

PROBLEMEN DOOR VERSTENINGEN BIJ GEOTECHNISCH ONDERZOEK

Gauthier VAN ALBOOM¹

ABSTRACT. Problems encountered in geotechnical site investigation by the presence of concretions and lithified beds in the subsoil.

The presence of hard concretions and lithified horizons in the subsoil causes problems for the soil investigator, by limiting the depth of in-situ tests. These problems become even more hazardous if the presence of the hard stones is not detected as such by soiltests. Possibilities and limitations of geotechnical site investigation techniques for the detection of hard stones are discussed. Some techniques are described which are used in CPT-testing and drilling for the perforation of stone beds, and thus allowing for greater depth to be reached. Three case histories from North Belgium show the impact of the presence of hard stones in the subsoil on geotechnical site investigation.

KEYWORDS: geotechnical investigation, stones, North Belgium.

SAMENVATTING. Het voorkomen van stenen in de ondergrond wordt bij het uitvoeren van geotechnisch onderzoek als problematisch ervaren, wanneer hierdoor het dieptebereik van de proeven wordt beperkt. Hachelijker wordt het echter wanneer het voorkomen van versteende lagen en concretiehorizonten in de proeven niet als zodanig wordt onderkend.

In deze bijdrage wordt aangegeven wat de mogelijkheden en beperkingen zijn van een geotechnisch onderzoek tot het onderkennen van versteende lagen en concretiehorizonten. In een tweede deel wordt melding gemaakt van enkele technieken die bij het sonderen en boren kunnen worden toegepast teneinde versteende lagen te perforeren en de proeven tot grotere diepte verder te zetten. In een derde deel worden 3 praktijkgevallen nader toegelicht: de premetro tunnel onder de Schelde te Antwerpen, de omlegging van het Zeekanaal te Hingene, de luchthaven Zaventem.

SLEUTELWOORDEN: geotechniek, versteningen, Noord België.

1. GEOTECHNISCHE PROEVEN DIE KUNNEN WORDEN INGEZET BIJ HET ONDERKENNEN VAN VERSTEENDE LAGEN EN CONCRETIEHORIZONTEN

Om een geotechnisch profiel van een bepaalde site op te stellen bestaat een standaard geotechnisch onderzoek in Vlaanderen uit sonderingen, aangevuld met boringen en laboratoriumonderzoek.

Afhankelijk van de gestelde problematiek wordt het proevenprogramma eventueel beperkt tot het uitvoeren van sonderingen, of anderzijds uitgebreid met specifieke proeven zoals vinproeven, dilatometerproeven, pressiometerproeven, ...

Het uitvoeren van geofysische proeven is uitzonderlijk en gebeurt in de regel enkel voor grote projecten en voor een specifiek gericht onderzoek.

Van de vermelde proeven zijn het de sonderingen, boringen en geofysische proeven die in aanmerking komen om versteningen te onderkennen.

Aansluitend en/of voorafgaand aan de uitvoering van een geotechnisch onderzoek kunnen bestaande geotechnische gegevens worden geraadpleegd :

- resultaten grondonderzoek in de omgeving;
- gegevens geologische kaarten;
- archieven van de Belgische Geologische Dienst
- gegevens grondmechanische kaarten.

¹ Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Ondersteunende Studies en Opdrachten, Afdeling Geotechniek, Tramstraat 52 - B-9052 Zwijnaarde.

In volgende paragrafen worden mogelijkheden en beperkingen van het geotechnisch onderzoek in functie van de onderkenning van versteningen besproken. Hierbij gaat de aandacht vooral naar sonderingen en boringen, omdat zij zoals hoger gesteld, het eerstelijns onderzoek uitmaken van een geotechnische studie.

1.1. DIEPSONDERINGEN

Bij diepsonderingen wordt het voorkomen van versteningen gekenmerkt door een abrupte toename van de opgemeten conusweerstand.

De manier waarop het sondeerdiagram verder verloopt hangt af van dikte, afmetingen en hardheid van de stenen, de plaats waar de stenen worden aangestoten en van de grondmatrix waarin de stenen worden aangetroffen (Nulens, 1996) - (figuur 1) :

- na de piek in het q_c -diagram, die samenvalt met een terugval van de wrijvingsweerstand, valt de conusweerstand terug tot de normale waarde : de (kleinere) steen werd weggedrukt of een grote steen werd aan de rand aangestoten; in het laatste geval dient nagegaan of de sondering niet te sterk van de verticale is gaan afwijken;
- bij het aanstoten van de steenformatie wordt de maximale capaciteit van de sondeerapparatuur bereikt, en kan (zonder toepassing van speciale technieken - waarover verder meer in het tweede deel van deze uiteenzetting) de sondering niet verdiept worden.

Versteningen kunnen, indien aangestoten bij de sonderingen, met een vrij grote resolutie waargenomen worden.

Over de oppervlakte van de te onderzoeken site vormen de sonderingen echter slechts punctuele waarnemingen, zodat de laterale resolutie afhankelijk is van het aantal sonderingen verspreid over de site. In het algemeen kan men echter stellen dat de laterale resolutie beperkt is.

Het feit dat sonderingen punctuele waarnemingen vormen houdt een belangrijke beperking in bij het onderkennen van versteningen die meestal niet in continue horizonten voorkomen.

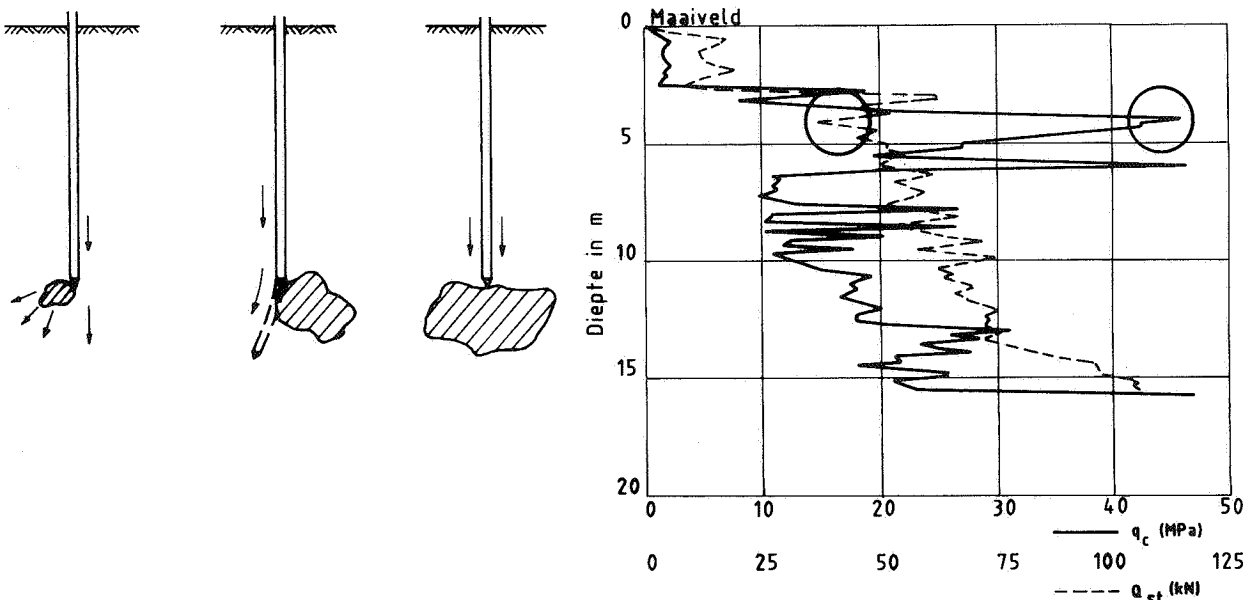
De probabiliteit om een verstening waar te nemen hangt dan ook af van de oppervlaktedichtheid van de versteningen op het te onderzoeken terrein, en ook van het aantal sonderingen dat werd uitgevoerd.

Vermelden we in dit verband de problemen die zijn opgetreden bij de bouw van de Rupeltunnel te Boom. Het geotechnisch onderzoek dat een groot aantal sonderingen omvatte had de aanwezigheid van grote concreties niet aan het licht gebracht.

1.2. BORINGEN

Voor het onderkennen van versteningen in de ondergrond kan men stellen dat in principe enkel een kernboring erin slaagt intacte monsters van de gesteentelaag aan de oppervlakte te brengen. In gevallen waarin de steenformaties of concreties minder massief zijn kan men de klassieke droogboormethode nog toepassen waarbij zonodig de avegaarboor aangewend wordt. Men dient er dan wel rekening mee te houden dat monsters van de versteningen bij het uitvoeren van de boringen gebroken werden.

Zoals voor de sonderingen geldt hier ook de bemerking dat de boorprofielen punctuele



Figuur 1. Aanstoten van stenen bij sonderingen.

waarnemingen inhouden, met dezelfde beperkingen voor wat betreft de laterale resolutie.

Het behoort wel tot de normale procedure dat de boringen voorzien worden in singuliere punten van een vooraf uitgevoerde sondeercampagne. Indien relevant voor het project zullen de boringen dan ook gesitueerd worden in de onmiddellijke omgeving van sonderingen, waarvan de resultaten op het voorkomen van versteningen wijzen.

1.3. GEOFYSISCHE PROEVEN

In tegenstelling tot sonderingen en boringen, die punctuele waarnemingen vormen, worden geofysische proeven meestal uitgevoerd volgens gekozen profielen. Zij worden dan ook in mindere mate gehinderd door voorkomende discontinuïteiten in versteende lagen en concretiehorizonten. Vermelden we onder de geofysische proefmethodes :

- seismische metingen;
- geo-elektrische metingen;
- grondradar;
- gravimetrie;
- elektromagnetische metingen.

De keuze bij het inzetten van een bepaalde geofysische meetmethode zal afhangen van de gestelde problematiek, de diepte waarop de stenen worden aangetroffen en de randvoorwaarden (aard van bovenlagen, terreinomstandigheden, storende invloeden).

In de volgende paragrafen wordt een kort overzicht gegeven van de meest gangbare geofysische proefmethoden. De ervaring van de afdeling Geotechniek met deze methoden is eerder beperkt, en de vermelde appreciatie steunt dan ook meer op een interpretatie van algemeen beschikbare informatie dan op praktische ervaringsgegevens.

Op het vlak van het geotechnisch onderzoek is het gebruik van reflectie **seismische profielen** het best gekend, en heeft reeds interessante bijdragen geleverd tot de onderkenning van verstening in de ondergrond (Vandenbergh, 1988).

Het uitvoeren van reflectie-seismisch onderzoek op het land, dit in tegenstelling tot het onderzoek op zee, is echter vrij complex qua uitvoeringsmodaliteiten en de opnamen kunnen tijdrovend zijn. Bovendien kunnen storende invloeden (o.a. in gebieden met grote trillingsintensiteit) de interpretatie van de metingen bemoeilijken of helemaal onmogelijk maken.

Geo-elektrische metingen hebben zich ook reeds een plaats weten te verwerven onder de geotechnische in situ proeven. De gemakkelijke inzetbaarheid van de apparatuur, het groot dieptebereik en de hoge laterale

resolutie zijn belangrijke pluspunten voor deze meettechniek.

De storende invloed van terreinomstandigheden (voorkomen van bv. uitgravingen of dijken in omgeving meet-site), en de nog matige verticale resolutie zijn de belangrijkste beperkingen voor deze meettechniek. De meetmethode is vooral zeer effectief bij het verzamelen van gegevens voor eenvoudige grondmodellen.

Vanwege de fenomenen waarop de **elektromagnetische methode** gebaseerd is wordt de meting sterk beïnvloed door de aard van de toplaag en door de obstakels in het terrein. De methode is in de huidige stand van zaken dan ook enkel geschikt voor onderkenning van de grond tot op beperkte diepte (6-tal meter) en voor een eenvoudig 2-lagen model (Kruse, 1988).

Een toepassen voor onderkenning van versteningen in de ondergrond lijkt daarom niet haalbaar.

Grondradar is een geofysische meetmethode die vooral gekend is voor het opsporen van allerlei ondiepe leidingen en obstakels in de ondergrond, en geeft goede resultaten in lagen waardoorheen een goede penetratie van de uitgezonden elektromagnetische golven kan bekomen worden. In die gevallen kan zowel een goede horizontale als verticale resolutie bekomen worden.

Het dieptebereik is echter afhankelijk van de penetratie van de bovenlagen. Een groter indringend vermogen kan bekomen worden door een lagere frequentie van de radarpuls te kiezen, maar dit geeft dan weer een negatief effect op het onderscheidend vermogen (De Feijter, 1988).

De inzetbaarheid van grondradar voor het onderkennen van versteningen beperkt zich dan ook tot die gevallen waarvoor een goede penetratie van de elektromagnetische golven kan bekomen worden (zand- en veenlagen) en de diepte van de versteningen niet te groot is zodat nog een goede verticale resolutie kan bekomen worden.

Bij toepassing van **micro-gravimetrie** wordt de grootte van de zwaartekracht-versnelling gemeten in een punt. De microgravimetrie is vooral geschikt voor het detecteren van inhomogeniteiten in de ondergrond, met name het voorkomen van holten, karstfenomenen en dergelijke (De Becker, 1988).

Zoals sonderingen en boringen vormen micro-gravimetrische metingen punctuele waarnemingen, en men moet over de te onderzoeken site een netwerk van meetpunten kiezen. Het detecteren van versteningen door microgravimetrische methoden is niet evident, daar de dichtheidsverschillen tussen verstening- en omringende grondmatrix mogelijk beperkt zijn.

1.4. RAADPLEGEN BESTAANDE GEOTECHNISCHE GEGEVENS

Voorafgaand aan en/of aansluitend op de uitvoering van een geotechnisch proevenprogramma kan het archief van resultaten van eerder uitgevoerde grondmechanische proeven geraadpleegd worden. De afdeling Geotechniek beschikt over een uitgebreid archief van grondmechanische proeven, dat een tijdspanne van meer dan een halve eeuw overbrugt. Het betreft hier echter opnieuw punctuele informatie, waarvoor de extrapolatie met de nodige omzichtigheid dient te gebeuren.

Algemene informatie over de lagenopbouw kan gepuurd worden uit de geologische kaarten. Tot voor korte tijd was men voor gekarteerde geologische informatie aangewezen op de geologische kaarten op schaal 1/40.000, opgesteld rond de eeuwwisseling. Deze geologische kaarten zijn van het type "gedeeltelijk afgedekte kaart" waar de oppervlakkige kwartaire lagen, met uitzondering van de alluviale afzettingen in de rivierdalen, niet worden weergegeven.

Het mogelijk voorkomen van versteende lagen en concrethorizonten is terug te vinden in de legende van de geologische formaties die werden gekarteerd ("bancs gréseux", ..."septaria"). De informatie, omtrent het voorkomen van versteningen vervat in de kaarten, is echter erg summier en voor meer gedetailleerde gegevens was het aangewezen de archieven van de Belgische Geologische Dienst te raadplegen.

Sinds 1989 is de kartering van een nieuwe geologische kaart van het Vlaamse Gewest (schaal 1/50.000) en van het Waalse Gewest (schaal 1/25.000) volop aan de gang. De nieuwe kaarten zijn eveneens van het afgedekte type, met echter overlegfolies met de dikte van het Kwartair, het reliëf van de onderliggende Tertiaire (en Secundaire) formaties en

een aantal isohypsenkaarten van dieper gelegen belangrijke geologische grensvlakken.

Bij elk kaartblad hoort een toelichtende tekst met uitleg over de toegepaste geologie van dit kaartblad, zonder dat gedetailleerde informatie betreffende de niveaus van de versteende horizonten dient verwacht te worden. Hier kunnen dan ook expliciete referenties naar eventueel voorkomende versteende lagen en concrethorizonten teruggevonden worden (Laga, 1993).

Voor de agglomeraties Brussel, Gent en Antwerpen bestaan grondmechanische kaarten op schaal 1/5.000, waarin een grote hoeveelheid aan geotechnische informatie is terug te vinden. Gegevens betreffende mogelijke versteende lagen en concrethorizonten zijn hier ook niet sterk gedetailleerd.

2. SPECIALE TECHNIKEN BIJ HET SONDEREN/BOREN DOORHEEN VERSTEENDE LAGEN EN CONCRETIES

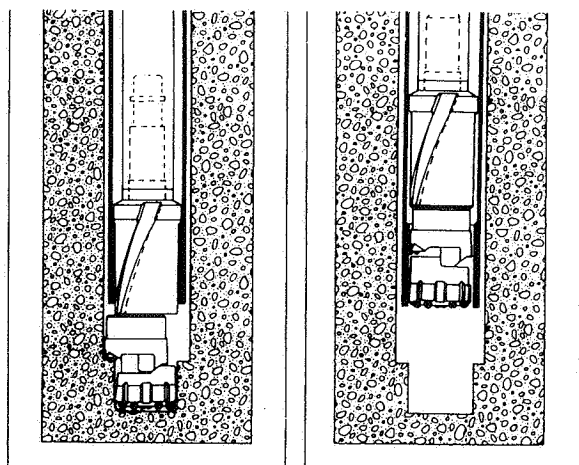
2.1. SONDERINGEN

Wanneer bij het aanstoten van een steenformatie de maximale capaciteit van de sondeerapparatuur overschreden wordt, zal men indien nodig speciale technieken toepassen om de sondering verder te verdiepen. Afhankelijk van de wenselijkheid om al dan niet monsterkernen van de versteningen te bekomen zal men zijn toevlucht nemen tot destructieve of niet-destructieve technieken.

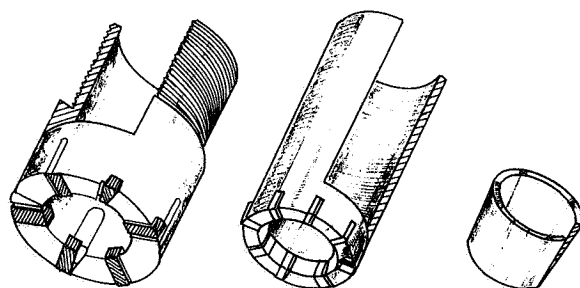
- Destructieve methoden :

a) Pneumatisch hameren :

Deze techniek werd in de uitvoeringsdienst van de afdeling Geotechniek specifiek ontwikkeld voor het



Figuur 2. Boren met ODEX-methode.



Figuur 3. Sonderen doorheen versteende lagen en concreties volgens niet-destructieve methode. Casingbuis met boorkroon (links), boorbuis (midden), kernvanger (rechts).

mechanisch sonderen met de M4-conus. Tussen drukkolom en sondeerbuis met stang wordt een aangepast raamwerk geplaatst dat toelaat via een pneumatische hamer een pulserende beweging op de gesolidariseerde buizen en stangen over te brengen. Door de pulserende kracht, gecombineerd met een (gelimiteerde) statische kracht via de drukkolom op buizen en stangen overgebracht, wordt de steenformatie geleidelijk verbrijzeld.

Deze techniek werd reeds meerdere malen met succes toegepast, o.a. te Zaventem, met talrijke zandstenen in de ondergrond.

b) Boren met ODEX-methode (Overburden Drilling with Excentric Method) :

Deze techniek kan toegepast worden wanneer door zeer harde en dikke steen- en grindformaties dient te worden gesondeerd. Bij het aanstoten van de zeer weerstandbiedende laag wordt de volledige trein sondeerbuizen uitgetrokken, en wordt de plaats van de sonderwagen ingenomen door boorapparatuur met het ODEX-systeem. Met de ODEX-methode gebeurt het neerlaten van de buizen door percussie. Het boren wordt verzekerd door één geheel "pilot-boorkop/uitboorderkop" die losstaat van de buizen (figuur 2). Bij het boren gaat de uitboorderkop excentrisch bewegen, zodat een boorgatdiameter gerealiseerd wordt die groter is dan de diameter van de voerbuisen, die zakken onder het effect van hun gewicht.

Nadat de steenformatie doorboord is, worden de boorkop en de boorbuisen uitgetrokken en komt opnieuw de sonderwagen in actie.

Wegens de grotere diameter van het met de ODEX-methode gecreëerde boorgat, dienen extra steunbuizen geplaatst om het uitknikken van de sondeerbuisen te vermijden. Het is duidelijk dat deze methode zeer omslachtig is, en slechts in uitzonderlijke gevallen zal toegepast worden.

- Niet-destructieve methode :

Bij deze methode worden eindsondeerbuis en eindcasingsbuis vervangen door een boorbuis respectievelijk casingsbuis met boorkroon. De boorbuis bevat tevens een kernvanger, om het uitvallen van de boorkernen te verhinderen. Bij toepassing van deze techniek worden boorbuis en casingsbuisen alternerend verdiept (figuur 3). Bij de afdeling Geotechniek behoort het tot de standaard procedure dat minstens om de halve meter de boorapparatuur wordt uitgebouwd en vervangen door de sonderconus om een conuswaarde op te meten.

2.2. BORINGEN

Wanneer bij het uitvoeren van boringen volgens de klassieke droogboormethode een harde steenlaag

wordt aangeboord, zal men genoodzaakt zijn om geëigende boortechnieken toe te passen om de boring verder te zetten.

Hier kan men ook onderscheid maken tussen destructieve en niet-destructieve methoden :

- Destructieve methoden :

a) Avegaarboor met rotsboorkop :

Voor het boren doorheen rotsformaties met niet te grote dikte wordt dikwijls de avegaarboor toegepast uitgerust met een rotsboorkop. Eens de stenen verbrijzeld wordt de avegaarboor vervangen door pulsboor of lepelboor en de steenbrokken aan de oppervlakte gehaald.

Bij toepassingen van deze techniek dient men er wel mee rekening te houden dat kleinere steenbrokken in het boorgat kunnen achterblijven en pas bij het verder boren op grotere diepte naar boven kunnen worden gehaald.

b) Boren met ODEX-methode :

Deze methode is analoog aan de boormethode beschreven bij het sonderen (cf. 2.1.b). Door middel van airlift kunnen hier wel de brokstukken van de verbrijzelde stenen aan de oppervlakte gebracht worden.

- Niet-destructieve methode :

Voor het ontnemen van intacte kernmonsters zal men de boring uitvoeren als kernboringen.

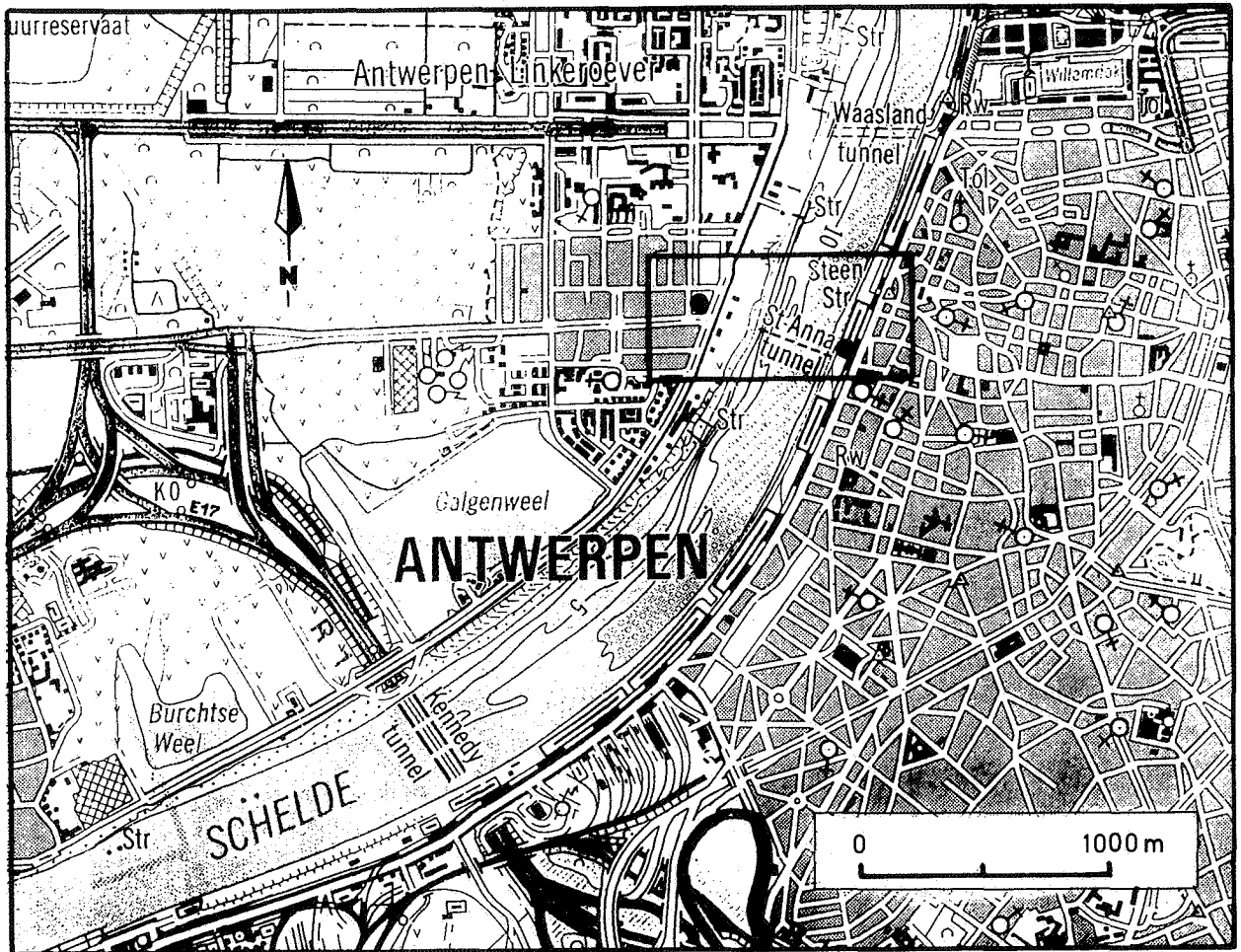
3. PRAKTIJKGEVALLEN

3.1. ONDERZOEKSPROGRAMMA TER ONDERKENNING VAN SEPTARIAHORIZONTEN IN DE KLEI VAN BOOM, VOOR DE REALISATIE VAN DE PRE-METROTUNNEL ONDER DE SCHELDE TE ANTWERPEN

Voor de realisatie van de Pre-metrotunnel onder de Schelde te Antwerpen (figuur 4) werd een uitgebreid geotechnisch onderzoek met seismische meetcampagne (hoge resolutie reflectie seismiek) uitgevoerd (Carpentier et al., 1983).

Het geologisch profiel volgens de as van de tunnel is weergegeven op figuur 6, en kenmerkende sondeerprofielen op de Linkeroever, de Rechteroever en in de Scheldebedding zijn terug te vinden op figuur 7.

Het was gekend dat in de Tertiaire klei van Boom op verschillende niveaus kalkrijke horizonten met septaria voorkomen. Deze septaria zijn grote broodvormige concreties met een diameter variërend van enkele tientallen cm tot 1 m, en een dikte van



Figuur 4. Situering pre-metrotunnel onder de Schelde te Antwerpen.

0,1 m tot 0,3 m. De Oligocene lagen (waartoe de klei van Boom behoort) vertonen een gemiddelde helling van 0,4% in NE-richting. Deze helling vertoont plaatselijk afwijkingen (knikpunten), zoals blijkt uit de seismische overzichtprofielen. Door deze hellingsveranderingen kunnen lineaire interpolaties tussen boringen, zonder seismische controle, aanleiding geven tot correlatiefouten.

Voor het boren van de tunnel wenste men eveneens over meer gegevens te beschikken over de niveaus van de verschillende septariahorizonten en over de frequentie waarmee ze in die horizonten voorkomen. Met dat doel werden bijkomende boringen verricht op beide oevers (2 x 25) en seismische metingen in de boorgaten en in de Scheldebedding. Beide boorrasters zijn aangeduid op fig. 5.

Een microstratigrafisch onderzoek van de Tertiaire kleimonsters en een chemische analyse van de onderkende septariamonsers liet toe de septariahorizonten te definiëren en een correlatie op te stellen tussen de boringen op beide oevers.

In totaal werden 11 septariahorizonten onderkend tussen ca. de peilen -16,00 en -29,00 m. De frequentie waarmee septaria in de verschillende horizonten in de

bijkomende boringen werden onderkend varieert van 0/50 tot 5/50.

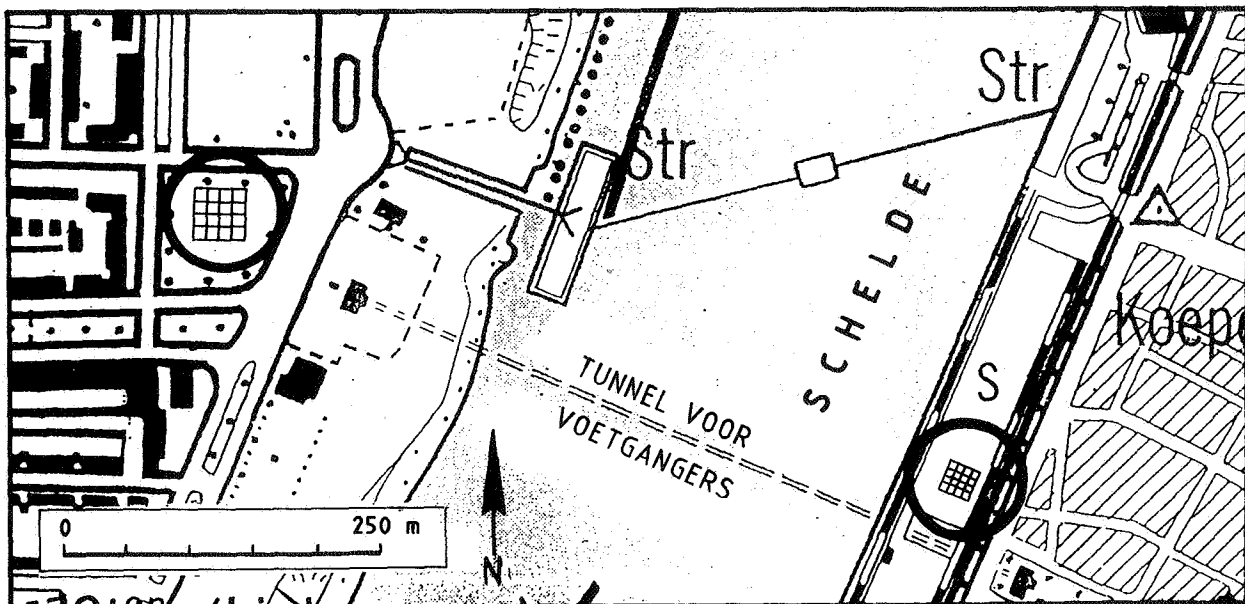
3.1.1. Reflectie seismisch onderzoek in de Scheldebedding

a) Verkenningennetwerk (figuur 8) :

Het seismisch onderzoek in de Scheldebedding werd opgestart met een vooronderzoek dat tot doel had zones op te zoeken en af te bakenen met gunstige seismische penetratie, die geschikt waren voor verder gedetailleerd onderzoek naar septariahorizonten (Henriet & Heldens, 1982).

Het verkenningennetwerk werd opwaarts begrensd door de Kennedytunnel en afwaarts door de Royerssluis (aansluiting op seismisch netwerk voor studie van de stormvloedkering op de Schelde) - (Henriet, 1979-1980).

Uit deze voorstudie bleek dat een nagenoeg continue strook met goede akoestische penetratie kon worden afgebakend dicht bij de rechteroever. Dankzij deze strook kon de reflectiefrequentie in de Boomse klei t.h.v. de Pre-metrotunnel met succes gecorreleerd



Figuur 5. Detail van figuur 4 met ligging van de boorrasters.

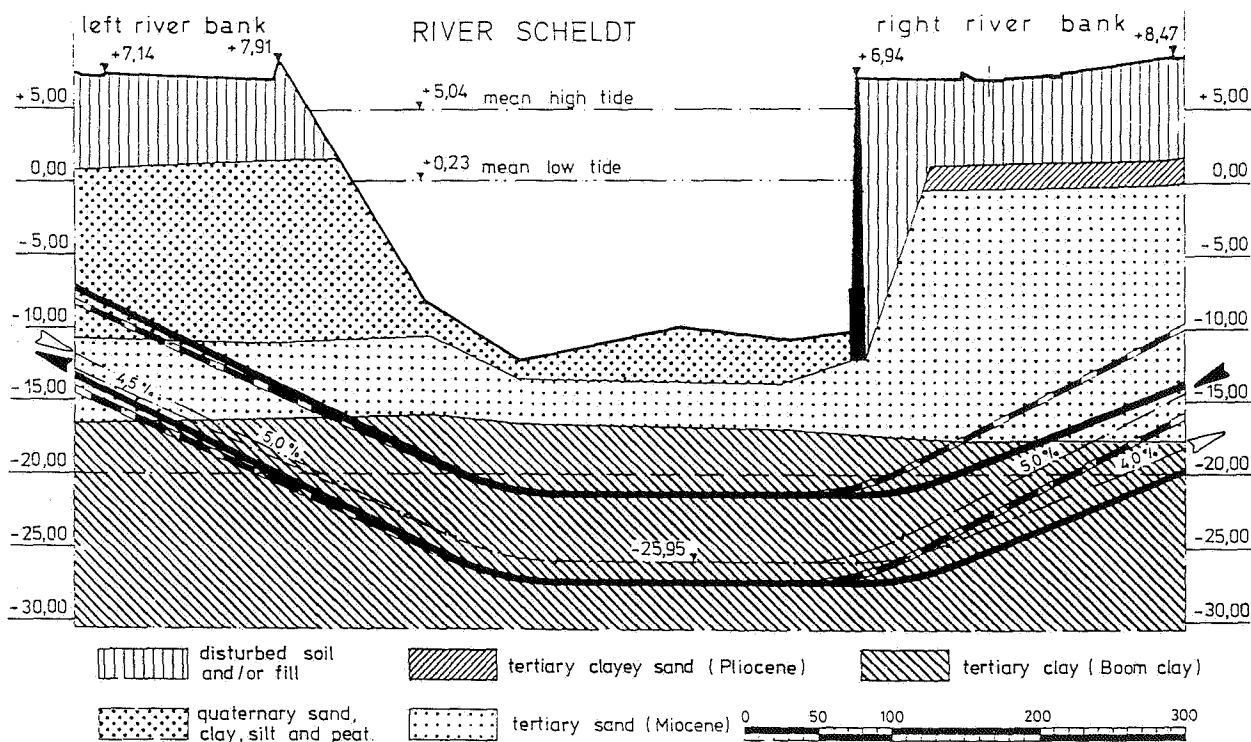
worden aan de resultaten van de geologische onderzoeken uitgevoerd t.h.v. de Kennedytunnel en de stormvloedkering site (Henriet et al., 1986) - (figuur 9).

b) Detailnetwerk :

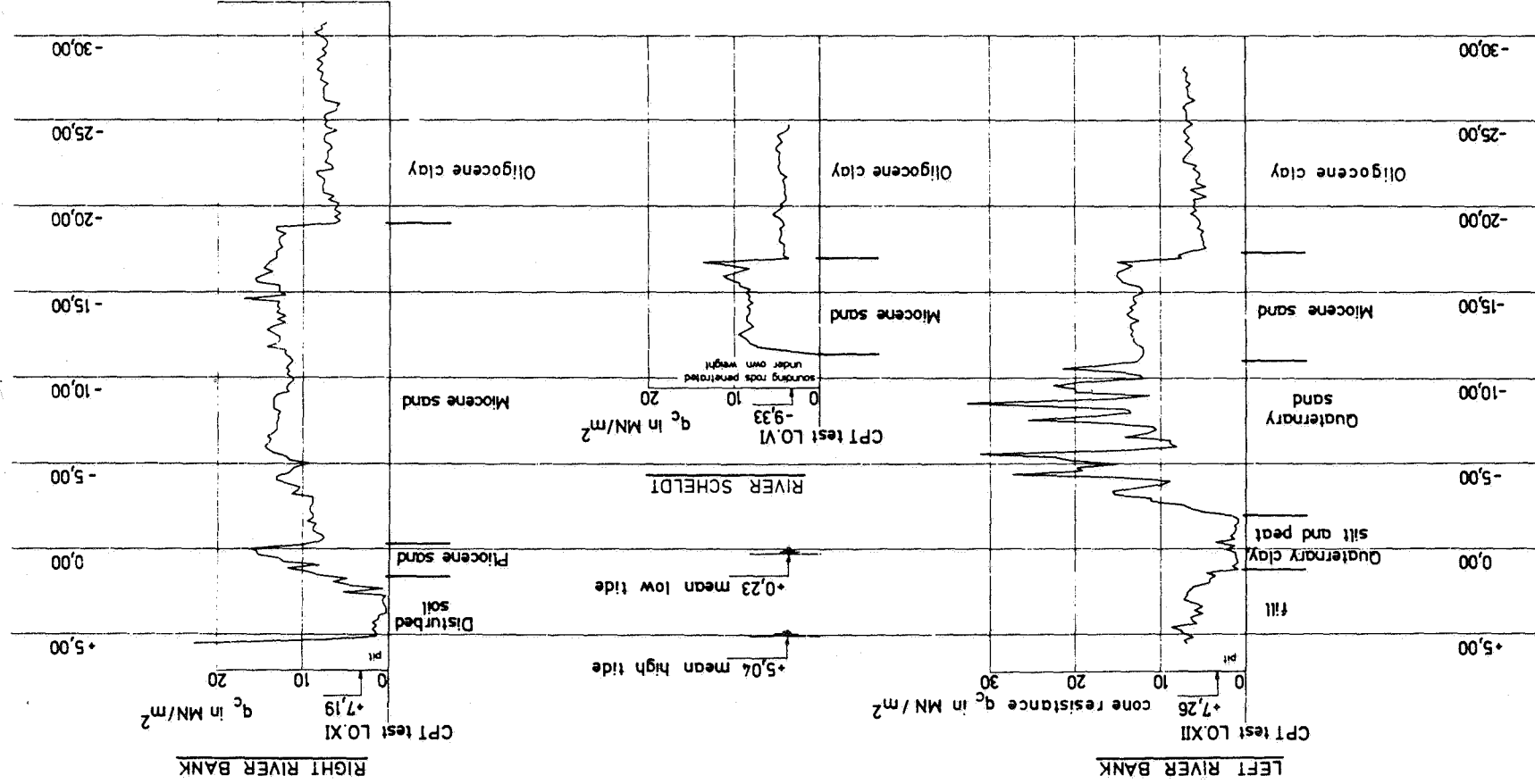
Op basis van de resultaten van het verkenningsnetwerk werd het onderzoek toegespitst

op 2 detailsectoren (figuur 8) :

- sector 1, waar de lagere septariahorizonten onder optimale omstandigheden kunnen worden bestudeerd, door hun ondiepe ligging en door het ontbreken van een zanddek;
- sector 2, waar informatie kon bekomen worden over de volledige reflectiesequentie van de septariahorizonten en over mogelijke structurele



Figuur 6. Geologisch profiel volgens de as van de pre-metrotunnel onder de Schelde te Antwerpen tussen station F. van Eeden op de Linkeroever en station Groenplaats op de rechteroever.



Figuur 7. Kenmerkende sondeerprofielen op Linkeroever, Recheroever en Scheldebedding.

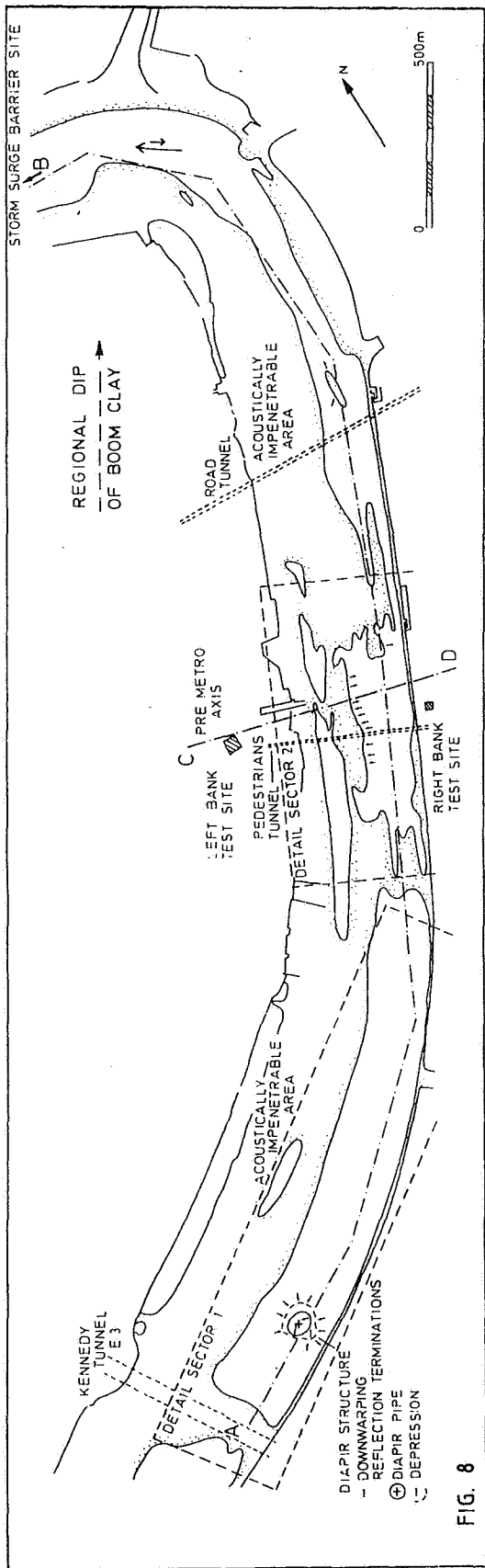


FIG. 8

FIGuur 8. Seismisch onderzoek in de Scheldebedding: afgrenzing tussen Kennedy tunnel (zuid) en Stormvloedkeringsstuw (noord) met elementaire gegevens over seismische penetratie doorheen het bodemslib en de lokatie van een kleidiapir.

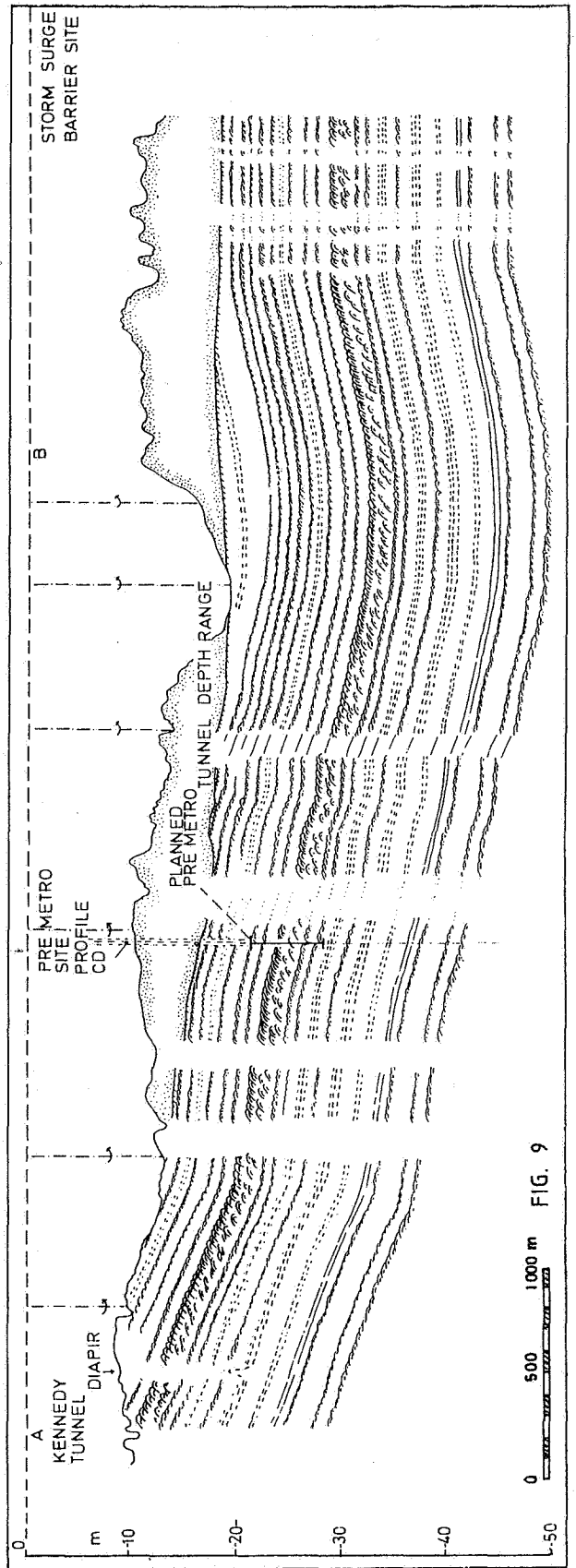
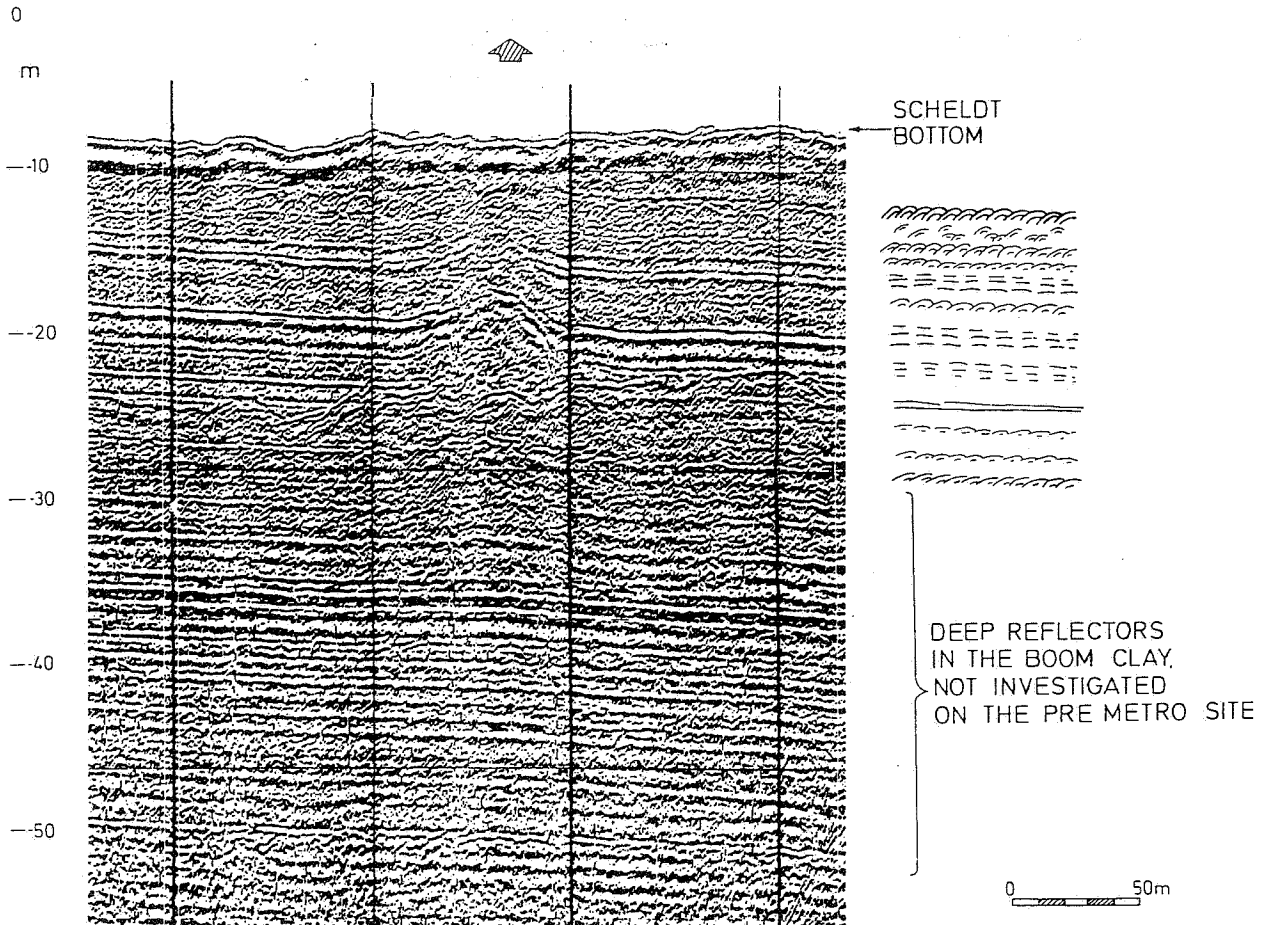


FIG. 9

FIGuur 9. Seismisch correlatieprofiel in de Boomse Klei volgens de as A-B van fig. 8.



Figuur 10. Voorbeeld van een seismische reflectie-opname van het verkennetwerk. Opwaartse pijl duidt de flank van een klei-diapiër in de Boomse Klei aan.

vervormingen bij de pre-metrosite. De resolutie was iets lager dan in sectie 1 tengevolge van het afschermend effect van het ca. 6 m dikke zanddek (figuur 10).

Geïsoleerde voorwerpen, zoals concreties, waarvan de afmetingen in de grootte-orde liggen van de dominerende signaalgolflengte (in dit geval enkele dm) geven op een seismisch profiel ontstaan tot diffractiehyperbolen. Concretiehorizonten bleken op het seismisch profiel weergegeven te worden door een zeer regelmatige opeenvolging van nagenoeg gelijkmatig verdeelde diffractiehyperbolen.

Op basis van een hyperbootelling op een seismisch profiel, binnen een bepaalde tijdsfork, kon een oppervlaktedensiteit van de concreties afgeleid worden.

De telling van het aantal hyperbolen vormt echter steeds een minimum raming, daar sommige hyperbolen achter andere kunnen verscholen liggen.

De situering van de reflectoren op een diepte-as (figuur 9 en figuur 11) werd bepaald aan de hand van de reflectietijden d.m.v. een verticaal snelheidsmodel,

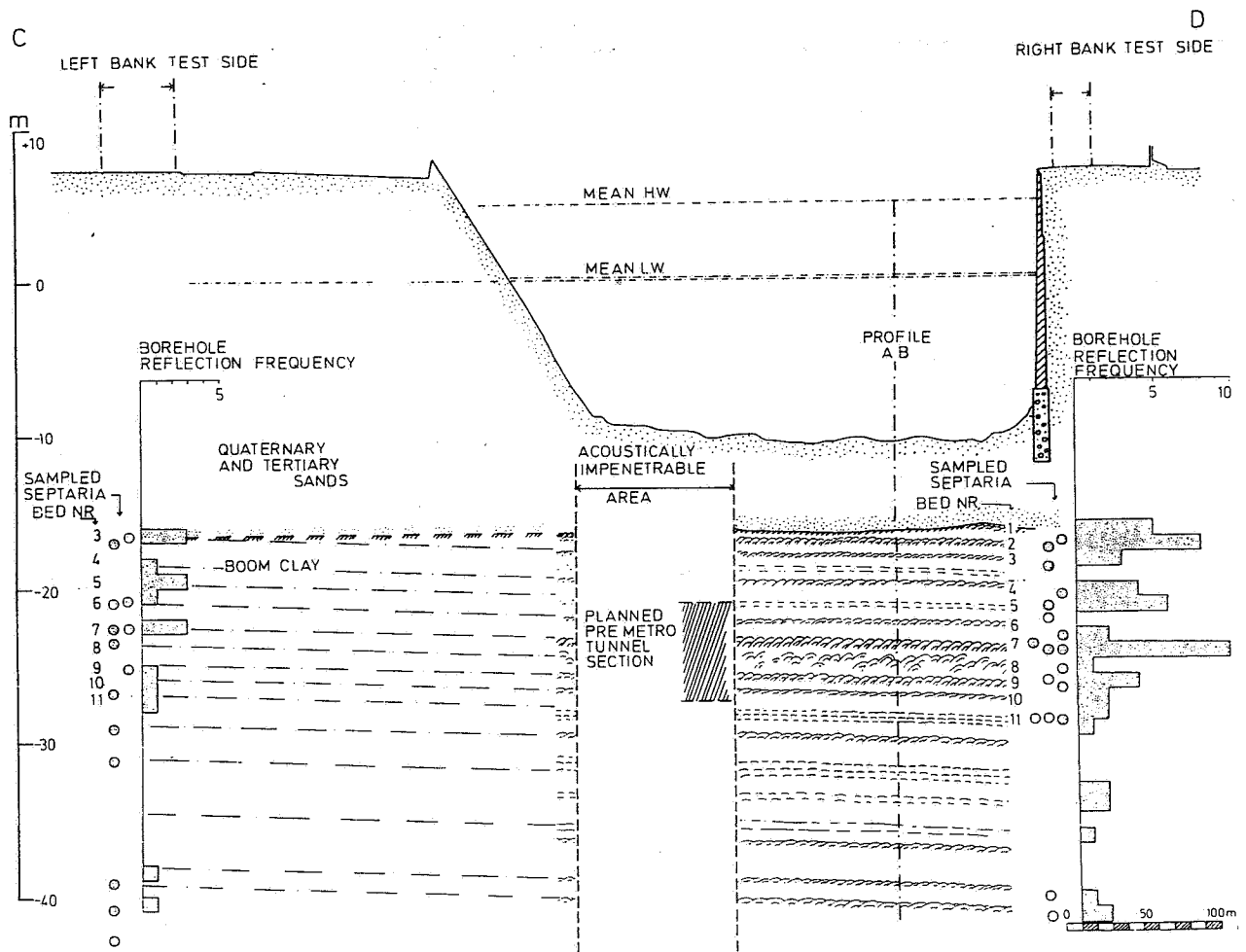
afgeleid van up-hole metingen in de boorgaten op beide oevers.

3.1.2. Besluit

Een uitgebreid geotechnisch onderzoek, bestaande uit een raster van boringen op beide oevers en seismische metingen in de boorgaten en in de Scheldebedding hebben toegelaten met voldoende nauwkeurigheid het aantal en de diepteligging van de septariahorizonten te bepalen. Bovendien werd ook een raming bekomen van de frequentie van het voorkomen van de septaria in de klei.

Het succes van deze meetcampagne kan toegeschreven worden aan :

- de bijzonder hoge kwaliteit van de reflectieprofielen;
- de kwaliteit en de hoge frequentie van de signalen;
- het voorkomen van een continu akoestisch venster in de Scheldebedding, zodat correlaties met vroegere waarnemingen opwaarts en afwaarts de site mogelijk waren;
- een omvangrijk netwerk van boringen op beide



Figuur 11. Overzicht van de waarnemingen langs de pre-metro-as, met correlatie tussen septaria-horizonten en seismische diffractiehypercijfers.

oeveren die ook toelaten een correlatie van de septariahorizonten op beide oeveren op te stellen.

3.2. VOORKOMEN VAN KALKZANDSTEENCONCRETIES IN BAGGERZONE TE HINGENE

In het kader van de werken voor de omlegging van het Zeekanaal (kanaal Brussel-Rupel) naar de Schelde (figuur 12), werd bij baggerwerken in een zandwinningszone tussen omstreeks het peil -8,00 en -9,00 m gestoten op een zeer harde laag waarbij verder baggeren uitgesloten was. In opdracht van de TV Hingene (tijdelijke vereniging Dredging International en Ondernemingen J. De Nul) werden een vijftal sonderingen en een diepboring uitgevoerd om het fenomeen te onderkennen (Laurent et al., 1994).

Eén van de sonderingen stootte omstreeks het peil -8,00 op een zeer weerstandbiedend niveau en kon niet verder verdiept worden. De proef werd op korte afstand hernomen, echter met hetzelfde resultaat.

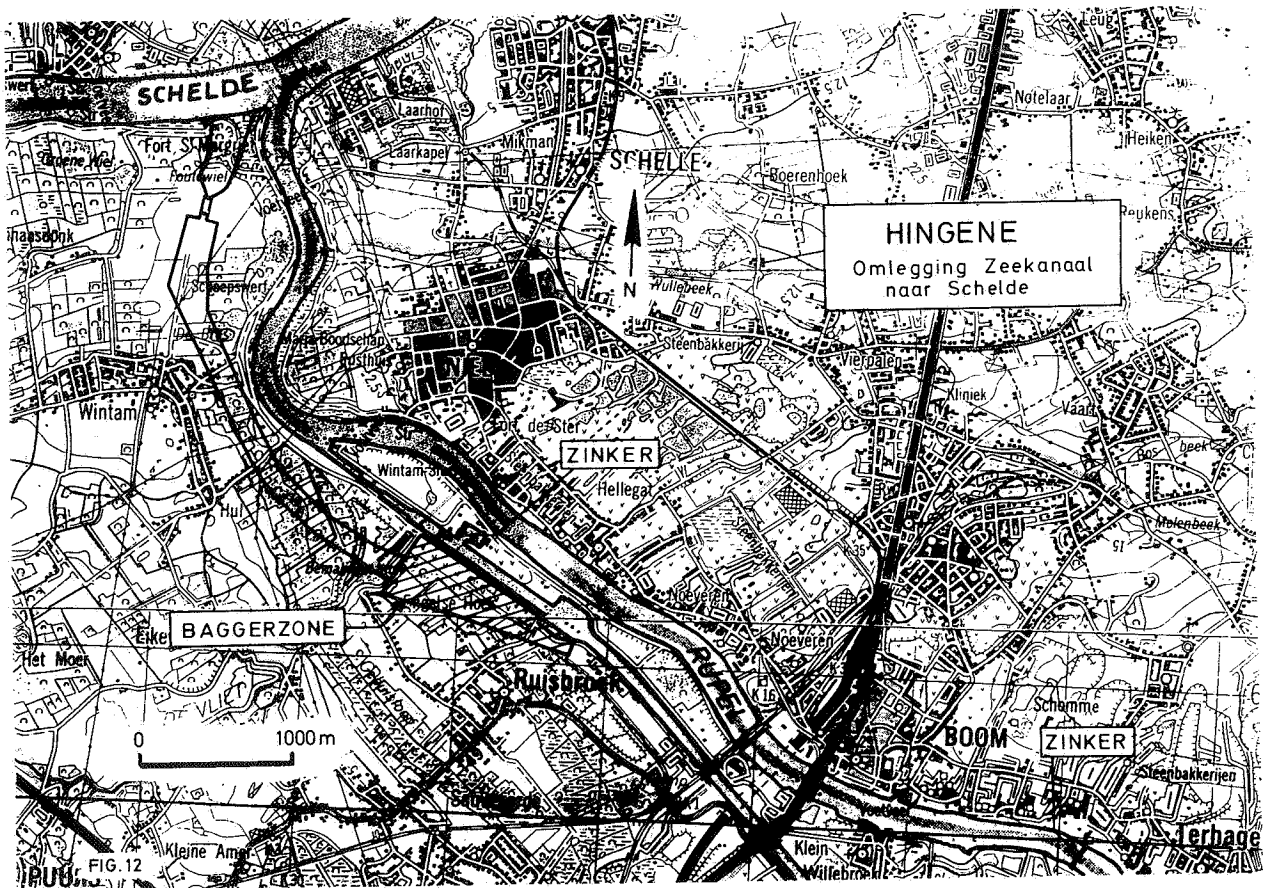
Tussen beide onderzoekpunten in werd een boring uitgevoerd en werd omstreeks het peil -8,65 de steenlaag aangeboord. Een kernmonster werd tussen de peilen -8,65 en -9,40 ontnomen. Het monster werd omschreven als glauconiethoudende zandsteen met schelpen en kalk als bindmiddel (figuur 13).

Raadpleging van de bestaande geologische kaart gaven geen aanwijzing wat de oorsprong van de stenen mocht zijn.

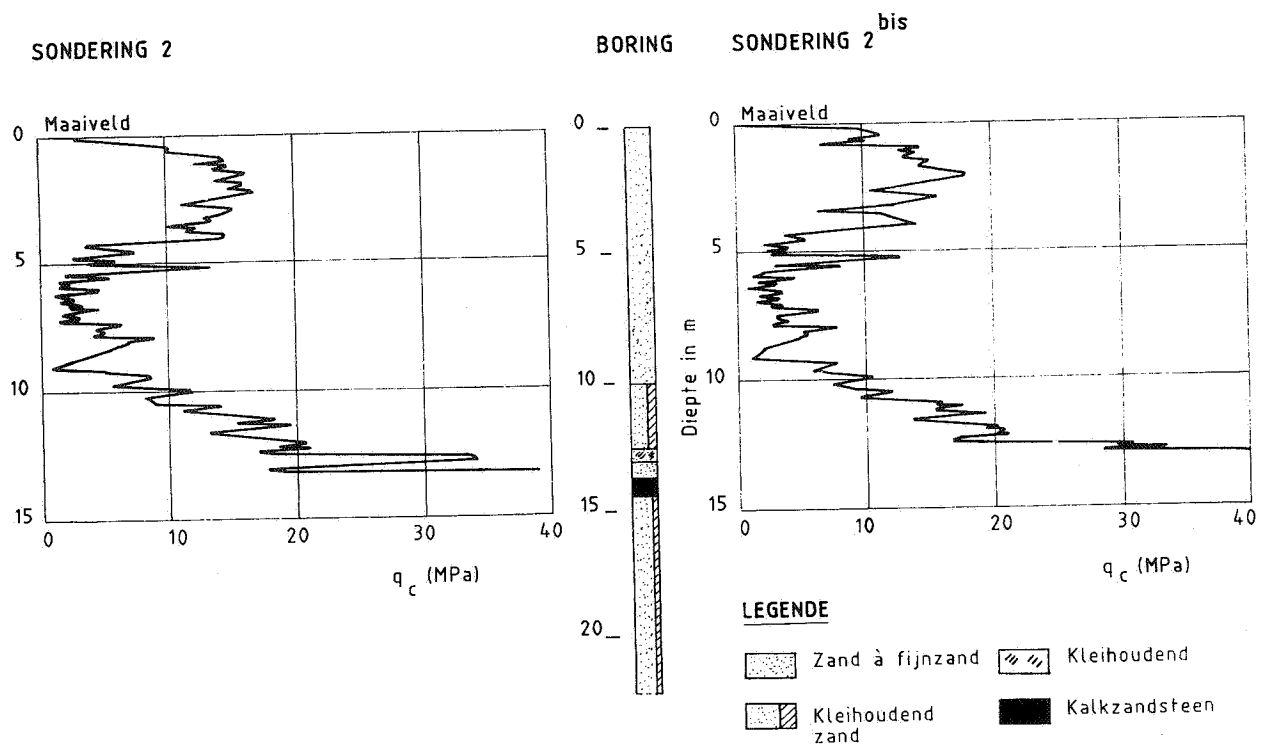
De zandlaag, waarin de zandsteenconcreties voorkomen, dient volgens de geologische kaart nr. 42 "Saint Nicolas-Tamise" gerekend te worden tot de Tertiaire Oligocene zanden R1b. De geologische kaart specificceert :

"sable jaune surmontant une argile très sableuse schistoïde gris foncée, finement pailletée renfermant des cristallines". Heden wordt de betreffende zandlaag benoemd als zand van Ruisbroek (Maréchal & Laga, 1988).

De zanden, in de boringen benoemd als glauconiethoudend kleihoudend zand, bereiken lokaal een dikte van 7 à 8 m. Aansluitend op het zand van



Figuur 12. Omgeging van het Zeekanaal naar de Schelde; met aanduiding van de baggerzone te Hingene.



Figuur 13. Sonderingen en tussenliggende boring te Hingene, met voorkomen van steenlaag.



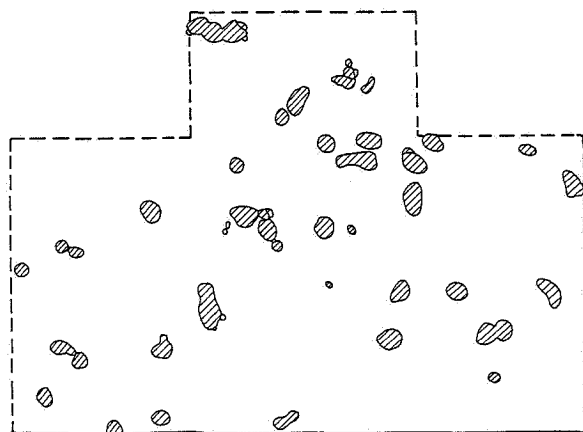
Figuur 14. Rupeltunnel te Boom: kalkzandsteenconcreties in de bouwput; de figuur op de achtergrond geeft de schaal aan (foto geleverd door P. Laga)

Ruisbroek wordt de zandige klei van Watervliet onderkend (dikte 4-8 m).

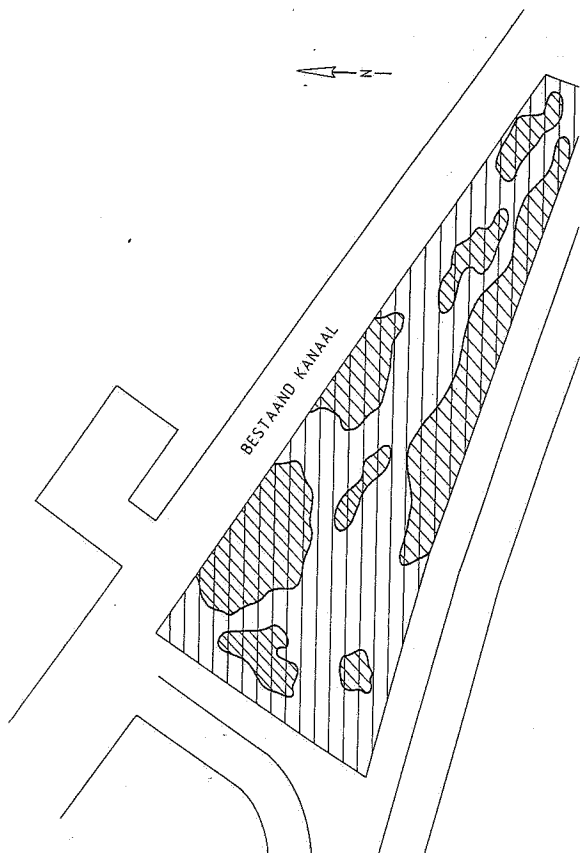
Omdat geen plausibele verklaring voor de “steenlaag” kon worden gevonden werd contact genomen met de Belgische Geologische Dienst. De versteningen werden door de Belgische Geologische Dienst als kalkzandsteenconcreties geïdentificeerd. Dergelijk concreties werden ook in dezelfde zandlaag aangetroffen bij de bouw van de Rupeltunnel te Boom. In de onderliggende klei van Watervliet komen ook gelijkaardige versteningen voor.

In het archief van de Belgische Geologische Dienst wezen enkel 2 boringen (kaartblad 58W nrs 15 en 16), uitgevoerd eind vorige eeuw voor de bouw van een spoorwegbrug te Willebroek, op het voorkomen van “een harde niet doorgeboorde rots” (Van Ertborn & Cogels, 1880a, p.51; Van Ertborn & Cogels, 1880 b, p. 13; Van Ertborn & Cogels, 1883, p. 37-38). Een

duidelijke link kon wel gelegd worden naar de kalkzandsteenconcreties die in de jaren zeventig de



Figuur 15. Rupeltunnel te Boom: ligging van de kalkzandsteenconcreties in de bouwput (breedte 19 m) tussen oostelijke en westelijke diepwand.



Figuur 16. Hingene, omlegging Zeekanaal naar Schelde; zone met kalkzandsteenconcreties (schuin gearceerd) in de baggerzone (verticaal gearceerd) lengte van de baggerzone bedraagt 600 m.

werken voor de Rupeltunnel te Boom aanzienlijk hebben bemoeilijkt (figuur 14), en aanleiding hebben gegeven tot belangrijke vertragingen en meerkosten en uiteindelijk tot een betwisting die voor de rechtbank werd beslecht. Waarnemingen en metingen destijds verricht door de Belgische Geologische Dienst in een bouwput van de Rupeltunnelwerf konden reeds enig inzicht geven in de te verwachten grootte van de concreties en in de oppervlaktedichtheid.

In de bouwput werd voor de concreties, waargenomen in de zanden van Ruisbroek, een oppervlaktedichtheid van 7% berekend (figuur 15).

Vertrekkend van dit gegeven kon gesteld worden dat de probabiliteit om met een punctuele proef (sondering of boring) de concreties te onderkennen ongeveer 1/14 bedraagt.

Bij het herinterpreteren van diepsonderingen uitgevoerd in de werf te Hingene, kon voor de proeven waarvan het dieptebereik zich situeert tot op of beneden de eerste concretiehorizonten een onderkenningsfrequentie van 3/33 d.i. ongeveer 1/10 genoteerd worden.

Op basis van de door de Belgische Geologische Dienst aangebrachte gegevens nl. het voorkomen van verspreide geïsoleerde concreties met afmetingen tot 2,5 m x 1 m x 1 m kon voor het verwijderen van de stenen geopteerd worden voor het inzetten van een dieplepelponton.

In totaal werden ongeveer 14.000 m³ stenen aan de oppervlakte gebracht (figuur 16). Na het breken van de stenen kon het bekomen materiaal aangewend worden als stortsteen tegen ontgronding.

Op basis van de opgedane ervaring in de baggerzone werd voor het uitvoeren van een telegeleide boring (ten behoeve van de aanleg van een NATO-pijpleiding onder het omgelegde kanaal) speciale voorzorgen genomen.

De boring zou immers de waargenomen concretiehorizont in de zanden van Ruisbroek kruisen, en daartoe werd de boorkop speciaal uitgerust met boorbeitels. De getroffen voorzieningen bleken achteraf niet nodig te zijn daar geen stenen werden aangeboord.

Anderzijds werd bij het boren van een andere in het kader van hetzelfde project geboorde telegeleide boring onder de Rupel, een kalkzandsteenconcretie aangeboord. Een eerste grote steen kon verbrijzeld worden, een tweede steen in het traject (na 290 m boren) vormde een onontkoombaar obstakel.

De boorstangen werden uitgetrokken en een nieuw boorprofiel met belangrijke kromming werd gevolgd om de stenen te ontwijken, ditmaal met succes.

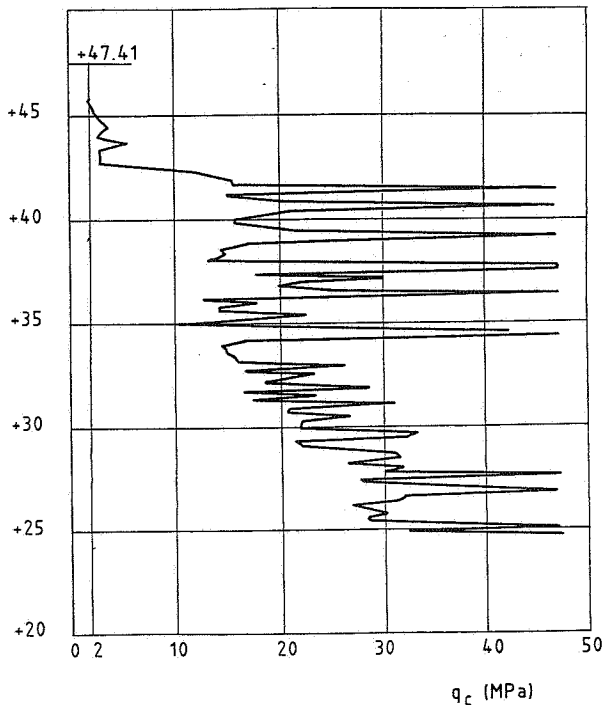
3.3. UITVOEREN VAN GEOTECHNISCH ONDERZOEK VOOR VERSCHILLENDE PROJECTEN IN DE LUCHTHAVEN VAN ZAVENTEM

Over de ganse oppervlakte van de luchthaven van Zaventem worden op beperkte diepte (0,75m tot 1,5m) de zanden van de Formatie van Lede aangetroffen. Zij bestaan uit fijnzand en omvatten een drietal, meestal continue zandsteenbanken.

Vanaf een diepte van 5 à 10m vinden we de Formatie van Brussel terug, die eveneens bestaat uit fijnzand met zandstenen, evenwel voorkomend als losse concreties.

Bij belangrijke infrastructuurwerken, zoals de constructie van de nieuwe luchthavengebouwen en de aanleg van de treintunnel naar de luchthaven, dient terdege rekening gehouden met het voorkomen van deze versteningen.

Ook het verkennend grondonderzoek ondervindt hinder van de versteningen; sonderingen uitgevoerd met conventionele technieken stranden op beperkte diepte op de zandsteenbanken. Door toepassing van de techniek van het pneumatisch hameren kunnen de sonderingen wel tot grotere diepte uitgevoerd worden,



Figuur 17. Luchthaven Zaventem, sondering XI in zand met zandstenen; pieken komen overeen met versteeningen.

zoals duidelijk blijkt uit het sondeerdiagramma van fig.17. De pieken in het sondeerdiagramma geven het niveau van de talrijke versteeningen aan.

De techniek van het pneumatisch hameren werd reeds meerdere malen met succes toegepast voor diverse sondeerprogramma's op en rond de luchthaven.

Een recente poging om de bovenste zandsteenbanken onder de startbaan van de luchthaven in kaart te brengen d.m.v. geofysisch onderzoek is mislukt. Toepassing van grondradarmetingen hebben geen resultaat geleverd vermoedelijk wegens het voorkomen van een leemlaag onmiddellijk onder het betondek, waardoor een te sterke demping van de golven optrad.

Geplande seismische refractiemetingen konden vanwege de weersomstandigheden (sterke ruis tengevolge van stormwind) niet plaatsvinden.

4. CONCLUSIES

Zoals in de inleiding gesteld is de problematiek van het uitvoeren van een geotechnisch onderzoek in een ondergrond met versteende lagen tweemaal :

1) Bij het aanstoten van deze versteende lagen of concretionshorizonten kan het op diepte uitvoeren van de proeven verhinderd of bemoeilijkt worden. Speciale technieken, zowel destructief als niet-

destructief, laten toe om de sondering in de meeste gevallen toch verder te zetten. Toepassing van deze technieken is echter tijdrovend en belastend en bij het vastleggen van het onderzoeksprogramma zal men bij het opleggen van de te bereiken sondeerdiepten een compromis zoeken tussen het bekomen van een maximale geotechnische relevante informatie en economische overwegingen.

2) Het niet aan het licht brengen van versteende lagen en concretionshorizonten bij een geotechnisch onderzoek kan verstrekkende gevolgen hebben.

Bij het opstellen van een onderzoeksprogramma (zeker voor projecten van een zekere omvang) zal men voorafgaand bestaande geotechnische en geologische informatiebronnen raadplegen waaronder :

- een databank van uitgevoerd grondonderzoek;
- gegevens geologische kaarten en archieven van de Belgische Geologische Dienst
- eventueel gegevens grondmechanische kaarten.

Bij de interpretatie van de resultaten van een standaard geotechnisch onderzoek (sonderingen en/of boringen) dient men er zich steeds bewust van te zijn dat deze proeven punctuele waarnemingen betreffen, en discontinue fenomenen mogelijk niet kunnen onderkend worden.

Om hieraan te verhelpen kunnen deze proeven eventueel aangevuld worden met een gericht geofysisch onderzoek.

Belangrijk is dat enerzijds de ingezette methodiek een maximale informatie kan leveren en compatibel is met de randvoorwaarden van het onderzoeksproject. Gelet op het feit dat de interpretatie van geofysische proeven nog steeds een probleem met vele onbekenden is, zal men de meetresultaten steeds correleren met resultaten van sonderingen en boringen en gegevens betreffende geologische opbouw van de site.

Alhoewel het succes van het inzetten van geofysische meettechnieken niet evident is, mag men verwachten dat de snelle evolutie die deze methoden reeds hebben doorgemaakt en nog steeds doormaken de effectiviteit nog zullen verbeteren. Geofysische proeven mogen zeker niet vergeten worden als door de geotechnicus en geoloog te hanteren meetmethode.

5. BIBLIOGRAFIE

CARPENTIER, R., HEMERIJCKX, E., DE SCHRIJVER, P., HENRIET, J.-P. & HELDENS, Ph., 1983. Preliminary investigation of concretion horizons in view of the construction of a pre metro tunnel under the river Scheldt at Antwerp. *Proceedings of the International Symposium of*

Engineering Geology and Underground Construction, Lisbon 1983, I: 53-70.

DE BECKER, M., 1988. Microgravimetrisch onderzoek voor de opsporing van ondergrondse holten. *In: Modern niet-destructief onderzoek. Studiedag Koninklijke Vlaamse Ingenieursvereniging, Berchem 23.11.1988*, 8 p.

DE FEIJTER, J.W., 1988. Grondradar in de geotechniek. *In: Modern niet-destructief onderzoek. Studiedag Koninklijke Vlaamse Ingenieursvereniging, Berchem 23.11.1988*, 18 p.

HENRIET, J.-P., 1979. Seismisch onderzoek te Oosterweel. Deelrapporten 1 en 3. T.V. S.V.K.S., Antwerpse Zeediensten & Rijksuniversiteit Gent, 47 p.

HENRIET, J.-P., 1980. Seismisch onderzoek te Oosterweel. Deelrapport 2. T.V. S.V.K.S., Antwerpse Zeediensten & Rijksuniversiteit Gent, 25 p.

HENRIET, J.-P. & HELDENS, Ph., 1982. Seismisch onderzoek. Pre-metrolijn naar Linkeroever. Eindrapport. Bijzondere Dienst Pre-Metro MIVA & Rijksinstituut voor Grondmechanica. 35 p.

HENRIET, J.-P., MONJOIE, A. & SCHROEDER, C., 1986. Shallow seismic investigation in engineering practice in Belgium. *First Break*, 4/5: 29-37.

KRUSE, G.A.M., 1988. Geo-elektrisch en elektromagnetisch verkennen in de geotechniek. *In: Modern niet-destructief onderzoek. Studiedag Koninklijke Vlaamse Ingenieursvereniging, Berchem 23.11.1988*, 17 p.

LAGA, P., 1993. De nieuwe geologische kaart van het Vlaamse Gewest en het aandeel van de Belgische Geologische Dienst. *In: P. Vansteelandt et al., Geologische kartering en geologisch onderzoek in het Vlaamse Gewest, Studiedag Bestuur Natuurlijke Rijkdommen en Energie 7.12.1993*, 24-35.

LAURENT, J., GRARE, W., DEDEYN, K., VERHEYEN, R.F., PAS, E., PIERREUX, S.,

LUYCKX, J., PAUWELS, S. & MEUWES, K., 1994. Milieu-aspecten bij de uitvoering van een groot waterbouwkundig project: de werken aan het kanaal Brussel-Rupel, kanaak vak Ruisbroek-Hingene, omlegging naar de Schelde. *Infrastructuur in het Leefmilieu*, 1994/2: 73-95.

MARECHAL, R. & LAGA, P., 1988. Voorstel lithostratigrafische indeling van het Paleogeen. Nationale Commissies voor Stratigrafie, Commissie: Tertiair (Belgische Geologische Dienst), 208 p.

NULENS, K., 1996. Aanwezigheid van stenen in de ondergrond: onderkenning met behulp van diepsonderingen. KULeuven, Dept. Burgerlijke Bouwkunde - Sectie Mijnbouw Geofysica, eindwerk, 105 p.

VANDENBERGHE, N., 1988. Akoestische methoden in niet-destructief grondonderzoek. *In: Modern niet-destructief onderzoek. Studiedag Koninklijke Vlaamse Ingenieursvereniging, Berchem 23.11.1988*: 21 p.

VAN ERTBORN, O. & COGELS, P., 1880a. Texte explicatif du levé géologique des planchettes d'Hoboken et de Contich. *Ministère de l'Intérieur, Commission de la carte géologique de la Belgique*. 256 p.

VAN ERTBORN, O. & COGELS, P., 1880b. Texte explicatif du levé géologique de la planchette de Boom. *Ministère de l'Intérieur, Commission de la carte géologique de la Belgique*. 68 p.

VAN ERTBORN, O. & COGELS, P., 1883. Observations de MM. O. Van Ertborn et P. Cogels sur le travail de MM. E. Van den Broeck et A. Rutot, relatif à leurs levés géologiques. *Annales de la Société royale malacologique de Belgique*, 18:33-67.

Manuscript ontvangen op 19.09.1994 en aanvaard voor publicatie op 20.09.1996.