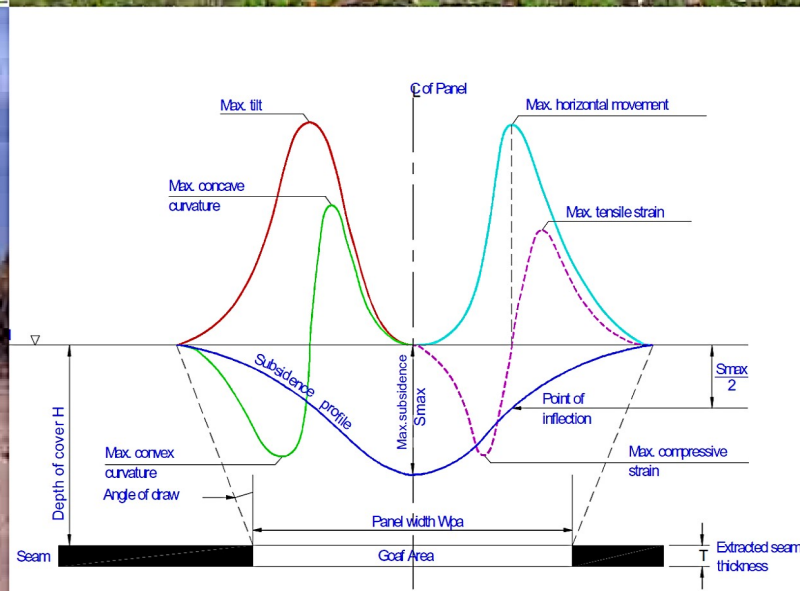
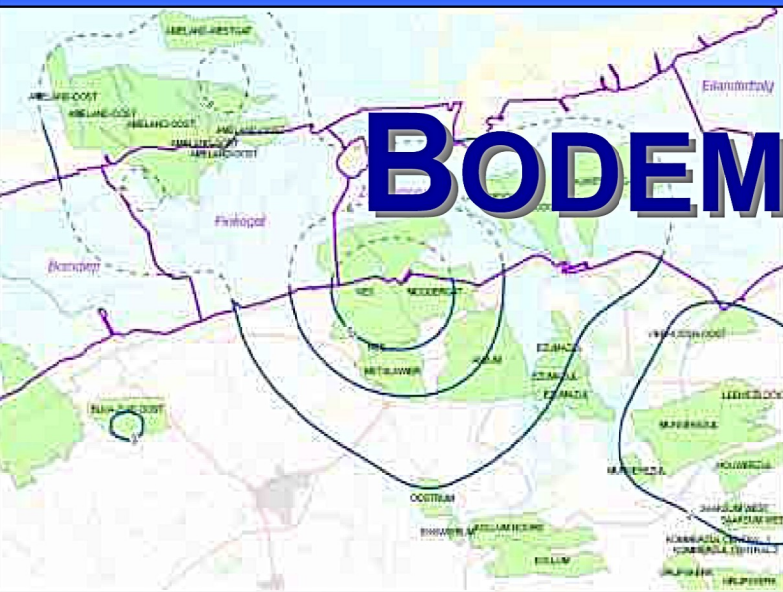


Volume 13 No. 1 December 2006



- **SISOLS 2005 Shanghai**
- **De nieuwe bodemdalingkaart**
- **The impacts of coal mine subsidence**
- **The departure from the mining building**



Objective of the Newsletter

The objective of the Newsletter is to inform the members of the Ingeokring, and other interested parties, on topics related to engineering geology and the developments in this field. The Newsletter wants to make engineering geology better known by improving the understanding of the different aspects of engineering geology.

Board of the Ingeokring

President	Drs. C.N. Bremmer	(Chris)
Secretary	Ir. M. Remijn	(Marcel)
Treasurer	Ir. L.A. van Paassen	(Leon)
Member & representative ISRM	Ir. M. Huisman	(Marco)
Member	Dr. P.N.W. Verhoef	(Peter)
Representative DIG	Mw. E. Bader	(Elles)

Editorial board of the Newsletter

Dr. ir. F. Schokking	(Floris)
Ir. J.K. Haasnoot	(Jacco)
J. van Berlo	(Janneke)
Ir. R. S. Vuurens	(Robert)
Ir. H.G.P. Wibbens	(Gerhard)

Correspondence concerning address changes, membership and the Ingeokring:

Marcel Remijn
P.O. Box 250
2260 AG Leidschendam
E-mail: penningmeester@ingeokring.nl

Correspondence concerning Newsletter and publications:

Jacco Haasnoot
CRUX Engineering BV
Asterweg 20 LI
1031 HN Amsterdam
tel: +31 (0)20 494.3070
fax: +31 (0)20 494.3071
E-mail: Haasnoot@cruxbv.nl

Subscription for the Newsletter

Each member of the Ingeokring receives at least once a year a new edition of the Newsletter. Membership fee for the Ingeokring is Euro 16,-. Student membership fee is Euro 8,-.

ISSN 1384-1351

Notes for the authors

- Manuscript can be written both in Dutch and English and sent to the editorial board (address provided on the left column).
- Authors are free in choosing the subject of their contribution with the following restraints:
 - The subject is related to engineering geology.
 - The manuscript is not a commercial advertisement (announcements are allowed).
- Layout
 - The article should be written in MS Word or in plain Text, without any formatting or layout-codes. Submissions must be made both in electronic form on floppy or to the e-mail address provided on the left column and as printed hard copy send to the editor.
 - Figures, drawings, and pictures should be produced in one of the common image formats: GIF, TIFF, JPEG, WMF or as Word drawing objects.
 - Figures, drawings, pictures and tables should be submitted separately; named and numbered in a logical order according to their placement in the main text. Submissions should be both in electronic form and as high quality printed hard copies. The print size should be selected by considering possible reduction for the final version.
 - Each article must include the author(s) name(s), affiliations and address, and a short abstract of preferably less than 100 words.

Table of contents

Editorial	2
THEMA	
A review of ground movements over abandoned coal mines in Limburg, The Netherlands	6
Bodemdaling door aardgaswinning in het Waddenzeegebied	10
Ontwerpmethodiek voor het beheersen van schade bij het bouwen in binnenstedelijke omgeving	15
De nieuwe bodemdalingkaart - van black box naar vraaggestuurd product	20
The Impacts of Coal Mine Subsidence on Streams, River Valleys and Gorges	28
A Comprehensive Study of Land Subsidence in the Northern Adriatic	33
GRONDONDERZOEKBEDRIJF IN BEELD	
Inpijn-Blokpoel Ingenieursbureau	38
The departure from the mining building, the end of an era or a new start?	41
Excursie naar "Tagebau Hambach"	42
Book Review: Uncertainty and Ground Conditions - A Risk Management Approach	44
STUDENTEN ACTIVITEITEN	
Dispuut Ingenieursgeologie DIG	45
SISOLS 2005 Shanghai	46
Excursion: TUDelft takes a close look at subsidence phenomena	47
INGEOKRING ACTIVITIES	
Excursion to Vryhof Anchors: a look at offshore geo-engineering	49
THESIS ABSTRACTS	
52	
ENGINEERS ABROAD	
Que Sopá! (Het wel en wee van een Ingenieursgeoloog in Panama)	59

Editorial

Floris Schokking (GeoConsult, Haarlem), gast-hoofdredacteur

Beste lezers,

Voor ons land als delta, dat voor ongeveer de helft onder de zeespiegel ligt is bodemdaling een direct en indirect natuurlijk gevaar, zeker met de in de toekomst voorspelde toename van de zeespiegelrijzing en klimaatverandering. Maar ook door de mens veroorzaakte bodemdaling, door de onttrekking van mineralen en water, vormt een gevaar voor de kustveiligheid en voor de waterbeheersing in poldergebieden. In hoger gelegen delen van ons land kan bodemdaling een potentiële bedreiging zijn voor de stabiliteit van constructies en voor de veiligheid van mensen, zoals verzakkingen boven zoutcavernes in Twente en boven ondergrondse mergelgroeves in Zuid-Limburg (IngeoKring Nieuwsbrief Vol 1., 2004) geleerd hebben. Dit zijn goede redenen om aandacht te besteden aan dit probleem en met name aan de rol die de geologie daarin speelt. De artikelen tonen aan, dat bodemdaling een belangrijke geologische component heeft, naast de geodetische aspecten en de geomechanische. De meeste artikelen in dit nummer hebben betrekking op door de mens veroorzaakte bodemdaling.

Bij de ondergrondse steenkoolwinning in Limburg, die rond het begin van de vorige eeuw op grotere schaal begon, trad bodemdaling op met maxima van meer dan 10 m. In Limburg werd de directe woonomgeving van de, voornamelijk van de mijnen afhankelijke, bevolking bedreigd, zonder dat dit in openbaar protest resulteerde. Bij het sluiten van de Nederlandse mijnen begin jaren 1970 ging de mijnbouw in het aangrenzende gebied rond Aken in Duitsland nog door. Roy Wings van het Staats-toezicht op de Mijnen beschrijft de maaiveldstijging die ontstaat door het omhoogkomen van het grondwaterniveau, na het stoppen van de afpompings, nadat de Duitse mijnen in 1994 definitief gesloten werden.

Vergelijkbare ondergrondse koolwinning in Australië veroorzaakt door bodemdaling schade aan milieu en landschap in een veel dunner bevolkt gebied dan Zuid-Limburg en dit stuit op veel publieke weerstand, zoals Arthur Waddington van Mine Subsidence Consultants in zijn artikel beschrijft. De huidige grote aandacht voor het milieu in het publieke debat wordt met dit artikel weer eens aange-toond.

Dit zelfde blijkt uit de geschiedenis van de bodemdaling gerelateerd aan de gasonttrekking in het noorden van Nederland. Bij het begin van de gasonttrekking uit het Slochterenveld, na het sluiten van de koolmijnen in Limburg, begon de maatschappelijke onrust over de bodemdaling in Groningen. Alhoewel de zakkingen van een veel kleinere orde van grootte zijn (maximaal tussen de 0,3 à 0,4 m), en met een veel gelijkmatiger karakter, dan bij de koolwinning, kon niet voorkomen worden, dat tot de jaren 1990 het publieke wantrouwen tegenover de NAM in het noorden van het land aanwezig bleef. Door het voortschrijdend inzicht en met name door inverse modelleringen, in feite een terugrekenen van wat er werkelijk gebeurd aan de hand van metingen van optredende bodemdaling, komt men nu tot voorspellingen voor een maximale bodemdaling van circa 0,38 m na het eindigen van de productie rond 2050. Na het afnemen van de publieke onrust met betrekking tot de leefomgeving, mede door de compensatie door de NAM bij herstel van ondermeer de hydrologische infrastructuur en vernieuwing van de haven van Delfzijl en voor schade van individuele burgers, laaide bij het bekendmaken voor de plannen van de gasonttrekking onder de Waddenzee de discussie in 1993 weer hoog op. Nu ging het, net zoals in Australië, maar dan in een andere orde van grootte: meters tegenover cm, om de mogelijke aantasting van de natuurwaarden van het Waddengebied.

Dirk Doornhof en Bert Verboom van de NAM laten in hun artikel zien, dat de compactiemodellen voor de Waddenzeevelden gebaseerd zijn op de inverse modellering van op land voorkomende velden met een vergelijkbare geologische situering.

Nieuw voor de winning in de Waddenzee is, dat het begrenzend bodemdalingcriterium niet een maximale waarde is, maar een bodemdalingssnelheid, de "natuurgrens", waarbij de bodemdaling nog

gecompenseerd wordt door natuurlijke sedimentatie. Onttrekking met “hand-aan-de-kraan” moet de garantie geven, dat deze criteria niet overschreden worden. Het gedeeltelijk onder land liggende reservoir is daar veel gemakkelijker te monitoren dan ter plaatse van de Waddenzee, en op de daar gevonden trend zal gestuurd worden.

In het onderzoek van bodemdaling in de Noord-Adriatische zee is het gecombineerde effect van natuurlijke bodemdaling en die veroorzaakt door gas- en waterwinning bestudeerd. Het artikel van Frans Barends en Adriaan Houtenbos is een samenvatting van de reeks artikelen die voortkwamen uit dit project en die gepubliceerd zijn in een speciale uitgave voor het 7th International Symposium on Land Subsidence, ofwel het SISOLS 2005 gehouden in Shanghai. Dit is een goed voorbeeld van een multidisciplinaire studie waarbij vanuit de geologie, de geodesie, de geomechanica en de geomorfologie in een gebied met een vergelijkbare geologische opbouw en een kustmorphologie als in Nederland, naar bodemdaling gekeken is. Het is jammer dat een heldere synthese van de resultaten van de verschillende disciplines niet gegeven is. Wel is de inbreng van ervaringen uit Nederland goed zichtbaar. Dit voorbeeld biedt perspectief voor de toekomst waar het gaat om de export van Nederlandse kennis op het gebied van de bodemdaling.

Al eeuwenlang is bodemdaling in de slappe, samendrukbare Holocene klei- en veenpakketten een bijkomend probleem bij de waterbeheersing in polders. Inklinking door vermindering van de waterspanning en daardoor verhoging van de effectieve korrelspanning, maar vooral de oxidatie ofwel volledige vertering van veen, zijn processen die hieraan ten grondslag liggen. Door Ger de Lange, Serge van Gessel en Jeroen Schokker van TNO-NITG wordt beschreven hoe de belangrijke parameter bij deze processen: de ontwateringdiepte - het niveau van het oppervlaktewater ten opzichte van het aangrenzende maaiveld - uit het Actueel Hoogtebestand Nederland afgeleid kan worden. Met deze actuele en met toekomstige peilscenario's zijn, in combinatie met geologische geometrie en geotechnische parameters, op regionale en landelijke schaal, digitale zettingkaarten vervaardigd.

Nog het dichtsbij de traditionele ingenieurs geologie ligt het artikel over het beheersen van schade door zakkings bij het bouwen in binnenstedelijke omgeving van Jacco Haasnoot, Holger Netzel en Almer van der Stoel van Crux Engineering. Met een toename van nieuwe bouwwerken tussen bestaande bebouwing en met name bij ondergrondse constructies, zoals de geboorde tunnels van de Noord-Zuid metrolijn in Amsterdam, is een dergelijke methodiek van groot belang.

Uit de artikelen in deze IngeoKring Nieuwsbrief blijkt, dat het analyseren van bodemdaling een multidisciplinaire activiteit is, waarbij met geologische en geomechanische kennis enerzijds en geodetische kennis anderzijds een problemen opgelost moeten worden. Eenduidige methodieken voor een aanpak zijn tot op heden niet voor handen. Dit heeft verschillende oorzaken.

- De artikelen laten zien, dat er een ruime variatie is in type problemen: van ondiepe bodemdaling in poldergebieden tot diepe bodemdaling ten gevolge van aardgasonttrekking, en die alle hun eigen oplossingsmethodiek vereisen. Ook het probleem van diepe, natuurlijke bodemdaling, die voor de kustverdediging een risico vormt, is weer anders van karakter en vereist een eigen methodiek van aanpak.
- De waargenomen beweging bij bodemdaling kan samengesteld zijn uit ondiepe beweging, in minder dichte en samendrukbare lagen, en diepe bodembeweging. Bij de ondiepe bewegingen kunnen soms ook de bewegingen van de fundering van constructies waarop peilmerken zijn bevestigd meespelen. De ontrafeling van de ondiepe en diepe bewegingen vormt een problematiek waaraan de verschillende disciplines al veel aandacht hebben besteed. Er is vooruitgang geboekt, maar er zijn nog steeds geen sluitende oplossingen gevonden.
- Bij het analyseren van bodemdaling wordt een uit metingen bestaand model vergeleken met geologische of geomechanische (proces) modellen in het geval van natuurlijke bodemdaling. Bij winning van mineralen of bij ondergrondse constructies wordt er op basis van de geologie en de geomechanica een verwachtingsmodel opgesteld, dat tijdens de uitvoering wordt getoetst aan het geodetische model, dat voortkomt uit controlemetingen. De benadering van het modelleren binnen de drie disciplines is wezenlijk anders, waardoor bij vergelijking van modellen belangrijke aspecten of verbanden onopgemerkt kunnen blijven. Dit is een van de belangrijkste lacunes

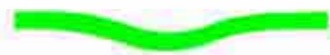
die opgelost moet worden. In de geologie en de geomechanica kunnen grotere onnauwkeurigheden worden geaccepteerd bij geometrische, parameter en procesmodellen, zonder dat de fysieke werkelijkheid groot geweld wordt aangedaan. In de geodesie worden veel stringenter mathematische en statistische toetsingen gehanteerd om een zo zuiver, zeker en stabiel mogelijk beeld van de werkelijkheid te scheppen. Dat daarmee de geologische en geomechanische werkelijkheid gemaskeerd wordt is in het verleden niet altijd onderkend. Het verdient dan ook aanbeveling om de verschillende disciplines buiten hun eigen theoretische kader te laten opereren om zo problemen met integreerbare methodieken aan te pakken. Optredende ruis, nauwkeurigheden en schaal van fenomenen zullen binnen de verschillende disciplines in aanmerking genomen moeten worden.

Momenteel zijn ontwikkelingen gaande om remote sensing technieken van uit ruimtesatellieten (GPS, InSAR) als vervanging van de terrestische geodesie te gebruiken. Op zich kunnen we er op vertrouwen, dat de technieken in de toekomst zodanig verder ontwikkelen, dat resultaten dezelfde nauwkeurigheden hebben als van het schijnbaar ouderwetse waterpassen, wat tot nu toe nog steeds de grootste precisie geeft. De eerder genoemde problemen met de interpretatie zullen onveranderd blijven bestaan. Het enige wat toegevoegd wordt zijn nieuw typen datasets die alle hun eigen problemen van ruis en onnauwkeurigheid kennen.

Er bestaat in Nederland geen zelfstandige academische discipline die de bodemdaling behandelt en waarin onderzoek wordt uitgevoerd. Ook elders in de wereld is dit niet het geval. Wel is er in Nederland een platform, waar gediscussieerd wordt over bodemdaling en de relatie met de zeespiegelrijzing: de Subcommissie voor Bodembeweging en Zeespiegelrijzing van de Nederlandse Commissie voor Geodesie, ressorterend als onderdeel de KNAW. Hier in hebben vertegenwoordigers van onderzoeksinstituten, universiteiten en het bedrijfsleven zitting. De Subcommissie vergadert minimaal twee keer per jaar, volgt ontwikkelingen op bodemdaling gebied en adviseert beleidsmatig welke onderwerpen volgens haar in onderzoek en ontwikkeling aandacht verdienen. Uiteraard heeft de Subcommissie niet de middelen om onderzoek te laten uitvoeren en ook de inhoudelijke sturing die nodig is kan niet van haar verwacht worden.

Geo Consult

voor Civiele Techniek, Grondwater en Milieu



Spaarndamseweg 120
Postbus 2296
2002 CG HAARLEM

Tel. 023 526 97 65
www.geoconsult-haarlem.nl

Tijdens de workshop die in juli 2005 werd gehouden naar aanleiding van signalen over bodemdaling langs de Noord-Hollandse kust in relatie tot de kustveiligheid werd meerdere malen het multidisciplinaire karakter van bodemdaling benadrukt. In de discussie bleek de behoefte aan synergie tussen de verschillende disciplines bij het zoeken naar oplossingen. Hierbij werd ook de mogelijkheid van een nationaal instituut voor onderzoek van bodemdaling genoemd. Hiermee kan de samenwerking en kennisuitwisseling worden bevorderd en gecoördineerd tussen alle betrokken organisaties: TU Delft, VU Amsterdam, RU Utrecht, TNO-NITG, GeoDelft, Min. V&W met RWS en KNMI, Min. EZ met StodM, waterschappen en het betrokken bedrijfsleven: olie- en mijnmaatschappijen en onderzoeksbureaus. Ook de databestanden betreffende bodemdaling die bij de verschillende organisaties opgebouwd worden zouden binnen een dergelijk instituut centraal beheerd kunnen worden.

Ik hoop, dat deze uitgave van de InGeoKring Nieuwsbrief ertoe bijdraagt, dat het belang van een integrale aanpak van de bodemdaling in Nederland onderkend wordt en dat in de naaste toekomst gezocht wordt naar een organisatievorm waarin het belang van de verschillende disciplines evenwichtig tot zijn recht komt.

A review of ground movements over abandoned coal mines in Limburg, The Netherlands

Roy W.M.G. Wings

State Supervision of Mines, P.O. Box 8, 2270 AA Voorburg, The Netherlands, e-mail: R.W.M.G.Wings@minez.nl

Abstract: Large-scale coal mining took place in the Netherlands between 1900 and 1975, when 600 million tonnes of coal was extracted from 12 mines. Coal extraction was primarily performed using longwall mining systems, with an average face length of 200 metres and an average opening of 1 metre. The extraction depth varied in the east from 0 to 500 metres and in the west from 400 to almost 1000 metres. The maximum land subsidence due to coal mining was over 10 metres and resulted in considerable damage.

Introduction

The Dutch coal-mining area is situated in the south of the country, in the province of Limburg. The South-Limburg coal deposits form part of the Upper Carboniferous. For an overview of the Limburg Coal District (Fig. 1). The mining area of Limburg is delimited to the east by the Worm valley and the coal region of Aachen and to the west by the coal basin of the Belgian Kempen. The Dutch coalfield has an elongated shape and measures roughly 7 by 30 km; it is situated on the north-eastern edge of a structural high and separated from the Central Graben by a system of faults along which the Carboniferous surface sank to considerable depths. The Upper Carboniferous strata yielding the coal belong to the Westphalian A, B and the lower part of C. In the eastern mining area, dry burning coal seams crop out at the surface. Their geological age is determined as Westphalian A and B. In the west, we find gas coal at a depth of between 400 metres and 1000 metres. This coal has a geological age of Westphalian B and C.

Geology

The geological conditions of the Limburg coal basin are unfavourable. The Carboniferous has a gradient of 1° on average in a south-east north-west direction. The overburden thickness amounts to 40 metres in the south-east and to about 400 metres in the north-west. The overburden mainly consists of non-consolidated sands and limestone and is highly water bearing in many places. The productive Upper Carboniferous comprises shale and sandstone deposits alternated by coal seams. The coal seams are not divided regularly in these deposits. The

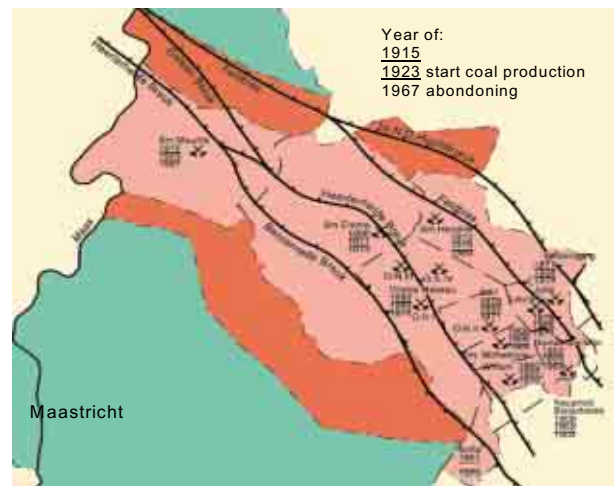


Fig. 1. South-Limburg Coal District, Tectonic Faults and Mining Licenses

mutual distances vary widely, but rarely are larger than 65 metres. The coal thickness of the excavated seams varies between 60 cm and 250 cm, with an average of 110 cm. The average dip of the seams is 8-10° with a maximum of 60°.

The mining area has two tectonic fault systems: one system of normal faults in a northwest-southeast direction, with vertical throws of several tens to many hundreds of metres, and perpendicular to that, an older system without vertical throws in the overburden.

Coal mining in Limburg

In southern Limburg the first mining activities started more than 500 years ago in the south-eastern part where the coal fields had been discovered close beneath the surface. In these shallow seams, which generally dip about 10° to 30° towards the southeast, the long pillar

mining system was applied. This resulted in an underground pattern of alternating galleries and pillars of a few hundred metres length, orientated parallel to the strike of the seam and interconnected locally by transverse galleries. These mine workings are considered to be still open. During the beginning of the 20th century there was a change over to longwall mining. In the course of time coal was mined down to depths of more than 800 metres. Pneumatic stowing of panels occurred when unacceptable damage at the surface was expected. The total coal production, of the 12 mines within the South-Limburg coalfields altogether, from the beginning of the 20th century till 1975 measured 600 million tonnes. The maximum annual production was 14 million tonnes of coal in 1933. Coal extraction was primarily performed using long wall mining systems, with an average length of face of 200 metres and an average opening of 1 metre. The extraction depth varied in the east from 0 to 500 metres and in the west from 400 to almost 1000 metres. The mining of coal brought about a range of ground movements. The longwall mining resulted in extensive subsidence, causing substantial damage to surface structures. The ground movement and mine damage sustained to the overlying constructions in one of the most densely populated regions of The Netherlands was im-

mense. The maximum land subsidence due to coal mining was over 10 metres (Fig. 2).

Subsidence and mine damage

Ground movement as a result of mining activities has two components:

- subsidence in the vertical direction,
- displacement in the horizontal plane.

The extent of a subsidence area is determined by the angle of draw, i.e. the angle between the horizontal line and the line from the edge of the excavated seam section to the edge of the trough. This angle is virtually constant for a given mining area. In the Limburg mining area this angle amounts to approximately 45°. The maximum subsidence occurs in the centre over the excavated seam section and was observed to be nearly equal to the seam thickness. Pneumatic stowing proved to reduce the surface subsidence with about 50%. The damage wreaked by mining, in the densely populated Limburg mining district, was immense. Most damage was the result of the dynamic character of the mining process, i.e. the daily advance of the coal face.

The direction of the displacement is generally towards the centre of the excavation zone. Over the centre of this excavation section the displacement is zero, while over the edge of

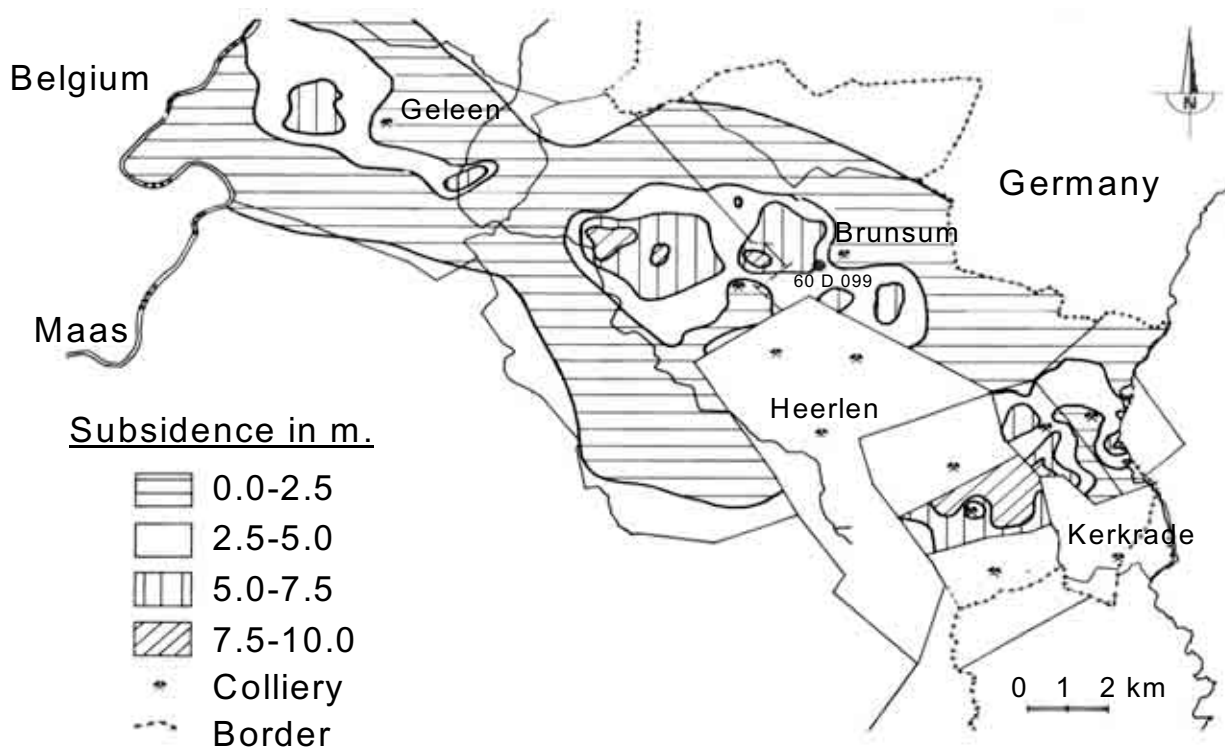


Fig. 2. Subsidence by Coal Mining in The Netherlands

this section it reaches a maximum and a transition from elongation (extension) to contraction (compression) takes place.

The costs of repair at the time the last mine was abandoned in 1974 amounted to 3 to 4 guilders per ton of coal extracted. Upon abandoning of the mines, an agreement was made with every home owner, which established the definitive compensation for repair of damage due to mining activities. This agreement also specified that 2 years after coal extraction, no further damage due to ground movement resulting from former mining activities could be expected.

Mine water rise and ground level uplift

In 1965, the Minister of Economic Affairs presented the Mining Act, which announced that all mines in Limburg would have to be abandoned within 10 years. The coal mines in South-Limburg were closed during the period of 1967 to 1974. The pumping of mine water ceased. During this period dams have been built into the galleries to protect the neighbouring, not yet closed mines in Limburg from water influx. In this way a few underground compartments (basins) were created with water overflows on different depths. As a result of this phased abandoning and for the protection of the producing mines in the Aachen area, the mining area had to be subdivided into compartments (Fig. 3).

To protect the neighbouring operating mines in Germany, the Beerenbosch pump shaft near Kerkrade was installed, which kept the mine water rising level at 220 m - NAP (National Ordnance Datum). This pump shaft was dismantled in 1994 when the German mines in the Aachen mine district closed. Since then, the mine water has also risen in that part of the coalfield. To monitor the mine water rise, water level monitoring stations were installed in four former mineshafts and, in addition, four observation wells were constructed over the mine area to monitor the water quality in the overlying limestone aquifer. The rising of these mine waters has gradually increased since then. Levelling work indicated that the rising water level in the mine was associated with minimal ground level uplift. Ground level uplift due to rising mine water has been known to occur for some time. Initially, the phenomenon was explained as a volume increase of inflating (by suction of water) rock layers in combination with buoyant forces due to the rise in mine water. Possible surface damage is also to be expected, on the one hand by caving as an effect of erosion of historical mineshaft fillings, and on the other hand by ground level uplift. Possible caving of shallow mineshafts of before the 19th century, can only occur on a narrow strip along the German border. Ground movements as a result of the mine water rise can only cause damage in places where geological faults are

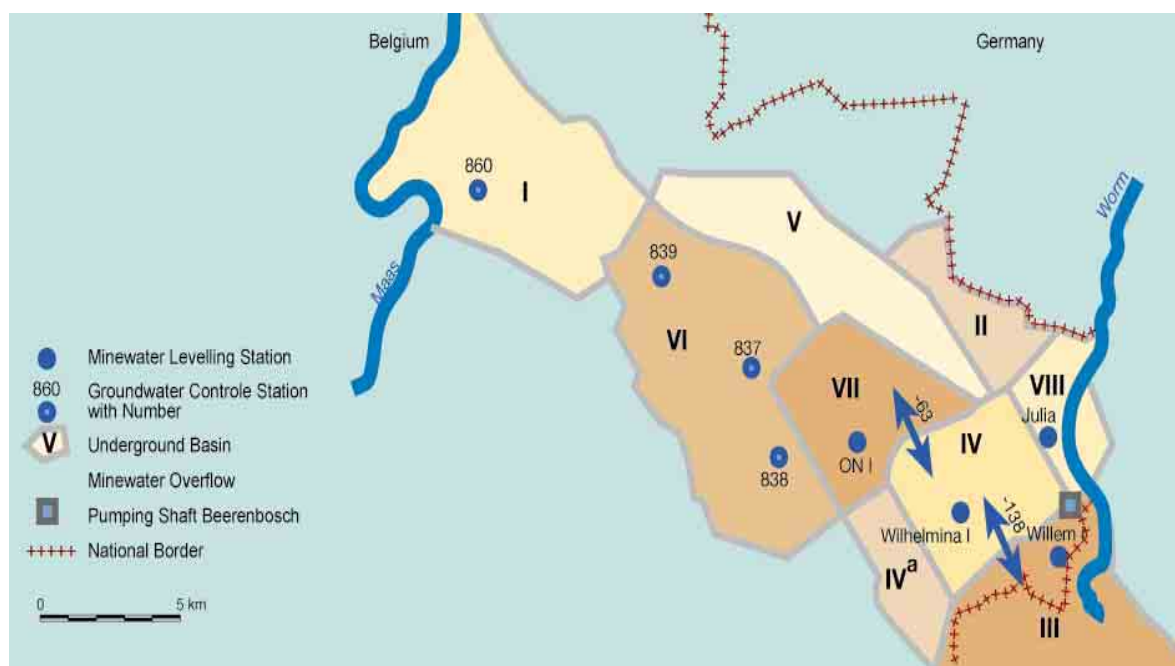


Fig. 3 Minewater Basins - Levelling Stations and Groundwater

manifested on surface and only then when uneven ground level uplift takes place on both sides of these faults. This means that on both sides of the faults the mining method must have been different.

Detailed levelling measurements have been carried out in the Aalbeek-Schinnen area. It turns out that the ground level uplift that occurred as a result of the rising mine water is roughly proportional to the land subsidence that occurred as a result of the extraction of coal. The measured ground level uplift since 1974 is ± 25 cm. The maximum ground level uplift amounts to 2 to 5% of the subsidence that occurred. The amount of the surface subsidence in the coal mining area of South-Limburg varies between 2.5 and 10 metres (Fig. 4). Currently, the water level in the eastern mining district is at about 10 m + NAP, about 140 metres below ground level. It continues to rise about 6 m per year. It is expected that the water table in the southeast will, at the most, increase up to the level of the river Worm. From subsidence research, it can be calculated that the level in the western mining district has increased up to 6 m - NAP. The average rate of mine water rise in recent years is currently 2 to 3 cm per day in the Limburg mining district. It will take another 15 to 20 years before the mine water has reached the

surface; the maximum ground level uplift will then be about 25 to 30 cm.

Conclusions

Land subsidence due to coal mining is a relatively rapid process. It occurs at a speed of often several centimetres per day. In contrast, the ground level uplift due to rising mine water proceeds at a rate of centimetres per year. This considerable difference in rate has a crucial impact on the severity of damage. It can therefore be concluded that the ground level uplift resulting from rising mine water in the Limburg mining area has not yet lead to new mine damage.

References

- Bekendam, R.F. and J.J.E. Pöttgens (1995): Ground movements over the coal mines of southern Limburg, The Netherlands, and their relation to rising mine waters. Proceedings of the Fifth International Symposium on Land Subsidence, The Hague, October 1995.
- TNO-NITG (1999): Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland. Kaartblad XV: Sittard-Maastricht, TNO-NITG, Utrecht.

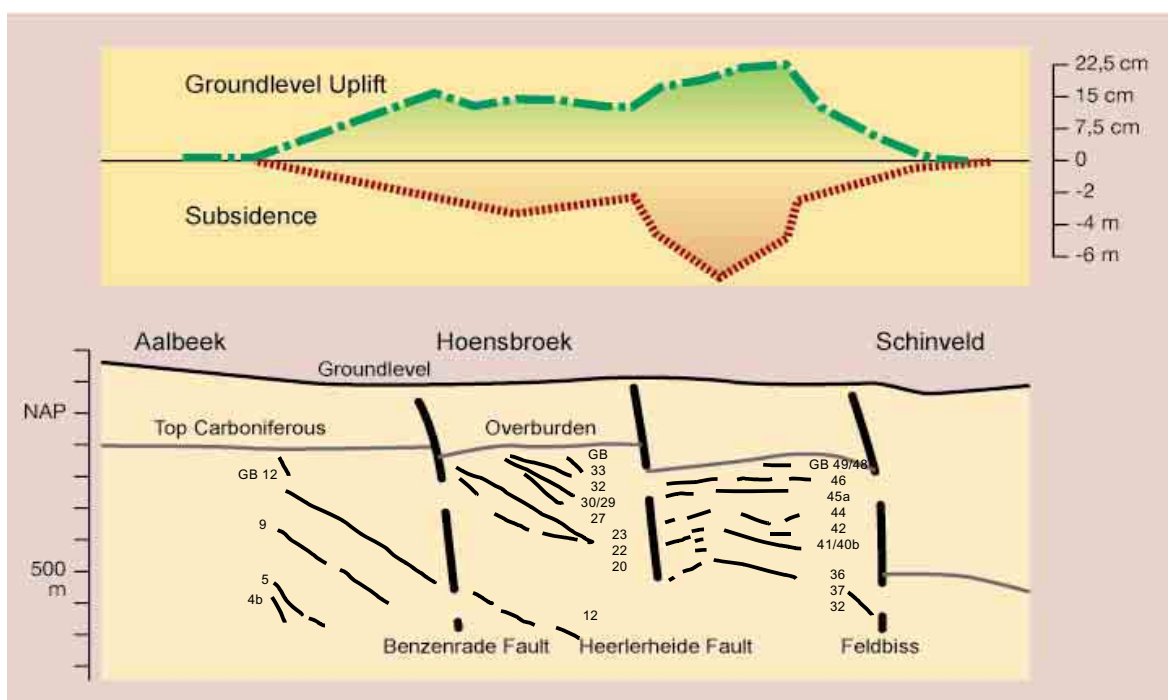


Fig. 4. Groundlevel Uplift versus Subsidence and related to Coal Geology. Volume 13 | No. 1 2006 | 9

Bodemdaling door aardgaswinning in het Waddenzeegebied

D. Doornhof & B. Verboom, NAM BV, Postbus 28000 9400 HH Assen

Inleiding

De Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. (NAM) is van plan aardgas te gaan winnen uit zes gasvelden waarvan er vijf geheel of gedeeltelijk onder de Waddenzee liggen en één ten dele in het Lauwersmeergebied. Deze velden zijn zo'n tien jaar geleden aangeboord vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Het streven is om in 2007 met de winning te beginnen. Voor zowel de voorbereidende werkzaamheden als voor de winning zelf zijn verschillende vergunningen nodig. Ter voorbereiding op de besluitvorming hierover is een milieueffect-rapportage uitgevoerd (NAM, 2006). Daarin is onder meer uitgebreid onderzocht wat de mogelijke effecten zijn van de bodemdaling die de gaswinning gaat veroorzaken in een deel van de Waddenzee en in het Lauwersmeergebied. In dit artikel wordt de bodemdalingmodellering die ten grondslag ligt aan de effectbeoordeling toegelicht. Ook wordt kort ingegaan op de monitoring van de bodemdaling door aardgaswinning

Bodemdaling door gaswinning

De winning van aardgas veroorzaakt in het algemeen een vermindering van de poriëndruk in de gasvoerende gesteentelaag. Daarbij wordt het gesteente langzaam iets samengedrukt onder het gewicht van de bovenliggende lagen. De mate van deze zogenaamde compactie hangt af van verschillende factoren zoals de materiaaleigenschappen van het reservoirgesteente, de grootte van de drukdaling en de dikte van het depleterende reservoir (Fig. 1). De mate waarin de compactie waarneembaar is als bodemdaling op maaiveldniveau is onder meer afhankelijk van de diepte en omvang van het depleterende gasveld en van de eigenschappen van de bovenliggende formaties. Bij een zeer groot gasveld als Groningen zal de bodemdaling boven het centrum van het veld vrijwel gelijk zijn aan de compactie op reservoir diepte. Bij kleinere velden, zoals de meeste velden in Friesland, zal de bodemdaling aan het aardoppervlak slechts een fractie van de compactie

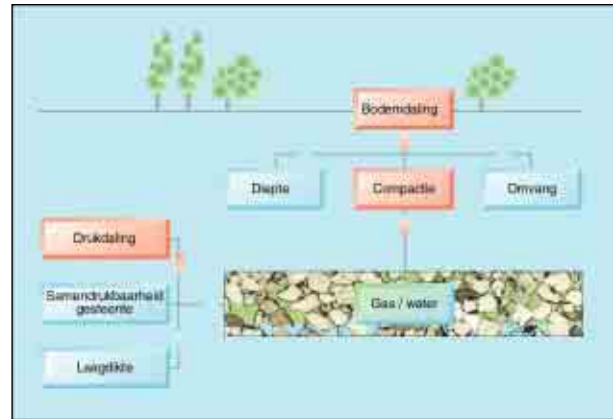


Fig. 1. Drukvaling in het reservoir resulteert in bodemdaling. Factoren van invloed op proces

van het reservoirgesteente bedragen. De bodemdalingsschotel van een veld beslaat een groter oppervlak dan het veld zelf. Indien gasvelden dicht bij elkaar liggen kunnen de afzonderlijke bodemdaling-schotels elkaar overlappen, wat zal leiden tot een grotere totale bodemdaling.

Bodemdalingmodel

Voor bodemdalingprognoses worden binnen de NAM in het algemeen semi-analytische modelberekeningen uitgevoerd, gebaseerd op het werk van Geertsma en Opstal (Geertsma, 1972; van Opstal, 1973). Daarnaast wordt ook een Eindige Elementen programma (Geomec) gebruikt voor velden zoals Ameland, waarvan het reservoir zeer heterogeen en de geologische structuur gecompliceerd is. Geomec is een door Shell en TNO ontwikkeld programma op basis van het eindige elementen-pakket DIANA (de Witte & Kikstra, 2005).

In 2000 zijn zowel met het semi-analytische als met het Eindige Elementen programma bodemdaling-berekeningen uitgevoerd voor het Groningenveld en zijn de resultaten vervolgens met elkaar vergeleken. Beide modellen bleken vergelijkbare resultaten te geven en de gemeten bodemdaling goed te kunnen volgen. In het semi-analytische model kan een groot aantal velden tegelijk in één berekening worden mee-

genomen, wat met het Eindige Elementen programma vanwege computertechnische beperkingen nog niet mogelijk is. Daarom zijn de bodemdaling-berekeningen voor de meeste velden in Noord-Nederland uitgevoerd met behulp van het semi-analytische programma. Hierbij worden alle bovenliggende lagen als één uniforme laag beschouwd, die elastisch deformeert. De Poisson ratio (in dit geval met waarde 0,25) is daarbij de enige gesteentemechanische parameter die van invloed is op de mate waarin compactie in bodemdaling wordt vertaald. Het Rigid Basement is een, op geologische gronden veronderstelde, niet deformerende onderlaag, welke in het geval van velden in Noord-Nederland zoals het Groningenveld, maar ook de betreffende Waddenzeevelden, op 5 km diepte wordt aangenomen. Calibratie van het model met de waterpasmetingen in de tijd tonen aan dat dit de optimale waarde voor de diepte van het Rigid Basement is.

Compactiemodel

Om een prognose van de te verwachten bodemdaling te maken moet een model voor het compactiegedrag aangenomen worden. Bepalende factoren voor het compactiegedrag zijn o.a. cementatie (mate waarin zandkorrels aan elkaar gekit zijn), porositeit en de microstructuur van het gesteente. Tot nu toe is er geen model beschikbaar dat een direct kwantitatief verband geeft tussen deze parameters en het compactiegedrag. Derhalve wordt gebruik gemaakt van een empirisch model, dat is afgeleid uit macroscopische waarnemingen, zoals veldmetingen en compactie experimenten in het laboratorium.

Tot voor kort werd voor de modellering van de compactie van de zandsteen van de Rotliegendes formatie, waaruit het gas in Noord-Nederland voornamelijk wordt geproduceerd, het compactiegedrag beschreven door een model waarbij de compactie zuiver lineair met de drukdaling verloopt. Uitgebreide inversiestudies, waarbij gebruik is gemaakt van de resultaten van bodemdalingmetingen over de gasvelden in Noord-Nederland, tonen echter aan dat het compactiegedrag nog beter kan worden beschreven wanneer wordt aangenomen dat er enige tijd overheen gaat voordat de compactiecoëfficiënt een constante eindwaarde bereikt. In het bodemdalingmodel, waar het compactiemodel onderdeel van is, wordt de compactie daarom als volgt beschreven. Initieel

verloopt de compactie lineair met drukdaling. Vanaf een bepaalde reservoirdruk, het transitiepunt (T_p), wordt een hogere, maar weer constante, compactie-coëfficiënt aangenomen. Zowel voor als na het transitiepunt wordt het compactiegedrag beschreven door:

$$\Delta H = C_m * H_0 * \Delta P$$

ΔH : Compactie (m)

C_m : Uniaxiale compactiecoëfficiënt (bar^{-1})

H_0 : Initiële reservoirdikte (m)

ΔP : Druk daling (bar)

Voor het beschrijven van het compactiegedrag van het reservoir moeten de volgende waarden worden bepaald:

$C_{m\text{pre}}$: Initiële compactiecoëfficiënt (bar^{-1})

$C_{m\text{post}}$: Uiteindelijke compactiecoëfficiënt (bar^{-1})

T_p : Transitiepunt (bar)

Gebaseerd op geologische modellen en reservoirsimulatie zijn bodemdalingprognoses opgesteld voor de velden Nes, Moddergat, Lauwersoog-C, -West en -Oost en Vierhuizen-Oost.

Zoals uit het bovenstaande blijkt is de compressibiliteit (C_m) van het reservoirgesteente een belangrijke parameter in de modellen voor bodemdaling. Deze parameter beschrijft de compactie van het reservoir als gevolg van de spanningsveranderingen die optreden door drukdaling in het poriën-systeem ten gevolge van de winning van het gas.

C_m kan op verschillende manieren worden bepaald:

Op reservoirgesteente uit velden waarvan het compactiegedrag nog niet goed bekend is, kunnen laboratorium-experimenten worden uitgevoerd. In het Shell-laboratorium in Rijswijk en bij Sintef Petroleum Research in Trondheim wordt in opdracht van de NAM al vele jaren experimenteel onderzoek verricht naar het compactiegedrag van reservoir-gesteente. Ook worden compactieproeven op kunstmatig gemaakt zandsteen uitgevoerd. Het hierboven beschreven bilineaire compactiegedrag volgt niet alleen uit metingen in het veld, maar is ook waargenomen in compactieexperimenten in het laboratorium op artificiële "Groningen" zandsteen. Compactieparameters die enkel en alleen gebaseerd zijn op laboratoriumexperimenten op kernmonsters vertonen voorsnog een aanzienlijke onzekerheid en verder wetenschappelijk onderzoek is gaande om de een

methode te ontwikkelen om deze onzekerheid te verkleinen (door bijv. de gemeten waarden te corrigeren voor de effecten van kernschade).

Boven velden waar al bodemdaling is gemeten, kunnen de parameters van het compactiemodel nauwkeuriger worden bepaald met behulp van inversie van de waterpasmetingen. Hierdoor kan de onzekerheid in de compactie coëfficiënt worden verkleind. Dergelijke inversies zijn voor een groot aantal gasvelden in Noord-Nederland uitgevoerd. Zoals verwacht vallen de door inversie bepaalde compactiecoëfficiënten van het gesteente binnen de range van waarden die door middel van experimenten op zandsteen-kernen uit de Rotliegendes Formatie in laboratoria zijn bepaald.

In-situ compactiemetingen in Groningen die in de diepe compactie-monitoringsputten in de Rotliegendes formatie zijn uitgevoerd, geven aan dat sinds 1983, toen metingen met Schlumberger's FSMT compactie tool zijn gestart, de compactie lineair verloopt met de drukdaling in het reservoir. De compactiecoëf-

ficiënten die uit deze in-situ metingen zijn afgeleid, komen overeen met de waarden die met behulp van inversie zijn bepaald. Verder geeft de inversie aan dat het transitiepunt (Tp) voor het Groningen gasreservoir al voor 1983 is opgetreden. De overeenkomst tussen het compactiegedrag bepaald met behulp van in-situ metingen en door middel van inversie voor het Groningenreservoir geeft vertrouwen in de door inversie bepaalde compactiecoëfficiënten. (Mobach & Gussinklo, 1994; NAM, 2005)

Vanwege geologische analogie is voor de Waddenzeevelden Lauwersoog en Vierhuizen hetzelfde compactiemodel gebruikt als voor het Munnekezijlveld. Dit veld is al sinds 1994 in productie en dientengevolge konden de compactieparameters door middel van inversie worden bepaald. Het compactiemodel is in dit geval vrijwel gelijk aan het voor het Groningenveld gebruikte model.

De geologische situering van de Waddenzeevelden Nes en Moddergat, gelegen aan de westzijde van de Hantumbreuk, is analoog aan die van het gasveld Anjum. Voor deze Wad-

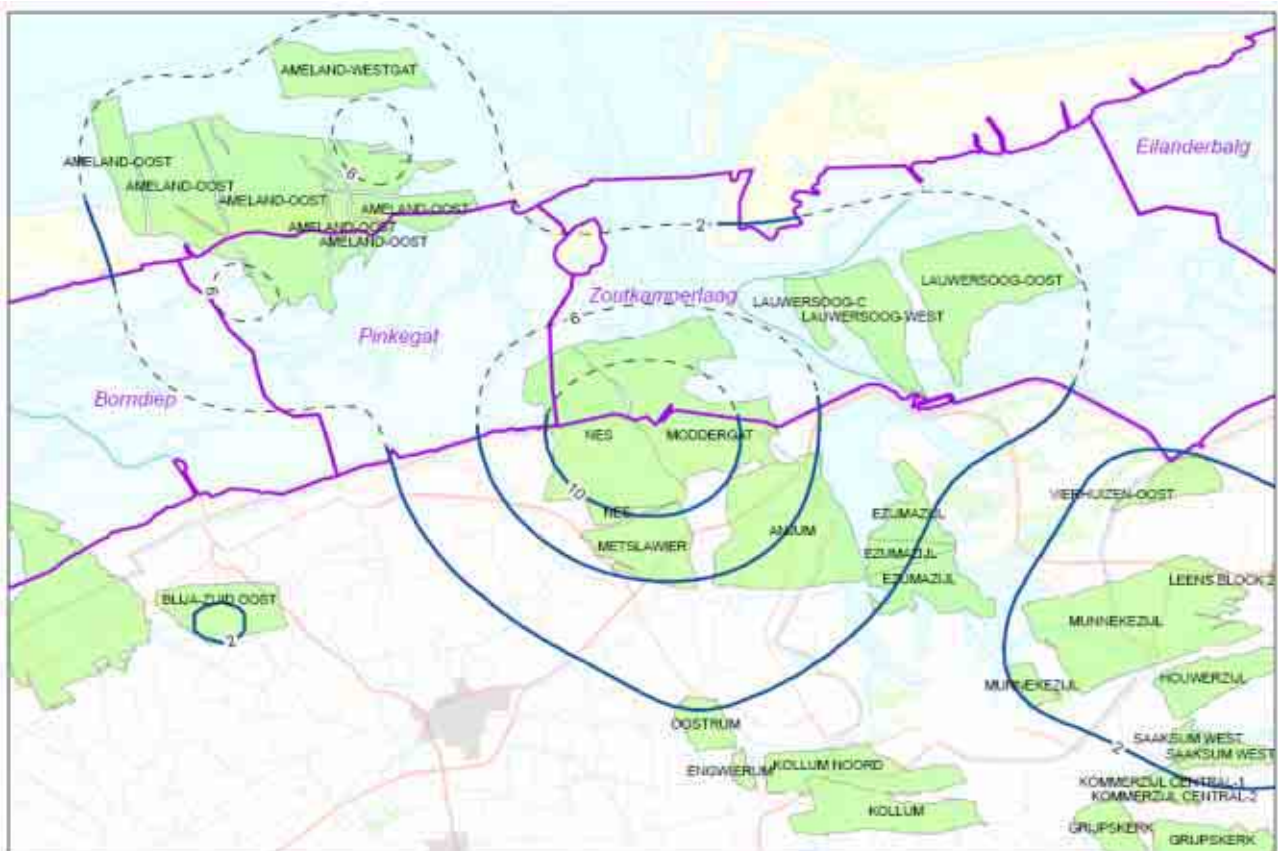


Fig. 2. Verwachte cumulatieve bodemdaling (in cm) vanaf 2007 (start productie vanaf de locatie Moddergat) tot 2040 ten gevolge van de gasproductie uit de nieuwe gasvelden in combinatie met naburige reeds producerende velden.

denzeevelden is daarom het compactiemodel van Anjum gebruikt, dat eveneens door middel van inversie is gekalibreerd aan de resultaten van waterpassingen die al voor de start van de productie in 1997 en vervolgens regelmatig over dit gebied zijn uitgevoerd.

Bodemdalingprognose Waddenzee

Modellering van de bodemdaling ten gevolge van de gaswinning uit de velden Nes, Moddergat, Lauwersoog-C, -West, -Oost en Vierhuizen-Oost is opgezet met bovenbeschreven methode. Hiermee zijn de bodemdalingcontouren in de tijd berekend, gebaseerd op het voorgenomen gasproductiescenario. Fig. 2 toont de totale bodemdaling (inclusief reeds ontwikkelde omliggende velden) die te verwachten is tussen start van de productie van de nieuwe velden in 2007 en de beëindiging van de winning uit de betreffende velden in 2040.

In tegenstelling tot de op land geldende criteria voor bodemdaling (mogelijke effecten op de waterhuishouding), is voor de Waddenzee niet zozeer de uiteindelijk bodemdaling van belang, maar is de bodemdaling-snelheid de belangrijkste parameter. Wanneer de bodemdalingssnelheid beneden een bepaalde zogenaamde na-

tuurgrens blijft, zullen de effecten van de bodemdaling in de Waddenzee namelijk worden gecompenseerd door natuurlijke sedimentatie. Wanneer rekening wordt gehouden met autonome bodemdaling en zeespiegelstijging blijft er een gebruiksruimte over voor bodemdaling door gaswinning. Zaak is dat het productieprofiel van de nieuwe velden zodanig wordt gekozen dat de resulterende bodemdalingssnelheid, zoals geprognosticeerd met het hierboven beschreven bodemdalingmodel, deze gebruiksruimte niet zal overschrijden. Fig. 3 toont de bodemdalingssnelheid in het kombergingsgebied Zoutkamperlaag veroorzaakt door de voorgenomen productie van de reeds producerende velden en de nieuwe velden. Zowel voor de toekomstige zeespiegelstijging als voor de natuurgrens worden verschillende scenario's gehanteerd. In de betreffende figuur zijn twee scenario's voor de natuurgrens aangegeven. Voor het bepalen van het uiteindelijke productie-scenario is met de meest conservatieve natuurgrens (Scenario 2) rekening gehouden. Ook voor de zeespiegelstijging is rekening gehouden met het meest conservatieve scenario, te weten 85 cm/eeuw (vanaf 2010).

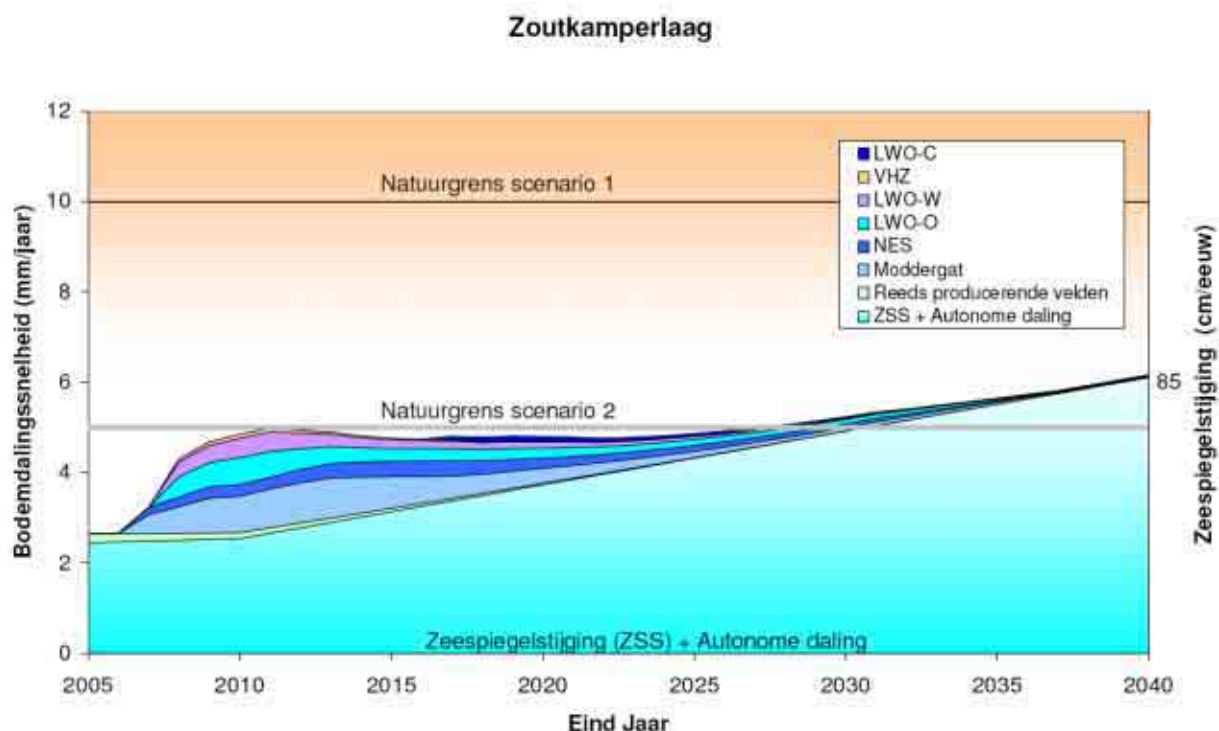


Fig. 3. Zesjaarlijks voortschrijdend gemiddelde van de bodemdalingssnelheid in het kombergingsgebied Zoutkamperlaag (mm/jaar) bij toepassing van het meest conservatieve zeespiegelstijgingsscenario (85 cm/eeuw).

Om te borgen dat de bodemdalingsnelheid veroorzaakt door gaswinning de natuurgrenzen niet zal overschrijden, zal het zogenaamde “hand-aan-de-kraan” principe worden toegepast. Modelberekeningen hebben aangetoond, dat gasproductie volgens het voorgenomen (aangepaste) productieprofiel zal leiden tot een verloop van de bodemdalingsnelheid dat past binnen de gebruiks-ruimte voor gaswinning zoals aangegeven door het bevoegde gezag. Omdat er aan de model-resultaten, zoals bij elk model, onzekerheden verbonden zijn, wordt voorzien in regelmatige metingen van de bodemdalingsnelheid, zodat bij dreigende overschrijding op basis van een geactualiseerde bodemdalinganalyse tijdig kan worden ingegrepen door middel van tempering van de productie.

Meetmethode bodemdaling

Om de door gaswinning veroorzaakte bodemdaling te kunnen bepalen zullen de hoogteverschillen tussen de in het gebied aanwezige meetpunten van het NAP netwerk regelmatig worden gemeten. In gebieden waar de punt-dichtheid van het historische NAP-netwerk onvoldoende is, zullen extra meetpunten worden bijgeplaatst. Dit laatste is met name het geval op het Wad en in het Lauwersmeergebied.

Een betrouwbare en nauwkeurige meetmethode voor het vaststellen van hoogteverschillen, zowel op land als op het wad is de optische waterpassing. Gezien de snelle ontwikkeling van de GPS-techniek, kunnen deze optische waterpassing wellicht worden vervangen door GPS-hoogtemeting indien de nauwkeurigheid daarvan acceptabel is. Onderzoek hiernaar is gaande.

Het “hand-aan-de-kraanprincipe” vereist een adequate respons op eventueel geconstateerde afwijkingen tussen meting en prognose. Daarom zal de bodemdaling ook met behulp van continue GPS-trendmeting en/of hoogfrequente waterpassingen nauwkeurig worden gevolgd, met name in de komcentra waar de grootste daling wordt verwacht.

Een groot deel van de bodemdaling komt ligt op land. Omdat het versturende effect van waterpasmetingen op land zeer gering is en de metingen tot 20 keer sneller uitgevoerd kunnen worden dan op het wad, zal bij geconstateerde trendafwijkingen de nadruk aanvankelijk liggen

op het volgen van het bodemdalinggedrag over een aantal kritische landtracés. Afhankelijk van de resultaten van deze metingen kunnen verdere verichting van het landnetwerk en extra metingen op het wad noodzakelijk blijken.

Referenties

Geerstma J., 1972, Land subsidence above compacting oil and gas reservoirs. SPE, nr 3730 Mobach, E., & H.J. Gussinklo, 1994, In-situ reservoir compaction monitoring in the Groningen field. Paper SPE/ISRM 28094. Proc. Eurock '94, Delft, 535-547.

NAM, 2005, Bodemdaling door Aardgaswinning NAM-velden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe; Status rapport 2005 en Prognose tot het jaar 2050; december 2005; Rap. nr. EP200512202238.

NAM, 2006, Milieueffectrapportage Aardgaswinning Waddenzeegebied vanaf locaties Moddergat, Lauweroog en Vierhuizen; januari 2006.

Opstal, van, G.H.C., 1973, The effect of base-rock rigidity on subsidence due to reservoir compaction; Proc. 3rd Congr. Of the ISRM, Denver, CO, USA; Ed. Nat. Acad. of Sciences, Washington D.C., Part B.

Witte, de, F.C. & Kikstra W.P., 2005, DIANA finite element analysis. User's manual release 9; TNO DIANA bv

Ontwerpmethodiek voor het beheersen van schade bij het bouwen in binnenstedelijke omgeving

ir. J.K. Haasnoot, Dipl.-Ing H.D. Netzel, prof. dr. ir. A.E.C. van der Stoel

CRUX Engineering BV, Asterweg 20 L1, 1031 HN Amsterdam, Nederland, tel: +31 (0)20 494.3070,

fax: +31 (0)20 494.3071, Email: Haasnoot@cruxbv.nl, www.cruxbv.nl

1. Inleiding

Ruimte is in het volgebouwde Nederland een kostbaar goed. Steeds vaker worden bouwprojecten ingepast of saneringen uitgevoerd in een complexe binnenstedelijke omgeving, waarbij het risico bestaat voor beïnvloeding van schadegevoelige objecten zoals bijvoorbeeld gebouwen, leidingen, tram- of spoorrails, kademuren en parkeergarages. Bouwwerkzaamheden kunnen grondwaterstandsveranderingen, grondvervormingen en/of trillingen veroorzaken. De negatieve gevolgen van deze omgevingsinvloeden kunnen zowel maatschappelijk (geen acceptatie van het project) als financieel (vertraging, budgetoverschrijding, schadeclaims...) een grote rol in het project spelen.

Omgevingsbeïnvloeding vormt bij binnenstedelijke bouwprojecten een belangrijke ontwerpvoorwaarde en maakt in combinatie met bewaking door middel van monitoring tijdens de uitvoering een belangrijk deel uit van de *risicobeheersing* van projecten.

Dit artikel bespreekt de ontwerpmethodiek die binnen CRUX Engineering wordt gehanteerd voor het beheersen van schade bij het bouwen in binnenstedelijke omgeving.

2. Beïnvloeding

De mogelijke omgevingsinvloeden waar bij bouwen rekening mee dient te worden gehouden zijn gegeven in tabel 1. Voorbeelden van belendende objecten zijn:

- gebouwen;
- kabels en leidingen;
- viaducten en bruggen;
- spoorinfrastructuur;
- weginfrastructuur;
- kademuren / oevers;
- parkeergarages;
- bestaande tunnels.

Zettingen	Trillingen
<ul style="list-style-type: none"> • in- en/of uittrillen van damwanden; • installatie van diepwanden; • bemalingswerkzaamheden; • vervorming van de grond- en/of waterkerende bouwputwand tijdens de ontgraving; • ophogingen voor de aanleg van wegen; • aanleg van een boortunnel, gestuurde boring en overige sleufloze technieken. 	<ul style="list-style-type: none"> • heien van funderingspalen; • intrillen en/of uittrillen van damwanden; • passage van bouwverkeer; • rail- en wegverkeer in de exploitatiefase; • sloopwerkzaamheden.

Tabel 1: mogelijke omgevingsinvloeden

De ontwerpmethodiek gaat uit van kwantitatieve schadepredicties om de gevolgen van bouwwerkzaamheden op de belendende constructies rekenkundig in beeld te brengen. Op basis van de schadepredicties worden het ontwerp, de keuzes voor de bouwmethododes en de mogelijke preventieve mitigerende maatregelen afgestemd op de omgeving. Dit biedt een duidelijke meerwaarde boven de gangbare, uitsluitend kwalitatieve schadepredicties. Dit artikel zal nader ingaan op de kwantitatieve schadepredicties van gebouwen als gevolg van grondvervormingen.

3. Schadepredictie belendingen

Bij het uitvoeren van een schadepredictie voor belendingen als gevolg van grondvervormingen kan onderscheid worden gemaakt in twee onderdelen:

- Kwantificeren van de bronnen van vervormingen
- Toetsen van de vervormingen

kwantificeren van de vervormingsbronnen

Bij het uitvoeren van een schadepredictie is het van belang dat alle mogelijke vervormingsbronnen bij een project geïdentificeerd worden. Bij

het uitvoeren van een bouwkuip uitgevoerd met damwanden zijn tijdens de bouw de volgende bronnen van verplaatsing relevant:

- het inbrengen van de damwand
- het verplaatsen van de damwand als gevolg van het ontgraven van de bouwkuip
- het eventueel verwijderen van de damwand

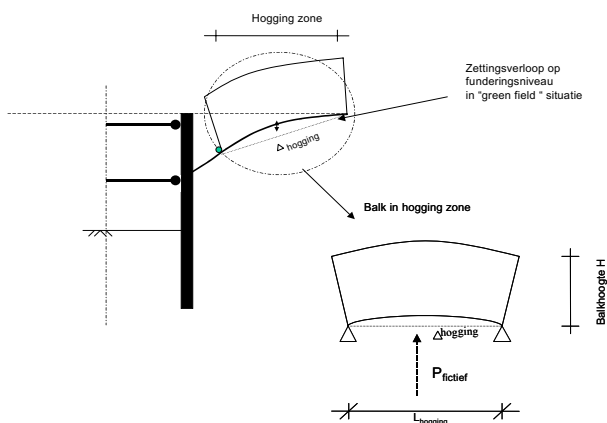
Daarnaast zijn additionele verplaatsingen mogelijk als gevolg van waterstandsveranderingen, verandering van korrelspanning rond paalpunten, etc.

De mate van verplaatsing kan met behulp van analytische en/of eindige elementen berekeningen worden bepaald. Het is daarbij van belang om zowel de verticale als horizontale verplaatsingen te kwantificeren.

Toetsen van de vervormingen

Voor het toetsen van de vervormingen worden alle mogelijk bronnen gesuperponeerd. De toetsing ter bepaling van schade aan belendende panden wordt uitgevoerd met behulp van de empirisch, analytische “Methode der grensrekken”. Het principe van deze methodiek is het bepalen van geometrische schadeparameters (“angular distortion” (relatieve hoekverdraaiing), “deflection ratio” (relatieve doorbuiging) en horizontale rek uit de greenfield grondvervormingen ter plaatse van het gebouw. Het gebouw (geschematiseerd als een balk) wordt gesplitst in een opbuigingszone (hogging) en een doorbuigingszone (sagging), zie Figuur 1.

Vervolgens wordt verondersteld dat de “greenfield grondvervormingen” (horizontale en verticale grondvervormingen zonder het in rekening brengen van de interactie gebouw –



Figuur 1 Schematisering methode der grensrekken voor verticale verschuivingen

grond) volledig aan het gebouw worden overgedragen. In de als balk geschematiseerde constructie worden met behulp van mechanische formules conform de elasticiteitsleer lineair-elastische rekken berekend. Om met een grote bandbreedte van in de praktijk voorkomende L/H (lengte/hoogte)-verhoudingen van constructie-elementen rekening te houden, wordt daarbij in de balkformules met afschuifvervormingen rekening gehouden (Figuur 2). De berekende rekken worden vervolgens gerelateerd aan empirisch afgeleide observaties tussen rekken en optredende schade. Verschillende mate van scheurvorming zijn met het oog op de mogelijkheid van schadereparatie (scheurreparatie) gerelateerd aan een schade classificatiesysteem van het Building Research Establishment (BRE), zie Tabel 2.

De perceptie van schade is subjectief en duidelijk cultuurgebonden. Vaak worden ook binnen een project verschillende acceptabele niveaus gedefinieerd, bijvoorbeeld afhankelijk zijn van:

- Functie/status (monumentaal pand)
- Constructietype (metselwerk, betonconstructie, slanke hoge gebouwen)

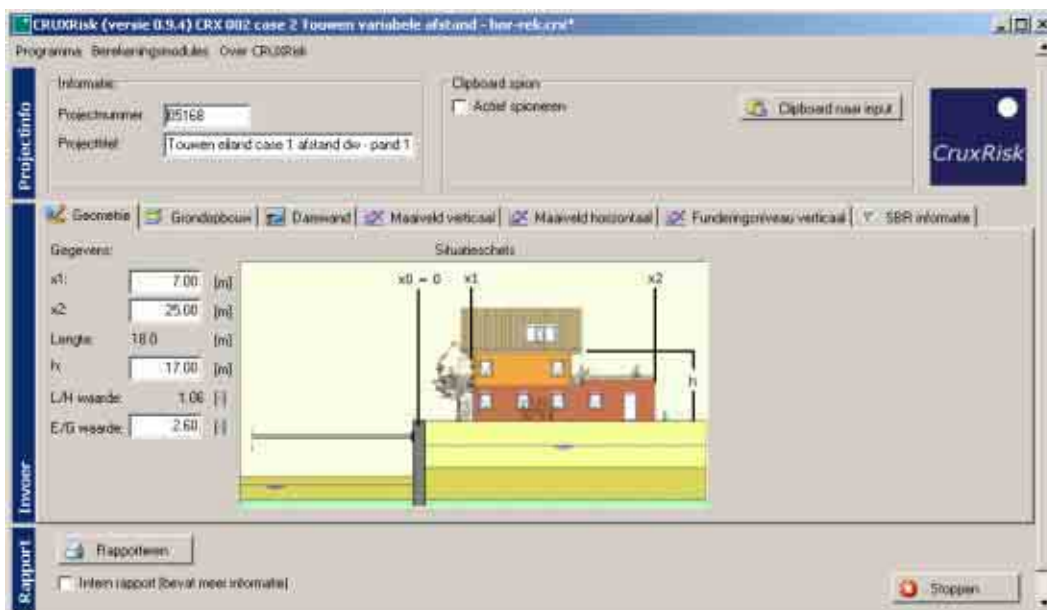
Voor de overdracht van grondvervormingen wordt onderscheid gemaakt tussen op palen gefundeerde (kleef- en of stuitpalen) en op staal gefundeerde gebouwen middels empirisch afgeleide bandbreedten conform SBR-rapport “Leidraad voor het onderzoek naar de invloed van een grondwaterstanddaling op de bebouwing”. De conditie van de panden bepaalt mede de schadegevoeligheid en dient in de risicoanalyses te worden meegenomen. Door een aantal conservatieve berekeningsaannamen wordt rekenkundig middels de methode der grensrekken een bovengrens van de te verwachten schade bepaald. Om deze redenen wordt in de ontwerp praktijk van binnenstedelijke bouwprojecten als acceptabele grens de klasse “zeer lichte” tot “lichte” esthetische schade aangehouden.

4. Projecten

De in het voorgaande beschreven ontwerpmethodiek is reeds veelvuldig toegepast in grote en kleine projecten. In de onderstaande paragrafen zijn enkele voorbeelden gegeven.

Renovatie Rijksmuseum, Amsterdam

De renovatieplannen van het Rijksmuseum voorzien in de aanleg van bouwputten ten bate van een gedeeltelijke onderkeldering binnen en



Figuur 2: Print-screen van de schadepredictie software tool

Schadecategorie	schadeklasse	Beschrijving karakteristieke schadebeelden en herstelwerkzaamheden	Indicatie voor scheurwijdten (mm)
Esthetische, architectonische schade	Verwaarloosbaar	Haarscheurtjes ter wijde van max. 0,1mm	Tot 0,1mm
	Zeer licht	Fijne scheuren ter wijde van max. 1mm,	Tot 1mm
	Licht	Scheurwijdten ter wijde van max. 5mm en mogelijk licht vervormde raam-en deurkozijnen; scheurreparatie	Tot 5mm
Functionele Schade	Matig	Scheuren ter wijde van max. 15mm. Vervorming van raam-en deurkozijnen; lekkages; gescheurde leidingen; intensieve scheurreparatie en vervanging metselwerk	5 tot 15mm of een aantal scheuren > 3mm
	Ernstig	Scheuren ter wijde van max. 25mm, sterk vervormde raam-en deurkozijnen, merkbaar hellende vloeren (>1:100), muren bol of uit het lood, enkele balken verliezen aan opleg lengte, afgebroken leidingen; intensieve reparatiekosten; herstel van helling.	15 to 25, maar ook afhankelijk van het aantal scheuren
Constructieve Schade (Stabiliteitsproblemen)	Zeer ernstige schade	Scheuren ter wijde van min. 25mm; balken verliezen oplegging; muren zwaar uit het lood en moeten worden gesluit; gebroken ramen, gevaar van instabiliteit, ingrijpende renovatie/ herbouwwerkzaamheden	> 25mm, maar ook afhankelijk van het aantal scheuren
Opmerkingen: 1. Er bestaat geen eenvoudige relatie tussen functionele en visuele schade 2. Scheurwijdte dient alleen als indicator te worden gebruikt, niet als absolute maat voor schade			

Tabel 2: Beschrijving van de schade classificatie

naast het bestaande gebouw. Door CRUX is, in opdracht van Arcadis, een rekenkundige beschouwing uitgevoerd van de te verwachten invloed van de ontgravingen op het monumentale gebouw (Figuur 3). In combinatie met een door Wareco opgezet en uitgevoerd uitgebreid funderings/casco-onderzoek van de bestaande paalfundering van het Rijksmuseum, zijn de zettingsrisico's kwantitatief voorspeld en maatregelen in het ontwerp van de bouwputten in

beeld gebracht. Op basis van deze kwantitatieve omgevingsbeïnvloedingsanalyse kunnen, in combinatie met monitoring, de werkzaamheden aan het Rijksmuseum verantwoord worden uitgevoerd en bewaakt.

Naar aanleiding van de risicoanalyse is vervolgens een monitoringsplan nader gespecificeerd, waarin niet alleen staat aangegeven waar en wanneer moet worden gemeten, maar ook hoe en wanneer de interpretatie en de terugkoppe-

ling van de metingen naar de uitvoering dient plaats vinden. Dit laatste aspect, het opstellen van een actie- cq. maatregelenplan, is voor een pro-actieve beheersing van het bouwproces onontbeerlijk.

Bodemsanering Oostergasfabriek, Amsterdam

Ter plaatse van het voormalige Oostergasfabriekterrein te Amsterdam vindt in opdracht van het Projectbureau Bodem Amsterdam een grootschalige bodemsanering plaats. In dit kader zijn schadepredicties aan de belendende panden uitgevoerd op het gebied van zettingen en trillingen die optreden bij de realisatie van de bouwputten voor dit werk. Dit heeft geresulteerd in een aantal aanbevelingen met betrekking tot het ontwerp en de uitvoeringsmethodiek. Daarnaast is een monitoringsplan opgesteld en is geadviseerd met betrekking tot de monitoringsbewaking van de bouwwerkzaamheden gedurende de ontgraving van de bouwputten (Figuur 4). Recente metingen tonen aan dat de voorspelde vervormingen uitstekend overeenkomen met de gemeten waarden, zodat het bouwproces geen onnodige vertragingen ondervindt.

Amersfoort Brouwershof

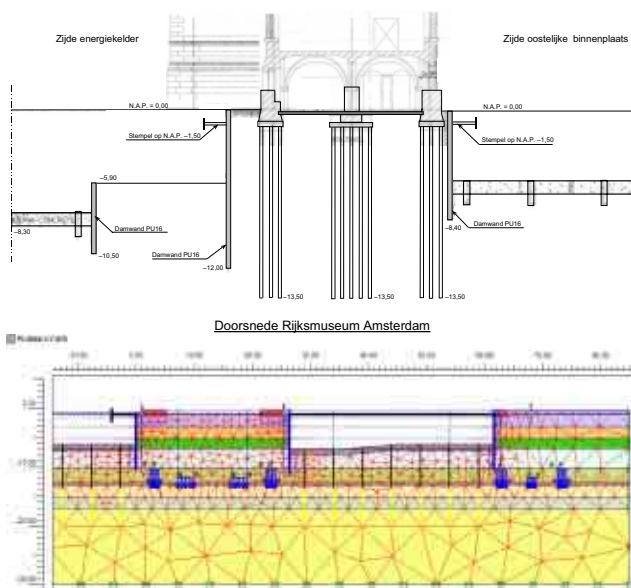
In Amersfoort zijn zettingen aan een op staal gefundeerd, belendend kantoorgebouw ontstaan als gevolg van naast dit gebouw uitgevoerde bouwwerkzaamheden. Deze werkzaamheden bestonden uit het realiseren van een bouwput ten bate van een kelderconstructie

van nieuw te realiseren hoogbouw. Door CRUX is de oorzaak van de schade onderzocht. Met behulp van eindige elementen berekeningen is aangetoond dat een verdere ontgraving van de bouwput zonder maatregelen niet haalbaar was (Figuur 5). De effectiviteit van diverse maatregelen is vervolgens onderzocht, hetgeen heeft geleid tot een ontwerpaanpassing voor wat betreft het vervolg van de uitvoering. Tevens is een monitoringsplan opgesteld voor de verdere bewaking tijdens de uitvoering.

De werkzaamheden aan de nieuwbouw zijn inmiddels succesvol en binnen de vooraf voorspelde vervormingsgrenswaarden uitgevoerd.

Grote en kleine (!) projecten

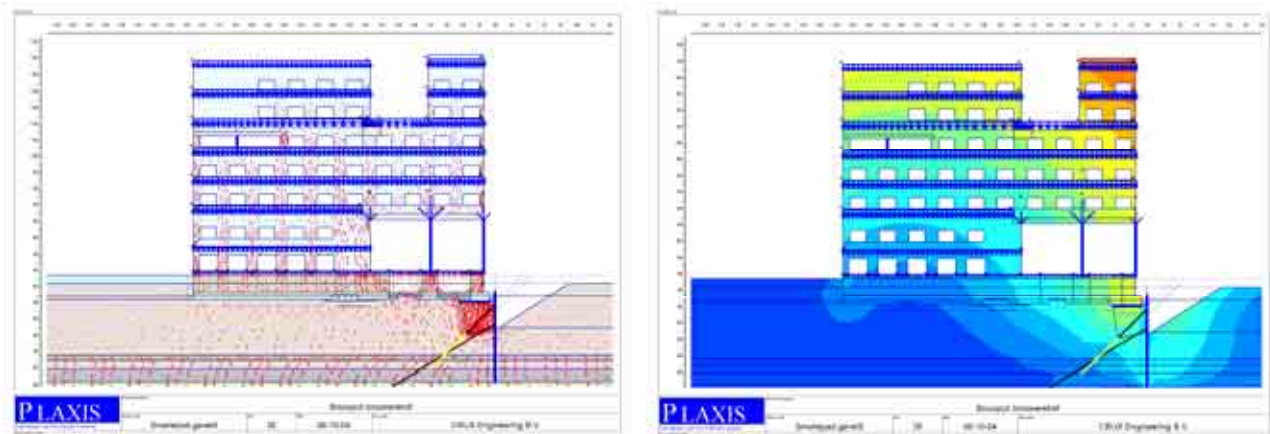
Onterecht wordt vaak gedacht dat alleen bij grote projecten, zoals de bovenstaande, een analyse van de omgevingsbeïnvloeding noodzakelijk is. De dagelijkse praktijk wijst echter uit dat juist bij relatief kleinere projecten, zoals de aanleg van rioleringen, gestuurde boringen, bergbezinkbassins en gemalen in stedelijk gebied, de risico's ten aanzien van zettingen, trillingen en grondwaterstandverlagingen aanzienlijk zijn en in het ontwerp nogal eens worden onderschat. Juist bij dit soort projecten is een inspanning ten aanzien van omgevingsbeïnvloeding in het ontwerp stadium noodzakelijk, om later niet met onverwachte kosten of, erger nog, vertragingen/schade te worden geconfronteerd.



Figuur 3 Vervormingsberekeningen Rijksmuseum



Figuur 4 Sanering Oostergasfabriek



Figuur 5: berekeningsresultaten Brouwershof Amersfoort

5. Monitoring en Maatregelen

Naast het uitvoeren van schadepredicties in de ontwerpfase van een project is het belangrijk om ook tijdens de uitvoering de risico's actief te beheersen. Proactief risicomanagement van omgevingsbeïnvloeding vereist dat de risico's die ontstaan in alle projectstadia kunnen worden benoemd, gekwantificeerd en door middel van monitoring actief kunnen worden beheerst. Op tijd meten is op tijd weten is het adagium, waarmee wordt bereikt dat het bouwproces, indien noodzakelijk, op tijd kan worden bijgestuurd.

Monitoring tijdens de uitvoering is daarbij een belangrijk hulp middel. De doelstelling van het monitoren tijdens de uitvoering is het beschikbaar hebben van meetdata in verschillende stadia van de uitvoering met betrekking tot de ontwikkeling van mogelijke vervormingen, trillingen en veranderingen van de grondwaterstanden. De gemeten waarden worden tijdens de uitvoering met de in een monitoringsplan opgestelde alarm- en grenswaarden vergeleken. Bij overschrijding van alarm- en grenswaarden dienen vooraf gedefinieerde beheersmaatregelen te worden uitgevoerd om schade aan belendende gebouwen te voorkomen.

CRUX Engineering BV

Deskundig advies op het gebied van geotechniek en omgevingsbeïnvloeding

CRUX

Rijksmuseum - Amsterdam

- Grondmechanica
- Funderingstechniek
- Grouting
- Schadeanalyse
- Omgevingsbeïnvloeding
- Monitoring

✉ Asterweg 20 1.1 1031 HN Amsterdam
☎ 020 494 30 70
☎ 020 494 30 71
🌐 www.cruxbv.nl
✉ info@cruxbv.nl

De nieuwe bodemdalingkaart

van black box naar vraaggestuurd product

Ger de Lange, Serge van Gessel en Jeroen Schokker

TNO Bouw en Ondergrond, Postbus 80015, 3508 TA Utrecht, The Netherlands, e-mail: ger.delange@tno.nl

Samenvatting Bodemdaling wordt al enige decennia als een probleem herkend dat tot diverse ongewenste gevolgen kan leiden, wanneer plaats en omvang niet onderkend worden. Er is dan ook al lange tijd behoefte om bodemdaling in kaart te brengen. De door het RWS-RIZA samengestelde kaart van de verwachte bodemdaling tot 2050 wordt veel gebruikt in bodemdalingvraagstukken. Omdat deze kaart gebaseerd is op grove aannames is het gebruik voor actuele bodemdalingvraagstukken onverantwoord. Door gebruik te maken van de nieuwste karteringstechnieken is het nu mogelijk op een gedetailleerde schaal bodemdalingprognoses te maken. In dit artikel wordt uiteengezet hoe maaiveld-daling ten gevolge van waterbeheersmaatregelen in kaart gebracht wordt.

Trefwoorden maaiveld-daling, ondergrondmodel, kartering

Inleiding

Bodemdaling is een ruim begrip. Bovendien is het een relatief begrip. De beweging van het landoppervlak (het maaiveld, de zeebodem) kan bijvoorbeeld weergegeven worden in relatie tot het zeeniveau, tot het NAP of tot een lokaal peil. Het beschouwde probleem (kustverdediging, peilbesluiten e.d.) bepaalt feitelijk het referentieniveau. Bovendien is de uiteindelijke daling van het maaiveld een optelsom van een aantal processen, van diep tot ondiep en van natuurlijk tot door de mens geïnduceerd. Dit alles maakt dat men zich bij het in kaart brengen van bodemdaling goed moet realiseren wat eigenlijk in beeld gebracht moet worden, waarvoor en hoe. Tot op heden zijn op landelijke schaal slechts enkele weergaven van bodemdaling gepubliceerd. De eerste poging om tot een begrip van de bodembeweging te komen werd ingegeven door de resultaten van de Vierde Nauwkeurigheid Waterpassing, ten behoeve van het NAP-netwerk. (Lorenz et al., 1991). In het verlengde hiervan is getracht de verschillende contribuanten van de bodemdaling te kwantificeren. Een duidelijke conclusie uit dit onderzoek was dat de natuurlijke, diepere bodemdaling (en –stijging) weliswaar een grote marge van onnauwkeurigheid heeft, maar dat deze relatief klein is vergeleken met de geïnduceerde en ondiepe processen. In de voorbereiding tot de Vierde Nota Waterhuishouding (NW4) is getracht om de ernst van de

bodemdaling in kaart te brengen. Hiervoor is in 1997 door het RWS-RIZA uit gegevens, aangeleverd door de toenmalige Meetkundige Dienst, de Rijks Geologische Dienst en de Stichting Bodemkartering, een voorspelling gedaan van de totale maaiveld-daling tot het jaar 2050 (Fig. 1).

In de kaart zijn alle tot dan toe bekende processen bij elkaar opgeteld. Hierbij zijn in veel gevallen vuistregels gebruikt en is bijvoorbeeld geen rekening gehouden met de invloed van verschillende waterbeheersscenario's. Voor NW4 was dit voldoende, de kaart geeft grootschalig aan waar in de komende 50 jaar de aandachtsgebieden liggen. Het is dan ook niet verwonderlijk dat met deze kaart de werkelijke bodemdalinggevoeligheid niet te kwantificeren is. Bovendien is het uit het oogpunt van beleid en beheer wenselijk om inzicht te krijgen in de verschillende contribuanten van de maaiveld-daling en de mate waarin deze te beïnvloeden zijn. De belangrijkste huidige contribuanten van de maaiveld-daling zijn grondwaterstandveranderingen (in Nederland afhankelijk van het gevoerde waterbeheer), olie- en gaswinning en zoutwinning (Fig. 2). Zettingen ten gevolge van lokaal aangebrachte bovenbelastingen worden hierbij buiten beschouwing gelaten. In dit artikel wordt beschreven hoe de voorspelling van bodemdaling ten gevolge van waterbeheer momenteel wordt aangepakt.

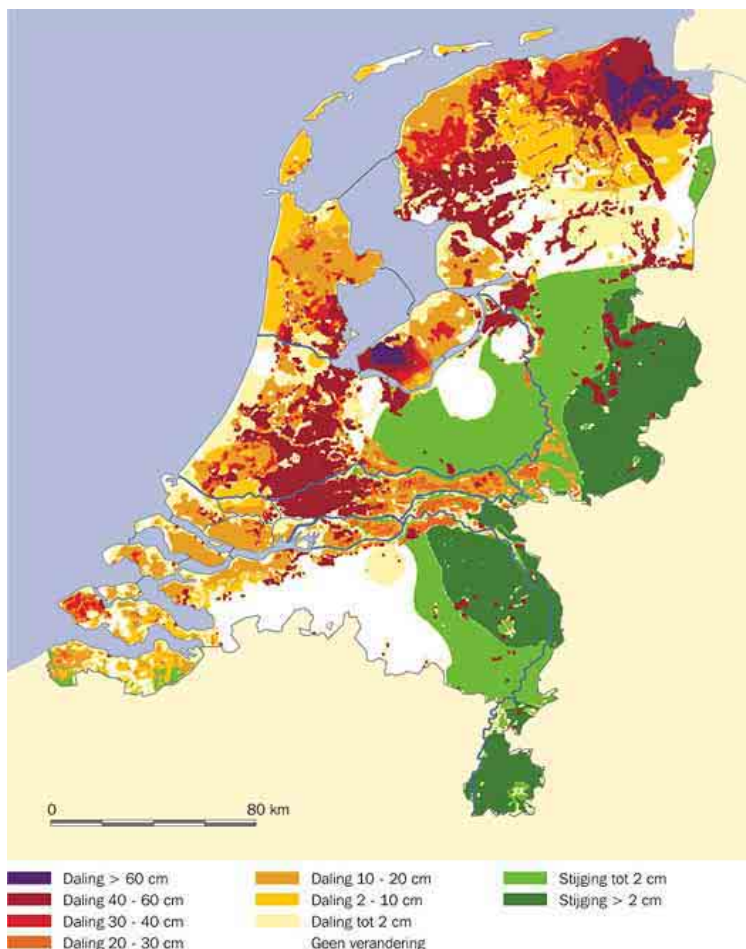


Fig. 1 Verwachte maaiveldaling in 2050 (na 55 jaar) in NW4. Bron: RWS-RIZA.

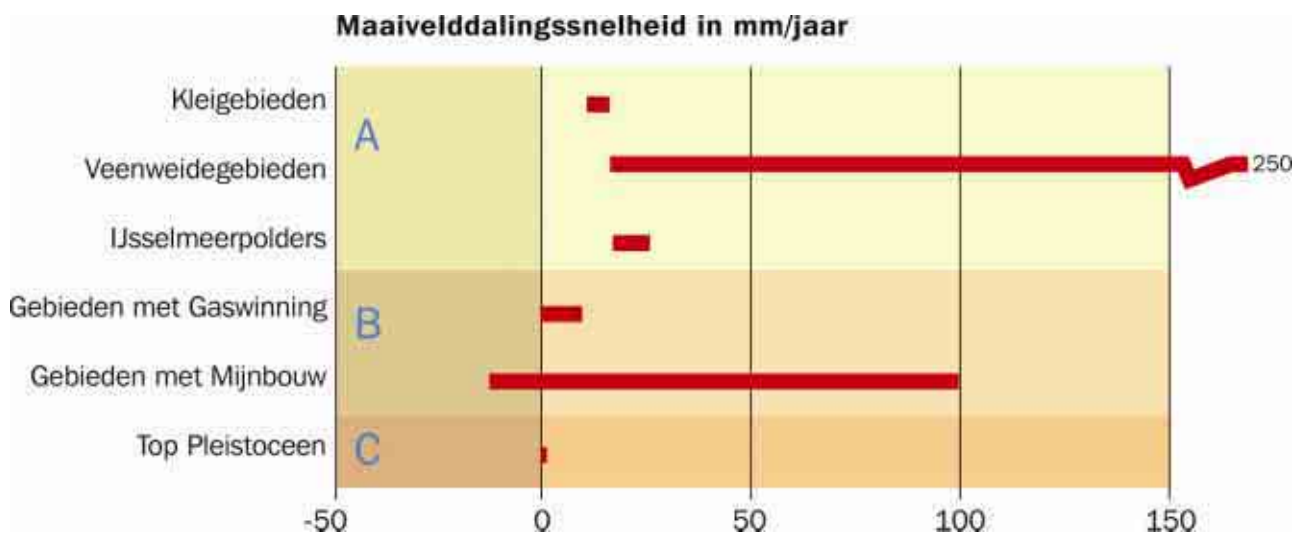


Fig. 2 Relatieve bodemdalingsnelheden van verschillende processen. De bovenste drie zijn het gevolg van de daling van het freatisch vlak (vermindering waterspanning). De maximum waarde in veeweide gebieden treedt op ten gevolge van klink vlak na een grote peilverlaging. Bij gaswinning neemt de poriënspanning in het reservoir af en bij mijnbouw wordt materiaal weggenomen. De negatieve waarde geeft de gemiddelde snelheid van de terugvering weer als gevolg van het terugkeren van het mijnwater na de sluiting van de mijnen in Limburg. De beweging van de top van het Pleistoceen is het totaal van natuurlijke processen (o.a. tektoniek, isostasie, geologische compactie), de overige categorieën zijn geïnduceerde processen.

Het Principe

Bodembewegingen ten gevolge van grondwaterstandveranderingen vinden voornamelijk plaats in het Holocene deel van de ondergrond. In de praktijk wordt er daarom meestal een knip gelegd bij het Pleistocene oppervlak. Het NAP-referentievlak is gerelateerd aan peilmerken, die in Pleistocene lagen zijn gefundeerd. Hierdoor kan uit maaiveldwaterpassingen de verandering van de dikte, door zetting en veenoxidatie, van de hierop gelegen slappere Holocene lagen worden berekend. Anderzijds, wordt bij het berekenen van de bodemdaling door gaswinning getracht het “Holocene” aandeel uit de waargenomen beweging van de aangemeten peilmerken te filteren. Het Holocene pakket dankt zijn bodemdalinggevoeligheid voornamelijk aan de slappe, zeer samendrukbare klei- en veenlagen. Het mag duidelijk zijn dat de dikte en diepteligging van die lagen en de variatie in samendrukkingeigenschappen een grote invloed hebben op de resulterende ruimtelijke verdeling van de bodemdaling. Om-

dat kleine verschillen in poriënwaterdruk op langere termijn (decennia) tot significante bodemdaling kunnen leiden is ook een juiste inschatting van de grondwaterstand en de stijghoogte in het onderliggende watervoerende pakket heel belangrijk. Daarbij komt dat het Holocene pakket doorsneden wordt door zandige geulopvullingen van oude waterlopen. Dit zijn enerzijds minder samendrukbare elementen, anderzijds kunnen deze in contact met het watervoerende pakket de daar aanwezige stijghoogte op een hoger niveau aanbrengen. Al met al blijkt hieruit dat aan de basis van een goede voorspelling van de bodemdaling een waarheidsgetrouw model van de ondergrond dient te liggen, waarbij de onzekerheden in de hiervoor genoemde randvoorwaarden ook tot uitdrukking moeten komen. Om dit te bereiken maken we gebruik van “state-of-the-art” modelleringstechnieken, waarin de puntinformatie uit boringen en sonderingen gecombineerd wordt met geologische kennis.

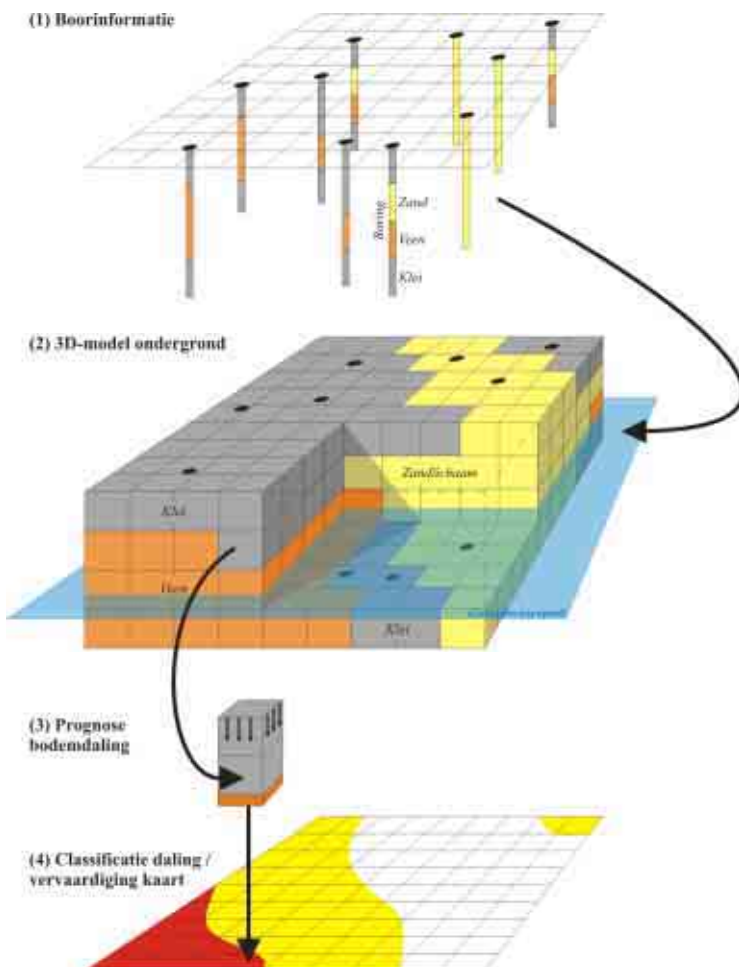


Fig. 3 *Stappen in het vervaardigen van de bodemdalingkaart*
 Volume 13 | No. 1 2006 | 22

Fig. 3 is een schets van de stappen in dit proces. Het 3D-model bestaat uit een regelmatige stapeling van kubusvormige cellen, zogenaamde "voxels". Voor iedere cel worden de eigenschappen bepaald die van invloed zijn op bodemdalingprocessen. Met de momenteel in de database van de Nederlandse ondergrond DINO beschikbare dichtheid aan boor- en sondeergegevens kan in veel regio's een betrouwbaar model met dimensies van voxel van 100*100*0,5 m (l*b*h) geconstrueerd worden, waarbij gebruik wordt gemaakt van geavanceerde interpolatietechnieken voor het vullen van lege voxels. De bodemdaling ten gevolge van een bepaald waterbeheerscenario wordt voor iedere virtuele boorkolom bestaande uit een stapel voxels berekend. Er wordt rekening gehouden met primaire en secundaire zetting en met veenoxidatie.

Met de gebruikte techniek is het ook mogelijk om binnen korte tijd een groot aantal mogelijke realisaties van de bodemopbouw te genereren. Door deze te combineren met het verwachte bereik van de samendrukking- en oxidatieparameters en volumieke gewichten wordt een afgevoegen bereik van de te verwachten maaiveld-daling verkregen.

Grondwaterstand op Perceelniveau

Een belangrijke randvoorwaarde voor de berekening van de bodemdaling is de diepte van de grondwaterspiegel ten opzichte van maaiveld. Het achterhalen van actuele en historische grondwaterstanden is een gekend tijdrovend karwei, zonder gegarandeerd succes. Deze informatie is zelden digitaal beschikbaar, niet

gebiedsdekkend en bestaat meestal uit streefpeilen. Om tenminste de actuele situatie te reconstrueren is een techniek ontwikkeld om uit het AHN (Actueel Hoogtebestand Nederland) de oppervlaktewaterpeilen zeer gedetailleerd te genereren. Het AHN-bestand wordt hiervoor gefilterd en gecombineerd met gedetailleerde kaarten van de waterlopen. De zo verkregen ontwateringdiepten kunnen gemakkelijk in het veld geverifieerd worden (zie Fig. 4), met dien verstande dat het AHN de situatie in 1997-1998 weergeeft.

Een Voorbeeld

Een voorbeeld van de hiervoor omschreven werkwijze is de prognose van de maaiveld-daling bij twee verschillende peilbeheerscenario's in de Krimpenerwaard in de komende 200 jaar. Het doel van deze exercitie was om inzicht te krijgen in het potentiële gevaar van opbarsten. Dit vindt plaats, wanneer de deklaag te dun wordt om de stijghoogtedruk van het watervoerend pakket te weerstaan. Fig. 5 laat zien hoe door de informatie te combineren uit boringen, het AHN-hoogtemodel en de kennis van de ligging van de zandbanen een gedetailleerd 3D-model is vervaardigd. Uit de cumulatieve plot van de grondsamenstelling blijkt duidelijk de dominante ondiepe veenlaag, onder een dun kleidek. De modelberekening van de maaiveld-daling voor twee verschillende peilbeheerscenario's wordt geïllustreerd in Fig. 6. Er is duidelijk te zien dat scenario 1 leidt tot een veel minder sterke maaiveld-daling dan scenario 2 en dat er in beide scenario's een grote ruimtelijke variatie in maaiveld-daling

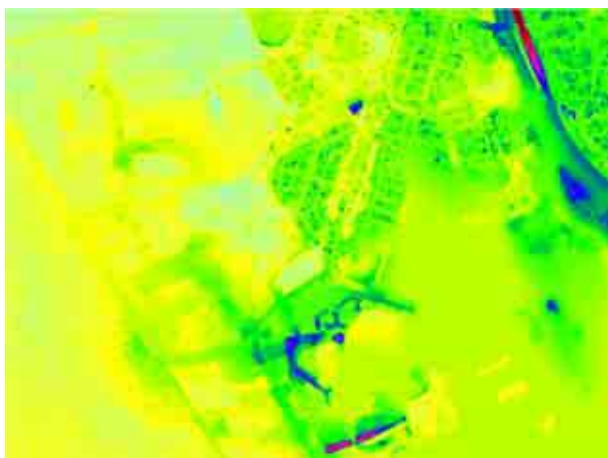


Fig. 4 Links het maaiveld ten opzichte waarvan de grondwaterstand beoordeeld wordt, nadat gebouwen, dijken, e.d. uit het AHN zijn gefilterd. Rechts de waterpeilen van alle in het beeld geïdentificeerde waterlopen, plassen en meren. Het verschil tussen deze twee hoogten is de ontwateringdiepte. Met behulp van de bodemopbouw kan de grondwaterstand tussen de waterlopen worden ingeschat.

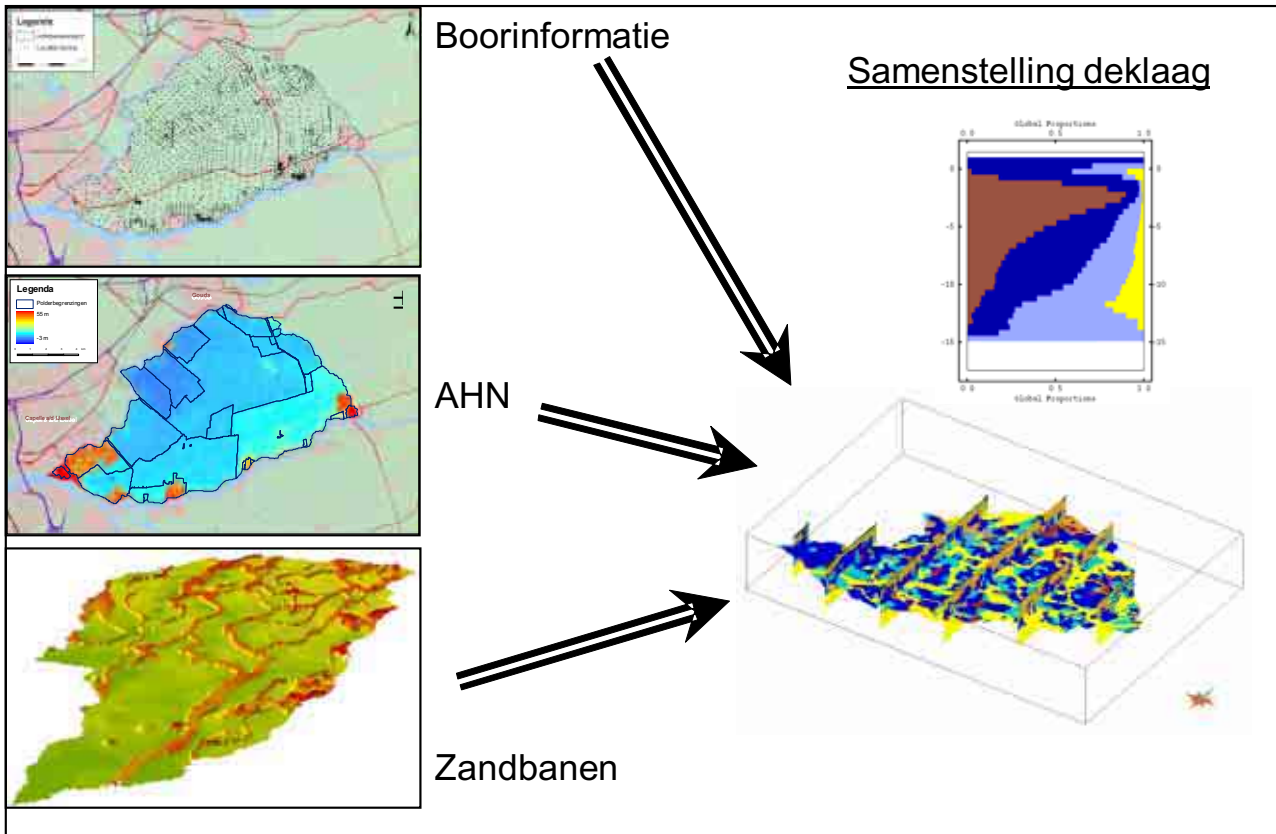


Fig. 5 Samenstelling van het 3D-model uit verschillende (digitale) informatiebronnen. Het blok rechtsonder laat een aantal doorsneden door het voxelmodel zien. Ter illustratie is ook de verdeling van grondsoorten met de diepte weergegeven: veen is bruin, lichte (in termen van gewicht) klei is donkerblauw, zware klei is lichtblauw, zand is geel.

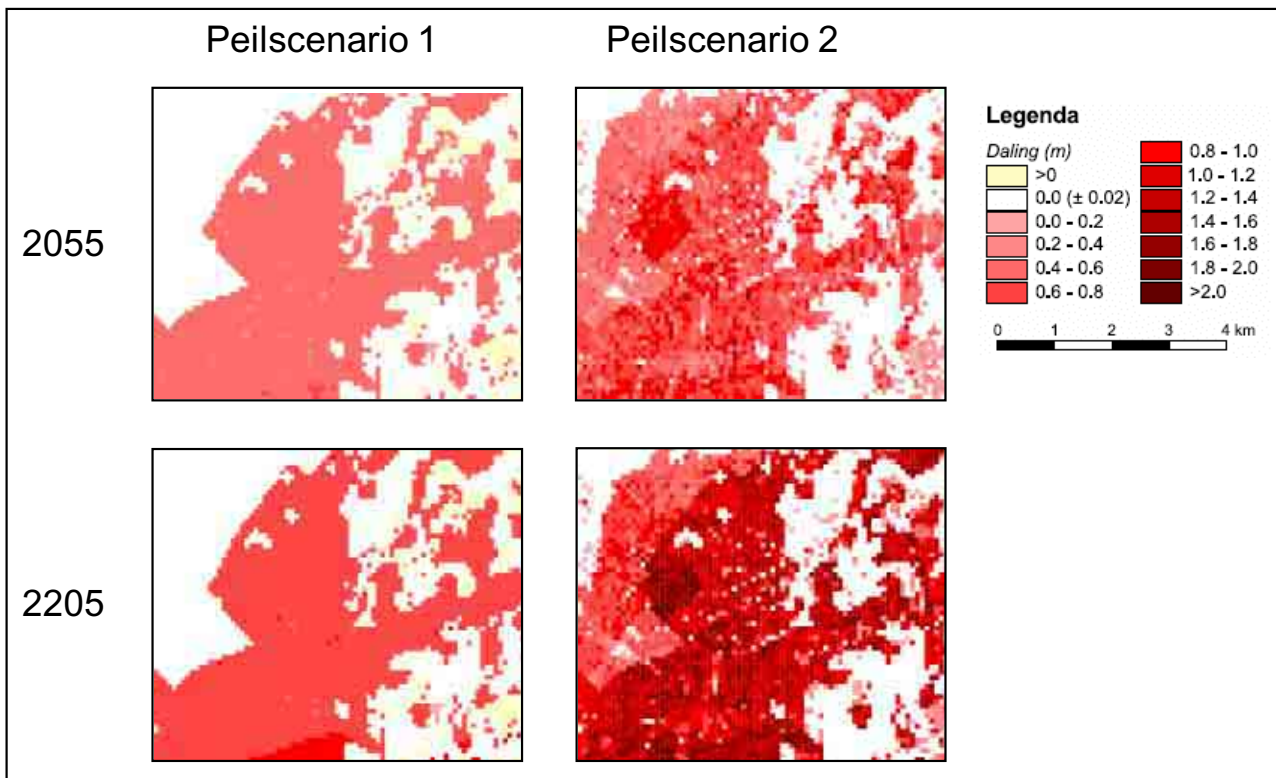


Fig. 6 Uitsneden van hetzelfde deelgebied van de Krimpenerwaard met 200-jaars prognoses van maai-
 veldddaling bij twee peilbeheersscenario's.

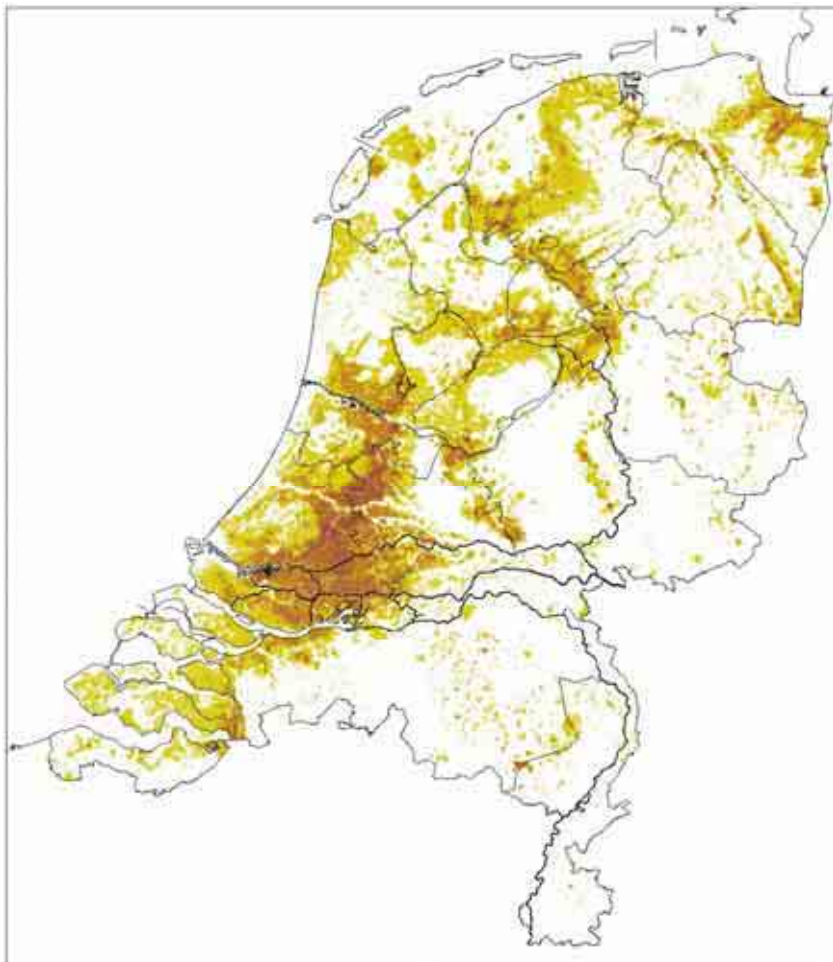


Fig. 7 Landelijke veendiktekaart. Cumulatieve dikte van het veen in de bovenste 20 m.

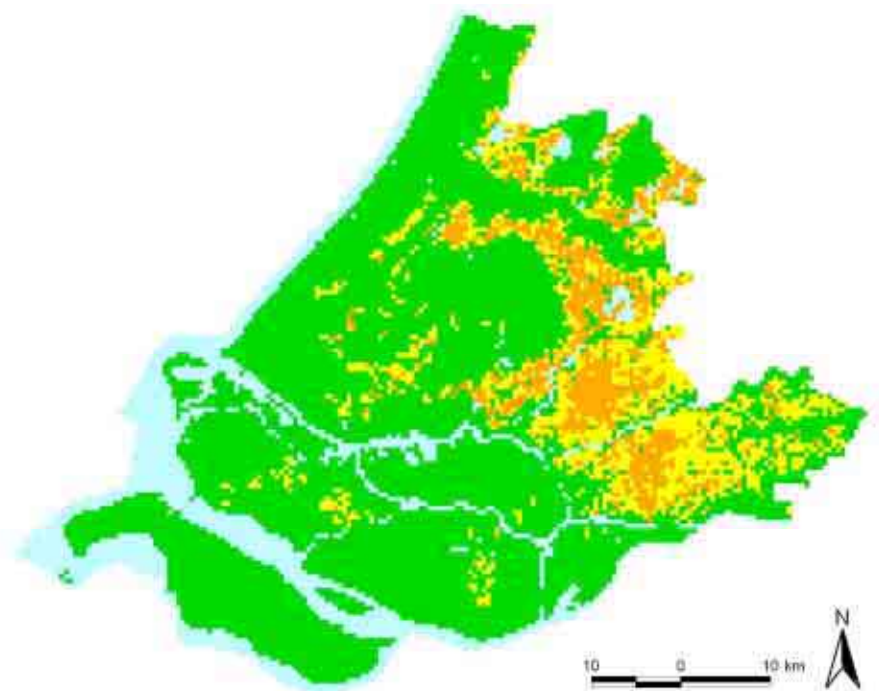


Fig. 8 Maaiveldalingsgevoeligheid van Zuid-Holland. Oranje= aandachtsgebied: sterk gevoelig, geel= maaiveldalings relevant: matig gevoelig, groen= maaiveldalings minder relevant: weinig tot nietgevoelig (Bron: Bodemvisie, Provincie Zuid-Holland, 2006)

optreedt die het gevolg is van een combinatie van het gevoerde peilbeheer en de variabiliteit van de ondergrond.

Naar een Landelijke Schaal

De hierboven beschreven modellering stelt ons nu ook in staat landelijke kaartbeelden te maken. Deze modellen bevatten weliswaar niet de graad van detail van locale studies, zoals van de Krimpenerwaard, maar geven toch een indruk van maaivelddalinggevoeligheid. Een voorbeeld hiervan is een landelijke veendiktekaart (Fig. 7). Deze zal binnenkort via het digitale DINOloket inzoombaar beschikbaar komen, waardoor bijvoorbeeld potentiële huizenkopers kunnen zien of ze bij hun keuze rekening moeten houden met mogelijke nadelige effecten van deze ondergrond (ophogen terras, verzakkende stoepen en huisaansluitingen van nutsvoorzieningen).

Ook maaivelddalinggevoeligheidskaarten kunnen nu gemaakt worden. Fig. 8 laat hiervan een uitsnede zien. Niet genoeg kan hierbij benadrukt worden dat de toepasbaarheid van dergelijke themakaarten beperkt is tot de specifieke in de berekening verwerkte randvoorwaarden. Door de verregaande automatisering is het

nu wel mogelijk binnen korte tijd veel verschillende varianten door te rekenen. Daarmee is de vraaggestuurde bodemdalingkaart binnen handbereik gekomen.

Referenties:

Lorenz G.K., W. Groenewoud, F. Schokking, M.W. van de Berg, J. Wiersma, F.J.J. Brouwer & S. Jelgersma, 1991, Heden en Verleden, Nederland naar beneden???, Interim-rapport over het onderzoek naar Bodembeweging in Nederland; Rijkswaterstaat, Meetkundige Dienst & Rijks Geologische Dienst

Projectteam NW4, Werkgroep Klimaatverandering en Bodemdaling, 1997, Klimaatverandering en bodemdaling: gevolgen voor de waterhuishouding van Nederland; Resultaten van een onderzoek in het kader van de voorbereidingen van De Vierde Nota Waterhuishouding.

DINOloket: <http://dinolks01.nitg.tno.nl/dinoLks/download/maps/geologicalMap.jsp>

Bodemvisie: http://www.zuid-holland.nl/thema/milieu_natuur_en_water/bodem/bodemvisie/index.jsp

70 jaar ontdekkingsreis door de delta

Delft Cluster partner

GeoDelft
Stieltjesweg 2
2628 CK Delft
Postbus 69
2600 AB Delft

Tel (015) 269 35 00
Fax (015) 261 08 21
info@geodelft.nl
www.geodelft.nl

GeoDelft is als Groot Technologisch Instituut al zeventig jaar actief in het vakgebied van de geo-engineering en slaat daarbij dagelijks een brug tussen wetenschap en praktijk.

Geo-engineering heeft vele aandachtsgebieden, zoals funderingstechniek, geo-ecologie en grondmechanica waarmee het allerlei maatschappelijke en infrastructurele ontwikkelingen raakt. Een fascinerend en relevant vakgebied, waarin nog dagelijks ontdekkingen worden gedaan die een belangrijke meerwaarde hebben.

- 2004
- 2003 dijkdorbraak Willem
- 1990 bodemverontreiniging Lekkerkerk
- 1993 watersnood Friesland
- 1934 oprichting GeoDelft
- 1918 treinramp Weesp

Nationaal instituut voor geo-engineering

SERVICE WITHOUT FRONTIERS



Fugro collects, processes and interprets data related to the earth's surface and soil composition and provides advice based on the results, in the oil and gas industry and the construction of buildings or civil engineering structures. Other services are precise positioning, construction material testing, reservoir engineering and data management.

Fugro Engineers B.V.
Tel.: 070-3111444

www.fugro.com



MEETING THE CHALLENGE OF NATURE

The Impacts of Coal Mine Subsidence on Streams, River Valleys and Gorges

A. A. Waddington, Managing Director.

Mine Subsidence Engineering Consultants Pty Ltd., PO Box 3047, Willoughby North, New South Wales, Australia.

Email: arthur@minesubsidence.com

Introduction

Coal is recognised as one of Australia's most valuable mineral resources and represents a major part of the economies of the States of New South Wales and Queensland. The coal producing areas and known coal resources in Australia are illustrated in the following map.

The coal producing areas in New South Wales lie to the south, west and north of Sydney and to the northwest of Newcastle, in the Hunter Valley and Gunnedah areas. The coal is exported from the ports at Newcastle and at Port Kembla, which is located near Wollongong to the south of Sydney.

The first known mining of coal commenced in the Newcastle area in 1797, so the industry is now more than 200 years old. In June 2002, the coal mining industry in New South Wales had more than 10,000 employees and produced more than 100 million tonnes of saleable coal, with a value of 6.1 billion dollars. The recoverable coal reserves in New South Wales are estimated at 8.7 billion tonnes.

The resource is particularly important for domestic electricity supply, local steel production and regional employment.

The coal mining industry is the largest export industry in New South Wales, with exports worth 4.8 billion dollars in 2001-02. Approximately 40 million tonnes of the annual saleable coal production of New South Wales is from underground mines, most of which use longwall mining techniques.

One of the consequences of longwall mining, however, is mining induced subsidence and its potentially adverse impacts on surface infrastructure and on the natural environment. In particular, there have been many expressions of concern in recent years by regulatory authorities, regarding the impacts of mining on rivers and other watercourses.

In response to these concerns, the coal mining industry has promoted research into the impacts of subsidence on streams, river valleys and gorges and is currently studying alternative methods that could be used to remedy damage caused by subsidence. In 2005, a Scientific Committee, established by the Threatened Species Conservation Act, determined that alteration of habitat following subsidence due to underground longwall mining should be listed as a Key Threatening Process in Schedule 3 of the Act.

Future approval of underground mining proposals will depend upon whether the potential environmental impacts of subsidence can be shown to be manageable. If coal mining were to be prohibited beneath rivers and watercourses, coal resources worth billions of dollars could be sterilised.

Numerous longwall extractions have already been completed and many more longwalls are planned beneath streams, river valleys, gorges and clifflines in the NSW Coalfields. Indeed, the very nature of the topography makes it virtually impossible to avoid such features.

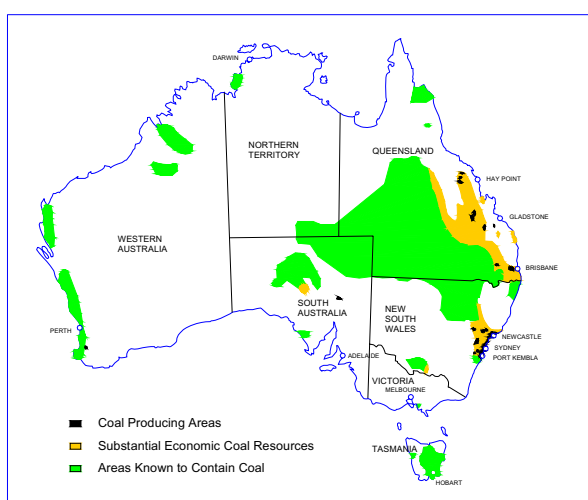




Plate 1. Landscape of the Area

All of the current coal mining operations in the Southern Coalfield, and most of those that are planned in future, are taking place in areas of steep topography and are likely to have some impact on streams, river valleys, gorges, cliff-lines and associated structures.

Many of the river valleys and gorges are picturesque and largely unspoiled, though many are inaccessible to the public. Typical examples of the landscape and scenery of the Southern Coalfield, which is located south of Sydney in New South Wales, are shown in the photographs in Plates 1 and 2.

Many of the river valleys and gorges are steep sided and include cliff-lines up to 70 metres in height, which are formed in the Hawkesbury Sandstone. A typical example of these cliff-lines is shown in the photograph in Plate 3, which also illustrates the natural weathering of the sandstone strata.

Longwall Mining



Plate 2. The Nepean River Valley



Plate 3. Hawkesbury Sandstone Cliffs

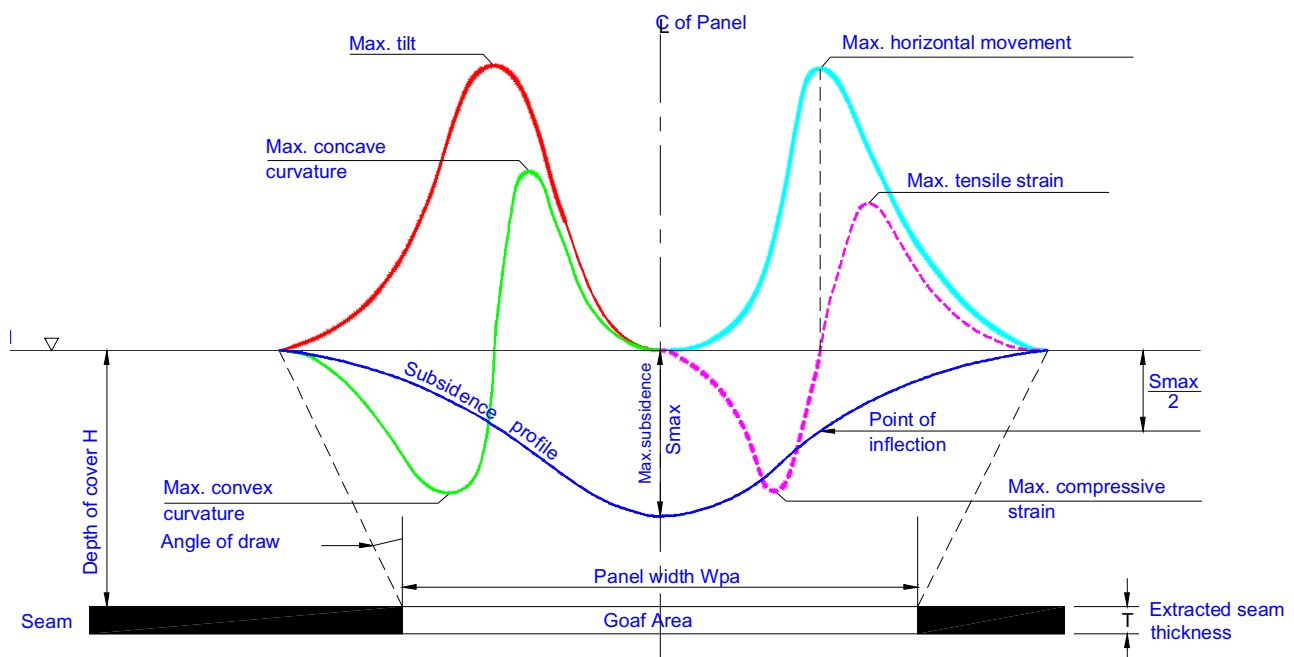
Underground coal mining in New South Wales is generally carried out using longwall mining techniques, which involve the removal of panels of coal up to 400 metres wide and several kilometres long. The extracted thickness of coal generally varies between 2 metres and 4.5 metres, the thicker coal deposits being in the Newcastle and Hunter Valley areas.

The roof above the working longwall face is temporarily held up by hydraulic supports which move forward as the coal is extracted. Behind the moving face equipment, the strata initially span the void, but as the face progresses, and the void width increases, the strata are no longer able to span and collapse into the void, which is known as the 'goaf'. The collapse of the strata into the goaf progresses upwards towards the surface. Where the depth of cover above the coal seam is shallow, the progressive collapse can extend through to the surface, but where the depth of cover is greater, the rocks closer to the surface do not fully collapse, but simply sag onto the collapsed rocks below them, forming a shallow subsidence trough.

Subsidence Impacts

The parameters normally used to define the subsidence impacts are vertical subsidence, horizontal displacement, tilt, curvature and strain. The typical distributions of these parameters, for a single isolated panel in flat terrain are shown in the following diagram.

Subsidence and horizontal displacement are usually expressed in mm. Tilt and strain are usually expressed in mm/m and curvature is



usually expressed as the reciprocal of the radius of curvature, in km^{-1} .

In the Southern Coalfield, where the depth of cover is generally between 400 metres and 500 metres and the seam thickness is generally between 2 metres and 3.5 metres, the vertical subsidence at the surface is typically in the range 1 metre to 1.8 metres. The resultant tilts are generally less than 7 mm/m and the resultant ground strains are generally less than 2 mm/m. Radii of curvature are generally greater than 7.5 km.

Methods of Subsidence Prediction

Empirical methods are generally used for the prediction of subsidence parameters and the methods are calibrated to observed data when such measurements are available. The NSW Department of Primary Industries, Minerals, formerly the Department of Mineral Resources, has provided methods that can be used to determine the maximum parameters, See Refs. 2 & 3.

In the last twelve years, the Incremental Profile Method of subsidence prediction has been developed and refined by Mine Subsidence Engineering Consultants Pty Ltd, which enables subsidence parameters to be predicted at any point on the surface above a series of extracted panels, See Refs. 5 & 6.

The method is based upon the prediction of the amplitude and shape of the incremental subsidence profile that is developed as an individual panel is mined. The profiles for each panel in a series are then added together to obtain the total subsidence profile over a series of panels

Once the subsidence profiles have been determined, the tilt and curvature profiles are obtained from the first and second derivatives of the subsidence profile. The horizontal displacement profiles are then calculated as a function of the tilt profiles and the strain profiles are determined as a function of the curvature profiles. This has become the benchmark method for the prediction of subsidence parameters in New South Wales, and has been widely used to support the applications by mining companies seeking approval to mine the coal and to assist the owners of infrastructure in the design of structures and services in areas likely to be affected by subsidence

Additional Subsidence Impacts associated with Streams, River Valleys and Gorges

When longwalls are extracted beneath steeply incised terrain, the ground movements that occur around the longwalls are very complex, particularly within a high stress regime, and these complex movements result from a number of distinct mechanisms. Research by Mine Subsidence Engineering Consultants Pty Ltd

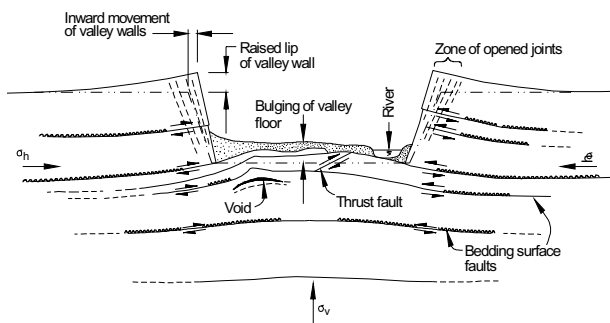


Fig. 2. Complex valley structures related to stress relief in weak, flat-lying rocks from Fell, MacGregor and Stapledon, 1992. - (Originally published by Patton and Hendren, 1972)

indicated that measured movements were often a combination of the following components:

Normal mining-induced horizontal displacements, of points on the surface, around an extracted panel, as subsidence occurs, which are generally directed towards the centre of the extracted goaf area.

Upsidence and closure of streams, gullies, river valleys and gorges due to valley bulging, which results from the redistribution of pre-existing in situ stresses, as mine subsidence occurs.

Predominantly horizontal displacements of surface strata due to release and redistribution of pre-existing regional in situ stresses as the extracted goaf areas increase in size, See Ref. 1.

In addition, horizontal displacements can occur due to mass slippage in a downhill direction in areas of steep topography. The first of these mechanisms can be predicted using the Incremental Profile Method.

The second mechanism is essentially driven by the high level of horizontal in situ stress in the strata above the coal seams, which can be more than four times the vertical stress caused by the weight of the strata. In the Southern Coalfield, horizontal stresses greater than 40 MPa have been recorded at a depth of 500 metres below the surface.

Horizontal stresses tend to concentrate in the bases of valleys and gorges and other incisions in the surface and the strata in the bases of such notches tend to be in a state of uneasy equilibrium.



Plate 4.



Plate 5.



Plate 6.

Natural processes of weathering in the valleys result in progressive deepening of the valleys and cause valley bulging. This is illustrated in Figure 2.

As mine subsidence occurs, the phenomenon is accelerated and the compressive stress in the base of the valley causes the strata to fail and to bulge and buckle upwards. At the same time, reduced subsidence occurs in the base of the

valley, which is referred to as 'upsidence', being a localised upwards displacement in the subsidence profile. Examples of such movements are shown in Plates 4 to 6.

At the same time, the strata in the sides of the valleys expand due to stress relief and the valley sides experience closure. This second mechanism can also now be predicted and methods for the prediction of closure, upsidence and compressive strain have been published by Mine Subsidence Engineering Consultants in its Final Reports on ACARP Research Projects C8005 and C9067, See Ref. 7.

The fracturing and buckling of the strata, in the base of the valley, results in the formation of voids, which extend to a depth of 10 to 15 metres from the surface. Where pools are formed by rock bars in the bottom of the valley and are perched above the general water table, the water can be drained into these subterranean voids. During times of low flow, the pools can completely drain and at baseline flows some if not all of the surface water is diverted beneath the surface.

It should be noted that such voids occur naturally in river valleys and there are many instances where the baseline flows in river valleys are subterranean, even though no mine subsidence has occurred. It is also worth noting that the high flows of water that occur following major storm events can cause significant damage and significant changes in the riparian zone. It is generally accepted after such natural events that nature can be left to repair itself.

There is some evidence to suggest that cracks in the strata will in time be filled with sand and silt particles that are washed down the river and that the pools will once again hold water, but in the meantime the loss of water can adversely affect the flora and fauna in the riparian zone.

Research into Remedial Measures

Research is currently underway to establish methods for the remediation of subsidence impacts on streams and river valleys. Some remedial works have already been carried out to restore surface flows in ephemeral streams and rivers, using a variety of cement and clay based grouts.

Current research is focused on the use of finely crushed and graded local sandstone to seal the major voids in an attempt to reduce the prob-

lem to the extent that nature will complete the repair in a reasonably short period of time, See Ref. 4. The aim of the research is to provide solutions that will have little or no impact on the environment and no adverse effect on native vegetation and wildlife.

References:

1. Hebblewhite, B., Waddington, A.A. & Wood, J.H., (2000). *Regional Horizontal Surface Displacements due to Mining beneath Severe Surface Topography*. Proceedings of the 19th Int. Conf. on Ground Control in Mining, Morgantown, West Virginia, pp. 1-9.
2. Holla, L., (1985). *Mining Subsidence in New South Wales - 1. Surface Subsidence Prediction in the Southern Coalfield*. Published by the Department of Mineral Resources, NSW.
3. Holla, L. and Barclay, E., (2000). *Mine Subsidence in the Southern Coalfield, NSW, Australia*. Published by the Department of Mineral Resources, NSW.
4. Mills, K.W. and Huuskes, W. (2004). *The Effects of Mining Subsidence on Rock bars in the Waratah Rivulet at Metropolitan Colliery*, Proceedings of the Mine Subsidence Technological Society 6th Triennial Conference, Maitland, NSW, 2004, pp. 47-64.
5. Waddington, A.A. and Kay, D.R., (1995). *The Incremental Profile Method for Prediction of Subsidence, Tilt, Curvature and Strain over a series of Longwalls*. Proceedings of the Mine Subsidence Technological Society, 3rd Triennial Conference Proceedings, February, Newcastle, NSW. pp.189-198.
6. Waddington, A.A. and Kay, D.R., (1998). *Recent Developments of the Incremental Profile Method of Predicting Subsidence Tilt and Strain over a Series of Longwall Panels*. International Conference on Geomechanics / Ground Control in Mining and Underground Construction, University of Wollongong, NSW, July 1998.
7. Waddington, A.A. and Kay, D.R., (2002). *ACARP Management Information Handbook on the Undermining of Cliffs, Gorges and River Systems-Version 1*. Developed from ACARP Research Projects C8005 and C9067, September 2002.

A Comprehensive Study of Land Subsidence in the Northern Adriatic*

Frans B.J. Barends¹ & Adriaan P.E.M. Houtenbos²

¹ TU Delft & GeoDelft, POBox 69, 2600 AB Delft, f.b.j.barends@geodelft.nl

² De Esstukken 18, 9751 HB Haren (GN), houtenbos@home.nl

Abstract: The interaction of man with the natural environment is a subject of increasing interest within society. Climate change, tectonic movement and natural compaction have altered coastlines since the first seas formed on the earth. This paper presents a short summary of the findings of a comprehensive and independent study by a group of international experts into the effects of gas withdrawal on land levels and its possible impact on the Ravenna coastal area of the Northern Adriatic Sea. The group of scientists, working autonomously, comprised Prof Enzo Boschi (INGV, Italy), Prof Khalid Aziz (Stanford University, USA), Prof Frans Barends (GeoDelft and TU Delft, The Netherlands), Prof Tomasz Hueckel (Duke University, USA), Prof Jean Prévost (Princeton University, USA), Dr Berend Scheffers (TNO-NITG, The Netherlands) and Dr Scott Steedman (GeoDelft, The Netherlands). The activity was focused on two major tasks, firstly to model and predict the reservoir behavior and associated subsidence, and secondly to investigate the environmental effects, coastal morphology and inland effects. A rigorous and comprehensive scientific methodology was adopted, by comparing and contrasting all possible effects on the coastline due to historic and intended gas withdrawal with effects due to natural processes, water extraction and the effects of the ongoing coastal and river protection works.

In conclusion, the components of the study exhibit a high level of consistency in the prediction of the future effects of gas production and that these effects are negligible in comparison to the modifications to the coastline that are being caused by natural processes and human interventions. In this context, it is concluded that the planned gas production in the Ravenna Province will have practically no effect on current or future coastal dynamics.

1. Static geological and petrophysical modeling of reservoir rocks and their surroundings in the Northern Adriatic (Lutgert et al., 2005)

This study describes the static geological and petrophysical models of the reservoir rocks and their surroundings of selected gas production fields located in the Northern Adriatic region (both onshore and offshore), see Figure 1. Extended 3D geological models were built, including adjacent aquifers surrounding the gas fields, over a much wider area than normally used in standard reservoir engineering practice. The fundamental assumption that reservoir properties (such as porosity and permeability) that are obtained from the gas fields can be extended to the adjacent aquifers is a critical one, which is discussed. A lack of data for the adja-

cent aquifers did not permit the inclusion of pressure barriers and hence the resulting model represents a 'worst-case' scenario in terms of the areal extent of the pressure drop.

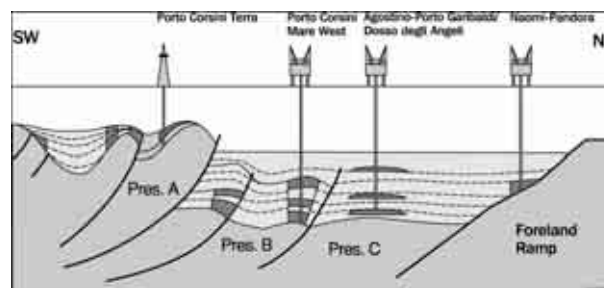


Figure 1. Geological SW-NE profile across the Northern Adriatic; different pressure zones

* The full study is published in the Special Volume MULTI-DISCIPLINARY ASSESSMENT OF SUBSIDENCE PHENOMENA IN THE RAVENNA AREA (eds. Barends et al.), presented at the VIIth International Symposium on Land Subsidence 2005, Millpress, Rotterdam

2. Characterization of the Pliocene Gas Reservoir Aquifers for Predicting Subsidence on the Ravenna Coast (Stright et al., 2005)

The Pliocene reservoirs of the North Adriatic have produced gas since 1972. Several studies using reservoir and geomechanical models have been undertaken to quantify the surface land subsidence that may be attributed to pressure depletion resulting from gas production. Subsidence may continue after production ceases as water influx repressures the depleted gas reservoirs, reduces the aquifer pressure, and causes the subsidence bowl to expand. Therefore, characterization of the Pliocene aquifers and water influx functions is important for long-term prediction of subsidence. An aquifer model was developed by integrating geological and geophysical interpretations, petrophysical data, and pressure and production data. Petrophysical data and geological/geophysical interpretations imply that most of the gas reservoirs should have strong water drives. However, production/pressure data from most of the reservoirs indicate a behavior closer to volumetric. The mechanism restricting water influx in the Pliocene gas reservoirs was found to be a combination of low effective permeability to water in the presence of clays and trapped gas saturation. The resulting high pressure drop across the water invaded zone restricts water influx. Laboratory data and pressure measurements, in the field and in aquifer observation wells several kilometers from the field, were used to validate the assumptions in the model. The final aquifer model, which is consistent with all available data, was used to predict long term pressure drop in the aquifer for subsidence predictions.

3. Field derived compressibility of deep sediments of the Northern Adriatic (Hueckel et al., 2005)

Compressibility analysis is presented based on field data from radioactive markers embedded in the formation and on laboratory data from aged specimens. Marker readings, employing basic statistics, lead to an empirical relationship linking compressibility with effective stress. The use of spatial averaged measurements makes this relationship robust, fairly insensitive both to the presence of clay layers and to the size of the stress increment. The simple stress-dependent power law of soil compressibility

described by this relationship is sufficient to characterize in situ soil behavior. Because possible departures from such power law the soil behavior is expected to occur only at exceedingly large depletion values, according to what is observed in laboratory experiments on aged specimens. Such large depletion values are likely to only occur in few producing layers, at very late stages of gas production. The impact of such occurrence on the overall subsidence is minimal in most cases. It can be concluded that the analysis of marker measurements based on a linear regression of log-transformed effective stress and compressibility data provides a general relationship applicable with confidence to subsidence prediction for the Northern Adriatic gas fields.

4. Fundamentals of modeling subsidence (Prévost et al., 2005)

A geomechanical reservoir simulator capable of modeling subsidence due to gas extraction is presented. The nature of the equations of fluid transport as well as their interactions with the soil and rock porous matrix are explored. The governing equations for each of the processes are presented in a comprehensive manner and the nature of the couplings between them is explained, based on a simplified problem for which a closed form solution can be derived. Numerical implementation of a nonlinear hypo-plastic constitutive model for the porous matrix is detailed and validated.

5. Sensitivity analysis and model type evaluation for subsidence above offshore gas reservoirs (Pruiksma et al., 2005)

The results of a sensitivity study is described, conducted to understand how the prediction of subsidence due to gas extraction from offshore gas fields depends on a few key parameters, such as the connection to the adjacent aquifers and the material mechanical properties. The analysis has been performed using an axisymmetric Finite Element model. A specific gas production field in the Northern Adriatic basin has been assessed in detail. For each of the layers considered in the sand/shale stratification a low value, an intermediate and a high value for the soil stiffness were applied, as determined from oedometer tests, radioactive markers and vertical seismic profiling respectively. The reservoir constitutive behavior has been modeled using different approaches,

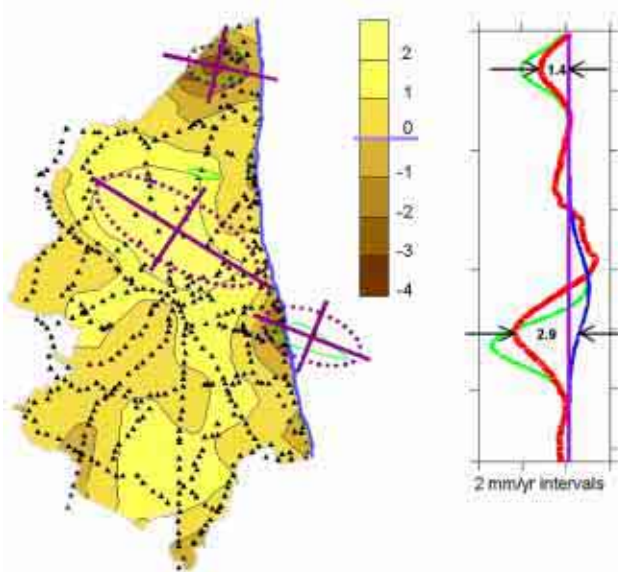


Figure 2. Measured relative subsidence rates (mm/yr) during 1982-2002, detected bowls and corresponding coastal subsidence (right), by integral space-time analysis.

namely: a linear-elastic, a power law and a Modified Cam Clay model. The study has been performed for different pressure scenarios representing different levels of interaction with adjacent aquifers. The results show the sensitivity of the subsidence bowl as a result of the imposed conditions. These results are compared with the predictions obtained using 3D non-linear elastic and hypoplastic subsidence models of the same gas fields, demonstrating good agreement. The stiffness of the reservoir is the main factor affecting surface subsidence. At gas pressure reductions below 50 bars seabed subsidence hardly varies for different reservoir material models.

6. Subsidence from geodetic measurements in the Ravenna area (Houtenbos et al., 2005)

The derivation of subsidence due to a specific cause from geodetic measurements is, in principle, simple, but assumptions implied in the standard approach are never fully correct in practice. Over or underestimation by a factor of up to two may occur. Geodetic measurements alone cannot differentiate between different causes of subsidence. This study describes a modified approach that avoids assumptions on reference point stability and exploits a-priori knowledge of spatial and temporal subsidence patterns. The presented integral approach recognizes that geodetic measurements reflect dif-

ferential, not absolute, vertical displacement of the benchmarks, not of the 'surface', within the area surveyed and recognizes errors that are or are not correlated in time and/or subsidence in the Ravenna area. All data for the period 1982-2002 were revisited and used in the approach (Figure 2, left); irregularities found in a small percentage of the data were filtered out. Gaussian bowls of subsidence or of rebound were assumed to be centred over gas production fields and above previously exploited aquifers NE of the city of Ravenna (Figure 3). Average relative subsidence rates along the coastline over the period 1982-2002 that may be associated with gas extraction, peak at 2.9 mm/year above the *Angela-Angelina* field and at 1.4 mm/year above the *Dosso degli Angeli* field (Figure 2, right).

7. Numerical techniques used for predicting subsidence due to gas extraction in the Northern Adriatic (Settari et al., 2005)

This study describes the assessment and application of numerical techniques required for predicting gas production induced subsidence in the North Adriatic. Due to the complexity of the reservoir description and compaction mechanisms, the subsidence modeling required the combined use of reservoir and geomechanical simulators. Prior to the application of models, extensive validation of the modeling techniques was undertaken. In particular, the level of coupling between the fluid flow and geomechanical solution was investigated. It was shown that a fully coupled solution impacted only the aquifer area, and accurate results



Figure 3. Selected gas fields being studied in the Northern Adriatic.

could be obtained by an explicitly coupled technique. Other issues of importance are also discussed, such as the quality control of the mesh generation, compatibility requirements of the finite element (FEM) and reservoir (FD) meshes, and correct interpolation of variables between the two for complex layered geometry. Finally, the impact that a small overconsolidation (threshold) may have on the areal extent of the subsidence bowl is discussed.

8. Subsidence induced by gas production: an integrated method (Schroot et al., 2005)

An integrated subsurface modeling study was performed in order to predict the amount and the lateral extent of subsidence in an area of the Northern Adriatic region. A number of selected gas fields (see Figure 3) were independently modeled using an approach in three steps. First, static geological and petrophysical subsurface models were built that were large enough to include the wider area surrounding the gas fields. The reason for this large lateral extent was that the pressure depletion in the gas reservoir, which results from the production of gas, is propagating laterally into the water bearing deep aquifers outside the fields that are connected to the gas bearing reservoir layers. Secondly, the pressure changes were modeled using a 3D subsurface reservoir simulator, through history matching using production and pressure data. Modeling extended to a few decades after the expected end of the gas production in order to capture all significant effects in the reservoirs and aquifers. The third phase of modeling consisted of finite element geomechanical modeling, taking into account the geometry, vertical heterogeneity and geomechanical rock properties of the entire subsurface and the pressure fields obtained in the second phase. Finally, the resulting subsidence grids obtained for the individual fields were added together to provide regional contour maps representing the combined effects (Figure 4). For some fields the subsidence predictions were compared with available geodetic measurements (Figure 5). The comparison showed a good match. This integrated method proved successful at predicting a combined areal extent of the subsidence arising from the selected fields considering the maximum extent of adjacent aquifers and petrophysical properties calibrated from field data. The maximum subsidence predicted amounts to 0.42m and occurs

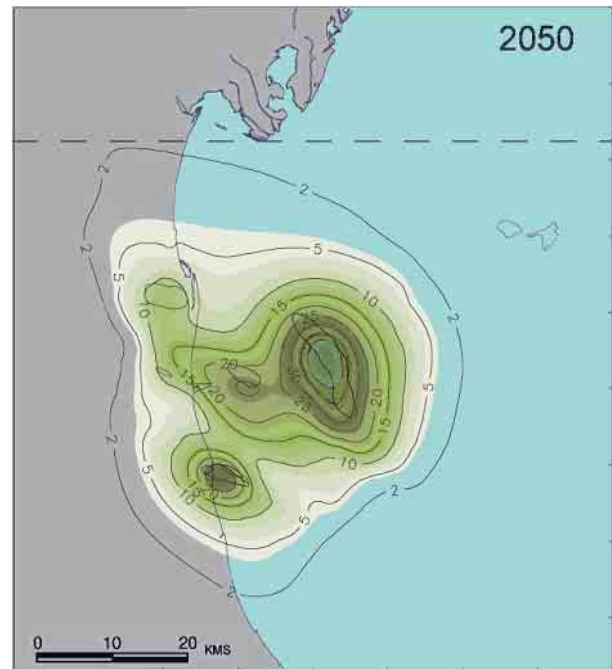


Figure 4. Predicted subsidence contour map (cm) by gas production from selected fields. Dashed line: Po di Goro Parallel.

offshore at the centre of the subsidence bowl resulting from the gas production from *Agostino-Porto Garibaldi*, the largest gas field in the area, in 2050 (Figure 4). The largest subsidence on the coast of about 0.3m occurs close to the centre of the subsidence bowl resulting

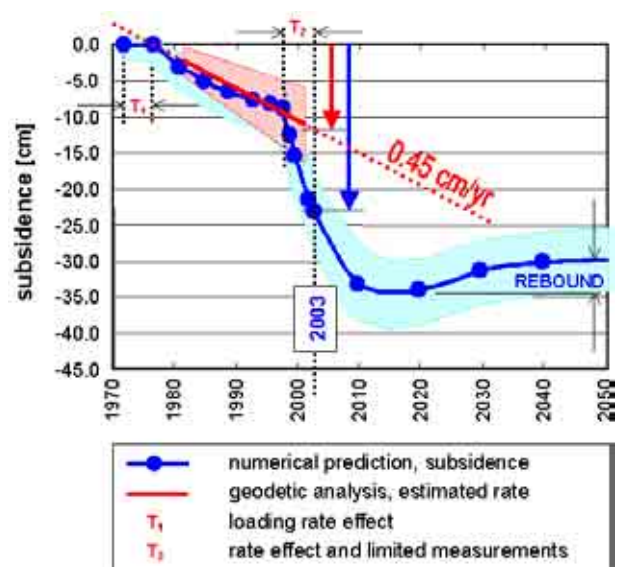


Figure 5. Comparison of the analysis of geodetic measurements and the numerical prediction of the subsidence of the centre of the bowl above Angela Angelina gas field in the period 1982-2002; light colored areas show the estimated standard deviation.

from the gas production from the *Angela - Angelina* field (Figure 4). The combined effect (2cm contour) does not pass the Po di Goro parallel, a boundary by law.

9. Environmental effects of land subsidence induced by gas withdrawal along the Ravenna coast; Part I: Available information (Barends et al., 2005a)

An overview is given of the expected environmental impact related to predicted land subsidence due to planned gas-withdrawal in the Ravenna coastal zone. This region is a typical example of a deltaic area with soft sediments, susceptible to land subsidence caused by tectonic movements and natural compaction, water withdrawal from shallow aquifers, and gas withdrawal from deep reservoirs. Subsidence may lead to effects on the natural and built environment and on the local economy. This study focuses on relevant and available information. For their implication and final conclusions reference is made to chapter 10.

10. Environmental effects of land subsidence induced by gas withdrawal along the Ravenna coast; Part II: environmental impact (Barends et al., 2005b)

This study presents the environmental impact of subsidence predicted by an international multi-disciplinary team of experts, due to gas withdrawal in the Ravenna area. The findings were supported by site visits to inspect coastal and inland environments. The impact of subsidence particularly on coastal dynamics and on mitigation measures is discussed. A comparison is made with a similar situation in The Netherlands. Effects of gas withdrawal induced subsidence on the coastal dynamics in the Ravenna Province are marginal. In the area at the *Angela-Angelina* gas field (Figure 3) additional shore protection measures are recommended in order to suppress potential beach erosion. Public safety and risk of damage is assessed and it is concluded that the subsidence due to the proposed gas production will cause no risk to public safety and no disproportionate increase in the risk of damage.

References

Lutgert, J.E., S.J.M. Van Ratingen, B.M. Schroot, and B.C. Scheffers (2005) Static geological and petrophysical modelling of reservoir rocks and their surroundings in the northern

Adriatic. Special Volume SISOLS2005, Millpress Rotterdam, p: 3-18.

Stright, D.H. jr., A. Settari, D.A. Walters, K. Aziz (2005) Characterization of the pliocene gas reservoir aquifers for predicting subsidence on the Ravenna coast. Special Volume SISOLS2005, Millpress Rotterdam, p: 19-34.

Houtenbos, A.P.E.M., M.W.A. Hounjet, F.B.J. Barends (2005) Subsidence from geodetic measurements in the Ravenna area. Special Volume SISOLS2005, Millpress Rotterdam, p: 35-50.

Hueckel, T., G. Cassiani, J.H. Prévost, D.A. Walters (2005) Field derived compressibility of deep sediments of northern Adriatic. Special Volume SISOLS2005, Millpress Rotterdam, p: 51-64.

Prévost, J.H., A. Pecker, T. Hueckel (2005) Fundamentals of modeling subsidence. Special Volume SISOLS2005, Millpress Rotterdam, p: 65-78.

Pruiksma, J., J.A.M. Teunissen, F.B.J. Barends, B. Orlic, G. Cassiani (2005) Sensitivity analysis and model type evaluation for subsidence above offshore gas reservoirs. Special Volume SISOLS2005, Millpress Rotterdam, p: 79-100.

Settari, A., D.A. Walters, D.H. Stright Jr., K. Aziz (2005) Numerical techniques used for predicting subsidence due to gas extraction in the north Adriatic sea. Special Volume SISOLS2005, Millpress Rotterdam, p: 1001-120.

Schroot, B.M., P.A. Fokker, J.E. Lutgert, B.G.H. Van Der Meer, B. Orlic, B.C. Scheffers, F.B.J. Barends (2005) Subsidence induced by gas production: an integrated approach. Special Volume SISOLS2005, Millpress Rotterdam, p: 121-136.

Barends, F.B.J., R.S. Steedman, B.M. Schroot (2005a) Environmental effects of land subsidence induced by gas withdrawal along the Ravenna Coast; Part I: Available information. Special Volume SISOLS2005, Millpress Rotterdam, p: 137-152.

Barends, F.B.J., R.S. Steedman, M.B. De Groot, H.G. Knoeff, R. Bijker (2005b) Environmental effects of land subsidence induced by gas withdrawal along the Ravenna Coast; Part II: Environmental impact. Special Volume SISOLS2005, Millpress Rotterdam, p: 153-171.

Grondonderzoekbedrijf in Beeld.....

Inpijn-Blokpoel Ingenieursbureau

Liesbeth Meerwalt



INPIJN-BLOKPOEL
ingenieursbureau

Inleiding

Inpijn-Blokpoel Ingenieursbureau is een onafhankelijk adviesbureau met een ruime ervaring in geotechnisch en milieukundig onderzoek en advies. Het bureau is opgericht in 1975 door de heren Inpijn en Blokpoel. Sindsdien is het bedrijf in 30 jaar uitgegroeid tot een bloeiend bedrijf met circa 70 werknemers verdeeld over drie vestigingen, te weten Son, Sliedrecht en Hoofddorp. Deze laatste vestiging is eind 2005 opgericht en is daarmee de jongste telg van de Inpijn-Blokpoel familie.

Grondonderzoek en andere buitenactiviteiten

De veldwerkzaamheden van het bedrijf bestaan onder andere uit het maken van sonderingen en boringen (geotechnisch en milieukundig), het plaatsen van peilbuizen en het uitzetten van waterpassingen. Ook trillingsmetingen, het akoestisch doormeten van palen, heibegleiding en toezicht houden bij bouwputten komen veelvuldig aan de orde. Sinds enkele jaren houdt het bedrijf zich ook actief bezig met geohydrologisch onderzoek in het kader van de watertoets. Hiervoor worden veelal enkele boringen geplaatst en wordt gewerkt met putproeven. Onder putproeven worden in-situ metingen verstaan waarbij de doorlatendheid van de bodem wordt bepaald. Deze metingen kunnen worden gedaan in de verzadigde of onverzadigde zone.



Sondeer-tracktruck

Laboratoriumonderzoek

Tussen het veldwerk en de uiteindelijke advisering wordt regelmatig laboratorium werk verricht. Inpijn-Blokpoel heeft een geotechnisch laboratorium dat hierin voorziet. Triaxiaalproeven, bepaling van volumegewichten, samendrukkingsproeven, korrelverdelingen en waterdoorlatendheids bepalingen vallen onder de dagelijkse werkzaamheden.

Advisering

De adviesafdeling bestaat uit ca. 15 geotechnisch en milieukundig adviseurs. Op milieukundig vlak wordt onder meer gewerkt aan verkennende bodemonderzoeken en bodemsanereringen. Ook op het gebied van asbest, geluidsoverlast en buitenluchtkwaliteit weet de milieufunctie van aanpakken. De afdeling geotechniek verzorgt onder andere funderingsadviezen, zowel voor kleine projecten als een woonhuis, als ook voor grote prestigieuze projecten. Bouwputten, schade, trillingen, drainage, bouwrijp maken en regenwaterinfiltratie komen eveneens veelvuldig aan de orde.

De INS en OUTS van infiltratie

Een van de aspecten om eens extra te belichten is het geohydrologisch onderzoek, gevolgd door een infiltratie advies. Sinds 1 november 2003 is de zogenaamde watertoets wettelijk verplicht. Ruimtelijke plannen moeten sindsdien voorzien zijn van een waterparagraaf. Hierin wordt beschreven hoe in het plan rekening gehouden wordt met (regen)water. Veiligheid, kansen op wateroverlast, de waterkwaliteit ter plaatse en de mogelijke verdroging van de bodem zijn aspecten die in de waterparagraaf naar voren moeten komen.

Een van de aspecten van de waterparagraaf is het reserveren van voldoende ruimte voor water op de projectlocatie. Om hierin te voorzien wordt door gemeenten en waterschappen veelal gesteld dat het water dat op de daken en wegen van de nieuwbouw valt, dient te worden opgevangen en zoveel mogelijk ter plaatse moet worden geborgen en/of teruggebracht in de bodem.

Om te achterhalen of de bodem al dan niet geschikt is voor infiltratie van hemelwater moet de waterdoorlatendheid (of k-waarde) van de bodem worden bepaald. Inpijn-Blokpoel kan deze k-waarde bepalen op basis van veld- en laboratorium proeven. Op basis van de waterdoorlatendheid van de bodem en een geohydrologische analyse van het gebied kan een infiltratieadvies worden verzorgd. Hierin wordt aangegeven of het gebied geschikt is voor infiltratie van hemelwater en zo ja welk type infiltratievoorziening in aanmerking kan komen.



Inpijn—Blokpoel over de grenzen

Infiltratievoorzieningen

Gekozen kan worden tussen bovengrondse en ondergrondse infiltratievoorzieningen. Bovengrondse infiltratievoorzieningen zijn onder andere infiltratiesloten, infiltratievijvers, open verhardingen en bijvoorbeeld wadi's. Ondergrondse infiltratievoorzieningen zijn bijvoorbeeld infiltratiekragen, grindkoffers, prefab infiltratie-elementen en infiltratie-buizen/riolen. Bij ondergrondse infiltratievoorzieningen is een goede doorlatendheid van de bodem in combinatie met een lage grondwaterstand belangrijk. Deze infiltratievoorzieningen kunnen door Inpijn-Blokpoel worden gedimensioneerd. Dit gebeurt altijd in overleg met de betrokken partijen. Vaak zijn dit de opdrachtgever, de gemeente en het waterschap.



zuigboring



Landmeten

Voorbeeld project

Ten behoeve van een nieuwbouwplan in het zuiden van het land, is een grondonderzoek uitgevoerd om een idee te krijgen van de doorlatendheid van de ondergrond.

De bovengrond bestond tot 2 meter onder maaiveld grotendeels uit löss en klei (k-waarde van ca. 0,5 m/dag), hieronder werd een zand/grind pakket met een zeer goede doorlatendheid aangetroffen. In het ruimtelijk plan was reeds ruimte gereserveerd voor een infiltratiesloot.

Overleg met waterschap, gemeente, opdrachtgever, architect heeft geleid tot verschillende

randvoorwaarden waarbinnen de voorziening moest passen. Er is onder andere gerekend aan de lengte, breedte, diepte en leeglooptijd van de voorziening. Tevens werd geadviseerd om over een beperkt traject een zandbed aan te brengen zodat het water direct door kan stromen naar het goed doorlatende zand/grindpakket. Het water zal voornamelijk bovengronds (via o.a. molgoten) naar de infiltratiesloot toestromen.

Meer informatie kunt u vinden op de website www.inpijn-blokpoel.com



INPIJN-BLOKPOEL
ingenieursbureau

*Gefundeerd op
grondige kennis*




INPIJN-BLOKPOEL ingenieursbureau

- in-situ onderzoek
- laboratoriumonderzoek
- bouwputontwerp
- bemaling / drainage
- bouwrijp maken
- funderingen
- gestuurde boringen
- schade expertise
- trillings- en geluidsmetingen
- akoestisch doormeten palen
- heibegeleiding
- bouwkundige expertise
- milieu-onderzoek en advisering
- asbest inventarisatie
- AP-04 onderzoek

Nieuwe vestiging in Hoofddorp

Gezocht: geotechnische adviseurs



www.inpijn-blokpoel.com

www.inpijn-blokpoel.com

<p>Postbus 94 - 1690 AB Son Telefoon: (0499) 47 17 92 Telefax: (0499) 47 71 03 E-mail: post@inpijn-blokpoel.com</p>	<p>Postbus 253 - 1140 AS Sliedrecht Telefoon: (0184) 41 80 10 Telefax: (0184) 41 87 82 E-mail: sliedrecht@inpijn-blokpoel.com</p>	<p>Postbus 752 - 2130 AT Hoofddorp Telefoon: (023) 145 38 78 Telefax: (023) 145 01 00 E-mail: hoofddorp@inpijn-blokpoel.com</p>
---	---	--

The departure from the mining building, the end of an era or a new start?

Roeland van Hof



For many years there have been rumours about the departure from the mining building, but this year it will definitively happen. After 94 years Mining Engineering will leave the most beautiful building of the entire campus of the TU Delft.

There are two main reasons to move to Northern wing of the dreadful Civil Engineering building. Firstly the amount of new students has dropped to about an average of thirty in the past five years, whereas even up to ten years ago 80 new students were no exception. In other words the building has become much too large for Mining Engineering.



Secondly, the age of the building leads to much higher maintenance costs than the more modern buildings at the TU campus. Everybody can do the maths, and thus the building has been sold to a project developer, forcing Mining Engineering to move to the building of Civil Engineering.

Let's hope that Engineering Geology and the other Master programmes of Mining Engineering will flourish again and that we have to announce a new move in a few years, because the Northern wing has become too small for the Mining students. Maybe a we could swap places with the civil Engineering students then?

Excursie naar "Tagebau Hambach"

Agnes van Uiter

Ondanks een lage opkomst werd er besloten de DIG/Ingeokring excursie naar de bruinkolen mijn Hambach (Figuur 1) tussen Aken en Keulen toch door te laten gaan. Dus zijn we vroeg opgestaan en vertrokken naar Duitsland. De reis verliep spoedig en na een paar uur kwamen de voor het gebied kenmerkende antropogene heuvels in zicht. De mijn was snel gevonden door de bordjes te volgen. We werden door



Robrecht Schmitz ontvangen met broodjes voor de lunch. Vervolgens kregen we een uitleg over de mijn en vertrokken we voor een rondleiding. De bus die voor ons was besproken bleek veel te groot, dus gingen we verder in een kleinere Jeep, zodat we op meer plekken konden gaan kijken.



Figuur 1: Openpit mijn Hambach

Al sinds de 18^{de} eeuw wordt er in dit gebied bruinkool gemijnd. De openpit mijn Hambach bestaat ruim 26 jaar en is de grootste in de omgeving. Opmerkelijk is de dikke deklaag die zich op de kolen bevindt ("Abraum" 227,3 miljoen m³). De kool laag zelf is goed voor 39,6 miljoen ton. De deklaag bestaat uit grind, zand en klei lagen. Met af en toe een geul die door het afgraven goed zichtbaar is geworden. De grind, zand en klei worden gesorteerd en later als de kolen zijn gemijnd wordt de deklaag weer terug gelegd. Bij de bezichtiging van de mijn blijkt pas hoe groot de mijn eigenlijk is.





Alle gevoel voor schaal raak je kwijt in dit reusachtige gat in de grond. Pas vlak naast de "bucket-wheel-exceuator" (Figuur 2) zie je pas de werkelijke grootte van deze machine. De kolen worden via een kilometerslange transportband door de mijn vervoerd om vervolgens per trein naar de kolenveredelingsfabriek vervoerd te worden, waar de bruinkool wordt ver-

werkt om vervolgens naar de bruinkoolcentrale te gaan, waar elektriciteit wordt opgewekt.

Uiteindelijk hebben wij (dankzij de kleine groep) veel van de mijn gezien en geleerd. Rest ons nog Robrecht Schmitz te bedanken voor het regelen van de rondleiding en voor zijn eindeloze enthousiasme als gids.



Book Review:

Uncertainty and Ground Conditions - A Risk Management Approach, by M.T. van Staveren

J. K. Haasnoot

For any engineering geologists it is paramount: all construction projects require some sort of solid foundation and ground conditions bring a degree of uncertainty to any project. Dealing properly with ground-related risk distinguishes commercial success from project failure. The latter may imply budget and time overrun, or even worse, a lack of quality or even unsafety.

Risk management has demonstrated its value in many industries, but the full lessons of that experience have not yet reached all aspects of ground-related engineering and construction. There are promising developments, such as the ground risk allocation concept of the Geotechnical Baseline Report from the United States, which has been adopted in the United Kingdom as well. Furthermore, GeoDelft initiated the GeoQ approach for structured ground risk management, together with a lot of Dutch parties. Additionally, the awareness of the need and benefits for risk management, in view of the many ongoing changes the construction industry, is rising inside and outside The Netherlands.

Martin van Staveren, engineering geologist from the Delft University of Technology and working at GeoDelft, has written a new on ground risk management. In the book he integrates the presented developments in a structured ground risk management approach, which can be applied in any phase of any construction project. It starts with a few often-overlooked aspects: the roles of the individual professional, teams and clients in successful risk management.

The book is divided in four distinctive parts:

1. The context of ground risk management in the construction industry
2. The people factor in ground risk management
3. The process factor in ground risk management
4. A look into the future

Volume 13 | No. 1 2006 | 44

The book looks inspired by the general management books with a wide variety of graphs and schematic diagrams. This may give the impression of a relative theoretical publication. However, text boxes are included with illustrative examples on many Dutch and international projects.

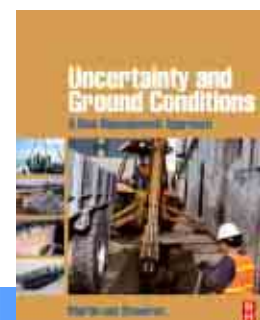
The GeoQ concept is the central system described in the book. It is developed within GeoDelft. Some interesting and ambitious comparisons are made in the book on the GeoQ concept:

“In 2001, a number of countries of the European Union introduction the euro with their ultimate statement: ‘The Euro is for all of us’. GeoQ is for all of us as well, even well beyond the boundaries of Europe. Everybody, anywhere in the world, is free to use the GeoQ principles in his or her projects. GeoQ can be perceived as an open source ground risk management framework. It is comparable with other worldwide open-source developments, such as the Linux software, the Apache web server programme and the Wikipedia Internet Encyclopaedia.”

Martin van Staveren ends his book with a positive message and a warning: *Always look on the bright side of risk and stay alert.* Martin aims to create a much more positive image around the concepts of risk and risk management in general and ground-related risk management in particular. But, stay alert, because as long as construction is man-made and deals with Mother Earth, ground-related risk remains in our day-to-day reality.

ISBN-10: 0-7506-6958-6

<http://www.books.elsevier.com/construction?isbn=0750669586>



STUDENTEN ACTIVITEITEN

Dispuut Ingenieursgeologie DIG

After two years of continuity in the DIG board, times have changed and a wind of new people is blowing through the western wing of our old mining building. The new DIG board was inaugurated in September 2005. Traditionally the three male members overcame eating tons of pizza's and drinking a beer-helmet while their female counterpart was pleasantly finishing up her overseas internship.

In the last months various drinks and a Christmas/new years dinner have been organized. The latter once a again was a great opportunity to get Engineering Geology students, staff and recent graduates together and at the same time enjoy an extensive meat gourmet.

Although equally sociable, lately a small attendance to monthly drinks has become a rule rather than an exception. It can't be denied that the student population of Engineering Geology has shrunk significantly during last years. The DIG is trying to adapt to these developments: We have promoted the MSc to the first year's students during their drinks. Moreover we are strengthening the bonds and discussing ways of cooperation with colleague student associations in Civil Engineering which, like us, will become part of the new Geo-engineering Master's program.

The mayor DIG activity of this year is ambitious but most of all exiting: A study tour to China! An enthusiastic committee has been installed to organize this extraordinary experience for a group of ten of our students. The preliminary program includes visits to the mayor centers Hong Kong, Peking and Shanghai. In the surroundings of these metropolises a blend of company visits and cultural experiences will be organized. Many organizational aspects are currently taken care off....such as the acquisition of funds for the trip. If you receive a sponsoring request one of these days, we hope you and your company will be triggered to contribute something to this tour, just as much as we have been triggered to make it a success.

We always enjoy being involved with the activities of the alumni in our field. We are therefore looking forward to meet you at one of the Ingeokring or DIG activities.

The DIG board 2005-2006:

Koen de Jong – President

Roeland van Hof – Secretary

Rens Servais – Treasurer

Janneke van Berlo - PR

SISOLS 2005 Shanghai

Ger de Lange, TNO Bouw en Ondergrond, Postbus 80015, 3508 TA Utrecht, The Netherlands, e-mail: ger.delange@tno.nl

Van 24 oktober 2005 t/m 29 oktober 2005 vond het Seventh International Symposium on Land Subsidence te Shanghai plaats. Voorafgaand aan het symposium was er een workshop "Simulation of Land Subsidence in Models of Regional Ground-Water Flow" georganiseerd, waarin ondergetekende als docent deelnam samen met hydrogeologen van de USGS. De workshop werd door ca. 40 personen gevolgd, meerendeels Chinees. Er werd enthousiast gebruik gemaakt van de gelegenheid tot discussie, tekenend voor het belang van bodemdaling in China. Ook Shanghai heeft inmiddels een aanzienlijke bodemdaling ondergaan, enige decennia geleden voornamelijk door grondwaterextractie, maar nu steeds meer door de ongebreidelde bouwactiviteiten en de toenemende belasting van de gebouwen op de samendrukbare lagen waarin gefundeerd is.

De eerste dag van het symposium werd professioneel simultaan vertaald via hoofdtelefoons. Simultaanvertaling was de rest van de week niet aanwezig. Hierdoor werden verder alle presentaties in het Engels gehouden, hetgeen de Chinese presentaties soms niet ten goede kwam. Woensdag 26 oktober vond een excursie in en rond Shanghai plaats met aandacht voor historie en bodemdaling in Shanghai. Dit hield ondermeer in een bezoek aan de Shanghai Geological Survey (expositie), Land Subsidence Monitoring Show (infocentrum met computerpresentaties en uitgestalde monitoringapparatuur). De excursie werd afgesloten met tochtje op rondvaartboot op de Huang-Po in de avond. Op de derde symposiumdag was er in de ochtend de Special Session: Multi-disciplinary Assessment of Subsidence Phenomena in the Ravenna Area, onder voorzitterschap van Prof. Frans Barends. Hier werd het eindrapport van de studiegroep naar effecten van olie- en gasproductie in de Adriatische Zee gepresenteerd in de vorm van een aparte Proceedings Volume. In deze studie heeft de nederlandse bodemdalingsgemeenschap (GeoDelft, TNO-NITG en Adriaan Houtenbos) een belangrijk aandeel gehad. Aan het symposium werd deelgenomen door ongeveer 260 personen, waarvan ca 160 uit China en Taiwan. De delegaties uit de USA en Japan

waren relatief groot. Wegens de Special Session was er uiteraard ook een grote Italiaanse en Nederlandse delegatie. Ook de bodemdalinggroep van de NAM was vertegenwoordigd. Het merendeel van de papers was gewijd aan subsidence door grondwaterextractie, enkele aan nieuwe modelleringstechnieken. De verschillende andere oorzaken van bodemdaling kwamen daarnaast ook aan bod, zoals secundaire consolidatie, veenoxidatie, tektonische setting, mijnbouw en civiele constructies, waaronder een paper over zettingen ten gevolge van "seepage" in een tunnel. Thomas Burbey van Virginia Tech liet interessante nieuwe ontwikkelingen zien van zijn inverse modellering van horizontale bewegingen. Een interessant paper was van Klaus Affeld, een Biofluidmechaniker uit Berlijn, die experimenten toonde met zandinjectie, afgeleid van een medische techniek.

Er was veel belangstelling voor INSAR technieken. Enkele instituten die met TNO in het Europese TERRAFIRMA project samenwerken waren ook hier aanwezig. Ook Ramon Hanssen van TUD presenteerde een paper over PS-INSAR. Negatief punt van het symposium was het feit dat, behoudens de Special Session, er praktisch geen bijdragen waren over bodemdaling door olie- en gaswinning buiten de westerse landen. Keith Prince (USGS) introduceerde een web-based database voor bodemdaling: International Land Subsidence Database. Iedereen kan hier case histories in aanbrengen. Er werd na de presentatie enige zorg uitgesproken over de bewaking van de authenticiteit van de gegevens. De link is: <http://isols.usgs.gov/ISOLSHome.asp>

Na de sluiting werd door het comité onder leiding van bodemdalingveteraan en UNESCO-vertegenwoordiger Ivan Johnson, dat de ISOLS organiseert, vergaderd over de mogelijke venue voor het volgende symposium. Dat zal over ongeveer 4 jaar plaats vinden. Er wordt momenteel gedacht aan de kandidatuur van Indonesië en Mexico.

Overigens zijn bij de onlangs gehouden IAEG conferentie in Nottingham ongeveer 15 papers met het keyword subsidence, waaronder een paar uit China.

Excursion: TUDelft takes a close look at subsidence phenomena

Dominique Ngan-Tillard, Elles Bader and Michiel Maurenbrecher

Exposure to the complexity of the subsurface and its dynamic processes are progressively developed through idealised cases, case histories, short field trips and an intensive fieldwork programme in our Engineering Geology MSc curriculum. Our last excursion focussed on subsidence: subsidence related to the collapse of abandoned calcarenite mines in Maastricht, subsidence above karst formations and of course subsidence in the Western Netherlands.

The excursion was a great success! There were 30 of us in the calcarenite mines following Roland Bekendam's steps in the corridors of the Geulhemmer mine. And not only Engineering Geologists! Several colleagues of the faculty of Aerospace Engineering followed Roland Bekendam's lectures on subsidence this year and joined the excursion. They measure subsidence with satellites and are eager to know more about its causes. Michiel Maurenbrecher had also convinced the civil engineers taking his course Geology for Engineers to get their first contact with field geology during the excursion. In the bus, Michiel completed the chapter "Geology of the Netherlands" and related all the bumps on the road, lows and ups in the landscape and trees and crops to the local geology.

Roland Bekendam guided us through the Geulhemmer mine to a collapsed zone that had now been reinforced. The damage was still visible ... through a window in a concrete wall! During the visit, Roland pointed out all the geological features of importance for the stability of the calcarenite room and pillar mines: the numerous earth pipes, the hard ground layer (Tauwlaag) providing a solid ceiling to the galleries. He talked about the local and large scale collapses which occurred in the past and led to surface subsidence, faulting and sinkholes. The cherry on the cake was the Cretaceous-Tertiary boundary, which can be seen just above the head of our new colleague, Joep Storm, in Figure 1. Michiel Maurenbrecher took some samples and launched a new project: the compressibility of the first Tertiary



Figure 1: Joep Storms (left) under the Cretaceous-Tertiary boundary in the Geulhemmer mine

clay layer formed after the extinction of the Dinosaurs!

Then, we headed for the Jesuits mine. We admired the reproduction work of the Jesuits scholars before taking a close look at the edge of a collapsed zone. Glass hour pillars and cracked roofs could be seen. Our guide mentioned the case of a person who penetrated into the NO GO zone of a mine nearby 3 weeks ago, and was killed by a falling block. None of us dared to venture into the forbidden zone even for a good photo!

After Maastricht, we drove towards Liège and its campus while reading the excursion guide written by Robrecht Schmitz and Christian Schroeder for the 2004 INGEOKRING excursion. In Liège, Christian Schroeder gave an inspiring talk on karst formations and infrastructures in Belgium. Christian referred to many Belgian construction projects which suffered more or less from karst: the railway line between Brussels and Paris, the Soumagne tunnel of the railway link between Liège and Aachen and the hospital in Mont Godinne. The group spent the night in Liège Youth Hostel. On Saturday morning, Christian took us to the Frasnie and Givention limestones. We hammered the reef lime-

stones, observed the clayey limestone beds and their vertical schistosity before reaching the Ste Anne cave. Christian explained the karstic origin of the cave related to a former incision level of the l'Ourthe river into the bedrock. We asked about stabilisation works. What was the best? Scaling, rock bolting, meshing or an ugly concrete arch? Christian was so enthusiastic about the engineering geology wonders around Liège that no one complained about the poor weather! We walked along the l'Ourthe valley towards the Rochers aux Faucons and imagined in the mist the Devonian peneplain behind the beautiful meander of the river l'Ourthe. We ventured onto a slippery block to see a sharp turn of the l'Ourthe river around a landslide and wondered about the future of the houses built on the landslide. One day, Christian warned us, dams will be built along the river, the water level will raise and the landslide might be reactivated. Then, we followed a small stream which abandoned its bed when it found a short cut to the l'Ourthe valley and disappeared into a system of karst galleries. Before lunch time, we walked to the Calembert and Schroeder dolines in the Beauregard valley. Christian had not visited the site for 2 years and was very pleased about the growth of his 35 years old doline (Figure 2). You will find photographs of the Schroeder doline in its youth in Ingeokring 2004 excursion guide to the Ardennes. In few years time, trees will prosper in the doline. Christian gave advise for those interested in building a house in the area: Not at the edge where acid rain water is still active and dissolves the limestone of the syncline! Not along the axis of the syncline! There, the limestone is more jointed and water tends to pond above the impervious underlying schist layer and dissolution features can be expected.



Figure 2: Christian Schroeder in front of the doline named after him with the Calembert doline at the back.

In any case, perform a geoelectric resistivity survey before buying the land. We left the quaternary karsts of the l'Ourthe valley for the paleokarsts of Visé at the interface between the Viséan limestone and the Namurian schists before driving to Lixhe quarry and the neighbouring calcarenite quarries. The Lixhe chalk belongs to the same formation as the chalk of the North Sea at 3000m depth. It has been tested extensively to solve the subsidence problems faced by the Ekofisk platform. Please refer to Christian Schroeder's PhD thesis for more information! The calcarenite quarries are exploited by the cement industry. Their silex beds are also exploited but at a smaller scale. Two workers cut blocks of silex which will line the interior of tumble mills to avoid contamination of products by steel. The last stop of our visit was the fantastic world of the Eben-Ezer... At last but not least, many thanks to all our guides for helping us putting fieldwork and field excursion at a central place in our MSc programme.



Figure 3: TU Delft visiting Cardona and its subsidence and collapse in Cardona with Prof Casas.

Excursion to Vryhof Anchors: a look at offshore geo-engineering

Marco Huisman, Bluewater Energy Services B.V., Hoofddorp

As far as the weather was concerned Friday November 25th must have been one of the bleakest days in 2005, and it was definitely the one with the longest traffic jams. It was also the day on which the Ingeokring organized an excursion to Vryhof Anchors in Krimpen aan den IJssel near Rotterdam. Vryhof is one of the world's leading manufacturers of anchors – not simply those you may choose to moor the average yacht to, but the kind of anchors used in the offshore industry: large.

When the Ingeokring members started arriving one by one at Vryhof's main office, they were welcomed by a well-known face in Dutch engineering geology: Senol Ozmutlu of Vryhof's technical department. While enjoying sandwiches and cups of coffee everyone introduced themselves where required. Some calls were made with the still missing Fugro party, who were obviously discussing sophisticated surveying techniques whilst dreadfully losing their way to Vryhof. In the end everyone made it there (Figure 1) and the excursion started off with a presentation by myself on the topic of mooring of floating offshore structures.

For those unaccustomed to the offshore industry the variety of such structures may be bewil-



Figure 1 - The Ingeokring group at Vryhof's office.

dering. My employer Bluewater is a regular supplier of several specific types and their mooring systems.

As an example I discussed two of those: FPSO's and CALM buoys. FPSO is short for Floating Production, Storage and Offloading, and an FPSO is a vessel capable of producing hydrocarbons from subsea wellheads through flexible risers, storing the crude oil, and offloading it to shuttle tankers that moor to the FPSO during loading. An FPSO looks not unlike a conventional tanker with a petrochemical plant built on top of her (Figure 2) and often FPSO's are in fact converted tankers.



Figure 2 - The Bluewater FPSO "Glas Dour" offloading to a shuttle tanker.

They have the same role as conventional production platforms and remain fixed on their oil field for years on end, and of course positioning of an FPSO is of high importance. Most of the Bluewater FPSO's are moored to the seabed with mooring chains connected to either anchor piles or drag anchors.

CALM buoys are of a much smaller scale than FPSO's. CALM is short for Catenary Anchor Leg Mooring (the offshore world is one of abbreviations!). A CALM buoy is a rotating buoy which provides a mooring point for a shuttle tanker while at the same time connecting an oil pipeline through flexible submarine hoses, the

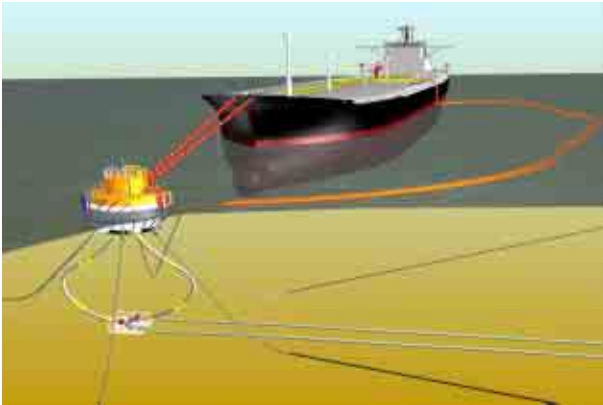


Figure 3 - A CALM buoy system in operation, with a tanker moored to the buoy.

buoy piping and swivel, and floating hoses to the tanker manifold (Figure 3).

The buoy itself is moored to the seabed again by anchor chains and it can rotate around its mooring system, thus allowing the tanker to weathervane in the prevailing current, wind and waves during loading or offloading operations. The catenary (curved) shape of the anchor chains provides a dynamic means of absorbing excursion of the buoy and the loads transferred through the buoy. The chains hang down to the sea bed where they run horizontal for some distance, and they are typically fixed into the sea bed at their ends again by anchor piles or drag anchors.

Following my introduction, Senol Ozmutlu continued with a presentation on Vryhof anchors. The type of drag anchor that is used in the mooring of structures like FPSO's and CALM buoys is a so-called drag embedment anchor: when such anchors are placed on the sea bed, they drag automatically down into the seabed when a tension load is applied to the chain attached to them. Figure 4 shows such an anchor lying on the deck of an installation barge.

The anchor will be put down on the sea bed essentially in the same position. The anchor chain is connected to the anchor shackle visible in the lower left of the figure. When the chain is loaded, the load is transferred through the "shank" (in Figure 4 the part with STEVPRIS painted on it) to the "fluke", the curved part perpendicular to the shank. Due to the shape of the anchor and the direction of loading, a downward resultant force is generated causing

the anchor to penetrate into the sea bed. When increasing the load on the anchor, it will drag whilst penetrating and rotate while doing so until the soil resistance generated by the fluke withstands the anchor load, and the anchor comes to rest.

The drag embedded anchors are dimensioned depending on soil conditions and the applicable mooring loads, and can be anything up to approximately 65 tons, with a fluke width of about 11 metres and an anchor length of about 10 metres. Maximum mooring loads on these anchors are typically in the order of 150-250 tons (excluding safety factors) for CALM buoys and some 600-800 tons for FPSO's. A specific characteristic of Vryhof's HHP (High Holding Power) drag anchors is their high ratio of ultimate holding capacity to anchor weight. Several types of these anchors are made, for hard soils as well as soft, and by adjusting the angle between shank and fluke each type can be fine-tuned to meet the specific site soil conditions. In deep water, catenary mooring systems are often not feasible and hardly ever economically justifiable, because the footprint of the mooring legs will be too large and the mooring line length will be much higher than with so-called taut or semi-taut mooring layouts. Essentially taut mooring can be thought of as pinning down a floating structure with steeply inclined straight mooring lines to the sea bed. Since there is no catenary in taut systems to provide a flexible and dynamic way of absorbing excursions and loads, taut systems will consist of several sections of chain and polyester rope. The elasticity required in the



Figure 4 - Vryhof Stevpris New Generation drag anchor ready to be installed offshore Tuban, Indonesia.

mooring system is then largely provided by the polyester sections. Because the mooring lines arrive at the sea bed at an angle of around 45°, rather than in a horizontal line as with CALM's, the anchor design needs to be able to take up inclined or even vertical loads.

For these loading conditions, Stevmanta VLA's have been developed (VLA = Vertically Loaded Anchor). These are also installed by dragging them into the sea bed, and when the target depth is reached a shear pin brakes, enabling the anchor to resist steeply inclined loads (Figure 5).

Following these presentations we went to see Vryhof's construction yard in Europoort. Through driving rain and traffic we made our way there and after all had arrived, we had a closer look at Vryhof's test flume. Vryhof uses small scale test anchors to test their behaviour and holding capacity in different soil types to evaluate different designs before making actual full-size test anchors. The small scale tests also provide important information about the stability of the anchors during installation: during drag embedment, the anchor should stay correctly aligned and should not overturn. Eventually full scale tests are done on new anchor types, like the latest development, the Stevpris New Generation drag anchor. Before this anchor was put on the market, it has been tested in a Norwegian fjord as well as in Rotterdam harbour, and it is now going through all type approval procedures with offshore's certifying

authorities like Lloyd's, Densk Norske Veritas (DNV) and the American Bureau of Shipping (ABS).

When we left Vryhof's yard into the storm and rain we had learned quite a bit about anchors, and we had seen interesting tests as well as impressive newly finished 15 ton anchors ready for their job. For me personally this excursion had a nice follow-up when I travelled to Indonesia only a few days later. While enjoying tropical temperatures in the Java Sea, we installed six of Vryhof's New Generation anchors for the mooring of a CALM buoy offshore the town of Tuban, north-east Java (Figure 4). This Bluewater project was the first time that this new type of drag anchor was actually installed for a permanent mooring system and was a good example of the value of innovative design.

On behalf of the Ingeokring I would like to thank Vryhof and especially Senol Ozmutlu once again for the hospitality during our visit!

For more information about Vryhof Anchors and their applications, visit the Vryhof website at www.vryhof.com. Information about floating structures like FPSO's and CALM buoys including animations and photographs can be found on Bluewater's website www.bluewater.com.

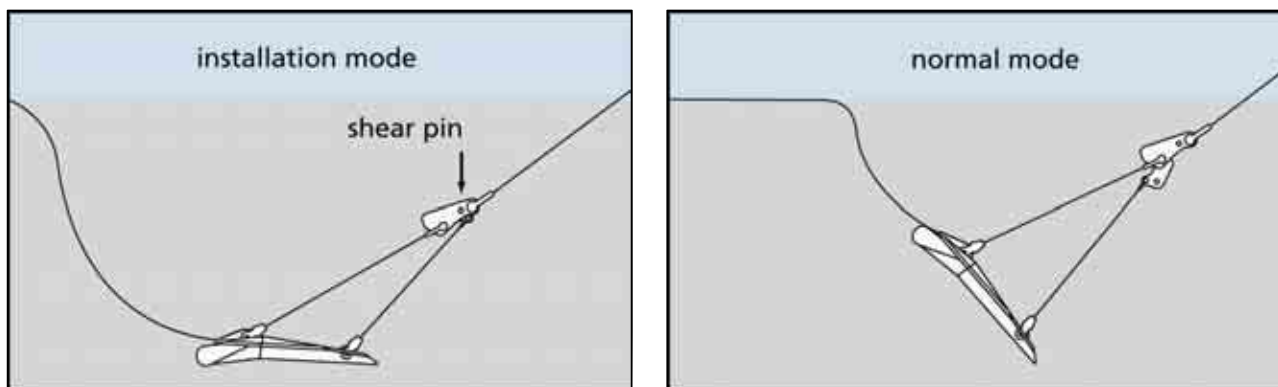


Figure 5 – Stevmanta VLA during installation with the so-called one-line installation procedure. The mode of the anchor changes when the shearpin breaks at a load equal to the required installation load. When the shear pin breaks, the Stevmanta VLA changes from the installation mode to the normal (vertical) loading mode.

THESIS ABSTRACTS

Injection of oxygen-rich water as an arsenic remediation technique: visualization experiments

Vera van Beek, Delft University of Technology

Adsorption/co-precipitation with iron oxides is the most commonly adopted method for arsenic removal from contaminated water, because this method is both effective and cheap compared to other methods. A large drawback of conventional techniques is the production of arsenic containing waste. The method that is investigated in this project, the injection of oxygen-rich water, transfers the processes of conventional above ground treatment techniques into the subsurface.

During injection of oxygen-rich water iron compounds that are present in the subsurface are oxidized to iron hydroxides. Newly produced iron oxides are well-known arsenic scavengers. So when water is withdrawn, arsenic in the ground water adsorbs to the newly formed iron oxides and is retained from the ground water.

Laboratory experiments were carried out to acquire more insight and understanding of the processes associated with in-situ arsenic remediation. A flat transparent Perspex cell, filled with glass beads, is used to represent the subsurface. Green rust is chosen as the iron compound of interest, because of its colour, its known composition and its natural occurrence. During the introduction of oxygen-rich water, photographs are taken to monitor the change from green rust to orange lepidocrocite. Micro-electrodes are used to measure oxygen and pH in two sections along the length of the cell.

Using image analysis a spatial and temporal distribution of ferrous iron concentration is obtained from the photographs. This iron(II) profile is used as input for the transport equations of oxygen and hydrogen, from which oxygen and hydrogen profiles are calculated. An acceptable agreement between the measured and the calculated hydrogen and oxygen profiles was obtained, which validates the model. The calculated oxygen and hydrogen profiles, com-

pared with the ferrous iron profile obtained by image analysis, are used to determine the actual reaction rate constants in time. The rate constant appeared to be decreasing in time. This decrease was attributed to the passivation phenomenon and the decrease of available effective surface area. The average reaction rate constant, $1.64 \cdot 10^{12} \text{ mol}^{-2} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ atm}^{-1}$, agrees well with the values of batch experiments reported in literature.

Reducing switch alignment problems with SmartSoils, Analysis of failure causing mechanisms below switch supporting sleepers

B. Felling, Delft University of Technology

Ensuring that rail transport runs according to schedule is a difficult, but challenging task. The Dutch railway network is well occupied, so malfunctioning of the rail infrastructure can cause many delays. Especially failure of switch-points can severely disrupt rail traffic, due to the erratic nature of switch point faults and the importance of switchpoints in the railway track. There are many reasons why switch-points can fail: mechanical failures, faults in the operational or control systems or faults that are related to stability of the position of the switch point. The latter phenomenon is investigated in this project, including the role of substructure in the switch point stability and how this problem can be dealt with, using the SmartSoils Concept, which is being developed at GeoDelft.

The loosely position in the ballast bed of switch supporting sleepers could be caused by the impact force generated at the transition of the wing rail to the frog.

The impact load generated at the rail level is calculated by multiplying the static wheel load with a factor. The vertical stresses at several levels in the railway embankment need to be multiplied with the dynamic amplification factor.

It is investigated to what extent the amplified vertical stresses could lead to instability in the ballast and the substructure. Ballast penetrating

into sand appeared to be the dominant failure causing mechanism. The occurrence of ballast particles mixed with sand was also observed in practice. To prevent ballast and sand mixing, structural demands of a sub ballast layer have been defined by ProRail. In reality this sub ballast layer is only installed at crossings with road traffic.

The SmartSoils concept of GeoDelft encloses several processes. The common feature of these processes is that the soil properties can be changed insitu on demand of the client.

One of those processes, Biogrouting, aims to improve soil strength and stiffness with limited decrease of permeability. The recent process, which is used for Biogrouting is based on the method, BioCement. The BioCement method consists of flushing sand with a suspension of bacteria. The result is that the sand grains are cemented with calciumcarbonate, in this way sandstone is created from cohesion less sand. The cohesion required to prevent ballast penetrating into sand can be reached in laboratory conditions.

It is suggested to sprinkle the bacteria containing suspension on the ballast bed. After that the suspension should flow through the ballast into the sand, in order to cement the sand grains.

A limiting factor in this proposed implementation method could be the hydraulic conductivity of ballast, which could be severely reduced in the presence of fines.

Spraying the BioGrouting suspension on moderately fouled, moderately clean and clean ballast beds could in theory be a very effective low cost method of improving the sand beneath it. The improved sand is expected to prevent ballast penetrating into sand any further.

Modelling Hydraulic Fracture of Boreholes in Clay

Noëlle Fierloos, Delft University of Technology

This Thesis is about an attempt to improve modelling hydraulic fracture of unlined boreholes in clay. During hydrocarbon well drilling, borehole fluid pressures ψ may be high enough to fracture the clay. A conductor is installed to stabilise the soft clays at shallow depth and prevent gas and oil leakage. If soil fractures, leakage occurs and it affects the capacity of the casings. Oil companies want to know the hydraulic

fracture pressure ψ_f in order to protect the borehole by sufficient length of the conductor. The conductor is installed as far as ψ exceeds ψ_f : at the conductor setting depth. If this is too deep, this leads to unnecessary high costs. A way to determine ψ_f is performing the Hydraulic Fracture Tests (HFT), a sort of packer test. However, this may prove to be costly and in some cases difficult to perform.

Without HFTs it is possible to predict ψ_f with analytical models. There are three presently used clay models (Bjerrum et al., Aldridge and Håland, and Andersen et al.). These models show hydraulic fracture pressures that increase by date of publication. Since these models may not be up to date, an investigation for determining ψ_f with a new clay model is made in this Thesis.

A numerical model of the HFT was made using the Finite Element program PLAXIS. PLAXIS has three soil models that may be used to model clay behaviour: Mohr Coulomb (MC), Hardening Soil (HS), and Soft Soil (SS) model. The HS model was expected to give the most realistic results of these three for undrained situations of normally consolidated clays. Calculations were performed using the HS model (effective stress analysis, c' and ϕ') and checked with the MC model (effective stress analysis, c_u), for both normally and over-consolidated clays.

The PLAXIS HFT model using the MC model gave results that closely represent the ψ_f values according to Aldridge and Håland. This was expected. However, the HS model gave ψ_f values that are unrealistically high compared to the previous analytical models. For example, for normally consolidated clay, excess fluid pressure over in-situ pore water pressure ($\psi_f - u_0$) according to Bjerrum, Aldridge and Håland, Andersen and the HS model gave at depth 200m below sea bottom values of 624 kPa, 852 kPa, 1080 kPa, and 1605 kPa, respectively.

This simulation with the HS model was studied in detail. Stress path plots showed a drop in the vertical effective stress, σ'_z . This is not possible for a plane strain elastic cylindrical cavity expansion. Thus, σ'_z must remain constant until yield occurs. However, for the HS model

elasto-plastic behaviour occurs throughout the undrained loading process.

Also, it is generally accepted that hydraulic fracturing occurs when the minor principal effective stress σ'_3 becomes tensile (e.g. Bjerrum et al., Andersen et al.). This was not seen in the HFT PLAXIS simulations as a consequence of the applied condition of undrained deformation. It is recommended for future research to take account of consolidation of excess pore water pressure during loading.

A method to automate the identification and characterisation of rock mass discontinuity sets using 3D terrestrial laser scanning data

B. van Knapen, ITC

In this research a methodology is worked out to automate the identification and characterisation of rock mass discontinuity sets using 3D terrestrial laser scan data. With 3D laser scan surveys a dense point cloud is generated that represents the geometry of the scanned rock face at a very high detail. Through 3D surface reconstruction techniques the original rock surface can be rebuilt in the form of a very large number of 3D facets. The normal vector data representing these 3D facets can be plotted as poles in a hemispherical projection. In order to avoid the subjective choice of discontinuity sets from such a kernel density distribution, this process has been automated using fuzzy k-means cluster analysis. An approach to the number of discontinuity sets in the normal vector data set is obtained using cluster validity indices. Any apparent outliers that are present in the clusters determined are rejected, assuming a circular distribution about the mean orientation. All facets that still contribute to a (delimited) cluster are used to extract the individual 3D 'virtual' rock surfaces and corresponding point clouds within each discontinuity set.

By fitting planes to these point cloud data using Principal Component Analysis, it is possible to determine the intersection distances of the discontinuities with a line of any orientation (discontinuity spacing analysis). With this method, it is shown that (near) planar rock surfaces of discontinuity sets captured by the laser

scanner can be identified and extracted as point cloud or facet surface data. This is supported visually by colouring the 'virtual' 3D rock surface. This 3D rock surface data can serve as a basis for many other discontinuity surface analyses, such as set spacing, block size distribution, and in future research possibly even roughness. Inaccuracies resulting from data acquisition, data processing (e.g. surface reconstruction) and data analysis (e.g. clustering) should be considered and evaluated carefully, since these can influence the results significantly.

The accuracy of the interpretation of CPT-based soil classification methods for soft soils

Jordy Mollé, Delft University of Technology

In the Netherlands, CPT's are the main source of information about the shallow subsurface. CPT data is used to schematize the subsurface and derive geotechnical parameters using empirical relationships. CPT-based soil classification is largely based on rules, experience, and the correlation of CPT data with borehole data to help identify different layers. A typical problem, which occurs in Dutch geotechnical practice, is that physically distinct soft soil types cannot always be distinguished in the CPT's.

The accuracy of several common CPT-based soil classification methods (Begemann (1982), 3 type, CUR, Robertson and Campanella (1986), Robertson (1990), and Dutch Practice Methods 1, 2, and 3)) is assessed for soft soils (peat and clay). This assessment is based upon data from the 10 km long section Sliedrecht-Gorinchem of the Betuwe Route railroad track where the shallow subsurface consists of Holocene deposits that overly Pleistocene sand. CPT parameters (q_c , f_s , R_f) that were obtained from 76 borehole-CPT combinations were used as input for the assessments. The boundaries as indicated on the borehole logs were considered being true. Hence, by assessing the corresponding CPT traces, the classification methods could be assessed.

Soft clay and peat CPT parameters are of the same order of magnitude as the maximum allowable measuring inaccuracies. Hence, because of these possible inaccuracies, much variation in soil classification can occur. Only class 1 type CPT's, which cannot be achieved

in current Dutch geotechnical practice, would give a reasonable soil classification when the possible error is taken into account.

For soil classification purposes, data can be assessed and processed in several ways:

The use of either of the two NEN 5140 based definitions of R_f yields the same results

Averaging of CPT parameters over a small window in combination with removal of data around layer boundaries does not yield better results.

Variability can significantly be decreased by taking averages over 10 cm intervals

Taking the average CPT parameters over the whole layer or over the middle 30 cm of a more thick layer yield slightly better results than considering all data points.

By adapting the soil classification methods to allow for all positive cone resistance values and all friction ratio values smaller than 20%, peat is classified correctly more often. On average, the peat success rate increases from 27 to 31%.

On average, peat and clay were classified correctly in 30% and 50% of the cases, respectively. When the peat and clay layers were combined, about 40% of the data is classified correctly. The 3 type and (more detailed) Robertson (1990) rules provide the best classification results. For peat, the 3 type and Robertson (1990) success rates are about 60% and 30-40%, respectively. For clay, their success rates are 65% and about 75%, respectively. The success rates for all peat and clay data points are 50-60% (Robertson 1990) and around 60% (3 type). If CPT-based classification methods are used, correlation of the CPT data with borehole data should be performed.

Numerical modelling of rock mass decay in road cuts

Wiebke Tegtmeier, ITC

Note: CONFIDENTIAL REPORT

Following the initial stress release after excavation of a road cut, weathering and erosion processes will start acting upon the newly exposed slope material. The resulting rock mass decay may have significant effects on slope stability well before the envisaged engineering lifetime of the slope. Therefore, it would be a great advantage to be able to assess the influ-

ence of rock mass decay in road cuts with a suitable numerical model. Several models are already available that quantify weathering or erosion processes acting on a road cut, but what is not readily available is a model describing the combined effect of both processes. The integration of these various processes into a working numerical model is the topic of this research.

For the integration of the processes of weathering and erosion into a numerical model, a conceptual 2D model for weathering and erosion (Huisman, 2006; to be published) is used as a basis. The main part of the modelling is done using the 2D distinct element computer code UDEC. The input parameters as applied throughout this study were gathered for two study slopes during a short fieldwork period in the study area near Falset, Spain. For the creation of the model, data derived for the Gavada slope, is used. Furthermore, the developed model is validated through back-analysis of the observed slope failure of the Masriudoms slope. For an assessment of rock mass decay in road cuts, cross-sections of both selected slopes are schematised together with the rock material and discontinuity properties.

The results as determined by the different models reveal that various factors, such as the elevation in the slope, the slope retreat rate (R_s) or the exposure time (t), have clear influences on the outcome of the analysis and, thus, on the behaviour of the slope. Displacements in the slope are increasing with an increasing elevation and, for the greater part, decreasing with an increasing rate of slope retreat. Furthermore, a certain development of displacements in time can be noticed; that is, a decrease in displacements and subsequent stabilisation of the slope during the first years after excavation. This is followed by another peak increase in displacements, most probably caused by the weakening of the rock mass through the process of weathering. Finally, the displacements are slightly decreasing, until a more or less constant value is reached, leading to the assumption that after a number of years the processes of weathering and erosion reach equilibrium.

Moreover, the results as determined during the back-analysis of the Masriudoms slope seem to be reasonable. However, the observed slope failure could not directly be modelled. This might be explained by the fact that

the influence of water, which has played a significant role in the weakening processes of the material and consequent failure, is not included in this numerical model.

Heeft de CPM in slappe grond een meerwaarde boven de CPT?

Agnes van Uitert, Delft University of Technology

In dit rapport wordt onderzocht of de CPM een toegevoegde waarde heeft boven de CPT bij het ontwerp van horizontaal belaste palen in slappe grond. Hiervoor worden de CPM en de CPT met elkaar vergeleken op vier testlocaties. Hiertoe worden uit de literatuur correlaties tussen de conusweerstand uit de CPT en de elasticiteitsmodulus (E_{CPT}) verkregen. Daarnaast wordt de elasticiteitsmodulus (E_{CPM}) uit de CPM-data bepaald. Deze elasticiteitsmodulus (E_{CPM}) wordt vergeleken met de elasticiteitsmodulus (E_{CPT}) uit de CPT-data, die het best gecorrelleerd is. Beide zijn vergelijkbaar met de elasticiteitsmodulus op 50% van de piekrek uit de triaxiaaltest. Uit deze vergelijking blijkt dat de elasticiteitsmodulus van de CPM-data een hogere waarde heeft dan die uit de CPT-data. De nauwkeurigheid van de elasticiteitsmodulus uit de CPM-data is even groot als die uit de CPT-data. Vervolgens zijn de beide elasticiteitsmoduli gebruikt om het buigend moment van een horizontaal belaste heipaal te berekenen. Dit is gedaan met de Grafische methode van Bege-
mann en de Leeuw (1972). Met deze berekening is een gevoeligheidsanalyse gedaan. Zo wordt in dit rapport getoond dat het buigend moment dat wordt gevonden met de CPM-data nauwkeuriger is dan het buigend moment dat met de CPT-data wordt gevonden. Daarnaast wordt er voor de CPM-data een lager buigend moment gevonden dan voor de CPT-data.

Met behulp van het buigend moment kan een type heipaal gekozen worden. Bij een laag buigend moment kan er voor de relatief goedkope betonnen heipaal worden gekozen, bij een hoog buigend moment moet er een duurere stalen heipaal worden gebruikt. Dit kan betekenen dat gebruik maken van CPT-data leidt tot een ontwerp dat gebruik maakt van een fundering met dure stalen buispalen, terwijl een zelfde ontwerp op basis van CPM-data leidt tot het gebruik van de goedkopere betonnen palen. Het verschil in prijs tussen de stalen buispalen

en prefab betonnen palen, kan duizenden euro's bedragen. Wanneer CPM leidt tot een ontwerp met betonnen palen, dan kan deze methode uit de kostenreductie worden betaald.

Concluderend blijkt dat de CPM in slappe grond een toegevoegde waarde heeft boven de CPT als er vanuit gegaan mag worden dat de CPM betrouwbare waarden vindt voor de elasticiteitsmoduli.

Swelling and shrinkage characteristics of soils in the northern Netherlands and Restrained clay ring shrinkage

Michiel Zandbergen, Delft University of Technology

Damage to residential structures in the northern Netherlands raised question on what was the cause. Besides the possibility of subsidence due to natural gas extraction, compaction of the subsurface by lowering of the groundwater level and peat oxidation, also swelling/shrinking soils might have been responsible for cracking observed. This research investigates a number of sampling locations in the northern Netherlands on the swelling and shrinkage characteristics of the subsurface. The investigated sites are all situated in Holocene clay-rich soils. Extensive research of various basic soil properties did not reveal significant swelling or shrinking capabilities of the investigated soils. This was confirmed by compositional analysis with the aid of XRD equipment. Swelling minerals proved to be present, but reduced in their activity due to intercalated low swelling minerals and internal bonding. One-dimensional swelling tests generally did not reveal significant swelling pressures or swelling magnitudes either, and confirmed the earlier findings. However, occasionally thin layers of soil did reveal swelling pressures higher than the overburden pressure. These XRD and one-dimensional swell test were found not to be in agreement with the results of several swelling potential classification and estimation systems. Existing empirical systems were found not to be valid for Dutch soils due to calibration on artificially made or highly swelling natural soils.

Further research in the thesis involves the investigation of restrained shrinkage of circular clay samples. This restrained testing was performed with the goal of observing macro and

micro-level failure phenomena. For this purpose a new device was developed, which can make smooth symmetrical samples usable in an Environmental Electron Scanning Microscope (ESEM). The observations included failure mechanisms, volume changes and various macro-level scale features. A trail was made in using Digital Image Analysis (DIA) on the obtained macro and micro-level failures.

Application of computed tomography to analyse fabric evolution, during triaxial test

Paula Alexandra Tulha Moutinho, Delft University of technology

Attention is paid to the stress level at which the friction angle should be measured to obtain a value which is representative of the material behaviour and varies a little from test to test. Is it at characteristic stress, when the sample reaches its maximum contractancy and is still homogeneous? Is it at peak stress, when the triaxial test set-up imposes constraints to the sand sample and sand dilatancy competes with friction? Or is it at another stress/strain level?

To answer these questions, fabric changes in a sand sample tested in a triaxial cell were analysed. Eastern Scheldt sand, fine-grained quartzic sand was tested in its medium and dense states. 15 consolidated drained triaxial tests were performed in the laboratory. 5 of them were scanned in a medical X-ray Computed Tomography scanner during sample preparation and axial compression. The X-ray attenuation was converted into porosity and the external volume of the sample was measured to study its fabric evolution.

First, the possible alteration of the original sample fabric during sample preparation was investigated. The stress path imposed to the sample during installation inside the cell up to isotropic consolidation was simulated analytically. Generated stress states were found to be much below critical values and unable to cause sample failure. The detailed analysis of the CT data recorded during sample preparation revealed only small changes in sand porosity at all scales. CO₂ circulation did cause some small

but unexpected changes in the top part of the sample. Saturation and consolidation were found to render the sample more homogeneous.

Second, the agreement between CT data and laboratory measurements made at sample level was checked. The volumetric strain computed by the stacking of the area of all sample slices and that derived from the X-ray attenuation of all CT slices were found to match the volumetric strain measured in the laboratory. Even the small sample contractancy at characteristic stress state was well captured by the CT-scanner.

Third, the loss of homogeneity of the sample was examined at several stages: at the end of the consolidation, at the characteristic stress state, after the volumetric strain reaches once more zero, at peak stress and at large strains.

No lubrication system was used during the tests and the friction between the sample and the loading caps governed the deformation patterns at peak stress and afterwards.

At peak stress, the middle of the samples was found to dilate more than their extremities and no clear sign of strain localisation in a shear band could be detected.

In samples tested up to large axial strain (e_a @ 20%) and scanned, a strain localization pattern that resembles a cone and several radial shear bands that developed mainly in the middle of the samples were observed. Dilatation was recorded until the end of the triaxial test. No indentation of the loading cap was observed and no single shear bands developed despite the high height to diameter ratio.

At the peak and large axial strain, the samples were found to be heterogeneous and any mechanical value derived from global stress and strain measurements is not representative of the material behaviour. Therefore, the friction angle calculated at characteristic stress was found to be more meaningful than that measured at peak. Still, its low value, about 7° below the friction angle at peak, is too conservative.



Infrastructural challenges Structural solutions



Royal Boskalis Westminster creates, reclaims and protects land. Constructs and maintains harbors and waterways. Lays ground for infrastructure, subsea or ashore. From conceptual engineering and a creative, innovative approach to any infrastructural challenge, to the down-to-earth dredging and construction of the solutions conceived. Breaking ground for the environment. Setting records for precision. Extending the reach of our technology. Investing in our fleet and in our people. Providing structural solutions to your infrastructural challenges.



Royal

Boskalis Westminster nv

International Dredging Contractors

Rosmolenweg 20, 3356 LK Papendrecht, the Netherlands
Telephone +31 (0)78 69 69 000, telefax +31 (0)78 69 69 555
E-mail royal@boskalis.nl, Internet www.boskalis.com

We move the earth to a better place

ENGINEERS ABROAD

Que Sopá! (Het wel en wee van een Ingenieursgeoloog in Panama)

Ir. Milcar Vijlbrief, Boskalis

What happens when one of the 7 industrial wonders of the world wants to be more even more wonderful... One sends for ingenuity, port and waterway development capacity, one sends for the people from the low lands (Países Bajos, as they say locally).

As part of the contract tender team I've become involved in an extensive site investigation program that was organized jointly by all interested Dredging Companies. A survey and drilling campaign of 2 months, of which I got to attend only 3 weeks. To compensate, after part of the work was actually awarded to Boskalis, I got to participate in the project team on site for almost a year. This period has been incredibly educational, both engineering and geology wise. Also some lessons about life were learned...

Panama is an above average developed country in Central America, in which 3 million people live. 2 million live in and around Panama City, a modern city on the Pacific Side of the Canal. Another 200.000 live in the Caribbean city of Colon, and the others inhabit the remaining 75500 square kilometers around the Ismuth.

The fact that Panama is reasonably well off is mainly due to the presence of the Panama Canal and the financial and trade services around it. The Canal provides employment for more than 8000 people directly, and around 75% of the economy is services related. Since the canal has been taken over from the Americans, the Canal also contributes annually to the central government budget. At the moment the Canal is approaching its capacity limits, and plans are made for future expansion, including new locks, a deeper canal and more port facilities. The current project is however focused on allowing larger ships with the current locks and operating facilities, and consists of deepening and widening of the entrance channels.

Life in Panama

Life in Panama looks a lot like life in other Central American countries: Tropical conditions, rolling hills and impressive mountains, all covered in lush green and inhabited by more than you can imagine (and would like to imagine: what about 87 different species of poisonous snakes...). Daily life is good and relatively well organized, although traffic jams also contribute to Panama City's metropolitan image.



Map of Panama, with the canal in the centre.



Dredging under the bridge of the America's

The people are very friendly and helpful, and optimists by nature. Despite the visible American influences you will need some Spanish for your everyday life.

Since one is at the crossroads of the world everything is available, from bicycle pedals to 80 satellite TV channels, and nutmeg to Volvo, but an essential part of life is and will probably always be the open look towards the future: Mañana!



Part of the Canal close to the Culebra Cut, at Gamboa jungle resort

Spare time if available?!

White bounty beaches, distant archipelago's with diving resorts, and relatively quite a number of historical sites are well worth visiting. Entertainment is available, but due to the fact that tourists haven't really discovered the (most parts of) the country, the concept of mass attractions and well organized tours is totally absent.

The first sign of the Canal thought was traced back to 1587, when the Spanish started to exploit a land connection to get the loot out of South America to the Home Land. This left a number of monuments, and so did the history of the construction of the Canal.

This together with close by beaches, diving sites and fishing areas also provides the necessary relaxation on the Sundays off work.

Yep, Panama is a place well worth visiting, and an incredibly pleasant place to live and work. But like all things in real life, this will also come to an end. So now it's time to look for a new challenge. Next stop Qatar?

Advertising in the Newsletter

The Newsletter is a journal on engineering geology and related fields. It is distributed once a year to the 200 members of the Ingeokring and several companies and institutes, active in the field of applied earth sciences.

The Newsletter gives the possibility to advertise and bring your company to readers' notice. Revenues of Advertisement in the Newsletter will be for the benefit of the Dispuut Ingenieursgeologie. Advertisements will be in black and white or in colour, either half a page or a whole page large.

	B/W	COLOR
• A4 format	EURO 200 (for two issues)	EURO 450 (for two issues)
• ½ A4 format	EURO 125 (for two issues)	EURO 250 (for two issues)

Advertisements in digital format should be sent to:

DIG@ta.tudelft.nl

Camera-ready advertisements should be sent to:

Dispuut Ingenieursgeologie
Delft University of Technology,
Faculty of Applied Earth Sciences, Section Engineering Geology
PO Box. 5028, 2600 GA, DELFT
phone : 015-2786026
fax : 015-2784103

Payment should be made to:

DIG
giro nr: 5780457
Mijnbouwstraat 120
2628 RX DELFT

The Netherlands National Group of the International Association of Engineering Geology and the Environment (IAEG), The “Ingeokring” founded in 1974, is now the largest section of KGMG, the Royal Geological and Mining Society of the Netherlands. With over 200 members working in different organizations, ranging from universities and research institutes to contractors, from consultancy firms to various governmental organizations, the Ingeokring is playing a vital role in the communications between engineering geologists in the Netherlands.

Deze uitgave is mede mogelijk gemaakt door:

