteitscontrole en voldoende focus op het doel van de pilot wordt een separate partij betrokken bij de pilot om namens NCG te adviseren over de detaillering van de pilot. Ook dient deze partij de visualisatie en interpretatie van de meetdata te verzorgen. Het vastleggen van schade en toename van schade tijdens de pilot en het analyseren van oorzaken dienen onderdeel te zijn van de werkzaamheden.

Periodiek (bijvoorbeeld 1x per 3 tot 6 maanden) dient te worden gerapporteerd over de tussenresultaten, inclusief de interpretatie. Onderdelen van de rapportage zijn een analyse van de oorzaken van schade en de mate waarin tilsensoren helpen om het onderscheid in schade-oorzaken vast te stellen. Voordat de rapportage openbaar wordt gemaakt dient de rapportage inhoudelijk te worden beoordeeld door de technische commissie. De partij aan wie de inspecties en interpretatie opdrachtnemer worden opgedragen dient aan diverse eisen wat betreft kennis, ervaring en onafhankelijkheid te voldoen.

Ad. 4

De globale afstemming en communicatie met bewoners en andere betrokkenen wordt door NCG verzorgd of aangestuurd. Detailafstemming over technische zaken kan buiten NCG om gaan met bewoners of tussen opdrachtnemers voor monitoring en interpretatie. Het screenen op privacygevoelige informatie en het vrijgeven van rapportages, evenals het openbaar maken van meetdata, dient door NCG te worden verzorgd.