

# Wat gebeurt er wanneer een sondeerconus op een zandsteen komt ?

## Resultaten van een inleidend onderzoek

A. Vervoort, J. Maertens en K. Nulens  
K.U. Leuven, Departement Burgerlijke Bouwkunde,  
W. de Croylaan 2, 3001 Heverlee

### Samenvatting

*De heersende mechanismen tijdens het sonderen van stenen of van steenlagen zijn slecht gekend, met regelmatige discussies als gevolg tijdens de interpretatie van het geotechnisch onderzoek en tijdens het uitvoeren van bouwkundige werken. Het voorgesteld onderzoek tracht onder andere een antwoord te geven op de vraag of het mogelijk is een steenlaag te doorboren zonder dat dit duidelijk vast te stellen is op het sondeerdiagramma. Laboratorium en numerische simulaties werden hiervoor uitgevoerd. Deze toonden aan dat dit een terechte vraag is. Tijdens het doorboren van steenlagen ontstaan splijt- en afschuifbreuken en wordt het gesteente onder de konus verpulverd. Complementair aan het uitgevoerde onderzoek, zouden in-situ observaties nog bijkomende informatie moeten opleveren.*

### 1. Inleiding en probleemstelling

De aanwezigheid van versteningen onder de vorm van steenlagen en concreties creëert regelmatig problemen tijdens het uitvoeren van bouwkundige werken. De aanwezigheid van versteningen onder tal van vormen en samenstelling is verbonden met de geologische geschiedenis van de ondergrond in België. Opeenvolgende periodes van transgressies en regressies van de zee met erosieve tussenperiodes, zorgen ervoor dat men een verscheidenheid aan geologische formaties aantreft in de bovenste 20 m van de Belgische ondergrond. Zo dagzomen in Vlaanderen formaties vanaf het Krijt tot en met het Kwartair. De afzettingen van het Krijt worden voornamelijk gekenmerkt door silexconcreties, terwijl in de formaties van het Tertiair en het Kwartair frekwent kalk- en zandsteenconcreties worden aangetroffen.

Voor grote bouwkundige werken wordt meestal een geotechnisch onderzoek uitgevoerd bestaande uit een aantal diepsonderingen. Bij het diepsonderen wordt een sondeerstang met een stalen konus hydraulisch in de grond gedrukt. Gedurende de sondering meet men de weerstand op de sondeerconus en stangen, vanwege de grond en eventueel van de verstening. De aanwezigheid van versteningen zou moeten gekenmerkt worden door een abrupte toename van de opgemeten konusweerstand. In het verleden zijn regelmatig discussies ontstaan over het al dan niet verkeerdelijk inschatten van de werkelijkheid tijdens het geotechnisch vooronderzoek. Twee situaties kunnen zich voordoen:

- Ondanks het feit dat steenlagen of banken aanwezig zijn, worden deze niet of onvoldoende

KUUV Innovatieforum '96

gedetecteerd door de diepsondering. Mogelijke oorzaken zijn het afbuigen van de boorstangen, het wegdrukken van de stenen of het doorboren van de steenlaag. Bij de uitvoering van de werken, kunnen dan onvoorziene problemen ontstaan.

- De maximale drukkracht wordt bereikt en de sondering stopt, terwijl er slechts lokaal een steen aanwezig is of een relatief onbelangrijke steenlaag. In deze situatie kunnen zich later stabiliteitsproblemen voordoen, bijvoorbeeld funderingen die worden aangezet op sterk verweerde rots.

Om een beter inzicht te verwerven in deze situaties, werd het probleem van het doorboren van steenlagen op een systematische wijze bestudeerd. Hierbij werd het probleem gesimuleerd met behulp van proeven in het laboratorium en werden numerische simulaties uitgevoerd met behulp van de eindige elementen methode.

De geteste steenlaag behoort tot de Brusseliaanformatie en is een kalkrijke zandsteenlaag. De monsters werden genomen op de werf voor de aanleg van de treintunnel ter hoogte van de luchthaven in Zaventem. De belangrijkste rotsmechanische eigenschappen zijn:

- Treksterkte: 3 à 5 MPa,
- Druksterkte: 40 à 100 MPa,
- Modulus van Young: 10 à 20 GPa,
- Coëfficiënt van Poisson: 0.2 à 0.3.

## **2. Simulaties**

### **2.1. Laboratorium**

Met behulp van laboratoriumproeven werd getracht om een analogie te bewerkstelligen met in-situ diepsonderingen. Het uitvoeren van deze laboratoriumproeven heeft een aantal bijkomende voordelen. Op de eerste plaats kan men eenvoudig de doorboorde of gebroken stenen onderzoeken en krijgt men een vrij goed idee over de basismechanismen die verantwoordelijk zijn voor de falings. Tevens ziet men hoe de blokken worden verplaatst. Ten tweede, kan men experimenteren met de randvoorwaarden en hun effect op de resultaten onderzoeken. Ten derde, kan men proeven herhalen onder relatief analoge condities.

Volgende proeven werden uitgevoerd:

1. Steen los liggend op zandpakket (Figuur 1).
2. Steen horizontaal ingeklemd, liggend op zandpakket en begraven onder een laag zand (Figuur 2).
3. Steen ingeklemd door cementlaag (onder- en zijkant steen) en begraven onder een laag zand.

De opeenvolgende proeven zijn gekenmerkt door een afname van vrijheidsgraden op het gebied van verplaatsing. Voor de verschillende proeven werd steeds dezelfde test-apparatuur gebruikt. Aan een drukbank met een bereik van 0 tot 20 ton werd een stang met een diameter van 35.7

mm verbonden. Aan het uiteinde werd een konus bevestigd, gemaakt van uitgehard staal. De diameter van de konus bedroeg 35.7 mm en had een tophoek van  $60^\circ$ ; de drukoppervlakte was hierdoor  $10 \text{ cm}^2$  groot, zoals voorzien door de normen. De stang werd voldoende kort gehouden om afbuiging ten gevolge van oneffenheden op het gesteentemonster te vermijden. Het onderzoek spitste zich vooral toe op de maximale kracht die werd gemeten om doorheen de steen te sonderen.

Wanneer de stenen los lagen op het zandpakket (Figuur 1), werden deze relatief eenvoudig gespleten door de aangelegde druk van de konus. De ontstane breuk was een trekbreuk en vertikaal georiënteerd. Op de plaats van de konusindringing, was het gesteente verpulverd t.g.v. de hoge spanningen. De maximale kracht varieerde tussen 4 en 14 ton voor steendiktes van 8 tot 19 cm. Praktisch betekent dit dat de kans reëel is dat de aanwezigheid van de steenlaag soms niet duidelijk gezien wordt op een sondeerdiagramma, zoals in het geval van de krachten met een waarde rond 4 ton. Na het splijten van de steen, ondervond de konus er geen weerstand meer van, aangezien de brokstukken zich ongehinderd horizontaal konden verplaatsen. Dit laatste komt niet met de werkelijkheid overeen.

In de volgende reeks proeven, werden de stenen via minstens drie hoekpunten ingeklemd in een stalen vat, waardoor de horizontale beweging volledig of minstens sterk werd beperkt. De stenen lagen op zand en waren begraven onder een zandpakket van ongeveer 0.6 m (Figuur 2). Maximale krachten van 11 à 14 ton werden opgemeten voor steendiktes van 12 à 15 cm. Deze krachten liggen duidelijk binnen het bereik van sondeertoestellen. Bij deze proeven werden de stenen gebroken en drong de sondeerkonus doorheen de stenen. Het breukmechanisme (Figuur 3) was echter complexer dan bij de eerste reeks proeven. Bij het eerste contact tussen konus en steen, wordt het gesteente lokaal verpulverd wanneer de aangelegde kracht voldoende groot is. T.g.v. de verpulvering zakt de kracht en dringt de konus een weinig in de steen. Dit proces wordt meerdere malen herhaald en de konus dringt steeds dieper in. Tijdens één van deze cycli, splijt de steen analoog aan de eerste reeks proeven en ontstaat er een verticale breuk. T.g.v. de inklemming vindt er geen horizontale verplaatsing plaats. Wanneer de afstand tussen de konus en de onderzijde van de steen voldoende klein is, ontstaat er een tweede soort breuk, namelijk een afschuifbreuk, waarlangs de konus een halve kegel steen naar onder wegduwt. Hierbij wordt deze kegel verder afgebroken.

Bij deze laatste proeven konden door de beperkte begravingsdiepte van de steen de stenen gedeeltelijk omhoog buigen. Dit vergemakkelijkt het ontstaan van trekbreuken. Daarom werd uiteindelijk een derde reeks proeven uitgevoerd waarbij de stenen ingecementeerd werden langs onder (dikte van 8 cm) en langs de zijkanten. Boven de stenen werd opnieuw een zandpakket gestort met een dikte van ongeveer 0.6 m. Drie proeven werden uitgevoerd. Bij de eerste proef werd cement met een druksterkte van 50 MPa gebruikt en had de steen een dikte van 8 cm. Initieel drong de konus in het gesteente. Een eerste splijtbreuk ontstond bij een aangelegde kracht van 12.5 ton. Zonder een noemenswaardige verdere indringing van de konus, werd de

kracht opgevoerd en nieuwe breuken ontstonden bij 15 ton. Zonder dat er belangrijke verplaatsingen van de konus optreden, werd de kracht verhoogd tot 20 ton. Door een pomp-effect toe te passen, kon men de konus nog enkele millimeters verder in de steen duwen, maar het betrof hier een lokale vervorming en niet het doorboren van de steenlaag. De onderkant van de steen werd door deze actie niet beschadigd of beïnvloed. Daarna werd een zwakkere cement gebruikt, met een druksterkte van 15 à 20 MPa. Bij één bijkomende proef werden analoge observaties gedaan, bij de derde proef werd echter een kalkrijke zwakke lens getest en boorde de konus zich doorheen de steen met een maximale kracht van 13 ton. Hierbij ontstonden zelfs geen uitgestrekte breuken.

## **2.2. Numerisch**

Ter ondersteuning van de uitgevoerde laboratoriumproeven werden enkele numerische simulaties uitgevoerd. De belangrijkste doelstelling was om de orde van grootte van de heersende spanningen tijdens zulke proeven te berekenen en te verifiëren of de eerder vermelde breukmechanismen realistisch zijn. Voor details over de berekeningen wordt verwezen naar K.Nulens, 1996. De eindige elementen methode werd toegepast en slechts de toestand vóór breukinitiatie werd gesimuleerd.

Als besluit van de berekeningen kan gesteld worden dat onder de konus in het gesteente trekspanningen ontstaan, die de verticale splijtbreuk induceren. Bijvoorbeeld voor een 20 cm dikke steenlaag op een diepte van 10 m, werden trekspanningen van 5.7 MPa berekend bij het aanleggen van een sondeerkracht van 10 ton. Of m.a.w. het gesteente waarvan de treksterkte 3 à 5 MPa bedraagt, zal bij 10 ton belasting splijten volgens een verticale breuk. Hieruit blijkt dus duidelijk dat de aangenomen mechanismen realistisch zijn en zelfs dat zowel de laboratoriumproeven, als de eindige elementen berekeningen resultaten geven van dezelfde orde van grootte.

## **3. Discussie**

Het onderzoek voorgesteld in dit artikel toont duidelijk aan dat een systematische en wetenschappelijke aanpak van een praktisch probleem in de geotechniek heel wat bijkomende informatie over en inzicht in de heersende mechanismen kan opleveren.

De studie toont aan dat tijdens het diepsonderen het doorboren van versteningen mogelijk is en dat dit niet noodzakelijk duidelijk gezien zal worden op een sondeerdiagramma. Meestal is het hierbij optredende breukproces echter ingewikkeld. Op de eerste plaats, wordt lokaal onder de konus het gesteente verpulverd. Daarnaast wordt het gesteente gespleten t.g.v. trekspanningen. Tenslotte, indien verplaatsingen of verschuivingen mogelijk zijn, kan de sondeerstang zich doorheen de steen verplaatsen door het uitduwen van een kegelvormig brokstuk. Dit laatste gebeurt via geïnduceerde afschuifbreuken.

Het onderzoek kan nog niet als volledig afgesloten worden beschouwd. Integendeel, het wordt

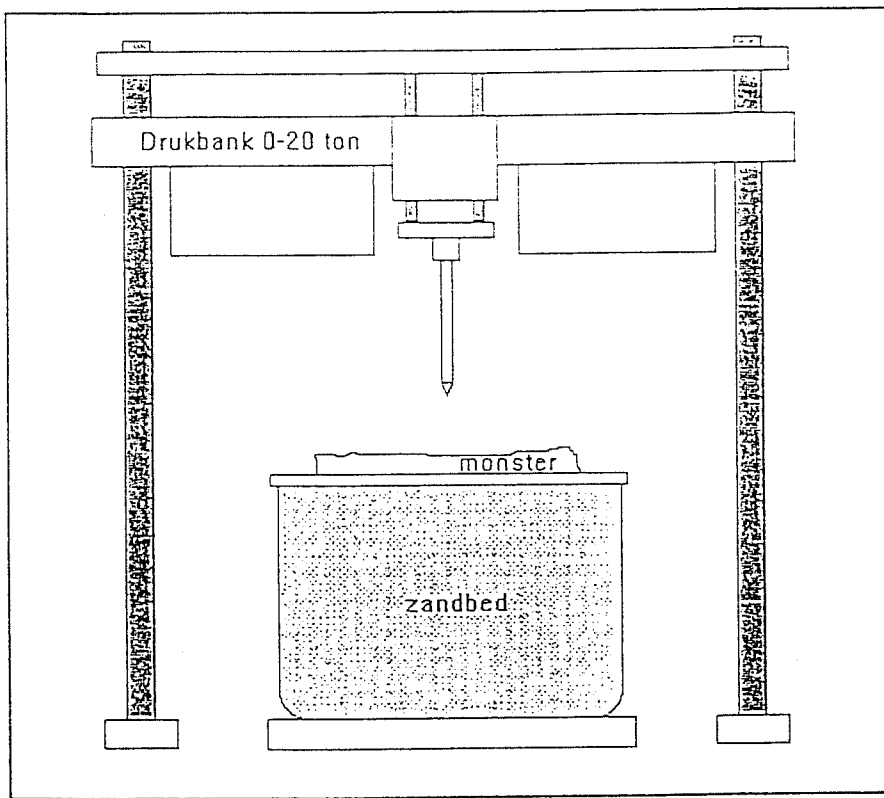
door de auteurs eerder als een eerste stap in de systematische benadering van het probleem beschouwd. Zowel in het laboratorium, als met behulp van berekeningen kunnen nog een groot aantal parameters worden onderzocht, die kunnen bijdragen tot een beter inzicht. Maar daarnaast zal het noodzakelijk zijn om ook observaties uit te voeren in-situ. Terwijl een grondige parameterstudie slechts zal kunnen uitgevoerd worden in het laboratorium en m.b.v. computers, zijn in-situ observaties noodzakelijk om de resultaten van de simulaties te controleren en indien nodig te verfijnen. Zulke in-situ observaties zijn niet eenvoudig en vergen veel tijd. Om het breukmechanisme in-situ te bepalen, zal de grond rond een gesondeerde steen of steenlaag voorzichtig moeten worden afgegraven. Het aantal observaties rond reële diepsonderingen zal dan ook steeds beperkt blijven. Aangezien dit vooronderzoek aantoont dat er een duidelijk interpretatieprobleem kan zijn bij het uitvoeren van diepsonderingen wanneer stenen aanwezig zijn, is het te hopen dat financiële middelen ter beschikking gesteld zullen worden voor het verder doorzetten van het gestarte onderzoek.

### **Dankwoord**

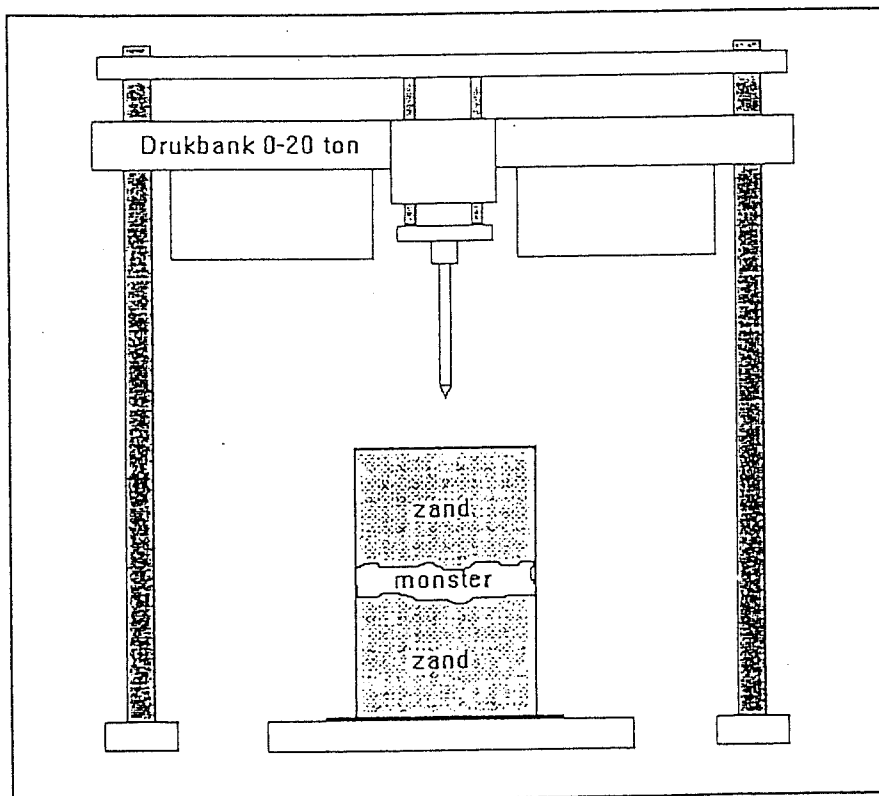
De auteurs danken allen die hebben bijgedragen aan dit onderzoek. In het bijzonder de Centrale Studiedienst De Lijn, Antwerpen en de Afdeling Geotechniek, Zwijnaarde. Het onderzoek kaderde in de voorbereiding van het eindwerk van Koen Nulens voor het behalen van het diploma burgerlijk mijnbouwkundig ingenieur aan de K.U.Leuven.

### **Referenties**

- J.Maertens, 1994: Mogelijke invloed van de aanwezigheid van stenen op regelmatig toegepaste technieken. Studienamiddag "Stenen in de grond: nut of probleem", KVIV, Antwerpen (15/9/94).
- K.Nulens, 1996: Aanwezigheid van stenen in de ondergrond, Onderkenning met behulp van diepsonderingen. Eindwerk, Departement Burgerlijke Bouwkunde, K.U.Leuven, 107 p.
- R.Swennen en P.Laga, 1994: Genese van versteningen. Studienamiddag "Stenen in de grond: nut of probleem", KVIV, Antwerpen (15/9/94).
- G.Van Alboom, 1994: Problemen door versteningen bij geotechnisch onderzoek. Studienamiddag "Stenen in de grond: nut of probleem", KVIV, Antwerpen (15/9/94).
- N.Vandenberghe, 1995: Geologie van België. Geologische kring, Leuven.

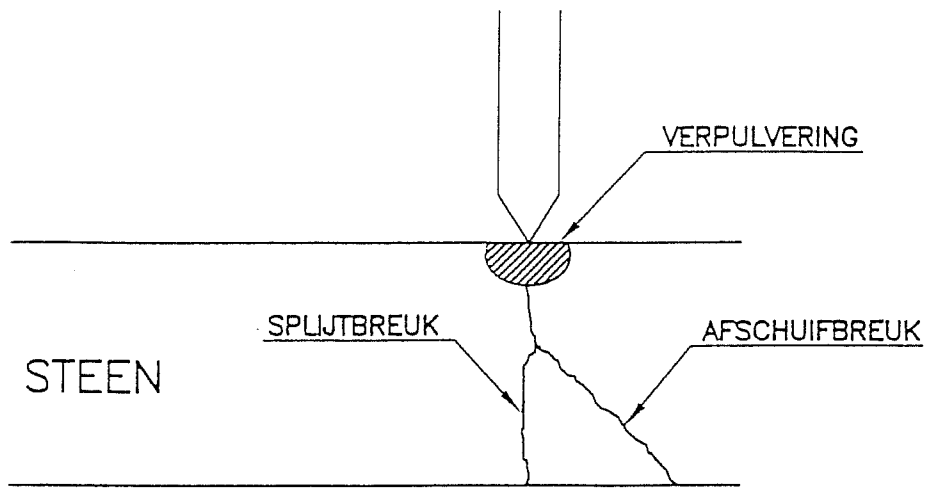


Figuur 1. Proefopstelling: steen losliggend op zandpakket.



Figuur 2. Proefopstelling: steen horizontaal ingeklemd, liggend op zandpakket en begraven onder een laag zand.

# BREUKMECHANISME



Figuur 3. Breukmechanismen tijdens diepsonderingen (observaties in laboratorium).