



**Tiltmeters – wat kan je ermee in
Groningen – voorbeelden
van een systeem dat meet,
“monitored”, beslist en
waarschuwt**



Inhoud van de presentatie over tilt meters

- Wat zijn tiltmeters – of tiltsensoren
- Wat kun je ermee
- Wat is het verschil tussen tiltmeters en andere meters (en INSAR)
- Combinaties satelliet en tiltmeters, seismograaf en tiltmeters
- Waar worden tiltmeters voor gebruikt in het buitenland
- Geschiedenis tiltmeters in Nederland – talloze voorbeelden
- Kantoor - dijk – kade - knipklei – Haagse tramtunnel - mijnschade
- Reactie van kennisinstellingen, NAM?
- Verschil registratie en monitoring = waarschuwingssysteem?
- Relatie: knipklei – spanningsopbouw - gaswinning - aardbevingen
- Tiltmeters wekken vertrouwen (bij partijen die oorzaak willen weten)
- Conclusies en aanbevelingen



Wat zijn tiltmeters of tilsensoren?

Loodrecht op elkaar staande elektronische waterpassen.

Gevuld met twee vloeistoffen laat men een gekend stroompje lopen – wanneer vloeistoffen verschuiven verandert de weerstand tussen de twee punten ($I = V * R$), dan meten we het veranderende voltageverschil tussen de twee punten.

Dit wordt vertaald naar een vector, die plotten we.

Iedere vector wijst naar het punt met de grootste tilt (diepste daling of grootste stijging) – lengte en richting zijn belangrijk.

Uitslag (tilt) worden gekalibreerd aan gekende beweging.
Zon en maan tiltmeters zijn nauwkeurig tot 1 nanoradian (is minder dan 1/25000 graad).

Systeem tilsensoren kan worden geïntegreerd naar bodemdalings kaart – Let op is dus geen absolute maat.

CUR dag in Gouda 2004-afgeleide bodemkaart

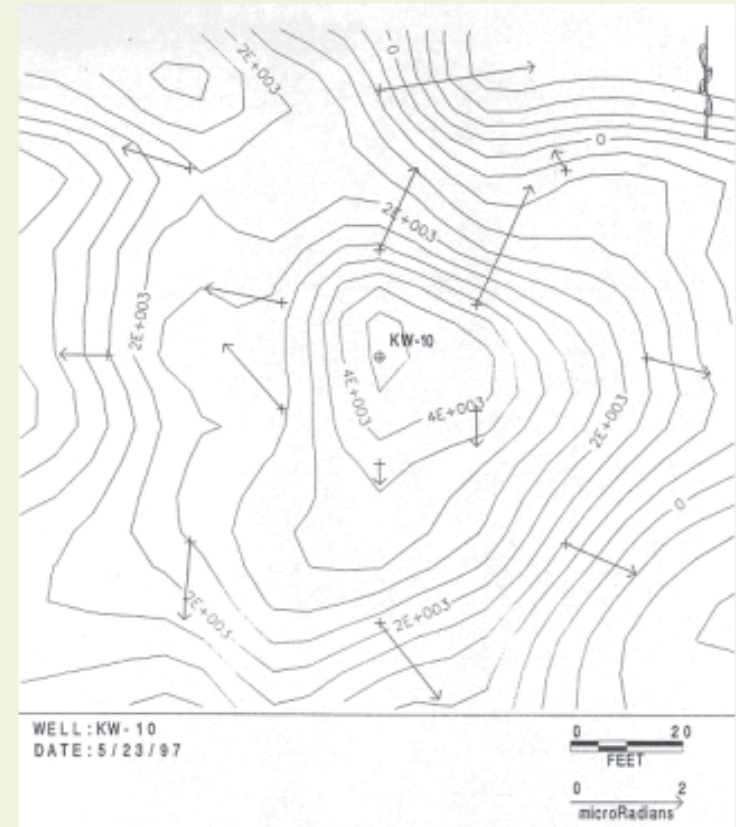


De Tiltsensoren methode

Groundcontrol presenteert haar tiltsensorenmethode welke monitoring van werken in de ondergrond sterk zal verbeteren. Ons systeem bestaat uit een configuratie van continu metende tiltsensoren dat wordt geïnstalleerd op het maaiveld rondom het te monitoren object.

Hoe werken onze tiltsensoren?

Onze tiltsensoren zijn ontwikkeld door dr. Wood en gepatenteerd. In iedere tiltsensor bevinden zich twee loodrecht op elkaar staande zeer nauwkeurige elektronische waterpassen. Wanneer de tiltsensoren zijn geplaatst, wordt voor iedere sensor de nulsituatie in kaart gebracht (in de nulsituatie wordt een voltage gemeten voor de NZ en OW richting). Wanneer er een gebeurtenis in de ondergrond plaatsvindt bijvoorbeeld injectie van een vloeistof of onttrekking van water maar ook een horizontale tunnelboring- wordt iedere tiltsensor in het invloedsgebied enigszins scheefgesteld. We meten dan een afwijkend potentiaalverschil van de nulsituatie, de verschillen in NZ en OW richtingen worden vertaald in een gradiënt van diepste daling of grootste stijging. De richting en grootte van de vectoren geplot op de kaart geven de resultaten aan van iedere tiltsensor, in dit geval gebruikt om injectie te monitoren. Wanneer de resultaten van de continu metende tiltsensoren worden gecombineerd met geologische kennis en parameters als totale hoeveelheid geïnjecteerde substantie en snelheid van injectie worden opvallende resultaten verkregen. Ondergrondse groutlichamen kunnen tot enige centimeters nauwkeurig worden weergegeven (en er kan worden bepaald of de groutboog waterdicht is). Doordat ook de versnelling van beweging/deformatie kan worden gemeten, kan het Groundcontrol tiltsensoren systeem gebruikt worden als een early warning system, hetgeen grote schade kan voorkomen.





Wat kun je ermee ? Monitoren processen

Reactie van een stuwdam op toegenomen waterdruk.
Reactie van maaiveld (vulkaan) op vollopen magmakamer.
Reactie van fundering (huizen) bij tunnelbouw (metro).
Reactie van maaiveld op drukverlaging (productie) bij gaswinning*.
Reactie van maaiveld op CO2 injectie – bepaalt stroompatroon.
Testen eerste geothermie put: stroompatroon bepalen en locatie doublet.
Moment van breken van een fundering tijdens een aardbeving.
Het bepalen van een ondergronds betonlichaam (grouting).
Het bepalen waar het water heengaat bij injectie.
Het meten van een versnelling van een geologisch proces.
Het onderscheiden van verschillende geologische processen.
Het bepalen van maximale belasting (kade, weg, dijk).

* Vooral bij kleine gasveldjes met 1 put



Verschillen en overeenkomsten van meters

Accelerometers – registreren trillingen / grondversnelling (PGA).

Inclinometers – meten de helling in een vastgestelde richting.

Satelliet – INSAR meet periodiek stijging of daling.

Seismograaf – registreert aardbevingen (trillingen).

Tiltsensoren meten continu en een systeem tiltsensoren meet de deformatie ten gevolge van een geologisch of mijnbouwproces.

Wanneer we het geologische model kennen, kunnen we bezien of tiltsensoren een afwijking tonen van wat we verwachten.

De andere meters registreren een gebeurtenis/feit, daarna gaan we statistiek “bedrijven” – met tiltmeters kun je een versnelling meten van een proces en daarop anticiperen.



Combinaties van metingen en tiltmetingen

Bij bodemdaling :

Het is aan te bevelen om ook werkelijke hoogtemetingen te doen.

Satelliet metingen (INSAR) helpen tiltmeters; andersom helpen tiltmeters INSAR.

Total 2008: Monitoring using Surface Deformation from Radar (PS-InSAR) and Tiltmeters.

Vulkanen:

Two tiltmeters and an integrating seismometer for the monitoring of volcanic activity, and the results of some trials on Mount Etna (1970).

Bij schade:

Een seismograaf en een accelerometer geven de juiste tijd aan van een aardbeving.

Wanneer er 4 tiltsensoren zijn geplaatst in een huis dan is te zien dat er deformatie is opgetreden ten tijde van een aardbeving. → **is het bewijs sluitend dat de schade is veroorzaakt door die aardbeving.**



Geschiedenis van tilsensoren in NL

Begin 90 er jaren hebben we een presentatie gehouden voor NAM (aantal buitenlandse geologen was enthousiast).

Verder presentaties voor SODM, EZ, TNO.

Overleg met Frima – Frima was enthousiast – offerte gestuurd – Frima kreeg voor zoutwinning geen handen op elkaar (geen subsidie).

KNMI – intern rapport tiltmeters: kunnen tiltmeters waterpassingen vervangen? In onze optiek was dit een verkeerde vraagstelling, want: tilsensoren kunnen veel meer dan waterpassen.

2004 artikel bouwwereld nr. 5 – 2004: Nederland heeft kennisachterstand
www.ground-control.nl

Kennisinstellingen tonen: scepsis en ondeskundigheid.

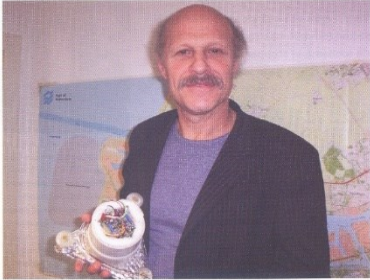
Waar zouden tilt meters van nut zijn geweest?

Uitgelicht

Nederland kampt met kennisachterstand

Inzet van geotechniek voorkomt problemen

Volgens Peter van der Gaag van Groundcontrol maakt de bouwbranche onvoldoende gebruik van technische systemen die bodembewegingen monitoren: 'Dergelijke systemen zijn in staat tijdens de bouw bodembewegingen te registreren én te voorspellen. Met die kennis kunnen bouwers anticiperen op problemen en schades.'



Staat: Hans Fuchs
Foto: Groundcontrol

Peter van der Gaag met de 'tiltmeter', waarmee zelfs een funderingsbalk te voorspellen is.

Als het gaat om geotechniek verheeren in de Nederlandse bouw een wettelijke combinatie van onderschatting, gebrek aan kennis en laksheld. Dat is althans de mening van geoloog Peter van der Gaag. De attitude van de bouw verbaast hem: 'Wij hebben toch een mooie traditie op het gebied van waterhuishouding en bouwen op rupees grond in de delta's. Tegelijkertijd liggen de projecten waar problemen spelen voor het oprapen, zoals de aanleg van de Betuwelijn in Zevenaar en de tram-tunnel in Den Haag.'

Van der Gaag omschrijft ook dat andere landen steeds meer vooropgang nemen op Nederland: 'Bij de metro van Amsterdam wordt een Frans bedrijf ingeschakeld om de schade te monitoren. Dergelijke ontwikkelingen zorgen voor een kennislacune en demonstreren een andere laksheld.'

Waarom de bouw zo weinig oog heeft voor geotechniek kan Van der Gaag niet verklaren. Een vermoeden heeft hij wel: 'De groep mensen en instantie die bezig is met geotechniek, is klein. Het ontbreekt aan een brede basis van wetenschappers en bedrijven die over oplossingen praten. Dat is geen goede omgeving voor nieuwe spelers en innovatieve bedrijven. Kleine bedrijven met goede ideeën komen niet aan de bak.'

Fluctuatie

Van der Gaag startte tien jaar geleden een ondernemk naar schade aan gebouwen op bodems met zwakke in Groningen en Friesland, en de mogelijke relatie met de aardbevingen die ontstaan door gaswinning. 'Veel gebouwen in de regio hebben fundamente die in de twiëklei staan. Zolang de klei nat blijft, is dat geen enkel probleem. Maar als het grondwaterpeil daalt en de klei droog wordt, tweeë krimpt op. Wordt de klei weer nat, dan gaat ze zwellen. Dat kan leiden tot ongelijke bodemdaling van twee centimeter kan best de funderingen. En vergt je niet een netto bodemdaling van twee centimeter kan best de opbouw zijn van zes centimeter bodemdaling gevolgd door vier centimeter bodemdaling. Een aardbeving als gevolg van aardgaswinning kan hier een laatste duwje zijn in de richting van gebouwschade. Maar het fittelijke probleem ligt in de fluctuatie van de waterstand. En omdat klimaatveranderingen in de toekomst zorgen voor drogere zomers, zal het effect van zwakke op gebouwschade alleen maar toenemen.'

Bouwadvisen

In Noord-Nederland worden de meeste nieuwbouwwijken gefundeerd op aandrag onder de zwakke laag. Maar in Groningen en

Haagse tramtunnel: monitoren en bepalen of vloer waterdicht was.

Metro Amsterdam, Vijzelstraat verzakkingen: maximaal toelaatbare bewegingen meten en waarschuwen aannemer, wanneer die worden bereikt.

Ongelijkmatige bodemdaling (Groningen): Onderscheid tussen verschillende processen.

Kolenmijnbouw parkeergarage Heerlen: meet versnelling van inzakking.

Geothermie in Nederland, tot nu toe veel problemen: wordt niet gemonitored!

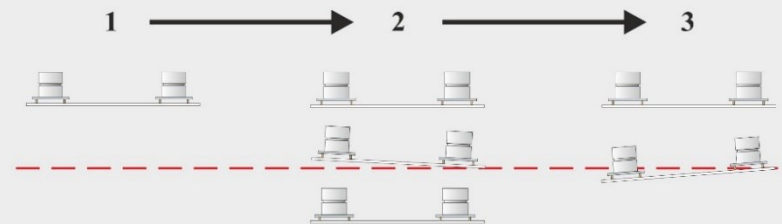
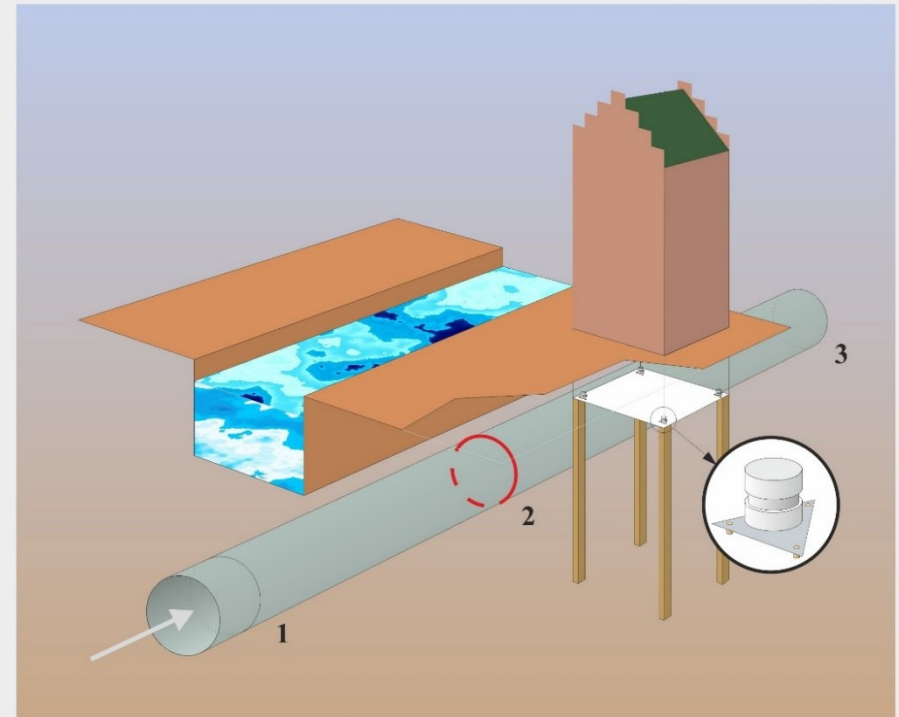
Inzet van geotechniek voorkomt problemen ;
bouwwereld nr. 5 – 2004 www.ground-control.nl

Wat kun je ermee? Relaties leggen !

Bij het naderen van de boorkop (druk omhoog) gaat fundering “omhoog” reageren, bij passeren veert de fundering terug (herkenbaar door meting tilt). Wanneer de boormachine zich verwijdert, gaat bodemdaling optreden.

Dichtstbijzijnde tiltmeters regeren sterkst. Verschil in tilt moet sterkte fundering niet te boven gaan.

In dat geval registreren tiltmeters het moment van het ontstaan van een ‘eventuele’ scheur.



Plaatsing van vier tiltsensoren in de kelders van een grachtenpand: directe meting van ongelijke bodemdaling



Max. kadebelasting - permanente/reversibele deformatie

Sterktebepaling van de kade van de EBS bulkterminal – Rotterdam

15 en 16 december 2004 eerst personenauto van 1000 kilo geplaatst, die drukt grond in – dan zwaardere shovel geplaatst, drukt maaiveld meer in, en veroorzaakte **permanente** deformatie na weghalen.

Advies: geen zware nieuwe kraan op deze (oude) kade.



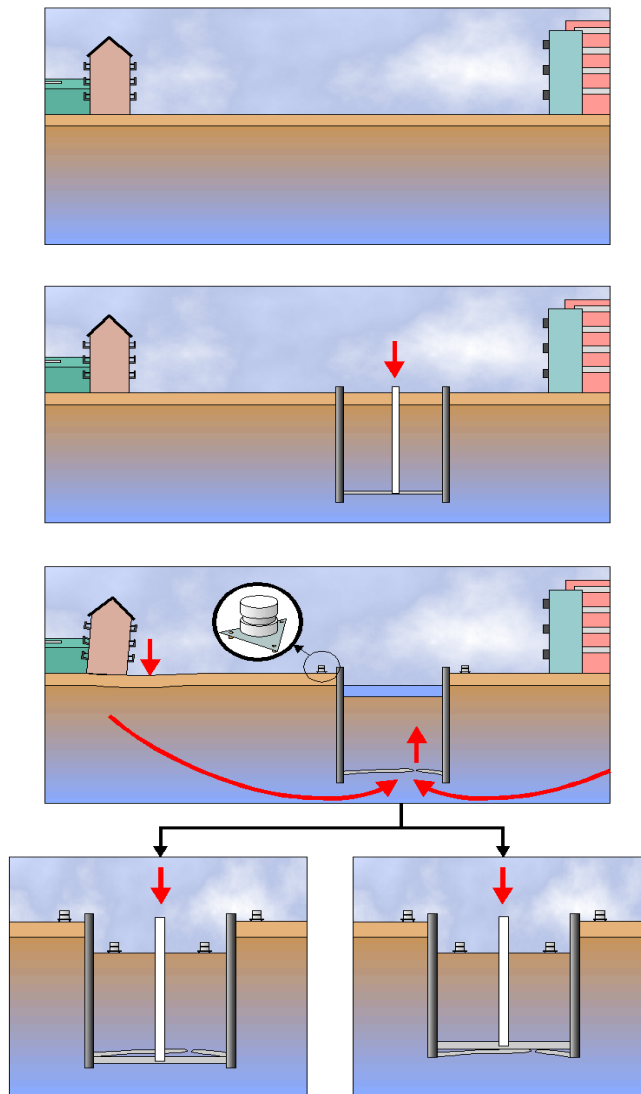


Haagse tramtunnel geen monitoring, wel constant lek

Steeds lek,
uiteindelijk injectie
met vloeibaar
beton.

Maar betonnen
boog tussen
damwanden was
niet continu.

Met tiltmeters kun je
monitoren of de
vloer (tussen de
damwanden continu
(lekvrij) is en zelfs
doorgaan tot er een
ondoorlatende
barrière is.

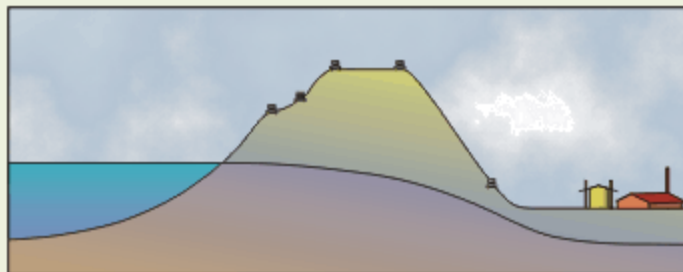
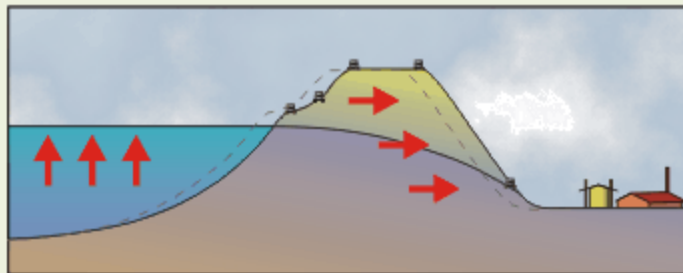
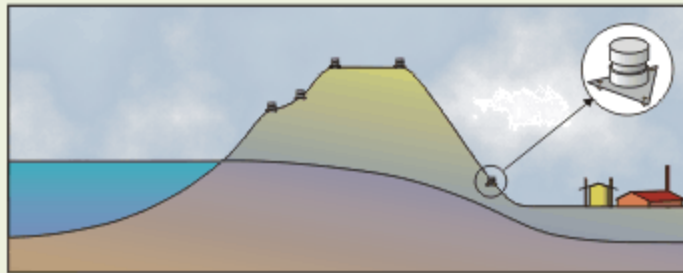


Repair through Grout Injection

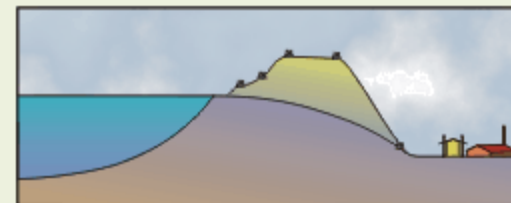
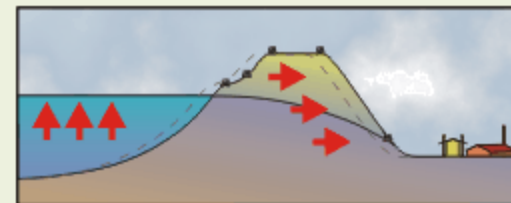
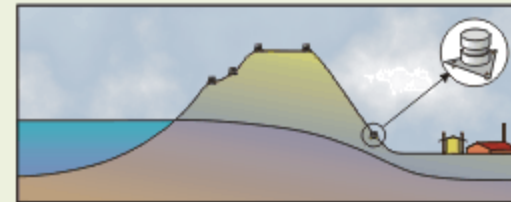
Resultaat:

Grote schade.
Met reactie van betrokkenen:
we zeggen dat niemand dit
had kunnen voorkomen/zien
aankomen.
Gevolg: extra kosten voor
Gemeente Den Haag.

Proeven dijk Kesteren met tiltmeters 2002



Elastische Deformatie



Blijvende Deformatie

Zelfs het voorbijgaan van een binnenvaartschip geeft reactie van de dijk.

Geothermie in NL– wie kent tiltmeters?

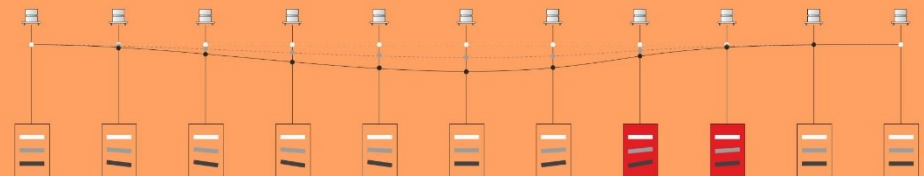
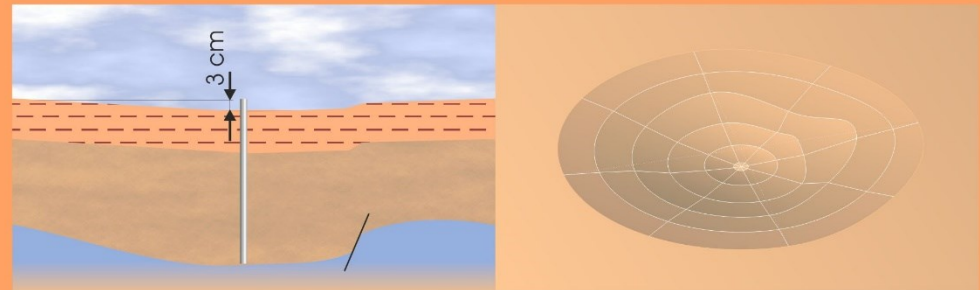
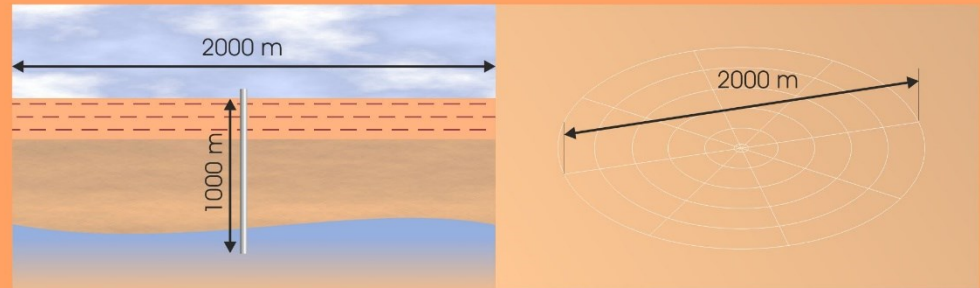
Je kunt met een systeem tiltmeters bepalen of het water van alle kanten even “hard” instroomt.

Je kunt bepalen of je dezelfde hoeveelheid water bij re-injectie er wel of niet inkrijgt. Je kunt optimale plaats voor tweede boring (doublet) bepalen.

Je kunt putstimulatie (fracken) monitoren en zelfs oriëntatie, lengte en diepte van de breuken bepalen (gas en geothermie).

Nederland heeft mede door deze kennisachterstand op geothermiegebied, problemen– wij constateren dat bijna niemand zelfs de toepassingen en voordelen kent van tiltmeters.

HIT heeft met partners 24 augustus een tender ingediend bij Kennisagenda geothermie om de achterstand m.b.t. toepassingen van tiltmeters in de geothermie in Nederland in te halen



Ongelijkmatige bodemdaling door warmwaterwinning (geothermie):
mogelijke oorzaak permeabiliteitsverschillen of breukzones

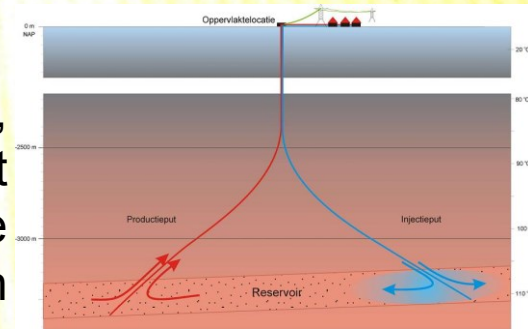


Tiltmeters: gebruikt in Japan bij geothermie >2 km

EVALUATION OF SUBSURFACE FLUID MOVEMENT BY USING HIGH PRECISION TILTMETERS

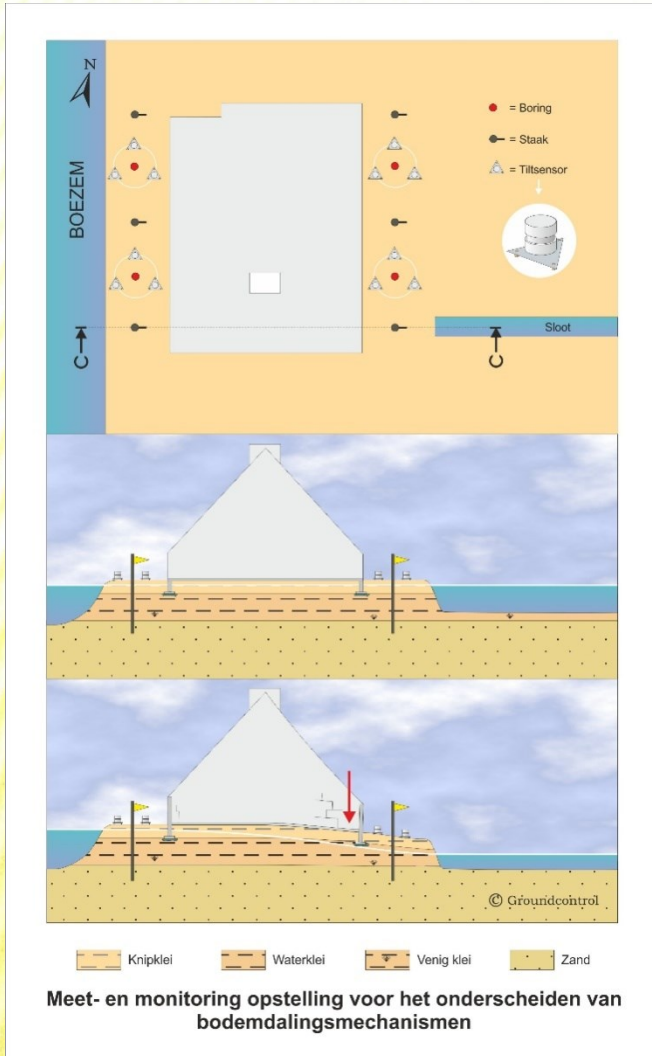
Tiltmeters have undergone rapid evolution in recent years, and can provide higher accuracy and greater resolution at depth. Surface tilt can be directly related to volume change in the subsurface associated with fluid injection or with drawal, the tiltmeter survey promises to provide a non-invasive method for directly monitoring subsurface volume change due to injection or production.

Proceedings World **Geothermal** Congress 2000 Kyushu - Tohoku, Japan,



Tilt meters worden in Duitsland, Zwitserland, V.S., Canada en zelfs Algerije gebruikt bij injectie! Wereldwijd worden tiltmeters ingezet bij meten van putstimulatie (hydraulic fracturing)!

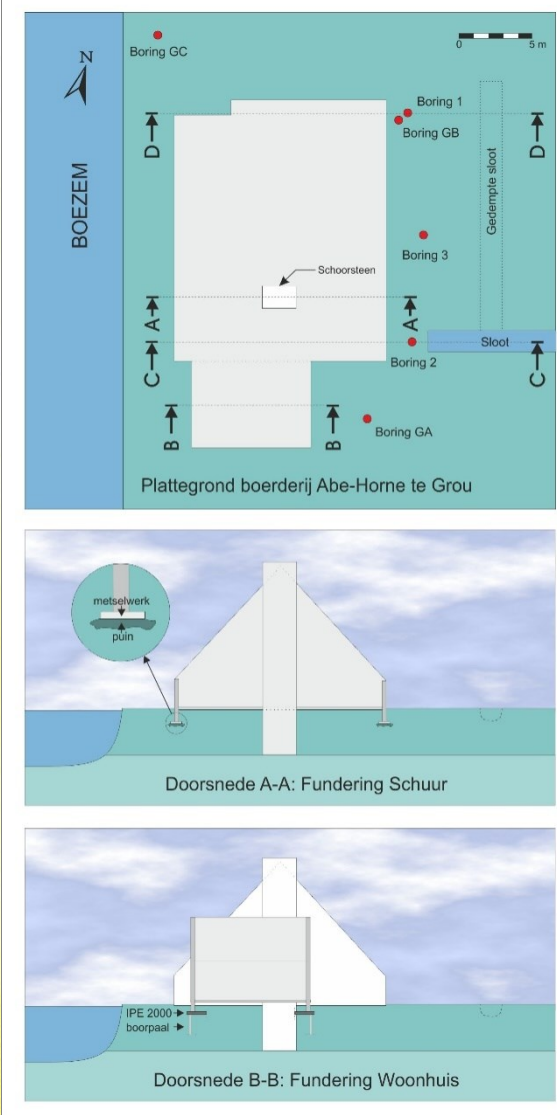
Onderscheiden van ongelijkmatige bodemdaling was al lange tijd mogelijk geweest met tiltmeters



Zet systeem neer dat diepe oorzaak van ondiepe oorzaak onderscheidt.

Relateer bewegingen aan grondwater en polderpeil.

Onderzoeksvoorstel (gesteund door 3 professoren, 2004).



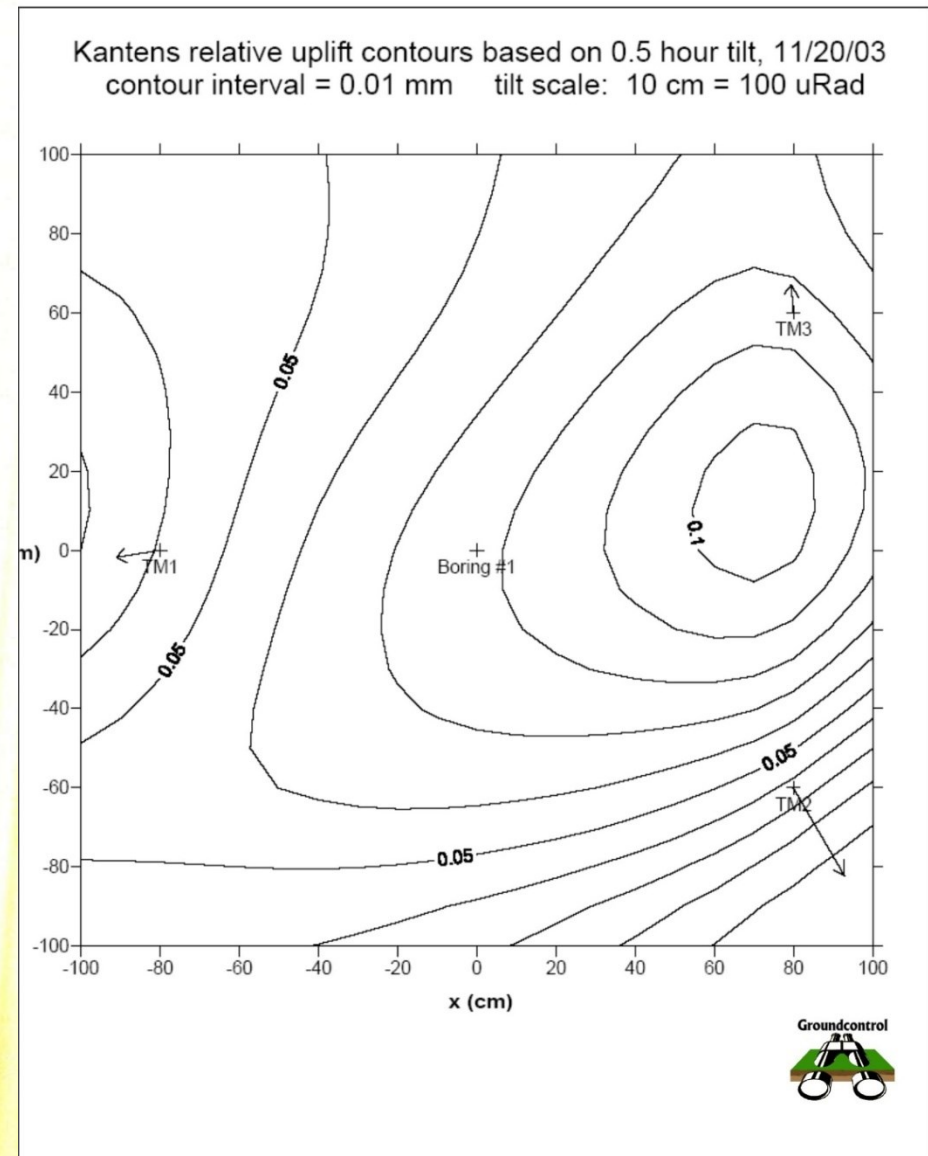
Bodemstijging proef knipklei: Kantens

Een boring in de knipklei (2003) is gevuld met water – maaiveld gaat stijgen, in kaart gebracht met 3 tiltmeters.

Dezelfde klei liet drukopbouw zien bij zwelproeven in het lab.

Ondersteund door TCCB jaarverslag 2005:

In dit geval is extra aandacht gevraagd van de onderzoekers voor het effect van zogeheten zwelklei ter plekke. Op grond van de bevindingen van dit nader onderzoek heeft de Tcbb geconstateerd dat er geen causaal verband bestond tussen de schade en de aardtrillingen. .



Gebruik van tiltmeters had veel geld gescheeld?

Er is spanningsopbouw (knipklei)

Staten Groningen: er is geen verder onderzoek noodzakelijk, dus ook geen aanpassingen;

TCCB (jaarverslag 2005): er is geen spanningsopbouw door gaswinning
Maar de oorzaak is knipklei.

Van der Gaag 2004 :“Bij wisselende grondwaterstanden in deze zwelkleilagen staat de ondiepe ondergrond dus voortdurend onder spanning”, legt Van der Gaag uit. **“Als in zo’n zwelkleigebied genoeg spanning is opgebouwd, dan kan een lichte aardbeving al de druppel zijn die de emmer doet overlopen. Dat kan tot onevenredig grote schade leiden.”**

Zwelklei-onderzoek Persbericht 19 februari 2004

Zwelklei-onderzoek naar de schade door verzakkingen en aardbevingen in Groningen en Friesland

Groundcontrol heeft op eigen initiatief onderzoek gedaan naar de Groningse en Friese jonge klei, ook wel knikklei of knipklei genoemd. Deze klei is een voor Nederlandse begrippen bijzondere klei die in zich in bijna alle eigenschappen onderscheidt van andere in Nederland bekende kleien. In het veld en in boringen kan worden gezien dat deze klei zeer sterk krimpt bij uitdroging en zwelt bij wateropname. Naar de mate van volumeafname door krimpen van de klei loopt is het onderzoek van Groundcontrol nog niet afgerond...

Met het ontbreken van structuur, het bijna kalkloos zijn en een lutum-gehalte dat zeer hoog is (hoog percentage kleideeltjes), toont deze klei een hoge plasticiteitindex. Deze eigenschappen wijzen op een zwelklei. Testen met behulp van methyleen blauw en vrije zweltesten tonen aan dat het hier gaat om een echte zwelklei. Een vrije zwel van 30-60 % en de classificatie van alle monsters in het bereik van actieve tot zeer actieve bodem ondersteunen deze gegevens. Ontwateringanalyses tonen de aanwezigheid aan van montmorilloniet, het zwelkleimineraal bij uitstek met sterke zwelpotentie. De zwelklei toont grote verschillen met klei onder en boven de laag.



Alle door Groundcontrol onderzochte panden met schade waren in zwelklei gefundeerd. In geen van de boringen is een pakket veen van vermeldenswaardige dikte aangetroffen. Er is wel stijging geconstateerd in het veld, zowel in schadepatronen als in testen met tiltsensoren. Door bewoners en andere onderzoeksbureaus werd eveneens gewezen op bodemstijging.

Uit buitenlands onderzoek is duidelijk te onderkennen dat dergelijke zwelkleien (bij een volumetoename van slechts 3%) kunnen leiden tot schade aan gebouwen en wegen. Vooral de cyclus van krimp en vervolgens zwel, met hierbij verzakking en vervolgens stijging, kan volgens Groundcontrol onterecht de indruk wekken van een slechts geringe bodemdaling.

Er is op de onderzochte locaties geen directe relatie geconstateerd tussen bodemdaling door de gaswinning en de verzakking/stijgingen door zwelkleien. Er wordt door Groundcontrol wel een relatie gedacht tussen het optreden van schade aan panden die onder druk (spanning) staan door processen in zwelkleien en aardbevingen ten gevolge van de aardgaswinning. Deze panden lopen eerder kans op schade bij aardbevingen dan panden gefundeerd op zand die niet onder spanning staan.



Study and Data Acquisition Plan for Induced Seismicity in Groningen *Planning Report*

november 2012

* Hoofdstuk 4.4.3. Damage and Risk (pagina 18)

Placement of tiltmeters on reference buildings. “Reference” buildings in the Loppersum/Middelstum area will be identified and equipped with **tiltmeters**. Advice on the scope and extent of this type of monitoring to better assess the impact/damage after an earthquake is sought from the same “technische commissie” that monitored progress on the “Gebouwschade” study. Once the scope of this project is agreed, installation of the monitoring equipment could start. Monitoring data from the extended accelerometer network and the “reference” buildings will then become available after any earthquake perceptible at surface in the “reference” area.

NAM onderschrijft meerwaarde van tiltmeters!



Hoe wek je vertrouwen: monitoring i.p.v. registratie

Geofoons , seismografen, satellieten, accelerometers, waterpas surveys registreren een gebeurtenis/toestand. Daar kun je statistiek op los laten maar vaak wordt het een ja/nee spel bij identificatie van schade.

Tiltsensoren – meten continu een beweging – meten continu de reactie van een reservoir wanneer er iets uit wordt gehaald, of iets in wordt gebracht.

Een tiltsensoren systeem kan de relatie leggen tussen de hoeveelheid geproduceerd gas (of water) en de bewegingen aan het maaiveld.

Tiltsensoren hadden kunnen bewijzen dat gaswinning geen directe ongelijkmatige bodemdaling veroorzaakt – maar wel de waterpeilaanpassingen die door de gaswinning noodzakelijk waren.

Nu kunnen tiltmeters bewijzen dat bevingen in knipklei gebieden extra schade veroorzaken.

Tiltmeters kunnen ook fracking monitoren (bepalen: oriëntatie en lengte breuk).
Gaan we onze lessen leren of?



Conclusies

Tiltmeters meten heel nauwkeurig en continu de hoekverandering die optreedt door weghalen of inbrengen van massa – leggen de relatie tussen drukvermindering, hoeveelheid productie/injectie en maaiveldbeweging.

Tiltmeters monitoren in tegenstelling tot accelerometers en seismografen die registreren. Omdat een tiltmeter systeem ook de versnelling meet die in een geologisch proces optreedt, kan een tiltmeter systeem worden gebruikt als een waarschuwingssysteem.

Een tiltmeter systeem kan verschillende processen van elkaar onderscheiden (bodemdaling door zoutwinning van bodemdaling door gaswinning).

Tiltmeters kunnen ondiepe bodembewegingen onderscheiden t.o.v. gaswinning.

Het inzetten van tiltmeter systemen had veel schade in Groningen kunnen voorkomen?



Aanbevelingen

Aanbevolen wordt tiltmeters (tiltsensoren) in te zetten in Groningen.

Aanbevolen wordt opzet en interpretatie over te laten aan onafhankelijke organisaties zonder vooroordeel en met deskundigheid.

Aanbevolen wordt om tilt meters daar in te zetten waar verschillende processen bodembewegingen kunnen veroorzaken, die met tiltmeters op verschillende diepte(s) van elkaar kunnen worden onderscheiden.

(polderpeil verlaging, grondwaterpeil fluctuatie, knipklei beweging, bodemdaling door gaswinning, veenoxidatie).

Aanbevolen wordt om tilt meters per direct in te zetten bij geothermie in Nederland



Dank U voor uw aandacht –
Peter van der Gaag

Holland Innovation Team BV

Middelstum, 9 september 2015: