

KONINKRIJK BELGIE

MINISTERIE VAN ECONOMISCHE ZAKEN

Administratie der Mijnen - Geologische dienst van België
Jennerstraat, 13 - 1040 Brussel

**STUDIE VAN DE LITOSTRATIGRAFIE
VAN HET KWARTAIR EN VAN
HET TERTIAIRE SUBSTRAAT
TE ZEEBRUGGE ONDER MEER
MET DIEPSONDERINGEN**

door
M. DEPRET

Kb. 11. W - Heist

**PROFESSIONAL PAPER 1983/6
N° 201**

STUDIE VAN DE LITOSTRATIGRAFIE VAN HET KWARTAIR
EN VAN HET TERTIAIRE SUBSTRAAT TE ZEEBRUGGE
ONDER MEER MET DIEPSONDERINGEN

Bekroond door de Koninklijke Academie voor Wetenschappen,
Letteren en Schone Kunsten van België in 1983

with an English summary

door

MENTOR DEPRET*

1983

* *Dr. sc., Aangesteld Navorsers, Nationaal Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek, Geologisch Instituut, Leerstoel voor Toegepaste Geologie, Rijksuniversiteit Gent*

De Klasse der Wetenschappen van de Koninklijke
Academie voor Wetenschappen, Letteren en Schone
Kunsten van België heeft ermee ingestemd om dit
werk te publiceren in "Professional Paper" van de
Belgische Geologische Dienst. Een samenvatting
hiervan wordt opgenomen in de *Academiae Analecta*.
Mededelingen van de Klasse der Wetenschappen.

III

INHOUD

| | Blz. |
|--|-------|
| DANKWOORD | IX |
| KORTE INHOUD | XIII |
| ABSTRACT | XVIII |
| | |
| 1. INLEIDING | 1 |
| 1.1. Rechtvaardiging en doelstellingen van het onderzoek | 1 |
| 1.2. Situering, topografie en hydrografie van het studiegebied | 3 |
| | |
| 2. BEOORDELING VAN DE BESCHIKBARE GEGEVENS EN AANVULLENDE PROEVEN | 7 |
| 2.1. Oorsprong van de gegevens | 7 |
| 2.2. Beoordeling van de puntwaarnemingen | 9 |
| 22.1. Plaatsbepaling | 9 |
| 22.2. Waterpassing | 9 |
| 22.3. Betrouwbaarheid | 11 |
| 22.4. Voorstelling op kaart; gegevensdichtheid (Kaart 1) | 12 |
| 2.3. Aanvullende waarnemingen | 13 |
| 23.1. Diepsonderingen | 13 |
| 23.2. Handboringen en gestoken boringen | 15 |
| 23.3. Profielopnamen | 17 |
| 23.4. Herbeschrijving van boringen, legende boorprofielen | 17 |
| | |
| 3. GEOLOGIE | 20 |
| 3.1. Paleozoïcum en Mesozoïcum | 20 |
| 3.2. Tertiair | 21 |
| 32.1. Litostratigrafische schaal | 21 |
| 32.2. De diepe tertiaire eenheden | 23 |

| | |
|--|----|
| 322.1. Formatie van Landen | 23 |
| 322.2. Formatie van Ieper | 23 |
| 32.3. De ondiepe tertiaire eenheden | 26 |
| 323.1. Stand van de kennis | 26 |
| 323.2. Litostratigrafie van de ondiepe tertiaire eenheden | 27 |
| 323.3. Kronostratigrafie van de ondiepe tertiaire eenheden | 34 |
| 3233.1. Biostratigrafische gegevens | 34 |
| 3233.2. Discussie | 35 |
| 3233.3. Verband met de litostratigrafie | 36 |
| 3233.4. Nummulites laevigatus | 36 |
| 323.4. Kenmerken van de grondsoort van de ondiepe tertiaire eenheden | 38 |
| 3234.1. Toelichting | 38 |
| 3234.2. Bespreking | 40 |
| 323.5. Vergelijking met de overeenkomstige tertiaire eenheden in de omstreken | 41 |
| 3235.1. Het Lid van Oedelem | 41 |
| 3235.2. Het Lid van Wemmel | 42 |
| 3235.3. Het Lid van Asse en het Lid van Ursel | 43 |
| 3.3. Kwartair | 43 |
| 33.1. Kwartaire ontwikkelingsgeschiedenis van de oostelijke kustvlakte | 43 |
| 331.1. Pleistoceen | 43 |
| 331.2. Holoceen | 46 |
| 33.2. Belangrijke landschapsvormende processen | 50 |
| 332.1. Selektieve sedimentatie | 50 |
| 332.2. Inversie van het reliëf | 50 |
| 332.3. Kunstmatige verstoringen | 51 |
| 3323.1. Veenontginning | 51 |
| 3323.2. Kleiontginning | 52 |
| 3323.3. Zandwinning | 52 |
| 3323.4. Aanvullingen en vergravingen (Kaart 2) | 53 |
| 33.3. Litostratigrafie van de kwartaire eenheden | 53 |
| 33.4. Kronostratigrafie van de kwartaire eenheden | 63 |

| | |
|--|----|
| 334.1. Pollenonderzoek | 63 |
| 334.2. Bespreking | 63 |
| 334.3. Interpretatie | 65 |
| 334.4. Gevolgen voor de litostratigrafie . | 67 |
| 33.5. Kenmerken van het grondsoort van de kwartaire eenheden | 67 |
| 335.1. Toelichting | 67 |
| 335.2. Bespreking | 69 |
| 33.6. Korrelatie met de kwartaire eenheden in de omstreken | 70 |
| 4. DIEPSONDERINGEN | 73 |
| 4.1. Algemeenheden en begrippen | 73 |
| 41.1. De belangrijkste konustypen in gebruik in België | 73 |
| 41.2. Principe van een mechanische diep- sondering en definities | 76 |
| 41.3. Uitvoering van de meting en fouten- bronnen | 78 |
| 41.4. Kenmerken van de konus, de buizen en de stangen aangewend in het onderzoek | 80 |
| 4.2. Het meten in stappen van 100 mm | 81 |
| 42.1. Inleiding | 81 |
| 42.2. De bewegingen van de konusdelen | 81 |
| 42.3. Berekening van de weerstanden en afge- leide gegevens | 84 |
| 42.4. Sondeergrafieken | 89 |
| 42.5. Invloed van de meetstap | 89 |
| 425.1. Probleemstelling | 89 |
| 425.2. Vergelijkend onderzoek | 90 |
| 425.3. Invloed op de totale zijdelingse wrijving | 90 |
| 425.4. Invloed op de konusweerstand, de plaatselijke kleef en het wrijvings- getal | 90 |
| 4254.1. Vergelijkingswijze | 90 |
| 4254.2. Afwijkingen | 92 |
| 4254.3. Konklusie | 94 |

| | |
|---|-----|
| 4.3. Litologische en stratigrafische interpretatie van diskontinue mechanische diepsonderingen | 95 |
| 43.1. Inleiding | 95 |
| 43.2. Doel van het onderzoek | 95 |
| 43.3. De konusweerstand | 96 |
| 433.1. Toelichting | 96 |
| 433.2. De primaire en secundaire structuren van het konusdiagram | 97 |
| 433.3. De grootte van de konusweerstand .. | 102 |
| 43.4. De konusweerstand in combinatie met de totale zijdelingse wrijving, de gereduceerde totale zijdelingse wrijving en de totale kracht | 103 |
| 434.1. Toelichting | 103 |
| 434.2. Herkenning van veen | 103 |
| 434.3. Grens tussen de aanvulling en de bovenste oorspronkelijke afzetting .. | 105 |
| 434.4. Betekenis van de totale kracht | 105 |
| 434.5. Effect van geïnduceerde horizontale korrelspanning | 106 |
| 434.6. Herkenning van harde elementen | 108 |
| 434.7. De totale zijdelingse wrijving na aanwending van de nokkenkleefvanger .. | 110 |
| 4347.1. Herkenning van kwartaire en tertiaire eenheden | 110 |
| 43471.1. Beschrijving | 110 |
| 43471.2. Statistisch onderzoek | 111 |
| 43471.3. Verklaring | 115 |
| 4347.2. Vaste kleilagen | 117 |
| 43.5. De konusweerstand, de plaatselijke kleef en het wrijvingsgetal | 119 |
| 435.1. Keuze van het klassifikatiesysteem .. | 119 |
| 435.2. De noodzaak tot het terugbrengen van de plaatselijke kleef over twee niveaus | 124 |
| 435.3. Het wrijvingsgetal en de onderkenning van de grondsoorten | 126 |
| 4353.1. Onderzoeksmateriaal | 126 |
| 4353.2. Onderzoeksmethode | 127 |

| | |
|--|-----|
| 4353.3. De sondeerafstand in funktie van het wrijvingsgetal | 128 |
| 4353.4. Het wrijvingsgetal in de kwartaire litostratigrafische eenheden | 130 |
| 43534.1. Fijn en zeer fijn zand | 130 |
| 43534.2. Weinig grinthoudend en grinthoudend zand, grint | 135 |
| 43534.3. Leem en leemhoudend zeer fijn zand | 136 |
| 43534.4. Veen | 136 |
| 4353.5. Het wrijvingsgetal in de tertiaire litostratigrafische eenheden | 138 |
| 43535.1. Weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand | 138 |
| 43535.2. Stijve klei en stijve glaukoniethoudende klei | 140 |
| 4353.6. Verband wrijvingsgetal-grondsoort en besluiten | 142 |
| 435.4. Gelaagdheid en homogeniteit | 145 |
| 435.5. Betekenis van het verbeterd wrijvingsgestal | 147 |
| 435.6. Het klemmingseffekt | 149 |
| 43.6. Methode ter onderkenning van de litologie en de stratigrafie met diskontinue mechanische diepsonderingen | 154 |
| 4.4. Karakteristieke diepsonderingen | 163 |
| 5. KAARTEN EN DOORSNEDEN | 169 |
| 5.1. Aanvullingen en vergravingen (Kaart 2) .. | 169 |
| 5.2. Uitbreiding van het oppervlakteveen, voormalige veenexploitaties en opgevulde krekken (Kaart 3) | 169 |
| 52.1. Waarneming in funderingssleuven | 170 |
| 521.1. Profiel W | 170 |
| 521.2. Profiel E | 173 |
| 521.3. Analyse van het maaiveldpeil | 174 |
| 52.2. Luchtfoto-interpretatie | 174 |
| 522.1. Analyse van de fotoreeksen | 174 |
| 522.2. Interpretatiecriteria | 176 |

VIII

| | |
|--|-----|
| 522.3. Opstelling | 178 |
| 522.4. Grondkontrolle | 179 |
| 52.3. Bespreking van de kaart 3 | 179 |
| 5.3. Basis van het veen-leem-zandkomplex K5 (Kaart 4) | 181 |
| 5.4. Top van het Tertiair en uitbreiding van het Lid van Asse (Ursel) (Kaart 5)..... | 182 |
| 5.5. Basis van het Lid van Asse (Kaart 6)..... | 183 |
| 5.6. Litologische doorsneden | 184 |
| 56.1. Toelichting | 184 |
| 56.2. Litologische doorsnede AA' | 184 |
| 56.3. Litologische doorsnede BB' | 187 |
| 56.4. Litologische doorsnede CC' | 188 |
| 56.5. Litologische doorsnede DD' | 190 |
| 5.7. Helling en strekking van het Lid van Oedelem | 191 |
| 5.8. Hydrogeologische en grondmechanische be- schouwingen voor de omgeving van Zeebrugge | 192 |
| 6. ALGEMEEN BESLUIT | 195 |
| REFERENTIES | 200 |
| BIJLAGE I : ONDERZOEKSMETHODEN, BENAMING EN VOOR- STELLING VAN GRONDMONSTERS | 200 |
| BIJLAGE II : ALGEMENE GEGEVENS VAN DE BORINGEN EN DE DIEPSONDERINGEN | 221 |
| KAARTEN 1,2,3,4,5,6 EN DOORSNEDEN AA', BB', CC', DD' | 223 |

DANKWOORD

Bij het afleveren van deze studie heb ik de aangename plicht de talrijke personen en instellingen te kunnen bedanken die door hun bereidwillige medewerking hebben bijgedragen tot de verwezenlijking ervan.

In de eerste plaats ben ik veel dank en waardering verschuldigd aan Prof. Dr. W. DE BREUCK die deze studie tot leven heeft gebracht en heeft geleid. Zijn niet aflatende belangstelling voor het kustgebied, zijn kritische raadgevingen en opmerkingen en zijn uitgebreide logistieke steun waren voor mij steeds opnieuw een enorme stimulans tot het uitdiepen en voltooien van dit werk.

Het Nationaal Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek ben ik ten zeerste dankbaar voor de subsidie die zij mij onder vorm van een mandaat Aspirant en Aangesteld Navorsers hebben toegekend. In het bijzonder dank ik Prof. Dr. W. DE BREUCK, Prof. Dr. R. TAVERNIER en Prof. Dr. R. MARECHAL voor de inspanningen die zij hebben geleverd tot verkrijging van deze mandaten.

Mijn oprechte erkentelijkheid richt ik tot Prof. Dr. R. TAVERNIER, voor de ruime steun en de belangstelling die ik bij hem mocht vinden en voor mijn opname in zijn aangename en levendige werkkring.

Mijn bijzondere dank gaat uit naar Prof. Dr. E. DE BEER, die mij heeft ingeleid in de grond- en rotsmechanica. Vaak denk ik terug aan de leerzame, opbouwende en richtgevende gesprekken die ik met hem mocht voeren over diepsonderingen en aan de belangrijke faciliteiten die hij, als toenmalig Directeur, mij heeft toegestaan in het Rijksinstituut voor Grondmechanica.

In het raam van dit multidisciplinair onderzoek mocht ik een beroep doen op diverse specialisten. In het bijzonder dank ik :

- Prof. Dr. G. DE MOOR, Prof. Dr. R. MARECHAL, Prof. Dr. J.B. AMERYCKX, Prof. Dr. P. JACOBS (Geologisch Instituut, Gent) voor

de fundamentele toelichtingen die zij mij hebben verstrekt over de bouw en evolutie het Kwartair en het Tertiair in de kustvlakte en omstreken;

- Prof. Dr. ir. W. VAN IMPE (Laboratorium voor Grondmechanica, Gent), Dr. ir. H. BEGEMANN, Adjunktdirekteur (Laboratorium voor Grondmechanica, Delft) en Dr. ir. R. CARPENTIER, waarnemend Hoofdingenieur (Rijksinstituut voor Grondmechanica, Gent) bij wie ik steeds terecht kon met problemen over diepsonderingen;
- Prof. Dr. D. CURRY (University College Department of Geology, London), Dr. A. BLONDEAU (Laboratoire de Géologie des Bassins Sedimentaires, Parijs)
Dr. C. VERBRUGGEN, Dr. D. NOLF, Dr. W. WILLEMS en Dr. E. STEURBAUT (Geologisch Instituut, Gent) die allen hebben bijgedragen tot het oplossen van de paleontologische besluiten;
- Dr. J.F. DE CONINCK (Geologisch Instituut) die zich veel moeite heeft getroost bij het op punt stellen van het laboratoriumonderzoek;
- ing. J. VANDENHEEDE (Geologisch Instituut) die de ingewikkelde rekenprogramma's heeft bewerkstelligd.

Veel personen, instellingen en ondernemingen hebben hun medewerking verleend door gegevens of ervaringen over te maken of toelatingen te geven. In de eerste plaats dank ik hiervoor ten zeerste de toenmalige Minister van Openbare Werken, de heer J. MATHOT en de heer R. SIMOEN, Inspekteur-Generaal van Bruggen en Wegen. Zij hebben mij de mogelijkheid gegeven om de recentste grondmechanische verslagen die in het raam van de uitbreiding van de zeehaven voor het Bestuur werden verricht, onmiddellijk te mogen raadplegen. In dit verband dank ik eveneens :

- De Burgemeester en het Schepencollege van de steden Brugge en Knokke-Heist;
- De heren P. KERCKAERT, Hoofdingenieur-Direkteur, J. FREMOUT, Eerstaanwezend Ingenieur, B. DE PUTTER, Eerstaanwezend

Ingenieur, P. DE WOLF, Ingenieur, C. VAN CAUWENBERGHE, Hoofdkondukteur en G. VERMEULEN, Eerstaanwezend Kontroleur van Bruggen en Wegen, Dienst der Kust;

- De heren A. VAN BRUWAENE, Raadgevend Directeur-Generaal, E. BERLEUR, Hoofdingenieur en Hoofd van de Studiedienst, L. STEYAERT, Hoofdingenieur, L. HEMERYCK, Hoofdingenieur en LECLUYSE, Ingenieur van de N.V. S.B.B.M.;
- wijlen de heer P. ORTEGAT, Algemeen Projektdirekteur en de heer K. VERGAELLEN, Ingenieur-Direkteur en Hoofd van de Technische Dienst van de T.V. Zeebouw;
- ing. M. SPREUTELS van het Rijksinstituut voor Grondmechanica;
- de Belgische Geologische Dienst;
- het Ministerie van Landsverdediging, Dienst van de Generale Staf;
- de Havendiensten van Zeebrugge;
- de Maatschappij van de Brugse Zeevaartinrichtingen N.V.;
- de T.V. Zeebouw-Zeezand;
- de N.V. Delens M.;
- de T.V. Sogetra-S.B.B.M.;
- de N.V. Smet-Boring;
- de N.V. Haecon.

Ik dank ook alle medewerkers van het Geologisch Instituut waaronder vooral Dr. L. WALSCHOT, Konservator, Dr. S. GEETS, Dr. J.P. HENRIET, Dr. I. HEYSE en Dr. M. ANTROP waarmee ik talloze verhelderende gesprekken over de meest uiteenlopende problemen heb gevoerd.

Veel waardering en dank breng ik op voor mijn naaste kollega's : Dr. J.P. CNUUDE, Dr. L. LEBBE, Lic. Ph. VAN BURM, Lic. M. MAHAUDEN, Lic. E. VAN DYCK en Lic. J. DE VOS met wie ik dagelijks samenwerk en over alles en nog wat overleg pleeg.

In geen geval ontgaat mijn dank aan het administratief en technisch personeel van het Geologisch Instituut die zich

onnoemelijk veel inspanningen hebben getroost voor de totstandkoming van dit werk. Hierbij denk ik aan ing. J. VANDENHEEDE en ing. E. BEEUWSAERT, de heren R. BOGAERT, M. GENBRUGGE, A. DE SMIJTER, C. DUYOLS, B. DANCKAERT, J. BEECKMAN, G. SCHAECK, F. DE LEEUW, H. VANNIEUWENHUYSE, J. VAN WAETERMEULEN, F. VAN ALTERT, Juffr. Y. MEYSKENS, Mevr. G. VERMEIREN en I. DE POURCQ, de juffrouwen I. ROBELUS en C. DUYOLS en mevr. V. DE WITTE.

Veel waardering breng ik op voor Mevr. G. DEPRET-VAN DE VEIRE, mijn echtgenote, die van meet af aan met dit werk heeft meegeleefd en zich extreem verdraagzaam en behulpzaam heeft opgesteld vooral tijdens de onvermijdelijk vele moeilijke ogenblikken.

Tenslotte een woord van dank aan de Koninklijke Academie voor Wetenschappen, Letteren en Schone Kunsten van België, die dit werk heeft bekroond.

Gent, 20 februari 1981

Gent, 20 december 1982

KORTE INHOUD

Dit werk levert een gedetailleerd inzicht in de litostratigrafie van het Kwartair en het tertiaire substraat te Zeebrugge-Dudzele tot een diepte van circa 60 m. Alhoewel het bestudeerde gebied een oppervlakte van nauwelijks 35 km² beslaat, vormt het geologisch en economisch een sleutelplaats in de Belgische kustvlakte. Geologisch situeert het zich nabij de overgangszone van de oostelijke kustvlakte naar de Vlaamse Vallei. Het Kwartair heeft er zich, naar Belgische normen, diep ingesneden (tot -38 m). Het gebied ligt ook noordelijk in het Belgisch deel van het Noordwest-Europees Tertiair Bekken. De economische betekenis houdt verband met de uitbreiding van de haven van Zeebrugge. Nagenoeg de gehele toekomstige achterhaven en ook een gedeelte van de voorhaven is erin opgenomen.

Er werd zoveel mogelijk gebruik gemaakt van beschikbare waarnemingen : diepsonderingen, boringen, granulometrische analyses, luchtfoto's Op grond van de kwaliteit en de dichtheid van deze gegevens werden talrijke aanvullende veldproeven verricht. Naast handboringen en gestoken boringen bestonden die vooral uit diepsonderingen. In totaal beschikten we aldus over 519 boringen en 783 diepsonderingen met een gekumuleerde lengte van bijna 28 000 m. Ruime aandacht werd besteed aan de rechtstreekse waarneming van de complexe bovenlagen in funderingssleuven. Deze laatste waren met de havenuitbreiding talrijk voorhanden.

Het tertiair substraat in het gebied wordt, tot een diepte van 60 m, hoofdzakelijk ingenomen door sedimenten van het Lid van Oedelem. Hoewel deze eenheid in het Zeebrugse een maximum gekende dikte van 35 m haalt, stemt de bouw ervan vrij goed overeen met die in de typelokaliteit te Oedelem. Het Lid van Oedelem is voornamelijk samengesteld uit 1 tot 6 m dikke, subparallelle lagen (weinig) kleihoudend zeer fijn zand die vaak zeer schelprijk zijn. In het midden van de eenheid bevinden er zich twee kleiiger niveaus, bestaande uit enkele dunne lagen

klei en zandhoudende klei. In een bovenste zone van 9 m dikte treft men drie vrijwel doorlopende glaukonietskalkzandsteenbanken aan.

Het Lid van Oedelem dagzoomt aan de top van het Tertiair is geheel de zuidwestelijke helft van het studiegebied. De noordoostelijke helft wordt echter vooral ingenomen door het Lid van Asse en het Lid van Ursel. Het Lid van Asse bestaat uit 4-5 m stijve glaukoniethoudende klei, het Lid van Ursel uit stijve klei. Geheel in het noordoosten is het Lid van Ursel reeds 18 m dik maar zijn volledige dikte wordt er, als gevolg van erosie tijdens het Kwartair, nergens bereikt.

Tussen het Lid van Oedelem en het Lid van Asse vindt men nog een 1 à 4 m dikke laag weinig glaukoniethoudend, kleihoudend zeer fijn zand die als Lid van Wemmel werd geïdentificeerd. Op grond van paleontologische argumenten werd aangetoond dat afzettingen uit het Lediaan ontbreken.

Het Kwartair onder het oppervlaktevveen bestaat nagenoeg uitsluitend uit pleistocene afzettingen, meer bepaald uit het Eemiaan en het Weichseliaan. Dit is in tegenspraak met wat meestal wordt aangenomen. Deze bevinding sluit echter aan bij wat men weet over de toestand in de zuidoostelijk en zuidelijk gelegen gebieden en die in westelijk Zeeuws-Vlaanderen.

Het Eemiaan vangt aan met de afzetting van Kaprijke een diskontinue laag die bestaat uit grinthoudend middelmatig zand en die 6 m dikte kan bereiken. Daarop of onmiddellijk op het Tertiair rust de afzetting van Moerkerke. Deze eenheid haalt 6 à 8 m dikte, komt overal voor en is daarmee de omvangrijkste afzetting van het Kwartair in het gebied. Ze is hoofdzakelijk samengesteld uit fijn en middelmatig zand met weinig of geen schelpen.

Het Weichseliaan vangt meestal aan met een grinthoudend middelmatig zand. Hoewel er in de randgebieden een gelijkaardige zone is bekend werd deze laag, omwille van haar omvang (vaak 3-6 m dik) en scherpe begrenzing, als een afzonderlijke eenheid behandeld en de afzetting van Zeebrugge genoemd. Daarop of onmiddellijk op de afzetting van Moerkerke rust er 4-6 m fijn zand

van de afzetting van Damme. Deze is nagenoeg schelploos en bevat vooral in het zuidwesten en westen van het gebied, leemhoudende niveaus. De afzetting van Damme wordt bedekt door het gemiddeld 6 m dikke veen-leem-zandkomplex van de afzetting van Eeklo. Deze komt overal voor, behalve waar ze door de afzetting van Duinkerke is ingesneden. Ze bestaat uit horizontale 1 tot 3 m dikke lagen kalkloos, grintloos zeer fijn zand die van elkaar worden gescheiden door 0,5 m tot 2,0 m dikke veen-leemlagen.

Het Holoceen is gekenmerkt door zijn heterogeniteit en grote en snelle variaties in dikte. Het omvat de afzetting van Calais, het oppervlakteveen en de afzetting van Duinkerke.

De afzetting van Calais is slechts van zeer geringe betekenis en uitsluitend tot het westen en noordwesten van het gebied beperkt. Ze bestaat uit leemhoudende klei en haalt nog geen meter dikte. Gewoonlijk treft men onmiddellijk op het Pleistoceen het oppervlakteveen aan. Zijn oorspronkelijke dikte bedraagt 1,5 tot 3 m. Zijn huidige dikte en voorkomen wordt evenwel bepaald door insnijding van de afzetting van Duinkerke maar vooral door voormalige veenontginning. Geschat wordt dat circa 60-70 % van de oorspronkelijke hoeveelheid veen is weggenomen.

De afzetting van Duinkerke is, zowel kwa uitbreiding als samenstelling, de grilligste natuurlijke kwartaire afzetting. Ze is dun (2-3 m) en essentieel klei- of lemig in de onontgongen zones van het oppervlakteveen. Ter hoogte van de veenloze kreken is ze dik (5-10 m) en zandig.

Met 492 monsters werden de meeste kwartaire en tertiaire eenheden door laboratoriumkenmerken omschreven. Het betreft de plasticiteitsindex, het kalk- en humusgehalte, de granulometrische kenmerken en parameters en de hydraulische geleidbaarheid afgeleid uit granulometrische gegevens.

Bij de studie van de litostratigrafie van het Kwartair en het Tertiair is, naast klassieke informatie uit boringen (boorverslagen, granulometrie, paleontologische gegevens), uit-

voerig gesteund op de uitslagen van diepsonderingen. De systematische aanwending van de resultaten van diepsonderingen bij de geologische interpretatie is de aanzet geweest voor een fundamentele analyse van de litologische en stratigrafische betekenis van deze waarnemingstechniek.

De aanvullende diepsonderingen (68) werden uitsluitend gemeten met de kleefmantelkonus van BEGEMANN. Met het oog op een betere waarneming werd de bij mechanische diepsonderingen gebruikelijke meetstap van 200 mm verkleind tot 100 mm. Nagegaan werd welke winst aan informatie men hierdoor bekwam en of de aldus gemeten weerstanden afweken van diegene gemeten op de klassieke manier. Een vergelijkend onderzoek bevestigde de invloed van de meetstap. Deze uitte zich vooral door een daling van de totale zijdelingse wrijving en de plaatselijke kleef. De invloed bleek evenwel afhankelijk van de grondsoort en mogelijk ook van haar structuur en grondmechanische eigenschappen.

Vervolgens wordt de litologische en stratigrafische betekenis nagegaan van de konusweerstand, de totale zijdelingse wrijvingsweerstand voor en na aanwending van de nokkenkleefvanger, de totale kracht, de overeenstemmende plaatselijke kleef, het wrijvingsgetal en het verbeterd wrijvingsgetal. Gebleken is dat, in tegenstelling met wat sommigen menen, alle weerstanden en afgeleide gegevens waardevolle informatie opleveren over de bouw en de samenstelling van de ondergrond. In het bijzonder is dit ook zo met de door middel van de nokkenkleefvanger gereduceerde totale zijdelingse wrijving. Ook het voordeel van de kleinere meetstap (100 mm) wordt duidelijk aangetoond. Dit leidde immers tot diagrammen met een hoger scheidend vermogen wat bepalend is bij de beoordeling van de relatieve homogeniteit of gelaagdheid van de grond.

Uit het onderzoek blijkt ook de relatieve betekenis van het diagram van BEGEMANN. Dit diagram kan men immers niet gebruiken voor overgekonsolideerde gronden (Tertiair) en sedimenten met een bijzondere mineralogie (bv. glaukoniethoudend zand). Waarnemingen in normaal gekonsolideerde kwartaire sedimenten komen evenwel goed overeen.

In de uiteenzetting wordt ook de aandacht gevestigd op het feit dat de kleefmantelkonus minder geëigend is om de juiste kwantitatieve gegevens over de konusweerstand en de plaatselijke kleef te verkrijgen. De metingen met deze konus zijn onderhevig aan tal van storende factoren waaronder effecten van inlopen, klemming en geometrie.

Uiteindelijk werd een representatieve en betrouwbare interpretatietechniek voorgesteld om mechanische kleefmantelkonussonderingen litologisch en stratigrafisch nauwkeurig te interpreteren.

De detailstratigrafie van de Zeebrugse ondergrond wordt toegelicht aan de hand van 5 kaarten en 6 litologische doorsneden. De volgende litologisch belangrijke aspecten werden kartografisch voorgesteld :

- aanvullingen en vergravingen (kaart 2)
- uitbreiding van het oppervlakteveen, voormalige veen-exploitaties en opgevulde kreken (kaart 3)
- basis van het veen-leem-zandkomplex van de afzetting van Eeklo (kaart 4)
- top van het Tertiair en uitbreiding van het Lid van Asse (Ursel) (kaart 5)
- basis van het Lid van Asse (kaart 6)

De opstelling van de kaarten 2 en 3 gebeurde in belangrijke mate met behulp van luchtfoto's. Vooral het tracé van de kreken, de uitgeveende gebieden en de aanvullingen en vergravingen was hiermee nauwkeurig te bepalen.

Vier doorsneden tot 35 à 60 m diepte stellen de bouw van de kwartaire en ondiepe tertiaire eenheden voor. De complexiteit van de bovenste 5 à 6 m Kwartair wordt nader bekeken aan de hand van twee met het oog waargenomen profielen.

ABSTRACT

This study provides a detailed insight concerning the lithostratigraphy of the Quaternary deposits and the Tertiary substratum in the Zeebrugge area. In spite of its limited size of 35 km², the area is of special importance for the Belgian coastal plain. From a geological point of view it is located at the transition of the eastern coastal plain to the so-called Flemish Valley. The Quaternary erosion has cut relatively deep into the Tertiary substratum (up to -38 m). The area also lies northerly in the Belgian part of the North-West-European Tertiary Basin. The economical importance of the area is connected with the expansion of the seaport of Zeebrugge.

All available data have been exploited. A program of complementary experiments has been based on the quality and the density of the compiled data. In all, one could count on 519 borings, 783 penetration tests, 492 laboratory tests on soil samples and arial photographs. The cumulated length of borings and penetration tests amounted to 28.000 m. Besides, an intensive visual survey of the complex upper sediments was made in foundation excavations.

The Tertiary substratum in the area at a depth of 60 m, is essentially composed by sediments of the Oedelem Member. Although this unit attains a new known maximum thickness of 35 m, its structure agrees fairly well with the one in its type locality near Oedelem. The Oedelem Member mainly consists of subparallel beds of (slightly) clayey very fine sand which often contain many shells. Their thickness varies from 1 m to about 6 m. The middle zone is more clayey and contains some thin horizons of clay and sandy clay. The 9 m thick upper zone contains three levels of glauconiferous sandy limestone.

Sediments of the Oedelem Member crop out at the top of the Tertiary substratum in the entire south-western part of the study area. The north-eastern part however is mainly occupied by the Asse Member and the Ursel Member. The Asse Member consists of 4 to 5 m of stiff glauconiferous clay. The Ursel Member is composed of stiff clay and attains a thickness of

The Holocene deposits are characterized by their heterogeneity and irregular thickness. They can be grouped into the Calais member, the surface peat and the Duinkerke member.

The Calais member is weakly developed; it has only been identified in the western part of the area. It consists of loamy clay and attains a thickness of less than 1 m.

In general the Pleistocene deposits are directly covered by the surface peat. The layer was originally 1,5 m thick in the south and more than 3 m in the north. However its present thickness and aspect are strongly determined by incision of the Duinkerke member and especially by peat exploitation in medieval time. About 60-70 % of the original quantity of peat has been removed.

The laboratory characteristics of the Quaternary and Tertiary units are based on the analysis of 492 soil samples. It concerns the plasticity index, the content of lime and humus, the grain-size composition, the grain-size parameters and the hydraulic conductivity.

Important information was derived from the results of penetration tests. Systematical application of these tests for geological survey has instigated a fundamental analysis of the lithological and stratigraphical significance of this observation technique.

The supplementary tests (68 in total) were performed exclusively with the BEGEMANN friction sleeve penetrometer tip. To obtain more detailed information about the kind and structure of the soil the usual 200 mm measuring step was reduced to 100 mm. However the question arised whether the smaller step could influence the resistances. A comparative research showed there is an influence which is mainly expressed by a decrease of the local and total side friction. The influence depended however from the kind of soil and probably from its structure and mechanical properties.

A lot of attention was spended on the relationship between stratigraphy and lithology with respect to the cone resistance, the total side friction, the total side friction reduced with the cam friction reducer, the total force, the

18 m in the north-eastern corner of the area. Its entire thickness is due to the Quaternary erosion, nowhere attained.

In between the Oedelem Member and the Asse Member, there is still 1 to 4 m of slightly glauconiferous, clayey very fine sand which has been identified as the Wommel Member. Paleontological arguments have proved the absence of Ledian sediments in the area.

Under the surface peat the deposits mainly are of Pleistocene origin, more specifically from the Eemian and Weichselian. This is in contradiction with the present knowledge of the area but agrees with the condition in the south-eastern and south-western regions and with those in western Zealand-Flanders.

The lowermost Eemian deposit is the Kaprijke member, a discontinuous unit composed of gravelly medium sand. It can attain 6 m thickness. It is covered by the Moerkerke member. This unit of 6 to 8 m of fine and medium sand almost without shells, is everywhere present. It is the most important Quaternary member in the area.

Also the Weichselian deposits usually contain a discontinuous bottom layer of gravelly medium sand. The unit is well developed near Zeebrugge village (3-6 m thickness) and therefore called the Zeebrugge member. This member, or where it is missing the underlying Moerkerke member, is covered by the Damme member. This is a 4 to 6 m thick layer of fine sand with some shells. Especially in the south-western and western part of the area loamy intercalations can appear in the unit. The Damme member is covered by the peat-loam-sand-complex of the Eeklo member. It can be found everywhere, except in the south-western and north-eastern part of the area, where it is incised by the Duinkerke member. It consists of horizontal layers of very fine sand, 1 to 3 m thick, which are separated from each another by 0,5 m to 2,0 m thick layers of peat and loam. The sand layers are relatively homogeneous, contain no gravel elements and are non calcareous.

corresponding local side friction, the friction ratio and the corrected friction ratio. In spite of current belief, every penetration diagram seems to provide valuable information about the structure and the composition of the subsoil. This is even true for the total side friction reduced with the cam friction reducer.

The advantages of a smaller measuring step could clearly be shown. The diagrams show a remarkable higher resolution, which is e.g. very important when judging relative homogeneity or stratification of the deposits.

This research also proves the relative significance of BEGEMANN's diagram. His diagram is not valid for overconsolidated soils (Tertiary) and sediments with a special mineralogy (e.g. glauconiferous sand). However, results from normally consolidated soils, as the Quaternary one's, were in good agreement.

The analysis emphasizes that BEGEMANN's friction sleeve penetrometer tip is less suitable to obtain correct quantitative data about the cone resistance and the local side friction. Measurements with this penetrometer tip are liable to many disturbing factors e.g. effects of geometry, jamming and running in.

Finally, a representative and reliable method is presented for correct and accurate lithological and stratigraphical interpretation of discontinuous mechanical penetration tests.

The detailed lithostratigraphy of the subsoil at Zeebrugge is discussed by means of five maps and six lithological sections. The following lithological aspects were mapped :

- fill and reworked soils (map 2)
- extension of the surface peat, peat exploitations and Duinkerke creeks (map 3)
- basis of the peat-loam-sand-complex of the Eeklo member (map 4)
- top of the Tertiary substratum and extension of the Asse (Ursel) Member (map 5)
- basis of the Asse Member (map 6)

Determination of the extension of the surface peat, peat exploitations, creeks and fill could efficiently be done with the aid of arial photographs.

Four profiles up to 35-60 m depth explain the structure of the Quaternary and shallow Tertiary units. The complexity of the upper 5 to 6 m of Quaternary sediments is illustrated by two detailed profiles based on the visual survey of outcrops.

1. INLEIDING

1.1. RECHTVAARDIGING EN DOELSTELLINGEN VAN HET ONDERZOEK

Tijdens het laatste decennium is de kustvlakte het toneel geweest van intensieve onderzoeken aangaande de hydrogeologie, de litostratigrafie en de genese van de diepere oppervlakkige lagen. Tot voor kort waren deze onderzoeken vooral gekoncentreerd in het westelijk kustgebied (C. BAETEMAN et al., 1974; C. BAETEMAN, 1978; L. LEBBE, 1978), in de randgebieden van de kustvlakte (R. PAEPE en R. VANHOORNE, 1972; R. PAEPE et al., 1972; G. DE MOOR en W. DE BREUCK, 1973) en in de overgangszone van de oostelijke kustvlakte naar de Vlaamse Vallei (G. DE MOOR en I. HEYSE, 1974; I. HEYSE, 1979; P. JACOBS, 1975). De diepere ondergrond van de oostelijke kustvlakte bleef echter op enkele studies met een te lokaal ofwel te regionaal karakter na (W. DE BREUCK et al., 1969; G. DE MOOR en W. DE BREUCK, 1969; H. VANNIEUWENBORG, 1973; G. FRANCESCHI, 1975) globaal vrij ongekend. Weliswaar heeft de recente ontwikkeling van de haven van Zeebrugge genoopt tot een betere stratigrafische kennis van de diepere lagen (Globaal Grondonderzoek T.V. Zeebouw-Zeezand, 1978) maar de onderzoeken bleven evenwel beperkt tot het toekomstige havengebied in zee en waren vooral gericht op het vastleggen van het grensvlak Kwartair-Tertiair, de uitbreiding van de "Bartoon klei" en enkele oppervlakkig gedefinieerde eenheden in het Kwartair. Aan het gebied tussen de kustlijn en Brugge werd vrijwel geen aandacht besteed noch aan een gedetailleerde kennis van de diepere kwartaire en tertiaire lagen.

In tegenstelling tot de diepere lagen waren de oppervlakkige sedimenten van het kustgebied sinds de jaren vijftig goed gekend door de opname van de Bodemkaart van België. Hierbij werden volgens een dicht en regelmatig netwerk boringen verricht. Alhoewel de boringen voor het merendeel slechts 1,25 m diepte bereikten leidde de detail en het regionale opzet van deze studie tot een voortreffelijke kennis van de stratigrafie, de verbreiding, de morfologie en vooral van de genese van de bovenste bedekking. Getuige hiervan zijn de talrijke publikaties van de

medewerkers aan het Centrum voor Bodemkartering (o.a. R. TAVERNIER, 1947; J.B. AMERYCKX, 1953a, 1953b, 1954; R. TAVERNIER en J.B. AMERYCKX, 1970).

Het gebrek aan kennis van de diepere ondergrond, de sleutelpositie van het gebied in de oostelijke kustvlakte, de landwaartse uitbreidingsplannen van de zeehaven en de talrijke voor de havenwerken uitgevoerde doch geologisch onverwerkt gebleven puntwaarnemingen (boringen en diepsonderingen) bleken voldoende argumenten om een gedetailleerd geotechnisch onderzoek van het gebied Zeebrugge-Heist-Lissewege-Dudzele te staven en te verantwoorden.

Deze studie heeft dan ook tot doel, uitgaande van de beschikbare en eigen waarnemingen, de litologische eenheden te onderkennen, granulometrisch te kenmerken en in detail tot een diepte van ongeveer 50 m vast te leggen in kaarten en profielen. Alhoewel reeds in detail vastgelegd, worden ook de bovenste lagen bij dit geotechnisch onderzoek betrokken omwille van het feit dat de bodemkaart eerder voor de landbouw dan voor geotechnische doeleinden werd opgenomen.

Bij dit onderzoek werd vooral gebruik gemaakt van statische diepsonderingen. Er werd dan ook uitvoerig aandacht besteed aan de litologische en stratigrafische betekenis van deze waarnemingstechniek. In het bijzonder werden sonderingen met plaatselijke kleefregistratie onderzocht, vooral omdat deze in ons land weinig zijn toegepast. Met het oog op een betere waarneming werd, in de zelf verrichte kleefmantelkonussonderingen, de klassieke meetstap van 200 mm verkleind tot 100 mm. Nagegaan werd welke winst aan informatie men hierdoor bekam en of de aldus gemeten weerstanden afweken van die bekomen op de klassieke manier. Tenslotte werd een betrouwbare en representatieve methode uitgewerkt om kleefmantelkonussonderingen, opgemeten in stappen van 100 mm, litologisch en stratigrafisch te interpreteren.

1.2. SITUERING, TOPOGRAFIE EN HYDROGRAFIE VAN HET STUDIEGEBIED

Het studiegebied bevindt zich volledig op het kaartblad Heist 5/5 van het N.G.I. (kaart 1). Een rechthoekige begrenzing op de kilometrische koördinaatlijnen van het Lambert-net is verkozen, echter zodanig dat de toekomstige achterhaven en een belangrijk deel van de nieuwe voorhaven respectievelijk centraal en noordelijk liggen. Het volstaat de plaats geodetisch te definiëren door de uiterste zuidwest- en noordoostkoördinaatsnijdingen te vermelden :

zuidwestsnijding : 067/220 (km) ⁽¹⁾

noordoostsnijding : 072/227

Het gebied beslaat een oppervlakte van 35 km² behorende tot de gemeenten Brugge en Knokke-Heist. Als deelgemeenten noteert men klpksgewijs : Zeebrugge in het noordwesten en noorden, Heist in het noordoosten, Ramskapelle in het oosten, Dudzele in het zuiden, Lissewege in het zuidwesten en Zwankendamme in het westen.

Met uitzondering van een kleine oppervlakte in het noorden die deel uitmaakt van de Noordzee, het Strand en de Duinstreek behoort het gehele gebied tot de Polderstreek. Van het oorspronkelijk strand en duingebied blijft heden ten dage nagenoeg niets meer over : door de verstedelijking langs de kustlijn, maar vooral door de recente havenontwikkeling zijn de grootste gedeelten ervan ofwel afgetopt ofwel opgehoogd (foto 1). Het hoogste punt in de Duinstreek ligt op ongeveer +12 m. ⁽²⁾

In tegenstelling tot het golvend reliëf van de Duinstreek is het polderlandschap vlak en laag gelegen. In het noordoosten, tussen Heist en Ramskapelle, maar ook ten zuidwesten van Zwankendamme en Lissewege is het reliëf zeer vlak en gemiddeld gelegen tussen +3,5 m en + 4,0 m. Tussenin ligt er een veengebied met een verstoord uitzicht ten gevolge van talrijke onregelmatig gedempte veenputten. Door die uitveningen ligt deze zone gemiddeld ongeveer 1 m lager op een peil gaande van +1,5 m tot +3,5 m (foto 2).

(1) Alle Lambert-koördinaten zijn uitgedrukt in kilometer.

(2) Alle peilen zijn uitgedrukt ten opzichte van het nulpunt van de Tweede Algemene Waterpassing (T.A.W.).



- Foto 1 - Schuine luchtfoto van het noordelijk deel van het studiegebied. In het midden ziet men de kaaimuren van het Noordelijk Insteekdok. De donkere stroken rechts en links op de foto zijn de afwateringsvaarten en het Boudewijnkanaal. Op het achtergrond herkent men Zeebrugge dorp (midden), de oude havendam (links) en de in aanbouw zijnde Nieuwe Zeesluis en Werkhaven (rechts) (foto N.V. Haecon)
- Oblique aerial photograph of the northern part of the study area. In the middle area the quay walls of the Northern Insteekdok are recognized. The dark strips at the right and at the left of the photograph are the drainage canals and the Boudewijn Canal. In the background Zeebrugge village (middle), the old mole (left), the New Sea-lock and the Werkhaven in course of construction (right) can be seen (photo N.V. Haecon)



Foto 2 - Polderlandschap met onregelmatige topografie ter hoogte van gedempte veenputten. Men kijkt vanaf het Noordelijk Insteekdok in de richting van Heist (foto auteur)

- Polder-land with an irregular topography on the site of filled up peat pits. The city at the horizon is Heist (photo author)

De belangrijkste wegen zijn de Koninklijke Baan in het noorden, de verbinding Heist-Ramskapelle in het oosten, de rijksweg Brugge-Dudzele-Westkapelle-Knokke-Heist in het zuiden en de rijksweg Brugge-Zeebrugge in het westen.

Als voornaamste waterlopen heeft men in het westen het verzilte Boudewijnkanaal (Zeekanaal Brugge-Zeebrugge) en in het oosten de twee afwateringsvaarten : het Afleidingskanaal der Leie (Schipdonkkanaal) en het Kanaal van Zelzate (Leopoldsvaart), waarvan de laatste kilometer voor hun uitmonding in zee onlangs werd ingekokerd. De spuiing in zee geschiedt door een serie uitwateringssluizen.

Door haar lage ligging lijdt het gebied tussen de kanalen vaak aan wateroverlast. Het drainagenetwerk is er dan ook zeer dicht ontwikkeld. Het bestaat uit draineringsbuizen, greppels, perceelsgrachten, verzamelgrachten en hoofdwatervgangen (o.a. Graaf Jansader, Lisseweegsvaartje, Isabellavaart, Noordwatergang enz...). Deze laatste lozen hun water in het Leopoldskanaal.

Omwille van de recent versnelde uitbouw van de achterhaven in het centrale deel van het studiegebied werd afgezien van intekening in kaart van details die in de nabije toekomst zullen verdwijnen (kaart 1). In de plaats zijn de voorziene of begin 1980 reeds aangelegde dokken (streeplijn of volle lijn) ingebracht.

2. BEOORDELING VAN DE BESCHIKBARE GEGEVENS EN AANVULLENDE PROEVEN

2.1. OORSPRONG VAN DE GEGEVENS

Vooreerst werden zoveel mogelijk bestaande waarnemingen in en in de omgeving van het studiegebied verzameld. Daarvoor kwamen in aanmerking : diepsonderingen (DS), handsonderingen (HS), droge boringen (DB), gespoelde boringen (SB), gestoken boringen (GB) en droge handboringen (DHB), laboratoriumanalyses op grondmonsters, opmetingsplannen (van ophogingen, uitgravingen en nieuwe of toekomstige kunstwerken) en luchtfoto's. Hiervoor werd beroep gedaan op de welwillende medewerking van openbare en private instanties (Ministerie van Openbare Werken : de Dienst der Kust en het Rijksinstituut voor Grondmechanica (R.I.G.), de Belgische Geologische Dienst, de havendiensten van Zeebrugge, het Ministerie van Landsverdediging : de Dienst van de Generale Staf, gemeentebesturen, de R.T.T., de N.M.B.S., de T.V. Zeebouw-Zeezand, de T.V. Sogetra-SBBM, de N.V. SBBM, de N.V. Smet, de N.V. Delens M., de N.V. Sotrahay en enkele partikulieren). Uiteraard beschikten we ook over reeds eerder door het Geologisch Instituut uitgevoerde waarnemingen. De puntwaarnemingen zijn bijgehouden tot eind 1979.

Tabel 1 geeft een overzicht van de beschikbare gegevens. Ter vervollediging zijn ook de door ons uitgevoerde proeven ingelast. De sonderingen en de boringen zijn opgesplitst naargelang van hun herkomst en indringingsdiepte.

In totaal beschikten we over 1302 puntwaarnemingen die ongeveer overeenstemmen met 28 000 m indringing in de grond. Daarvan zijn er 1147 in het studiegebied zelf en 155 in de randzone gelegen. Deze 1302 gegevens omvatten 783 sonderingen (736 DS en 47 HS) en 519 boringen (4 GB, 449 DB, 43 DHB en 23 SB). Onder de sonderingen overschrijden er 43 % (338) de 30 m en 72 % (562) de 20 m; onder de boringen zijn er 76 (= 15 %) meer dan 30 m en 162 (= 31 %) meer dan 20 m diep. In totaal overschrijden 414 (= 32 %) puntwaarnemingen de 30 m en 724 (= 56 %) de 20 m diepte.

Tabel 1 - Overzicht van de beschikbare waarnemingen
 - Summary of the available data

| 1) Diepsonderingen en handsonderingen | Aard | Konus- type | Aantal | Indringingsdiepte | | |
|---|------|----------------|--------|-------------------|---------|-------|
| | | | | >30 m | 30-20 m | <20 m |
| Openbare diensten | DS | KS | 511 | 240 | 159 | 112 |
| | HS | | 37 | | | 37 |
| Privé-maatschappijen en partikulieren | DS | KS | 122 | 61 | 29 | 32 |
| | DS | KMK | 20 | | 8 | 12 |
| | HS | | 10 | | | 10 |
| Geologisch Instituut (eerder uitgevoerd) | DS | KMK | 15 | | | 15 |
| Geologische Instituut (aanvullende) | DS | KMK | 68 | 37 | 28 | 3 |
| Totaal sonderingen | | | 738 | 338 | 224 | 221 |
| 2) Boringen | | | | | | |
| Openbare diensten | DB | | 341 | 47 | 65 | 229 |
| | SB | | 8 | 6 | 1 | 1 |
| Privé-maatschappijen | GB | | 1 | 1 | | |
| | DB | | 86 | 3 | 3 | 80 |
| | SB | | 15 | 12 | 2 | 1 |
| Geologisch Instituut (eerder uitgevoerd) | DB | | 22 | 7 | 15 | |
| | DHB | | 6 | | | 6 |
| Geologisch Instituut (aanvullende) | GB | | 3 | | | 3 |
| | DHB | | 37 | | | 37 |
| Totaal boringen | | | 519 | 76 | 86 | 357 |
| Totaal boringen + sonderingen | | | 1302 | 414 | 310 | 568 |
| 3) Laboratoriumanalyses | | | | | | |
| Openbare diensten en privé-maatschappijen | | | 299 | | | |
| Aanvullende analyses Geologisch Instituut | | | 199 | | | |
| Totaal | | | 498 | | | |
| 4) Rechtstreekse opname van profielen in funderingssleuven : ca. 2 km | | | | | | |
| 5) Luchtfoto's op schalen 1/22 000, 1/10 000 en 1/5 000 | | | | | | |

DS : diepsondering; HS : handsondering; KS : konus met sluitmoer;
 KMK : kleefmantelkonus; DB : droge boring; SB : spoelboring;
 DHB : droge handboring; GB : gestoken boring

2.2. BEOORDELING VAN DE PUNTWAARNEMINGEN

Vooraleer de gegevens te verwerken werden ze geschift op grond van de nauwkeurigheid van hun plaatsbepaling, hun hoogteligging en hun betrouwbaarheid.

22.1. PLAATSBEPALING

In de meeste gevallen was de opgegeven lokalisatie voldoende om de waarneming binnen een straal van 10 m rechtstreeks op kaart (schaal 1/10.000) in te tekenen.

Sommige gegevens waren wel voorzien van een detailopmeting maar dan zonder duidelijke herkenningpunten of oriëntatie (richting noorden). Ook het omgekeerde kwam voor. Soms bleek dat dezelfde waarnemingen op verschillende situatieplannen op andere plaatsen waren aangeduid. Van dergelijke waarnemingen hebben we de werkelijke plaats zo goed als mogelijk geschat aan de hand van details, uitvoeringsfazen van de werken, waterpassingen, korrelaties met nabije boringen en sonderingen, raadpleging van de oorspronkelijke opmetingsplannen en gesprekken met de uitvoerders of opdrachtgevers. Deze waarnemingen werden slechts weerhouden indien de herlokalisatie binnen een straal van maximum 50 m kon geschieden en voor zover zich geen overlapping met nabije gegevens voordeed. Aldus werden circa 25 gegevens gerekupereerd.

Indien helemaal geen plaatsbepaling mogelijk was, werd het gegeven zonder meer verworpen. Dit was het geval voor een dertigtal waarnemingen.

22.2. WATERPASSING

De peilen in deze studie zijn aangegeven t.o.v. de Tweede Algemene Waterpassing (T.A.W.) van het Nationaal Geografisch Instituut. Naast het nulpunt van de T.A.W. worden in Zeebrugge ook de volgende referentievlakken gebruikt : zéro D, zéro Z en zéro H_{Zeebrugge} die respektievelijk op +0,06 m, -0,1065 m en -0,1865 m gelegen zijn ten opzichte van het nulpunt van de T.A.W.

Bij nazicht van het peil van de proeven werden de volgende onnauwkeurigheden of moeilijkheden vastgesteld :

- geen of geschat peil,
- genivelleerd t.o.v. een willekeurig nulpunt (b.v. dorpel van een huis, hulpreferenties bij openbare werken, enz....),
- genivelleerd t.o.v. een andere vergelijkingsvlak (b.v. Z of H-vlak),
- genivelleerd maar zonder vermelding van het vergelijkingsvlak,
- fouten in de waterpassing (niet zelden in veelvoud van 1 m).

Waterpassing ten opzichte van gekende oorsprongspunten verschillend van dat van de T.A.W. leverde geen problemen daar de verbetering onmiddellijk te verrekenen was. Bovendien bedroeg de maximale afwijking slechts 0,187 m ($H_{\text{Zeebrugge}}$) wat verwaarloosbaar is ten opzichte van de dieptenauwkeurigheid van de puntwaarnemingen.

Indien het peil niet opgegeven was of indien een willekeurig oorsprongspunt was gebruikt, werd voor de belangrijkste waarnemingen een nieuwe waterpassing uitgevoerd, voor zover de bewuste punten op het terrein terug te vinden waren. In het andere geval werden de peilen geschat uitgaande van :

- de topografische kaart (1/10.000) van het N.G.I. en steunend op onze topografische kennis van het terrein,
- luchtfoto's,
- gekende peilen in de nabije omgeving van het punt (b.v. peil zeedijk),
- de kennis van de peilen in functie van de uitvoeringsfazen van belangrijke werken, met een toetsing aan nabijgelegen genivelleerde waarnemingen.

Gegevens met een geschat peil zijn op dezelfde manier als hiervoor behandeld. Herschatting of nieuwe waterpassing leidde soms tot verschillen met het opgegeven peil van meer dan 2 m.

Ook werden fouten, dikwijls in veelvoud van 1 m, vastgesteld. Deze ontdekt men door een grondiger kennis van het terrein of door korrelatie met zeer nabijgelegen waarnemingen. Vooral in het laatste geval stelt men een systematisch verschuiven

vast van de peilen van de overeenstemmende grensvlakken van lagen. In ver uit elkaar gelegen waarnemingen is een fout van slechts 1 m nagenoeg niet meer te ontdekken.

Belangrijke onnauwkeurigheden in de peilen (fouten, foutieve schattingen van meer dan 1 m en de verwijzing naar ongekende hulppunten) werd vastgesteld bij een vijftigtal waarnemingen. Bij herschatting werd ernaar gestreefd een nauwkeurigheid te halen van $\pm 0,5$ m voor waarnemingen in het poldergebied en van ± 1 m voor gegevens in de Duinstreek en de verstedelijkte zones.

22.3. BETROUWBAARHEID

De betrouwbaarheid is vooral van belang bij boringen. Het grafisch beeld van een diepsondering weerspiegelt immers een vrij objektieve waarneming die achteraf kan worden geïnterpreteerd. Wel dient men rekening te houden met foutenbronnen die de metingen kunnen beïnvloeden. Hieraan wordt uitgebreid aandacht geschonken in een volgend hoofdstuk.

Bij boringen ligt de zaak anders. Vooreerst is het boorgegeven erg afhankelijk van de boorwijze zelf (DB, DHB, GB, SB). Zo zal een spoelboring veel onnauwkeuriger gegevens opleveren dan een droge boring; deze is op zijn beurt minder betrouwbaar dan een gestoken boring. Bovendien wordt een boring meestal weergegeven door een boorbeschrijving die gewoonlijk wordt opgesteld aan de hand van een visuele en manuele inspectie. Subjektiviteit, gebrek aan ervaring en precisie van de waarnemer leiden dan ook vaak tot zeer uiteenlopende beschrijvingen. Om die redenen werden boorverslagen en in het bijzonder die van de spoelboringen, die weinig betrouwbaar leken niet bij de eigenlijke interpretatie (b.v. definiëren van eenheden, bepalen van grenzen) betrokken. Ze werden evenwel gebruikt bij de studie, zij het dan meer als aanwijzing.

Dikwijls werden onnauwkeurigheden vastgesteld bij de beschrijving van slecht gesorteerde zanden en van grondsoort-

mengsels, vooral wanneer weinig materiaal van de ene soort in de andere voorkwam of omgekeerd. Bij zanden heeft men dikwijls de neiging het zand te noemen naar de grofste korrels omdat die het best worden gevoeld. Vaak werd ook opgemerkt dat de aanwezigheid van enkele grove korrels in een massa fijn zand niet was vermeld, dat geen verschil was gemaakt tussen de zandsoorten, en dat de grintelementen niet naar aard en afmetingen waren beschreven.

Een boorbeschrijving is meestal beter te beoordelen wanneer enkele goed gekozen granulometrische analyses voorhanden zijn. Aldus wordt een objektieve controle van de beschrijving mogelijk. Bij het overnemen van beschrijvingen hebben we daar dan ook rekening mee gehouden en waar nodig hebben we ze aangepast.

Teneinde de betrouwbaarheid van interessante boringen te verhogen hebben we in geval nog monsters voorhanden waren, getracht deze opnieuw op een uniforme manier te beschrijven (zie verder).

22.4. VOORSTELLING OP KAART; GEGEVENS-DICHTHEID (KAART 1)

Voor zover weerhouden en geen overlapping of overlast optrad zijn alle puntgegevens op kaart op schaal 1/10.000 aangeduid (kaart 1).

Iedere waarneming is er voorgesteld door een teken en een kode. De bolletjes geven de sonderingen aan, de vierkantjes de boringen. Verder is een onderverdeling gemaakt in drie diepteklassen. De grootste tekens van elke soort stemmen overeen met de klasse van meer dan 30 m, de middelste met de klasse van 30-20 m, terwijl de kleinste met de klasse van minder dan 20 m indringingsdiepte.

De kode omvat een reeks- en een volgnummer. Waarnemingen van dezelfde soort (boring of sondering) met hetzelfde verband zijn meestal in dezelfde reeks ondergebracht. Bij opeenhoping van de puntgegevens is het reeksnummer afzonderlijk in een cirkeltje genoteerd en desgevallend voorzien van een verduidelijking naargelang het gaat om een reeks boringen of sonderingen. Bijvoorbeeld in het Westelijk Schiereiland (snijding 068/226) heeft men de reeksen 23 (sonderingen) en 11 (boringen). Bij een kleine opeenvolging van puntgegevens werd het reeksnummer niet omcirkeld

en niet steeds herhaald (bv. sonderingen 30.68 en 30.69 nabij de snijding 072/224).

Indien de dichtheid te hoog opliep zijn enkel de interessantste puntwaarnemingen voorgesteld (b.v. in de omgeving van de Nieuwe Zeesluis). In de dokumentatiekaart werden aldus 1082 van de 1302 beschikbare waarnemingen voorgesteld. Daarvan liggen er 937 in het studiegebied en 145 in de randgebieden. Voor het studiegebied liggen die verdeeld volgens 153, 293, en 491 eenheden in de respektievelijke stroken (Y_1-Y_2) : 220-223 (15 km^2) 223-225 (10 km^2) en 225-227 (10 km^2). Er is dus een opvallend overwicht van de gegevens in het noordelijk deel van het studiegebied.

Het klassifikatiesysteem laat toe op eenvoudige wijze de waarnemingen (*) te raadplegen. Om een waarneming in de dokumentatiekaart terug te vinden raadpleegt men de lijst in de bijlage II. Hierin zijn de koördinaten gegeven van de oorsprong van het overeenkomstige vierkant waarin het ligt. De lijst is volledig voor wat de puntgegevens van het Geologisch Instituut betreft. Andere puntwaarnemingen werden slechts opgenomen voor zover ze in de tekst worden besproken.

2.3. AANVULLENDE WAARNEMINGEN

Uitgaande van de dichtheid, de betrouwbaarheid en de indringingsdiepte van de verzamelde puntwaarnemingen werd een aanvullend waarnemingsprogramma uitgestippeld.

Dit bestond uit :

- diepsonderingen,
- handboringen en gestoken boringen,
- profielopnamen,
- herbeschrijving van boringen.

23.1. DIEPSONDERINGEN

Met het doel van de studie voor ogen werden, in de eerste plaats, mechanische diepsonderingen met plaatselijke kleefregistratie als aanvullende proeven verkozen. Ze bieden

(*) De waarnemingen berusten in het Geologisch Instituut, Leerstoel voor Toegepaste Geologie, Dienst van Prof. Dr. W. DE BREUCK, Krijgslaan 281 te Gent.

belangrijke voordelen ten opzichte van boringen namelijk : een hogere uitvoeringssnelheid, een groot dieptebereik en een gedetailleerde litologische en stratigrafische informatie (zie verder).

Voor de uitvoering stond een 100 kN hydraulisch veldsondeerapparaat vervaardigd door de Goudsche Machinefabriek (Gouda) ter onzer beschikking (fig. 1). In totaal werden 68 diepsonderingen met de kleefmantelkonus van Begemann verricht. 37 sonderingen bereikten meer dan 30 m en 65 meer dan 20 m indringingsdiepte. Een maximum indringingsdiepte van 43,5 m werd behaald.

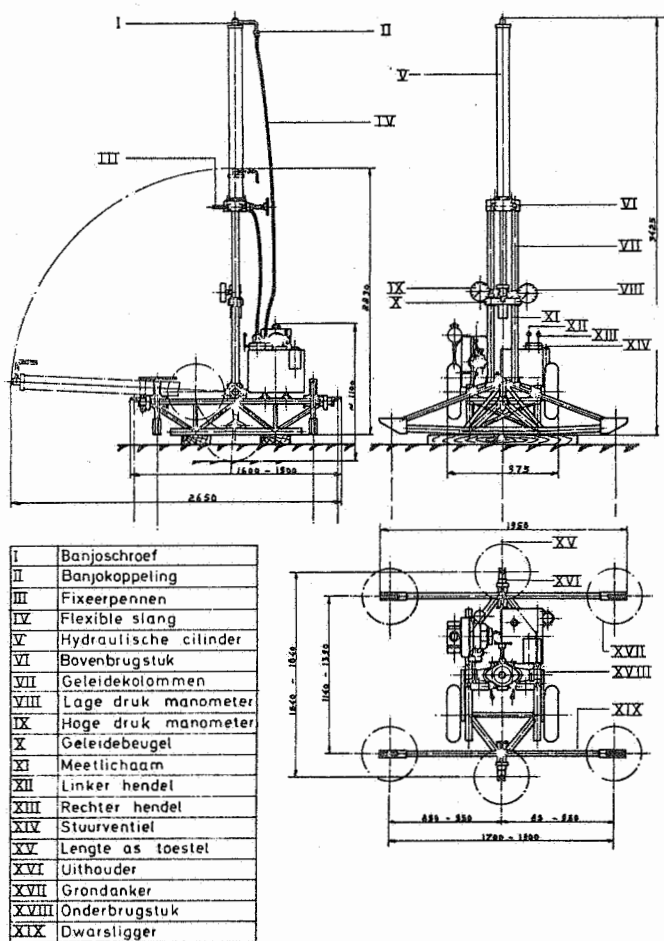


Fig. 1 - Het 100 kN hydraulisch sondeerapparaat (naar tech. dok. Goudsche Machinefabriek)

- The 100 kN hydraulic penetration apparatus (after tech. doc. Goudsche Machinefabriek)

De diepsonderingen werden verricht in twee perioden. Een eerste periode van maart tot mei 1978 was vooral toegespitst op het vergelijkend onderzoek in verband met de aangewende 100 mm meetstap. Een tweede reeks sonderingen liep van maart tot juli 1979 en omvatte het merendeel van de aanvullende waarnemingen. De rustpauze tussen de twee campagnes werd benut om de mogelijkheden van diepsonderingen beter te leren kennen. Bovendien kon met een eerste litostratigrafische interpretatie van het studiegebied worden rekening gehouden waardoor de overblijvende proeven beter waren in te planten.

Het principe van diepsonderingen, het vergelijkend onderzoek van de meetstap en de litologische en stratigrafische betekenis van deze metingen behoort tot het onderwerp van hoofdstuk 4.

23.2. HANDBORINGEN EN GESTOKEN BORINGEN

Ter onderkenning van de zeer grillig gebouwde bovenlagen werd naast 19 diepsonderingen een kleine handboring geslagen. Deze boringen werden droog uitgevoerd met wangboor, puls en guts.

Droge boringen geven betrekkelijk onnauwkeurige informatie. Daarom werden ook drie gestoken boringen in de bovenste 10 m sedimenten voorzien. Met het oog op het fundamenteel onderzoek aangaande de litologische en stratigrafische betekenis van diepsonderingen werden ze tegen de interessantste diepsonderingen verricht. Hun inplanting gebeurde dan ook slechts na de voltooiing van de sondeercampagne.

De gestoken boringen zijn uitgevoerd met een Mostap \emptyset 35-steekapparaat (fig. 2) (konstrukteur : Ingenieursburo A.P. v.d. Berg). Het apparaat is eigenlijk ontworpen voor sondeerwagens maar mits enkele aanpassingen ook te gebruiken op een 100 kN veldsondeerapparaat. Bij dit steekapparaat gebeurt de monsternamen diskontinu in lengten van 1 m. Volgens de konstrukteur zou men een vrijwel ongeroerd monster bekomen. Aanvankelijk brengt men hiertoe het steekapparaat met gesloten steekmond op de gewenste diepte. Na ontgrendeling van het kogelvergrendelingsmechanisme met behulp van een inwendige trekveer kan het monster

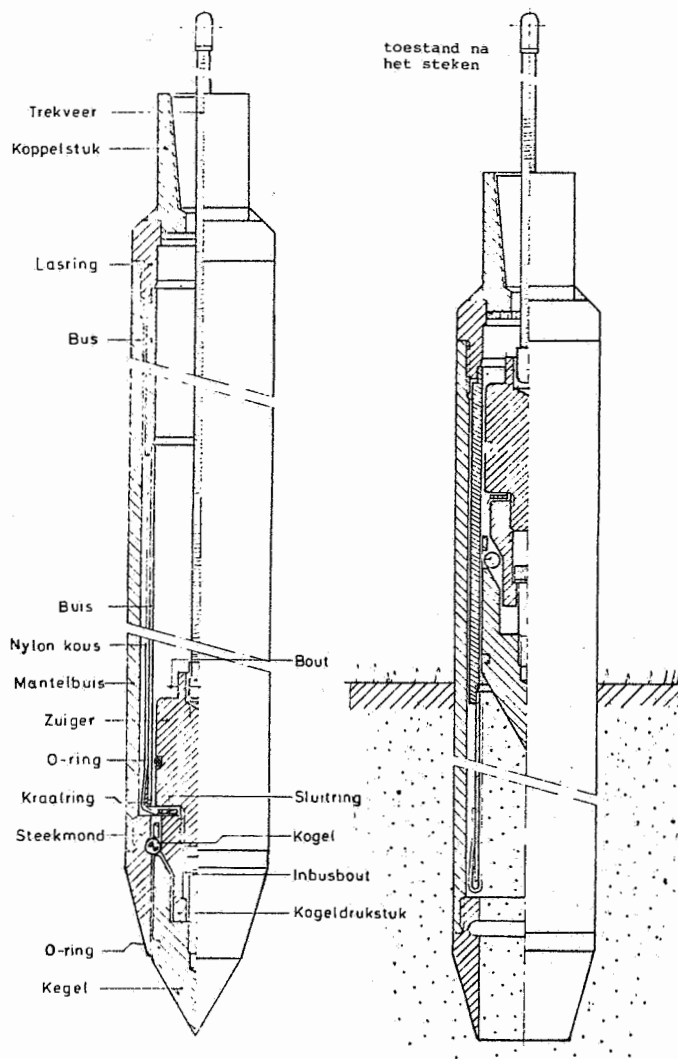


Fig. 2 - Steekapparaat Mostap
Ø 35 mm (naar tech. dok.
A.P. v.d. Berg)

- Soil sampling apparatus
Mostap Ø 35 mm (after
tech. doc. A.P. v.d.
Berg)

worden ontnomen. Tijdens het steken sleurt de kegel een kous mee. waarin het monster wordt gevat. Op zijn beurt glijdt die kous tegen de inwendige wand van een PVC-buis die als drager van het monster dienst doet. De monsters zijn geschikt voor de studie van de mikrostratigrafie maar niet voor de bepaling van de mechanische eigenschappen.

Het apparaat werkte voortreffelijk in weinig en meer samenhangende grondsoorten. In ontsamenhangende grondsoorten deden zich evenwel vaak ernstige moeilijkheden voor. Door de ontstane waterspanningen werd zand gestuwd tussen de voerbuis van het apparaat en de kous waardoor deze laatste aanzienlijke wrijving ondervond of zelfs klem raakte. Het vastlopen had voor

gevolg dat ofwel de trekveer sprong ofwel de kous afscheurde. Naar onze mening zou dit euvel te verhelpen zijn door middel van een "zandvanger" tussen de voerbuis en de kous.

Een tweede periode van eind 1979 tot begin 1980, waarin 18 handboringen werden verricht, sloot het veldwerk af. Deze reeks diende ter toetsing van sleutelplaatsen bepaald door foto-interpretatie.

23.3. PROFIELOPNAMEN

Gedurende 1977-1978 werden uitgravingswerken verricht door de firma SBBM voor de bouw van het Noordelijk Insteekdok van de toekomstige achterhaven.

Gezien de lengte van meer dan 2 km, de diepte van 5 à 6 m, de rechtlijnigheid en de vertikaliteit van de sleufwanden werd een zeldzame kans geboden om de complexe bouw van de bovenste afzettingen met het blote oog waar te nemen. Bovendien lagen deze profielen centraal in het studiegebied. Er werd daarom zeer veel tijd en zorg besteed aan deze fase van het veldwerk.

Een uitvoerige bespreking van deze profielen is gegeven in het laatste hoofdstuk.

23.4. HERBESCHRIJVING VAN BORINGEN, LEGENDE BOORPROFIELEN

Om redenen van uniformiteit in de boorprofielen hebben we 25 goed bemonsterde boringen volgens een vast systeem herbeschreven. Op één gestoken boring na, waren het allemaal droge boringen met een ontnaam van tenminste één monster om de halve meter. De gekumuleerde lengte bedroeg 1035 m, waarvan 398 m van 10 boringen van het Geologisch Instituut en 637 m van 15 boringen bewaard in het Rijksinstituut voor Grondmechanica. Deze laatste werden recent uitgevoerd in het bestek van het globaal grondonderzoek van de toekomstige zeehaven en de kryogene gasleidingen in het achterland. Tijdens de herbeschrijving werden ook monsters weerhouden voor laboratoriumonderzoek.

Voor de boringen van het Geologisch Instituut valt nog aan te stippen dat er principieel om de 0,5 m werd bemonsterd; bij laagovergangen of veranderingen van grondsoort werd met kleinere tussenstappen (soms tot 0,1 m) gewerkt.

Bij de beschrijving op zicht (= visuele, manuele en andere zintuiglijke inspecties) werd aandacht besteed aan volgende aspecten :

- bepaling van de hoofdbenaming uitgaande van een schatting van de granulometrie en de plasticiteit
- kleur
- kalk : schatting van de hoeveelheid (HCL-proef) : kalkloos, weinig kalkhoudend, kalkhoudend, sterk kalkhoudend
- humusdeeltjes : - schatting van de hoeveelheid : weinig humushoudend, humushoudend, sterk humushoudend
 - aard en voorkomen : veenvezeltjes, veenbrokken, concentraties, in slierten
 - grootste afmeting
- bijzonderheden in de granulometrie en de mineralogie van de zandfractie : naast de hoofdfractie is melding gemaakt van opvallende korrels, b.v. grove kwartskorrels (heldere kwarts, melkkwarts) in een grondmassa van fijn zand
- nadere omschrijving van de grintelementen :
 - hoeveelheid : weinig, met meerdere, veel, zeer veel, uiterst veel grintelementen
 - aard : silex, zandsteen, melkkwarts, schelpen, enz.
 - grootste afmeting
 - morfologie en kleur : zwarte rolkeien, splijtstukken, gehele schelpen, schelpfragmenten, enz.
- fossielen : - naam van de belangrijkste soorten
 - aanduiding van de hardheid en de verweringsgraad : broos, hard, weinig verweerd, verweerd, sterk verweerd

- glaukoniet : - hoeveelheid : weinig glaukoniethoudend, glaukoniethoudend, sterk glaukoniethoudend
 - korrelgrootte
 - voorkomen : verspreid, in nesten, in slierten
- glimmers : - hoeveelheid : weinig, met, veel glimmers
 - grootste afmeting

De herbeschrijvingen van de boringen zitten in de dossiers van het Geologisch Instituut. De meeste van deze boringen zijn evenwel in de studie onder vorm van een boorkolom terug te vinden. Om een korrekte afleiding van de grondsoort uit de boorkolommen toe te laten werd een semi-kwantitatieve voorstelling uitgewerkt. Toelichtingen hieromtrent zijn in bijlage I gegeven.

3. GEOLOGIE

In deze studie worden de eenheden onder en boven het peil -40 m respektievelijk gerekend tot de diepe en tot de ondiepe ondergrond. Hiervan uitgaande zijn de diepe lagen onder te brengen in het Paleozoïcum, het Mesozoïcum en het Tertiair en de ondiepe in het Tertiair en het Kwartair. De ondiepe ondergrond vormt het specifiek onderzoeksgebied van deze studie.

Hoewel de litostratigrafie van de ondiepe ondergrond in eerste instantie steunt op boorgegevens werd ook uitvoerig gebruik gemaakt van diepsonderingen. Hierop wordt gedetailleerd ingegaan in een volgend hoofdstuk.

Naast een syntetische beschrijving van de litostratigrafische eenheden worden ook hun granulometrische kenmerken toegelicht. Hun kronostratigrafische plaats werd met paleontologische argumenten geschraagd.

3.1. PALEOZOÏCUM EN MESOZOÏCUM

De paleozoïche gesteenten in het studiegebied behoren tot het Massief van Brabant. Volgens de isohypsenkaart van R. LEGRAND (1968) helt de top in de richting N 18° E met een helling van ongeveer 1 %. In het zuidwesten wordt de top bereikt op circa -350 m, in het noordoosten op -410 m. De lagen behoren tot het Reviniaan en volgens de diepe boring van Het Zoute (archieven Belgische Geologische Dienst) bestaan de gesteenten er uit fyllieten.

Op de sokkel treft men lagen wit krijt aan die gerekend worden tot het Senoon (Mesozoïcum, Boven-Krijt). De bovengrens van het Krijt verloopt hier nagenoeg parallel met die van het paleozoïsch substraat; zij wordt aangeboord op circa -290 m in het zuidwesten en -350 m in het noordoosten (kaart R. LEGRAND, 1968).

3.2. TERTIAIR

32.1. LITOSTRATIGRAFISCHE SCHAAL

De bestaande legendes van de Geologische Kaart van België zijn weinig doeltreffend voor de litostratigrafische indeling van het Tertiair in het studiegebied. Deze legendes zijn in wezen kronostratigrafische schalen met een litologische onderverdeling. De laatste formele legende dateert van 1932 (STRATIGRAFISCH REGISTER, 1932) maar werd om pragmatische redenen, zeker voor wat de indeling van het Eoceen en het Oligoceen in Noord-België betreft, minder gebruikt dan de legende van de Geologische Kaart van België van 1892 (LEGENDE, 1892). Mits aanpassing van de nomenclatuur volgens de aanbevelingen van de International Subcommission on Stratigraphic Classification (1975) zou deze schaal eventueel voldoen. Recente onderzoeken (M. GULINCK, 1969; G. DE MOOR & S. GEETS, 1973; D. NOLF, 1972; P. JACOBS, 1975, 1978; P. JACOBS & S. GEETS, 1977; S. GEETS, 1978) hebben evenwel aangetoond dat de legende van 1892 niet langer bruikbaar is voor de litostratigrafische indeling van het Eoceen en Oligoceen in Vlaanderen.

In het bestek van de aanpassing van de litostratigrafie werd door de SUBGROUP LITHOSTRATIGRAPHY AND MAPS in 1980 een litostratigrafisch schema samengesteld voor het Noordwest-Europees Tertiair Bekken. Deze voorlopige indeling dient als vertrekpunt voor een meer gedetailleerde versie. Verwacht wordt dat de uiteindelijke indeling van het Boven-Eoceen en van het Onder-Oligoceen in Noordwest-België in overeenstemming zal zijn met degene gegeven door P. JACOBS (1975, 1978). Gezien de verwachte internationale betekenis van dit nieuwe schema worden de vermoedelijke benamingen van de litostratigrafische eenheden reeds in deze studie aangewend. Ter illustratie zijn in navolgend schema, de symbolen van de legende van de Geologische Kaart van België van 1892 toegevoegd.

Eocene

| | | | |
|------------------------------|---------------------------------|---|-------|
| Formatie van het Meetjesland | : Lid van Onderdijke- Adegem |) | |
| | Lid van Buisputten |) | |
| | Lid van Zomergem |) | (As) |
| | Lid van Onderdale |) | |
| | Lid van Ursel |) | |
| | Lid van Asse |) | |
| | Lid van Wemmel |) | (We) |
| Formatie van Lede | | | (Le) |
| Formatie van Brussel | | | (B) |
| Formatie van den Hoorn | : Lid van Aalter |) | |
| | Lid van Oedelem |) | (P2) |
| | Lid van Beernem |) | |
| Formatie van de Mont-Panisel | : Lid van Vliezele | | (P1d) |
| | Lid van Pittem | | (P1c) |
| Formatie van Ieper | : Lid van Merelbeke | | (P1m) |
| | Lid van Egem | | (Yd) |
| | Lid van Vlaanderen | | (Yc) |
| | Lid van de Mt.-Héribu | | |

Paleocene

Formatie van Landen

Opmerking :

In het bijzonder zal de Formatie van Landen, de Formatie van Ieper en de Formatie van de Mont-Panisel hier worden gerekend tot de diepe terwijl de rest tot de ondiepe ondergrond.

32.2. DE DIEPE TERTIAIRE EENHEDEN

322.1. Formatie van Landen

Op het Mesozoïcum volgen er lagen grijs fijn zand en klei die behoren tot de Formatie van Landen. Deze lagen kunnen ligniethoudend zijn. De eenheid bereikt in het studiegebied een dikte van ongeveer 60 m en wordt bovenaan begrensd door een vlak dat 0,5 % helt in de richting N 25°E (isohypsenkaart G. DE GEYTER, 1980).

322.2. Formatie van Ieper

Tot de Formatie van Ieper worden thans een drietal belangrijke leden gerekend, met name van onder naar boven : het Lid van Vlaanderen (Yc), het Lid van Egem (Yd) en het lid van Merelbeke (Plm).

Het Lid van Vlaanderen bestaat grotendeels uit grijze tot blauwgrijze vaste (leemhoudende) klei waarin enkele zandhoudende kleilagen en meer zandige niveaus kunnen voorkomen. Uit enkele schaarse diepe boringen (SB 7.126, SB 7.87) in het studiegebied kan een dikte van ongeveer 145 m worden afgeleid.

Daarop ligt het Lid van Egem dat vooral is opgebouwd uit donkergroengrijs (kleihoudend) fijn tot zeer fijn zand met veel fijne glimmers en fijn verdeelde glaukoniet. Meestal bevat de topzone veel nummulieten en soms kalkzandsteenbanken. In de Survey van West-Vlaanderen (R. MARECHAL et al., 1964) werden de isohypsen van de top gekonstrueerd. Deze heeft een helling van ongeveer 0,6 % in de richting N 35 E en een toppeil van -65 m in het zuidwesten en -105 m in het noordoosten. In de recente boring DB 14.2 werd de topzone aangeboord over 2 m en dit vanaf -89,5 m. De monsters hadden de verwachte samenstelling, evenwel zonder nummulieten.

Op het Lid van Egem treft men in Vlaanderen dikwijls een blauwgrijze vaste klei aan die door G. DE MOOR en S. GEETS (1973) de Klei van Merelbeke (nu Lid van Merelbeke) werd genoemd.

Ter hoogte van het studiegebied kon deze laag in een aantal boringen worden onderkend en in 't bijzonder in monsters van boring DB 14.2 worden geïdentificeerd. In deze boring bereikte de eenheid van dikte van 13,3 m tussen -76,5 m en -89,8 m; ze bestond er hoofdzakelijk uit blauwgrijze stijve schilferige klei waarin soms zandlensjes of -sliertjes (van enkele mm dikte) te zien waren. De onderste 0,75 m evenals de bovenste 2 à 3 m waren weinig glaukoniethoudend. Bovendien bevatte de bovenste 2 à 3 m naast een weinig glimmers duidelijk meer zand, voorkomend in glaukoniethoudende, zandhoudende kleilenzen. Omwille van de glaukoniet was de kleur van de topzone donkergroen. In tegenstelling tot haar scherpe onderbegrenzing bleek de overgang naar de bovenliggende formatie eerder geleidelijk.

In drie droge boringen werd een dikte van 10 tot 14,2 m vastgesteld terwijl in een vijftal spoelboringen (archieven Belgische Geologische Dienst) ofwel enkele meters klei ofwel helemaal geen klei werd opgemerkt. Dit zou de variabiliteit in dikte, die opmerkelijk is voor deze eenheid (G. DE MOOR en S. GEETS, 1973; Ph. VAN BURM en J. MAERTENS, 1976) bevestigen, ware het niet dat de spoelboringen als waarneming weinig betrouwbaar zijn.

322.3. Formatie van de Mont-Panisel

In Vlaanderen bestaat de Formatie van de Mont-Panisel globaal uit twee litofaciës : een essentieel kleiïg en een essentieel zandig faciës.

Het kleiïg faciës, onlangs Lid van Pittem (Plc) genaamd (S. GEETS, 1978) is een waddenafzetting met een grillig litologisch karakter. In boring DB 14.2 was deze eenheid, aansluitend op het Lid van Merelbeke, duidelijk te herkennen. De dikte bedroeg er 17 m maar een scherpe boven- en ondergrens kon evenwel niet worden getrokken. De bovengrens werd genomen op -59,4 m. Toch waren er verschillende zones te onderscheiden.

Een onderste pakket van 6 m dikte bestond uit een afwisseling van lagen donkergroengrijze, glimmerhoudende, weinig glaukoniethoudende, zandhoudende kleien kleihoudend fijn zand. De

bovenste 2 m van deze zone bevatte glaukoniethoudende kwartzandsteenkonkreties (5mm \emptyset) en enkele brokjes organisch materiaal (5mm \emptyset). Een tweede zone van 8 m dikte was essentieel samengesteld uit groengrijs, weinig glaukoniethoudend, weinig glimmerhoudend, kleihoudend fijn zand met lenzen weinig glaukoniethoudende klei. Hierin werden sporadisch enkele fossielen waargenomen. In het midden van de zone werden harde glaukoniethoudende kwartzandsteenkonkreties (tot 20 mm \emptyset) aangetroffen. Een derde zone van 3 m dikte bestond uit vrij homogeen donkergrijsgroen, weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand met grote glimmers (tot 1 mm).

Opvallend in DB 14.2, was de afwezigheid van het Lid van Vlierzele, het zandig faciës van de Formatie van de Mont-Panisel. Deze eenheid, oorspronkelijk gedefinieerd door J. KAASSCHIETER (1961) in de omgeving van Vlierzele, werd door P. JACOBS (1975) in boringen tussen Oedelem en Ursel, gekenmerkt als een middelmatig gesorteerd, groengrijs middelmatig fijn tot fijn zand met weinig glaukoniet en glimmers. Het bevat vaak verharde zandsteenblaadjes en enkele glaukoniethoudende, grijze veldsteenstukken (tot 20 mm). Bovenaan wordt de eenheid dikwijls begrensd door een donkerbruine, veenhoudende kleiige of lemige zone gekend als de "Laag van Aalterbrugge" (A. HACQUAERT, 1939). Deze laag is gekenmerkt door haar heterogeniteit in samenstelling en haar snelle variatie in dikte gaande van 0 tot 9 m (G. DE MOOR en S. GEETS, 1973). De laag van Aalterbrugge is belangrijk als gidsniveau tussen de Formatie van de Mont-Panisel en de Formatie van den Hoorn.

Het Lid van Vlierzele komt mogelijk voor in de laatste 3 à 4 meter van de boringen DB 14.3 en DB 14.4. Deze boringen liggen in de randzone ten noorden van het studiegebied. In beide boringen vonden we beneden de vermoedelijke ondergrens van de Formatie van den Hoorn, respectievelijk op -71,5 m en -68,9 m, een donkergroengrijs, weinig glaukoniethoudend, fijn tot zeer fijn zand dat, in tegenstelling tot de bovenliggende lagen, opvallend grote glimmers (tot 1 mm) bevatte. In DB 14.3 was het glaukoniet van deze laag ook merkkelijk grover dan dat van de bovenliggende

sedimenten. Verder werden in DB 14.4 in een zone tot 2 m onder de vermoedelijke ondergrens van de Formatie van den Hoorn, veel zwarte vlekken waargenomen (laag van Aalterbrugge ??). Overeenstemmende waarnemingen werden verricht door F. HALET in boring DB 7.69, gelegen op zowat 1 km ten zuiden van DB 14.2. De auteur beschreef tussen de peilen -62,0 m en -63,8 m het voorkomen van een groengrijs, zeer fijn zand met glimmers. De daaronder liggende sedimenten tot aan het peil -74 m beantwoorden volgens zijn beschrijving opnieuw aan het kleiïg faciës van de Formatie van de Mont-Panisel.

Samenvattend kan men stellen dat in de Zeebrugse ondergrond, de Formatie van de Mont-Panisel vooral is vertegenwoordigd door het kleiïg faciës waarop het zandig faciës gereduceerd voorkomt. De totale dikte van de formatie bedraagt 12 tot 17 m en de top mag in het zuidwesten rond -35 m en in het noordoosten rond -75 m worden verwacht. Alhoewel het topvlak niet werd gekarteerd, is uit onze gegevens een helling van 0,6 % volgens de richting N 40° E af te leiden.

32.3. DE ONDIEPE TERTIAIRE EENHEDEN

323.1. Stand van de kennis

P. JACOBS (1975) heeft de litostratigrafie van het Boven-Eoceen en Onder-Oligoceen in Noordwest-België, nauwkeurig geanalyseerd. Het volstaat bijgevolg op zijn resultaten in te haken. Voor de omvangrijke bron aan literatuurgegevens verwijzen we dan ook naar zijn werk.

Uit de geologische schetskaart van P. JACOBS (1975,1978) blijken, in de omgeving van Zeebrugge-Dudzele en aansluitend op de Formatie van de Mont-Panisel, enkel het Lid van Oedelem, het Lid van Wemmel, het Lid van Asse en het Lid van Ursel te zijn vertegenwoordigd. Het Lid van Wemmel zou de top van het Tertiair vormen in een nagenoeg 2 kilometer brede noordwest-zuidoost gerichte strook die diagonaal het studiegebied kruist. Ten zuidwesten en ten noordoosten van deze strook zou het oppervlak van het Tertiair ingenomen worden respectievelijk door het Lid van Oedelem en het Lid van Asse-Ursel.

Volgens P. JACOBS ontbreken de Formaties van Brussel en Lede maar hij meent evenwel dat hier en daar nog resten ervan kunnen voorkomen in de basis van het Lid van Wemmel. Dit stemt overeen met de Geologische Kaart van België van 1892 (Legende 1892). Volgens MARECHAL et al. (1964) zouden afzettingen van het "Lediaan" evenwel voorkomen in het noorden van Vlaanderen zelfs tot in de omgeving van Zeebrugge.

Uit de gegevens van P. JACOBS volgt dat de Formatie van den Hoorn, in het Zeebrugse, enkel zou zijn samengesteld uit het Lid van Oedelem bovenaan en eventueel uit het Lid van Beernem onderaan. Het Lid van Beernem (P. JACOBS, 1975) is een kleilaag met beperkte uitbreiding in de omgeving van Brugge. Het Lid van Aalter zou ontbreken. Ten noorden van Aalter tussen Knesselare en Oedelem werd het nog slechts waargenomen onder de vorm van een aantal stroomgeulen die met enkele honderden meters breedte ingesneden zijn in de top van het Lid van Oedelem (D. NOLF, 1972; P. JACOBS, 1975).

323.2. Litostratigrafie van de ondiepe tertiaire eenheden

Fig. 3 toont de litologische kolommen van enkele boringen die het tertiaire substraat in het studiegebied hebben aangedaan. De profielen zijn zodanig verschoven dat de overeenkomstige lagen ongeveer op hetzelfde niveau liggen.

In de figuur zijn de lagen van onder naar boven in stijgende volgorde genummerd. Alhoewel dat niet steeds duidelijk uit de boringen blijkt, kon men op grond van diepsonderingen en litologische doorsneden (zie verder) sommige eenheden zoals bv. T3, verder onderverdelen, ofwel eenheden van een zeer beperkte omvang onderscheiden (b.v. T4,2 in T4,1). Dergelijke eenheden zijn tussen haakjes vermeld maar worden volledigheidshalve besproken. Het feit dat dunne eenheden, zoals in T3, niet in de boringen werden opgemerkt vindt zijn oorsprong in het grote interval van de monsterontname bij droge boringen (om de 0,5 m).

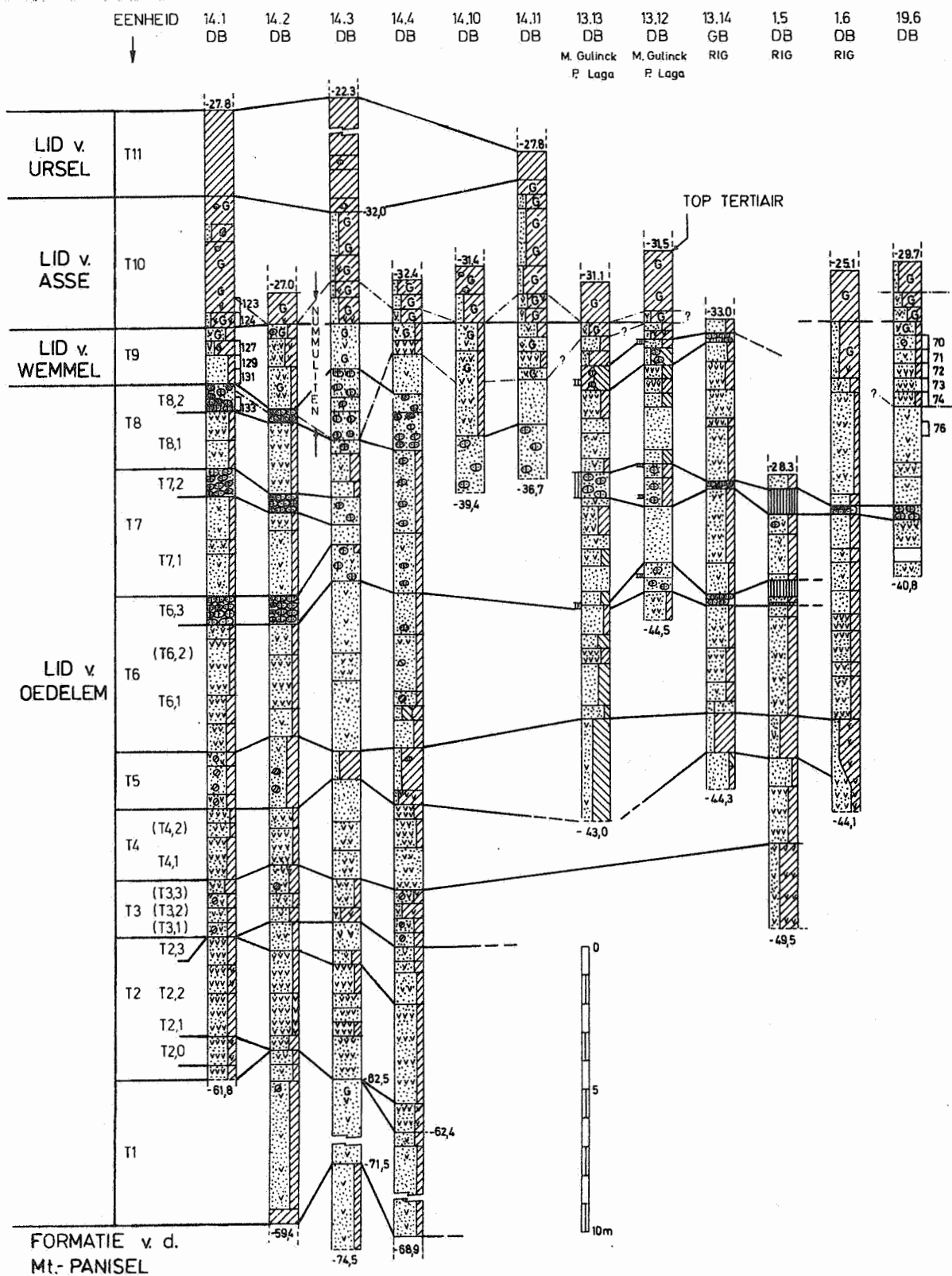


Fig. 3 - Boorprofielen in het Tertiair (legende : zie bijlage I)

- Boring profiles in the Tertiary substratum (legend : see appendix I)

Eenheid T1

Deze laag bestaat uit een donkergroengrijs, weinig glaukoniethoudend tot glaukoniethoudend, weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand met weinig tot zeer weinig verweerde schelpfragmentjes (2-5 mm). Soms zijn enkele kleilensjes in de massa aanwezig zoals bovenaan in DB 14.2. In DB 14.2 komt aan de basis een 0,5 m dikke groengrijze, vaste klei voor. De dikte van deze vrij homogene laag loopt van 6 m in DB 14.2 op tot 9 m in DB 14.3

Eenheid T2 (T2,0, T2,1, T2,2, T2,3)

In tegenstelling tot de onderliggende laag bevat deze 4,5 tot 6,5 m dikke eenheid in haar grondmassa van donkergroen, weinig glaukoniethoudend, weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand, veel tot uiterst veel weinig verweerde schelpen en schelpfragmenten waaronder veel Cardita planicosta en Turritella. Gewoonlijk overweegt Cardita planicosta onderaan terwijl Turritella bovenaan in de eenheid. In het midden komen ze in gelijke hoeveelheden voor.

Op grond van de hoeveelheid schelpen bakent men in de boringen maar veel duidelijker in de diepsonderingen een aantal subeenheden af. Een onderste zone T2,0 onderscheidt zich doordat tegen de basis van T2 (DB 14.1 en DB 14.4) de concentratie aan Cardita (tot 50 mm \emptyset) zo hoog oploopt dat men kan spreken van een schelpenbank; deze is soms verhard zoals in het zuidwesten van het gebied. Hierop volgt een 2,5 tot 4 m dikke hoofdzone T2,2 die veel tot zeer veel Cardita (30 mm \emptyset) en Turritella (10-20 mm \emptyset) bevat. Tussen T2,0 en T2,2 treft men in het zuiden en westen van het gebied vaak een circa 1 m dikke, minder schelprijke laag T2,1 aan. De eenheid T2 wordt bovenaan gewoonlijk afgesloten door een 0 tot 2 m dikke, opvallend minder schelprijke laag (T2,3) (niet in DB 14.1).

Eenheid T3 (T3,1, T3,2, T3,3)

Op de schelprijke eenheid T2 rust er een kleiïger eenheid T3 die gemiddeld is samengesteld uit een donkergroengrijs, weinig glaukoniethoudend, kleihoudend zeer fijn zand met lagen

zandhoudende klei. In het kleihoudend zeer fijn zand werden dikwijls zuivere grijze kleibrokken (tot 50 mm Ø) aangetroffen. Gemiddeld bevat deze eenheid weinig schelpen tot meerdere schelpen (10-20 mm Ø) die meestal sterk verweerd zijn. De dikte van T3 bedraagt 2 tot 3 m.

In diepsonderingen kan T3 duidelijk worden opgeplitst in drie subeenheden. Onderaan heeft men 1 à 1,5 m klei- of leemhoudend zeer fijn zand tot zandhoudende klei (T3,1). Daarop volgt er 1 à 1,5 m weinig kleihoudend zeer fijn zand (T3,2) dat zelf wordt afgedekt door een 0,1 tot 0,4 m dik kleilaagje (T3,3).

Eenheid T4 (T4,1, T4,2)

Boven T3 komt er 2 à 4 m donkergroengrijs, weinig glaukoniethoudend, weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand (T4,1) voor dat veel tot zeer veel, weinig tot sterk verweerde schelpen en schelpfragmenten (10-30 mm) bevat. Onder de schelpen was vooral Turritella te herkennen. Plaatselijk treft men ook schelploze zones aan zoals bovenaan in DB 14.3.

Uit diepsonderingen staat vast dat T4,1 zeer plaatselijk, op verschillende niveaus, diskontinue steenbanken (T4,2) bevat.

Eenheid T5

Aansluitend op T4 treft men een kleiïge eenheid T5 aan. Deze is samengesteld uit donkergroengrijs, weinig glaukoniethoudend, kleihoudend zeer fijn zand tot zandhoudende klei en klei. Indien de eenheid eerder zandig is, worden vaak groengrijze en grijze kleibrokken opgemerkt; indien eerder kleiïg zijn zandlensjes aanwezig.

De eenheid bevat gemiddeld geen tot weinig, meestal sterk verweerde schelpen. Sporadisch merkt men concentraties van schelpen op zoals aan de basis in DB 14.4. Indien zeer kleiïg is de laag eerder kalkloos. De dikte van T5 zou in DB 13.13 oplopen tot ongeveer 3,5 m maar de door M. GULINCK en P. LAGA gegeven beschrijving (zandhoudende silt) lijkt ons eerder afwijkend. Uit de andere gegevens blijkt een dikte van 1 tot 2,5 m.

Eenheid T6 (T6,1, T6,2, T6,3)

De eenheid T6 bestaat vooral uit donkergroengrijs, weinig glaukoniethoudend, weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand (T6,1) met weinig tot zeer veel, sterk verweerde schelpfragmenten (meestal <10 mm). Hierin zijn plaatselijk, op verschillende niveaus, diskontinue steenplaketten (T6,2) waargenomen. De dikte van dit zandige gedeelte belooft 3,5 tot 5,5 m met een gemiddelde van ongeveer 4 m.

De eenheid T6,1 wordt bovenaan afgedekt door een eerste glaukoniethoudende kalkzandsteenbank met nagenoeg continu verloop. In boringen vindt men ze terug als brokstukken vermengd met bovenliggend (?) materiaal. De door de glaukonietkorrels zwart of donkergroen gespikkelde, groengrijze tot lichtgrijze brokstukken hebben een wisselende hardheid gaande van zeer broos tot hard. Naast glaukonietkorrels treft men enkele schelpfragmenten aan.

De boringen laten niet toe te bepalen of het gaat om één steenlaag dan wel om een opeenstapeling van steenplaketten. Uit analogie met gelijkaardige banken mogen beide aspecten worden verwacht. In DB 1.5 blijkt de bank trouwens te bestaan uit twee afzonderlijke niveaus; in GB 13.14 werd ze door de boorder als vrij homogeen bestempeld. De totale dikte bedraagt gewoonlijk minder dan 0,5 m maar kan 1 m bereiken.

Omwille van het veranderlijk gedrag van deze steenbank (snel wisselende dikte, al dan niet opgeplitst in plaketten) wordt het symbool T6,3 gebruikt ter aanduiding van de zone waarin de steenbank of steenplaketten te verwachten zijn.

Eenheid T7 (T7,1, T7,2)

Op de eerste nagenoeg continue steenbank rust er 1,5 tot 3,5 m donkergroengrijs, weinig glaukoniethoudend, weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand T7,1. Dit zand bevat weinig, gewoonlijk sterk verweerde schelpen.

De laag T7,1 wordt gevolgd door een tweede steenbank, eveneens met een vrij continu horizontaal verloop en met dezelfde kenmerken als T6,3.

Uit diepsonderingen in het zuidelijk deel van het studiegebied blijkt deze bank dikwijls te bestaan uit twee of drie circa 0,2 m dikke verharde niveaus die van elkaar gescheiden zijn door onverharde zones van ongeveer 0,5 tot 0,9 m dikte. Dit is waar te nemen in DB 13.12. De totale dikte van deze zone met steenbanken (T7,2) bedraagt 0,2 tot 1,8 m al naar gelang van de dikte van de onverharde tussenzones en de afwezigheid van één of twee steenniveaus.

Eenheid T8 (T8,1, T8,2)

Op de steenzone T7,2 volgt er 2 tot 5 m donkergroen-grijs, weinig glaukoniethoudend, weinig kleihoudend zeer fijn zand waarin sterk verweerde schelpen en ophopingen van schelpen aanwezig zijn. Plaatselijk komen in deze laag meer klei- of leemhoudende zones voor zoals bovenaan in DB 13.13 en DB 13.12.

Gewoonlijk wordt T8,1 bedekt door een derde zone met steenbanken (T8,2) die echter in tegenstelling tot de vorige twee minder continu schijnt te verlopen.

Eenheid T9

Boven de zone met steenbanken T8,2 of indien afwezig aansluitend op T8,1 treft men een 1 tot 4 m dikke eenheid aan met een vrij heterogene samenstelling maar met de tendens naar onder zandiger en naar boven kleiïger te worden.

De eenheid T9 bestaat uit groengrijs, weinig glaukoniethoudend, weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand. Vooral naar boven toe is er een afwisseling met 0,5 tot 1 m dikke groengrijze, glaukoniethoudende, zandhoudende kleilagen. In tegenstelling tot de vorige eenheden zijn de glaukonietkorrels opvallend grover, gewoonlijk beter vertegenwoordigd en veelal in de bovenste meter van de eenheid gekoncentreerd in nesten (tot 10 mm Ø).

In T9 treft men weinig tot zeer veel, meestal sterk verweerde schelpen aan. Soms vindt men ook zeer harde schelpen, zoals in DB 14.4 tussen -34,5 en -35,0 m waar aan haar basis een

een concentratie van grote (tot 100 mm \emptyset en 20 mm dik), harde exemplaren van Ostrea werd beschreven. Deze Ostrea waren vergezeld van talrijke grove, heldere kwartskorrels (grovere basiszone?).

Kenmerkend voor deze eenheid is de aanwezigheid van nummulieten waaronder vooral Nummulites orbigny. Omwille van hun stratigrafische betekenis is in figuur 3 de onder- en bovengrens van de zone waarin nummulieten in de boringen werden waargenomen aangeduid.

Verspreid in het sediment treft men niet zelden kleine glaukonietzandsteenelementen (<10 mm) aan. Concentraties hiervan, vaak vergezeld van nummulieten vindt men onderaan de eenheid. Deze diskontinue, grinthoudende basiszone schijnt dikwijls aan te sluiten of samen te gaan met de zone met steenbanken T8,2. In dit geval wordt het uiteenhouden van beide eenheden uiterst moeilijk, zoniet onmogelijk.

Eenheid T10

Op de bovenste kleiïge zone van T9 sluit er een 3 à 5 m dikke, grijze tot donkergroene, glaukoniethoudende tot sterk glaukoniethoudende, vaste klei aan waarin enkele minder belangrijke zandhoudende kleilenzen kunnen voorkomen. Gewoonlijk neemt het glaukonietgehalte toe naar de basis maar dat neemt niet weg dat ook in het midden van de eenheid hoge concentraties van glaukoniet kunnen optreden zoals b.v. in DB 14.11. Het glaukoniet dat donkergroen tot zwart van kleur en fijn tot middelmatig van korrel is, komt zowel verspreid in de grijze kleimassa als gekoncentreerd in nesten (10-20 mm \emptyset) en slierten voor. Nesten en slierten vindt men overwegend in het midden en onderaan de eenheid; naast glaukoniet bevatten ze meestal een gelijke hoeveelheid kwartszand.

Het kalkgehalte neemt geleidelijk toe van kalkloos tot sterk kalkhoudend van boven naar onder. Dit hangt samen met de aanwezigheid van kleine verweerde schelpjes maar nog meer met het verschijnen in de onderste 1-2 m van Nummulites orbigny die soms in hoge concentraties kunnen aanwezig zijn.

Opmerkelijk is dat vaak geen duidelijke ondergrens maar wel een geleidelijke overgang met de onderliggende laag T9 schijnt voor te komen terwijl naar boven toe de laag vrij scherp wordt begrensd door de snelle verdwijning van de glaukoniet.

Eenheid T11

Op de glaukoniethoudende vaste klei volgt er een dikke laag grijze, vaste klei die grosso modo niet kalkhoudend is. Soms is de basiszone van zowat 2 tot 4 m dikte een weinig kalkhoudend door het voorkomen van enkele verweerde schelpjes. Naast pyriteuze vlekjes (tot 5 mm \emptyset) bevat de klei soms een weinig meestal afgeplatte zandnestjes (tot 10 mm lang).

De grootste dikte bedraagt in het studiegebied 17-18 m maar de sedimentaire top wordt er nergens bereikt.

323.3. Kronostratigrafie van de ondiepe tertiaire eenheden

3233.1. Biostratigrafische gegevens

Aan de hand van een biostratigrafisch onderzoek (M. DEPRET & W. WILLEMS, 1983) op nummulieten, kleine foraminiferen, nannoplankton en ostracoden werd nagegaan waar de eenheden zich kronostratigrafisch bevinden.

Uit voorgaande beschrijvingen blijkt dat de eenheid T9 de aanzet vormt van een belangrijke kleifaze die bovendien schijnt ingesneden te zijn in de onderliggende eenheden. De talrijke nummulieten in deze laag doen het kronostratigrafisch belang ervan toenemen. Uit deze niveaus werden dan ook monsters uitgekozen voor mikropaleontologisch onderzoek. Van DB 14.1 werden de monsters 123, 124, 127, 129, 131, 133 bestudeerd, van DB 19.6 de nummers 70, 71, 72, 74 en 76. Hun stratigrafische plaats is te zien in figuur 3. Het onderzoek^(*) heeft geleid tot de volgende bevindingen (M. DEPRET & W. Willems, 1983).

(*) De analyses werden, voor wat betreft de nummulieten, verricht door A. BLONDEAU en D. NOLF, voor de kleine foraminiferen en ostracoden door W. WILLEMS en voor het nannoplankton door C. MÜLLER.

- De nummulietenfauna van de monsters van DB 14.1 bestaat uit talrijke goed bewaarde N. Orbigny in situ, enkele gerolde en verweerde N. variolarius en hergekristalliseerde N. laevigatus en N. planulatus. De associatie is van Laat-Lutetiaan ouderdom.
- De nummulietenfauna van de monsters 71, 72 en 74 van DB 19.6 bestaat uit zeer goed bewaarde N. laevigatus zonder enig teken van herwerking. Dit wijst op een Midden-Eoceen, meer specifiek Vroeg-Lutetiaan (= Brusseliaan) ouderdom.
- De monsters 71, 72 en 74 werden ook onderzocht op hun kleine foraminifereninhoud. Er bleek een goede overeenkomst te bestaan met de bentonische foraminiferenassocie van de Zanden van Brussel.
- Nannoplankton werd bekeken in de monsters 70, 71, 72, 74 en 76 van DB 19.6. Het was steeds zeer talrijk aanwezig. De associatie is te korreleren met de NP 14-zone (Discoaster sublodoensis zone) die wordt beschouwd als zijnde van het Midden-Eoceen (Vroeg-Lutetiaan).
- De ostracoden van de monsters 71, 72 en 74 van DB 19.6 wijzen op een Lutetiaan ouderdom. Meer specifiek hebben zes op de twintig soorten hun eerste voorkomen in en is één soort beperkt tot de Zanden van Brussel.

3233.2. Discussie

Alhoewel de monsters van DB 19.6 geometrisch en litologisch overeenstemmen met die van DB 14.1 is dit geenszins het geval met hun mikropaleontologische fauna. In plaats van N. orbigny vond men goed bewaarde N. laevigatus in situ. Dat is opmerkelijk daar dit fossiel tot op heden zo noorderlijk in het Tertiair Bekken enkel in situ werd aangetroffen, in de gekende boring van Woensdrecht. Volgens A. BLONDEAU (1966, 1972) is N. laevigatus een kenmerkend species van het Vroeg-Lutetiaan. In België is het in situ uitsluitend gekend in de Zanden van Brussel. Een overeenstemmende ouderdom werd gevonden op grond van de kleine foraminiferen, ostracoden en nannoplankton.

De mikropaleontologische waarnemingen in combinatie met de geometrische plaats van de onderzochte monsters (fig. 3) tonen aan dat :

- de monsters van DB 14.1 en DB 19.6 niet met elkaar mogen worden gekorreleerd;
- er zich een belangrijk tijdshiaat (geen Lediaan) voordoet ter hoogte van de eenheid T9;
- de onder T9 liggende eenheden, eveneens tot de NP 14-zone kunnen behoren of ouder zijn.

3233.3. Verband met de litostratigrafie

Litostratigrafisch kan men de eenheid T9, voor zover N. orbigny in situ optreedt, korreleren met het Lid van Wemmel en de bovenliggende, glaukoniethoudende, stijve klei T10 en de grijze, stijve klei T11 respectievelijk met het Lid van Asse en het Lid van Ursel. Het ontbreken van het Lediaan impliceert de afwezigheid van de Formatie van Lede in het gebied.

De eenheden T1 tot en met T8,2 behoren vrijwel zeker tot de NP 14-zone. Volgens de SUBGROUP LITHOSTRATIGRAPHY AND MAPS (1980) bevindt deze zone zich in de Formatie van Brussel en de Formatie van den Hoorn. Rekening houdend met de litologie en de geometrische positie van deze eenheden is een korrelatie met de Formatie van den Hoorn meer bepaald met het Lid van Oedelem, aan te nemen.

3233.4. Nummulites laevigatus

Rest nog enige uitleg omtrent de monsters van DB 19.6 met N. laevigatus in situ. Dit fossiel is in België en omstreken in situ uitsluitend bekend in de Zanden van Brussel rond en ten zuiden van Brussel (fig. 4), in sedimenten van Brusseliaan ouderdom op de heuvels van Zuid-Vlaanderen en Noord-Frankrijk (Scherpenberg, Catsberg, Recolettenberg) en in de boring van Woensdrecht (M. GULINCK en A. HACQUAERT, 1954).

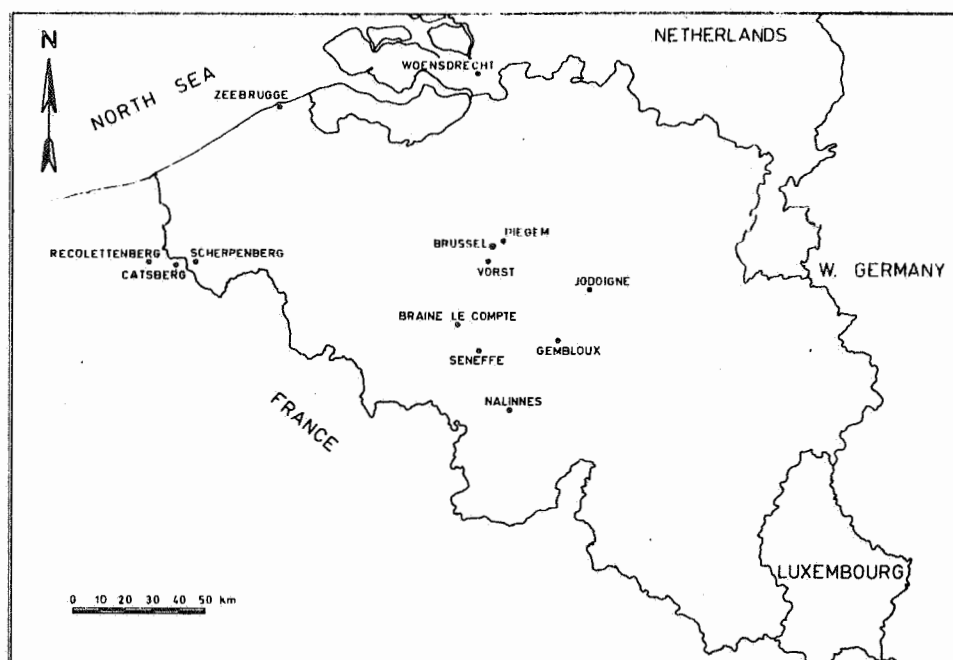


Fig. 4 - Plaatsen waar *Nummulites laevigatus* in situ werd beschreven
- Localities where *Nummulites laevigatus* is observed in situ

Geremanieerde exemplaren van *N. laevigatus* merkt men echter zeer dikwijls op in de basiszone van het Lediaan en van het Wemmeliaan. Dit is eigenaardig daar in Vlaanderen en omstreken, afgezien van de voornoemde lokaliteiten, de oorspronkelijke laag met *N. laevigatus* in situ ontbreekt. Volgens M. GULINCK en A. HACQUAERT (1954) zou een nummulitisch Brusseliaan zich over geheel Vlaanderen hebben uitgestrekt. Door de geringe dikte zou het volledig in het Lediaan zijn geërodeerd. Onze waarneming in Zeebrugge, halverwege tussen de plaatsen in de Zuid-Vlaanderen en Woensdrecht bevestigt het idee van M. GULINCK en A. HACQUAERT (1954). De niveaus met *N. laevigatus* in DB 19.6 zouden aldus kunnen worden geïnterpreteerd als een relict van dit nummulitisch Brusseliaan. Een bijkomend argument kan worden gezien in het feit dat *N. laevigatus* in situ werd opgemerkt in slechts één boring op een totaal van een dertigtal boringen die de betreffende niveaus in het studiegebied hebben aangesneden. Insnijding in de onderliggende sedimenten kon evenwel niet worden vastgesteld omdat de monsters slechts om de halve meter waren ontnomen.

Een verband van deze niveaus met de bovenste eenheden van het Lid van Oedelem is evenwel niet uit te sluiten gezien hun onderlinge onbeduidende litologische verschillen. Bovendien is ook niets bekend over mogelijke eenheden van het Lid van

Oedelem, boven de zone met steenbanken T8,2. Dergelijke eenheden zouden eveneens door erosie tijdens het Lediaan en Wemmeliaan zijn verdwenen.

De juiste litostratigrafische verhouding van de sedimenten met N. laevigatus blijft tot op heden onzeker en zal slechts blijken nadat meerdere gelijkaardige waarnemingen, vanuit het noorden van Vlaanderen beschikbaar zijn.

De eenheid T9 blijkt dus te bestaan uit sedimenten van verschillende leden en formaties. Aldus zou men voor deze zone meerdere symbolen invoeren ware het niet dat de betrokken eenheden, gezien hun beperkte omvang, kwasi onmogelijk uit elkaar te houden zijn. Uit de kartering is echter gebleken dat de zone tussen T8,2 en T10 overwegend uit sedimenten van het Lid van Wemmel is opgebouwd. In deze studie wordt deze laatste betekenis voor T9 dan ook eenvoudigheidshalve aangehouden.

323.4. Kenmerken van de grondsoort van de ondiepe tertiaire eenheden

3234.1. Toelichting

Uit het ondiepe Tertiair waren 86 monsters geanalyseerd. Hiermee waren 13 eenheden : T1, T2,2+3, T3,1+2, T4,1, T5, T6,1,T6,3 T7,1, T7,2, T8,1, T9, T10 en T11 te omschrijven door de volgende kenmerken : totaal kalkgehalte KA, totaal humusgehalte OM, de frakties grint, zand, leem, IIa, klei en <20 μm , de statistische parameters M_z en σ_I en het glaukonietgehalte. De resultaten zijn samengebracht in tabel 2. Hierbij zijn KA, OM en grint uitgedrukt in massapercent van het totaal monster terwijl zand, leem, IIa, klei en de fraktie <20 μm in massapercent van de fraktie kleiner dan 2 mm, waarvan het organisch materiaal werd vernietigd. Grote grinthoeveelheden zijn onderverdeeld naargelang van de hoeveelheid schelpen en de som van de overige grintelementen (silex, zandsteen, enz...).

Voor elke eenheid werd het aantal onderzochte monsters vermeld met de hoeveelheid boringen die ze hebben geleverd. Dit geeft een idee van de spreiding van de monsters in de eenheid. Elk kenmerk is bepaald door zijn gemiddelde met standaardafwijking en zijn maximum- en minimumwaarde.

Tabel 2 - Kenmerken van de grondsoort van de ondiepe tertiaire eenheden

- Characteristics of the soil of the shallow Tertiary units

| eenheid | aantal monsters uit boringen | KA % TM | | | | OM % TM | | | | Ip | | | | grint > 2000 µm % TM | | | | zand 2000-60 µm % ZLK | | | | leem 60-2 µm % ZLK | | | | | | | | | | | | |
|----------------|------------------------------|------------|-----------|----|-----------|------------|-----------|------|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-------------------------|-----------|------|-----------|--------------------------|-----------|-----|-----------|-----------------------|-----------|----|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| | | n | \bar{x} | s | max. min. | n | \bar{x} | s | max. min. | n | \bar{x} | s | max. min. | n | \bar{x} | s | max. min. | n | \bar{x} | s | max. min. | n | \bar{x} | s | max. min. | | | | | | | | | |
| Lid v. Orsel | T11 | 1 | 1 | 1 | 3,5 | 1 | 2,1 | | | 0 | - | | | 1 | 5,0 | | | 1 | 0,0 | | | 1 | 31,1 | | | | | | | | | | | |
| Lid v. Asse | T10 | 13 | 8 | 13 | 6,4 | 6,5 | 23,3 | 0,0 | 13 | 1,0 | 0,6 | 2,6 | 0,1 | 11 | 35,1 | 11,9 | 52,7 | 19,8 | 13 | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 0,0 | 13 | 42,6 | 10,6 | 60,0 | 26,5 | 13 | 29,3 | 7,7 | 43,2 | 18,0 | |
| Lid v. Wommel | T9 | 7 | 5 | 6 | 11,5 | 3,9 | 17,8 | 6,0 | 6 | 0,6 | 0,2 | 1,0 | 0,4 | 3 | 11,7 | 4,6 | 16,8 | 8,0 | 3 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 7 | 74,2 | 10,7 | 97,0 | 66,0 | 6 | 18,9 | 2,9 | 23,3 | 3,0 | |
| Lid v. Gedelem | T8,1 | 12 | 8 | 12 | 12,8 | 7,6 | 27,6 | 4,8 | 12 | 0,8 | 0,4 | 1,5 | 0,1 | 9 | 3,5 | 2,6 | 8,9 | 0,8 | 12 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,0 | 12 | 84,9 | 5,9 | 93,0 | 71,9 | 11 | 9,0 | 5,0 | 21,0 | 4,0 | |
| | T7,2 | 5 | 4 | 5 | 33,1 | 2,8 | 34,7 | 26,0 | 5 | 0,7 | 0,2 | 1,1 | 0,5 | 5 | 7,5 | 1,2 | 8,8 | 5,7 | - | - | - | - | - | - | 5 | 78,2 | 4,5 | 83,0 | 71,5 | 5 | 12,6 | 4,0 | 18,5 | 9,0 |
| | T7,1 | 13 | 8 | 13 | 13,8 | 9,6 | 33,5 | 2,2 | 13 | 0,7 | 0,3 | 1,1 | 0,3 | 11 | 6,2 | 2,7 | 9,8 | 0,9 | 2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 13 | 83,7 | 5,9 | 93,0 | 72,4 | 12 | 9,1 | 3,0 | 13,4 | 5,0 | |
| | T6,3 | 1 | 1 | 1 | 32,6 | | | | 1 | 0,6 | | | | 1 | 12,7 | | | | 1 | 0,0 | | | | 1 | 76,0 | | | | 1 | 12,5 | | | | |
| | T6,1 | 11 | 7 | 11 | 8,2 | 6,6 | 26,6 | 0,9 | 11 | 0,7 | 0,2 | 1,0 | 0,2 | 9 | 5,7 | 4,0 | 12,3 | 0,1 | 11 | 0,2 | 0,3 | 1,0 | 0,1 | 11 | 85,2 | 4,1 | 90,0 | 78,1 | 10 | 6,7 | 3,8 | 16,2 | 3,5 | |
| | T5 | 7 | 6 | 7 | 1,8 | 1,1 | 3,8 | 0,6 | 7 | 0,9 | 0,2 | 1,2 | 0,6 | 5 | 17,6 | 5,0 | 23,6 | 9,7 | 7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 7 | 59,4 | 8,9 | 75,0 | 51,0 | 7 | 26,0 | 9,5 | 36,4 | 11,0 | |
| | T4,1 | 7 | 6 | 7 | 16,1 | 15,1 | 42,1 | 0,9 | 7 | 0,6 | 0,2 | 0,8 | 0,3 | 5 | 4,1 | 3,6 | 10,3 | 1,7 | 4 | 7,6 | 12,3 | 25,7 | 9,0 | 7 | 84,3 | 5,8 | 93,0 | 74,8 | 6 | 11,2 | 4,0 | 17,0 | 5,0 | |
| | T3,1+2 | 5 | 4 | 5 | 17,4 | 9,6 | 20,0 | 6,0 | 5 | 0,9 | 0,1 | 1,1 | 0,8 | 4 | 14,3 | 2,7 | 17,6 | 11,3 | 1 | 5,7 | | | | 5 | 77,7 | 5,0 | 82,0 | 70,5 | 5 | 10,9 | 4,2 | 17,0 | 6,0 | |
| | T2,2+3 | 3 | 3 | 3 | 15,0 | 8,4 | 24,8 | 9,8 | 3 | 0,6 | 0,3 | 0,8 | 0,2 | 1 | 9,7 | | | | 2 | 4,9 | 5,4 | 8,6 | 1,1 | 3 | 80,9 | 3,2 | 84,5 | 78,5 | 3 | 11,5 | 7,2 | 18,4 | 4,0 | |
| | T1 | 1 | 1 | 1 | 1,8 | | | | 1 | 0,7 | | | | - | | | | | 1 | 0,0 | | | | 1 | 77,6 | | | | 1 | 16,3 | | | | |

| T11 | IIa 20-2 µm % ZLK | | | | klei <2 µm % ZLK | | | | <20 µm % ZLK | | | | Mz | | | | σ_I | | | | Glaukoniet | | | | | | | | | |
|--------|-------------------------|-----------|-----|-----------|------------------------|-----------|------|-----------|-----------------|-----------|----|-----------|------|-----------|------|-----------|------------|-----------|-----|-----------|------------|-----------|-----|-----------|-----|-----------|------|-----------|------|------|
| | n | \bar{x} | s | max. min. | n | \bar{x} | s | max. min. | n | \bar{x} | s | max. min. | n | \bar{x} | s | max. min. | n | \bar{x} | s | max. min. | n | \bar{x} | s | max. min. | n | \bar{x} | s | max. min. | | |
| T11 | 1 | 19,6 | | | 1 | 67,3 | | | 1 | 86,9 | | | 1 | 9,9 | | | 1 | 3,0 | | | - | - | | | - | - | | | | |
| T10 | 13 | 14,2 | 5,5 | 27,0 | 7,0 | 13 | 28,1 | 9,0 | 41,0 | 10,7 | 13 | 42,3 | 12,2 | 59,5 | 21,9 | 13 | 6,0 | 0,9 | 7,1 | 4,0 | 13 | 3,8 | 0,4 | 4,1 | 2,5 | 2 | 53,5 | 17,7 | 66,0 | 41,0 |
| T9 | 6 | 8,6 | 2,2 | 11,5 | 5,5 | 6 | 10,8 | 3,0 | 13,5 | 5,9 | 6 | 19,3 | 3,4 | 22,5 | 13,0 | 7 | 3,8 | 0,6 | 4,4 | 2,8 | 7 | 2,0 | 0,7 | 2,7 | 0,5 | 2 | 2,2 | 0,4 | 2,4 | 1,9 |
| T8,1 | 11 | 3,8 | 2,6 | 10,9 | 1,5 | 11 | 6,9 | 1,6 | 9,0 | 4,5 | 11 | 10,7 | 3,4 | 18,1 | 6,5 | 12 | 3,3 | 0,3 | 4,0 | 3,0 | 12 | 1,5 | 0,4 | 2,0 | 0,8 | - | - | | | |
| T7,2 | 5 | 4,7 | 0,8 | 5,5 | 3,5 | 5 | 9,2 | 0,8 | 10,0 | 8,9 | 5 | 13,9 | 1,5 | 15,5 | 11,5 | 5 | 3,6 | 0,2 | 3,9 | 3,4 | 5 | 1,8 | 0,1 | 2,0 | 1,6 | - | - | | | |
| T7,1 | 12 | 4,6 | 1,6 | 9,0 | 2,5 | 12 | 8,2 | 2,3 | 12,5 | 5,9 | 12 | 12,8 | 3,4 | 21,5 | 9,0 | 13 | 3,4 | 0,4 | 4,5 | 2,6 | 13 | 1,7 | 0,4 | 2,6 | 1,0 | - | - | | | |
| T6,3 | 1 | 7,0 | | | | 1 | 11,5 | | | | 1 | 18,5 | | | | 1 | 4,7 | | | | 1 | 2,9 | | | | - | - | | | |
| T6,1 | 10 | 3,9 | 2,5 | 10,4 | 2,0 | 10 | 8,7 | 2,1 | 13,5 | 5,6 | 10 | 12,6 | 2,8 | 18,5 | 9,5 | 11 | 3,4 | 0,5 | 4,7 | 2,9 | 11 | 1,7 | 0,4 | 2,8 | 1,1 | 1 | 4,3 | | | |
| T5 | 7 | 7,1 | 2,2 | 9,9 | 3,5 | 7 | 14,7 | 2,2 | 18,5 | 11,9 | 7 | 21,8 | 2,7 | 24,5 | 17,5 | 7 | 5,0 | 0,4 | 4,5 | 1,9 | 7 | 2,5 | 0,4 | 5,6 | 3,9 | - | - | | | |
| T4,1 | 6 | 3,5 | 2,7 | 8,3 | 1,0 | 6 | 5,5 | 4,9 | 13,7 | 1,5 | 6 | 9,0 | 5,7 | 18,2 | 2,5 | 7 | 3,3 | 0,7 | 4,0 | 2,0 | 7 | 1,6 | 1,2 | 2,7 | 0,4 | 1 | 3,7 | | | |
| T3,1-2 | 5 | 6,3 | 3,8 | 13,0 | 3,5 | 5 | 10,5 | 5,1 | 16,5 | 2,5 | 5 | 17,7 | 3,5 | 21,5 | 14,5 | 5 | 4,2 | 0,8 | 5,1 | 3,6 | 5 | 2,3 | 0,7 | 3,0 | 1,6 | - | - | | | |
| T2,2+3 | 3 | 5,0 | 3,5 | 9,0 | 2,0 | 3 | 7,7 | 4,2 | 11,5 | 3,2 | 3 | 12,7 | 0,7 | 13,4 | 11,5 | 3 | 3,4 | 0,3 | 3,6 | 3,1 | 3 | 1,7 | 0,2 | 1,9 | 1,5 | - | - | | | |
| T1 | 1 | 10,0 | | | | 1 | 6,0 | | | | 1 | 16,1 | | | | 1 | 3,8 | | | | 1 | 1,8 | | | | 1 | 9,4 | | | |

n = aantal analyses; \bar{x} = gemiddelde; s = standaardafwijking

KA = totaal kalkgehalte; OM = totaal humusgehalte; Ip = plasticiteitsindex; Mz = grafisch gemiddelde; σ_I = globale grafische standaardafwijking

TM = totaal monster = 100%; ZLK = zand + leem + klei - org. mat. <2000 µm = 100%; Z = zand - org. mat. <2000 µm = 100%; % = massapercent

1 : voor zand = 70,3 - 9,8%; 2 : grinttotaal = schelpen

Het aantal analyses betrokken in de berekeningen hoeft niet gelijk te zijn aan het totaal aantal onderzochte monsters uit de eenheid. Dat komt omdat enerzijds niet steeds alle kenmerken werden bepaald en anderzijds de analysemethoden en voorstellingswijzen van de verschillende laboratoria niet volledig gelijk liepen. Hierdoor was het soms niet mogelijk alle gegevens van een bepaald monster over te nemen. De verschillen in het aantal analyses liggen aan de basis van het feit dat de som zand + leem + klei niet steeds precies gelijk is aan 100 %. Voor zover de afwijking groter was dan 1 % werd vermeld met welke zandfractie ($\bar{x} \pm s$) de gemiddelden van de frakties leem, IIa, klei en <20 μm overeenstemden. Dit hoefde alleen bij de eenheid T9 met een som van 103,9 %.

De kenmerken van de zones met steenbanken T6,3 en T7,2 slaan uitsluitend op het niet verharde sediment tussen de steenplaten.

Toelichtingen omtrent de door de verschillende laboratoria gebruikte analysemethoden en de naamgeving van de grondsoorten worden in de bijlage I verstrekt.

3234.2. Bespreking

We beperken ons tot het citeren van enkele opvallende kenmerken van en gelijkenissen of verschillen tussen de belangrijkste eenheden. Andere informatie kan uit tabel 2 worden gewonnen.

De eenheden T6,1, T7,1, T8,1 en T4,1 van het Lid van Oedelem vertonen afgezien van de grotere hoeveelheid grintelementen (schelpen) in T4,1, vrij gelijklopende kenmerken. Al deze lagen hebben een slechte sortering en een zandfractie die ligt tussen de 75-90 % en bestaat uit fijn en zeer fijn zand.

De monsters van T6,3 en T7,2 uit de onderste en middelste zone met steenbanken vertonen op hun zeer hoog kalkgehalte na (ca. 33 %), dezelfde kenmerken als de omliggende zandlagen.

De eenheden T3 en vooral T5 zijn duidelijk kleiiger. Bij T3 dient echter opgemerkt dat de juiste plaats van de monsters (hetzij in T3,1 of T3,2) niet gekend is en dat van de zeer dunne kleilaag T3,3 geen monsters onderzocht zijn.

De eenheid T2 onderscheidt zich vooral door meer grint-elementen (schelpen); ze is bovendien gemiddeld iets kleiiger dan de bovenliggende zandige eenheden van het Lid van Oedelem.

Het Lid van Wemmel T9 is heterogener wat tot uiting komt onder meer in de hogere waarde van σ_I (2,02 ϕ) en de grotere spreiding ($\pm 10,7$ %) op de gemiddelde zandfractie (74,15 %).

Het Lid van Asse T10, alhoewel als klei geklasseerd bevat een vrij aanzienlijke hoeveelheid zand (43 %), dat voor ongeveer de helft uit glaukoniet bestaat.

Van het Lid van Ursel T11 werd slechts één monster onderzocht. In vergelijking met de resultaten van P. JACOBS (1975) mogen de kenmerken als gemiddeld worden beschouwd. Met name voor de fractie $<20 \mu\text{m}$ (87 %) kan dan een variatiecoëfficiënt van ongeveer 13 % worden toegekend.

323.5. Vergelijking met de overeenkomstige tertiaire eenheden in de omstreken

3235.1. Lid van Oedelem

Het Lid van Oedelem (D. NOLF, 1972; P. JACOBS, 1975) is in het gebied Oedelem-Zomergem-Adegem gekend als groengrijs, weinig kleihoudend fijn zand tot lemig zand dat vooral in het bovengedeelte zeer fossielrijk is maar naar onder overgaat in een makro-fossiellose zone. In de topzone komen bovendien drie niveaus kalkzandsteenbanken voor. De totale dikte in deze streek belooft 12-18 m met ongeveer 10 m voor de fossielrijke en 8 m voor de onderste fossielarme zone.

In vergelijking hiermee bereikt het Lid van Oedelem in het studiegebied een veel grotere en tot op heden maximaal gekende dikte van ongeveer 35 m, maar vertoont in litostratigrafische bouw toch nog opmerkelijke overeenkomsten. Ook hier kan men op

grond van de hoeveelheid makrofossielen twee delen onderscheiden : een onderste weinig makrofossielhoudende zone met een vergelijkbare dikte van 5 à 9 m en een zeer fossielrijk bovengedeelte dat echter 22 tot 27,5 m dikte bereikt.

Uitgaande van de regelmatig laagopeenvolging vertoont het Lid van Oedelem in het studiegebied eigenlijk een vierdelige bouw. Van onder naar boven onderscheidt men :

- 5 à 9 m weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand met zeer weinig makrofossielen (eenheid T1) ;
- 5 à 6,5 m weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand met zeer veel tot uiterst veel schelpen (eenheid T2) ;
- een centrale zone van 6 à 7 m, die merkelijk kleiïger is en op zijn beurt kan worden opgesplitst in een onderste en bovenste weinig fossielhoudende, kleiïge zone met daartussen een zeer schelprijk, weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand geïnterkaleerd (eenheden T3, T4, T5);
- een bovenste zone van 11-14 m dikte opgebouwd uit weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand met schelpen tot plaatselijk veel schelpen en met in de bovenste 7-9 m drie vrij kontinu ontwikkelde glaukonietkalkzandsteenbanken (eenheden T6,1 t.e.m. T8,2).

Kenmerkend voor het studiegebied is de hoge verweringsgraad van de schelpen en schelpfragmenten. Hierdoor zijn ze meestal uiterst broos en niet zelden gereduceerd tot een witte kalkmassa. Enkel daar waar zeer veel of vrij dikke schelpen (b.v. *Cardita planicosta*) voorkomen zijn ze nog goed te herkennen en worden nog exemplaren met een redelijke breukweerstand aangetroffen. Harde exemplaren zijn dan ook hoofdzakelijk beperkt tot de eenheden T2, T4,1 en in mindere mate tot T6,1.

3235.2. Het Lid van Wemmel

Het Lid van Wemmel komt in het studiegebied voor onder zijn typische faciës namelijk een schelphoudend, weinig glaukoniethoudend, kleihoudend fijn tot zeer fijn zand dat kleiïger en glaukonietrijker wordt naar de top en als karakteristiek fossiel *N. orbigny* bevat. Zijn dikte wisselt snel, namelijk van minder dan 1 tot 4 m; meer naar het zuiden komen regelmatig dikten van 4-5 m voor.

3235.3. Het Lid van Asse en het Lid van Ursel

Omwille van de soms geleidelijke overgang van het Lid van Wemmel naar het Lid van Asse werd de grens tussen beide daar gelegd waar de klei de overhand neemt. Aldus bereikt het Lid van Asse in het studiegebied een dikte van 4-5 m tegenover 2-4 m in de streek van Oedelem.

Het faciës is in beide streken hetzelfde, namelijk een glaukoniethoudende tot sterk glaukoniethoudende, stijve klei met onderaan veel N. orbigny. Een echte glaukonietzone ("Bande Noire") werd evenwel niet aangetroffen. Wel werden op verschillende niveaus in de laag, van het ene boorgat tot het andere, soms zeer glaukonietrijke zones aangetroffen.

Aansluitend op het Lid van Asse volgt de relatief homogene, grijze, stijve klei van het Lid van Ursel. Alhoewel de sedimentaire top niet werd bereikt, is de maximale dikte van 18 m in het studiegebied heel wat meer dan de 12-13 m in de streek van Oedelem.

3.3. KWARTAIR

Teneinde een klaar beeld te verkrijgen van de vrij ingewikkelde verhoudingen tussen de kwartaire eenheden leek het ons nuttig eerst de kwartaire ontwikkelingsgeschiedenis van het kustgebied te schetsen en dit zoveel mogelijk in het bestek van bevindingen in de nabije omgeving van het studiegebied. Deze geschiedenis wordt gekenmerkt door een aantal opeenvolgende verlandingen en overstromingen tijdens het Pleistoceen en het Holoceen.

33.1. KWARTAIRE ONTWIKKELINGSGESCHIEDENIS VAN DE OOSTELIJKE KUSTVLAKTE

331.1. Pleistoceen

Gedurende het Pleistoceen waren de verlandings- en overstromingsfazen vooral het gevolg van een opeenvolging van glaciale en interglaciale perioden die zeer grote zeespiegelschommelingen met zich meebrachten. Hierdoor werden de tertiaire afzettingen

in sterke mate aangetast. Vooral de erosiefazen tijdens het Saaliaan zouden het uitzicht van het huidig bedolven oppervlak van het Tertiair, dat dus een erosieoppervlak is, in onze kuststreek hebben bepaald. In die tijd vormden zich in de oostelijke kustvlakte en de Vlaamse Vallei noordwaarts gerichte thalwegsystemen die behoorden tot eenzelfde stroombekken (G. DE MOOR en I. HEYSE, 1974). In tegenstelling tot de ondergrond in Walcheren hadden deze erosiefazen onder meer voor gevolg dat nagenoeg geen Vroeg- en Midden-Pleistocene afzettingen in onze kuststreek bewaard zijn gebleven.

Tijdens het daarop volgende interglaciaal, het Eemiaan, greep een belangrijke sedimentatie plaats waarvan de afzettingen heden ten dage in de kuststreek een aanzienlijk aandeel uitmaken van de totale kwartaire sekwentie. Aanvankelijk werden enkel de diepere lagen in de kustvlakte tot deze periode gerekend (zone van Oostende : R. TAVERNIER, 1947; assise van Oostende : R. TAVERNIER, 1954; afzetting van Oostende : W. DE BREUCK et al., 1969). Recent onderzoek (R. PAEPE, 1965 en 1971; R. PAEPE en R. VANHOORNE, 1972; R. PAEPE et al., 1972; G. DE MOOR en W. DE BREUCK, 1973) in de centrale kustvlakte, in de randzone van de polders ten westen van Jabbeke, ten noordwesten en ten noorden van Brugge brachten aan het licht dat het Eemiaan tot zeer dicht nabij het huidig maaiveld reikt en naast grinthoudende (schelphoudende), middelmatige en fijne zanden ook belangrijke klei- en leemafzettingen (afzetting van Meetkerke) omvat.

Ook ten zuidoosten van het studiegebied, in de omgeving van Damme (G. DE MOOR en I. HEYSE, 1974) zou het Eemiaan sterk ontwikkeld zijn met de afzetting van Kaprijke (grinthoudend grof zand), de afzetting van Moerkerke (middelmatig fijn zand), en de afzetting van Meetkerke (zand, leem en klei).

Tijdens het Weichseliaan daalde de zeespiegel en kwam de kuststreek opnieuw droog te liggen. Deze koude periode is gekenmerkt door periglaciale verschijnselen en afzettingen van niveo-eolische en fluviaatiele oorsprong. Tot deze periode rekende R. TAVERNIER (1946, 1947) de zone van Leffinge bestaande uit zandige, lemige, venige en grinthoudende lagen.

In een litostratigrafisch profiel tussen Varsenare en Blankenberge beschouwden W. DE BREUCK et al. (1969) de afzetting van Uitkerke (middelmatig fijn zand met laagjes zandleem en klei) en de afzetting van Wenduine (grinthoudend grof zand, ongeveer 1 m dik) respectievelijk tot het Weichseliaan en het Laat-Weichseliaan of het begin van het Holoceen. Volgens deze auteurs zou vooral de afzetting van Wenduine een grote stratigrafische betekenis kunnen hebben.

Van Moerkerke tot voorbij Damme komt er een fluviatiel sediment voor : "de afzetting van Damme" (G. DE MOOR en I. HEYSE, 1974); deze is afgezet na een belangrijke insnijdingsfase (post-Meetkerke) die de zeespiegeldaling in het begin van het Weichseliaan heeft vergezeld. Deze afzetting bestaat onderaan uit 1 à 3m grinthoudend (schelphoudend), middelmatig tot grof zand (zone van Platheule) dat waarschijnlijk met de afzetting van Wenduine te korreleren is en bovenaan uit 1 à 5 m donkergrijs, middelmatig fijn zand waarin enkele lemige interkalaties, grinthoudende lensjes, veen- en kleibrokken worden aangetroffen.

Onderzoekingen in de rand van de kustvlakte, tussen Gistel en Stalhille, en in de omgeving van Meetkerke en Sint-Pieters-Brugge (R. PAEPE, 1971; R. PAEPE en R. VANHOORNE, 1972; R. PAEPE et al., 1972; G. DE MOOR en W. DE BREUCK, 1973; F. MOSTAERT, 1980) wijzen op een algemeen voorkomen van afzettingen uit het Weichseliaan en dit reeds op enkele meters onder het huidig maaiveld.

Ook in het aangrenzende westelijk Zeeuws-Vlaanderen wordt het Weichseliaan (gekend als de Formatie van Twente) nagenoeg continu en meestal rechtstreeks onder het oppervlakteveen aangetroffen. Het is er aanwezig onder vorm van een dik pakket (tot 15 m) fijne zanden waarin lensvormige leemlagen (tot 2 m dik) en venige lagen geïnterkaleerd zijn (F. VAN RUMMELEN, 1965).

331.2. Holoceen (ca. 10.000 B.P. tot heden)

Het Holoceen neemt een aanvang met het Preboreaal en Boreaal (ca. 10.000-8.000 B.P.). Tijdens het Preboreaal heeft zich aansluitend op het Laat-Weichseliaan een belangrijke fluvia-tiele erosie voorgedaan. Vooral in het westelijk kustgebied werd er een diep valleienstelsel uitgeschuurd (R. MARECHAL, 1953). Van het Boreaal is vooral het diepteveen (basisveen) gekend dat met name in Nederland vaak aan de basis van de mariene holocene cyclus wordt aangetroffen. In het Belgisch gebied is deze laag van onder-geschikt belang (<0,5 m dikte) (R. TAVERNIER, 1954; R. TAVERNIER en J. AMERYCKX, 1970) en door haar diepe ligging aanzienlijk meer samengedrukt dan de hogerliggende veenlagen. De veengroei zou zich hebben doorgezet tot in het Atlanticum.

De voornaamste gebeurtenis gedurende het Atlanticum (8.000-5.000 B.P.) was een aanzienlijke verbreding en uitdieping van het Nauw van Calais gevolgd door de sedimentatie van de af-zetting van Calais. Lange tijd werd deze afzetting beschouwd als ontstaan door één belangrijke transgressiefaze (R. TAVERNIER, 1946, 1947; J. AMERYCKX, 1960; R. TAVERNIER en J. AMERYCKX, 1970; R. PAEPE, 1960, enz....) maar recente studies in de westelijke kustvlakte (C. BAETEMAN et al., 1974; C. BAETEMAN, 1978; C. BAETEMAN en C. VERBRUGGEN, 1979) wezen naar analogie met het Franse en Nederlandse poldergebied, op het bestaan van ten minste vier fazen (Calais 1, 2, 3, 4) vertegenwoordigd door vier lito-stratigrafische eenheden (zanden en kleien) die van elkaar ge-scheiden worden door venige tussenlagen.

In westelijk Zeeuws-Vlaanderen (F. VAN RUMMELEN, 1965) en ten zuidoosten van het studiegebied (G. DE MOOR en I. HEYSE, 1974) komt de afzetting van Calais niet voor en ligt het opper-vlakteveen, met of zonder diepteveen aan de basis, er rechtstreeks op de pleistocene afzettingen. Volgens J. AMERYCKX (1954) zou dit ook het geval zijn in het zuiden van het studiegebied in de om-geving van Dudzele.

Ten westen van het studiegebied tussen Varsenare en Blankenberge (W. DE BREUCK et al., 1969), te Zuienkerke (G. FRANCESCHI, 1975) en tussen Blankenberge en Zeebrugge (H. VAN-

NIEUWENBORG, 1973) zouden de afzetting van Houtave (fijn tot middelmatig fijn zand met kleilensjes en, vooral bovenaan, met schelpen en silexkeien) en de afzetting van Zuienkerke (middelmatig fijn zand met schelpen en schelpfragmenten) in het Atlanticum te rangschikken zijn. Volgens H. VANNIEUWENBORG (1973) bestaat de afzetting van Zuienkerke uit fijner zand ($Md = 120-140 \mu m$) dan de afzetting van Houtave ($Md = 170 \mu m$).

Op het einde van het Atlanticum en vooral tijdens het Subboreaal (5.000-2.900 B.P.) heeft zich in de kuststreek een duingordel (oude duinen : F. MOORMANN en J. AMERYCKX, 1950) ontwikkeld die de invloed van de zee geleidelijk heeft beperkt. Op deze wijze kon er aan landzijde een belangrijke veenlaag (afzetting van Nieuwmunster, oppervlakteveen of Hollandveen) tot ontwikkeling komen die op veel plaatsen bleef doorgroeien tot in het Subatlanticum. Het oppervlakteveen vormt een nagenoeg doorlopende, enkele meters dikke laag, die geleidelijk naar de zuidrand van de kustvlakte tot enkele decimeters dikte uitwigt (R. TAVERNIER en J. AMERYCKX, 1970). Deze veenlaag is belangrijk als gidsniveau tussen de oude (Calais) en de jonge (Duinkerke) holocene afzettingen.

De laatste periode van het Holoceen, het Subatlanticum (2.900 B.P.-heden), wordt gekenmerkt door enkele snel op elkaar volgende transgressies (Duinkerke 0, 1, 2, 3A, 3B) die gepaard gaande met soms belangrijke erosie, zand, leem en klei hebben afgezet. Tijdens iedere regressie werd de vrijgekomen kustvlakte plaatselijk of geheel door een duingordel afgesloten.

Karakteristiek is het voorkomen van uitgebreide krekensstelsels naast vlakke overstromingsgebieden (poelgronden en strandvlakten). Als gevolg daarvan loopt de dikte van de afzetting van Duinkerke zeer sterk uiteen : van nul tot enkele meters in de poelgronden tot verscheidene tientallen meters in de krekens. De ongelijkmatige insnijding ligt aan de basis van de zowel horizontaal als vertikaal zeer snel wisselende litologie, het voorkomen van diepe veenloze (doorheen het veen gesneden) meestal zandige krekens en van smalle ondiepe geulen met veenondergrond.

Daar de afzetting van Duinkerke heden ten dage nagenoeg overal de oppervlaktelaag van de polders vormt, werd ze vanuit landbouwkundig oogpunt grondig bestudeerd. De huidige gedetailleerde kennis ervan is vooral te danken aan de opname van de Bodemkaart van België, getuige hiervan de talrijke publikaties van de leden van het Centrum voor Bodemkartering (R. TAVERNIER, 1947; R. TAVERNIER en J. AMERYCKX, 1970; F. MOORMANN, 1951; J. AMERYCKX, 1953a, 1954, 1960; J. AMERYCKX en F. MOORMANN, 1958, enz.).

Afzettingen van de vroegste Duinkerke-faze (D0), die gedateerd wordt in het Subboreaale, zijn in het studiegebied niet bekend; in België zouden deze slechts ter hoogte van de Frans-Belgische Moeren aanwezig zijn (F. MOORMANN, 1955).

De D1-transgressie (500 v.-100 n. Chr.) is vooral van belang geweest voor het centraal en oostelijk deel van de kustvlakte. Een belangrijk inbraakpunt lag nabij De Haan (R. TAVERNIER en J. AMERYCKX, 1970) en vooral tussen Blankenberge en Zeebrugge waar deze afzettingen tot bijna 10 km achter de huidige kustlijn werden teruggevonden (H. THOEN, 1979). Kenmerkend voor de D1-sedimenten is de typische mikrogelaagdheid van klei- en zandlaagjes van slechts enkele millimeters dikte.

Tijdens de Romeinse regressie (100-268 n. Chr.), na terugtrekking van de zee, ontwikkelde zich op het einde van de eerste eeuw van onze jaartelling een duingordel en werd de kustvlakte opnieuw bewoonbaar (H. THOEN, 1979).

In de tweede helft van de 3e eeuw (268-270 n. Chr.) (H. THOEN, 1979) hadden de eerste overstromingen van de D2-transgressie plaats. De beschermende duingordel werd op talrijke plaatsen doorbroken en grotendeels opgeruimd. Aan de kust ontstonden er brede inbraakgebieden van waaruit kreken diep het binnenland indrongen (R. TAVERNIER en J. AMERYCKX, 1970).

Twee dergelijke inbraakpunten met belangrijke kreekstelsels situeerden zich respectievelijk in het westelijk deel (vanaf Blankenberge tot aan Zeebrugge) en in het oostelijk deel (vanaf Heist tot aan Knokke) (J. AMERYCKX, 1954; R. TAVERNIER en J. AMERYCKX, 1970) van het studiegebied. Ze stonden lateraal in ver-

binding met elkaar door talrijke kleine al of niet doorheen het oppervlakteveen gesneden krekten. Op deze manier werd de tussenliggende veenplaat in het centrum van het studiegebied een tweede maal opgedeeld volgens een zeer grillig patroon.

Na een fase van erosie greep sedimentatie plaats. In de krekten werd hoofdzakelijk zand afgezet terwijl er buiten in traag vloeiend water, vooral kleilig materiaal tot bezinking kwam. Tijdens het laatste stadium van sedimentatie werd ook in de meeste krekten klei afgezet en in 't bijzonder in de gedeelten die het langst met de zee in verbinding bleven (o.a. inbraakgebieden).

Meer in het binnenland o.a. nabij Dudzele-dorp worden er ook belangrijke krekten aangetroffen zonder kleidek; het kan ook gebeuren dat de randen van een kreek met klei bedekt zijn terwijl de kern volledig uit zand bestaat (J. AMERYCKX, 1954).

Rond de 8e eeuw ving de Karolingische regressie (ca. 700-900 n. Chr.) aan waarbij een nieuwe duingordel (de Jonge Duinen) de kuststreek van de zee afsloot.

De laatste belangrijke overstromingen worden gerekend tot de Duinkerke 3-transgressie (ca. 900-1400) die in 2 subfazen (3A en 3B), gescheiden door een korte onderbreking, kan worden verdeeld (F. MOORMANN en J. AMERYCKX, 1950; J. AMERYCKX, 1953a). Voor het studiegebied was de D3A de belangrijkste omdat ze in een groot deel ervan afzettingen heeft nagelaten onder de vorm van een dunne (ca. 0,3-0,4 m) kleihoudende zand- tot zandhoudende kleilaag. Deze afzettingen ontbreken in het zuiden van het studiegebied evenals in een smalle zuidwest-noordoost gerichte strook ter hoogte van Lissewege (J. AMERYCKX, 1953a, 1954).

Van de D3B-subfaze (begin rond 1130) worden enkel in het noorden en oosten van het studiegebied kleilige sedimenten teruggevonden omdat deze transgressie grotendeels werd tegengehouden door bedijkingen (Evendijk, Kalveketedijk) (J. AMERYCKX, 1953a).

In het begin van de 15e eeuw kwam het land, afgezien van de Zwinmonding, die momenteel nog met de zee in verbinding staat, terug droog te liggen. De post-Duinkerke 3-overstromingen zoals bijvoorbeeld die in de streek van Sluis (16e eeuw) en van

Oostende (17e-18e eeuw) waren hoofdzakelijk aan menselijk ingrijpen te wijten, maar zijn voor het studiegebied van geen betekenis geweest.

33.2. BELANGRIJKE LANDSCHAPSVORMENDE PROCESSEN

Het huidig aspekt van de zeepolders wordt hoofdzakelijk bepaald door de horizontale en verticale uitbreiding van het oppervlakteveen en de afzetting van Duinkerke. Enkele ingrijpende processen zowel van natuurlijke als van menselijke aard hebben hiertoe bijgedragen en zijn in het kader van onze studie van essentieel belang.

332.1. Selektieve sedimentatie

In de kreken (snelstromend water) wordt grofkorrelig materiaal afgezet. Worden de tussenliggende zones (poelgronden) overstroomd dan heerst daar gemiddeld een veel lagere stroomsnelheid waardoor fijnkorrelig materiaal tot bezinking kan komen. Daarom is de opvulling van de kreken overwegend zandig en de poelgrondaafzettingen kleilig. Nochtans komen ook kreken voor met belangrijke hoeveelheden klei (J. AMERYCKX, 1954, 1959, 1960; R. TAVERNIER en J. AMERYCKX, 1970).

332.2. Inversie van het reliëf

Het proces wordt veroorzaakt door differentiële zetting van litosomen. Hierbij spelen vooral de litologie, de pakkingsdichtheid, de aangroei van de korrelspanning en de dikte van de laag een rol. De zetting van de lagen wordt bevorderd door de afzetting van nieuwe lagen en door de ontwatering tijdens de regressieperioden waardoor de korrelspanning toeneemt.

Veen met zijn hoge samendrukbaarheid zette veel meer dan de zandige kreekopvulling. Door die selektieve zetting kwamen de oorspronkelijk hoger gelegen klei-op-veen-eilanden lager te liggen dan de kreken, die thans als langgerekte zwakke verhevenheden in het reliëf kunnen waargenomen worden (R. TAVERNIER, 1947; J. AMERYCKX, 1959).

De omkering van het reliëf is het duidelijkst in de gebieden waar slechts één laag op het veen is afgezet, namelijk in het Oudland waar de inversie in de 11e eeuw grotendeels was voltooid. Een tweede of een derde afzetting hebben het eerder gevormde inversiereliëf min of meer vervlakt; dit is het geval in het Middelland en het Nieuwland (J. AMERYCKX, 1959; R. TAVERNIER en J. AMERYCKX, 1970).

332.3. Kunstmatige verstoringen

3323.1. Veenontginning

Het huidig uitzicht van het oppervlakteveen wordt niet alleen bepaald door natuurlijke factoren. Immers tot in de 19e eeuw werd veen als brandstof gedolven. J. AMERYCKX en F. MOORMANN (1956) schatten de uitgeveende oppervlakte op ongeveer 10 % van de totale oppervlakte van de polders, wat neerkomt op een exploitatie van verschillende duizenden hektaren.

Met de geotechnische kartering van de veenlaag voor ogen is het van primordiaal belang haar horizontale en verticale verbreiding te kennen. Het is daarom zeer nuttig in te gaan op de methoden van het veendelfen, die het huidig voorkomen van het veen in sterke mate mede hebben bepaald. J. AMERYCKX en F. MOORMANN (1956) onderscheiden een systematische exploitatie op grote schaal en een dorps- en privé-exploitatie op kleine schaal.

Bij de systematische exploitatie werden grote aaneengesloten oppervlakten ontgonnen waarbij het veen op keurige wijze volledig uit de bodem werd gehaald. In opeenvolgende stroken werd het veen blootgelegd en uitgedolven waarna de strook, ook laan genaamd, terug werd opgevuld met afgegraven grond afkomstig van de volgende laan. Na de ontginning werd het land geëffend en opnieuw in cultuur genomen. Plaatselijk komen in dergelijke uitgeveende gebieden niet-uitgeveende percelen (legakkers) voor die dienden als stapel- en droogplaats voor het gedolven veen.

Bij de kleinere exploitaties van dorps- of privégebruik ging men veel slordiger tewerk. Men groef onregelmatig begrenste veenputten die naderhand op slordige wijze werden opgevuld. Daar-

door werd het terrein zeer oneffen achtergelaten. Volgens J. AMERYCKX en F. MOORMANN (1956) is het veen, centraal in het studiegebied, volgens deze werkwijze grotendeels door de abdij Ter Doest ontgonnen. Dit verklaart er het veelvuldig voorkomen van moerassige laagten (oude veenputten).

3323.2. Kleiontginning

Het afgraven van de polderklei voor de vervaardiging van baksteen heeft eveneens depressies doen ontstaan. De bodemkaart Heist 11W (J. AMERYCKX, 1954) vermeldt enkele kleine zones in de omgeving van Dudzele, Lissewege en ten zuiden van Heist nabij het Leopoldskanaal.

3323.3. Zandwinning

Tot voor kort waren uitgezande zones weinig belangrijk in het gebied maar door de recente ontwikkelingen van de zeehaven is hierin heel wat verandering gekomen.

De oudste zandputten liggen ten noorden en ten zuiden van het oude kerkhof van Zeebrugge (nu verdwenen in de werf van het Insteekdok). Ook in de duinen en op het strand werd zand gewonnen. De vijvers tegen de duinen, ten westen van Zeebrugge-bad, zouden ontstaan zijn bij de aanleg van de verdwenen spoorlijn Blankenberge-Heist. Tot voor kort werd nog intensief zand gewonnen op het strand langs de oude havendam.

De laatste jaren zijn er op talrijke plaatsen nieuwe winningen uitgebaat ten behoeve van de havenuitbreiding. De evolutie gaat dermate snel dat ze nauwelijk is bij te houden. In deze studie werd rekening gehouden met de toestand van begin 1980. In het poldergebied liggen de meeste zandputten in de voorziene havendokken. Sommige liggen erbuiten, zoals degene omheen het Insteekdok. Volledigheidshalve dienen nog de recente uitgravingen ter hoogte van de toekomstige haven in zee te worden vermeld.

3323.4. Aanvullingen en vergravingen (kaart 2)

Onder aanvullingen of vergravingen wordt verstaan alle door menselijke aktiviteit aangebrachte gronden of verstoringen in de natuurlijk afgezette grond, met uitzondering van degene afkomstig van landbouwaktiviteiten. Naast echte aanvullingen of ophogingen dienen dus eveneens de door bebouwing verstoorde bovenlaag te worden meegerekend. Principieel zouden de opgevulde veenputten hier eveneens moeten worden behandeld maar gezien hun speciaal karakter worden die in de veenkaart opgenomen.

Kaart 2 schetst de toestand van begin 1980. Ook hier geldt de opmerking dat omwille van de havenuitbreiding de toestand dermate snel evolueert dat ze nauwelijks is bij te houden. Voor de toekomstige ophogingen en vergravingen wordt verwezen naar de plannen van het Ministerie van Openbare Werken, Dienst der Kust.

In het begin van 1980 lagen de voornaamste aanvullingen of vergravingen :

- in de omgeving van belangrijke kustwerken zoals het Westelijk Schiereiland, het nieuwe Militair Dok, de Oude en Nieuwe Zee-sluis met toegangskaaimuren, de Werkhaven, het Noorderlijk Insteekdok, ... ;
- ter hoogte van de industrieterreinen van Texaco, Distrigaz (Peak Shaving), omheen het Nijverheidsdok en Prins Philip Dok, omheen de Vissershaven, de Cokesfabriek, Glaverbel;
- in enkele heraangevulde zandwinningsputten ten noorden en ten westen van het Noordelijk Insteekdok;
- ter hoogte van de dijken langs het Boudewijnkanaal en de afwateringsvaarten;
- ter plaatse van de bebouwde kommen : Zeebrugge, Heist, Ramskapelle, Lissewege, Zwankendamme;
- op het strand van Heist.

33.3. LITOSTRATIGRAFIE VAN DE KWARTAIRE EENHEDEN

In de figuren 5 en 6 zijn enkele boringen in de kwartaire sekwentie, respektievelijk van het noordelijk en het zuidelijk deel van het studiegebied, samengebracht. De schikking van links naar rechts geeft de relatieve plaats aan van west naar oost. De boorkolommen zijn genivelleerd ten opzichte van het

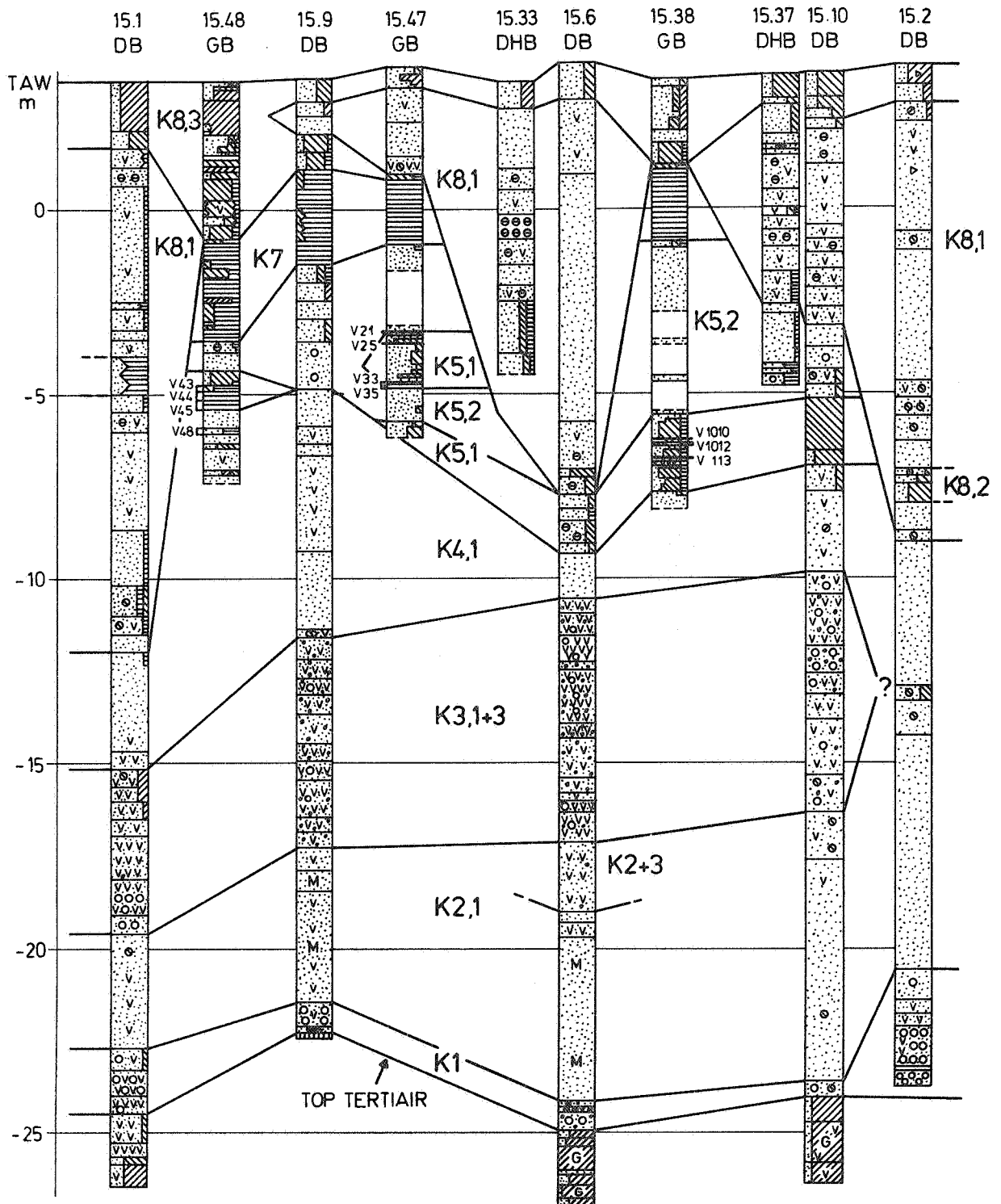


Fig. 5 - Boorprofielen in het Kwartair in het noorderlijk deel van het studiegebied (legende : zie bijlage I)
- Boring profiles in the Quaternary deposits in the northern part of the study area (legend : see appendix I)

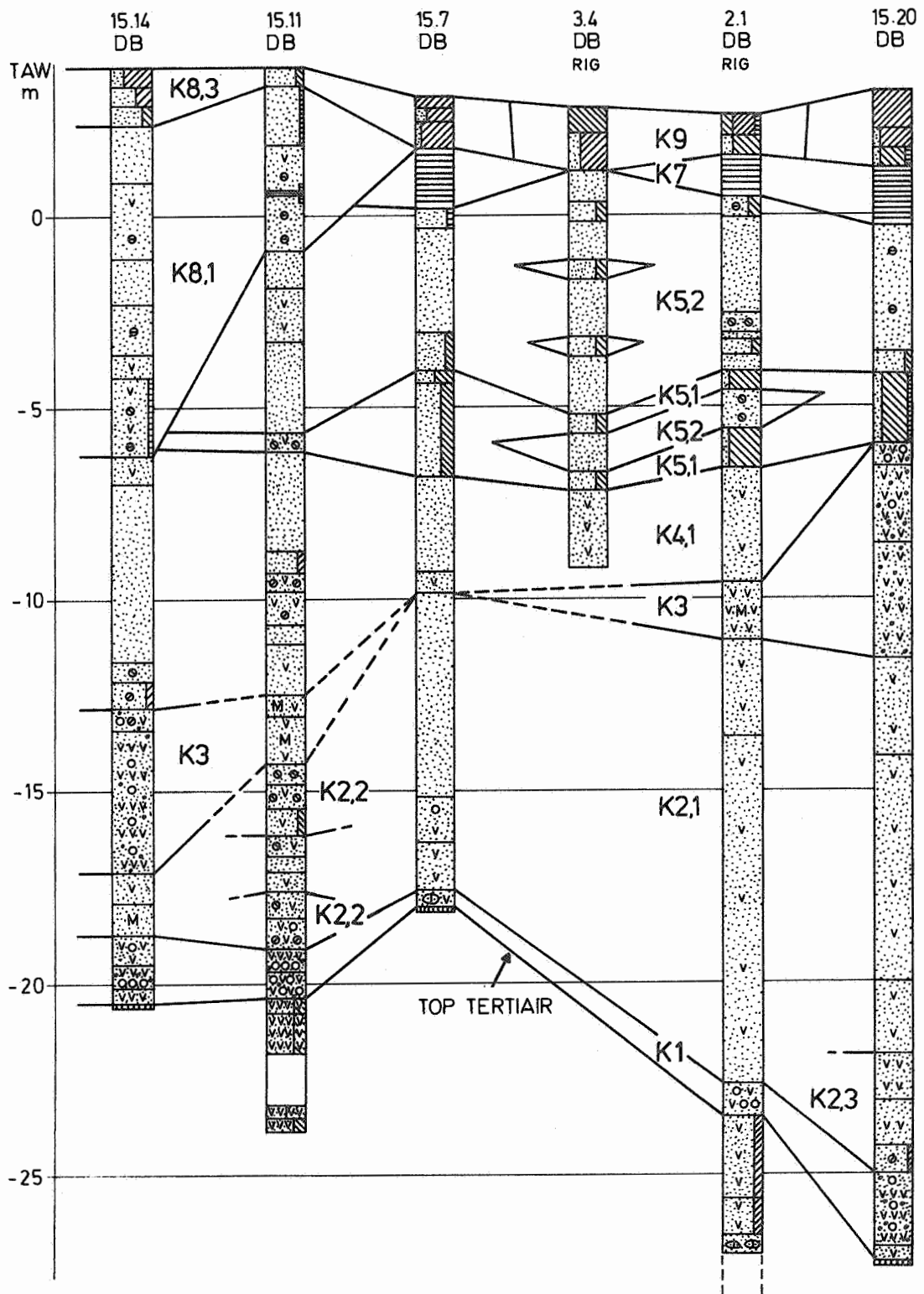


Fig. 6 - Boorprofielen in het Kwartair in het zuidelijk deel van het studiegebied (legende : zie bijlage I)

- Boring profiles in the Quaternary deposits in the southern part of the study area (legend : see appendix I)

T.A.W.-vlak. Bij de afbakening van de eenheden werd rekening gehouden met hun litologie en hun genese.

Eenheid K1

Op het tertiair substraat rust er op de meeste plaatsen in het studiegebied een heterogeen grinthoudend zand tot zandhoudend grint.

Onder de grintelelementen zijn vertegenwoordigd : zwarte, bruingroene, bruine en rode silexrolkeien en silexsplijtstukken (tot 50 mm Ø), zwartbruine ligniethoudende (?) zandsteenrolkeien (tot 40 mm), een weinig groengrijze, glaukoniethoudende kalkzandsteenfragmenten (broos en hoekig) en veel schelpen en schelpfragmenten. De glaukoniethoudende kalkzandsteenfragmenten zijn meestal van ondergeschikt belang; plaatselijk en vooral daar waar de steenbanken van het Lid van Oedelem dagzomen aan de top van het Tertiair kunnen ze zijn opgehoopt waarbij niet zelden fragmenten van meer dan 100 mm grootte optreden. Onder de kleine grintelelementen (gruis) noteert men naast schelpengruis vaak de aanwezigheid van heldere kwarts en melkkwarts.

Zoals het grint is ook het zand heterogeen samengesteld doordat met de grijze tot groengrijze hoofdmassa van fijn tot middelmatig zand, dikwijls fijn schelpengruis, grove heldere kwarts- en melkkwartskorrels geassocieerd zijn.

In deze basisafzetting worden vaak verspoelde zanden, gerolde klei-, glaukoniethoudende klei- en zandhoudende kleibrokken afkomstig van de tertiaire eenheden aangetroffen.

De dikte van de afzetting bedraagt gemiddeld minder dan 1 m maar kan zeer snel variëren van enkele cm tot plaatselijk 6-7 m.

Eenheid K2 (K2,1, K2,2, K2,3)

Op K1 of rechtstreeks op het Tertiair rust er een vrijwel continu aanwezig zandpakket met een gemiddelde dikte van 6 à 8 m maar waarvan de uitersten ongeveer 1 tot 15 m bereiken.

Dit zandpakket (K2,1) is overwegend samengesteld uit fijn en in mindere mate middelmatig zand met weinig of geen schelpen. Zones met hogere concentraties aan schelpen (K2,3) treft men soms aan in de onderste meters als overgang naar K1 en plaatselijk ook bovenaan de eenheid, zoals in meerdere boringen omheen de Nieuwe Zeesluis. Als onzuiverheden worden soms veenbrokjes (<10 mm) maar geregeld donkerbruine veenvezeltjes (<10 mm lengte) genoteerd.

Naast haar overheersend zandkarakter bevat deze laag op beperkte schaal en op willekeurige niveaus leem- of kleihoudende zones (K2,2). Vooral in het zuidelijk deel van het studiegebied treden ze in toenemende mate op.

Eenheid K3 (K3,1, K3,3 en K3,2)

Boven de relatief homogene eenheid (K2) wordt er op vele plaatsen opnieuw een heterogeen, grinthoudend zand tot plaatselijk zandhoudend grint aangeboord.

In tegenstelling tot K1 bestaan het grint nu overwegend uit schelpen en schelpfragmenten waaronder niet zelden grote exemplaren van *Ostrea* (tot 70 mm) en *Cardium* (10-30 mm). Het grint omvat ook donkerbruine, ligniethoudende (?) zandsteenrolkeien (10-30 mm) en zwarte, grijze of bruine silexkeien (tot 30 mm). De silex- en zandsteenrolkeien zijn evenwel gemiddeld kleiner dan in K1. Soms treft men ook kleine glauconiethoudende kalkzandsteenfragmentjes aan. Naast veel schelpfragmentjes bevat de kleine grintfractie geregeld gerolde melkkwartskeitsjes.

De zandfractie is samengesteld uit fijn tot middelmatig zand met meestal veel fijn schelpengruis en grove, heldere kwarts- en melkkwartskorrels.

De eenheid K3 heeft een onregelmatige dikte gaande van 0 m tot een maximum van 7 m. In het noordelijk deel van het studiegebied is haar dikte met een gemiddelde van 3-5 m, uniformer. In de omgeving en ter hoogte van de Nieuwe Zeesluis is K3 opgesplitst in twee dunnere zones K3,1 (onderste) en K3,3 (bovenste) met diskontinue uitbreiding en gescheiden door een kleihoudende zone (K3,2). In DB 14.2 vormt deze laatste een 6,5 m dik pakket

weinig kleihoudend fijn zand met grijze kleibrokken en met schelpen. Lateraal gaat deze laag vertand over in de grinthoudende zone. Indien K3,2 weinig grintelementen bevat dan is ze in diepsonderingen gemakkelijk te herkennen en af te bakenen. Voor deze zone werd een maximum dikte van 7,5 m genoteerd.

Waar K3,2 ontbreekt zijn de grinthoudende zones K3,1 en K3,3 niet meer van elkaar te onderscheiden. Bovenaan is K3 meestal zeer scherp begrensd. Haar ondergrens is soms onduidelijk vooral wanneer de eenheid K2 bovenaan veel schelpen bevat.

Eenheid K4 (K4,1, K4,2)

Boven de grinthoudende eenheid K3 of indien afwezig op K2 rust er een zandige eenheid K4 bestaande uit lagen grijs fijn zand (K4,1) waarin dunne, vaak minder dan 0,5 m dikke, leemhoudende en veenhoudende niveaus (K4,2) kunnen voorkomen (b.v. in GB 15.48, fig. 5). In het westen en vooral in het zuidwesten van het gebied nemen leemlaagjes in belang toe. Opeenstapeling van deze laagjes leidt er tot leemhoudend niveaus met interkalaties van fijn zand, met een dikte van soms 2-3 m.

In tegenstelling tot de vorige eenheden bevat K4,1 weinig tot geen kalk en ook weinig of geen schelpen en schelpfragmenten. Sonderingen wijzen hier en daar op de aanwezigheid van dunne grintniveaus.

Deze zandeenheid lijkt vrij continu te zijn uitgebreid, alhoewel ze plaatselijk kan ontbreken. Haar dikte gaat van 1 m tot ongeveer 10 m maar bedraagt gemiddeld en in 't bijzonder voor het zuidelijk deel van het studiegebied 4 à 6 m.

Eenheid K5 (K5,1 en K5,2)

Op K4 of plaatselijk op K3 volgt er een veen-leem-zandkomplex K5 dat centraal en in de zuidelijke helft van het studiegebied een vrij regelmatige dikte van 5 à 8 m bereikt. Meer naar het westen is de dikte plaatselijk herleid tot ongeveer 2 m.

Het complex K5 is opgebouwd uit zeer vlak begrensde zandlagen K5,2, die van elkaar gescheiden zijn door lemige en venige niveaus K5,1. Gewoonlijk vangt K5 aan met een laag K5,1 en worden op de verticale twee tot drie afzonderlijke lagen K5,1 en K5,2 aangetroffen. Plaatselijk kunnen soms tot vijf lemige niveaus met betekenis worden onderscheiden vooral omdat de twee onderste en tevens belangrijkste niveaus soms door dunne (<1 m) zandlagen verder zijn opgesplitst. Bovenaan wordt K5 meestal afgesloten door een zandlaag K5,2.

De dikte van de zandlagen varieert van 1 tot 3 m terwijl die van de leem-veenlagen van 0,5 tot 2,0 m. Daar de eenheden K5,2 en vooral K5,1 als diskontinue brede platte lenzen ontwikkeld zijn, komen plaatselijk situaties voor waarbij K5 op de verticale nagenoeg uitsluitend bestaat uit zand. Daardoor kan de dikte van K5,2 in zijn geheel soms tot 6-7 m oplopen. Anderzijds kunnen ook de leem-veenlagen samenkomen wat bijvoorbeeld op meerdere plaatsen in het studiegebied gebeurt met de onderste twee. Doordat ze dunner zijn dan de zandlagen loopt de dikte bij superpositie zelden boven 2,5 m uit.

De zandige eenheden K5,2 bestaan uit een vrij homogeen kalkloos tot weinig kalkhoudend, al of niet weinig leemhoudend zeer fijn tot fijn zand. Grinteleenten, met name geremanieerde schelpen ontbreken vrijwel geheel.

De lemige eenheden K5,1 zijn goed bekend uit de gesteken boringen 15.38 en 15.47 (fig. 5). In GB 15.38 wordt de onderste leem-veenlaag gekenmerkt door een mikrogelaagdheid van 5 tot 100 mm dikke, grijze tot bruingrijze, (weinig) veenhoudende laagjes leem, afgewisseld met zandige leemlaagjes en enkele laagjes leemhoudend zeer fijn zand. In het 2 m dikke pakket zijn drie 10 tot 50 mm dikke bruine veenlaagjes in situ aangetroffen. Ter verduidelijking zijn ze in figuur 5 rechts van het boorprofiel iets doorgetrokken en aangeduid voor v. Een tiental centimeter onder het diepste veenlaagje werd ook een grintniveautje opgemerkt, dat naast talrijke grove, heldere kwartskorrels veel geremanieerde schelpfragmenten bevatte. De bruine kleur en de humusinhoud van de leemlaagjes wordt veroorzaakt door meestal gelijkmatig verspreide fijne veenvezeltjes.

In GB 15.47 is het tweede leem-veenniveau volledig aangesneden. In vergelijking met het vorige is het zandiger en grover gelaagd met 0,1 tot 0,2 m dikke laagjes zeer fijn zand tot zandhoudende leem. Ook hier zijn drie veenlaagjes in situ waargenomen waarvan het onderste met 0,17 m dikte het belangrijkste is.

In GB 15.48 (fig. 5) is de eenheid K5 slechts 1,85 m dik en vangt er aan met een 0,65 m dikke, donkerbruine veenlaag.

Vooraf in diepsonderingen is de eenheid K5 gemakkelijk te herkennen en zijn de opeenvolgende eenheden K5,1 en K5,2 goed met elkaar te korreleren.

Eenheid K6

Ten zuiden van de duinenreep, westelijk van Zeebruggedorp, is plaatselijk op K5 een slappe, blauwgrijze, leemhoudende klei (K6) waargenomen. De dikte van K6 is meestal minder dan 0,2 m. In DHB 15.55 is een maximale dikte van 0,65 m genoteerd.

Eenheid K7

In een noordwest-zuidoost gerichte 3 tot 5 kilometer brede strook wordt op K5 of plaatselijk op K6 een donkerbruine veenlaag aangetroffen waarvan de dikte, van zuid naar noord, van gemiddeld 1,3 m toeneemt tot meer dan 2 m. Alhoewel gemiddeld zeer vlak vertoont de basis van K7 hier en daar, maar vooral in het noorden, geulvormige uitstulpingen van enkele tientallen meters breedte. Daardoor kan de dikte plaatselijk oplopen tot 3-4 m. In DB 13.12, ter hoogte van de Nieuwe Zeesluis, werd een maximum dikte van 5,2 m veen opgemerkt.

De veenlaag bestaat onderaan uit een 0,1 tot 0,4 m dikke, sterk verteerde, zwarte, amorfe massa met vooral in de onderste 0,1 m dunne, witte zandlamelletjes. In het midden is vaak een goed ontwikkelde laag boomveen te herkennen. Op sommige plaatsen, zoals in GB 15.48 en DB 15.9 (fig. 5), bevat K7 laagjes donkerbruingrijze, veenhoudende klei en leem tot klei- en leemhoudend veen.

Eenheid K8 (K8,1, K8,2, K8,3)

Op het veen of in diep ingesneden geulen ten westen en ten oosten en in mindere mate ter hoogte van de veenplaat centraal in het studiegebied, worden zandige, kleiige, lemige en venige afzettingen gevonden die omwille van hun samenhang in de eenheid K8 zijn ondergebracht.

In de grote geulvormige insnijdingen in het westen en het oosten van het studiegebied overheerst een zandig faciës (K8,1) dat grotendeels bestaat uit weinig tot sterk kalkhoudend fijn zand waarin regelmatig veenbrokken van allerlei afmetingen (soms meer dan 1 m \emptyset), klei- en leembrokken en klei- en leemlamellen worden waargenomen. Onderaan in de geulen wordt het zand vaak middelmatig van korrel en aan de basis worden frekvent ophopingen van schelpen (Cardium), klei-, leem- en veenbrokken aangetroffen. Uit diepsonderingen is gebleken dat de westelijke insnijding zandiger is dan de oostelijke. Deze laatste bevat merklijk meer lenzen en lichamen van uiteenlopende afmetingen die zijn opgebouwd uit een opeenstapeling van zand-, klei-, en leemlamellen. Waar dergelijke lichamen voldoende ontwikkeld zijn, worden ze als een afzonderlijke eenheid K8,2 aangeduid. Dit is het geval met een diepe insnijding, ten zuiden van Heist, die grotendeels met klei- en lemige sedimenten tot een pakket van 15 m dikte is opgevuld.

De kleinere geulen in de centrale veenplaat hebben een gelijkaardige zandige opbouw als de grote insnijding alhoewel ze de tendens vertonen meer klei en leem te bevatten.

Op de centrale veenplaat en meestal ook op het zand K8,1 ligt er een vrijwel doorlopende, 1 tot 4 m dikke klei-lemige eenheid (K8,3). Deze is meestal kleiiger boven de veenplaat en zandiger boven de brede met zand opgevulde geulen. Vooral ter hoogte van deze geulen is de overgang van K8,3 naar K8,1 geleidelijk (fig. 5 en 6).

Zand (K8,1) ligt op het veen daar waar een zandige geul niet doorheen het veen is gesneden of waar een veenloze zandige geul boven het veen uitwigt. Dit laatste werd herhaaldelijk vast-

gesteld. Zo treft men in het westen van het studiegebied, een 300 tot 500 m brede zandwig aan die verband houdt met de westelijke insnijding. Met in acht name van het peil van het maaiveld en de top van het veen halen zulke zandwigen zelden dikten van meer dan 4 m. Ter hoogte van de belangrijke insnijdingen worden daarentegen dikten voor K8,1 opgemeten van meer dan 15 m.

Eenheid K9

De eenheid K9 is van antropogene oorsprong en omvat alle heropgevulde veenputten in het studiegebied. Er werd geen onderscheid gemaakt naar de grondsoort aangezien de veenputopvullingen erg heterogeen zijn. Meestal bestaan ze uit kleine en grote klei-, leem-, veen- en in mindere mate zandbrokken die zijn ingebed in een overwegend zandige ofwel kleiige matrix. Een bepaalde grondsoort in de veenputopvulling kan evenwel overheersen. Dit houdt verband met de geringe verplaatsing die het afgegraven dek bij de veenontginning heeft ondergaan. Aldus wordt de samenstelling van het oorspronkelijk op het veen liggende dek min of meer in de veenputopvulling weerspiegeld.

Eenheid K10

De eenheid K10 omvat alle aanvullingen en vergravingen met uitzondering van de veenputopvullingen. Wegens het gebrek aan gegevens (te recente aanvullingen) werd ook hier geen onderscheid doorgevoerd.

Naargelang van de omstandigheden en van de bestemming van de aanvulling betreft het zeer zuivere zanden of zeer heterogene mengsels van klei, leem, zand en veen. De laatste samenstelling treft men bijvoorbeeld aan in dijken van het Boudewijnkanaal en de twee afwateringsvaarten die zijn opgebouwd met de uitgegraven gronden van de kanalen zelf.

Andere eenheden

Kwartaire eenheden waaraan in het bestek van deze studie minder aandacht werd besteed zijn de duin- en strandafzet-

tingen, die beide zeer zandig zijn, en de recente buitengaatse afzettingen bestaande uit zand en slib.

33.4. KRONOSTRATIGRAFIE VAN DE KWARTAIRE EENHEDEN

334.1. Pollenonderzoek

Vanuit geometrisch en litologisch oogpunt zijn de eenheden K7 en K8 te rekenen respectievelijk tot het oppervlakteveen en de afzetting van Duinkerke. De relatie van de eenheden onder het oppervlakteveen is minder voor de hand liggend en men kan zich afvragen of Calais-afzettingen in het studiegebied al dan niet voorkomen. Informatie hierover werd verkregen door middel van een palynologisch onderzoek.

Onderzoeksniveaus werden gekozen in de eenheden K4 en vooral K5 omdat daarin verschillende dunne veenlagen in situ zijn aangetroffen. Omwille van hun ongeroerd karakter en nauwkeurige plaatsbepaling werden uitsluitend monsters afkomstig van de drie gestoken boringen 15.38, 15.47 en 15.48 geselecteerd. Twaalf monsters zijn onderzocht : drie uit GB 15.38 (1010, 1012, 113), vier uit GB 15.47 (21, 25, 33, 35) en vijf uit GB 15.48 (43, 44, 45a, 45b en 48). Hun positie is in figuur 5 aangeduid. Afgezien van monster 48 dat tot de eenheid K4 behoort, zijn de overige allemaal afkomstig van K5.

De pollenanalyses en de bespreking danken we aan C. VERBRUGGEN.

334.2. Bespreking

Gelet op het beperkt aantal monsters en de relatief grote éénvormigheid van de pollenspectra was het mogelijk deze onder te brengen in één overzichtstabel (tab. 3).

De preparatie van de monsters gebeurde volgens de klassieke acetolysemethode, met HF en voor 8 van de 12 gevallen ook met de Thoulet (2,1)-zware oplossing.

Zoals blijkt uit de pollensom (ΣP) werd in vier gevallen (1012, 113, 45a, 45b) het in de pollenanalyse vereiste statistisch

Tabel 3 - Resultaten van het palynologisch onderzoek (interpretaties door C. VERBRUGGEN)
 - Results of palynologic research (interpretations by C. VERBRUGGEN)

| | Taxe behorende tot de pollensom | | | | | | | | | | | Taxe niet behorende tot pollensom | | | | | |
|----------|---------------------------------|------------|------------|---------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------|----------|---------|-----------------------------------|-----------------|-------------|------------------|-----------------|--|
| | Betula % | Salix % | Pinus % | AP % | Gramineae % | Cyperaceae % | Artemisia % | Thalictrum % | andere % | NAP % | IP % | Menyanthes % | Batrachium % | andere % | Selaginella % | Pediastrum % | Remanentie % |
| GR 15.38 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1010 | 10 | 5 | 9 | 25 | 36 | 33 | - | 3 | 4 2% Armeria | 75 | 150 | - | 4 | 0,5 | 1 | 80 | 3 Alnus, 1 Picea, 3 Sphagnum |
| 1012 | 17 | - | 10 | 27 | 30 | 37 | 3 | 3 | - | 73 | 30 | - | 8 | - | - | 100 | 1 Picea |
| 113 | 5 | 5 | 4 | 14 | 39 | 32 | 1 | 3 | 13 10% Armeria | 86 | 100 | - | - | 1 | 1 | 31 | 1 Sphagnum |
| GR 15.47 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 2 | - | 0,5 | 7,5 | 7 | 90 | - | - | 0,5 | 92,5 | 200 | - | - | 0,5 | - | 0,5 | 1 Alnus, 1 Sphagnum |
| 25 | 6 | 1,5 | 8,5 | 16 | 8,5 | 73,5 | 1,5 | - | 0,5 | 84 | 217 | - | - | 0,5 | 0,5 | 0,5 | - |
| 33 | 4 | 7 | 4 | 15 | 10 | 74 | - | - | 0,5 | 85 | 169 | - | 1 | 1 | 0,5 | 10 | 3 Alnus, 1 Campanula 1 Sphagnum |
| 35 | 4 | 1 | 1 | 7 | 21 | 66 | 1,5 | 1 | 4 | 93 | 184 | - | - | 0,5 | - | 2 | - |
| GR 15.48 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 43 | 1 | - | 2 | 3 | 13,5 | 79,5 | 0,5 | 1 | 2,5 | 97 | 201 | 1,5 | 1 | - | 0,5 | 13 | 1 Alnus, 1 Urtica |
| 44 | 0,5 | - | 3 | 4 | 8 | 87 | - | - | 1,5 | 96 | 151 | 2 | - | 0,5 | - | 5 | - |
| 45 a | 1 | - | 1 | 2 | 9 | 85 | - | - | 4 | 98 | 120 | 1 | 2 | - | - | 3 | - |
| 45 b | 2 | - | - | 2 | 7 | 88,5 | 0,5 | - | 2,5 | 98 | 140 | 7 | - | 0,5 | - | 0,5 | - |
| 48 | 7 | 1 | 7,5 | 16 | 12 | 70,5 | - | 0,5 | 1 | 84 | 164 | 14 | - | 3 | - | 14 | 2 Alnus, 2 Picea, 1 Corylus, 1 Sphagnum |

a : aantal % : P = 100 %

minimum aantal van 150 korrels niet bereikt. Rekening houdend met het zeer klein aantal soorten, waaruit de pollensom is samengesteld, mag men aannemen dat de percentages beneden 150, ook nog representatief zijn voor de monsters 113, 45a en 45b. Alleen voor monster 1012 is de som (30) te laag. Toch blijkt het spectrum zeer aanvaardbaar tussen 1010 en 113 te passen.

De laatste kolom van de tabel draagt de hoofding "remaniatie". Zoals verder bij de ekologische en kronostratigrafische interpretatie zal worden opgemaakt, betreft het hier taxa die niet in het kader thuishoren. Dit geldt althans volledig voor Corylus, Ulmus en Carpinus. Meer betwistbaar is de klassering van Alnus, Picea en Sphagnum. De Picea-korrels zijn steeds in gebroken vorm. Sommige Alnus-soorten komen in subarktische omstandigheden voor. Het aantal korrels en de frekwentie is hier echter te verwaarlozen. Dit geldt ook voor Sphagnum. Merken we tenslotte op dat de remaniatie zich vooral voordoet (18 korrels op 24) in slechts drie monsters : 1010, 33 en 48.

334.3. Interpretatie

De algemene morfologische omstandigheden van deze afzettingen vinden we weerspiegeld in de akwatische flora : typische elementen van zeer koud water (uitgezonderd Menyanthes : zie verder) en meestal niet zeer veel Pediastrum, wat op open en ondiep water wijst.

De koude tot zeer koude omstandigheden worden bevestigd door het kleine aantal boompollen (AP) uitsluitend afkomstig van Betula, Pinus en Salix. Volgens hun kleine afmetingen zijn de Betula-korrels vermoedelijk afkomstig van de thans sub-arktische en arktische Betula nana. De grootste moeilijkheid bij de beoordeling van de dichtheid van de begroeiing bij deze koude pollenspectra betreft het aandeel van Pinus. Het stuifmeel van Pinus kan immers zeer ver vervoerd worden waardoor het in totaal boomloze gebieden nog een belangrijk aandeel van de pollensom kan uitmaken. Een tweede probleem ligt bij de remaniatie. De arktische vegetatie biedt slechts gedurende een beperkte tijd van het jaar bescherming aan de bodem. Hierdoor heeft ook in gesloten depressies inspoeling van terrigeen materiaal plaats. Met dit materiaal komt allochtoon pollen in de plassen terecht. In algemene termen kan men stellen dat hoe minder organisch materiaal het sediment

bevat, hoe groter de kans op remaniatie is.

De spectra 1010, 113, 25, 33 en 48 hebben een AP-percentage van enige betekenis (>15 %). In tegenstelling met de niveaus 35, 43, 44, 45a en 45b gaat het telkens om organisch-arme sedimenten. Niet toevallig dus behoren hiertoe ook de drie spectra met grote remaniatie : 1010, 33 en 48. Aangezien echter in al de gevallen de hoge percentages van Pinus (eventueel ver transport) met deze van Betula (vooral lokale oorsprong) samengaan mag toch niet worden uitgesloten dat deze niveaus de meest gunstige omstandigheden vertegenwoordigen.

Het enig voorkomen van niet zuiver arktische pollen betreft dit van Menyanthes in de monsters van GB 15.48. We vinden deze plant slechts terug vanaf het Laat-Weichseliaan. In Lapland groeit ze thans aan de noordrand van de taïga in open plassen. Met monster 48 geven deze niveaus de gunstigste omstandigheden te zien. Het voorkomen van Menyanthes in monster 48 laat een directe aansluiting met de bovenliggende veenlaag vermoeden (fig. 5). Belangrijk is ook de aanzienlijke dikte van deze veenlaag en het organisch karakter ervan, wat op relatief rustige morfologische omstandigheden wijst. We nemen aan dat alle monsters van GB 15.48 gevormd werden in de nog relatief gunstige omstandigheden op het einde van het Vroeg-Weichseliaan.

In GB 15.38 en GB 15.47 is de stratigrafie anders. Het betreft relatief dunne bandjes van organisch materiaal, afgewisseld met (zuiver) terrigene lagen. In GB 15.47 bestaat het terrigene materiaal vooral uit loess, terwijl in GB 15.38 veel zand is bijgemengd. Er is ook verschil in vegetatie. Deze van GB 15.38 wijst duidelijk op drogere klimaatsomstandigheden : Armeria wordt in het glaciaal als een steppe-achtig element aanzien; Artemisia, Thalictrum en het hoge percentage Gramineae wijzen in dezelfde richting.

Veenvorming onder méér steppe-achtige omstandigheden zoals in de monsters van GB 15.38 is onder te brengen in het begin van het tweede deel van het Midden-Weichseliaan (cfr. de zgn. Denekamp-Hengelo-interstadiaal). De bandjes van GB 15.47 geven een moeilijk interpreteerbaar vegetatiebeeld. Gelet op het

feit dat ze enerzijds stratigrafisch jonger zijn dan de monsters van GB 15.38 en anderzijds dat tot nu toe geen organische afzettingen na \pm 25.000 B.P. zijn gevonden, dienen de bandjes eveneens in het begin van het tweede deel van het Midden-Weichseliaan geplaatst te worden.

334.4. Gevolgen voor de litostratigrafie

Volgens het onderzoek van C. VERBRUGGEN blijken de onderste twee leem-veenlagen van de eenheid K5 tot het tweede deel van het Midden-Weichseliaan te behoren. Het oppervlakteveen K7, dat grotendeels K5 bedekt, rust dus in het grootste deel van het studiegebied rechtstreeks op pleistocene afzettingen en niet op de holocene afzetting van Calais, zoals dit reeds door J.B. AMERYCKX in 1954 werd gesteld voor de streek rond Dudzele. De afzetting van Calais kan echter wel vertegenwoordigd zijn door de eenheid K6, in het noordwesten en westen van het studiegebied. In dit geval moet de Calais-transgressie slechts van zeer geringe betekenis zijn geweest voor het gebied.

De vegetatie van de monsters van GB 15.48 zou wijzen op de nog relatief warmere omstandigheden tijdens het einde van het Vroeg-Weichseliaan. In het bijzonder stemt dit overeen met de plaats van monster 48 dat tot K4 behoort en dus genetisch ouder is dan de monsters van K5.

33.5. KENMERKEN VAN DE GRONDSOORT VAN DE KWARTAIRE EENHEDEN

335.1. Toelichting

Uit het Kwartair werden 412 monsters onderzocht waarmee 8 eenheden werden gekenmerkt : K1, K2,1, K3,1+3, K4,1, K5,1, K5,2, K7 en K8,1 (tab. 4). Dezelfde opmerkingen als voor de ondiepe tertiaire eenheden zijn van toepassing (zie 3234.1.).

Voor de eenheden K5,1 en K4,1 wijkt de som zand + leem + klei met respektievelijk 103,3 en 102 % tezeer af van 100 %. Voor de frakties leem, IIa, klei en $<20 \mu$ m worden daarom de waarden van \bar{x} en s van de overeenstemmende zandfractie meegedeeld.

Tabel 4 - Kenmerken van de grondsoort van de kwartaire eenheden
 - Characteristics of the soil of the Quaternary units

| eenheid | aantal monsters uit boringen | | KA % TM | | | | OM % TM | | | | Ip | | | | grint >2000 µm % TM | | | | zand 2000-60 µm % ZLK | | | | leem 60-2 µm % ZLK | | | | | | | | | |
|--------------------------|------------------------------|----|-------------------------|-------------------|------------------|------|------------------------|----|------------------|------------------|-----------------|------|----|-------------------|------------------------|------|-----|-----------------|--------------------------|------|------|------|-----------------------|------|------|------|------|-----|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | n | x̄ | s | max. | min. | n | x̄ | s | max. | min. | n | x̄ | s | max. | min. | n | x̄ | s | max. | min. | n | x̄ | s | max. | min. | | | | | | | |
| Afz. v. Duinkerke K8,1 | 47 | 11 | 47 | 6,7 | 3,0 | 12,2 | 2,0 | 47 | 2,1 | 2,2 | 8,3 | 0,0 | | | | | | | | | 47 | 95,0 | 4,8 | 99,3 | 88,0 | 32 | 3,9 | 4,3 | 9,5 | 0,4 | | |
| Oppervlakteveen K7 | 13 | 12 | 8 | 3,8 | 3,0 | 8,1 | 0,5 | 13 | 86,5 | 11,7 | 97,5 | 54,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Afz. v. Eeklo K5,2 | 83 | 38 | 83 | 3,8 | 3,4 | 13,1 | 0,2 | 83 | 0,9 | 1,1 | 4,6 | 0,0 | 27 | 2,2 ¹ | 2,8 | 12,9 | 0,3 | 83 | 0,0 | 0,1 | 0,7 | 0,0 | 83 | 89,1 | 5,4 | 97,5 | 69,0 | 51 | 8,7 ² | 3,4 ² | 23,0 ² | 1,5 ² |
| K5,1 | 61 | 26 | 61 | 12,4 | 5,9 | 36,8 | 1,3 | 61 | 2,4 | 2,6 | 15,7 | 0,0 | 30 | 7,2 | 6,4 | 34,7 | 0,7 | 61 | 0,0 | 0,1 | 0,7 | 0,0 | 61 | 43,9 | 24,3 | 85,3 | 9,1 | 54 | 52,3 ³ | 22,1 | 83,3 ³ | 12,3 |
| Afz. v. Damme K4,1 | 55 | 25 | 55 | 6,6 | 3,9 | 17,9 | 0,0 | 55 | 0,6 | 0,9 | 4,9 | 0,0 | - | | | | | 55 | 0,3 | 0,5 | 1,4 | 0,0 | 55 | 93,2 | 3,5 | 98,4 | 83,5 | 18 | 6,6 ⁴ | 3,0 | 12,5 ⁴ | 1,4 |
| Afz. v. Zeebrugge K3,1+3 | 53 | 25 | 49 | 13,0 | 7,7 | 38,5 | 3,2 | 53 | 0,4 | 0,3 | 1,5 | 0,0 | - | | | | | 25 | 6,6 ⁵ | 7,9 | 37,2 | 1,0 | 53 | 96,5 | 2,1 | 99,5 | 90,2 | 18 | 2,5 | 2,1 | 7,5 | 0,3 |
| Afz. v. Moerkerke K2,1 | 82 | 30 | 82 | 6,7 | 2,3 | 33,3 | 3,1 | 82 | 0,4 | 0,3 | 0,9 | 0,0 | - | | | | | 82 | 0,2 | 0,5 | 3,3 | 0,0 | 82 | 96,4 | 1,9 | 99,1 | 94,1 | 24 | 2,8 | 1,7 | 9,5 | 0,2 |
| Afz. v. Kaprijke K1 | 17 | 11 | 15 | 21,6 | 15,0 | 52,2 | 3,1 | 17 | 0,5 | 0,3 | 1,3 | 0,1 | - | | | | | 12 ⁶ | 16,5 | 18,2 | 63,3 | 1,9 | 17 | 95,9 | 2,9 | 99,0 | 87,5 | 8 | 2,8 | 1,5 | 4,8 | 0,4 |
| | | | IIa 20-2 µm % ZLK | | | | klei <2 µm % ZLK | | | | <20 µm % ZLK | | | | Mz † | | | | σ _I ‡ | | | | | | | | | | | | | |
| K8,1 | | | 32 | 0,8 | 0,7 | 3,0 | 0,0 | 32 | 1,4 | 1,7 | 4,5 | 0,0 | 32 | 2,2 | 2,5 | 6,1 | 0,1 | 47 | 2,9 | 0,3 | 3,3 | 2,5 | 46 | 0,5 | 0,3 | 0,9 | 0,3 | | | | | |
| K7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K5,2 | | | 51 | 2,1 ² | 1,2 ² | 8,4 | 0,4 | 51 | 2,2 ² | 1,4 ² | 8,0 | 0,0 | 51 | 4,3 ² | 1,9 ² | 16,0 | 1,5 | 83 | 3,0 | 0,2 | 3,9 | 2,6 | 83 | 0,9 | 0,4 | 2,0 | 0,4 | | | | | |
| K5,1 | | | 54 | 14,0 ³ | 6,8 | 37,0 | 3,5 | 54 | 7,1 ³ | 4,2 | 28,0 | 0,0 | 54 | 21,1 ³ | 8,9 | 50,0 | 8,5 | 61 | 4,6 | 0,9 | 6,5 | 3,0 | 61 | 2,1 | 0,7 | 4,2 | 1,3 | | | | | |
| K4,1 | | | 18 | 2,5 ⁴ | 1,5 | 4,9 | 0,3 | 18 | 2,2 ⁴ | 1,8 | 7,0 | 0,7 | 18 | 4,7 ⁴ | 2,6 | 11,0 | 1,0 | 55 | 2,6 | 0,1 | 2,9 | 2,3 | 55 | 0,7 | 0,4 | 2,1 | 0,3 | | | | | |
| K3,1+3 | | | 18 | 0,9 | 1,0 | 3,6 | 0,1 | 18 | 1,0 | 0,4 | 1,7 | 0,3 | 18 | 1,8 | 1,4 | 5,3 | 0,6 | 53 | 2,2 | 0,2 | 2,7 | 1,9 | 53 | 0,7 | 0,2 | 1,4 | 0,3 | | | | | |
| K2,1 | | | 24 | 0,9 | 0,6 | 2,4 | 0,2 | 24 | 1,2 | 0,6 | 2,1 | 0,1 | 24 | 2,1 | 1,0 | 3,8 | 0,8 | 82 | 2,6 | 0,2 | 2,8 | 2,1 | 82 | 0,5 | 0,2 | 1,5 | 0,3 | | | | | |
| K1 | | | 8 | 1,0 | 0,7 | 2,5 | 0,3 | 8 | 1,5 | 0,6 | 8,0 | 0,7 | 8 | 2,5 | 1,1 | 10,5 | 0,9 | 17 | 2,1 | 0,4 | 2,7 | 1,4 | 17 | 0,9 | 0,3 | 1,6 | 0,4 | | | | | |

n = aantal analyses; x̄ = gemiddelde; s = standaardafwijking

KA = totaal kalkgehalte; OM = totaal humusgehalte; Ip = plasticiteitsindex; Mz = grafisch gemiddelde; σ_I = globale grafische standaardafwijking

TM = totaal monster = 100%; ZLK = zand + leem + klei - org. mat. <2000 µm = 100%; % = massapercent

1 : voor zand = 84,8 ± 4,7%; 2 : x̄ is geïnterpoleerd, s vervangen door variatiecoëfficiënt; 3 : voor zand = 40,6 ± 22,7; 4 : voor zand = 91,3 ± 4,1

5 : bestaat uit silex e.a. = 0,8 ± 1,8 en schelpen = 5,9 ± 6,5; 6 : bestaat uit silex e.a. = 8,6 ± 16,9 en schelpen = 7,8 ± 7,9

Voor de eenheid K5,2 diende een afwijkende berekening te worden gemaakt. De zandfractie berekend over 83 monsters gaf $89,1 \pm 5,4$ %. Dit sluit in dat voor ongeveer de ene helft van de monsters de zandsom groter is en voor de andere helft kleiner is dan 90 %. Vermits het vaak gebruikelijk is de Ip en de frakties kleiner dan zand niet te bepalen wanneer deze laatste groter is dan 90 % verkregen we een te vertekend beeld omdat de gemiddelden aldus uit twee verschillende families gegevens werden berekend. Meer representatieve gemiddelden voor de frakties leem, IIa, klei en $<20 \mu\text{m}$ werden bekomen door interpolatie tussen de gemiddelden van de twee families. De standaardafwijking werd hierbij vervangen door de gemiddelde variatiecoëfficiënt. Voor de Ip kon deze berekening evenwel niet worden doorgevoerd.

335.2. Bespreking

De eenheden K1 en K3,1+3 vertonen, op de hogere hoeveelheid grintelementen en kalkinhoud van K1 na, vrij gelijklopende kenmerken. De hoge waarde van het grint in K1 dient echter te worden gerelativeerd omdat het gemiddelde is overtrokken door een maximumwaarde van 63,3 %. De grote standaardafwijking (18,2 %) kan dit bevestigen. Wel blijkt dat het grint van K3 overwegend uit schelpen bestaat terwijl dat van K1 ongeveer evenveel schelpen als de som silex + zandsteen omvat.

De zeer zandige eenheden K2,1 en K4,1 hebben bijna dezelfde kenmerken. Wel bevat K4,1 wat meer klei en vooral meer leem (voor K4,1 : $6,6 \pm 3,0$ %; voor K2,1 : $2,8 \pm 1,7$ %). De hogere leeminhoud van K4,1 is te wijten aan monsters van meer leemhoudende lenzen. Dit blijkt ook uit haar minimum zandfractie van 83,5 % tegenover 94,1 % voor K2,1. Ook de minder goede sortering van K4,1 wordt hierdoor verklaart. Merken we nog op dat de grafische gemiddelden met standaardafwijkingen van beide eenheden kwasi identiek zijn.

De lemige eenheden K5,1 van K5 zijn als vrij heterogeen te bestempelen. Dit wordt gestaafd door de min of meer grote standaardafwijkingen op de gemiddelde zand-, leem- en kleifractie.

Het kalkgehalte, de humusinhoud en de plasticiteitsindex blijken zeer wisselvallig te zijn. De zandige eenheden K5,2 zijn daarentegen veel eenvormiger. Opmerkelijk is het lage kalkgehalte van K5,2 (3,8 % \pm 3,4 %) in vergelijking tot de relatief hoge waarde van K5,1 (12,4 % \pm 5,9 %) en de bijna totale afwezigheid van grintelementen in beide eenheden.

Het oppervlakteveen K7 blijkt met 86,5 % \pm 11,7 % humus gemiddeld uit zeer zuiver veen te bestaan.

De kreekzanden K8,1 van de afzetting van Duinkerke zijn gemiddeld zeer zandig, maar bevatten in tegenstelling tot K4,1 en K2,1 vrij wat humus (2,1 % \pm 2,2 %). Voor het overige heeft K8,1 nagenoeg dezelfde kenmerken als K2,1 alhoewel K8,1 iets fijner is ($M_z = 2,9 \phi$, terwijl $2,6 \phi$ voor K2,1).

33.6. KORRELATIE MET DE KWARTAIRE EENHEDEN IN DE OMSTREKEN

Rekening houdend met de litologie, de opeenvolging en de geometrie van de eenheden onder het oppervlakteveen en met de kronostratigrafische positie van K4 en K5 kan met grote waarschijnlijkheid een korrelatie worden gelegd met de door G. DE MOOR en I. HEYSE (1974) gedefinieerde informele litostratigrafische eenheden in een profiel tussen Damme en Moerkerke. Men verkrijgt dan het volgende verband :

- K5 : afzetting van Eeklo
- K4 : afzetting van Damme
- K3 : afzetting van Damme, zone van Platheule
- K2 : afzetting van Moerkerke
- K1 : afzetting van Kaprijke

Volgens G. DE MOOR & I. HEYSE (1974) stammen de afzettingen van Kaprijke en van Moerbeke uit het Eemiaan en de afzetting van Damme uit het begin van het Weichseliaan. Voor de afzetting van Eeklo geldt een Midden-Weichseliaanouderdom wat in elk geval overeenstemt met onze resultaten voor K5.

Omvangrijke kleiige afzettingen van het Eemiaan, zoals de afzetting van Meetkerke die ten zuiden van het studiegebied voorkomt (G. DE MOOR en I. HEYSE, 1974; G. DE MOOR en W. DE BREUC

1973), blijken te ontbreken. Sedimenten van het Laat-Weichseliaan, waaronder de afzetting van Maldegem (G. DE MOOR en I. HEYSE, 1974) zouden eventueel kunnen optreden in de bovenste zandige zones van K5. Gebrek aan argumenten laat evenwel een dergelijke korrelatie niet toe.

De kwartaire sekwentie in het studiegebied beantwoordt aan de toestand in westelijk Zeeuws-Vlaanderen waar onder het oppervlakteveen eveneens een belangrijk pakket Weichseliaan (Afzetting van Twente) op sedimenten van het Eemiaan (Afzetting van Schouwen) wordt gevonden (F. VAN RUMMELEN, 1965).

Met het profiel tussen Varsenare en Blankenberge (W. DE BREUCK et al., 1969) bestaat blijkbaar minder overeenkomst en zeker voor wat de afzettingen onmiddellijk onder het oppervlakteveen betreft. De afzetting van Zuienkerke die geometrisch met K5 korrespondeert bevat opmerkelijk veel mariene schelpen en omvat naast een onderste zandig faciës een kleiig topfaciës, dat weliswaar van meer plaatselijk belang is, maar bijvoorbeeld ten noorden van Zuienkerke tot Blankenberge dikten tot 3 m haalt. De daaronder liggende afzetting van Houtave, van Wenduine (grinthoudend) en van Uitkerke kan men korreleren respektievelijk met K4, K3 en K2.

Ook H. VANNIEUWENBORG (1973) vermeldt 2 à 3 m grijsblauwe, kleiige leem tot lemige klei onder het oppervlakteveen, ongeveer 1 km ten westen van het studiegebied. Daaronder tot circa -6 à -7 m zou de afzetting van Zuienkerke nog bestaan uit 1 à 2 m nagenoeg kalkloos fijn zand tot zandhoudende leem (mediaan : 2,8-3,1 ϕ) met slechts in een onderste zone enkel schelpfragmenten. Tot een peil -11 à -12 m volgt de afzetting van Houtave, die met fijn tot middelmatig zand (mediaan 2,56 ϕ) merkelijk grover is en ook iets meer schelpen bevat. Een duidelijke ontwikkeling van de afzetting van Wenduine komt evenwel niet voor en de daaronderliggende afzetting van Uitkerke vertoont vrij veel gelijkens met de afzetting van Houtave.

De gelijkens van K4, K5 en K6 met respektievelijk de afzetting van Houtave, het zandig en het kleiig faciës van de afzetting van Zuienkerke, zoals beschreven door H. VANNIEUWENBORG

(1973), is treffend. Uit de granulometrie blijkt bovendien dat ook K5,2 (zand) bijna geen kalk bevat en gekenmerkt wordt door een grafisch gemiddelde van $3,01 \pm 0,23 \phi$ tegenover $2,60 \pm 0,14 \phi$ voor K4. De geringe afstand tot het studiegebied in acht genomen maakt deze korrelatie dan ook zeer waarschijnlijk.

Op haar beurt is het kleiige faciës van de afzetting van Zuienkerke beschreven door W. DE BREUCK et al. (1969) te korreleren met K6 terwijl het zandig faciës moet aanzien worden als een afzonderlijke eenheid die geen verband houdt met K5 maar waarschijnlijk als Calais-afzetting dient te worden beschouwd. De Calais-afzettingen die in het studiegebied weinig ontwikkeld zijn, winnen dus in westelijke richting geleidelijk aan belang.

Vermits onze resultaten vooral goed passen met het detailonderzoek van G. DE MOOR & I. HEYSE (1974) geven we er de voorkeur aan de genoemde benamingen te behouden met uitzondering van K3. Aangezien de grinthoudende eenheid K3 in het studiegebied voorkomt als een scherp afgelijnde en goed ontwikkelde litologische eenheid, die in de omgeving van Zeebrugge een vrij grote dikte van 3 tot 6,5 m bereikt (DB 6, DB 9, DB 10, fig. 5) verkiezen we de benaming "afzetting van Zeebrugge" i.p.v. de zone van Platheule uit de afzetting van Damme. Uiteindelijk verkrijgen we voor wat het Kwartair in het studiegebied betreft volgend schema :

| | | |
|----------------|-------------------------|-----------------------------|
| Holoceen : | afzetting van Duinkerke | : K8 |
| | oppervlakteveen | : K7 |
| | afzetting van Calais | : K6 |
| Pleistoceen : | | |
| Weichseliaan : | Midden-Weichseliaan | : afzetting van Eeklo : K5 |
| | Vroeg-Weichseliaan | : afzetting van Damme : K4 |
| | | afzetting van Zeebrugge: K3 |
| Eemiaan : | | afzetting van Moerkerke: K2 |
| | | afzetting van Kaprijke : K1 |

4. DIEPSONDERINGEN

4.1. ALGEMEENHEDEN EN BEGRIPPEN

4.1.1. DE BELANGRIJKSTE KONUSTYPEN IN GEBRUIK IN BELGIE

De statische diepsondeertechniek zoals die tegenwoordig wereldwijd wordt toegepast vindt zijn oorsprong in Nederland toen in 1930 BARENTSEN een handsondeerapparaat had ontwikkeld waarmee de puntweerstand kon worden opgemeten. Een zwaardere konus volgens hetzelfde type werd uitgewerkt door het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft. Deze "oude Delftse konus" is gekenmerkt door een kegelvormige punt met een tophoek van 60° en een geprojecteerd oppervlak van 10 cm^2 . Beide kenmerken worden heden ten dage als standaard aangeprezen door de Subcommittee on Standardization of Penetration Testing in Europe (1977). De oude Delftse konus wordt onder gewijzigde vorm en gekend als de konus met sluitmoer (fig. 7) nog regelmatig voor routine onderzoek in België gebruikt. Het grote nadeel ervan is dat gronddeeltjes tussen de sluitmoer en de binnenstang kunnen dringen, wat leidt tot een supplementaire inwendige wrijving en zo tot te hoge konusweerstand.

Om de indringing van gronddeeltjes te beperken werd in 1945 de mantelkonus (fig. 8) ontwikkeld die zich onderscheidt van de vorige door een op het basisvlak van de punt aangebracht konisch lichaam "de mantel".

Omstreeks 1950 werd door H. BEGEMANN de kleefmantelkonus (fig. 9) ontworpen die een uitwerking van de mantelkonus is. Boven de mantel van de konus is hiertoe een cilindertje van 150 cm^2 aangebracht; hiermee kan men de "plaatselijk kleef" meten. Het oorspronkelijk doel ervan bestond erin de plaatselijke kleef van kleigronden nauwkeuriger te bepalen inplaats van die af te leiden uit de totaalkleef, hetgeen volgens BEGEMANN een algemeen onbruikbaar gegeven is (H. BEGEMANN, 1953, 1954, 1965, 1969a, 1969b, 1977). Om meet-technische en konstruktieve redenen vertoont de kleefmantelkonus in de buurt van de kleefmantel insnoeringen die hun invloed op de gemeten weerstanden doen gelden. Vooral in

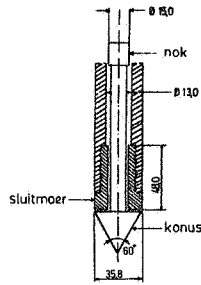


Fig. 7 - Gewone konus met sluitmoer
- Simple cone penetrometer tip

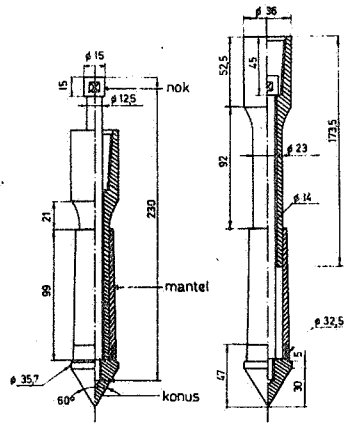


Fig. 8 - Mantelkonus
- Mantle cone penetrometer tip

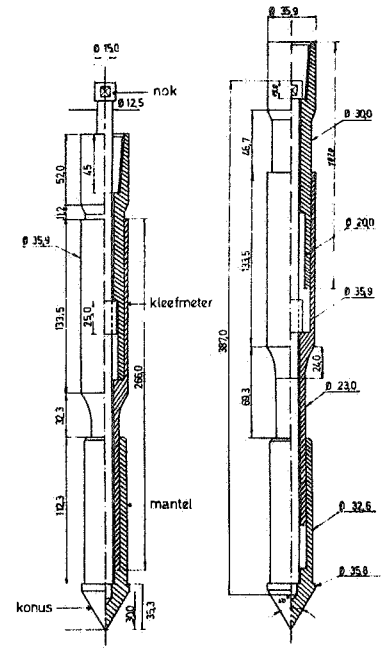


Fig. 9 - Kleefmantelkonus
- Friction sleeve penetrometer tip

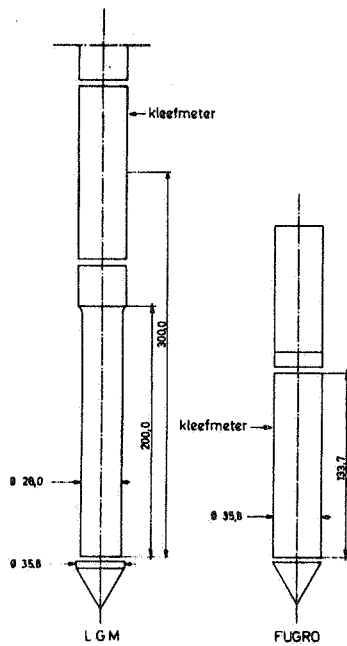


Fig. 10 - Elektrische konussen
- Electric penetrometer tips

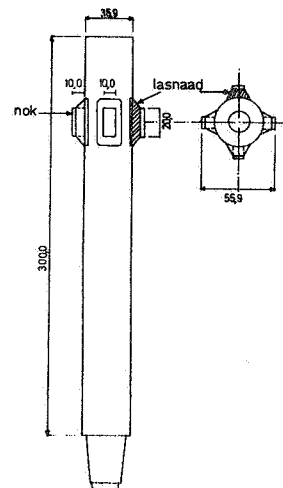


Fig. 11 - Nokkenkluëfvanger
- Cam friction reducer

zanden (H. BEGEMANN, 1969a, 1977; J. DE RUITER, 1971) en in vaste kleien (R. CARPENTIER, 1976; E. DE BEER, 1977) is geweten dat de geregistreerde plaatselijke kleef in belangrijke mate kan overdreven zijn. Bovendien werken er op de mantel eveneens onkontroleerbare wrijvingskrachten, waardoor vooral in samenhangende gronden te hoge konusweerstand kunnen worden opgemeten (J. DE RUITER, 1971; L. PAREZ, 1974; R. CARPENTIER, 1976; E. DE BEER, 1974, 1977; J. JEZEQUEL, 1969; J. NUYENS, 1973).

Daar op vele plaatsen in België de ondiepe ondergrond bestaat uit tertiaire vaste kleilagen, waarin vaak paalfunderingen zijn opgehouden, wordt het gebruik van de mantelkonus en de kleefmantelkonus er afgeraden (R. CARPENTIER, 1976; E. DE BEER, 1977).

De beschreven konussen zijn alle van mechanische aard waarmee diskontinu gesondeerd wordt, d.w.z. waarbij beurtelings op de binnenstangen en op de buizen wordt gedrukt. Door het werken met mechanische onderdelen die onderling ten opzichte van elkaar bewegen (konusdelen, stangen en buizen), is het duidelijk dat er onkontroleerbare inwendige wrijvingskrachten optreden. Deze kunnen soms tot aanzienlijke fouten leiden, zeker wanneer gronddeeltjes tussen de onderdelen zijn binnengedrongen. Verder worden de drukken meestal opgemeten met oliedrukmanometers, die zelfs een onnauwkeurigheid inhouden van 1 % van de maximale schaalaflezing. Doordat de drukken gewoonlijk visueel worden gemeten speelt ook de menselijke faktor als foutenbron een voorname rol.

Aan de onoverkomelijkheden van de mechanische sondeertechniek is grotendeels tegemoetgekomen door de elektrische konus die op het einde van de jaren zestig operationeel geworden is. Bij de elektrische konus worden de weerstanden opgemeten in de konus zelf, gewoonlijk door middel van rekstrookjes. Ook hier onderscheidt men verschillende types onder meer de ingesnoerde (L.G.M.) en de gladde (Fugro) elektrische konus (fig. 10) al of niet uitgerust met een kleefmantel.

In zijn uiteenzetting maakt J. DE RUITER (1971) een uitgebreid overzicht van de voor- en nadelen van de elektrische

konus. Afgezien van een hoger rendement kwa uitvoering bekomt men een meer gedetailleerd beeld van de ondergrond doordat er kontinu wordt gesondeerd en de konusweerstand en de plaatselijke kleef afzonderlijk om de 2 cm worden geregistreerd. Door het elektronisch systeem zijn de metingen preciezer en worden de menselijke faktor en de parasitaire wrijvingskrachten, eigen aan de mechanische sondeertechniek en de specifieke konustypen, geëlimineerd.

De elektrische konus laat ook inbouw van een hellingmeter en recent ook van een waterspanningsmeter toe. De hellingmeter verschaft waardevolle inlichtingen omtrent de afwijking van de konus t.o.v. de vertikale. Gevallen zijn bekend waarbij de afwijking zo groot was dat men tussen 15 à 20 m diepte reeds horizontaal sondeerde. Onderzoekingen in dit verband hebben uitgewezen dat het grootste deel van de diepsonderingen enige mate van afwijking t.o.v. de vertikale ondergaan en dat dit verschijnsel een van de voornaamste foutenbronnen vormt, in het bijzonder bij diepe sonderingen.

Anderzijds behouden de mechanische sonderingen nog voordelen op de elektrische. Hun uitrusting is eenvoudiger, minder kwetsbaar en aanzienlijk goedkoper. Een goede installatieruimte, nodig voor elektrische registratieapparatuur, is niet vereist. Ook is het verlies van een mechanische konus door breuk, wat kan voorkomen bij het stoten op hindernissen in de grond, veel beperkter. Hoewel men tegenwoordig experimenteert met elektrische konussen met een regelbare gevoeligheid hebben mechanische sonderingen t.o.v. de klassieke elektrische nog het voordeel dat men voor ieder gamma weerstanden aangepaste manometers kan inschakelen. Met gevoelige manometers kan men aldus in de lage weerstanden juister registreren. Al deze redenen maken dat, alhoewel elektrische sonderingen de markt meer en meer veroveren, de mechanische diepsonderingen nog lang niet hebben afgedaan.

41.2. PRINCIEP VAN EEN MECHANISCHE DIEPSONDERING EN DEFINITIES

De gebruikelijke manier van sonderen met mechanische konussen bestaat erin diskontinu te meten in opeenvolgende stappen van 200 mm waarin telkens een aantal lezingen worden verricht.

De registratie gebeurt meestal met twee manometers : één van 100 bar voor de lage drukken en één van 600 bar voor de hoge. Stijgt de uitwijking boven 100 bar dan wordt de eerste manometer door een ventiel automatisch afgesloten. De konventionele indringings-snelheid waarbij gemeten worden bedraagt 20 mm/sec met een toegelaten tolerantie van 5 mm/sec.

Zo'n meetstap wordt aangevat door aanvankelijk alleen op de binnenstangen te drukken waardoor de konuspunt in beweging komt. Voor de oude Delftse konus en de mantelkonus bedraagt de vrije slag van de konus respektievelijk ongeveer 120 en 80 mm. Bij de kleefmantelkonus is de vrije slag verdeeld in 2 maal 35 mm. In de eerste 35 mm beweegt alleen de konuspunt en registreert men de weerstand die de punt in de grond ondervindt. Als lezing noteert men de hoogste waarde $P_{1,1}$ in het interval. Daarmee berekent men de kracht per oppervlakte-eenheid inwerkend op het basisvlak van de punt : "de konusweerstand".

Na 35 mm sleurt een ingebouwde nok ook de kleefmeter mee waardoor men een tweede lezing $P_{1,2}$ dient te verrichten om de som van de weerstand op de konuspunt en de kleefmeter te kennen. Uit het verschil met de eerste lezing kan men de wrijvingskracht per oppervlakte-eenheid op de kleefmeter "de plaatselijke kleef" bepalen.

De meetstap wordt afgewerkt door op de buizen te drukken. Nadat de konusdelen samengeschoven zijn leest men in de laatste 120 à 130 mm de som van de weerstand op de punt en de buizen $P_{1,3}$. Daarmee becijfert men de totale kracht. Tenslotte berekent men uit het verschil van de derde en eerste lezing de totale zijdelingse wrijving. Dit is de wrijvingskracht op de totale zijdelingse oppervlakte van de in de grond gedrukte buizen.

Door de plaatselijke kleef in percent van de konusweerstand uit te drukken verkrijgt men het onbenoemde "wrijvingsgetal".

41.3. UITVOERING VAN DE METING EN FOUTENBRONNEN

Voor het terreinwerk beschikten we over een hydraulisch 100 kN statisch sondeerapparaat van de Goudsche Machinefabriek (Nederland) (fig. 1). Om de nauwkeurigheid van de lezing te vergroten in de kleine en middelbare drukken hebben we de manometer van 100 bar vervangen door twee meters : één van 60 bar en één van 160 bar.

Aanvankelijk werd het toestel op een paar houtblokken zo goed mogelijk vertikaal rechtgesteld. Aangezien het eigen gewicht slechts 3 kN bedraagt, diende het toestel door zes grondankers aan de bodem te worden verankerd. Het is van essentieel belang dat de geleidekolommen vertikaal staan opdat de sondering zo recht mogelijk zou gebeuren. Om de eerste bewegingen van het apparaat en de grondankers uit te schakelen werd de belasting vooraf even opgevoerd.

Vóór de aanvang van elke sondering werden de stangen nagezien op hun beweeglijkheid in de buizen. Dit moet nagenoeg wrijvingsloos gebeuren en eventuele roest of vuil werd verwijderd. Nadien werden stangen en buizen met een lichte olie ingesmeerd. Ook de kleefmantelkonus werd vooraf gekeurd door hem met de handen, loodrecht op de as, te onderwerpen aan een buiging. In die toestand dienen alle delen nog vlot in elkaar te schuiven. Ook de konus werd met een lichte olie ingesmeerd.

De eigenlijke meting werd in twee stappen uitgevoerd. Eerst werd gesondeerd met de konus rechtstreeks geschroefd op de buizen. Bij maximum capaciteit werd de meting onderbroken en de konus bovengehaald. Na reiniging en controle werd op de konus een kleefvanger geschroefd en het geheel terug op diepte gebracht.

Bij het bovenhalen heeft men ook de gelegenheid resten van de gesondeerde lagen te onderzoeken. Vooral een dunne krans grond, op het bovenuiteinde van de mantel en in contact met het geleidingsstuk is vrij representatief voor de diepste bereikte laag.

In deze studie werd uitsluitend gebruik gemaakt van de nokkenkleefvanger. Deze is 0,3m lang en heeft bovenaan 4 uitstekende

nokjes van elk ongeveer 100 mm^2 basisoppervlakte (fig. 11). Hij heeft tot doel de zijdelingse wrijvingsweerstand te verminderen waardoor veel dieper kan worden gesondeerd.

Een ander middel om de totale zijdelingse wrijving te verminderen en dus dieper te sonderen bestaat erin de buizen enkele meters op te halen en over en weer te bewegen. Dit werd slechts toegepast wanneer de grootste diepte met de kleefvanger was bereikt.

Onder maximum capaciteit wordt verstaan : de diepte waarop de totale zijdelingse wrijving gelijk wordt aan de maximale trekkracht van het apparaat, hier 80 kN, of waarop de konusweerstand 75 MN/m^2 bereikt. Bij hogere drukken riskeert men de konus en de stangen te vervormen. Hieruit volgt dat in zeer weerstandbiedende lagen, wanneer de konusweerstand voldoende hoog oploopt, het mogelijk is verder te sonderen zelfs wanneer de maximum drukkracht van het apparaat (100 kN) is bereikt of overschreden. Immers zolang aan beide voorwaarden samen is voldaan, kan de konus worden uitgedrukt om nadien de buizen over de "bereikte slag" bij te duwen. Dit herhaalt men tot wanneer de totale weerstand terug zakt onder de maximum drukkracht. Het is duidelijk dat men op deze manier de totale kracht niet kan meten.

In zeer weerstandbiedende lagen dient men op grote diepte rekening te houden met een aanzienlijke elastische verkorting van de totale stangenlengte en dit ten koste van de vrije slag van de konus. In de veronderstelling van één volle staaf van 31 m lengte (31 m stangen) en een puntweerstand van 45 MN/m^2 bedraagt de elastische samendrukking 35,2 mm. Daardoor blijft er van de totale vrije slag maar $72,2 \text{ mm} - 35,2 \text{ mm} = 37,0 \text{ mm}$ meer over en kan men de konus wel doch de kleefmeter niet meer uitdrukken. In de praktijk wordt deze toestand nog vlugger bereikt enerzijds omdat de voegen, die niet volkomen vlak zijn, veel meer inkrimpen en anderzijds omdat de buizen niet steeds nauwkeurig op elkaar aansluiten.

buizen en stangen (200 kN kwaliteit)

- gemiddeld gewicht (massa) buizen : 75,61 N (7,71 kg)
- gemiddeld gewicht (massa) stangen : 13,44 N (1,37 kg)
- gemiddelde diameter buizen : 36,0 mm
- gemiddelde diameter stangen : 15,0 mm

In de gebruiksperiode van een konus was het evenwel nodig af en toe korrektes aan te brengen voor slijtage van de kleefmeter. Na 1000 m sonderen was het zijdelingse oppervlak van de kleefmeter door afslijting van de hals, afgenomen van de oorspronkelijke $0,01509 \text{ m}^2$ tot $0,01436 \text{ m}^2$.

4.2. HET METEN IN STAPPEN VAN 100 MM

42.1. INLEIDING

J. DE RUITER (1971) merkt in zijn analyse over de mechanische konussen op dat het principieel mogelijk is de meetstap te verkleinen tot 100 mm. Behalve met het handsondeerapparaat wordt in de praktijk nagenoeg nooit per 100 mm gemeten.

Gezien al onze metingen op die manier uitgevoerd werden, geven we hieronder enige toelichting over de bewegingen van de konusdelen in de grond. Ook wordt aandacht geschonken aan de korrekte formules van de weerstanden. Verder is ook nagegaan of de verkleining van de meetstap de waarde van de gemeten weerstanden beïnvloedt.

42.2. DE BEWEGINGEN VAN DE KONUSDELEN

In de toestand A_1 , bij het begin van de eerste meetstap is de konus volledig gesloten (fig. 12). Tussen A_1 en B_1 wordt op de stangen gedrukt : enkel de konuspunt beweegt en men verricht de eerste lezing $P_{1,1}$. Tussen B_1 en C_1 beweegt de kleefmeter samen met de punt : men noteert de lezing $P_{1,2}$. In tegenstelling tot de meting met een stap van 200 mm, waar de afwerking met registratie van de totale kracht over 128 mm gebeurt, wordt dit tussen C_1 en A_2 over nauwelijks 28 mm gedaan. Voor iedere stap herhaalt men dezelfde werkwijze. De gebruikelijke 200 mm meetstap

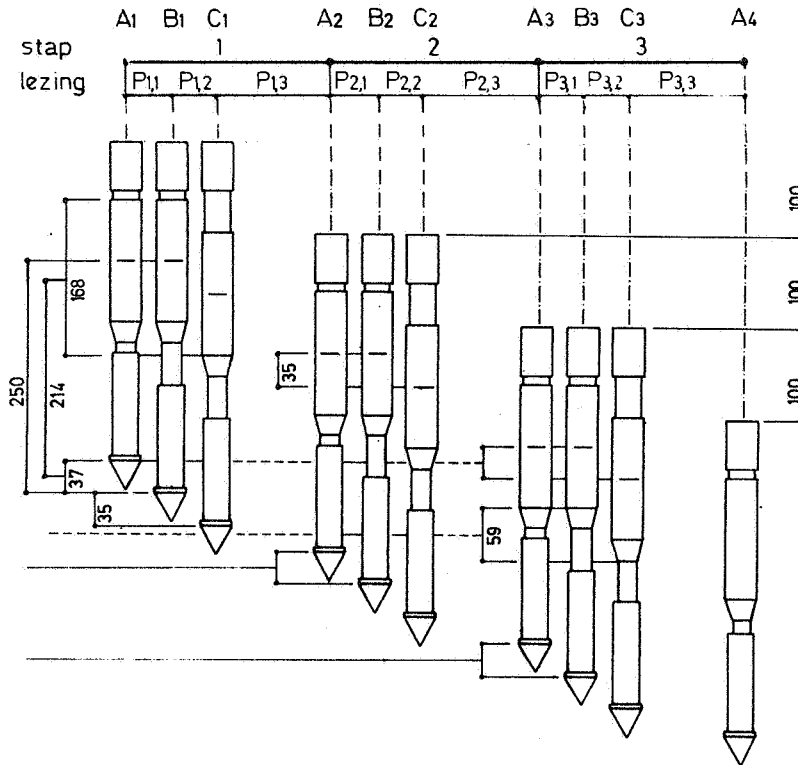


Fig. 12 - Beweging van de konusdelen van de kleefmantelkonus bij het meten in stappen van 100 mm

- Movement of the parts of the friction sleeve penetrometer tip when measuring with steps of 100 mm

| | | |
|----------|---|--|
| niveau 1 | <u>P₁₁ P₁₂ P₁₃</u> | C _{k,d} T L F _s F _{s,2} F _{s,2,m} W W _m |
| niveau 2 | <u>P₂₁ P₂₂ P₂₃</u> | C' _{k,d} T' L' |
| niveau 3 | <u>P₃₁ P₃₂ P₃₃</u> | C'' _{k,d} T'' L'' |

Fig. 13 - Verband tussen de niveaus, de aflezingen en de weerstanden
 - Relation between levels, readings and resistances

is op de figuur te zien door meetstap 2 weg te denken en van C_1 rechtstreeks naar A_3 over te gaan.

Uit fig. 12 kan nog het volgende worden afgeleid :

1. in de stand B_1 en C_1 , dus ook tijdens het meten van de som konus + plaatselijke kleef, bevindt het basisvlak van de punt zich 190 mm onder de onderrand en 250 mm onder de symmetriecirkel van het cilindrisch deel van de kleefmeter;
2. de meting van de konusweerstand geschiedt in een zone van 37 mm;
3. de meting van de plaatselijke kleef gebeurt over een zone van 168 mm;
4. de hier konisch getekende "hals" van de kleefmeter doorloopt een zone van 59 mm.

Nemen we aan dat het aangrijpingspunt van de resultante van de krachten inwerkend op het cilindrisch deel van de kleefmeter gemiddeld ligt in de oorsprong van zijn symmetriecirkel en dat de lezingen gebeuren in het midden van elke specifieke zone, dan ligt de lezing $P_{1,1}$ juist 214 mm onder de tweede ($P_{1,2}$). Het ware aangrijpingspunt ligt meestal dichterbij de konuspunt omdat men rekening moet houden met een belangrijke bijkomende weerstand op de hals van de kleefmeter. Bij aflezing van $P_{1,2}$ situeert dit punt zich bijgevolg meestal ergens tussen het middelpunt van de afgelegde weg van de symmetriecirkel en dat van de hals. Deze zone stemt hoe dan ook overeen met de plaats waar de puntweerstand werd gemeten twee stappen ervoor. Bijgevolg moet de plaatselijke kleef van de derde stap vergeleken worden met de konusweerstand van de eerste stap.

Uit de figuur blijkt eveneens dat de zone, waarin de hals van de kleefmeter zich beweegt tijdens het meten van $P_{3,2}$, gelegen is tussen de plaatsen waar de konusweerstand van de twee vorige stappen gemeten zijn. Dit laat toe de bijkomende krachten op de hals te schatten door een bepaald gedeelte van de gemiddelde konusweerstand van de beschouwde meetstappen in rekening te brengen.

42.3. BEREKENING VAN DE WEERSTANDEN EN AFGELEIDE GEGEVENS

Noemt men $(P_{1,1}, P_{1,2}, P_{1,3})$, $(P_{2,1}, P_{2,2}, P_{2,3})$ en $(P_{3,1}, P_{3,2}, P_{3,3})$ de respektievelijke stellen lezingen in bar uitgedrukt van drie opeenvolgende 100 mm meetstappen en $C_{k,d}$, $C'_{k,d}$ en $C''_{k,d}$ de daarbij horende konusweerstand (fig. 13) dan berekent men voor het niveau 1 (stap 1) de volgende gegevens.

De konusweerstand $C_{k,d}$

$$C_{k,d} = P_{1,1} \times 2 \times 0,1 + \text{kor.p} + \text{Kor.st} \quad (\text{MN/m}^2) \quad (1)$$

met 2 : korrektie voor de verhouding van de oppervlakte van de meetplunjer ($0,0020 \text{ m}^2$) en de basisoppervlakte van de konus ($0,0010 \text{ m}^2$)

kor.p = $0,00863 \text{ MN/m}^2$: korrektie voor het gewicht van de konuspunt met mantel en konusstang

kor.st = $0,01344 a_1 \text{ MN/m}^2$: korrektie voor het gewicht van het aantal stangen (a_1) rustend op de konus

(1) wordt :

$$C_{k,d} = 0,2 P_{1,1} + 0,00863 + 0,01344 a_1 \quad (\text{MN/m}^2) \quad (2)$$

De totale kracht T

$$T = P_{1,3} \times S_p \times 100 + \text{kor.k} + \text{kor.b,st} \quad (\text{kN}) \quad (3)$$

met $S_p = 0,0020 \text{ m}^2$: oppervlakte van de meetplunjer

kor.k = $0,02157 \text{ kN}$: korrektie voor het gewicht van de konus

kor.b,st = $(0,07561 + 0,01344) a_1 = 0,08905 a_1 \text{ kN}$: korrektie voor het gewicht van het aantal buizen met stangen

(3) wordt :

$$T = 0,2 P_{1,3} + 0,02157 + (0,07561 + 0,01344) a_1 \quad (\text{kN}) \quad (4)$$

De totale zijdelingse wrijving L

$$L = T - C_{k,d} \times S_k \times 1000 \quad (\text{kN}) \quad (5)$$

met $S_k = 0,0010 \text{ m}^2$: basisoppervlakte van de konus

(5) wordt :

$$L = 0,2 (P_{1,3} - P_{1,1}) + 0,02157 + 0,08905 a_1 - 0,00863 - 0,01344 a_1$$

$$L = 0,2 (P_{1,3} - P_{1,1}) + 0,01294 + 0,07561 a_1 \quad (\text{kN}) \quad (6)$$

De plaatselijke kleef F

De niet-overeenstemmende plaatselijke kleef F_s

Wordt bepaald door de eerste twee lezingen van de eerste meetstap.

$$F_s = (P_{1,2} - P_{1,1}) \times \frac{S_p}{S_{kl}} \times 0,1 + \text{kor.kl} \quad (\text{MN/m}^2) \quad (7)$$

met $S_{kl} = 0,0150 \text{ m}^3$: zijdelingse oppervlakte van de kleefmeter
 $\text{kor.kl} = 5,88 \cdot 10^{-6} \times \frac{1}{S_{kl}} \text{ MN/m}^2$: correctie voor het gewicht van de kleefmeter

(7) wordt :

$$F_s = (P_{1,2} - P_{1,1}) \times \frac{0,0020}{0,0150} \times 0,1 + \frac{5,88 \cdot 10^{-6}}{0,0150}$$

$$F_s = (P_{1,2} - P_{1,1}) \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,0150} + \frac{0,0588 \cdot 10^{-4}}{0,0150}$$

$$F_s = \frac{1}{150} [2 (P_{1,2} - P_{1,1}) + 0,0588] \quad (\text{MN/m}^2) \quad (8)$$

De overeenstemmende plaatselijke kleef F_{s,2}

Wordt bepaald door het verschil $(P_{1,2} - P_{1,1})$ van de vorige formule te vervangen door het, met het niveau 1, overeenstemmende verschil $(P_{3,2} - P_{3,1})$ dat 2 niveaus (200 mm) dieper werd verkregen.

$$F_{s,2} = \frac{1}{150} [2 (P_{3,2} - P_{3,1}) + 0,0588] \quad (\text{MN/m}^2) \quad (9)$$

De verbeterde overeenstemmende plaatselijke kleef F_{s,2,m}

Aangezien parasitaire konusweerstand op de hals van de kleefmeter belangrijk kan zijn, is de plaatselijke kleef, zoals hierboven berekend, meestal groter dan de werkelijke. Op $F_{s,2}$ kan men hiervoor een verbetering aanbrengen door een percentage van de konusweerstand van de zone, waarin de hals zich bevond tijdens de meting van $P_{3,2}$, in rekening te brengen.

Hoger werd bepaald (fig. 12) dat die zone zich bevindt tussen de meetplaatsen van de konusweerstand van de eerste twee meetstappen. Als representatieve konusweerstand kan men aldus het gemiddelde van $C_{k,d}$ en $C'_{k,d}$ nemen.

Met een werkende doorsnede van de hals van $6,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ en in het uiterste geval dat de holte volledig met grond is opgevuld en de konusweerstand onveranderd is gebleven kan men de

kracht die de hals ondervindt aangeven als volgt :

$$W_h = \frac{C_{k,d} + C'_{k,d}}{2} \times 6,02 \cdot 10^{-4} \quad (\text{MN})$$

$$= 3,01 (C_{k,d} + C'_{k,d}) \cdot 10^{-4} \quad (\text{MN}) \quad (10)$$

Om rekening te houden met het feit dat de holte niet steeds volledig is opgevuld en de konusweerstand aanzienlijk kan afnemen voeren we een koëfficiënt m in :

$$W_{h,m} = \frac{m \times 3,01}{100} (C_{k,d} + C'_{k,d}) \cdot 10^{-4} \quad (11)$$

met $0 \leq m \leq 100$

Bij $m = 100$ werkt een onveranderde gemiddelde konusweerstand op de actieve doorsnede van de hals in. In geval men ervan uitgaat dat geen of slechts een gedeelte van de gemiddelde konusweerstand op de hals inwerkt of dat de holte niet volledig is opgevuld stelt men $m < 100$.

Door de kracht op de kleefmeter met betrekking (11) te verbeteren verkrijgt men de verbeterde overeenstemmende plaatselijke kleef $F_{s,2,m}$.

$$F_{s,2,m} = F_{s,2} - \frac{W_{h,m}}{S_{k1}} \quad (12)$$

$$F_{s,2,m} = \left[2 (P_{3,2} - P_{3,1}) + 0,0588 \right] \frac{10^{-4}}{0,0150} - \frac{m \times 3,01 \times 10^{-4}}{0,0150 \times 100} \cdot (C_{k,d} + C'_{k,d})$$

$$F_{s,2,m} = \frac{1}{150} \left[2 (P_{3,2} - P_{3,1}) + 0,0588 - m \times 0,0301 \times (C_{k,d} + C'_{k,d}) \right] \quad (\text{MN/m}^2) \quad (13)$$

Het wrijvingsgetal W

Het overeenstemmende wrijvingsgetal $W = \frac{F_{s,2}}{C_{k,d}} \times 100$

Het verbeterde overeenstemmende wrijvingsgetal

$$W_m = \frac{F_{s,2,m}}{C_{k,d}} \times 100$$

Opmerkingen

1. In de formules is telkens rekening gehouden met het eigen-gewicht van de stangen, buizen en konusdelen. In de praktijk wordt dit soms ten onrechte achterwege gelaten. Volgend voorbeeld toont aan waarom. Voor 30 m stangen bedraagt de stangen-korrektie op de konusweerstand $30 \times 0,01344 = 0,4 \text{ MN/m}^2$ wat bijvoorbeeld 8% uitmaakt van een in vaste klei gemeten $C_{k,d}$ van 5 MN/m^2 . Deze correcties zijn uiteraard belangrijker naarmate de diepte groter is en de weerstanden lager zijn.
2. In de berekening van de $C_{k,d}$ werd geen rekening gehouden met wrijvingsweerstand op de mantel. PAREZ (1974) heeft proeven verricht met punten verlengd door mantels van verschillende lengten. Voor een mantel $3d$ ($d = \text{diameter van de konus}$), wat te vergelijken is met de mantel van de kleefmantelkonus, vond hij naargelang van de grondsoort, waarden die 1,15 (in zand) tot 1,40 (in vaste klei) maal groter waren dan die van een punt met een verlenging $0,33d$. Ook E. DE BEER (1974, 1977) kwam tot een gelijkaardig besluit en stelde vast dat in vaste kleien de kleefmantelkonus konusweerstand oplevert die ca. 33% groter zijn dan die bepaald met de elektrische konus of de konus met sluitmoer.
3. Niettegenstaande een afstand van slechts 70 mm tussen de aflezingen $P_{1,3}$ en $P_{1,1}$, kan men L iets nauwkeuriger berekenen met $P_{1,3}$ en $P_{2,1}$. Hierbij wordt de kleinst mogelijke afstand (ca. 30mm) tussen de aflezingen nageleefd. De waarde van L en ook van T dient men dan te associëren met het niveau 2. Hierop wordt verder in de uiteenzetting teruggekomen.
4. De niet-overeenstemmende plaatselijke kleef F_s wordt ongeveer 0,2 m boven de konusweerstand gemeten en is dus niet representatief voor het niveau 1. Ook dit wordt in de praktijk vaak over het hoofd gezien. Deze waarde dient steeds te worden vervangen door de overeenstemmende plaatselijke kleef $F_{s,2}$. Eenvoudigheidshalve zullen we in het vervolg nog slechts de termen plaatselijke kleef en (verbeterd) wrijvingsgetal gebruiken waarbij we uitsluitend de overeenstemmende waarden bedoelen.

5. In de berekening van $F_{s,2}$ wordt aangenomen dat de bijdrage van de konusweerstand in de lezing $P_{3,2}$ gelijk is aan $P_{3,1}$. Dit is niet helemaal korrek omdat de konuspunt zich tijdens de aflezing van $P_{3,2}$ reeds enkele cm dieper bevindt. De verschillen kunnen belangrijk worden vooral in dun gelaagde pakketten met uiteenlopende litologie en pakkingsdichtheid.
6. In de formule voor $F_{s,2,m}$ werd geen rekening gehouden met een eventuele wrijvingskracht op de vernauwde geleidingsstang van de kleefmeter. In zijn verbeterde formule voor de plaatselijke kleef heeft R. CARPENTIER (1976) dat wel gedaan. In vaste klei vond hij dat in het uiterste geval, d.w.z. als de holte volledig opgevuld is en de ware plaatselijke kleef ongewijzigd inwerkt, de fout slechts 13% bedroeg.

Eigen waarnemingen tonen aan dat de geleidingsstang, in tegenstelling tot de hals van de kleefmeter en de mantel van de konus, weinig onderhevig is aan sleet en beschadiging. Dit bevestigt het geringe belang van de, op de geleidingsstang, inwerkende parasitaire wrijvingskrachten.

Op de berekeningswijze van de verbeterde plaatselijke kleef door R. CARPENTIER (1976) valt nog aan te stippen dat hij, voor de bepaling van de parasitaire kracht op de hals, de konusweerstand van het 200 mm hoger gelegen niveau gebruikt. Zoals aangetoond (fig. 12) bevindt de hals zich, tijdens de meting van $P_{3,2}$, tussen de meetplaatsen van $P_{1,1}$ en $P_{2,1}$ dus op ongeveer een vijftigtal mm van $P_{1,1}$. Vooral in heterogene omstandigheden is die formule daarom minder geschikt.

7. De formule van $F_{s,2,m}$ is opgesteld om na te gaan wat er nog overblijft van de plaatselijke kleef in de verschillende grondsoorten, wanneer een bepaald gedeelte van de representatieve konusweerstand als parasitaire kracht op de kleefmeter wordt aanzien. Ze heeft echter niet de bedoeling om de ware plaatselijke kleef te bepalen. Men zou dan de verminderingkoëfficiënt nauwkeurig moeten kennen in de verschillende grondsoorten en in een bepaalde grondsoort zelfs van niveau tot niveau, wat vrijwel onmogelijk is.

42.4. SONDEERGRAFIEKEN

Teneinde een snelle verwerking toe te laten werd een rekenprogramma opgesteld voor de berekening en uitzetting van de weerstanden en afgeleide gegevens.

Voor de schalen van $C_{k,d}$, L en T zijn de gebruikelijke verhoudingen in acht genomen. De ordinaat is steeds de diepteschaal met $1 \text{ m} = 10 \text{ mm}$. Op de bovenste abscis staat $C_{k,d}$ in MN/m^2 met $2 \text{ MN/m}^2 = 10 \text{ mm}$. De onderste abscis wordt gebruikt voor de schalen van L en T met $10 \text{ kN} = 20 \text{ mm}$.

Op de bovenste abscis zijn eveneens de schalen van F (100 F) en W aangebracht. Voor F is de oorsprong gekozen op $C_{k,d} = 20 \text{ MN/m}^2$ en voor waarden van $100 F < 10 \text{ MN/m}^2$ werd een verhouding gekozen van $100 F = 1 \text{ MN/m}^2 = 5 \text{ mm}$. Voor $100 F > 10 \text{ MN/m}^2$ is de schaal 5 maal verkleind; aldus is $100 F = 10 \text{ MN/m}^2 = 10 \text{ mm}$.

W is aangegeven in omgekeerde zin dus met stijgende waarde van rechts naar links. De oorsprong ligt op $C_{k,d} = 48 \text{ MN/m}^2$. Voor de eenheidstoename van W werd 5 mm gekozen.

F en W zijn uitgebeeld met een blokvormige grafiek waarvan de verticale verbindingen gecentreerd zijn t.o.v. de overeenkomstige puntwaarden van $C_{k,d}$, L en T.

Op de figuren is ook aangegeven : het waterpeil (H_2O), de diepte waarop de kleefvanger (CFR) is aangewend en de diepte waarop de buizen enige malen zijn opgehaald (E). Beide laatste zijn door horizontale merktekens op de diepte-as aangeduid. Op deze niveaus worden de kurven L of T telkens onderbroken.

42.5. INVLOED VAN DE MEETSTAP

425.1. Probleemstelling

Het principe van de 100 mm meetstap verschilt enkel in de lengte van de zone waarin de totale kracht wordt gemeten. Nochtans dient men te beseffen dat men per lengte-eenheid dubbel zoveel maal de konuspunt heeft uitgedrukt en dus dubbel zoveel "holten" in de grond boven de konuspunt heeft gemaakt. Het gedeeltelijk opvullen van die holte gaat gepaard met verkneding of roering van het aangrenzende materiaal. Aldus kan men met de kleinere meetstap meer verkneding of

roering per lengte-eenheid verwachten. Dat zou de weerstanden kunnen beïnvloeden.

425.2. Vergelijkend onderzoek

De invloed van de meetstap op de weerstanden werd nagegaan in een vergelijkend onderzoek tussen diepsonderingen gemeten volgens de 100 en 200 mm meetstap (M. DEPRET, 1982a). Hiertoe werden in het studiegebied 9 vergelijkende proeven verricht. Iedere proef bestond uit twee vergelijkende diepsonderingen. Met een gemiddeld dieptebereik van 35 m werd om onderlinge beïnvloeding van de metingen te voorkomen, een minimum tussenafstand van 3 m aangehouden. Dit is conform de voorschriften van de "Subcommittee on Standardization of Penetration Testing in Europe" (1977).

425.3. Invloed op de totale zijdelingse wrijving

Vergelijking van $L_{10}^{(1)}$ en L_{20} was in 7 proeven mogelijk en bevestigde de invloed van de meetstap. Hoewel in 1 geval geen duidelijke afwijking optrad vonden we in de 6 andere, zoals onder meer uit figuur 14 blijkt, beduidend lager liggende L_{10} kurven. Na inschakeling van de nokkenkleefvanger (CFR) verdween de afwijking tussen $L_{cfr,10}$ en $L_{cfr,20}$.

We mogen besluiten dan $L_{10} < L_{20}$ en $L_{cfr,10} = L_{cfr,20}$.

425.4. Invloed op de konusweerstand, de plaatselijke kleef en het wrijvingsgetal

4254.1. Vergelijkingswijze

Na litologische en stratigrafische interpretatie van de sonderingen werden vergelijkende intervallen bepaald (fig. 15). Om een statische verwerking toe te laten en om vertekening

(1) De 100 of 200 mm meetstap duiden we voortaan in de symbolen van de weerstanden aan door een overeenstemmende index 10 of 20.

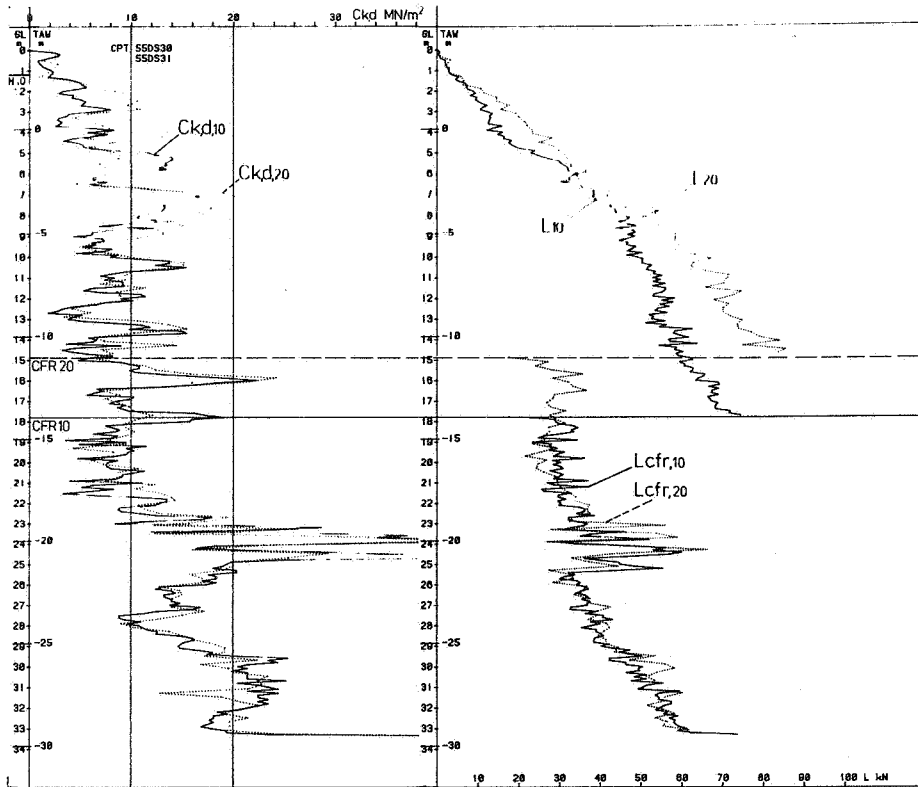


Fig. 14 - De verkleining van de meetstap van 200 mm naar 100 mm geeft aanleiding tot lager liggende L_{10} -kurven. Tussen $L_{cfr,10}$ en $L_{cfr,20}$ werd geen afwijking opgemerkt

- Reduction of the measuring step from 200 mm to 100 mm provides lowerlying L_{10} curves. Between $L_{cfr,10}$ and $L_{cfr,20}$, no deviations were observed

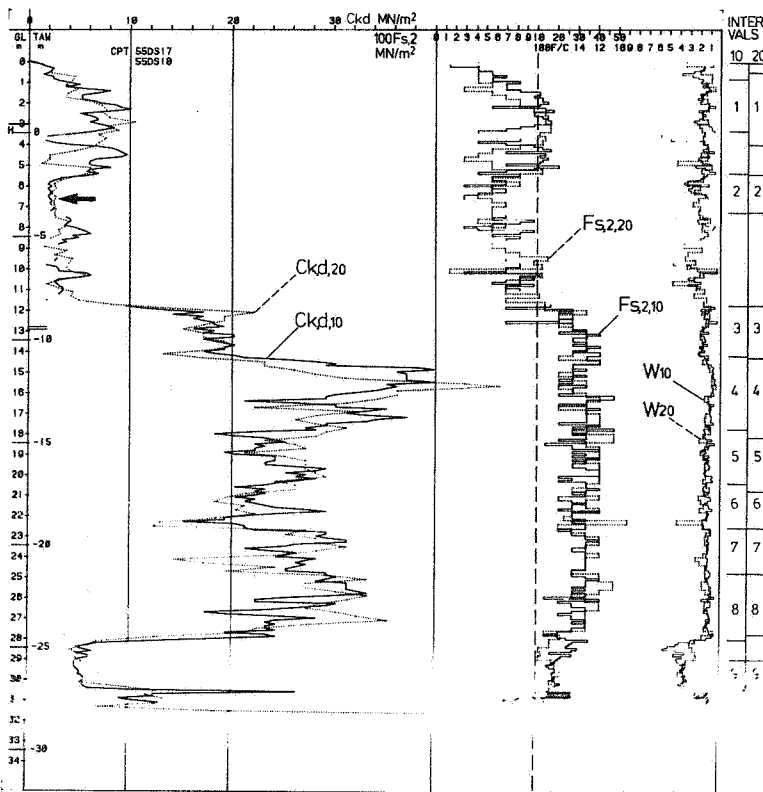


Fig. 15 - Vergelijking van $C_{k,d,10}$ met $C_{k,d,20}$, $F_{s,2,10}$ en $F_{s,2,20}$ en W_{10} met W_{20} . De pijl toont een uitzonderlijke waarneming waarin de meetstap de konusweerstand beïnvloedt

- Comparison of $C_{k,d,10}$ with $C_{k,d,20}$, $F_{s,2,10}$ with $F_{s,2,20}$ and W_{10} with W_{20} . The arrow marks an exceptional observation where the measuring step influences the cone resistance

van de resultaten te vermijden werden hierbij een aantal regels gevolgd.

- Een interval wordt steeds begrensd binnen een welbepaalde litologische eenheid.
- Een litologische eenheid wordt onderverdeeld op grond van de grootte en de structuur van de konusweerstand, de plaatselijke kleef en het wrijvingsgetal.
- Alle intervallen van dezelfde litologische eenheid dienen ongeveer evenveel metingen te bevatten. Het is duidelijk dat een interval van een 100 mm proef ongeveer dubbel zoveel waarden bevat als het overeenstemmende van de 200 mm sondering.
- Een interval van een 200 mm sondering moet ten minste 5 metingen omvatten.
- Niet vergelijkbare lagen komen niet in aanmerking.
- Onbetrouwbare metingen worden geëlimineerd.

Van ieder interval werd het gemiddelde \bar{x} en de standaardafwijking s van $C_{k,d}$, $F_{s,2}$ en W berekend. De afwijkingen van \bar{x}_{10} ($\Delta\% \bar{x}_{10}$) werden uitgedrukt in percent van \bar{x}_{20} . Met de "t-Student" verdeling is de hypotese H_0 , d.w.z. $\bar{x}_{10} = \bar{x}_{20}$ en $s_{10} = s_{20}$, beproefd op de signifikantieniveaus 0,05 en 0,01.

Een algemeen idee van de afwijkingen in een groep werd verkregen door te toetsen of het gemiddelde van alle betreffende $\Delta\% \bar{x}_{10}$ gelijk is aan nul ($\Delta\% \bar{x}_{10} = 0$). Om vertekening te vermijden werd dit gemiddelde berekend na eliminatie van deze $\Delta\% \bar{x}_{10}$ die buiten het initiële 95%-interval ($\bar{x}_{in} \pm 1,96 s_{in}$) vielen.

4254.2. Afwijkingen

Eerst onderzochten we het algemeen gemiddelde van $C_{k,d}$, $F_{s,2}$ en W , wanneer iedere sondering van elk paar als één groot interval werd beschouwd. Zodoende werden geen significante afwijkingen ontdekt. Dat kan echter te wijten zijn aan compensatie van de afwijkingen. De pijl in figuur 15 toont bijvoorbeeld een opmerkelijke verlaging van $C_{k,d,10}$ terwijl dit niet zo voor de hand ligt in de dieperliggende weerstandbiedende niveaus.

Specifieke informatie werd dan ook maar verkregen na groepering van de intervallen volgens de geologische oorsprong van het sediment, de grondsoort en de grootte van de konusweerstand. De resultaten zijn in tabel 5 samengebracht.

Tabel 5 - Invloed van de meetstap op $C_{k,d}$, $F_{s,2}$ en W (M. DEPRET, 1982a)
 - Influence of the measuring step on $C_{k,d}$, $F_{s,2}$ and W (M. DEPRET, 1982a)

| | $C_{k,d}$ bestudeerd interval $\bar{x} \pm s$ MN/m ² | $C_{k,d,10}$ \geq $C_{k,d,20}$ | $F_{s,2,10}$ \geq $F_{s,2,10}$ | W_{10} \geq W_{20} |
|--|---|--|--|--------------------------------|
| <u>Kwartaire normaal gekonsolideerde grondsoorten</u> | | | | |
| Dicht- tot zeer dichtgepakt grint, grinthoudend zand en grof zand | 20,8 ± 7,5 | = | = | = |
| Dicht- tot zeer dichtgepakt fijn zand | 15,4 ± 6,2 | = | <-8% | <-8% |
| Middelmatig gepakt tot dichtgepakt, weinig kleihoudend fijn zand | 9,3 ± 4,2 | = | < ? | < ? |
| Losgepakt tot middelmatig gepakt fijn zand | 6,1 ± 2,6 | = | = | = |
| Weinig leem- tot kleihoudend (zeer) fijn zand en zand met dunne laagjes klei, leem en veen | 4,1 ± 3,1 | <-11% | = | = |
| Leem en klei met dunne zandlaagjes | 2,7 ± 1,0 | = | <-26% | <-19% |
| <u>Tertiaire overgekonsolideerde grondsoorten</u> | | | | |
| Stijve klei en glauconiethoudende klei | 6,4 ± 0,8 | = | = | = |

= : geen significante afwijking -8% : waargenomen gemiddeld
 < : significant lagere afwijking percentage van $\frac{100}{10}$
 ? : waarschijnlijk sinifikant

Tabel 5 toont aan dat afwijkingen gekoppeld aan de 100 mm meetstap, vooral optreden in $F_{s,2,10}$ en bijgevolg ook in W_{10} . In zanden schijnt een vermindering van $F_{s,2,10}$ vooral samen te gaan met de hogere pakkingsdichtheden. Opmerkelijk is de sterke daling van $F_{s,2,10}$ en W_{10} in kwartaire klei en leem met dunne zandlaagjes (respektievelijk -26 en -19%) in tegenstelling tot de overeenstemming in tertiaire overgekonsolideerde stijve klei en glauconiethoudende klei. Die daling kan evenwel verband houden met de gevoeligheid of misschien met de relatieve heterogeniteit van deze kwartaire sedimenten.

In slechts 1 geval werd voor $C_{k,d,10}$ een significante negatieve afwijking genoteerd namelijk in weinig leemhoudend tot kleihoudend fijn zand of fijn zand met dunne laagjes klei, leem of veen. De pijl in figuur 15 duidt een dergelijk interval aan. Een verband met de heterogeniteit van dit sedimentenpakket lijkt hier waarschijnlijk. Aanvullend onderzoek is hier echter gewenst.

4254.3. Konklusie

De meetstap van diskontinue mechanische diepsonderingen heeft, naargelang van de aard en de structuur en vermoedelijk ook naargelang van de grondmechanische eigenschappen van de grond, een invloed op de weerstanden.

De 100 mm meetstap, in vergelijking met de 200 mm meetstap, leidt enkel tot negatieve afwijkingen.

- L_{10} ligt vrijwel steeds lager dan L_{20} .
- In normaal gekonsolideerde zanden hebben $F_{s,2,10}$ en W_{10} de tendens om negatief af te wijken met toenemende pakkingsdichtheid. Signifikante afwijkingen zijn enkel gevonden in dicht- tot zeer dichtgepakt fijn zand.
- Een significante verlaging van $C_{k,d,10}$ werd uitsluitend in heterogene (mikrogelaagde), weinig weerstandbiedende, essentieel zandige sedimenten opgemerkt. Waarschijnlijk is de heterogeniteit van het sediment hiervoor verantwoordelijk.
- Ook in dungelaagde klei- en leempakketten was $F_{s,2,10}$ en W_{10} behoorlijk verlaagd. Naast hun heterogene bouw kan hun gevoeligheid dit gedrag bepalen.

4.3. LITOLOGISCHE EN STRATIGRAFISCHE INTERPRETATIE VAN DISKONTINUE MECHANISCHE DIEPSONDERINGEN

43.1. INLEIDING

Het geotechnisch onderzoek van losse gesteenten heeft meestal tot doel de grondmechanische eigenschappen van de lagen te bepalen wat impliceert dat men in eerste instantie de horizontale en verticale uitbreiding van de lagen kent. Voor beide doelstellingen zijn statische diepsonderingen bijzonder geschikt.

Aanvankelijk werden statische diepsonderingen in Nederland aangewend om de dikte van de slappe bovenlagen te bepalen. Toen men ook door weerstandbiedende zandlagen kon dringen werden diepsonderingen snel dienstig in de paalfunderingstechniek. De konusweerstand grafisch uitgezet in functie van de diepte leverde immers een overzichtelijk beeld van de lagenbouw. Hierdoor kon men op snelle wijze de meest economische paallengte bepalen. Bovendien bleek het mogelijk uit de konusweerstand het grens- en vormveranderingsdraagvermogen van palen te begroten (cfr. E. DE BEER, 1971-1972).

Naast het afleiden van grondmechanische parameters trachtte men het verband te leggen tussen de gemeten weerstanden en de grondsoorten. Aanvankelijk gebeurde dit op grond van de konusweerstand alleen of in combinatie met de totaalkleef. De ware doorbraak tot meer representatieve grondklassificaties ontstond pas toen ook de plaatselijke kleef afzonderlijk kon worden opgemeten. H. BEGEMANN (1965) vond dat de verhouding tussen de konusweerstand en de plaatselijke kleef een fundamenteel kenmerk vormt voor de verschillende grondsoorten, zodat men voorlopig in afwachting van boringen of zelfs definitief het grondprofiel kon afleiden. Sindsdien werden meerdere klassificaties voorgesteld.

43.2. DOEL VAN HET ONDERZOEK

Een verband tussen de weerstanden en de grondsoorten is reeds menigmaal aangetoond. Nochtans leek ons een fundamentele analyse van de aanwending van diepsonderingen voor de litologische en stratigrafische bepaling van lagen verantwoord om verschillende redenen.

- In België is nooit veel aandacht besteed aan de litologische en stratigrafische interpretatie van diepsonderingen.
- Onze onderzoeken werden verricht in specifieke geologische omstandigheden wat tot nieuwe bevindingen zou leiden.
- De verkleining van de meetstap van 200 tot 100 mm zou een belangrijke winst aan informatie opleveren.
- In principie werd ervan uitgegaan dat alle sondeergegevens nuttig kunnen zijn bij de interpretatie, eerder dan vooraf gegevens te verwerpen zoals door sommige onderzoekers wordt voorgesteld.
- Het overzicht van diepsonderingen in deze studie noopte tot een dergelijk onderzoek.

Zoals geweten verkrijgt men bij de sonderingen met de kleefmantelkonus en met een meetstap van 100 mm volgende bruikbare gegevens.

konusweerstand : $C_{k,d,10}$

totale kracht : T_{10}

totale zijdelingse wrijving (berekend uit $T_{10} - C_{k,d,10}$) : L_{10}

L_{10} gereduceerd met de nokkenkleefvanger : $L_{cfr,10}$

(overeenstemmende) plaatselijke kleef : $F_{s,2,10}$

verbeterde (overeenstemmende) plaatselijke kleef : $F_{s,2,10,m}$

wrijvingsgetal : W_{10}

verbeterd wrijvingsgetal : $W_{10,m}$

43.3. DE KONUSWEERSTAND

433.1. Toelichting

Als basisdiagram van de statische diepsondeertechniek is de konusweerstand uiteraard uitvoerig bestudeerd geworden. Algemeen is men het erover eens dat deze metingen interessante en zeer waardevolle informatie opleveren.

Van de konusweerstand kan men met betrekking tot litologische en stratigrafische interpretaties zich beroepen op :

- 1° het konusdiagram en
- 2° de grootte van de konusweerstand.

Is de grootte van de konusweerstand van essentieel belang dan moet men toch bedenken dat die afhankelijk is van zeer veel factoren. Hij wordt vooral bepaald door de schuifweerstandseigenschappen, de stijfheid en de vormveranderingseigenschappen van de grond maar ook door de verbrijzelingssterkte en de vervormingseigenschappen van de individuele korrels. Op hun beurt worden die mede bepaald door de verticale en de horizontale korrelspanning, de grondwaterspanning, het volumegewicht, de dichtheid, de korrelverdeling, de structuur van het korrelskelet, de ruwheid en de vorm van de korrels enz... Verder is bekend dat hogere konusweerstand worden opgemeten respectievelijk met toenemende verticale korrelspanning, horizontale korrelspanning en dichtheid. Voor uitgebreider informatie en theoretische beschouwingen verwijzen we o.a. naar G. SANGLERAT (1972), E. DE BEER (1972) (1977), J. PONTE (1977), F. SMITS (1977).

Het aandeel van bovengenoemde factoren en eigenschappen in de konusweerstand is natuurlijk niet gelijk en naargelang van de omstandigheden kan de een of de andere domineren. Toch mag men aannemen dat binnen hetzelfde geologisch milieu veel van deze factoren en eigenschappen min of meer samengaan met welbepaalde litologische eenheden. Daarom kan er vaak een verband met de konusweerstand worden gelegd.

433.2. De primaire en secundaire structuren van het konusdiagram

In gebieden met een vrij uniforme geologische bouw volstaat het vaak alleen het konusdiagram te interpreteren. Grafisch uitgezet t.o.v. de diepte levert de konusweerstand immers een overzichtelijk beeld van de lagenbouw. Lage konusweerstand stemmen overeen met losgepakte en slappe lagen, hoge met dichtgepakte en stijve lagen. Feitelijk interpreteert en correleert men aldus op grond van de structuur van het konusdiagram. Men onderscheidt de primaire en secundaire structuur.

Met de primaire structuur worden de grote vormeenheden in het diagram bedoeld. De grootte van de konusweerstand en de hoofdtendenzen van het diagram zijn hierbij bepalend alhoewel

tussen sonderingen onderling, wat overeenkomstige eenheden betreft, daaraan geen overdreven belang mag worden gehecht. De details, uitgedrukt door piekjes en valleitjes op de grote vormeenheden, vormen de secundaire structuur. Hierbij zijn vooral de veranderingen van de konusweerstand ten opzichte van de gemiddelde konusweerstand van de primaire vormeenheid van belang.

In figuur 16 kan men gemakkelijk 4 hoofdeenheden afbakenen. De secundaire structuren van de $C_{k,d,10}$ -diagrammen van de eenheden 2 en 4 (fig. 16, inzetten) blijken duidelijk te verschillen. In eenheid 2 wijst de snelle opeenvolging van kleine scherpe piekjes en valleitjes met een grote relatieve uitwijking op een gelaagde bouw, vermoedelijk van klei-, leem- en zandlaagjes van minder dan 10 cm tot enkele tientallen centimeters dikte. In eenheid 4 geven de onscherpe piekjes en hun relatief geringe uitwijking de grotere homogeniteit van deze eenheid aan.

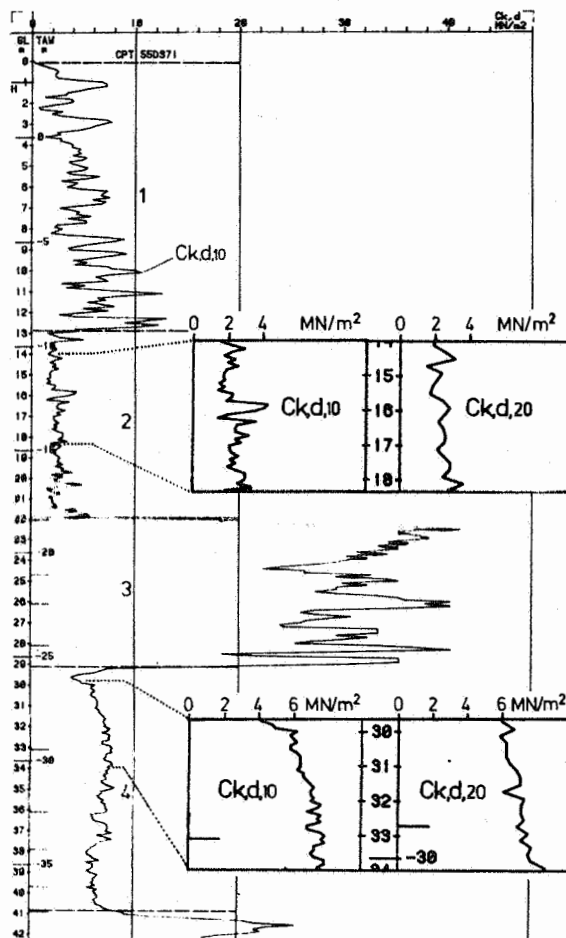


Fig. 16 - De primaire en secundaire structuren van het konusdiagram verschaffen nuttige inlichtingen over de bouw van de ondergrond. De 100 mm-meetstap ($C_{k,d,10}$) levert hier duidelijk een meer gevarieerde en dus specifiekere secundaire structuur

- Primary and secondary structures of the cone diagram provide useful information about the structure of the subsoil. The 100 mm measuring step ($C_{k,d,10}$) clearly provides here a more varied and so more specific secondary structure

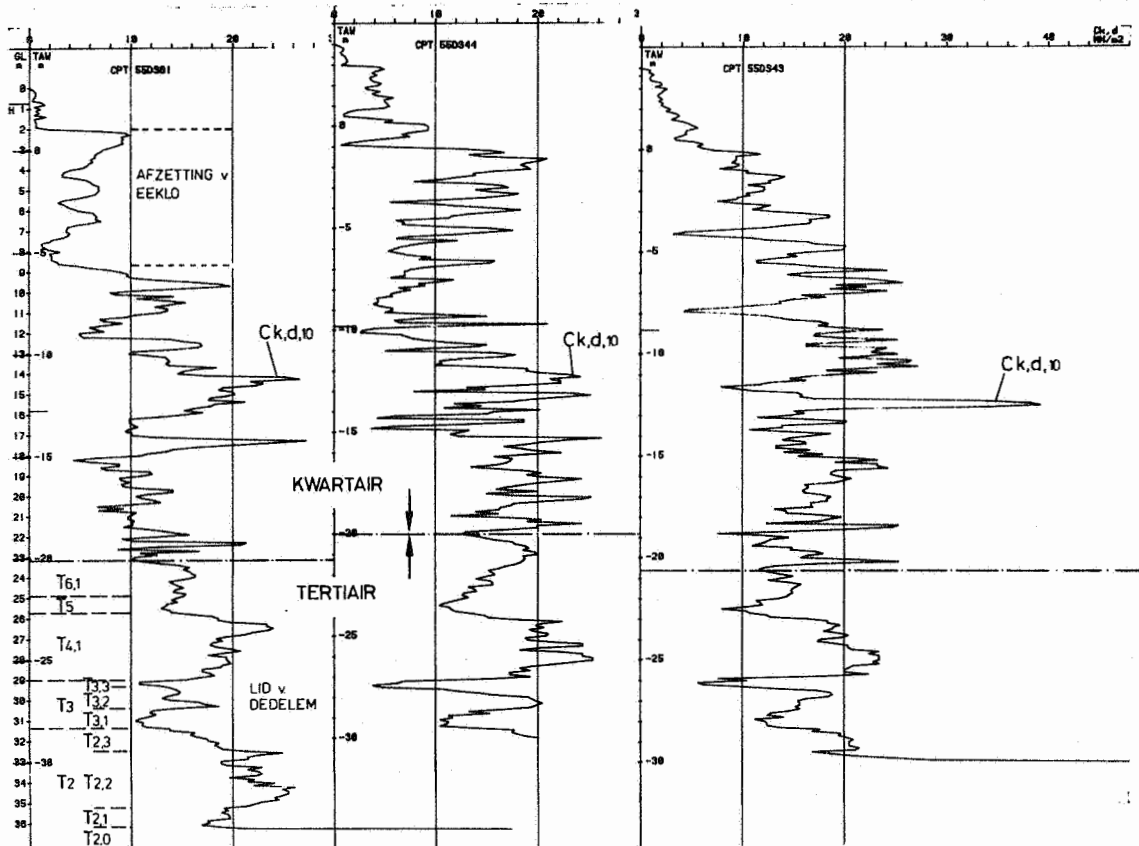


Fig. 17 - Specifieke konusdiagrammen treden op in sekventies van eenheden met relatief uniforme kenmerken (geometrische, litologische, grondmechanische) zoals in het Tertiair. De afstand tussen DS 61 en DS 43 bedraagt 4 km. Let ook op de rustige secundaire structuur van het konusdiagram in de afzetting van Eeklo. De geleidelijke toe- en afnamen vrijwel zonder piekjes zijn zeer kenmerkend en wijzen op de relatieve homogeniteit van deze eenheid

- Specific cone diagrams occur in sequences of units with relatively uniform characteristics (geometrical, lithological, mechanical) as this is the case with the Tertiary deposits. The distance between DS 61 and DS 43 is about 4 km. Pay attention to the quiet secondary structure of Ck,d,10 in the Eeklo member. The gradual increases and decreases almost without small peaks are very typical and point to the relative homogeneity of this unit

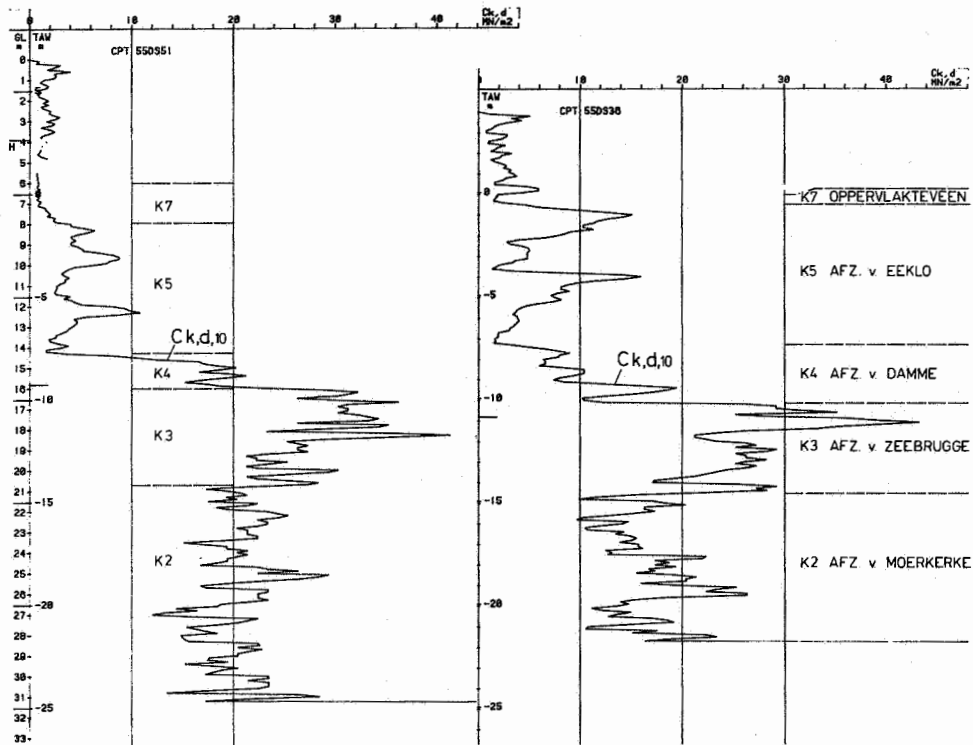


Fig. 18 - In de minder uniforme Kwartaire afzettingen is het konusdiagram minder kenmerkend. De afstand tussen de sonderingen bedraagt 1,2 km

- Cone diagrams are less characteristic in the less uniform Quaternary deposits. The distance between the tests is 1,2 km

De verschillen tussen de secundaire structuren van de overeenstemmende $C_{k,d,20}$ -diagrammen van deze eenheden zijn merkelijk minder uitgesproken. Dit bewijst dat de 100 mm meetstap een meer gevariëerde secundaire structuur oplevert dan de 200 mm stap, hetgeen de mogelijkheden tot interpretatie van het konusdiagram verruimt. Dit besluit mag worden veralgemeend tot de andere sondeerdiagrammen.

Korrelaties op grond van de structuur van het konusdiagram zijn des te eenvoudiger naarmate de lagen in dikte konstant en litologisch en grondmechanisch meer uniform blijven in hun verloop. Het tertiaire substraat te Zeebrugge voldoet hieraan. Zeer specifieke konusdiagrammen zijn dan ook het gevolg (fig. 17). Hoewel de linkse en de rechtse sondering in deze figuur 4 km van elkaar verwijderd zijn, laten de konusdiagrammen een onmiddellijke korrelatie van de eenheden T2,2 t.e.m. T6,1 van het Lid van Oedelem toe.

Alhoewel over een beperkte afstand opvallende gelijknissen kunnen optreden zijn de structuren van de konusdiagrammen in de kwartaire lagen meestal minder kenmerkend dan in de tertiaire (fig. 18). Dat komt omdat naast grote schommelingen in dikte de lagen grondmechanisch gewoonlijk heterogener zijn. Dit laatste heeft onder meer grotere schommelingen van de gemiddelde konusweerstand van een eenheid voor gevolg (b.v. weerstandbiedende zones in K5, fig. 18).

De konusdiagrammen in de grinthoudende eenheid K3 (fig. 18) illustreren het zaagtandvormig verloop dat vaak wordt waargenomen in grint en grinthoudende zanden maar ook in dunne lagen met snel wisselende weerstand (G. SANGLERAT, 1972). Dat relatief hoge pieken in het konusdiagram wijzen op grintelelementen is niet altijd waar. Grintelelementen worden alleen ondubbelzinnig aangetoond wanneer de konusweerstand zeer steil en zeer hoog uitschiet boven zijn omgeving. Als richtlijn kan men toenamen van meer dan 10 MN/m^2 per 100 mm indringing hanteren. De 100 mm meetstap biedt hier voordelen omdat hij de steilte en de scherpte van een piek in de hand werkt. In ieder geval dient men de

pieken steeds te beschouwen ten opzichte van hun onmiddellijke omgeving. Zo zal een eenzame scherpe en hoge piek (1 lezing) in een omgeving met lage konusweerstand een goede aanwijzing voor een grintelement vormen.

Een opmerkelijke illustratie van de verfijnde secundaire structuur verkregen met de 100 mm meetstap, wordt gegeven door het konusdiagram in de afzetting van Eeklo (fig. 17 en 18). De geleidelijke toe- en afname van $C_{k,d,10'}$ vrijwel zonder piekjes, is zeer typerend en duidt op de relatieve homogeniteit van en de afwezigheid van grintelementen in deze afzetting.

433.3. De grootte van de konusweerstand

Kent men uit het konusdiagram goed de lagenbouw, dan is dat niet altijd waar voor de grondsoort. Een lage konusweerstand, b.v. in de eenheid 2 (fig. 16) kan evengoed voorkomen in een losgepakt zand^(*) als in klei, leem of veen. Hoge konusweerstand wijzen weliswaar op grofkorrelige sedimenten maar het is onduidelijk of de eenheid 3 (fig. 16) bestaat uit zeer dichtgepakt zand of uit grinthoudend zand of grint.

Het is duidelijk dat de konusweerstand alleen niet volstaat om de grondsoort ondubbelzinnig te bepalen. Het enige waarop men kan steunen is het principe dat, in niet verkitte of verharde omstandigheden, lage weerstanden overwegen in fijnkorrelige (klei, leem) en hoge in grofkorrelige (zand, grint) grondsoorten.

(*) Losgepakt, middelmatig gepakt en dichtgepakt zijn relatieve begrippen die de pakkingsdichtheid van zand beschrijven. Ze moeten gezien worden in functie van de diepte onder het maaiveld. Zo wijst een $C_{k,d} = 3 \text{ MN/m}^2$, in een zandlaag nabij het maaiveld, op een dichte pakking terwijl op een losse voor een laag op 20 m diepte.

43.4. DE KONUSWEERSTAND IN KOMBINATIE MET DE TOTALE ZIJDELINGSE WRIJVING, DE GEREDUCEERDE TOTALE ZIJDELINGSE WRIJVING EN DE TOTALE KRACHT

434.1. Toelichting

In principie zou het mogelijk zijn op iedere diepte de plaatselijke kleef te berekenen uit de helling van L . Samen met de konusweerstand zou men aldus een beter idee van de grondsoort verkrijgen.

Nu is de ware toename van L vaak onbekend omdat men te doen heeft met talrijke onkontroleerbare reducerende effecten. Bewegende buizen brengen roering en verkneding van de reeds gesondeerde lagen met zich mee. Buizen onder hoge konusspanning kunnen uitbuigen waardoor het sondeergat verruimt. Hierdoor vermindert L . De waarde van L hangt ook af van de aard en de staat van de buizen en ook van de wijze van sonderen. Wordt een kleefvanger ingeschakeld dan is de ware waarde van L totaal onbekend. Om deze redenen wordt L vaak genegeerd. Sommige onderzoekers, met name uit Nederland (H. BEGEMANN, 1953, 1969, 1977; H. BEGEMANN et al., 1982) beschouwen L zelfs als een universeel onbruikbaar gegeven.

Uit ons onderzoek is nochtans gebleken dat, wanneer men systematisch meet met materiaal overeenkomstig de aanbevelingen van de Subcommittee on Standardization of Penetration Testing in Europe (1977), L en zelfs L_{cfr} en T kwalitatief zeer interessante en zelfs kenmerkende informatie oplevert.

434.2. Herkenning van veen

In het studiegebied was het oppervlakteveen vaak niet ondubbelzinnig te herkennen op grond van het wrijvingsgetal omdat vrijwel dezelfde waarden ook op klei wezen (zie verder). Waardevolle inlichtingen werden echter wel verschaft door L_{10} . Immers, in vele gevallen bleek de combinatie van een lage konusweerstand ($<1,8 \text{ MN/m}^2$) met een belangrijke en vrij regelmatige toename van de totale zijdelingse wrijving wel kenmerkend voor de veenlaag (fig. 19).

De stijging zet meestal scherp aan met een duidelijke knik in de kurve (pijl 1). De knik is een aanwijzing voor de bovengrens van het veen. Uit vergelijking met boringen staat echter vast dat de bovengrens ongeveer 0,1 à 0,3 m boven de knik ligt (fig. 19). Dat is onder meer te wijten aan de kleinere diameter van de mantel en aan de insnoering van de kleefmantelkonus. Hierdoor kan de kleef pas dan goed inwerken wanneer de kleefmeter in de veenlaag dringt.

Het gedrag van L wordt echter in sterke mate bepaald door de aard en de dikte van de sedimenten op het veen. In het studiegebied zijn dat vaak (zeer) slappe lemen en kleien. In deze sedimenten valt de helling van L, na een aanvankelijke stijging, fors terug. Pas wanneer de veenlaag wordt bereikt stijgt L_{10} opnieuw (fig. 19). Dichtgepakte zanden of plastische kleien op het veen bemoeilijken de interpretatie. In het eerste geval kan de kleefbijdrage van het veen over een onbepaalde zone worden gekompenseerd, ja zelfs worden overtroffen door de afbrokkeling van de kleef in de zandlaag. Hierdoor gebeurt het dat L in de veenlaag afneemt i.p.v. toeneemt. In minder slappe of in plastische kleien blijft L gewoonlijk stijgen waardoor het hellingkontrast minder duidelijk of onzichtbaar wordt.

Dergelijke interpretaties vereisen uiteraard enige voorkennis van de geologische bouw van het studiegebied maar dat doet daarom geen afbreuk aan hun nut en betekenis, vooral bij systematisch interpretatiewerk in een welomschreven gebied.

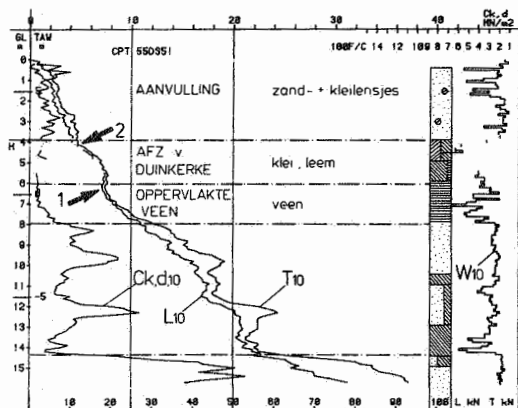


Fig. 19 - Het oppervlakteveen is vaak duidelijk te identificeren door combinatie van $C_{k,d,10}$ en L_{10} . De knik in L_{10} (pijl 1) is richtinggevend voor de top van het veen. De knik aangeduid door de pijl 2 komt overeen met de grens aanvulling - bovenste oorspronkelijke afzetting

- The surface peat can often be identified by combination of $C_{k,d,10}$ and L_{10} . The break in L_{10} (arrow 1) is an indication for the top of the peat layer. The break marked by arrow 2 corresponds with the boundary between fill and upper original deposit

434.3. Grens tussen de aanvulling en de bovenste oorspronkelijke afzetting

Aanvullingen hebben dikwijls een andere litologie, zo niet andere grondmechanische eigenschappen dan de onderliggende oorspronkelijke sedimenten. Dat kan een hellingsverandering in het verloop van L veroorzaken zoals door figuur 19 wordt aangetoond. De overgang wordt hier duidelijk aangegeven door een knik (pijl 2). Een dergelijke interpretatie vereist eveneens een voldoende voorkennis van het gebied. Zo was in het voorbeeld enkele meters aanvulling te verwachten.

434.4. Betekenis van de totale kracht

Bij lage konusweerstand hebben L en T bijna een identiek verloop. Waar door een te lage weerstand van de grond, de konusweerstand niet kon worden opgenomen, kan men echter nog wel de totale kracht opmeten. In zulke gevallen geven de hellingsveranderingen en knikken in het verloop van T enige aanwijzing over de plaats van samenhangende en onsamensamenhangende grondsoorten. De knik, aangeduid door de pijl 2 in figuur 19, komt eigenlijk maar goed tot zijn recht in T_{10} en niet in L_{10} . Figuur 20 toont een interpretatie van veen, uitsluitend op grond van het verloop van T_{20} .

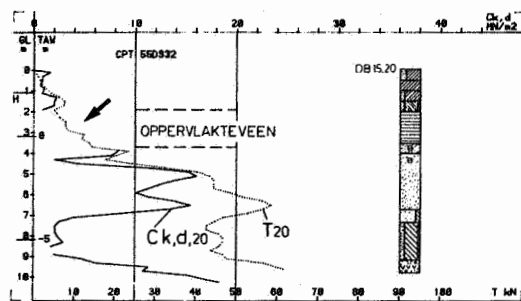


Fig. 20 - Interpretatie van het oppervlakteveen uitsluitend met T_{20}
- Interpretation of the surface peat exclusively done with T_{20}

434.5. Effekt van geïnduceerde horizontale korrelspanning

Het effect van geïnduceerde horizontale korrelspanning (W. VAN IMPE en M. DEPRET, 1982) komt gewoonlijk maar duidelijk tot uiting wanneer wordt gesondeerd in een opeenstapeling van scherp begrensde slappe en dichtgepakte lagen. Zo'n structuur treft men bijvoorbeeld aan in de afzetting van Eeklo.

Dringt de konus vanuit zo'n slappe laag in een dichtgepakte (fig. 21, b.v. vanaf de niveaus -2,6 m, -4,8 m en -6,8 m) dan blijkt L_{10} plotseling sterk toe te nemen (pijlen 1, 3 en 5). Deze toename is vooral het gevolg van opbouwende geïnduceerde horizontale korrelspanning door expansie in de omgeving boven de

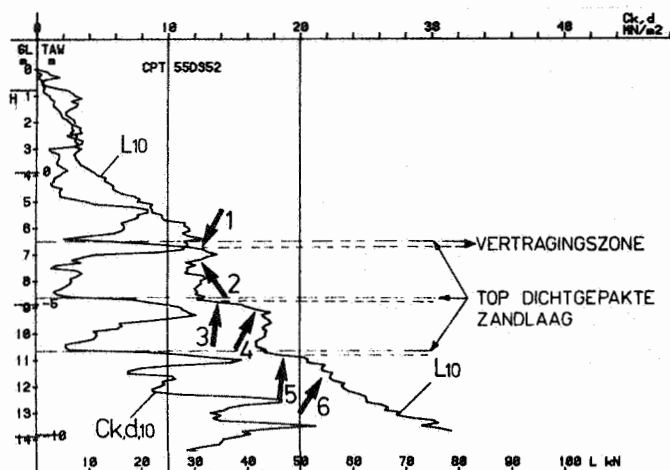


Fig. 21 - Het effect van geïnduceerde horizontale korrelspanning (steile oploop van L_{10} , pijlen 1,3,5) komt goed tot uiting wanneer wordt gesondeerd in een opeenvolging van slappe en dichtgepakte lagen. De hellingen aangeduid door de pijlen 4 en 6 stemmen beter overeen met de natuurlijke bijdrage van de korrelspanning

- The effect of induced horizontal effective stress (strong increase of L_{10} , arrows 1, 3 and 5) can clearly be observed when sounding in a succession of soft and dense layers. The slopes marked by the arrows 4 and 6 correspond better with the natural contribution of the effective stress

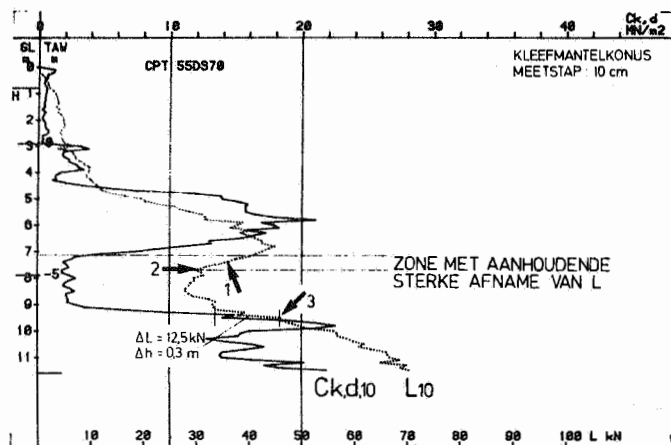


Fig. 22 - De sterke daling van L_{10} (pijl 1) is het gevolg van de snelle afbrokkeling van de geïnduceerde spanning bij overgang van de dichtgepakte naar de slappe laag

The strong decline of L_{10} (arrow 1) is the result of the rapid decay of the induced stress when the penetrometer tip moves from the very dense into the soft layer

konuspunt. Uit talrijke sonderingen blijkt dat die toename van L gewoonlijk is beperkt tot een 0,1 m à 0,4 m dikke zone en wordt gevolgd door een gedeelte met minder steile helling (fig. 21, pijlen 4 en 6). Deze hellingsverandering treedt dikwijls vrij plotseling op met een duidelijke knik in het diagram; dit is goed te zien in figuur 22 (pijl 3). De knik geeft aan waar de geïnduceerde spanning tot volle ontwikkeling is gekomen. De helling van de tweede tak benadert beter de bijdrage van de natuurlijke horizontale korrelspanning van de zandlaag.

Nu blijkt dat deze sterke toename van L niet synchroon verloopt met de stijgende konusweerstand. Immers er kan een voorafgaande zone zonder sterke toename worden afgebakend. Laat men de bovengrens ervan samenvallen met die van de dichtgepakte laag (genomen op $C_{k,d,10} = 4 \text{ MN/m}^2$) dan meten die "vertragingzones" gewoonlijk 0,1 m à 0,3 m (fig. 21). In dit traject is de geïnduceerde spanning nog nauwelijks ontwikkeld.

Gaat men van een dichtgepakte naar een slappe laag dan zijn veel patronen mogelijk. L kan zowel geleidelijk dalen, toenemen of nauwelijks veranderen. Soms blijkt L sterk af te nemen zoals in figuur 22 (pijl 1). Zulke gevallen illustreren duidelijk het effect van vermindering van de geïnduceerde horizontale korrelspanning. In de slappe laag (top op $C_{k,d,10} = 4 \text{ MN/m}^2$) onderscheidt men een 0,6 m dikke zone met "aanhoudende sterk afname" van L . Uit tal van sonderingen is gebleken dat die zone tot 1,5 m kan oplopen, vooral bij overgang vanuit een zeer weerstandbiedende zandlaag. Gewoonlijk is deze niet dikker dan 0,5 m.

De verscheidenheid in L -patronen bij overgang van een dichtgepakte naar een slappe laag wordt vooral bepaald door het verschil tussen de afname van de zijdelingse wrijvingsweerstand, als gevolg van de afbrokkeling van de geïnduceerde spanning, en de toename ten gevolge van de kleefbijdrage van de slappe laag. Een sterke daling van L , zoals in figuur 22, treedt slechts op wanneer de kleefbijdrage van de slappe laag gering is.

De beperkte dikte van de zone met aanhoudende sterke afname impliceert een zeer snelle vermindering van de geïnduceerde spanning. Het voorkomen van de knik in het diagram (fig. 22, pijl 2) kan dit bevestigen. Ook in de dichtgepakte laag moet dit

zo zijn. Men zou dit kunnen verklaren als een met de konuspunt meeschuivende, circa 0,5 m dikke zone met hoge geïnduceerde horizontale korrelspanning. Erboven nemen die spanningen zeer snel af. Bij intrede in een dichtgepakte laag wordt er aldus vlug een evenwicht bereikt tussen de op- en afbouwende geïnduceerde spanningen. Dit verklaart het veelvuldig voorkomen van een knik in plaats van een geleidelijke overgang tussen de sterke en minder sterke toename van L.

Faktoren die het effect kunnen beïnvloeden zijn : de wijze van bepaling van L (hier uit T afgeleid), de grootte van de meetstap die bepalend is voor de scherpte van de takken en de knikken, de schikking van de meetstap ten opzichte van de laaggrenzen, de geometrie van de konus en het uitbuigen van de buizen bij toenemende konusweerstand (W. VAN IMPE en M. DEPRET, 1982).

434.6. Herkenning van harde elementen

De totale zijdelingse wrijving wordt soms gebruikt ter bepaling van harde elementen. Men neemt aan dat een neerwaartse piek in L samen met een opwaartse in $C_{k,d}$ en in T wijzen op een hard insluitel (kei, schelp) (fig. 23, pijl 1). Deze regel is dikwijls juist maar dient toch met de nodige voorzichtigheid te worden toegepast, te weten enkel bij uitgesproken reakties van L, $C_{k,d}$ en T zoals in figuur 23.

Plaatselijke reakties van L zijn veelal te verklaren door het niveauverschil tussen de lezing van T en $C_{k,d}$. Hierdoor stemt het aandeel van de konusweerstand in de totale kracht niet volledig overeen met de af te trekken, gemeten konusweerstand. Dit geeft vaak aanleiding tot een neerwaartse piek in L bij een opwaartse in $C_{k,d}$ maar ook omgekeerd, tot een opwaartse piek in L bij een neerwaartse in $C_{k,d}$ (fig. 24, zie respectievelijk de pijlen 1 en 2). Hoe groter de specifieke toe- of afname van de konusweerstand is, hoe groter gewoonlijk ook de weerslag op L. Dit is toe te schrijven aan een groter mogelijk verschil tussen het aandeel van $C_{k,d}$ in T en de gemeten $C_{k,d}$. Piekjes in L in de ene of andere zin worden dan ook veelvuldig waargenomen in met klei of leem gelaagde zanden waarin de konusweerstand op korte afstand (orde van de meetstap) snel fluktueert (gedeelte van -5 tot -12 m in figuur 24).

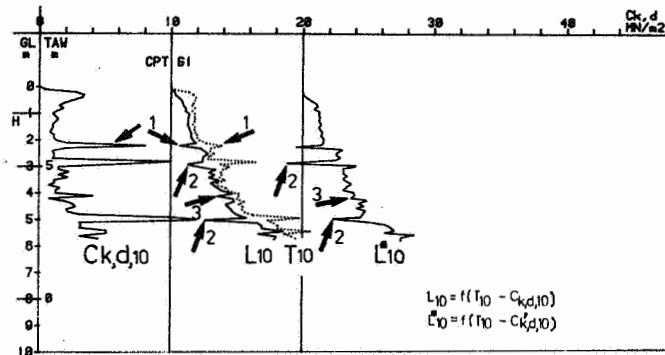


Fig. 23 - Een neerwaartse piek in L samen met een opwaartse in $C_{k,d}$, en T (pijlen 1) wijzen op een grintelement. Deze regel is slechts toepasselijk op uitgesproken reacties van L, $C_{k,d}$ en T

- A downward peak in L together with an upward in $C_{k,d}$ and T (arrows 1) point out to a gravel inclusion. This rule is only relevant to obvious reactions of L, $C_{k,d}$ and T

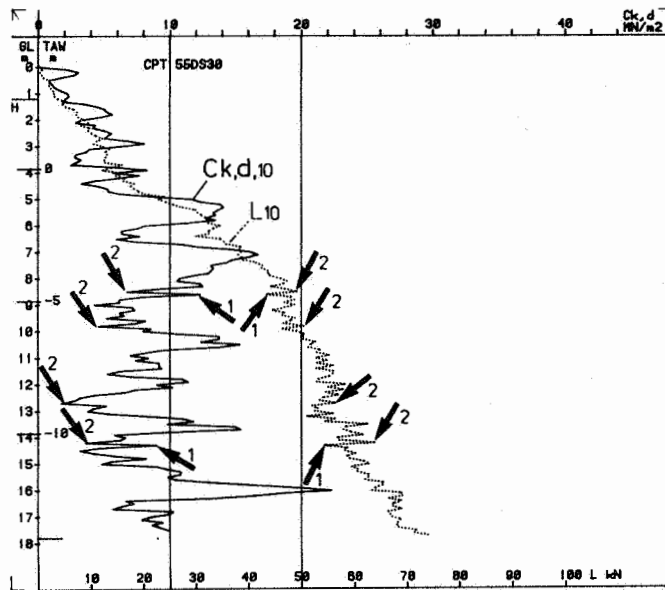


Fig. 24 - Gewoonlijk stemmen er met opwaartse (pijlen 1) en neerwaartse (pijlen 2) pieken in $C_{k,d}$ respectievelijk neerwaartse (pijlen 1) en opwaartse (pijlen 2) in L overeen. De reactie van L is meestal het gevolg van het niveauverschil tussen de lezing van T en $C_{k,d}$

- With upward (arrows 1) and downward (arrows 2) peaks in $C_{k,d}$, there mostly correspond downward (arrows 1) and upward (arrows 2) one's in L respectively. The reaction of L is mostly caused by the difference of levels of reading between T and $C_{k,d}$

De invloed van het niveauverschil tussen de lezingen van T en $C_{k,d}$ wordt duidelijk geïllustreerd door figuur 23. Hierin is L_{10}^* uitgezet. L_{10}^* werd berekend uit de waarden T_{10} en $C_{k,d,10}$ tegenover L_{10} uit T_{10} en $C_{k,d,10}$ (fig. 23). Bij L_{10}^* wordt dus de kleinst mogelijke afstand (ca. 30 mm) tussen de aflezingen van T en $C_{k,d}$ genomen; bij L_{10} bedraagt die afstand ca. 70 mm. De neerwaartse pieken in L_{10}^* , aangeduid door de pijlen 2, hebben een andere grootte en liggen blijkbaar 100 mm hoger dan in L_{10} . Ook is de neerwaartse piek in L_{10} , aangeduid door de pijl 3, vrijwel verdwenen in L_{10}^* .

Ook de meetstap heeft een invloed op het verschijnen van piekjes in L . Hoe kleiner de meetstap hoe meer piekjes. Aan gezien de totale zijdelingse wrijving over de sondering gemiddeld blijft toenemen, is te verwachten dat bij grotere meetintervallen, de kans groter is dat L is toegenomen. Dit blijkt uit de vergelijking van sonderingen met de 100 en 200 mm meetstap (fig. 14).

De aanwezigheid van grintelementen kan men vaak vaststellen tijdens de sondering zelf door te letten op geluiden (gekraak) en op het gedrag van de manometernaald (bruske reacties, zeer snelle stijgingen en dalingen).

434.7. De totale zijdelingse wrijving na aanwending van de nokkenkleefvanger

4347.1. Herkenning van kwartaire en tertiaire eenheden

43471.1. Beschrijving

De tertiaire lagen in het studiegebied zijn overgeconsolideerd in tegenstelling tot de kwartaire. Vanuit geotechnisch oogpunt heeft men er dus alle belang bij beide eenheden uit elkaar te houden. Specifieke informatie over de grens tussen het Tertiair en het Kwartair wordt nu verschaft door L_{cfr} .

In de diepsondering van figuur 25 werd de nokkenkleefvanger ingeschakeld vanaf het niveau CFR. In de kwartaire zanden blijkt $L_{cfr,10}$ het konusdiagram uitgesproken na te volgen weliswaar met een vertraging van ongeveer 0,6 m (pijl 1). Deze ver-

traging was te verwachten omdat de nokjes van de kleefvanger zich ongeveer 0,6 m boven de punt bevinden. Ze ondervinden dus de weerstand van een laag ongeveer 0,6 m na de konus. Bij de intrede in het Tertiair grijpt er echter vaak een forse daling plaats (pijl 2) waarna, zoals uit de figuur blijkt, $L_{cfr,10}$ vrij regelmatig gaat toenemen zonder nog uitgesproken het konusdiagram na te volgen.

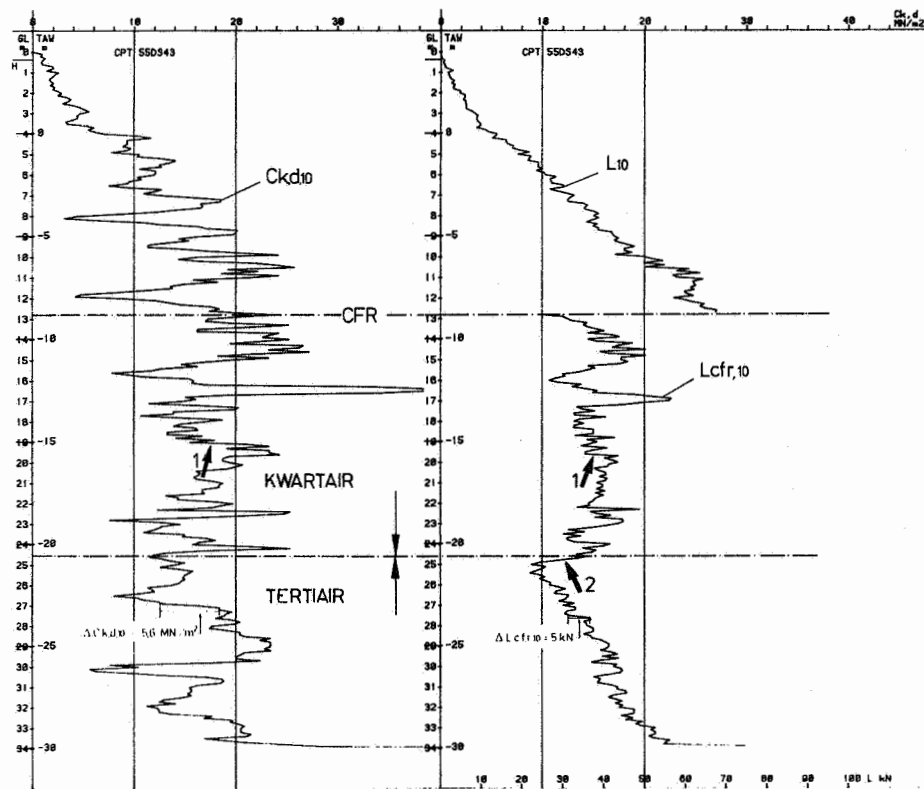


Fig. 25 - Herkenning van kwartaire en tertiaire eenheden met $L_{cfr,10}$. De reactie van $L_{cfr,10}$ op een verandering van $C_{k,d,10}$ (pijlen 1) is veel groter in het Kwartaire dan in het Tertiaire. Dit heeft te maken met de verschillende consolidatiegraad van deze eenheden

- Recognition of Quaternary and Tertiary units with $L_{cfr,10}$. The response of $L_{cfr,10}$ on a change of $C_{k,d,10}$ (arrows 1) is much more important in the Quaternary than in the Tertiary deposits. This is related with the different degree of consolidation of these units

43471.2. Statistisch onderzoek

De gemiddeld continue stijging van L_{cfr} in het Tertiaire wordt verklaard door de dalende efficiëntie van de nokkenkleefvanger naarmate het sediment fijner wordt. In figuur 25 komt men

vanuit de grovere kwartaire zanden terecht in het weinig klei- houdend zeer fijn zand van het Lid Van Oedelem.

De verschillende reactie van L_{cfr} op een verandering van de konusweerstand in het Kwartair en het Tertiair werd statistisch vastgesteld. Voor een duidelijke toe- of afname van L_{cfr} (ΔL_{cfr}) over een beperkt dieptebereik werd de overeenstemmende verandering van de konusweerstand ($\Delta C_{k,d}$) bepaald (fig. 25, tussen 26 en 28 m). Bij een klein dieptebereik (maximum 0,5 m) kan men aannemen dat de kleefbijdrage van de reeds door de nokjes gesondeerde lagen konstant blijft over het interval. ΔL_{cfr} is dan gelijk aan de som van de verandering van de konusweerstand op de nokjes en de verandering van de zijdelingse wrijving op de kleefmantelkonus en de kleefvanger. Hierbij gaat men ervan uit dat de kleefmantelkonus cilindrisch is en dat de wrijvingsweerstand, in niveaus van 0,1 m, wordt bepaald door de overeenkomstige gemeten plaatselijk kleef. De cilindrische buis heeft dus een lengte van 0,6 m, een diameter van 0,036 m en een oppervlakte van $0,0679 \text{ m}^2$. Een theoretische benadering $|\Delta L_t|$ van $|\Delta L_{cfr}|$ kan als volgt worden gedefinieerd :

$$|\Delta L_t| = |\Delta L_{Ck,d} + L_{L0,6}|$$

met $\Delta L_{Ck,d}$: het aandeel van de toe- of afname van de konusweerstand inwerkend op de 4 nokjes

$\Delta L_{L0,6}$: het aandeel van de kleefverandering inwerkend op de 0,6 m lange buis

$\Delta L_{Ck,d}$ wordt berekend uit $\Delta C_{k,d}$ en het gezamenlijke basisoppervlak S_n van de nokjes :

$$\Delta L_{Ck,d} = \Delta C_{k,d} \times S_n \quad (\text{KN})$$

met $S_n \approx 0,00045 \text{ m}^2$ (na gemiddelde slijtage en rekening houdend met het basisoppervlak van de lasnaad)

$\Delta L_{L0,6}$ bekomt men door het verschil te maken van de gekumuleerde plaatselijke kleef, inwerkend op de 0,6 m lange buis ($L_{0,6}$), bij het begin- en eindpunt van ΔL_{cfr} . Om rekening te houden met eventuele parasitaire weerstanden op de kleefmeter werd in de berekening van $L_{0,6}$ rekening gehouden met een voor 30 % verminderde gemeten plaatselijke kleef. Voor de overeenkomstige standen van de buis, bij het begin- en eindpunt van ΔL_{cfr} , ver-

krijgt men respektievelijk de verminderde, gemiddelde plaatselijke kleef $F_{s,2,g,b}$ en $F_{s,2,g,e}$. Men krijgt dan de volgende betrekking

$$\Delta L_{L_{0,6}} = (F_{s,2,g,e} - F_{s,2,g,b}) \times S_b$$

met S_b de oppervlakte van de buis = $0,0679 \text{ m}^2$

Als vergelijkende waarden berekent men in procenten :

- de verhouding van de waarneming ΔL_{cfr} ten opzichte van de berekening ΔL_t :

$$\frac{|100 L_{cfr}|}{|\Delta L_t|}$$

- het aandeel van $\Delta L_{Ck,d}$ in ΔL_t : $\frac{|100 L_{Ck,d}|}{|\Delta L_t|}$

- het aandeel van $\Delta L_{Ck,d}$ en $\Delta L_{L_{0,6}}$ in ΔL_{cfr} : $\frac{|100 \Delta L_{Ck,d}|}{|\Delta L_{cfr}|}$ en $\frac{|100 \Delta L_{L_{0,6}}|}{|\Delta L_{cfr}|}$

- het niet nader bepaalde restdeel in ΔL_{cfr} : $100 - \frac{100 |\Delta L_t|}{|\Delta L_{cfr}|}$

Dergelijke berekeningen werden verricht op 14 duidelijke toe- of afnamen van $L_{cfr,10}$ en $C_{k,d,10}$ in het Kwartair, 12 in het Tertiair en 7 voor de overgang van het Kwartair naar het Tertiair. Er werd uitsluitend rekening gehouden met toe- of afnamen tussen lagen van voldoende dikte, waarin de konusweerstand telkens over enkele metingen ongeveer gelijk bleef. Lokale pieken werden buiten beschouwing gelaten omdat die niet representatief zijn voor een bepaalde tendens. De overgang van het Kwartair naar het Tertiair is bijzonder omdat, over het interval, de nokjes van de kleefvanger in kwartaire sedimenten blijven terwijl de kleefmantelkonus en de buis van de kleefvanger geleidelijk in de topzone van het Tertiair dringen.

Voor elke reeks vergelijkende waarden is het gemiddelde en de standaardafwijking bepaald (tab. 6). Deze werden getoetst

Tabel 6 - Reactie van de met de nokkenkleefvanger gereduceerde totale zijdelingse wrijving op een toe- of afname van de konusweerstand in het Kwartair en in het Tertiair en bij overgang van de konus van het Kwartair naar het Tertiair

- Reaction of the total side friction reduced with the cam friction reducer on an increase or decrease of the cone resistance in Quaternary and Tertiary deposits and in the zone where the penetrometer tip moves from the Quaternary into the Tertiary

| | | $\frac{ 100\Delta L_{cfr} }{ \Delta L_t }$ | | $\frac{ 100\Delta L_{C,k,d} }{ \Delta L_t }$ | | $\frac{ 100\Delta L_{Ck,d} }{ \Delta L_{cfr} }$ | | $\frac{ 100\Delta L_{L0,6} }{ \Delta L_{cfr} }$ | | Onbepaalde rest in ΔL_{cfr} | |
|---|--------------------------------|--|----|--|----|---|----|---|---|-------------------------------------|----|
| | | \bar{x} | s | \bar{x} | s | \bar{x} | s | \bar{x} | s | \bar{x} | s |
| | | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % |
| Kwartair | 14 bepalingen \bar{x}_1, s_1 | 186 | 24 | 69 | 13 | 38 | 6 | 17 | 9 | 45 | 8 |
| Tertiair | 12 bepalingen \bar{x}_2, s_2 | 147 | 28 | 85 | 12 | 60 | 14 | 11 | 8 | 29 | 12 |
| Overgang Kwartair-Tertiair | 7 bepalingen \bar{x}_3, s_3 | 241 | 35 | 78 | 8 | 33 | 6 | 9 | 4 | 58 | 6 |
| t-test : $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ | V = 24 signifikantie | 3,82 S | | -3,24 S | | -5,34 S | | 1,78 = | | 4,05 S | |
| t-test : $\bar{x}_1 - \bar{x}_3$ | V = 19 signifikantie | -4,25 S | | -1,67 = | | -1,80 = | | 2,22 ? | | -3,78 S | |
| t-test : $\bar{x}_2 - \bar{x}_3$ | V = 17 signifikantie | -6,45 S | | 1,37 = | | 4,81 S | | 0,61 = | | -5,92 S | |
| S : signifikant; ? : waarschijnlijk signifikant; = : niet signifikant | | | | | | | | | | | |

met de t-student verdeling voor $n_1 + n_2 - 2$ vrijheidsgraden. De beslissing werd genomen op grond van de significantieniveaus 0,01 en 0,05.

Uit tabel 6 blijkt het volgende.

1. De theoretische benadering ΔL_t is ontoereikend om ΔL_{cfr} te verklaren vermits deze laatste in alle gevallen duidelijk groter is, namelijk 186 %, 147 % en 241 % voor het Kwartair, Tertiair en hun overgang. Deze gemiddelden wijken significant van elkaar af. Afhankelijk van de drie mogelijkheden zouden er in ΔL_t nog andere factoren moeten worden beschouwd.
2. In de theoretische benadering overheerst het aandeel van $\Delta C_{k,d}$ met 69 %, 85 % en 78 % voor het Kwartair, Tertiair en hun overgang. In werkelijkheid is het aandeel van $\Delta C_{k,d}$ in ΔL_{cfr} met respectievelijk 38 %, 60 % en 33 % overal beduidend kleiner. Het eerste en het derde gemiddelde wijken niet significant van elkaar af. Deze uniformiteit beantwoordt aan de gelijkaardige plaats van de nokjes in beide gevallen, namelijk telkens in het Kwartair. Verder blijkt dat de bijdrage van $\Delta C_{k,d}$ in ΔL_{cfr} groter uitvalt in het Tertiair dan in het Kwartair. De reactie van ΔL_{cfr} op een verandering van de konusweerstand is procentueel blijkbaar het grootste in het Tertiair.
3. Het aandeel van $\Delta L_{L_{0,6}}$ in ΔL_{cfr} is voor de drie gevallen gering. De gemiddelden wijken niet significant van elkaar af.
4. Voor het Kwartair, Tertiair en hun overgang rest er in ΔL_{cfr} nog respectievelijk 45 %, 29 % en 58 % onverklaard. Deze waarden wijken significant van elkaar af en zijn zeker niet te verwaarlozen.

43471.3. Verklaring*

Aangezien ΔL_{cfr} ongeveer 0,6 m achter komt op $\Delta C_{k,d}$ en ΔL_t de waarneming ΔL_{cfr} niet volledig verklaart, kan worden gedacht aan een soort door de nokjes veroorzaakt ringeffekt. Men kan verwachten dat zich rond de nokjes bijkomende glijvlakken

* De theoretische achtergrond is afgeleid in samenspraak met Prof. Dr. ir. E. DE BEER en Prof. Dr. ir. W. VAN IMPE.

ontwikkelen waardoor een bijkomende korrelspanning op de draagbuis omheen de nokjes wordt uitgeoefend. Dit wordt bevestigd door zeer snelle sleet van de flanken van de nokjes en door de omvangrijke, zeer snel aangroeiende uithollingen. Na circa 700 m sondering waren er in de draagbuis reeds uithollingen van 2 mm diepte en tot 35 mm beneden, 25 mm boven en 8 mm lateraal van de inplanting van de nokjes met het oog merkbaar.

Daar de resterende percentages van ΔL_{cfr} afhankelijk blijken te zijn van de drie mogelijkheden kan men veronderstellen dat ook het ringeffekt hiervan afhangt. Nochtans doet zich, voor wat het Tertiair betreft, een complicatie voor. De tertiaire (weinig) kleihoudende zanden zijn heel waarschijnlijk overgeconsolideerd. In die toestand heeft men te maken met hogere konusweerstand dan bij een normale consolidatie (J. HOLDEN, 1971; J. SCHMERTMANN, 1972; H. BEGEMANN, 1976).

In geval van overkonsolidatie is, in zanden, de aangenomen en gemeten $\Delta L_{Ck,d}$ te groot. De reden moet worden gezocht in het samengaan met de breukverschijnselen van geringe volumewijzigingen. In de onmiddellijke omgeving van de konus (enkele mm tot cm) treedt, met verbrijzeling van de korrels, een volumevermindering op. Verderop kunnen effecten van dilatantie optreden met een ontspanning van de grond tot gevolg. De overkonsolidatie werkt de vorming van gewelven omheen de gedilateerde zone in de hand. Hierdoor en mede als gevolg van de geringe doorlatendheid van deze tertiaire zanden wordt die gedilateerde zone tijdelijk gehandhaafd. In dit gebied kunnen we dan spreken van een verminderde korrelspanning. Daardoor ondervinden de nokjes een lagere $C_{k,d}$ en is $\Delta C_{k,d}$ in de berekening bijgevolg te groot. Dit is vermoedelijk de reden waarom de bijdrage van $\Delta L_{Ck,d}$ in ΔL_{cfr} schijnbaar groter is en de verhouding $100 \frac{|\Delta L_{cfr}|}{|\Delta L_t|}$ en de onbepaalde rest in ΔL_{cfr} schijnbaar lager zijn in het Tertiair dan in het Kwartair.

Vermits de effecten zich manifesteren onmiddellijk na intrede in het Tertiair, zou dit betekenen dat de overkonsolida-

tie in de topzone van de tertiaire kleihoudende zanden groten- deels is bewaard gebleven. Dat zou opmerkelijk zijn gelet op hun geschiedenis : de top is een kwartair erosievlak en de topzone werd beïnvloed door vorstwerking. Men zou eerder hebben verwacht dat de overkonsolidatie van de topzone zou verdwenen zijn. Uit het verder onderzoek is nochtans gebleken dat ook het verlaagde wrijvingsgetal in deze zone op overkonsolidatie wijst.

4347.2. Vaste kleilagen

Het gedrag van de totaalkleef in overgekonsolideerde vaste klei werd door R. CARPENTIER (1976) voor de Boomse Klei voldoende belicht. Voor meer informatie hierover verwijzen we daarom naar zijn werk. Wij beperken ons tot waarneming van de totale zijdelingse wrijving in vaste kleien na aanwending van de nokkenkleefvanger.

In figuur 26 ziet men $L_{cfr,10}$ na intrede van de konus in de klei vanaf 29,0 m eerst steil dalen (deel 1). Tussen 29,5 en 30,1 m verloopt ze nagenoeg evenwijdig met de y-as (deel 2). Pas onder 30,1 m neemt $L_{cfr,10}$ terug toe, eerst met een zwakke helling (deel 3) maar na enkele waarden met een nagenoeg konstante, vrij steile helling (deel 4). Vanaf 32,6 m neemt de helling terug iets af (deel 5). Na de onderbreking door ophalen van de buizen zet L aanvankelijk aarzelend aan (deel 6) om tussen 33,9 en 34,2 m (deel 7) terug steil toe te nemen. Vanaf 34,2 m neemt de curve opnieuw een zwakkere helling aan (deel 8). Tenslotte na de tweede ophaling van de buizen ziet men $L_{cfr,10}$ regelmatig stijgen (deel 9) maar met een zwakkere helling dan in deel 4.

De daling in deel 1 is toe te schrijven aan effecten zoals beschreven in de vorige paragraaf. De aarzeling van $L_{cfr,10}$ zoals in deel 2, werd eveneens vastgesteld door R. CARPENTIER (1976) in sonderingen in de topzone van de Boomse Klei R. CARPENTIER verklaart dit verschijnsel als een neutralisatie van de toename door de snelle uitsterving van de totaalkleefbijdrage van de bovenliggende zandlaag. Deze oorzaak schijnt logisch en alhoewel een zekere invloed door aftakeling van de totaalkleef-

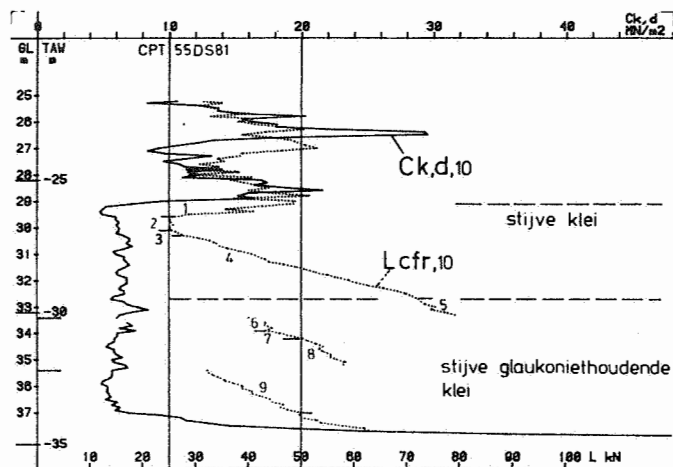


Fig. 26 - Het reducerende effect van de nokkenkleefvanger is klein in stijve (glaukoniethoudende) klei. Een relatief lage $C_{k,d,10}$ samen met een snel oplopende $L_{cfr,10}$ is een aanwijzing voor een zeer cohesieve stijve laag

- The reducing effect of the cam friction reducer is small in stiff (glauconiferous) clay. A relative low $C_{k,d,10}$ together with a rapidly increasing $L_{cfr,10}$ is an indication for a very cohesive stiff layer

bijdrage van de bovenliggende lagen mag worden verwacht zijn we toch een andere mening toegedaan. Men dient immers te beseffen dat deel 2 een aanvang neemt op het ogenblik dat de kleefvanger uit het Kwartair komt, d.w.z. dat de kleefreduktie daarin groten-deels is voltooid. Bovendien houdt die aarzeling van $L_{cfr,10}$ nog enige tijd aan om nadien, met een zeer duidelijke knik in de kurve, over te gaan in een aanzienlijke toename. Een dergelijke aarzeling komt lang niet overal zo uitgesproken voor en kan zelfs totaal ontbreken. Dit wijst op een belangrijk aandeel van geologische oorzaken namelijk de verstoring die de topzone ondergaan heeft tijdens de erosie in het Kwartair.

In deel 4 neemt L met een vrij konstante helling toe, maar vanaf deel 5 zwakt de helling opnieuw af. Ook in deel 8 en 9 is de helling van L duidelijk minder steil dan in het deel 4. Dit houdt verband met de aard van de grond. Deel 4 komt overeen met de grijze zuivere klei van het Lid van Ursel terwijl men vanaf deel 5 te doen heeft met de glaukoniethoudende klei van het Lid van Asse.

De bepaling van de grens tussen glaukoniethoudende en niet glaukoniethoudende klei op grond van de hellingsverandering

van L_{cfr} kan natuurlijk slechts gebeuren wanneer men weet dat die lagen aanwezig zijn. Heeft men op een bepaalde plaats helemaal geen idee over de geologische bouw dan kan men de relatief lage maar vrij konstante konusweerstand samen met een snel oplopende gereduceerde totale zijdelingse wrijving toeschrijven aan een zeer cohesieve, stijve laag.

43.5. DE KONUSWEERSTAND, DE PLAATSELIJKE KLEEF EN HET WRIJVINGSGETAL

435.1. Keuze van het klassifikatiesysteem

Reeds heel wat onderzoek werd verricht op onmiddellijke grondklassifikatie door middel van :

$$- W_{20} = 100 \frac{F_{s,2,20}}{C_{k,d,20}} \text{ of } \frac{C_{k,d,20}}{F_{s,2,20}} \quad (\text{H. BEGEMANN, 1965})$$

- combinaties van $(C, F)^*$ -waarden (G. SANGLERAT, 1972)

- een grafisch verband tussen $C_{k,d,20}$ en W_{20} (J. SCHMERTMANN, 1969) of C en W (G. SANGLERAT et al., 1974)

De klassifikatie volgens H. BEGEMANN (1965) steunt op een verband tussen een bepaalde waarde van $C_{k,d,20}/F_{s,2,20}$ en het gewichtsprocent deeltjes $<16 \mu\text{m}$. In een x-y assenkruis met $F_{s,2,20}$ in funktie van $C_{k,d,20}$ wordt het verband met de respektievelijke gewichtsprocenten gegeven door een waaier van rechten door de oorsprong (fig. 27). Daaraan kunnen de verschillende grondbenamingen worden toegevoegd (fig. 28). De gewichtsprocenten deeltjes $<16 \mu\text{m}$ of de grondsoorten worden hier dus gekarakteriseerd door de richtingskoefficienten $(C_{k,d,20}/F_{s,2,20})$ van de rechten. Daar het gaat om rechten door de oorsprong kan evengoed de omgekeerde verhouding in procent "het wrijvingsgetal" als kenmerk worden gebruikt (fig. 27).

* De neutrale symboliek C, F en W voor de konusweerstand, de plaatselijke kleef en het wrijvingsgetal wordt hier gebruikt wanneer de klassifikatie met een andere konus dan de kleefmantelkonus van BEGEMANN werd opgesteld.

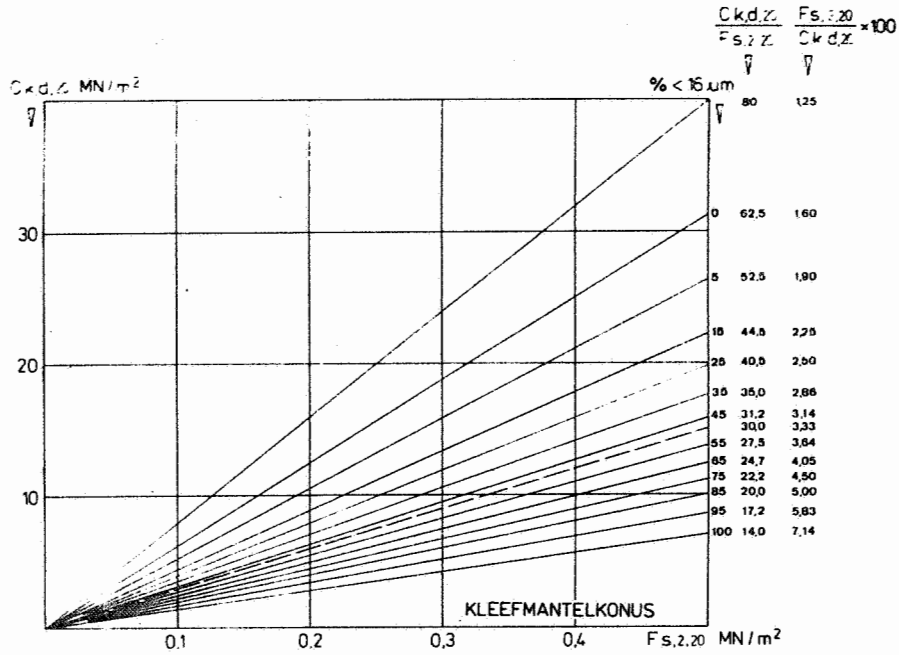


Fig. 27 - Verband tussen $C_{k,d,20}$, $F_{s,2,20}$ en het percentage deeltjes <16 μm volgens H. BEGEMANN (1965)

- Relation between $C_{k,d,20}$, $F_{s,2,20}$ and percentage of particles <16 μm according to H. BEGEMANN (1965)

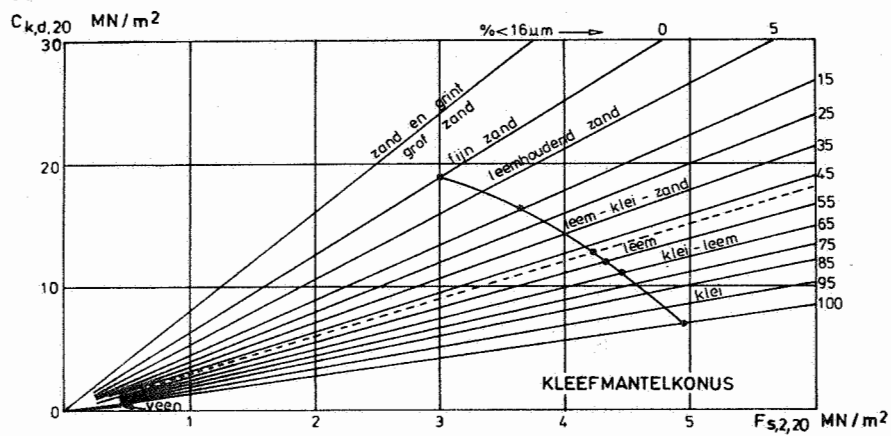


Fig. 28 - Grondklassifikatie volgens H. BEGEMANN (1965)

- Soil classification according to H. BEGEMANN (1965)

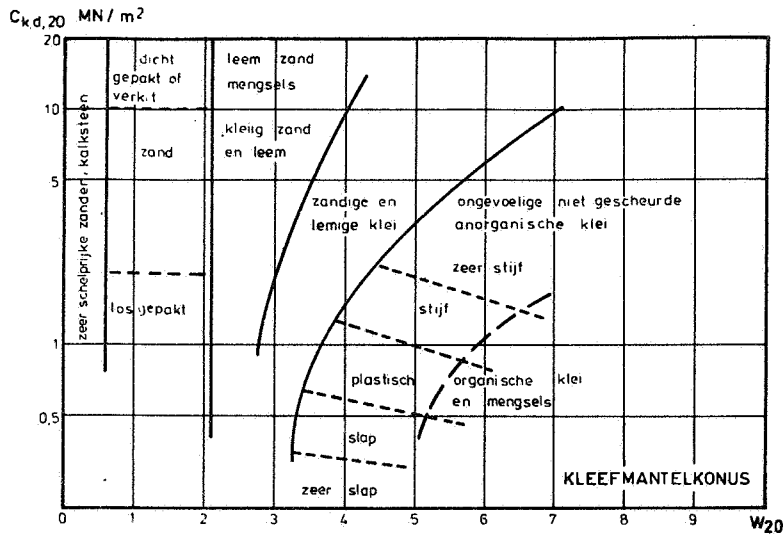


Fig. 29 - Grondklassifikatie volgens J. SCHMERTMANN (1969)
 - Soil classification according to J. SCHMERTMANN (1969)

In het diagram van J. SCHMERTMANN (1969) (fig. 29) wordt op semi-logaritmisch papier de konusweerstand uitgezet ten opzichte van het wrijvingsgetal. Men stelt vast dat het zandgebied ook hier door een rechte ($W_{20} = 2,1$) wordt begrensd. Daar die rechte evenwijdig loopt met de $C_{k,d,20}$ -as komt ze in het diagram van H. BEGEMANN overeen met een rechte door de oorsprong gelegen tussen de rechten kenmerkend voor 5 % en 15 % deeltjes $< 16 \mu m$. In ieder geval wordt ten opzichte van het diagram van H. BEGEMANN een betere spreiding bekomen tussen de verschillende grondsoorten en bovendien is een aanvullende onderverdeling aangebracht betreffende de pakkingsdichtheid van het zand en de consistentie van de klei.

Beide klassifikaties zijn te gebruiken op diepsonderingen in natuurlijk afgezette, normaal gekonsolideerde, verzadigde sedimenten. In principie zijn ze uitsluitend toepasbaar

op metingen met het konustype waarmee ze werden opgesteld (hier de kleefmantelkonus van BEGEMANN). Afgezien van een eventuele invloed van de geometrie van de konuspunt ligt de reden vooral in de geometrie van de kleefmeter en zijn plaatsing ten opzichte van de konuspunt (H. BEGEMANN, 1953, 1969; L. PAREZ, 1974). Zoals eerder in deze studie aangetoond zou ook de meetstap (hier 200 mm) een beperkende faktor kunnen zijn bij het gebruik van deze klassifikaties. Verderop zal echter blijken dat de met de kleinere meetstap gepaard gaande afwijkingen in $F_{s,2}$ en W ondergeschikt zijn aan sommige storende factoren eigen aan de kleefmantelkonus.

Vanuit Frankrijk zijn de klassifikaties bekend van de Ecole Centrale Lyonnaise. Ze werden opgesteld met de statisch-dynamische Andina-konus. Aanvankelijk werd een systeem, gesteund op (C,F)-waarden in tabelvorm (tab. 7) (G. SANGLERAT, 1972), uitgewerkt. Uit de tabel blijken, voor bepaalde combinaties van waarden, meerdere grondsoorten mogelijk. Later werden ook relaties opgesteld op grond van (C,W)-waarden (tab. 8 en fig. 30) (G. SANGLERAT et al., 1974). De auteurs wijzen erop dat enkel zuivere zanden, kleien en lemen gemakkelijk te klassificeren zijn maar niet de tussenliggende grondsoorten. Een gelijkaardige ervaring werd opgedaan door T. GOSTELOW en J. LAMBERT (1979) bij de klassifikatie van de in hun studie onderscheiden geotechnische eenheden met het diagram van J. SCHMERTMANN (1969).

G. SANGLERAT et al. (1974) vermelden enkele interessante besluiten die hier van nut kunnen zijn.

- Het verband tussen F , C en het procent deeltjes kleiner dan $80 \mu\text{m}$, in een x-y assenkruis, is gelijkaardig aan dat van H. BEGEMANN (1965), namelijk een stel rechten door de oorsprong.
- De plaatselijke kleef stijgt met een toenemend aantal fijne deeltjes en met het watergehalte.
- Voor sonderingen tot 40 m stijgt het wrijvingsgetal lichtjes met de diepte.
- De nauwkeurigheid van de interpretatie stijgt met toenemende konusweerstand (zie ook J. SCHMERTMANN, 1969). Bij een $C < 0,4 \text{ MN/m}^2$ is de nauwkeurigheid laag.

| | |
|--|--|
| a) $C < 6$ bar $0,15 < F < 0,40$ bar | : veen, of zeer slappe klei |
| b) $C < 10$ bar $F < 0,20$ bar $0,20 < F < 0,60$ bar | : losgepakt leemhoudend zand en zeer losgepakte grondaanvullingen : slappe klei of slappe leemhoudende klei |
| c) $10 < C < 30$ bar $F < 0,1$ bar $0,1 < F < 0,40$ bar $0,40 < F < 0,80$ bar $0,80 < F < 2$ bar | : losgepakte grintaanvullingen : losgepakt zand of loess boven de watertafel : plastische klei of plastische lemige klei : half stijve klei |
| d) $30 < C < 60$ bar $F < 1$ bar $1 < F < 3$ bar | : middelmatig gepakt leemhoudend zand en zuiver zand : stijve klei of stijve lemige klei |
| e) $60 < C < 150$ bar $F < 1$ bar $1 < F < 3$ bar $F < 3$ bar | : zuiver grint mogelijk met losgepakt fijn zand : dichtgepakt zand of dichtgepakte mengsels van zand, leem of klei; kleihoudend grint : grint in een matrix van dichtgepakt kleihoudend zand; zeer stijve klei ($C > 90$ bar) |
| f) $150 < C < 300$ bar $1 < F < 2$ bar $F < 2$ bar | : dichtgepakt zand en grintmengsels : grof zand of zeer dichtgepakt leemhoudend zand |

Tabel 7 - Klassifikatie gesteund op de Andina-konus volgens de Ecole Centrale Lyonnaise (naar G. SANGLERAT, 1972)

- Soil Classification founded on the Andina cone according to Ecole Centrale Lyonnaise (after G. SANGLERAT, 1972)

| | |
|-------------------|-------------------------------------|
| Kleien | $C < 8$ bar $W > 3$ % |
| Zandhoudende leem | $4 < C < 30$ bar $1 < W < 7$ % |
| Leem | $7 < C < 20$ bar $1,5 < W < 5$ % |
| Kleihoudende leem | $4 < C < 50$ bar $1 < W < 8$ % |
| Zand | $C > 15$ bar $W < 2,5$ % |
| Leemhoudend zand | $8 < C < 40$ bar $1 < W < 5$ % |
| Kleihoudend zand | $3 < C < 60$ bar $1 < W < 5$ % |
| Zandhoudend grint | $C > 20$ bar $W < 2$ % |
| Kleihoudend grint | $C > 10$ bar $W < 5$ % |

Tabel 8 - Klassifikatie gesteund op de Andina-konus volgens de Ecole Centrale Lyonnaise (naar G. SANGLERAT, 1974)

- Soil Classification founded on the Andina cone according to Ecole Centrale Lyonnaise (after G. SANGLERAT, 1974)

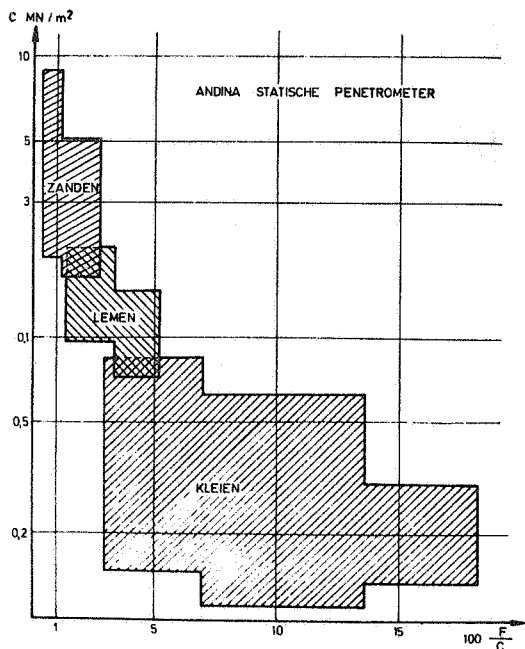


Fig. 30 - Verband tussen C, W en zanden, lemen en kleien (G. SANGLERAT et al., 1974)

- Relation between C, W and sands, loams and clays (G. SANGLERAT et al., 1974)

- Een sondering met plaatselijke kleefmeting laat onderscheid toe tussen niet samenhangende en samenhangende grondsoorten. Waarden van $W < 2\%$ kenmerken de zanden, waarden van $W > 5\%$ à 6% de kleien. Waarden daartussen stemmen overeen met mengsels van zand, klei en leem. In de samenhangende grondsoorten geeft het wrijvingsgetal indicaties over die met een hoge en een lage plasticiteit.

Hoewel een grafisch verband tussen $C_{k,d}$ en $F_{s,2}$ of W mogelijk nauwkeuriger is, hebben wij in hoofdzaak aandacht besteed aan de betekenis van W . Men heeft aldus slechts één waarde per niveau, die gemakkelijk grafisch kan worden voorgesteld met de andere sondeerdiagrammen. Naast een rechtstreeks beeld van de litologie heeft men nog het voordeel de structuur van het W -diagram te kunnen interpreteren.

Met betrekking tot het wrijvingsgetal werd aan de volgende aspecten aandacht besteed :

1. de noodzaak tot het terugbrengen van de plaatselijke kleef over twee niveaus,
 2. het wrijvingsgetal en de onderkenning van de grondsoorten :
 - het verband sondeerafstand-wrijvingsgetal,
 - het wrijvingsgetal in de litostratigrafische eenheden,
 - het verband wrijvingsgetal-grondsoort,
 - het wrijvingsgetal en de gelaagdheid of de homogeniteit van een afzetting,
 3. de betekenis van het verbeterd wrijvingsgetal.
- 435.2. De noodzaak tot het terugbrengen van de plaatselijke kleef over twee niveaus

Dat de plaatselijke kleef, gemeten met de kleefmantelkonus, moet verschoven worden naar het juiste niveau om een zo representatief mogelijk wrijvingsgetal te bekomen, kan grafisch en door berekening worden bewezen.

In de sondering van figuur 31 werd het wrijvingsgetal bepaald met de niet-overeenstemmende en de overeenstemmende plaatselijke kleef :

$$W_{10}^* = 100 \frac{F_{s,10}}{C_{k,d,10}} \quad \text{en} \quad W_{10} = 100 \frac{F_{s,2,10}}{C_{k,d,10}}$$

zicht neemt men tussen W_{10}^* en W_{10} reeds belangrijke verschillen waar. Beschouwt men de weerstandbiedende laag tussen 4 en 8 m dan blijkt duidelijk dat de afwijkingen zich vooral concentreren bij een belangrijke toe- of afname van de konusweerstand. Met een toename van $C_{k,d,10}$ is W_{10}^* te laag (pijl 1, fig. 31); met een afname valt W_{10}^* al te hoog uit (pijl 2). In zanden gekenmerkt door een konusweerstand met een uitgesproken zaagtandvormig verloop (intervallen 5, 6₁, 6₂, 7, fig. 31) vertoont W_{10}^* merkkelijk grotere schommelingen dan W_{10} .

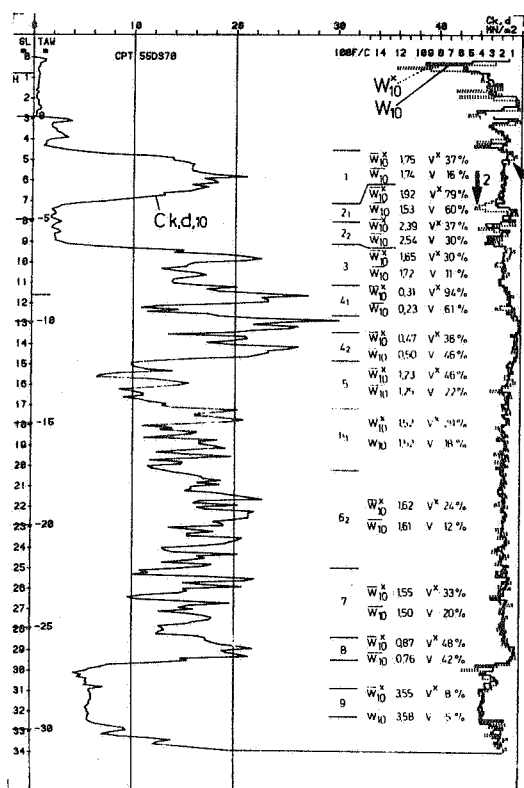


Fig. 31 - Het wrijvingsgetal berekend met $F_{s,2,10}$ (W_{10}) is veel specifieker voor de grondsoort dan dit berekend met $F_{s,10}$ (W_{10}^*). Dit wordt bevestigd door de afwijkingen van W_{10}^* bij belangrijke toe- of afnamen van $C_{k,d,10}$ (pijlen 1 en 2) en door de ongunstiger variatiecoëfficiënt V^x van W_{10}^* in een laag

- The friction ratio calculated with $F_{s,2,10}$ (W_{10}) is much more specific for the kind of soil than when it is calculated with $F_{s,10}$ (W_{10}^*). This is proved by deviations of W_{10}^* at important increases or decreases of $C_{k,d,10}$ (arrows 1 and 2) and by the worse variationcoefficient V^x of W_{10}^* in a layer

Een en ander blijkt ook uit de variatiecoëfficiënt V in procent uitgedrukt van het gemiddeld wrijvingsgetal van een interval ($V = \frac{100s}{\bar{x}}$). De intervallen in figuur 31 werden op grond van de litologie afgebakend. Voor ieder interval werd \bar{W}_{10} , V en \bar{W}_{10}^* , V^* berekend. Men stelt vast dat, alhoewel in de meeste gevallen \bar{W}_{10} maar weinig verschilt van \bar{W}_{10}^* , V aanzienlijk lager is dan V^* . \bar{W}_{10} is dus afkomstig van een veel nauwere verzameling waarden of anders gezegd, door de overeenstemmende plaatselijke kleeft in plaats van de niet-overeenstemmende te gebruiken bekomt men binnen dezelfde grondsoort, op iedere diepte, een veel uniformer en dus specifiek wrijvingsgetal.

435.3. Het wrijvingsgetal en de onderkenning van de grondsoorten

4353.1. Onderzoeksmateriaal

Met deze analyse wilden we nagaan hoe nauwkeurig het wrijvingsgetal de verschillende grondsoorten in het studiegebied beschrijft. Bij gebrek aan voldoende rechtstreeks vergelijkingsmateriaal werd in hoofdzaak uitgegaan van correlaties van de sondeergegevens met de litostratigrafische eenheden in het gebied. Hierbij werden wel enkele regels streng in acht genomen :

- de interpretatie van de litostratigrafische eenheid in de sondering is zeker;
- de litostratigrafische eenheid vertoont de normale kenmerken in de sondering;
- de litostratigrafische eenheid is door laboratoriumproeven voldoende gekenmerkt.

Voldoende gegevens werden aldus verkregen uit de kwartaire eenheden K1, K2,1, K3,1+3, K5,1, K5,2, K7 en K8,1 en uit de tertiaire eenheden T4,1, T6,1, T7,1, T8,1, T10 en T11.

Uit het vergelijkend onderzoek van de meetstap herinnert men zich dat in bepaalde grondsoorten de weerstanden afhangen van de meetstap. Daarom zijn enkel waarnemingen van de 100 mm-sonderingen in deze analyse betrokken, behalve wanneer te weinig materiaal voorhanden was en op voorwaarde dat voor de

grondsoort geen significante afwijkingen tussen beide meetstappen waren aangetoond. Waarnemingen van de 200 mm-sonderingen zijn daarom enkel aangewend in de eenheden K1, K3,1+3, T10 en T11.

4353.2. Onderzoeksmethode

Na interpretatie van de litostratigrafische eenheden in de sonderingen werden daarin intervallen afgebakend op grond van de volgende criteria.

- De intervallen hebben per litostratigrafische eenheid ongeveer dezelfde grootte.
- Het minimum aantal waarden in een interval bedraagt 10. Voor de eenheid K5,1 was dat evenwel niet haalbaar en werd het aantal verlaagd tot 5.
- In een interval blijft de konusweerstand ongeveer even groot of schommelt binnen aanvaardbare grenzen.
- Onbetrouwbare metingen worden geëlimineerd.

Van ieder interval werd het gemiddelde van $F_{s,2}$, $C_{k,d}$, W en $\frac{C_{k,d}}{F_{s,2}}$ bepaald. Deze gemiddelden werden per eenheid gegroepeerd. Met de regressieanalyse werd nagegaan welk verband er tussen de stellen $(F_{s,2}, C_{k,d})$ -waarden kon worden gevonden in het diagram van H. BEGEMANN. Is het verband een rechte door de oorsprong dan kan men het omgekeerde van de richtingscoëfficiënt in procent uitgedrukt, als karakteristiek wrijvingsgetal nemen. Volgende vergelijkingen zijn beproefd: $y = ax$, $y = a + bx$, $y = a e^{bx}$, $y = 1/(a + bx)$, $y = a + b/x$, $y = a + b \log x$, $y = ax^b$ en $y = x/(a + bx)$. De best passende kromme werd uitgekozen op grond van de kleinste residuele fout en de maximum determinatiecoëfficiënt (r^2). Zoals bekend geeft r^2 het aandeel weer van de verklaarde variatie ten opzichte van de totale variatie. Hoe meer $r^2 + 1$ benadert des te beter beschrijft de beschouwde kromme het verband tussen de punten. In geval de regressieanalyse een niet-lineaire correlatie opleverde waarvan de residuele afwijking en r^2 weinig beter waren dan die van een rechte, werd de rechte verkozen.

4353.3. De sondeerafstand in functie van het wrijvingsgetal

Om de invloed van de door de konus gesondeerde afstand op het wrijvingsgetal te onderzoeken werden de gemiddelde wrijvingsgetallen van de intervallen van de eenheden herschikt naar gelang de kleefmantelkonus (konus I of II) waarmee ze werden gemeten en uitgezet tegenover de gesondeerde afstand. Met de regressieanalyse werd de best passende kromme op grond van de maximum r^2 bepaald.

De gesondeerde afstand horende bij een zeker gemiddelde werd eenvoudigheidshalve met eenheidstoename van 30 m per opeenvolgende sondering, dit is de gemiddelde indringingsdiepte van de sonderingen, berekend. Meerdere gemiddelden van dezelfde sondering werden dus vereenvoudigd uitgezet ten opzichte van eenzelfde, bij de sondering horende, gesondeerde afstand.

Voldoende gegevens voor dit onderzoek waren enkel beschikbaar van de kleefmantelkonus II in de eenheden K2,1 en K5,2.

Kleefmantelkonus II in K2,1

De waarnemingen van de reeks liggen goed verdeeld over de gesondeerde afstand (fig. 32). Men merkt dat de wrijvingsgetallen van de eerste zes sonderingen beduidend hoger liggen dan de daarop volgende waarden. Vanaf 180 m blijken de punten te schommelen tussen de grenzen $W_{10} = 1,8$ en $W_{10} = 1,4$.

Deze tendens wordt goed door de best passende kromme weerspiegeld. Na een sterk dalende aanvang wordt de kurve geleidelijk meer horizontaal. De korrelatiewaarde van deze kromme ($y = ax^b$) is met $r^2 = 0,37$ evenwel gering. Verkiest men de best passende kromme op grond van het criterium van de kleinste maximale absolute afwijking, dan komt deze tendens nog sterker tot uiting (fig. 33).

Alles wijst erop dat er in deze reeks wel degelijk sprake is van een verband tussen het wrijvingsgetal en de door de konus gesondeerde afstand. De eerste sondeerlengte van zowat 150 m, met grotere wrijvingsgetallen, is te interpreteren als een

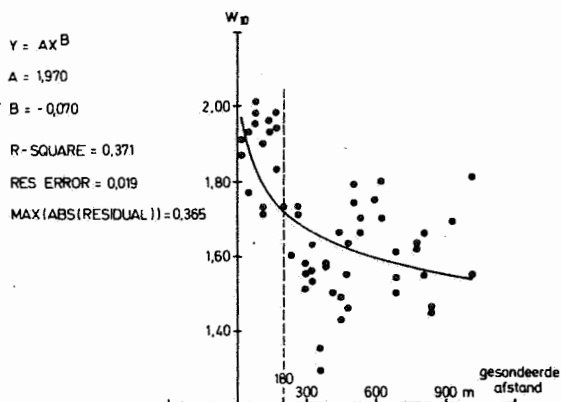


Fig. 32 - Verband tussen het wrijvingsgetal en de door de kleefmantelkonus II gesondeerde afstand in K2,1 (r^2 maximaal)

- Relation between the friction ratio and the distance sounded by the friction sleeve penetrometer tip II in unit K2,1 (r^2 is maximum)

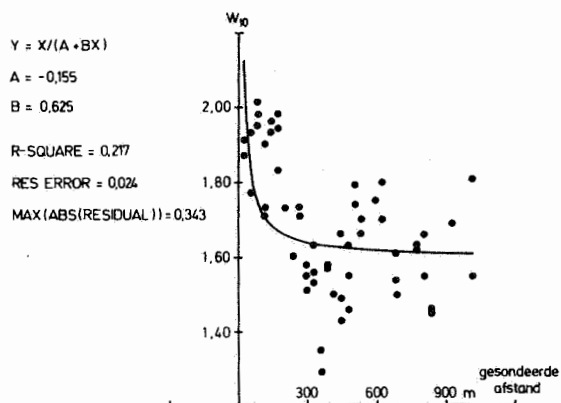


Fig. 33 - Verband tussen het wrijvingsgetal en de door de kleefmantelkonus II gesondeerde afstand in K2,1 (maximum absolute afwijking is minimaal)

- Relation between the friction ratio and the distance sounded by the friction sleeve penetrometer tip II in unit K2,1 (maximum absolute residual is minimum)

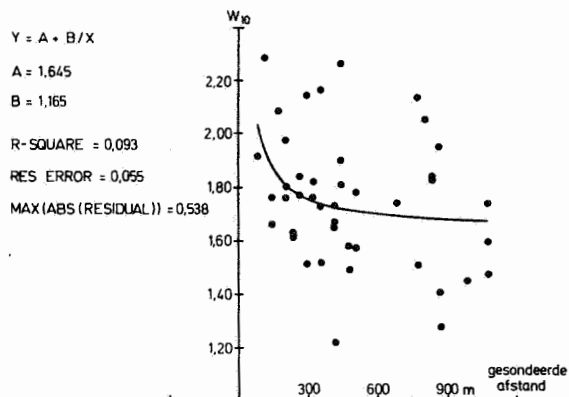


Fig. 34 - Verband tussen het wrijvingsgetal en de door de kleefmantelkonus II gesondeerde afstand in K5,2 (r^2 is maximaal)

- Relation between the friction ratio and the distance sounded by the friction sleeve penetrometer tip II in unit K5,2 (r^2 is maximum)

soort inlooperperiode van de konus, meer specifiek van de kleefmeter. Het is geweten dat bij een niet-gerodeerde konus de plaatselijke kleef aanzienlijk wordt beïnvloed door de ruwheid van het in- en uitwendig oppervlak van de kleefmeter maar ook door geringe verschillen tussen de uitwendige diameter van de kleefmeter en de konuspunt en het niet perfect cilindrisch zijn van de kleefmeter (W. HEIJNEN, 1972). Een kleefmeter met een diameter die slechts enkele μm te groot is kan reeds leiden tot een belangrijke toename van de plaatselijke kleef.

Kleefmantelkonus II in K5,2

Deze verzameling wrijvingsgetallen (fig. 34) is minder volledig en vooral in de eerste 150 m sondering ontbreken er veel metingen. De best passende kromme heeft een r^2 van ongeveer nul zodat van enige korrelatie geen sprake is.

Uit deze reeks blijkt geen duidelijk verband met een eerste in gebruik name van de konus maar dat kan te wijten zijn aan het ontbreken van metingen in de kritieke eerste 150 m.

Besluit

Een kleefmantelkonus heeft een inlooperperiode waarin de plaatselijke kleef en het wrijvingsgetal nog niet zijn gestabiliseerd. Onze waarnemingen wijzen op een inlooperperiode van mogelijk 150 m wat toch aanzienlijk is in vergelijking met een levensduur van de kleefmantelkonus van ongeveer 1000 m sondering in dichtgepakte zanden.

4353.4. Het wrijvingsgetal in de kwartaire litostratigrafische eenheden

43534.1. Fijn en zeer fijn zand

Bestudeerd zijn de eenheden K2,1, K5,2 en K8,1. Daar in elke eenheid voldoende gegevens voor beide konussen beschikbaar waren, werden de reeksen per konus (KI of II) geanalyseerd (fig. 35, 36, 37). In de figuren zijn de vergelijkingen van de

best passende rechten eerst vermeld. Tussen haakjes staan de best passende rechten door de oorsprong.

Uitgenomen voor de reeks K2,1 (KI) werd in alle gevallen als best passende kromme een rechte van de vorm $y = a + bx$ gevonden. Het minieme verschil van r^2 (nl. 0,01) rechtvaardigt evenwel ook voor K2,1 (KI) een rechte van deze vorm. Bovendien kan men overal evengoed een rechte door de oorsprong als korrelatie aannemen vermits de koëfficiënten a in $y = a + bx$ zeer klein zijn en de determinatiekoëfficiënten r^2 voor de rechten door de oorsprong slechts een weinig minder gunstig uitvallen.

Voor de respektievelijke zandsoorten van de beschouwde eenheden (tab. 4) vinden we in het diagram van H. BEGEMANN een lineaire korrelatie door de oorsprong terug. De omgekeerde richtingskoëfficiënt van de overeenstemmende rechten $y = ax$ zouden dus als kenmerkend wrijvingsgetal voor deze zanden kunnen worden aanvaard.

Vindt men per eenheid en per konus een goede rechtlijnige korrelatie dan stelt men afwijkingen vast tussen de reeksen KI en KII van dezelfde eenheid. Inplaats van min of meer samen te vallen, verlopen de korrelaties van de reeksen KI systematisch hoger en steiler dan die van KII (fig. 35, 36, 37). Dit blijkt ook duidelijk uit de richtingskoëfficiënten van de rechten $y = ax$ die voor de reeksen KI van de eenheden K2,1, K5,2 en K8,1 respektievelijk 31 %, 26 % en 19 % groter zijn dan die van KII. Overeenkomstig is het wrijvingsgetal 24 %, 20 % en 16 % lager. Deze afwijkingen komen heel waarschijnlijk van de plaatselijke kleef gezien de gevoeligheid van deze meting. Geringe konstruktieve verschillen tussen de beide kleefmeters zouden reeds volstaan.

Het kan nuttig zijn te onderzoeken welke konus de beste overeenkomst heeft met het diagram van BEGEMANN. Inlichtingen hierover verkrijgt men door uit te ligging van de rechten, het procent deeltjes $< 16 \mu\text{m}$ af te leiden en te vergelijken met de granulometrische kenmerken van de eenheden. In tabel 9 zijn die

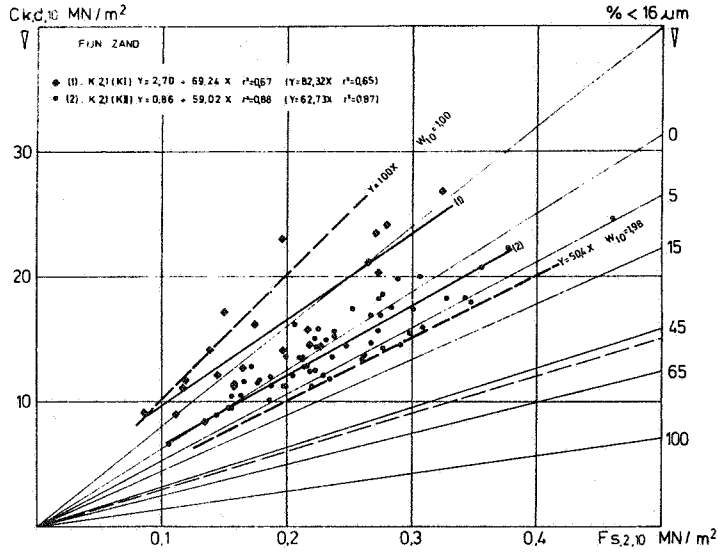


Fig. 35 - Verband tussen de metingen in het fijn zand van K2,1, in het diagram van BEGEMANN, per kleeftmantelkonus (I en II)

- Relation between the measurements in the fine sand of K2,1, in BEGEMANN's diagram, per friction sleeve penetrometer tip (I and II)

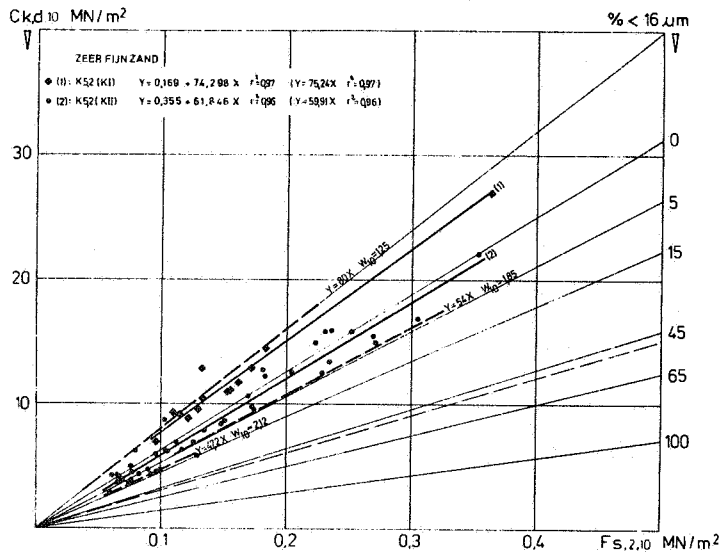


Fig. 36 - Verband tussen de metingen in het zeer fijn zand van K5,2, in het diagram van BEGEMANN, per kleeftmantelkonus (I en II)

- Relation between the measurements in the very fine sand of K5,2, in BEGEMANN's diagram, per friction sleeve penetrometer tip (I and II)

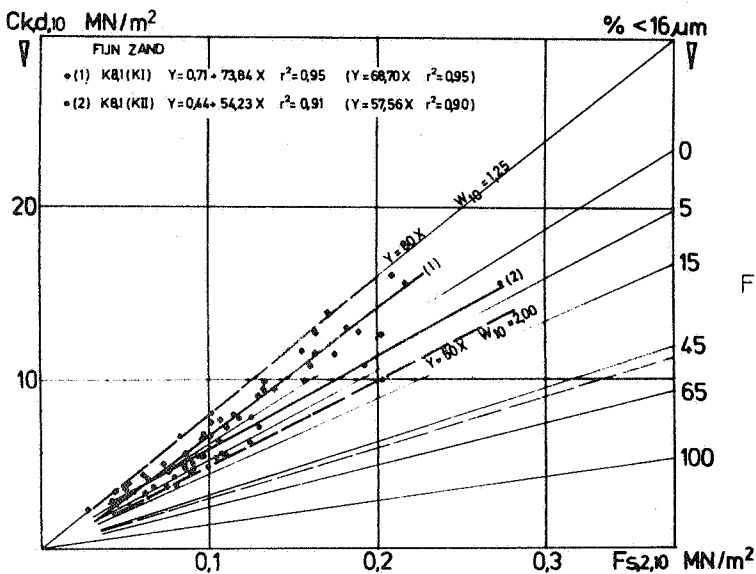


Fig. 37 - Verband tussen de metingen in het fijn zand van K8,1, in BEGEMANN's diagram, per kleeftmantelkonus (I en II)

- Relation between the measurements in the fine sand of K8,1, in BEGEMANN's diagram, per friction sleeve penetrometer tip (I and II)

gegevens samengebracht. Daarin is tevens het globale gemiddelde wrijvingsgetal met standaardafwijking, berekend over alle gemiddelde wrijvingsgetallen van een reeks, aangegeven.

Tabel 9 - Wrijvingsgetallen in K2,1, K5,2 en K8,1 verkregen met de konussen I en II; overeenstemmend percentage deeltjes <16 µm volgens het diagram van BEGEMANN

- Friction ratio in K2,1, K5,2 and K8,1 obtained with cone tips I and II; corresponding percentage of particles <16 µm according to BEGEMANN's diagram

| eenheid | granulometrie Mz = $\bar{x} \pm s$ | %<16 µm volgens diagram van BEGEMANN (1965) | | regressieanalyse uit $y = ax$: $W_{10} = \frac{100}{a}$ | | Globaal gemiddelde wrijvingsgetal $\bar{W}_{10} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{W}_{10,i}$ | | | |
|---------|---|---|----------|---|----------|--|------|------------------------------|------|
| | | konus I | konus II | konus I | konus II | konus I \bar{x}_I s | | konus II \bar{x}_{II} s | |
| K2,1 | Mz = 2,56 φ ± 0,17 φ %<20 µm = 2,05% ± 0,95% | <0 % | 0-5 % | 1,21 | 1,59 | 1,27 | 0,24 | 1,68 | 0,17 |
| K5,2 | Mz = 3,01 φ ± 0,23 φ %<20 µm = 4,26% ± 1,91% | <0 % | 0-5 % | 1,33 | 1,67 | 1,35 | 0,15 | 1,75 | 0,24 |
| K8,1 | Mz = 2,85 φ ± 0,27 φ %<20 µm = 2,23% ± 2,50% | <0 % | 0-5 % | 1,46 | 1,74 | 1,52 | 0,19 | 1,77 | 0,24 |

| t-test : $\frac{\bar{x}_{n,K2,1} - \bar{x}_{n,K5,2}}{\bar{x}_{n,K2,1} - \bar{x}_{n,K8,1}}$ $\frac{\bar{x}_{n,K2,1} - \bar{x}_{n,K8,1}}{\bar{x}_{n,K5,2} - \bar{x}_{n,K8,1}}$ | voor n = I | | | voor n = II | | |
|---|------------|-------|-------|-------------|-------|-------|
| | V | test | sign. | V | test | sign. |
| | | 37 | -1,15 | | 99 | -1,72 |
| | 60 | -4,55 | S | 80 | -1,94 | |
| | 51 | -3,10 | S | 67 | -0,33 | |

Op basis van het procent deeltjes <20 µm (16 µm werd in onze granulometrie niet bepaald) werd voor de verschillende eenheden de beste overeenkomst gevonden voor de reeksen gemeten met de konus II. Nochtans dient men te bedenken dat bij toe-

nemende grofheid van het zand, het wrijvingsgetal kleiner wordt en de punten in het diagram van BEGEMANN boven de 0 %-lijn komen te liggen. Vooral voor de grofste eenheid K2,1 is een dergelijke ligging dan ook niet afwijkend. Bovendien moet men nog rekening houden met de verlaging van het wrijvingsgetal in dichtgepakte zanden (= K2,1) door de 100 mm meetstap. Voor de eenheid K2,1 zou men dan, uit de lagere ligging van de reeks KII, kunnen aanvoeren dat de konus II te grote $F_{s,2,10}$ heeft opgeleverd. Het is dus onduidelijk welke konus fout heeft gemeten.

Uit tabel 9 blijkt het kleine verschil tussen het globale gemiddelde wrijvingsgetal en dit bekomen met de regressie-analyse. Met de t-test is per konus onderzocht of deze gemiddelden significant van elkaar afwijken. Tussen de gemiddelden van K2,1 (KI en K5,2 (KI) vinden we onderling geen, maar ten opzichte van K8,1 (KI) wel een significante afwijking. Tussen de gemiddelden van de konus II is onderling geen significantie vastgesteld. De significante afwijking van het globale gemiddelde wrijvingsgetal van K8,1 (KI) is misschien eerder toevallig. In elk geval is tussen de granulometrisch verst uit elkaar liggende eenheden (K2,1 en K5,2) geen verschil gevonden.

Uit bovenstaande analyse is het volgende te besluiten.

1. Het wrijvingsgetal is afhankelijk van de kleefmantelkonus zelf.
2. De afwijkingen van het wrijvingsgetal tengevolge van een bepaalde konus kunnen veel ernstiger zijn dan die veroorzaakt door de 100 mm meetstap.
3. De zanden K2,1, K5,2 en K8,1 zijn op grond van hun wrijvingsgetallen niet van elkaar te onderscheiden.
4. Nauwe limieten voor het wrijvingsgetal in een bepaalde grondsoort hebben geen zin. Vooral wanneer met meerdere kleefmantelkonussen wordt gemeten dient men rekening te houden met een ruim spreidingsgebied.
5. Gezien, voor zanden, de korrelatie een rechte door de oorsprong is, dient men de spreidingszones eveneens met dergelijke rechten te definiëren.

Uit de figuren 35, 36 en 37 blijkt dat de spreidingszones van de drie eenheden voor beide konussen samen vrijwel overeenstemmen. Voor kwartair zeer fijn en fijn zand verkrijgt men de limieten $C_{k,d,10} = 50 F_{s,2,10}$ of $W_{10} = 2,00$ en $C_{k,d,10} = 80 F_{s,2,10}$ of $W_{10} = 1,25$ voor konusweerstand groter dan 6 MN/m^2 . Voor konusweerstand tussen $3,0$ en $6,0 \text{ MN/m}^2$ ligt de onderbegrenzing $C_{k,d,10} = 47,2 F_{s,2,10}$ of $W = 2,12$ beter. De bovenbegrenzing $C_{k,d,10} = 100 F_{s,2,10}$ van K2,1 (KI) is afwijkend gezien de overeenkomst van de vijf andere reeksen.

43534.2. Weinig grinthoudend en grinthoudend zand, grint

De waarnemingen zijn afkomstig van de eenheden K1, K3,1 en K3,3. Men heeft te doen met relatief heterogene sedimenten, in die zin dat de grintfractie kwa gehalte ($\bar{x} = 16,5\%$ en $\bar{x} = 6,6\%$, max. 63% , min. 1%) en mineralogie (schelpen en/of keien) sterk uiteenloopt. Het zand is gemiddeld middelmatig van korrel maar kan plaatselijk grof worden. Omwille van het te gering aantal intervallen werden ook gegevens ontleend van 200 mm -meetstapsonderingen en werd er geen onderscheid gemaakt naargelang de konussen I of II.

De rechte $y = 7,49 + 71,73 x$ (fig. 38) is de best passende kromme. De koëfficiënt a ($= 7,49 \text{ MN/m}^2$) zou te groot zijn om een rechte $y = ax$ aan te nemen maar wegens de lage waarde van r^2 ($= 0,62$) en het ontbreken van waarden in de lagere weerstanden is die mogelijkheid zeker niet uitgesloten.

Kwa representativiteit van het wrijvingsgetal voor de grondsoort stelt men een opvallende verschuiving vast ten opzichte van de vorige eenheden. Het spreidingsgebied is goed te begrenzen door $C_{k,d,10+20} = 80 F_{s,2,10+20}$ of $W_{10+20} = 1,25$ en $C_{k,d,10+20} = 140 F_{s,2,10+20}$ of $W_{10+20} = 0,71$ en dit voor konusweerstand begrepen tussen 12 MN/m^2 en 35 MN/m^2 . Er blijken slechts weinig punten voor te komen in het spreidingsgebied van de vorige groep en ook omgekeerd. Het wrijvingsgetal levert bijgevolg een goed onderscheid op tussen zeer fijn of fijn zand en (weinig) grinthoudend zand of grint van kwartaire oorsprong.

43534.3. Leem en leemhoudend zeer fijn zand

Het betreft waarnemingen uit de eenheid K5,1 die gekarakteriseerd wordt door een ruim spreidingsgebied voor wat de fraktie <20 μm aangaat : $\bar{x} \pm 2 s = 21,12 \% \pm 17,82 \%$, met een minimum van 8,5 % en maximum van 50 % (tab. 4). In het diagram van BEGEMANN is bijgevolg een groot spreidingsgebied van de punten te verwachten.

Als best passende rechte is in figuur 39 $y = 1,31 + 20,64x$ getekend maar door de grote spreiding van de punten is de betekenis van deze korrelatie ($r^2 = 0,48$) erg laag. De zone die de puntenverzameling goed omvat is te begrenzen door $C_{k,d,10} = 52,5 F_{s,2,10}$ of $W_{10} = 1,90$ en $C_{k,d,10} = 30,0 F_{s,2,10}$ of $W_{10} = 3,33$ en dit voor konusweerstand begrepen tussen 1,5 en 4,2 MN/m². Omwille van de lagere konusweerstand tekent de groep zich in geheel wel af van de vorige eenheden maar kwa waarde van het wrijvingsgetal wordt toch een belangrijke overlapping met de eenheden K2,1 en K5,2 vastgesteld.

Enkele punten zijn sterk verschoven naar het grovere zandgebied. Daar het percent deeltjes <20 μm minimaal 8,5 % bedraagt, liggen die punten veel te hoog. Mogelijk is dit een gevolg van de 100 mm meetstap in een gevoeliger sediment.

43534.4. Veen

De waarnemingen zijn verricht in het oppervlakteveen (eenheid K7) dat, met een gemiddeld humusgehalte van 86,50 %, als zeer zuiver te bestempelen is.

In figuur 40 zijn de resultaten samengebracht en het verband is redelijk te beschrijven van de rechte $y = 0,12 + 19,07x$ ($r^2 = 0,75$). Vermits a zeer klein is behoort een lineair verband door de oorsprong $y = 21,12x$ ($r^2 = 0,74$) zeker tot de mogelijkheden.

Als spreidingsgebied leiden we uit fig. 40 af :

$C_{k,d,10} = 27,5 F_{s,2,10}$ of $W_{10} = 3,64$ en $C_{k,d,10} = 15,6 F_{s,2,10}$ of $W = 6,41$. Merkwaardig is het feit dat in tegenstelling tot de

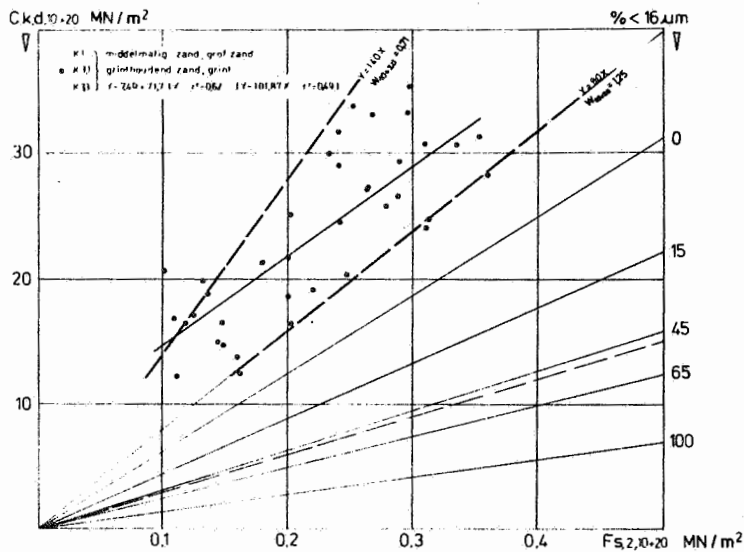


Fig. 38 - Verband tussen de metingen in grint en grinthoudend middelmatig en grof zand van K1 en K3 in het diagram van BEGEMANN

- Relation between the measurements in gravel and gravelly moderate and coarse sand of K1 and K3 in BEGEMANN's diagram

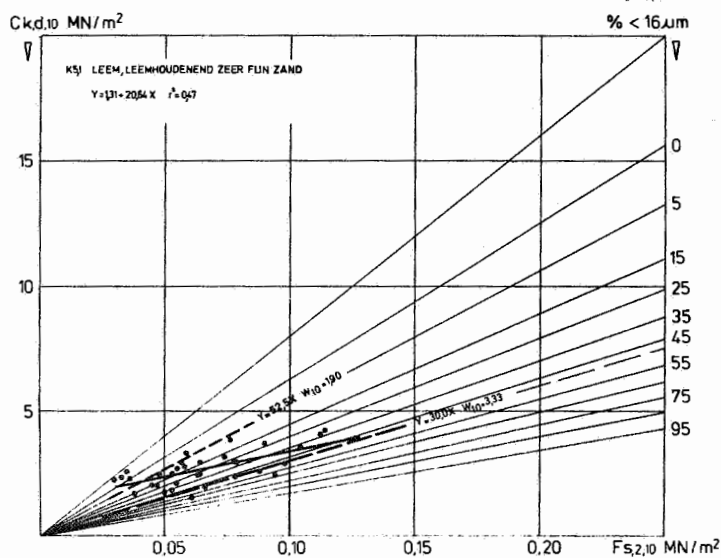


Fig. 39 - Verband tussen de metingen in leemhoudend zeer fijn zand en leem van K5,1 in het diagram van BEGEMANN

- Relation between the measurements in loamy very fine sand and loam of K5,1 in BEGEMANN's diagram

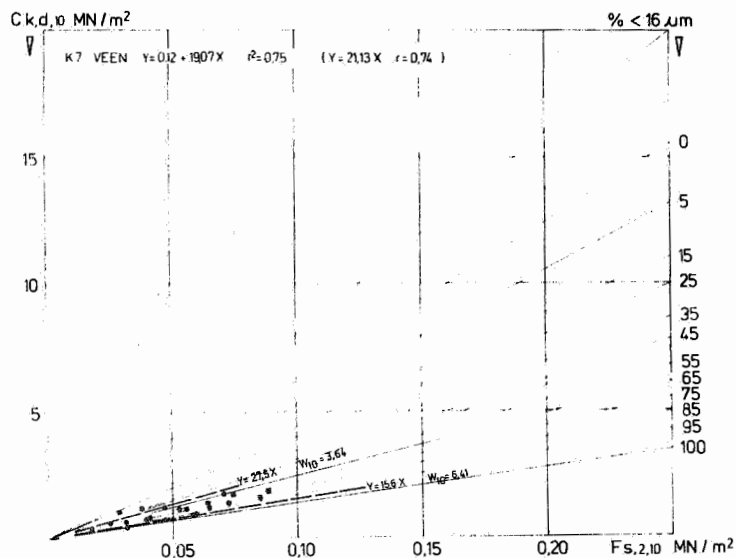


Fig. 40 - Verband tussen de metingen in het veen van K7 in het diagram van BEGEMANN

- Relation between the measurements in the peat of K7 in BEGEMANN's diagram

resultaten van de vorige eenheden helemaal geen overeenkomst wordt gevonden met het door BEGEMANN aangegeven spreidingsgebied voor veen : $7 < \frac{C}{F} < 14$ (fig. 27 en 28).

4353.5. Het wrijvingsgetal in de tertiaire litostratigrafische eenheden

43535.1. Weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand

Gezien het beperkt aantal waarnemingen per eenheid en de grote gelijkheid van hun granulometrische kenmerken (tab. 2) zijn metingen uit de eenheden T6,1, T7,1 en T8,1 samengenomen en in figuur 41 door hetzelfde teken voorgesteld. Daaraan zijn enkele metingen toegevoegd uit de eenheid T4,1, die zich granulometrisch onderscheidt door een iets lager percentage klei en deeltjes $< 20 \mu\text{m}$ en een soms hoog oplopend percentage grintelementen ($7,5 \% \pm 12,25 \%$), weliswaar bestaande uit minder of meer verweerde schelpfragmenten. Uit de figuur blijkt nochtans dat de in T4,1 gemeten wrijvingsgetallen in hetzelfde gebied dan die van de drie andere eenheden vallen.

Als best passende kromme is de rechte $y = 9,57 + 49,13x$ gevonden maar door de grote spreiding van de punten binnen een beperkt interval konusweerstand is $r^2 = 0,50$ laag en is een lineair verband door de oorsprong niet uitgesloten.

Het gebied is goed te definiëren door begrenzingen van de vorm $y = ax$ te weten : $C_{k,d,10} = 121 F_{s,2,10}$ of $W_{10} = 0,83$ en $C_{k,d,10} = 76 F_{s,2,10}$ of $W_{10} = 1,32$. Het valt bijgevolg vrijwel volkomen samen met het spreidingsgebied van de eenheden K1 en K3,1+3. Voor weinig kleihoudend en kleihoudend zeer fijn zand van tertiaire oorsprong is het diagram van BEGEMANN dus niet te gebruiken. Later heeft H. BEGEMANN (1976, 1977) gewezen op het feit dat wanneer de verhouding konus-kleef, voor een bepaalde grondsoort, niet overeenstemt met die uit de grafieken (fig. 28), de reden kan liggen in overkonsolidatie van de grond. Dit is hier bijna zeker het geval. Zoals reeds gezegd leidt overkonsolidatie van zanden tot hogere puntweerstand. Door het optreden van effecten in de omgeving van de konus, zoals eerder beschreven

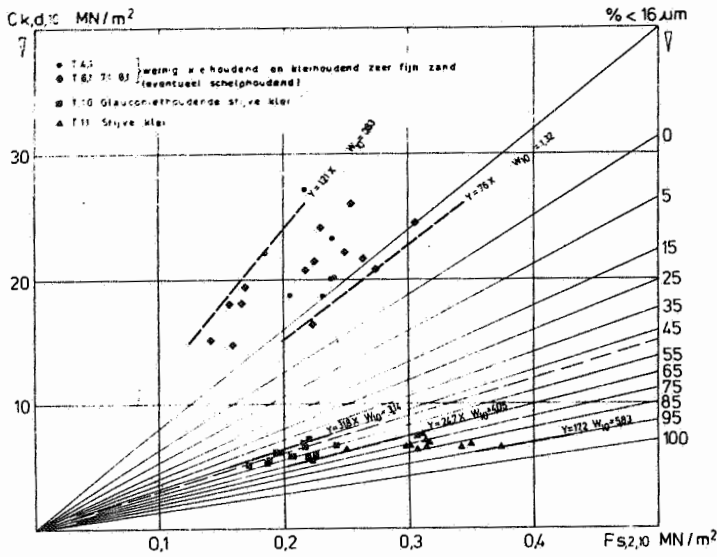
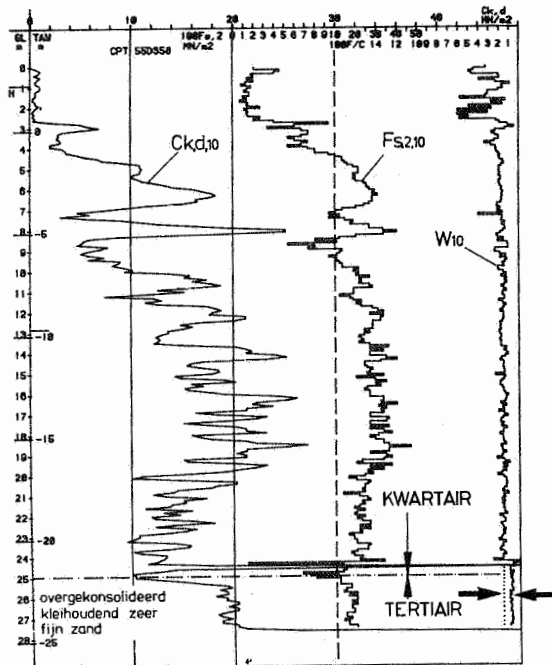
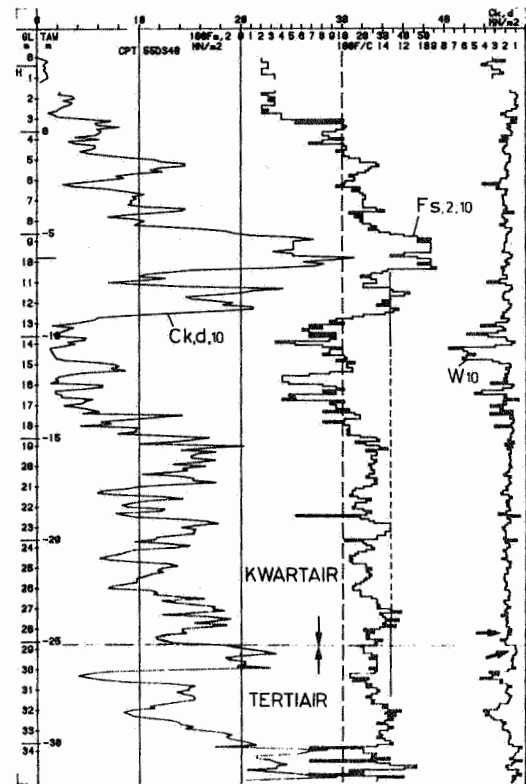


Fig. 41 - Verband tussen de metingen in respectievelijk (weinig) kleihoudend zeer fijn zand van T4,1, T6,1, T7,1 en T8,1, stijve glauconiethoudende klei van T10 en stijve klei van T11 in het diagram van BEGEMANN

- Relation between the measurements in respectively (slightly) clayey very fine sand of T4,1, T6,1, T7,1 and T8,1, stiff glauconiferous clay of T10 and stiff clay of T11 in BEGEMANN's diagram



42



43

Fig. 42 en 43 - De zeer lage waarde van het wrijvingsgetal in overgekonsolideerd (weinig) kleihoudend zeer fijn zand heeft onmiskenbare voordelen bij de herkenning van de grens tussen het Kwartair en het Tertiair

- The very low value of the friction ratio in overconsolidated, (slightly) clayey very fine sand has indisputable advantages for recognition of the boundary between the Quaternary and Tertiary deposits

in 43471.3, ondervindt de kleefmeter een verlaagde korrelspanning. De gemeten plaatselijke kleef is dus te laag in verhouding tot de gemeten konusweerstand en bijgevolg is ook het wrijvingsgetal te klein.

Een en ander is af te leiden uit de figuren 42 en 43. Zoals door de pijlen wordt aangeduid, heeft de verlaging van het wrijvingsgetal in deze overgekonsolideerde zanden onmiskenbare voordelen bij de herkenning van de grens tussen het Kwartair en het Tertiair. Opmerkelijk is het feit dat het verschijnsel zich voordoet onmiddellijk na intrede van de konus in deze zanden. Afgezien van een eventuele invloed van vorstwerking gedurende de insnijdingsfazen van het Kwartair is dit een aanwijzing dat de overkonsolidatie in de topzone van het tertiaire zand is bewaard gebleven.

Bij de interpretatie van de grondsoorten op grond van het wrijvingsgetal dient men dus rekening te houden met dergelijke verlagingen (geen grint !). Dit betekent dat men vooraf moet weten of men met Kwartair dan wel met overgekonsolideerd Tertiair te doen heeft.

43535.2. Stijve klei en stijve glaukoniethoudende klei

Het betreft hier metingen in de eenheden T10 en T11. Aangezien geen invloed van de meetstap werd vastgesteld werden ook metingen van 200 mm-meetstap-sonderingen toegevoegd.

In het diagram van BEGEMANN krijgt men een duidelijke verschuiving tussen de waarnemingen van T10 en T11 (fig. 41). Er is geen best passende kromme vermeld omdat de meest gunstige determinatiecoëfficiënt voor elk der eenheden erg laag is ($<0,4$). Dat komt ongetwijfeld door het gering aantal gegevens en de grote spreiding van de plaatselijke kleef voor een te nauw interval van de konusweerstand. We beperken ons tot definiëring van het spreidingsgebied. Voor T10 heeft men de rechten $C_{k,d,10+20} = 31,8 F_{s,2,10+20}$ of $W_{10+20} = 3,14$ en $C_{k,d,10+20} = 24,7 F_{s,2,10+20}$ of $W_{10+20} = 4,05$ en dit voor konusweerstand van 5,0 tot 7,5 MN/m². Voor T11 hebben we de rechten

$C_{k,d,10+20} = 24,7 F_{s,2,10+20}$ of $W_{10+20} = 4,05$ en $C_{k,d,10+20} = 17,2 F_{s,2,10+20}$ of $W_{10+20} = 5,83$ voor konusweerstand tussen 6,0 en 7,5 MN/m².

Vergelijkt men de granulometrische kenmerken van deze eenheden (tab. 2) met de plaats van de punten in het diagram van BEGEMANN dan heeft men het volgende. De fraktie kleiner dan 20 µm beloopt voor T10 gemiddeld 42,33 % ± 12,19 % waardoor het grootste deel van de punten zou moeten liggen tussen de lijnen 30 % (interpolatie) en 55 % deeltjes <16 µm. Het spreidingsgebied van T10 ligt blijkbaar iets lager (45 % - 65 % limieten) maar een juiste interpretatie hiervan is moeilijk omdat naast een mogelijke invloed van de overkonsolidatie ook het hoge glaukonietgehalte kan meespelen. Glaukonietkorrels hebben een lage verbrijzelingsweerstand en kunnen reeds bij relatief geringe konusweerstand maar ook tijdens het granulometrisch onderzoek uiteenvallen. Men verkrijgt aldus in beide gevallen een onbepaalde toename van het aantal kleine deeltjes.

Uitgaande van de granulometrische kenmerken van het Lid van Ursel bepaald door P. JACOBS (1975) is voor het goed vergelijkbare monster van T11 (tab. 2) de gemiddelde variatiecoëfficiënt voor het percent deeltjes <20 µm geschat op 13 %. Aldus heeft men voor de fraktie <20 µm : 86,92 % ± 13 %. Het spreidingsgebied van T11 in het diagram van BEGEMANN dient bijgevolg tussen de lijnen 75 en 100 % te liggen, wat het geval is.

In de kleilaag T11 blijkt de overkonsolidatie geen verschuiving van het wrijvingsgetal naar lagere waarden te veroorzaken. Dit komt waarschijnlijk door vervorming van de klei bij konstant volume waarbij effecten van dilatantie en gewelfwerking niet optreden. De plaatselijke kleef stemt zoals de konusweerstand aldus beter overeen met de heersende overkonsolidatietoestand en het wrijvingsgetal is niet verlaagd.

Figuur 44 laat zien dat men stijve klei en stijve glaukoniethoudende klei goed van elkaar kan onderscheiden op grond van het wrijvingsgetal. In de bovenste meter van T11, aan de topzone van het Tertiair, neemt men evenwel een verlaging

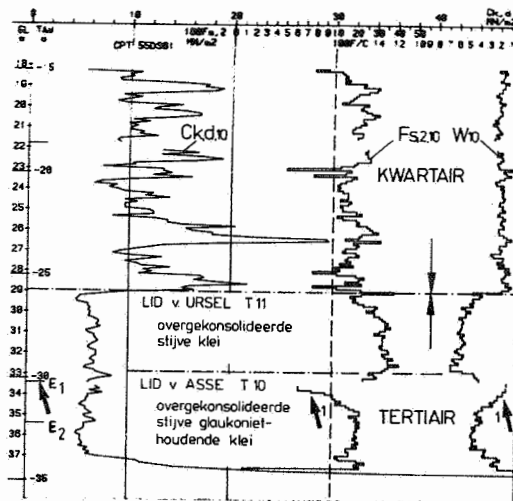


Fig. 44 - Herkenning van overgeconsolideerde stijve klei en overgeconsolideerde glauconiethoudende stijve klei met W_{10} of $F_{s,2,10}$. De pijlen 1 duiden een anomalie aan in $F_{s,2,10}$ en W_{10} die niet wordt veroorzaakt door een verandering van de litologie maar samen gaat met een ophaling van de buizen op het niveau E1

- Recognition of overconsolidated stiff clay and overconsolidated glauconiferous stiff clay with W_{10} or $F_{s,2,10}$. The arrows 1 show an anomaly in $F_{s,2,10}$ and W_{10} which is not caused by changes of lithology but is related with a pulling back of the tubes at the level E1

van het wrijvingsgetal waar; dat is waarschijnlijk toe te schrijven aan periglaciale vorstwerking. Tevens is herhaaldelijk in deze kleilagen een opmerkelijk verlaging van het wrijvingsgetal vastgesteld bij voortzetting van de sondering na het optrekken van de buizen om de totale zijdelingse wrijving te verminderen (pijlen 1). Hierop wordt verder ingegaan (zie 435.6).

4353.6. Verband wrijvingsgetal-grondsoort en besluiten

De gegevens over het verband tussen het wrijvingsgetal en de grondsoorten zijn, samen met de voornaamste fysische en chemische kenmerken van de onderzochte sedimenten, in tabel 10 aangegeven. Het verband is principieel geldig voor het bestudeerde interval van de konusweerstand maar mag gezien de resultaten van de regressieanalyse (rechten door de oorsprong) en de overeenstemming met het onderzoek van H. BEGEMANN (1965) en G. SANGLERAT et al., (1974) worden doorgetrokken tot grotere en kleine konusweerstand.

Tabel 10 - Verband tussen het wrijvingsgetal en de grondsoorten

- Relation between friction ratio and kinds of soil

| grondsoort | kenmerkend interval W_{10} | bestudeerd interval $C_{k,d,10}$ MN/m ² | I_p | humus % TM | Mz % | Grint % TM | zand >63 μ m % | klei + leem <63 μ m % | <20 μ m % |
|--|---------------------------------|--|-------|---------------|---------|-------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------|
| Kwartair Grint, grinthoudend en weinig grinthoudend zand, grof zand fijn zand en weinig leem- of kleihoudend fijn zand leem- tot kleihoudend zeer fijn zand en leer zandhoudende klei tot klei veen | 0,70-1,25 | 12,0-36,0 | | <1 | 1,7-2,4 | 1-50 ² | ≥ 90 | <10 | <5 |
| | 1,25-2,10 | 3,0-25,0 | <5 | <5 | 2,2-3,5 | <2 | ≥ 80 | <20 | <8 |
| | 1,90-3,35 | 1,5-4,2 | 2-20 | <7 | 3,5-6,3 | <0,5 | 20-70 | 80-30 | 10-40 |
| | >3,5 3,65-6,41 | 0,1-2,5 0,3-1,9 | >15 | >65 | | | | | |
| Tertiair ¹ (weinig) kleihoudend zeer fijn zand stijve glauconiethoudende klei stijve klei | 0,85-1,30 | 15,0-26,0 | 1-10 | <1 | 2,9-4,2 | <1 | ≥ 75 | <25 | 5-18 |
| | 3,15-4,05 | 5,0-7,0 | 23-50 | <1,5 | 5,0-7,0 | 0 | 30-55 ³ | 70-45 | 25-55 |
| | 4,05-5,85 | 6,0-7,5 | | <1 | >8,5 | 0 | 0 | 100 | 75-98 |

1 : overgeconsolideerd 2 : schelpen en keien 3 : gemiddeld 50 % glaukoniet

Een belangrijke grondsoort die granulometrisch niet werd bepaald maar waarvan wel losse gegevens beschikbaar waren is kwartaire zandhoudende klei en klei. Overeenstemming van die gegevens met bestaande klassifikaties verantwoordt het verband $W_{10} > 3,5$.

Besluiten

1. Om het wrijvingsgetal litologisch korrek te interpreteren is het vereist vooraf te weten of de sedimenten al dan niet overgekonsolideerd zijn. In het studiegebied komt dit in de praktijk erop neer dat men vooraf de grote geologische eenheid (Kwartair of Tertiair) kent waarin werd gemeten.
2. In het normaal gekonsolideerde Kwartair zijn waarden van W_{10} kleiner dan 2,1 kenmerkend voor niet samenhangende grondsoorten. Op grond van W_{10} -waarden van 0,70 tot 1,25 en van 1,25 tot 2,10 kan men een onderscheid maken respektievelijk tussen de groep grof zand, grinthoudend zand en grint en de groep zeer fijn en fijn zand en weinig klei- of leemhoudend (zeer) fijn zand.
3. Samenhangende grondsoorten van kwartaire oorsprong zijn gekarakteriseerd door wrijvingsgetallen groter dan 1,90. Wrijvingsgetallen van 1,90 tot 3,35 stemmen overeen met weinig samenhangende grondsoorten waarvan de plasticiteitsindex kleiner is dan 20 (leemhoudend of kleihoudend fijn zand en leem). Meer samenhangende grondsoorten, zoals klei en zandhoudende klei, met een hoge plasticiteit ($I_p > 20$) hebben wrijvingsgetallen groter dan 3,5.
4. Met het veen in het studiegebied stemmen veel lagere wrijvingsgetallen overeen dan die gevonden door H. BEGEMANN. Waarden van 3,65 en 6,45 zijn kenmerkend.
5. In weinig samenhangende grondsoorten van tertiaire ouderdom met een plasticiteitsindex kleiner dan 10 (weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand) werd een opmerkelijke verschuiving van het wrijvingsgetal naar de lage waarden vastgesteld. Dit houdt vrijwel zeker verband met de overkonsolidatie van deze zanden. Met waarden van 0,85 tot 1,30 valt het

spreidingsgebied van W_{10} bijna volledig samen met dat van de grofkorrelige en grinthoudende groep uit het Kwartair.

6. Voor tertiaire, overgekonsolideerde, sterk samenhangende grondsoorten met een hoge plasticiteit ($I_p > 25$) treedt er volgens de beschikbare gegevens geen verschuiving op van W_{10} naar de lagere waarden. In glaukoniethoudende stijve klei ligt W_{10} tussen 3,15 en 4,05; in zuivere stijve klei is W_{10} begrepen tussen 4,05 en 5,85.
7. Een onvoldoende ingelopen kleefmeter kan bij de aanvang andere plaatselijke kleefwaarden en dus ook andere wrijvingsgetallen opleveren dan erna. Volgens onze gegevens bedraagt de inloopafstand ongeveer 150 m sondering in zand. Pas vanaf dan schommelt het wrijvingsgetal binnen stabielere grenzen.
8. Tussen de twee in dit onderzoek gebruikte kleefmantelkonussen werd een sterk significante afwijking van het wrijvingsgetal in fijn zand opgemerkt. De afwijking bedroeg circa 20 %. Heel waarschijnlijk ligt de oorzaak in een overgevoeligheid van de plaatselijke kleefmeting voor kleine afwijkingen in de konstruktie (b.v. kleine excentriciteit van de meetlichamen, kleine verschillen in diameter tussen kleefmeter en konuspunt). Het heeft bijgevolg geen zin nauwe limieten voor het wrijvingsgetal in een bepaalde grondsoort aan te houden, zeker niet wanneer met meerdere konussen wordt gesondeerd.

435.4. Gelaagdheid en homogeniteit

Met de 100 mm meetstap kan men de konusweerstand bepalen van laagjes tot ongeveer 100 mm dikte. De plaatselijke kleef en dus het wrijvingsgetal zijn echter niet zo gevoelig omdat de kleefmeter telkens een zone van 168 mm doorloopt. Bovendien dient men ook rekening te houden met de schikking van de meetstap ten opzichte van de laaggrenzen. Voor laagjes van minder dan 200 mm kan dan ook geen nauwkeurig wrijvingsgetal worden verwacht.

In dunne lagen of in gelamineerde sedimentpakketten verkrijgt men tussenliggende wrijvingsgetallen. Wel mag men aannemen dat het wrijvingsgetal is verschoven naar de dominante grondsoort.

Dikke heterogene eenheden samengesteld uit sedimentpakketten met uiteenlopende grondsoorten vertonen een fluktuuerend W_{10} -diagram (fig. 45, eenheid 2). Uitgaande van de grootte van W_{10} en de structuur van het diagram verwacht men voor deze eenheid een overwicht van klei- en leemlaagjes met enkele zandige en misschien grofkorrelige interkalaties. Hun dikte varieert van minder dan honderd tot enkele honderden millimeters dikte.

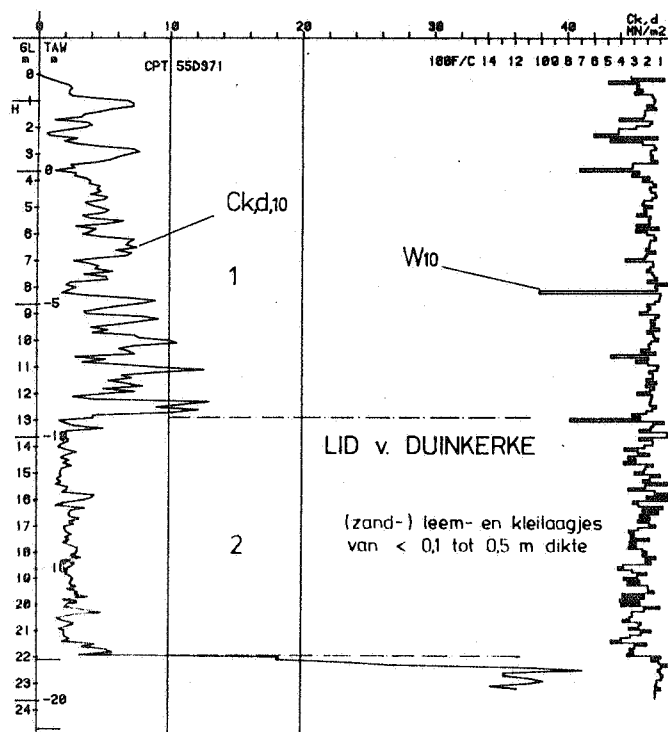


Fig. 45 - In heterogene of in dun gelaagde eenheden met een uiteenlopende litologie (eenheid 2) heeft W_{10} een fluktuuerend verloop

- Heterogeneous or thin layered units of different lithology (e.g. unit 2) show fluctuating W_{10} diagrams

Kleine relatieve schommelingen van het wrijvingsgetal wijzen op een litologische homogeniteit zoals in het kleihoudend zeer fijn zand van het Lid van Oedelem en in de zandlagen van de afzetting van Eeklo (fig. 42). De 100 mm meetstap levert hier

ten opzichte van de 200 mm meetstap ongetwijfeld een duidelijker beeld van de bouw van een laag.

435.5. Betekenis van het verbeterd wrijvingsgetal

Eerder werd uiteengezet hoe in $F_{s,2,10,m}$ wordt rekening gehouden met een bepaald percentage m van de representatieve konusweerstand op het niveau van de hals van de kleefmeter, op het ogenblik van de $F_{s,2,10}$ -meting. Welke betekenis dient men nu te hechten aan het wrijvingsgetal dat met $F_{s,2,10,m}$ werd berekend.

Berekeningen van $W_{10,m}$ voor $m = 10, 20, 30, 40$ en 50 tonen aan dat de absolute afname $|W_{10} - W_{10,m}|$, voor respectievelijk elke m , ongeveer konstant blijft over de sondering en vrijwel onafhankelijk is van de grondsoort. Dit betekent dat de relatieve afname groter wordt met afnemende W_{10} . De afname is bijgevolg het meest drastisch wanneer W_{10} oorspronkelijk klein is.

Uit figuur 46 blijkt dat $W_{10,50}$ in kwartair zand meestal negatief of nog slechts lichtjes positief is. In de samenhangende klei-, leem- en veensedimenten blijft $W_{10,50}$ daarentegen nog behoorlijk positief. $W_{10,50}$ verschaft dus een goed onderscheid tussen kwartaire samenhangende en onsamenhangende grondsoorten. Onze ervaring heeft geleerd dat men heeft te doen met weinig samenhangende en onsamenhangende grondsoorten voor $W_{10,50} \leq 1,3$ en met meer samenhangende grondsoorten voor $W_{10,50} \geq 1,3$.

In combinatie geven $W_{10,50}$ en W_{10} een overzichtelijke indeling in de grote litologische en stratigrafische eenheden (fig. 47). De afzetting van Duinkerke, die is samengesteld uit zand met interkalaties van klei en leem, tekent zich aldus veel scherper af van de onderliggende zandige afzetting van Moerkerke.

Gewoonlijk is $W_{10,50}$ negatief in kwartair zand. De parasitaire weerstand op de hals van de kleefmeter moet bijgevolg meestal kleiner zijn dan 50% van de representatieve konusweerstand. $W_{10,20}$ in zand stemt echter goed overeen met het wrijvingsgetal in zand, gemeten met de Delftse ingesnoerde elektrische kleefmantelkonus. Een 20% korrektie blijkt dus meer realistisch. De vrij konstante waarde van W_{10} in zand wijst er verder nog op dat dit percentage vrij stabiel moet zijn.

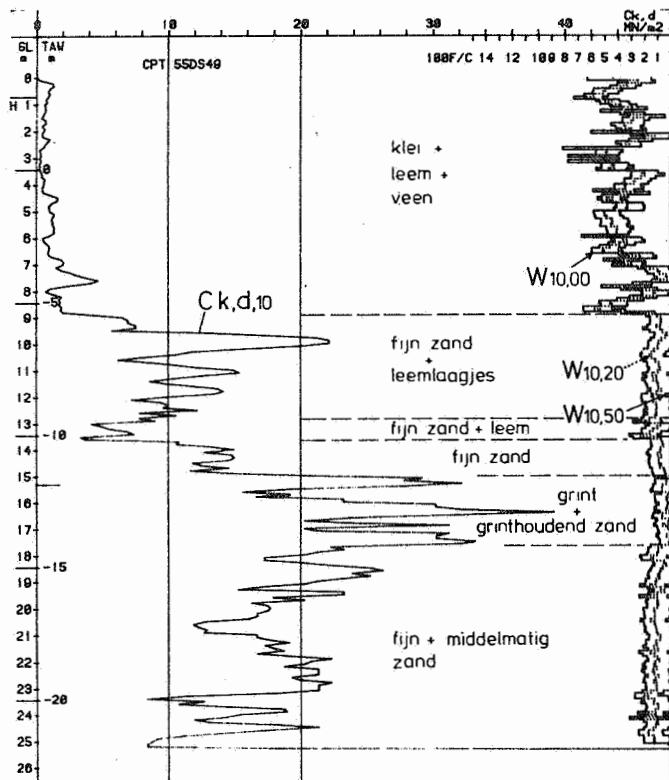


Fig. 46 - De absolute afname $|W_{10}-W_{10,m}|$ is, voor respectievelijk elke m, ongeveer konstant over de sondering en vrijwel onafhankelijk van de grondsoort. De relatieve afname neemt dus toe met afnemende W_{10}

- The absolute decrease $|W_{10}-W_{10,m}|$ is, for every m respectively, almost constant over the test and practically independent from the kind of soil. Thus the relative decrease increases with decreasing W_{10}

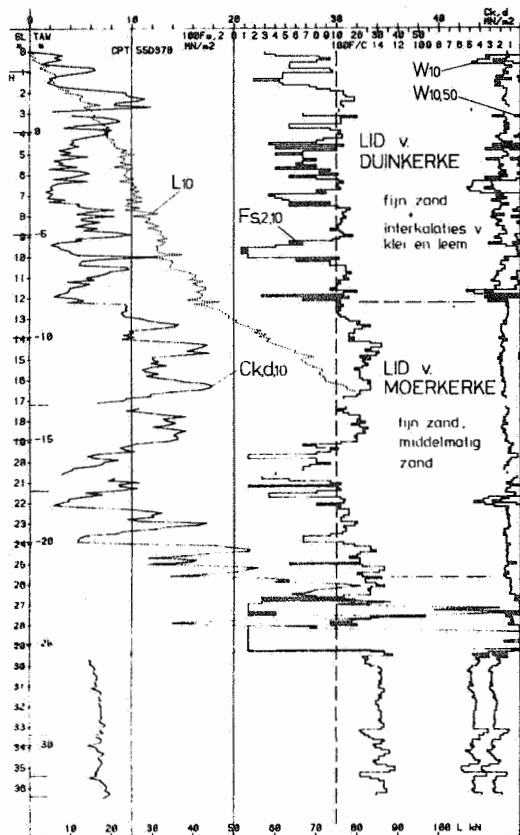


Fig. 47 - Door combinatie van W_{10} met $W_{10,50}$ verkrijgt men een overzichtelijke indeling in de grote litologische eenheden

- Combination of W_{10} with $W_{10,50}$ provides an obvious division into the large lithological units

Door de verlaging van het wrijvingsgetal in sommige overgekonsolideerde sedimenten is de regel van $W_{10,50}$ niet van toepassing in het Tertiair. Men gebruikt hierin beter $W_{10,30}$ of zelfs $W_{10,20}$.

435.6. Het klemmingseffekt

Bij de bespreking van W_{10} in overgekonsolideerde klei werd de aandacht gevestigd op een negatieve anomalie in W_{10} (pijlen 1, fig. 44). Zo'n anomalie werd regelmatig opgemerkt wanneer de sondering werd voortgezet nadat de buizen waren opgehaald om de totale zijdelingse wrijving te verminderen.

Nu was een afwijking wel te verwachten. Door het ophalen en terug neerlaten van de buizen wordt het sondeergat verruimd en de grond langs de wanden geroerd of verkneed. Eenmaal terug op diepte zou het echter bij de 100 mm-meetstap, vanuit geometrisch oogpunt, maar ten hoogste drie meetstappen mogen duren vooraleer de kleefmeter terug volledig in vers materiaal zit. Nu is de plaatselijke kleef na drie lezingen meestal nog te laag. In fig. 48 merkt men zelfs dat de anomalie zich handhaaft zoiet het dan met afnemende grootte, tot meer dan 1 meter beneden het niveau van ophalen van de buizen. Ook R. CARPENTIER (1976) stelde vast dat in de Boomse Klei, na inlaten van de kleefvanger, de plaatselijke kleef over een zone van 2 meter was vertekend.

Gezien het feit dat de kleefmeter na drie meetstappen zeker in vers materiaal zit en dat een stijgzone (fig. 48), waarin de anomalie geleidelijk aan afneemt, aanwezig is zou men het effect geheel of gedeeltelijk kunnen toeschrijven aan een met de diepte aangroeiende klemming van de kleefmeter. Het is immers niet ondenkbaar dat er tussen de binnenwand van de kleefmeter en het geleidingsstuk klei- of fijne leemdeeltjes worden gevangen. Bij elke sluitbeweging van de konus worden nieuwe deeltjes ingevangen tot er een zeker evenwicht wordt bereikt. Overeenkomstig groeit de inwendige wrijvingsweerstand geleidelijk aan om op een relatief hoog niveau te stabilizeren.

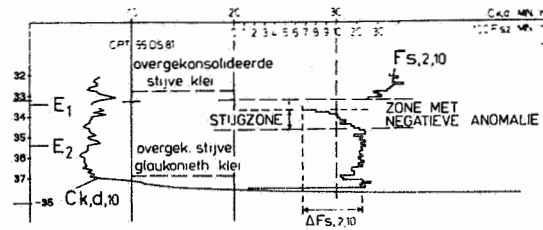


Fig. 48 - Op het niveau E1 werden de buizen enige malen opgetrokken om L_{10} te verminderen. In de daarop volgende intervallen blijkt $F_{s,2,10}$ behoorlijk te zijn gezakt. Na een geleidelijke stijging (stijgzone) stabiliseert $F_{s,2,10}$ echter op een hoger niveau. Het gedrag van $F_{s,2,10}$ zou te verklaren zijn door een geleidelijk aangroeiende klemming (gevolgd door gestabilizeerde klemming) van de kleefmeter tengevolge van opname van kleideeltjes tussen de kleefmeter en het geleidingsstuk

- At level E1 the tubes were pulled up to reduce L_{10} . In the next steps $F_{s,2,10}$ is strongly decreased. However, after a gradual rise over about 1 m it stabilizes on a higher level. The behaviour of $F_{s,2,10}$ should be explained by a gradual increasing jam (followed by a stabilized jam) of the friction sleeve due to incorporation of clay particles between the sleeve and the rod

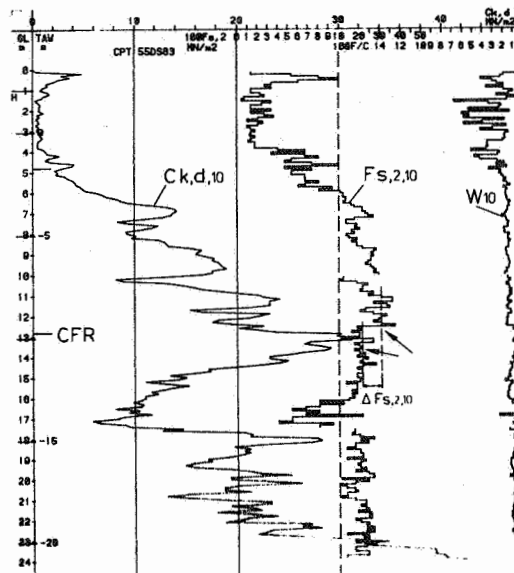


Fig. 49 - Bij een versleten konus dringt zeer fijn zand tussen de kleefmeter en het geleidingsstuk met een hoge klemming van de kleefmeter als gevolg. Dit wordt door deze sondering bevestigd. Na reiniging van de kleefmantelkonus en voortzetting van de sondering vanaf het niveau CFR, bleek $F_{s,2,10}$ met 30 % te zijn gedaald

- When sounding with a worn penetrometer tip, very fine sand particles can penetrate between the friction sleeve and the inner rod. High jamming of the friction sleeve can be the result. That is proved by this penetration test. After cleaning the penetrometer tip and continuation of the test from level CFR, $F_{s,2,10}$ was decreased with about 30 %

Tabel 11 - Schatting van de grootte van de klemming van de kleefmeter (kleefmantelkonus)

- Estimation of the magnitude of jamming of the friction sleeve (friction sleeve penetrometer tip)

| diepsondering en meetstap | eenheid | diepte van de ophaling m | $\Delta F_{s,2,10(20)}$ MN/m ² | ΔF N |
|---------------------------|---------------------|-----------------------------|--|-----------------|
| 30.69 (20) | T10 | 35,1 | 0,08 | 1200 |
| 30.71 (10) | T11 | 33,1 | 0,00 | 0 |
| | T10 | 36,1 | 0,00 | 0 |
| | T10 | 37,9 | 0,085 | 1275 |
| | T10 | 39,7 | 0,055 | 825 |
| 30.72 (20) | T11 | 32,7 | ? | ? |
| | T11 | 34,1 | ? | ? |
| | T11 | 35,1 | ? | ? |
| | T10 | 37,1 | 0,06 | 900 |
| | T10 | 38,1 | 0,06 | 900 |
| | T10 | 39,1 | 0,06 | 900 |
| 30.81 (10) | T10 | 33,4 | 0,135 | 2025 |
| | T10 | 35,4 | 0,00 | 0 |
| 30.82 (20) | T10 | 33,5 | 0,06 | 900 |
| | T10 | 36,5 | 0,00 | 0 |
| 30.78 (10) | T11 | 33,4 | 0,06 | 900 |
| | T11 | 35,5 | 0,03 | 450 |
| 30.83 (10) | K4,1, K3,3, K3,2 | 12,8 | 0,09 | 1350 |

? : geen bepaling van $\Delta F_{s,2,10(20)}$ mogelijk

In zuivere zanden zou, wegens de afmetingen van de korrels en de speling tussen de kleefmeter en het geleidingsstuk, geen klemming optreden. Nochtans bevatten de meeste zanden wel klei en leem zodat ook daarin klemming kan optreden. Bij een versleten kleefmeter kunnen zelfs fijne zandkorrels worden gevangen met een belangrijke klemming tot gevolg. Een bewijs hiervan wordt geleverd door de sondering in figuur 49. Op 12,8 m diepte werd de konus bovengehaald om een kleefvanger in te laten. Terzelfdertijd werd ook de konus gereinigd en men stelde vast dat die niet meer met de hand kon worden samengeschoven tenzij met stootbewegingen in een emmer water. Tussen de kleefmeter en het geleidingsstuk zaten er inderdaad zandkorrels. Bij voortzetting van de sondering met de "gereinigde" konus bleek de plaatselijke kleef bovendien met 30% te zijn gezakt (zie pijlen, fig. 49). Weliswaar wordt nadien geen stijgzone opgemerkt maar dat komt omdat de konus pas werd geolied en in grovere zandenterechtkwam.

De grootte van de klemming kan men schatten door de toename van de plaatselijke kleef $\Delta F_{s,2}$ over de stijgzone, in een kracht om te zetten. Om $\Delta F_{s,2}$ te bepalen neemt men enerzijds de stabielere waarde van $F_{s,2}$ en anderzijds de 3^e of 2^e plaatselijke kleefmeting na het ophalen van de buizen bij respectievelijk de 100 en 200 mm-meetstap (fig. 48). De toename in kracht ΔF wordt gegeven door :

$$\Delta F = \Delta F_{s,2} \times S_{kl}$$

met S_{kl} = oppervlakte van de kleefmeter (0,0150 m²)

De beschikbare gegevens zijn in tabel 11 vervat.

Op DS 30.83 na komen ze allemaal uit de tertiaire vaste klei T11 en de glaukoniethoudende vaste klei T10. In sommige gevallen, zoals voor DS 30.72 op 32,7, 34,1 en 35,1 m diepte, was de berekening onmogelijk omdat niet kon worden uitgemaakt op welke stabiele waarden van $F_{s,2}$ moest worden gesteund.

Uit de tabel blijkt dat :

- ΔF gaat van 0 N tot 2025 N
- er geen verband bestaat tussen $\Delta F_{s,2}$ en de meetstap
- $\Delta F_{s,2} = 0$ onafhankelijk is van hetzij T10 of T11
- een waarde van $\Delta F = 900$ N veel voorkomt (6x)

Een waarde van bijvoorbeeld 900 N zou betekenen dat de konusdelen na het bovenhalen niet meer met de hand kunnen worden samengeschoven. Zoals besproken was dit in de sondering met de versleten kleefmeter (fig. 49) inderdaad het geval. Na ophaling van een normaal ingelopen konus uit kwartair zand was de inwendige weerstand gering. Een merkkelijk hogere doch niet onoverkomelijke weerstand werd echter wel ondervonden na ophaling uit tertiaire klei of kleihoudend zeer fijn zand. In het eerste geval werd dikwijls een onregelmatig verdeelde kleifilm (meestal aan één helft) op het geleidingsstuk vastgesteld; in het andere geval waren klei en leemdeeltjes opgenomen.

Hoewel deze veldwaarnemingen, op één na, de verklaring van het klemmingseffekt niet onmiddellijk ondersteunen moet men toch het volgende in acht nemen. Een konus beweegt zich min of meer spiraalsgewijs in de grond. Tijdens het sonderen en zeker bij hoge konusweerstand wordt de konus voortdurend aan een buiging, loodrecht op zijn as onderworpen. De normale speling tussen de konusdelen volstaat om een geringe afwijking van de as van de kleefmeter ten opzichte van die van het geleidingsstuk toe te laten. Zijn er gronddeeltjes opgenomen dan ontstaat klemming.

Het klemmingseffekt kan met de hand worden vastgesteld. Men omvat het geleidingsstuk aan het bovenuiteinde van een droge (= ongesmeerde), normaal ingelopen kleefmeter met een kleiring. Men schuift de konusdelen enkele malen langzaam in elkaar. Geleidelijk aan worden steeds meer gronddeeltjes opgenomen en de inwendige wrijving neemt toe. Onderwerpt men nu de konus aan een buiging loodrecht op de as dan neemt de klemming dermate toe dat de konusdelen niet meer kunnen worden bewogen.

Het dikwijls voorkomen van een daling van de plaatselijke kleef na een ophaling van de buizen zou te verklaren zijn door een soort zelfreiniging. Met het snel over en weer bewegen van de buizen om de totaalkleef te verminderen wordt ook de kleefmeter snel uit- en ingedrukt. Dit kan gepaard gaan met een afschrepen van de gronddeeltjes op het geleidingsstuk. Men stelt dit ook vast in de handproef.

43.6. METODE TER ONDERKENNING VAN DE LITOLOGIE EN DE STRATIGRAFIE MET DISKONTINUE MECHANISCHE DIEPSONDERINGEN

De analyse heeft aangetoond dat de meest nauwkeurige interpretatie van de litologie en de stratigrafie op grond van mechanische diepsonderingen geleverd wordt door sonderingen met plaatselijke kleefregistratie en die daarenboven aan de volgende voorwaarden voldoen.

1. De metingen zijn zo dicht mogelijk opeen verricht; met de kleefmantelkonus is dit om de 100 mm.
2. Al de volgende gegevens zijn grafisch voorgesteld :
 - de konusweerstand $C_{k,d,10}$
 - de overeenstemmende plaatselijke kleef $F_{s,2,10}$
 - de totale zijdelingse wrijving L_{10}
 - de gereduceerde totale zijdelingse wrijving $L_{cfr,10}$
 - de totale kracht T_{10}
 - het wrijvingsgetal $W_{10} = 100 \frac{F_{s,2,10}}{C_{k,d,10}}$
 - het voor 50 % verbeterde wrijvingsgetal $W_{10,50} = 100 \frac{F_{s,2,10,50}}{C_{k,d,10}}$
3. Men heeft aanvullende inlichtingen opgenomen tijdens de sondering : geluiden, onbetrouwbare lezingen, bijzondere bewegingen van de manometernaald, de grondsoort aan de konus na ophalen, enz...

Ieder sondeerdiagram is nuttig bij de interpretatie. Afzonderlijk maar meestal gekombineerd geven ze aanleiding tot specifieke interpretaties. Het combineren van de diagrammen biedt bovendien de mogelijkheid tot controle. Een verschijnsel

dat goed tot uiting komt in één van de sondeercurven, zal aan de hand van de andere diagrammen meestal beter kunnen worden beoordeeld.

Hoewel de 100 mm-meetstap zeker een invloed heeft op de grootte van L , T en $F_{s,2}$ betekent dit geenszins dat de nu volgende procedure niet van toepassing zou zijn op sonderingen met de 200 mm-meetstap. Bij L en T steunt men immers in de eerste plaats op de relatieve veranderingen en de structuren van de diagrammen en minder op de grootte van deze krachten. Bij $F_{s,2}$ is de grootte echter van belang voor de bepaling van W maar er werd aangetoond dat de spreiding van de waarden, bij gebruik van meerdere konussen, belangrijker is dan de verschillen tengevolge van de kleinere meetstap. Bij toepassing van de interpretatiecriteria op diepsonderingen met de 200 mm-meetstap moet men echter wel beseffen dat veel effecten en verschijnselen minder duidelijk tot uiting zullen komen.

PROCEDURE

A. AFBAKENING VAN DE GROTE GEOLOGISCHE EENHEDEN

a. Onderscheid Kwartair-Tertiair

Er wordt van uitgegaan dat het Tertiair regelmatig gebouwd is dan het Kwartair en dat de tertiaire eenheden overgekonsolideerd zijn en betrekkelijk uniforme litologische en grondmechanische kenmerken bezitten in hun verloop.

- $C_{k,d,10}$: vooral in het Tertiair zijn de primaire en secundaire structuren van het diagram zeer kenmerkend.
- $L_{cfr,10}$: bij aanwending van de nokkenkleefvanger treedt een typisch gedrag op : de reactie van $L_{cfr,10}$ op een verandering van de konusweerstand is veel meer uitgesproken in het kwartair zand dan in het tertiair overgekonsolideerd, (weinig) kleihoudend zeer fijn zand.

- W_{10} : men steunt op de abnormaal lage waarde ervan in het tertiair overgekonsolideerd (weinig) kleihoudend zeer fijn zand; in het normaal gekonsolideerde Kwartair beantwoorden de wrijvingsgetallen aan het diagram van BEGEMANN.
- Voor zover grintelementen ontbreken is de detailstructuur van elk diagram minder uitgesproken in het Tertiair dan in het Kwartair.
- De grondsoort aan de konus verschaft enige informatie over de aard van het diepste, gesondeerde niveau.

b. Indeling in eenheden bestaande uit samenhangende of onsa-
menhangende grondsoorten

- In het Kwartair : men combineert $C_{k,d,10}$, W_{10} en $W_{10,50}$ en deelt in op grond van

| | | |
|------------------------------------|---|------------------------------|
| $C_{k,d,10} = \text{laag}$ | } | samenhangende grondsoorten |
| $W_{10} \geq 2,10$ | | |
| $W_{10,50} \geq 1,3$ | | |
| $C_{k,d,10} = \text{hoog of laag}$ | } | onsamenhangende grondsoorten |
| $W_{10} \leq 2,10$ | | |
| $W_{10,50} \leq 1,3$ | | |

- In het Tertiair is deze regel ook van toepassing maar men dient $W_{10,50}$ te vervangen door $W_{10,30}$.

B. BOUW VAN DE EENHEID : HOMOGENITEIT, HETEROGENITEIT, GELAAGDHEID

- Men steunt vooral op W_{10} : konstantheid wijst op een relatieve homogeniteit, snel opeenvolgende grote relatieve schommelingen duiden op heterogeniteit of gelaagdheid.
- $C_{k,d,10}$ en $F_{s,2,10}$:
 - in meer samenhangende grondsoorten wijzen kleine relatieve schommelingen op homogeniteit en grote en snelle variaties op heterogeniteit of gelaagdheid;
 - in onsaamenhangende grondsoorten zijn $C_{k,d,10}$ en $F_{s,2,10}$

zeer gevoelig voor wisselingen van de pakkingsdichtheid; een rustige secundaire structuur is evenwel kenmerkend voor een relatieve homogeniteit.

- L_{10} : een regelmatige toename zonder een uitgesproken secundaire structuur duidt op een relatieve homogeniteit.

C. LITOLOGIE VAN RELATIEF HOMOGENE SEDIMENTPAKKETTEN

a. Kwartair

Onsamenhangende grondsoorten

Fijn en zeer fijn zand

- $1,25 \leq W_{10} \leq 2,10$

- $C_{k,d,10}$: - zowel hoge als lage waarden komen voor;
 - zaagtandpatronen kunnen optreden bij sterk wisselende pakkingsdichtheid met toenemende diepte;
 - de toe- of afnamen zijn meestal niet zeer steil ($< 10 \text{ MN/m}^2$ per 100 mm indringing).
- L_{10} : vertoont effecten van geïnduceerde horizontale korrelspanning vooral bij overgang van een weinig weerstandbiedende naar een weerstandbiedende laag of omgekeerd.

Middelmatig, grof en zeer grof zand, grinthoudend zand en grint

- $0,70 \leq W_{10} \leq 1,25$ met voor

middelmatig zand : tendens tot $1,00 \leq W_{10} \leq 1,25$

grof en zeer grof zand)

grinthoudend zand)

grint)

tendens tot $W_{10(20)} \leq 1,00$

- aanvullende criteria voor grintloos middelmatig, grof en zeer grof zand :

- L_{10} en $C_{k,d,10}$: idem als voor fijn en zeer fijn zand

- aanvullende criteria voor grinthoudend zand, solitaire grintelementen en dunne grintlaagjes :
 - $C_{k,d,10}$: - het diagram vertoont vaak scherpe en (relatief) hoog uitlopende pieken;
 - er kunnen zeer steile toe- en afnamen optreden vooral wanneer op compacte grintrijke laagjes of solitaire, voldoende grote grintelementen (\pm diameter van de konus) wordt gestoten (vaak meer dan 10 MN/m^2 per 100 mm indringingsdiepte).
 - L_{10} : scherpe en grote neerwaartse pieken ter hoogte van een oplopende konusweerstand en totale kracht, zijn typerend.
 - $L_{cfr,10}$: scherpe en grote neerwaartse en opwaartse pieken zijn kenmerkend; hoewel ze vaak optreden in de onmiddellijke omgeving van de oplopende konusweerstand, kunnen ze ook verschoven zijn naar een ongeveer 0,6 m dieper liggend niveau.
 - beschadiging van de konus : krassen, uithollingen, afgebroken topje van de punt, enz...

Samenhangende grondsoorten

weinig samenhangend : weinig leem- of kleihoudend, leemhoudend en kleihoudend zand

- $1,9 \leq W_{10} \leq 3,3$: een gradatie is mogelijk op grond van de tendens tot hogere W_{10} -waarden met toenemende plasticiteitsindex.
- L_{10} : bij lage $C_{k,d,10}$ ($< 3 \text{ MN/m}^2$) vertoont de totale zijdelingse wrijving gewoonlijk slechts een zwakke toename.
- $C_{k,d,10}$: heeft een tendens tot lagere waarden met toenemend gehalte aan deeltjes $< 60 \mu\text{m}$.

meer samenhangend : zandhoudende klei, leemhoudende klei, klei, veen

- $3,5 \leq W_{10}$: met toenemende plasticiteit is er een tendens tot hogere W_{10} -waarden.
- $C_{k,d,10}$:
 - de weerstand is overwegend laag;
 - de absolute schommelingen zijn gering;
 - verschillende samenhangende grondsoorten die op elkaar voorkomen onderscheiden zich dikwijls door een zwak contrast in de konusweerstand.
- L_{10} :
 - de toename is belangrijk , ook bij lage konusweerstand, tenzij voor zeer slappe en gevoelige kleien;
 - een plotse hellingsverandering van L duidt dikwijls op een verandering van laag.
- T_{10} : is vooral nuttig wanneer geen $C_{k,d,10}$ (en dus geen L_{10}) kon worden geregistreerd ($C_{k,d,10}$ te laag). Een sterke toename van T_{10} wijst in zulke gevallen op een meer samenhangende grondsoort. Knikken in de kurve houden vaak verband met laaggrenzen.
- $F_{s,2,10}$ bij lage $C_{k,d,10}$: een duidelijke toe- of afname van $F_{s,2,10}$ wijst dikwijls op een verandering van laag (grondsoort).

b. Tertiair

Onsamenhangende grondsoorten : niet behandeld

Samenhangende grondsoorten (overgekonsolideerd)

weinig samenhangende : weinig kleihoudend en kleihoudend zeer fijn zand

- $0,8 \leq W_{10} \leq 1,3$
- $C_{k,d,10}$: wanneer grintelementen ontbreken heeft het diagram een rustige secundaire structuur.

- $L_{cfr,10}$: vertoont een vrij regelmatige toename met een relatief rustige secundaire structuur.

meer samenhangend : stijve klei en stijve glaukoniethoudende klei

- $3,15 \leq W_{10(20)} \leq 4,05$: stijve glaukoniethoudende klei.
- $4,05 \leq W_{10(20)} \leq 5,85$: stijve klei.
- $C_{k,d,10}$: - de weerstand is hoog voor klei;
- de relatieve schommelingen zijn overwegend klein.
- $L_{cfr,10}$: - vertoont een belangrijke en regelmatige toename;
- in stijve glaukoniethoudende klei is de helling iets zwakker dan in zuivere stijve klei.

D. LITOLOGIE VAN GELAAGDE OF HETEROGENE EENHEDEN

- W_{10} voor laagjes > 200 mm dik : men beschouwt de uiterste waarden en vergelijkt ze met die voor de zuivere grondsoorten.
- W_{10} voor laagjes < 200 mm dik : men verkrijgt tussenliggende waarden die evenwel kunnen verschoven zijn naar de dominante grondsoort.
- $C_{k,d,10}$: grote relatieve schommelingen wijzen op een uiteenlopende litologie.
- L_{10} : een belangrijke toename duidt op een overheersing van samenhangende grondsoorten; een geringe op een overheersing van weinig samenhangende en onsamenhangende grondsoorten.

Opmerkingen

1. Zoals voor de bestaande klassifikaties is ook deze methode aangewezen op het identificeren van natuurlijk afgezette grondsoorten gelegen onder de watertafel.
2. Bij omvangrijke studies is het wenselijk over enkele betrouwbare en goed gekozen boorprofielen te beschikken (uitgevoerd

na de diepsonderingen) om meer plaatsgebonden korrelaties te kunnen vastleggen. Een typisch voorbeeld vormt het oppervlak-veen in het studiegebied. Alhoewel op grond van het wrijvingsgetal geen onderscheid met klei te maken is, kan men door combinatie van $C_{k,d,10}$, L_{10} en W_{10} , samen met enige voorkennis van het gebied, het veen dikwijls duidelijk herkennen.

3. In de praktijk kan men gemakkelijk weinig samenhangende van meer samenhangende grondsoorten onderscheiden. Een onderkenning van de grondsoorten in die groepen is evenwel veel moeilijker. Weet men echter welke lagen mogen worden verwacht, dan is een meer gedetailleerde identifikatie mogelijk.
4. In sekwenties bestaande uit eenheden, die elk voor zich, vrij uniforme kenmerken (geometrische, litologische en grondmechanische) bezitten, vertoont het konusdiagram typische primaire en secundaire structuren. Door ijking van één konusdiagram met een betrouwbare boring kan men de anderen dan meestal onmiddellijk interpreteren.
5. De waarde van W_{10} kan beïnvloed worden door :
 - effecten van inlopen van de kleefmeter bij een nieuwe konus;
 - klemming van de kleefmeter met klei of fijne leem bij een nieuwe konus;
 - klemming van de kleefmeter met klei of leem bij een ingelopen konus;
 - klemming van de kleefmeter met klei, leem en zeer fijn zand bij een versleten konus;
 - geringe afwijkingen in de geometrie (diameter, oppervlak, excentriciteit, ...), van de kleefmeter en dit gedurende de gehele levensduur van de kleefmantelkonus;
 - door effecten van geïnduceerde horizontale korrelspanning.
6. Met afnemende dikte van een eenheid verminderen de specifieke kenmerken in de sondeerdiagrammen en wel het eerst in L_{10} en T_{10} gevolg door $F_{s,2,10}$, W_{10} , $W_{10,50}$ en tenslotte in $C_{k,d,10}$. De kleinste interpreteerbare dikte van een eenheid hangt bijgevolg af van de sondeerdiagrammen zelf maar ook van de omstandig-

heden (lagen boven en onder de beschouwde eenheid) waarin die eenheid zich bevindt. Een minimum interpreteerbare dikte is dan ook moeilijk vast te leggen; de volgende waarden zijn daarom enkel richtinggevend :

$$C_{k,d,10} : \pm 0,1 \text{ m}$$

$$F_{s,2,10} : 0,2 \text{ tot } 0,3 \text{ m}$$

$$W_{10}, W_{10,50} : 0,2 \text{ tot } 0,3 \text{ m}$$

$$L_{10}, T_{10} : 0,5 \text{ tot } 2 \text{ m}$$

Laagjes van minder dan 0,2 m dikte kan men litologisch niet meer nauwkeurig bepalen maar indien ze opeengestapeld zijn tot een pakket van voldoende dikte zal men op grond van W_{10} en $C_{k,d,10}$ toch een indruk van de overheersende grondsoort verkrijgen.

7. Daar de methode in eerste instantie voor het studiegebied werd opgesteld hebben sommige interpretatiecriteria een eerder plaatsgebonden betekenis. Dit belet evenwel niet dat de meeste criteria ook in andere gebieden kunnen worden toegepast. Onze ervaring heeft bovendien geleerd dat het niet zinvol is te streven naar een universeel toepasbare litologische en stratigrafische interpretatietechniek (M. DEPRET, 1982b). Dit geldt ook voor methodes die enkel steunen op het wrijvingsgetal. Korrekte interpretaties, vooral van de litologie, worden slechts verkregen mits men een zekere voorkennis van de geologie van het betrokken gebied heeft. Nochtans mag men stellen dat binnen hetzelfde geologisch milieu, vaste interpretatiecriteria als betekenisvol kunnen worden aanvaard (M. DEPRET, 1982b).

4.4. KARAKTERISTIEKE DIEPSONDERINGEN

Zoals voor de boringen duiden we enkele sonderingen aan waarin een zo volledig mogelijke opeenvolging van de litostratigrafische eenheden, met hun typische kenmerken in de diagrammen, is te zien.

Tertiair

De tertiaire formaties zijn dermate regelmatig gebouwd dat vrijwel iedere voldoende diepe sondering als type kan worden genomen. Een doorlopend sondeerdiagram van de bestudeerde ondiepe tertiaire eenheden was evenwel niet voorhanden. In het noordoosten van het gebied, waar alle ondiepe tertiaire eenheden boven elkaar voorkomen, zit het Lid van Oedelem, tengevolge van zijn noordoostelijke helling, voor onze sonderingen te diep. Meer naar het zuidwesten ontbreken enerzijds het Lid van Asse en het Lid van Ursel en zijn de sonderingen ook veelal gestopt op de zones met steenbanken bovenaan in het Lid van Oedelem.

De grote regelmaat van de tertiaire formaties liet toe uit verschillende sonderingen een typesondeerprofiel samen te stellen (fig. 50). Een dergelijk profiel zou men bekomen in het noordoosten van het gebied, bijvoorbeeld ter hoogte DS 30.78 te Heist. Hoewel $L_{cfr,10}$ werd weggelaten mag men niet vergeten dat deze kurve onmisbare informatie inhoudt met betrekking tot de interpretatie van de grens tussen het Tertiair en het Kwartair. Anomaliën in de weerstanden, bijvoorbeeld in gedeelten afkomstig uit de verstoorde topzone van het Tertiair substraat of tengevolge van het ophalen van de buizen, zijn grotendeels weggevoerd.

Afgezien van de eenheid T_1 , die slechts in één sondering over maar één meter werd gesondeerd, werd een vrijwel volledig profiel van het Lid van Oedelem verkregen. Duidelijk herkent men de vierdelige en driedelige bouw van respectievelijk T_2 en T_3 . De eenheden $T_{6,1}$, $T_{7,1}$ en $T_{8,1}$ geven in navolging met hun gelijklopende laboratoriumkenmerken, vrijwel hetzelfde beeld. In een onderbroken sondering zijn ze dan ook dikwijls alleen maar

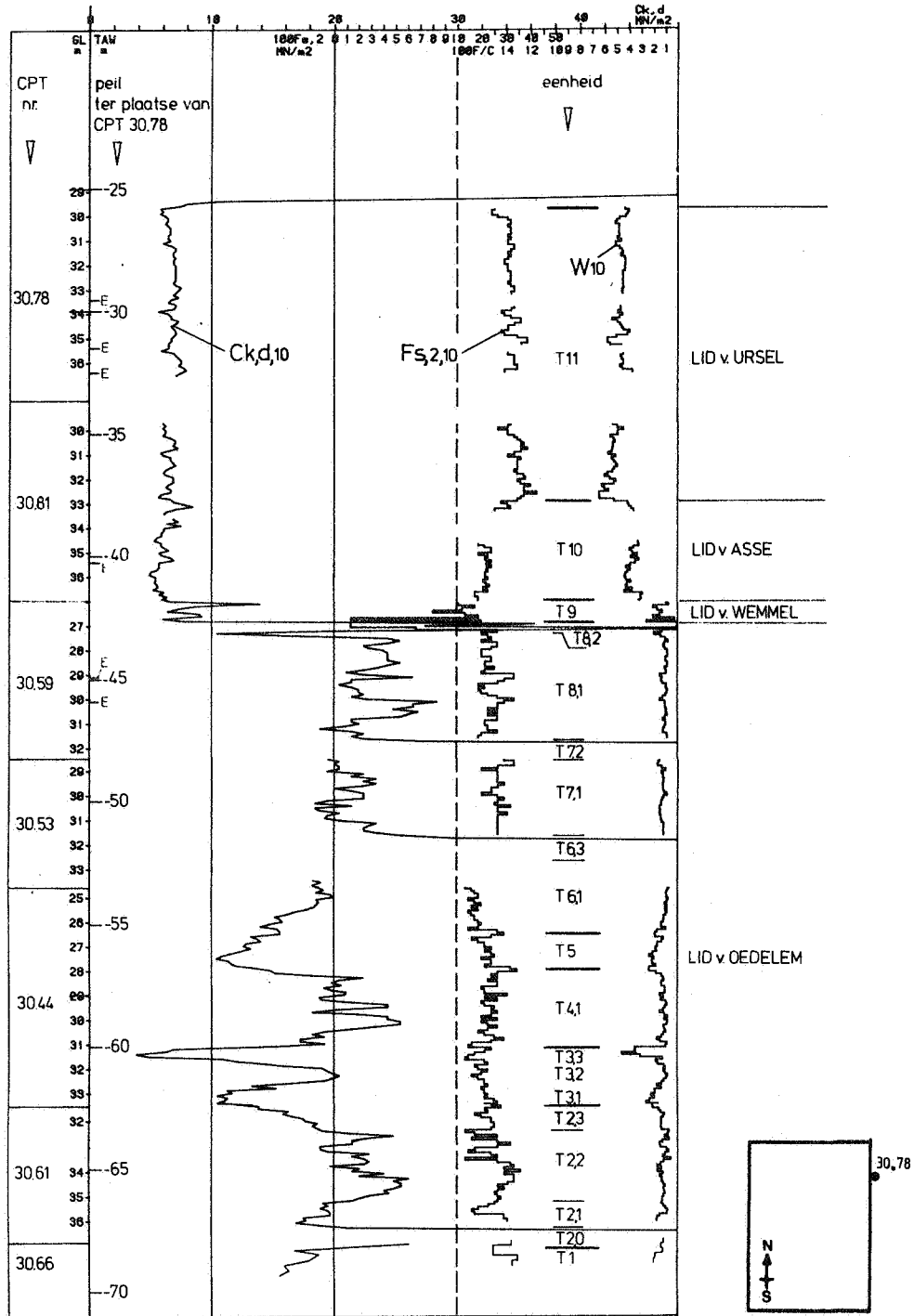


Fig. 50 - Karakteristieke diepsondering van de ondiepe tertiaire eenheden in het studiegebied. Het werd samengesteld aan de hand van de resultaten van 7 sonderingen. Een dergelijk profiel zou men bekomen in het noordoosten van het gebied ter hoogte van DS 30.78

- Characteristic penetration diagram of the shallow Tertiary units in the study area. It was compiled with the results of 7 penetration test. Such a profile should be obtained at DS 30.78 in the north-eastern part of the area

te identificeren op grond van de hoofdzones met steenbanken (T6,3, T7,1, T8,1) en hun geometrische plaats in een doorsnede. Soms bevatten de eenheden T6,1, T7,1 en T8,1, zeer plaatselijk, verharde zones met hoge konusweerstand waardoor verwarring kan ontstaan met de hoofdzones met steenbanken. Van de hoofdzones T7,2 en T6,3 is in de figuur alleen de eerste oploop van de konusweerstand te zien. Kan men door deze steenzones sonderen, zo verkrijgt men vaak meerdere hoge $C_{k,d,10}$ -pieken na elkaar. Dit duidt op het samengesteld karakter van deze steenbanken. Het Lid van Asse en het Lid van Ursel laten zich gemakkelijk identificeren met het wrijvingsgetal.

Kwartair

Wegens de grilligheid van het Kwartair kan men slechts typesonderingen met een lokaal karakter aangeven. Het voorkomen van gidslagen zoals het oppervlakteveen (K7) (eventueel uitgeveend, K9), het veen-leem-zandkomplex van de afzetting van Eeklo (K5) en de grinthoudende afzetting van Zeebrugge (K3) vereenvoudigen de interpretatie aanzienlijk. Zonder deze (niet ontwikkeld of geërodeerd) zijn de diepsonderingen soms moeilijk te interpreteren, vooral wanneer de gehele kwartaire sekwentie uit fijn zand bestaat.

In een west-oost gerichte strook, lopend over het Prins Philip- en Nijverheidsdok, het Noordelijk Insteekdok en Ramskapelle zijn de gidslagen goed ontwikkeld. De eenheden K2,1, K3, K4,1, K4,1+2, K5,1, K5,2, K7, K9, K8,1 (op veen) K8,3 (op veen) zijn er duidelijk te identificeren en te kenmerken. Als karakteristieke sonderingen nemen we in dalende volgorde : DS 30.51, DS 30.52, DS 30.70 en DS 30.50 (fig. 51a,b,c en d). Ook in DS 30.50 bereikt de afzetting van Calais (eenheid K6) een voor het gebied gemeten maximum dikte.

Doordat K3 er ontbreekt of zwak ontwikkeld is vermindert haar betekenis als gidslaag naar het zuiden toe. De eenheden K2 en K4 zijn dan soms moeilijk uit elkaar te houden. Vertonen de sondeerprofielen in het zuidoosten van het gebied (b.v. DS 30.75

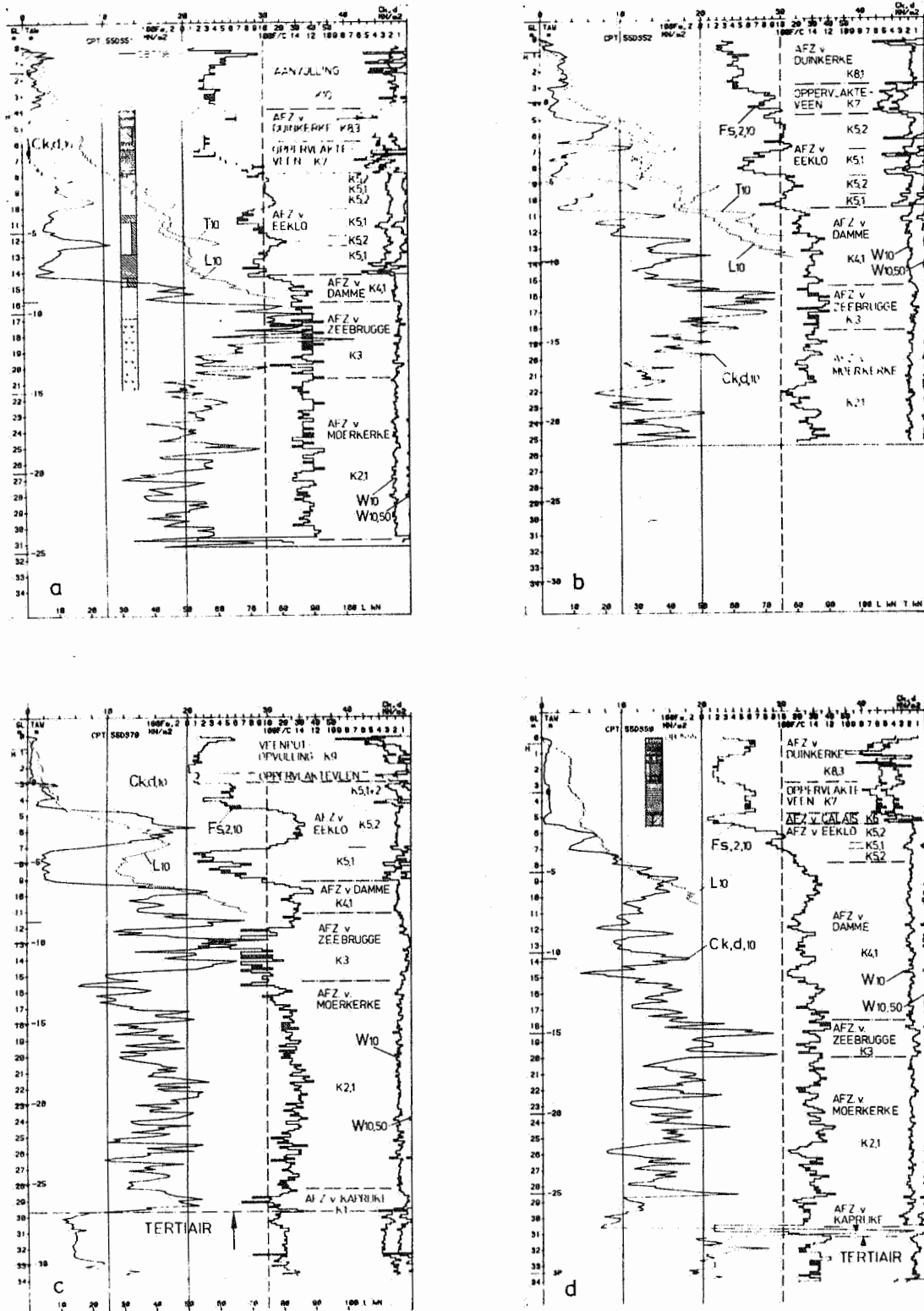


Fig. 51a,b,c,d - Karakteristieke diepsonderingen in het Kwartair ter hoogte van de veenplaat voor het westelijk, noordelijk en centraal gedeelte van het studiegebied

- Characteristic penetration tests in the Quaternary deposits on the site of the peat layer for the western, northern and central part of the study area

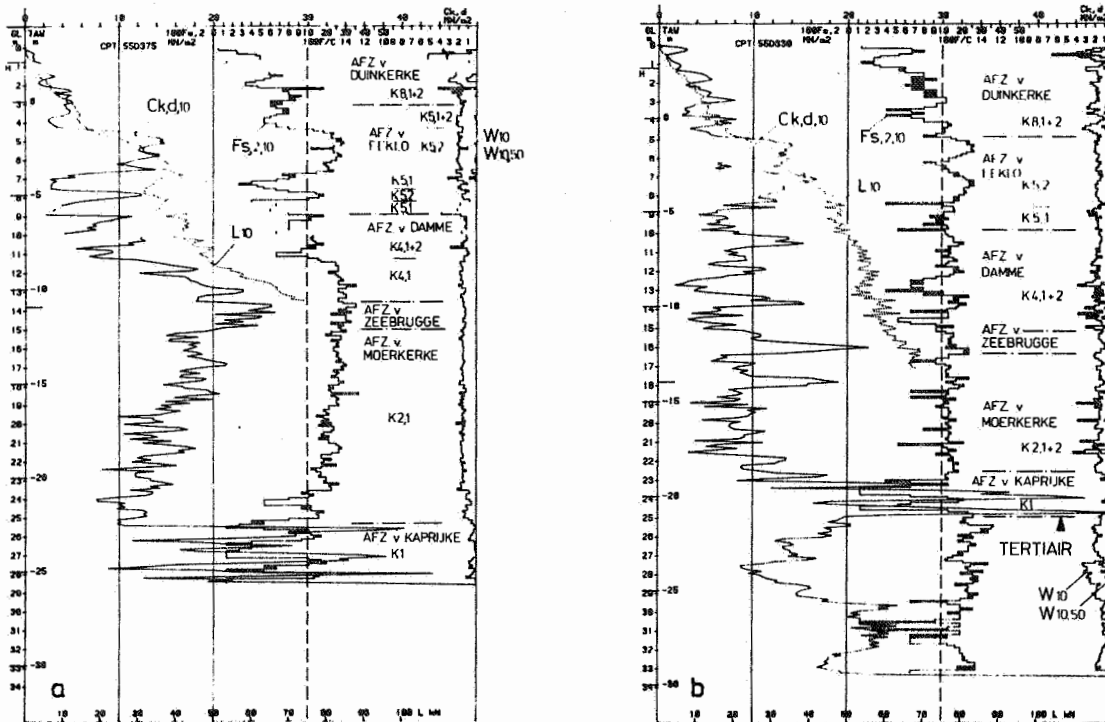


Fig. 52a,b - Karakteristieke sonderingen in het Kwartair ter hoogte van de veenplaat in het zuidoostelijk deel van het studiegebied

- Characteristic penetration tests in the Quaternary deposits on the site of the peat layer in the south-eastern part of the study area

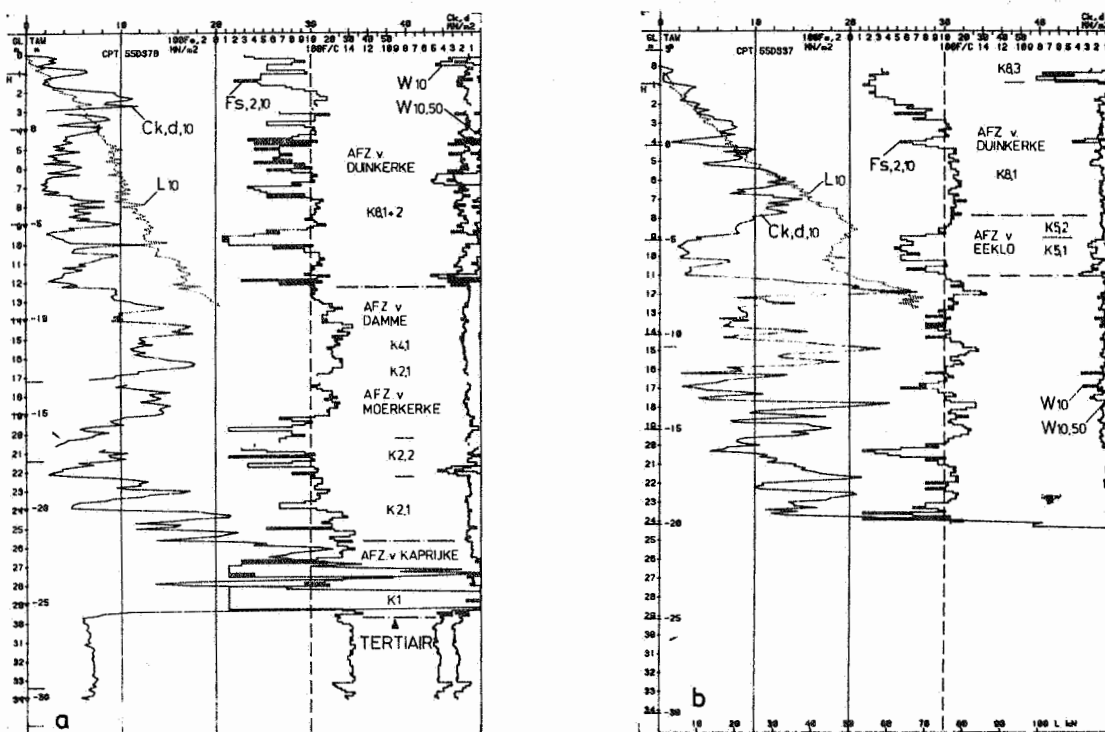


Fig. 53a,b - Karakteristieke sonderingen in het Kwartair ter hoogte van de grote oostelijke (a) en westelijke (b) opgevulde Duinkerke-kreken

- Characteristic penetration tests in the Quaternary deposits on the site of the big eastern (a) and western (b) filled up Duinkerke-creeks

fig. 52a) nog een betrekkelijk goede gelijkenis met de centraal gelegen karakteristieke sonderingen, dan vermindert de gelijkenis vlug in het zuiden en zuidwesten omdat K2 en K4 meer en meer leemhoudende lenzen (K2,2 en K4,2) bevatten (b.v. DS 30.30, fig. 52b).

In sommige sondeerdiagrammen ontbreken de gidslagen K7, K5 en K3. Dit is geheel of gedeeltelijk het geval ter hoogte van de grote Duinkerke-inbraken in het zuidwesten en noordoosten van het studiegebied. In het noordoosten bevatten de zandige kreekafzettingen (K8,1) echter opvallend veel klei- en leemlaagjes waardoor ze goed kontrasteren met de onderliggende pleistocene zandige eenheden (b.v. DS 30.78, fig. 53a). De westelijke inbraakgeul is daarentegen met veel zandiger materiaal opgevuld waardoor K8,1 van de onderliggende zandige eenheden slechts dan goed is af te bakenen wanneer K5 (of K3) kan worden geïdentificeerd (DS 30.37, fig. 53b).

5. KAARTEN EN DOORSNEDEN

Het ruimtelijk verband tussen de litostratigrafische eenheden is voorgesteld onder de vorm van kaarten en doorsneden. De volgende litologisch belangrijke aspecten werden kartografisch voorgesteld :

- aanvullingen en vergravingen
- uitbreiding van het oppervlakteveen, voormalige veenexploitaties en opgevulde kreken
- basis van het veen-leem-zandkomplex K5 (afzetting van Eeklo)
- top van het Tertiair en uitbreiding van het Lid van Asse (Ursel)
- basis van het Lid van Asse

Vier doorsneden tot 35 à 60 m diepte stellen de bouw van de kwartaire en ondiepe tertiaire eenheden voor. De complexiteit van de bovenste 5 à 6 m Kwartair wordt nader bekeken aan de hand van twee waargenomen profielen.

5.1. AANVULLINGEN EN VERGRAVINGEN (KAART 2)

Deze kaart werd reeds eerder besproken in paragraaf 3323.4.

5.2. UITBREIDING VAN HET OPPERVLAKTEVEEN, VOORMALIGE VEENEXPLOITATIES EN OPGEVULDE KREKEN (KAART 3)

Zoals eerder toegelicht wordt het huidig uitzicht van het oppervlakteveen naast natuurlijke ook in belangrijke mate bepaald door antropogene factoren. Het gedetailleerd en nauwkeurig karteren van gesteentelichamen van een grillig gebouwd complex vergt echter een voldoende dicht net van puntwaarnemingen. Zo was een betrouwbare rekonstruktie van de bovenlagen niet doenbaar ondanks een gemiddelde van 30 puntwaarnemingen per km². Ligt zo'n complex aan het oppervlak, zoals in het studiegebied, dan vormen luchtfoto's niet zelden een uitstekend alternatief. Een dergelijke techniek is bovendien ook veel goedkoper dan een verdere uitbouw van de puntwaarnemingen.

52.1. WAARNEMING IN FUNDERINGSLEUVEN

In de jaren 1977-78, gedurende de werkzaamheden aan het Noordelijk Insteekdok in de toekomstige achterhaven werd een zeldzame kans geboden om de complexe bouw van de bovenste afzettingen met het blote oog waar te nemen. Evenwijdig aan de twee te bouwen kaaimuren waren toen sleuven gegraven waardoor de kwartaire lagen over nagenoeg 2400 m lengte tot 5 à 6 m diepte zichtbaar werden. Twee typeprofielen werden er opgenomen.

De in deze profielen voorgestelde eenheden zijn van natuurlijke of antropogene oorsprong. De natuurlijk afgezette lagen of lichamen zijn begrensd door litologische grensvlakken, erosievlakken en diastemen. De antropogene eenheden zijn begrensd door een kunstmatig erosievlak.

521.1. Profiel W

Het profiel W (fig. 54) en de foto 3 illustreren duidelijk de complexe geologische bouw in de omgeving van een veenloze (= doorheen het veen gesneden), zandige kreek. Het projektievlak van de doorsnede maakt een hoek van circa 70° met de as van de



Foto 3 - Overgang van een zone met veenondergrond en opgevulde veenputten naar een veenloze zandige kreek. De lat meet 3 m (Noordelijk Insteekdok, foto auteur)

- Transition from a zone with a subsoil of peat and filled up peat excavations to a peatless sandy creek. The measuring rod is 3 m in length (Northern Insteekdok, photo author)

Fig. 54 PROFIEL W

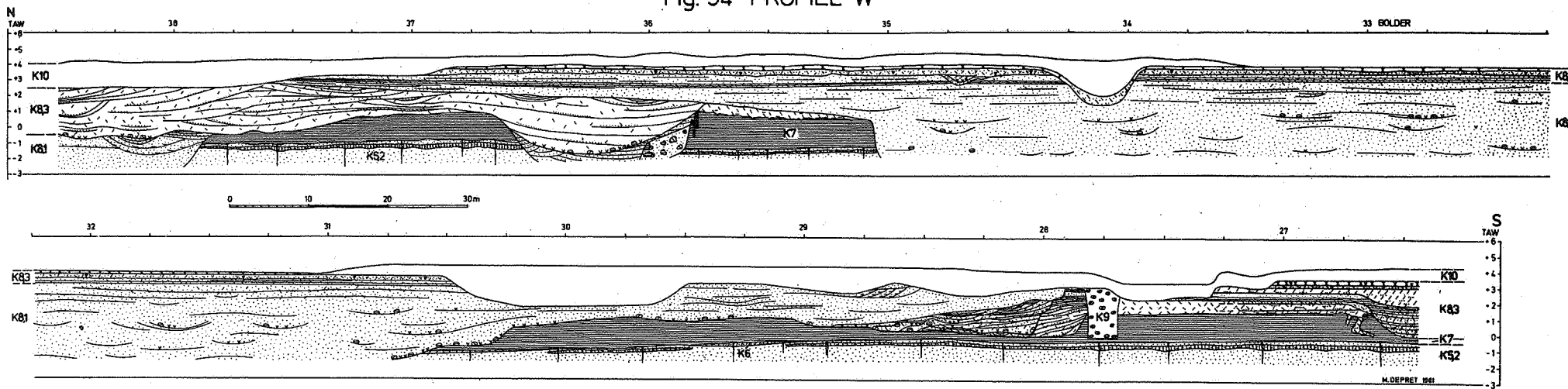
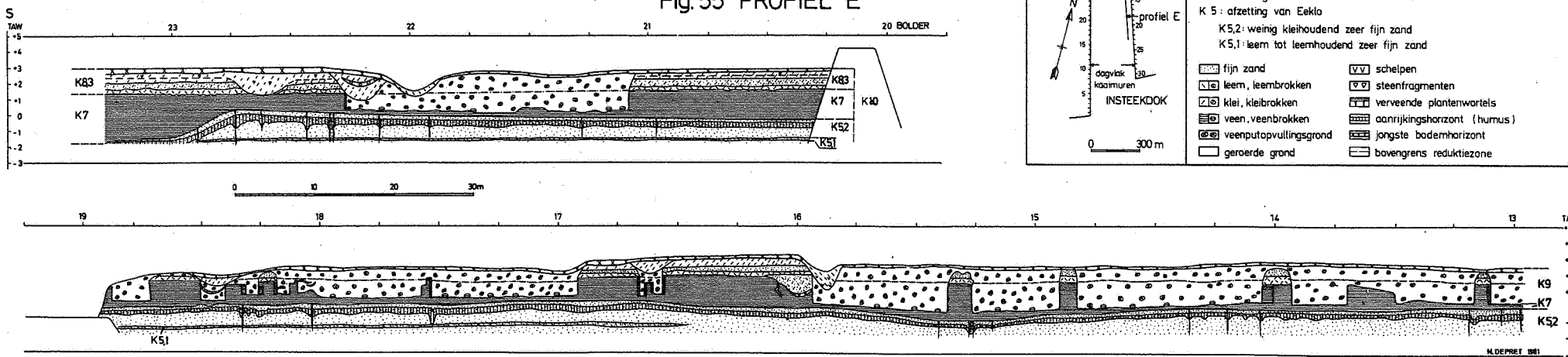


Fig. 55 PROFIEL E



SITUATIEPLAN

Legend for geological symbols:

- fijn zand
- leem, leembrokken
- klei, kleibrokken
- veen, veenbrokken
- veenputopvullingsgrond
- geroerde grond
- schelpen
- steenfragmenten
- verveende plantenwortels
- aanrijkingshorizont (humus)
- jongste bodemhorizont
- bovengrens reductiezone

Legend for profile symbols:

- K 10: aanvullingen en vergravingen
- K 9: opgevlude veenputten
- K 8: afzetting van Duinkerke
- K 8,3: klei, leem, zandhoudende klei
- K 8,1: fijn zand
- K 7: oppervlakteveen: veen
- K 6: afzetting van Calais: leemhoudende klei
- K 5: afzetting van Eeklo
- K 5,2: weinig kleihoudend zeer fijn zand
- K 5,1: leem tot leemhoudend zeer fijn zand

171

M. DEPRET 1961

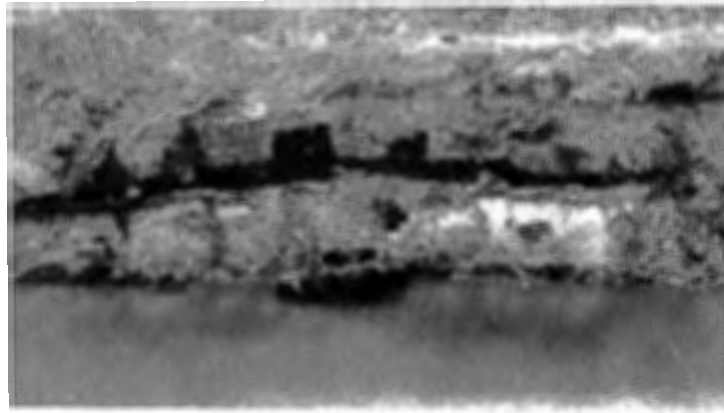


Foto 4 - Zone met een belangrijke uitvening. Duidelijk herkent men de onontgonnen basislaag van het oppervlakteveen en twee smalle veenmuurtjes (Noordelijk Insteekdok, foto auteur)

- Zone with a considerable peat excavation. The unworked zone at the basis of the surface peat and two narrow peat walls can clearly be recognized (Northern Insteekdok, photo author)



Foto 5 - Veenmuurtje met erop de intact gebleven, koepelvormig begrensde sedimenten van de afzetting van Duinkerke. De lat meet 3 m (Noordelijk Insteekdok, foto auteur)

- Peat wall with upon it the intact, dome-shaped bordered sediments of the Duinkerke member. The measuring rod is 3 m in length (Northern Insteekdok, photo author)

kreek waardoor de schijnbare horizontale afmetingen enigszins overdreven zijn. De lengte van het profiel bedraagt 370 m.

Onder het oppervlakteveen (K7) vindt men de afzetting van Eeklo (K5) terug. De afzetting van Calais (K6) is beperkt tot een diskontinu laagje leemhoudende klei gelegen tussen de bolders 29-31.

Het oppervlakteveen bereikt tussen 35-36 een maximum dikte van 2,5 m. Enkel tussen 26-28 en gedeeltelijk tussen 35-36 is de oorspronkelijke top te zien. Op de andere plaatsen is het veen grotendeels geërodeerd door de afzetting van Duinkerke.

De afzetting van Duinkerke is in het profiel vooral vertegenwoordigd door de met fijn zand (K8,1) opgevulde veenloze kreek tussen 31-35. Lateraal wigt deze kreek uit boven het veen. De zijdelingse stroken zijn breed ontwikkeld (\pm 80 m). Links wordt de veenloze kern scherp begrensd door een steilrand gevormd door het samenhangende veen. Rechts is het veen over een aanzienlijke afstand (\pm 80 m) onregelmatig ingesneden.

De kleine kreekjes ter hoogte van 36 en 38 zijn ouder dan de voorgaande. Beide vertonen een gelijkaardige bouw. De kernen zijn onderaan opgevuld met fijn zand K8,1. Nadien werden ze, evenals de tussenliggende veenplaat, overdekt met een mikrogelaagd klei-leem pakket (K8,3).

Rechts van 28 bestaan de sedimenten van de afzetting van Duinkerke vooral uit subhorizontale laagjes leemhoudende klei, zandhoudende klei en klei (K8,3). Tussen 27 en 28 ligt er een kleine opgevulde veenput.

521.2. Profiel E

Het profiel E (fig. 55) meet 285 m lengte en snijdt doorheen een zone waarin een belangrijke ontvening heeft plaatsgegrepen.

Alhoewel aanzienlijk in omvang gebeurde de veenuitbating duidelijk niet-systematisch. Belangrijke partijen veen zijn onaangeroerd gebleven. De breedte van de veenputten varieert van minder dan 1 m (tussen 16-17) tot meer dan 90 m (tussen 13-16). Deze laatste bestaat eigenlijk uit een aaneenschakeling van kleinere putten (10-25 m breedte) die van elkaar gescheiden zijn

door smalle 2-3 m brede veenmuurtjes. In de veenputten is het veen nooit helemaal weggenomen. Overal bevindt er zich aan de basis nog een 0,2 tot 0,6 m dikke laag veen. De veenputten zijn steeds door een loodrechte wand begrensd (zie ook foto 4 en 5).

Op de intact gebleven partijen veen liggen de kleiige en lemige sedimenten K8,3 van de afzetting van Duinkerke. Koepelvormig begrensd en meestal zonder topzone kan men die gewoonlijk ook op de veenmuurtjes herkennen (zie ook foto 5).

De veenputten zijn zeer heterogeen opgevuld met overwegend klei-, leem-, veen-, en in geringe mate zandbrokken ingebed in een meestal kleiige matrix.

Op te merken valt dat de basis van het oppervlakteveen meestal zeer vlak is gelegen. Evenwel ter hoogte van 23 neemt de dikte van het veen over nog geen 10 m afstand toe van 1 m tot bijna 3 m.

521.3. Analyse van het maaiveldpeil

Beide profielen illustreren ook het verband tussen de hoogte van het oorspronkelijk poldermaaiveld en de ondergrond.

Ter hoogte van de veenloze zandige kreek (fig. 54) treffen we dit maaiveld (enkel tussen 31-37 te zien) aan op + 4 m. In de poelgronden (niet-ontgonnen percelen in fig. 55) ligt het op + 3 m. De uitgeveende percelen liggen gemiddeld nog lager op + 2,5 m. In de zones met veenexploitatie blijken de meer omvangrijke onontgonnen percelen een weinig uit te steken boven dit gemiddeld peil. De individuele veenmuurtjes onderscheiden zich echter niet in het topografisch oppervlak.

52.2. LUCHTFOTO-INTERPRETATIE

522.1. Analyse van de fotoreeksen

Voor de luchtfoto-interpretatie hadden we de beschikking over panchromatische opnamen. De overlapping in de reeks bedroeg circa 60 %.

Bij de interpretatie is het waarnemen van hoogteverschillen van essentieel belang. Dit gebeurt in stereovisie. Gezien de kleine hoogteverschillen is een voorafgaande kennis van de stereo-

skopische drempel vereist. De stereoskopische drempel is het kleinste in stereovisie waarneembare hoogteverschil en wordt benaderd gegeven door :

$$h = \frac{100}{F \cdot R} \cdot \frac{H}{b} \quad (\text{C. MARIUS en M. ANTROP, 1976})$$

waarin : h : stereoskopische drempel (cm)

H : vlieghoogte (m)

b : fotobasis (mm)

R : effectief oplossend vermogen van de foto
(in lijnen per mm) (hier 20 lijnen/mm)

F : faktor die het verband uitdrukt tussen R en de minimale parallax en gemiddeld 2,5 bedraagt

In Tab. 12 zijn voor de drie reeksen enkele algemene gegevens en de waarden voor h samengevat. Hieruit blijkt

Tabel 12 - Gegevens van de fotoseries betrokken bij de interpretatie
- Data of arial photograph series used in the interpretation

| reeks | H m | focusafstand f mm | f/H | b mm | h cm | datum vlucht |
|-------|--------|----------------------|---------|---------|---------|--------------|
| 1 | 3340 | 153,16 | 1/21800 | 85 | 79 | 09/06/69 |
| 2 | 1600 | 153,16 | 1/10500 | 82 | 39 | 23/08/76 |
| 3 | 800 | 153,22 | 1/5200 | 85 | 19 | 06/06/75 |

bijvoorbeeld dat met de reeks 1 hoogteverschillen van minder dan 79 cm niet meer worden opgemerkt.

Ook de schaal van de foto's is van belang. Met het oog op waarneming van langgerekte kreeklichamen (orde van km) is een schaal groter dan 1/10 000 minder geschikt.

Een andere moeilijkheid ligt bij het gewas. Daar de waar te nemen hoogteverschillen van de orde van grootte zijn van het gewas kunnen deze laatste de eerste verdoezelen. Een opname in het voor- of najaar inplaats van in de zomer, zoals voor de drie reeksen, zou gunstiger zijn geweest.

522.2. Interpretatiecriteria

Het vastleggen van de relaties tussen de bouw van de ondergrond en het fotobeeld gebeurde aan de hand van enkele vooraf goed gekende proefgebieden.

Alhoewel het veengebied Zeebrugge-Dudzele anders gestructureerd is, kon worden uitgegaan van het door F. SNACKEN en A. VERHOEVE (1965) uitgewerkte verband tussen het fotobeeld en de bouw van het polderlandschap te Houtave. Dit verband is gesteund op het niveauverschil dat door de reliëfsinversie en de uitveningen is ontstaan tussen de (veenloze) kreken en de komgebieden, op tonaliteitskontrasten en op het verband tussen de in cultuurname van het gebied en de fysische omstandigheden.

In het studiegebied is de reliëfsinversie evenwel minder uitgesproken dan te Houtave omdat er op het veen drie afzettingen liggen. Wel is het veen te Zeebrugge aanzienlijk meer geëxploiteerd wat het reliëfscontrast in de hand heeft gewerkt.

Op de foto's onderscheiden de kreken zich als langgerekte rechtlijnige of gebogen, zwak konvexe, meestal symmetrische, lage ruggen met een lichte tonaliteit en vrij uniform uitzicht (fig. 56). In tegenstelling met Houtave, waar de veenplaat door nagenoeg parallelle kreken is versneden, heeft men te Zeebrugge-Dudzele te doen met een zeer grillig krek patroon, wat de interpretatie bemoeilijkt.

De veengebieden liggen iets lager, zijn donkerder van tonaliteit en hebben een complex uitzicht. Daarin kontrasteren vooral de uitgestrekte uitgeveende partijen, die gekenmerkt zijn door hun nog lagere ligging, zeer onregelmatige topografie, rechtlijnige begrenzing en donkere tonaliteit (fig. 56). Niet zelden onderscheid men de eigenlijke veenputten als hoekig afgeleijnde depressies en plassen.

Door hun essentieel zandige kern en hogere ligging zijn de kreeklichamen veel beter inwendig gedraineerd dan de lager gelegen kleiige en venige poelgronden. Deze laatste hebben dan ook een veel dichter uitgebouwd drainagenetwerk. Ondanks dat lijden deze gebieden aan een nagenoeg permanente wateroverlast.

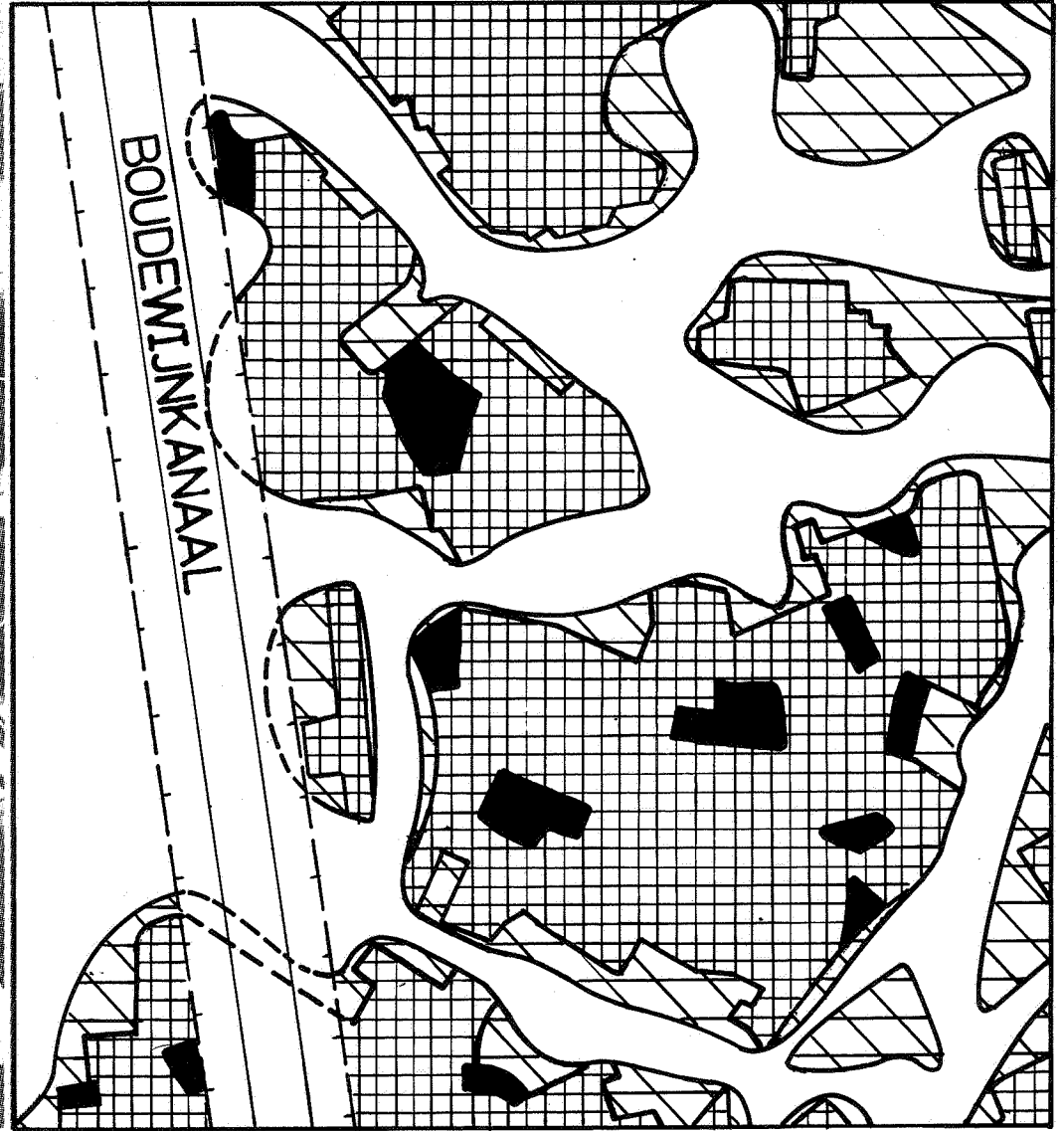
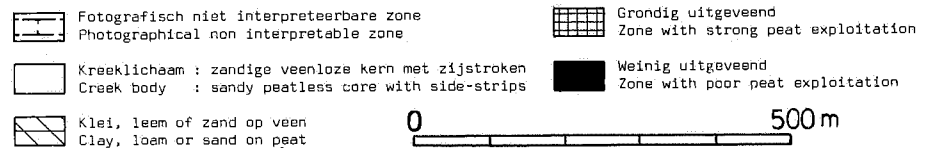


Fig. 56 - Orthofoto en foto-interpretatie (detail orthofoto 5d1 van Aëro Survey)

- Orthophoto and photo-interpretation (detail of orthophoto 5d1 of Aëro Survey)



De verschillen in fysische omstandigheden tussen de kreekkruggen en de poelgronden liggen aan de grondslag van een verband dat is ontstaan met de in kultuurname van het gebied. De bewoning en het akkerland liggen vooral op de kreekkruggen, de weilanden op de poelgronden. Door de onregelmatige begrenzing en de omvang van de veenplaten is het verband wegennet-kreekkrug minder uitgesproken dan te Houtave.

522.3. Opstelling

De interpretaties werden onmiddellijk op een orthofoto-plan op schaal 1/10 000 uitgetekend (fig. 56). De begrenzingen van de (zandige) kreeklichamen werden genomen op de hellingsveranderingslijnen in de concave hellingen van de kreekkruggen (fig. 57). De uitgeveende percelen waren meestal vrij eenvoudig af te lijnen. Tussen beide grenzen liggen dan de niet-uitgeveende zones waar hetzij zand, hetzij klei+leem+zand op veen voorkomen.

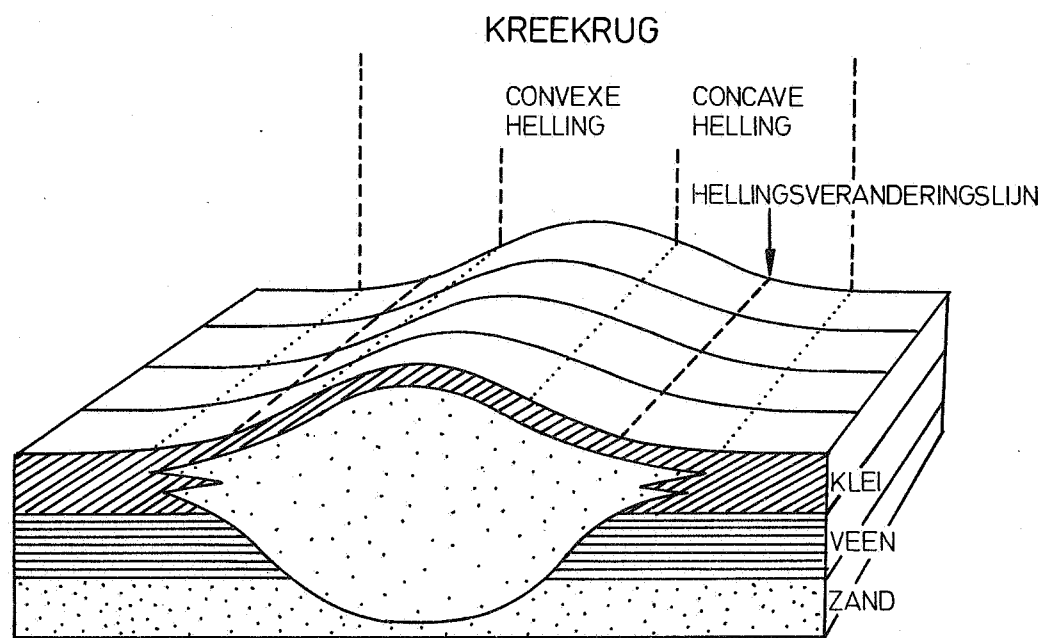


Fig. 57 - Begrenzing van een (zandig) kreeklichaam op de hellingsveranderingslijn in de concave helling van een kreekkrug

- Delimitation of a (sandy) creek on the line of maximum concavity of the creek inversion

In de uitgeveende zones werd verder onderscheid gemaakt tussen grondig uitgeveende (laag gelegen, zeer onregelmatige topografie) en weinig ontgonnen percelen (hoger gelegen, weinig verstoorde topografie).

522.4. Grondkontrolle

De foto-interpretatie werd nadien getoetst aan alle beschikbare boringen, diepsonderingen en profielopnamen. Indien nodig werden in de sleutelzones aanvullende handboringen verricht. Op deze wijze waren volgende mogelijkheden af te bakenen : veenloze zandige kreek, veen bedekt door zand, veen bedekt door klei, leem of zand, grondig en weinig uitgeveende zones. De diepte van de veenloze kreek werd uit puntwaarnemingen afgeleid.

Opmerkingen

1. Bij de kontrolle met de puntwaarnemingen is gebleken dat de hellingveranderingslijnen in de concaviteiten van een kreekkrug niet de veenloze kern maar meestal het geheel veenloze kern met zijwaartse stroken, waar het kreekzand boven het veen uitwigt, afbakent. In sommige gevallen bleken hoger gelegen zandige kreek niet doorheen het oppervlakteveen gesneden te zijn.
2. De breedte van de smalste herkenbare (zandige) kreek, zijstroken inbegrepen, bedoeg ongeveer 50 m.
3. Aangezien met de foto-analyse zelden kleiige (veenloze) kreek werden opgemerkt kan dit betekenen dat er weinig aanwezig zijn of dat ze zich op de foto niet duidelijk onderscheiden van de komgronden. Opnamen in kleureninfrarood kunnen hier eventueel tot een beter resultaat leiden.

52.3. BESPREKING VAN DE KAART 3

Het oppervlakteveen komt voor in een noordnoordwest-zuidzuidoost gerichte 3 tot 5 kilometer brede strook (kaart 3). Zuidwest- en noordoostwaarts is het veen onderbroken door brede en diep ingesneden kreek van de afzetting van Duinkerke. In het noorden valt de grens van het veen waarschijnlijk samen met die van de zone waarin geen interpretaties werden verricht. Tengevolge

van baggerwerken en uitgravingen voor de bouw van de zeehaven zou het veen in deze zone grotendeels zijn weggenomen.

Met een gemiddeld basispeil van -10 m is de noordoostelijke kreek de diepste. Ter hoogte van Heist vertoont haar basis bovendien een 0,8 km lange ovaalvormige depressie met een maximale diepte van -23,5 m. Deze uitschuring is tot circa -9 m opgevuld met slappe klei en leem. Voor het overige is de kreek vooral opgevuld met zand en klei- en leemlaagjes.

De westelijke kreek blijkt merkkelijk minder diep te zijn. Haar juiste diepte was echter moeilijk te bepalen omdat de kwartaire sekwentie er vrijwel volledig uit fijn zand bestaat. Deze kreek kan evenwel dieper zijn ingesneden naar Blankenberge toe.

De strook waar veen wordt aangetroffen is op te splitsen in een noordwestelijk, noordoostelijk en zuidoostelijk gedeelte waar telkens weinig of geen veenloze krekten worden aangetroffen. In het centrum en in het zuidwesten is het veen in talrijke kleine platen verdeeld.

In tegenstelling tot de centraal gelegen krekten hebben de drie onderste veenloze krekten in het zuidwesten een uitgesproken subparallel verloop. Ze zijn ook veel zandiger, wat een rechtstreekse aansluiting met de westelijke grote zandige kreek laat vermoeden. De belangrijkste kreek in het middengebied is degene, die loopt ten oosten van het Insteekdok en die in verbinding staat met de diepe oostelijke kreek. Plaatselijk is ze tot -10 m diepte uitgeschuurd. Haar overwegend zandige samenstelling met laagjes klei en leem stemt goed overeen met die van de noordoostelijke kreek.

In het centrale gebied, ten zuidwesten van het Insteekdok, liggen enkele tamelijk brede niet doorheen het veen gesneden vrij zandige krekten (basis op ca. +0 m). Ook in het zuidoosten treft men er aan (basis op +1,5 à +2 m). Ze vormen stroken waar zand op veen rust. Dergelijke zones worden nog aangetroffen aan de noordrand van de westelijke grote kreek (laterale zandwig) en ter hoogte van het strand (gedeelte onder +3,5 m).

Het al of niet veenloos zijn van een kreek houdt naast de diepte van de kreek uiteraard ook verband met de diepteligging van het veen. Indikaties over het basispeil van het veen zijn op de kaart niet vermeld. Het volgende is enkel richtgevend. Ten zuiden van de lijn door de snijdingen (067/221)-(072/224) ligt de basis van het oppervlakteveen grosso modo tussen +0 en +1,5 m; ten noorden daarvan treft men die aan tussen 0 à -2 m en plaatselijk zelfs tot op -4 m.

Met uitzondering van de zone ten westen van het Boude-wijnkanaal is de veenlaag overal intens uitgeveend. Uit de profielen is evenwel gebleken dat niet alle veen in deze "uitgeveende zones" werd ontgonnen. Naast een 0,2 à 0,6 m dikke onaange-roerde basislaag zijn er talrijke smalle, loodrecht begrensde veenmuurtjes achtergebleven. Ook komen er nog omvangrijke weinig of niet aangetaste partijen veen voor. Slechts voldoende grote partijen (ca. 50 x 50 m) waren te onderscheiden. Kleinere partijen mogen dan ook veelvuldig worden verwacht in de zones met uitvening. De geringe veenontginning in het noordwesten is toe te schrijven aan de diepere ligging van het veen maar ook door de aanwezigheid van zand op veen (werd verkeerdelijk als kreek aanzien). De totale hoeveelheid gewonnen veen in het studiegebied kan worden geschat op ongeveer 60-70 % van de oorspronkelijke aanwezige hoeveelheid.

5.3. BASIS VAN HET VEEN-LEEM-ZANDKOMPLEX K5 (KAART 4)

De afzetting van Eeklo (K5) wordt in het studiegebied nagenoeg overal aangetroffen. In een kleine hoek ten westen van Zwankendamme en in het noordoosten is de afzetting geërodeerd door insnijdingen van de afzetting van Duinkerke. Ook in het noorden ontbreekt K5 : enerzijds ten gevolge van uitschuring door de zee en anderzijds door recente uitgravingen. Vooral ter hoogte van kunstwerken is de gegeven grens alleen richtinggevend omdat de juiste omvang van de uitgravingen niet steeds is gekend.

De basis vertoont een zeer zwak reliëf in de vorm van een langgerekte halve schaal met diepere en hogere delen respectievelijk centraal en in de randzone van het studiegebied gelegen. Het maximum hoogteverschil bedraagt amper 6 m. De diepste zones

(-8 à -9 m) liggen in de omgeving van Zeebrugge-dorp en iets ten noorden van Ramskapelle waar de hogere randzone plaatselijk is onderbroken. De hogere delen (-4 à -5 m) vindt men terug ten oosten van de Nieuwe Zeesluis, in een kleine strook in het westen maar vooral in het zuiden waar de basis nagenoeg overal boven -5 m opklimt.

5.4. TOP VAN HET TERTIAIR EN UITBREIDING VAN HET LID VAN ASSE (URSEL) (KAART 5)

Het voorkomen van de tertiaire eenheden is gebonden aan de algemene noordoostelijke helling van hun laagvlakken en aan de topografie van de top van het Tertiair.

De Leden van Asse en van Ursel vindt men uitsluitend in het noordoosten van het studiegebied terug. De glaukoniethoudende klei-eenheid, het Lid van Asse, reikt het verst naar het westen en is te begrenzen door een rechte bepaald door de snijdingen (067/226)-(072/222). In een ongeveer 1,5 km brede strook ten noordoosten langs die lijn, is het Lid van Asse diskontinu en ontbreekt meestal het Lid van Ursel. Verder naar het noordoosten is het Lid van Asse continu en wordt er overwegend bedekt door het Lid van Ursel.

Waar het Lid van Asse ontbreekt, wordt de top van het Tertiair hoofdzakelijk gevormd door het Lid van Oedelem. In een smalle strook (niet op de kaart aangegeven) langs de grens van het Lid van Asse dagzoomt het Lid van Wemmel aan de top van het Tertiair.

Het reliëf van de top van het tertiair substraat is uitgesproken en houdt duidelijk verband met de litologie van de tertiaire lagen. Het maximum hoogteverschil bedraagt 18 m. Centraal in het gebied, volgens de richting noordwest-zuidoost, liggen er twee diepe insnijdingen. Ze zijn met elkaar verbonden door twee dwarse takken. De westelijke insnijding reikt tot -28 à -29 m, de grotere oostelijke is vaak dieper dan -35 m. Deze laatste loopt onder het bovenhoofd van de Nieuwe Zeesluis en verklaart er het ontbreken van de tertiaire klei-eenheden.

In het noordoosten, waar beide kleilagen continu voorkomen is het reliëf minder uitgesproken. Het peil ligt er tussen

-27 en -24 m. Deze hoogte stemt overeen met het peil van de top van de verhevenheden tussen de twee insnijdingen (-25 à -24 m). Hieruit kan men afleiden dat dit niveau oorspronkelijk doorliep.

Ten zuiden en ten zuidwesten van de westelijke insnijding stijgt het reliëf geleidelijk tot -20 m en plaatselijk zelfs boven -18 m. Het patroon van de hoogtelijnen neemt de vorm aan van een kort gebogen rug. Ten zuiden van Zwankendamme verloopt zijn kruin N 125°E; ten noorden N 152°E. Die rug kan men in verband brengen met de steenbanken in de topzone van het Lid van Oedelem. Ze hebben beter weerstand geboden tegen de erosie en hebben aldus de helling en de vorm van de rug bepaald. Grote gedeelten van de noordoostflank, b.v. ten zuiden van de Peak Shaving, vallen met de middelste steenbank samen; de draaiing van de rug weerspiegelt een verandering van de strekking van de lagen.

Geheel in het westen van het studiegebied daalt het oppervlak en vormt een cuetafront. Dergelijke cueta's worden vaak gevormd in het Tertiair door vaste en samenhangende lagen (steenbanken en kleilagen). Een cuetafront gevormd door de kleilagen ligt buiten het studiegebied op ongeveer 1 km ten noordoosten van de vuurtoren van de oude havendam (kaart Globaal Grondonderzoek, T.V. Zeebouw-Zeezand, 1978).

5.5. BASIS VAN HET LID VAN ASSE (KAART 6)

De basis van het Lid van Asse vormt het scheidingsvlak tussen de overwegend kleiige en overwegende zandige tertiaire eenheden in het gebied en is aldus van groot geotechnisch belang. Ze daalt geleidelijk van -23 à -25 m nabij haar westelijke limiet tot ongeveer -42 m in het noordoosten. Haar gemiddelde helling bedraagt 0,42 % in de richting N 45°E.

Doordat de dichtheid van de waarnemingen die de basis hebben bereikt soms ontoereikend is, wordt het verloop van de isohypsen hierdoor soms sterk bepaald. Vooral in het noordoosten waren er te weinig gegevens voorhanden. De isohypsen dienden te worden geschat aan de hand van DS 7.130 op ongeveer 1,2 kilometer ten oosten van het studiegebied. Het blijkbaar regelmatig verloop van de isohypsen -36 m tot -41 m is dan ook niet zeer nauwkeurig. Meer naar het westen stemt het tracé van de hoogtelijnen evenwel beter overeen met de werkelijkheid.

5.6. LITOLOGISCHE DOORSNEDEN

56.1. TOELICHTING

De plaats van de litologische doorsneden staat op de doorsneden zelf maar wordt nauwkeuriger aangegeven in de documentatiekaart (kaart 1). Alleen puntwaarnemingen tot op 150 m en uitzonderlijk tot op 200 m van de profiellijn zijn in de doorsneden verwerkt. Ze werden loodrecht op het vlak van de doorsnede geprojecteerd. De profielen van de boringen zijn steeds voorgesteld. Onder de diepsonderingen zijn alleen de eigen waarnemingen uitgetekend. Om overlapping van de sondeerdiagrammen te beperken werd de gebruikelijke verhouding van hun horizontale en verticale schaal met 50 % verminderd. De andere diepsonderingen zijn alleen door een lijn aangegeven.

De grenzen van de lagen zijn rechtlijnig getrokken behalve waar ze van de isohypsenkaart werden afgeleid. Vermoedelijke grenzen of extrapolaties zijn met een streeplijn voorgesteld. Tussen de wanden van kanalen of dokken (puntstreeplijn) werden, omwille van duidelijkheid, de lagen niet onderbroken.

Het eigenlijk ontwerp van de vier doorsneden is het resultaat van de snijding van 24 proefprofielen volgens meerdere richtingen.

56.2. LITOLOGISCHE DOORSNEDE AA'

De doorsnede AA' is westzuidwest-noordnoordoost (N 70°E) georiënteerd. Op ongeveer 1 km ten zuiden van de (oude) zeedijk gelegen, valt ze bijna samen met de spoorlijn Zeebrugge-Knokke-Heist. Hierdoor verloopt ze evenwijdig met de kustlijn (kaart 1). Vooral het centrale gedeelte van de doorsnede is kenmerkend door de ondergrond van Zeebruggedorp, de Nieuwe Zeesluis en de omgeving van het Noordelijk Insteekdok.

De eenheden T2,2 t.e.m. T8,2 van het Lid van Oedelem blijken zeer regelmatig, met een gemiddelde van 0,56 % te hellen. Dit benadert de ware helling van deze lagen die voor de omgeving 0,60 % bedraagt. De strekkingslijnen worden met een gemiddelde

hoek van 72° dan ook tamelijk recht gesneden. Opmerkelijk voor de lagen van het Lid van Oedelem is hun konstante ware dikte over de lengte van het profiel.

De verticale dikte van T9 (Lid van Wemmel) is met minder dan 1 m centraal, tot 2 à 4 m rechts in de doorsnede, minder konstant. De schommelingen in dikte houden vooral verband met het verloop van de basis van T10 (Lid van Asse). De bovengrens van T10 is als vermoedelijk aangeduid omdat niet met zekerheid kon worden uitgemaakt of die al dan niet de basis volgt. De eenheid T11 (Lid van Ursel) is beperkt tot het gedeelte van AA' ten oosten van de afwateringsvaarten. Door haar vlakke bovengrens (erosievlak) en de daling van haar basis neemt T11 wigvormig in dikte toe. Geheel rechts ter hoogte van Heist bedraagt die dikte reeds 11,5 m.

De top van het Tertiair is uitgesproken. Het diepste punt (-33,5 m) ligt een weinig ten westen van de afwateringsvaarten in de v-vormige diepe insnijding. Het hoogste punt (-21,8 m) bevindt zich links in het profiel, ter hoogte van de rug. Over nagenoeg 500 m blijkt de noordoostflank van deze laatste samen te vallen met de middelste steenbank T7,2.

De grinthoudende eenheid K1 (afzetting van Kaprijke) aan de basis van het Kwartair is vooral goed ontwikkeld in het oostelijk deel van het profiel. Ze bereikt er dikten van meer dan 3 m. Het is niet zeker dat de diepe insnijding van het Kwartair grotendeels met K1 is opgevuld.

De afzetting van Moerkerke is nagenoeg uitsluitend beperkt tot haar zandig faciës (K2,1). Met een gemiddelde dikte van 8 à 9 m vormt ze in het profiel de best vertegenwoordigde eenheid van het Kwartair.

Behalve in het oosten treft men de grinthoudende eenheid K3 (afzetting van Zeebrugge) overal aan. Met 3 à 6 m dikte bereikt ze in het profiel en tevens in het studiegebied een maximale ontwikkeling. Zoals blijkt uit DS 30.25-34 en DS 30.17-18 (centraal in de doorsnede) kan haar dikte over korte afstand evenwel abrupt afnemen. De dieper liggende top in DS 30.25-34 houdt vermoedelijk verband met een lokale insnijding van de bovenliggende laag.

De afzetting van Damme (K4) is enkel ten westen van het Prins Philip dok belangrijk. Uiterst links in het profiel bereikt ze 11 m dikte; ze bestaat er vooral uit fijn zand (K4,1) dat door een dunne leemhoudende zone K4,2 in twee niveaus is verdeeld. Afgezien van de geul in DS 30.25-34 is K4,1 centraal in de doorsnede beperkt en meet in DS 30.29 nog slechts 0,8 m.

In tegenstelling tot K4 bereikt K5 (afzetting van Eeklo) haar grootste omvang (5-8 m) in het midden van AA'. Naar het oosten en vooral naar het westen neemt K5 in belang af, omdat enerzijds de top van K4 rijst en anderzijds de basis van het bovenliggende oppervlakteveen daalt. In het midden zijn de veen-leemlagen K5,1 bijzonder dik (soms 2 m). Op sommige plaatsen (b.v. in DS 30.51) is de gekumuleerde dikte van de lagen K5,1 groter dan die van K5,2 (zeer fijn zand), daar waar gewoonlijk het omgekeerde het geval is.

Op K5 treft men het oppervlakteveen aan. Zijn bovengrens is omwille van mogelijke veenexploitatie als vermoedelijk voorgesteld. Nochtans stemt de aangegeven top, afgezien van de zone ten oosten van de afwateringsvaarten, vrij goed overeen met zijn oorspronkelijke bovengrens.

In het niet uitgeveend gebied liggen er op het veen kleiige en lemige sedimenten K8,3 (afzetting van Duinkerke). Zandige Duinkerke-sedimenten (K8,1) treft men aan in de veenloze kreek in het midden van het profiel maar vooral in de oostelijk gelegen brede en diepe kreek ter hoogte van Heist. In DS 27.5 bereikt deze kreek haar grootste diepte op -23,5 m. Dit punt bevindt zich in een ovaalvormige uitschuring ten zuiden van Heist. Uit de doorsnede blijkt dat die uitschuring, met een gemiddelde helling van de wanden van 12 % en plaatselijk zelfs van 16 %, zeer steil is ingesneden. Tot ongeveer -9 m is ze grotendeels met klei en leem opgevuld. Daarboven en ook meer naar rechts is ze opgevuld met fijn zand met interkalaties van klei en leem (K8,1 en K8,2).

56.3. LITOLOGISCHE DOORSNEDE BB'

De doorsnede BB' kruist het studiegebied diagonaal volgens een zuidzuidwest-noordnoordoost richting (N 26°E). Ze vertrekt van Lissewege, kruist het Noordelijk Insteekdok en raakt aan het bovenhoofd van de Nieuwe Zeesluis.

Alhoewel BB' AA' snijdt onder 44°, hebben de lagen T2,1 t.e.m. T8,2 in beide doorsneden vrijwel dezelfde helling van 0,55 %. Dat komt door een wijziging van de strekking van deze lagen. Zoals in AA' behouden de lagen van het Lid van Oedelem, op kleine schommelingen na, hun dikte over de lengte van het profiel. Vermelden we nog enkele bijzonderheden. De onderverdeling van T2, zoals in het zuid- en westelijk deel van het studiegebied, kon bij gebrek aan diepe waarnemingen ten noordoosten van het Insteekdok niet voldoende worden gecontroleerd. In DB 14.1 geheel rechts in BB', is deze vierdeling in elk geval onduidelijk. Wel merkt men, onder het peil -60 m, een zeer schelprijke zone die te korreleren is met de (verharde) eenheid T2,0. De eenheid T4,1 bevat enkele verharde zones T4,2 onder meer te Lissewege en nabij de Zeesluis. Het Lid van Asse T10 bereikt in deze doorsnede een maximum dikte van 5,1 m in het gebied. Men bemerkt dat zijn bovengrens wel degelijk hetzelfde verloop heeft als zijn basis.

Het laagste en het hoogste punt van de top van het Tertiair bevinden zich zoals in AA' respektievelijk in de oostelijke diepe insnijding (-35,7 m), en op de zuidwestelijk gelegen rug (-18,5 m). De noordoostflank van die rug wordt over circa 1 km gevormd door de middelste hoofdzone met steenbanken T7,2.

De bouw van het Kwartair in het middengedeelte van BB' is volkomen analoog aan dat van AA'. Rechts in de doorsnede bereikt K3 een aanzienlijke dikte. Vanaf de snijding met AA' is K3 opgesplitst in twee grinthoudende zones K3,1 en K3,3 met daartussen de kleihoudende eenheid K3,2. De eenheid K3,2 heeft een opvallend lensvormig profiel en haalt in DS 32.4 haar maximum vastgestelde dikte van 7,5 m. Daar de bovenzone van K2,1 in de omgeving van de Zeesluis veel grintelelementen (schelpen) bevat, kon geen scherpe grens tussen K2,1 en K3,1 worden getrokken. Merkwaardig en afwijkend voor het studiegebied is de snelle opeen-

volging van grote schommelingen van de basis van het oppervlakteen (van -3 m tot + 0,5 m), rechts van de spoorlijn Zeebrugge-Heist.

Het Kwartair in het linkerdeel van de doorsnede wijkt van het middendeel af doordat de grinthoudende eenheid en gidslaag K3 niet met zekerheid werd geïdentificeerd. Bovendien werden meer leemhoudende zones opgemerkt, die vermoedelijk tot de eenheden K4 (K4,2) en K2 (K2,2) behoren. Uit de diepsonderingen blijkt evenwel dat de zones K4,2 en K2,2 essentieel uit zand met klei- of leemlaagjes bestaan.

Links van het Boudewijnkanaal is de afzetting van Eeklo (K5) grotendeels geërodeerd door de brede westelijke Duinkerkekreek. De onderste zone van K5 is er ook veel zandiger dan in het middendeel. De dikke leem-veenlaag K5,1 die meestal de basislaag van K5 vormt is er verdwenen. Diepsonderingen bewijzen ook de zeer zandige samenstelling van de westelijke grote Duinkerkekreek.

56.4. LITOLOGISCHE DOORSNEDE CC'

De doorsnede CC' volgt de richting N 35°E en verloopt daarmee bijna evenwijdig aan BB'. Ze is representatief voor het zuidoosten van het studiegebied. Ze vertrekt van het Boudewijnkanaal, ongeveer 500 m ten noorden van de in aanbouw zijnde spoorwegbrug en loopt langs de zuidoosthoek van de Peak Shaving installatie van Distrigaz tot aan Ramskapelle.

In tegenstelling tot AA' en BB' hellen de lagen van het Lid van Oedelem niet meer gelijkmatig. Ter hoogte van DS 30.61 (links van het midden) grijpt er een opmerkelijke hellingsverandering plaats. Meet men ten noordoosten van DS 30.61 nog 0,55 %, dan bedraagt de helling tussen DS 30.61 en DS 30.30-31 nog gemiddeld 0,45 % om geheel links zelfs terug te vallen tot slechts 0,26 %. Deze hellingswijzigingen zijn in de eerste plaats echt : te weten door een afname van de helling van de lagen zelf. In geringe mate zijn ze ook schijnbaar tengevolge van een strekkingsverandering.

Ook in CC' behouden de lagen van het Lid van Oedelem hun ware dikte over de lengte van het profiel. Op twee na zijn deze lagen allemaal even dik als in AA' en BB'. T6,3 is evenwel iets dikker en T7,1 merkkelijk dunner. De onderste hoofdzone met steenbanken T6,3 is omvangrijker omdat ze hier is samengesteld uit 3 afzonderlijke verharde niveaus met goed ontwikkelde niet-verharde tussenlagen. Dit komt duidelijk tot uiting in diepsonderingen ter hoogte van de Peak Shaving. De eenheid T7,1 is nauwelijks 0,8 à 1,4 m dik. Verder vestigen we nog de aandacht op de vrijwel doorlopende verharde laag T2,0 (met Cardita planicosta) aan de basis van T2 en op de diskontinue verhardingen T4,2 en T6,2 in T4,1 en vooral in het oostelijk deel van T6,1. Geheel rechts, ter hoogte van de afwateringsvaarten ligt er nog een kleine rest van het Lid van Asse (T10). Het Lid van Wemmel ontbreekt en ook de zone met steenbanken T8,2 is nagenoeg niet vertegenwoordigd.

De topografie van de top van het Tertiair is minder uitgesproken dan in AA' en BB'. Het laagste punt (-27,5 m) treft men aan uiterst rechts; het hoogste (-18,3 m) ligt op de kruin van de zuidwestelijke rug centraal in het profiel. Zoals in BB' valt de noordoostflank van die rug over bijna 1 km samen met de middelste hoofdzone met steenbanken (T7,2).

De bouw van het Kwartair, zoals in de type AA', wordt goed teruggevonden rechts van de Peak Shaving met echter voorbehoud van de eenheid K4,1 die zeer dun wordt en in DB 15.20 zelfs ontbreekt. In het linker- en het middendeel van het profiel is de gidslaag K3 diskontinu. De grens tussen K4 en K2 is dan ook niet overal zeker. Opmerkelijk voor het linkerdeel is de aanzienlijke ontwikkeling van de grinthoudende afzetting van Kaprijke (tot 5 m dik) en van de leemhoudende zones K2,2 en K4,2 in K2 en K4. De afzetting van Eeklo is overal aanwezig als een 5 à 7 m dikke, zeer vlak gelegen laag. Boven de dikke basisleemlaag K5,1 bestaat K5 bijna uitsluitend uit zandlagen K5,2.

De geringe dikte van het oppervlakteveen duidt op een belangrijke exploitatie. Afgezien van plaatselijke resten op enkele onontgonnen partijen veen is de afzetting van Duinkerke be-

perkt tot enkele ondiepe veenloze zeer zandige kreekjes in het westelijk deel van de doorsnede.

56.5. LITOLOGISCHE DOORSNEDE DD'

De doorsnede DD' ligt in het zuidwesten van het studiegebied en volgt een noordwest-zuidoost richting (N 135°E). Aldus worden de profielen AA', BB' en CC' gesneden onder hoeken van 65°, 72° en 80°.

Althans voor het gedeelte ten noorden van de snijding met BB', benadert de richting van de doorsnede de strekking van de lagen van het Lid van Oedelem. De lagen liggen er dan ook kwasi horizontaal (helling 0,05 %). Ten zuiden van BB' stijgen de lagen met 0,22 %. De verandering in helling is schijnbaar en is te wijten aan een strekkingsverandering van de lagen.

De eenheid T2,0 is waarschijnlijk niet overal tot een steenlaag verhard. De jongste tertiaire laag in de doorsnede betreft de middelste hoofdszone met steenbanken T7,2. Over belangrijke afstanden blijkt die met de top van het Tertiair overeen te stemmen. De top van het Tertiair is, tenzij uiterst links, overal hoog gelegen omdat het profiel ongeveer samenvalt met de kruin van de zuidwestelijke rug.

De kwartaire bouw is vergelijkbaar met die van de andere doorsneden. Links van de snijding met BB' heeft men een gelijkwaardige bouw als in het centrale deel van AA'. Weliswaar is K5 betrekkelijk dun maar de afzetting van Zeebrugge is belangrijk ontwikkeld. In het midden van DD' kan K3 niet met zekerheid worden vervolgd. Het is mogelijk dat ze uitwigt. Toch is de ondergrens van de afzetting van Damme (K4) dikwijls te onderscheiden in diepsonderingen. De toestand is er in overeenstemming met het westelijk deel van BB'. In het rechterdeel van DD' is K3 plaatselijk aanwezig. De kwartaire bouw is er te vergelijken met die in het linkerdeel van CC' met dit verschil dat leemhoudende zones K4,2+1 en K2,2+1 beperkter zijn in omvang. In het linkerdeel van DD' heeft men een leemhoudende zone in de afzetting van Damme met een vrij continu verloop.

De afzetting van Eeklo (K5) is overal aanwezig, behalve in het middengedeelte, waar ze is geërodeerd door een zijtak van de brede westelijke Duinkerke-kreek. Geheel links is haar dikte herleid tot 2,5 à 3,5 m, enerzijds door de iets hogere ligging van haar basis maar vooral door de diepe ligging van het oppervlakteveen.

In het linkerdeel van DD' is het veen nagenoeg niet ontgonnen. Het is er vooral bedekt door zandige sedimenten K8,1. Rechts van het Boudewijnkanaal ligt de basis van het oppervlakteveen merkkelijk hoger (+0 à +1 m). Haar geringe dikte weerspiegelt de aanzienlijke veenontginning op deze plaatsen.

De kleine wig leemhoudende klei K6, tussen K5 en K7 geheel links in het profiel, is de enige duidelijke vertegenwoordiging van de afzetting van Calais in het studiegebied.

5.7. HELLING EN STREKKING VAN HET LID VAN OEDELEM

De litologische doorsneden bevestigen de regelmatige helling en dikte van de lagen van het Lid van Oedelem. Toch werden er hellingsveranderingen vastgesteld die te wijten waren aan een verandering van de ware helling maar ook van de strekking van deze lagen. Op grote schaal zijn helling en strekking dus niet konstant. Ook de richtingsverandering van de kruin en de noordoostflank van de zuidwestelijke rug in de top van de Tertiair (kaart 5) wijst in die zin.

Op grond van de 24 proefprofielen werd de gemiddelde ware helling en strekking bepaald van de middelste en onderste hoofdzone met steenbakken (T7,2 en T6,3) (kaart 5). Ter plaatse van de noordoostflank van de zuidwestelijke rug werden volgende strekkingen gemeten : N 142°E voor het noordelijk, N 127°E voor midden en N 113°E voor het zuidelijk gedeelte. Deze waarden stemmen goed overeen met het verloop van zijn kruinlijn : N 152 E in het noorden en N 125 E in het zuiden. Het reliëf van de top van het Tertiair wordt dus weldegelijk rechtstreeks bepaald door de bouw van het tertiair substraat. Uit de analyse van de top van het Tertiair, de doorsneden en de strekkings-

metingen blijkt dat de strekkingsverandering tussen AA' en CC' over vrij korte afstand gebeurt en zich vooral concentreert in de omgeving van de doorsnede BB'.

5.8. HYDROGEOLOGISCHE EN GRONDMECHANISCHE BESCHOUWINGEN VOOR DE OMGEVING VAN ZEEBRUGGE

Uit de doorsnede AA' blijkt dat omvangrijke weerstandbiedende zones in het Kwartair worden aangetroffen in de afzetting van Kaprijke, de afzetting van Zeebrugge, de afzetting van Damme en vooral in de afzetting van Moerkerke. Bij de beoordeling dient men evenwel steeds rekening te houden met de grilligheid van deze afzettingen. Verder wordt benadrukt dat de meeste van de hier gestelde feiten enkel van toepassing zijn op de onmiddellijke omgeving van de doorsnede AA'.

De afzetting van Moerkerke K2 is over nagenoeg de gehele doorsnede samengesteld uit dicht- tot zeer dichtgepakte zanden ($C_{k,d,10} = 9$ tot 30 MN/m^2). Zeer plaatselijk kan ze evenwel dunne, slappe leem- of kleihoudende lenzen bevatten (b.v. in DS 30.78 rechts in het profiel).

Ook de afzetting van Zeebrugge K3 is gewoonlijk over haar gehele dikte zeer weerstandbiedend ($C_{k,d,10} = 20$ tot 60 MN/m^2). Echter in de omgeving van de Nieuwe Zeesluis (centraal in de doorsnede) is de kleihoudende zone K3,2 sterk ontwikkeld. Daarin valt de konusweerstand soms bruusk terug tot 4 MN/m^2 .

De afzetting van Damme K4 bestaat eveneens uit weerstandbiedende zandlagen K4 maar met uiteenlopende dikten. Bovendien zijn er vrij uitgestrekte, weinig weerstandbiedende, leemhoudende zones K4,2 geïnterkaleerd. Hierdoor is de afzetting van Damme globaal minder betrouwbaar dan de afzetting van Moerkerke.

De afzetting van Eeklo K5 is in haar geheel weinig betrouwbaar omdat de nochtans weerstandbiedende, zeer fijne zandlagen K5,2 regelmatig worden afgewisseld door dikke, slappe veen-leemlagen K5,2. Indien deze laatste ontbreken kan de afzetting van Eeklo over haar gehele dikte weerstandbiedend zijn (b.v. in DS 30.83 rechts in AA').

In het oppervlakteveen K7 en de daarop liggende kleiige en lemige sedimenten van de afzetting van Duinkerke stijgt de konusweerstand zelden uit boven $1,4 \text{ MN/m}^2$. De opgevulde veenputten K9 geven meestal waarden lager dan $0,5 \text{ MN/m}^2$.

De essentieel met zand opgevulde kreken (K8,1) zijn vaak weerstandbiedend doch de konusweerstand loopt, gezien de heterogeniteit van de afzetting, van plaats tot plaats snel uiteen.

Met de kennis van de ruimtelijke uitbreiding en de granulometrie van de afzettingen kan men, met het oog op belangrijke bemalingen, een en ander besluiten over de hydrogeologie van het gebied.

In tabel 13 zijn de hydraulische doorlatendheden van de essentieel zandige kwartaire afzettingen berekend met de formule van HAZEN en de empirische betrekking volgens ERNST (DE RIDDER, N.A. & WIT, K.E., 1965). De waarden zijn geldig voor het noordelijk deel van het studiegebied.

Tabel 13 - Hydraulische doorlatendheden van de kwartaire eenheden op grond van hun granulometrische kenmerken

- Hydraulic conductivities of the Quaternary units deduced from their granulometric characteristics

| Eenheid | HAZEN | | ERNST | |
|--------------------------------|------------------|----------|------------------|----------|
| | voor C = 77 | | voor c = 27000 | |
| | \bar{x} m/d | s m/d | \bar{x} m/d | s m/d |
| afzetting van Duinkerke K8,1 | 7,5 | 2,3 | 11,3 | 5,5 |
| afzetting van Eeklo K5,2 | 3,0 | 1,2 | 3,1 | 1,6 |
| afzetting van Damme K4,1 | 7,9 | 3,8 | 10,1 | 6,7 |
| afzetting van Zeebrugge K3,1+3 | 11,2 | 4,7 | 14,3 | 8,1 |
| afzetting van Moerkerke K2,1 | 9,5 | 3,4 | 10,7 | 8,3 |
| afzetting van Kaprijke K1 | 9,6 | 2,8 | 11,6 | 9,5 |

Met kennis van de doorsnede AA' en de gegevens van tabel 13 kan men het volgende afleiden (M. DEPRET, 1981). Het kompleks vanaf de afzetting van Damme tot en met de afzetting van Kaprijke mag aanzien worden als één doorlatende laag met vrij hoge hydraulische doorlatendheid (gemiddeld $11 \text{ m/d} = 1,27 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$). De afzetting van Eeklo fungeert in haar geheel als een half doorlatende laag gezien de vrij lage hydraulische doorlatendheid van de fijn tot zeer fijne zandlagen K5,2 (gemiddeld $3 \text{ m/d} = 0,35 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$) die bovendien nog van elkaar worden gescheiden door weinig doorlatende veen-leemlagen K5,1. De doorlatendheid van de met zand opgevulde kreken (K8,1) van de afzetting van Duinkerke is in overeenstemming met die van de dieper liggende pleistocene eenheden.

Bij aanzienlijke bemaling van de doorlatende laag mag dus worden verwacht dat de daling van de hydraulische stijghoogte in deze laag en bijgevolg het beïnvloede gebied zich zeer ver zullen uitstrekken. De weerstandbiedende zand- en grintlagen zullen nauwelijks zetten. Ligt de afzetting van Eeklo in de beïnvloede zone dan zullen vooral de slappe veen-leemlagen K5,2 zetten. De zetting zal evenwel vrij gelijkmatig in het gebied verdeeld zijn gezien de uitgestrektheid en konstantheid in dikte van deze lagen. De zones met het oppervlakteveen zullen echter aanzienlijk zetten. Door hun uitermate grillige bouw bestaande uit veenplaten met klei-, leem- of zandbedekking, opgevulde veenputten met erin nog talrijke smalle, loodrecht begrensde veenmuurtjes en grotere onaangerode partijen veen, veenloze zandige of kleiige kreken, ..., zullen ze bovendien erg gevoelig zijn voor grote differentiële zettingen op zeer korte afstand.

6. ALGEMEEN BESLUIT

De grondige verwerking van de talrijke gegevens in het havengebied van Zeebrugge heeft er geleid tot een grondige kennis van de litostratigrafie van het Kwartair en van het tertiaire substraat tot een diepte van circa -50 m.

Het ondiepe tertiaire substraat van de Zeebrugse ondergrond bestaat uit de Formatie van den Hoorn en de Formatie van het Meetjesland. De eerste omvat het Lid van Oedelem, de tweede het Lid van Wemmel, het Lid van Asse en het Lid van Ursel.

Het Lid van Oedelem bereikt in het gebied een tot op heden grootst gekende dikte van 35 m. Het is zeer regelmatig gebouwd uit subparallele lagen die hoofdzakelijk bestaan uit (weinig) kleihoudend zeer fijn zand. In het midden van de eenheid bevinden zich enkele dunne lagen zandhoudende klei en klei en bovenaan drie vrij continue glaukonietkalkzandsteenbanken. Vooral de zandige lagen in het midden van het Lid van Oedelem bevatten veel tot zeer veel makrofossielen die vaak verweerd zijn.

Het Lid van Wemmel is van geringe betekenis in het gebied. Het Lid van Asse en het Lid van Ursel zijn beperkt tot de noordoostelijk hoek van het studiegebied. Het eerste bestaat uit 4 à 5 m glauconiethoudende, stijve klei, het tweede uit stijve klei met een maximum maar onvolledige dikte van reeds 18 m. Afzettingen uit het Lediaan werden nergens aangetoond.

De top van het Tertiair vertoont een uitgesproken reliëf tussen de peilen -17,5 m en -35,5 m. Het wordt in sterke mate bepaald door de steenbanken van het Lid van Oedelem. Hierdoor heeft zich een noordwest-zuidoost gerichte rug gevormd. Aan de voet ervan liggen er twee langgerekte insnijdingen.

Het Kwartair onder het oppervlakteveen bestaat vrijwel alleen uit pleistocene afzettingen, meer specifieke uit het Eemiaan en het Weichseliaan. Het Eemiaan is essentieel grofkorrelig met aan de basis de afzetting van Kaprijke (0-6 m grinthoudend middelmatig zand) en daarop de afzetting van Moerkerke (6-8 m fijn tot middelmatig zand).

Ook het Weichseliaan vangt met grofkorrelige sedimenten aan maar wordt naar boven toe fijner. Onderaan treft men meestal de afzetting van Zeebrugge (3-6 m grinthoudend middelmatig zand) aan; in het midden bevindt zich de afzetting van Damme (4-6 m fijn zand). Daarop rust het veen-leem-zandkomplex van de afzetting van Eeklo. Deze bestaat uit horizontale, 1 tot 3 m dikke lagen zeer fijn zand die van elkaar worden gescheiden door 0,5 tot 2 m dikke veen-leemlagen.

Het Holoceen is gekenmerkt door zijn heterogeniteit en grote en snelle variaties in dikte. Het omvat de afzetting van Calais, het oppervlakteveen en de afzetting van Duinkerke.

De afzetting van Calais (0,6 m leemhoudende klei) is slechts van gering belang en beperkt tot het westen en noordwesten van het gebied. Gewoonlijk treft men onmiddellijk op het Pleistoceen, het oppervlakteveen aan. Zijn oorspronkelijke dikte bedraagt 1,5 tot 3 m; zijn huidige dikte wordt echter bepaald door insnijding van de afzetting van Duinkerke maar vooral door voormalige veenontginning. De afzetting van Duinkerke is zowel kwa uitbreiding als samenstelling, de grilligste natuurlijke kwartaire afzetting. Op het veen is ze dun (2-3 m) en vooral klei- en lemig; in de veenloze krekten is ze dik (5-10 m) en zandig.

Foto-interpretatie is een vlugge en betrouwbare methode gebleken om de oppervlakkige lagen te karteren. Vooral de met zand opgevulde krekten, de uitgeveende percelen en de aanvullingen en vergravingen waren op deze wijze gemakkelijk af te bakenen.

De litostratigrafische eenheden kunnen met behulp van diskontinue mechanische diepsonderingen vaak zeer duidelijk worden geïdentificeerd. Om tot een goed resultaat te komen dient men evenwel te beschikken over diepsonderingen met plaatselijke kleefregistratie en met een zo klein mogelijke meetstap (0,1 m). Bij de interpretatie moet men alle sondeerweerstand (in diagram) en afgeleide gegevens betrekken. Dit zijn de konusweerstand $C_{k,d,10}$, de totale zijdelingse wrijving L_{10} , de gereduceerde totale zijdelingse wrijving $L_{cfr,10}$, de totale kracht T_{10} ,

de overeenstemmende plaatselijke kleef $F_{s,2,10}$, het wrijvingsgetal W_{10} en het verbeterde wrijvingsgetal $W_{10,m}$.

Mechanische diepsonderingen met de 100 mm-meetstap hebben een veel hogere resolutie dan degene gemeten volgens de klassieke 200 mm stap. Men verkrijgt aldus meer en nauwkeuriger inlichtingen van de ondergrond. In het bijzonder zijn de secundaire structuren van de sondeerdiagrammen veel specifiek.

De meetstap bij diskontinue mechanische diepsonderingen heeft evenwel een invloed op de weerstanden. Uit een vergelijkend onderzoek met de kleefmantelkonus van BEGEMANN is gebleken dat de 100 mm-meetstap in vergelijking met de 200 mm-stap, naargelang van de aard en van de structuur en mogelijk ook van de grondmechanische eigenschappen van de grond, andere weerstanden kan opleveren. Dat was duidelijk het geval met de totale zijdelingse wrijving en de plaatselijke kleef (en dus ook het wrijvingsgetal). De konusweerstand zou slechts in meer extreme situaties hiervoor gevoelig zijn.

De plaatselijke kleef en ook het wrijvingsgetal, bepaald met de kleefmantelkonus van BEGEMANN, zijn bovendien nog gevoelig voor enkele bijzondere factoren. Naast de gekende invloed van parasitaire konusweerstand op de hals van de kleefmeter, heeft men ook te doen met effecten van inlopen en van klemming. Het eerste effect houdt vermoedelijk verband met kleine wijzigingen van de diameter van de kleefmeter tijdens een aanvankelijke in gebruik name (inloopsondeerafstand van ongeveer 150 m in dichtgepakt zand), het tweede wordt veroorzaakt door opname van gronddeeltjes tussen de kleefmeter en het geleidingsstuk.

De konusweerstand alleen levert waardevolle, doch niet steeds nauwkeurige informatie. De primaire en secundaire structuren van het diagram zijn vooral nuttig bij de bepaling van de bouw van de ondergrond. In het bijzonder is de secundaire structuur van het konusdiagram een wezenlijk kenmerk van de lithostratigrafische eenheden. De grootte van de konusweerstand alleen is onvoldoende om de grondsoort nauwkeurig vast te stellen.

In tegenstelling met wat sommigen beweren is de totale zijdelingse wrijving, ook na reductie met de nokkenkleefvanger, een zeer nuttige ja zelfs kenmerkende informatie gebleken, zo bijvoorbeeld bij de herkenning van veen of de grens tussen het Kwartair en het Tertiair. Hoewel de waargenomen effecten mogelijk niet universeel zijn, loont het op lokale schaal steeds de moeite om na te gaan welk verband er tussen de (gereduceerde) totale zijdelingse wrijving en de litostratigrafische eenheden bestaat.

De totale kracht is vooral nuttig wanneer de konusweerstand niet kon worden opgemeten omdat de weerstand van de grond te klein was. In dit geval kan men uit de helling en de knikken van het diagram, nog inlichtingen bekomen omtrent de plaats van weinig of niet samenhangende grondsoorten.

Het wrijvingsgetal levert belangrijke informatie over de grondsoort en over de homogeniteit en de gelaagdheid van een eenheid. Met betrekking tot de grondsoort dient men evenwel vooraf te weten of de sedimenten al dan niet overgekonsolideerd zijn. De wrijvingsgetallen in de kwartaire sedimenten stemmen overeen met het diagram van BEGEMANN, behalve voor veen waarin merkkelijk lagere waarden werden opgetekend. De tertiaire overgekonsolideerde sedimenten beantwoorden, met uitzondering van klei, niet aan de relatie van BEGEMANN. De overeenkomst van overgekonsolideerde klei is mogelijk toevallig.

Het verbeterde wrijvingsgetal laat een vlugge indeling in grote litostratigrafische eenheden toe. In het Kwartair bekomt men met een korrektie ten bedrage van 50 % van de representatieve konusweerstand ($W_{10,50}$), de beste opsplitsing. Met een korrektie van 15 à 20 % stemt het verbeterde wrijvingsgetal in zand goed overeen met het wrijvingsgetal geleverd door de ingesnoerde elektrische konus.

Ieder sondeerdiagram is nuttig bevonden bij de interpretatie. Hoewel de afzonderlijke diagrammen specifieke litologische en stratigrafische informatie kunnen verschaffen, kan men meestal nauwkeuriger interpreteren door de diagrammen te combineren. Bovendien heeft men dan het voordeel van de onderlinge controle.

Uiteindelijk is gebleken dat het niet zinvol is te streven naar een universeel toepasbare methode voor de interpretatie van de litologie en de stratigrafie met diepsonderingen. Dit geldt ook voor een methode die uitsluitend gebruik maakt van het wrijvingsgetal. Nauwkeurige interpretaties, in het bijzonder van de litologie, worden slechts verkregen wanneer men enige voorkennis bezit van de geologie van het studiegebied. Binnen hetzelfde geologisch en grondmechanisch milieu (b.v. alle sedimenten zijn Kwartair, normaal gekonsolideerd en hebben een normale litologie) kan men evenwel vaste interpretatiecriteria als betekenisvol vooropstellen.

Tot slot mag worden gesteld dat voor diepten tot 40-50 m, diepsonderingen met plaatselijke kleefmeting behoren tot de goedkoopste, de vlugste en nauwkeurigste methoden om de litologie en de stratigrafie van losse sedimenten te verkennen.

REFERENTIES

- STRATIGRAFISCH REGISTER, (1932). *Algemeen stratigrafisch register van de uitvoerige Aardkundige Kaart van België*. Brussel : Aardkundige Raad van België.
- AMERYCKX, J.B. (1953a). Ontstaan en evolutie van het Zwin in België. *Natuurwet. Tijdschr.* 34 (1952), 99-110.
- AMERYCKX, J.B. (1953b). *Verklarende tekst bij de kaartbladen De Haan 10 W en Blankenberge 10 E*, 52 p. Gent : Centrum voor Bodemkartering (Bodemkaart van België).
- AMERYCKX, J.B. (1954). *Verklarende tekst bij het kaartblad Heist 11 W*, 92 p. Gent : Centrum voor Bodemkartering (Bodemkaart van België).
- AMERYCKX, J.B. & MOORMANN, F. (1956). Daringdelven in de polders. *Biekerf* 57, 225-230.
- AMERYCKX, J.B. & MOORMANN, F. (1958). *Landschappen en uitbreiding van de Duinkerke-transgressiefazen (kaart)*, Gent : Centrum voor Bodemkartering.
- AMERYCKX, J.B. (1959). De ontstaansgeschiedenis van de zeepolders. *Biekerf* 60, 377-400.
- AMERYCKX, J.B. (1960). De jongste geologische geschiedenis van de Belgische zeepolders. *Technisch Wet. Tijdschr.* 29(1), 10 p.
- BAETEMAN, C., LAMBRECHTS, G. & PAEPE, R. (1974). Autosnelweg Brugge-Calais. Boringen en geologisch profiel. Sectie : Veurne-Franse grens. *Prof. Pap. Serv. Géol. Belg.* nr. 2, 55 p.
- BAETEMAN, C. (1978). New evidences on the marine Holocene in the western Belgian coastal plain. *Bull. Belg. Ver. Geol.* 87, 49-54.
- BAETEMAN, C. & VERBRUGGEN, C. (1979). A new approach to the evolution of the so-called surface peat in the western coastal plain of Belgium. *Prof. Pap. Serv. Géol. Belg.*, nr. 11 (167), 21 p.
- BEGEMANN, H.K.S.Ph. (1953). Improved method of determining resistance to adhesion by sounding through a loose sleeve placed behind the cone. *Proc. 3th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Zurich* 1, 213-217.

- BEGEMANN, H.K.S.Ph. (1954). *Kleef in kleigronden*, 179 p. Groningen : Wolters.
- BEGEMANN, H.K.S.Ph. (1965). The friction jacket cone as an aid in determining the soil profile. *Proc. 6th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Montreal 1*, 17-20.
- BEGEMANN, H.K.S.Ph. (1969a). The Dutch static penetration test with the adhesion jacket cone. *LGM Meded.* 12(4), 69-100.
- BEGEMANN, H.K.S.Ph. (1969b). The Dutch static penetration test with the adhesion jacket cone. *LGM Meded.* 13(1), 1-86.
- BEGEMANN, H.K.S.Ph. (1976). The influence of excavation on soil strength below excavation level. *Proc. 6th European Conf. Soil Mech. Found. Eng., Wenen, 1976.*
In : *Sondeer Symposium 15 jaar Fugro, 1977*, 112-116.
- BEGEMANN, H.K.S.Ph. (1977). Classificatie en afleiding grondmechanische grootheden uit sonderingen. *Sondeer Symposium 15 jaar Fugro, 1977*, 73-86.
- BEGEMANN, H.K.S.Ph., JOUSTRA, K., TE KAMP, W., KRAJICEK, P., HEIJNEN, J., VAN WEELE, A. (1982). *Sonderen. Civiele en bouwkundige techniek* 1(3), 15-47.
- BLONDEAU, A. (1972). *Les Nummulites*, 255 p., Paris : Vuibert
- BLONDEAU, A., CAVELIER, Cl., FEUGUEUR, L., POMEROL, Ch. (1966). Stratigraphie du Paléogène du Bassin de Paris en relation avec les bassins avoisinants. *Bull. Soc. Géol. France*, 7e sér. 7, 200-221.
- BRULL, A. (1979). Description et classification. *16e Congrès Mondial de la Route, Vienne, Rapport National de Belgique, Question I*, 7-9.
- CARPENTIER, R. (1976). *Studie van het grensdragvermogen van palen geheel in stijve en gescheurde kleilagen. Bepaling van het schaaleffekt*, 324 p. Gent : Rijksuniversiteit - Faculteit Toegepaste Wetenschappen (onuitgegeven doctoraatsproefschrift).
- DE BEER, E. (1961). Prévisions des fondations profondes à l'aide du pénétromètre. *Proc. 5th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Paris 3*, 171-250.

- DE BEER, E. (1963). The scale effect in the transposition of the results of deep sounding tests on the ultimate bearing capacity of piles and caisson foundations. *Géotechnique* 13, 39-75.
- DE BEER, E. (1971-1972). Méthodes de déduction de la capacité portante d'un pieu à partir des résultats des essais de pénétration. *Tijdschr. Openbare Werken Belg.* nrs 4,5 en 6, 142 p.
- DE BEER, E. (1972). *Grondmechanica - deel II - Funderingen*, 272 p. Antwerpen : Standaard.
- DE BEER, E. (1973). *Grondmechanica - deel I - Inleidende Begrippen*, 114 p. Antwerpen : Standaard.
- DE BEER, E. (1974). Scale effects in results of penetration tests performed in stiff clays. *Proc. European Symp. on Penetration Testing, Stockholm 2.2*, 105-114.
- DE BEER, E. (1977). Statisch sonderen in klei en leem. *Sondeer Symposium 15 jaar Fugro*, 45-68.
- DE BREUCK, W., DE MOOR, G. & MARECHAL, R. (1969). Litostratigrafie van de kwartaire sedimenten in het oostelijke kustgebied (België). *Natuurwet. Tijdschr.* 51, 125-137.
- DE GEYTER, G. (1980). *Bijdrage tot de kennis van de sedimentpetrologie en de litostratigrafie van de Formatie van Landen in België*, 204 p. Gent : Geologisch Instituut - Rijksuniversiteit (onuitgegeven doctoraatsproefschrift).
- DE MOOR, G. & DE BREUCK, W. (1969). De freatische waters in het Oostelijk Kustgebied en in de Vlaamse vallei. *Natuurwet. Tijdschr.* 51, 3-68.
- DE MOOR, G. & DE BREUCK, W. (1973). Sedimentologie en stratigrafie van enkele pleistocene afzettingen in de Belgische kustvlakte. *Natuurwet. Tijdschr.* 55, 3-96.
- DE MOOR, G. & GEETS, S. (1973). Sedimentologie en litostratigrafie van de eocene afzettingen in het zuidoostelijk gedeelte van de Gentse agglomeratie. *Natuurwet. Tijdschr.* 55, 97-120.
- DE MOOR, G. & HEYSE, I. (1974). Litostratigrafie van de kwartaire afzettingen in de overgangszone tussen de kustvlakte en de Vlaamse Vallei in Noordwest-België. *Natuurwet. Tijdschr.* 56, 85-109.

- DEPRET, M. (1981). Litestratigrafie van het Kwartair en van het Tertiaire substraat te Zeebrugge. *Nat. Colloq. B.C.I.G., Toelichtingen bij de excursie naar Zeebrugge*, 1-35.
- DEPRET, M. (1982a). Influence of the measuring step in discontinuous mechanical penetration tests. *Proc. 2nd European Symp. on Penetration Testing, Amsterdam, 2*, 551-555.
- DEPRET, M. (1982b). Lithological and stratigraphical interpretation of discontinuous mechanical penetration tests. *Proc. 2nd European Symp. on Penetration Testing, Amsterdam, 2*, 541-549.
- DEPRET, M. & WILLEMS, W. (1983). The record in situ of Nummulites laevigatus (BRUGUIERE, 1792) in sediments of Lutetian age in the area around Zeebrugge (NW-Belgium) and its stratigraphical and Palaeogeographical consequences. *Tertiary Research* (to be published).
- DE RIDDER, N.A. & WIT, K.E. (1965). A comparative study on the hydraulic conductivity of unconsolidated sediments. *J. Hydrol.* 3, 180-206.
- DE RUITER, J. (1971). Electric penetrometer for site investigations. *J. Soil Mech. Found. Div., Proc. Am. Soc. Civil Eng.* 97, No. SM2, 457-472.
- FOLK, R.L. & WARD, W.C. (1957). Brazos River bar : a study in the significance of grain size parameters. *J. Sed. Petrol.* 27, 3-26.
- FRANCESCHI, G. (1975). *Geologische studie van de oppervlakkige lagen op het kaartblad Houtave*, 127 p. Gent : Geologisch Instituut - Rijksuniversiteit (Verh. Lic. Aard- en Delfstofk.).
- GEETS, S. (1978). De overgang Ieperiaan-Paniseliaan in de streek van Roeselare en Tielt. *Natuurwet. Tijdschr.* 60, 41-69.
- GOSTELOW, T.P. & LAMBERT, J.T. (1979). Evaluation of Dutch cone soundings as an engineering geological site mapping tool in the Quaternary sediments of the Firth of Forth area. *Bull. Int. Ass. Eng. Geol.* 19, 216-226.
- GULINCK, M. (1969). Coupe résumée des terrains traversés au sondage de Kallo et profil géologique NS passant par Woensdrecht-Kallo-Halle. *Mém. Expl. Cartes Géol. Min. Belg.*, 11, 3-7.

- GULINCK, M. & HACQUAERT, A. (1954). In : *Prodrome d'une description géologique de la Belgique*, 451-493. Liège : Vaillant-Carmanne.
- HACQUAERT, A. (1939). De overgang van Ieperiaan tot Lutetiaan te Aalter (Kanaal). *Natuurwet. Tijdschr.* 21, 323-325.
- HEIJNEN, W.J. (1972). De vorm van de elektrische sondeerconus. *Fugro Sondeer Symposium, 1972*, 17-27.
- HEYSE, I. (1979). Bijdrage tot de geomorfologische kennis van het noordwesten van Oost-Vlaanderen (België). *Verh. K. Acad. Wet. Lett. Sch. K. Belg.*, 155, 257 p.
- HOLDEN, J.D. (1971). Laboratory research on static cone penetrometers. Florida Engineering and industrial experiment Station. International Report CE-SM-71-1. In : BEGEMANN H.K.S.Ph. (1977). *Sondeer Symposium 15 jaar Fugro*, 112-116.
- INTERNATIONAL SUBCOMMISSION ON STRATIGRAPHIC CLASSIFICATION, (1975). *International stratigraphic guide*. 200 p., New York : Wiley.
- JACOBS, P. (1975). *Bijdrage tot de litostratigrafie van het Boven-Eoceen en het Onder-Oligoceen in Noordwest-België*, 300 p. Gent : Geologisch Instituut - Rijksuniversiteit Gent (onuitgegeven doctoraatsproefschrift).
- JACOBS, P. (1978). Litostratigrafie van het Boven-Eoceen en van het Onder-Oligoceen in Noordwest-België. *Prof. Pap. Serv. Géol. Belg.* nr. 3, 93 p.
- JACOBS, P. & GEETS, S. (1977). Nieuwe ontwikkelingen in de kennis van het Boven-Paniseliaan. *Natuurwet. Tijdschr.* 59, 57-93.
- JEZEQUEL, J. (1969). Les pénétromètres statiques. Influence du mode d'emploi sur la résistance de pointe. *Bull. Liaison Labo. Routiers Ponts et Chaussées* 36, 151-160.
- KAASSCHIETER, J.P.H. (1961). Foraminifera of the Eocene of Belgium. *Mém. Inst. Roy. Sci. Nat. Belg.* 147, 271 p.

- LEBBE, L. (1978). *Hydrogeologie van het duingebied ten westen van de Panne*, 164 p. Gent : Geologisch Instituut - Rijksuniversiteit (onuitgegeven doctoraatsproefschrift).
- LEGENDE, (1892). *Légende de la Carte Géologique de Belgique*. *Bull. Soc. Belg. Géol. Paléont. Hydrol.* 6, 217-229.
- LEGRAND, R. (1968). *Le massif du Brabant*. *Mém. Cartes Géol. Min. Belg.* 9, 148 p.
- MARECHAL, R. (1953). *Ontstaan en morfologie van de Golf van Lo*. *Natuurwet. Tijdschr.* 35, 159-166.
- MARECHAL, R., DE BREUCK, W., DE MOOR, G. & VERHEYE, W. (1964). *Geologie*, In : *Survey van West-Vlaanderen*. Gent : Geologisch Instituut - Rijksuniversiteit.
- MARIUS, C. & ANTROP, M. (1976). *Mogelijkheden van de kleurinfraroodfilm voor kartering van milieuverontreiniging*. *Natuurwet. Tijdschr.* 58, 209-225.
- MOORMANN, F. & AMERYCKX, J.B. (1950). *De bodemgesteldheid van de zeepolders*. *Versl. Navorsingen I.W.O.N.L.* 4, 36-60.
- MOORMANN, F. (1951). *De bodemgesteldheid van het Oudland van Veurne-Ambacht*. *Natuurwet. Tijdschr.* 33, 3-124.
- MOORMANN, F. (1955). *Over het ontstaan en de opbouw van de Grote Moeren*. *Biekorf* 56(3), 79-84.
- MOSTAERT, F. (1980). *Bijdrage tot de kennis van de jong-pleistocene en holocene afzettingen in de omgeving van Brugge*, 106 p. Gent : Geologisch Instituut - Rijksuniversiteit (Verh. Lic. Aard- en Delfstofk.).
- NOLF, D. (1972). *Stratigraphie des Formations du Panisel et de Den Hoorn (Eocène Belge)*. *Bull. Soc. Belge Géol. Paléont. Hydrol.* 81, 75-94.
- NUYENS, J. (1973). *Capacité portante et tassements des fondations à partir d'essais in situ*, Bruxelles : Presses Universitaires de Bruxelles.
- PAEPE, R. (1960). *La plaine maritime entre Dunkerque et la frontière belge*. *Bull. Soc. belge Et. Géogr.* 29, 47-66.
- PAEPE, R. (1965). *On the presence of Tapes senescens in some borings of the Coastal Plain and the Flemish Valley of Belgium*. *Bull. Soc. belge Géol. Paléont. Hydrol.* 74, 249-254.

- PAEPE, R. (1971). Autosnelweg Brugge-Calais. *Prof. Pap. Serv. Géol. Belg.* nr. 9, 1-59.
- PAEPE, R. & VANHOORNE, R. (1972). An outcrop of Eemian wadden deposits at Meetkerke (Belgian Coastal Plain). *Prof. Pap. Serv. Géol. Belg.* nr. 7, 9 p.
- PAEPE, R., VANHOORNE, R. & DERAYMAEKER, D. (1972). Eemian sediments near Bruges (Belgian Coastal Plain). *Prof. Pap. Serv. Géol. Belg.* nr. 9, 1-13.
- PAREZ, L. (1974). Static penetrometers : the importance of the skin friction associated with the point resistance. *Proc. European Symp. on Penetration Testing, Stockholm, 2.2., 293-299.*
- PONTE, J.B. (1977). Verschijnselen bij sonderen in zand. *Sondeer Symposium 15 jaar Fugro*, 17-28.
- SANGLERAT, G. (1972). *The penetrometer and soil exploration*, 464 p., Amsterdam : Elsevier.
- SANGLERAT, G., NHIEM, T.V., SEJOURNE, M. & ANDINA, R. (1974). Direct soil classification by static penetrometers with special friction sleeve. *Proc. European Symp. on Penetration Testing, Stockholm, 2.2., 337-344.*
- SCHMERTMANN, J. (1969). Dutch friction cone penetrometer exploration of research area at field 5, Eglin Air Force Base, Florida. *U.S. Army Eng. Waterways Exp. Stat. Vicksburg (Miss.), Contract Rep., S-69-4.*
- SCHMERTMANN, J. (1972). Effects of in situ lateral stress on friction cone penetrometer data in sands. *Verh. Fugro Sondeer Symposium, 1972*, 37-39.
- SMITS, F.P. (1977). Sonderen in zand een theoretische basis voor analyse van de conusweerstand. *Sondeer Symposium 15 jaar Fugro*, 31-42.
- SNACKEN, F. & VERHOEVE, A. (1965). Structure de paysage polderien. *Photo Interprétation 2*, 29-35.
- SUBCOMMITTEE ON STANDARDIZATION OF PENETRATION TESTING IN EUROPE, (1977). Report of the Subcommittee on Standardization of Penetration Testing in Europe. *Proc. 9th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Tokyo 3.*

- SUBGROUP LITHOSTRATIGRAPHY AND MAPS (1980). A lithostratigraphic scheme for the NW-European Tertiary Basin. *IGCP Program 124 : The NW-European Tertiary Basin.*
- TAVERNIER, R. (1946). L'évolution du Bas Escaut au Pléistocène supérieur. *Bull. Soc. belge Géol. Paléont. Hydrol.* 55, 106-125.
- TAVERNIER, R. (1947). L'Evolution de la Plaine Maritime Belge. *Bull. Soc. belge Géol. Paléont. Hydrol.* 56, 332-343.
- TAVERNIER, R. (1954). Le Quaternaire. In : *Prodrome d'une description géologique de Belgique*, 555-589. Liège : Vaillant-Carmanne.
- TAVERNIER, R. & AMERYCKX, J.B. (1970). *Atlas van België - Blad 17: Kust, Duinen, Polders.* Brussel : Nationaal Comité voor Geografie.
- THOEN, H. (1978). De Belgische kustvlakte in de Romeinse tijd. *Verh. K. Acad. Wet. Lett. Sch. K. Belg.* 88, 225 p.
- T.V. ZEEBOUW-ZEEZAND, (1978). Globaal grondonderzoek deelrapport 1, deel 1, 2, 3, nr. 780.116.1.42.53.
- VANNIEUWENBORGH, H. (1973). *Hydrogeologisch onderzoek van de freatische waterlaag in het kustgebied ter hoogte van de grensscheiding Blankenberge-Brugge*, 117 p. Gent : Geologisch Instituut - Rijksuniversiteit (onuitgegeven licentiaatsverhandeling).
- VAN BURM, Ph. & MAERTENS, J. (1976). *Grondmechanische kaart 22.1.6 Gent-Sint-Pieters.* Brussel : Commissie voor Grondmechanische kartering.
- VAN IMPE, W. & DEPRET, M. (1982). Totale zijdelingse wrijving bij diepsonderen. *Civiele Techniek* 37(5), 21-25.
- VAN RUMMELLEN, F.F.F.E. (1977). *Toelichtingen bij de Geologische kaart van Nederland 1.50.000, bladen Zeeuwsch-Vlaanderen West en Oost*, 79 p. Haarlem : Rijks Geologische Dienst.

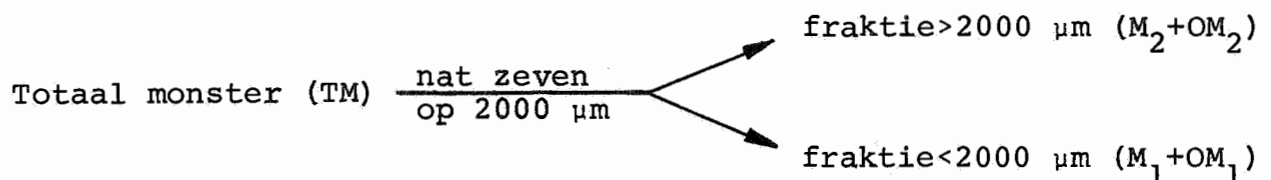
BIJLAGE I

ONDERZOEKSMETHODEN, BENAMING EN VOORSTELLING VAN GRONDMONSTERS

1. METHODEN

1.1. Methoden toegepast door het Geologisch Instituut in het bestek van deze studie

Korrelgrootte



Fraktie > 2000 μm ($M_2 + OM_2$)

Wordt manueel gescheiden in :

- organisch materiaal (b.v. veenbrokken) : OM_2
(wordt niet als grintelement aanzien)
- schelpen en schelpfragmenten : MS
- silex, zandsteen en andere harde grintelementen : $M_2 - MS$.

De grinthoeveelheden (M_2 , MS en $M_2 - MS$) worden uitgedrukt in massa-percent ten opzichte van het totale monster (TM).

Fraktie < 2000 μm

Van ongeveer 100 g monster wordt het organisch materiaal met H_2O_2 in drie beurten vernietigd.

Na wassen en drogen wordt 50 g gehomogeniseerd materiaal (MZ) nat gezeefd op de 50 μm zeef



Fraktie > 50 µm

Na drogen wordt verder gefractioneerd op een stel van 21 Tyler-zeven met opgaande faktor $\sqrt[4]{2}$ (50, 63, 75, 90, 106, 125, 150, 180, 212, 250, 300, 355, 425, 500, 600, 710, 850, 1000, 1180, 1400 en 1700 µm).

Fraktie < 50 µm

Indien het kalkgehalte in deze fraktie ≥ 10 % dan wordt de aanwezige kalk eerst vernietigd om uitvlokking te voorkomen. De frakties 50-20 µm, 20-10 µm, 10-2 µm en <2 µm worden bepaald met de pipetmethode van Köhn.

Gehalte aan organisch materiaal (OM)

OM in de fraktie > 2000 µm (OM'₂)

De gehele fraktie > 2000 µm ($M_2 + OM_2$) wordt na droging bij 105°C gewogen en verder gegloeid op 500°C tot konstant gewicht wordt bereikt. De massa organisch materiaal wordt dan gegeven door :

$$OM'_2 = (M_2 + OM_2)_{105^\circ C} - (M_2 + OM_2)_{500^\circ C}$$

nota : $OM_2 \neq OM'_2$ omdat de manuele bepaling minder nauwkeurig is dan de gloeimethode.

OM in de fraktie < 2000 µm (OM₁)

De bepaling van de OC (organische koolstof) in procent gebeurt met de methode van Walkley en Black (redoxtitratie met $K_2Cr_2O_7$ (1N) op 1 g monster).

Het procent humus wordt (ongeveer) gegeven door 2x % OC waaruit de massa organisch materiaal OM_1 in $M_1 + OM_1$ kan worden bepaald.

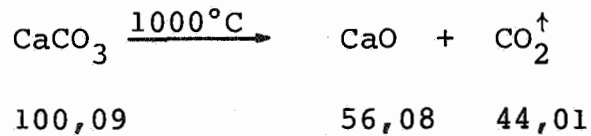
Totaal humusgehalte (% OM)

$$\% OM = (OM'_2 + OM_1) \frac{100}{TM}$$

Het kalkgehalte (KA)

KA in de fraktie > 2000 μm (KA_2)

De overblijvende fraktie > 2000 μm wordt gegloeid op 1000°C tot konstant gewicht wordt bereikt. Bij deze temperatuur wordt de aanwezige kalk omgezet volgens de reactie :

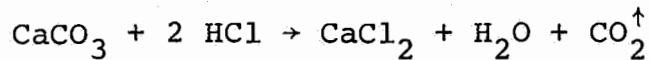


De massa aan kalk wordt gegeven door :

$$KA_2 = ((M_2 + OM_2)_{500^\circ\text{C}} - (M_2 + OM_2)_{1000^\circ\text{C}}) \times \frac{100,09}{44,01}$$

KA in de fraktie < 2000 μm (KA_1)

Reactie van CaCO_3 met HCl (2N), waarbij de toename aan gasdruk (CO_2) wordt gemeten met een calcimeter.



Uit het procent kalk kan de massa KA_1 in $(M_1 + OM_1)$ worden bepaald.

Totaal kalkgehalte (KA)

$$\% \text{ KA} = (KA_2 + KA_1) \frac{100}{\text{TM}}$$

Het glaukonietgehalte

Wordt bepaald met een magnetische separator (type Frantz, Isodynamic Separator, model L 1, met voorwaartse helling van 30° en zijdelingse helling van 15°, 1,4 DC A als stroomsterkte en trillingskracht 7) op 5 gr zandfraktie waarvan het organisch materiaal is vernietigd. Het % glaukoniet wordt t.o.v. de totale zandfraktie berekend.

Plasticiteitsindex (Ip)

De Ip wordt gegeven door het verschil tussen de vloeigrens en de uitrolgrens. De vloeigrens wordt bepaald met een vloeigrensapparaat dat beantwoordt aan de British Standard (Britse norm nr. 1377).

1.2. Methoden toegepast door de Rijksinstituut voor Grondmechanica

We gaan enkel in op de belangrijkste verschillen met de methoden van het Geologisch Instituut. Voor verdere uitleg kan men terecht in het Tijdschrift der Openbare Werken van februari 1938.

Korrelgrootte

100 g luchtdroog monster, dat vooraf manueel werd ontdaan van de belangrijkste grintelementen (schelpen, keien) wordt aanvankelijk onderzocht naar kalk- en humusinhoud. Indien de som kalk + humus ≥ 10 % dan worden kalk en humus vóór de zeving vernietigd; indien < 10 % dan wordt het oorspronkelijk monster gezeefd.

Fraktie $> 2000 \mu\text{m}$

Naargelang de som kalk + humus ≥ 10 % zullen kalkhoudende grintelementen (schelpen, kalkzandsteen) geheel of gedeeltelijk ontbreken of aanwezig zijn in de grintfraktie.

Fraktie $\leq 2000 \mu\text{m}$

- Ook hier geldt dat al naargelang de som kalk + humus ≥ 10 %, kalkhoudende deeltjes geheel of gedeeltelijk ontbreken of aanwezig zijn in de zand-, leem- en kleifraktie.
- De natte zeving gebeurt op een Tyler-zeef van $62 \mu\text{m}$ in plaats van $50 \mu\text{m}$.
- De verdeling van de fraktie $> 62 \mu\text{m}$ gebeurt op 12 Tyler-zeven in plaats van op 21.

- Voor de fraktie <62 μm geschiedt de fraktionatie door een bezinkingsproef volgens de areometode van Casagrande-Bouyoucos.

Humusgehalte

Wordt bepaald door het verlies aan massa van 100 g monster na behandeling met H_2O_2 (20 %).

Kalkgehalte

Wordt bepaald door het verlies aan massa door behandeling met HCl (0,1 N).

2. KORRELDIAGRAM, STATISTISCHE PARAMETERS

In het korreldiagram worden de massa's (in %) kummulatief op de aritmische ordinaat uitgezet ten opzichte van de zeefwaarden (in μm) op de logaritmische abscis. In het bestek van deze studie is gebruik gemaakt van ϕ -eenheden voor de korrelafmetingen (ϕ = de negatieve logaritme in grondtal 2 van de gradenlimieten (in mm) van de Wentworth-schaal). Hierdoor heeft de ϕ -schaal een aritmisches verloop.

De statistische parameters werden bepaald volgens de grafische methode omdat deze eenvoudig is en onder meer kon worden gebruikt op de kummulatieve kurven van het R.I.G. De bepaling van de percentielen gebeurde op kummulatieve kurven waarvoor klei + leem + zand = 100 % (met vernietiging van het organische materiaal). Volgende parameters zijn aangewend.

- Grafisch gemiddelde

Dit wordt gegeven door de betrekking

$$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \quad (\text{R.L. FOLK en W.C. WARD, 1957})$$

Het geeft een beter gemiddelde dan de mediaan omdat 2/3 van de kurve wordt beslaan. Het komt goed overeen met het gemiddelde berekend door de momentenmethode.

- Globale grafische standaardafwijking

$$\sigma_I = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6} \quad (\text{R.L. FOLK en W.C. WARD, 1957})$$

De globale grafische standaardafwijking is een maat voor de uniformiteit (sortering). Door R.L. FOLK en W.C. WARD (1957) werden volgende kategoriën van sortering onderscheiden :

| | |
|------------------------|--------------------|
| $\sigma_I < 0,35 \phi$ | : zeer goed |
| $0,35 - 0,50 \phi$ | : goed |
| $0,50 - 0,71 \phi$ | : middelmatig goed |
| $0,71 - 1,00 \phi$ | : middelmatig |
| $1,00 - 2,00 \phi$ | : slecht |
| $2,00 - 4,00 \phi$ | : zeer slecht |
| $\sigma_I > 4,00 \phi$ | : uitermate slecht |

Deze schaal heeft vooral een betekenis bij de beschrijving van zandmonsters.

3. NAAMGEVING VAN DE GRONDSOORTEN

De benaming van de verschillende grondsoorten is gesteund op hun plasticiteitsindex, granulometrische samenstelling, kalkgehalte en gehalte aan organische stoffen.

Klei, leem, zand

Voor wat de benaming klei, leem of zand (of mengsels) betreft is gesteund op de grondmechanische klassifikatie van A. BRULL (1979). Deze is te aanzien als een uitbreiding van de klassifikatie gebruikt in het Type Bestek van Openbare Werken en in het Rijksinstituut voor Grondmechanica.

De benamingen zijn gesteund op de waarde van de plasticiteitsindex en de volgende frakties :

- I : $d < 2 \mu\text{m}$
- II : $2 \mu\text{m} < d < 60 \mu\text{m}$
- III : $60 \mu\text{m} < d < 200 \mu\text{m}$
- IV : $200 \mu\text{m} < d < 2000 \mu\text{m}$
- V : $2 \text{mm} < d < 20 \text{mm}$
- VI : $d > 20 \text{mm}$
- IIa : $2 \mu\text{m} < d < 20 \mu\text{m}$

(met d de korrelafmeting)

Benaming naar A. BRULL (1979) :

| | | | |
|--------------------|---|---|--|
| $25 \leq I_p$ | → kleiig | | klei |
| $15 \leq I_p < 25$ | <ul style="list-style-type: none"> ↙ kleiig ↘ lemig | $\left\{ \begin{array}{l} \text{III+IV+V} \geq 50 \% \\ \text{III+IV+V} < 50 \% \text{ en II} < 50 \% \\ \text{III+IV+V} < 50 \% \text{ en II} \geq 50 \% \end{array} \right.$ | <ul style="list-style-type: none"> zandhoudende klei leemhoudende klei leem |
| | | $\left\{ \begin{array}{l} \text{III+IV+V} < 50 \% \\ \text{III+IV+V} \geq 50 \% \text{ en } I \geq \text{IIa} \\ \text{III+IV+V} \geq 50 \% \text{ en } I < \text{IIa} \end{array} \right.$ | <ul style="list-style-type: none"> leem kleihoudend zand leemhoudend zand |
| | | $\left\{ \begin{array}{l} \text{I+II} \geq 10 \% \left\{ \begin{array}{l} I \geq \text{IIa} \\ I < \text{IIa} \end{array} \right. \\ \text{I+II} < 10 \% \end{array} \right.$ | <ul style="list-style-type: none"> weinig kleihoudend zand weinig leemhoudend zand zand |
| $I_p < 5$ | → zandig | | |

Zand

In de grondmechanica stelt men zich vaak tevreden met een indeling van het zand in drie groepen : fijn zand, zand en grof zand. In een litostratigrafisch onderzoek is een dergelijke indeling vaak al te eenvoudig. Men gebruikt beter de Wentworth-schaal. Om praktische en geotechnische redenen hebben we hierin evenwel de limieten van 250 μm en 50 μm vervangen door respectievelijk 200 μm en 60 μm . Voor een zandmonster wordt de detaillering dan gegeven naargelang het grafisch gemiddelde M_z valt binnen de volgende limieten :

| | | | | | |
|--------------------|---------------|---|--------------------|---------------|--------------------|
| 2000 μm | (-1 ϕ) | - | 1000 μm | (0 ϕ) | : zeer grof zand |
| 1000 μm | (0 ϕ) | - | 500 μm | (1 ϕ) | : grof zand |
| 500 μm | (1 ϕ) | - | 200 μm | (2,3 ϕ) | : middelmatig zand |
| 200 μm | (2,3 ϕ) | - | 125 μm | (3 ϕ) | : fijn zand |
| 125 μm | (3 ϕ) | - | 60 μm | (4 ϕ) | : zeer fijn zand |

Grint

Grint omvat hier alle harde elementen, exclusief de organische, die groter zijn dan 2 mm. Dit betekent dat naast silex en zandsteen ook schelpen en schelpfragmenten (niet verweerd) worden meegerekend. Het grint kan men evenwel verder speciëren naargelang van zijn samenstelling : silex-, schelpengrint, enz....

De benaming grint wordt gebruikt wanneer het percentage grintelementen ≥ 50 %. Voor hoeveelheden < 50 % heeft men :

- 50 > % \geq 25 sterk grinthoudend (uiterst veel grintelementen)
- 25 > % \geq 10 grinthoudend (veel tot zeer veel)
- 10 > % \geq 2 weinig grinthoudend (met meerdere)

De termen tussen haakjes zijn van toepassing bij de beschrijving op zicht.

Organisch materiaal (totaal massapercentage)

Indien het ≥ 50 noemt men het veen. Voor hoeveelheden < 50 % wordt gebruikt :

- 50 > % \geq 10 sterk veenhoudend of sterk humushoudend
- 10 > % \geq 5 veenhoudend of humushoudend
- 5 > % \geq 1 weinig veenhoudend of weinig humushoudend

Kalkgehalte (totaal massapercentage)

Volgende termen worden gebruikt :

- 50 > % \geq 25 sterk kalkhoudend
- 25 > % \geq 10 kalkhoudend
- 10 > % \geq 5 weinig kalkhoudend

Gronden met een niet te verwaarlozen plasticiteit (kleiig) waarvan het kalkgehalte meer dan 25 % en minder dan 75 % bedraagt en het humusgehalte verwaarloosbaar is, worden mergel genoemd.

Glaukonietgehalte

Principieel wordt het glaukonietgehalte in % uitgedrukt ten opzichte van de zandfractie. Voor de naamgeving wordt dit percentage echter omgerekend ten opzichte van zand + leem + klei = 100 %. Volgende namen worden gebruikt :

$50 > \%z_{lk} \geq 25$ sterk glaukoniethoudend

$25 > \%z_{lk} \geq 10$ glaukoniethoudend

$10 > \%z_{lk} \geq 5$ weinig glaukoniethoudend

met $\%z_{lk}$: glaukonietgehalte in procent t.o.v. de som
zand + leem + klei

4. BENAMING VAN DE EENHEDEN IN HET STUDIEGEBIED

De benaming* is afgeleid uit de gemiddelden van de respektievelijke parameters van de eenheid (tab. 2 en 4).

Tertiair

- T11 : (weinig humushoudende klei)
T10 : weinig kalkhoudende, weinig humushoudende, glaukoniethoudende klei
T9 : zeer slecht gesorteerd, kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand
T8,1 : slecht gesorteerd, kalkhoudend, weinig kleihoudend zeer fijn zand
T7,2 : slecht gesorteerd, sterk kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand

* Een benaming van een eenheid heeft slechts zin wanneer deze is gesteund op gemiddelden met een statistische betekenis. De gemiddelden van de respektievelijke parameters moeten dus afkomstig zijn van voldoende, statistisch in de eenheid verspreide monsters. Het aantal benodigde monsters is evenwel moeilijk te schatten en hangt af van de uniformiteit van de eenheid. Voor de uniformere tertiaire eenheden zouden een 5-tal monsters kunnen volstaan. Indien minder monsters werden onderzocht is de benaming tussen haakjes gezet.

- T7,1 : slecht gesorteerd, kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand
- T6,3 : (zeer slecht gesorteerd, sterk kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand)
- T6,1 : slecht gesorteerd, weinig kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand
- T5 : zeer fijn zandhoudende klei
- T4,1 : slecht gesorteerd, kalkhoudend, weinig grinthoudend (schelpen), weinig kleihoudend zeer fijn zand
- T3,1+2 : zeer slecht gesorteerd, kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand
- T2,2+3 : (slecht gesorteerd, kalkhoudend, weinig grinthoudend (schelpen), kleihoudend zeer fijn zand)
- T1 : (slecht gesorteerd, weinig glaukoniethoudend, leemhoudend zeer fijn zand)

Kwartair




- K8,1 : middelmatig gesorteerd, weinig kalkhoudend, weinig humushoudend, fijn zand
- K7 : veen
- K5,2 : middelmatig gesorteerd, weinig kleihoudend zeer fijn zand
- K5,1 : zeer slecht gesorteerde, kalkhoudende, weinig humushoudende leem
- K4,1 : middelmatig gesorteerd , weinig kalkhoudend, fijn zand
- K3,1+3 : middelmatig goed gesorteerd, kalkhoudend, weinig grinthoudend (schelpen), middelmatig zand
- K2,1 : middelmatig goed gesorteerd, weinig kalkhoudend fijn zand
- K1 : middelmatig gesorteerd, kalkhoudend, grinthoudend middelmatig zand






5. LEGENDE BOORPROFIELEN








Om een korrekte afleiding van de grondsoort uit de boorkolommen toe te laten werd een semi-kwantitatieve voorstelling uitgewerkt. Als uitgangspunt voor de symboliek werden de tekens voor de zuivere grondsoorten, van toepassing in het Rijksinstituut voor Grondmechanica, verkozen.






De meeste benamingen van de grondsoorten in de legende zijn konform aan de in deze studie gangbare grondklassifikatie. Deze benamingen alsook hun symbolen hebben dus een kwantitatieve betekenis. Sommige termen zoals "met meerdere kleibrokken", "veen met veel bijmenging", ..., ontbreken in de grondklassifikatie maar zijn onmisbaar om boorbeschrijvingen objektief te kunnen voorstellen. Deze termen zijn kwalitatief.

Een grondsoort is gewoonlijk beperkt tot het vernoemen en uitbeelden van één of twee hoofdkomponenten (bv. zandhoudende klei). In geval van heterogene grondmonsters, bv. mengsels van klei, leem en zand, worden de respektievelijke hoeveelheden van de componenten verhoudingsgewijs uitgebeeld. Bij de voorstelling van de humusinhoud wordt echter de volgende regel toegepast: het symbool voor de humusinhoud behoudt zijn grootte en de overblijvende ruimte wordt in verhouding tot de andere componenten opgedeeld.

| | |
|---|-------------------------|
|  | fijn tot zeer fijn zand |
|  | middelmatig zand |
|  | grof tot zeer grof zand |





| | |
|---|--|
|  | leem |
|  | leem met weinig (zeer) fijn zand |
|  | leem met veel (zeer) fijn zand tot leemhoudend (zeer) fijn zand |
|  | leemhoudend (zeer) fijn zand |
|  | weinig leemhoudend (zeer) fijn zand |

| | |
|---|--|
|  | klei |
|  | klei met weinig (zeer) fijn zand |
|  | zandhoudende klei |
|  | zandhoudende klei tot kleihoudend (zeer) fijn zand |
|  | kleihoudend (zeer) fijn zand |
|  | weinig kleihoudend (zeer) fijn zand |
|  | leemhoudende klei |

| | |
|---|--|
|  | veen |
|  | veen met weinig bijmenging (klei, leem of zand) |
|  | sterk veenhoudend tot veen met veel bijmenging (klei, leem of zand) |
|  | veenhoudend, humushoudend |
|  | weinig veenhoudend, weinig humushoudend |


(1) (2) schelpen(1), keien(2)


| | | | |
|------|------|-------------------------------|---|
| vvvv | oooo | sterk grinthoudend tot grint; | uiterst veel(1),(2) tot schelpen-, keiengrint |
| vvv | ooo | grinthoudend; | veel tot zeer veel |
| vv | oo | weinig grinthoudend; | met meerdere |
| v | o | | weinig |

| | |
|--|----------------------------------|
|  | baksteenfragmenten of ander puin |
|  | glaukonietzandsteenfragmenten |
|  | glaukonietzandsteenbank |
|  | niet gedefiniëerde verharde laag |

(1) (2) (3) leem (1), klei-(2), veenbrokken(3)

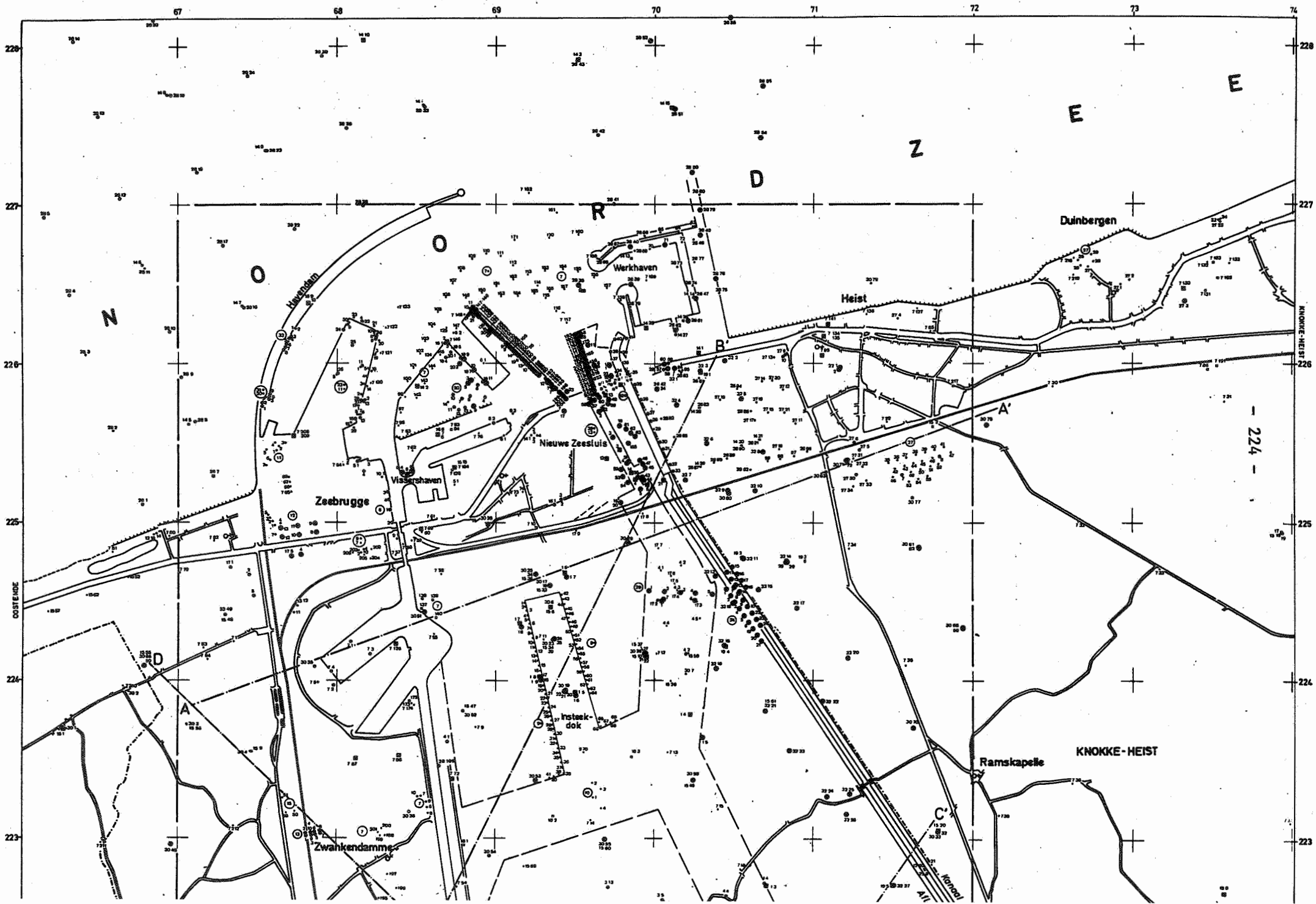
| | | | |
|-----|-----|-----|--------------------|
| ooo | ooo | eee | veel tot zeer veel |
| oo | oo | ee | met meerdere |
| o | o | e | weinig |

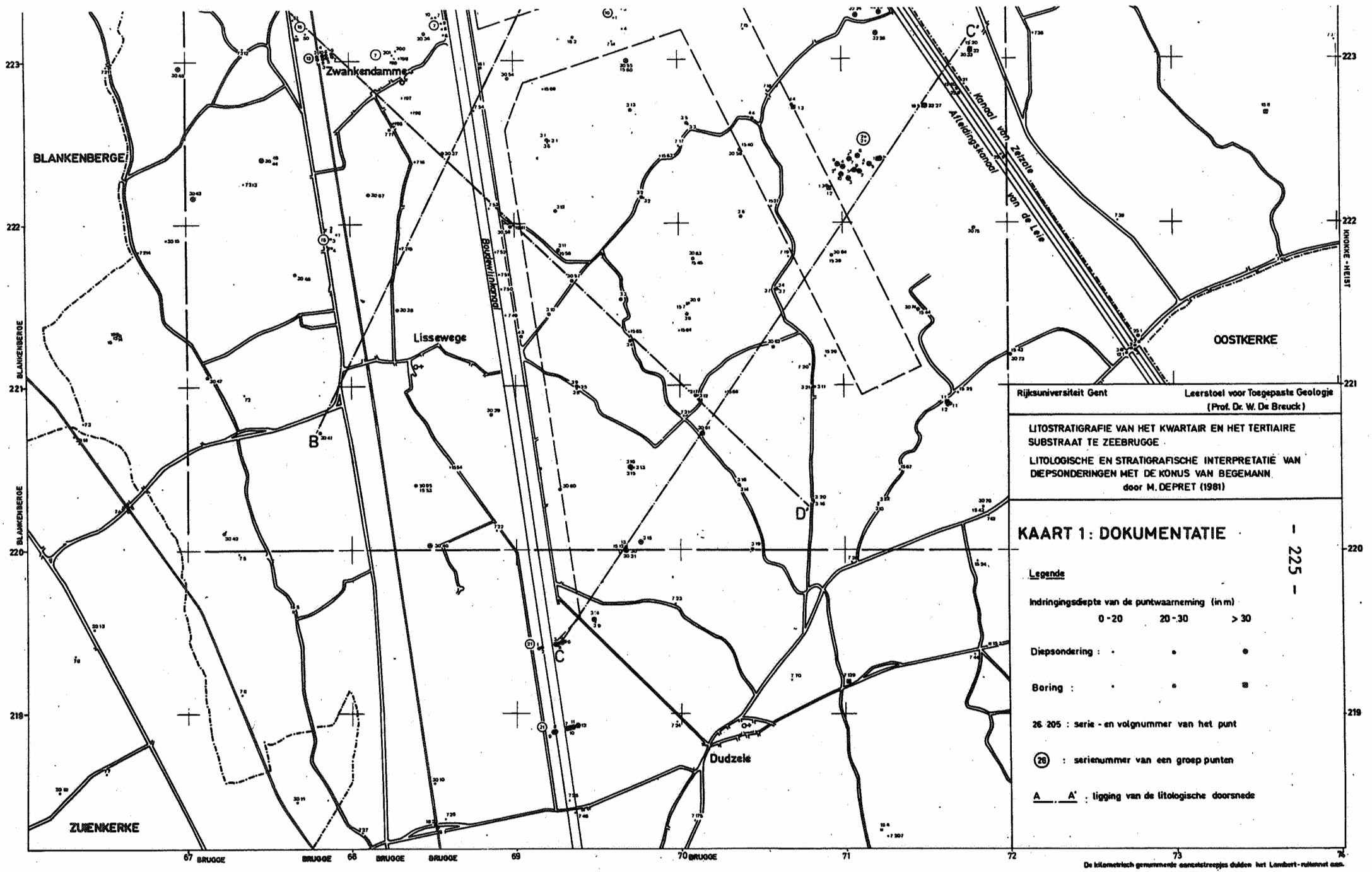
| | |
|---|-------------|
|  | zandlensjes |
|---|-------------|

| | |
|---|---|
| G | glaukoniethoudend tot sterk glaukoniethoudend |
|  | gelaagd |
| | geen monster |

KAARTEN 1, 2, 3, 4, 5, 6

DOORSNEDEN AA', BB', CC', DD'





Rijksuniversiteit Gent Leerstoel voor Toegepaste Geologie
 (Prof. Dr. W. De Bruck)

LITOSTRATIGRAFIE VAN HET KWARTAIR EN HET TERTIAIRE
 SUBSTRAT TE ZEEBRUGGE

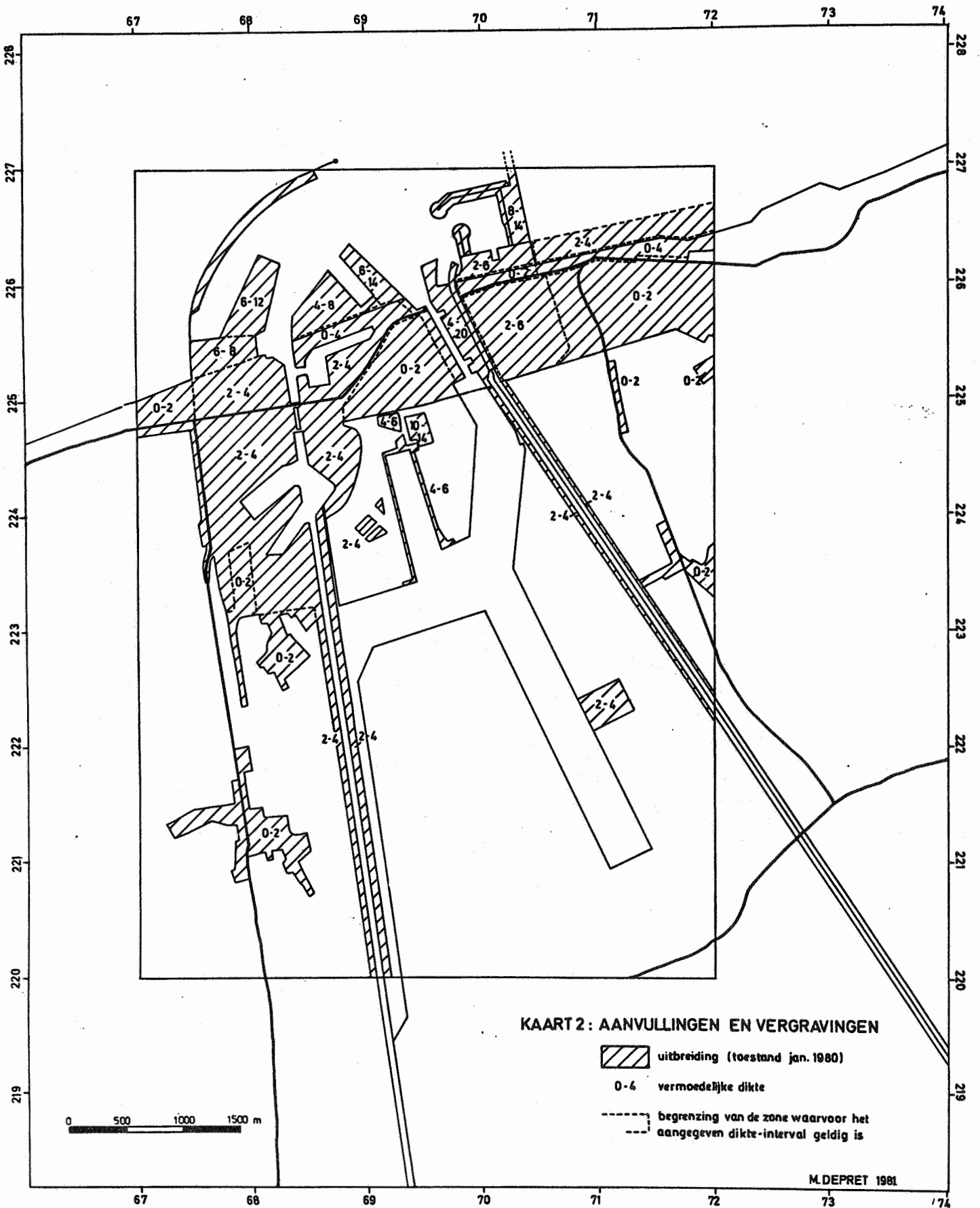
LITOLOGISCHE EN STRATIGRAFISCHE INTERPRETATIE VAN
 DIEPSONDERINGEN MET DE KONUS VAN BEGEMANN,
 door M. DEPRET (1981)

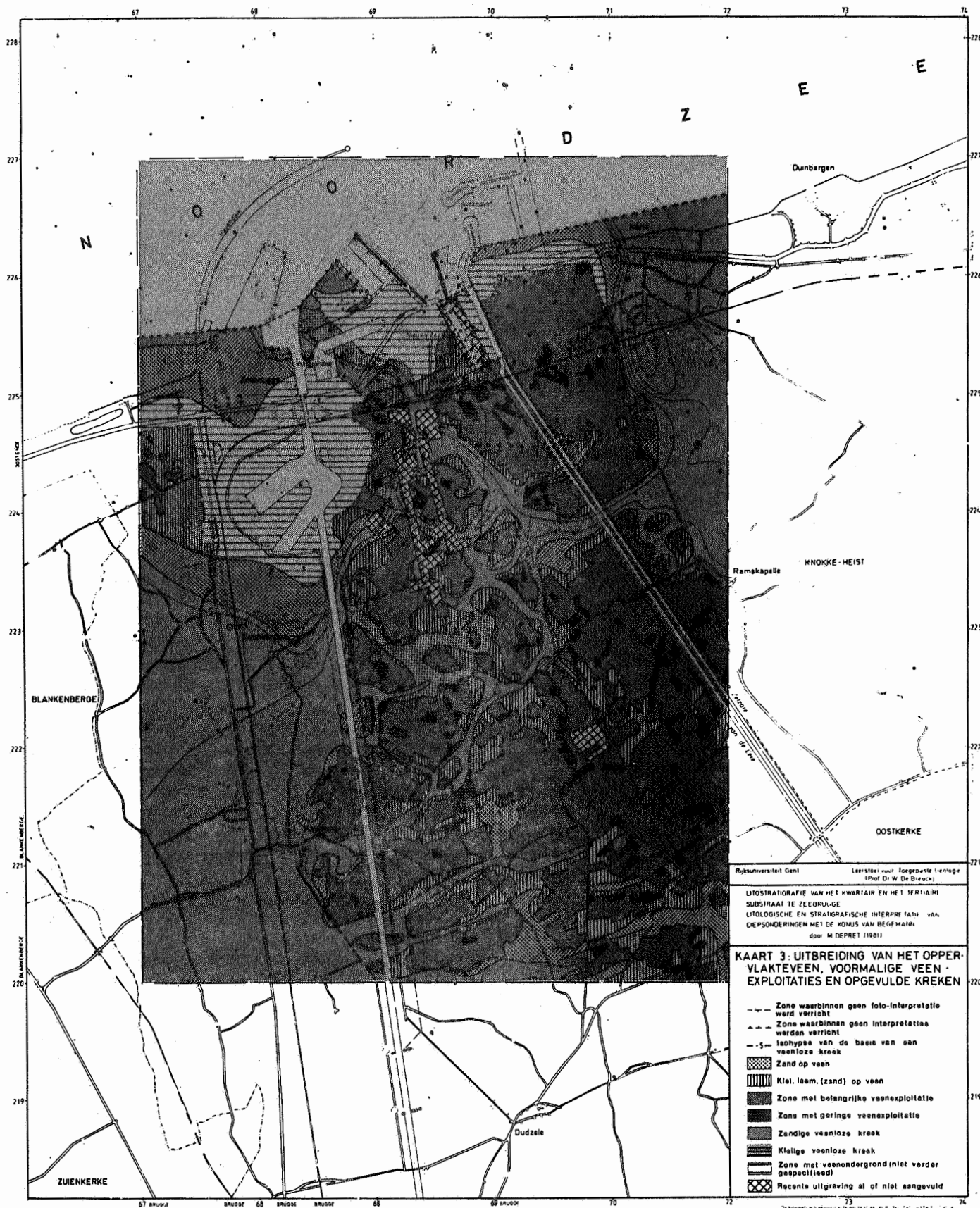
KAART 1 : DOKUMENTATIE

- Legende**
- Indringsdiepte van de puntwaarneming (in m)
 0-20 20-30 > 30
- Diepsondering : • • •
- Boring : • • •
- 26 205 : serie - en volgnummer van het punt
- Ⓟ : serienummer van een groep punten
- A — A' : ligging van de litologische doorsnede

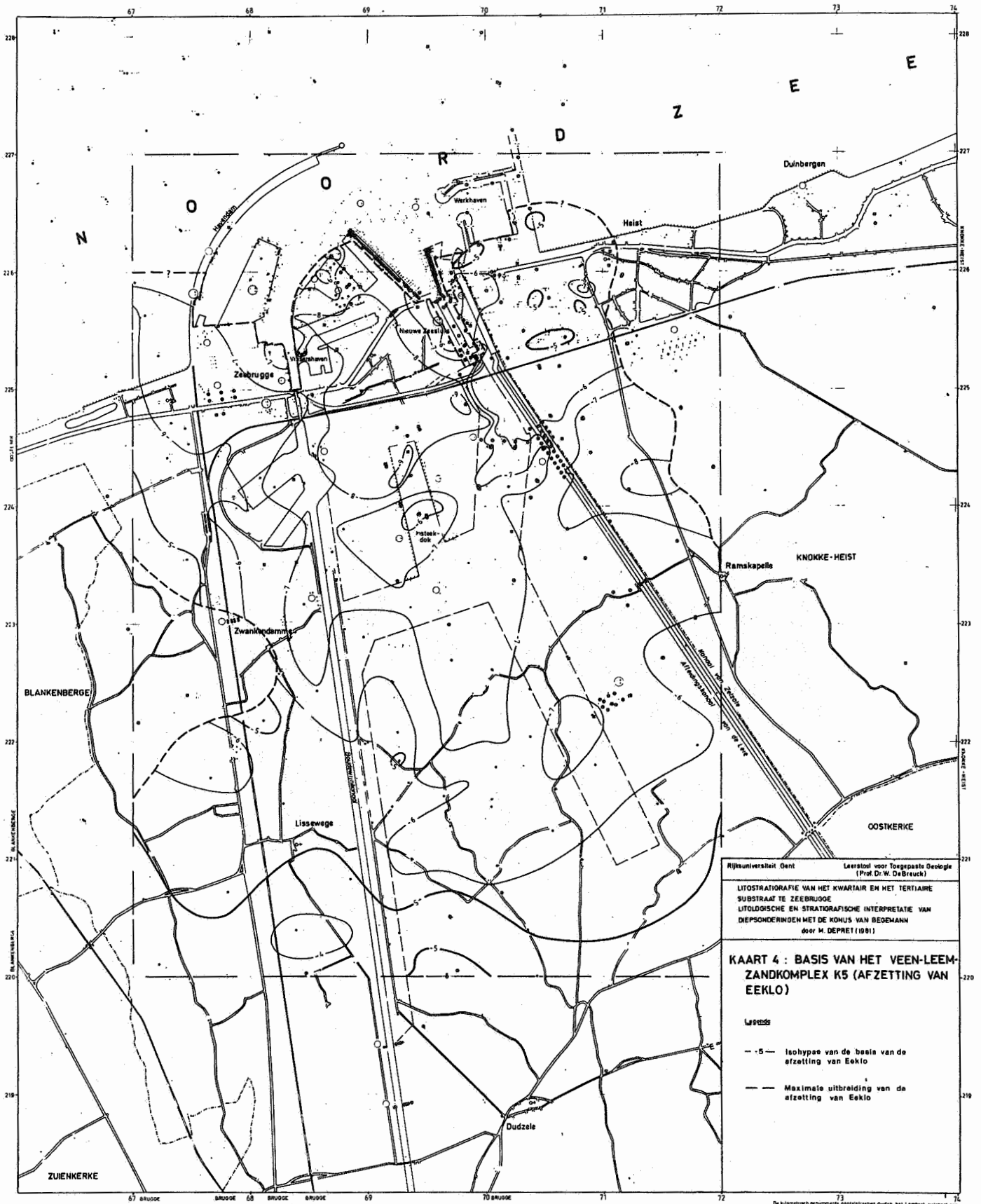
- 225 -

De kilometerisch gemiddelde oorselstreepschillen het Lambert-ruitenmet oom.





0 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000 m

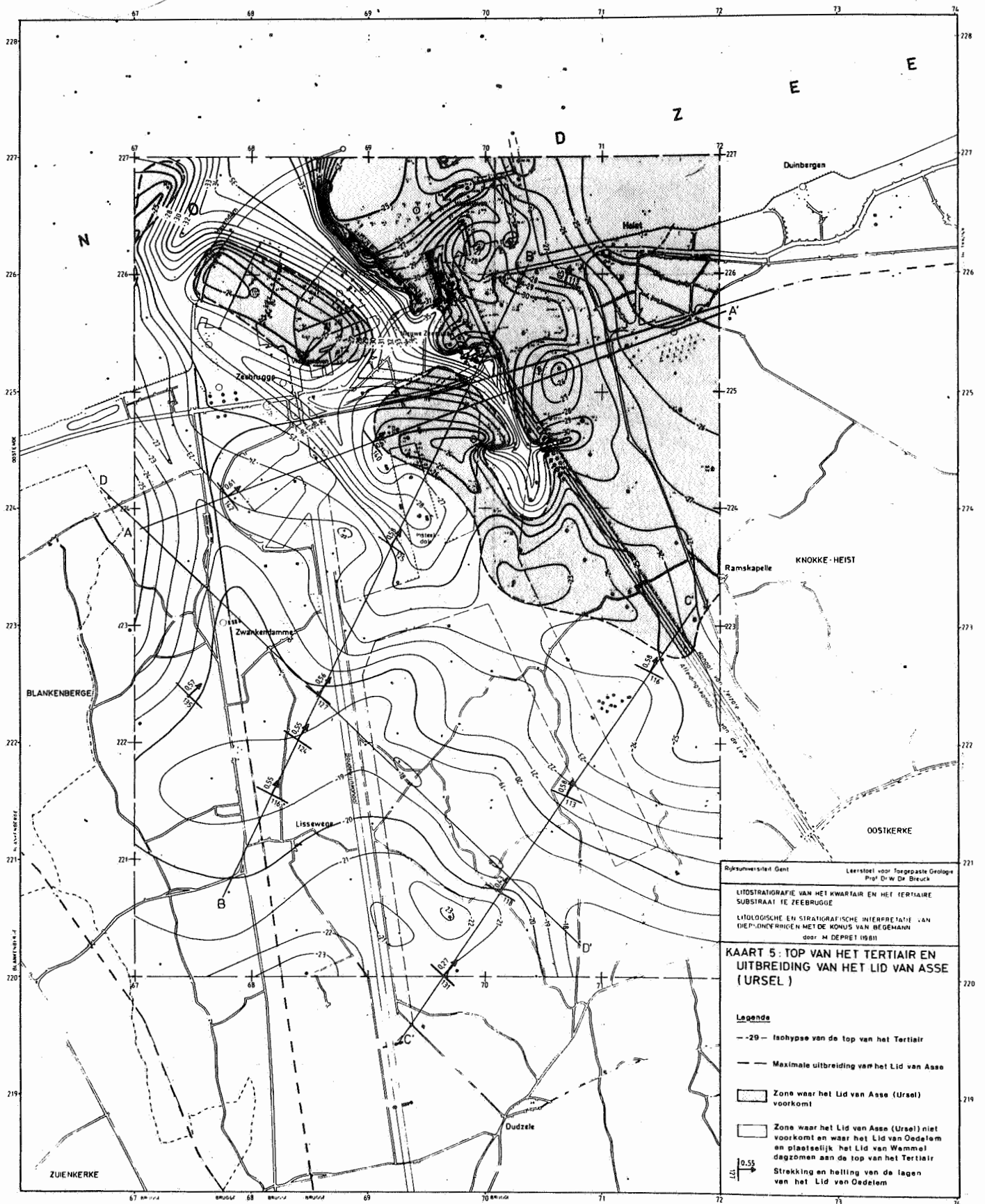


Rijksuniversiteit Gent Leerstoel voor Toegepaste Geologie
 (Prof. Dr. W. DeBreeck)

**KAART 4 : BASIS VAN HET VEEN-LEEM-
 ZANDKOMPLEX K5 (AFZETTING VAN
 EEKLO)**

- Legende**
- - 5 - - Isohypte van de basis van de afzetting van Eeklo
 - — — — Maximale uitbreiding van de afzetting van Eeklo

0 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000 m



Rijksuniversiteit Gent Leerstoel voor Toegepaste Geologie
 Prof. Dr. W. De Bieck

LITOSTRATIGRAFIE VAN HET KWARTAIR EN HET TERTIAIRE
 SUBSTRAAT TE ZEEBRUGGE

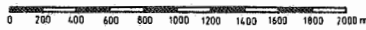
LITOLIGISCHE EN STRATIGRAFISCHE INTERPRETATIE VAN
 DIEP-ONDERRICHEN MET DE KONUS VAN BEGEMANN
 door M. DEPRET (1981)

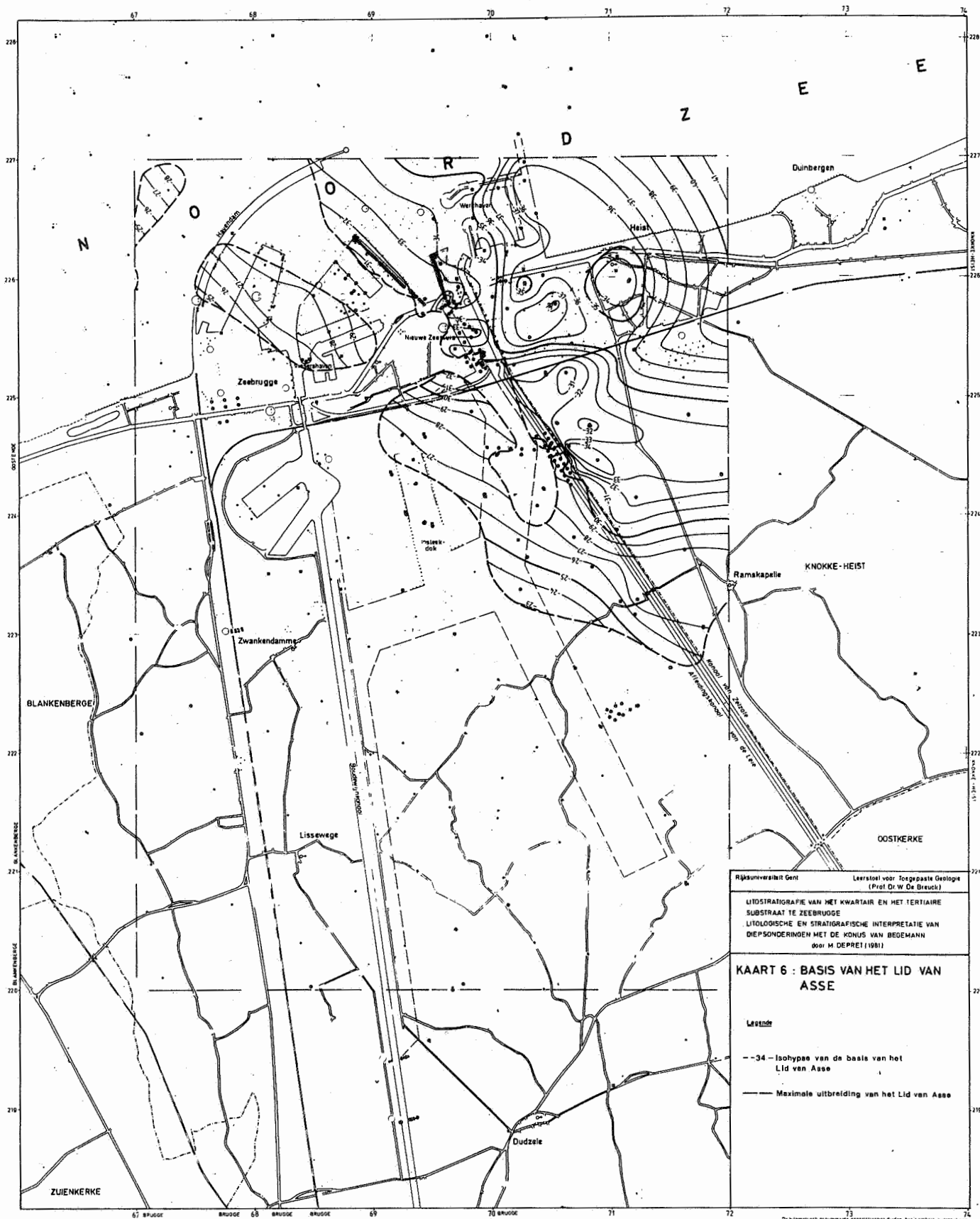
**KAART 5: TOP VAN HET TERTIAIR EN
 UITBREIDING VAN HET LID VAN ASSE
 (URSEL)**

Legende

- - - 29 - Isohypte van de top van het Tertiair
- - - Maximale uitbreiding van het Lid van Asse
- ▭ Zone waar het Lid van Asse (Ursel) voorkomt
- ▭ Zone waar het Lid van Asse (Ursel) niet voorkomt en waar het Lid van Oedelem en plaatselijk het Lid van Wemmel daggzomen aan de top van het Tertiair
- ▭ Strekking en helling van de lagen van het Lid van Oedelem

0.55
 1:271





LEGENDE VAN DE LITOLOGISCHE DOORSNEDEN

- 1 : grens van een eenheid
- 2 : vermoedelijke grens van een eenheid
- 3 : verticale van een puntwaarneming of snijlijn met een andere doorsnede
- 4 : boorprofiel (legende : bijlage I,5)
- 5 : diepsondering : konusweerstand, totale zijdelingse wrijving en wrijvingsgetal
- 6 : diepsondering
- 7 : boring
- 8 : kruisende doorsnede
- 9 : wand van een kanaal of dok; begin en einde van de doorsnede
- 10 : eenheid :

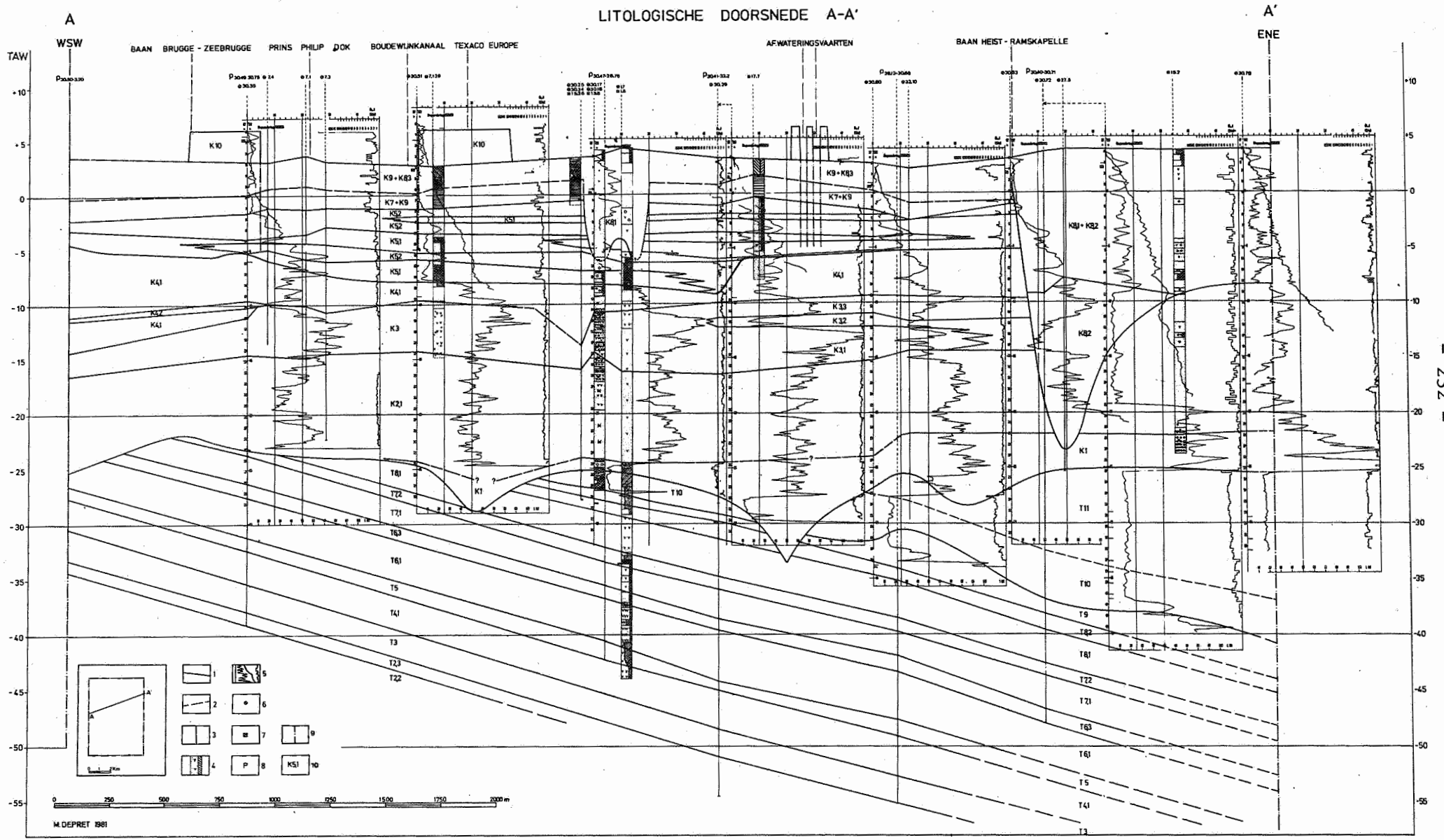
Kwartair

- K10 : aanvulling : zand, leem en/of klei
- K9 : veenputopvulling : zand, leem, klei en/of veen
- K8 : afzetting van Duinkerke K8,3 : (humushoudende) leem, klei en/of zandhoudende klei (poelgrond of afdekkende laag)
- K8,2 : leem en/of klei met laagjes fijn zand (in veenloze kreek)
- K8,1 : weinig kalkhoudend, weinig humushoudend fijn zand
- K7 : oppervlakteveen : veen
- K6 : afzetting van Calais : leemhoudende klei
- K5 : afzetting van Eeklo K5,2 : weinig kleihoudend, zeer fijn zand
- K5,1 : kalkhoudende, weinig humushoudende leem met laagjes leemhoudend zeer fijn zand en veen
- K4 : afzetting van Damme K4,2 : leem en leemhoudend fijn zand
- K4,1 : weinig kalkhoudend fijn zand
- K3 : afzetting van Zeebrugge K3,3 : kalkhoudend, grinthoudend (schelpen en weinig keien) middelmatig zand
- K3,2 : fijn zand met kleilaagjes
- K3,1 : kalkhoudend, grinthoudend (schelpen en weinig keien) middelmatig zand
- K3 : K3,1 + K3,3
- K2 : afzetting van Moerkerke K2,3 : kalkhoudend, weinig grinthoudend (schelpen) fijn zand
- K2,2 : leem en leemhoudend fijn zand
- K2,1 : weinig kalkhoudend fijn zand
- K1 : afzetting van Kaprijke K1 : kalkhoudend, grinthoudend (schelpen en keien) middelmatig zand

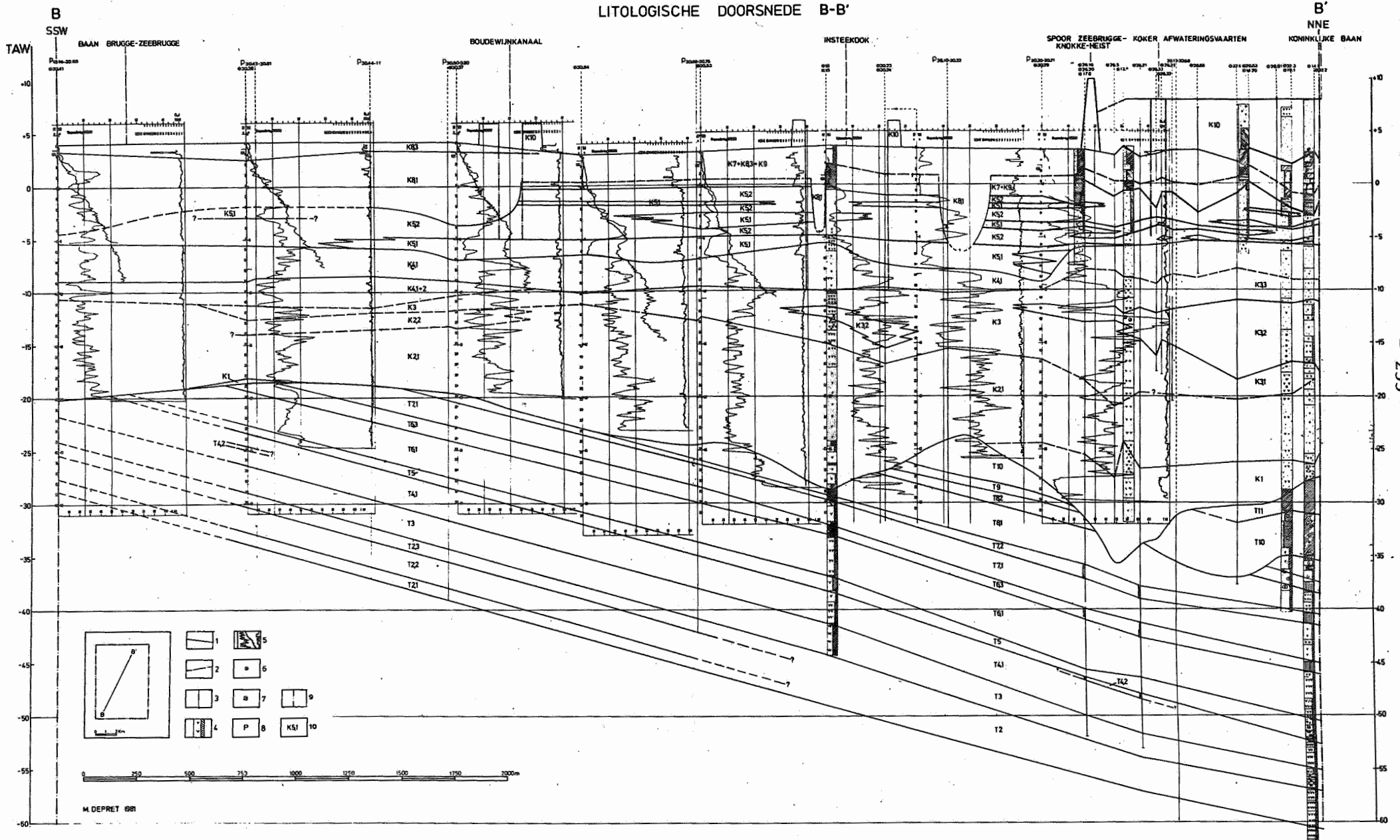
Tertiair

- T11 : Lid van Ursel : vaste klei
- T10 : Lid van Asse : weinig kalkhoudende, weinig humushoudende, vaste glaukoniethoudende klei
- T9 : Lid van Wommel : kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand
- T8,2 + T1 : Lid van Oedelem :
- T8,2 : zone met glaukonietkalkzandsteen en sterk kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand
- T8,1 : kalkhoudend, weinig kleihoudend zeer fijn zand
- T7,2 : zone met glaukonietkalkzandsteen en sterk kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand
- T7,1 : kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand
- T6,3 : zone met glaukonietkalkzandsteen en sterk kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand
- T6,2 : zone in T6,1 met diskontinue glaukonietkalkzandsteen
- T6,1 : weinig kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand
- T5 : zeer fijn zandhoudende klei
- T4,2 : zone in T4,1 met diskontinue glaukonietkalkzandsteen
- T4,1 : kalkhoudend, weinig grinthoudend (schelpen), weinig kleihoudend zeer fijn zand
- T3,3 : weinig kalkhoudende vaste klei
- T3,2 : kalkhoudend, weinig kleihoudend zeer fijn zand
- T3,1 : kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand tot zeer fijn zandhoudende klei
- T2,3 : kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand
- T2,2 : kalkhoudend, (weinig) grinthoudend (schelpen) kleihoudend zeer fijn zand
- T2,1 : kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand
- T2,0 : schelpenbank (Cardita planicosta) al dan niet verhard
- T1 : weinig glaukoniethoudend, leemhoudend zeer fijn zand

LITOLOGISCHE DOORSNEDE A-A'



LITOLOGISCHE DOORSNEDE B-B'



M. DEPRET 1981

LITOLOGISCHE DOORSNEDE C-C'

