RIJKSUNIVERSITEIT GENT
FAKULTEIT VAN DE WETENSCHAPPEN

# LITOSTRATIGRAFIE VAN HET KWARTAIR EN VAN HET TERTIAIRE SUBSTRAAT TE ZEEBRUGGE
# LITOLOGISCHE EN STRATIGRAFISCHE INTERPRETATIE VAN DIEPSONDERINGEN MET DE KONUS VAN BEGEMANN

Mentor DEPRET

Tekst

Proefschrift voorgelegd tot het verkrijgen van de graad van Doctor in de Wetenschappen
(Aard- en Delfstofkunde)

Promotor : Prof. Dr. W. DE BREUCK

1981

Prof. Dr. G. STOOPS
200 14

RIJKSUNIVERSITEIT GENT

FAKULTEIT VAN DE WETENSCHAPPEN

# LITOSTRATIGRAFIE VAN HET KWARTAIR EN VAN HET TERTIAIRE SUBSTRAAT TE ZEEBRUGGE
# LITOLOGISCHE EN STRATIGRAFISCHE INTERPRETATIE VAN DIEPSONDERINGEN MET DE KONUS VAN BEGEMANN

Mentor DEPRET

tekst

Proefschrift voorgelegd tot het verkrijgen van de graad van Doctor in de Wetenschappen (Aard- en Delfstofkunde)

Promotor : Prof. Dr. W. DE BREUCK

1981

810228

INHOUD

VLIZ (vzw)
VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEE
FLANDERS MARINE INSTITUTE
Oostende - Belgium

Blz.

WOORD VOORAF

1. INLEIDING ..... 1
1.1. Rechtvaardiging en doelstellingen van het onderzoek ..... 1
1.2. Situering, topografie en hydrografie van het studiegebied ..... 2
1.3. Fazen in het onderzoek ..... 4

2. BEOORDELING VAN DE BESCHIKBARE GEGEGENS; AANVULLENDE PROEVEN ..... 5
2.1. Oorsprong van de gegevens ..... 5
2.2. Beoordeling van de puntwaarnemingen ..... 6
2.2.1. Plaatsbepaling ..... 6
2.2.2. Waterpassing ..... 6
2.2.3. Beschrijving ..... 8
2.2.4. Voorstelling op kaart; gegevensdichtheid (Kaart 1) ..... 9
2.3. Aanvullende waarnemingen ..... 10
2.3.1. Diepsonderingen ..... 10
2.3.2. Handboringen en gestoken boringen ..... 11
2.3.3. Profielopnamen ..... 12
2.3.4. Herbeschrijving van boringen; legende boorprofielen ..... 13

3. GEOLOGIE ..... 15
3.1. Paleozoïcum en Mesozoïcum ..... 15
3.2. Tertiair ..... 15
3.2.1. Litostratigrafische schaal ..... 15
3.2.2. De diepe tertiaire eenheden ..... 17
3.2.2.1. Formatie van Landen ..... 17
3.2.2.2. Formatie van Ieper ..... 17
3.2.2.3. Formatie van de Mont-Panisel ..... 18
3.2.3. De ondiepe tertiaire eenheden ..... 20
3.2.3.1. Stand van de kennis en aanpak ..... 20
3.2.3.2. Litostratigrafie van de ondiepe tertiaire leden ..... 21

Blz.

3.2.3.3. Kronostratigrafie van de ondiepe tertiaire eenheden ..... 27

3.2.3.3.1. De nummulieten ..... 27

3.2.3.3.2. De mikroforaminiferen en de ostrakoden ..... 28

3.2.3.4. Onderbrenging van de beschreven laageenheden in de specifieke leden en formaties ..... 30

3.2.3.5. Vergelijking met de overeenkomstige tertiaire eenheden in de omstreken ... 32

3.3. Kwartair ..... 34

3.3.1. Kwartaire ontwikkelingsgeschiedenis van de oostelijke kustvlakte ..... 35

3.3.1.1. Pleistoceen ..... 35

3.3.1.2. Holoceen ..... 37

3.3.2. Belangrijke landschapsvormende processen . 41

3.3.2.1. Selektieve sedimentatie ..... 41

3.3.2.2. Inversie van het reliëf ..... 41

3.3.2.3. Kunstmatige verstoringen ..... 42

3.3.2.3.1. Veenontginning ..... 42

3.3.2.3.2. Kleiontginning ..... 42

3.3.2.3.3. Zandwinning ..... 43

3.3.2.3.4. Aanvullingen en vergravingen (Kaart 2) ..... 43

3.3.3. Litostratigrafie van de kwartaire eenheden 44

3.3.4. Kronostratigrafie van de kwartaire eenheden ..... 51

3.3.4.1. Pollenonderzoek ..... 52

3.3.4.2. Besluit ..... 54

3.3.5. Vergelijking met de kwartaire eenheden in de omstreken ..... 55

4. KENMERKEN VAN DE GRONDSOORT VAN DE LITOSTRATIGRAFISCHE EENHEDEN ..... 58

4.1. Inleiding ..... 58

4.2. Metoden ..... 58

4.2.1. Metoden toegepast door het Geologisch Instituut in het bestek van deze studie .. 58

4.2.1.1. Korrelgrootte ..... 58

4.2.1.2. Gehalte aan organische materiaal ..... 59

Blz.

4.2.1.3. Het kalkgehalte ..... 60
4.2.1.4. Het glauconietgehalte ..... 61
4.2.1.5. Plasticiteitsindex ..... 61
4.2.2. Metoden toegepast door het Rijksinstituut voor Grondmechanica ..... 61
4.3. Korreldiagram, statistische parameters ..... 62
4.4. Naamgeving van de grondsoorten..... 63
4.5. Kenmerken van de eenheden ..... 66
4.5.1. De tertiaire eenheden ..... 67
4.5.2. De kwartaire eenheden ..... 68

5. DIEPSONDERINGEN ..... 70
5.1. Algemeenheden en begrippen ..... 70
5.1.1. De belangrijkste konustypen in gebruik in België ..... 70
5.1.2. Principe van een mechanische diepsondering. 72
5.1.3. Uitvoering van de meting en foutenbronnen.. 75
5.1.4. Kenmerken van de kleefmantelkonus, de buizen en de stangen aangewend in het onderzoek .. 77
5.2. Het meten in stappen van 10 cm ..... 78
5.2.1. Inleiding ..... 78
5.2.2. De bewegingen van de konusdelen ..... 78
5.2.3. Berekening van de weerstanden ..... 79
5.2.4. Sondeergrafieken ..... 84
5.2.5. Invloed van de meetstap ..... 84
5.2.5.1. Probleemstelling ..... 84
5.2.5.2. Vergelijkende proeven ..... 85
5.2.5.3. Afwijkingen in de totaalkleef ..... 86
5.2.5.4. Afwijkingen in de konusweerstand en de plaatselijke kleef ..... 87
5.2.5.4.1. Wijze van vergelijking ..... 87
5.2.5.4.2. Statistische testen ..... 88
5.2.5.4.3. Vergelijking over het geheel ..... 89
5.2.5.4.4. Vergelijking met betrekking tot de aard van de grond en de grootte van de konusweestand ..... 91
5.2.5.4.4.1. Grint, (weinig) grinthoudend (schelphoudend) zand, grof en middelmatig zand ..... 92
5.2.5.4.4.2. Zeer dicht- en dichtgepakt fijn zand ..... 93

5.2.5.4.4.3. Dicht- tot middelmatig dichtgepakt weinig kleihoudend zeer fijn zand ..... 93

5.2.5.4.4.4. Los- en middelmatig gepakt fijn zand ..... 94

5.2.5.4.4.5. (Weinig) klei- of/en leemhoudend (zeer) fijn zand, veenhoudend fijn zand, fijn zand met klei- of/en leemlaagjes ..... 95

5.2.5.4.4.6. Essentieel lemige of kleiige lagen al of niet gelaagd met fijn zand ..... 95

5.2.5.4.4.7. Veen ..... 96

5.2.5.4.4.8. Vaste klei en vaste glauconiethoudende klei ..... 96

5.2.5.4.4.8.1. Het klemmingseffekt ..... 97

5.2.5.4.4.8.2. Invloed van de meetstap ... 101

5.3. Litologische en stratigrafische interpretatie van diepsonderingen ..... 102

5.3.1. Inleiding ..... 102

5.3.2. Doel van het onderzoek ..... 102

5.3.3. De konusweerstand ..... 103

5.3.3.1. Toelichting ..... 103

5.3.3.2. Lagenopeenvolging ..... 104

5.3.3.3. De grootte van de konusweerstand en de grondsoort ..... 104

5.3.3.4. De primaire en secundaire strukturen van het konusdiagram ..... 105

5.3.4. De konusweerstand in kombinatie met de totaalkleef en de totale weerstand ..... 107

5.3.4.1. Herkenning van veen ..... 108

5.3.4.2. Indruk van de mate waarin het spanningsveld van de indringende konus naar boven is gewenteld; het geïnduceerde spanningseffekt ..... 109

5.3.4.3. Grens tussen de aanvulling en de bovenste oorspronkelijke afzetting ..... 111

5.3.4.4. Herkenning van harde elementen..... 112

5.3.4.5. De totaalkleef na aanwending van de nokkenkleefvanger..... 113

5.3.4.5.1. Grens Kwartair-Tertiair ..... 113

5.3.4.5.2. De totaalkleef en vaste kleilagen. 119

Blz.

5.3.5. De konusweerstand, de plaatselijke kleef en het wrijvingsgetal ..... 121

5.3.5.1. Klassifikatiesystemen ..... 121

5.3.5.2. De noodzaak tot het terugbrengen van de plaatselijke kleef over twee niveaus 123

5.3.5.3. Het wrijvingsgetal en de onderkenning van de grondsoorten ..... 124

5.3.5.3.1. Onderzoeksmateriaal ..... 124

5.3.5.3.2. Onderzoeksmetode ..... 125

5.3.5.3.3. De sondeerafstand in funktie van het wrijvingsgetal ..... 126

5.3.5.3.4. Het wrijvingsgetal en de specifieke litostratigrafische eenheden ..... 128

5.3.5.3.4.1. Afzettingen van het Kwartair.. 128

5.3.5.3.4.1.1. Zand ..... 128

5.3.5.3.4.1.2. Grint en grinthoudend zand 131

5.3.5.3.4.1.3. Leem en leemhoudend zeer fijn zand ..... 132

5.3.5.3.4.1.4. Veen ..... 132

5.3.5.3.4.2. Afzettingen van het Tertiair.. 133

5.3.5.3.4.2.1. Weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand 133

5.3.5.3.4.2.2. Glauconiethoudende en niet glauconiethoudende stijve klei ..... 134

5.3.5.3.5. Verband tussen het wrijvingsgetal en de grondsoorten ..... 135

5.3.5.4. Wrijvingsgetal, gelaagdheid en homogeniteit ..... 137

5.3.5.5. Het wrijvingsgetal berekend met $f_{s,2,m}$ 138

5.3.6. Metode ter onderkenning van de litologie en de stratigrafie op grond van mechanische kleefmantelkonussonderingen opgemeten in stappen van 10 cm ..... 140

6. KAARTEN EN PROFIELEN ..... 147

6.1. Inleiding ..... 147

6.2. Interpretatie van de boringen en de diepsonderingen ..... 147

6.3. Aanvullingen en vergravingen (Kaart 2)..... 150

6.4. Uitbreiding van het oppervlakteveen, voormalige veenexploitaties en opgevulde kreken (Kaart 3) 150

Blz.

6.4.1. Fotoseries ..... 150
6.4.2. Interpretatiekriteria ..... 151
6.4.3. Opstelling; grondkontrole ..... 152
6.4.4. Bespreking ..... 153
6.5. Profielen ter hoogte van het Insteekdok ..... 155
6.5.1. Profiel W ..... 156
6.5.2. Profiel E ..... 158
6.6. Basis van het veen-leem-zandkomplex K5 (afzetting van Eeklo)(kaart 4) ..... 160
6.7. Top van het Tertiair en uitbreiding van het Lid van Asse-Ursel (kaart 5) ..... 160
6.8. Basis van het Lid van Asse-Ursel (kaart 6) .. 162
6.9. Litologische doorsneden ..... 162
6.9.1. Ligging ..... 162
6.9.2. Litologische doorsnede AA' ..... 163
6.9.3. Litologische doorsnede BB' ..... 165
6.9.4. Litologische doorsnede CC' ..... 167
6.9.5. Litologische doorsnede DD' ..... 169
6.10. Helling en strekking van het Lid van Oedelem 170

7. ALGEMEEN BESLUIT ..... 172

REFERENTIES ..... 179

# WOORD VOORAF

Bij het voorleggen van dit proefschrift is het voor mij een waar genoegen de talrijke personen en instellingen te kunnen bedanken, die door hun bereidwillige medewerking hebben bijgedragen tot de voltooiing ervan.

In de eerste plaats wens ik mijn oprechte erkentelijkheid te betuigen aan mijn promotor Prof. Dr. W. DE BREUCK, die deze studie tot leven heeft gebracht. 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. Zeer veel dank en waardering ben ik hem hiervoor verschuldigd.

Een diepgaand woord van dank 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. Samen met mijn promotor dank ik hem voor de inspanningen die zij hebben geleverd tot het verkrijgen van mijn statuut als aspirant van het N.F.W.O.

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

Mijn bijzondere dank richt ik eveneens naar :

- Prof. Dr. G. DE MOOR, op wie zijn uitgebreide kennis van- en ervaringen in de kwartaire geologie ik steeds beroep mocht doen. Zijn nuttige raadgevingen getuigden dan ook steeds van zijn interesse voor mijn werk,
- Prof. Dr. J.B. AMERYCKX, die met zijn kennis over de bouw van de polders mij fundamentele informatie heeft doorgegeven,

- de Professoren J. de HEINZELIN, R. MARECHAL en G. STOOPS, dank ik voor de toestemming die zij mij hebben verleend hun laboratoria te raadplegen en te gebruiken, en voor hun bijdrage tot mijn opleiding als geoloog,
- Dr. ir. H.K.S.Ph. BEGEMANN, Adjunkt-Direkteur van het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft, die buitengewoon veel belangstelling toonde voor mijn studie en met wie ik een openhartig gesprek mocht hebben over de door hem ontworpen kleefmantelkonus,
- ir. W. VAN IMPE, assistent bij het Laboratorium voor Grondmechanica (R.U.G.) bij wie ik steeds terecht kon met mijn problemen over diepsonderingen. Zonder de talrijke verhelderende discussies die ik met hem heb gevoerd zou een belangrijk deel van dit werk niet tot een goed einde zijn gekomen,
- Dr. J.F. DE CONINCK, werkleider bij het Laboratorium voor Fysische Aardrijkskunde en Bodemkunde die zich veel moeite heeft getroost bij het op punt stellen van mijn laboratoriumwerk,
- Dr. ir. R. CARPENTIER, Hoofdingenieur bij het Rijksinstituut voor Grondmechanica (R.I.G.), voor de nuttige raadgevingen en richtlijnen,
- Dr. C. VERBRUGGEN, werkleider bij het Seminarie voor Regionale Aardrijkskunde, die zich spontaan heeft toegelegd op het pollenanalytisch onderzoek in deze studie,
- Prof. Dr. CURRY van de University College Department of Geology in London,
  Dr. A. BLONDEAU van het Laboratoire de Géologie des Bassins Sédimentaires (Université Pierre et Marie-Curie (Paris VI)),
  Dr. D. NOLF, Dr. W. WILLEMS en Lic. E. STEURBAUT, die alle hebben bijgedragen tot het oplossen en formuleren van de niet onaardige paleontologische besluiten in dit werk,
- ing. J. VANDENHEEDE die de ingewikkelde rekenprogramma's heeft op punt gesteld.

Veel personen, instellingen en ondernemingen hebben hun medewerking verleend door gegevens of ervaringen over te maken. 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 het mij mogelijk gemaakt de meest recente grondmechanische verslagen, welke voor de nieuwe zeehaven werden verricht, in opdracht van het Bestuur, onmiddellijk te mogen raadplegen. Tevens dank ik

de volgende personen :

- de Burgemeester en het Schepencollege van de stad Brugge,
- de Burgemeester en het Schepencollege van de stad Knokke-Heist,
- de heer P. KERCKAERT, Hoofdingenieur-Direkteur van Bruggen en Wegen, Dienst der Kust,
- de heer J. FREEMOUT, Eerstaanwezend Ingenieur, Hoofd van de Dienst van Bruggen en Wegen, Dienst der Kust,
- de heer B. DE PUTTER, Eerstaanwezend Ingenieur van Bruggen en Wegen, Dienst der Kust,
- de heer P. DE WOLF, Ingenieur van Bruggen en Wegen, Dienst der Kust,
- de heer E. BERLEUR, Hoofdingenieur en Hoofd van de Studiedienst van de N.V. S.B.B.M.,
- de heer P. ORTEGAT, Algemeen Projektdirekteur van de T.V. Zeebouw,
- de heer K. VERGAELEN, Ingenieur-Direkteur en Hoofd van de Technische Dienst van de T.V.Zeebouw,
- de heer STEYAERT, Hoofdingenieur van de N.V. S.B.B.M.,
- de heer A. VANHOOF, Ingenieur-Direkteur van de N.V. Sotrahy,
- de heer H. SMET, Afgevaardigde Beheerder en Direkteur van de N.V. Smet-Boring,
- de heer LECLUYSE Ingenieur van de N.V. S.B.B.M.,
- de heer J. MAERTENS, Ingenieur bij het Bruggenbureau van het Ministerie van Openbare Werken,
- de heer C. VAN CAUWENBERGHE, Hoofdkondukteur, Hoofd van de Hydrografische Dienst van Bruggen en Wegen,
- de heer G. VERMEULEN, Eerstaanwezend kontroleur van Werken, Dienst der Kust,
- de heer M. SPREUTELS, Technisch ingenieur van het Rijksinstituut voor Grondmechanica te Gent.

Ik dank eveneens de instellingen of ondernemingen :

- Belgische Geologische Dienst,
- het Ministerie van Landsverdediging : Dienst van de Generale Staf,
- de Havendiensten van Zeebrugge,
- de T.V. Zeebouw-Zeezand
- de N.V. Delens M.,
- de T.V. Sogetra-S.B.B.M.

Ik denk eveneens terug aan de verhelderende gesprekken over de meest uiteenlopende problemen die ik heb gevoerd met de wetenschappelijke medewerkers van het Geologisch Instituut. Hiervoor gaat mijn dank vooral uit naar Dr. L. WALSCHOT, Konservator, Dr. S. GEETS, Werkleider, Dr. J.P. HENRIET, Werkleider en de Eerstaanwezende Assistenten Dr. P. JACOBS, Dr. I. HEYSE en Dr. M. ANTROP.

Speciaal dank ik Dr. L. WALSCHOT die zich bijzonder vakkundig heeft ingezet voor de uiteindelijke weergave van dit proefschrift.

Veel waardering en dank breng ik ook op voor mijn kollega's : Dr. J.P. CNUDDE, 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 vergeet ik het administratief en technisch personeel van het Geologisch Instituut die zich onnoemelijk veel inspanningen hebben getroost voor de tot stand koming van dit werk. Veel dank ben ik dan ook aan hen verschuldigd. Hierbij denk ik vooral aan :

- ing. J. VANDENHEEDE en ing. E. BEEUWSAERT, die het veldwerk in goede banen hebben geleid,
- de heren R. BOGAERT, M. GENBRUGGE, A. DE SMIJTER, C. DUYOLS en B. DANCKAERT, die zich aktief hebben ingespannen tot het goed slagen van de waarnemingen op het terrein,
- de heer J. BEECKMAN voor zijn onuitputtelijke ijver bij de granulometrische analysen,
- de heer G. SCHAECK, juffr. Y. MEYSKENS, mevr. V. DE WITTE en juffr. M. VAN DER SPURT, die precisie en estetiek in de prachtige kaarten en tekeningen wisten te vereenzelvigen,
- de heer J. VAN WAETERMEULEN en H. VANNIEUWENHUYSE voor de professionele aanpak van het fotografisch werk,
- mevr. G. VERMEIREN, mevr. I. DE POURCQ en juffr. I. ROBELUS, voor het zeer verzorgde dactylografisch werk,
- de heren C. DUYOLS, F. VAN ALTERT en juffr. C. DUYOLS die voor de technische realisatie van dit proefschrift instonden.

Tenslotte dank ik mevr. G. DEPRET-VAN DE VEIRE, mijn ega, die van meet af aan met dit werk heeft meegeleefd en zich extreem verdraagzaam en behulpzaam heeft getoond vooral tijdens de onvermijdelijk vele moeilijke ogenblikken.

Gent, februari 1981.

# 1. INLEIDING

## 1.1. RECHTVAARDIGING EN DOELSTELLINGEN VAN HET ONDERZOEK

Tijdens het laatste decennium is de kustvlakte het toneel geweest van intensieve onderzoekingen aangaande de hydrogeologie, de litostratigrafie en de genese van de diepere oppervlakkige lagen. Tot voor kort waren deze onderzoekingen 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. VAN HOORNE, 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 onderzoekingen 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 en de sleutelpositie van het gebied in de oostelijke kustvlakte, de landwaartse uitbreidingsplannen van de zeehaven en de talrijke voor de havenwerken uitgevoerde 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 beroep gedaan op statische diepsonderingen. Daarom werd zeer uitvoerig aandacht besteed aan de litologische en stratigrafische betekenis van deze waarnemingstechniek en in het bijzonder van degene die gebruik maakt van de plaatselijke kleefregistratie, vooral omdat deze in ons land weinig is toegepast. Met het oog op een betere waarneming werd in de zelf verrichte kleefmantelkonussonderingen, de klassieke meetstap van 20 cm verkleind tot 10 cm. Nagegaan werd welke winst aan informatie men hierdoor bekwam en of de aldus gemeten weerstanden, afweken van die geregistreerd op de klassieke manier. Tenslotte werd gepoogd een betrouwbare en representatieve metode uit te werken om kleefmantelkonussonderingen opgemeten in stappen van 10 cm 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. Een rechthoekige begrenzing op de kilometrische koördinaatlijnen van het Lambert-net is verkozen, echter zondanig dat de toekomstige achterhaven en een belangrijk deel van de nieuwe voorhaven respektievelijk centraal en noordelijk liggen (kaart 1). 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 km$^2$ behorende tot de gemeenten Brugge en Knokke-Heist. Als deelgemeenten noteert men kloksgewijs : 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. 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. Ten westen en ten oosten van respektievelijk de lijnen door de snijdingen (067/224) - (069/220) en (071/227)-(072/223) (zie kaart 1) is het reliëf zeer vlak en gemiddeld gelegen tussen +3,5 m à +4,0 m. Tussenin heeft het een verstoord uitzicht ten gevolge van de talrijke onregelmatig gedempte veenputten. Door die uitveningen ligt deze zone gemiddeld ongeveer 1 m lager en op een peil gaande van +1,5 m tot +3,5 m.

De belangrijkste wegen zijn de Koninklijke Baan in het noorden, de verbinding Heist-Ramskapelle-Bruggen van Zelzate in het oosten, de rijksweg Brugge-Dudzele-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

---

(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.)

werd ingekokerd. De spuiing in zee geschiedt door een serie uitwateringssluizen.

Door haar lage ligging lijdt het gebied tussen de hoofdkanalen vaak aan wateroverlast. Het drainage netwerk is er dan ook zeer dicht ontwikkeld; het bestaat uit drainagebuizen, greppels, perceelsgrachten, verzamelgrachten en hoofdwatergangen (o.a. Graaf Jansader, Lisseweegs Vaartje, Isabellawaart, Noorse Watergang 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 is afgezien van intekening in kaart van details, die in de nabije toekomst zullen verdwijnen. In de plaats zijn de voorziene of begin 1980 reeds aangelegde dokken (streeplijn of volle lijn) ingebracht.

## 1.3. Fazen in het onderzoek

De studie verliep in een aantal fazen :

- verzameling en beoordeling van de beschikbare gegevens en uitvoering van de aanvullende waarnemingen,
- geologische en litostratigrafische onderkenning van het gebied,
- karakterisatie van de grondsoort van de litostratografische eenheden,
- litologische en stratigrafische interpretatie van diepsonderingen,
- syntese in kaarten en profielen.

# 2. BEOORDELING VAN DE BESCHIKBARE GEGEVENS; AANVULLENDE PROEVEN

## 2.1. Oorsprong van de gegevens

Als eerste stap in het onderzoek hebben we zo veel mogelijk bestaande waarnemingen in en in de omgeving van het studiegebied verzameld. Daarvoor kwamen in aanmerking diepsonderingen DS, handsonderingen HS, alle mogelijke boringen (droge-DB, spoel-SB, gestoken-GB en droge handboringen DHB), granulometrische analysen, opmetingsplannen (van ophogingen, uitgravingen en nieuwe en toekomstige kunstwerken) en luchtfoto's. Hiervoor werd beroep gedaan op de welwillende medewerking van openbare en private instanties (o.m. 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., T.V. Zeebouw-Zeezand, T.V. Sogetra-SBBM, N.V. SBBM, N.V. Smet, N.V. Delens M., N.V. Sotrahy en enkele partikulieren). Uiteraard beschikten we ook over reeds eerder door het Geologisch Instituut uitgevoerde waarnemingen. De vreemde puntwaarnemingen zijn bijgehouden tot eind 1979.

Tabel 1 geeft een ruwe indeling naargelang van de herkomst van de beschikbare gegevens. Deze werden verder verdeeld naar indringingsdiepte : meer dan 30 m, van 30 tot 20 m, minder dan 20 m diepte. De diepsonderingen zijn opgesplitst naargelang het aangewende konustype (oude Delftse konus ODK, kleefmantelkonus KMK, zie verder). Ter vervollediging zijn ook de door ons uitgevoerde aanvullende proeven ingelast.

In totaal beschikten we dus over 1302 puntwaarnemingen wat ongeveer 28 000 m indringing in de grond vertegenwoordigt. 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) waarvan 338 (= 43 %) meer dan 30 m en 562 (= 72 %) meer dan 20 m diepte, en 519 boringen (4 GB, 449 DB,43 DHB en 23 SB), waarvan 76 (= 15 %) van meer dan 30 m en 162 (= 31 %) van meer dan 20 m diepte. In totaal overschrijven 414 (= 32 %) puntwaarnemingen de 30 m en 724 (= 56 %) de 20 m diepte.

## 2.2. BEOORDELING VAN DE PUNTWAARNEMINGEN

Vooraleer de gegevens te behandelen werden ze beoordeeld op grond van de nauwkeurigheid van hun plaatsbepaling, hun hoogteligging, en de betrouwbaarheid van hun beschrijving.

### 2.2.1. 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.

Andere gegevens waren wel voorzien van een detailopmeting maar dan zonder duidelijke herkenningspunten 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 goed als mogelijk de plaats bepaald 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 uitvoerder of de opdrachtgever. Alleen die waarnemingen werden behouden, waarvan de herlokalisatie binnen een straal van maximum 50 m kon geschieden en voor zover zich geen overlapping met nabije gegevens voordeed.

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

### 2.2.2. WATERPASSING

De peilen in deze studie zijn aangegeven t.o.v. de tweede algemene waterpassing 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 opzicht van het nulpunt van de T.A.W.

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

1) geen of geschat peil
2) genivelleerd t.o.v. een willekeurig nulpunt (b.v. dorpel van een huis, hulpreferenties bij openbare werken, enz....)
3) genivelleerd t.o.v. een ander vergelijkingsvlak (b.v. Z- of H-vlak),
4) genivelleerd maar zonder vermelding van het vergelijkingsvlak,
5) fouten in de waterpassing (gewoonlijk in veelvouden 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 18,7 cm ($H_{Zeebrugge}$) wat verwaarloosbaar is ten opzichte van de diepte-nauwkeurigheid van de puntwaarnemingen.

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

1) de topografische kaart (1/10.000) van het N.G.I. en steunend op onze topografische kennis van het terrein,
2) luchtfoto's,
3) gekende peilen in de nabije omgeving van het punt (b.v. peil zeedijk),
4) de kennis van peilen in funktie 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, meestal in veelvouden 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 herschattingen werd ernaar gestreefd een nauwkeurigheid te halen van ± 0,5 m voor waarnemingen in het poldergebied en ± 1 m voor die in de duinstreek en de verstedelijkte zones.

2.2.3. BESCHRIJVING

De betrouwbaarheid van de beschrijving is vooral van belang bij boringen. Het grafisch beeld van de 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 (b.v. de afwijking van de vertikale, enz....).

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; deze is op zijn beurt minder betrouwbaar dan een gestoken boring. Bovendien wordt een boring meestal voorgesteld onder vorm van een boorbeschrijving, die opgesteld wordt aan de hand van een visuele en manuele inspektie. Subjektiviteit, gebrek aan ervarenheid en precisie van de waarnemer leiden dan ook vaak tot zeer uiteenlopende beschrijvingen. Om die redenen werden boorverslagen (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.

Er werd vastgesteld dat de beschrijving zeer dikwijls onnauwkeurig was bij de beschrijving van grondsoortmengsels (vooral wanneer weinig materiaal van de ene soort in de andere voorkomt of omgekeerd) en van slecht gesorteerde zanden. Bij deze laatste heeft men dikwijls de neiging het zand te noemen naar de grofste korrels omdat die het best worden gevoeld. Dikwijls werd ook opgemerkt dat de aanwezigheid van enkele grove korrels in een massa fijn zand niet vermeld was, dat geen verschil gemaakt was tussen de zandsoorten en dat de grintelementen niet naar aard en afmetingen waren beschreven.

Meestal is de boorbeschrijving beter wanneer enkele goed gekozen granulometrische analysen voorhanden zijn; deze laten toe een objektieve kontrole op de beschrijving te verrichten. 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 in geval nog monsters voorhanden waren in de mate van het mogelijke getracht deze opnieuw te beschrijven op een uniforme manier (zie verder).

### 2.2.4. VOORSTELLING OP KAART; GEGEVENSDICHTHEID (KAART 1)

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

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 serie- en een volgnummer. Waarnemingen van dezelfde soort (boring of sondering) in groep zijn meestal in dezelfde serie ondergebracht. Het serienummer is dan gewoonlijk in een cirkeltje afzonderlijk 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). Wanneer voldoende duidelijk en niet afzonderlijk omcirkeld werd het serienummer in een opeenvolging niet steeds herhaald (b.v. sonderingen 17 1,2,3 in het vierkant 067/224).

Indien de dichtheid te hoog opliep zijn enkel de interessantste waarnemingen voorgesteld (b.v. in de omgeving van de Nieuwe Zeesluis). Op de kaart werden aldus 1082 waarnemingen voorgesteld, waarvan 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 blijkt dus een opvallend overwicht van de gegevens in het noordelijk deel van het studiegebied te bestaan.

Het klassifikatiesysteem laat toe op eenvoudige wijze de waarnemingen terug te vinden. Deze berusten in het Geologisch Instituut, Leerstoel voor Toegepaste Geologie, Dienst van Prof. Dr. W. DE BREUCK, Krijgslaan 271 te Gent.

Om een waarneming vermeld in deze studie op de situatiekaart terug te vinden volstaat het bijlage I te raadplegen, hierin zijn de koördinaten gegeven van de oorsprong van de overeenkomstige vierkanten waarin ze liggen. Voor wat de waarnemingen (bestaande en nieuwe) van het Geologisch Instituut betreft is de lijst volledig en indien aanwezig in dit werk aangevuld met een verwijzing naar de overeenstemmende figuren.

## 2.3. AANVULLENDE WAARNEMINGEN

Uitgaande van de dichtheid, de betrouwbaarheid en de indringingsdiepte van de verzamelde puntwaarnemingen werd een aanvullend waarnemings- en proevenprogramma uitgestippeld.
Dit bestond uit :

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

### 2.3.1. DIEPSONDERINGEN

Met het doel van de studie voor ogen werd de meeste aandacht besteed aan diepsonderingen met kleefmantelkonus. Ze bieden belangrijke voordelen ten opzichte van boringen, namelijk de snelheid van uitvoering, het dieptebereik en een gedetailleerde litologische en stratigrafische informatie (zie verder).

In totaal zijn 68 diepsonderingen verricht waarvan er 37 meer dan 30 m en 65 meer dan 20 m indringing bereikten. Voor de uitvoering stond een 100 KN hydraulisch sondeerapparaat vervaardigd door de Goudsche Machinenfabriek (Gouda) ter onzer beschikking (fig. 1). Als maximum indringingsdiepte werd 43,5 m gehaald.

De diepsonderingen werden uitgevoerd in twee perioden. Een eerste van maart tot mei 1978 en vooral toegespitst op het vergelijkend onderzoek in verband met de aangewende 10 cm-meetstap. Teneinde rechtstreekse informatie te verkrijgen over de litologie en stratigrafie werden 4 paren diepsonderingen van het vergelijkend onderzoek naast vier bestaande droge diepboringen van het Geologisch Instituut verricht. Een tweede serie sonderingen liep van maart tot juli 1979 en omvatte het merendeel van de voorziene aanvullende waarnemingen. De rustpauze tussen de twee kampagnes werd benut om de mogelijkheden van diepsonderingen beter te leren kennen. Bovendien kon een eerste litostratigrafische interpretatie van het studiegebied worden voltooid zodat hiermee rekening houdend de overblijvende aanvullende proeven optimaal konden worden ingeplant.

Het principe evenals de mogelijkheden van sonderingen worden behandeld in hoofdstuk 5.

### 2.3.2. HANDBORINGEN EN GESTOKEN BORINGEN

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

Omwille van de relatieve onnauwkeurigheid van droge boringen werden met het oog op het verkrijgen van enkele zeer gedetailleerde puntwaarnemingen van de bovenste 10 m, drie gestoken boringen uitgevoerd. De inplanting van deze vrij kostbare proeven diende zo optimaal mogelijk te gebeuren hetgeen slechts mogelijk was na de afwerking van de laatste sonderingen. Naast de meest interessante sonderingen werd zo dicht mogelijk een gestoken boring verricht. De keuze van de plaatsen berustte op het belang van de sonderingen in verband met de afbakening van stratigrafische en litologische grensvlakken.

De gestoken boringen zijn uitgevoerd met een Mostap Ø 35-steekapparaat (fig. 2)(konstrukteur : Ingenieursburo A.P. v.d. Berg). Eigenlijk is het apparaat ontworpen voor sondeerwagens maar mits enkele aanpassingen ook te gebruiken op het 100 KN sondeertoestel.

De monstername gebeurt diskontinu in lengten van 1 m. Volgens de konstrukteur bekomt men een vrijwel ongeroerd monster. 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 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.

Het apparaat werkte voortreffelijk in weinig en meer samenhangende grondsoorten, maar in onsamenhangende grondsoorten deden zich 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. Het lag dan ook in onze bedoeling dit euvel te verhelpen door middel van een "zandvanger". Wegens tijdsgebrek kon het ontwerp tot op dit moment nog niet worden beproefd.

Een tweede periode van eind 1979 tot begin 1980, waarin 18 handboringen werden uitgevoerd, sloot het veldwerk af. Deze serie diende ter toetsing van sleutelplaatsen bepaald door fotointerpretatie. Deze had vooral betrekking op het verband tussen opgevulde kreken, veengebieden en uitgeveende zones (zie verder).

### 2.3.3. PROFIELOPNAMEN

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

Gezien de lengte (meer dan 2 km), de diepte (5-6 m), de rechtlijnigheid en de vertikaliteit van de sleufwanden werd daardoor een zeldzame kans geboden om de komplexe bouw van de bovenste afzettingen met het blote oog waar te nemen. Omdat deze profielen centraal in het studiegebied lagen werd zeer veel tijd en zorg besteed aan deze faze van het veldwerk.

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

## 2.3.4. HERBESCHRIJVING VAN BORINGEN; LEGENDE BOORPROFIELEN (FIG. 3)

Met het oog op een meer uniforme boorbeschrijving hebben we 25 interessante bemonsterde boringen met een totale lengte van 1035 m herbeschreven.Het waren alle droge boringen met ontname van ten minste één monster om de halve meter. Hieronder bevinden zich 10 droge diepboringen (= 398 m), eerder door het Geologisch Instituut in het gebied geslagen en 15 droge diepboringen (= 637 m) bewaard in het Rijksinstituut voor Grondmechanica te Zwijnaarde. Deze laatste zijn uitgevoerd in het bestek van het globaal grondonderzoek van de toekomstige zeehaven en de kryogene gasleidingen in het achterland.

Voor de boringen van het Geologisch Instituut valt nog aan te stippen dat er principieel om de 0,5 m bemonsterd is tenzij bij overgangen van laag of veranderingen in grondsoort waar een kleinere tussenstap (soms tot 10 cm) werd aangehouden. Tijdens de herbeschrijving werden ook monsters weerhouden voor granulometrisch onderzoek.

Bij de beschrijving op zicht (= visuele en manuele inspektie) werd aandacht besteed aan volgende aspekten :

- bepaling van de hoofdbenaming uitgaande van een schatting van de granulometrie en de plasticiteit
- kleur
- kalk : schatting hoeveelheid (HCL-proef) : weinig kalkhoudend, kalkhoudend, sterk kalkhoudend
- humusdeeltjes - schatting van de hoeveelheid : weinig humushoudend, humushoudend, sterk humushoudend
  - aard en voorkomen : veenvezeltjes, veenbrokken, koncentraties, in slierten
  - afmetingen
- bijzonderheden in de granulometrie en de mineralogie van de zandfraktie : naast hoofdfraktie melding van opvallende korrels (b.v. grove kwartskorrels (heldere kwarts, melkkwarts) in een grondmassa van fijn zand))
- nadere omschrijving van de grintelementen
  - hoeveelheid : weinig, met, veel, zeer veel, uiterst veel grintelementen
  - aard : silex, zandsteen, melkkwarts, schelpen, enz.
  - afmetingen

- 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, sterk verweerd, verweerd, weinig verweerd

- glauconiet
  - hoeveelheid : weinig glauconiethoudend, glauconiethoudend, sterk glauconiethoudend
  - afmetingen

- glimmers
  - hoeveelheid : weinig , met , veel glimmers
  - afmetingen

De herbeschrijvingen van de boringen berusten in de dossiers van het Geologisch Instituut, Leerstoel voor Toegepaste Geologie, Krijgslaan 271 te Gent. Evenwel zijn de meeste onder vorm van een boorprofiel grafisch in dit werk voorgesteld (zie bijlage I). Daarom is in de boorprofielen ernaar gestreefd de grondsoorten en hun aanvullende kenmerken zodanig voor te stellen dat een vrij exakte rekonstruktie kan worden gemaakt. Als uitgangspunt voor de legende (fig. 3) is vertrokken van de konventionele symbolen voor de zuivere grondsoorten van toepassing in het Rijksinstituut voor Grondmechanica te Zwijnaarde. Voor wat de benamingen zand, leem, klei, hun onderlinge mengsels (2 grondsoorten), humus-, glauconiet- en grintelementeninhoud betreft beantwoorden de benamingen aan de in deze studie gangbare grondklassifikatie (zie hoofdstuk 4). De gradatie gemaakt in de hoeveelheid klei-, leem- of veenbrokken is daarentegen kwalitatief. Mengsels van klei, leem en zand zijn naargelang van hun respektievelijke hoeveelheid verhoudingsgewijs voorgesteld. Het symbool met de grootste oppervlakte duidt in dit geval de hoofdgrondsoort aan. Indien een mengsel van twee grondsoorten (b.v. kleihoudend fijn zand) humus bevat dan behoudt het symbool voor de hoeveelheid humus zijn grootte en is de overblijvende oppervlakte overeenkomstig de legende verhoudingsgewijs opgedeeld. Voor de zandsoorten is onderscheid gemaakt tussen 1) zeer fijn en fijn zand, 2) middelmatig zand en 3) middelmatig grof en grof zand. Het voorkomen van middelmatig grove tot grove korrels in een fijnere grondmassa wordt door kombinatie van de respektievelijke symbolen aangeduid.

# 3. GEOLOGIE

In deze studie zullen de eenheden beneden en boven het peil -40 m gerekend worden respektievelijk tot de diepe en ondiepe ondergrond. Uitgaande van dit kriterium zijn de diepere lagen onder te brengen in het Paleozoïcum, het Mesozoïcum en het Tertiair en de ondiepe in het Tertiair en het Kwartair. Zal de diepe ondergrond slechts vluchtig worden besproken dan behoort de ondiepe ondergrond tot het specifiek domein van deze studie.

## 3.1. Paleozoïcum en Mesozoïcum

De paleozoïsche 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 terwijl 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

### 3.2.1. LITOSTRATIGRAFISCHE SCHAAL

Aangaande de naamgeving van de tertiaire afzettingen is gesteund op de nieuwe litostratigrafische indeling voor het NW-Europees Tertiair Bekken welke onlangs is voorgesteld door de Subgroep Litostratigrafie en Kaarten (1980) (medewerkers voor België : P. LAGA, S. GEETS, T. MOORKENS en D. NOLF, 1980). Deze schaal is echter nog niet volledig voor wat de indeling in leden betreft en wordt daarom gedeeltelijk aangevuld met de door P. JACOBS (1975,1978) voorgestelde indeling. Indien nodig is de naam verduidelijkt met de legende van de Geologische Kaart van België van 1892 (Legende, 1892). Specifiek voor het Tertiair

in het studiegebied zijn te vermelden :

Eoceen

| | | | |
|---|---|---|---|
| Formatie van Kallo | : | Lid van Ursel | |
| | | Lid van Asse | |
| | | Lid van Wemmel | |
| Formatie van Lede | : | Lid van Balegem | |
| Formatie van Brussel | : | Lid van Brussel | |
| Formatie van den Hoorn | : | Lid van Aalter } | |
| | | Lid van Oedelem } | (P2) |
| | | Lid van Beernem } | |
| Formatie van de Mont-Panisel | : | Lid van Vlierzele | (P1d) |
| | | Lid van Pittem | (P1c) |
| Formatie van Ieper | : | Lid van Merelbeke | (P1m) |
| | | Lid van Egem | (Yd) |
| | | Lid van Vlaanderen | (Yc) |

Paleoceen

Formatie van Landen

Opmerking :

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

### 3.2.2. DE DIEPE TERTIAIRE EENHEDEN

#### 3.2.2.1 Formatie van Landen

Op het Mesozoïcum volgen er lagen grijs fijn zand en klei, die ligniethoudend kunnen zijn, en die behoren tot de Formatie van Landen. Deze 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 (zie isohypsenkaart G. DE GEYTER, 1980).

#### 3.2.2.2. 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 boringen (7.126, 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 glauconiet. 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 waaruit 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 blijkt. In de recente boring 14.2 werd de topzone aangeboord over 2 m en dit vanaf -89,5 m. De monsters hadden dezelfde samenstelling zoals aangegeven, 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 14.2 worden geïdentificeerd. Hierin bereikte de eenheid een dikte van 13,3 m tussen -76,5 m en -89,8 m; ze bestond er hoofdzake-

lijk uit blauwgrijze stijve schilferige klei, waarin soms zandlensjes of -sliertjes (enkele mm dikte) te zien waren. De onderste 0,75 m evenals de bovenste 2-3 m waren weinig glauconiethoudend. Bovendien bevatte de bovenste 2-3 m naast een weinig glimmers duidelijk meer zand, voorkomend in glauconiethoudende zandige- en fijn zandhoudende kleilenzen. Omwille van de glauconiet was de kleur van de topzone donkergroen. In tegenstelling tot haar scherpe onderbegrenzing bleek de overgang naar de bovenliggende formatie eerder geleidelijk.

In 3 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.

3.2.2.3. 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) (S. GEETS, 1978) genaamd is een waddenafzetting met een grillig litologisch karakter. In boring 14.2 was deze eenheid aansluitend op het Lid van Merelbeke duidelijk te herkennen; men kon er verschillende zones onderscheiden. De boven- en ondergrens waren evenwel onduidelijk.

Een onderste pakket van 6 m dikte bestond uit een afwisseling van lagen donkergroengrijze glimmer- en weinig glauconiethoudende zandhoudende klei en kleihoudend fijn zand. De bovenste 2 m van deze zone bevatte siliceuze glauconiethoudende zandsteenkonkreties (0,5 cm Ø) en enkele brokjes organisch materiaal (0,5 cm Ø). Een tweede zone van 8 m dikte was essentieel samengesteld uit groengrijs weinig glauconiethoudend, weinig glimmerhoudend kleihoudend fijn zand met lenzen weinig glauconiethoudende klei. Sporadisch zijn hierin enkele fossielen waargenomen. In het midden van de zone werden harde siliceuze glauconietzandsteenkonkreties (tot 2 cm Ø) aangetroffen. Daarop rustte 3 m vrij homogeen donkergrijsgroen, weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand met grote

glimmers (tot 1 mm). Volgens deze interpretatie bereikt het Lid van Pittem in DB 14.2 een dikte van 17 m met de bovengrens op -59,4 m. Het is evenwel niet uitgesloten dat die bovenste 3 m reeds behoort tot de bovenliggende Formatie van den Hoorn.

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 glauconiet en glimmers. Het bevat vaak verharde zandsteenblaadjes en weinig glauconiethoudende grijze veldsteenstukken (tot 2 cm). Bovenaan wordt de eenheid dikwijls begrensd door een donkerbruine veenhoudende kleiige of lemige zone, gekend als de "laag van Aalterbrugge" (A. HACQUAERT, 1939); deze 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 waarschijnlijk voor in de laatste 3 à 4 meter van de boringen 14.3 en 14.4 die ten noorden van het studiegebied zijn gelegen. In beide boringen vonden we beneden de vermoedelijke ondergrens van de Formatie van den Hoorn (respektievelijk -71,5 m en -68,9 m) een donkergroengrijs weinig glauconiethoudend fijn tot zeer fijn zand dat, in tegenstelling tot de bovenliggende lagen, opvallend grote glimmers (tot 1 mm) bevatte. Verder bleek het glauconiet van deze laag in DB 14.3 iets grover te zijn dan daarboven en werden in een zone tot 2 m onder de vermoedelijke bovengrens in DB 14.4 veel zwarte vlekken waargenomen (laag van Aalterbrugge ??). Ook in DB 7.69, ongeveer 1 km ten zuiden van DB 14.2, vermelde F. HALET tussen de peilen -62,0 m -63,8 m het voorkomen van een groengrijs zeer fijn zand met glimmers. De daaronder liggende sedimenten tot aan het peil -74 m bleken volgens zijn beschrijving opnieuw te beantwoorden aan het kleiïg faciës.

Tot besluit kan men zeggen 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 verwacht worden. Alhoewel het topvlak niet werd gekarteerd, is uit onze gegevens een helling van 0,6 % volgens de richting N 40° E af te leiden.

### 3.2.3. DE ONDIEPE TERTIAIRE EENHEDEN

#### 3.2.3.1. Stand van de kennis en aanpak

De nog niet behandelde formaties en leden aangegeven in de litostratigrafische schaal (zie 3.2.1) behoren tot het specifiek domein van onze studie.

Vermits P. JACOBS (1975) de litostratigrafie van het Boven-Eoceen en Onder-Oligoceen in noordwest België uitvoerig heeft behandeld werd in deze studie hierop ingehaalt. 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 de eenheden : Lid van Oedelem, Lid van Wemmel, Lid van Asse en Lid van Ursel te zijn vertegenwoordigd. Het Lid van Wemmel zou de top van het Tertiair vormen in een nagenoeg 2 kilometer brede strook die diagonaal het studiegebied kruist en waarvan de westelijke grens door de punten (067/225) en (072/220) loopt. Ten zuidwesten en ten noordoosten van deze strook zou het oppervlak van het Tertiair ingenomen worden respektievelijk 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 erosieresten ervan kunnen voorkomen in de basis van het Lid van Wemmel.

De Formatie van den Hoorn zou in het Zeebrugse enkel vertegenwoordigd zijn door het Lid van Oedelembovenaan en eventueel door 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).

In de optiek van dit onderzoek werd een verfijnde litostratigrafische karakteristie van de onderscheiden leden tot op het niveau van de laageenheid uitgewerkt. In dit hoofdstuk werd deze evenwel beperkt tot een synthetische beschrijving van een aantal boringen. In het volgende hoofdstuk zullen dan de specifieke granulometrische kenmerken worden belicht.

De kronostratigrafische positie van de eenheden werd op grond van paleontologische argumenten vastgesteld.

### 3.2.3.2. Litostratigrafie van de ondiepe tertiaire leden

In fig. 4 zijn twaalf boringen (11 DB en 1 GB (13.14)) samengebracht. De profielen zijn getekend vanaf de top van het Tertiair ofwel tot hun einddiepte ofwel tot aan de vermoedelijke bovengrens van de Formatie van de Mont-Panisel (DB 14.2 en 14.4). Zoals eerder besproken zou in DB 14.3 de laag tussen -71,5 m en -74,5 m eveneens tot deze formatie behoren. De profielen zijn vertikaal zodanig verschoven dat de overeenkomstige lagen ongeveer op hetzelfde niveau liggen. Omwille van betere overeenkomst werden de beschrijvingen soms aangepast aan de resultaten van bijhorend granulometrisch onderzoek. In geval de beschrijving werd overgenomen is de bron vermeld.

Op 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 profielen (zie verder) sommige lagen (b.v. T3) verder onderverdelen ofwel eenheden van een zeer beperkte omvang onderscheiden (b.v. T4,2 in T4,1). Dergelijke eenheden zijn tussen haakjes op de figuur vermeld maar worden volledigheidshalve besproken. Het feit dat dunne eenheden zoals in T3 niet in de boringen opgemerkt werden vindt zijn oorsprong in het grote interval van de monsterontname bij droge boringen (om de 0,5 m).

Laag T1

Deze laag bestaat uit een donkergroengrijs weinig glauconiethoudend tot glauconiethoudend, 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.

Laag T2 (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 glauconiethoudend, weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand veel tot uiterst veel weinig verweerde schelpen en schelpfragmenten waaronder veel Cardita planicosta (CP) en Turritella (TU) (fig. 4). Gewoonlijk overweegt Cardita planicosta onderaan, terwijl Turritella bovenaan in de laag. In het midden komen ze in gelijke hoeveelheden voor.

Op grond van de aard en de hoeveelheid schelpen bakent men in de boringen maar veel duidelijker in de diepsonderingen een aantal sublagen af. Een onderste zone T2,0 onderscheidt zich doordat tegen de basis van T2 (DB 14.4) of iets erboven (DB 14.1) de koncentratie aan Cardita (tot 5 cm Ø) zo hoog oploopt dat men van een schelpenbank kan spreken; deze is soms verhard zoals in het zuidwesten van het gebied. Hierop volgt een 2,5 à 4 m dikke hoofdzone T2,2 die veel tot zeer veel Cardita (3 cm Ø) en Turritella (1-2 cm Ø) 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. Bovenaan is de laag T2 begrensd door een 0 tot 2 m dikke opvallend minder schelprijke laag (T2,3) (niet in DB 14.1).

Laag 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 glauconiethoudend, kleihoudend zeer fijn zand met lagen zandhoudende klei. In het kleihoudend zeer fijn zand zijn dikwijls zuivere grijze kleibrokken (tot 5 cm Ø) aangetroffen. Deze eenheid bevat gemiddeld weinig schelpen tot schelpen (1-2 cm Ø), die

meestal sterk verweerd zijn. De dikte van T3 bedraagt 2 tot 3 m.

In diepsonderingen kan T3 duidelijk worden opgesplitst in drie sublagen (zie 5.3.3.4). Onderaan bestaat T3 uit 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 à 0,4 m dik kleilaagje (T3,3).

Laag T4 (T4,1, T4,2)

Boven T3 komt er 2 à 4 m donkergroengrijs weinig glauconiethoudend, weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand (T4,1) voor dat veel tot zeer veel, weinig tot sterk verweerde schelpen en schelpfragmenten (1-3 cm) 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 op verschillende niveaus zeer plaatselijk diskontinue steenbanken bevat.

Laag T5

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

Het geheel bevat gemiddeld weinig meestal sterk verweerde schelpen; sporadisch komen koncentraties van schelpen voor 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 naar de door M. GULINCK, en P. LAGA gegeven beschrijving (zandhoudende silt) lijkt ons eerder afwijkend. Uit de andere boringen blijkt een dikte van 1 tot 2,5 m.

Laag T6 (T6,1, T6,2)

De laag T6,1 bestaat uit donkergroengrijs weinig glauconiethoudend, weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand met weinig tot zeer veel sterk verweerde schelpfragmenten (meestal <1 cm). Plaatselijk zijn op verschillende niveaus diskontinue steenplaketten (T6,2) te verwachten. De dikte van deze zandige

eenheid beloopt 3,5 tot 5,5 m met een gemiddelde van ongeveer 4 m.

Laag T6,3

Deze eenheid vormt de eerste glauconiethoudende kalkzandsteenbank met een nagenoeg kontinu verloop. In boringen vindt men ze terug als brokstukken vermengd met bovenliggend (?) materiaal. De door de glauconietkorrels zwart of donkergroen gespikkelde groengrijze tot lichtgrijze brokstukken hebben een wisselende hardheid gaande van zeer broos tot hard. Naast glauconietkorrels treft men enkele schelpfragmenten aan.

Boringen laten niet toe te bepalen of deze bank al dan niet homogeen of uit opeengestapelde plaketten is opgebouwd. Uit analogie met gelijkaardige banken mogen waarschijnlijk beide aspekten worden verwacht. Trouwens in DB 1.6 blijkt de bank te zijn vertegenwoordigd door twee afzonderlijke niveaus terwijl ze in GB 13.14 door de boorder als vrij homogeen werd bestempeld. De totale dikte bedraagt gewoonlijk minder dan 0,5 m maar kan 1 m bereiken.

Vermits de steenbank ofwel afwezig, ofwel gesplitst, ofwel gering of aanzienlijk in dikte kan zijn, is het symbool T6,3 gebruikt ter aanduiding van de zone waarin de steenbank (of steenplaketten) te verwachten is. Dit geldt eveneens voor de symbolen van de andere steenbanken.

Laag T7,1

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

Laag T7,2

Op de laag T7,1 ligt een tweede steenbank eveneens met een nagenoeg kontinu horizontaal verloop en dezelfde kenmerken als T6,3.

Uit diepsonderingen in het zuidelijk deel van het studiegebied blijkt deze bank te zijn samengesteld uit twee of drie circa 0,2 m dikke verharde niveaus die van elkaar gescheiden zijn door niet-verharde zones van ongeveer 0,5 à 0,9 m dikte. Dit is waar te nemen in DB 13.12. De totale dikte van deze samengestelde bank schommelt van 0,2 tot 1,8 m al naar gelang van de dikte van de tussenzones en de afwezigheid van één of twee steenniveaus.

Laag T8,1

Op het steenniveau T7,2 volgt er 2 tot 5 m donkergroengrijs weinig glauconiethoudend, weinig kleihoudend zeer fijn zand waarin sterk verweerde schelpen en ophopingen van schelpen aanwezig zijn. Plaatselijk komen in deze laag meer klei- of leemhoudende niveaus voor zoals bovenaan in DB 13.13 en 13.12.

Laag T8,2

Gewoonlijk wordt T8,1 bedekt door een derde steenbank die echter in tegenstelling tot de vorige twee minder kontinu schijnt te zijn. Bovendien is deze bank bedekt door uiteenlopend materiaal en zijn tussen de bovenste steenfragmenten ervan in DB 14.1, 14.2 en 14.3 gerolde en verkiezelde nummulieten aangetroffen.

Laag T9

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

Deze laag bestaat uit zones van groengrijs glauconiethoudend, weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand, die vooral naar boven toe afwisselen met 0,5 tot 1 m dikke groengrijze glauconiethoudende, zandhoudende kleilagen. In tegenstelling tot de vorige eenheden is de glauconiet opvallend grover (middelmatig van korrel), gewoonlijk beter vertegenwoordigd en veelal in de bovenste meter van de eenheid gekoncentreerd in nesten (tot 1 cm Ø). Naast glauconiethoudende zones komen ook weinig glauconiethoudende (fijne glauconiet) zones voor zoals onderaan in de laag in DB 19.6 (tussen -32,7 en -34,7 m).

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 een koncentratie van grote (tot 10 cm Ø en 2 cm dik) en harde exemplaren van Ostrea werd opgemerkt.

Kenmerkend voor deze eenheid is de aanwezigheid van nummulieten. Omwille van hun stratigrafische betekenis is de onder- en bovengrens van de zone waarin nummulieten in de boringen zijn waargenomen aangegeven (fig. 4).

Vermelden we tenslotte nog het voorkomen van grove heldere kwartskorrels samen met de Ostrea in DB 14.4 en van kleine afzonderlijke glauconietzandsteenfragmenten (< 1 cm) verspreid in de massa.

Laag T10

Op de bovenste kleiïge zone van T9 volgt er een 3 à 5 m dikke grijze tot donkergroene glauconiethoudende tot sterk glauconiethoudende vaste klei waarin enkele minder belangrijke zandhoudende kleilenzen kunnen aanwezig zijn. Gewoonlijk neemt het glauconietgehalte toe naar de basis maar ook in het midden van de laag zijn hoge koncentraties waargenomen zoals b.v. in DB 14.11. Het glauconiet, dat donkergroen tot zwart van kleur en fijn tot middelmatig grof van korrel is, komt ofwel verspreid in de grijze kleimassa (hoofdzakelijk bovenaan in de laag), ofwel gekoncentreerd in nesten (1-2 cm Ø) en slierten (vooral in het midden en onderaan) voor. Naast glauconietkorrels bevatten de nesten en slierten meestal een gelijke hoeveelheid kwartszand.

Het kalkgehalte neemt geleidelijk toe van boven naar onder van kalkloos tot sterk kalkhoudend. Dit hangt samen met de aanwezigheid van kleine verweerde schelpjes maar nog meer met het verschijnen in de onderste 1-2 m van nummulieten waaronder vooral Nummulites orbignyi, die soms in hoge koncentraties kunnen aanwezig zijn. Naast Nummulites orbignyi komen evenwel nog andere nummulieten voor.

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 glauconiet.

Laag T11

Op de glauconiethoudende vaste klei volgt er een dikke laag grijze vaste klei die grosso modo niet kalkhoudend is. Soms is de basiszone van zowat 2-4 m dikte een weinig kalkhoudend door het voorkomen van enkele verweerde schelpjes. Naast pyriteuze vlekjes (tot 0,5 cm Ø) bevat de klei soms een weinig meestal afgeplatte zandnestjes (tot 1 cm lang).

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

3.2.3.3. Kronostratigrafie van de ondiepe tertiaire eenheden

Uit voorgaande beschrijvingen blijkt dat de laag T9 de aanzet vormt van een belangrijke klei-fase, die ingesneden schijnt te zijn in de onderliggende eenheden. De talrijke nummulieten in deze laag doen het kronostratigrafisch belang ervan toenemen. Aan de hand van een paleontologisch onderzoek op foraminiferen en ostrakoden werd nagegaan waar deze eenheid zich kronostratigrafisch bevindt.

Dit onderzoek werd voor wat betreft de nummulieten uitgevoerd door de heren A. BLONDEAU, D. CURRY en D. NOLF en voor de ostrakoden en kleine foraminiferen door W. WILLEMS.

Hiervoor werden 10 monsters bewerkt : 6 uit DB14.1 (nr. 123, 124, 127, 129, 131 en 133) en 4 uit DB 19.6 (nr. 7I, 72, 73 en 74). In alle monsters behalve nr. 73 zijn de nummulieten bestudeerd; de ostrakoden en de kleine foraminiferen werden bepaald in de monsters 71, 72, en 74. De plaats van de monsters is op fig. 4 aangegeven. De determinaties en besluiten van deze onderzoekers zijn samengevat in de tabellen 2, 3 en 4.

3.2.3.3.1. De nummulieten (tab. 2)

De talrijke N.orbignyi, de hergekristalliseerde (geremanieerde) N. laevigatus en het niet specifieke karakter van N. variolarius wijzen voor de bovenste vier monsters van DB 14.1 op een Bartoniaan-ouderdom (= Laat-Lutetiaan volgens A. BLONDEAU et al. 1965).

Van de zeldzame kleine nummulieten in monster 131 is D. CURRY niet erg zeker maar acht de soort N.laevigatus het meest waarschijnlijk wat een Brusseliaan-ouderdom zou betekenen.

Het stratigrafisch oudste monster 133 kon niet worden bepaald bij gebrek aan bruikbare makrofossielen.

Afgezien van het onzekere monster 131 behoren de eenheden T9 en T10 in DB 14.1 dus tot het Bartoniaan. Rekening houdend met hun litologie dient T9 tot het Lid van Wemmel (zand) en T10 tot het Lid van Asse (glauconietrijke klei) gerekend te worden.

De monsters 72 en 74, uit DB 19.6 zijn volgens A. BLONDEAU op grond van de zeer gave exemplaren van N. laevigatus, met onder meer typische vormen uit het Brusseliaan, van Vroeg-Lutetiaan (= Brusseliaan)-ouderdom. De eenheid T9 is hier dus blijkbaar ouder dan in DB 14.1.

Ook mosnter 71 heeft volgens hem een Vroeg-Lutetiaan-ouderdom alhoewel de N. laevigatus verweringsverschijnselen vertoonde wat kan wijzen op een overgangspositie.

Litologisch blijken de sedimenten in DB 19.6 1 m boven het monster 71 goed overeen te stemmen met het faciës van T9 in DB14.1 (hoog klei- en glauconietgehalte, middelmatig grove glauconietkorrels); de monsters 71 tot 74 bevatten daarentegen weinig klei en geen grove glauconiet. Bovendien verschilt ook de kleur : daar waar de monsters 72, 73 en 74 donkergroengrijs zijn is de afzetting vanaf 71 tot aan de basis van de glauconiethoudende klei opvallend bleker. Met de begrenzing in de buurt van het monster 71 dient T9 in DB 19.6 te worden opgesplitst in een bovenste gedeelte dat tot het Lid van Wemmel (Bartoniaan) en een onderste gedeelte dat tot de Formatie van Brussel behoort (Brusseliaan).

3.2.3.3.2. De mikroforaminiferen en de ostrakoden

De monsters 71, 72 en 74 uit DB 19.6 werden door W. WILLEMS verder onderzocht naar hun inhoud aan mikroforaminiferen en ostrakoden (tab. 3 en 4).

Bentonische foraminiferen (zie tab. 3)

De kenmerkende foraminiferen van het Lid van Wemmel naar het werd van J. KAASSCHIETER (1961) zijn niet teruggevonden.

Volgens J. KAASSCHIETER (1961) bevatte de Zanden van Lede (Lid van Balegem) zeer veel soorten van de suborde Miliolina (19 op 142 soorten). In het bestudeerd materiaal is deze suborde nauwelijks vertegenwoordigd (4 op 81 soorten).

Van de 14 soorten die beperkt zijn tot, typisch zijn in, of hun laatste optreden hebben in de Zanden van Brussel (Lid van Brussel) (J. KAASSCHIETER, 1961) komen er 10 voor in deze monsters.

In de monsters komen een aantal soorten (9) voor die slechts gekend zijn vanaf de Zanden van Lede (Lid van Balegem) (J. KAASSCHIETER, 1961). Vier ervan werden echter onlangs aangetroffen in de Formatie van Ieper (W. WILLEMS, 1980).

Uit voorgaande kan men besluiten dat de bentonische foraminiferen het best overeenstemmen met die van de Zanden van Brussel (Formatie van Brussel) zoals opgegeven door J. KAASSCHIETER (1961).

Planktonische foraminiferen

Deze groep is vrij zeldzaam en bevat slechts 4 soorten waarvan Turborotalia pentacamerata een gekende Vroeg- en Midden-Eocene soort is (P8-zone).

De kleine soort Guembelitria trisceriata is gekend vanaf de top van de Klei van Vlaanderen (Lid van Vlaanderen) en in het Zand van Ledeberg (Lid van Egem) (W. WILLEMS, 1980).

Globanomalina wilcoxensis en Globanimalina cf. micra (zeldzaam en enkel vanaf 72) zijn soorten typisch voor het Vroeg-Eoceen (G. wilcoxensis) en Midden-Eoceen (beide soorten) (W. CORDEY et al., 1970).

Volgens het verband breedte laatste kamer - grootste spiraaldiameter (fig. 5) zijn de G. wilcoxensis specimen uit deze monsters meer karakteristiek dan die uit het Vroeg-Eoceen (W. WILLEMS, 1980) (zie fig. 5) en uit het Laat-Eoceen (J. KAASSCHIETER, 1961).

Eén specimen valt in de G. sharkriverensis-groep gekend uit het Midden-Eoceen van Australasia (W. CORDEY et al., 1970). De twee Globanomalina cf. micra vallen in de micra s.l.-cluster.

Deze associatie wijst op een voor de monsters Midden-Eocene ouderdom.

Ostrakoden (tab. 4)

Uit de stratigrafische verbreiding van de Ostracoda volgt een duidelijke affiniteit met associaties uit het Lutetiaan (volgens A. KEIJ, 1957). Een soort (Cyamocytheridea diegemensis) is beperkt tot de Zanden van Brussel (A. KEIJ, 1957).

Problematische mikrofossielen

Deze mikrofossielen komen veel voor in de bestudeerde monsters en de populatie vertoont affiniteit met die beschreven uit de Zanden van Lede (Lid van Balegem) en de Zanden van Wemmel (Lid van Wemmel) in de boring van Kallo (W. WILLEMS, 1975). Deze mikrofauna is tot hiertoe nog niet beschreven voor het Lid van Brussel.

Volgens de bevindingen van W. WILLEMS vertoont de mikrofauna uit de monsters 71, 72 en 74 een duidelijke affiniteit met die uit de Zanden van Brussel (Formatie van Brussel) en wordt hiermee de ouderdom gesteund op de nummulieten bevestigd.

3.2.3.4. Onderbrenging van de beschreven laageenheden in de specifieke leden en formaties

Het paleontologisch onderzoek heeft uitgewezen dat in het noorden van België er inderdaad resten van de Formatie van Brussel zijn opgenomen in de basis van het Lid van Wemmel zoals reeds door P. JACOBS in 1975 werd vermeld. In principe zou hiervoor een andere laagcode dienen te worden ingevoerd maar gezien het zeer lokale karakter van de erosieresten zullen we ze in het verder verloop van deze studie tot de eenheid T9 blijven rekenen.

Men kan zich de vraag stellen waar de ondergrens van T9 mag worden gelegd. In boring 19.6 vormt monster 74 het diepste niveau tot waarop nummulieten zijn aangetroffen. Verder is geweten dat N. laevigatus karakteristiek is voor de Formatie van Brussel en N. orbignyi voor het Lid van Wemmel-Asse. N. variolarius is minder

karakteristiek maar werd door P. JACOBS (1975) in de onderliggende Formatie van den Hoorn nergens opgemerkt. Steunend hierop kan de ondergrens gekozen worden tot waarop nummulieten zijn aangetroffen. In fig. 4 ligt deze grens in de omgeving van de top van laag T8,2 en waar deze ontbreekt ter hoogte van de top van T8,1.

Uit analogie tussen de litostratigrafische beschrijving van de laageenheden T1 tot T8,2 met die van de Formatie van den Hoorn in de omgeving van Oedelem (P. JACOBS, 1975; D. NOLF, 1972) en mede door het feit dat de lagen beneden het niveau van monster 74 (DB 19.6) Brusseliaan of ouder moeten zijn, en dus geen Lediaan zoals zeer vaak wordt gesteld, is een korrelatie met de Formatie van den Hoorn, meer bepaald met het Lid van Oedelem zeker.

Aangezien aan de basis van het Lid van Wemmel frekwent een goed ontwikkelde basisgrint van glauconietzandsteenfragmenten en akkumulaties van nummulieten (vooral N. laevigatus en N. variolarius) en schelpen of schelpfragmenten wordt aangetroffen kan dit ook hier worden verwacht. In DB 14.1 en 14.2 dient deze basiszone samen te vallen met de top van de steenbank T8,2; in DB 14.3 zouden de talrijke glauconietzandsteenfragmenten integraal tot deze zone kunnen behoren (akkumulatie van afbraakmateriaal van T8,2 ?); terwijl in DB 14.4 een verband met de koncentratie van Ostrea en grove kwartskorrels kan worden gelegd. In andere boringen (b.v. DB 1.6 en DB 19.6) kan het Lid van Wemmel (of de Formatie van Brussel) iets dieper zijn ingesneden tot in T8,1 wat de grotere diskontinuiteit van de bank T8,2 helpt verklaren.

Daar het basisgrint van het Lid van Wemmel en de steenbank T8,2 op ongeveer dezelfde diepten voorkomen, kan men ze in sonderingen en zelfs in boringen moeilijk van elkaar onderscheiden. Bovendien treft men soms op T8,2 nog resten van de topzone het Lid van Oedelem aan. Daarom werd het eerste bereikte steenniveau, zonder onderscheid en voor zover geen al te grote afwijking met de vermoedelijke plaats van T8,2 vastgesteld werd, steeds als T8,2 aanzien; al wat daarop rustte tot aan de basis van de bovenliggende kleilaag T10 werd tot de eenheid T9 gerekend. Aldus omvat T9 grotendeels het Lid van Wemmel, resten van de Formatie van Brussel en de topzone van het Lid van Oedelem. Resten van de Formatie van Lede werden in het studiegebied niet waargenomen.

Het Lid van Beernem kan in het studiegebied niet met zekerheid worden aangetoond. Geometrisch zou men de kleilaag aan de basis van het Lid van Oedelem in DB 14.2 evenals een 1,5 m dikke kleilaag op een vergelijkbaar niveau in DB 7.129 (nabij Dudzele) hiermee kunnen korreleren.

Uit kronostratografisch, litostratigrafisch en geometrisch oogpunt kunnen de eenheden T10 en T11 met het Lid van Asse en het Lid van Ursel (Formatie van Kallo) worden gekorreleerd.

De litostratigrafische laageenheden van de ondiepe tertiaire afzettingen in het studiegebied kan men samenvatten als volgt :

Formatie van Kallo : T11 = Lid van Ursel
T10 = Lid van Asse
T9 = Lid van Wemmel + erosieresten van :
- Formatie van Brussel
- Lid van Oedelem
(gedeelte boven T8,2)

Formatie van den Hoorn :
T8,2
↓ = Lid van Oedelem
T1

3.2.3.5. Vergelijking met de overeenkomstige tertiaire eenheden in de omstreken

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 bovenaan zeer fossielrijk is maar naar onder overgaat in een makrofossielloze zone. In de topzone komen bovendien drie niveaus kalkzandsteenbanken voor. De totale dikte in deze streek beloopt 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 regelmatige laagopeenvolging vertoont het Lid van Oedelem in het studiegebied eigenlijk een vierdelige bouw. Van onder naar boven onderscheidt men :

a) 5 à 9 m weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand met zeer weinig makrofossielen (eenheid T1),
b) 5 à 6,5 m weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand met zeer veel tot uiterst veel schelpen (eenheid T2),
c) een centrale zone van 6 à 7 m, die opvallend 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);
d) 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 glauconietkalkzandsteenbanken (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. Deze laatsten zijn dan ook hoofdzakelijk beperkt tot de eenheden T2, T4,1 en in mindere mate tot T6,1.

Het Lid van Wemmel

Het Lid van Wemmel komt in het studiegebied voor onder zijn typische faciës namelijk een glauconiethoudende schelphoudende kleihoudend fijn tot zeer fijn zand dat kleiïger en glauconietrijker wordt naar de top en als karakteristiek fossiel N. orbignyi bevat.

De dikte is evenwel herleid tot 1 à 4 m terwijl meer naar het zuiden meestal dikten van 4-5 m voorkomen.

Voor het eerst is in het noorden van België een erosierest van de Formatie van Brussel in de basis van het Lid van Wemmel aangetroffen. Erosieresten van de Formatie van Lede, aangetoond in de omgeving van Knesselare (P. JACOBS, 1975) zijn niet gevonden.

Het Lid van Asse-Ursel

Omwille van de geleidelijke overgang van het Lid van Wemmel naar het Lid van Asse werd vanuit litostratigrafisch oogpunt de ondergrens voor het Lid van Asse daar gelegd waar de klei de overhand neemt. Hierdoor bereikt deze afzetting in het studiegebied een dikte van 4-5 m tegenover 2-4 m in de streek van Oedelem.

In beide streken vertoont het lid hetzelfde faciës, namelijk een glauconiethoudend tot sterk glauconiethoudende stijve klei met onderaan veel N. orbignyi. Een echte glauconietzone ("Bande noire")werd evenwel niet aangetroffen. Wel werden in de laag op verschillende diepten van het ene boorgat tot het andere, soms zeer glauconietrijke zones aangetroffen.

Aansluitend op het Lid van Asse volgt de vrij 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

De kwartaire eenheden werden op dezelfde manier als die van het Tertiair behandeld. Aan de hand van een reeks boringen zijn de litologie en de relatieve posities van de eenheden besproken. Daarna werd de kronostratigrafische positie vastgesteld.

Teneinde een klaar beeld te verkrijgen van de vrij ingewikkelde verhoudingen tussen de kwartaire eenheden leek het ons nuttig kort 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.

## 3.3.1. KWARTAIRE ONTWIKKELINGSGESCHIEDENIS VAN DE OOSTELIJKE KUSTVLAKTE

### 3.3.1.1. Pleistoceen

Gedurende het Pleistoceen waren de verlandings- en overstromingsfasen 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 erosiefasen 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 ondermeer voor gevolg dat nagenoeg geen Vroeg- en Midden-Pleistocene afzettingen in onze kuststreek bewaard gebleven zijn.

Tijdens het daarop volgende interglaciaal, het Eemiaan, greep een belangrijke sedimentatie plaats waarvan de afzettingen in de kuststreek heden ten dage 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. VAN HOORNE, 1972; R. PAEPE et al., 1972; G. DE MOOR en W. DE BREUCK, 1973) in de centrale kustvlakte en 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 fluviatiele 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) respektievelijk tot het Weichseliaan en het Laat-Weichseliaan of het begin van het Holoceen. Volgens deze acteurs 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 3 m grinthoudend (schelphoudend) middelmatig tot grof zand (zone van Platheule) dat waarschijnlijk met de afzetting van Wenduine te korreleren is, en bovenaan uit 1 tot 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. VAN HOORNE, 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 kontinu en meestal rechtstreeks onder het oppervlakteveen aangetroffen. Het is er aanwezig onder vorm van een dik pakket (tot 15 m) fijne zanden waarin lensvormige leem- (tot 2 m dik) en venige lagen geïnterkalleerd zijn (F. VAN RUMMELEN, 1965).

3.3.1.2. 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 fluviatiele 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 ondergeschikt 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 Kales, gevolgd door de sedimentatie van de afzetting van Calais. Lange tijd werd deze afzetting beschouwd als ontstaan door één belangrijke transgressiefase (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 fasen (Calais 1, 2, 3, 4) vertegenwoordigd door vier litostratigrafische eenheden (zanden en kleien) die van elkaar gescheiden 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 oppervlakteveen 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 omgeving 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. VANNIEUWENBORG, 1973)

zouden de afzetting van Houtave (fijn tot middelmatig fijn zand met kleilensjes en met vooral bovenaan schelpen en silexkeien) en de afzetting van Zuienkerke (middelmatig fijn zand met schelpen en schelpfragmenten) in het Atlanticum te rangschikken zijn. H. VAN-NIEUWENBORG (1973) komt evenwel tot de bevinding dat de afzetting van Zuienkerke uit fijner zand (Md 120-140 µm) bestaat dan de afzetting van Houtave (Md 170 µm).

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 laag van enkele meters dikte, 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 de regressies werd de vrijgekomen kustvlakte telkens plaatselijk of geheel door een duingordel afgesloten.

Karakteristiek is het voorkomen van uitgebreide krekenstelsels 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 kreken. 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 kreken 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, die ook aanleiding heeft gegeven tot talrijke publikaties (R. TAVERNIER, 1947; R. TAVERNIER en J. AMERYCKX, 1970; F. MOORMANN, 1951; J. AMERYCKX, 1953a, 1054, 1960; J. AMERYCKX en F. MOORMANN, 1958, enz.).

Afzettingen van de vroegste Duinkerke-fase (DO), die gedateerd wordt in het Subboreaal, 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 en 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 situeren zich respektievelijk 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 kreken. Op die 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 kreken werd hoofdzakelijk zand afgezet, terwijl er buiten in traag vloeiend water, vooral kleiig materiaal tot bezinking kwam. Tijdens het laatste stadium van sedimentatie werd ook in de meeste kreken 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 kreken aangetroffen zonder kleidek; het kan ook gebeuren dat de randen van de 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. 30-40 cm) klei- of zandhoudende kleilaag. Ze ontbreken in het zuiden van het studiegebied evenals in een smaller 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 kleiige 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.

### 3.3.2. BELANGRIJKE LANDSCHAPSVORMENDE PROCESSEN

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

#### 3.3.2.1. 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 poelgrondafzettingen kleiig. Nochtans komen ook kreken voor met belangrijke hoeveelheden klei (J. AMERYCKX, 1954, 1959, 1960; R. TAVERNIER en J. AMERYCKX, 1970).

#### 3.3.2.2. Inversie van het reliëf

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

Veen met zijn hoge samendrukbaarheid zette veel meer dan de zandige kreekopvulling. Door die selektieve inklinking kwamen de oorspronkelijk iets 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).

3.3.2.3. Kunstmatige verstoringen

3.3.2.3.1. Veenontginning

Het huidig uitzicht van het oppervlakteveen wordt niet alleen bepaald door natuurlijke faktoren. 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.

Gezien het grote geotechnische belang van de horizontale en vertikale verbreiding van de veenlaag (gevaar voor belangrijke differentiële zettingen) is het nuttig nader in te gaan op de metoden van het veendelven, 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 (of laan) terug werd opgevuld met afgegraven grond afkomstig van de volgende laan. Na de ontginning werd het land geëffend en opnieuw in kultuur 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 begrensde veenputten die naderhand op slordige wijze werden opgevuld. Daardoor werd het terrein zeer oneffen achtergelaten. Volgens J. AMERYCKX en F. MOORMANN (1956) is het veen centraal van het studiegebied volgens deze werkwijze grotendeels door de abdij Ter Doest ontgonnen. Dit verklaart er het veelvuldig voorkomen van moerassige laagten (oude veenputten).

3.3.2.3.2. Kleiontginning

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

nabij het Leopoldskanaal.

3.3.2.3.3. Zandwinning

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

De oudste zandputten in het studiegebied 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 werden intensief zand gewonnen. De vijvers 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 wordt hiermee rekening gehouden tot in het begin van 1980. In het poldergebied liggen de meeste van deze putten 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. Voor meer informatie hierover kan momenteel het best worden verwezen naar de plannen van het Ministerie van Openbare Werken, Dienst der Kust.

3.3.2.3.4. 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 verstoringen door 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 zijn die in de veenkaart opgenomen.

In kaart 2 is het uitbreidingsgebied van dergelijke gronden schetsmatig weergegeven. 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 in 't bijzonder ter hoogte van de toekomstige achterhaven 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 zeesluis met toegangskaaimuren, de Werkhaven, het Insteekdok, ...,
- ter hoogte van industrieterreinen zoals dit van Texaco, Distrigaz (Peak Shaving), omheen het Nijverheids- en Prins Philip Dok, omheen de vissershaven, de Cokesfabriek, Glaverbel,
- in enkele heraangevulde zandwinningsputten ten noorden en ten westen van het 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.

### 3.3.3. LITOSTRATIGRAFIE VAN DE KWARTAIRE EENHEDEN

Zoals voor de bespreking van de tertiaire laageenheden hebben we ook voor het Kwartair een aantal boringen uitgekozen. In de figuren 6 en 7 betreft het boringen, respektievelijk afkomstig uit het noordelijk en het zuidelijk deel van het studiegebied. De schikking van links naar rechts geeft de volgorde aan van west naar oost. In fig. 6 zijn 15.33 en 15.37 droge handboringen, 15.38, 15.47 en 15.48 gestoken boringen en de andere droge diepboringen. In fig. 7 zijn het enkel droge diepboringen.

Aangezien in het Belgisch kustgebied voor wat het Kwartair betreft en in tegenstelling tot het Tertiair tot nu toe geen sluitende en formele litostratigrafische kolom is uitgewerkt, zijn de eenheden afgebakend naar hun genese en onderverdeeld in subeenheden of lagen (niet formeel) op grond van de litologie.

Eenheid K1

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

Onder de grintelementen zijn vertegenwoordigd : zwarte (weinig), bruingroene, bruine, rode (weinig) silexkeien en silex-splijtstukken (tot 5 cm Ø), donkerbruinzwarte ligniethoudende (?) zandsteenrolkeien (tot 4 cm), in mindere mate groengrijze glauconiet-houdende kalkzandsteenfragmenten (broos en hoekig) en schelpen en schelpfragmenten. De glauconiethoudende 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 met niet zelden fragmenten van meer dan 10 cm grootte. Onder de kleine grintelementen (gruis) noteert men dikwijls naast schelpengruis de aanwezigheid van heldere kwarts en melkkwarts (gewoonlijk afgerond).

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 dikwijls verspoelde zanden, gerolde klei-,glauconiethoudende 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 in het studiegebied een nagenoeg kontinu aanwezig zandpakket dat gemiddeld 6 à 8 m dikte meet maar waarvan de uitersten ongeveer 1 tot 15 m bereiken.

Dit zandpakket (K2,1) is grotendeels samengesteld uit fijn en in mindere mate middelmatig zand met weinig of geen schelpen. Hogere koncentraties aan schelpen treft men soms aan in de onderste meters als overgang naar K1. Plaatselijk vindt men bovenaan ook schelprijke zones (K2,3), zoals in meerdere boringen

omheen de nieuwe zeesluis.Dikwijls worden donkerbruine veenvezeltjes (<1 cm lengte) en zeldzame veenbrokjes (<1 cm) genoteerd.

Naast haar overheersend zandkarakter bevat deze laag op beperkte schaal en op willekeurige niveaus leem- of kleihoudende zones (K2,2) die vooral in het zuidelijk en westelijk deel van het studiegebied talrijker blijken te zijn (zie DB 15.11).

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

Boven de vrij 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 in deze laag vooral uit schelpen en schelpfragmenten waaronder niet zelden grote exemplaren van Ostrea (tot 7 cm) en Cardium (1-3 cm). Het grint bevat ook donkerbruine ligniethoudende (?) zandsteenrolkeien (1-3 cm) en zwarte, grijze of bruine silexkeitjes (tot 3 cm Ø) die gemiddeld kleiner zijn dan in K1. Sporadisch treft men ook kleine glauconiethoudende kalkzandsteenfragmentjes aan. Naast veel schelpfragmentjes bevat de kleine grintfraktie (<4 mm) gewoonlijk gerolde melkkwartskeitjes.

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

De dikte van deze grinthoudende laag bedraagt gemiddeld 3 à 5 m, met een minimum van enkele cm tot maximum van ongeveer 7 m. In de omgeving en ter hoogte van de nieuwe zeesluis is deze laag 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. Wanneer weinig grintelementen aanwezig, is K3,2 in diepsonderingen gemakkelijk te herkennen en af te bakenen. Als maximum dikte voor deze kleihoudende eenheid is 7,5 m genoteerd.

Ontbreekt K3,2 dan werden de grinthoudende zones K3,1 en K3,3 eenvoudigheidshalve als K3 genoteerd. Bovenaan is K3 meestal zeer scherp begrensd. Onderaan is de grens soms onduidelijk

vooral wanner K2,1 bovenaan veel schelpen bevat.

Eenheid K4 (K4,1, K4,2)

Boven de grinthoudende laag K3 en plaatselijk op K3,2 of indien beide afwezig zijn op K2, rust er een laag grijs fijn zand (K4,1) waarin dunne (vaak minder dan 0,5 m dik) leemhoudende en veenhoudende niveaus (K4,2) kunnen voorkomen (zie b.v. in GB 15.48, fig. 6). In het westen en vooral in het zuidwesten van het gebied nemen leemlaagjes aan de basis van K4 in belang toe. Door opeenstapeling bereikt het totale leemhoudende niveau, samen met interkalaties van fijn zand, soms een dikte van 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 zandlaag lijkt vrij kontinu 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-zand-komplex K5 dat centraal en in de zuidelijke helft van het studiegebied een vrij konstante dikte van 5 à 8 m bereikt. Meer naar het westen is de dikte plaatselijk herleid tot ongeveer 2 m.

Het komplex 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 vertikale 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 bedekt door een laag 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 vertikale 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 hun totale dikte bij superpositie zelden boven 2,5 m uit.

De zandige eenheden K5,2 zijn opgebouwd uit een vrij homogeen kalkloos tot weinig kalkhoudend al of niet weinig leemhoudend zeer fijn tot fijn zand met zelden grintelementen (geremanieerde schelpen).

De eenheden K5,1 zijn vooral goed bekend uit de gestoken boringen 15.38 en 15.47 (zie fig. 6). In 15.38 wordt de onderste leem-veenlaag gekenmerkt door een mikrogelaagdheid van 0,5 tot 10 cm 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 1 tot 5 cm dikke bruine veenlaagjes in situ aangetroffen. Ter verduidelijking zijn ze in figuur 6 rechts van het boorprofiel iets doorgetrokken en aangeduid door v. Een tiental cm 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 15.47 is het tweede leem-veenniveau volledig aangesneden. In vergelijking met het vorige is het veel zandiger en minder duidelijk gelaagd met 10 tot 20 cm dikke laagjes zeer fijn zand tot zandhoudende leem. Ook hier zijn drie veenlaagjes in situ waargenomen waarvan het onderste met 17 cm dikte het belangrijkste is.

In GB 15.48 (fig. 6) is de eenheid K5 slechts 1,85 m dik en vangt er aan met een 0,65 m dikke donkerbruine veenlaag.

Vooral 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 duinreep in het noordwesten van het studiegebied is plaatselijk op K5 een blauwgrijze leemhoudende klei waargenomen die omwille van haar litologisch kontrast met de eenheden K5,1 als een afzonderlijke eenheid is aangeduid. De dikte van K6 bedraagt meestal slechts 10 tot 20 cm. In DHB 15.55 (fig. 20a) 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 zeer vlak, vertoont de basis van K7 hier en daar en vooral in het noorden, geulvormige uitstulpingen tot enkele tientallen meters breedte. Daardoor kan de dikte plaatselijk oplopen tot 3-4 m. In DB 13.12, ter hoogte van de nieuwe zeesluis, is een maximum van 5,2 m veen waargenomen.

De veenlaag bestaat onderaan uit een 10 tot 40 cm dikke sterk verteerde zwarte amorfe massa met vooral in de onderste 10 cm vaak 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 bevat het veen 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 waargenomen die omwille van hun samenhang in de eenheid K8 zijn ondergebracht.

In de grote geulvormige insnijdingen ten westen en ten oosten in het studiegebied overheerst het zand (K8,1) dat grotendeels bestaat uit weinig tot sterk kalkhoudend fijn zand waarin dikwijls veenbrokken van allerlei afmetingen (soms meer dan 1 m Ø), klei-, leembrokken en klei-, leemlamellen worden waargenomen.

Naar onderen wordt het zand vaak middelmatig van korrel en aan de basis worden veelal ophopingen van schelpen (Cardium), klei-, leem- en veenbrokken aangetroffen. Uit diepsonderingen is gebleken dat de westelijke insnijding veel zandiger is dan de oostelijke. In deze laatste zijn meer lenzen, geulvormige lichamen, en pakketjes van allerlei afmetingen en bestaande uit een opeenstapeling van zand-, klei-, en leemlamellen aanwezig. Waar dergelijke lagen voldoende ontwikkeld waren, werden ze als een afzonderlijke eenheid K8,2 aangeduid. Dit is het geval met een diepe ovaalvormige insnijding ten zuiden van Heist (veenkaart) die grotendeels met klei- en lemige sedimenten tot een pakket van 15 m dikte is opgevuld. Een gelijkaardige zandige opbouw wordt dikwijls waargenomen in de geulen in de centrale veenplaat alhoewel die de tendens vertonen meer klei en leem te bevatten.

Op de centrale veenplaat, en meestal ook op het zand K8,1 ligt een 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 laatste is de overgang van K8,3 naar K8,1 geleidelijk (zie fig. 6 en 7).

Zand (K8,1) ligt op het veen daar waar een zandige geul niet doorheen het veen is gesneden of waar de brede veenloze zandige geulen boven het veen uitwiggen. Dit laatste werd herhaaldelijk vastgesteld. Zo treft men in het westen van het studiegebied een 300 tot 500 m brede zandwig aan die verband houdt met de westelijke insnijding. Het peil van het maaiveld en de top van het veen in acht genomen halen zulke zandwiggen zelden dikten van meer dan 3-4 m. Ter hoogte van de belangrijke insnijdingen worden daarentegen dikten voor K8,1 opgemeten van meer dan 15 m.

Tenslotte is het duidelijk dat zich ook situaties kunnen voordoen waar zand, leem en klei naast elkaar in wisselende hoeveelheden voorkomen. In dergelijke gevallen zal het symbool K8,1 worden gebruikt wanneer het zand overheerst, terwijl K8,3 of K8,2 indien klei en leem de overhand nemen.

Eenheid K9

De eenheid K9 is van antropogene oorsprong en omvat alle heropgevulde veenputten in het studiegebied. Alhoewel soms een bepaalde grondsoort in de veenput domineert is hierin geen onderscheid gemaakt aangezien gemiddeld genomen de veenputopvullingen erg heterogeen zijn. Meestal bestaan ze uit kleine en grote klei-, leem-, veen- en in mindere mate zandbrokken die zijn ingebed ofwel in een overwegend zandige ofwel kleiige matrix. Het overheersen van een bepaalde grondsoort in een veenput 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 recente aanvullingen en vergravingen waarvan reeds eerder een bespreking werd gemaakt. Wegens het gebrek aan gegevens (aanvullingen te recent) 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. Deze laatste treft men bijvoorbeeld aan in dijken van het Boudewijnkanaal en de twee afwateringsvaarten die opgebouwd zijn met de uitgegraven gronden van de kanalen zelf.

Opmerking : Kwartaire eenheden, waaraan in het bestek van deze studie minder aandacht werd besteed zijn de duin- en strandafzettingen, die beide zeer zandig zijn, en de recente buitengaatse afzettingen (zand en slib).

3.3.4. KRONOSTRATIGRAFIE VAN DE KWARTAIRE EENHEDEN

Vanuit geometrisch en litologisch oogpunt en steunende op de kennis van het gebied zijn de eenheden K7 en K8 te rekenen respektievelijk tot het oppervlakteveen en de afzettingen van Duinkerke. De ouderdom 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.

De eenheid K5 kan als een gidslaag worden aangeduid omdat daarin verschillende dunne veenlagen in situ zijn aangetroffen. Daaruit werden monsters op hun polleninhoud onderzocht. Steunende op hun ongeroerd karakter en de nauwkeurige plaatsbepaling in het boorprofiel werden monsters afkomstig van de drie gestoken boringen 15.38, 15.47 en 15.48 verkozen.

3.3.4.1. Pollenonderzoek

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 (plaatsbepaling : zie monsternummers voorafgegaan door v, rechts of links van de boorprofielen, fig. 6). Afgezien van monster 48 dat tot de eenheid K4 behoort zijn de overige allemaal afkomstig van K5.

De pollenanalysen werden door C. VERBRUGGEN uitgevoerd en besproken.

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.5).

De preparatie van de monsters gebeurde volgens de klassieke acetolysemetode, 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 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 Spaghnum. Merken we tenslotte op dat de remaniatie zich vooral voordoet (18 korrels op 24) in slechts drie monsters : 1010, 33 en 48.

Interpretatie

De algemene morfologische omstandigheden van deze afzettingen vinden we weerspiegeld in de akwatische flora : typische elementen van zeer koud water (uitgezonder Menyathes : 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 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 afzettingen de gunstigste omstandigheden te zien. Het kontinu voorkomen van Menyathes laat een direkte aansluiting met de bovenliggende veenlaag vermoeden. 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 aan het einde van gunstiger insterstadiale vermoedelijk Vroeg-Weichseliaan-omstandigheden.

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 terrigeen 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 ± 25.000 BP. zijn gevonden, dienen de bandjes eveneens in het begin van het tweede deel van het Midden-Weichseliaan geplaatst te worden.

3.3.4.2. Besluit

Volgens de bevindingen van C. VERBRUGGEN blijken de onderste twee eenheden K5,1 en K5,2 te behoren tot het tweede deel van het Midden-Weichseliaan. Daarentegen zou de vegetatie van de monsters van GB 15.48 wijzen op warmere interstadiale Vroeg-Weichseliaan-omstandigheden. Stratigrafisch is dit volkomen aan

te nemen, zeker voor wat het monster 48 betreft, dat tot de onderliggende eenheid K4 behoort. Hiermee is het bewijs geleverd dat voor wat de opeenvolging K5-K7 betreft het oppervlakteveen rechtstreeks rust op pleistocene afzettingen (Weichseliaan) en dat bijgevolg in het grootste deel van het studiegebied geen Calais-afzettingen voorkomen, zoals reeds door J.B. AMERYCKS in 1954 werd voorgestled voor de streek van Dudzele.

Calais-afzettingen zouden echter wel door K6 kunnen vertegenwoordigd zijn. Het is evenwel duidelijk dat, indien K6 door de Calais-transgressie is afgezet, deze in het gebied slechts van geringe betekenis is geweest en dan nog uitsluitend in het noordwesten en westen ervan.

Tenslotte rest nog de vraag wanneer de eenheden K3, K2 en de onderste niveaus van K4 werden gevormd. Deze eenheden zijn zeker ouder dan K5; steunende op de literatuur is een Weichseliaan- of Eemiaanouderdom mogelijk.

### 3.3.5. VERGELIJKING MET DE KWARTAIRE EENHEDEN IN DE OMSTREKEN

Rekening houdend met de litologie, de opeenvolging, de geometrie en de genese van de eenheden,en de kronostratigrafische positie van K5 is het mogelijk ze te korreleren met de door G. DE MOOR en I. HEYSE (1974) gedefinieerde niet-formele litostratigrafische eenheden in een profiel tussen Damme en Moerkerke. Hierop steunende verkrijgt men 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 dit verband en volgens de ouderdom toegekend door G. DE MOOR & I. HEYSE (1974) zijn de eenheden K1 en K2 van Eemiaanouderdom terwijl K3 en K4 uit het begin van het Weichseliaan dateren. Voor de afzetting van Eeklo geldt een Midden-Weichseliaanouderdom wat in elk geval in overeenstemming is met onze resultaten voor K5. Het is evenwel mogelijk dat plaatselijk de bovenste zones van K5 zouden behoren tot het Laat-Weichseliaan (afzetting van Maldegem, G. DE MOOR en I. HEYSE, 1974).

Deze verklaring is ook in overeenstemming met 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 veen 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, afzetting van Wenduine (grinthoudend) en afzetting van Uitkerke kan men korrelen respektievelijk met K4, K3 en K2.

Ook H. VANNIEUWENBORG (1973) heeft ongeveer 1 km ten westen van het studiegebied, onder het oppervlakteveen 2 à 3 m grijsblauwe kleiige leem tot lemige klei aangeboord. 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 $\phi$) met slechts in een onderste zone enkele schelpfragmenten. Tot een peil -11 à -12 m volgt de afzetting van Houtave, die met fijn tot middelmatig zand (mediaan 2,56 $\phi$) 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 gelijkenis met de afzetting van Houtave.

De gelijkenis tussen het kleiig en het zandig faciës van de afzetting van Zuienkerke en de afzetting van Houtave, beschreven door H. VANNIEUWENBORG (1973), met opeenvolgend de eenheden K6, K5 en K4 is treffend. Uit de granulometrie blijkt bovendien dat K5,2 (zand) bijna geen kalk bevat en gekenmerkt wordt door een grafisch gemiddelde Mz = 3,01 $\phi$ ($\pm$ 0,23 $\phi$) en K4 met een Mz = 2,60 $\phi$ ($\pm$ 0,14 $\phi$). De geringe afstand tot het studiegebied in acht genomen is deze korrelatie 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 beschouwd te worden. 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 voor K3. Aangezien K3 (grinthoudend gedeelte) 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 à 6,5 m bereikt (DB 6, DB 9, DB 10, fig. 6) 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 : | | afzettingen van Duinkerke | : K8 |
| | | oppervlakteveen | : K7 |
| | | afzetting van Calais | : K6 |
| Pleistoceen : | | | |
| Weichseliaan : | Laat-Weichseliaan | : afzetting van Maldegem : bovenste zones van K5 (?) | |
| | 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. KENMERKEN VAN DE GRONDSOORT VAN DE LITOSTRATIGRAFISCHE EENHEDEN

## 4.1. INLEIDING

De kwartaire en tertiaire litostratigrafische eenheden werden onderzocht naar hun granulometrische samenstelling, de plasticiteitsindex, het gehalte aan kalk, humus en glauconiet.

Naast de monsters uit eigen boringen, werden alle beschikbare analysen bij dit onderzoek betrokken. Hierdoor bedraagt het totaal aantal onderzochte monsters 498 waarvan 86 uit de tertiaire en 412 uit de kwartaire eenheden. Deze omvatten 246 analysen verricht door het Rijksinstituut voor Grondmechanica te Gent, 53 uit de dossiers van het Geologisch Instituut en 199 nieuwe proeven. De niveaus van de door het Geologisch Instituut geanalyseerde boormonsters zijn langs de boorprofielen aangegeven (fig. 6 en 7).

## 4.2. METODEN

Aangezien de resultaten afhankelijk zijn van de toegepaste metoden en van de normen gehanteerd door de verschillende laboratoria wordt hierover enige toelichting verstrekt.

### 4.2.1. METODEN TOEGEPAST DOOR HET GEOLOGISCH INSTITUUT IN HET BESTEK VAN DEZE STUDIE

#### 4.2.1.1. Korrelgrootte

Totaal monster (TM) — nat zeven op 2000 µm

- fraktie>2000 µm ($M_2$+0$M_2$)
- fraktie<2000 µm ($M_1$+0$M_1$)

Fraktie>2000 µm ($M_2$+0$M_2$)

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 ten opzichte van het totale monster (TM).

Fraktie<2000 µm

Van ongeveer 100 g monster wordt het organisch materiaal met $H_2O_2$ (3x) vernietigd.
Na wassen en drogen wordt 50 g gehomogeniseerd materiaal (MZ) nat gezeefd

op de 50 µm zeef → fraktie>50 µm
op de 50 µm zeef → fraktie<50 µm

Fraktie>50 µm

Na drogen wordt de fraktie verder gefraktioneerd 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

De frakties 50-20 µm, 20-10 µm, 10-2 µm en <2 µm worden bepaald met de pipetmetode van Köhn.

4.2.1.2. 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 :

$$OM'_2 = (M_2 + OM_2)105°C - (M_2 + OM_2)500°C$$

nota : $OM_2 \neq OM'_2$ omdat de manuele bepaling minder nauwkeurig is dan de gloei-metode.

OM in de fraktie<2000 µm ($OM_1$)

De bepaling van de OC (organische koolstof) in procent gebeurt met de metode van Walkley en Black (redoxtitratie met $K_2Cr_2O_7$ (1N) op 1 g monster).
Het procent humus wordt gegeven (ongeveer) door 2x % OC waaruit de massa organisch materiaal $OM_1$ in $M_1 + OM_1$ kan worden bepaald.

Totaal humusgehalte (% OM)

$$\% \text{ OM} = (OM'_2 + OM_1) \frac{100}{TM}$$

4.2.1.3. 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 reaktie :

$$\underset{100,09}{CaCO_3} \xrightarrow{1000°C} \underset{56,08}{CaO} + \underset{44,01}{CO_2\uparrow}$$

De massa aan kalk wordt gegeven door :

$$KA_2 = ((M_2 + OM_2)500°C - (M_2 + OM_2)1000°C)) \times \frac{100,09}{44,01}$$

KA in de fraktie<2000 µm ($KA_1$)

Reaktie van $CaCO_3$ met HCl (2N), waarbij de toename aan gasdruk ($CO_2$) wordt gemeten met een calcimeter.

$$CaCO_3 + 2\ HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2\uparrow$$

Uit het procent kalk kan de massa $KA_1$ in $(M_1 + OM_1)$ worden bepaald.

Totaal kalkgehalte (KA)

$$\% \text{ KA} = (KA_2 + KA_1) \frac{100}{TM}$$

4.2.1.4. Het glauconietgehalte

Wordt bepaald met een magnetische separator (type Frantz, Isodynamic Separator, model L 1, met voorwaartse helling van 30°C 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 % glauconiet wordt t.o.v. de totale zandfraktie berekend.

4.2.1.5. 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 Britisch Standard (Britse norm nr. 1377).

4.2.2. METODEN TOEGEPAST DOOR HET RIJKSINSTITUUT VOOR GRONDMECHANICA

Wij zullen hier enkel ingaan op de belangrijkste verschillen ten opzichte van de metoden van het Geologisch Instituut. Voor verdere uitlet kan men terecht in het Tijdschrift der Openbare Werken van februari 1938.

Korrelgrootte

Fraktie>2000 µm

Onder grintelementen wordt verstaan alle harde voorwerpen >2000 µm met uitzondering van schelpen. In geval het monster enkel schelpen als fraktie>2 mm bevat zal de totale hoeveelheid aan grint nul zijn.

Fraktie<2000 µm

De natte zeving gebeurt op een Tyler-zeef van 62 µm in plaats van 50 µm.
De verdeling van de fraktie>62 µm gebeurt op 12 Tyler-zeven in plaats van 21.
Voor de fraktie<62 µm geschiedt de fraktionatie door een bezinkingsproef volgens de areometermetode van Casagrande-Bouyoucos.

Humusgehalte

Wordt gedefinieerd door het verlies aan massa van het totale monster na behandeling met $H_2O_2$ (20 %).

Kalkgehalte

wordt gedefinieerd als het gewichtsverlies door behandeling met HCl (0,1 N).

## 4.3. 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 $\phi$-eenheden voor de korrelafmeting ($\phi$ = de negatieve logaritme in grondtal 2 van de gradenlimieten (in mm) van de Wentworth-schaal). Hierdoor heeft de $\phi$-schaal een aritmisch verloop.

De statistische parameters werden bepaald volgens de grafische metode omdat deze eenvoudig is en ondermeer 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

Deze wordt gegeven door de betrekking

$$Mz = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$$ (R.L. FOLK en W.C. WARD, 1957)

en beschrijft goed de algemene afmeting van de kurve.

Globale grafische standaardafwijking

$$\sigma_I = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$$ (R.L. FOLK en W.C. WARD, 1957)

De globale grafische standaardafwijking is een maat voor de uniformiteit (sortering), waarbij, volgens R.L. FOLK en W.C. WARD (1957), volgende kategoriën van sortering worden 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 |
| $\sigma_1$>4,00 $\phi$ | : uitermate slecht |

## 4.4. 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 µm |
| II | : | 2 µm<d<60 µm |
| III | : | 60 µm<d<200 µm |
| IV | : | 200 µm<d<2000 µm |
| V | : | 2 mm<d<20 mm |
| VI | : | d>20 mm |
| IIa | : | 2 µm<d<20 µm |

(met d de korrelafmeting)

Benaming (naar A. BRULL, 1979)

| | | | |
|---|---|---|---|
| 25≤Ip → | kleiig | | klei |
| 15≤Ip<25 | kleiig | III+IV+V≥50 % | zandhoudende klei |
| | lemig | III+IV+V<50 % en II<50 % | leemhoudende klei |
| | | III+IV+V<50 % en II≥50 % | leem |
| 5≤Ip<15 | lemig | III+IV+V<50 % | leem |
| | zandig | III+IV+V≥50 % en I≥IIa | kleihoudend zand |
| | | III+IV+V≥50 % en I<IIa | leemhoudend zand |
| Ip<5 | zandig | I+II≥10 % I≥IIa | weinig kleihoudend zand |
| | | I+II≥10 % I<IIa | weinig leemhoudend zand |
| | | I+II<10 % | zand |

Zand

Indien het monster als zand wordt geklassificeerd dan zal een bijkomende verfijning worden gegeven naargelang het grafisch gemiddelde Mz binnen de volgende limieten valt :

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

Als basis is hiervoor de Wentworth-schaal genomen waarin de limieten 250 µm en 50 µm respektievelijk vervangen zijn door 200 µm en 60 µm en dit omwille van de geotechnische betekenis van deze laatste.

Grint

Grint omvat hier alle harde elementen die groter zijn dan 2 mm. Dit betekent dat naast silex, zandsteen ook schelpen en schelpfragmenten (niet verweerd) worden meegerekend. Evenwel kan men het grint verder specifiëren naargelang van zijn samenstelling (b.v. silex-, schelpengrint).De benaming grint wordt gebruikt wanneer het percentage grintelement ≥50 %.
Voor hoeveelheden <50 % heeft men :

50>%≥25 sterk grinthoudend (zeer veel , uiterst veel grintelementen)
25>%≥10 grinthoudend (met , veel grintelementen)
10>%≥2 weinig grinthoudend

Organische materiaal (totaal %)

Indien het %≥50 noemt men het veen. Voor hoeveelheden <50 % zal worden gebruikt :

50>%≥10 sterk veenhoudend (sterk humushoudend)
10>%≥5 veenhoudend (humushoudend)
5>%≥1 weinig veenhoudend (weinig humushoudend)

Kalkgehalte (totaal %)

Volgende termen worden gebruikt :

50>%≥25 zeer sterk kalkhoudend
25>%≥10 sterk kalkhoudend
10>%≥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.

Glauconietgehalte

Principieel wordt het glauconietgehalte in % uitgedrukt ten opzichte van de zandfraktie. Voor de naamgeving wordt dit percentage echter omgerekend ten opzichte van zand + leem + klei = 100 %. Deze herrekening is in de tabellen bij de opmerkingen gegeven.
Volgende namen worden gebruikt :

50>%ZKL≥ 25 sterk glauconiethoudend
25>%ZKL≥ 10 glauconiethoudend
10>%ZKL≥ 5 weinig glauconiethoudend

met %ZLK : glauconietgehalte in procenten t.o.v. de som zand + leem + klei

## 4.5. KENMERKEN VAN DE EENHEDEN

In de tabellen 6 tot en met 26 zijn 21 eenheden : 13 uit het Tertiair (T1, T2,2+3, T3,1+2, T4,1, T5, T6,1, T6,3, T7,1, T7,2, T8,1, T9, T10 en T11) en 8 uit het Kwartair (K1, K2,1, K3,1+3, K4,1, K5,1, K5,2, K7 en K8,1) gespecifieerd door de volgende kenmerken : Ip, KA, OM, grint, zand, leem, IIa, klei, fraktie<20 µm, Mz, $\sigma_I$ en glauconietgehalte. Hierbij zijn KA, OM en grint in % uitgedrukt ten opzichte van het totaal monster (TM), terwijl zand, leem, IIa, klei en de fraktie<20 µm in percent zijn gegeven ten opzichte van de fraktie kleiner dan 2 mm waarvan het organisch materiaal is vernietigd. Bij belangrijke grinthoeveelheden is een verdere specifikatie gemaakt naargelang van de hoeveelheid schelpen en de som van de overige grintelementen (silex, zandsteen, enz...).

Voor elke eenheid is gespecifieerd hoeveel monsters geanalyseerd zijn en hoeveel boringen die geleverd hebben. Elk kenmerk is voorgesteld door zijn gemiddelde met standaardafwijking en de maximum- en minimumwaarde. Verder is per gemiddelde telkens het aantal waarden aangegeven dat niet noodzakelijk hoeft gelijk te zijn aan het totaal aantal monsters uit de eenheid. De reden ligt in het niet volledig gelijklopen van de analysemetoden toegepast door de respektievelijke laboratoria, maar ook door het niet steeds bepalen van alle karakteristieken (b.v. het niet bepalen van de Ip, klei, leem, IIa, <20 µm wanneer de zandfraktie ≥90 %). Daardoor kan het gebeuren dat de som zand + leem + klei niet precies gelijk is aan 100 %. In geval deze som teveel afwijkt van 100 % (soms 2-3 %) is in de opmerkingen een bijkomende specifikatie gegeven van het gemiddelde en de standaardafwijking van de zandfraktie berekend met de monsters waarmee de waarden van het kenmerk werden bepaald.

In één geval (K5,2, tab. 24) diende evenwel een afwijkende berekening te worden gemaakt. De zandfraktie K5,2 berekend over 83 monsters geeft 89,09 % $\pm$ 5,44 %. Dit betekent dat nagenoeg de ene helft van de monsters direkt als zand (zandfraktie>90 %), terwijl de andere helft als (weinig) klei-leemhoudend zand (fraktie<90 %) te klasseren waren. Vermits de Ip en de klei-leemfrakties meestal niet bepaald worden wanneer de zandfraktie$\geq$90 % maar wel wanneer <90 % verkregen we een te vertekend beeld doordat de specifikaties van de Ip en klei-leemfrakties niet tot dezelfde familie monsters behoorden. Teneinde meer representatieve gemiddelden te bekomen voor de inhoud aan leem, IIa, klei en de fraktie<20 µm werden alle volledig geanalyseerde monsters (aantal 51) gesplitst in twee groepen waarvoor de zandfraktie hetzij $\geq$90 % (15 monsters) of hetzij <90 % (36 monsters) was. Met de twee groepen is door interpolatie een nieuw gemiddelde bepaald overeenkomstig de zandfraktie = 89,09 %. Voor deze gemiddelden is de standaardafwijking vervangen door de gemiddelde variatiekoëfficiënt (in dezelfde eenheid als $\bar{x}$ uitgedrukt).

Tenslotte is met de gemiddelden overeenkomstig het klassifikatiesysteem de benaming van de eenheid afgeleid.

### 4.5.1. DE TERTIAIRE EENHEDEN

Aangezien in de tabellen de kenmerken zijn samengevat zullen we ons beperken tot een korte bespreking van enkele opvallende kenmerken van en gelijkenissen of verschillen tussen de belangrijkste eenheden.

De eenheden T6,1, T7,1, T8,1 en T4,1 van het Lid van Oedelem, afgezien van de hogere hoeveelheid grintelementen (schelpen) in T4,1 (tab. 9, 11, 13 en 15),vertonen vrij gelijklopende kenmerken. Al deze lagen hebben een slechte sortering en een zandfraktie die ligt tussen de 75-90 % en bestaat uit fijn en zeer fijn zand.

De monsters van T6,3 en T7,2 (tab. 12 en 14), uit de zones van de onderste en middelste steenbank vertonen op hun zeer hoog kalkgehalte na (ca. 33 %), dezelfde kenmerken als de omliggende zandlagen.

De lagen T3 en vooral T5 (tab. 8 en 10) 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 (tab. 7) onderscheidt zich vooral door meer grintelementen (schelpen); ze is bovendien gemiddeld iets kleiiger dan de bovenste zandige eenheden van het Lid van Oedelem.

Het Lid van Wemmel T9 (tab. 16) is heterogener, wat tot uiting komt onder meer in de hoge waarde van $\sigma_I$ (2,02 $\phi$) en de grotere spreiding ($\pm$ 10,7 %) op de gemiddelde zandfraktie (74,15 %).

Het Lid van Asse T10 (tab. 17), alhoewel als klei geklasseerd bevat een vrij aanzienlijke (43 %) hoeveelheid zand, die voor ongeveer de helft uit glauconiet bestaat.

Van het Lid van Ursel T11 (tab. 18) is slechts één monster onderzocht. In vergelijking met de resultaten van P. JACOBS (1975) mogen de kenmerken als gemiddeld worden beschouwd. Met name voor de fraktie<20 $\mu$m (87 %) kan dan een variatiekoëfficiënt van ongeveer $\pm$ 13 % worden toegekend.

### 4.5.2. DE KWARTAIRE EENHEDEN

De afzetting van Kaprijke K1 (tab. 19) en de afzetting van Zeebrugge (grinthoudend gedeelte) K3,1+3 (tab. 21) vertonen, op een iets hogere hoeveelheid grintelementen in K1 na, nagenoeg dezelfde kenmerken. In K1 zijn er in het grint ongeveer evenveel schelpen als de som silexkeien, zandsteenkeien e.a., terwijl in K3 de schelpen gemiddeld overwegen.

De zeer zandige eenheden van de afzetting van Moerkerke K2,1 (tab. 20) en van de afzetting van Damme K4,1 (tab. 22) hebben bijna dezelfde kenmerken, met echter voor K4,1 iets meer klei en vooral meer leem (voor K4,1 : 6,60 % $\pm$ 2,98 %; voor K2,1 : 2,78 % $\pm$ 1,70 %). De hogere leeminhoud van K4,1 is te wijten aan monsters van meer leemhoudende lenzen (zie o.m. minimum waarde van $\overline{x}_{zand}$ = 83,5 % voor K4,1, terwijl 94,08 % voor K2,1). Dit verklaart eveneens de minder goede sortering van K4,1. Merken we nog op dat beide grafische gemiddelden met standaardafwijkingen van deze eenheden kwasi identiek zijn.

De lemige eenheden K5,1 (tab. 23) van de afzetting van Eeklo zijn als vrij heterogeen te bestempelen. Dit wordt gestaafd door de min of meer grote standaardafwijkingen van de gemiddelde zand-, leem- en kleifraktie. Het kalkgehalte, de humusinhoud en de plasticiteitsindex blijken zeer wisselvallig te zijn. De zandige eenheden K5,2 (tab. 24) zijn daarentegen veel eenvomriger. Opmerkelijk is het lage kalkgehalte van K5,2 (3,76 % $\pm$ 3,40 %) in vergelijking tot de hoge waarde van K5,1 (12,39 % $\pm$ 5,91 %) en de bijna totale afwezigheid van grintelementen in beide eenheden.

Het oppervlakteveen K7 (tab. 25) blijkt met 86,5 % $\pm$ 11,74 % humus gemiddeld uit zeer zuiver veen te bestaan.

De kreekzanden K8,1 (tab. 26) van de afzetting van Duinkerke zijn gemiddeld zeer zandig, maar bevatten in tegenstelling tot K4,1 en K2,1 vrij wat humus (2,11 % $\pm$ 2,24 %). Voor het overige heeft K8,1 nagenoeg dezelfde kenmerken als K2,1 alhoewel K8,1 iets fijner is (Mz = 2,85 $\phi$, terwijl 2,56 $\phi$ voor K2,1).

# 5. DIEPSONDERINGEN

## 5.1. ALGEMEENHEDEN EN BEGRIPPEN

### 5.1.1. 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 geprojekteerd oppervlak van 10 $cm^2$. Beide kenmerken worden heden ten dage als standaard aangeprezen door de Subcommittee on Standarization of Penetration Testing in Europe (1977). Deze "oude Delftse konus" wordt onder gewijzigde vorm en gekend als de konus met sluitmoer (fig. 8) 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 konusweerstanden.

Om de indringing van gronddeeltjes te beperken werd in 1945 de mantelkonus (fig. 9) 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. 10) ontworpen die een uitwerking van de mantelkonus is. Boven de mantel van de konus is hiertoe een cylindertje van 150 $cm^2$ aangebracht, hiermee kan men de "plaatselijke 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 zanden (H. BEGEMANN, 1969a, 1977; J. DE RUTTER, 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 konusweerstanden kunnen opgemeten worden (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 kleef-mantelkonus er afgeraden (R. CARPENTIER, 1976; E. DE BEER, 1977).

De beschreven konussen zijn alle van mechanische aard waarmee discontinu 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, die soms tot aanzienlijke fouten kunnen leiden en zeker wanneer materiaal tussen de onderdelen is binnengedrongen. Verder worden de drukken meestal opgemeten met oliedrukmanometers, die zelf een onnauwkeurigheid inhouden van 1 % van de maximale schaal-aflezing. Doordat de drukken gewoonlijk visueel worden gemeten speelt de menselijke faktor als foutenbron een voorname rol.

Aan de onoverkomelijkheden van de mechanische sondeertech-niek 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. 11) al of niet uitgerust met een kleefmantel.

In zijn uiteenzetting maakt J. DE RUITER (1971) een uit-gebreid 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. Bovendien zijn door het elektronisch systeem de metingen preciezer en zijn de menselijke faktor en de parasitaire wrijvingskrachten eigen aan de mechanische sondeertech-niek en de specifieke konustypen geëlimineerd. Een ander voordeel

van de elektrische konus is de mogelijkheid tot inbouw van een hellingmeter waarmee de afwijking t.o.v. de vertikale kan gemeten worden. Gevallen zijn bekend waarbij de afwijking zo groot was dat men tussen 15 à 20 m diepte 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 (J. DE RUITER, 1971).

Anderzijds hebben de mechanische sonderingen ook voordelen op de elektrische. De uitrusting is eenvoudiger, minder kwetsbaar en aanzienlijk goedkoper dan voor de elektrische sonderingen, waarvan de apparatuur bovendien een goede installatieruimte vereist. Ook is het verlies van een mechanische konus door afbreken van de buizen, wat kan voorkomen bij het stoten op onvoorzien hindernissen in de grond, veel beperkter dan van een elektrische konus. Om die redenen mag men stellen dat alhoewel elektrische sonderingen meer en meer de markt veroveren de mechanische diepsonderingen nog lang niet hebben afgedaan.

### 5.1.2. PRINCIEP VAN EEN MECHANISCHE DIEPSONDERING

De gebruikelijke manier van sonderen met mechanische konussen bestaat erin discontinu te meten in opeenvolgende stappen van 20 cm waarin telkens een aantal lezingen worden verricht. Meestal gebeurt de registratie 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 indringingssnelheid waarbij gemeten worden bedraagt 2 cm/sec met een toegelaten tolerantie van 0,5 cm/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 12 en 8 cm. Bij de kleefmantelkonus is de vrije slag verdeeld in 2 maal 3,5 cm. In de eerste 3,5 cm 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 3,5 cm 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 12 à 13 cm de som van de weerstand op de punt en de buizen $P_{1,3}$. Daarmee becijfert men de totale weerstand. Tenslotte berekent men uit het verschil van de derde en eerste lezing de totaalkleef. Dit is de wrijvingskracht op de totale zijdelingse oppervlakte van de in de grond gedrukte buizen.

Voor de kleefmantelkonus wordt bij eerste benadering de konusweerstand $C_{k,d}$, de plaatselijke kleef F, de totale weerstand T en de totaalkleef L berekend volgens :

$$C_{k,d} = P_{1,1} \times 0,2 \qquad (MN/m^2) \qquad (1)$$

$$F = (P_{1,2} - P_{1,1}) \frac{2}{S_{kl}} \qquad (MN/m^2) \qquad (2)$$

$$T = P_{1,3} \times 0,2 \qquad (KN) \qquad (3)$$

$$L = T - C_{k,d} \times S_k \qquad (KN) \qquad (4)$$

$$= 0,2\ (P_{1,3} - P_{1,1})$$

waarin : $S_{kl}$ : de oppervlakte van het cylindrisch deel van de kleefmeter is in $cm^2$ (150 $cm^2$)

$S_k$ : het basisoppervlak van de konus (10 $cm^2$)

$P_{1,1}$, $P_{1,2}$ en $P_{1,3}$ : de respektievelijke lezingen zijn van een welbepaalde meetstap en in bar uitgedrukt.

Aangezien 1 bar = 0,1 $MN/m^2$, het basisoppervlak van de konus 10 $cm^2$ en de oppervlakte van de meetplunger 20 $cm^2$ bedraagt wordt de konusweerstand berekent door de lezing $P_{1,1}$ te vermenigvuldigen met $\frac{20}{10} \times 0,1 = 0,2$ om een uitdrukking in $MN/m^2$ te bekomen.

Door de eerste lezing $P_{1,1}$ af te trekken van de tweede $P_{1,2}$ en het verschil te vermenigvuldigen met $\frac{20 \times 0,1}{S_{kl}}$ bekomt men de plaatselijke kleef in $MN/m^2$.

Daar 1 bar = 10 $N/cm^2$ en de oppervlakte van de meetplunger 20 $cm^2$ is, verkrijgt men de totale weerstand in KN door $P_{1,3}$ te vermenigvuldigen met $\frac{20 \times 10}{1000} = 0,2$.

De totaalkleef is te berekenen door de kracht op de punt af te trekken van de totale weerstand. Die kracht wordt gegeven door : $C_{k,d} \times S_k = 0,2\ P_{1,1} \times 10^{-3}\ MN = 0,2\ P_{1,1}\ KN$

Opmerkingen

1) In de formules is geen rekening gehouden met het eigengewicht van de stangen, buizen en konusdelen. Hiervoor dient een korrektie ingebracht. Uiteraard is deze des te belangrijker naarmate de indringingsdiepte groter is en de weerstanden lager zijn. Voor 30 m stangen bedraagt de stangenkorrektie op de konusweerstand 0,41 $MN/m^2$, wat bijvoorbeeld 7 % uitmaakt van een in vaste kleien opgemeten $C_{k,d} = 6\ MN/m^2$.

2) De plaatselijke kleef is in de formule (2) bepaald door het verschil van $P_{1,2}$ en $P_{1,1}$, die lezingen zijn van dezelfde meetstap. Hierbij veronderstelt men dat de konusweerstand tijdens de meting van $P_{1,2}$ gelijk is aan die tijdens de meting van $P_{1,1}$ wat niet helemaal korrekt is, aangezien de konuspunt zich tijdens de tweede lezing reeds enkele cm dieper bevindt. De verschillen kunnen groot zijn vooral in dunne lagen van uiteenlopende litologie en in zandlagen, waarin men vaak grote en snelle variaties in konusweerstand waarneemt (J. DE RUITER, 1971). Dezelfde opmerking geldt eveneens voor de totaalkleef.

3) De waarde van $P_{1,2}$ wordt gemeten wanneer het basisoppervlak van de punt zich ongeveer 25 cm dieper bevindt dan het midden van het cylindrisch deel van de kleefmeter. Dit wil zeggen dat de uit $P_{1,2}$ en $P_{1,1}$ berekende F moet vergeleken worden met de $C_{k,d}$, T en L uit de vorige meetstap hetgeen in de praktijk vaak over het hoofd wordt gezien (J. DE RUITER, 1971; R. CARPENTIER, 1976). Zoals wordt aangetoond is deze verschuiving van essentieel belang bij grondklassifikaties.

## 5.1.3. 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 stelt men het toestel op een paar houtblokken zo goed mogelijk vertikaal recht. Aangezien het eigengewicht slechts 3 KN bedraagt wordt het toestel door zes grondankers aan de bodem 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 hebben we vooraf de belasting even opgevoerd.

Vóór de aanvang van elke sondering zijn 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 aangesloten op de buizen. Eens de maximum kapaciteit bereikt, werd de meting onderbroken en de konus bovengehaald. In de insnoering tussen de mantel en de kleefmeter bevonden er zich dan meestal resten van de verschillende lagen. Vooral de dunne krans op het bovenuiteinde van de mantel en onmiddellijk tegen het geleidingsstuk was vrij representatief voor de diepst bereikte laag.

Daarna werd een kleefvanger op de konus geschroefd en het geheel terug op de diepte gebracht. In deze studie werd uitsluitend gebruik gemaakt van de nokkenkleefvanger. Deze is 30 cm lang en heeft bovenaan 4 uitstekende nokjes van elk ongeveer 1 $cm^2$ basisoppervlakte (fig. 12). Hij heeft tot doel de zijdelingse wrijvingsweerstand te verminderen waardoor veel dieper kan worden gesondeerd.

Een ander middel om de totaalkleef te verminderen en dieper te sonderen bestaat erin de buizen enkele meters op te halen en over en weer te bewegen. Zoiets hebben we slechts toegepast wanneer de grootste diepte met de kleefvanger was bereikt omdat de door de nokkenkleefvanger verminderde totaalkleef een zeer belangrijk gegeven is gebleken. Bovendien is gebleken dat het ophalen van de buizen in bepaalde grondsoorten onbetrouwbare plaatselijke kleefmetingen voor gevolg heeft.

Onder maximum kapaciteit wordt verstaan : (1) de diepte waarop de totaalkleef gelijk wordt aan 80 KN, de maximale trekkracht van het apparaat of (2) waarop de puntweerstand 75 $MN/m^2$ bereikt. Bij hogere drukken riskeert men de konus en de stangen te vervormen. Hieruit is af te leiden dat in zeer weerstandbiedende lagen, wanneer de konusweerstand voldoende hoog oploopt het mogelijk is verder te sonderen zelfs wanneer de maximum drukkracht (100 KN) van het apparaat 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 die manier de totale weerstand niet kan meten.

In zeer weerstandbiedende lagen moet men op grote diepte rekening 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 3,52 cm. Daardoor blijft er van de totale vrije slag maar 7,22 cm - 3,52 cm = 3,70 cm meer over en kan men de konus wel doch de kleefmeter niet meer uitdrukken. Praktisch gezien is de werkelijke verkorting veel aanzienlijker omdat de voegen, die niet volkomen vlak zijn, veel meer inkrimpen en omdat de buizen niet steeds nauwkeurig op elkaar aansluiten.

Teneinde verstoring van de lezingen als gevolg van bewegingen van het toestel zelf te vermijden werd het regelmatig aan zijn grondankers heraangehaald. Vooral bij hoge weerstanden perst het sondeerapparaat zijn steunbalken in de grond; hierdoor worden de lagen boven de schoepen van de grondankers samengedrukt. Wanneer de grond niet meer de nodige reaktie kan opleveren worden de ankers

eruit getrokken. In dat geval is de gemeten weerstand te laag en gelijk aan het gewicht van het toestel en de overblijvende ankerkracht.

Tenslotte werd tijdens de sonderingen nota genomen van geluiden (gekraak, heftige slingeringen van de naald en van de nauwkeurigheid van de aflezing. De eerste twee verschijnselen doen zich vaak voor bij het sonderen in grinthoudende lagen. De aflezing kan minder nauwkeuriger zijn bij snelle toe- of afname van de weerstand of indien de naald staat te trillen.

### 5.1.4. KENMERKEN VAN DE KLEEFMANTELKONUS, DE BUIZEN EN DE STANGEN AANGEWEND IN HET ONDERZOEK

De diepsonderingen die wij hebben uitgevoerd zijn verricht met een kleefmantelkonus van 70 KN. De afmetingen van de konusdelen na een aanvankelijke gebruiksperiode zijn aangegeven in fig. 10. De belangrijkste kenmerken van de konus evenals van de buizen en stangen nodig om de weerstanden en de gewichtskorrekties te berekenen zijn :

kleefmantelkonus - vrije slag konuspunt : 3,70 cm
konuspunt + kleefmeter : 3,52 cm
- totale vrije slag : 7,22 cm
- (massa) gewicht konuspunt met mantel en konusstang : (0,88 kg) 8,63 N
- (massa) gewicht kleefmeter : (0,60 kg) 5,88 N
- (massa) gewicht konus : (2,20 kg) 21,57 N
- oppervlakte kleefmeter : 150 $cm^2$

buizen en stangen (200 KN kwaliteit)
- gemiddelde (massa) gewicht buizen : (7,71 kg) 75,61 N
- gemiddelde (massa) gewicht stangen: (1,37 kg) 13,44 N
- gemiddelde diameter buizen : 3,6 cm
- gemiddelde diameter stangen : 1,50 cm

## 5.2. HET METEN IN STAPPEN VAN 10 CM

### 5.2.1. INLEIDING

J. DE RUITER (1971) merkt in zijn analyse over de mechanische konussen op dat het principieel mogelijk is de meetstap te verkleinen tot 10 cm. Behalve met het handsondeerapparaat wordt in de praktijk nagenoeg nooit per 10 cm 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 en de gewijzigde weerstanden. Verder is ook nagegaan of de verkleining van de meetstap de waarde van de gemeten weerstanden beïnvloedt.

### 5.2.2. DE BEWEGINGEN VAN DE KONUSDELEN

In de toestand $A_1$, bij het begin van de eerste meetstap is de konus volledig gesloten (fig. 13a). Tussen $A_1$ en $B_1$ wordt op de stangen gedrukt : enkel de konuspunt beweegt en men verricht een 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 20 cm waar de afwerking met registratie van de totale weerstand, over 12,8 cm gebeurt, wordt dit tussen $C_1$ en $A_2$ over nauwelijks 2,8 cm gedaan. Voor iedere stap herhaalt men dezelfde werkwijze.

De gebruikelijke 20 cm-meetstap 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. 13a kan nog het volgende worden afgeleid :

1e 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 19 cm onder de onderrand en 25 cm onder de symmetriecirkel van het cylindrisch deel van de kleefmeter,
2e de meting van de konusweerstand geschiedt in een zone van 3,7 cm,
3e de meting van de plaatselijke kleef gebeurt over een zone van 16,8 cm,
4e de hier konisch getekende "hals" van de kleefmeter doorloopt een zone van 5,9 cm.

Nemen we aan dat het aangrijpingspunt van de resultante van de krachten inwerkend op het cylindrisch 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 21,4 cm onder de tweede $P_{1,2}$. Het ware aangrijpingspunt ligt meestal dichter bij 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 konusweerstanden 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.

### 5.2.3. BEREKENING VAN DE WEERSTANDEN

Uitgaande van de betrekkingen (1) (2) (3) (4) en de gegevens van de konus, buizen, en stangen (zie 5.1.2 en 5.1.4) kan men de aangepaste formules voor de basisweerstanden en gewijzigde weerstanden opstellen.

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 van drie opeenvolgende meetstappen en $C_{k,d,1}$, $C_{k,d,2}$ en $C_{k,d,3}$ de daarbij horende konusweerstanden (fig. 13b) dan berekent men <u>voor het niveau 1 (stap 1)</u> de volgende gegevens.

<u>De konusweerstand C of $C_{k,d}$</u>

wordt bepaald door de betrekking (1) en de verbeteringen voor het gewicht van de stangen (kor. st.) en de konuspunt met mantel en konusstang (kor. p.) :

$$C_{k,d,1} = P_{1,1} \times 0,2 + \text{kor.p.} + \text{kor.st.} \qquad (5)$$

met kor. p. = 8,63 N/10 $cm^2$ = 0,863 N/$cm^2$ = 0,00863 MN/$m^2$

kor.st. = 13,44 x $a_1$ N/10 $cm^2$ = 1,344 x $a_1$ N/$cm^2$ = 0,01344 x $a_1$ MN/$m^2$

$a_1$ : het aantal stangen rustend op de konus

(5) wordt :

$$C_{k,d,1} = P_{1,1} \times 0,2 + 0,00863 + 0,01344 \times a_1 \quad (MN/m^2) \qquad (6)$$

De totale weerstand T

Wordt bepaald door de betrekking (3) en de verbeteringen voor het gewicht van de konus (kor,k), de buizen en stangen (kor.b.+st.) :

$$T = P_{1,3} \times 0,2 + \text{kor.k.} + \text{kor.st,b} \qquad (7)$$

met kor.k. = 21,57 N = 0,02157 KN

kor.b+st. = (75,61 + 13,44) $a_1$ = 89,05 N = 0,08905 x $a_1$ KN

(7) wordt :

$$T = P_{1,3} \times 0,2 + 0,08905 \times a_1 \quad (KN) \qquad (8)$$

De totaalkleef L

Wordt bepaald door de betrekkingen (6) en (8) in (4) te voeren :

$$L = T - C_{k,d,1} \times S_k$$

$$L = 0,2\,P_{1,3} + 0,08905\,a_1 - (0,2\,P_{1,1} + 0,00863 + 0,01344\,a_1)\frac{10^{-3} \times 10^6}{10^3} \quad (KN)$$

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

$$L = 0,2(P_{1,3} - P_{1,1}) + 0,07561\,a_1 - 0,00863 \quad (KN) \qquad (9)$$

De plaatselijke kleef F

De niet-overeenstemmende plaatselijke kleef $f_s$

Wordt bepaald door de betrekking (2) rekening houdend met het gewicht van de kleefmeter (kor.kl.) :

$$f_s = (P_{1,2} - P_{1,1})\,\frac{2}{S_{kl}} + \text{kor.kl.} \qquad (10)$$

met kor.kl. = 5,88 x $\frac{1}{S_{kl}}$ N/$cm^2$ = $\frac{5,88\ 10^{-6}}{S_{kl}\ 10^{-4}}$ MN/$cm^2$ = $\frac{5,88}{100\ S_{kl}}$ MN/$m^2$

$S_{kl}$ = 150 $cm^2$

(10) wordt :

$$f_s = (P_{1,2} - P_{1,1}) \frac{2}{150} + \frac{5,88}{100 \times 150} \quad (MN/m^2)$$

$$f_s = (P_{1,2} - P_{1,1}) \frac{200}{100 \times 150} + \frac{5,88}{100 \times 150}$$

$$f_s = (200(P_{1,2} - P_{1,1}) + 5,88) \frac{0,01}{150} \quad (MN/m^2) \qquad (11)$$

De overeenstemmende plaatselijke kleef $f_{s,2}$

Wordt berekend door in betrekking (11) de lezingen van niveau 1 te vervangen door de lezingen $P_{3,1}$ en $P_{3,2}$ van de meetstap 2 niveaus (20 cm) dieper :

$$f_{s,2} = (200(P_{3,2} - P_{3,1}) + 5,88) \frac{0,01}{150} \quad (MN/m^2) \qquad (12)$$

De verbeterde overeenstemmende plaatselijke kleef $f_{s,2,m}$

Aangezien de konusweerstand op de hals van de kleefmeter belangrijk kan zijn is de plaatselijke kleef bepaald door de kracht 200 x $(P_{3,2} - P_{3,1})$ meestal te groot. Op 200 $(P_{3,2} - P_{3,1})$ wordt een verbetering aangebracht 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. 13a) dat die zone zich bevindt tussen de meetplaatsen van de konusweerstanden van de twee vorige niveaus, daarom kan men als representatieve konusweerstand het gemiddelde van $C_{k,d,1}$ en $C_{k,d,2}$ nemen.

Met een werkende doorsnede van de hals van 6,02 $cm^2$ = 6,02 $10^{-4}$ $m^2$ en in het uiterste geval dat de holte volledig met grond is opgevuld en de konusweerstand onveranderd is gebleven kan men de weerstand die de hals ondervindt aangeven als volgt :

$$W_h = \frac{C_{k,d,1} + C_{k,d,2}}{2} \times 6,02\ 10^{-4} \quad (MN/m^2)$$

$$= \frac{C_{k,d,1} + C_{k,d,2}}{2} \times 6,02\ 10^{2} \quad (N)$$

$$= 301(C_{k,d,1} + C_{k,d,2}) \quad (N) \qquad (13)$$

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 a in :

$$W_h = a \times 301(C_{k,d,1} + C_{k,d,2}) \qquad (N) \qquad (14)$$

met $a<1$

Bij $a = 1$ werkt een onveranderde gemiddelde konusweerstand op de aktieve doorsnede van de hals in. In het geval men ervan uitgaat dat slechts een gedeelte van de gemiddelde konusweerstand op de hals inwerkt of dat de holte niet volledig is opgevuld stelt men $a<1$.

Door $200(P_{3,2}-P_{3,1})$ met (14) te verbeteren en dit in (12) te voeren verkrijgt men de verbeterde overeenstemmende plaatselijke kleef $f_{s,2,m}$ :

$$f_{s,2,m} = \frac{0,01}{150}(200(P_{3,2}-P_{3,1})+5,88-301a(C_{k,d,1}+C_{k,d,2})) \quad (MN/m^2) \qquad (15)$$

Opmerkingen

(1) Op de formule (6) kan worden aangemerkt dat er geen rekening is gehouden met wrijvingsweerstand op de mantel.
Vooral in vaste kleilagen leidt dit tot te grote waarden. PAREZ (1974) heeft proeven verricht met punten verlengd door mantels van verschillende lengten. Voor een mantel 3d, wat te vergelijken is met de mantel van de kleefmantelkonus vond hij in funktie 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 konusweerstanden oplevert die ca. 33 % groter zijn die die bepaald met de elektrische konus of met de konus met sluitmoer.

(2) In de formule (15) is geen rekening gehouden met een mogelijke wrijvingsweerstand op het vernauwde deel van de kleefmeter. In zijn verbeterde formule voor de plaatselijke kleef heeft R. CARPENTIER (1976) dat wel gedaan. In vast klei vond die auteur dat in het uiterste geval, d.w.z. als de holte volledig is opgevuld en de ware plaatselijke kleef ongewijzigd inwerkt, de

fout slechts 13 % bedroeg.

Uit eigen waarnemingen is gebleken dat het vernauwde deel weinig sleet en geen beschadiging (krassen) vertoonde, in tegenstelling tot de hals die belangrijke sleet en het cylindrisch deel van de kleefmeter en de mantel van de punt waarop vaak krassen waren te zien. Sleet en beschadigingen zijn hoofdzakelijk te wijten aan wrijving op zand en grint. Uit het geringe belang ervan op het vernauwde deel blijkt dat de daarop inwerkende wrijvingskrachten gering zijn. Daarom werd hiervoor in formule (15) geen verbetering ingelast.

Op de wijze van berekening van de verbeterde plaatselijke kleef door R. CARPENTIER (1976) kan nog het volgende worden opgemerkt. R. CARPENTIER gebruikt hiervoor de konusweerstand van het niveau 20 cm hoger (bij ons $C_{k,d,1}$). Zoals aangetoond bevindt de hals zich tijdens de meting van $P_{3,2}$ enkele cm dieper. Vooral in lagen met zeer snel veranderende weerstanden is die formule daarom minder geschikt.

(3) De formule (15) 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 is niet bedoeld om de ware plaatselijke kleef te bepalen aangezien a willekeurig wordt gekozen, afhangt van de grondsoorten en zelfs in een bepaalde grondsoort verandert van niveau tot niveau.

(4) Met bovenstaande formules is het wrijvingsgetal W te berekenen :

$$W = 100 \frac{F}{C} \text{ met } F = f_s,\ f_{s,2},\ \text{of } f_{s,2,m} \qquad (16)$$

Uit de studie is gebleken dat W, bepaald met $f_s$ in plaats van met $f_{s,2}$, tot een veel minder representatieve waarde leidt. Met $f_{s,2,m}$ kan men, net zoals in (3) nagaan hoe W in de grondsoorten verandert.

## 5.2.4. SONDEERGRAFIEKEN

Teneinde grafisch een snelle verwerking toe te laten is een rekenprogramma opgesteld waarmee men de konusweerstand C, de totaalkleef L, de totaalweerstand T, de plaatselijke kleef F ($f_s$, $f_{s,2}$, $f_{s,2,m}$) en het wrijvingsgetal W (voor de verschillende F) kan berekenen en uitzetten.

Voor C, L en T zijn de gebruikelijke lineaire schalen aangewend met de ordinaat steeds als diepteschaal (1 cm/m). Op de bovenste abscis staat C in $MN/m^2$ met 2 $MN/m^2$ = 1 cm. De onderste abscis wordt gebruikt voor de schalen van L en T met 10 KN = 2 cm.

Op de bovenste abscis zijn eveneens de schalen van F (x 100) en W aangebracht. Voor F is de oorsprong gekozen op C = 20 $MN/m^2$ en voor waarden van 100 F<10 $MN/m^2$ bedraagt de schaaleenheid 100 F = 1 $MN/m^2$ = 0,5 cm. Voor 100 F>10 $MN/m^2$ is de schaal 5 maal verkleind : aldus is 100 F = 10 $MN/m^2$ = 1 cm.

W is aangegeven in omgekeerde zin dus met stijgende waarde van rechts naar links. De oorsprong ligt op C = 48 $MN/m^2$ en als schaaleenheid is 0,5 cm per eenheidstoename van W gekozen.

F en W zijn uitgebeeld met een blokvormige grafiek waarvan de vertikale verbindingen gecentreerd zijn t.o.v. de overeenkomstige puntwaarden van C, L of T.

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

In de figuren 14 t.e.m. 68 staan nagenoeg alle uitgevoerde diepsonderingen uitgetekend.

## 5.2.5. INVLOED VAN DE MEETSTAP

### 5.2.5.1. Probleemstelling

We hebben gezien dat het princiep van de 10 cm-meetstap enkel verschilt in de lengte van het dieptebereik waarin de totale weerstand wordt gemeten. Hieruit zou men kunnen afleiden dat omwille van het dubbele aantal registraties men enkel een meer gedetailleerd beeld van de grondlagen bekomt. 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 heeft gemaakt. Het (gedeeltelijk) opvullen van die holte met het aangrenzende materiaal, gaat gepaard met verkneding in plastische en roering in zandige gronden (niet-cohesieve). Per lengte-eenheid heeft men bijgevolg meer materiaal verkneed en geroerd. Dit zou de plaatselijke kleef en totaalkleef kunnen beïnvloeden.

Ook de konusweerstand kan veranderen. Immers, wanneer het spanningsveld rond de indringende konus sterk naar boven is gewenteld, wordt een aanzienlijke bijdrage tot het draagvermogen geleverd door de zone boven de konus. Voor een zand met een hoek van inwendige wrijving $\phi = 30°$ berekent men volgens de theorie van E. DE BEER (1972) dat de glijdvlakken zich tot ongeveer 10 d = 36 cm boven het basisvlak van de konus uitstrekken. Bij de 20 cm-meetstap bevindt het basisvlak van de konus zich tijdens het meten van de $C_{k,d}$ ongeveer 25 cm (6,9 d) beneden de onderrand (bovenuiteinde van de mantel) van de laatst gevormde holte terwijl voor de 10 cm-meetstap het basisvlak slechts 15 cm (4,2 d) dieper ligt. Indien de glijdvlakken zich hoog boven de konus uitgestrekken zou dus bij de 10 cm-meetstap een anders verstoord materiaal tot de puntweerstand kunnen bijdragen.

5.2.5.2. Vergelijkende proeven

Om de mogelijke invloed van de meetstap na te gaan hebben we 10 vergelijkende proeven uitgevoerd; iedere proef bestond uit één diepsondering gemeten in stappen van 10 cm (DS 10)* en één in stappen van 20 cm (DS 20).

De sonderingen werden bij voorkeur ingeplant nabij eerder door het Geologisch Instituut verrichte droge diepboringen, met het oog op het zoeken naar een verband met de litologie. Om zoveel mogelijk grondsoorten en geologische omstandigheden bij het onderzoek te betrekken werden de proeven over het gehele studiegebied verspreid. Ter onderkenning van de grillige bovenlaag werden in sommige gevallen ondiepe handboringen en in één geval een gestoken boring uitgevoerd. In tabel 27 zijn de proeven samengevat. De in-

---

* In het vervolg zal elke grootheid van beide soort metingen voorzien worden van een passende index 10 of 20.

planting in het studiegebied kan met de bijlage I op de dokumentatiekaart (kaart 1) worden teruggevonden.

Omwille van de vergelijkbaarheid d.w.z. metingen te bekomen van dezelfde litologische eenheden met dezelfde grondmechanische kenmerken, werden de vergelijkende proeven zo dicht mogelijk naast elkaar uitgevoerd.

Om onderlinge beïnvloeding te vermijden beveelt de Sub-Committee on Standardization of Penetration Testing in Europe (1977) tussenafstanden aan van ten minste 1 m voor diepsonderingen en 25 boordiameters t.o.v. niet opgevulde of niet met buizen beklede boringen. Wegens de grote diepte van de proeven hebben we tussen de diepsonderingen een afstand van 3 à 4 m en tussen de diepsonderingen en de boring 4 à 5 m genomen.

5.2.5.3. Afwijkingen in de totaalkleef

Met uitzondering van DS.30.17-18 en DS.30.23-24 werd de totale weerstand in alle proeven geregistreerd. Bij DS 30.33 werd de kleefvanger aangewend vanaf het maaiveld zodat de totaalkleef niet te vergelijken is met die van DS.30.32.

Dat de meetstap inderdaad een invloed heeft op de omringende grond blijkt uit de systematisch lagere waarden van de totaalkleef bij de 10 cm-sonderingen in 6 op de 7 paren (fig. 16b, 17b, 18b, 20b, 21b, 23b). Het betreft evenwel het eerste gedeelte van de kurve, d.w.z. het gedeelte geregistreerd zonder kleefvanger. Met de kleefvanger komen geen specifieke afwijkingen tot uiting. In tertiaire vaste klei bedekken de kurven elkaar zelfs bijna volledig (DS 30.68-69 : beneden 30 m, fig. 21a,b; DS 30.71-72 : beneden 29 m, fig. 22a,b; DS 30.81-82 : beneden 29 m, fig. 23a,b).

Enkel in DS.30.71-72 (fig. 22b) is de afwijking van $L_{10}$ veel geringer en onder 11 m diepte ligt $L_{10}$ zelfs gemiddeld iets hoger dan $L_{20}$.

5.2.5.4. Afwijkingen in de konusweerstand en de plaatselijke kleef

5.2.5.4.1. Wijze van vergelijking

Vooraleer getallen te vergelijken hebben we voor beide diepsonderingen van een paar vergelijkbare intervallen afgebakend.

Indien we over boorgegevens beschikten hebben we de intervallen begrensd op grond van de litologie en geologie van de eenheden. In een litologische eenheid werd verder onderverdeeld naar de grootte van en de gelijkenissen in de diagrammen van de konusweerstand, de plaatselijke kleef en het wrijvingsgetal. Vooral het wrijvingsgetal was nuttig omdat het verband houdt met de grondsoort. Indien zich geen afwijkingen in de $C_{k,d}$, of $f_{s,2}$ voordoen zou in dezelfde afzettingen, voor beide meetstappen het wrijvingsgetal gelijk moeten blijven.

In geval we niet over boorgegevens beschikten, hebben we de sonderingen litologisch en geologisch geïnterpreteerd eventueel door korrelatie met nabij gelegen boringen. Onderverdelingen werden uitgevoerd zoals eerder omschreven.

Teneinde een statistische behandeling van de resultaten toe te laten werden de intervallen van dezelfde litologische eenheden, ongeveer even groot gekozen. Waar mogelijk werd de minimum grootte voor een interval van een 20 cm-proef gesteld op ten minste 10 waarden. Uiteraard heeft men in het overeenkomstige interval van de 10 cm-proef dan ongeveer het dubbele aantal. De intervalgrenzen zijn op de figuren aangebracht rechts van de sondeerdiagrammen (figuren 14 t.e.m. 23).

Om vertekening van de resultaten zoveel mogelijk te voorkomen hebben we een aantal regels gevolgd.

1° Weinig of niet vergelijkbare lagen werden buiten beschouwing gelaten. Ze zijn op de figuren aangegeven door N (cfr. de zone tussen 22,8 en 25,2 m van DS 30.68-69, fig. 21a). Voor DS 30.69 kan men op grond van de $C_{k,d}$ en W besluiten tot een vrij homogene kleilaag. Daarentegen is de overeenstemmende zone van DS 30.68 opgebouwd uit klei- en zandlaagjes.

2° Er is rekening gehouden met het verlies aan vrije slag van de konus in zeer weerstandbiedende lagen, waardoor de plaatselijke kleef onvoldoende of niet kon gemeten worden. Voor DS 30.71-72 (fig. 22a) zijn de lage waarden van $f_{s,2}$ in het interval $6_2$ hier-

door te verklaren en bijgevolg niet representatief. Dergelijke intervallen werden eveneens buiten beschouwing gelaten.

3° Uit de berekeningen van ieder interval werden alle slechte of onbetrouwbare plaatselijke kleefmetingen geweerd.

Van elk interval is het gemiddelde en de standaardafwijking van de konusweerstand, de overeenstemmende plaatselijke kleef en het wrijvingsgetal berekend (in de tabellen aangegeven door respektievelijk $\bar{x}_1$, $s_1$, $\bar{x}_3$, $s_3$, $\bar{x}_5$, $s_5$ voor de 10 cm-meetstap, en door $\bar{x}_2$, $s_2$, $\bar{x}_4$, $s_4$, $\bar{x}_6$, $s_6$ voor de 20 cm-meetstap). De verschillen worden bekomen door de procentuele afwijking ($\Delta\%$) van de gemiddelden van de 10 cm-meetstap, ten opzichte van de 20 cm-meetstap te bepalen. Per interval is het minimum aantal waarden $n_1$ (DS 10) en $n_2$ (DS 20), betrokken in de berekeningen van $\bar{x}$ en s vermeld. Van de procentuele afwijkingen ($\Delta\%\ C_{k,d,10}$, $\Delta\%\ f_{s,2,10}$ en $\Delta\%\ W_{10}$) werd tenslotte het globale gemiddelde en de standaardafwijking berekend.

5.2.5.4.2. Statistische testen

Om de resultaten beter te kunnen interpreteren werd als statistische toets de t-Student verdeling aangewend :

test 1 : Voor de gemiddelden $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$, $\bar{x}_3$, $\bar{x}_4$ en $\bar{x}_5$, $\bar{x}_6$ van het overeenkomstige interval van een paar is de nulhypotese $H_0$ (d.w.z. $\bar{x}_1=\bar{x}_2$, $\bar{x}_3=\bar{x}_4$ en $\bar{x}_5=\bar{x}_6$) getest aan de hand van een t-Student verdeling met $n_1+n_2-2$ vrijheidsgraden ($=V_1$ in de tabellen) en dit op de signifikantieniveaus 0,05 en 0,01. Indien t-steekproef in het kritisch gebied $|t|>t_{0,995}$ valt wordt de hypotese $H_0$ verworpen en nemen we aan dat beide gemiddelden signifikant van elkaar verschillen (aangegeven door S in de kolom signifikantie). Is $|t|<t_{0,975}$ dan wordt $H_0$ aangenomen (blanco in tabel). Indien $t_{0,995}>|t|>t_{0,975}$ dan wijken de gemiddelden waarschijnlijk signifikant van elkaar af (aangegeven door ?).

test 2 : Daarnaast werd onderzocht of het globale gemiddelde van respektievelijk alle $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$, $\bar{x}_3$, $\bar{x}_4$ en $\bar{x}_5$, $\bar{x}_6$ van elkaar afwijken. Aangezien het hier gaat om gepaarde metingen dienen we na te gaan of de gemiddelden van respektievelijk alle afwijkingen $\Delta\%\ C_{k,d,10}$, $\Delta\%\ f_{s,2,10}$ en $\Delta\%\ W_{10}$ gelijk zijn aan nul ($H_0$) en dit met een t-Student verdeling voor

n-1 vrijheidsgraden (=$V_2$ in de tabellen). De beslissing is opnieuw genomen op de signifikantieniveaus 0,01 en 0,05.

5.2.5.4.3. Vergelijking over het geheel (tabel 28)

Eerst is onderzocht of signifikantie optreedt voor de gemiddelden berekend over alle vergelijkbare intervallen van iedere sondering van elk paar.

Afgezien van DS 30.25-34 en DS 30.50-66 zijn de afwijkingen $\Delta\%\ C_{k,d,10}$ en $\Delta\%\ f_{s,2,10}$ gering (<10 %), hetgeen wordt bevestigd door de resultaten van test 1.

De extreme afwijkingen van $\Delta\%\ C_{k,d,10}$ en $\Delta\%\ f_{s,2,10}$ van DS 30.25, die nochtans niet signifikant blijken te zijn, kunnen worden verklaard. DS 30.25 werd uitgevoerd met een nieuwe konus die nog niet gerodeerd was. Bij een niet-gerodeerde konus kan de gemeten plaatselijke kleef aanzienlijk worden beïnvloed door de ruwheid van het inwendig en uitwendig oppervlak van de kleefmeter (en uiteraard ook van het geleidingsstuk) maar ook door geringe verschillen tussen de uitwendige diameter van de kleefmeter en van de konuspunt (W. HEIJNEN, 1972). Een slechts enkele µm grotere diameter van de kleefmeter kan reeds aanleiding geven tot een belangrijke toename van de plaatselijke kleef. Vooral in weerstandbiedende lagen kan worden verwacht dat deze effekten in belang toenemen wat dan de te hoge waarde van $f_{s,2,10}$ in de intervallen 4, 5 en 6 (fig. 8a) verklaart. De hoge waarde van $\Delta f_{s,2,10}$ spruit voort uit het feit dat DS 30.25 (1e sondering) en DS 30.34 (10e sondering) niet in serie uitgevoerd zijn, waardoor een belangrijk verschil in rodagetoestand van de kleefmeter bestond.

Daarnaast beschikten we op het moment van de opname van DS 30.25 over slechts twee manometers (60 en 600 bar) terwijl bij DS 30.34 met drie meters (60, 160 en 600 bar) werd gemeten. Daar het grootste deel van de metingen wordt afgelezen op de meter van 160 bar diende dit bij DS 30.25 op de minder nauwkeurige 600 barmeter te gebeuren. Naderhand bleek die bovendien nog ontregeld te zijn, hetgeen heeft geleid tot systematisch te lage konusweerstanden.

Men merkt ook de aanzienlijke relatieve afwijking van de $C_{k,d}$ en $f_{s,2}$ in het interval 1 en waarschijnlijk bovenaan in 3 (fig. 16a). Dit komt door ontspanning van de grond door een uitgraving na de opname van DS 30.25 en vóór die van DS 30.34. De uitgraving was ongeveer 5 m diep en lag op ca. 30 m van DS 30.34.

Om al die redenen is het paar DS 30.25-34 beslist niet representatief en werd daarom uit het onderzoek geweerd.

Test 1 bevestigt de signifikantie van $\Delta\%\ f_{s,2,10} = 13\ \%$ van DS 30.50. Waarschijnlijk kan die afwijking ook hier worden toegeschreven aan het verschil in rodagetoestand van de kleefmeter. Te noteren is dat met de konus vóór de uitvoering van DS30 50 reeds 65 m gesondeerd was (DS 30.50 = 3e sondering met konus II) waarvan ongeveer 50 m in dichtgepakte zanden. De kleefmeter zou bijgevolg voldoende gerodeerd kunnen geacht. Voor de aanvang van DS 30.66 bedroeg die afstand reeds 600 m. Volgens BEGEMANN zouden rodage-effekten reeds na 1 of 2 sonderingen moeten verdwenen zijn.* Uit het onderzoek is nochtans gebleken dat in dichte zanden het wrijvingsgetal zich slechts stabilizeert na een langere rodage-afstand, die zelfs meer dan 150 m kan bedragen.

Uit fig. 20a en uit de berekeningen (tab. 30, 31) blijkt dat de afwijking van $f_{s,2,10}$ (DS 30.50) toeneemt met de konusweerstand. Dit wordt aangetoond door $\Delta\%\ W_{10}$ te vergelijken met $\Delta\%\ C_{k,d,10}$. Zo bedragen $\Delta\%\ W_{10}$ en $\Delta\%\ C_{k,d,10}$ voor het interval $4_1$ ($\overline{C_{k,d,10}} = 6{,}11\ MN/m^2$) nog respektievelijk -12 % en -14% terwijl vanaf $4_2$ tot en met 9 ($\overline{C_{k,d,10}} = 14{,}79\ MN/m^2$) een gemiddelde van +15 % en +3,09 % wordt berekend.

Uit dit alles blijkt eveneens dat het paar DS 30.50-66 niet representatief is, althans voor wat de intervallen uit de weerstandbiedende zones, en uiteraard de berekening over het geheel betreft. In die groepen is met deze intervallen dan ook geen rekening gehouden bij het opstellen van het eindbesluit.

De overige paren leveren geen signifikante afwijkingen zoals door de resultaten van test 2 wordt bevestigd.

---

* Monddelinge mededeling Dr. Ir. H.K.S.Ph. BEGEMANN

Besluit

Op grond van de berekening over het geheel blijken geen signifikante afwijkingen te bestaan tussen de $C_{k,d,10}$, $f_{s,2,10}$, $W_{10}$ en respektievelijk $C_{k,d,20}$, $f_{s,2,20}$ en $W_{20}$.

5.2.5.4.4. Vergelijking met betrekking tot de aard van de grond en de grootte van de konusweerstand

Bij DS 30.17-18 leidt de berekening over het geheel tot $\Delta\%\ C_{k,d,10} = +5\ \%$ en $\Delta\%\ f_{s,2,10} = -6\ \%$ terwijl $\Delta\%\ W_{10}$ door kompensatie slechts 0 % bereikt. Beschouwen we de intervallen 1 + 2 (los- en middelmatig gepakt fijn zand, veenhoudend fijn zand, leem, $\overline{C_{k,d,10}} = 4{,}64\ MN/m^2$) en 3 + 4 + 5 (zeer dichtgepakt fijn zand, grinthoudend middelmatig zand, $\overline{C_{k,d,10}} = 25{,}36\ MN/m^2$) dan wordt respektievelijk gevonden : $\Delta\%\ C_{k,d,10} = +8\ \%$, $\Delta\%\ f_{s,2,10} = +5\ \%$, $\Delta\%\ W_{10} = 5\%$ en $\Delta\%\ C_{k,d,10} = +1\ \%$, $\Delta\%\ f_{s,2,10} = -11\ \%$ en $\Delta\%\ W_{10} = -12\ \%$. Hieruit kan men afleiden dat het de moeite loont na te gaan of een mogelijke invloed van de meetstap op de weerstanden in verband kan worden gebracht met :

1e de aard van de grond, d.w.z. met de grondsoort rekening houdend met de geologische oorsprong en geschiedenis ervan,

2e de grootte van de konusweerstand.

Bovenstaande in acht genomen zijn de intervallen van de resterende paren gehergroepeerd in volgende groepen :

1) Grint, (weinig) grinthoudend (schelphoudend) zand, grof en middelmatig zand (Pleistoceen)
2) Zeer dicht- en dichtgepakt fijn zand (Pleistoceen)
3) Dicht- en middelmatig dichtgepakt weinig kleihoudend zeer fijn zand (Pleistoceen, Midden-Weichseliaan)
4) Los- en middelmatig gepakt fijn zand (Holoceen : afzetting van Duinkerke, kreekopvulling)
5) (Weinig) klei-, leemhoudend (zeer) fijn zand, veenhoudend fijn zand, fijn zand met klei-,leemlaagjes (Holoceen : afzetting van Duinkerke, kreekopvulling)
6) Essentieel lemige of kleiige lagen al of niet gelaagd met fijn zand (Pleistoceen, Midden-Weichseliaan, en Holoceen : afzetting van Duinkerke, kreekopvulling)
7) Veen (oppervlakteveen)
8) Vaste klei en vaste glauconiethoudende klei (Tertiair : Lid van Ursel, Lid van Asse)

Aangezien de afwijkingen $\Delta\% C_{k,d,10}$ en $\Delta\% f_{s,2,10}$ niet zomaar toe te schrijven zijn aan de 10 cm-meetstap maar kunnen veroorzaakt worden door natuurlijke wijzigingen in grondmechanische eigenschappen (b.v. de pakkingsdichtheid van zanden) werden, om vertekening van de resultaten te vermijden, die intervallen geweerd waarvan hetzij $\Delta\% C_{k,d,10}$, hetzij $\Delta\% f_{s,2,10}$, buiten het gebied $\bar{x} = \pm 1{,}96\ s$ (95 % gebied) vallen. $\bar{x}$ en s staan hier voor het aanvankelijk bekomen gemiddelde en standaardafwijking van alle $\Delta\% C_{k,d,10}$ en $\Delta\% f_{s,2,10}$ van een groep. In de tabellen is telkens vermeld welke intervallen geweerd zijn en hoeveel lezingen ze vertegenwoordigen.

5.2.5.4.4.1. Grint, (weinig) grinthoudend (schelphoudend) zand, grof en middelmatig zand (tab. 29)

Geologisch behoren de intervallen 8 (DS 30.33) en $6_1$ (DS 30.71) tot het basisgrint van het Kwartair (K1). De overige betreffen de grinthoudende grove basisafzettingen van het Weichseliaan (K3,1 en K3,3). De granulometrische kenmerken van deze lagen zijn terug te vinden in de tabellen 19 en 21.

Globaal genomen mag men stellen dat in dergelijke afzettingen, die toch vrij heterogeen zijn, slechts geringe afwijkingen worden opgetekend. $\Delta\% C_{k,d,10}$ blijkt nergens signifikant te zijn en afgezien van $6_1$ en $6_2$ van DS 30.50 is $\Delta\% f_{s,2,10}$ slechts tweemaal en dan nog in tegengestelde zin signifikant afwijkend. Zo ook voor $\Delta\% W_{10}$ komen geen signifikante afwijkingen tot uiting tenzij opnieuw bij $6_2$ (DS 30.50).

Test 2 bevestigt de nulhypothese voor de gemiddelden $\overline{\Delta\% C_{k,d,10}}$, $\overline{\Delta\% f_{s,2,10}}$ en $\overline{\Delta\% W_{10}}$ en dit zowel met of zonder de intervallen van DS 30.50.

Besluit

In grint en grinthoudende grove en middelmatige zanden van kwartaire oorsprong heeft de meetstap geen invloed op de $C_{k,d,}$, $f_{s,2}$ en W.

5.2.5.4.4.2. Zeer dicht- en dichtgepakt fijn zand (tab. 30)

Alle intervallen hebben betrekking op de mariene fijne zanden van het Eemiaan (K2,1) en de kontinentale fijne zanden van het Weichseliaan (K4). Beide afzettingen hebben nagenoeg dezelfde granulometrische kenmerken (tab. 20 en 22).

Komen we eerste even terug op de belangrijke positieve afwijking van $\Delta\%\ W_{10}$ (gemiddeld +15 %) van de intervallen DS 30.50. Die afwijking kan eenduidig worden toegeschreven aan te hoge $f_{s,2,10}$-waarden aangezien voor de zes intervallen samen $\overline{\Delta\%\ C_{k,d,10}}$ = +3 % terwijl $\overline{\Delta\%\ f_{s,2,10}}$ = +19 %. Bovendien wordt voor $\Delta\%\ f_{s,2,10}$ en $\Delta\%\ W_{10}$ drie op de zes maal een signifikante positieve afwijking gevonden terwijl nul maal voor $\Delta\%\ C_{k,d,10}$.

De overige intervallen geven als globaal resultaat : $\overline{\Delta\%\ C_{k,d,10}}$ = 0,95 %, $\overline{\Delta\%\ f_{s,2,10}}$ = -8,47 % en $\overline{\Delta\%\ W_{10}}$ = -8,42 %, waarvan beide laatste signifikant worden bevonden. Het is zonder meer duidelijk dat $\overline{\Delta\%\ W_{10}}$ = -8,42 % dient te worden toegeschreven aan lagere $f_{s,2,10}$-waarden. Ook de individuele intervallen geven een gelijkaardig resultaat met een belangrijk aandeel van signifikante en waarschijnlijk signifikante negatieve afwijkingen van $\Delta\%\ f_{s,2,10}$.

Besluit

In zeer dicht- en dichtgepakt fijn zand ($\overline{C_{k,d}}$ = 15,4 MN/m$^2$) van kwartaire oorsprong veroorzaakt de 10 cm-meetstap ten opzichte van de 20 cm-meetstap :

- geen signifikante afwijking in de $C_{k,d,10}$,
- wel een signifikante negatieve afwijking in de $f_{s,2,10}$ die op grond van onze gegevens -8 % bedraagt,
- een signifikant lager wrijvingsgetal van -8 %.

5.2.5.4.4.3. Dicht- tot middelmatig dichtgepakt weinig kleihoudend zeer fijn zand (tab. 31)

De intervallen van deze groep behoren alle tot de weinig leem- of kleihoudende fijn tot zeer fijne zanden (K5,2) van het Weichseliaan (tab. 24).

In deze groep is het interval $4_1$ van DS 30.50 opgenomen gezien de lagere waarde van de $C_{k,d,20}$.

Als globaal resultaat wordt bekomen $\overline{\Delta\% \; C_{k,d,10}}$ = -6 %, $\overline{\Delta\% \; f_{s,2,10}}$ = -17 % en $\overline{\Delta\% \; W_{10}}$ = -14 %. Alhoewel deze afwijkingen in absolute zin belangrijk lijken worden de eerste twee door test 2 niet betekenisvol en $\Delta\% \; W_{10}$ twijfelachtig bevonden. De verklaring ligt vermoedelijk in een te laag aantal intervallen. In elk geval is de afwijking van $f_{s,2,10}$ toch belangrijker negatief dan die van $C_{k,d,10}$ waardoor het grootste deel in $\Delta\% \; W_{10}$ kan worden toegeschreven aan de lagere $f_{s,2,10}$-waarden.

Besluit

Het beperkt aantal intervallen laat niet toe een duidelijk besluit te trekken. Men kan aannemen dat $C_{k,d,10} = C_{k,d,20}$, $f_{s,2,10} < f_{s,2,20}$ en $W_{10} < W_{20}$.

5.2.5.4.4.4. Los- en middelmatig gepakt fijn zand (tab. 32)

Met uitzondering van $4_2$ (DS 30.30-31) van $2_1$, $2_2$ en $2_3$ (DS 30.81-82) behoren alle intervallen tot de zandige kreekafzettingen van het Duinkerkiaan (K8,1)(tab. 26). De gemiddelde $C_{k,d,10}$ bedraagt 6,29 MN/m$^2$ met een variatiekoëfficiënt van 31 %.

Uit de tabel blijkt een overwicht aan negatieve $\Delta\% \; C_{k,d,10}$ en $\Delta\% \; f_{s,2,10}$ hetgeen leidt tot een globaal gemiddelde van respektievelijk -10 % en -14 %. De afwijkingen zijn niet signifikant negetief bevonden.

Men stelt vast dat drie intervallen ($1_{3,4}$ DS 30.26, $2_{1,2}$ DS 30.30, $2_1$ DS 30.71) zowel in $\Delta\% \; C_{k,d,10}$ en $\Delta\% \; f_{s,2,10}$ signifikant negatief zijn wat heel waarschijnlijk moet worden toegeschreven aan wisselingen in de pakkingsdichtheid van het zand (fig. 17a, 18a, 22a). Voor die intervallen wordt trouwens geen noemenswaardige afwijking van $W_{10}$ genoteerd.

Besluit

Voor los- en middelmatig gepakt fijn zand wordt op grond van de 9 beschikbare intervallen geen signifikante afwijking gevonden tussen de $C_{k,d,10}$, $f_{s,2,10}$, $W_{10}$ en de $C_{k,d,10}$, $f_{s,2,10}$ en $W_{20}$.

5.2.5.4.4.5. (Weinig) klei- of/en leemhoudend (zeer) fijn zand, veenhoudend fijn zand, fijn zand met klei- of/en leemlaagjes (tab. 33)

Afgezien van de intervallen 4 en 6 (DS 30.30-31) die van Weichseliaanouderdom zijn worden de overige intervallen gerekend tot de kleiiger kreefafzettingen van het Duinkerkiaan. Deze laatste werden niet granulometrisch bepaald zodat we enkel kunnen uitgaan van korrelaties. De hier beschouwde intervallen kan men best beschrijven als fijne zanden die plaatselijk gestratifieerd zijn met kleiige , lemige en venige lamellen van enkele cm dikte. De gemiddelde $C_{k,d,10}$ bedraagt 4,01 MN/m$^2$ met een gemiddelde variatiekoëfficiënt van 42 %, wat merkelijk hoger is dan die van de vorige groep (31 %).

Zeer opmerkelijk is het grote overwicht aan negatieve $\Delta\% \ C_{k,d,10}$, die individueel niet, maar gemiddeld (-11,17 %) wel signifikant worden bevonden. $\overline{\Delta\% \ f_{s,2,10}}$ = -5,42 % en $\overline{\Delta\% \ W_{10}}$ = +10,17 % zijn hier niet signifikant alhoewel toch moet opgemerkt dat $t_{\overline{\Delta\% \ W_{10}}}$ = +2,17 en met 0,03 net buiten het dubieuze gebied valt.

Besluit

Voor fijn zand gestratifieerd met klei-, leem- of veenlamellen wordt op grond van de beschikbare gegevens een signifikante negatieve afwijking ten belope van ongeveer 10 % voor de $C_{k,d,10}$ vastgesteld. Voor $f_{s,2,10}$ en $W_{10}$ worden ten opzichte van $f_{s,2,20}$ en $W_{20}$ geen signifikante afwijkingen gevonden ; er zouden evenwel meer onderzoekingen in dit verband moeten worden uitgevoerd.

5.2.5.4.4.6. Essentieel lemige of kleiige lagen al of niet gelaagd met fijn zand (tab. 34)

In deze groep hebben we 4 intervallen samengebracht, die behoren tot de lemige afzettingen van het Midden-Weichseliaan (K5,1)(tab. 23). De overige 3 intervallen (DS 30.71-72) behoren tot de kleiige en lemige met een weinig fijn zand gestratifieerde kreeksedimenten van de afzetting van Duinkerke.

Deze Weichseliaan-leemlagen hebben een zeer heterogene bouw. Ze bestaan uit leem gestatifieerd met dunne laagjes (enkele mm tot cm) veen en zeer fijn zand. Alhoewel in het studiegebied

niet aangetoond kan zoals in de randgebieden van de kust een verstoring door vorstwerking worden verwacht.

Uit de tabel springt onmiddellijk de zeer belangrijke negatieve afwijking van $f_{s,2,10}$ in het oog. Gemiddeld wordt hier -26 % bekomen, hetgeen sterk signifikant blijkt te zijn. De signifikantie van het wrijvingsgetal ($\overline{\Delta\% \; W_{10}}$ = -19 %) wordt hier uiteraard veroorzaakt door de lagere $f_{s,2,10}$-waarden. Voor de $C_{k,d,10}$ is geen noemenswaardig verschil vastgesteld.

Besluit

In essentieel lemige of kleiige lagen, gestratifieerd met venige en fijn zandige lamellen levert de 10 cm-meetstap t.o.v. de 20 cm-meetstap geen signifikante afwijking op voor de $C_{k,d,10}$ maar wordt daarentegen een aanzienlijke vermindering voor $f_{s,2,10}$ en $W_{10}$ vastgesteld.

5.2.5.4.4.7. Veen (tab. 35)

De twee beschouwde intervallen hebben betrekking op het oppervlakteveen. Alhoewel dit te weinig is om besluiten te trekken valt een belangrijke spreiding van de resultaten op.

5.2.5.4.4.8. Vaste klei en vaste glauconiethoudende klei (tab. 36)

Deze groep heeft betrekking op het Lid van Ursel (T11) en het Lid van Asse (T10).

In vergelijking tot de vorige eenheden gaat het om relatief homogene afzettingen. Naar verluid zouden deze kleilagen sterk overgekonsolideerd zijn*. Bovendien omvatten ze hier samen de toplaag van het Tertiair d.w.z. dat hun gezamelijke bovenbegrenzing een erosiegrensvlak is. Vermits de vorming van dit oppervlak van Saaliaan-ouderdom zou zijn kan aantasting door vorstwerking worden verwacht. In de figuren (21a, 22a, 23a) merkt men bovenaan in de kleilaag (respektievelijk intervallen $6_1$, $7_1$, $6_1$) inderdaad een anomalie in de konusweerstand op. Gezien het niet systematisch ver-

---

* Mondelinge mededeling Dr. Ir. R. CARPENTIER

band met de 10-20 cm-sonderingen dient dit aan verstoring van de laag te worden toegeschreven. Met deze intervallen kan dan ook niet verder worden gerekend (in tab. 36 aangeduid in de opmerkingen door VTT = verstoorde topzone Tertiair).

Daarentegen blijkt onder de verstoorde topzone op zicht een treffende gelijkenis in konusweerstand te bestaan; dit wordt bevestigd door de geringe waarden van $\Delta\%\ C_{k,d,10}$.

Voor de overeenstemmende plaatselijke kleef en het wrijvingsgetal stelt men het tegendeel vast. Inderdaad, uit tab. 36 en de figuren 21a, 22a, 23a blijken naast intervallen met minieme afwijkingen, er meerdere voor te komen waarin $f_{s,2,10}$ en $W_{10}$ zeer sterk verschillen van $f_{s,2,20}$ en $W_{20}$.

Zoals verder wordt verklaard kan men met behulp van het wrijvingsgetal een onderscheid maken tussen de glauconiethoudende (T10) en niet glauconiethoudende klei (T11). Voor de glauconiethoudende klei wordt namelijk een gevoelig lagere $f_{s,2}$ en W opgetekend zoals men duidelijk kan zien beneden 33,2 m in DS 30.81-82 (fig. 23a). Dit blijkt eveneens uit de figuren 21a en 22a respektievelijk beneden 32,5 m en 36,1 m.

5.2.5.4.4.8.1. Het klemmingseffekt

In de grafieken van DS 30.81 (fig. 23a) merken we dat in de grijze vaste klei (T11) $f_{s,2,10}$ aanvankelijk stijgt tot 30,2 m (deel 1) en dan nagenoeg konstant blijft op 0,35 MN/m$^2$ (deel 2). Vanaf 32,9 m daalt $f_{s,2,10}$ eerst een weinig (deel 3) en op 33,3 m plots zeer veel. Vervolgens stijgt $f_{s,2,10}$ opnieuw (deel 4) om tussen 34,8 en 36,5 m te schommelen rond 0,22 MN/m$^2$ (deel 5). Van 36,5 m tot 37,0 m (basis van de glauconiethoudende klei) ligt $f_{s,2,10}$ iets lager (deel 6). Deze laatste kleine daling is in verband te brengen met de zeer glauconiet- en nummulietrijke basiszone van het Lid van Asse.

De plotse daling op 33,3 m dient in verband te worden gebracht met het ophalen van de buizen op 33,4 m. Inderdaad ook in DS 30.82, DS 30.68-69 en DS 30.71-72 ligt er bijna systematisch in de buurt van de laatst bereikte diepte vóór het ophalen van de buizen (zie merktekens tegen de ordinaat) een belangrijke anomalie in de plaatselijke kleef en het wrijvingsgetal. In detail bevindt die plotse daling zich 1 tot 2 niveaus boven de merkstreep van het

ophalen bij de 10 cm-meetstap en 0 tot 1 niveau bij de 20 cm-meetstap. Dit is het gevolg van het samenspel van de verschuiving van $f_{s,2}$ over 2 niveaus en de plaats waar het ophaal-merkteken is gezet in funktie van het al of niet afwerken van de laatste meetstap.

Op die plaats was een zekere afwijking evenwel te verwachten. Immers door het ophalen en opnieuw inlaten van de konus wordt het sondeergat verruimd en de klei langs de wanden verkneed. Doch eenmaal terug op diepte zou het, bij de 10 cm-meetstap vanuit geometrisch oogpunt, ten hoogste drie lezingen mogen duren vooraleer de kleefmeter terug in vers materiaal gekomen is. Nu blijkt in de meeste gevallen na drie lezingen de plaatselijke kleef nog te laag te zijn; in DS 30.81 (fig. 23a) merkt men zelfs een stijgzone van meer dan 1 meter vooraleer opnieuw een vaste waarde wordt bereikt. R. CARPENTIER (1976) stelde vast dat in de Boomse Klei, na het inlaten van de kleefvanger, de plaatselijke kleef zelfs over een zone van 2 meter was vervalst.

Gezien het feit dat de kleefmeter na drie meetstappen zeker in vers materiaal zit en dat een stijgzone aanwezig is, kan het effekt geheel of gedeeltelijk worden toegeschreven aan een met de diepte aangroeiende klemming van de kleefmeter. Immers wanneer men bedenkt dat de opening tussen het geleidingsstuk en de binnenwand van de meetcylinder vele malen groter is dan de afmetingen van de kleideeltjes lijkt het niet onwaarschijnlijk dat bij elke sluitbeweging klei- of fijne leemdeeltjes worden gevangen. Daardoor groeit de inwendige wrijvingsweerstand geleidelijk aan (stijgzone) tot uiteindelijk een evenwicht wordt bereikt (stabilisatie).

Dat men na het ophalen van de buizen en eens de kleefmeter in vers materiaal zit lagere waarden voor de plaatselijke kleef meet kan men verklaren door aan te nemen dat bij het ophalen en snel over en weer bewegen van de buizen (om L te reduceren), ook de konusdelen snel worden geopend en gesloten hetgeen een zekere reiniging tot gevolg heeft. Sondeert men verder dan worden opnieuw deeltjes gevangen tot stabilisatie wordt bereikt.

In zuivere zanden zou dit, wegens de afmetingen van de korrels, theoretisch niet gebeuren. De meeste zanden bevatten echter klei- en leemdeeltjes zodat ook daarin het klemmingseffekt

zich kan voordoen. Bij een versleten kleefmeter kunnen ook zeer fijne zandkorrels worden gevangen waardoor een belangrijke klemming kan ontstaan. In DS 30.83 (fig. 68) merkt men na het inlaten van de kleefvanger (op 12,8 m) en de manueel gereinigde konus een belangrijke daling van de plaatselijke kleef van 35 % (zie peilen). Nadien wordt niet onmiddellijk een toename (stijgzone) vastgesteld omdat de konus in een grover materiaal (T3,3) is terecht gekomen.

De grootte van de klemming kan men becijferen door de toename in plaatselijke kleef $\Delta f_{s,2}$, in een kracht om te zetten. Als uitersten nemen we de stabielere waarde van $f_{s,2}$ enerzijds, en de $f_{s,2}$-waarde 20 cm onder het ophaalniveau (= 4e en 3e plaatselijke kleefmeting na het ophalen bij respektievelijk de 10- en 20 cm-meetstap) anderzijds. De toename in geregistreerde kracht $\Delta F$ wordt dan gegeven door :

$$\Delta F = \Delta f_{s,2} \times S_{kl}$$

met $S_{kl}$ : de oppervlakte van de meetcylinder (150 $cm^2$)

In tab. 37 zijn de beschikbare gegevens samengebracht. Op DS 30.83 na, betreft het allemaal $\Delta f_{s,2}$-waarden van de tertiaire vaste klei T11 en de glauconiethoudende vaste klei T10 (fig. 21a, 22a, 23a, 65 en 68). Waarnemingen uit de basiszone van T10 zijn buiten beschouwing gelaten. In sommige gevallen zoals voor DS 30.72 op 32,7, 34,1 en 35,1 m diepte kon niet worden uitgemaakt op welke stabiele waarde diende te worden gesteund (? in de tabel).

Uit de tabel blijkt dat :

- $\Delta F$ gaat van 0 N tot 2025 N
- er geen verband tussen $\Delta f_{s,2}$ en de meetstap kan worden aangetoond
- $\Delta f_{s,2} = 0$ onafhankelijk is van hetzijn 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. Dit werd inderdaad enkele zeldzame malen vastgesteld. In dat geval moesten de konusdelen in water worden losgestoten, zoals bij DS 30.83. Bij DS 30.83 (kleefmeter versleten) was de belangrijke klemming inderdaad het gevolg van een aanzienlijke hoeveelheid ingevangen zeer fijn zand. Na het ophalen van de konus uit kwartair zand, was de klemming meestal gering. Gewoonlijk was ze iets belangrijker, doch niet overdreven, na het ophalen uit

tertiaire klei (kleifilm op het geleidingsstuk) of uit tertiair kleihoudend zeer fijn zand (invanging van klei- en fijne leemdeeltjes). Wanneer men evenwel de niet gereinigde konus met de hand, loodrecht op de as, onderwierp aan een buiging nam de klemming in die mate toe dat de konusdelen niet meer in elkaar waren te schuiven. Tijdens de sondering wordt de konus voortdurend aan buiging onderworpen. Denk bijvoorbeeld aan het feit dat de konus zich niet vertikaal in de grond beweegt maar min of meer spiraalsgewijs. Men mag dan ook verwachten dat de ware klemming veel groter is dan wanneer die in de hand wordt beproefd.

Om aan te tonen dat het klemmingseffekt wordt veroorzaakt door de opname van gronddeeltjes kan men tewerk gaan als volgt. Men omvat een droge (ongesmeerde) gerodeerde kleefmeter bovenaan tegen het geleidingsstuk met een kleiring. Men schuift de delen enkele malen langzaam in elkaar. Geleidelijk aan worden steeds meer gronddeeltjes opgenomen en de inwendige wrijving neemt toe. Door de kleefmeter enkele malen snel te openen en te sluiten vermindert die weerstand merkelijk wat het reinigingseffekt aantoond.

Blijft nog de vraag wat de lage plaatselijke kleef betekent. Berekenen we met formule (15) $f_{s,2,m}$ rekening houdend met 50 % konusweestand inwerkend op de hals van de kleefmeter dan wordt $f_{s,2,m}$ in het interval $7_1$ van DS 30.81 (fig. 23c) op de 5 laatste waarden na overal negatief. Hetzelfde stelde R. CARPENTIER (1976) vast met zijn korrektieformule voor de plaatselijk kleef berekend met een verminderingskoëfficiënt $\lambda = 0,7$ op de konusweerstand. Gezien de kleefmeter onder de merkstreep van het ophalen in vers materiaal zit volgt hieruit dat in overgekonsolideerde vaste kleien ofwel :

1° de holte boven de mantel niet of niet volledig is opgevuld waardoor geen of minder konusweerstand op de hals van de kleefmeter wordt uitgeoefend.
2° de vermindering van de konusweerstand door verkneding groter is dan wordt aangenomen.

De eerste veronderstelling lijkt de meest waarschijnlijke daar $\lambda = 0,7$ berust op proefondervindelijke resultaten bekomen in de Boomse Klei (E. DE BEER, 1973). Wel dient vermeld dat de omstandigheden hier niet dezelfde zijn vermits het interval $7_1$ betrekking heeft op een glauconiethoudende overgekonsolideerde klei terwijl

de Boomse Klei geen glauconiet bevat. Hiermee werd evenwel rekening gehouden door een ongunstiger waarde (a = 0,5) te gebruiken.

5.2.5.4.4.8.2. Invloed van de meetstap

In tab. 36 zijn de niet-representatieve intervallen aangeduid door VTT (verstoorde topzone van het Tertiair) en VOB (verstoring door ophalen van de buizen).

In de overblijvende intervallen stelt men zowel individueel als globaal nergens signifikante afwijkingen vast. Verder blijkt het ophalen van de buizen enkel invloed te hebben op de plaatselijke kleef en niet op de konusweerstand.

Besluit

In overgekonsolideerde vaste klei en glauconiethoudende klei heeft de meetstap geen invloed op de waarde van $C_{k,d}$, $f_{s,2}$ en W.

## 5.3. LITOLOGISCHE EN STRATIGRAFISCHE INTERPRETATIE VAN DIEPSONDERINGEN

### 5.3.1. 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 vertikale 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 funktie van de diepte levert immers een overzichtelijk beeld van de lagenbouw. Hierdoor kon men op snelle wijze de meest ekonomische 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 kombinatie met de totaalkleef. De ware doorbraak tot meer representatieve grondklassifikaties ontstond pas toen ook de plaatselijke kleef afzonderlijk kon opgemeten worden. 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 klassifikaties voorgesteld.

### 5.3.2. DOEL VAN HET ONDERZOEK

Niettegenstaande verscheidene onderzoekers het verband tussen de weerstanden en de grondsoorten duidelijk hebben aangetoond zullen we dieper ingaan op de door ons uitgevoerde kleefmantelkonussonderingen. Een uitgebreide analyse in verband met de litologische en stratigrafische bepaling van lagen lijkt ons verantwoord om verschillende redenen :

1° In België heeft men hiermee maar weinig ervaring opgedaan.

2° Onze onderzoekingen werden verricht in een specifiek en gevarieerd geologisch milieu waardoor nieuwe bevindingen werden opgedaan.
3° De verkleining van de meetstap tot 10 cm heeft geleid tot een winst aan informatie.
4° In tegenstelling met wat sommige onderzoekers menen is de totaalkleef een bruikbaar en zelfs diagnostisch gegeven gebleken.
5° We hebben vastgesteld dat een akkurate litologische en stratigrafische interpretatie van diepsonderingen maar mogelijk is door alle sondeerweerstanden in beschouwing te nemen. In die zin werd er een handige en representatieve interpretatietechniek uitgewerkt.

Herhalen we nog even dat de kleefmantelkonus ons volgende gegevens oplevert :
- de konusweerstand C ($C_{k,d}$)
- de plaatselijke kleef : F (F = $f_s$, $f_{s,2}$ of $f_{s,2,m}$)
- de totale weerstand T
- de totaalkleef L
- het wrijvingsgetal W = 100 x $\frac{F}{C}$ of de omgekeerde verhouding $\frac{C}{F}$

5.3.3. DE KONUSWEERSTAND

5.3.3.1. Toelichting

Als basisdiagram van de statische diepsondeertechniek is de konusweerstand uiteraard uitvoerig bestudeerd geworden door talrijke onderzoekers en allen zijn ze het erover eens dat deze metingen interessante en zeer waardevolle informaties 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 faktoren. Hij wordt vooral bepaald door de schuifweerstandseigenschappen de stijfheid en de vormveranderingseigenschappen van de grond en door de verbrijzelingssterkte en de vervormingseigenschappen van de individuele korrels. Op hun beurt worden die mede bepaald door de vertikale en de horizontale korrelspanning, de grondwaterspanning, het volumegewicht, de dichtheid, de korrelverdeling, de struktuur van het korrelskelet, de ruwheid en de vorm van de korrels enz...Verder is bekend dat hogere konusweerstanden worden opgemeten respektievelijk met toenemende vertikale 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 faktoren 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 faktoren en eigenschappen min of meer kenmerkend zijn voor welbepaalde litologische eenheden waardoor een verband met de konusweerstand kan worden gelegd.

5.3.3.2. Lagenopeenvolging

Grafisch uitgezet t.o.v. de diepte levert de konusweerstand een overzichtelijk beeld van de lagenbouw. Lage konusweerstanden stemmen overeen met los gepakte en slappe lagen, hoge met dichtgepakte en stijve lagen. Zo bakent men in een oogopslag 5 grote eenheden af in DS 30.71 (fig. 22a) namelijk tussen 0-13 m, 13-22 m, 22-29,1 m, 29,1-40,8 m en onder 40,8 m.

In lokale funderingsstudies stelt men zich meestal tevreden met het opsporen van de draagkrachtige laag. In geotechnisch karteringswerk tracht men litologische eenheden binnen een genetische eenheid af te bakenen. Bijgevolg streeft men ernaar uit het konusdiagram zoveel mogelijk informatie te halen over de litologie de homogeneteit en de gelaagdheid van een eenheid.

5.3.3.3. De grootte van de konusweerstand en de grondsoort

Kent men uit het konusdiagram goed de lagenbouw, dan is dat niet altijd waar voor de grondsoort. Een lage konusweerstand, b.v. <3 MN/m$^2$, kan even goed voorkomen in een losgepakt zand* (DS 30.26 : 3,1-4,6 m, fig. 17a) als in klei (DS 30.49 : 0,5-1,4 m, fig. 42a), leem (DS 30.32-33 : interval 4, fig. 19) of veen (DS 30.52 : 3,0-4,8 m, fig. 44a). Een hoge konusweerstand, b.v. 20 MN/m$^2$, wijst

---

* Los-, middelmatig en dichtgepakt zijn relatieve begrippen die de pakkingsdichtheid van zanden beschrijven. Ze moeten gezien worden in funktie van de diepte onder het maaiveld. Zo wijst een $C_{k,d}$ = 3 MN/m$^2$ in een zandlaag nabij het maaiveld op een dichte pakking terwijl op een losse voor één op 20 m diepte.

op een dichtgepakt zand (DS 30.17-18; interval 3, fig. 14) maar ook op grint, schelpengrint, grinthoudende en schelphoudende zandlagen (DS 30.33-32); interval $5_1$, fig. 19).

Het is duidelijk dat men uit de konusweerstand alleen de grondsoort niet ondubbelzinnig kan bepalen in een totaal onbekend gebied. Het enige waarop men kan steunen is het principe dat in niet verkitte of verharde omstandigheden lage konusweerstanden overwegend voorkomen in fijnkorrelige (klei, leem) en hoge weerstanden in grofkorrelige materialen (zand, grint).

5.3.3.4. De primaire en secundaire strukturen van het konusdiagram

Lopen de grondlagen door en beschikt men over meerdere sonderingen in het te onderzoeken gebied dan kan men vaak op grond van de primaire en de secundaire struktuur van het konusdiagram de korrelaties vastleggen. Met de primaire struktuur wordt bedoeld de grotere vormeenheden terwijl de tekening (piekjes) daarop gesuperponeerd de secundaire of detailstruktuur uitmaakt. Ook de grootte van de konusweerstand speelt hierin een rol alhoewel daaraan geen te overdreven belang mag worden gehecht. Voor de secundaire struktuur betreft het in 't bijzonder de relatieve veranderingen van de konusweerstand ten opzichte van de gemiddelde konusweerstand van de vormeenheid.

Uit de voorbeelden blijkt dat de waarde van de 10 cm-meetstap ligt in het veroorzaken van een meer gevarieerde secundaire struktuur, hetgeen de interpreteerbaarheid van het konusdiagram ten goede komt. Deze opmerking is trouwens te veralgemenen voor de andere sondeerdiagrammen. De slappe laag K8,2 tussen 13-22 m in DS 30.71-72 (fig. 22a) blijkt in DS 30.72 veel homogener dan in DS30 71. De snelle opeenvolging van de scherpe piekjes en valleitjes en de relatief grote afwijking ervan t.o.v. de gemiddelde konusweerstand komt veel beter tot uiting in DS 30.71 en vormt een aanwijzing voor een uitgesproken gelaagdheid waarschijnlijk van klei-, leem- en zandlaagjes van minder dan 10 cm tot enkele tientallen cm dikte.

Voor de laag T11 + T10 tussen 30,0-40,5 m en het deel 13-18 m van K8,2 geeft DS 30.72 een analoge detailstruktuur wat niet kan gezegd van de overeenkomstige zones in DS 30.71. In deze laatste wijst de detailstruktuur van T11 + T10 op een veel grotere homogeniteit (geringere relatieve uitwijking en minder scherpe piekjes).

Korrelaties op grond van de struktuur van het konusdiagram zijn des te eenvoudiger naarmate de afzettingen in horizontale richting grondmechanisch homogener zijn en min of meer konstant blijven in dikte. Hieraan voldoen vooral de tertiaire afzettingen in het studiegebied. Daarin vertoont het konusdiagram dan ook zeer specifieke patronen die over grote afstand terugkeren. Beschouwen we bijvoorbeeld de reeks DS 30.50-66 (fig. 20a), DS 30.38 (fig. 31), DS 30.44 (fig. 37) en DS 30.61 (fig. 53a), waarin het Tertiair respektievelijk aanvangt op 31,3 m, 23,0 m, 24,1 m en 23,1 m en waarvan de twee uitersten (DS 30.50-66 en DS 30.61) op bijna 5 km van elkaar gelegen zijn. Het betreft hier de eenheden T6,1, T5, T4,1, T3 en T2 van het Lid van Oedelem en zoals aangeduid op de figuren kan men zonder moeite op grond van de struktuur van het konusdiagram alleen de overeenstemmende eenheden met elkaar korreleren. DS 30.38 diende vroegtijdig onderbroken door een harde laag op 28,9 m, maar de struktuur van het konusdiagram van 5,5 m Tertiair blijkt ruimschoots voldoende om het stratigrafisch verband met de laageenheden T6,1, T5, T4,1 in DS 30.44 en DS 30.61 te leggen. Bemerken we nog de driedelige opbouw van T3 met daarin bovenaan het dunne kleilaagje T3,3 dat in DS 30.50-66 en DS 30.44 duidelijk ontwikkeld, maar in DS 30.61 nagenoeg verdwenen is.

Uit de voorgaande figuren blijkt dat de detailstruktuur van de tertiaire zandlagen veel minder uitgesproken is dan die van de meeste zandlagen van het Kwartair, tenminste voor die lagen waarin de schelpen grotendeels verweerd zijn zoals in T6,1. Bevat een tertiaire zandlaag schelpen, die voldoende groot en hard zijn, dan zal ook daarin een uitgesproken detailstruktuur ontstaan (b.v. eenheid T2,2 in DS 30.61, DS 30.44 en DS 30.50-66).

Alhoewel het Kwartair grondmechanisch meestal veel minder homogeen is, vertoont het konusdiagram van dezelfde lagen, over niet te grote afstand, niet zelden nog duidelijke gelijkenissen in struktuur (b.v. K4,1 en K3 in DS 30.17-18 en DS 30.26-27, fig. 14a en 17a). Evenwel kunnen voor een bepaalde eenheid tussen de sonderingen onderling veel grotere schommelingen in de gemiddelde konusweerstand optreden (b.v. K2,1 in DS 30.17-18 en DS 30.26-27, fig. 14a en 17a).

DS 30.26-27 en DS 30.17-18 illustreren eveneens het zaagtandvormig verloop van de konusweerstand, dat vaak wordt waargenomen in grint en grinthoudende zandlagen (zie K3) en in dunne lagen met snel wisselende weerstand (G. SANGLERAT, 1972). Dat scherpe en relatief hoge pieken in het konusdiagram wijzen op grintelementen is niet altijd waar, zoals blijkt uit het konusdiagram van de grintloze zandlaag K2,1 in DS 30.26. Grintelementen worden alleen ondubbelzinning aangetoond door het konusdiagram wanneer de konusweerstand zeer steil en zeer hoog uitschiet (>10 MN/m$^2$ per 10 cm indringing) boven zijn omgeving (DS 30.30 : K1, fig. 18a). In die zin biedt de 10 cm-meetstap eveneens voordelen, gezien de scherpte en de steilte van een piek op die manier in de hand worden gewerkt. In elk geval dient men de pieken steeds te beschouwen ten opzichte van hun onmiddellijke omgeving. Zo zal een eenzame scherpe (1 lezing) en hoge piek in een omgeving met lage konusweerstand (DS 30.44 : 13 - 14 m, fig. 37) een goede aanwijzing vormen voor een grintelement.

Een merkwaardige illustratie hoe diagnostisch de detailstruktuur van een 10 cm-sondering wel kan zijn,wordt gegeven door het konusdiagram van de fijne tot zeer fijne zanden (K5,2) van de afzetting van Eeklo. Deze zandlagen worden van elkaar gescheiden door lemiger en lemige niveaus (K5,1). In DS 30.61 (fig. 53a) liggen deze eenheden tussen 2,0 - 8,6 m. De geleidelijke toe- of afname van de konusweerstand nagenoeg zonder piekjes is kenmerkend (zie ook DS 30.51 : 7,8 - 14,3 m, fig. 43; DS 30.59 : 2,3 - 9,6 m, fig. 51). Op grond hiervan herkent men deze eenheden in DS 30.50-66 tussen 5,4 - 8,0 m (fig. 20a).

### 5.3.4. DE KONUSWEERSTAND IN KOMBINATIE MET DE TOTAALKLEEF EN DE TOTALE WEERSTAND

Een beter idee van de grondsoort zou men kunnen verkrijgen uit het verband met de $C_{k,d}$ en de helling van de totaalkleef L. Het is immers zo dat voor vele grondsoorten met dezelfde konusweerstand de kleef toeneemt met de cohesie en de plasticiteit van de grond.

Aangezien tijdens het sonderen op elke diepte,de totaalkleef wordt opgebouwd door superpositie van de kleefbijdrage van de zopas gesondeerde zone, bij de vorige totaalkleef, zou men uit de plaatselijke helling van de totale kleefkromme de plaatselijke kleef voor ieder punt kunnen berekenen. Door die waarden met de

overeenstemmende konusweerstand te vergelijken, zou men een verband met de grondsoort kunnen leggen. Nu veroorzaken voorbijglijdende buizen verkneding of roering van de aangrenzende lagen. Bovendien wordt ook het sondeergat geleidelijk aan verruimd. Hierdoor neemt de totaalkleefbijdrage van de reeds gesondeerde lagen op een onkontroleerbare wijze af; bijgevolg kan men de ware totaalkleeftoename op een bepaald punt niet nauwkeurig berekenen. De vermindering kan zelfs groter zijn dan de toename waardoor L daalt i.p.v. te stijgen (b.v. tussen 9,1 - 10,6 m in DS 30.52, fig. 44a). Daarbij komt nog dat wanneer eenmaal de kleefvanger is aangewend de totaalkleef helemaal wordt vertekend. Daarom aanzien vele onderzoekers, vooral uit Nederland (H. BEGEMANN, 1953, 1969, 1977) de totaalkleef als een kwasi onbruikbaar gegeven.

Uit ons onderzoek blijkt evenwel dat L kwalitatief zeer interessante en zelfs diagnostische informatie oplevert.

5.3.4.1. Herkenning van veen

In vele gevallen veroorzaakt veen een aanzienlijke steilere en vrij konstante helling van de totaalkleefkromme (DS 30.52 : 3,0 - 4,8 m, peil 1, fig. 44a). De hellingstoename zet meestal scherp aan en tekent zich bij intrede in het veen gewoonlijk af door een knik in de kurve (DS 30.51 : op 3,1 m, peil 1, fig. 43; en DS 30.50 : op 3,1 m, peil 1, fig. 20a,b). Die figuren tonen ook aan dat de hellingstoename iets achter komt (10-20 cm) op de konusweerstand wat onder meer te verklaren is door de kleinere diameter van de mantel en de holte erboven. Daardoor werkt de kleef pas dan goed in wanneer de kleefmeter en de buizen, die dezelfde diameter als de punt hebben, in de veenlaag terechtkomen. Dit gebeurt pas tijdens de volgende meetstappen.

De aarzeling in de hellingstoename van L bij intrede in het veen van DS 30.52 (peil 2, fig. 44a) wordt mede veroorzaakt door de aftakeling van de kleef van de erboven liggende zandlaag. Vooral na een sterke oploop, zoals in dichtgepakte zanden, kan de daling groot en zelfs groter zijn dan de toename waardoor L in het veen kan dalen (DS 30.3 : tussen 4,1 - 5,5 m, peil 1, fig. 24).

Het diagnostische karakter van L met betrekking tot de herkenning van veen wordt in sterke mate bepaald door het erboven liggende materiaal. In het studiegebied zijn het vaak (zeer) slappe lemen en kleien (DS 30.49 : K8,3, boven 4,3 m, fig. 42a), met klei of leem gelaagde losgepakte zanden (DS 30.73 : boven 2,5 m, fig. 60), en verstoorde veenputopvullingen (DS 30.64 : boven 1,9 m, fig. 56). In deze voorbeelden ziet men L bij intrede in de grond eerst toenemen. Na 1 tot 2 m indringing valt de helling bijna terug tot nul. Pas wanneer het veen bereikt is stijgt L opnieuw. Dichtgepakte zanden of vrij slappe kleien op het veen bemoeilijken de interpretatie. In het eerste geval kan de toename van L worden verdoezeld door daling van de kleef zoals eerder beschreven; in het tweede geval blijft L gewoonlijk snel stijgen waardoor het hellingskontrast minder duidelijk of onzichtbaar wordt.

De voorbeelden DS 30.49 (fig. 42a), DS 30.52 (fig. 44a) e.a. tonen aan dat de totale weerstand T nagenoeg dezelfde veranderingen als L ondergaat voor zover de konusweerstand slechts kleine schommelingen vertoont. Is het konusdiagram over enkele opeenvolgende meetstappen onderbroken (en bijgevolg ook dat van L), omdat de konus niet sloot, dan heeft men nog steeds het diagram van T. De snelle stijging van T wijst in die gevallen op een sterk samenhangende grondsoort. Met een voorafgaande kennis van het gebied kan men die toename als veen interpreteren (DS 30.29 : tussen 2,5 - 4,3 m, peilen 1, fig. 27; en DS 30.32 : tussen 1,9 - 3,7 m, peilen 1, fig. 19).

5.3.4.2. Indruk van de mate waarin het spanningsveld van de indringende konus naar boven is gewenteld*; het geïnduceerde spanningseffekt

Wanneer de konus vanuit een slappe laag in een weerstandbiedende laag dringt, gaat hij van het belastingsprobleem nabij het oppervlak geleidelijk over naar het probleem in de laag zelf. In weerstandbiedende lagen overheerst het oppersingsverschijnsel en volgens E. DE BEER (1961, 1963) ondervindt de konus slechts de maximale weerstand wanneer de glijdvlakken maximaal ontwikkeld zijn, wat maar kan gebeuren wanneer de konus voldoende diep in

---

* Uitgewerkt in samenwerking met Ir. W. VAN IMPE (Laboratorium voor Grondmechanica, R.U.G.)

de laag is gedrongen (ongeveer 40 cm). Tijdens deze indringingsafstand wentelen de glijdvlakken geleidelijk meer en meer naar boven, om uiteindelijk tot tegen de schacht te komen.

Nu heerst er in de zone binnen de glijdvlakken een verhoogde spanningstoestand die zijn invloed op de weerstanden doet gelden. Met name dragen de verhoogde horizontale korrelspanningen bij tot een toename van de zijdelingse wrijvingsweerstand op die delen die zich binnen het invloedsgebied van de konus bevinden. Dit zijn de kleefmeter en mogelijk ook het onderuiteinde van de buizen. Het effekt doet zich voor bij het meten van T. Vermits L uit T wordt afgeleid moet het effekt dan ook in L zichtbaar zijn als een "plotse" toename. Plots, omdat de verhoogde wrijving zich maar manifesteerd van op het moment dat het invloedsgebied (zone met glijdvlakken) de delen boven de konus heeft bereikt. Dit verklaart waarom na enkele decimeter indringing in een voldoende weerstandbiedende laag, L plots zeer sterk toeneemt (DS 30.52 : tussen 8,7 - 8,8 m, peil 3, en 10,8 - 10,9 m, peil 4, fig. 44a). Het effekt noemen we het geïnduceerde spanningseffekt.

Blijft, na de sterke toename van L de konusweerstand in de volgende metingen ongeveer gelijk, dan blijft die bijkomende weerstand in de omgeving vlak boven de konus gehandhaafd; terzelfdertijd verdwijnt de verhoogd korrelspanning in de lagen die uit het invloedsgebied zijn gekomen. Daarom is die bijkomende weerstand slechts zeer kort merkbaar in L en dient de kromme na 10 cm tot 20 cm een lagere helling aan te nemen die beter met de natuurlijke bijdrage van de horizontale korrelspanningen overeenstemt.

Indien na de toename van L, de konusweerstand over een langer trajekt in belangrijke mate blijft toenemen, bijvoorbeeld omdat de pakkingsdichtheid toeneemt met de diepte, dan kan enerzijds het invloedsgebied boven de konus en anderzijds de supplementaire horizontale korrelspanning toenemen waardoor de totale geïnduceerde weerstand met de diepte blijft aangroeien. In die omstandigheden handhaaft de sterke toename zich over een groter interval. De helling ervan verzwakt evenwel snel met de diepte omdat de aangroei kleiner en kleiner wordt (DS 30.52 : tussen 8,8 - 9,2 m, peil 5, fig. 44a).

Bij overgang van een weerstandbiedende naar een slappe laag doet zich het omgekeerde verschijnsel voor. Nadert de konus de slappe laag dan begint het spanningsveld boven de konus af te takelen omdat samendrukking meer en meer een rol gaat spelen. Hierdoor neemt de geïnduceerde weerstand op de kleefmeter er het ondereind van de buizen af waardoor L daalt. Dit is vooral goed waar te nemen bij een afwisseling van voldoende dikke dichtgepakte- en slappe lenzen. Men ziet, na intrede in de weerstandbiedende lens, L eerst snel oplopen en vervolgens aanzienlijk terugvallen bij overgang naar de slappe (DS 30.52 : tussen 6,7 - 7,2 m, peilen 6, fig. 44a).

Het geïnduceerde spanningseffekt, dat groter is naarmate L steiler oploopt geeft een indruk van de mate waarin het spanningsveld boven de konus is ontwikkeld en daarmee ook van de mate van oppersing in en de pakkingsdichtheid van de laag.

Uit litologisch standpunt wijst de steile oploop van L samen met een snel stijgende $C_{k,d}$ op een dichter gepakt zandig materiaal.

Het verschijnsel kan min of meer verdoezeld worden door roering van de reeds gesondeerde lagen evenals door het feit dat de opbouw of aftakeling van het spanningsveld onregelmatig kan verlopen.

Indien men L rechtstreeks bepaalt, wat in principe mogelijk is door af te lezen tijdens de sluitbeweging van de konus, ontbreekt de door de konus geïnduceerde spanning en dient de sterke oploop na intrede in een weerstandbiedende lens afwezig of minder steil te zijn.

5.3.4.3. Grens tussen de aanvulling en de bovenste oorspronkelijke afzetting

In sommige gevallen verschaft de totaalkleef inlichtingen over de grens tussen de aanvulling en het bovenste oorspronkelijke sediment. In DS 30.51 (fig. 43) ziet men in L en T op 4,1 m diepte een opvallende knik (zie peil 2) die verband houdt met die grens. De snelle stijging van L en T is hier veroorzaakt door de kleiige toplaag van de afzetting van Duinkerke.

Dergelijke interpretaties kan men alleen uitvoeren indien men het studiegebied in zekere mate kent. In dit geval kon de top van de afzetting van Duinkerke op ongeveer +3 m à +4 m worden verwacht.

5.3.4.4. Herkenning van harde elementen

Men neemt aan dat een neerwaartse piek in L overeenstemmend met een opwaartse in de $C_{k,d}$ wijst op een hard insluitsel (silexkei, schelp) in de grond. Dit is evenwel niet altijd waar aangezien de meeste piekjes in L te wijten zijn aan de manier waarop L is bepaald, namelijk door het verschil $T-C_{k,d}$. Daar beide niet op dezelfde diepte worden gemeten kent men het aandeel van de ware $C_{k,d}$-bijdrage in T niet nauwkeurig; dit geeft aanleiding zowel tot opwaartse als neerwaartse piekjes in L. Het verschijnsel komt veelvuldig voor in zanden gelaagd met klei of leem, waarin de konusweerstand op korte afstand (orde van de meetstap) grote schommelingen vertoont (b.v. DS 30.71-72 : 0,0 - 13,0 m, fig. 22a). Men kan als voorbeeld nemen een dun zeer dichtgepakt zandlaagje, waarin de $C_{k,d}$ over het gehele meetinterval snel toeneemt; hierin is $L_1 = T_1 - C_{k,d,1}$ te groot. Indien in de volgende meetstap de $C_{k,d}$ eerst nog toeneemt maar bij de meting van T2 scherp terugvalt, is L2 te klein. In de derde meetstap kan L3 opnieuw stijgen. De L-kromme vertoont in dit geval een neerwaartse piek op het niveau van de maximum gemeten konusweerstand in het zandlaagje.

Neerwaartse piekjes in L worden ook vaak aangetroffen wanneer de konusweerstand eerst snel en daarna minder snel toeneemt zoals in DS 30.49 op 9,6 m, peilen 1, en 13,7 m, peilen 2 (fig. 42a). Op een gelijkaardige manier ontstaan opwaartse piekjes in L in kombinatie met neerwaartse in de $C_{k,d}$ (DS 30.49 : op 12,6 m, peilen 3, fig. 42a).

Ook de meetstap heeft invloed op het verschijnen van piekjes in L. Hoe kleiner de meetstap, hoe meer piekjes. Aangezien over de gehele kurve L gemiddeld blijft toenemen ziet men gemakkelijk in dat bij grotere meetintervallen de kans groter is dat L toegenomen is. Dit blijkt duidelijk uit de vergelijking van de totaalkleef-kromme van de 10-20 cm-sonderingen.

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. Stoot de konus op een voldoende groot grintelement (enkele cm) dan wijkt die zeer snel uit. Op het ogenblik dat het grintelement is verbrijzeld (vaak hoorbaar) of dat het zijdelings is weggeperst valt de $C_{k,d}$ meestal plots zeer aanzienlijk terug. Die terugval is gewoonlijk van korte duur en heeft plaats zowel tijdens het meten van de $C_{k,d}$, F of T. Doet die terugval zich voor tijdens de meting van T dan verschijnt in L een neerwaartse piek samen met een opwaartse in de $C_{k,d}$. Komt de terugval reeds voor tijdens de meting van de $C_{k,d}$ dan ontstaat ofwel een neerwaartse piek omdat de $C_{k,d}$-bijdrage in T nog veel lager is; ofwel kan in grinthoudende lagen reeds op een ander grintelement zijn gestoten waardoor de $C_{k,d}$-bijdrage in T in zulke mate stijgt dat L toeneemt. Valt de daling samen met de meeting van $P_2$, dan kan de weerstandsbijdrage van de kleefmeter worden overtroffen waardoor geen slag meer is te zien en $f_{s,2}$ niet te bepalen is.

Uit het voorgaande blijkt nogmaals dat men tijdens de sondering aandacht aan alle mogelijke details moet besteden om achteraf een zo nauwkeurig mogelijke interpretatie te verrichten.

5.3.4.5. De totaalkleef na aanwending van de nokkekleefvanger

5.3.4.5.1. Grens Kwartair-Tertiair

Eens de maximum diepte met de konus op de buizen is bereikt gebruikt men een kleefvanger om nog verder te sonderen. De totaalkleef wordt van dan af aan algemeen als waardeloos beschouwd omdat men de kleefreduktie niet kent. De gereduceerde totaalkleef verschilt naargelang van het type kleefvanger. Het volgende heeft enkel betrekking op de nokkenkleefvanger (4 nokken) (fig. 12).

In DS 30.43 (fig. 36) werd de kleefvanger aangewend vanaf 12,8 m. Zonder kleefvanger neemt L vrij regelmatig toe; met kleefvanger volgt L min of meer het verloop van de konusweerstand. De piek en de toename (fig. 36) van de $C_{k,d}$ op 16,4 m (peil 1) en 19,1 m (peil 2) doen zich eveneens voor in L respektievelijk op 17,0 m (peil 3) en 19,7 m (peil 4). De gereduceerde totaalkleef komt blijkbaar 0,6 m achter op de $C_{k,d}$. Dit houdt verband met de plaats van de nokjes boven het basisvlak van de konus tijdens de

meting van T (ongeveer 0,6 m) en met de daarop inwerkende konusweerstand. Vanaf 25,0 m tot de einddiepte verloopt L echter totaal anders. Na een opmerkelijke daling (peil 5) neemt L vrij regelmatig toe en volgt slechts in veel geringere mate het verloop van de konusweerstand.

Deze verschijnselen zijn systematisch en in verband te brengen met de afzettingen van het Kwartair enerzijds en van het Tertiair anderzijds zoals duidelijk uit de voorbeelden blijkt : DS 30.44 : Tertiair vanaf 24,0 m (fig. 37), DS 30.61 : Tertiair vanaf 23,1 m (fig. 53a), DS 30.30-31 : Tertiair vanaf 24,9 m (fig. 18a,b) en zeer duidelijk in DS 30.47 : Tertiair vanaf 23,7 m (fig. 40).

Op grond van die verandering in het diagram kan men met zekerheid de grens Tertiair-Kwartair in DS 30.48 op 28,7 m (fig. 41) trekken. Hieruit blijkt ook dat de aanzienlijke daling van L na intrede in het Tertiair niet alleen te verklaren is door de lagere konusweerstanden rond 28,5 m; vanaf 28,8 m in de $C_{k,d}$ immers reeds hoger dan die in de laatste laag (27,0 - 28,0 m) van het Kwartair terwijl L onder 29,4 m absoluut nog belangrijk lager ligt.

Waarom de met de nokkenkleefvanger gereduceerde totaalkleef in het Tertiair een veel regelmatiger verloop kent dan in het Kwartair kan men verklaren door aan te nemen dat deze kleefvanger in de tertiaire afzettingen meer gelijkmatig inwerkt Uit de gemiddeld kontinue toename van L dient men nochtans te besluiten dat de totaalkleef daarin minder efficiënt is gereduceerd, waarschijnlijk omdat de tertiaire afzetingen uit fijner materiaal bestaan. Het is trouwens bekend dat kleefvangers minder doeltreffend zijn naarmate een grondsoort fijner (kleiiger) is.

Op theoretische grond kan men schatten in welke mate L reageert op een belangrijke verandering van de konusweerstand in de kwartaire en tertiaire afzettingen van het studiegebied.

Voor een duidelijke toe- of afname van de totaalkleef ($\Delta L$) over een niet te grote aangroei in diepte ($\pm$ 0,5 m) bepaalt men de verandering in konusweerstand ($\Delta C_{k,d}$) tussen de overeenkomstige begin- en eindstand van de nokjes. Deze standen worden gegeven door de snijpunten van het konusdiagram met de niveaus 0,6 m terug op het begin- en eindpunt van $\Delta L$. Gezien de meetstap en dus de speling 10 cm bedraagt dient men soms de snijpunten met de

niveaus 0,5 m terug, in aanmerking te nemen.

We veronderstellen dat de plaatselijke kleef op elk niveau beneden de nokjes onveranderd blijft inwerken op een cylindrische buis met lengte 60 cm, diameter 3,6 cm en oppervlakte 679 $cm^2$.

De theoretische benadering $\Delta L_T$ wordt nu gegeven door :

$$\Delta L_T = \Delta L_{Ck,d} + \Delta L_{0,6} \qquad (16)$$

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

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

$\Delta L_{Ck,d}$ wordt gegeven door $\Delta C_{k,d}$ en het gezamelijke basisoppervlak $S_n$ van de nokjes :

$$\Delta L_{Ck,d} = \Delta C_{k,d} \times S_n \qquad (KN) \qquad (17)$$

met $S_n \approx 4{,}5$ $cm^2$ (na gemiddelde slijtage en rekening houdend met het basisoppervlak van de lasnaad)

$\Delta L_{0,6}$ bekomt men door het verschil te maken van de totale kleef $L_{0,6}$ inwerkend op de 0,6 m lange buis bij het begin- en eindpunt van $\Delta L$. Om $L_{0,6}$ te berekenen gebruiken we de overeenkomstige $f_{s,2}$-waarden. Om rekening te houden met eventuele parasitaire weerstanden hebben we van die $f_{s,2}$ 30 % van hun waarde afgetrokken waaruit dan een gemiddelde verminderde plaatselijke kleef is bepaald voor de begin- ($f_{s,2,g,b}$) en eindstand ($f_{s,2,g,e}$) van de buis. Aldus is $\Delta L_{0,6}$ gegeven door :

$$\Delta L_{0,6} = (f_{s,2,g,b} - f_{s,2,g,e}) \times S_b \qquad (KN) \qquad (18)$$

met $S_b$ de oppervlakte van de buis = 679 $cm^2$

Als vergelijkbare waarden berekenen we in procenten :

- de verhouding van de waarneming $\Delta L$ ten opzichte van de berekening $\Delta L_T$ : $\frac{100\Delta L}{\Delta L_T}$
- het aandeel van $\Delta L_{Ck,d}$ in $\Delta L_T$ : $\frac{100L_{Ck,d}}{\Delta L_T}$
- het aandeel van $\Delta L_{Ck,d}$ en $\Delta L_{0,6}$ in $\Delta L$ : $\frac{100\Delta L_{Ck,d}}{\Delta L}$ en $\frac{100\Delta L_{0,6}}{\Delta L}$
- het niet nader bepaalde restdeel in $\Delta L$ : $100 - \frac{100}{\Delta L}(\Delta L_{Ck,d} + \Delta L_{0,6})$

Nemen we als voorbeeld DS 30.44 (fig. 37). Tussen 31-32 m ziet men een daling $\Delta L$ die in verband is te brengen met de afname van de konusweerstand $\Delta C_{k,d}$ ongeveer 0,6 m vroeger. Uit de figuur leidt men af : $\Delta L$ = 9 KN, $\Delta C_{k,d}$ = 11,6 MN/m$^2$, $f_{s,2,g,b} = \frac{7}{10}$x22,2 N/cm$^2$ en $f_{s,2,g,e} = \frac{7}{10}$ x 18,0 N/cm$^2$.

Aldus berekent men met (17), (18) en (16)

$$\Delta L_{Ck,d} = 11,6 \times 4,5.10^{-1} = 5,2 \text{ KN}$$

$$\Delta L_{0,6} = \frac{7}{10} (22,2 - 18,0) \times 679.10^{-3} = 2,0 \text{ KN}$$

$$\Delta L_T = 5,2 + 2,0 = 7,2 \text{ KN}$$

De vergelijkbare waarden vindt men verder in tab. 39 terug.

Dergelijke berekeningen hebben we hernomen voor 14 duidelijke toe- of afnamen van L en de $C_{k,d}$ in het Kwartair, 10 in het Tertiair en 7 voor de overgang van het Kwartair naar het Tertiair (tab. 38, 39 en 40). Verder is voor elke reeks vergelijkbare waarden het gemiddelde en de standaardafwijking bepaald. Deze zijn statisch gestest met een t-student verdeling voor $n_1+n_2$ - 2 vrijheidsgraden. Getest zijn $t_{\overline{x_1-x_2}}$, $t_{\overline{x_1-x_3}}$, $t_{\overline{x_1-x_3}}$ met $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$, $\bar{x}_3$ het gemiddelde van een serie vergelijkbare waarden respektievelijke uit het Kwartair, Tertiair en hun overgang. Als signifikantieniveaus zijn 0,01 en 0,05 genomen met dezelfde beslissing voor de $H_0$-hypotese zoals bij het vergelijkend onderzoek van de meetstap (zie 5.2.5.4.2.).

De beschouwde overgangen in het Kwartair betreffen deze van dichtgepakte fijne zandlagen naar slappe klei- of leemlenzen,

of naar los- en middelmatig dichtgepakte fijne zanden en omgekeerd.

In het Tertiair gaat het om toe- of afnamen die overeenstemmen met overgangen van dichtgepakt weinig kleihoudend fijn tot zeer fijn zand naar klei- of leemlagen, ofwel om de toename na intrede van de konus in de tertiaire dichtgepakte weinig kleihoudende fijne zanden.

De overgang van het Kwartair naar het Tertiair betreft de zone waarin de kenmerken van de gereduceerde totaalkleef in het Kwartair overgaan naar die in het Tertiair. Het gaat om een daling zowel in L als in de $C_{k,d}$. Strikt genomen gebeuren die dalingen dus in het onderste van het Kwartair. Soms zijn die dalingen gering wanneer kwartaire zanden en grinthoudende zanden rusten op weinig verstoorde dichtgepakte tertiaire zanden. Soms zijn die dalingen aanzienlijk bij een overgang naar tertiaire vaste klei.

Om vertekening van de resultaten te vermijden zijn overgangen genomen tussen lagen van voldoende dikte waarin de $C_{k,d}$ over enkele metingen ongeveer gelijk blijft. In elk geval is zoveel mogelijk vermeden lokale piekjes, die kunnen te wijten zijn aan afzonderlijke grintelementen, in de analyse te betrekken.

Uit de gemiddelden (tab. 38, 39, 40) blijkt het volgende :

1° De theoretische benadering $\Delta L_T$ is ontoereikend om $\Delta L$ te verklaren, vermits deze laatste in alle gevallen beduidend groter is : namelijk 186 %, 147 % en 241 % voor het Kwartair, Tertiair en hun overgang. Bovendien zijn deze gemiddelden ten opzichte van elkaar signifikant afwijkend hergeen er kan op wijzen dat afhankelijk van de drie mogelijkheden er in $\Delta L_T$ nog andere faktoren dienen in rekening gebracht.

2° Op grond van de theoretische benadering overheerst $\Delta C_{k,d}$ in $\Delta L_T$ met 69 %, 84 % en 78 % voor het Kwartair, Tertiair en hun overgang. In werkelijkheid is het aandeel van $\Delta C_{k,d}$ in $\Delta L$ met respektievelijk 38 %, 59 % en 33 % overal beduidend kleiner. Tussen het eerste en het tweede, en het tweede en het derde, gemiddelde $(\frac{100\Delta Ck,d}{\Delta L})$ wordt signifikantie gevonden. Het eerste en het derde gemiddelde wijken daarentegen niet signifikant van elkaar af; dit kon worden verwacht aangezien de overgang Kwartair-Tertiair het onderste van het Kwartair uitmaakt. In elk geval blijkt dat de bijdrage van $\Delta C_{k,d}$ in $\Delta L$ juist groter is in het Tertiair dan in het Kwartair, dus net andersom zoals gedacht.

3° Niettegenstaande de standaardafwijking op een belangrijke spreiding (relatief) wijst is het aandeel van $\Delta L_{0,6}$ in $\Delta L$ voor de drie gevallen algemeen gering. Tussen de gemiddelden wordt geen signifikantie gevonden.

4° Voor het Kwartair, Tertiair en hun overgang blijven in $\Delta L$ nog respektievelijk 45 %, 29 % en 58 % onverklaard, waarden die zeker niet te verwaarlozen zijn en bovendien ten opzichte van elkaar signifikant afwijken.

Aangezien $\Delta L$ steeds ongeveer 0,6 m achter komt op de $C_{k,d}$ en $\Delta L_T$ de waarneming $\Delta L$ niet volledig verklaart, kan worden gedacht aan een soort door de nokjes veroorzaakt ringeffekt. Men kan verwachten dat zich rond de nokjes bijkomende glijdvlakken 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 en zeer snel aangroeiende uithollingen (na circa 700 m sondering reeds 2 mm diep en merkbaar tot 3,5 cm beneden, 2,5 cm boven en 0,8 cm lateraal van de inplanting) in de draagbuis rond de nokjes.

Daar de rest in $\Delta L$ afhankelijk blijkt te zijn van de drie mogelijkheden kan men veronderstellen dat ook het ringeffekt hiervan afhangt. Nochtans doet zich, voor wat het Tertiair betreft, een komplikatie voor. De tertiaire (weinig) kleihoudende zanden kunnen overgekonsolideerd zijn. Indien overgekonsolideerd, zijn de gemeten $C_{k,d}$ te groot (J. HOLDEN, 1971; J. SCHMERTMANN, 1972; H. BEGEMANN, 1976).

In de hypotese van overkonsolidatie is in zanden de aangenomen (en gemeten) $\Delta L_{Ck,d}$ te groot. De reden moet 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 effekten 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 korrelinspanning waardoor de nokjes een lagere $C_{k,d}$ en bijgevolg een lagere $\Delta C_{k,d}$

ondervinden. Dit vormt een verklaring* waarom de bijdrage van $\Delta L_{Ck,d}$ in $\Delta L$ schijnbaar groter is en de verhouding $100\frac{\Delta L}{\Delta L_T}$ en de rest in $\Delta L$ schijnbaar lager zijn in het Tertiair dan in het Kwartair.

Vermits de effekten zich manifesteren onmiddellijk na intrede in het Tertiair, zou dit kunnen betekenen dat de overkonsolidatie in de topzone van de tertiaire kleihoudende zanden grotendeels is bewaard gebleven, hetgeen opmerkelijk is gelet op hun geschiedenis (top = kwartair erosievlak en topzone beïnvloed door vorstwerking). Men zou eerder hebben verwacht dat in die topzone (enkele m) de overkonsolidatie zou verdwenen zijn. Uit het onderzoek is nochtans gebleken dat ook het verlaagde wrijvingsgetal op overkonsolidatie wijst. Teneinde een meer gefundeerde verklaring te geven is het hoe dan ook nodig aanvullende proeven te verrichten.

Hoe de afwijkende resultaten $\frac{100\Delta L}{\Delta L_T}$ en de rest $\Delta L$ (zie test $t_{\overline{x_1-x_3}}$, tab. 38) van de overgang Kwartair-Tertiair dienen geïnterpreteerd is vooralsnog niet geweten.

5.3.4.5.2. De totaalkleef en 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 totaalkleefkromme in vaste klei na aanwending van de nokkekleefvanger. Bovendien is deze kurve in de meeste proeven onderbroken door ophalen van de buizen.

In DS 30.81 (fig. 23a,b) ziet men L na intrede van de konus in de klei vanaf 29,0 m eerst steil dalen (deel 1). Tussen 29,5-30,1 m verloopt ze nagenoeg evenwijdig met de y-as (deel 2). Pas onder 30,1 m neemt L 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 33,9-34,2 m (deel 7) terug steil toe te nemen. Vanaf 34,2 m neemt de kurve opnieuw een

---

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

zwakkere helling aan (deel 8). Tenslotte na de tweede ophaling van de buizen ziet men L regelmatig stijgen (deel 9) maar met een zwakkere helling dan in deel 4.

De daling in deel 1 is toe te schrijven aan effekten zoals eerder beschreven in de vorige paragraaf.

Een gelijkaardige aarzeling in L zoals in deel 2 werd eveneens vastgesteld door R. CARPENTIER (1976) voor 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 totaalkleefbijdrage van de bovenliggende lagen mag verwacht worden 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 grotendeels is voltooid. Bovendien houdt die aarzeling van L nog enige tijd aan om nadien, met een zeer duidelijke knik in de kurve, vrij plots over te gaan in een aanzienlijke toename. Daarom komt een dergelijke aarzeling lang niet overal zo uitgesproken voor en kan zelfs totaal ontbreken zoals in DS 30.82 en DS 30.69 (fig. 23b en 21b). 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, terwijl vanaf deel 5 de klei glauconiethoudend wordt.

De bepaling van de grens tussen de glauconiethoudende en niet glauconiethoudende klei op grond van de hellingsverandering van L kan natuurlijk slechts gebeuren wanneer men weet dat die lagen aanwezig kunnen zijn. Heeft men op een bepaalde plaats helemaal geen idee over de geologische bouw dan kan men de relatief lage en vrij konstante konusweerstand samen met een snel oplopende gereduceerde totaalkleef toeschrijven aan een zeer cohesieve stijve laag.

## 5.3.5. DE KONUSWEERSTAND, DE PLAATSELIJKE KLEEF EN HET WRIJVINGSGETAL

### 5.3.5.1. Klassifikatiesystemen

We hebben hier de keuze tussen enerzijds grondklassifikaties gesteund op de verhouding $\frac{C}{F}$ (H. BEGEMANN, 1965), of de omgekeerde verhouding : het wrijvingsgetal 100 $\frac{F}{C}$, en anderzijds degene, die gebruik maken van een kombinatie van (C,F)-waarden in tabelvorm (G. SANGLERAT, 1972), of een grafisch verband tussen de C en 100 $\frac{F}{C}$ (J. SCHMERTMANN, 1969; G. SANGLERAT et al., 1974).

Het grote voordeel van de klassifikaties gesteund op de $\frac{C}{F}$ of 100 $\frac{F}{C}$ ligt in het bekomen van één enkele waarde per niveau, die gemakkelijk in grafiek voor te stellen is samen met de sondeergrafieken. Bij kombinaties van C en F of 100 $\frac{F}{C}$ is dat niet te verwezenlijken maar deze systemen hebben ruimere mogelijkheden en zijn specifieker kwa interpretatie.

De klassifikatie volgens H. BEGEMANN (1965) steunt op het verband tussen een bepaalde waarde van de $\frac{C}{F}$ en het gewichtsprocent deeltjes <16 µm. In een x-y assenkruis met de F in funktie van de C wordt het verband met de respektievelijke gewichtsprocenten gegeven door een waaier van rechten door de oorsprong (fig. 69 ). Daaraan kunnen de verschillende grondbenamingen worden toegevoegd (fig. 70). De gewichtsprocenten deeltjes <16 µm of de grondsoorten worden hier dus gekarakteriseerd door de richtingskoëfficiënten (= $\frac{C}{F}$) van de rechten. Daar het gaat om rechten kan evengoed het wrijvingsgetal $\frac{F}{C}$ x 100 als karakteristieke waarden worden gebruikt (fig. 69).

In het diagram van J. SCHMERTMANN (1969)(fig. 71) 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 = 2,1) wordt begrensd. Daar die rechte evenwijdig loopt met de y-as ($C_{k,d}$) 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 µm. 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 konsistentie van de klei.

Beide klassifikaties zijn te gebruiken op diepsonderingen in natuurlijk afgezette lagen onder de watertafel. In principe zijn

ze alleen geldig voor metingen met het konustype waarmee ze zijn opgesteld. Afgezien van eventuele invloed van de geometrie van de konuspunt ligt de reden vooral in de geometrie van de kleefmeter en de plaatsing ervan ten opzichte van de konuspunt (H. BEGEMANN, 1953, 1969; L. PAREZ, 1974). In de besproken klassifikaties betreft het de kleefmantelkonus van het BEGEMANN-type.

Vanuit Frankrijk zijn vooral de klassifikaties bekend afkomstig van de Ecole Centrale Lyonnaise. Deze zijn alle opgesteld aan de hand van de statisch-dynamische Andina-konus. Aanvankelijk werd een systeem gesteund op (C,F)-waarden (tab. 41) (G. SANGLERAT, 1972) uitgewerkt in tabelvorm. Uit de tabel blijken voor bepaalde kombinaties van waarden meerdere mogelijkheden in grondsoort mogelijk. Later werd ook een verband uitgewerkt op grond van (C, 100 $\frac{F}{C}$)-waarden (tab. 42 en fig. 72)(G. SANGLERAT et al., 1974). De auteurs wijzen erop dat enkel zuivere zanden, kleien en lemen gemakkelijk te klassificeren zijn en 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) vermeldt enkele interessante besluiten, die hier van nut kunnen zijn.

1° Het verband tussen de F, C en het procent deeltjes kleiner dan 80 µm in een x-y assenkruis levert een gelijkaardig beeld (rechten door de oorsprong) als dat van het diagram van H. BEGEMANN (1965).
2° De plaatselijke kleef stijgt met een toenemend aantal fijne deeltjes en met het watergehalte.
3° Voor sonderingen tot 40 m stijgt het wrijvingsgetal lichtjes met de diepte.
4° De nauwkeurigheid van de interpretatie stijgt met toenemende konusweerstand (zie ook J. SCHMERTMANN, 1969). Onder een C = 0,4 MN/m$^2$ is de nauwkeurigheid laag.
5° Een sondering met plaatselijke kleefmetingen laat toe het onderscheid te maken tussen niet samenhangende en samenhangende grondsoorten. Waarden van W<2 % kenmerken de eerste, waarden van W>5 % à 6 % de kleien. Waarden daartussen stemmen overeen met mengsels van zand, klei en leem. Tevens laat het wrijvingsgetal in samenhangende grondsoorten toe, die met een hoge van die met een lage plasticiteit te onderscheiden.

In deze studie werd hoofdzakelijk het wrijvingsgetal (of de omgekeerde verhouding) gebruikt omwille van de mogelijkheid het grafisch met de sondeerdiagrammen voor te stellen. Men krijgt aldus een rechtstreeks beeld van de litologie. Daarenboven kan men in de grafiek laageenheden onderscheiden en zelfs vaststellen of ze homogeen of gelaagd zijn.

Met betrekking tot het wrijvingsgetal $W_{10}$ is specifiek aandacht besteed aan de volgende aspekten :

1° de noodzaak tot het terugbrengen van de plaatselijke kleef over twee niveaus,
2° het wrijvingsgetal en de onderkenning van de grondsoorten :
   - de sondeerafstand in funktie van het wrijvingsgetal,
   - het wrijvingsgetal en de specifieke litostratigrafische eenheden,
   - het verband wrijvingsgetal-grondsoort,
3° het wrijvingsgetal en de gelaagdheid of de homogeniteit van een afzetting,
4° het wrijvingsgetal berekend met $f_{s,2,m}$.

5.3.5.2. De noodzaak tot het terugbrengen van de plaatselijke kleef over twee niveaus

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

Nemen we DS 30.70 (fig. 59b) als voorbeeld. In deze sondering werd het wrijvingsgetal berekend met de niet verschoven $f_s$ : $W = \frac{f_s}{C_{k,d}} \times 100$ en met de over 2 niveaus (20 cm) teruggebrachte $f_{s,2}$ : $W_2 = \frac{f_{s,2}}{C_{k,d}} \times 100$. Op zicht neemt men tussen W en $W_2$ op bepaalde niveaus belangrijke verschillen waar. Beschouwen we het interval 1 dan blijkt duidelijk dat de afwijkingen zich vooral koncentreren bij een belangrijke toe- of afname van de $C_{k,d}$. Met de toename van de $C_{k,d}$ korrespondeert een te lage W en andersom voor de afname. In de zanden gekenmerkt door een konusweerstand met een uitgesproken zaagtandvormig verloop (intervallen 5, $6_1$, $6_2$, 7) neemt men in W gemiddeld veel grotere schommelingen waar dan in $W_2$.

Dit blijkt eveneens uit de variatiekoëfficiënt V in procent ($V = \frac{100\ S}{\bar{x}}$) van het gemiddelde wrijvingsgetal. In de figuur hebben

we voor de respektievelijke intervallen korresponderend met een bepaalde grondsoort, aangegeven hoeveel de variatiekoëfficiënt bedraagt voor $\overline{W}$ en $\overline{W_2}$. Men stelt vast dat, alhoewel in de meeste gevallen $\overline{W}$ maar weinig verschilt van $\overline{W_2}$, $V_2$ aanzienlijk lager is dan V. $\overline{W_2}$ is dus afkomstig van een veel nauwere verzameling waarden of anders gezegd, door $f_s$ terug te brengen over 2 niveaus bekomt men binnen dezelfde grondsoort op iedere diepte een veel uniformer en dus specifieker wrijvingsgetal.

5.3.5.3. Het wrijvingsgetal en de onderkenning van de grondsoorten

5.3.5.3.1. Onderzoeksmateriaal

Met deze analyse wilden we nagaan hoe nauwkeurig het wrijvingsgetal de verschillende grondsoorten in het studiegebied beschrijft. Hiervoor moesten we diepsonderingen rechtstreeks met betrouwbare boringen kunnen vergelijken. Bij gebrek aan dergelijke waarnemingen waren we genoodzaakt hoofdzakelijk te steunen op korrelaties uitgaande van de litostratigrafische kennis van het studiegebied. Daarom werd deze analyse pas voltooid na het globaal litostratigrafisch onderzoek. Slechts die waarnemingen werden weerhouden waarvoor de korrelaties met voldoende zekerheid waren vastgelegd.

De door ons uitgevoerde diepsonderingen en de resultaten van de granulometrische bepalingen leverden voldoende gegevens op voor de volgende eenheden of groepen van eenheden.

<u>Eenheden in het Kwartair</u>

Zand : - eenheid K2,1 : fijn zand van de afzetting van Moerkerke
- eenheid K5,2 : fijn tot zeer fijn zand van de afzetting van Eeklo
- eenheid K8,1 : fijn zand van de afzetting van Duinkerke (kreekafzettingen)

Grint en grinthoudend grof en middelmatig zand :
- eenheid K1+K3,1+3 : waarnemingen uit de basisafzetting van het Kwartair (afzetting van Kaprijke) en het Weichseliaan (afzetting van Zeebrugge) zijn samengebracht.

Leem : - eenheid K5,1 : leem van de afzetting van Eeklo

Veen : - eenheid K7 : oppervlakteveen

Eenheden in het Tertiair

Weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand :

- eenheden T4,1+T6,1+T7,1+T8,1 : waarnemingen uit de (weinig) kleihoudende zandlagen van het Lid van Oedelem zijn samengenomen

Klei : - eenheid T11 : grijze stijve klei van het Lid van Ursel
- eenheid T10 : glauconiethoudende stijve klei van het Lid van Asse

Uit het vergelijkend onderzoek van de meetstap is gebleken dat in bepaalde grondsoorten de weerstanden afhangen van de meetstap. Daarom zijn enkel waarnemingen van de 10 cm-sonderingen in deze analyse betrokken, behalve wanneer te weinig materiaal voorhanden was en op voorwaarde dat voor de grondsoort geen signifikante afwijkingen tussen beide meetwijzen waren aangetoond. Waarnemingen van de 20 cm-sonderingen zijn daarom enkel aangewend in de eenheden K1, K3,1+3, T10 en T11.

5.3.5.3.2. Onderzoeksmetode

In de sonderingen zijn na vastleggen van de respektievelijke eenheden opnieuw intervallen afgebakend (rechts van de sondeergrafieken) op grond van de volgende kriteria.

1° Per eenheid is in de mate van het mogelijke, ernaar gestreefd intervallen van gelijke grootte te bekomen.

2° Als minimum aantal waarden in een interval is 10 vooropgesteld; in sommige eenheden was dat niet haalbaar (b.v. in de eenheid K5,1).

3° De begrenzing is zodanig genomen dat de konusweerstand in het interval nagenoeg van dezelfde grootte was; ofwel schommelde binnen aanvaardbare grenzen (b.v. bij een uniform zaagtandpatroon in zand).

Van iedere interval werd het gemiddelde van de $f_{s,2}$, $C_{k,d}$, $100\frac{f_{s,2}}{C_{k,d}}$ en $\frac{C_{k,d}}{f_{s,2}}$ bepaald. Deze gemiddelden werden per eenheid in reeksen gegroepeerd enerzijds in funktie van de kleefmantelkonus (konus I of II) waarmee ze waren gemeten en anderzijds voor elke konus, in funktie van de uitvoeringsvolgorde van de sonderingen.

Met de regressie-analyse werd per reeks 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 dan kan het omgekeerde van de richtingskoëfficiënt als karakteristiek wrijvingsgetal genomen worden. Met een Tektronix tafelrekenmachine werden de volgende vergelijkingen 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 determinatie koëfficiënt ($r^2$). 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.

5.3.5.3.3. De sondeerafstand in funktie van het wrijvingsgetal

Tijdens het onderzoek in verband met de meetstap was gebleken dat het niet in serie uitvoeren van de te vergelijken diepsonderingen DS 30.25-34 en DS 30.50-66 waarschijnlijk de oorzaak was van de aanzienlijke afwijkingen tussen $f_{s,2,10}$ en $f_{s,2,20}$ (zie 5.2.5.4.3.). We gingen na of er inderdaad een verband kon worden gelegd met rodageverschijnselen van de kleefmantelkonus en of er een rodage-afstand kon worden bepaald.

Dit werd gedaan door de gemiddelde wrijvingsgetallen van de intervallen van een reeks uit te zetten tegenover de gekumuleerde gesondeerde afstand van de konus waarmee was gemeten. Daar de gemiddelde indringingsdiepte van de sonderingen ongeveer 30 m bedroeg werd vereenvoudigd een eenheidstoename van 30 m voor de gesondeerde afstand per sondering genomen. Meerdere gemiddelden uit dezelfde sondering werden dus vereenvoudigd uitgezet ten opzichte van dezelfde afstand (veelvoud van 30 m).

Aangezien het wrijvingsgetal afhankelijk is van de grondsoorten maar waarschijnlijk ook van de diepte en de geologische lagen waarin het is gemeten (zie verder) dienden de reeksen kritisch te worden geselekteerd. Enkel degene die overeenstemden met een

vrij uniforme litologische eenheid werden weerhouden. Bovendien diende de serie waarden zo kontinu mogelijk te zijn en bij voorkeur te beginnen vanaf de eerste sondering.

Aan deze voorwaarden voldeden het best de reeksen van de eenheden K2,1 : K2,1(KII) en K5,2 : K5,2(KII), beide gemeten met de konus II. Door regressie-analyse is de best passende kromme op grond van de maximale $r^2$ bepaald.

Reeks K2,1(KII)

De best passende kromme heeft de vorm $y = ax^b$ (fig. 73). Tengevolge van de grote spreiding van de waarden is $r^2 = 0,37$ laag en geeft de kromme zeker niet het echte verband weer.

In de figuur onderscheidt men twee groepen van punten, namelijk de verzameling wrijvingsgetallen van de eerste zes sonderingen en die van de overige. Deze laatste liggen beduidend lager dan die van de eerste zes sonderingen. Vanaf de 7e sondering tot en met het einde blijken punten te schommelen tussen de begrenzingen $100\frac{f_{s,2,10}}{C_{k,d,10}} = 1,8$ en 1,4. Deze tendens wordt eveneens weerspiegeld door de kromme. Na een steile aanvang wordt de kurve geleidelijk meer horizontaal. Verkiezen we op grond van het kriterium van de kleinste maximale absolute afwijking, de kromme $y = x/a + bx$ (fig. 74) dan komt deze tendens nog beter tot uiting.

De reeks vertoont wel degelijk een effekt dat verband houdt met een eerste gebruiksperiode van de konus. De hogere wrijvingsgetallen in het begin zijn te interpreteren als een rodage-effekt van de konus en meer specifiek van de kleefmeter. Men mag inderdaad aannemen dat de te hoge waarden van het wrijvingsgetal te wijten zijn aan een te hoge plaatselijke kleef, om redenen zoals eerder omschreven (zie 5.2.5.4.3.).

Reeks K5,2(KII)

Deze verzameling wrijvingsgetallen is minder volledig dan de vorige en bovendien ontbreken waarnemingen uit de eerste twee sonderingen.

De best passende kromme is weergegeven in fig. 75. Alhoewel de kromme op het eerste gezicht gelijkt op die van vorige reeks, is er hier nauwelijks van enige korrelatie sprake vermits $r^2$ ongeveer nul is.

Uit deze reeks blijkt dus geen duidelijk verband met rodage-verschijnselen van de kleefmeter. Dat kan te wijten zijn aan het ontbreken van gegevens uit de eerste twee sonderingen en het gering aantal waarden in de volgende vier. Een bijkomende oorzaak kan gevonden worden in de konusweerstand. Voor deze reeks heeft men een $\overline{C_{k,d,10}} = 8{,}61\ MN/m^2 + 4{,}79\ MN/m^2$ terwijl voor de eerste de $\overline{C_{k,d,10}} = 14{,}39\ MN/m^2 + 3{,}52\ MN/m^2$. Men kan verwachten dat bij hogere spanningstoestanden het rodage-effekt relatief belangrijker wordt.

Besluit

Een onvoldoende gerodeerde kleefmeter veroorzaakt in weerstandbiedende zandlagen een toename in $f_{s,2}$ en W. Beschouwen we de waarden van de zes eerste sonderingen uit de reeks K2,1(KII) als te hoog dan loopt de rodage-afstand op tot 180 m wat aanzienlijk is in vergelijking met de totale levensduur van de kleefmantelkonus (ongeveer 1000 m sondering in dichtgepakte zandlagen).

5.3.5.3.4. Het wrijvingsgetal en de specifieke litostratigrafische eenheden

Voor elke reeks van elke eenheid is het verband tussen de $C_{k,d}$- en $f_{s,2}$-waarden in het diagram van BEGEMANN onderzocht. In geval de regressie-analyse tot een niet-lineaire korrelatie leidde, waarvan de residuele afwijking en $r^2$ weinig beter was dan die van een rechte, is de rechte verkozen.

5.3.5.3.4.1. Afzettingen van het Kwartair

5.3.5.3.4.1.1. Zand

Bestudeerd zijn de eenheden K2,1, K5,2 en K8,1. Daar in elke eenheid voldoende gegevens voor beide konussen beschikbaar waren, zijn de reeksen per konus (KI of II) geanalyseerd (fig. 76, 77,78). In de figuur is de vergelijking van de kromme eerst vermeld terwijl die tussen haakjes de best passende rechte door de oorsprong weergeeft.

Uitgenomen voor de reeks K2,1(KI) is overal als best passende kromme een rechte van de vorm $y = a + bx$ gevonden. De eerste kan door een rechte worden vervangen, gezien het minieme verschil in $r^2$ (nl. 0,01). Bovendien is overal een rechte door de oorsprong als korrelatie aan te nemen vermits de koëfficiënten a zeer klein zijn (voor K2,1(KI) is a iets groter) en $r^2$ voor de vergelijkingen $y = ax$ slechts een weinig minder gunstig zijn.

Voor de respektievelijke zandsoorten van de beschouwde eenheden (tab. 20, 24 en 26) vinden we in het diagram van H. BEGEMANN een lineaire korrelatie door de oorsprong terug. Bijgevolg kunnen we in zanden het omgekeerde van de richtingskoëfficiënt van de respektievelijke rechten $y = ax$ als karakteristiek wrijvingsgetal aanvaarden.

Vindt men per eenheid en per konus een goede korrelatie dan stelt men het tegendeel vast voor de beide reeksen (KI en KII) van dezelfde eenheid. Inplaats van min of meer samen te vallen is, hoe onverwacht het ook moge schijnen, de rechte van de konus I systematisch veel steiler dan die van de konus II. Beschouwen we de rechten $y = ax$ dan is de richtingskoëfficiënt voor de konus I in de eenheden K2,1, K5,2 en K8,1 respektievelijk 31 %, 26 % en 19 % hoger dan die voor de konus II. Overeenkomstig is het wrijvingsgetal 24 %, 20 % en 16 % lager. De gevoeligheid van de plaatselijke kleefmeting (klemmingseffekt, rodage-effekt, geringe konstruktieve afwijkingen, enz....) in acht genomen, moet de afwijking heel waarschijnlijk worden toegeschreven aan de plaatselijke kleef en niet aan de konusweerstand.

Welke konus te hoge of te lage $f_{s,2,10}$-waarden heeft voortgebracht is moeilijker uit te maken. Een idee hierover verkrijgt men door uit de ligging van de rechten in het diagram van BEGEMANN het procent deeltjes <16 µm af te leiden en te vergelijken met de granulometrische kenmerken van de eenheden. In tabel 43 zijn die gegevens samengebracht. Daarin is tevens het globale gemiddelde wrijvingsgetal met standaardafwijking, berekend over alle gemiddelde wrijvingsgetallen van een reeks, aangegeven.

Op basis van het procent deeltjes <20 µm (16 µm is in onze granulometrie niet bepaald) wordt voor de verschillende eenheden de beste overeenkomst aangegeven door de reeksen van konus II. Nochtans dient men te bedenken dat bij toenemende grofheid van het zand, het wrijvingsgetal lager wordt en de punten in het diagram van BEGEMANN boven de 0 %-lijn liggen. Daarom werd door BEGEMANN een bijkomende grens getrokken tussen weinig grinthoudend zand, grof zand en fijn zand (zie fig. 70). Vooral voor de grafste eenheid K2,1 is te verwachten dat veel punten boven de 0 %-lijn kunnen liggen. Nu blijkt uit de figuren 76, 77, 78 voor de konus II de rechte y = ax van K2,1 amper hoger te liggen dan die van de twee andere eenheden, terwijl voor de konus I de rechte van K2,1 toch merkelijk steiler is en grotendeels in het grove gebied ligt. Hieruit zou men kunnen afleiden dat in K2,1 de afwijking eveneens is toe te schrijven aan de konus I, ware het niet dat in dichtgepakte zanden (= K2,1 !) de 10 cm-meetstap bijdraagt tot een verlaging van het wrijvingsgetal. Op grond hiervan kan men evengoed zeggen dat de konus II te hoge $f_{s,2,10}$-waarden heeft opgeleverd of zelfs dat beide konussen afwijken in tegengestelde zin. Het is dus niet duidelijk welke konus fout heeft gemeten.

Uit tabel 43 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 gemiddelde signifikant 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 signifikante afwijking. Tussen de gemiddelden van de konus II is onderling geen signifikatie vastgesteld. De signifikante afwijking van het globale gemiddelde wrijvingsgetal van K8,1(KI) met dit van de twee andere eenheden is misschien eerder toevallig. In elk geval is tussen de granulometrisch verst uit elkaar liggende eenheden (K2,1 en K5,2) geen verschil te zien.

Uit het bovenstaande is het volgende te besluiten.

1. Het wrijvingsgetal is afhankelijk van de kleefmantelkonus zelf. De vastgestelde afwijkingen van de wrijvingsgetallen van de twee gebruikte konussen zijn veel ernstiger dan die veroorzaakt door de 10 cm-meetstap.

2. De zanden van K2,1, K5,2 en K8,1 zijn op grond van hun wrijvingsgetallen niet van elkaar te onderscheiden.
3. In zanden mag een ruime spreiding van het wrijvingsgetal worden verwacht vooral wanneer met meerdere kleefmantelkonussen wordt gemeten.

Uit de figuren 76, 77 en 78 blijkt dat de waarnemingen van de drie eenheden en voor beide konussen samen, in een vrij scherp begrensd spreidingsgebied liggen. Dit wordt bepaald door 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 de konusweerstanden groter dan 6 MN/m$^2$. Voor konusweerstanden tussen 3,0-6,0 MN/m$^2$ ligt de onderbegrenzing $C_{k,d,10} = 47{,}2\ f_{s,2,10}$ of $W_{10} = 2{,}12$ beter. De bovenbegrenzing $C_{k,d,10} = 100\ f_{s,2,10}$ van K2,1(KI) lijkt afwijkend gezien de overeenkomst van de 5 andere series.

5.3.5.3.4.1.2. Grint en grinthoudend zand

De waarnemingen zijn afkomstig van de eenheden K1, K3,1 en K3,3. De granulometrische karakteristieken ervan staan in de tabellen 19 en 21. Omwille van het gering aantal zijn enkele intervallen van 20 cm-sonderingen opgenomen en is er geen onderscheid gemaakt tussen die van de konus I en die van konus II.

De rechte $y = 7{,}49 + 71{,}73\ x$ (fig. 79) is de best passende kromme. De koëfficiënt a (= 7,49 MN/m$^2$) is groot 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 voor de grondsoort stelt men een opvallende verschuiving vast ten opzichte van de vorige eenheden. Het spreidingsgebied is duidelijk begrensd 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 konusweerstanden 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 niet grinthoudend fijn of zeer fijn zand en grint of grinthoudend zand van kwartaire oorsprong.

5.3.5.3.4.1.3. Leem en leemhoudend zeer fijn zand

Het betreft waarnemingen uit de eenheid K5,1, die gekarakteriseerd wordt door een ruim spreidingsgebied voor wat de hoeveelheid percent deeltjes <20 µm aangaat : $\bar{x} \pm 2\ s = 21,12\ \% \pm 17,82\ \%$, met een minimum van 8,5 % en maximum van 50 % (zie tab. 23). In het diagram van BEGEMANN is bijgevolg een groot spreidingsgebied van de punten te verwachten.

Als best passende rechte is in fig. 80 $y = 1,31 + 20,64x$ getekend maar door de grote spreiding is de 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 $C_{k,d,2,10} = 30,0\ f_{s,2,10}$ of $W_{10} = 3,33$ en dit voor konusweerstanden begrepen tussen 1,5 en 4,2 $MN/m^2$. Omwille van de lagere konusweerstand tekent de groep zich in zijn 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. Dat zou een gevolg kunnen zijn van te meten in stappen van 10 cm (zie 5.2.5.4.4.6.).

5.3.5.3.4.1.4. 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 fig. 81 zijn de resultaten samengebracht en het verband is redelijk te beschrijven met 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. 81 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 resultaten van de vorige eenheden helemaal geen overeenkomst wordt gevonden met het door BEGEMANN aangegeven spreidingsgebied voor veen : $7 < \frac{C_{k,d}}{f_{s,2}} < 14$ (fig. 70).

5.3.5.3.4.2. Afzettingen van het Tertiair

5.3.5.3.4.2.1. Weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand

Gezien het beperkt aantal waarnemingen per eenheid en de grote gelijkenis in granulometrische kenmerken (tab. 11, 13, 15) zijn metingen uit T6,1, T7,1 en T8,1 samengenomen en in fig. 82 door eenzelfde 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 µm en een hoog percentage grintelementen (7,5 % ± 12,25 %), weliswaar bestaande uit minder of meer verweerde schelpfragmenten. Uit de figuur blijkt nochtans dat de in T4,1 opgemeten wrijvingsgetallen in hetzelfde gebied van de drie andere eenheden vallen.

Als best passende kromme is de rechte $y = 9{,}566 + 49{,}129x$ gevonden maar door de grote spreiding van de punten binnen een beperkte interval konusweerstanden is $r^2 = 0{,}50$ laag en behoort een lineair verband door de oorsprong tot de mogelijkheden.

Het gebied is goed te definiëren door begrenzingen van de vorm $y = ax$ te weten : $C_{k,d,10} = 1{,}21\ f_{s,2,10}$ of $W_{10} = 0{,}83$ en $C_{k,d,10} = 76\ f_{s,2,10}$ of $W_{10} = 1{,}32$; het valt nagenoeg volkomen samen met het spreidingsgebied van de eenheden K1, K3,1+3.

Voor de tertiaire kleihoudende tot weinig kleihoudende zeer fijne zanden zijn de door H. BEGEMANN (1965) gevonden korrelatielijnen tussen de $C_{k,d}$, $f_{s,2}$ en het percentage deeltjes <16 µm helemaal niet toe te passen. 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. 70), de reden kan liggen in overkonsolidatie van de grond. Heel waarschijnlijk moet ook in ons geval daaraan worden gedacht. Zoals reeds gezegd leidt overkonsolidatie van zanden tot te hoge puntweerstanden. Door het optreden van effekten in de omgeving van de konus zoals in 5.3.4.5.1. omschreven, ondervindt de kleefmeter een verlaagde korrelspanning met als gevolg een verlaagd wrijvingsgetal.

Opmerkelijk is in elk geval het feit dat het wrijvingsgetal onmiddellijk na intrede van de konus in de tertiaire zanden is verlaagd, zoals duidelijk blijkt uit DS 30.48 (beneden 28,7 m, peilen 1, fig. 41) en uit DS 30.58 (beneden 25,0 m, laag T8,1, fig. 50).

Afgezien van een eventuele invloed door verstoring van de topzone zou dit erop kunnen wijzen dat de overkonsolidatie in de topzone van het tertiaire zand bewaard gebleven is.

Uit dit alles is hoe dan ook te besluiten dat omwille van zijn verlaging het wrijvingsgetal zeer nuttig is ter onderkenning van de grens Kwartair-Tertiair. Bij de interpretatie van de grondsoorten steunende op het wrijvingsgetal dient men met die verlaging rekening te houden (geen grint !). Dit betekent dat men vooraf moet weten of men met Kwartair dan wel met (overgekonsolideerd) Tertiair te doen heeft.

5.3.5.3.4.2.2. Glauconiethoudende en niet glauconiethoudende stijve klei

Het betreft hier metingen in de eenheden T10 en T11. Aangezien geen invloed van de meetstap is vastgesteld (zie 5.2.5.4.4.8.2.) zijn omwille van het gering aantal overblijvende bruikbare intervallen ook metingen van 20 cm-sonderingen toegevoegd.

Uit fig. 82 blijkt een duidelijke verschuiving tussen de waarnemingen van T10 en T11. Er is geen best passende kromme vermeld omdat de meest gunstige determinatie koëfficiënt voor beide eenheden erg laag is (<0,4). De oorzaak ligt ongetwijfeld in een te gering aantal gegevens en een te grote spreiding van de $f_{s,2}$-waarden, voor een te nauw interval van de $C_{k,d}$'s. Daarom hebben we ons beperkt tot het afbakenen van het spreidingsgebied.

Voor T10 hebben we 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 $W_{10+20} = 4,05$ gekozen en dit voor konusweerstanden van 5,0 tot 7,5 $MN/m^2$.

Voor T11 hebben we de rechten $C_{k,d,10+20} = 24,7\ f_{s,2,10+20}$ en $C_{k,d,10+20} = 17,2\ f_{s,2,10+20}$ genomen of $W_{10+20} = 5,83$ met een beperking voor konusweerstanden tussen 6,0-7,5 $MN/m^2$.

Op grond van de granulometrische kenmerken van de eenheden (tab. 17 en 18) hebben we met de resultaten van BEGEMANN vergeleken. Het percentage deeltjes kleiner dan 20 µm beloopt voor T10 gemiddeld 42,33 % $\pm$ 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 we moeten hierbij weten dat naast een mogelijke invloed van overkonsolidatie ook het hoge glauconiet-

gehalte een rol kan spelen. Glauconietkorrels hebben een lage verbrijzelingsweerstand en kunnen tijdens het granulometrisch onderzoek en zeker onder konusspanning staande, uiteenvallen en zo aanleiding geven tot een hoger percentage klei en leem.

Uitgaande van de granulometrische kenmerken van het Lid van Asse bepaald door P. JACOBS (1975) is voor het goed vergelijkbare monster van T11 (tab. 18) de gemiddelde variatiekoëfficiënt voor het percent deeltjes <20 µm geschat op 13 %. Aldus verkrijgen we voor het percent <20 µm : 86,92 % $\pm$ 13 %. Het spreidingsgebied van T11 in het diagram van BEGEMANN dient bijgevolg tussen de lijnen 75 % - 100 % te liggen, wat het geval blijkt te zijn.

In de kleilaag T11 blijkt de overkonsolidatie geen verschuiving van het wrijvingsgetal naar lagere waarden te veroorzaken. Dit komt vermoedelijk door vervorming van de klei bij konstant volume, waarbij effekten van dilatantie en gewelfwerking niet optreden. Met de door de overkonsolidatie verhoogde konusweerstand stemt bijgevolg ook een verhoogde plaatselijke kleef overeen.

5.3.5.3.5. Verband tussen het wrijvingsgetal en de grondsoorten

Uit het verband tussen het wrijvingsgetal en de litostratigrafische eenheden van het studiegebied kunnen we hetzij voor het Kwartair, hetzij voor het Tertiair, een algemeen verband tussen het wrijvingsgetal en de grondsoorten afleiden (tab. 44). Hierin zijn de kenmerken van de grondsoorten afgeleid uit die van de onderzochte eenheden. Het verband is telkens geldig voor het in de tabel aangegeven bestudeerde interval konusweerstanden. Steunende op de resultaten van de regressie-analyse (rechten van de vorm $y = ax$), het diagram van H. BEGEMANN (1965) en de bevestiging ervan door G. SANGLERAT (1974) kunnen de kenmerkende wrijvingsgetallen evenwel worden geëxtrapoleerd tot hogere en lagere konusweerstanden.

Een belangrijke grondsoort, die in de tabel ontbreekt maar waarvan wel losse gegevens beschikbaar zijn, is kwartaire klei. Steunende op de overeenstemming van die gegevens met de bestaande klassifikaties zijn waarden voor $W_{10}$ groter dan 3,5 te verwachten. Hetzelfde geldt voor grondmengsels van klei, leem en zand, waarvoor wrijvingsgetallen tussen die van zand en klei (2,1 - 3,5) te voorzien zijn.

Algemeen besluit

1) Om het wrijvingsgetal litologisch korrekt te interpreteren is het absoluut noodzakelijk de grote geologische eenheid (Tertiair of Kwartair) waarin werd gemeten te kennen.

2) In het Kwartair zijn waarden van $W_{10}$ lager dan 2,1 kenmerkend voor niet samenhangende grondsoorten. Op grond van het wrijvingsgetal kan men een onderscheid maken tussen de groep middelmatig zand, grof zand, grinthoudend zand en grint (Mz = 1,7$\phi$ - 2,4$\phi$, % grint 1-50 %) en de groep fijn tot zeer fijn zand al of niet weinig klei- of leemhoudend (Mz : 2,2$\phi$ - 3,5$\phi$ en %<20 $\mu$m<8 %). $W_{10}$-waarden van 0,70 tot 1,25 en van 1,25 tot 2,10 zijn kenmerkend respektievelijk voor de eerste en de tweede groep.

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 en zeer fijn zand en leem). Meer samenhangende grondsoorten, zoals klei en zandhoudende klei, met een hoge plasticiteit (Ip>20), hebben wrijvingsgetallen groter dan 3,5.

4) Met het veen van het studiegebied stemmen veel lagere wrijvingsgetallen overeen, dan die gevonden door H. BEGEMANN. Waarden van 3,65 tot 6,45 zijn kermerkend.

5) Voor de weinig samenhangende grondsoorten van tertiaire ouderdom met een plasticiteitsindex kleiner dan 10 (weinig kleihoudend tot kleihoudend zeer fijn zand) treedt een opmerkelijke verschuiving op van het wrijvingsgetal naar de lage waarden. De reden moet worden gezocht in het samengaan met de breukverschijnselen omheen de konus, van geringe volumewijzigingen, die door de geringe doorlatendheid en de (vermoedelijke) overkonsolidatie van deze zanden tijdelijk worden gehandhaafd. Het waargenomen spreidingsgebied valt bijna volledig samen met dat van de grofkorrelige en grinthoudende groep uit het Kwartair. Kenmerkend zijn wrijvingsgetallen die gaan van 0,85 tot 1,30.

6) Voor het wrijvingsgetal van de tertiaire sterk samenhangende grondsoorten met een hoge plasticiteit (Ip>25) is op grond van de beschikbare gegevens geen verschuiving naar lagere waarden vastgesteld. In glauconiethoudende stijve klei zijn wrijvingsgetallen van 3,15 tot 4,05 waargenomen. Voor zuivere stijve klei is $W_{10}$ begrepen tussen 4,05 tot 5,85.

7) Wordt een nieuwe kleefmantelkonus aangewend dan kan tijdens de eerste sonderingen en vooral in weerstandbiedende lagen, de gemeten $f_{s,2}$ te groot zijn. Dit is te wijten aan de onvoldoende rodage van de kleefmeter. De rodage-afstand kan tot 150 m sondering oplopen vooraleer de wrijvingsgetallen blijven schommelen binnen aanvaardbare grenzen.

8) Tussen de twee in het onderzoek gebruikte konussen werd een zeer signifikante afwijking van gemiddeld 20 % voor de in fijn zand gemeten wrijvingsgetallen vastgesteld. Voor andere grondsoorten was geen voldoende cijfermateriaal beschikbaar om de afwijking na te gaan. Heel waarschijnlijk is ook hier de oorzaak een overgevoeligheid van de plaatselijke kleef registratie (rodage- en klemmingseffekten, geringe konstruktieve afwijkingen zoals b.v. de niet volledig axiale opstelling van de meetlichamen).

5.3.5.4. Wrijvingsgetal, gelaagdheid en homogeniteit

Aangezien de konusweerstand en de plaatselijke kleef slechts om de 10 cm worden gemeten, de kleefmeter een zone van 16,8 cm doorloopt en men bovendien rekening dient te houden met de ligging van de meetstap ten opzichte van de grenzen van de laag, mag aan het wrijvingsgetal voor laagjes van minder dan 20 cm dikte geen al te groot belang worden gehecht.

Laagjes dunner dan 10 cm zijn vanuit het oogpunt van het meetprinciep niet te meten alhoewel een overwicht van de ene of andere grondsoort in een opeenstapeling van een voldoende dik pakket lamellen wel tot uiting komt. Wanneer we DS 30.55 met HB 15.60 (fig. 47) vergelijken, bemerken we, overeenkomend met het overwicht aan klei- en leemlamellen onder 1,0 m diepte en tot op het veen, wrijvingsgetallen van 3 tot 6. Ter hoogte van de zandlaag met leemlamellen (0,5 m-1,0 m diepte, peilen 1) is het wrijvingsgetal inderdaad merkelijk lager (2,2-3,2). Een en ander

blijkt eveneens uit de vergelijking van DS 30.49 en GB 15.48 (fig.42a).

Al is de waarde van het wrijvingsgetal minder kenmerkend, dan is het toch mogelijk eenheden bestaande uit een afwisseling van samenhangende en niet samenhangende grondsoorten te onderscheiden van eenheden gebouwd uit een relatief uniforme grondsoort. Getuige hiervan zijn de eenheden in DS 30.81-82, (fig. 23a). Tot ongeveer 10,8 m is gesondeerd in gelaagde samenhangende en niet samenhangende grondsoorten in kreekopvulling van de afzetting van Duinkerke (K8,1+2). Daaronder tot 29 m diepte liggen er overwegend zandige afzettingen van het Pleistoceen (K4, K2). Tussen 29,0 en 32,8 m vindt men tertiaire stijve klei (T11) en van 32,8 tot 37,0 m glauconiethoudende stijve klei (T10). In de relatief homogene kleilagen van het Tertiair en zanden van het Pleistoceen, blijkt het wrijvingsgetal een meer konstante waarde met kleine relatieve schommelingen aan te nemen in tegenstelling tot de grote schommelingen in de niet-homogene gelaagde kreekafzettingen. Dit blijkt eveneens uit DS 30.68-69 (fig. 21a), DS 30.78 (fig. 65) en DS 30.71-72 (fig. 22a). Vooral in deze laatste komt het niet homogeen karakter van K8,2 duidelijk in het wrijvingsgetal tot uiting. Op grond van de waarde van $W_{10}$ zijn grondsoorten gaande van schelpengrint en losgepakt fijn zand tot slappe klei en leem, voorkomend in laagjes van minder dan 10 cm tot ongeveer 1 m dikte, te verwachten. De 10 cm-sondering levert hier ten opzicht van de 20 cm-sondering duidelijk een beter beeld van de bouw van de laag.

5.3.5.5. Het wrijvingsgetal berekend met $f_{s,2,m}$

Zoals vroeger vermeld (zie 5.2.3.) is in de verbeterde overeenstemmende plaatselijk kleef $f_{s,2,m}$ rekening gehouden met de bijkomende weerstand, die door inwerking op de hals van de kleefmeter aanleiding geeft tot een te hoge plaatselijke kleef. Die bijkomende weerstand is in $f_{s,2,m}$ bepaald door een vooraf gekozen percentage van de representatieve konusweerstand op het niveau van de hals van de kleefmeter te nemen.

Welke betekenis dient men te hechten aan het wrijvingsgetal dat met $f_{s,2,m}$ is berekend ? In DS 30.49 en DS 30.52 (fig. 42b en 44b) is $W_{10}$ berekend met $f_{s,2,m}$ voor respektievelijk 0 % (= met $f_{s,2,10}$), 10 %, 20 % en 50 % invloed van de representatieve konusweerstand. Uit beide figuren blijkt dat de opeenvolgende wrijvingsgetallen $W_{10,10}$, $W_{10,20}$ en $W_{10,50}$ in absolute zin ten opzichte van $W_{10,0} = W_{10} = 100\frac{f_{s,2,10}}{C_{k,d,10}}$ over de gehele sondering en voor elke grondsoort vrij gelijkmatig afnemen. Dit betekent dat de afname relatief veel groter is wanneer $W_{10}$ aanvankelijk laag is, dus vooral in niet samenhangende grondsoorten (Kwartair).

Reeds voor 50 % veronderstelde invloed blijkt $W_{10,50}$ in de zandlagen grotendeels negatief of zeer klein te zijn terwijl in samenhangende grondsoorten nog een behoorlijk hoge waarde voor $W_{10,50}$ overblijft. Om het systematische hiervan aan te tonen hebben we $W_{10,50}$ berekend voor alle door ons uitgevoerde sonderingen (fig. 26 tot 68). Op grond van $W_{10,50}$ verkrijgt men dus een duidelijk onderscheid tussen niet samenhangende en samenhangende grondsoorten. Door $W_{10,50}$ samen uit te tekenen met $W_{10}$ ziet men onmiddellijk waar de samenhangende grondsoorten voorkomen.

Bovendien kan men op basis van $W_{10,50} \lessgtr 1,3$ (empirisch vastgesteld voor het Kwartair) gemakkelijk een kwalitatief onderscheid maken tussen de meer samenhangende en weinig of niet samenhangende grondsoorten (voor beide laatste gebeurt de scheiding op grond van de konusweerstand).

Voor sommige sonderingen en vooral voor degene waar het gemiddelde wrijvingsgetal in fijne zanden over de gehele sondering laag is bereikt men een betere opsplitsing met $W_{10,40}$ (DS 30.47, fig. 40). Evenzo voor de weinig samenhangende afzettingen van het Tertiair waarin $W_{10}$ behoorlijk verlaagd is, wordt beter gesteund op $W_{10,40}$ of zelfs op $W_{10,30}$ (DS 30.43, fig. 36; DS 30.61, fig. 53b).

Een ander besluit, dat hieruit voorvloeit, is het feit dat in kwartaire zanden de gemiddelde parasitaire konusweerstand inwerkend op de hals van de kleefmeter zeker lager is dan 50 % van de representatieve konusweerstand. In de kwartaire zanden benadert een gemiddelde waarde van 15 à 20 % veel beter de werkelijkheid. Bovendien benadert $W_{10,15}$ à $W_{10,20}$ veel beter het wrijvingsgetal in zand gemeten met de ingesnoerde elektrische konus (W : 0,7-1,4). De vrij konstante waarde van het wrijvingsgetal in zanden wijst erop dat gemiddeld genomen dit percentage vrij stabiel moet zijn.

In de tertiaire (weinig) kleihoudende zeer fijne zanden ligt de zaak anders. Door de verlaging van het wrijvingsgetal bekomt men voor 30 % en zelfs 20 % invloed reeds een behoorlijk aantal negatieve of abnormaal lage $W_{10,30}$- of $W_{10,20}$-waarden (b.v. in T6,1 en T4,1 van DS 30.61, fig. 53b). Zoals voor de gereduceerde totaalkleef in het Tertiair (5.3.4.5.1.) ligt de reden ook hier in het rekenen in $f_{s,2,m}$ met te hoge konusweerstanden (overkonsolidatie) daar waar de hals van de kleefmeter verlaagde weerstanden ondervindt.

## 5.3.6. METODE TER ONDERKENNING VAN DE LITOLOGIE EN DE STRATIGRAFIE OP GROND VAN MECHANISCHE KLEEFMANTELKONUSSONDERINGEN OPGEMETEN IN STAPPEN VAN 10 CM

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 geschieden om de 10 cm.

2° Al de volgende gegevens zijn grafisch voorgesteld :
- de konusweerstand $C_{k,d,10}$
- de overeenstemmende plaatselijke kleef $f_{s,2,10}$
- de totaalkleef $L_{10}$
- de totaalweerstand $T_{10}$
- het wrijvingsgetal $W_{10} = 100\frac{f_{s,2,10}}{C_{k,d,10}}$
- het verbeterde wrijvingsgetal voor 50 % (of minder) invloed $W_{10,50} = \frac{f_{s,2,m,50}}{C_{k,d,10}}$

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...

Zoals aangetoond verkrijgt men door meting per 10 cm i.p.v. de klassieke 20 cm-meetstap, in de diagrammen een veel meer gedetailleerd beeld. Daardoor is de interpretatie van de grondsoort en van de bouw van een laag, veel nauwkeuriger. Hetzelfde is geldig voor korrelaties gesteund op de primaire en de secundaire struktuur van het konusdiagram en van de andere sondeerdiagrammen.

Ieder sondeerdiagram blijkt van nut te zijn; afzonderlijk maar meestal gekombineerd geven ze aanleiding tot specifieke interpretaties. Het kombineren van de diagrammen biedt bovendien de mogelijkheid tot kontrole. Een verschijnsel dat goed tot uiting komt in één van de sondeerkurven, zal aan de hand van de andere diagrammen meestal beter kunnen worden beoordeeld.

In onderstaande te volgen procedure is voor de opeenvolgende interpretatiestappen bij de aangewezen diagrammen een korte uitleg toegevoegd.

Procedure

1) Afbakenen van de grote eenheden

Onderscheid Kwartair-Tertiair

- $C_{k,d,10}$ : steunen op de primaire en secundaire strukturen van het diagram vooral wanneer meerdere sonderingen ter beschikking zijn
- $L_{10}$ : zeer specifiek konstrast bij aanwending van de nókkenkleefvanger
- $W_{10}$ : goed kontrast door de lage waarden van $W_{10}$ in de (overgekonsolideerde) tertiaire weinig kleihoudende zeer fijne zanden
- globaal genomen is de detailstruktuur van elke kurve minder uitgesproken in het Tertiair dan in het Kwartair
- identifikatie van de grondsoort aan de konus.

Indeling tussen eenheden bestaande uit samenhangende of onsamenhangende grondsoorten

- $C_{k,d,10}$ + $W_{10,50}$ of $W_{10,40\rightarrow30}$ (keuze maken naargelang van Kwartair of Tertiair) : onderverdelen op grond van $W_{10,50}$ samen met de primaire en secundaire strukturen van het konusdiagram (vertikale lagenbouw). Ook $f_{s,2}$ en L kan hierbij nuttig zijn.

2) Litologie (relatief uniform opgebouwde eenheden)

Kwartair

Onsamenhangende grondsoorten

fijn en zeer fijn zand

- $1,25 \leqslant W_{10} \leqslant 2,10$

- $L_{10}$ : geïnduceerd spanningseffekt vooral bij overgangen van en naar minder weerstandbiedende lagen

- $C_{k,d,10}$: secundaire strukturen o.a. zaagtandpatroon, minder steile toe- en afnamen (<10 MN/m$^2$ per 10 cm indringing)

middelmatig-, grof zand, grinthoudend zand en grint

- $0,70 \leqslant W_{10} \leqslant 1,25$

met voor - middelmatig zand : tendens tot $1,00 \leqslant W_{10} \leqslant 1,25$
- grof zand
- grinthoudend zand
- grint
} : tendens tot $W_{10(20)} \leqslant 1,00$

- aanvullende kriteria

- niet grinthoudend middelmatig zand :

$L_{10}$ : geïnduceerd spanningseffekt
$C_{k,d,10}$ : secundaire strukturen
} zie (zeer) fijn zand

- grinthoudend zand en grint (schelpen, keien), vooral wanneer op kompakte grintrijke laagjes of voldoende grote grintelementen (± diameter konus) wordt gestoten :

- $C_{k,d,10}$ : secundaire strukturen :
  - zeer steile toe- en afnamen (meer dan 10 MN/m$^2$ per 10 cm indringingsdiepte)
  - scherpe en hoog (relatief) uitlopende pieken
- $L_{10}$ : soms zeer grote en scherp uitlopende pieken en dalen (vooral wanneer de kleefvanger is aangewend)
- beschadigingen van de konus : krassen, afbreken van het topje van de punt, enz....

Samenhangende grondsoorten

weinig samenhangend : weinig leem- of kleihoudend, leemhoudend, kleihoudend fijn zand, leem

- $1,9 \leq W_{10} \leq 3,3$ : gradatie mogelijk op grond van de tendens tot hogere $W_{10}$-waarden met toenemende plasticiteitsindex
- $L_{10}$ : voor lage $C_{k,d,10}$ (<3 MN/m$^2$) vertoont L meestal slechts een zwakke toename
- $C_{k,d,10}$ : tendens tot lagere $C_{k,d}$ met toenemend gehalte <63 µm

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
- $C_{k,d,10}$ :
  - overwegend lage konusweerstanden
  - geringe absolute schommelingen
  - wanneer verschillende samenhangende grondsoorten op elkaar voorkomen is niet zelden nog een zwak kontrast in de $C_{k,d,10}$ te zien
- $L_{10}$ bij lage $C_{k,d,10}$ :
  - vertoont L meestal een belangrijke toename (niet voor zeer slappe kleien)
  - wijst een plotse hellingsverandering van L dikwijls op een verandering van laag
- $T_{10}$ : vooral nuttig wanneer geen $C_{k,d,10}$ (en dus geen L) kon worden geregistreerd ($C_{k,d,10}$ te laag). De sterke toename van $T_{10}$ wijst in zulk een geval op een meer samenhangende grondsoort. Knikken in de kurve houden vaak verband met begrenzingen
- $f_{s,2,10}$ bij lage $C_{k,d,10}$ : een duidelijke toe- of afname van $f_{s,2,10}$ wijst dikwijls op een verandering van laag (grondsoort)

Opmerking

In de praktijk kan men gemakkelijk weinig samenhangende en meer samenhangende grondsoorten van elkaar onderscheiden. Een onderkenning van de grondsoorten in die groepen is veel moeilijker. Weet men echter welke lagen mogen verwacht worden, dan is een meer gedetailleerde identifikatie mogelijk (zie eindopmerkingen : veen in het studiegebied)

Tertiair

Onsamenhangende grondsoorten : niet behandeld

Samenhangende grondsoorten

weinig samenhangende : (overgekonsolideerd) weinig kleihoudend à kleihoudend zeer fijn zand

- $0,8 \leqslant W_{10} \leqslant 1,3$
- $C_{k,d,10}$ : rustige detailstruktuur wanneer geen grintelementen (harde en voldoende grote schelpen) aanwezig zijn

meer samenhangend : overgekonsolideerde glauconiethoudende stijve klei en overgekonsolideerde zuivere stijve klei

- glauconiethoudende stijve klei : $3,15 \leqslant W_{10(20)} \leqslant 4,05$
- stijve klei : $4,05 \leqslant W_{10(20)} \leqslant 5,85$
- $C_{k,d,10}$ : - hoge konusweerstanden voor klei
  - geringe relatieve schommelingen
- L (met kleefvanger) :
  - belangrijke en vrij regelmatige toename
  - helling iets minder steil in glauconiethoudende klei

Opmerking - Voor een reeks sonderingen uit hetzelfde gebied :

Als gevolg van de grotere horizontale en vertikale homogeniteit van de tertiaire lagen vertoont het konusdiagram vaak zeer typische primaire en secundaire strukturen die toelaten op eenvoudige wijze korrelaties vast te leggen. Door ijking van één van de sonderingen met een betrouwbare boring, kan men alle andere interpreteren.

3) Onderkennen van de uniformiteit of de gelaagdheid

- Vooral steunend op $W_{10}$ :
  - konstantheid wijst op uniformiteit
  - grote relatieve schommelingen wijzen op heterogeniteit of gelaagdheid
- $C_{k,d,10}$, $f_{s,2,10}$ :
  - voor meer samenhangende grondsoorten : kleine relatieve schommelingen wijzen op uniformiteit, grote op heterogeniteit of gelaagdheid
  - voor onsamenhangende grondsoorten : te gevoelig voor wisselingen in pakkingsdichtheid
- L : regelmatige toename zonder piekjes wijst op uniformiteit

4) Litologie van gelaagde eenheden (laagjes van meer dan 10 cm dikte)

- $W_{10}$ : uitersten beschouwen en vergelijken met de waarden van de meer uniforme grondsoorten
- $C_{k,d,10}$ : - hoogte en relatieve schommelingen nagaan
  - detailstrukturen
- $L_{10}$ : belangrijke toename wijst op overheersing van samenhangende grondsoorten, geringe toename wijst op overheersing van weinig samenhangende en onsamenhangende grondsoorten

Algemene opmerkingen

1) De waarde van $W_{10}$ kan beïnvloed zijn door :
   - rodage 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 gerodeerde konus,
   - klemming van de kleefmeter met klei, leem en zeer fijn zand bij een versleten konus
   - door (vermoedelijk) geringe konstruktieve afwijkingen van de kleefmeter en dit gedurende de gehele levensduur van de kleefmantelkonus

2) Met afnemende dikte van een eenheid verminderen de speciefieke eigenschappen van de sondeerdiagrammen : eerst bij de $L_{10}$ en $T_{10}$ gevolgd door de $f_{s,2,10}$, $W_{10}$, $W_{10,50}$ en tenslotte bij de $C_{k,d,10}$. De kleinste dikte van een eenheid, die kan worden geïnterpreteerd, is bijgevolg afhankelijk van de sondeerdiagrammen zelf maar ook van de omstandigheden (lagen boven en onder de beschouwde eenheid) waarin die eenheid zich bevindt. Een juiste dikte is dan ook moeilijk vast te leggen; de volgende waarden zijn daarom enkel richtinggevend :

$C_{k,d,10}$ : $\pm$ 10 cm

$f_{s,2,10}$ : 20-30 cm

$W_{10}$, $W_{10,50}$ : 20-30 cm

$L_{10}$, $T_{10}$ : 50-200 cm (met of zonder kleefvanger)

Laagjes van minder dan 20 cm dikte kan men litologisch niet nauwkeurig bepalen. Indien opeengestapeld tot een pakket van voldoende dikte zal op grond van $W_{10}$ en $C_{k,d,10}$ toch een indruk van de overheersende grondsoort worden verkregen.

3) Bij omvangrijke studies is het wenselijk over enkele betrouwbare en goed gekozen boorprofielen te beschikken (uitgevoerd na de diepsonderingen) om meer plaatsgebonden korrelaties tussen de sondeergrafieken en de geologie en de litologie van de eenheden te kunnen vastleggen.
Een typisch voorbeeld vormt het oppervlakteveen in het studiegebied. Alhoewel op grond van het wrijvingsgetal geen onderscheid met klei te maken is kan men uitgaande van een kombinatie van de $C_{k,d,10}$, $L_{10}$ en $W_{10}$ en de te verwachten ligging, het veen meestal duidelijk herkennen.

4) Zoals voor de bestaande klassifikaties is ook deze metode aangewezen op het identificeren van natuurlijk afgezette grondsoorten gelegen onder de watertafel.

# 6. KAARTEN EN PROFIELEN

## 6.1. INLEIDING

Het ruimtelijk verband tussen de litostratigrafische eenheden is voorgesteld onder de vorm van kaarten en doorsneden. De volgende litologisch belangrijke aspekten 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-Ursel.

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

## 6.2. INTERPRETATIE VAN DE BORINGEN EN DE DIEPSONDERINGEN

De kenmerken van de litostratigrafische eenheden in de boringen zijn uitvoerig besproken in hoofdstuk 3 over de geologie van het gebied. De kenmerken in de diepsonderingen zijn in hoofdstuk 5 voor een aantal eenheden gedeeltelijk gegeven. Om het verband tussen de litostratigrafische eenheden en de sondeerdiagrammen ($C_{k,d,10}$, $f_{s,2,10}$, $L_{10}$, $T_{10}$, $W_{10}$, $W_{10,50}$) te verduidelijken zijn een veertigtal diepsonderingen, waaronder 9 paren van het 10-20 cm vergelijkend onderzoek, met hun interpretatie voorgesteld (fig. 14 t.e.m. 68).

We beperken ons tot de karakteristieke sonderingen, waarin zoveel mogelijk eenheden in hun typisch voorkomen aanwezig zijn.

<u>Tertiair</u>

De topzone van T1 van het Lid van Oedelem is enkel te zien in DS 30.66 (fig. 20a). De opeenvolging T2, T3, T4, T6,1 (onderste) is waar te nemen in DS 30.61 (fig. 53a). Met DS 30.30-31 (fig. 18a) vertoont T2 in DS 30.61 haar vierdelige bouw (T2,0, T2,1, T2,2, T2,3), die typisch is voor het zuidelijk en westelijk deel van het studiegebied. Alhoewel minder kenmerkend in DS 30.61 en in

DS 30.30-31 neemt men met T3,1, T3,2 en T3,3 de driedeligheid van T3 waar. Deze is evenwel meer typisch ontwikkeld in DS 30.44 (fig. 37), DS 30.43 (fig. 36), DS 30.50-66 (fig. 20a) en DS 30.48 (fig. 41). Het meest volledige profiel van T6,1 is te zien in DS 30.38 (fig. 31). Ook het voorkomen van de verharde eenheid T4,2 in T4,1 is uitsluitend in DS 30.38 waar te nemen.

Door de aanwezigheid van nagenoeg kontinue steenbanken is van de bovenste 8 m van het Lid van Oedelem geen volledig sondeerprofiel voorhanden. De onderste steenbank T6,3 en de daarop liggende laag T7,1 neemt men waar in DS 30.53 (fig. 45). DS 30.59 (fig. 51) geeft een volledig beeld van de opeenvolging T7,2, T8,1, T8,2, T9 en de onderste meter van T10.

Het Lid van Asse-Ursel (T10 en T11) en het Lid van Wemmel (T9) zijn beter ontwikkeld in DS 30.71-72 (fig. 22a). Met een minder volledig profiel zijn in dit verband nog DS 30.81-82 (fig. 23a), DS 30.68-69 (fig. 21a) en DS 30.80 (fig. 67) aan te wijzen.

Kwartair

Wegens de grilligheid van het Kwartair kan men slechts typesonderingen met een meer lokaal karakter aangeven. Het voorkomen van gidslagen zoals het oppervlakteveen K7 (eventueel uitgeveend, K9), het veen-leem-zandkomplex K5 en de grinthoudende laag 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.

Centraal in het studiegebied, in de omgeving van het insteekdok, zijn deze 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 dan ook duidelijk te identificeren en te kenmerken. Als typesonderingen duiden we in volgorde aan : DS 30.51 (fig. 43), DS 30.36 (fig. 29), DS 30.52 (fig. 44a), DS 30.53 (fig. 45) en DS 30.59 (fig. 51).

Met goed vergelijkbare kenmerken voor de betreffende eenheden vindt men een zelfde bouw terug in sonderingen ten westen van het Prins Philip- en Nijverheidsdok (DS 30.50-66, fig. 20a; DS 30.49, fig. 42a), ten westen en ten zuiden van Ramskapelle (DS 30.32-33, fig. 19; DS 30.70, fig. 59a; DS 30.75, fig. 62) en in het zuiden van het gebied ter hoogte van DS 30.61 (fig. 53a). In DS 30.50-66 en in DS 30.49 is K5 evenwel sterk gereduceerd. Eveneens in DS 30.50-66 bereikt de afzetting van Calais de maximum in het studiegebied gemeten dikte.

Ten westen van DS 30.61 ter hoogte van DS 30.30-31 (fig. 18a) verliezen de eenheden K5,1 en K3 hun typische kenmerken in het sondeerdiagram. Bovendien zijn in K2 en K4 veel meer leemhoudende zones K2,2 en K4,2 aanwezig, waardoor het gehele sondeerprofiel in het Kwartair nog weinig overeenstemt met de type-sonderingen in het centrum van het gebied. Aangezien de leemhoudende zones K2,2 en K4,2 vooral ten zuidwesten van het studiegebied in belang toenemen kan het paar DS 30.30-31 voorlopig als type-sondering voor deze lagen in die omgeving worden genomen.

Alhoewel minder duidelijk is de driedelige bouw van K3 (K3,1, K3,2 en K3,3) toch nog te zien in DS 30.29 (fig. 27), DS 30.80 (fig. 67) en DS 30.83 (fig. 68).

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 kreekafzettingen echter opvallend veel klei- en leemlaagjes, waardoor ze goed konstrasteren met de onderliggende pleistocene zandige eenheden. Zeer typisch voor K8 (K8,1 + K8,2) in die omgeving zijn de diagrammen van DS 30.78 (fig. 65) en ook van DS 30.68-69 (fig. 21a) en DS 30.81-82 (fig. 23a). Een opvallende ontwikkeling van K8,2 (leem en klei) is te zien in DS 30.71-72 (fig. 22a) en in DS 30.77 (fig. 64). 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. Is dit nog duidelijk in DS 30.37 (fig. 30) dan ligt dat in DS 30.47 (fig. 40) niet meer zo voor de hand.

## 6.3. AANVULLINGEN EN VERGRAVINGEN (KAART 2)

Deze kaart werd reeds eerder besproken in paragraaf 3.3.2.3.4.

## 6.4. UITBREIDING VAN HET OPPERVLAKTEVEEN, VOORMALIGE VEENEXPLOITATIES EN OPGEVULDE KREKEN (KAART 3)

Bij het opstellen van deze kaart werd naast de puntwaarnemingen in belangrijke mate gebruik gemaakt van luchtfoto's. Wegens het uiterst grillig patroon van het bovenste dek zou men de waarnemingen uiterst dicht bij elkaar moeten uitvoeren om een betrouwbaar beeld ervan te verkrijgen. Dit is evenwel financieel niet haalbaar.

### 6.4.1. FOTOSERIES

Voor de luchtfoto-interpretatie stonden drie reeksen panchromatische opnamen ter beschikking. De overlapping van de foto's bedroeg circa 60 %. De eerste reeks besloeg het gehele studiegebied. De tweede reeks bedekte een ongeveer 1,7 km brede strook evenwijdig met de kustlijn, terwijl de derde reeks was beperkt tot een strook langs de afwateringsvaarten (fig. 83).

De foto's dienden, met het oog op waarnemingen van kleine hoogteverschillen zoals tussen kreekrug en poelgrond in stereovisie te worden geïnterpreteerd. Hierbij is de stereoskopische drempel belangrijk. De stereoskopische drempel is het kleinste in stereovisie waarneembare hoogteveschil. Deze wordt benaderd aangegeven door de volgende betrekking :

$$h = \frac{100}{F.R.} \cdot \frac{H}{b}$$ (C. MARIUS en M. ANTROP, 1976)

waarin : h : stereoskopische drempel (cm)
H : vlieghoogte (m)
b : fotobasis (mm)
R : effektief 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. 45 staan naast enkele algemene gegevens de waarden van h voor de drie reeksen samengevat. Hieruit blijkt dat met de reeks 1 hoogteverschillen van minder dan 79 cm niet meer worden opgemerkt. Sommige lage kreekruggen onderscheiden zich in reliëf dan ook niet meer van de komgronden.

Gewassen leveren ook moeilijkheden op. Daar de waar te nemen hoogteverschillen (0-2 m) van de orde van grootte zijn van het gewas kunnen deze laatste de eerste verdoezelen.Een opname in het voor- of najaar i.p.v. in de zomer zoals voor de drie series zou gunstiger zijn geweest.

6.4.2. INTERPRETATIEKRITERIA

Alhoewel het veengebied tussen Dudzele en Zeebrugge anders gestruktureerd is, kan men uitgaan van het door F. SNACKEN en A. VERHOEVE (1965) uitgewerkte verband tussen het fotobeeld en de opbouw 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 kultuurname van het gebied en de fysische omstandigheden.

In het studiegebied is de reliëfsinversie minder uitgesproken dan te Houtave omdat op het veen drie afzettingen liggen. Daarenboven is het veen te Zeebrugge aanzienlijk meer geëxploiteerd, wat het reliëfskontrast in de hand heeft gewerkt. Ook zijn de kreeksystemen anders ontwikkeld. Te Houtave is de veenplaat door nagenoeg parallelle kreken regelmatig versneden; in het studiegebied heeft men te doen met een zeer grillig krekenpatroon, wat de interpretatie bemoeilijkt.

Op de foto's onderscheiden kreken zich als langgerekte rechtlijnige of gebogen, zwak konvexe meestal symmetrische lage ruggen met een lichte tonaliteit en vrij uniform uitzicht.

De veengebieden liggen iets lager, zijn donkerder van tonaliteit en hebben een komplex uitzicht. Daarin kontrasteren vooral de uitgestrekte uitgeveende partijen, die gekenmerkt zijn door hun nog lagere ligging (± 1 m), zeer onregelmatige topografie, rechtlijnige begrenzingen en donkere tonaliteit. Niet zelden onder-

scheidt men de eigenlijke veenputten, als hoekig afgelijnde 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.

De verschillen in fysische omstandigheden tussen de kreekruggen 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 kreekruggen, de weilanden op de poelgronden. Door de onregelmatige begrenzing en de omvang van de veenplaten is het verband wegennet-kreekruggen in het studiegebied evenwel minder uitgesproken dan te Houtave.

### 6.4.3. OPSTELLING; GRONDKONTROLE

De interpretaties werden onmiddellijk op een orthofotoplan op schaal 1/10.000 ingetekend. Als begrenzing voor de (veenloze zandige) kreeklichamen werd de basiskonkaviteit genomen. De uitgeveende percelen waren meestal vrij eenvoudig af te lijnen. Tussen beide grenzen liggen de niet-uitgeveende zones, waar hetzij zand, hetzij klei + leem + zand op veen voorkomen.

In de uitgeveende gebieden kan men een onderscheid maken tussen grondig uitgeveende (laag gelegen, zeer onregelmatige topografie) en weinig ontgonnen percelen (hoger gelegen, weinig verstoorde topografie).

De foto-interpretatie werd nadien getoets aan alle beschikbare puntwaarnemingen en profielopnamen. Dit liet toe de volgende zones af te bakenen : veenloze zandige kreek, veenloze kleiige kreek, veen bedekt door zand, veen bedekt door klei, leem en zand, grondig en weinig uitgeveende zones. Sleutelzones en zones waar te weinig puntwaarnemingen voorkwamen werden door handboringen gekontroleerd.

In de duinen, op het strand en op plaatsen waar belangrijke ophogingen of bebouwing voorkwamen op de foto's, kon men fotografisch niet interpreteren. Deze zones zijn op de kaart afgebakend. Alleen wanneer voldoende duidelijke interpreteerbare punt-

waarnemingen beschikbaar waren of wanneer korrelaties zichzelf uitwezen, zoals bijvoorbeeld onder de dijken van de afwateringsvaarten, werden hierin een onderscheid aangebracht. Hierbij is nog het volgende op te merken. Daar de voorgestelde mogelijkheden verband houden met het oppervlakteveen, de afzetting van Duinkerke en de zones met voormalige veenexploitatie, werd bij de specifikatie geen rekening gehouden met de sedimenten van de duinen, het strand en de ophogingen. Aangezien de (oorspronkelijke) top van de afzetting van Duinkerke op gemiddeld ± 3,5 m mag worden verwacht werden in deze zones, alle sedimenten boven dit peil, buiten beschouwing gelaten.

De basis van de veenloze kreken werd oor isohypsen aangegeven. Wegens het grillig patroon en het gebrek aan waarnemingen in de kreken, werd een hoogte-interval van 5 m gekozen.

Op de kaart is rekening gehouden met de recente al of niet opgevulde uitgravingen tot januari 1980.

Opmerkingen

1° Bij de kontrole met de puntwaarnemingen is gebleken dat de grens van een kreekrug op zijn basiskonkaviteiten meestal niet de veenloze kern maar wel het geheel veenloze kern + zijwaartse stroken waar het kreekzand boven het veen uitwigt, afbakent. In sommige gevallen bleken hogergelegen zandige kreken zelfs bijna niet in het oppervlakteveen gesneden te zijn.

2° De breedte van de smalste herkenbare veenloze (zandige) kreek bedroeg ongeveer 20 m. Met de zijstroken erbij bedroeg de breedte circa 50 m.

3° Aangezien met de foto-analyse kleiige (veenloze) kreken zelden zijn opgemerkt kan dit betekenen dat er weinig aanwezig zijn of dat ze op de foto's niet zijn te onderscheiden van de komgronden.

6.4.4. BESPREKING

Het oppervlakteveen komt voor in een noordnoordwest-zuidzuidoost gerichte 3 tot 5 kilometer brede strook. In het zuidwesten en noordoosten is deze strook scherp begrensd door brede en diep ingesneden kreken van de afzetting van Duinkerke.

In het noorden valt de grens van het veen waarschijnlijk grotendeels samen met die van de zone waarin geen interpretaties werden verricht.

Met de basis op gemiddeld -10 m is de noordoostelijke kreek de dieptste. Ter hoogte van Heist vertoont haar basis bovendien een 0,5 km lange ovaalvormige depressie met een maximale diepte van -23,5 m. Volgens DS 30.71-72 blijkt die put tot -9 m hoofdzakelijk te zijn opgevuld met slappe klei en leem. De vorm en de diepte wijzen op de uitschuring van een groot wiel. Voor de rest is die oostelijke kreek grotendeels opgevuld met zand en klei- en leemlaagjes.

De westelijke kreek is minder diep. De juiste diepte kon vaak niet nauwkeurig worden bepaald, omdat de kwartaire sekwentie er nagenoeg volledig uit fijn zand bestaat. Naar Blankenberge toe kan deze kreek evenwel dieper zijn ingesneden.

De strook waar veen wordt aangetroffen is op te splitsen in een noordwestelijk, noordoostelijk en zuidoostelijk gedeelte waar telkens weinig of geen veenloze kreken worden aangetroffen. In het centrum en in het zuidwesten is het veen in talrijke kleine zones verdeeld.

In tegenstelling tot de kreken in het middengebied hebben de drie onderste veenloze kreken 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 oostelijk kreek.

In het middengebied, ten zuidwesten van het Insteekdok, liggen enkele tamelijk brede niet doorheen het veen gesneden vrij zandige kreken (basis op ca. +0 m). Ook in het zuidoosten treft men er aan (basis op ca. +1,5 à +2 m). Belangrijke stroken waar zand op veen rust worden nog aangetroffen aan de noordrand van de westelijk 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 het noordwestelijk deel (ten westen van het Boudewijnkanaal) is de laag overal intens uitgeveend. Uit de profielen blijkt evenwel dat niet alle veen in deze "uitgeveende zones" werd ontgonnen. Meestal liet men een 0,2 tot 0,6 m dikke basislaag onaangeroerd. Daarop treft men talrijke smalle steil begrensde (1-10 m breed) veenmuurtjes aan. Ook komen er nog talrijke omvangrijke weinig of niet aangetaste partijen veen voor. Enkel indien groot genoeg (ca. 50 x 50 m) waren deze te onderscheiden. Kleinere dergelijke partijen mogen in de zones met uitvening evenwel veelvuldig worden verwacht.

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 gebied kan worden geschat op ongeveer 60-70 % van de oorspronkelijke aanwezige hoeveelheid.

## 6.5. Profielen ter hoogte van het Insteekdok

Ter verduidelijking van het geotechnisch belang (grote differentiële zettingen op korte afstand) en ter illustratie van de veen-krekenkaart zijn twee waargenomen profielen getekend. Het eerste (profiel W, fig. 86) kruist een veenloze zandige kreek met zijwaartse zandwiggen; het tweede (profiel E, fig. 87) doorsnijdt een zone met belangrijke veenontginning.

De opname gebeurde in de jaren 1977-'78 gedurende de werkzaamheden aan het Insteekdok. Evenwijdig aan de twee te bouwen kaaimuren waren toe sleuven gegraven waardoor de kwartaire lagen over nagenoeg 2400 m lengte tot 5-6 m diepte zichtbaar werden. Enkel de naar het dagvlak van de kaaimuur gerichte zijden van de sleufwanden werden bestudeerd. De afstand tot de dagvlakken bedroeg 30-40 m.

De volledige wand werd aanvankelijk vanop de kaaimuren gefotografeerd. Het fototoestel werd daarbij steeds loodrecht op het dagvlak georiënteerd en op regelmatige tussenafstanden ten opzichte van de bolders gelokaliseerd. Door voldoende overlapping (ca. 60 %) te nemen kon een kotinu fotobeeld met weinig vervorming worden samengesteld.

Van sommige belangwekkende zones werden opnamen gemaakt. Deze werden gefotografeerd en geschetst op schaal 1/50. Desgevallend werden de stroken over de ganse hoogte bestudeerd.

De profielen W en E zijn het resultaat van korrelaties tussen een tiental dergelijke stroken per profiel, die op een referentievlak werden geprojekteerd. Deze laatste zijn gekozen op de gemiddelde afstand (35 m) van de sleufwanden tot de dagvlakken van de overeenstemmende kaaimuren. De nauwkeurige ligging van de werkelijke profielwanden W en E en de projektievlakken is gegeven in fig. 84.

De eenheden van de natuurlijk afgezette lagen of lichamen zijn begrensd door litologische grensvlakken, erosievlakken en diastemen. De eenheden van antropogene oorsprong (veenput-opvulling, geroerde grond) zijn begrensd door een kunstmatig erosievlak.

De afzettingen werden geïnterpreteerd in termen van genetische en litologische eenheden. In een litologische eenheid (binnen de genetische eenheid) zijn de litologie en de overheersende schijnbare sedimentatiestrukturen schetsmatig getekend. De tekens en de symbolen zijn verklaard in figuur 85. Sommige bijzonderheden, zoals verveende plantwortels, een aanrijkingshorizont en de bovengrens van de reduktiezone, zijn aangegeven.

### 6.5.1. PROFIEL W

Uit het profiel W (fig. 86) blijkt duidelijk de komplexe geologische bouw van een veenloze zandige kreek in het sterk versneden veengebied. Het projektievlak maakt een hoek van circa 70° met de as van de kreek waardoor de schijnbare breedten van de kern en de zijwaartse stroken enigszins overdreven zijn. De lengte van het profiel bedraagt 370 m.

De oudste afzettingen in het profiel vindt men terug onder het oppervlakteveen. Het zijn de bleekgrijze fijne en zeer fijne zanden van de afzetting van Eeklo. Deze zanden hebben een zeer gelijkmatig uitzicht en vertonen geen sedimentatiestrukturen. In de bovenste meter is een goed ontwikkeld podzolprofiel te herkennen. Het bestaat uit een 10 tot 35 cm dikke bleekgrijze tot bleekrozebruine uitlogingshorizont met daaronder een 10 tot 40 cm dikke aanrijkingshorizont (aanrijking in humus en mogelijk ook in aluminium en ijzer). De kleur van deze laatste varieert van donker- en zwartbruin bovenaan over bruin en grijsbruin in het midden tot geelbruin en geelgrijs onderaan. De aanrijkingshorizont is bovenaan meestal scherp te begrenzen en min of meer verhard. Vooral bovenaan werden 0,5 tot 1 cm dikke zwarte onregelmatig verlopende bandjes, soms in pakketjes van 5-10 cm dikte opgemerkt. Deze zijn merkelijk meer verhard dan de rest. In diepsonderingen werd in deze laagjes in één geval een maximum puntweerstand van 13 $MN/m^2$ genoteerd. In de bovenste, 1-2 m van K5,2, werden vaak vanuit het veen vertrekkende tot 5 cm dikke verveende wortels opgemerkt.

Op twee plaatsen, tussen 35-36 (bolders) en 36-37, ligt tussen het oppervlakteveen en K5,2 een 10-20 cm dikke blauwgrijze leemhoudende tot zandhoudende klei K6. Dit laagje behoort tot de afzetting van Calais.

Het oppervlakteveen bereikt met 2,5 m een maximale dikte tussen 35-36. Enkel tussen 26-28 en gedeeltelijk tussen 35-36 is de oorspronkelijke top te zien. Op de andere plaatsen werd het veen grotendeels weggeërodeerd door de afzetting van Duinkerke.

De afzetting van Duinkerke is in het profiel vooral vertegenwoordigd door de met fijn zand (K8,1) opgevulde brede veenloze kreek tussen 31-35. In de lichtgrijze zanden zijn elkaar ravinerende geulvormige sets, met aan de basis veelal akkumulaties van verslagen veenbrokken (1-20 cm) en schelpen, te herkennen. In de bovenste 2-3 m liggen, met een toenemende hoeveelheid naar de top, meer en meer subparallelle klei- en leemlaagjes (0,5-1 cm dik). Vooral in de bovenste 1,5 m neemt het kleigehalte aanzienlijk toe en treft men op een laag groengrijze klei met zandlamellen, een laag bruingrijze zandhoudende klei aan. Deze laatste bevat regelmatig baksteenfragmenten.

Lateraal wigt de kreek boven het veen uit. De zijdelingse stroken zijn breed ontwikkeld (± 80 m). Links wordt de veenloze kern scherp begrensd door een steilrand gevormd door het samenhangende veen. Rechts is deze niet te herkennen; het veen is er over een aanzienlijke afstand onregelmatig ingesneden.

De kleine kreekjes ter hoogte van 36 en 38 zijn ouder dan de voorgaande. Beide vertonen een gelijkaardige opbouw. Ze bestaan onderaan uit grijs fijn zand (K8,1) met enkele klei-, leemlamellen en veenslierten. Tegen het oppervlakteveen rust er in het rechterkreekje (36) een tot 2 m dik en 6 m breed pakket afbraakmateriaal. Daarin zijn er brokstukken opgemerkt van de top van het veen, waaraan hetzelfde sediment als op het veen tussen 35-36 hing. Afgezien van sedimenten rechts van 28 is het donkergrijs 0,5 m dikke wigvormige leemlaaje op het veen tussen 35-36 het oudste sediment van de afzetting van Duinkerke in het profiel. Boven het zand K8,1 van de kreekjes en op de tussenliggende veenplaat (37-38) rust er nog een mikrogelaagd pakket klei, leem met weinig fijn zand (K8,3). De daarin geziene sedimentatiestrukturen waren vooral subparallel, tangentieel en geulvormig.

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 een kleine opgevulde veenput.

In het veen nabij de rechter- en linkerrand van respektievelijk de kreekjes 36 en 26 zijn er diepe scheuren. De laatste is meer dan 0,5 m breed. Ze zijn opgevuld met boven- of naastliggend sediment. De scheuren zijn waarschijnlijk ontstaan door ondermijning van het veen tijdens de insnijding van de kreek.

### 6.5.2. PROFIEL E

Het profiel E heeft een lengte van 285 m en snijdt doorheen een zone waarin belangrijke ontvening heeft plaatsgegrepen.

Onder het oppervlakteveen herkent men het zeer fijne zand K5,2. Tussen 16-33 ligt daarin een 10-20 cm dik, zeer vlak gelegen laagje bleekgroengrijs leemhoudend zeer fijn zand (K5,1). In de topzone van K5,2 bemerkt men de goed ontwikkelde podzol.

De basis van het oppervlakteveen is meestal zeer vlak maar ter hoogte van 23 komt er een belangrijke geulvormige uitstulping naar de diepte voor. Hierdoor neemt de dikte van het veen over nog geen 10 m afstand toe van 1 m tot bijna 3 m.

Alhoewel aanzienlijk in omvang is de veenuitbating duidelijk niet-systematisch gebeurd. 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 niet helemaal weggenomen. Overal bevindt er zich aan de basis nog een 20 tot 60 cm dikke laag veen. De veenputten zijn steeds door een loodrechte wand begrensd. De oriëntatie ervan kan eenvoudig door horizontaal afsteken van het veen worden nagegaan. Indien naar ons toegekeerd kon door afstorting van de veenputopvulling, de eigenlijke veenputwand dikwijls onmiddellijk worden gezien. De mate waarin de wand naar ons was gericht is op de profielen voorgesteld door een rechthoekje met toenemende breedte (b.v. tegen de linkerbegrenzing van het veenmuurtje 14). Ook de veenputwanden blijken niet systematisch te zijn gericht.

Op de intakt gebleven partijen veen liggen de klei- 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.

De veenputten zijn zeer heterogeen opgevuld met overwegend klei-, leem-, veen- en in geringe mate zandbrokken, ingebed in een meestal kleiige matrix. Onder de bovengrens van de reduktiezone heeft de veenputopvulling een overwegend blauwe, groene en grijze kleur; er komen ook meer veenbrokken voor. Daarboven ziet men vaak roestvlekken; veenbrokken (oxidatie) ontbreken er. Deze grens valt nagenoeg samen met de oorspronkelijke top van het veen.

Het profiel illustreert tenslotte nog de weerspiegeling in het reliëf van de ligging van putten en de niet ontveende zones. Ter hoogte van deze laatste ligt het maaiveld iets hoger. De veenmuurtjes komen in het reliëf evenwel niet tot uiting.

## 6.6. Basis van het veen-leem-zandkomplex K5 (afzetting van Eeklo)(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 meer recent door uitgravingen. Vooral ter hoogte van kunstwerken is de gegeven grens alleen richtinggevend omdat de juiste omvang van de uitgravingen niet steeds is gekend.

De isohypsen van de basis K5 zijn om de meter getrokken. De basis vertoont een zeer zwak reliëf in de vorm van een brede halve schaal met diepere en hogere delen respektievelijk 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.

## 6.7. Top van het Tertiair en uitbreiding van het Lid van Asse-Ursel (Kaart 5)

Er waren voldoende gegevens om het reliëf van de top van het tertiaire substraat aan te geven met isohypsen om de meter. Alleen in het noordoosten waren, bij gebrek aan waarnemingen, de isohypsen niet te trekken. Samen met het reliëf werd de uitbreiding van de kleilagen van het Lid van Asse-Ursel voorgesteld.

Het Lid van Asse-Ursel komt uitsluitend voor in het noordoosten van het studiegebied. Zijn voorkomen is gebonden aan de topografie van de top van het Tertiair en de algemene noordoostelijke helling van zijn basis. Het is te begrenzen door een rechte bepaald door de snijdingen (067/226)-(072/222). In een ongeveer 1,5 km brede strook langs die lijn is de klei diskontinu. Verder naar het noordoosten is de klei kontinu. Daarbuiten wordt de top van het Tertiair hoofdzakelijk gevormd door het Lid van Oedelem. In een smalle strook langs de grens van het Lid van

Asse-Ursel (niet op de kaart aangegeven) dagzoomt aan de top van het Tertiair het Lid van Wemmel met de resten van de Formatie van Brussel.

Het reliëf 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 waarvan de meest oostelijke dieper is dan -35 m. De westelijke insnijding reikt tot -28 à -29 m. Ze staat met twee dwarse takken in verbinding met de eerste. De oostelijke insnijding heeft een duidelijk V-vormig dwarsprofiel.

Waar de klei kontinu voorkomt is het reliëf minder uitgesproken, zoals in het oosten waar het peil tussen -27 en -24 m ligt. Deze hoogte stemt goed 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 zuidwesten van de westelijke insnijding stijgt het reliëf geleidelijk tot boven -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 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 strekking van de lagen.

Geheel in het westen van het studiegebied daalt het oppervlak en vormt een cuestafront. Dergelijke cuesta's worden vaak gevormd in het Tertiair door weerstandbiedende of vaste lagen (steenbanken en kleilagen). Een cuestafront, gevormd door de kleilagen, ligt buiten het studiegebied op ongeveer 1 kilometer ten noordoosten van de vuurtoren van de oude havendam (kaart globaal grondonderzoek, TV Zeebouw Zeezand, 1978).

## 6.8. Basis van het Lid van Asse-Ursel (Kaart 6)

De basis van het Lid van Asse-Ursel daalt geleidelijk van -23 à -25 m in het zuidwesten tot ongeveer -42 m in het noordoosten.

Het verloop van de helling houdt verband met de basis zelf maar hangt ook af van de dichtheid van de waarnemingen, die de basis hebben bereikt. In het noordoosten zijn er nagenoeg geen waarnemingen tot in de bais; de isohypsen dienden te worden geschat aan de hand van DS 7.130 ongeveer 1,2 kilometer ten oosten van het studiegebied. Het regelmatig verloop van de isohypsen -36 m tot -41 m is dan ook niet zeer nauwkeurig. Daarentegen stemt het tracé van de hoogtelijnen meer naar het westen, beter overeen met de werkelijkheid.

De algemene helling van de basis bedraagt 0,42 % in de richting N 45°E.

## 6.9. Litologische doorsneden

De horizontale en vertikale verhoudingen tussen de kwartaire en de ondiepe tertiaire lagen is in vier litologische doorsneden voorgesteld.

### 6.9.1. LIGGING

De plaats van de litologische doorsneden is op de dokumentatiekaart en op de doorsneden zelf aangegeven.

Alleen puntwaarnemingen op minder dan 150 m en uitzonderlijk op minder dan 200 m van de profiellijn zijn bij de doorsneden verwerkt. Ze zijn loodrecht erop geprojekteerd. De profielen van de boringen zijn steeds getekend (fig. 3). Alleen de diagrammen van de eigen diepsonderingen zijn getekend. Om overlapping te beperken werd de verhouding horizontale/vertikale schaal met 50 % verminderd. Van de andere diepsonderingen is alleen hun plaats en hun diepte aangegeven. De snijding met een ander profiel is door een snijlijn voorgesteld.

De grenzen van de lagen zijn rechtlijnig getrokken behalve waar ze van de isohypsenkaart zijn afgeleid. Deze laatste hebben een gebogen verloop. 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.

### 6.9.2. LITOLOGISCHE DOORSNEDE AA'

De doorsnede AA' (fig. 88) is representatief voor het noordelijk deel van het studiegebied. Ze 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.

De grenzen van de diepe tertiaire lagen zijn hoofdzakelijk getrokken door korrelatie tussen de laagsnijdingen van de snijdende profielen. 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 vertikale dikte van T9 (Lid van Wemmel) is met minder dan 1 m centraal, tot 2 à 4 m rechts in de doorsnede, minder konstant. Afgezien van problemen met de onderkenning van de basis van T9 (zie 3.2.3.4.) houden de schommelingen in dikte 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 laag 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.

In de doorsnede zijn alle gidslagen in het Kwartair (K7, K5, K3) voldoende ontwikkeld om de korrelaties met vrij grote zekerheid uit te voeren.

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) 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 boven-

liggende oppervlakteveen daalt. In het midden zijn de leem- en leemhoudende lagen 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. De 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 zijn 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 + (K8,2)).

### 6.9.3. LITOLOGISCHE DOORSNEDE BB'

De doorsnede BB' kruist het studiegebied diagonaal volgens een zuidzuidwest-noordnoordoost richting (N 26°E). Links onderaan in het studiegebied loopt ze over Lissewege, in het midden over het insteekdok, en rechts boven langs de nieuwe zeesluis.

Alhoewel BB' de doorsnede AA' snijdt onder 44° vertonen de lagen T2,1 t.e.m. T8,2 vrijwel dezelfde helling 0,55 %. Dit houdt verband met wijzigingen in 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. We

beperken ons tot het vermelden van enkele bijzonderheden. De typische driedeligheid van T2 is ten noorden van het insteekdok niet meer te zien. Te Lissewege (DS 30.38, links in BB') en ter hoogte van de spoorlijn Zeebrugge-Heist zijn er in T4 verharde zones T4,2 opgemerkt.

De zone met steenbank(en) T8,2, het Lid van Wemmel T9 en de kleilagen T10 en T11 zijn beperkt tot het rechterdeel. T8,2 en T9 ontbreken rechts van de afwateringsvaarten over circa 500 m. De glauconiethoudende klei T10 haalt in dit profiel een maximum dikte van 5,1 m, de bovengrens blijkt hier weldegelijk de basis te volgen.

Het laagste (-35,7 m) en het hoogste (-18,5 m) punt van de top van het Tertiair bevinden zich zoals in AA' ter hoogte van de oostelijke diepe insnijding en de zuidwestelijk gelegen rug. Rechts van P 30.44-1.1 stemt de noordoostflank van die rug over 1 km overeen met de middelste steenbank T7,2.

Wat het middendeel betreft is de kwartaire bouw volkomen gelijk aan die onder het oppervlakteveen in AA'. Naar rechts en naar links in het profiel treden evenwel wijzigingen op.

In het rechterdeel van de doorsnede bereikt K3 een aanzienlijke dikte (meer dan 10 m). Hetzelfde geldt voor de kleihoudende zone K3,2, die in DS 32.4 de grootste in het studiegebied vastgestelde dikte haalt van 7,5 m. De laag K3,2 heeft een opvallende lensvormige doorsnede. Onder en bovenaan treft men de grinthoudende zones K3,1 en K3,3 aan. Vermits ook K2,1 in die omgeving veel grintelementen (schelpen) bevat kon geen scherpe grens tussen K2,1 en K3,1 worden getrokken. Merkwaardig en afwijkend voor het studiegebied is de snelle opeenvolging van grote schommelingen van de basis van het oppervlakteveen (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 de 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. Zoals uit de diepsonderingen blijkt bestaan de zones K4,2 en K2,2 essentieel uit zand met klei- of leemlaagjes.

Links van het Boudewijnkanaal is K5 grotendeels geërodeerd door de brede westelijke Duinkerke-kreek. K5 blijkt er ook veel zandiger dan in het middendeel. Zo verdwijnt de dikke leemlaag K5,1 waarmee gewoonlijk, zoals in het middendeel, de eenheid K5 aanvangt.

Diepsonderingen geven een zeer zandige samenstelling aan voor de westelijke opgevulde Duinkerke-kreek. De grens met de onderliggende pleistocene zandlagen is dan ook niet gemakkelijk te onderscheiden.

6.9.4. LITOLOGISCHE DOORSNEDE CC'

De doorsnde CC' volgt de richting N 35°E en verloopt daarmee bijna evenwijdig aan BB'. Ze is representatief voor het zuidoosten van het studiegebied. Ze loopt van een punt op het Boudewijnkanaal, ongeveer 500 m ten noorden van de in aanbouw zijnde spoorwegbrug, tot voorbij de Peak Shaving installatie van Distrigaz.

In tegenstelling tot AA' en BB' hellen de lagen van het Lid van Oedelem niet meer gelijkmatig. Ter hoogte van DS 30.61 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 % en links daarvan nog slechts 0,26 %. Deze hellingswijzigingen houden in de eerste plaats verband met een afname van de helling van de lagen zelf en in de tweede plaats, in veel geringere mate, met wijzigingen in de strekking.

Ook in CC' behouden de lagen van het Lid van Oedelem hun ware dikte over de lengte van het profiel en, op twee na, zijn ze even dik als die in AA' en BB' : T6,3 is iets dikker en T7,1 merkelijk dunner. De zone met steenbanken T6,3 is belangrijker wegens de opsplitsing van de bank in drie afzonderlijke niveaus gescheiden door niet verharde lagen. Dit komt duidelijk tot uiting in diepsonderingen ter hoogte van de Peak Shaving. De eenheid T7,1 is nauwelijks 0,8-1,4 m dik. Verder is te vermelden : het voorkomen van een vrij kontinue verharde laag T2,0 (met Cardita planicosta)

aan de basis van T2 en van diskontinue verhardingen (T4,2 en T6,2) in T4,1 en vooral in T6,1.

Geheel rechts, ter hoogte van de afwateringsvaarten ligt een kleine rest van het Lid van Asse (T10). Het Lid van Wemmel ontbreekt en ook de zone met steenbank(en) T8,2 is nagenoeg niet vertegenwoordigd.

De topografie van de top van het Tertiair is minder uitgesproken dan in AA' en BB'. Het laagste (-27,5 m) en hoogste (-18,3 m) punt treft men aan respektievelijk geheel rechts en op de kruin van de zuidwestelijke rug centraal in het profiel. Ook hier valt de noordoostflank van die rug over bijna 1 km samen met de zone van de middelste steenbanken (T7,2).

De opeenvolging van de kwartaire lagen zoals in het centrum van het studiegebied wordt enkel teruggevonden rechts van de Peak Shaving; alleen komt K4,1 geheel rechts in DB 15.20 niet meer voor.

In het linker- en het middendeel van het profiel is de gidslaag K3 diskontinu. Een afbakening tussen K4,1 en K2,1 is dan ook niet overal duidelijk. Opmerkelijk voor het linkerdeel is de aanzienlijke ontwikkeling van de grinthoudende afzetting van Kaprijke (tot 5 m dik) en van leemhoudende zones K2,2 en K4,2 in K2 en K4. Vooral de leemhoudende zone K2,2 bevat veel zand en is daarom als K2,1+2 aangegeven.

De afzetting van Eeklo is overal aanwezig als een 5-7 m dikke zeer vlak gelegen laag. Boven de dikke basisleemlaag K5,1 bestaat de afzetting bijna uitsluitend uit het zeer fijn zand K5,2.

De geringe dikte van het oppervlakteveen wijst op een belangrijke exploitatie.

Afgezien van plaatselijke resten op het veen is de afzetting van Duinkerke beperkt tot enkele ondiepe veenloze zeer zandige kreekjes in het westelijk deel van het profiel.

## 6.9.5. LITOLOGISCHE DOORSNEDE DD'

De doorsnede DD' ligt in het zuidwesten van het studiegebied en volgt een noordwest-zuidoost richting (N 135°E). Hierdoor 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' (P 30.41 - 32.2) benadert de richting van het profiel de strekking van de lagen van het Lid van Oedelem. In de doorsnede liggen de lagen dan ook kwasi horizontaal (helling 0,05 %). Ten zuiden van BB' stijgen de lagen met 0,22 %. De verandering in helling is schijnbaar en wordt veroorzaakt door een wijziging van de strekking van de lagen.

Van T2,0 is te vermelden dat die niet overal tot een steenbank, zoals geheel rechts, is verhard. De jongste tertiaire laag in de doorsnede betreft de zone 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. Met een aanzienlijke dikte van de grinthoudende gidslaag K3 is het linkerdeel zoals in AA'. In het midden van de doorsnede kan K3 niet met zekerheid worden vervolgd. Het is mogelijk dat ze uitwigt. De toestand is er in overeenstemming met het westelijk deel van BB'. In het rechterdeel is K3 plaatselijk aanwezig. De kwartaire bouw is er te vergelijken met die in het linkerdeel van CC'. De leemhoudende zones K4,2+1 en K2,2+1 zijn evenwel veel beperkter in omvang.

Alhoewel K3 rechts van het Boudewijnkanaal grotendeels ontbreekt, kan men met diepsonderingen de ondergrens van de zandlaag K4,1 herkennen. Naar het midden en meer naar links tot iets voorbij de baan Brugge-Zeebrugge blijkt de leemhoudende zone K4,1+2 aan de basis van K4 vrij kontinu te zijn ontwikkeld.

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 dikte van het oppervlakteveen.

In het linkerdeel van DD' is het veen nagenoeg niet ontgonnen. Het is er in belangrijke mate bedekt door zandige sedimenten K8,1. Rechts van het Boudewijnkanaal treft men de basis hoger aan (+0 à +1 m). De geringe vermoedelijke dikte weerspiegelt er de aanzienlijke mate van exploitatie.

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.

## 6.10 HELLING EN STREKKING VAN HET LID VAN OEDELEM

De studie in profielen heeft aangetoond dat deze lagen een zeer gelijkmatige dikte hebben en ook over lange afstanden gelijkmatig hellen. Nochtans zijn er hellingsveranderingen vastgesteld die door een verandering van de strekking of van de helling worden verklaard. Tevens wijst ook de richtingsverandering van de kruin en de noordoostflank van de zuidwestelijke rug in die zin.

Op grond van bepalingen met enkele representatieve punten werd de ware helling en strekking nagegaan.

In de omgeving van de doorsnede AA' wordt gevonden :

strekking : N 142°E
ware helling : N 52°E over 0,59-0,62 %

Voor de omgeving ten noordoosten van DS 30.61 in CC' heeft men :

strekking : N 113°E
ware helling : N 23°E over 0,57-0,59 %

Ten zuidwesten van DS 30.61 draait de strekking van het noorden weg en neemt ook de helling af. Vanaf DS 30.30-31 worden de waarden :

strekking : N 131°E
ware helling : N 41°E over 0,26-0,27 %

Tussen AA' en CC' grijpt er een belangrijke strekkingsverandering plaats. Uit de analyse van de top van het Tertiair, uit DD', en uit de werkprofielen is gebleken dat die wijziging over korte afstand gebeurt en zich vooral koncentreert in de onmiddellijke omgeving van de doorsnede BB'. De helling in BB' valt dan ook min of meer samen met de ware helling. In de onmiddellijke omgeving van BB' heeft men :

strekking : N 127°E
ware helling : N 36°E over 0,55-0,58 %

Ten noorden gaan deze waarden over in die gegeven voor AA', ten zuiden in die van CC' (deel ten NE van DS 30.61). Alhoewel geen afname maar integendeel een toename in ware helling werd vastgesteld draait de strekking in de omgeving van BB' ten zuidwesten van DS 30.38 geleidelijk toe naar die ten zuidwesten van DS 30.30-31 (CC').

De gegeven waarden zijn in het studiegebied van toepassing tot aan de kustlijn (oude zeedijk) in het noorden, en de lijn door de snijdingen (067/227) en (072/224) in het noordoosten.

# 7. ALGEMEEN BESLUIT

De grondige verwerking van de vele gegevens (738 diepsonderingen, 519 boringen en 498 granulometrische analysen) in het havengebied van Zeebrugge (35 $km^2$) heeft geleid tot een veel beter inzicht in de litostratigrafie van het Kwartair en van het Tertiair substraat tot een peil van -30 à -60 m.

Het Tertiair van de Zeebrugse ondergrond boven het Lid van Egem (Yd), omvat 10-14 m vaste klei van het Lid van Merelbeke (Plm) en 12-17 m van de Formatie van de Mont-Panisel. Deze laatste is vertegenwoordigd door het kleiig facies, het Lid van Pittem (Plc) en in beperkte mate door het zandig facies, het Lid van Vlierzele (Pld)(0-4 m dikte). De top van de Formatie van Mont-Panisel helt met 0,6 % in de richting N 40°E en ligt in het zuidwesten rond -35 m en in het noordoosten rond -75 m.

Daarop komt de Formatie van de Hoorn en de Formatie van Kallo voor. De eerste omvat het Lid van Oedelem, de tweede het Lid van Wemmel, het Lid van Asse en het Lid van Ursel. Tussen de twee formaties werd voor het eerst in het noorden van België, een erosierest van de Formatie van Brussel waargenomen. Het Lid van Lede werd nergens opgemerkt.

In het studiegebied bereikt het Lid van Oedelem een tot op heden grootst gekende dikte van 35 m. Uit de doorsneden blijkt dat het zeer regelmatig is samengesteld uit 1 à 6 m dikke subparallelle lagen, die in vier delen te groeperen zijn. Van onder naar boven onderscheidt men :

- 5 à 9 m (weinig) kleihoudend zeer fijn zand met zeer weinig makrofossielen,
- 5 à 6,5 m (weinig) kleihoudend zeer fijn zand met zeer veel tot uiterst veel schelpen,
- een 6 à 7 m dikke zone die onderaan en bovenaan bestaat uit weinig fossielhoudend,kleihoudend zeer fijn zand tot zandhoudende klei gescheiden door een 3 m dikke laag schelprijk (weinig) kleihoudend zeer fijn zand,
- een bovenste 11-14 m dikke zone (weinig) kleihoudend zeer fijn zand met schelpen tot plaatselijk veel schelpen en met in de bovenste 7-9 m drie vrij kontinu ontwikkelde glauconietkalkzandsteenbanken.

De schelpen zijn meestal verweerd. Naast de drie kontinue steenbanken komen er op verschillende niveaus enkele onderbroken steenlagen voor. De ware helling van de lagen van het Lid van Oedelem bedraagt meestal 0,55 à 0,62 % met een richting gaande van N 23°E tot N 52°E. In het zuidwesten neemt de helling af tot 0,26 %.

Het Lid van Wemmel is herleid tot 1 à 4 m dikte. Het is samengesteld uit (weinig) glauconiethoudend, schelphoudend, kleihoudend (zeer) fijn zand tot zandhoudende klei. Kenmerkend is het voorkomen van N. orbignyi en van glauconietnesten bovenaan in de laag.

De uitbreiding van het Lid van Asse en het Lid van Ursel (beide samen = ex-Bartoonklei)is beperkt tot het noordoosten van het studiegebied. Het eerste bestaat uit 4-5 m glauconiethoudende stijve klei, met onderaan veel N.orbignyi, het tweede uit stijve klei. Alhoewel het door de kwartaire erosie is aangesneden, bereikt het Lid van Ursel in het noordoosten 18 m dikte. De basis van het Lid van Asse-Ursel helt gemiddeld 0,4 % in de richting N 45°E.

De top van het Tertiair vertoont een uitgesproken reliëf tussen de peilen -17,5 m en -35,5 m. Het is in belangrijke mate bepaald door de steenbanken van het Lid van Oedelem, waardoor zich een noordwest-zuidoost gerichte rug heeft gevormd. De noordoostflank van die rug valt grotendeels samen met de middelste steenbank. Aan de voet ervan liggen er, in het noorden van het gebied, twee diepe insnijdingen. De meest noordoostelijke bereikt de grootste diepte op peil -35 m.

Het Kwartair onder het oppervlakteveen bestaat nagenoeg uitsluitend uit afzettingen van het Eemiaan en het Weichseliaan. Dit stemt overeen met de huidige kennis van de ondergrond ten zuidoosten en zuiden van het studiegebied (G. DE MOOR & I. HEYSE, 1974) en van die van westelijk Zeeuws-Vlaanderen (F. VAN RUMMELEN, 1977).

Het Eemiaan vangt aan met de afzetting van Kaprijke, 0 tot 6 m dik, die bestaat uit grinthoudend middelmatig zand met grove kwartskorrels.

Daarop of onmiddellijk op het Tertiair rust de afzetting van Moerkerke. Ze komt overal voor en haalt gemiddeld 6 à 8 m dikte. Ze vormt de belangrijkste afzetting van het Kwartair in het studiegebied. De afzetting van Moerkerke is hoofdzakelijk samengesteld uit fijn en middelmatig zand met weinig of geen schelpen. Leem- of/en kleihoudende zones komen erin voor.

Het Weichseliaan vangt dikwijls aan met een grinthoudend middelmatig zand met grove kwartskorrels. Alhoewel in de randgebieden reeds beschreven werd deze laag, vooral omwille van haar omvang (niet zelden 3-6 m dik) en duidelijk onderscheid, als een afzonderlijke eenheid behandeld en de afzetting van Zeebrugge genoemd. De top ervan ligt rond -10 m.

Op de afzetting van Zeebrugge of op de afzetting van Moerkerke rust er gemiddeld 4-6 m fijn zand van de afzetting van Damme. Deze bevat nagenoeg geen schelpen. Vooral in het westen en het zuidwesten bevat ze leemhoudende niveaus.

Op de afzetting van Damme en plaatselijk op de afzetting van Zeebrugge treft men het veen-leem-zandkomplex van de afzetting van Eeklo aan. De afzetting van Eeklo komt overal voor behalve waar ze door de afzetting van Duinkerke is geravineerd. Ze bestaat essentieel uit horizontale 1 tot 3 m dikke lagen kalkloos, grintloos, zeer fijn zand, die van elkaar zijn gescheiden door 0,5 tot 2,0 m dikke veen-leemlagen. Deze laatste vormen brede platte lenzen. Ook de basis en de top van de eenheid zijn vlak en schommelen respektievelijk tussen -5 à -9 m en +1 à -3 m.

Het Holoceen is gekenmerkt door zijn heterogeniteit en zeer 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 gering belang en uitsluitend beperkt tot het westen en noordwesten van het gebied. Ze bestaat uit leemhoudende klei en haalt nog geen meter dikte.

Gewoonlijk treft men onmiddellijk op het Pleistoceen het oppervlakteveen aan. Het veen bevat gemiddeld 86 % humus. Zijn oorspronkelijke dikte bedraagt gemiddeld 1,5 tot 3 m. Zijn huidige dikte is vooral bepaald door de voormalige veenontginning. Ongeveer 60-70 % van de oorspronkelijke hoeveelheid veen is weggenomen.

De afzetting van Duinkerke is, zowel kwa uitbreiding, als samenstelling, de grilligste natuurlijke kwartaire afzetting van het studiegebied. Ze is dun (2-3 m) en vooral klei- of lemig in de niet-ontveende zones van het oppervlakteveen. Ter hoogte van de veenloze kreken is ze dik (5-10 m) en zandig. De belangrijkste kreken (inbraken) vindt men in het zuidwesten en noordoosten. Daar wordt geen veen aangetroffen. In het tussengebied is het krekenpatroon erg grillig. Hierdoor is de veenplaat er in talrijke onregelmatig begrensde eilanden en schiereilanden verdeeld. De oostelijke grote kreek is met een basispeil op gemiddeld -10 m de diepste. Ter hoogte van Heist werd in een ovaalvormige uitschuring een maximum diepte van -23,5 m vastgesteld. Deze is tot -9 m met slappe klei en leem opgevuld, daarboven met fijn zand en laagjes klei en leem. De westelijke grote kreek is vooral met zand opgevuld. De basis ervan bevindt zich tussen -5 en -8 m.

Foto-interpretatie is een zeer betrouwbare metode gebleken om de oppervlakkige lagen te karteren. Vooral de kreken en de uitgeveende gebieden konden op deze manier worden afgebakend.

Vermits mechanische diepsonderingen in deze studie het belangrijkste waarnemingsmiddel waren, werd hiervoor een litologische en stratigrafische interpretatietechniek uitgewerkt. Gebleken is dat de meest nauwkeurige interpretatie van de litologie en de stratigrafie wordt bekomen met sonderingen met plaatselijke kleefmeting. Om tot een goed resultaat te komen moeten
- de metingen geschieden om de 10 cm;
- alle weerstanden en afgeleide gegevens grafisch verwerkt zijn (de konusweerstand, de totaalkleef, de totale weerstand, de overeenstemmende plaatselijke kleef, het wrijvingsgetal, het verbeterde wrijvingsgetal);

- tijdens de metingen alle mogelijke inlichtingen genoteerd worden (geluiden, onbetrouwbare lezingen, grondsoort aan de konus enz...).

De 10 cm-meetstap levert ten opzichte van de klassieke 20 cm-meetstap een aanzienlijke winst aan informatie op. Alle kurven verkrijgen hierdoor een veel duidelijker en beter gedetailleerd beeld.

De konusweerstand alleen levert waardevolle, doch niet steeds nauwkeurige, informatie op. Hij is vooral nuttig bij het bepalen van de lagenbouw. De grootte van de weerstand en de struktuur van het diagram verschaffen inlichtingen over de litologie, de stratigrafie en de homogeniteit of de gelaagdheid.

In tegenstelling tot wat velen beweren is de totaalkleef, zelfs na reduktie met kleefvanger, een zeer nuttige informatie gebleken. Zonder kleefvanger laat de totaalkleef dikwijls toe sterk samenhangende grondsoorten zoals veen en de grens aanvulling-bovenste oorspronkelijk afzetting vast te stellen. Informatie over de pakkingsdichtheid wordt verkregen uit het geïnduceerde spanningseffekt. De struktuur van het diagram levert informatie over de homogeniteit.

Het herkennen van harde elementen door de kombinatie van de totaalkleef met de konusweerstand is twijfelachtig.

Met de kleefvanger ingeschakeld kan men door meting van de totaalkleef de grens Kwartair-Tertiair gemakkelijk onderscheiden.

De totale weerstand is vooral nuttig wanneer de konusweerstand niet is gemeten (weerstand te laag). In dit geval kan men uit de helling van de totale weerstand weinig of niet samenhangende van samenhangende grondsoorten onderscheiden.

Het wrijvingsgetal berekend met de overeenstemmende plaatselijke kleef levert nauwkeurige gegevens op aangaande litologie en de homogeniteit of de gelaagdheid. Men moet echter weten of men met Kwartair of met overgekonsolideerd Tertiair te doen heeft. In het Kwartair zijn volgende waarden van het wrijvingsgetal kenmerkend :

$0,7 \leqslant W_{10} \leqslant 1,25$ : middelmatig zand, grof zand, grinthoudend zand, grint,

$1,25 \leqslant W_{10} \leqslant 2,10$ : fijn en zeer fijn zand

$1,90 \leqslant W_{10} \leqslant 3,35$ : (weinig) leem- of (weinig) kleihoudend (zeer) fijn zand, leem

$3,5 \leqslant W_{10}$ : klei, zandhoudende klei

$3,65 \leqslant W_{10} \leqslant 6,45$ : veen

In het Tertiair zijn de volgende waarden kenmerkend :

$0,85 \leqslant W_{10} \leqslant 1,30$ : overgekonsolideerd (weinig) kleihoudend zeer fijn zand

$3,15 \leqslant W_{10} \leqslant 4,05$ : overgekonsolideerde vaste glauconiethoudende klei

$4,05 \leqslant W_{10} \leqslant 5,85$ : overgekonsolideerde vaste klei

Afgezien van veen zijn de waarden van $W_{10}$, voor grondsoorten van het Kwartair, in overeenstemming met die gevonden door BEGEMANN (1965). Voor veen hebben we belangrijk lagere waarden genoteerd.

Behalve klei hebben de grondsoorten van het Tertiair in het studiegebied, andere wrijvingsgetallen dan die van het Kwartair en dan die vermeld in het diagram van H. BEGEMANN (1965). Dit is te wijten aan de overkonsolidatie van de tertiaire sedimenten.

Het verbeterde wrijvingsgetal laat een vlugge indeling toe tussen weinig of niet en meer samenhangende grondsoorten. Voor het Kwartair geeft een korrektie van 50 % van de representatieve konusweerstand, inwerkend op hals van de kleefmeter, de beste resultaten. Met een korrektie van 15 à 20 % in zand stemmen de verbeterde wrijvingsgetallen goed overeen met die gegeven door de ingesnoerde elektrische konus.

De verschuiving naar het juiste niveau van de plaatselijke kleef, gemeten met de konus van BEGEMANN, is van essentieel belang om een representatief wrijvingsgetal op elke diepte te bekomen.

De verkleining van de meetstap tot 10 cm veroorzaakt ten opzichte van de klassieke 20 cm-meetstap en afhankelijk van de grondsoorten, wijzigingen van sommige weerstanden.

- De totaalkleef $L_{10}$ is systematisch lagen dan $L_{20}$.
- De plaatselijke kleef $f_{s,2,10}$ is in de volgende kwartaire grondsoorten verlaagd : middelmatig dicht-, dicht- en zeer dichtgepakt zeer fijn-, fijn- en middelmatig zand (ongeveer -8 %), en in essentieel lemige of kleiige lagen al of niet gelaagd met fijn zand (ongeveer -26 %).
- In één geval, namelijk in (weinig) klei- of leemhoudend (zeer) fijn zand of fijn zand met klei- en leemlaagjes is een signifikante verlaging van de konusweerstand en niet van de plaatselijke kleef vastgesteld.
- In kwartair los- en middelmatig gepakt fijn zand, kwartair grint en grinthoudend zand zijn geen signifikante afwijkingen genoteerd. Hetzelfde geldt voor tertiaire vaste klei of glauconiethoudende vaste klei.

De waarde van de plaatselijke kleef en bijgevolg ook die van het wrijvingsgetal zijn, afgezien van parasitaire konusweerstand op de hals van de kleefmeter, afhankelijk van :

- de rodage van de kleefmeter bij een nieuwe konus;
- de klemming van de kleefmeter met klei of leem bij een nieuwe of gerodeerde konus;
- de klemming van de kleefmeter met klei, leem of zeer fijn zand bij een versleten konus;
- de konus zelf.

Met de konus II (gebruikt in het onderzoek) bleven in dichtgepakte zanden, rodage-effekten (verhoging van $f_{s,2,10}$ en $W_{10}$) merkbaar gedurende de eerste 180 m sondering. In kwartair fijn zand had de konus I ten opzichte van de konus II een wrijvingsgetal opgeleverd dat gemiddeld 20 % lager was.

Tot slot mag worden gesteld dat voor diepten tot 40-50 m, diepsonderingen met plaatselijke kleefmeting behoren tot de goedkoopste, vlugste en meest nauwkeurige metoden om de litologie en stratigrafie van losse sedimenten te verkennen.

# REFERENTIES

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. *Biekorf* 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 onstaansgeschiedenis van de zeepolders. *Biekorf* 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.

BATJES, D.A.J. (1958). Foraminifera of the Oligocene of Belgium. *K. Belg. Inst. Natuurwet. Verh.* 143, 188 p.

BEGEMANN, H.K.S.Ph. (1953). Improved method of determining resistance to adhesion by sounding through a loose sleeve place behind the cone. *Proc. 3rd 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 Syposium 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.

BLONDEAU, A., CAVELIER, Cl., FEUGUEUR, L., POMEROL, Ch. (1965). 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 grensdraagvermogen van palen geheid in stijve en gescheurde kleilagen. Bepaling van het schaaleffekt,* 324 p. Gent : Rijksuniversiteit - Faculteit Toegepaste Wetenschappen (onuitgegeven doctoraatsproefschrift).

CORDEY, W.G., BERGGREN, W.A. & OLSSON, R.K. (1970). Phylogenetic trends in the planktonic formaminiferal genus Pseudohastigerina Banner en Blow, 1959. *Micropaleontology* 16, 235-242.

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 cassion 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 Oostelijk 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.

DE RUITER, J. (1071). 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.

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.

JACOBS, P. (1975). *Bijdrage tot de litostratigrafie van het Boven-Eoceen en het Onder-Oligoceen in Noordwest-België*, 300 p. Gent : Geologische 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.

JEZEQUEL, J. (1969). Les pénétromètres statiques. Influence du mode d'emploi sur la résistance de pointe. *Bull. Liaison Labo. Routiers Ponts et Chaunées* 36, 151-160.

KAASCHIETER, J.P.H. (1961). Foraminifera of the Eocene of Belgium. *Mém. Inst. Roy. Sci. Nat. Belg.* 147, 271 p.

KEEN, M. (1978). Stratigraphical index of British Ostracoda. *Geol. J. Spec. Issue* 8, 385-450.

KEIJ, A.J. (1957). Eocene and Oligocene ostracoda of Belgium. *Mém. Inst. Roy. Sci. Nat. Belg.* 147, 210 p.

LEBBE, L. (1978). *Hydrogeologie van het duingebied ten westen van de Panne*, 164 p. Gent : Geologisch Instituut - Rijksuniversiteit (onuitgegeven doctoraatsproefschrift).

LE CALVEZ, Y. (1970). Contribution à l'étude des foraminifères paléogènes du Bassin de Paris. *Cah. Paléont. C.N.R.S.*, 326 p.

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.

MATTHES, H.W. (1939). Die lagünen des deutschen Tertiärs. *Palaeontographica* 90(A), 49-108.

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. & VAN HOORNE, R. (1972). An outcrop of Eemian wadden deposits at Meetkerke (Belgian Coastal Plain). *Prof. Pap. Serv. Géol. Belg.* nr.7, 9 p.

PAEPE, R., VAN HOORNE, 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.

SUBBOTINA, N.N. (1957). Fossil foraminifera of the U.S.S.R. Globigerinidae, Hantkeninidae and Globorotalidae 321 p. London & Wellingborough : Collet's (vertaald door Lees, E. (1971).

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.

SUBGROEP LITOSTRATIEGRAFIE EN KAARTEN (1980). A lithostratigraphic scheme for the NW-European Tertiary Basin. *IGCP Program 124 :* The NW-European Tertiary Basin.

TAVERNIER, R. (1946). L'evolution 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. & MARTENS, J. (1976). *Grondmechanische kaart 22.1.6 Gent-Sint-Pieters.* Brussel : Commissie voor Grondmechanische kartering.

VAN RUMMELEN, 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.

WILLEMS, W. (1975). Microfossils problématiques de l'Eocène Moyen et Supérieur du sondage de Kallo (Belgique). *Rev. Micropaléont.* 17, 198-208.

WILLEMS, W. (1980). *De foraminiferen van de Ieper-Formatie (Onder-Eoceen) in het zuidelijk Noordzeebekken (Biostratigrafie, paleoëkologie, systematiek)*. Gent : Geologisch Instituut - Rijksuniversiteit (onuitgegeven doctoraatsproefschrift).

D/1981/1180/1

# ERRATA

al. = alinea
r. = regel

P.4, al. 2, r. 5 : Isabellavaart i.p.v. Isabellawaart

P.5, al. 3, r. 8 : overschrijden i.p.v. overschrijven

P.6, al. 5, r. 2 : Tweede Algemene Waterpassing i.p.v. tweede algemene waterpassing

P.9, al. 6, r. 6 : $(y_1-y_2)$ : 220-223 (15 km$^2$) i.p.v. $(Y_1-Y_2)$ : 220-223 (15 km$^2$)

P.19, al. 3, r. 12 : peilen -62,0 m en -63,8 m i.p.v. -62,0 m -63,8 m

P.20, al. 3, r. 3 : ingehaakt i.p.v. ingehaalt

P.28, al. 5, r. 1 : monster i.p.v. mosnter

P.29, al. 1, r. 2 : werk i.p.v. werd

P.36, al. 6, r. 6 : geïnterkaleerd i.p.v. geïnterkalleerd

P.46, al. 6, r. 2 : tot een maximum i.p.v. tot maximum

P.53, al. 2, r. 3 : Menyanthes i.p.v. Menyathes

P.54, al. 1, r. 6 : Menyanthes i.p.v. Menyathes

P.55, al. 1, r. 7 : voorgesteld i.p.v. voorgestled

P.56, al. 1, r. 5 : F. VAN RUMMELEN, 1977 i.p.v. F. VAN RUMMELEN, 1965

P.56, al. 2, r. 5 : veel i.p.v. veen

P.57, al. 2, r. 7 : DB 15.6, DB 15.9, DB 15.10 i.p.v. DB 6, DE 9, DB 10

P.61, al. 1, r. 3 : British i.p.v. Britisch

P.69, al. 1, r. 6 : eenvormiger i.p.v. eenvomriger

P.70, al. 1, r. 9 : Standardization i.p.v. Standarization

P.70, al. 3, r. 12 : J. DE RUITER, 1971 i.p.v. J. DE RUTTER, 1971

P.80, al. 2, r. 3 : kor.b.+st. i.p.v. kor.st,b

P.84, al. 1, r. 3 : de totale weerstand i.p.v. de totaalweerstand

P.89, al. 4, r. 14 : $\Delta\% f_{s,2,10}$ i.p.v. $\Delta f_{s,2,10}$

P.90, laatste r. : Mondelinge mededeling Dr. ir. i.p.v. Monddelinge mededeling Dr. Ir.

P.93, al. 2, r. 2 : intervallen van DS 30.50 i.p.v. intervallen DS 30.50

P.93, laatste r. : $C_{k,d,10}$ i.p.v. $C_{k,d,20}$

P.94, laatste r. : en de $C_{k,d,20}$, $f_{s,2,20}$ en i.p.v. en de $C_{k,d,10}$, $f_{s,2,10}$ en

P.96, laatste r. : Dr. ir. i.p.v. Dr. Ir.

P.98, al. 1, r. 3 : ophaalmerkteken i.p.v. ophaal-merkteken

P.100, al. 2, r. 8 : aantoont i.p.v. aantoond

P.104, al. 3, r. 3 : losgepakte i.p.v. los gepakte

P.107, al. 4, r. 4 : de totaalkleefkromme i.p.v. de totale kleef-kromme

P.110, al. 2, r. 10 : manifesteert i.p.v. manisfesteerd

P.114, al. 3, r. 5 : is de $C_{k,d}$ i.p.v. in de $C_{k,d}$

P.116, al. 3, r. 6 : getest i.p.v. gestest

P.132, al. 1, r. 3 : hoeveelheid deeltjes i.p.v. hoeveelheid percent deeltjes

P.132, al. 2, r. 4 : $C_{k,d,10} = 30$ i.p.v. $C_{k,d,2,10} = 30$

P.141, r. 16 : specifiek kontrast i.p.v. specifiek konstrast

P.150, al. 4, r. 1 : op waarneming i.p.v. op waarnemingen

P.152, al. 6, r. 1 : getoetst i.p.v. getoets

P.153, al. 1, r. 3 : werd i.p.v. werden

P.162, al. 2, r. 5 : DB 7.130 i.p.v. DS 7.130

P.162, al. 4, r. 2 : zijn i.p.v. is

P.162, al. 6, r. 2 : zijn in de i.p.v. zijn bij de

P.178, al. 1, r. 4 : lager i.p.v. lagen

RIJKSUNIVERSITEIT GENT
FAKULTEIT VAN DE WETENSCHAPPEN

# LITOSTRATIGRAFIE VAN HET KWARTAIR EN VAN HET TERTIAIRE SUBSTRAAT TE ZEEBRUGGE : LITOLOGISCHE EN STRATIGRAFISCHE INTERPRETATIE VAN DIEPSONDERINGEN MET DE KONUS VAN BEGEMANN

Mentor DEPRET

Tabellen, figuren, kaarten en bijlage

Proefschrift voorgelegd tot het verkrijgen van de graad van Doctor in de Wetenschappen
(Aard- en Delfstofkunde)

Promotor : Prof. Dr. W. DE BREUCK

1981

Prof. Dr. G. STOOPS
2014

RIJKSUNIVERSITEIT GENT

FAKULTEIT VAN DE WETENSCHAPPEN

VLIZ (vzw)
VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEE
FLANDERS MARINE INSTITUTE
Oostende - Belgium

# LITOSTRATIGRAFIE VAN HET KWARTAIR EN VAN HET TERTIAIR SUBSTRAAT TE ZEEBRUGGE
# LITOLOGISCHE EN STRATIGRAFISCHE INTERPRETATIE VAN DIEPSONDERINGEN MET DE KONUS VAN BEGEMANN

Mentor DEPRET

Tabellen, Figuren, Kaarten en Bijlage

Proefschrift voorgelegd tot het verkrijgen van de graad van Doctor in de Wetenschappen (Aard- en Delfstofkunde)

Promotor : Prof. Dr. W. DE BREUCK

1981

810228

# TABELLEN

Tabel 1 - Overzicht van de puntwaarnemingen

| Bron | aard | konus type | aantal | Indringingsdiepte >30 m | 30-20 m | <20 m |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Diepsonderingen - handsonderingen | | | | | | |
| Beschikbare proeven | | | | | | |
| Openbare diensten | DS | ODK | 511 | 240 | 159 | 112 |
| | HS | | 37 | | | 37 |
| Privé-maatschappijen | DS | ODK | 122 | 61 | 29 | 32 |
| en partikulieren | DS | KMK | 20 | | 8 | 12 |
| | HS | | 10 | | | 10 |
| Geologisch Instituut (eerder uitgevoerd) | DS | KMK | 15 | | | 15 |
| Aanvullende sonderingen | | | | | | |
| Geologisch Instituut | DS | KMK | 68 | 37 | 28 | 3 |
| Totaal sonderingen | | | 738 | 338 | 224 | 221 |
| Boringen | | | | | | |
| Beschikbare proeven | | | | | | |
| 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 |
| Aanvullende boringen | | | | | | |
| Geologisch Instituut | GB | | 3 | | | 3 |
| | DHB | | 37 | | | 37 |
| Totaal boringen | | | 519 | 76 | 86 | 357 |
| Totaal boringen + sonderingen | | | 1302 | 414 | 310 | 568 |

Tabel 2 - De nummulieten uit de eenheid T9 in DB 14.1 en DB 19.6

| DB 14.1 | A. BLONDEAU | D. NOLF | D. CURRY |
|---|---|---|---|
| Monster 123 | 8 N.variolarius (A) (variëteit gandina)<br>3 N.orbignyi (A) | NB | NB |
| 124 | veel N.orbignyi (Galeotti)<br>1 N.variolarius (afgesleten)<br>2 N.laevigatus, 1 N.planulatus } sterk hergekristalliseerd | NB | NB |
| 127 | 4 N.orbignyi (A)<br>4 N.variolarius<br>4 N.laevigatus (hergekristalliseerd) | NB | NB |
| 129 | NB | N.orbignyi<br>+ vrij wat N.laevigatus<br>(geremanieerd) | NB |
| 131 | NB | NB | zeldzame kleine nummulieten, waarschijnlijk N.laevigatus |
| 133 | NB | geen bruikbare makrofossielen, veel brokjes glauconiethoudende zandsteen | NB |

Besluit : 123, 124 en 127 : Laat-Lutetiaan
(= Bartoniaan, Lid van Wemmel)
(A. BLONDEAU et al., 1965)

129 : Bartoniaan, Lid van Wemmel

131 : mogelijk Brusseliaan

133 : Mogelijk basiszone van het Lid van Wemmel

Tabel 2 (vervolg)

| DB 19.6 | A. BLONDEAU |
|---|---|
| Monster 71 | N.laevigatus (Bruguière)(A), zelden (B)<br>lenticulaire vormen, afgesleten |
| 72 | N.laevigatus (Bruguière)<br>platte vormen, (N.britannicus) Hantken<br>lenticulaire vormen, vooral uit het Brusseliaan |
| 74 | N.laevigatus (Bruguière)(A), zelden (B)<br>platte en lenticulaire vormen<br>zeer gaaf |

Besluit

71, 72 en 74 : Vroeg-Lutetiaan (=Brusseliaan)(A. BLONDEAU et al., 1965)

Nota

(A) = megasferisch

(B) = mikrosferisch

NB = niet behandeld

# TABEL 3

DB19.6

| monster | 74 | 72 | 71 |
|---|---|---|---|
| interpretaties W. WILLEMS (1980) | | | |

| FORAMINIFERA | F.v.Ieper: Lid van Vlaanderen | Lid van Egem | Lid van Merelbeke | F.v.Mt.-Panisel: Lid van Pittem | Lid van Vlierzele | F. v.d. Hoorn: Lid van Aalter | F.v.Brus.: Lid van Brussel | F. v. Lede: Lid van Balegem | Lid van Wemmel | F.v.Kallo: Lid van Asse-Ursel | Lid van Onderdale enz. | Oligoceen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Spiroplectammina deperdita | × | × | × | | | 1 | | | | | | 4 |
| Textularia agglutinans | × | × | × | | | | 1 | | | | | |
| Textularia agglutinans nalinnensis | × | × | × | | | | 1 | | | | | |
| Quinqueloculina ludwigi | × | | | 7 | | | | | 1 | | | |
| Quinqueloculina sp. | × | | | | | | | | | | | |
| Nodosaria ewaldi | × | | × | | | | 1 | | | | | |
| Lenticulina decorata | × | × | | | | | | | 1 | | | |
| Lenticulina sp. | × | × | × | | | | | | | | | |
| Lagena distryx | × | | | 7 | | | | | | | | 1 |
| Lagena isabella | × | | | | | 1 | | | | | | |
| Polymorphina sp. | × | | | | | | | | | | | |
| Globulina gibba | × | × | × | | | 1 | | | | | | |
| Guttulina irregularis | × | × | × | | | 1 | | | | | | |
| Guttulina parisiensis | × | | | | | 1 | | | | | | |
| Guttulina problema | × | × | × | | | 1 | | | | | | |
| Guttulina sp. | × | | | | | | | | | | | |
| Pyrulina gutta | × | | | | | | | 1 | | | | |
| Bolivina anglica | × | × | × | | | 1 | | | | | | |
| Bolivina brabantica | × | × | | 7 | 1 | | | | | | | |
| Bolivina carinata | × | | | | 1 | | | | | | | |
| Bolivina crenulata | × | × | | | | 1 | | | | | | |
| Bulimina parisiensis | × | × | | | | 1 | | | | | | |
| Bulimella sp. | × | | | | | | | | | | | |
| Fifarina belgeyensis | × | | | | | | | | 1 | | | 7 |
| Buccella tiarata | × | × | | 7 | | | | | 1 | | | |
| Trifarina muralis | × | × | × | | | 1 | | | | | | |
| Trifarina ovata | × | | | | | | 1 | | | | | |
| Trifarina wilcoxensis | × | × | | 7 | | | | | 1 | | | |
| Uvigerinella abbreviata | × | × | × | | | | | | | | | |
| Discorbis limbata | × | | | | | | | 1 | | | | |
| Discorbis quadrata | × | | | | | | 1 | | | | | |
| Glabratella sp. | × | | | | | | | | | | | |
| Pipersia kalloensis | × | × | × | 7 | | | | | | | | |
| Asterigerina bartoniana | × | × | | | | | 1 | | | | | |
| Rotalia propinqua | × | | | | | | | | 1 | | | |
| Pararotalia avdovini | × | | | | | | | | 5 | | | |
| Quembelitria triserrata | × | × | × | 7 | | | | | | | | |
| Globanomalina wilcoxensis | × | | × | 7 | 6 | | | | | | | |
| Turborotalia pentacamerata | × | × | | | 3 | | | | | | | |
| Globigerina cf. officinelis | × | | | | | | | | | 3 | | |
| Globigerina sp. | × | | | | | | | | | | | |
| Eponides polygora | × | | × | 7 | | | | 1 | | | | |
| Cibicidina burlingtonensis | × | × | × | | | 1 | | | | | | |
| Cibicidina producta | × | × | × | | | 1 | | | | | | |
| Cibicidina tendami | × | × | × | 7 | 1 | | | | | | | |
| Cibicides carinata | × | | × | | | 1 | | | | | | |
| Cibicides tallahatensis | × | × | | 7 | | | 1 | | | | | |
| Nonion affine | × | | | | | 1 | | | | | | |
| Nonion laevum | × | × | | | | 1 | | | | | | |
| Florilus communis | × | × | × | | | 1 | | | | | | |
| Nonionella cf. wemmelensis | × | | | | | | | 1 | | | | |
| Gyroidinoides octacameratus | × | | | | | 1 | | | | | | |
| Anomalinoides acutus | × | | | | | 1 | | | | | | |
| Anomalinoides anomalinoides | × | | | | | 1 | | | | | | |
| Anomalinoides auris | × | | | | 1 | | | | | | | |
| Anomalinoides grosserugosus | × | | | | | | 1 | | | | | |
| Cibicidoides acutimargus | × | × | | | | | 1 | | | | | |
| Cibicidoides proprius | × | × | × | | | 1 | | | | | | |
| Cibicidoides sp. | × | | | | | | | | | | | |
| Pulsiphonina prima | × | | | 1 | | | | | | | | |
| Spiroloculina canaliculata | | × | | | | | | 1 | | | | |
| Miliolinella oblonga | | × | | | | | | 1 | | | | |
| Pyrulina thouini | | × | | | | | | 1 | | | | |
| Fissurina minuta | | × | | | | | | | | | | 2 |
| Fissurina orbignyana | | × | × | | | | 1 | | | | | |
| Epistominella vitrea | | × | | | | | 1 | | | | | |
| Glabratella cf. herouvalensis | | × | | 5 | | | | | | | | |
| Pararotalia armata | | × | | | | 5 | | | | | | |
| Pararotalia spiniqera | | × | | | | 5 | | | | | | |
| Elphidium subnodosum | | × | × | | | 1 | | | | | | |
| Globamomalina cf. micra | | × | × | | | | | | 6 | | | |
| Eponides toulmini | | × | | | | 1 | | | | | | |
| Cibicides lobatula | | × | | | | 1 | | | | | | |
| Cibicides westi | | × | | | | 1 | | | | | | |
| Alabamina wolterstorffi | | × | | | | | 1 | | | | | |
| Anomalinoides ypresiensis | | × | × | | | 1 | | | | | | |
| Globulina gibba puncata | | | × | | | 1 | | | | | | |
| Guttulira ampulla | | | × | | | | | | 1 | | | |
| Guttulina cf. caudata | | | × | | | | 1 | | | | | |
| Guttulina lactea | | | × | 7 | | | | 1 | | | | |
| Elphidium hiltermanni | | | × | | 7 | 1 | | | | | | |
| Neoeponides schreibersii | | | × | | | | | | 1 | | | |

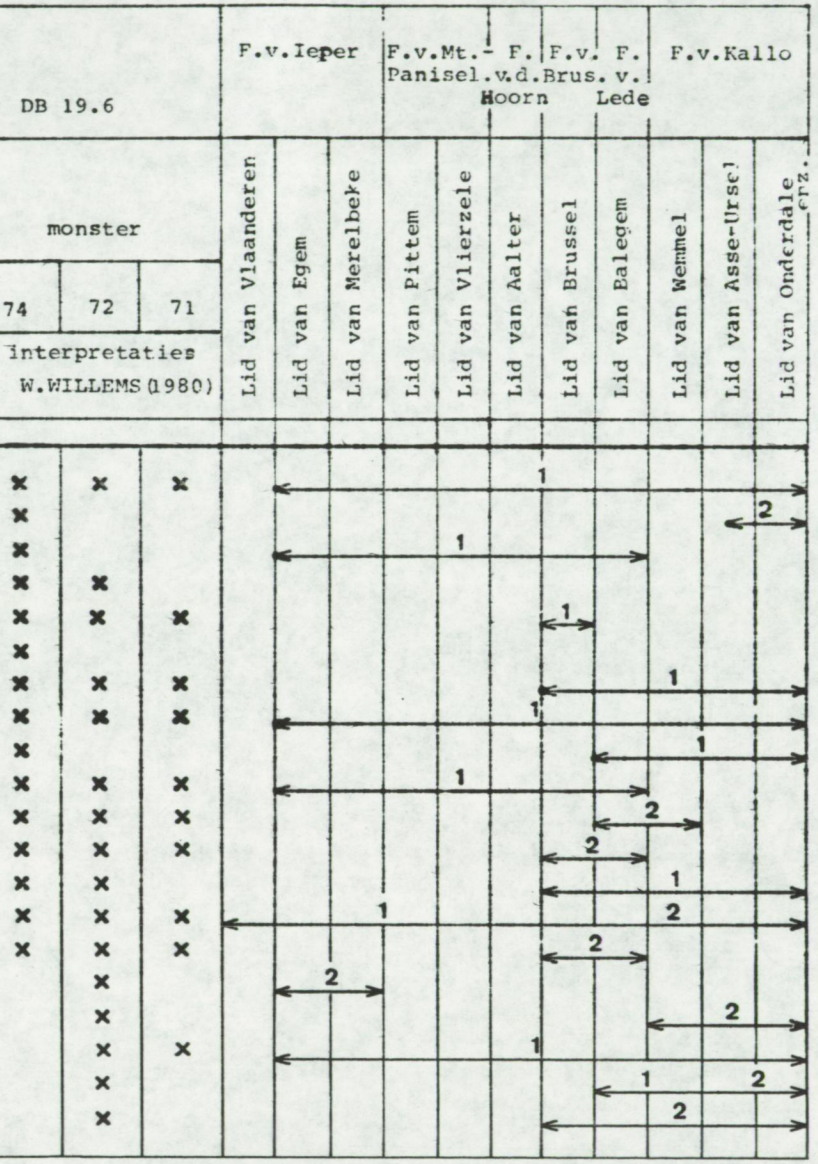
MD 1981

(1) KAASSCHIETER - 1961 (2) MATTHES - 1939 (3) SUBBOTINA - 1957 (4) BATJES - 1958
(5) LE CALVET - 1970 (6) CORDEY et al. - 1970 (7) WILLEMS - 1980

# TABEL 4

DB 19.6

| OSTRACODA | monster 74 | 72 | 71 |
|---|---|---|---|
| | interpretaties W.WILLEMS (1980) | | |
| Bairdoppilata gliberti | x | x | x |
| Candona cliffendensis | x | | |
| Cuneocythera triebeli | x | | |
| Cushmanidea sp. | x | x | |
| Cyamocytheridea diegemensis | x | x | x |
| Cyamocytheridea sp. | x | | |
| Cytheretta bambruggensis | x | x | x |
| Cytheretta decipiens | x | x | x |
| Fopaijenborchella eocaenica | x | | |
| Hermanites paijenborchiana | x | x | x |
| Leguminocythereis oertli | x | x | x |
| Leguminocythereis scrobiculoplicata | x | x | x |
| Paracypris contracta | x | x | |
| Pterygocythereis cornuta | x | x | x |
| Schizocythere appendiculata | x | x | x |
| Cuneocytherere corpuscula | | x | |
| Cytheridea debilis | | x | |
| Fopaijenborchella lomata | | x | x |
| Schizocythere batjesi | | x | |
| Schulderidea perforata perforata | | x | |




M.D. 1981

(1) KEIJ - 1957 (2) KEEN - 1978

Tabel 5 - Pollenanalyse (interpretaties C. Verbruggen, 1980)

| | Betula % | Salix % | Pinus % | AP a | Gramineae % | Cyperaceae % | Artemisia % | Thalictrum % | andere % | NAP a | P | Menyanthes % | Batrachium % | andere % | Selaginella % | Pediastrum % | Remaniatie a |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GB 15.38 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1010 | 10 | 5 | 9 | 25 | 36 | 33 | - | 3 | 4<br>2% Armeria | 75 | 150 | - | 4 | 0,5 | 1 | 80 | 3 Alnus, 1 Picea,<br>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<br>10 % Armeria | 86 | 100 | - | - | 1 | 1 | 31 | 1 Sphagnum |
| GB 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 Carpinus<br>1 Sphagnum |
| 35 | 4 | 1 | 1 | 7 | 21 | 66 | 1,5 | 1 | 4 | 93 | 184 | - | - | 0,5 | - | 2 | - |
| GB 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 Ulmus |
| 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,<br>1 Corylus, 1 Sphagnum |

MD 1981

% : percentage

a : aantal

Tabel 6 - Kenmerken van T1; 1 monster uit 1 boring

| | AANTAL | $\bar{x}$ | OPMERKINGEN |
|---|---|---|---|
| Ip | 0 | - | |
| KA % TM | 1 | 1,75 | TM = totaal monster = 100 % |
| OM % TM | 1 | 0,68 | |
| GRINT % TM >2000 µm | 1 | 0,03 | ZLK = zand + leem + klei $-OM_1$ = 100 % |
| ZAND % ZLK 2000-60 µm | 1 | 77,64 | |
| LEEM % ZLK 60-2 µm | 1 | 16,31 | |
| IIa % ZLK 20-2 µm | 1 | 10,03 | |
| KLEI % ZLK <2 µm | 1 | 6,05 | |
| <20 µm % ZLK | 1 | 16,08 | |
| Mz ϕ | 1 | 3,84 | |
| $\sigma_I$ ϕ | 1 | 1,82 | |
| Glauc. % Z | 1 | 9,40 | % ZLK = 7,3 Z = zand $-OM_1$ = 100 % |

Benaming : Weinig glauconiethoudend, slecht gesorteerd, leemhoudend zeer fijn zand

Tabel 7 - Kenmerken van T2,2+3; 3 monsters uit 3 boringen

| | AANTAL | $\bar{x}$ | s | MAX. | MIN. | OPMERKINGEN |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ip | 1 | 9,70 | - | - | - | |
| KA % TM | 3 | 15,03 | 8,43 | 24,75 | 9,75 | |
| OM % TM | 3 | 0,59 | 0,30 | 0,80 | 0,24 | |
| GRINT % TM >2000 µm | 2 | 4,85 | 5,35 | 8,63 | 1,07 | schelpen |
| ZAND % ZLK 2000-60 µm | 3 | 80,85 | 3,21 | 84,50 | 78,48 | |
| LEEM % ZLK 60-2 µm | 3 | 11,46 | 7,20 | 18,36 | 4,00 | |
| IIa % ZLK 20-2 µm | 3 | 5,00 | 3,58 | 8,96 | 2,00 | |
| KLEI % ZLK <2 µm | 3 | 7,69 | 4,22 | 11,50 | 3,16 | |
| <20 µm % ZLK | 3 | 12,69 | 0,72 | 12,40 | 12,46 | |
| Mz ϕ | 3 | 3,44 | 0,27 | 3,60 | 3,12 | |
| $\sigma_I$ ϕ | 3 | 1,73 | 0,20 | 1,91 | 1,51 | |
| Glauc. % Z | 0 | - | - | - | - | |

Benaming : Sterk kalkhoudend, weinig grinthoudend (schelpen), slecht gesorteerd, kleihoudend zeer fijn zand

Tabel 8 - Kenmerken van T3,1+2; 5 monsters uit 4 boringen

| | AANTAL | $\bar{x}$ | s | MAX. | MIN. | OPMERKINGEN |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ip | 4 | 14,33 | 2,73 | 17,60 | 11,30 | |
| KA % TM | 5 | 17,35 | 9,64 | 20,00 | 6,00 | |
| OM % TM | 5 | 0,91 | 0,11 | 1,10 | 0,80 | |
| GRINT % TM >2000 µm | 1 | 3,74 | - | - | - | schelpen |
| ZAND % ZLK 2000-60 µm | 5 | 77,68 | 4,97 | 82,00 | 70,50 | |
| LEEM % ZLK 60-2 µm | 5 | 10,91 | 4,24 | 17,07 | 6,00 | |
| IIa % ZLK 20-2 µm | 5 | 6,31 | 3,84 | 13,06 | 3,50 | |
| KLEI % ZLK <2 µm | 5 | 10,50 | 5,07 | 16,50 | 2,53 | |
| <20 µm % ZLK | 5 | 17,72 | 3,48 | 21,50 | 14,50 | |
| Mz ϕ | 5 | 4,21 | 0,78 | 5,09 | 3,64 | |
| $\sigma_I$ ϕ | 5 | 2,28 | 0,67 | 3,04 | 1,59 | |
| Glauc. % Z | 0 | - | - | - | - | |

Benaming : Sterk kalkhoudend, zeer slecht gesorteerd, kleihoudend zeer fijn zand

Tabel 9 - Kenmerken van T4,1; 7 monsters uit 6 boringen

| | AANTAL | $\bar{x}$ | s | MAX. | MIN. | OPMERKINGEN |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ip | 5 | 4,12 | 3,60 | 10,30 | 1,70 | |
| KA % TM | 7 | 16,09 | 15,06 | 42,10 | 0,90 | schelpen |
| OM % TM | 7 | 0,55 | 0,20 | 0,84 | 0,30 | |
| GRINT % TM (schelpen) >2000 µm | 4 | 7,57 | 12,25 | 25,66 | 0,00 | schelpen |
| ZAND % ZLK 2000-60 µm | 7 | 84,66 | 5,82 | 93,00 | 74,80 | |
| LEEM % ZLK 60-2 µm | 6 | 11,21 | 4,01 | 17,00 | 5,00 | |
| IIa % ZLK 20-2 µm | 6 | 3,47 | 2,65 | 8,33 | 1,00 | |
| KLEI % ZLK <2 µm | 6 | 5,52 | 4,89 | 13,70 | 1,50 | |
| <20 µm % ZLK | 6 | 8,98 | 5,70 | 18,16 | 2,50 | |
| Mz ϕ | 7 | 3,33 | 0,66 | 3,98 | 1,98 | |
| $\sigma_I$ ϕ | 7 | 1,62 | 1,19 | 2,72 | 0,36 | |
| Glauc. % Z | 1 | 3,70 | - | - | - | % ZLK = 3,13 |

Benaming : Sterk kalkhoudend, weinig grinthoudend (schelpen), slecht gesorteerd, weinig kleihoudend zeer fijn zand

Tabel 10 - Kenmerken van T5; 7 monsters uit 6 boringen

| | AANTAL | $\bar{x}$ | s | MAX. | MIN. | OPMERKINGEN |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ip | 5 | 17,66 | 5,01 | 23,60 | 9,70 | |
| KA % TM | 7 | 1,75 | 1,08 | 3,80 | 0,63 | |
| OM % TM | 7 | 0,92 | 0,20 | 1,20 | 0,64 | |
| GRINT % TM >2000 µm | 7 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| ZAND % ZLK 2000-60 µm | 7 | 59,41 | 8,92 | 75,00 | 51,00 | |
| LEEM % ZLK 60-2 µm | 7 | 26,00 | 9,46 | 36,40 | 11,00 | |
| IIa % ZLK 20-2 µm | 7 | 7,08 | 2,23 | 9,88 | 3,50 | |
| KLEI % ZLK <2 µm | 7 | 14,73 | 2,18 | 18,50 | 11,75 | |
| <20 µm % ZLK | 7 | 21,82 | 2,65 | 24,50 | 17,50 | |
| Mz $\phi$ | 7 | 5,03 | 0,43 | 4,51 | 1,87 | |
| $\sigma_I$ $\phi$ | 7 | 2,51 | 0,44 | 5,59 | 3,03 | |
| Glauc. % Z | 0 | - | - | - | - | |

Benaming : Zeer fijn zandhoudende klei, zeer slecht gesorteerd

Tabel 11 - Kenmerken van T6,1; 11 monsters uit 7 boringen

| | AANTAL | $\bar{x}$ | s | MAX. | MIN. | OPMERKINGEN |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ip | 9 | 5,70 | 3,97 | 12,30 | 0,10 | |
| KA % TM | 11 | 8,22 | 6,59 | 26,60 | 0,90 | |
| OM % TM | 11 | 0,66 | 0,22 | 1,00 | 0,20 | |
| GRINT % TM >2000 µm | 11 | 0,19 | 0,32 | 1,02 | 0,04 | |
| ZAND % ZLK 2000-60 µm | 11 | 85,15 | 4,07 | 90,00 | 78,14 | |
| LEEM % ZLK 60-2 µm | 10 | 6,67 | 3,84 | 16,23 | 3,50 | |
| IIa % ZLK 20-2 µm | 10 | 3,89 | 2,47 | 10,44 | 2,00 | |
| KLEI % ZLK < 2 µm | 10 | 8,66 | 2,09 | 13,50 | 5,63 | |
| <20 µm % ZLK | 10 | 12,56 | 2,84 | 18,50 | 9,50 | |
| Mz ϕ | 11 | 3,39 | 0,52 | 4,67 | 2,87 | |
| $\sigma_I$ ϕ | 11 | 1,74 | 0,41 | 2,77 | 1,05 | |
| Glauc. % Z | 1 | 4,30 | - | - | - | % ZLK = 3,66 |

Benaming : Weinig kalkhoudend, slecht gesorteerd, kleihoudend zeer fijn zand

Tabel 12 - Kenmerken van T6,3 (zone waarin steenbank ligt);
1 monster uit 1 boring

| | AANTAL | $\bar{x}$ |
|---|---|---|
| Ip | 1 | 12,70 |
| KA % TM | 1 | 32,60 |
| OM % TM | 1 | 0,60 |
| GRINT % TM >2000 µm | 1 | - |
| ZAND % ZLK 2000-60 µm | 1 | 76,00 |
| LEEM % ZLK 60-2 µm | 1 | 12,50 |
| IIa % ZLK 20-2 µm | 1 | 7,00 |
| KLEI % ZLK <2 µm | 1 | 11,50 |
| <20 µm % ZLK | 1 | 18,50 |
| Mz ϕ | 1 | 4,74 |
| $\sigma_I$ ϕ | 1 | 2,88 |
| Glauc. % Z | 0 | - |

Benaming : Zeer sterk kalkhoudend, zeer slecht gesorteerd, kleihoudend zeer fijn zand

Tabel 13 - Kenmerken van T7,1; 13 monsters uit 8 boringen

| | AANTAL | $\bar{x}$ | s | MAX. | MIN. |
|---|---|---|---|---|---|
| Ip | 11 | 6,15 | 2,74 | 9,80 | 0,90 |
| KA % TM | 13 | 13,83 | 9,58 | 33,50 | 2,24 |
| OM % TM | 13 | 0,70 | 0,27 | 1,10 | 0,30 |
| GRINT % TM >2000 µm | 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| ZAND % ZLK 2000-60 µm | 13 | 83,71 | 5,93 | 93,00 | 72,44 |
| LEEM % ZLK 60-2 µm | 12 | 9,08 | 2,95 | 13,37 | 5,00 |
| IIa % ZLK 20-2 µm | 12 | 4,56 | 1,64 | 9,00 | 2,50 |
| KLEI % ZLK <2 µm | 12 | 8,23 | 2,27 | 12,50 | 5,00 |
| <20 µm % ZLK | 12 | 12,79 | 3,39 | 21,50 | 9,00 |
| Mz $\phi$ | 13 | 3,40 | 0,37 | 4,49 | 2,80 |
| $\sigma_I$ $\phi$ | 13 | 1,68 | 0,41 | 2,63 | 0,97 |
| Glauc. % Z | 0 | - | - | - | - |

Benaming : Sterk kalkhoudend, slecht gesorteerd, kleihoudend zeer fijn zand

Tabel 14 - Kenmerken van T7,2 (zone waarin steenbank ligt); 5 monsters uit 4 boringen

| | AANTAL | $\bar{x}$ | s | MAX. | MIN. |
|---|---|---|---|---|---|
| Ip | 5 | 7,46 | 1,21 | 8,80 | 5,70 |
| KA % TM | 5 | 33,14 | 2,75 | 34,70 | 26,00 |
| OM % TM | 5 | 0,72 | 0,23 | 1,10 | 0,50 |
| GRINT % TM >2000 µm | - | - | - | - | - |
| ZAND % ZLK 2000-60 µm | 5 | 78,20 | 4,45 | 83,00 | 71,50 |
| LEEM % ZLK 60-2 µm | 5 | 12,60 | 4,02 | 18,50 | 9,00 |
| IIa % ZLK 20-2 µm | 5 | 4,70 | 0,76 | 5,50 | 3,50 |
| KLEI % ZLK <2 µm | 5 | 9,20 | 0,84 | 10,00 | 8,00 |
| <20 µm % ZLK | 5 | 13,90 | 1,47 | 15,50 | 11,50 |
| Mz $\phi$ | 5 | 3,61 | 0,20 | 3,92 | 3,36 |
| $\sigma_I$ $\phi$ | 5 | 1,79 | 0,11 | 1,99 | 1,63 |
| Glauc. % Z | 0 | - | - | - | - |

Benaming : Zeer sterk kalkhoudend, slecht gesorteerd, kleihoudend zeer fijn zand

Tabel 15 - Kenmerken van T8,1; 12 monsters uit 8 boringen

| | AANTAL | $\bar{x}$ | s | MAX. | MIN. |
|---|---|---|---|---|---|
| Ip | 9 | 3,50 | 2,63 | 8,90 | 0,80 |
| KA % TM | 12 | 12,75 | 7,64 | 27,64 | 4,80 |
| OM % TM | 12 | 0,82 | 0,35 | 1,50 | 0,10 |
| GRINT % TM >2000 µm | 12 | 0,05 | 0,14 | 0,48 | 0,01 |
| ZAND % ZLK 2000-60 µm | 12 | 84,86 | 5,90 | 93,00 | 71,85 |
| LEEM % ZLK 60-2 µm | 11 | 9,00 | 4,96 | 20,95 | 4,00 |
| IIa % ZLK 20-2 µm | 11 | 3,81 | 2,60 | 10,92 | 1,50 |
| KLEI % ZLK <2 µm | 11 | 6,88 | 1,57 | 9,00 | 4,50 |
| <20 µm % ZLK | 11 | 10,70 | 3,44 | 18,12 | 6,50 |
| Mz ϕ | 12 | 3,33 | 0,33 | 4,04 | 3,04 |
| $\sigma_I$ ϕ | 12 | 1,51 | 0,37 | 2,04 | 0,78 |
| Glauc. % Z | 0 | - | - | - | - |

Benaming : Sterk kalkhoudend, slecht gesorteerd, weinig kleihoudend zeer fijn zand

Tabel 16 - Kenmerken van T9; 7 monsters uit 5 boringen

| | AANTAL | $\bar{x}$ | s | MAX. | MIN. | OPMERKINGEN |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ip | 3 | 11,67 | 4,58 | 16,80 | 8,00 | |
| KA % TM | 6 | 11,47 | 3,91 | 17,80 | 6,00 | |
| OM % TM | 6 | 0,61 | 0,24 | 1,00 | 0,40 | |
| GRINT % TM >2000 µm | 3 | 0,11 | 0,11 | 0,21 | 0,00 | |
| ZAND % ZLK 2000-60 µm | 7 | 74,15 | 10,68 | 97,00 | 66,00 | |
| LEEM % ZLK 60-2 µm | 6 | 18,91 | 2,88 | 23,33 | 3,00 | |
| IIa % ZLK 20-2 µm | 6 | 8,55 | 2,16 | 11,54 | 5,50 | |
| KLEI % ZLK <2 µm | 6 | 10,75 | 3,04 | 13,50 | 5,89 | |
| <20 µm % ZLK | 6 | 19,30 | 3,36 | 22,50 | 12,99 | |
| Mz $\phi$ | 7 | 3,81 | 0,63 | 4,39 | 2,80 | |
| $\sigma_I$ $\phi$ | 7 | 2,02 | 0,73 | 2,72 | 0,56 | |
| Glauc. % Z | 2 | 2,15 | 0,35 | 2,40 | 1,90 | % ZLK = 1,59 |

Benaming : Sterk kalkhoudend, zeer slecht gesorteerd, kleihoudend zeer fijn zand

Tabel 17 - Kenmerken van T10; 13 monsters uit 8 boringen

| | AANTAL | $\bar{x}$ | s | MAX. | MIN. | OPMERKINGEN |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ip | 11 | 35,12 | 11,91 | 52,70 | 19,80 | |
| KA % TM | 13 | 6,41 | 6,46 | 23,30 | 0,00 | |
| OM % TM | 13 | 1,01 | 0,64 | 2,60 | 0,10 | |
| GRINT % TM >2000 µm | 13 | 0,00 | 0,00 | 0,36 | 0,00 | |
| ZAND % ZLK 2000-60 µm | 13 | 42,61 | 10,58 | 60,00 | 26,50 | |
| LEEM % ZLK 60-2 µm | 13 | 29,27 | 7,65 | 43,15 | 18,00 | |
| IIa % ZLK 20-2 µm | 13 | 14,18 | 5,48 | 27,00 | 7,00 | |
| KLEI % ZLK <2 µm | 13 | 28,14 | 9,04 | 41,00 | 10,65 | |
| <20 µm % ZLK | 13 | 42,33 | 12,19 | 59,50 | 21,87 | |
| Mz ϕ | 13 | 6,04 | 0,91 | 7,09 | 4,00 | |
| $\sigma_I$ ϕ | 13 | 3,77 | 0,44 | 4,14 | 2,60 | |
| Glauc. % Z | 2 | 53,50 | 17,68 | 66,00 | 41,00 | % ZLK = 22,8 |

Benaming : Glauconiethoudende, weinig kalkhoudende, weinig humushoudende klei, zeer slecht gesorteerd

Tabel 18 - Kenmerken van T11; 1 monster uit 1 boring

| | AANTAL | $\bar{x}$ | OPMERKINGEN |
|---|---|---|---|
| Ip | 0 | - | |
| KA % TM | 1 | 3,50 | |
| OM % TM | 1 | 2,08 | |
| GRINT % TM >2000 µm | 1 | 0,00 | |
| ZAND % ZLK 2000-60 µm | 1 | 0,00 | |
| LEEM % ZLK 60-2 µm | 1 | 31,11 | |
| IIa % ZLK 20-2 µm | 1 | 19,58 | |
| KLEI % ZLK <2 µm | 1 | 67,34 | |
| <20 µm % ZLK | 1 | 86,92 | ± 13 % (variatiekoëfficient naar P. JACOBS, 1975) |
| Mz ϕ | 1 | 9,86 | |
| $\sigma_I$ ϕ | 1 | 3,01 | |

Benaming,: Weinig humushoudende klei, zeer slecht gesorteerd

Tabel 19 - Kenmerken van K1; 17 monsters uit 11 boringen

| | | AANTAL | $\bar{x}$ | s | MAX. | MIN. | OPMERKINGEN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ip | | 0 | - | - | - | - | |
| KA | % TM | 15 | 21,56 | 15,04 | 52,20 | 3,05 | |
| OM | % TM | 17 | 0,45 | 0,29 | 1,27 | 0,08 | |
| GRINT >2000 µm | % TM | 12 | 16,49 | 18,21 | 63,30 | 1,86 | |
| silex ea. | % TM | 15 | 8,63 | 16,88 | 63,30 | 0,00 | |
| schelpen | % TM | 9 | 7,81 | 7,85 | 23,51 | 1,30 | |
| ZAND 2000-60 µm | % ZLK | 17 | 95,88 | 2,89 | 99,00 | 87,50 | |
| LEEM 60-2 µm | % ZLK | 8 | 2,83 | 1,45 | 4,77 | 0,39 | zand: $\bar{x}$ = 95,67 s = 1,86 |
| IIa 20-2 µm | % ZLK | 8 | 1,00 | 0,70 | 2,50 | 0,26 | idem |
| KLEI <2 µm | % ZLK | 8 | 1,51 | 0,60 | 8,00 | 0,67 | idem |
| <20 µm | % ZLK | 8 | 2,51 | 1,08 | 10,50 | 0,93 | idem |
| Mz | ϕ | 17 | 2,14 | 0,40 | 2,68 | 1,41 | |
| $\sigma_I$ | ϕ | 17 | 0,85 | 0,30 | 1,64 | 0,37 | |

Benaming : Sterk kalkhoudend, grinthoudend, middelmatig gesorteerd, middelmatig zand

Tabel 20 - Kenmerken van K2,1; 82 monsters uit 30 boringen

| | AANTAL | $\bar{x}$ | s | MAX. | MIN. | OPMERKINGEN |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ip | 0 | - | - | - | - | |
| KA % TM | 82 | 6,74 | 2,33 | 33,30 | 3,10 | |
| OM % TM | 82 | 0,39 | 0,28 | 0,90 | 0,00 | |
| GRINT % TM >2000 µm | 82 | 0,19 | 0,53 | 3,28 | 0,00 | |
| ZAND % ZLK 2000-60 µm | 82 | 96,40 | 1,85 | 99,10 | 94,08 | |
| LEEM % ZLK 60-2 µm | 24 | 2,78 | 1,70 | 9,50 | 0,21 | zand : $\bar{x}$ = 96,02 s = 1,85 |
| IIA % ZLK 20-2 µm | 24 | 0,85 | 0,61 | 2,36 | 0,20 | idem |
| KLEI % ZLK <2 µm | 24 | 1,20 | 0,64 | 2,09 | 0,09 | idem |
| <20 µm % ZLK | 24 | 2,05 | 0,95 | 3,83 | 0,78 | idem |
| Mz ϕ | 82 | 2,56 | 0,17 | 2,82 | 2,10 | |
| $\sigma_I$ ϕ | 82 | 0,51 | 0,20 | 1,46 | 0,30 | |

Benaming : Weinig kalkhoudend, middelmatig goed gesorteerd, fijn zand

Tabel 21 - Kenmerken van K3,1+3; 53 monsters uit 25 boringen

| | | AANTAL | $\bar{x}$ | s | MAX. | MIN. | OPMERKINGEN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ip | | - | - | - | - | - | |
| KA | % TM | 49 | 12,95 | 7,73 | 38,50 | 3,20 | |
| OM | % TM | 53 | 0,39 | 0,29 | 1,49 | 0,00 | |
| GRINT >2000 µm | % TM | 25 | 6,64 | 7,85 | 37,23 | 0,96 | |
| silex ea. | % TM | 18 | 0,78 | 1,92 | 8,39 | 0,01 | grinttot.: $\bar{x}$ = 7,02 s = 8,40 |
| schelpen | % TM | 18 | 6,25 | 6,91 | 28,84 | 0,76 | idem |
| ZAND 2000-60 µm | % ZLK | 53 | 96,48 | 2,13 | 99,50 | 90,16 | |
| LEEM 60-2 µm | % ZLK | 18 | 2,49 | 2,12 | 7,50 | 0,30 | zand : $\bar{x}$ = 96,55 s = 2,48 |
| IIa 20-2 µm | % ZLK | 18 | 0,85 | 0,99 | 3,59 | 0,07 | idem |
| KLEI <2 µm | % ZLK | 18 | 0,96 | 0,43 | 1,69 | 0,28 | idem |
| <20 µm | % ZLK | 18 | 1,80 | 1,35 | 5,28 | 0,57 | idem |
| Mz | $\phi$ | 53 | 2,22 | 0,18 | 2,65 | 1,86 | |
| $\sigma_I$ | $\phi$ | 53 | 0,66 | 0,23 | 1,36 | 0,33 | |

Benaming : Sterk kalkhoudend, grinthoudend (schelpen), middelmatig goed gesorteerd, middelmatig zand

Tabel 22 -Kenmerken van K4,1; 55 monsters uit 25 boringen

| | AANTAL | $\bar{x}$ | s | MAX. | MIN. | OPMERKINGEN |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ip | 0 | - | - | - | - | |
| KA % TM | 55 | 6,56 | 3,94 | 17,90 | 0,02 | |
| OM % TM | 55 | 0,60 | 0,86 | 4,86 | 0,02 | |
| GRINT % TM >2000 µm | 55 | 0,27 | 0,45 | 1,42 | 0,00 | |
| ZAND % ZLK 2000-60 µm | 55 | 93,18 | 3,53 | 98,40 | 83,50 | |
| LEEM % ZLK 60-2 µm | 18 | 6,60 | 2,98 | 12,50 | 1,35 | zand : $\bar{x}$ = 91,34 s = 4,06 |
| IIa % ZLK 20-2 µm | 18 | 2,50 | 1,49 | 4,85 | 0,26 | idem |
| KLEI % ZLK <2 µm | 18 | 2,23 | 1,82 | 7,00 | 0,69 | idem |
| <20 µm % ZLK | 18 | 4,73 | 2,62 | 11,00 | 0,95 | idem |
| Mz ϕ | 55 | 2,60 | 0,14 | 2,93 | 2,29 | |
| $\sigma_I$ ϕ | 55 | 0,74 | 0,44 | 2,06 | 0,25 | |

Benaming : Weinig kalkhoudend, middelmatig gesorteerd, fijn zand

Tabel 23 - Kenmerken van K5,1; 61 monsters uit 26 boringen

| | AANTAL | $\bar{x}$ | s | MAX. | MIN. | OPMERKINGEN |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ip | 30 | 7,22 | 6,36 | 34,70 | 0,70 | zand : $\bar{x}$ = 44,66<br>s = 23,50 |
| KA % TM | 61 | 12,39 | 5,91 | 36,80 | 1,30 | |
| OM % TM | 61 | 2,41 | 2,62 | 15,68 | 0,00 | |
| GRINT % TM >2000 µm | 61 | 0,02 | 0,10 | 0,73 | 0,00 | |
| ZAND % ZLK 2000-60 µm | 61 | 43,88 | 24,32 | 85,34 | 9,10 | |
| LEEM % ZLK 60-2 µm | 54 | 52,26 | 22,06 | 83,25 | 12,34 | zand : $\bar{x}$ = 40,61<br>s = 22,73 |
| IIa % ZLK 20-2 µm | 54 | 14,01 | 6,80 | 37,00 | 3,50 | idem |
| KLEI % ZLK <2 µm | 54 | 7,11 | 4,24 | 28,00 | 0,00 | idem |
| <20 µm % ZLK | 54 | 21,12 | 8,91 | 50,00 | 8,50 | idem |
| Mz ϕ | 61 | 4,56 | 0,89 | 6,54 | 2,99 | |
| $\sigma_I$ ϕ | 61 | 2,09 | 0,69 | 4,16 | 1,26 | |

Benaming : Sterk kalkhoudende, weinig humushoudend, zeer slecht gesorteerde, leem

Tabel 24 · Kenmerken van K5,2; 83 monsters uit 38 boringen

| | | AANTAL | $\bar{x}$ | s | VAR.-KOEFF. | MAX. | MIN. | OPMERKINGEN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ip | | 27 | 2,22 | 2,77 | | 12,90 | 0,30 | zand : $\bar{x}$ = 84,76 ; s = 4,66 |
| KA | % TM | 83 | 3,76 | 3,40 | | 13,10 | 0,15 | |
| OM | % TM | 83 | 0,94 | 1,09 | | 4,60 | 0,00 | |
| GRINT >2000 | % TM | 83 | 0,04 | 0,11 | | 0,71 | 0,00 | |
| ZAND 2000-60 | % ZLK | 83 | 89,09 | 5,44 | | 97,46 | 69,00 | |
| LEEM 60-2 | % ZLK | 15 | 5,33 | 2,35 | | | | zand : $\bar{x}$ = 93,07; s = 2,43(1) |
| | | 36 | 12,66 | 4,33 | | | | zand : $\bar{x}$ = 84,33; s = 4,78(2) |
| | | 36+15* | 8,67 | | 3,38 | 23,00 | 1,45 | zand : $\bar{x}$ = 89,09; s = 5,44(3) |
| IIa 20-2 | % ZLK | 15 | 1,21 | 0,69 | | | | idem 1 |
| | | 36 | 3,12 | 1,89 | | | | idem 2 |
| | | 36+15* | 2,08 | | 1,20 | 8,44 | 0,37 | idem 3 |
| KLEI <2 | % ZLK | 15 | 1,59 | 0,95 | | | | idem 1 |
| | | 36 | 2,90 | 2,03 | | | | idem 2 |
| | | 36+15* | 2,19 | | 1,42 | 8,00 | 0,00 | idem 3 |
| <20 µm | % ZLK | 15 | 2,73 | 1,08 | | | | idem 1 |
| | | 36 | 6,08 | 3,10 | | | | idem 2 |
| | | 36+15* | 4,26 | | 1,91 | 16,00 | 1,51 | idem 3 |
| Mz | ϕ | 83 | 3,01 | 0,23 | | 3,92 | 2,59 | |
| $\sigma_I$ | ϕ | 83 | 0,93 | 0,35 | | 1,99 | 0,36 | |

(*) $\bar{x}$ bepaald door lineaire interpolatie
s vervangen door de gemiddelde variatiekoëfficiënt

Benaming : Middelmatig gesorteerd, weinig kleihoudend, zeer fijn zand

Tabel 25 - Kenmerken van K7; 13 monsters uit 12 boringen

| | | AANTAL | $\bar{x}$ | s | MAX. | MIN. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| KA | % TM | 8 | 3,75 | 2,99 | 8,10 | 0,50 |
| OM | % TM | 13 | 86,50 | 11,74 | 97,50 | 54,10 |

Benaming : Veen

Tabel 26 - Kenmerken van K8,1; 47 monsters uit 11 boringen

| | AANTAL | $\bar{x}$ | s | MAX. | MIN. | OPMERKINGEN |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ip | - | - | - | - | - | |
| KA % TM | 47 | 6,67 | 3,01 | 12,20 | 1,95 | |
| OM % TM | 47 | 2,11 | 2,24 | 8,32 | 0,00 | |
| GRINT % TM >2000 µm | 47 | 0,81 | 2,13 | 4,94 | 0,00 | schelpen |
| ZAND % ZLK 2000-60 µm | 47 | 94,95 | 4,80 | 99,30 | 88,00 | |
| LEEM % ZLK 60-2 µm | 32 | 3,91 | 4,30 | 9,50 | 0,37 | zand : $\bar{x}$ = 94,70 s = 5,64 |
| IIa % ZLK 20-2 µm | 32 | 0,84 | 0,72 | 3,00 | 0,03 | idem |
| KLEI % ZLK <2 µm | 32 | 1,39 | 1,67 | 4,50 | 0,00 | idem |
| <20 µm % ZLK | 32 | 2,23 | 2,50 | 6,10 | 0,14 | idem |
| Mz ϕ | 47 | 2,85 | 0,27 | 3,26 | 2,45 | |
| $\sigma_I$ ϕ | 47 | 0,54 | 0,30 | 0,93 | 0,29 | |

Benaming : Weinig kalkhoudend, weinig humushoudend, middelmatig gesorteerd, fijn zand

Tabel 27 - Overzicht van de proeven van het vergelijkend onderzoek van de meetstap

| Vergelijkbare diepsonderingen | | kontrole boringen | figuur |
|---|---|---|---|
| DS 10 | DS 20 | | |
| 30.17 | 30.18 | 15.6 DB, 15.33 DHB | 14 |
| 30.23 | 30.24 | 15.38 GB,15.34 15.35 DHB | 15 |
| 30.25 | 30.34 | 15.36 DHB | 16 a,b |
| 30.26 | 30.27 | 15.10 DB, 15.37 DHB | 17 a,b |
| 30.30 | 30.31 | 15.11 DB | 18 a,b |
| 30.33 | 30.32 | 15.20 DB | 19 |
| 30.50 | 30.66 | 15.55 DHB | 20 a,b |
| 30.68 | 30.69 | | 21 a,b |
| 30.71 | 30.72 | | 22 a,b |
| 30.81 | 30.82 | | 23 a,b |

Tabel 28 - Invloed van de 10 cm-meetstap over het geheel

| DS 10 | DS 20 | $C_{k,d,10}$ $\bar{x}_1$ MN/m² | $s_1$ | $C_{k,d,20}$ $\bar{x}_2$ MN/m² | $s_2$ | $f_{s,2,10}$ $\bar{x}_3$ MN/m² | $s_3$ | $f_{s,2,20}$ $\bar{x}_4$ MN/m² | $s_4$ | $w_{10}$ $\bar{x}_5$ | $s_5$ | $w_{20}$ $\bar{x}_6$ | $s_6$ | aantal $DS_{10}$ $n_1$ | $DS_{20}$ $n_2$ | Δ% t.o.v. $DS_{20}$ $C_{k,d,10}$ % | $f_{s,2,10}$ % | $w_{10}$ % | t-test 1 $\bar{x}_1-\bar{x}_2$ | $\bar{x}_3-\bar{x}_4$ | $\bar{x}_5-\bar{x}_6$ | $V_1$ | Signifikantie $\bar{x}_1-\bar{x}_2$ | $\bar{x}_3-\bar{x}_4$ | $\bar{x}_5-\bar{x}_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 18 | 16,52 | 11,22 | 15,75 | 11,48 | 0,220 | 0,119 | 0,233 | 0,143 | 1,73 | 0,96 | 1,73 | 0,77 | 277 | 139 | +5 | -6 | +0 | 0,66 | -0,23 | 0,00 | 414 | | | |
| 23 | 24 | 14,30 | 9,41 | 14,40 | 10,64 | 0,143 | 0,087 | 0,159 | 0,097 | 1,35 | 0,86 | 1,46 | 0,83 | 224 | 118 | -1 | -10 | -8 | -0,09 | -1,55 | -1,14 | 340 | | | |
| 25 | 34 | 10,96 | 7,87 | 13,22 | 9,32 | 0,199 | 0,143 | 0,171 | 0,093 | 2,08 | 1,04 | 1,94 | 1,28 | 235 | 116 | -17 | +16 | +7 | -2,38 | +1,92 | 1,10 | 349 | ? | | |
| 26 | 27 | 12,21 | 7,67 | 11,71 | 7,92 | 0,190 | 0,102 | 0,182 | 0,091 | 1,94 | 1,23 | 1,96 | 1,08 | 255 | 132 | +4 | +4 | -1 | 0,60 | +0,76 | -0,16 | 385 | | | |
| 30 | 31 | 10,88 | 5,85 | 11,73 | 5,46 | 0,154 | 0,069 | 0,162 | 0,063 | 1,65 | 0,71 | 1,53 | 0,57 | 290 | 149 | -7 | -5 | +8 | -1,47 | -1,18 | 1,79 | 437 | | | |
| 33 | 32 | 11,72 | 5,21 | 11,45 | 5,42 | 0,141 | 0,053 | 0,152 | 0,064 | 1,46 | 1,09 | 1,69 | 1,17 | 263 | 134 | +2 | -7 | -14 | 0,48 | -1,82 | -1,94 | 395 | | | |
| 50 | 66 | 13,13 | 7,41 | 13,16 | 7,37 | 0,236 | 0,108 | 0,208 | 0,087 | 2,48 | 1,57 | 2,16 | 1,78 | 377 | 178 | 0 | 13 | +15 | -0,04 | 3,03 | 2,15 | 563 | | S | ? |
| 68 | 69 | 7,27 | 4,23 | 7,28 | 4,57 | 0,154 | 0,079 | 0,156 | 0,077 | 2,41 | 1,27 | 2,47 | 1,09 | 333 | 162 | 0 | -1 | -2 | -0,02 | -0,27 | -0,52 | 493 | | | |
| 71 | 72 | 6,82 | 7,06 | 7,00 | 6,78 | 0,154 | 0,110 | 0,155 | 0,100 | 2,61 | 1,29 | 2,64 | 1,32 | 309 | 155 | -3 | -1 | -1 | -0,26 | -0,10 | -0,23 | 462 | | | |
| 81 | 82 | 7,46 | 4,09 | 6,96 | 4,06 | 0,160 | 0,099 | 0,149 | 0,096 | 2,38 | 1,47 | 2,32 | 1,37 | 292 | 151 | +7 | +7 | +3 | 1,22 | 1,12 | 0,42 | 441 | | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| test 2 (zonder 25-34) | $\bar{x}$ | 0,78 | -0,67 | 0,00 |
| | s | 4,29 | 7,43 | 8,40 |
| test $\bar{x}=0$ | $V_2=8$ | 0,54 | -0,27 | 0,00 |
| | sign. | | | |
| test 2 (zonder 25-34) | $\bar{x}$ | 0,88 | -2,38 | -1,88 |
| ( " 50-66) | s | 4,58 | 5,76 | 6,66 |
| test $\bar{x}=0$ | $V_2=7$ | 0,54 | -1,17 | -0,80 |
| | sign. | | | |

Tabel 29 - Invloed van de 10 cm-meetstap in grint, (weinig) grinthoudend (schelphoudend) zand, grof en middelmatig zand

| DS 10 | DS 20 | 1 | $C_{k,d,10}$ $\bar{x}_1$ MN/m² | $s_1$ MN/m² | $C_{k,d,20}$ $\bar{x}_2$ MN/m² | $s_2$ MN/m² | $f_{s,2,10}$ $\bar{x}_3$ MN/m² | $s_3$ MN/m² | $f_{s,2,20}$ $\bar{x}_4$ MN/m² | $s_4$ MN/m² | $w_{10}$ $\bar{x}_5$ | $s_5$ | $w_{20}$ $\bar{x}_6$ | $s_6$ | aantal $DS_{10}$ $n_1$ | $DS_{20}$ $n_2$ | Δ% t.o.v. $DS_{20}$ $C_{k,d,10}$ % | $f_{s,2,10}$ % | $w_{10}$ % | t-test 1 $\bar{x}_1-\bar{x}_2$ | $\bar{x}_3-\bar{x}_4$ | $\bar{x}_5-\bar{x}_6$ | $v_1$ | Signifikantie $\bar{x}_1-\bar{x}_2$ | $\bar{x}_3-\bar{x}_4$ | $\bar{x}_5-\bar{x}_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 18 | $4_1$ | 32,21 | 4,80 | 29,99 | 6,61 | 0,319 | 0,072 | 0,322 | 0,083 | 1,02 | 0,32 | 1,12 | 0,34 | 35 | 20 | +7 | -1 | -9 | 1,44 | -0,14 | -1,09 | 53 | | | |
| | | $4_2^1$ | 23,98 | 2,72 | 26,13 | 2,16 | 0,310 | 0,072 | 0,390 | 0,051 | 1,30 | 0,32 | 1,51 | 0,28 | 27 | 13 | -8 | -21 | -14 | -2,49 | -3,59 | -2,02 | 38 | ? | S | ? |
| 23 | 24 | 6 | 21,59 | 5,99 | 21,22 | 5,95 | 0,200 | 0,061 | 0,180 | 0,066 | 0,98 | 0,31 | 0,89 | 0,30 | 31 | 16 | +2 | +11 | +1 | 0,20 | 1,04 | 0,95 | 45 | | | |
| | | 8 | 25,09 | 4,80 | 29,92 | 8,18 | 0,201 | 0,065 | 0,233 | 0,048 | 0,83 | 0,31 | 0,85 | 0,34 | 13 | 10 | -16 | -14 | -2 | -1,78 | -1,30 | -0,15 | 21 | | | |
| 26 | 27 | $5_1$ | 25,88 | 4,02 | 23,70 | 10,16 | 0,278 | 0,046 | 0,218 | 0,059 | 1,11 | 0,26 | 1,05 | 0,48 | 19 | 12 | +9 | +28 | +6 | 0,84 | 3,17 | 0,45 | 29 | | S | |
| | | $5_2^1$ | 17,83 | 3,75 | 19,63 | 5,20 | 0,214 | 0,064 | 0,242 | 0,072 | 1,23 | 0,35 | 1,29 | 0,41 | 39 | 19 | -9 | -12 | -5 | -1,51 | -1,50 | -0,58 | 56 | | | |
| 30 | 31 | 5 | 12,05 | 4,43 | 12,19 | 4,94 | 0,145 | 0,043 | 0,154 | 0,050 | 1,34 | 0,35 | 1,33 | 0,33 | 28 | 15 | -1 | -6 | +1 | -0,09 | -0,62 | 0,09 | 41 | | | |
| 33 | 32 | $5_1$ | 16,73 | 4,85 | 16,92 | 5,49 | 0,139 | 0,039 | 0,126 | 0,025 | 0,87 | 0,23 | 0,86 | 0,37 | 41 | 19 | -1 | +10 | +1 | -0,14 | 1,33 | 0,13 | 58 | | | |
| | | $8_1^1$ | 13,85 | 2,53 | 13,06 | 2,20 | 0,159 | 0,039 | 0,183 | 0,051 | 1,16 | 0,23 | 1,41 | 0,34 | 19 | 11 | +6 | -13 | -18 | 0,86 | -1,45 | -2,40 | 28 | | | ? |
| | | $8_2^1$ | 14,13 | 3,70 | 15,00 | 3,45 | 0,142 | 0,037 | 0,144 | 0,041 | 1,07 | 0,42 | 1,00 | 0,36 | 25 | 13 | -6 | -1 | +7 | -0,70 | -0,15 | 0,51 | 36 | | | |
| 50 | 66 | $6_1$ | 21,78 | 3,91 | 18,71 | 6,59 | 0,308 | 0,061 | 0,243 | 0,073 | 1,47 | 0,45 | 1,35 | 0,26 | 22 | 11 | +16 | +27 | +9 | 1,68 | 2,70 | 0,81 | 31 | | ? | |
| | | $6_2^1$ | 16,66 | 2,52 | 17,47 | 3,13 | 0,299 | 0,039 | 0,234 | 0,025 | 1,78 | 0,24 | 1,40 | 0,18 | 21 | 11 | -5 | +28 | +27 | -0,79 | 5,00 | 4,60 | 30 | | S | S |
| 71 | 72 | $6_1$ | 30,75 | 3,67 | 29,33 | 4,73 | 0,309 | 0,085 | 0,268 | 0,135 | 1,00 | 0,25 | 0,98 | 0,38 | 22 | 13 | +5 | +15 | +2 | +0,99 | 1,11 | 0,19 | 33 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabel 30 - Invloed van de 10 cm-meetstap in zeer dicht- en dichtgepakt fijn zand

| DS 10 | DS 20 | I | $c_{k,d,10}$ $\bar{x}_1$ MN/m² | $s_1$ | $c_{k,d,20}$ $\bar{x}_2$ MN/m² | $s_2$ | $f_{s,2,10}$ $\bar{x}_3$ MN/m² | $s_3$ | $f_{s,2,20}$ $\bar{x}_4$ MN/m² | $s_4$ | $w_{10}$ $\bar{x}_5$ | $s_5$ | $w_{20}$ $\bar{x}_6$ | $s_6$ | aantal $DS_{10}$ $n_1$ | $DS_{20}$ $n_2$ | Δ% t.o.v. $DS_{20}$ $c_{k,d,10}$ % | $f_{s,2,10}$ % | $w_{10}$ % | t-test 1 $\bar{x}_1-\bar{x}_2$ | $\bar{x}_3-\bar{x}_4$ | $\bar{x}_5-\bar{x}_6$ | $v_1$ | Signifikantie $\bar{x}_1-\bar{x}_2$ | $\bar{x}_3-\bar{x}_4$ | $\bar{x}_5-\bar{x}_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 18 | 3 | 17,64 | 2,18 | 17,69 | 2,57 | 0,293 | 0,082 | 0,281 | 0,072 | 1,65 | 0,38 | 1,59 | 0,38 | 22 | 11 | 0 | +4 | +4 | -0,06 | 0,41 | 0,43 | 31 | | | |
| | | $5_1$ | 26,79 | 2,67 | 24,52 | 5,30 | 0,321 | 0,044 | 0,350 | 0,051 | 1,20 | 0,15 | 1,44 | 0,38 | 22 | 10 | +9 | -8 | -17 | 1,62 | -1,65 | -2,59 | 30 | | | ? |
| | | $5_2$ | 26,16 | 4,42 | 28,12 | 5,63 | 0,287 | 0,065 | 0,371 | 0,070 | 1,10 | 0,25 | 1,34 | 0,29 | 31 | 15 | -7 | -23 | -18 | -1,29 | -4,01 | -2,90 | 44 | | S | S |
| 23 | 24 | 5 | 17,11 | 6,16 | 19,60 | 6,85 | 0,236 | 0,103 | 0,263 | 0,104 | 1,27 | 0,40 | 1,42 | 0,51 | 17 | 10 | -13 | -10 | -11 | -0,97 | -0,66 | -0,85 | 25 | | | |
| | | $9_1$ | 22,09 | 4,30 | 23,38 | 3,05 | 0,199 | 0,055 | 0,232 | 0,042 | 0,91 | 0,26 | 1,00 | 0,20 | 31 | 16 | -6 | -14 | -9 | -1,07 | -2,10 | -1,21 | 45 | | ? | |
| | | $9_2$ | 24,02 | 5,21 | 22,75 | 6,38 | 0,198 | 0,044 | 0,247 | 0,048 | 0,91 | 0,31 | 1,12 | 0,17 | 20 | 10 | +6 | -20 | -19 | 0,58 | -2,79 | -1,99 | 28 | | S | |
| 26 | 27 | $6_1$ | 13,40 | 2,27 | 11,56 | 2,61 | 0,210 | 0,033 | 0,207 | 0,046 | 1,62 | 0,36 | 1,82 | 0,36 | 21 | 12 | +16 | +1 | -11 | 2,12 | 0,22 | -1,54 | 31 | ? | | |
| | | $6_2$ | 15,23 | 2,90 | 13,38 | 2,64 | 0,240 | 0,042 | 0,239 | 0,043 | 1,61 | 0,31 | 1,80 | 0,32 | 28 | 15 | +14 | 0 | -11 | 2,05 | 0,07 | -1,89 | 41 | ? | | |
| | | $6_3$ | 13,05 | 2,83 | 11,71 | 3,52 | 0,206 | 0,050 | 0,199 | 0,053 | 1,62 | 0,41 | 1,68 | 0,41 | 26 | 10 | +11 | +4 | -4 | 1,19 | 0,37 | -0,39 | 34 | | | |
| 30 | 31 | $3_2$ | 12,68 | 2,43 | 15,48 | 3,04 | 0,198 | 0,044 | 0,228 | 0,046 | 1,54 | 0,22 | 1,48 | 0,24 | 19 | 13 | -18 | -13 | +4 | -2,89 | -1,86 | 0,73 | 30 | S | | |
| 33 | 32 | 6 | 14,09 | 2,89 | 13,02 | 2,33 | 0,197 | 0,037 | 0,206 | 0,044 | 1,44 | 0,35 | 1,59 | 0,28 | 27 | 16 | +8 | -4 | -9 | 1,26 | -0,72 | -1,46 | 40 | | | |
| | | 7 | 11,39 | 1,89 | 10,24 | 2,23 | 0,158 | 0,026 | 0,176 | 0,036 | 1,40 | 0,20 | 1,74 | 0,26 | 41 | 18 | +11 | -10 | -20 | 2,04 | -2,17 | -5,48 | 57 | ? | ? | S |
| | | $7_2$ | 11,22 | 1,85 | 11,93 | 1,71 | 0,160 | 0,025 | 0,200 | 0,034 | 1,44 | 0,15 | 1,68 | 0,20 | 34 | 17 | -6 | -20 | -14 | -1,32 | -4,77 | -4,81 | 49 | | S | S |
| 50 | 66 | $4_2$ | 14,04 | 1,56 | 14,36 | 1,97 | 0,287 | 0,039 | 0,240 | 0,041 | 2,04 | 0,20 | 1,68 | 0,18 | 21 | 11 | -2 | +20 | +21 | -0,50 | 3,18 | 5,00 | 30 | | S | S |
| | | $4_3$ | 11,04 | 2,26 | 11,97 | 2,89 | 0,221 | 0,045 | 0,197 | 0,038 | 2,02 | 0,29 | 1,67 | 0,26 | 23 | 11 | -8 | +12 | +21 | -1,03 | 1,52 | 3,40 | 32 | | | S |
| | | $5^4$ | 11,40 | 3,49 | 10,36 | 2,12 | 0,217 | 0,055 | 0,193 | 0,043 | 2,00 | 0,33 | 1,86 | 0,15 | 21 | 12 | +10 | +12 | +8 | 0,93 | 1,30 | 1,38 | 31 | | | |
| | | 7 | 14,57 | 2,22 | 15,32 | 2,47 | 0,290 | 0,054 | 0,276 | 0,049 | 1,98 | 0,24 | 1,82 | 0,28 | 28 | 14 | -5 | +5 | +9 | -0,99 | 0,82 | 1,93 | 40 | | | |
| | | 9 | 15,95 | 3,31 | 14,26 | 3,73 | 0,308 | 0,054 | 0,232 | 0,054 | 1,95 | 0,20 | 1,65 | 0,22 | 23 | 11 | +12 | +33 | +18 | 1,34 | 3,84 | 3,96 | 32 | | S | S |
| | | | 10,10 | 1,80 | 9,22 | 1,41 | 0,240 | 0,037 | 0,184 | 0,041 | 2,25 | 0,74 | 2,01 | 0,57 | 18 | 8 | +10 | +30 | +12 | 1,22 | 3,45 | 0,81 | 24 | | S | |
| 68 | 69 | $3_1$ | 11,02 | 2,04 | 10,81 | 2,57 | 0,197 | 0,033 | 0,201 | 0,049 | 1,81 | 0,25 | 1,84 | 0,21 | 35 | 17 | +2 | -2 | -2 | 0,32 | -0,35 | -0,43 | 50 | | | |
| | | $3_2$ | 11,72 | 3,26 | 9,75 | 3,97 | 0,210 | 0,054 | 0,214 | 0,055 | 1,78 | 0,23 | 2,03 | 0,33 | 21 | 11 | +20 | -2 | -12 | 1,51 | -0,20 | -2,51 | 30 | | | ? |
| | | $3_3^2$ | 9,30 | 2,64 | 11,17 | 3,93 | 0,154 | 0,035 | 0,197 | 0,061 | 1,71 | 0,36 | 1,82 | 0,28 | 39 | 17 | -17 | -22 | -6 | -2,09 | -3,34 | -1,12 | 54 | ? | S | |
| | | $5_1$ | 12,14 | 3,59 | 13,88 | 3,67 | 0,209 | 0,071 | 0,246 | 0,046 | 1,81 | 0,56 | 1,82 | 0,38 | 22 | 11 | -13 | -15 | -1 | -1,30 | -1,57 | -0,05 | 31 | | | |
| | | $5_2$ | 12,12 | 3,99 | 12,93 | 2,62 | 0,198 | 0,041 | 0,214 | 0,061 | 1,78 | 0,59 | 1,73 | 0,51 | 22 | 9 | -6 | -7 | 3 | -0,56 | -0,85 | 0,22 | 29 | | | |
| 81 | 82 | $3_2$ | 11,65 | 3,12 | 10,84 | 2,54 | 0,178 | 0,059 | 0,178 | 0,047 | 1,55 | 0,39 | 1,66 | 0,38 | 32 | 17 | +7 | 0 | -7 | 0,92 | 0,00 | -0,95 | 47 | | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| t-test (met DS 50-66) | $\bar{x}$ | 1,40 | -1,96 | -2,84 |
| | s | 10,85 | 14,97 | 12,38 |
| test $\bar{x}=0$ | V=24 | 0,65 | -0,65 | -1,15 |
| | sign. | | | |
| (zonder DS 50-66) | $\bar{x}$ | 0,95 | -8,47 | -8,42 |
| | s | 11,95 | 8,85 | 7,60 |
| test $\bar{x}=0$ | V=18 | 0,36 | -4,18 | -4,83 |
| | sign. | | S | S |

Opmerking :

Verworpen intervallen : 1 (DS 81-82 : $3_1$ ; 32-13 lezingen)

Tabel 31 - Invloed van de 10 cm-meetstap in dicht- en middelmatig dichtgepakt weinig kleihoudend zeer fijn zand

| DS 10 | DS 20 | I | $C_{k,d,10}$ $\bar{x}_1$ MN/m² | $C_{k,d,10}$ $s_1$ MN/m² | $C_{k,d,20}$ $\bar{x}_2$ MN/m² | $C_{k,d,20}$ $s_2$ MN/m² | $f_{s,2,10}$ $\bar{x}_3$ MN/m² | $f_{s,2,10}$ $s_3$ MN/m² | $f_{s,2,20}$ $\bar{x}_4$ MN/m² | $f_{s,2,20}$ $s_4$ MN/m² | $\Psi_{10}$ $\bar{x}_5$ | $\Psi_{10}$ $s_5$ | $\Psi_{10}$ $\bar{x}_6$ | $\Psi_{10}$ $s_6$ | aantal $DS_{10}$ $n_1$ | aantal $DS_{20}$ $n_2$ | $\Delta$% t.o.v. $DS_{20}$ $C_{k,d,10}$ % | $\Delta$% t.o.v. $DS_{20}$ $f_{s,2,10}$ % | $\Delta$% t.o.v. $DS_{20}$ $\Psi_{10}$ % | t-test 1 $\bar{x}_1-\bar{x}_2$ | t-test 1 $\bar{x}_3-\bar{x}_4$ | t-test 1 $\bar{x}_5-\bar{x}_6$ | $V_1$ | Signifikantie $\bar{x}_1-\bar{x}_2$ | Signifikantie $\bar{x}_3-\bar{x}_4$ | Signifikantie $\bar{x}_5-\bar{x}_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 24 | $3_1$ | 9,54 | 4,30 | 10,13 | 4,13 | 0,131 | 0,073 | 0,172 | 0,073 | 1,41 | 0,46 | 1,75 | 0,53 | 18 | 9 | -6 | -24 | -19 | -0,34 | -1,38 | -1,72 | 25 | | | |
| 33 | 32 | $3_1$ | 14,46 | 2,69 | 13,77 | 2,04 | 0,185 | 0,047 | 0,192 | 0,061 | 1,30 | 0,36 | 1,39 | 0,41 | 11 | 5 | +5 | -4 | -6 | 0,51 | -0,25 | -0,45 | 14 | | | |
| | | $3_2$ | 10,92 | 2,57 | 11,99 | 2,39 | 0,154 | 0,028 | 0,216 | 0,029 | 1,47 | 0,20 | 1,83 | 0,22 | 14 | 7 | -9 | -29 | -20 | -0,92 | -4,73 | -3,77 | 19 | | S | S |
| 50 | 66 | $4_1$ | 6,11 | 2,48 | 7,08 | 3,13 | 0,114 | 0,047 | 0,130 | 0,052 | 1,90 | 0,34 | 2,16 | 1,00 | 26 | 13 | -14 | -12 | -12 | -1,05 | -0,97 | -1,26 | 37 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | t-test 2 | | $\bar{x}$ | | -6,00 | -17,25 | -14,25 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | s | | 8,04 | 11,35 | 6,55 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | test $\bar{x}$=0 | | $V_2$=3 | | -1,49 | -3,04 | -4,35 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | sign. | | | | ? | | | | |

Opmerking :

Verworpen intervallen : 0

Tabel 32 - Invloed van de 10 cm-meetstap in los- en middelmatig gepakt fijn zand

| DS 10 | DS 20 | I | $C_{k,d,10}$ $\bar{x}_1$ MN/m² | $C_{k,d,10}$ $s_1$ MN/m² | $C_{k,d,20}$ $\bar{x}_2$ MN/m² | $C_{k,d,20}$ $s_2$ MN/m² | $f_{s,2,10}$ $\bar{x}_3$ MN/m² | $f_{s,2,10}$ $s_3$ MN/m² | $f_{s,2,20}$ $\bar{x}_4$ MN/m² | $f_{s,2,20}$ $s_4$ MN/m² | $\Psi_{10}$ $\bar{x}_5$ | $\Psi_{10}$ $s_5$ | $\Psi_{20}$ $\bar{x}_6$ | $\Psi_{20}$ $s_6$ | aantal $DS_{10}$ $n_1$ | aantal $DS_{20}$ $n_2$ | Δ% t.o.v. $DS_{20}$ $C_{k,d,10}$ % | Δ% t.o.v. $DS_{20}$ $f_{s,2,10}$ % | Δ% t.o.v. $DS_{20}$ $\Psi_{10}$ % | t-test 1 $\bar{x}_1-\bar{x}_2$ | t-test 1 $\bar{x}_3-\bar{x}_4$ | t-test 1 $\bar{x}_5-\bar{x}_6$ | $V_1$ | Signifikantie $\bar{x}_1-\bar{x}_2$ | Signifikantie $\bar{x}_3-\bar{x}_4$ | Signifikantie $\bar{x}_5-\bar{x}_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 18 | $1_2$ | 6,37 | 1,72 | 6,44 | 1,96 | 0,106 | 0,037 | 0,101 | 0,044 | 1,71 | 0,52 | 1,51 | 0,40 | 25 | 17 | -1 | +5 | +13 | -0,12 | 0,40 | 1,34 | 40 | | | |
| 26 | 27 | $1_{3,4}$ | 3,50 | 1,29 | 4,75 | 1,38 | 0,067 | 0,017 | 0,082 | 0,021 | 1,95 | 0,57 | 1,85 | 0,59 | 33 | 18 | -26 | -18 | +5 | -3,23 | -2,77 | 0,59 | 49 | S | S | |
| 30 | 31 | $2_4^{1,2}$ | 4,85 | 1,52 | 7,33 | 2,08 | 0,088 | 0,025 | 0,157 | 0,049 | 1,90 | 0,55 | 2,17 | 0,53 | 35 | 17 | -34 | -44 | -12 | -4,88 | -6,76 | -1,68 | 50 | S | S | |
| | | $4_2^{1,2}$ | 9,63 | 2,75 | 10,48 | 2,55 | 0,149 | 0,034 | 0,160 | 0,036 | 1,60 | 0,36 | 1,60 | 0,47 | 23 | 11 | -8 | -7 | +1 | -0,86 | -0,87 | 0,00 | 32 | | | |
| 68 | 69 | 2 | 5,33 | 1,79 | 5,35 | 1,83 | 0,105 | 0,028 | 0,120 | 0,026 | 2,02 | 0,60 | 2,40 | 0,62 | 34 | 19 | 0 | -12 | -16 | -0,04 | -1,92 | -2,19 | 51 | | | ? |
| 71 | 72 | $2_3^1$ | 4,95 | 1,29 | 6,16 | 1,22 | 0,090 | 0,023 | 0,117 | 0,023 | 1,84 | 0,41 | 1,93 | 0,32 | 29 | 14 | -20 | -23 | -5 | -2,93 | -3,61 | -0,72 | 41 | S | S | |
| | | | 6,88 | 2,61 | 7,48 | 2,47 | 0,107 | 0,043 | 0,119 | 0,033 | 1,57 | 0,48 | 1,72 | 0,54 | 35 | 19 | -8 | -10 | -9 | -0,82 | -1,06 | -1,05 | 42 | | | |
| 81 | 82 | $2_3^{1,2}$ | 8,03 | 2,00 | 9,16 | 2,11 | 0,100 | 0,028 | 0,147 | 0,050 | 1,27 | 0,24 | 1,61 | 0,41 | 26 | 15 | -12 | -32 | -21 | -1,71 | -3,87 | -3,36 | 39 | | S | S |
| | | | 7,11 | 2,08 | 5,88 | 1,92 | 0,094 | 0,030 | 0,080 | 0,039 | 1,33 | 0,33 | 1,35 | 0,56 | 28 | 14 | +21 | +18 | -1 | 1,85 | 1,29 | -0,15 | 40 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | t-test 2 | $\bar{x}$ | | | -9,78 | -13,67 | -5,00 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | s | | | 16,15 | 18,62 | 10,71 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | test $\bar{x}=0$ | $V_2=8$ | | | -1,82 | -2,20 | -1,40 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | sign. | | | | | | | | | |

Opmerking :

Verworpen intervallen : 0

Tabel 33 - Invloed van de 10 cm-meetstap in (weinig) klei-, leemhoudend, (zeer) fijn zand, veenhoudend fijn zand, fijn zand met klei-, leemlaagjes

| DS 10 | DS 20 | I | $C_{k,d,10}$ $\bar{x}_1$ MN/m² | $s_1$ MN/m² | $C_{k,d,20}$ $\bar{x}_2$ MN/m² | $s_2$ MN/m² | $f_{s,2,10}$ $\bar{x}_3$ MN/m² | $s_3$ MN/m² | $f_{s,2,20}$ $\bar{x}_4$ MN/m² | $s_4$ MN/m² | $W_{10}$ $\bar{x}_5$ | $s_5$ | $W_{20}$ $\bar{x}_6$ | $s_6$ | aantal $DS_{10}$ $n_1$ | $DS_{20}$ $n_2$ | Δ% t.o.v. $DS_{20}$ $C_{k,d,10}$ % | $f_{s,2,10}$ % | $W_{10}$ % | t-test 1 $\bar{x}_1-\bar{x}_2$ | $\bar{x}_3-\bar{x}_4$ | $\bar{x}_5-\bar{x}_6$ | $V_1$ | Signifikantie $\bar{x}_1-\bar{x}_2$ | $\bar{x}_3-\bar{x}_4$ | $\bar{x}_5-\bar{x}_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 18 | $1_5$ | 2,29 | 0,47 | 2,81 | 0,73 | 0,051 | 0,017 | 0,060 | 0,013 | 2,27 | 0,84 | 2,20 | 0,51 | 14 | 11 | -19 | -15 | +3 | -2,16 | -1,45 | 0,24 | 23 | ? | | |
| 30 | 31 | $4_{3,4,5}$ | 6,65 | 3,58 | 8,49 | 3,83 | 0,113 | 0,049 | 0,151 | 0,038 | 1,93 | 0,80 | 1,75 | 0,50 | 27 | 11 | -22 | -25 | +10 | -1,41 | -2,30 | 0,69 | 36 | | ? | |
| | | $6_1$ | 8,03 | 1,87 | 8,18 | 1,78 | 0,123 | 0,028 | 0,110 | 0,026 | 1,66 | 0,75 | 1,35 | 0,18 | 22 | 11 | -2 | +12 | +23 | -0,22 | 1,27 | 1,34 | 31 | | | |
| | | $6_2$ | 8,93 | 2,98 | 11,03 | 2,16 | 0,148 | 0,027 | 0,147 | 0,034 | 1,80 | 0,82 | 1,36 | 0,25 | 19 | 10 | -19 | +1 | +32 | -1,97 | 0,09 | 1,64 | 27 | | | |
| 68 | 69 | $1_1$ | 1,06 | 0,74 | 1,09 | 0,64 | 0,029 | 0,019 | 0,025 | 0,020 | 3,76 | 3,43 | 3,18 | 2,47 | 17 | 10 | -3 | +16 | +18 | -0,11 | 0,52 | 0,47 | 25 | | | |
| | | $1_1^1$ | 2,04 | 0,95 | 2,71 | 1,26 | 0,044 | 0,015 | 0,059 | 0,025 | 2,37 | 0,80 | 2,38 | 0,82 | 31 | 14 | -25 | -25 | -0 | -1,98 | -2,50 | -0,04 | 43 | | ? | |
| | | $1_2^1$ | 3,14 | 1,89 | 3,60 | 2,03 | 0,077 | 0,036 | 0,084 | 0,029 | 2,62 | 1,05 | 2,40 | 1,33 | 22 | 10 | -13 | -8 | +9 | -0,62 | -0,54 | 0,51 | 30 | | | |
| 71 | 72 | $1_{2,3,4}$ | 3,54 | 1,96 | 4,23 | 2,42 | 0,077 | 0,025 | 0,099 | 0,033 | 2,71 | 1,54 | 2,93 | 1,79 | 23 | 12 | -16 | -22 | -8 | -0,91 | -2,21 | -0,38 | 33 | | ? | |
| 81 | 82 | $1_1$ | 1,80 | 0,97 | 1,89 | 0,95 | 0,050 | 0,016 | 0,044 | 0,026 | 3,21 | 1,70 | 2,39 | 1,41 | 13 | 9 | -5 | +14 | +34 | -0,22 | 0,67 | 1,19 | 20 | | | |
| | | $1_1^1$ | 3,64 | 0,97 | 3,63 | 0,71 | 0,067 | 0,012 | 0,057 | 0,010 | 1,91 | 0,51 | 1,61 | 0,33 | 16 | 8 | 0 | +18 | +19 | 0,03 | 2,03 | 1,50 | 22 | | | |
| | | $1_2^1$ | 2,67 | 0,86 | 2,39 | 1,00 | 0,052 | 0,015 | 0,050 | 0,021 | 2,19 | 0,92 | 2,11 | 0,78 | 22 | 11 | +12 | +4 | +4 | 0,84 | 0,32 | 0,25 | 31 | | | |
| | | $1_4^3$ | 4,33 | 1,44 | 5,86 | 1,81 | 0,066 | 0,024 | 0,102 | 0,031 | 1,42 | 0,47 | 1,82 | 0,61 | 12 | 7 | -22 | -35 | -22 | -2,04 | -2,84 | -1,61 | 17 | | ? | |
| | | t-test 2 | | | | | | | | | | | | | | | $\bar{x}$ | -11,17 | -5,42 | +10,17 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | $s$ | 11,38 | 18,67 | 16,26 | | | | | | |
| | | test $\bar{x}=0$ | | | | | | | | | | | | | | | $V_2=11$ | -3,40 | -1,01 | 2,17 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | Sign. | S | | | | | | | | |

Opmerking :

Verworpen intervallen : 0

Tabel 34 - Invloed van de 10 cm-meetstap in essentieel leem- of kleiige lagen al of niet gelaagd met fijn zand

| DS 10 | DS 20 | I | $C_{k,d,10}$ $\bar{x}_1$ MN/m² | $s_1$ | $C_{k,d,20}$ $\bar{x}_2$ MN/m² | $s_2$ | $f_{s,2,10}$ $\bar{x}_3$ MN/m² | $s_3$ | $f_{s,2,20}$ $\bar{x}_4$ MN/m² | $s_4$ | $w_{10}$ $\bar{x}_5$ | $s_5$ | $w_{20}$ $\bar{x}_6$ | $s_6$ | aantal $DS_{10}$ $n_1$ | $DS_{20}$ $n_2$ | Δ% t.o.v. $DS_{20}$ $C_{k,d,10}$ % | $f_{s,2,20}$ % | $w_{10}$ % | t-test 1 $\bar{x}_1-\bar{x}_2$ | $\bar{x}_3-\bar{x}_4$ | $\bar{x}_5-\bar{x}_6$ | $V_1$ | Signifikantie $\bar{x}_1-\bar{x}_2$ | $\bar{x}_3-\bar{x}_4$ | $\bar{x}_5-\bar{x}_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 18 | 2 | 3,55 | 1,17 | 3,73 | 1,31 | 0,080 | 0,016 | 0,092 | 0,026 | 2,43 | 0,55 | 2,76 | 1,11 | 11 | 6 | -5 | -13 | -12 | -0,29 | -1,19 | -0,83 | 15 | | | |
| 23 | 24 | 4 | 2,97 | 1,24 | 3,21 | 1,52 | 0,039 | 0,015 | 0,056 | 0,013 | 1,55 | 0,92 | 1,89 | 0,86 | 19 | 11 | -7 | -30 | -18 | -0,47 | -3,13 | -1,00 | 28 | | S | |
| 26 | 27 | 3 | 2,39 | 0,90 | 2,75 | 0,99 | 0,050 | 0,013 | 0,070 | 0,029 | 2,33 | 0,96 | 2,48 | 0,97 | 13 | 5 | -13 | -29 | -6 | -0,74 | -2,07 | -0,30 | 16 | | | |
| 33 | 32 | 4 | 2,60 | 1,02 | 2,46 | 0,65 | 0,045 | 0,021 | 0,063 | 0,021 | 1,90 | 1,36 | 2,62 | 0,73 | 13 | 9 | +6 | -29 | -27 | 0,36 | -1,98 | -1,44 | 20 | | | |
| 71 | 72 | $4_1$ | 2,28 | 0,74 | 2,37 | 0,47 | 0,048 | 0,023 | 0,068 | 0,033 | 2,06 | 0,95 | 2,84 | 1,15 | 18 | 11 | -4 | -29 | -27 | -0,36 | -1,93 | -1,98 | 27 | | | |
| | | $4_2$ | 2,48 | 0,92 | 2,34 | 0,38 | 0,040 | 0,022 | 0,068 | 0,033 | 1,77 | 0,94 | 2,87 | 1,16 | 17 | 9 | +6 | -41 | -38 | 0,43 | -2,59 | -2,62 | 24 | | ? | ? |
| | | $4_3$ | 2,53 | 0,45 | 2,74 | 0,45 | 0,060 | 0,018 | 0,068 | 0,025 | 2,43 | 0,65 | 2,54 | 1,03 | 15 | 8 | -8 | -12 | -4 | -1,07 | -0,89 | -0,32 | 21 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | t-test 2 | $\bar{x}$ | -3,57 | -26,14 | -18,86 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | s | 7,14 | 10,27 | 12,47 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | test $\bar{x}=0$ | $V_2=6$ | -1,32 | -6,73 | -4,00 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | sign. | | S | S | | | | | | | |

Opmerking :

Verworpen intervallen : 1 (DS 71-72 : $4_5$ ; 20-12 lezingen)

Tabel 35 - Invloed van de 10 cm-meetstap in veen

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 24 | 2 | 1,19 | 0,17 | 1,59 | 0,15 | 0,040 | 0,011 | 0,054 | 0,011 | 3,35 | 0,83 | 3,42 | 0,65 | 19 | 10 | -25 | -26 | -2 | -6,26 | -3,26 | -0,23 | 27 | S | S | |
| 50 | 60 | 2 | 0,95 | 0,10 | 0,86 | 0,14 | 0,058 | 0,006 | 0,059 | 0,005 | 6,17 | 0,74 | 7,51 | 2,27 | 19 | 7 | +10 | -2 | -18 | 1,83 | -0,39 | -2,33 | 24 | | | ? |

Tabel 36 - Invloed van de 10 cm-meetstap in vaste klei en vaste glauconiethoudende klei

| DS 10 | DS 20 | I | $C_{k,d,10}$ $\bar{x}_1$ MN/m² | $s_1$ | $C_{k,d,20}$ $\bar{x}_2$ MN/m² | $s_2$ | $f_{s,2,10}$ $\bar{x}_3$ MN/m² | $s_3$ | $f_{s,2,20}$ $\bar{x}_4$ MN/m² | $s_4$ | $w_{10}$ $\bar{x}_5$ | $s_5$ | $w_{20}$ $\bar{x}_6$ | $s_6$ | aantal $DS_{10}$ $n_1$ | $DS_{20}$ $n_2$ | Δ% t.o.v. $DS_{20}$ $C_{k,d,10}$ % | $f_{s,2,10}$ % | $w_{10}$ % | t-test 1 $\bar{x}_1-\bar{x}_2$ | $\bar{x}_3-\bar{x}_4$ | $\bar{x}_5-\bar{x}_6$ | $V_1$ | Signifikantie $\bar{x}_1-\bar{x}_2$ | $\bar{x}_3-\bar{x}_4$ | $\bar{x}_5-\bar{x}_6$ | Opmerkingen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 18 | $6_2$ | 5,19 | 0,45 | 5,42 | 0,13 | 0,186 | 0,017 | 0,189 | 0,020 | 3,64 | 0,35 | 3,52 | 0,34 | 14 | 5 | -4 | -2 | +3 | -1,11 | -0,32 | 0,66 | 17 | | | | |
| 26 | 27 | $7_2$ | 5,00 | 0,58 | 5,05 | 0,37 | 0,123 | 0,011 | 0,150 | 0,017 | 2,58 | 0,38 | 3,06 | 0,25 | 7 | 4 | -1 | -8 | -16 | -0,15 | -3,24 | -2,24 | 9 | | ? | | VTT |
| 68 | 69 | $6_1$ | 6,07 | 0,34 | 4,88 | 0,60 | 0,212 | 0,039 | 0,130 | 0,036 | 3,52 | 0,73 | 2,65 | 0,56 | 13 | 7 | +24 | +63 | +33 | 5,72 | +4,60 | 2,74 | 18 | S | S | ? | VTT |
| | | $7_1$ | 6,56 | 0,88 | 6,11 | 0,89 | 0,217 | 0,032 | 0,197 | 0,035 | 3,33 | 0,46 | 3,23 | 0,35 | 24 | 12 | +7 | +10 | +3 | 1,44 | 1,71 | 0,66 | 34 | | | | |
| | | $7_2$ | 5,75 | 0,39 | 5,70 | 0,44 | 0,208 | 0,010 | 0,155 | 0,033 | 3,58 | 0,18 | 2,76 | 0,60 | 15 | 7 | +1 | +34 | +30 | 0,27 | 5,81 | 4,96 | 20 | | S | S | VOB |
| 71 | 72 | $7_1$ | 5,38 | 1,28 | 5,81 | 0,52 | 0,179 | 0,048 | 0,262 | 0,076 | 3,33 | 0,42 | 4,54 | 1,48 | 8 | 5 | -7 | -32 | -27 | -0,71 | -2,44 | -2,23 | 11 | | ? | ? | VTT |
| | | $7_{2,1}$ | 6,52 | 0,47 | 6,51 | 0,49 | 0,289 | 0,040 | 0,292 | 0,028 | 4,42 | 0,36 | 4,49 | 0,37 | 21 | 10 | 0 | -1 | -2 | 0,05 | -0,21 | -0,50 | 29 | | | | |
| | | $7_{2,2}$ | 7,46 | 0,35 | 7,40 | 0,47 | 0,315 | 0,020 | 0,315 | 0,019 | 4,23 | 0,28 | 4,27 | 0,33 | 19 | 10 | +1 | 0 | -1 | 0,39 | 0,00 | -0,34 | 27 | | | | |
| | | $7_3$ | 7,20 | 0,36 | 6,83 | 0,44 | 0,341 | 0,025 | 0,260 | 0,017 | 4,75 | 0,38 | 3,89 | 0,31 | 19 | 8 | +5 | +31 | +22 | 2,29 | 8,34 | 5,64 | 25 | ? | S | S | VOB |
| | | 8 | 6,41 | 0,63 | 6,40 | 0,69 | 0,204 | 0,033 | 0,179 | 0,041 | 3,17 | 0,48 | 2,83 | 0,55 | 39 | 17 | 0 | +14 | +12 | 0,05 | 2,42 | 2,33 | 54 | | ? | ? | VOB |
| 81 | 82 | $6_1$ | 5,82 | 0,72 | 6,22 | 0,32 | 0,257 | 0,048 | 0,235 | 0,035 | 4,42 | 0,60 | 3,78 | 0,50 | 11 | 5 | -6 | +9 | +17 | -1,17 | 0,91 | 2,07 | 14 | | | | VTT |
| | | $6_{2,1}$ | 6,65 | 0,42 | 6,40 | 0,47 | 0,351 | 0,019 | 0,344 | 0,034 | 5,28 | 0,20 | 5,38 | 0,48 | 14 | 7 | +4 | +2 | -2 | 1,24 | 0,35 | -0,68 | 19 | | | | |
| | | $6_{2,2}$ | 6,45 | 0,41 | 6,61 | 0,24 | 0,365 | 0,034 | 0,349 | 0,021 | 5,68 | 0,67 | 5,28 | 0,15 | 13 | 7 | -2 | +5 | +8 | -0,94 | 1,13 | 1,54 | 18 | | | | |
| | | $7_1$ | 6,24 | 0,66 | 7,22 | 0,89 | 0,103 | 0,036 | 0,194 | 0,031 | 1,68 | 0,81 | 2,74 | 0,67 | 11 | 5 | -14 | -47 | -39 | -2,48 | -4,87 | -2,54 | 14 | ? | S | ? | VOB |
| | | $7_2$ | 5,77 | 0,50 | 5,78 | 0,39 | 0,215 | 0,021 | 0,225 | 0,031 | 3,75 | 0,48 | 3,92 | 0,42 | 22 | 11 | 0 | -4 | -4 | -0,06 | -1,10 | -1,00 | 31 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | t-test 2 (zonder VTT- en VOB-intervallen) | | | | | | | | | | | | | | $\bar{x}$ | 0,86 | 1,43 | 0,71 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | s | 3,67 | 4,76 | 4,15 | | | | | | | | |
| | | test $\bar{x}=0$ | | | | | | | | | | | | | | $V_2=6$ | 0,62 | 0,79 | 0,46 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | Sign. | | | | | | | | | | | |

Opmerking :

Verworpen intervallen : 1 (DS 68-69 : $6_2$ ; 11-5 lezingen)

Tabel 37 - Grootte van de klemming

| $DS_{10(20)}$ | diepte ophalen<br>m | $\Delta f_{s,2,10(20)}$<br>$MN/m^2$ | $\Delta F$<br>N | laag |
|---|---|---|---|---|
| 69 (20) | 35,1 | 0,08 | 1200 | T10 |
| 71 (10) | 33,1 | 0,00 | 0 | T11 |
| | 36,1 | 0,00 | 0 | T10 |
| | 37,9 | 0,085 | 1275 | T10 |
| | 39,7 | 0,055 | 825 | T10 |
| 72 (20) | 32,7 | ? | ? | T11 |
| | 34,1 | ? | ? | T11 |
| | 35,1 | ? | ? | T11 |
| | 37,1 | 0,06 | 900 | T10 |
| | 38,1 | 0,06 | 900 | T10 |
| | 39,1 | 0,06 | 900 | T10 |
| 81 (10) | 33,4 | 0,135 | 2025 | T10 |
| | 35,4 | 0,00 | 0 | T10 |
| 82 (20) | 33,5 | 0,06 | 900 | T10 |
| | 36,5 | 0,00 | 0 | T10 |
| 78 (10) | 33,4 | 0,06 | 900 | T11 |
| | 35,5 | 0,03 | 450 | T11 |
| 83 (10) | 12,8 | 0,09 | 1350 | K4,1, K3,3, K3,2 |

**Tabel 38 - De nokkenkleefvanger in het Kwartair**

| DS | Diepte | toe-afname | $\Delta C_{k,d}$ | $\Delta L$ | $\Delta L_T$ | $\frac{100\Delta L}{\Delta L_T}$ | $\frac{100\Delta L_{Ck,d}}{\Delta L_T}$ | $\frac{100\Delta L_{Ck,d}}{\Delta L}$ | $\frac{100\Delta L_{0,6}}{\Delta L}$ | rest in $\Delta L$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | m | ↑ ↓ | $MN/m^2$ | KN | KN | % | % | % | % | % |
| 28 | 27 | ↓ | 9,4 | 12,5 | 7,5 | 167 | 56 | 34 | 26 | 40 |
| 37 | 19 | ↓ | 6,2 | 8,0 | 5,4 | 148 | 52 | 35 | 32 | 33 |
| 39 | 18 | ↑ | 7,4 | 9,5 | 4,6 | 208 | 73 | 35 | 13 | 52 |
| 40 | 25 | ↓ | 14,6 | 14,5 | 7,4 | 196 | 89 | 45 | 6 | 49 |
| 42 | 23 | ↑ | 17,4 | 18,3 | 9,1 | 201 | 86 | 43 | 7 | 50 |
| 48 | 10 | ↓ | 12,2 | 12,5 | 9,3 | 135 | 59 | 44 | 31 | 25 |
| 48 | 21 | ↓ | 6,4 | 10,0 | 5,1 | 195 | 56 | 29 | 22 | 49 |
| 48 | 25 | ↑ | 5,6 | 8,5 | 4,8 | 176 | 53 | 30 | 27 | 43 |
| 53 | 21 | ↑ | 7,0 | 7,5 | 4,1 | 183 | 77 | 42 | 13 | 45 |
| 55 | 18 | ↑ | 16,2 | 15,0 | 8,4 | 179 | 87 | 49 | 7 | 44 |
| 56 | 16 | ↑ | 7,6 | 8,8 | 4,7 | 186 | 73 | 39 | 14 | 47 |
| 64 | 19 | ↓ | 10,8 | 17,5 | 7,9 | 222 | 62 | 28 | 17 | 55 |
| 65 | 18 | ↓ | 12,2 | 14,8 | 7,1 | 208 | 77 | 37 | 11 | 52 |
| 83 | 18 | ↑ | 22,0 | 27,9 | 13,7 | 204 | 72 | 35 | 14 | 51 |
| | | | | gemiddelde $\bar{x}_1$ | | 186 | 69 | 38 | 17 | 45 |
| | | | | standaarddeviatie $s_1$ | | 24 | 13 | 6 | 9 | 8 |
| | | | t-test : $\overline{x_1-x_2}$ V = 22 | | | +3,42 | -3,31 | -5,66 | +1,33 | -3,39 |
| | | | | sign. | | S | S | S | | S |
| | | | t-test : $\overline{x_1-x_3}$ V = 19 | | | -4,25 | -1,67 | -1,80 | 2,22 | +3,78 |
| | | | | sign. | | S | | | ? | ? |

**Tabel 39 - De nokkenkleefvanger in het Tertiair**

| DS | Diepte | toe-afname | $\Delta C_{k,d}$ | $\Delta L$ | $\Delta L_T$ | $\frac{100\Delta L}{\Delta L_T}$ | $\frac{100\Delta L_{Ck,d}}{\Delta L_T}$ | $\frac{100\Delta L_{Ck,d}}{\Delta L}$ | $\frac{100\Delta L_{0,6}}{\Delta L}$ | rest in $\Delta L$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | m | ↑ ↓ | $MN/m^2$ | KN | KN | % | % | % | % | % |
| 43 | 27 | ↑ | 5,6 | 5,0 | 3,0 | 166 | 84 | 50 | 10 | 40 |
| 43 | 30 | ↑ | 12,6 | 6,8 | 6,8 | 100 | 83 | 83 | 17 | 0 |
| 44 | 31 | ↓ | 11,6 | 9,0 | 7,2 | 125 | 73 | 58 | 22 | 20 |
| 44 | 33 | ↑ | 7,4 | 6,0 | 3,8 | 158 | 88 | 56 | 8 | 36 |
| 48 | 30 | ↓ | 13,4 | 10,0 | 6,6 | 166 | 91 | 60 | 6 | 34 |
| 50 | 33 | ↓ | 13,2 | 8,3 | 6,9 | 119 | 86 | 72 | 12 | 16 |
| 50 | 35 | ↓ | 8,4 | 8,8 | 4,1 | 216 | 93 | 43 | 4 | 53 |
| 53 | 28 | ↑ | 9,6 | 7,0 | 4,9 | 144 | 89 | 62 | 8 | 30 |
| 55 | 26 | ↑ | 10,0 | 8,0 | 5,9 | 136 | 76 | 56 | 18 | 26 |
| 58 | 25 | ↑ | 9,2 | 9,0 | 5,6 | 160 | 74 | 46 | 16 | 38 |
| | | | | gemiddelde $\bar{x}_2$ | | 147 | 84 | 59 | 12 | 29 |
| | | | | standaarddeviatie $s_2$ | | 32 | 7 | 12 | 6 | 15 |
| | | | | t-test $\overline{x_2-x_3}$ | V = 15 | -5,74 | +1,64 | +5,25 | +1,15 | -4,68 |
| | | | | | sign. | S | | S | | S |

Tabel 40 - De nokkenkleefvanger en de overgang Kwartair-Tertiair

| DS | Diepte | toe-afname | $\Delta C_{k,d}$ | $\Delta L$ | $\Delta L_T$ | $\frac{100\Delta L}{\Delta L_T}$ | $\frac{100\Delta L_{Ck,d}}{\Delta L_T}$ | $\frac{100\Delta L_{Ck,d}}{\Delta L}$ | $\frac{100\Delta L_{0,6}}{\Delta L}$ | rest in $\Delta L$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | m | ↑ ↓ | $MN/m^2$ | KN | KN | % | % | % | % | % |
| 43 | 24 | ↓ | 12,2 | 13,2 | 5,8 | 230 | 95 | 42 | 2 | 56 |
| 44 | 24 | ↓ | 11,4 | 14,0 | 6,5 | 216 | 79 | 37 | 10 | 53 |
| 48 | 28 | ↓ | 4,4 | 8,0 | 2,7 | 296 | 73 | 25 | 9 | 66 |
| 65 | 25 | ↓ | 10,4 | 17,0 | 6,2 | 274 | 75 | 28 | 9 | 63 |
| 70 | 30 | ↓ | 14,8 | 19,5 | 9,6 | 204 | 69 | 34 | 15 | 51 |
| 80 | 30 | ↓ | 19,6 | 24,8 | 11,8 | 210 | 75 | 36 | 12 | 52 |
| 81 | 29 | ↓ | 10,3 | 15,0 | 5,9 | 255 | 79 | 31 | 8 | 61 |
| | | | | gemiddelde $\bar{x}_3$ | | 241 | 78 | 33 | 9 | 58 |
| | | | | standaarddeviatie $s_3$ | | 35 | 8 | 6 | 4 | 6 |

**Tabel 41** - Klassifikatie volgens de Ecole Centrale Lyonnaise
(naar G. SANGLERAT, 1972)

| | |
|---|---|
| **a)** C<6 bar | |
| 0,15<F<0,40 bar | : veen, of zeer slappe kleien |
| **b)** C<10 bar | |
| F<0,20 bar | : los leemhoudend zand en zeer losse grondaanvullingen |
| 0,20<fs<0,60 bar | : slappe kleien of slappe leemhoudende kleien |
| **c)** 10<C<30 bar | |
| F<0,1 bar | : losse grint aanvullingen |
| 0,1<F<0,40 bar | : losse zanden of loess boven de watertafel |
| 0,40<F<0,80 bar | : plastische kleien en plastische lemige kleien |
| 0,80<F<2 bar | : half stijve kleien |
| **d)** 30<C<60 bar | |
| F<1 bar | : middelmatig dichtgepakte leemhoudende zanden en zuivere zanden |
| 1<F<3 bar | : stijve kleien of stijve lemige kleien |
| **e)** 60<C<150 bar | |
| F<1 bar | : zuiver grint mogelijk met los fijn zand |
| 1<F<3 bar | : dichtgepakte zanden of dichtgepakte mengsels van zand, leem of klei; kleihoudend grint |
| F>3 bar | : grint in een matrix van dichtgepakte kleihoudende zanden; zeer stijve klei (C<90 bar) |
| **f)** 150<C<300 bar | |
| 1<F<2 bar | : dichtgepakte zanden en grintmengsels |
| F>2 bar | : grove zanden of zeer dichte leemhoudende zanden |

**Tabel 42 - Klassifikatie volgens G. SANGLERAT et al. (1974)**

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

Tabel 43 - Granulometrie, percentage deeltjes <16 µm volgens BEGEMANN, en wrijvingsgetallen van K2,1, K5,2 en K8,2

| eenheid | granulometrie | %<16 µm volgens Begemann | | regressieanalyse uit $y = ax$ : $W_{10} = \frac{100}{a}$ | | Globaal gemiddelde wrijvingsgestal : $\bar{W}_{10}$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | konus I | | konus II | |
| | $Mz = \bar{x} \pm s$ | konus I | konus II | konus I | konus II | $\bar{x}_1$ | s | $\bar{x}_2$ | 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 |

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

Tabel 44 - Verband tussen het wrijvingsgetal $W_{10}$ en de grondsoorten

| | grondsoort | Ip | humus | Mz | Grint | zand >63 µm | klei + leem <63 µm | <20 µm | bestudeerd interval $C_{k,d,10}$ | kenmerkend interval $W_{10}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | % | % | ϕ | % | % | % | % | MN/m² | |
| Kwartair | Grint, grinthoudend zand grof en middelmatig zand | | <1 | 1,7-2,4 | 1-50 | >90 | <10 | <5 | 12,0-36,0 | 0,70-1,25 |
| | Fijn zand, weinig klei- of leemhoudend fijn (zeer fijn) zand | <5 | <5 | 2,2-3,5 | <2 | >80 | <20 | <8 | 3,0-25,0 | 1,25-2,10 |
| | Leem, (weinig) leemhoudend zeer fijn zand | 1-20 | <7 | 3,5-6,3 | <0,5 | 20-70 | 80-30 | 10-40 | 1,5-4,2 | 1,90-3,35 |
| | veen | | >65 | | | | | | 0,3-1,9 | 3,65-6,41 |
| (1) Tertiair | (weinig) kleihoudend zeer fijn zand | 1-10 | <1 | 2,9-4,2 | (2) <1 | >75 | <25 | 5-18 | 15,0-26,0 | 0,85-1,30 |
| | glauconiethoudende stijve klei | 23-50 | <1,5 | 5,0-7,0 | 0 | 30-55 (3) | 70-45 | 25-55 | 5,0-7,0 | 3,15-4,05 |
| | stijve klei | | <1 | >8,5 | 0 | 0 | 100 | 75-98 | 6,0-7,5 | 4,05-5,85 |

(1) lagen al of niet overgekonsoliseerd

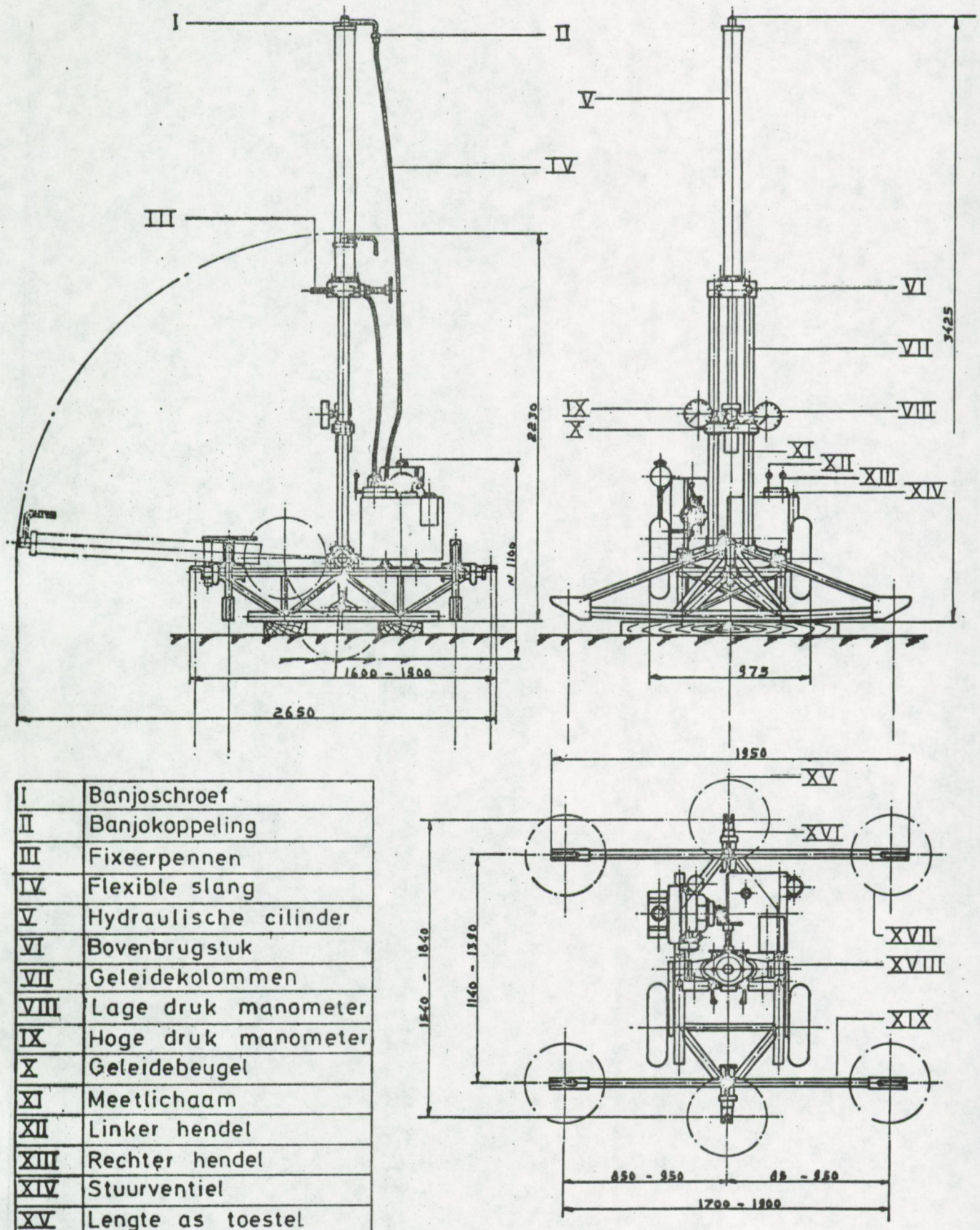
(2) voor eenheden T6,1, T7,1, T8,1
voor eenheid T4,1 : 0-20 % schelpfragmenten (verweerd)

(3) gemiddeld 50 % glauconiet

Tabel 45 - Gegevens van de fotoseries

| Foto-serie | Datum vlucht | H m | f mm | f/H | b mm | h cm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 9-6-'69 | 3340 | 153,16 | 1/21800 | 85 | 79 |
| 2 | 23-8-'76 | 1600 | 153,16 | 1/10500 | 82 | 39 |
| 3 | 6-6-'75 | 800 | 153,22 | 1/5200 | 85 | 19 |

FIGUREN




| | |
|---|---|
| I | Banjoschroef |
| II | Banjokoppeling |
| III | Fixeerpennen |
| IV | Flexible slang |
| V | Hydraulische cilinder |
| VI | Bovenbrugstuk |
| VII | Geleidekolommen |
| VIII | Lage druk manometer |
| IX | Hoge druk manometer |
| X | Geleidebeugel |
| XI | Meetlichaam |
| XII | Linker hendel |
| XIII | Rechter hendel |
| XIV | Stuurventiel |
| XV | Lengte as toestel |
| XVI | Uithouder |
| XVII | Grondanker |
| XVIII | Onderbrugstuk |
| XIX | Dwarsligger |

Fig. 1 - Het 100 KN hydraulisch sonder-apparaat (naar techn. dok. Goudsche Machinenfabriek)

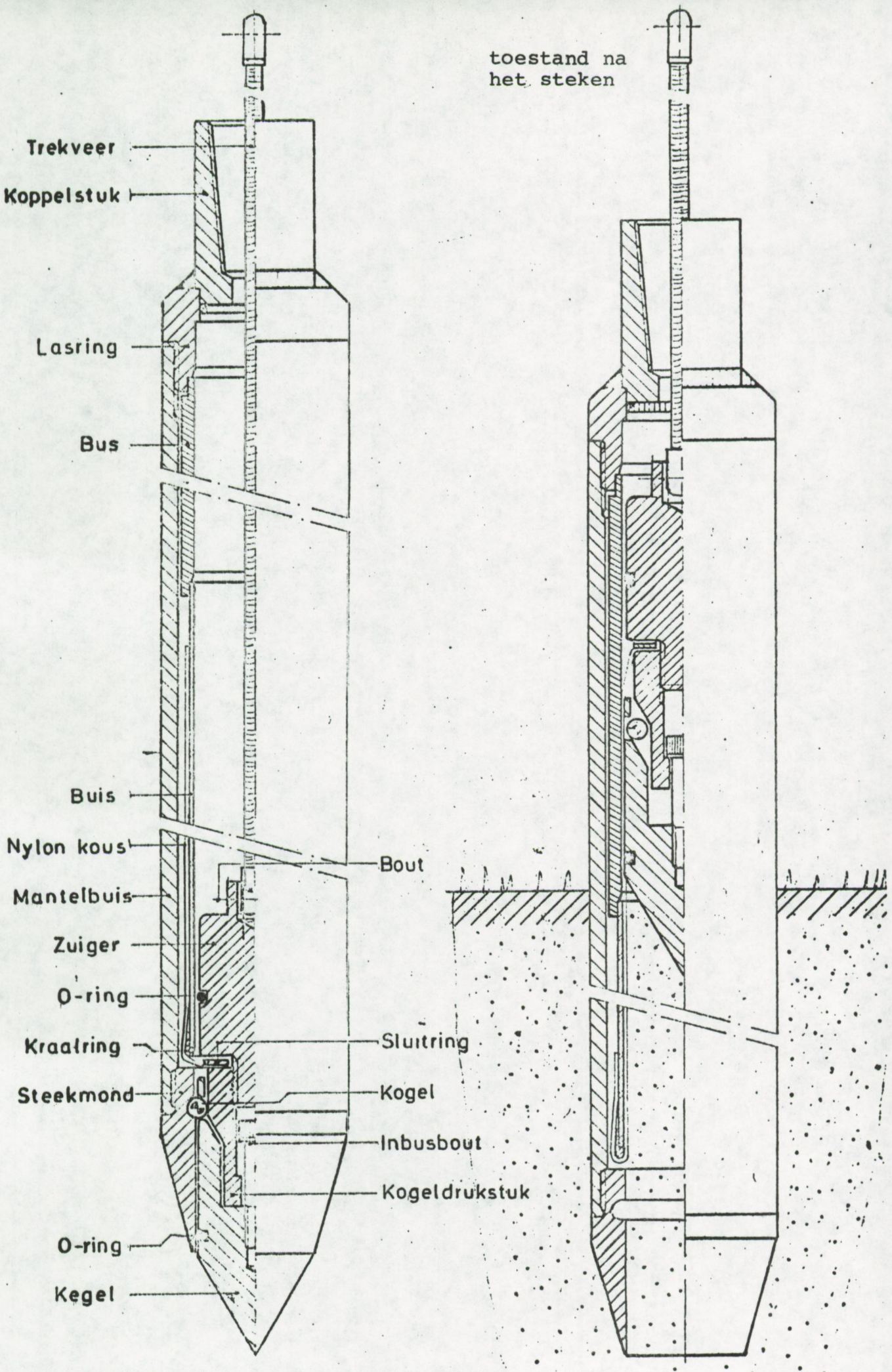



Fig. 2 - Steekapparaat Mostap Ø 35

(naar techn. dok. A.P. v.d. Berg)




fijn tot zeer fijn zand

middelmatig zand

middelmatig grof tot 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

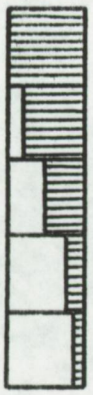
zandhoudende klei

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)

veen met veel bijmenging (klei, leem of zand)

veenhoudend, humushoudend

weinig veenhoudend, weinig humushoudend

Fig. 3 - Legende boorprofielen

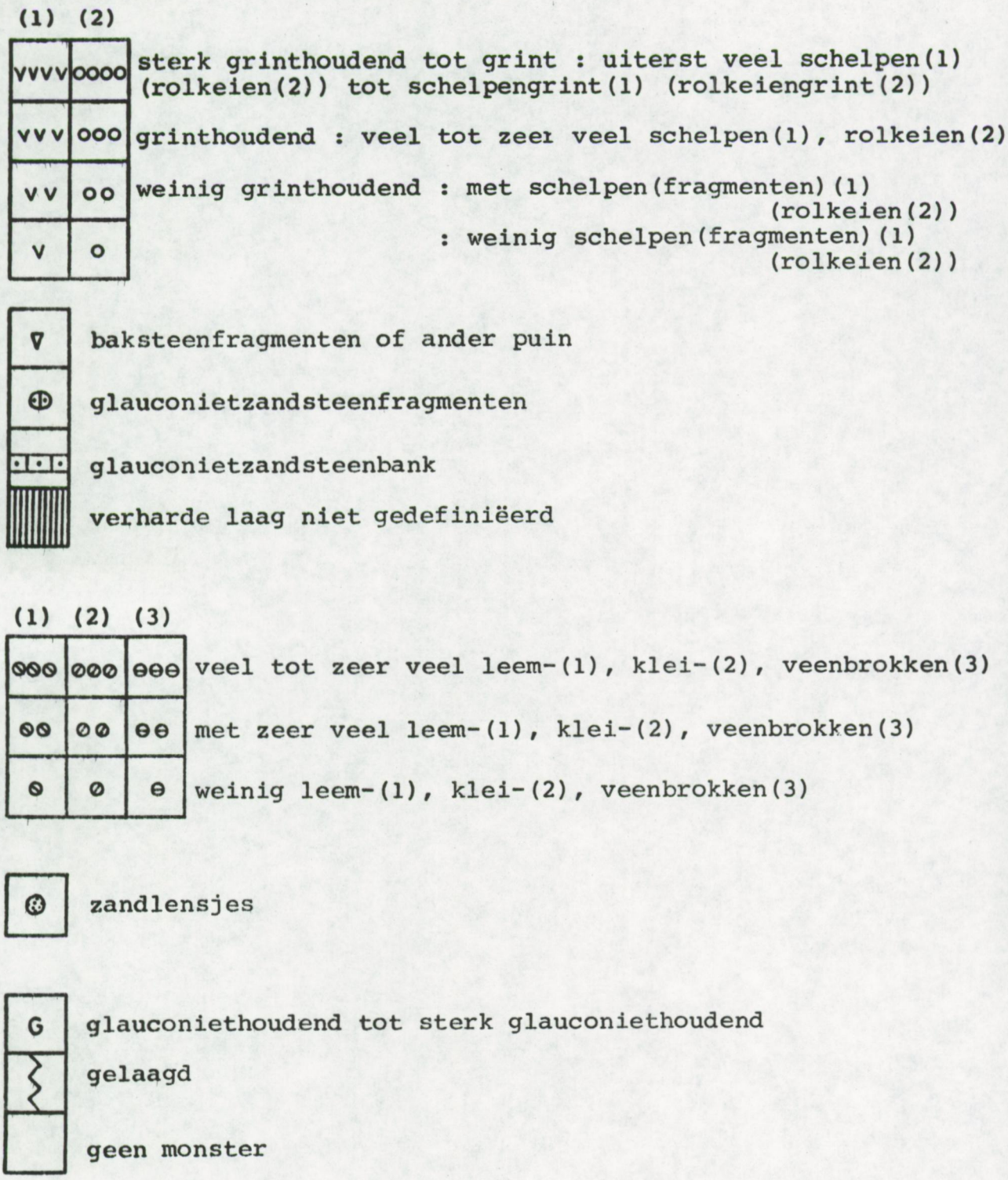
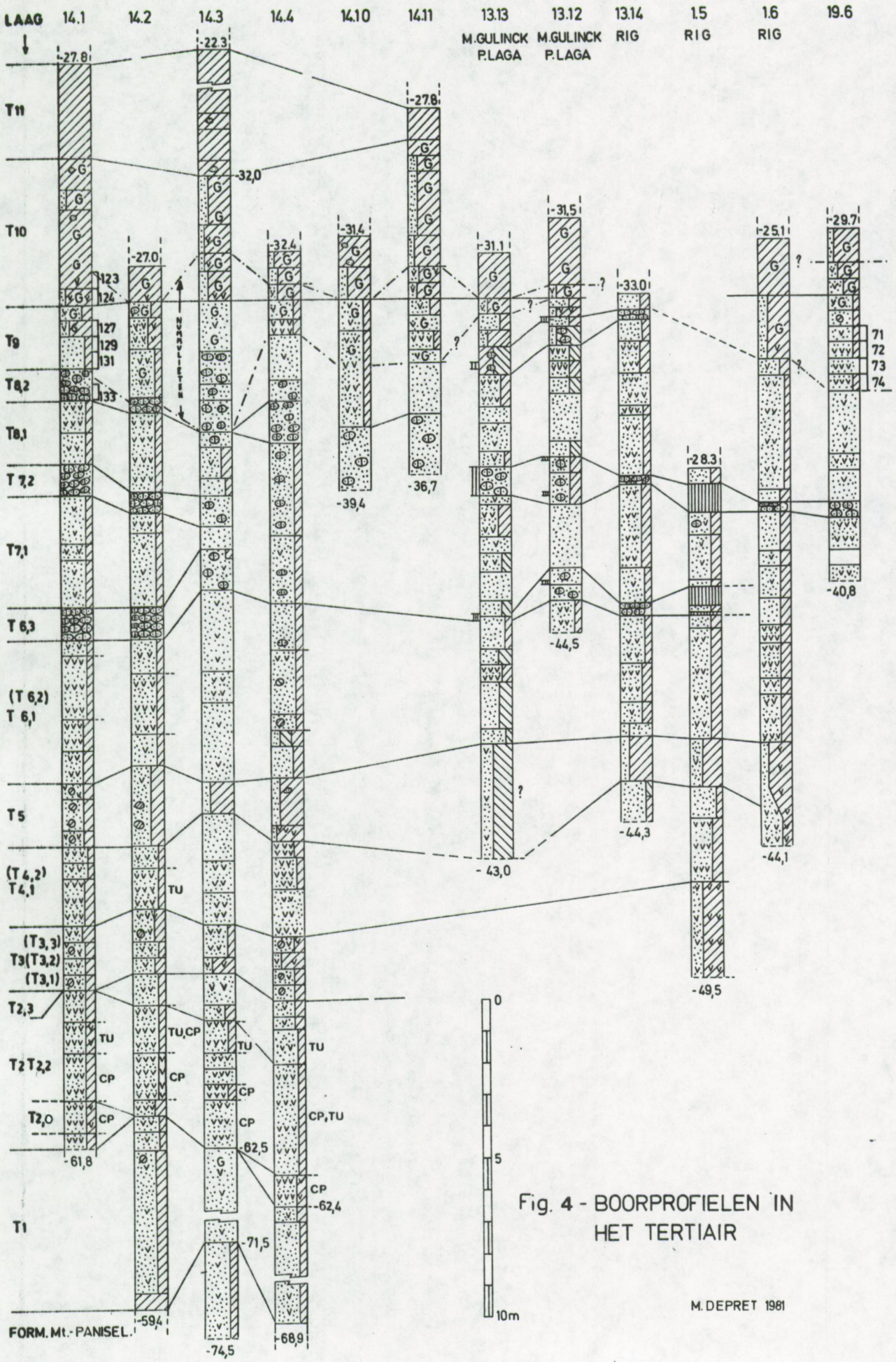



Fig. 3 - Legende boorprofielen (vervolg)


LAAG
14.1
14.2
14.3
14.4
14.10
14.11
13.13 M.GULINCK P.LAGA
13.12 M.GULINCK P.LAGA
13.14 RIG
1.5 RIG
1.6 RIG
19.6
T11
T10
T9
T8,2
T8,1
T 7,2
T7,1
T 6,3
(T 6,2)
T 6,1
T5
(T 4,2)
T 4,1
(T3,3)
T3(T3,2)
(T3,1)
T2,3
T2 T2,2
T2,0
T1
-27.8
-22.3
-27.8
-32,0
-27.0
-32.4
-31.4
-31.1
-31,5
-33.0
-25.1
-29.7
-28.3
-39,4
-36,7
-44,5
-40,8
-43,0
-44,3
-44,1
-49,5
-61,8
-62,5
-62,4
-71,5
-59,4
-74,5
-68,9
123
124
127
129
131
133
NUMMULITEN
TU
CP
TU,CP
CP,TU
71
72
73
74
FORM. Mt.-PANISEL.
0
5
10m
Fig. 4 - BOORPROFIELEN IN HET TERTIAIR
M. DEPRET 1981

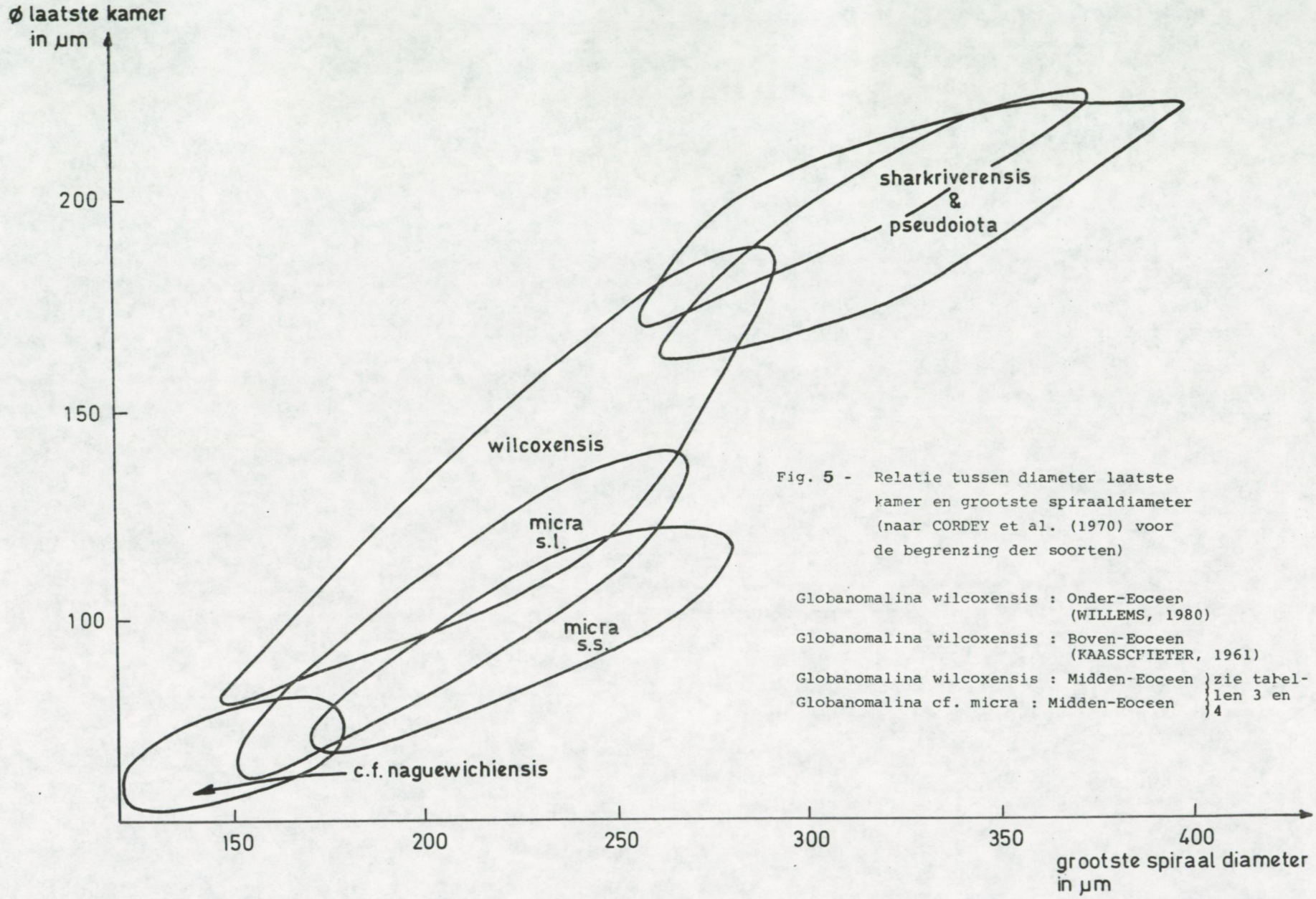



Fig. 5 - Relatie tussen diameter laatste kamer en grootste spiraaldiameter (naar CORDEY et al. (1970) voor de begrenzing der soorten)

Globanomalina wilcoxensis : Onder-Eoceen (WILLEMS, 1980)

Globanomalina wilcoxensis : Boven-Eoceen (KAASSCHIETER, 1961)

Globanomalina wilcoxensis : Midden-Eoceen } zie tabellen 3 en 4

Globanomalina cf. micra : Midden-Eoceen }

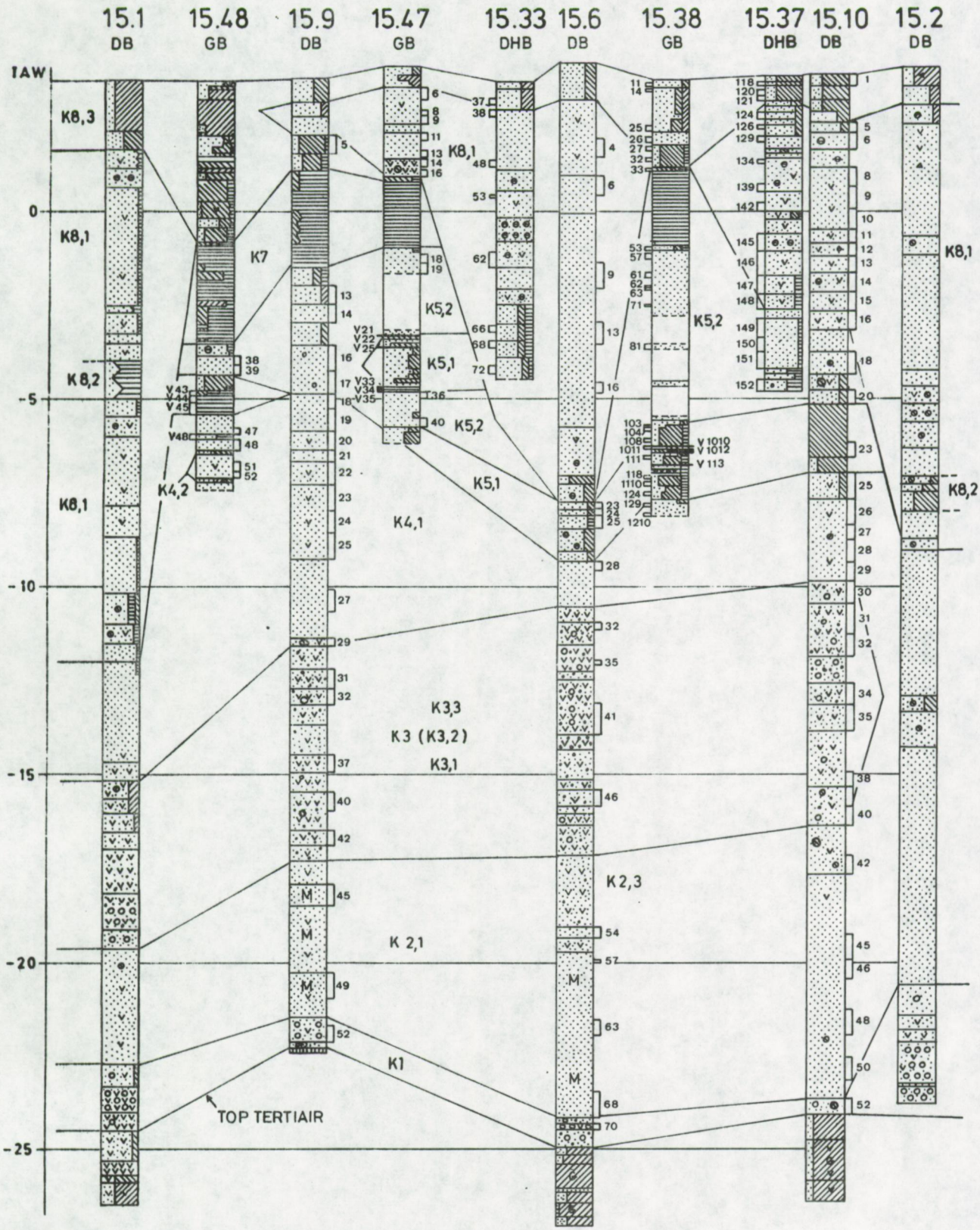



Fig. 6 - BOORPROFIELEN IN HET KWARTAIR (NOORDELIJK DEEL VAN HET STUDIEGEBIED)

M. DEPRET 1981

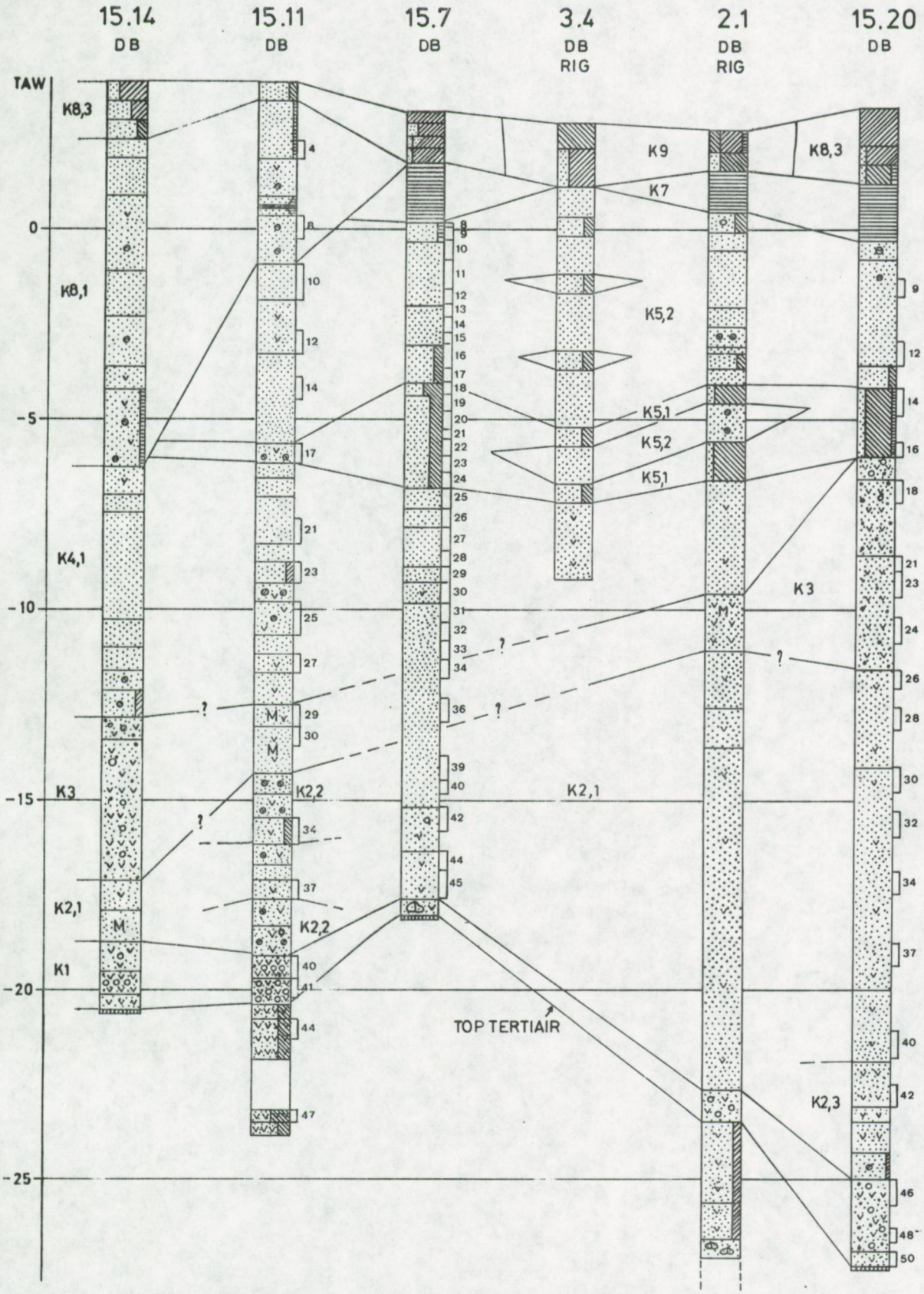



Fig. 7 - BOORPROFIELEN IN HET KWARTAIR ( ZUIDELIJK DEEL VAN HET STUDIEGEBIED)

M. DEPRET 1981

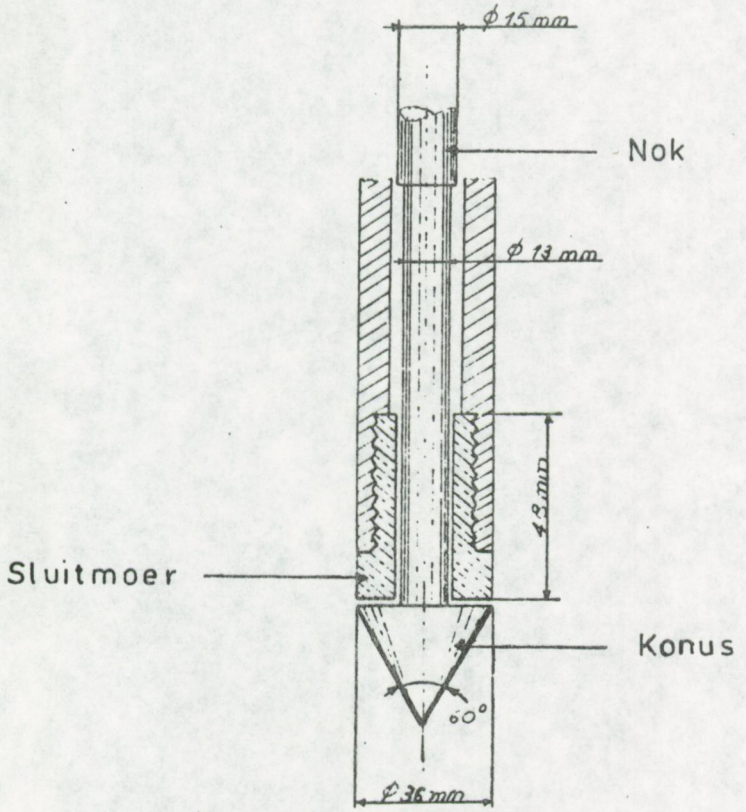



Fig. 8 - Gewone konus met sluitmoer

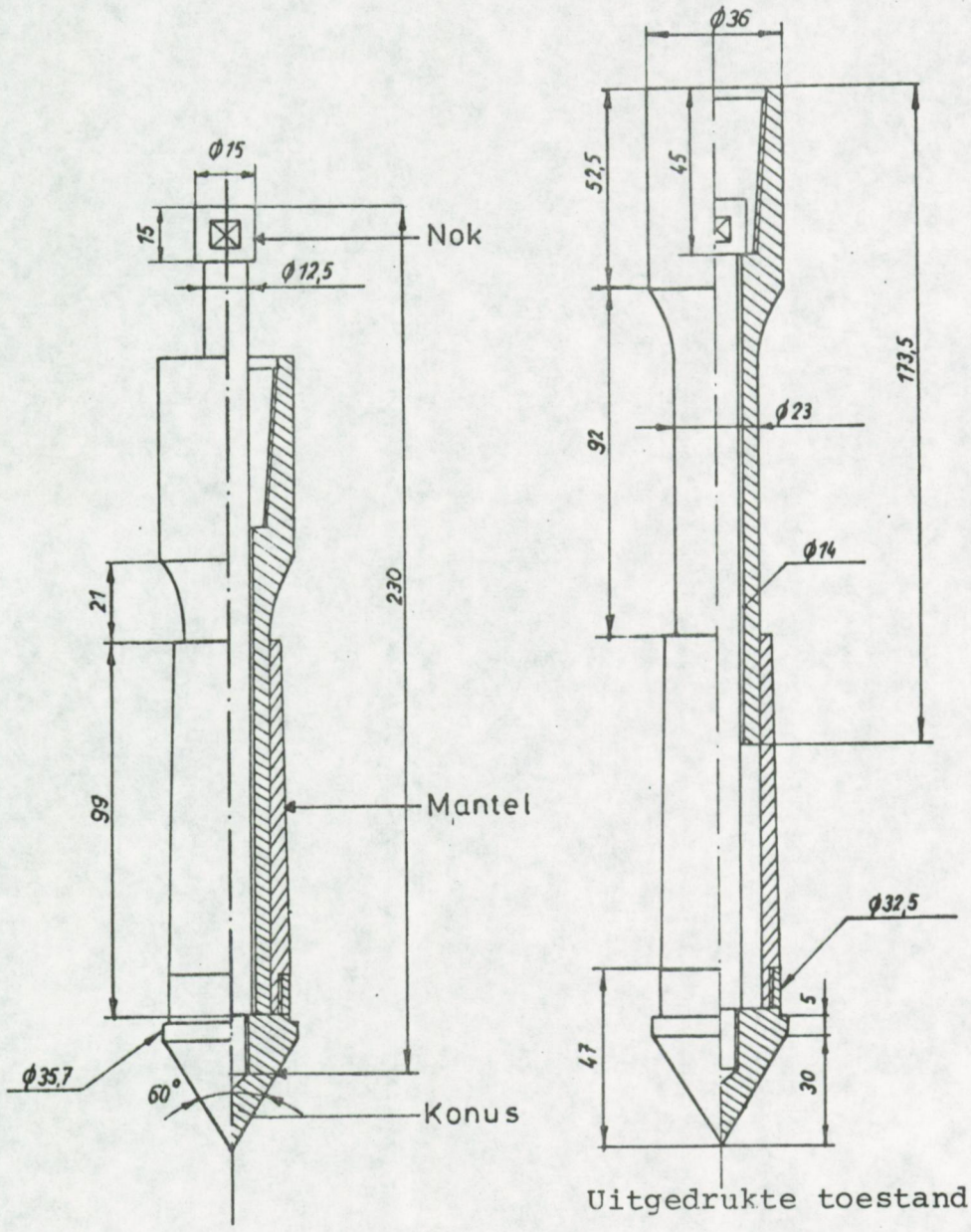



Fig. 9 - Mantelkonus

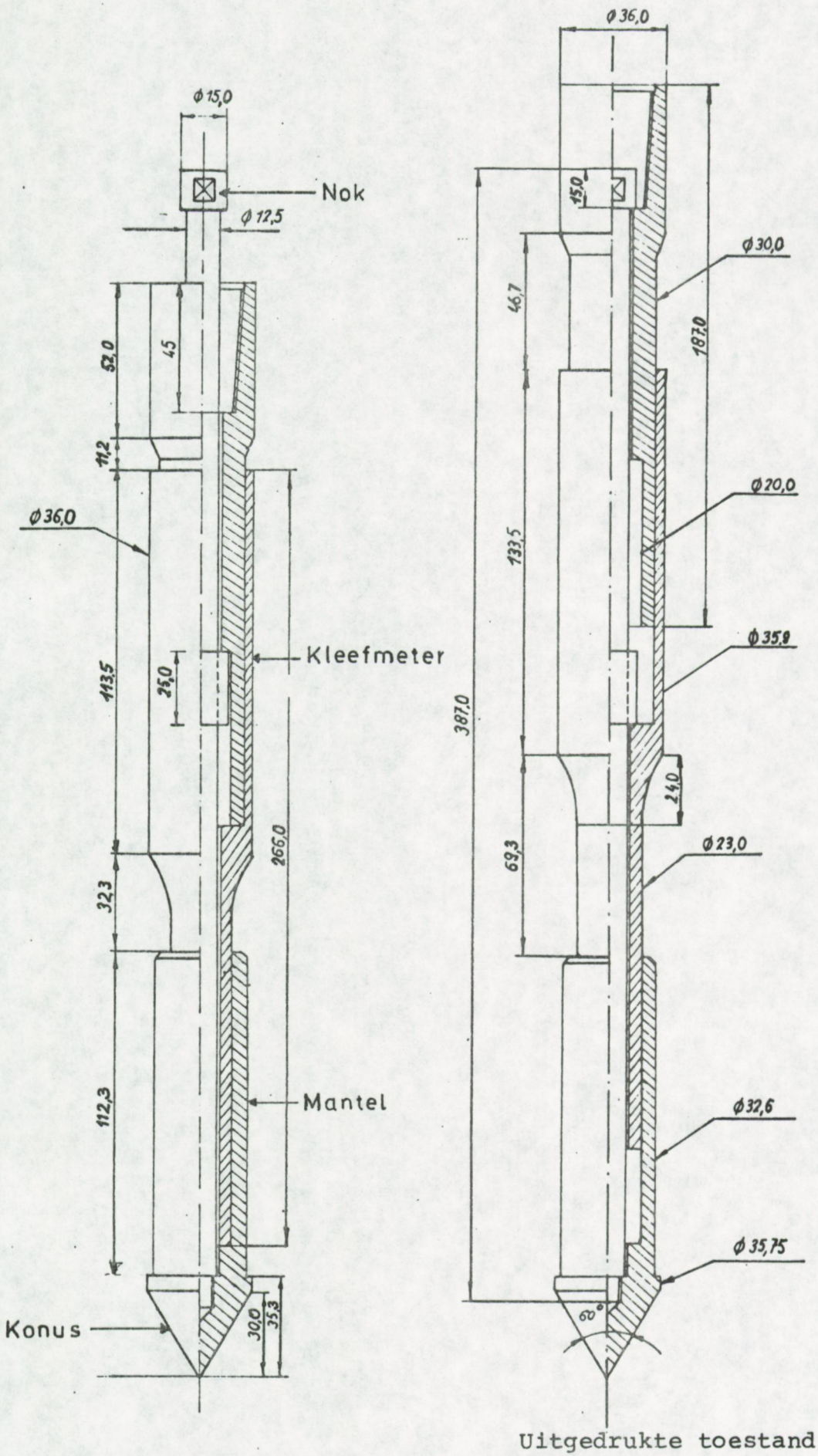



Fig. 10 - Kleefmantelkonus

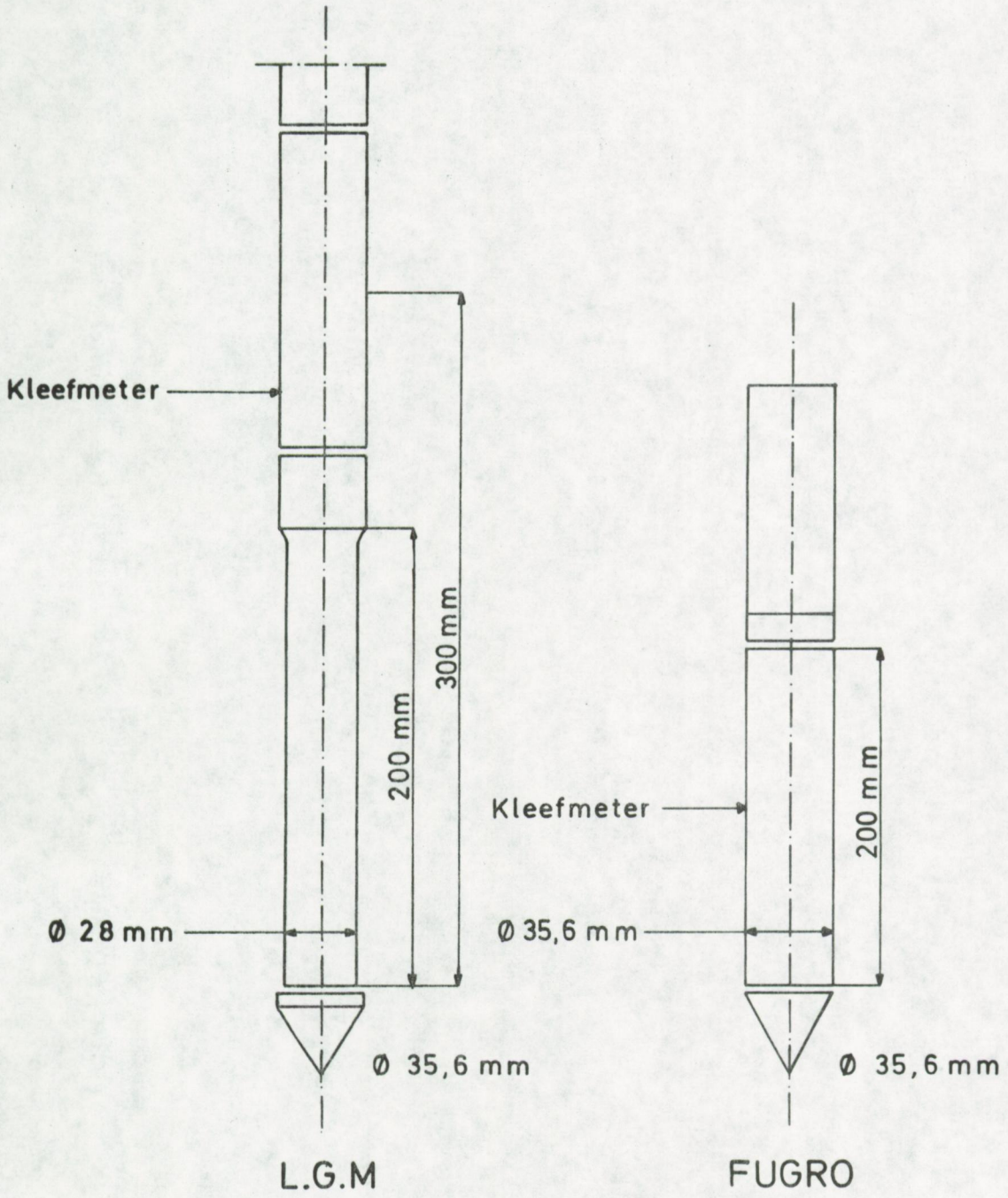



Fig. 11 -Elektrische konussen

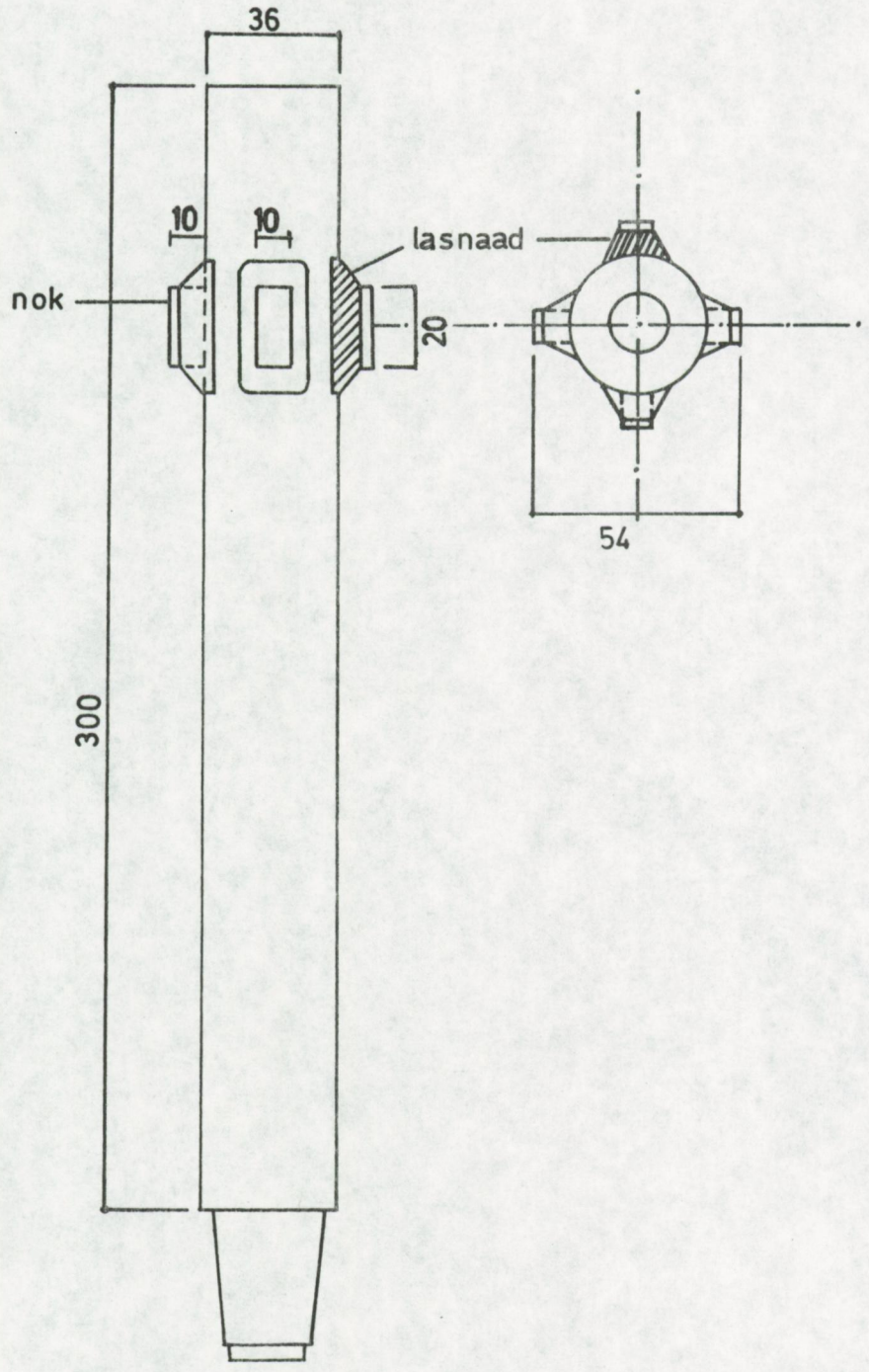



Fig. 12 - Nokkenkleefvanger

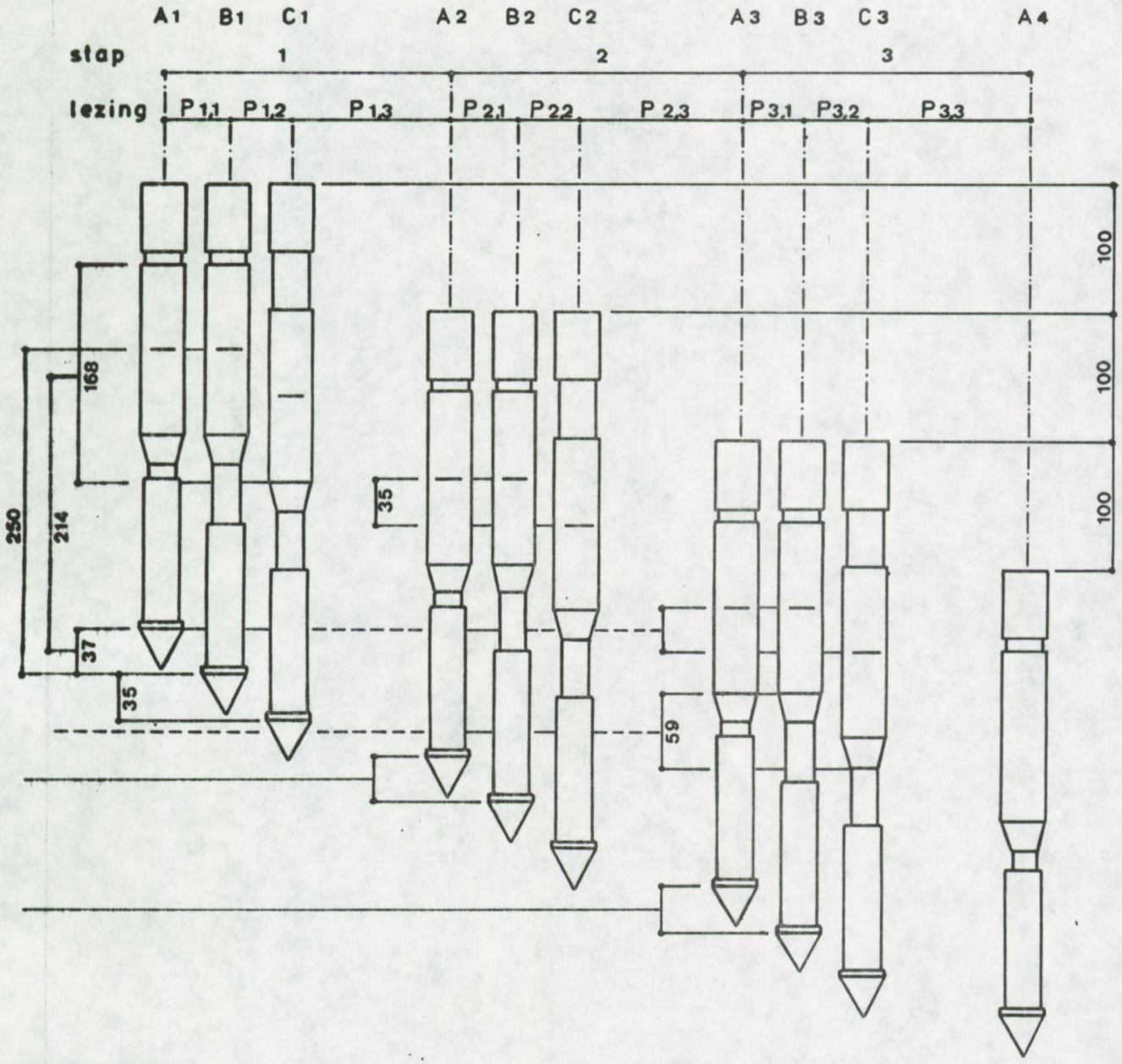



Fig. 13a - Beweging van de konusdelen bij het meten in stappen van 10 cm

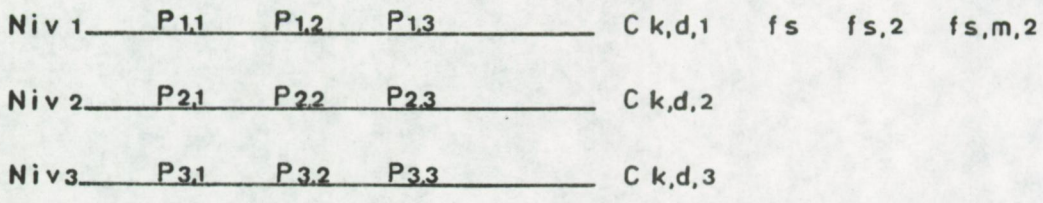



Fig 13b - Verband lezingen - weerstanden - niveaus

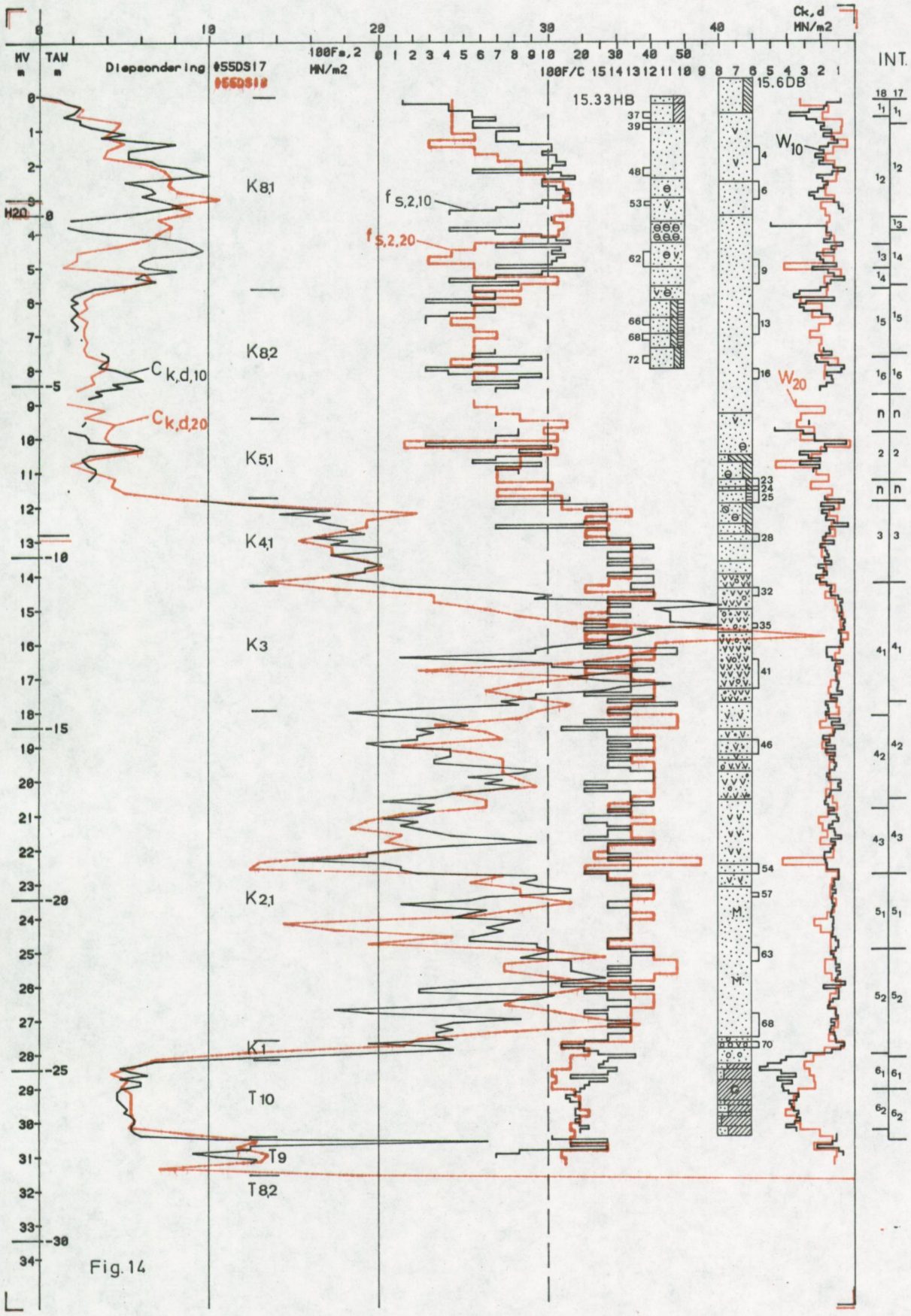

Ck,d MN/m2
MV m
TAW m
Diepsondering 55DS17
55DS18
100Fs,2 MN/m2
100F/C
15.33HB
15.6DB
INT.
H20
K8,1
K8,2
K5,1
K4,1
K3
K2,1
K1
T10
T9
T8,2
fs,2,10
fs,2,20
Ck,d,10
Ck,d,20
W10
W20

Fig. 14

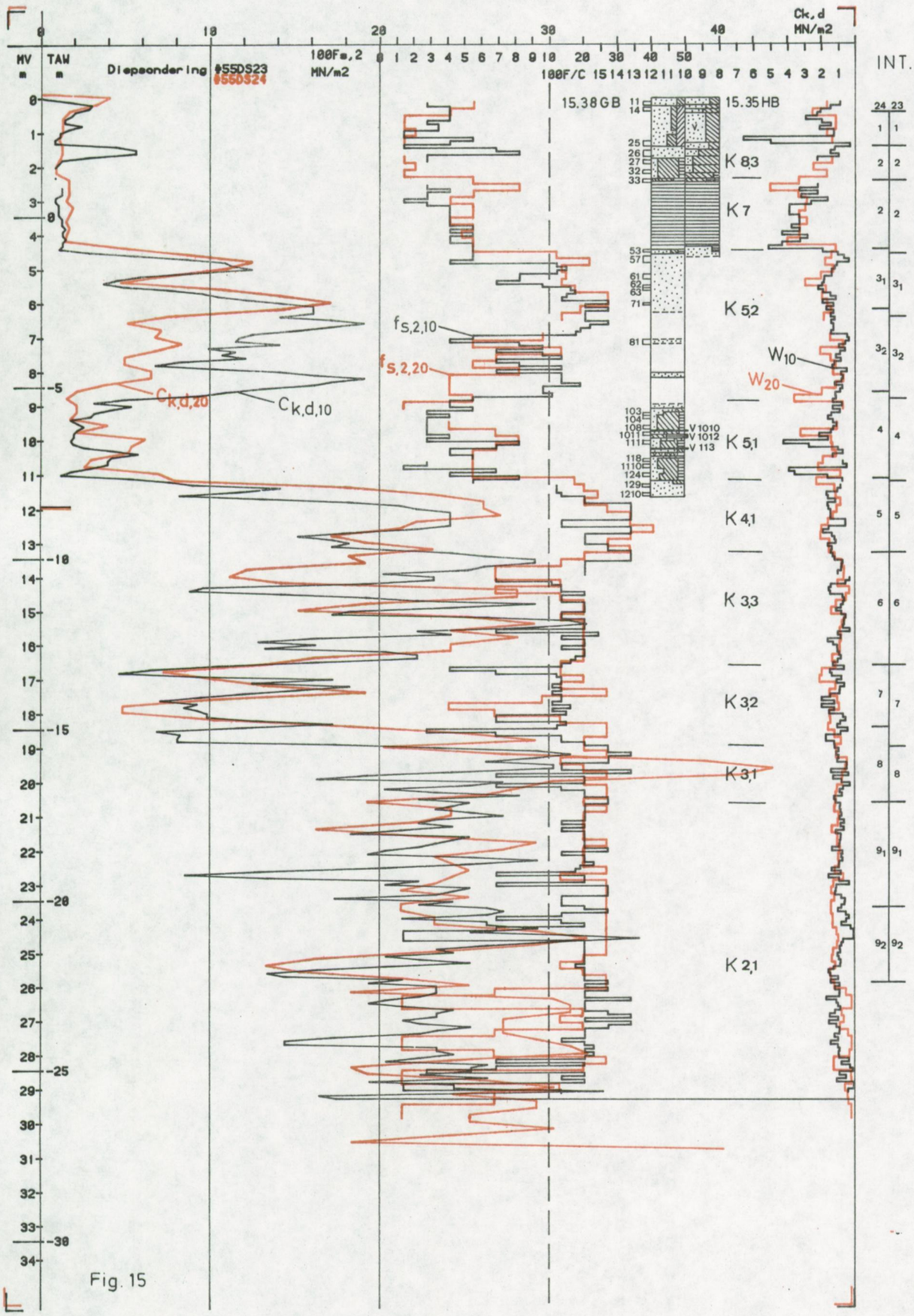

Ck,d
MN/m2
INT.
MV
m
TAW
m
Diepsondering 655DS23
655DS24
100Fs,2
MN/m2
100F/C
15.38GB
15.35HB
K 8,3
K 7
K 5,2
K 5,1
K 4,1
K 3,3
K 3,2
K 3,1
K 2,1
fs,2,10
fs,2,20
Ck,d,20
Ck,d,10
W10
W20
V 1010
V 1012
V 113

Fig. 15

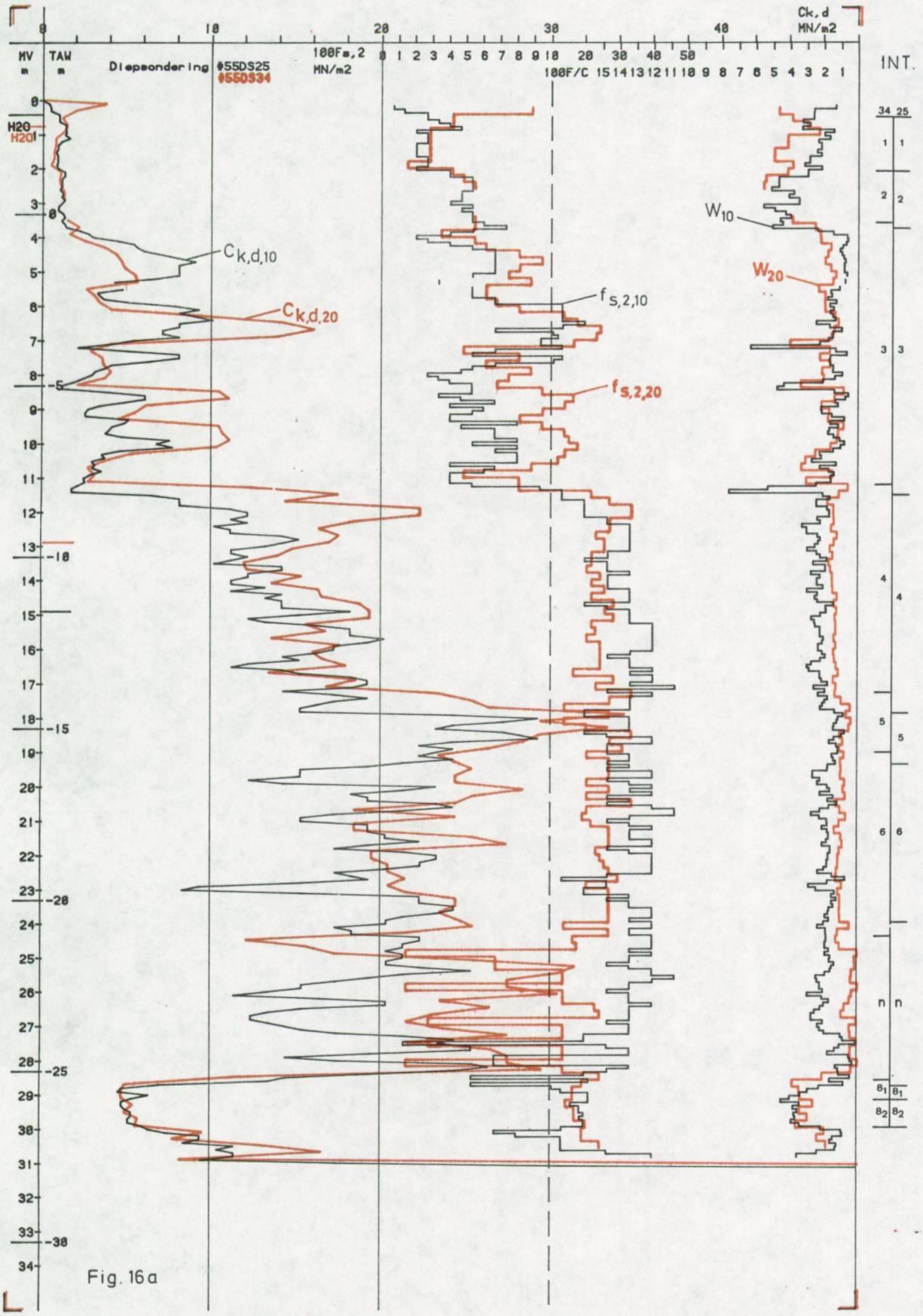

Ck,d
MN/m2
MV
m
TAW
m
Diepsondering #55DS25
#55DS34
100Fs,2
MN/m2
100F/C
INT.
H20
H20
Ck,d,10
Ck,d,20
fs,2,10
fs,2,20
W10
W20

Fig. 16a

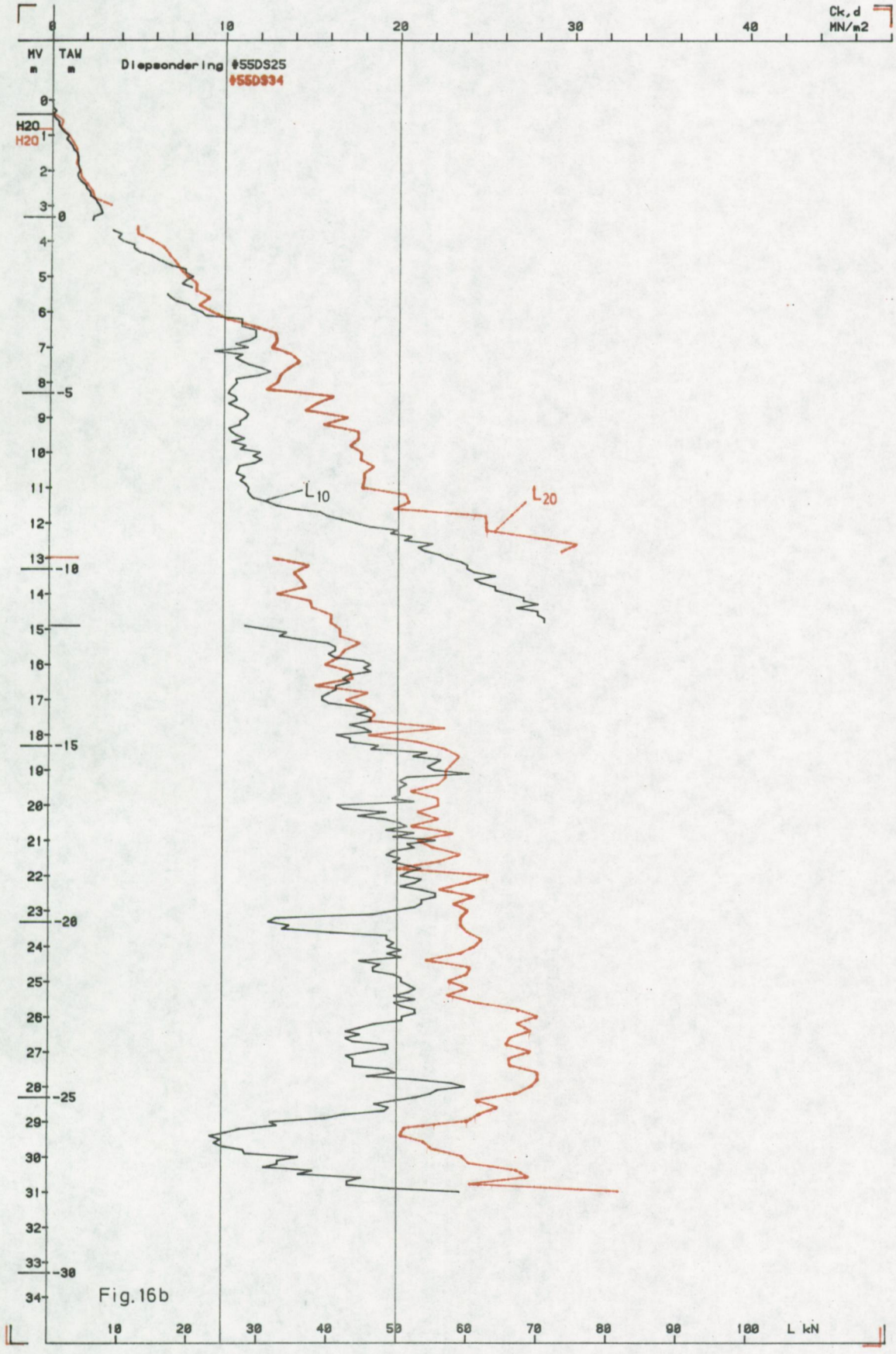

Ck,d
MN/m2
MV
m
TAW
m
Diepsondering #55DS25
#55DS34
H20
H20
L10
L20
L kN

Fig. 16b

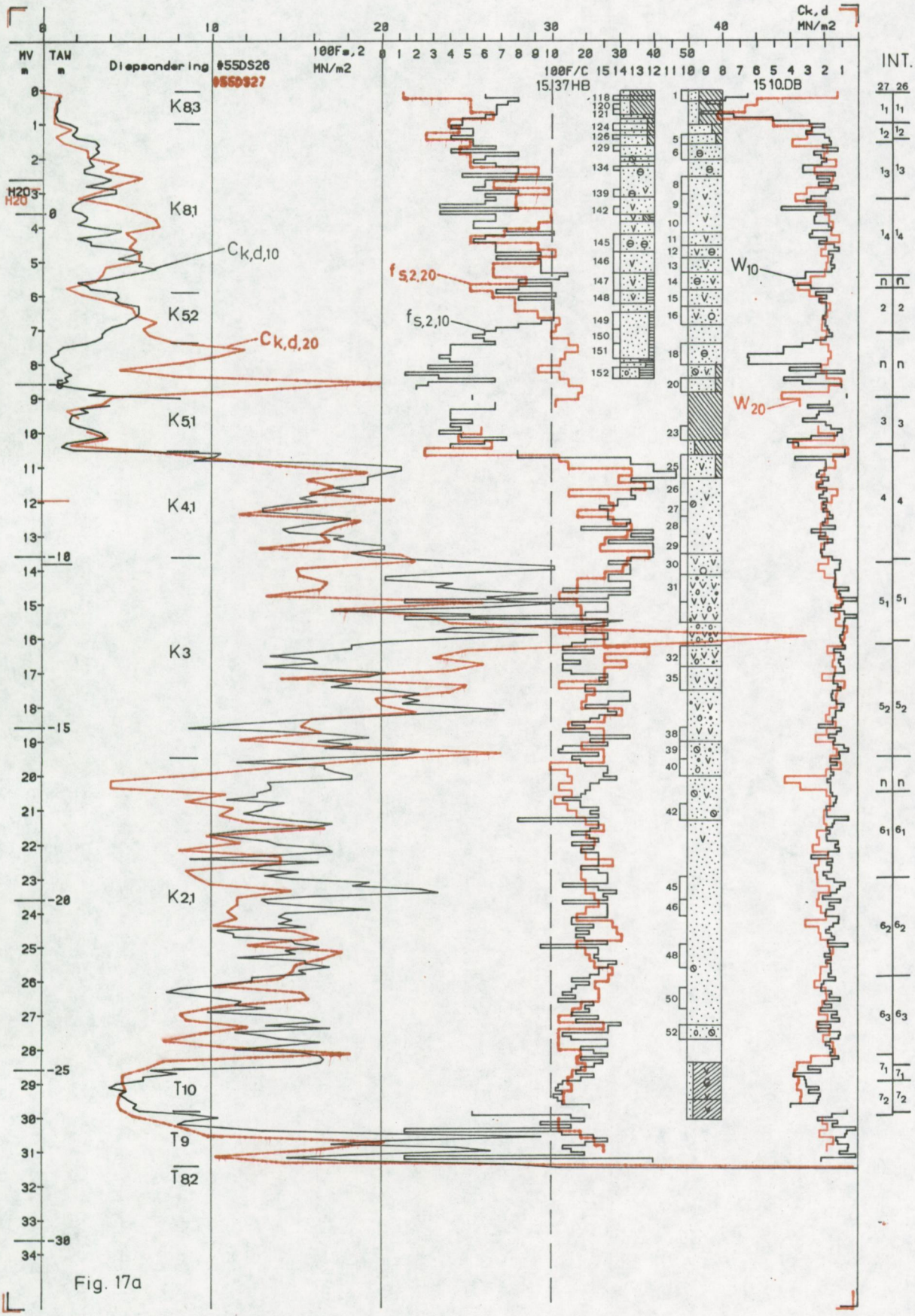

Ck,d MN/m2
MV m
TAW m
Diepsondering 655DS26
655DS27
100Fs,2 MN/m2
100F/C 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
15.37HB
1510.DB
INT.
K8,3
K8,1
K5,2
K5,1
K4,1
K3
K2,1
T10
T9
T8,2
H2O
Ck,d,10
Ck,d,20
fs,2,20
fs,2,10
W10
W20

Fig. 17a

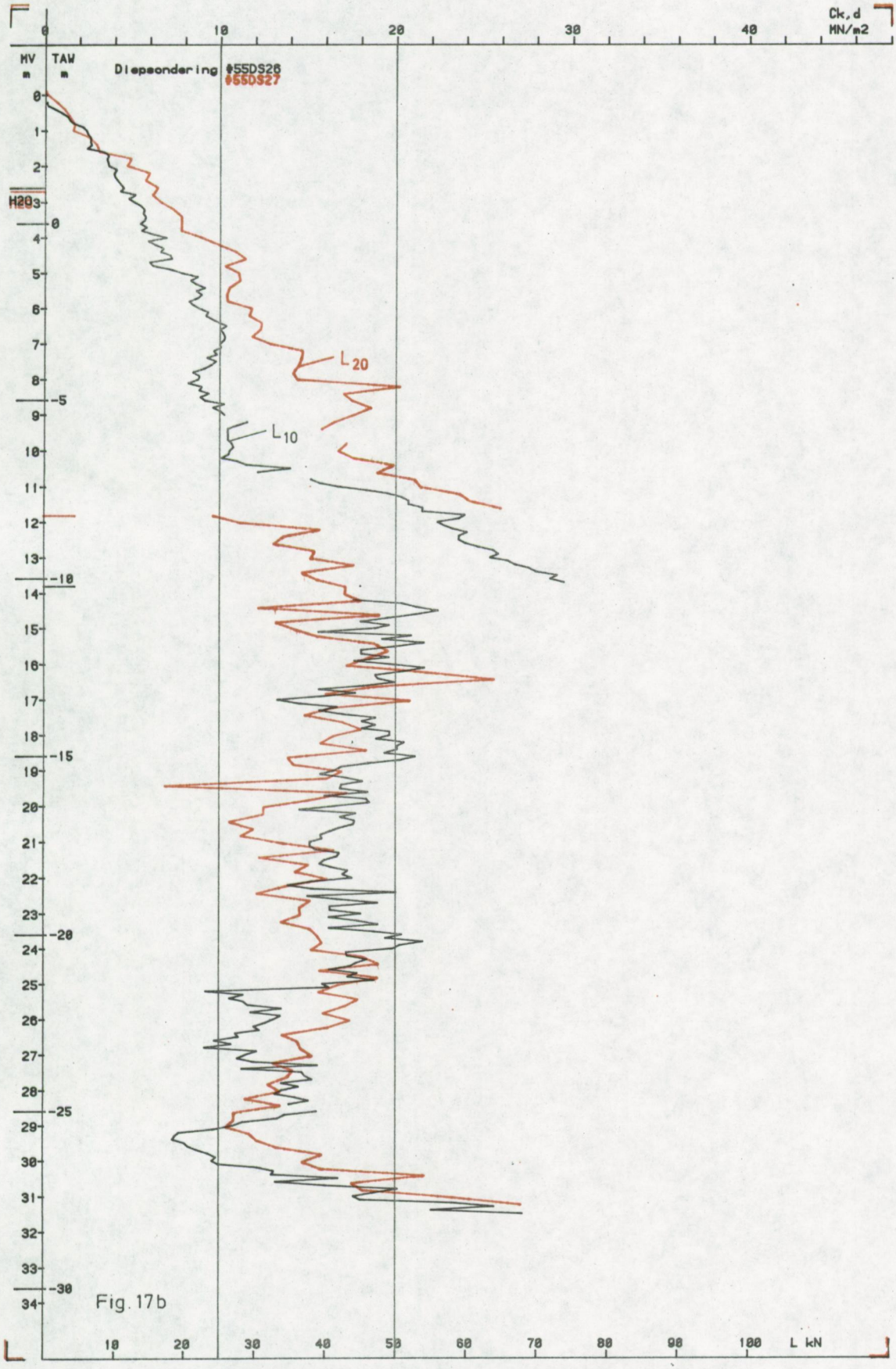

Ck,d
MN/m2
0
10
20
30
40
MV
m
TAW
m
Diepsondering 55DS26
55DS27
H20
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
L20
L10
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
L kN

Fig. 17b

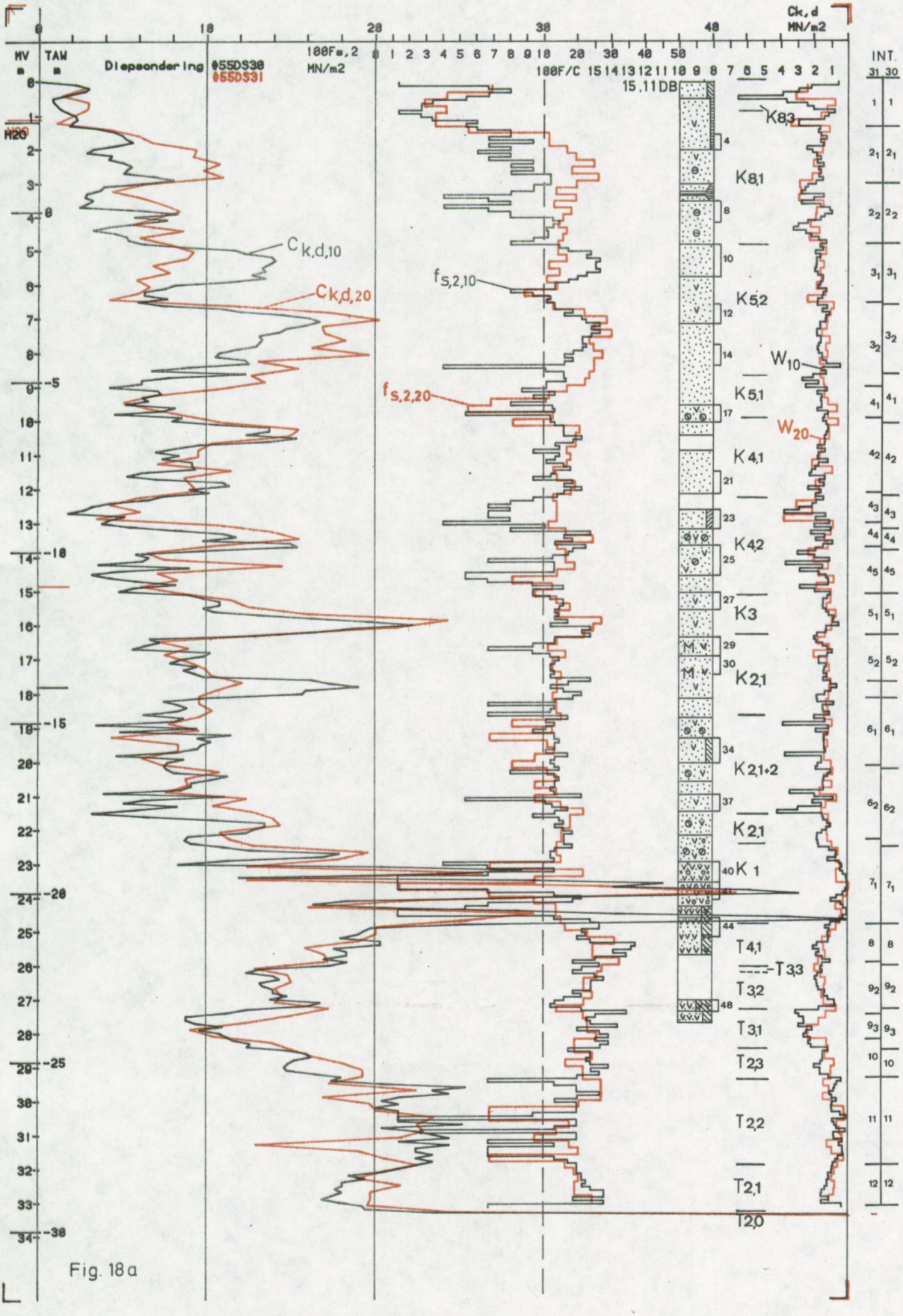

MV m
TAW m
Diepsondering Ø55DS30
Ø55DS31
100Fs,2 MN/m2
100F/C 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
15.11DB
Ck,d MN/m2
INT.
Ck,d,10
Ck,d,20
fs,2,10
fs,2,20
K8,3
K8,1
K5,2
K5,1
K4,1
K4,2
K3
K2,1
K2,1+2
K2,1
K 1
T4,1
T3,3
T3,2
T3,1
T2,3
T2,2
T2,1
T2,0
W10
W20

Fig. 18a

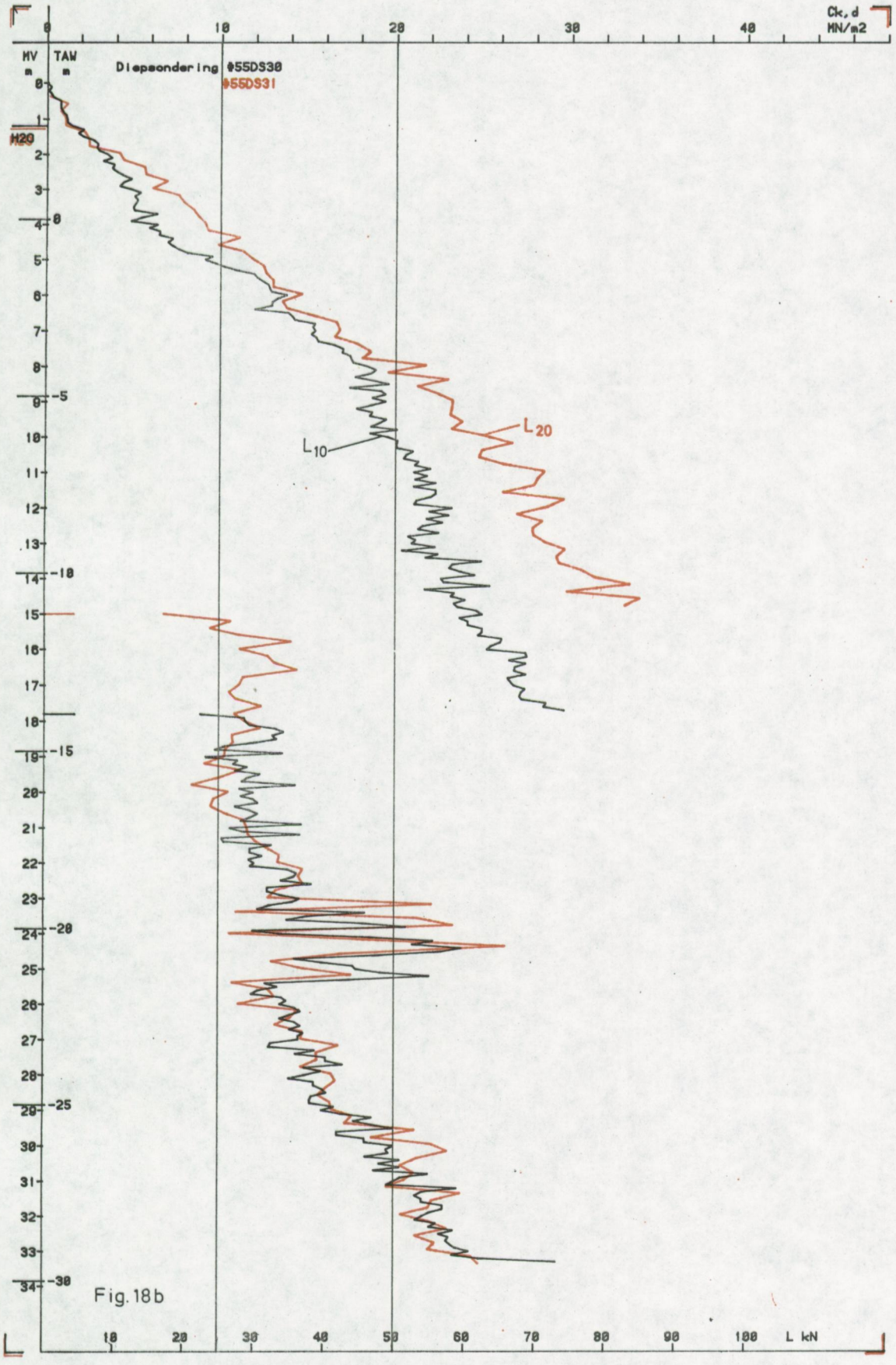

Ck,d
MN/m2
0
10
20
30
40
MV
m
TAW
m
Diepsondering Φ55DS30
Φ55DS31
M20
-5
-10
-15
-20
-25
-30
L20
L10
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
L kN

Fig. 18b

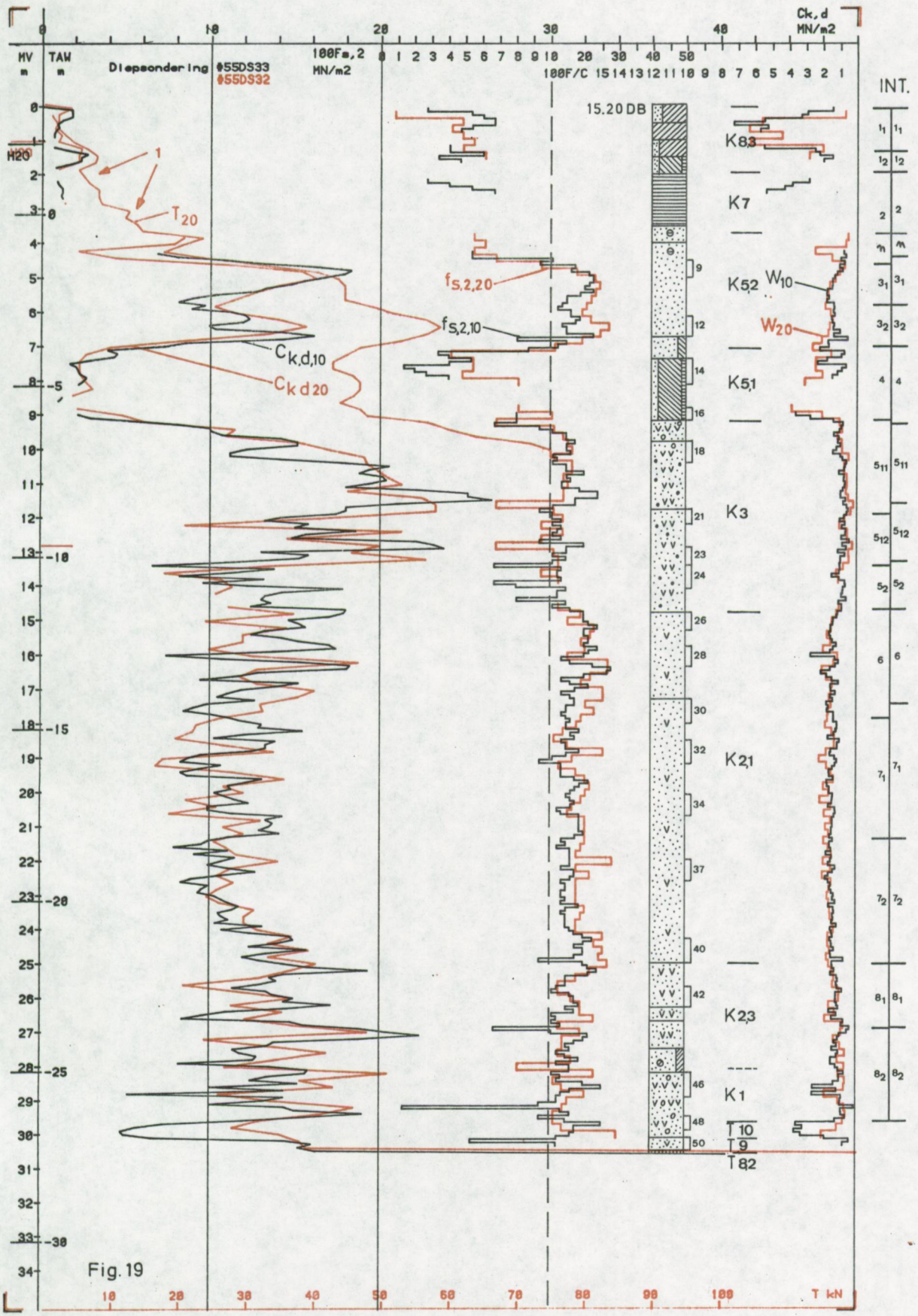
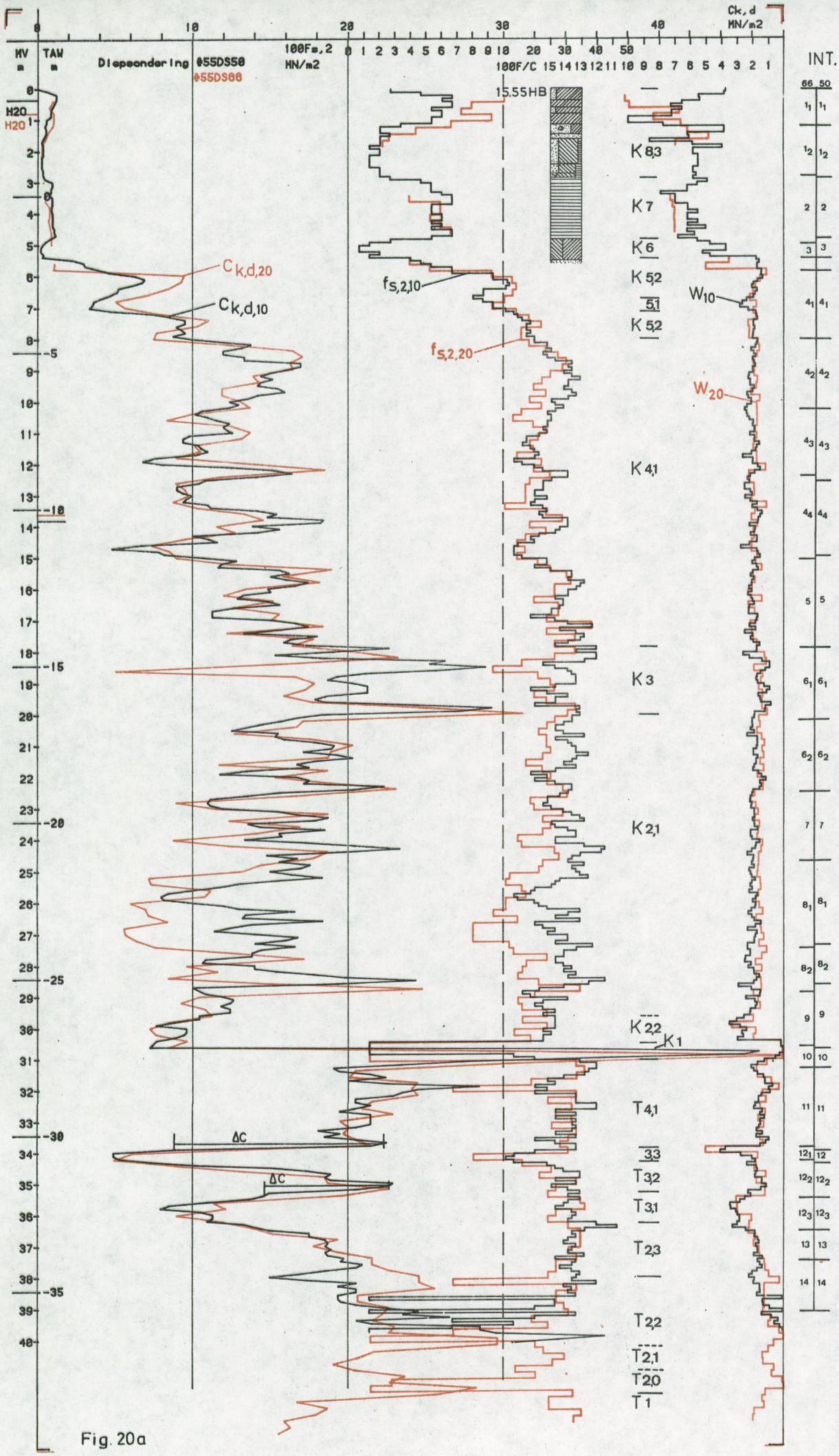

Ck,d MN/m2
MV m
TAW m
Diepsondering Ø55DS33 Ø55DS32
100Fs,2 MN/m2
100F/C
15.20 DB
INT.
H20
T20
fs,2,20
fs,2,10
Ck,d,10
Ck d 20
W10
W20
K8,3
K7
K5,2
K5,1
K3
K2,1
K2,3
K1
T10
T9
T8,2
T kN

Fig. 19



MV m
TAW m
Diepsondering #55DS50
#55DS66
100Fs,2 MN/m2
100F/C
Ck,d MN/m2
INT.
15.55HB
H2O
Ck,d,20
Ck,d,10
fs,2,10
fs,2,20
W10
W20
K8,3
K7
K6
K5,2
5,1
K4,1
K3
K2,1
K2,2
K1
T4,1
3,3
T3,2
T3,1
T2,3
T2,2
T2,1
T2,0
T1
ΔC


Fig. 20a

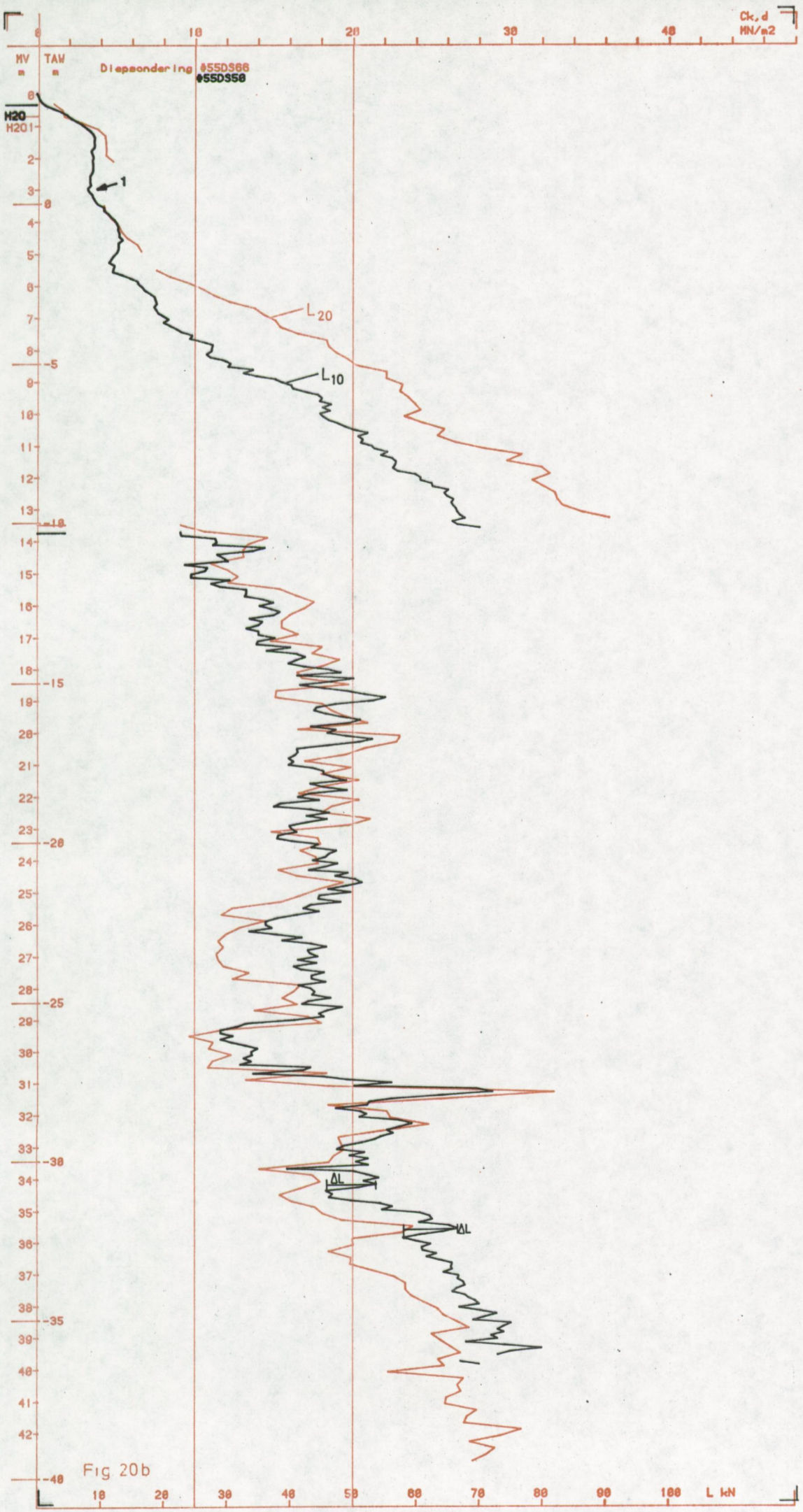
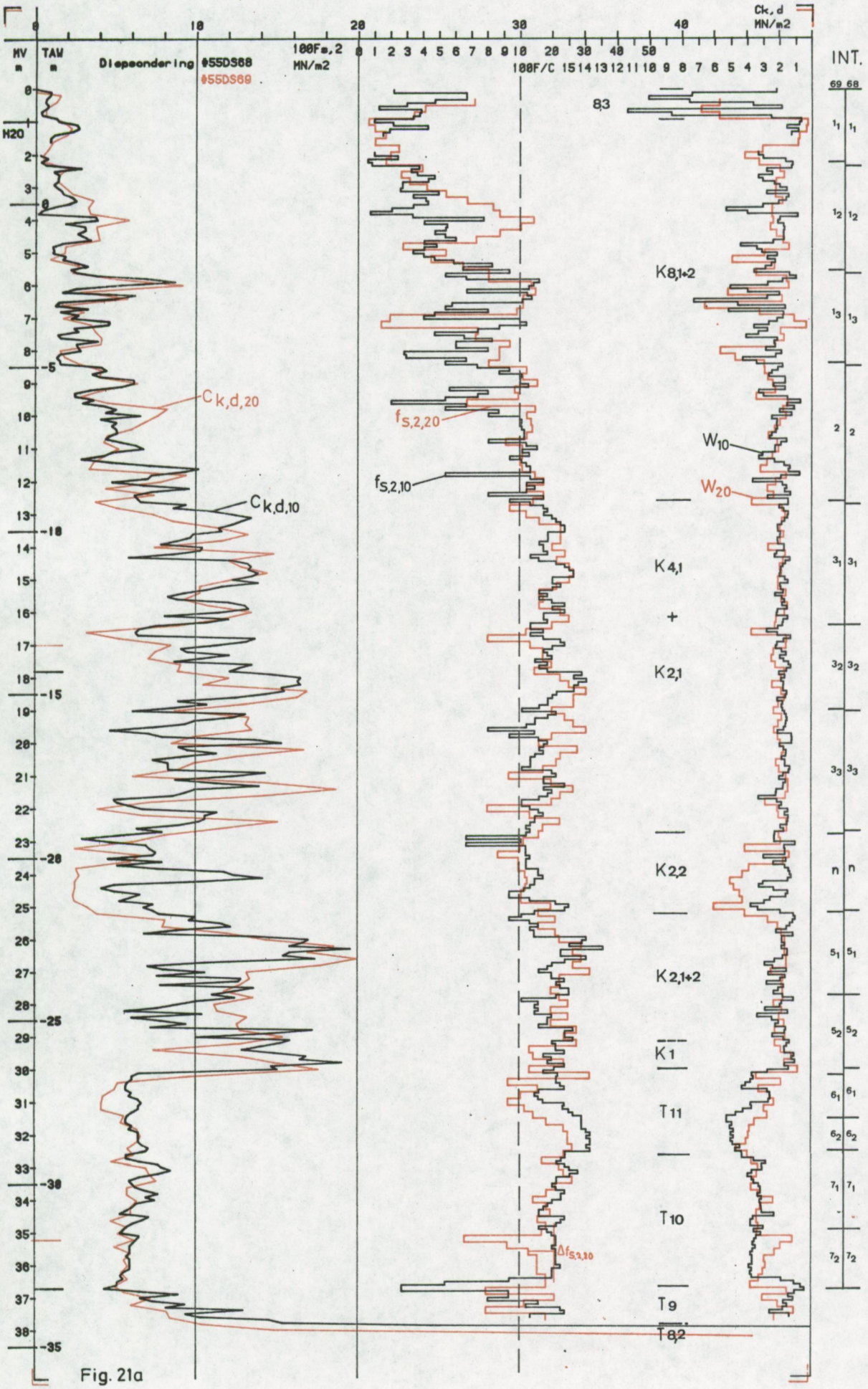
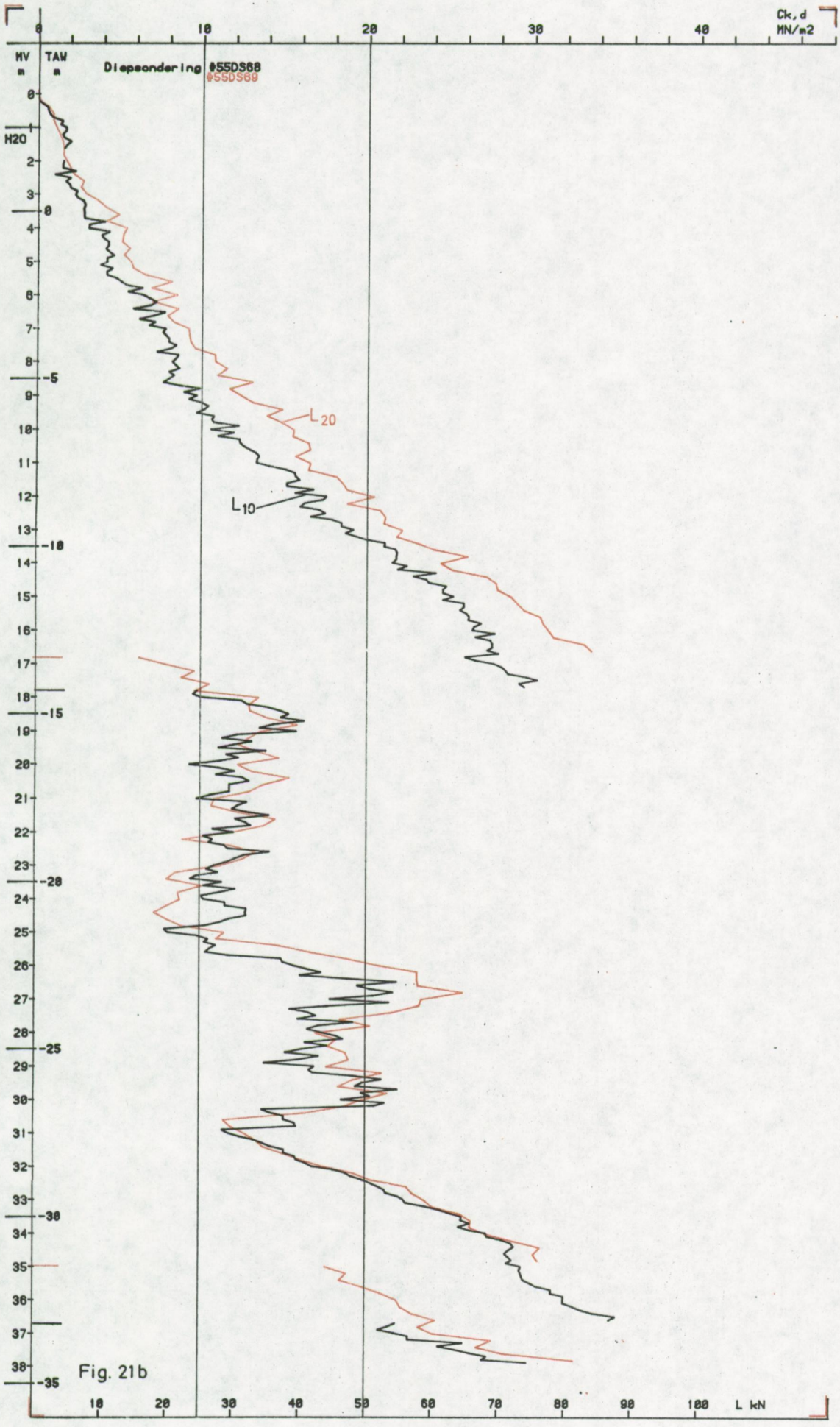

Ck,d
MN/m2
MV
m
TAW
m
Diepsondering #55DS66
#55DS58
H20
H201
1
L20
L10
ΔL
ΔL
L kN

Fig 20b



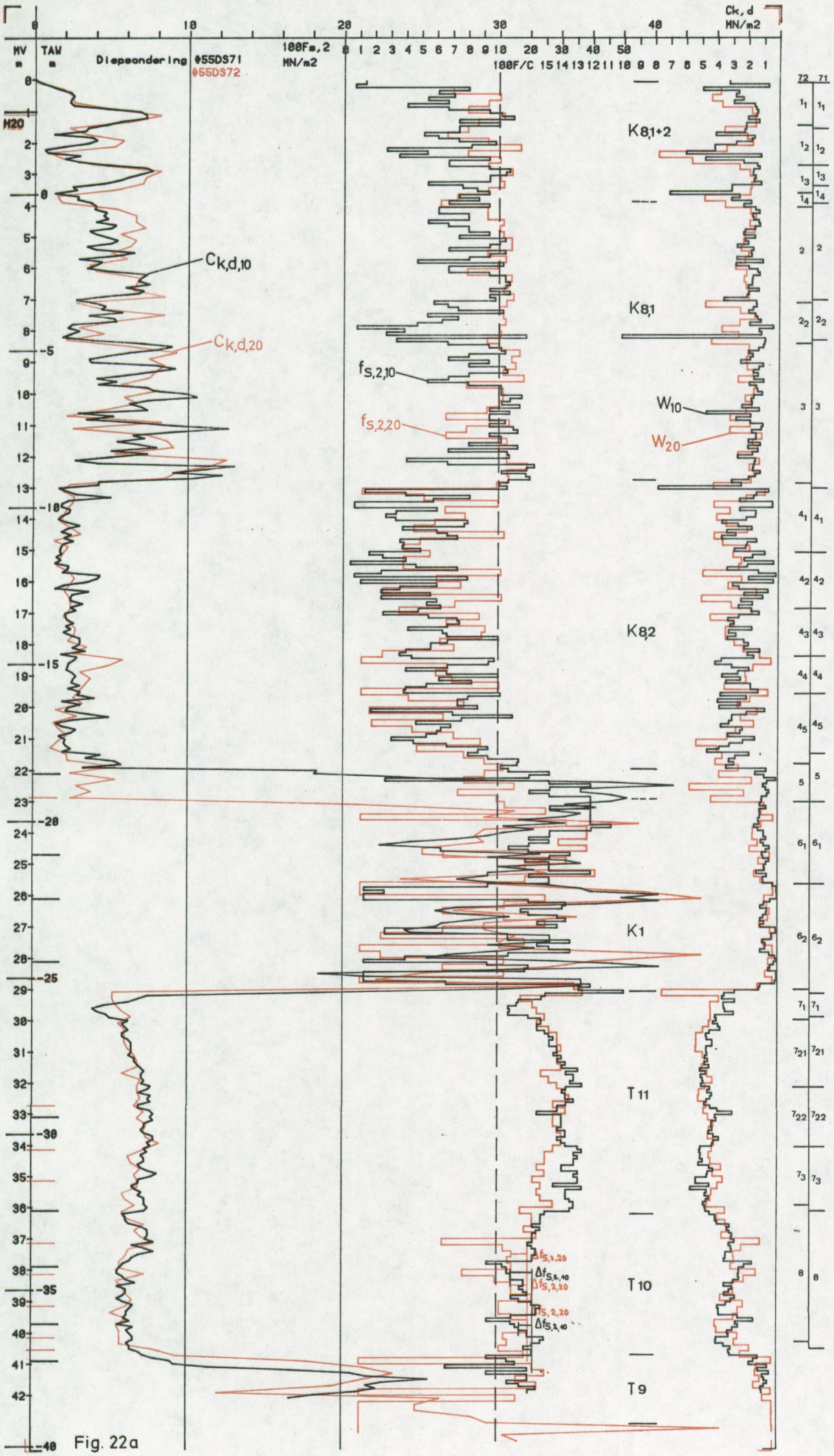
MV m
TAW m
Diepsondering
Ø55DS68
Ø55DS69
100Fs,2 MN/m2
100F/C
Ck,d MN/m2
INT.
H2O
Ck,d,20
Ck,d,10
fs,2,20
fs,2,10
Δfs,2,10
W10
W20
K8,1+2
K4,1
+
K2,1
K2,2
K2,1+2
K1
T11
T10
T9
T8,2


Fig. 21a



Ck,d
MN/m2
MV
m
TAW
m
Diepsondering #55DS68
#55DS69
H2O
L20
L10
L kN


Fig. 21b



MV m
TAW m
Diepsondering
Φ55DS71
Φ55DS72
100Fs,2 MN/m2
100F/C
Ck,d MN/m2
Ck,d,10
Ck,d,20
fs,2,10
fs,2,20
K8,1+2
K8,1
W10
W20
K8,2
K1
T11
T10
T9


Fig. 22a

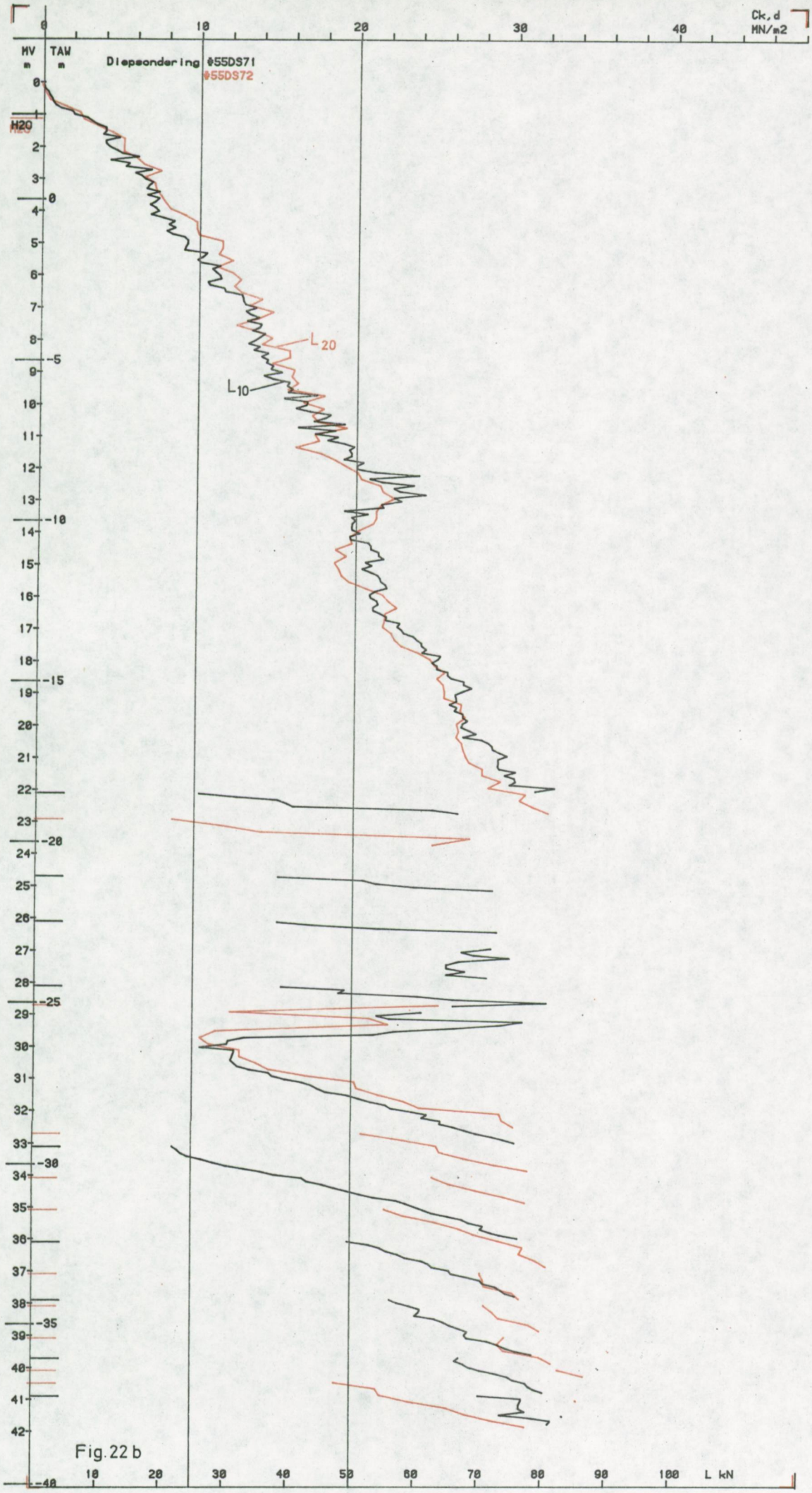

Ck,d
MN/m2
MV
m
TAW
m
Diepsondering Φ55DS71
Φ55DS72
H2O
L20
L10
L kN

Fig. 22 b

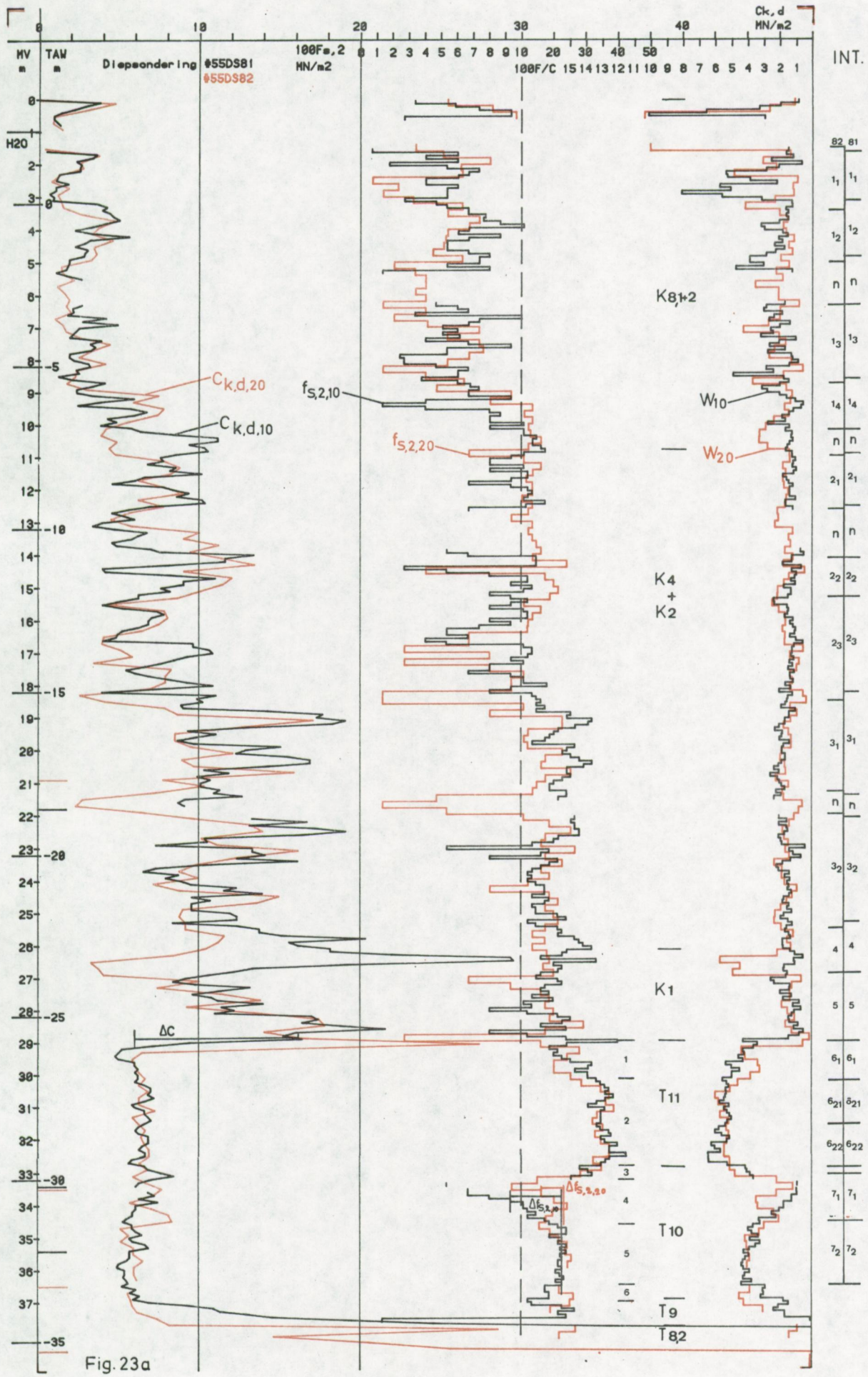
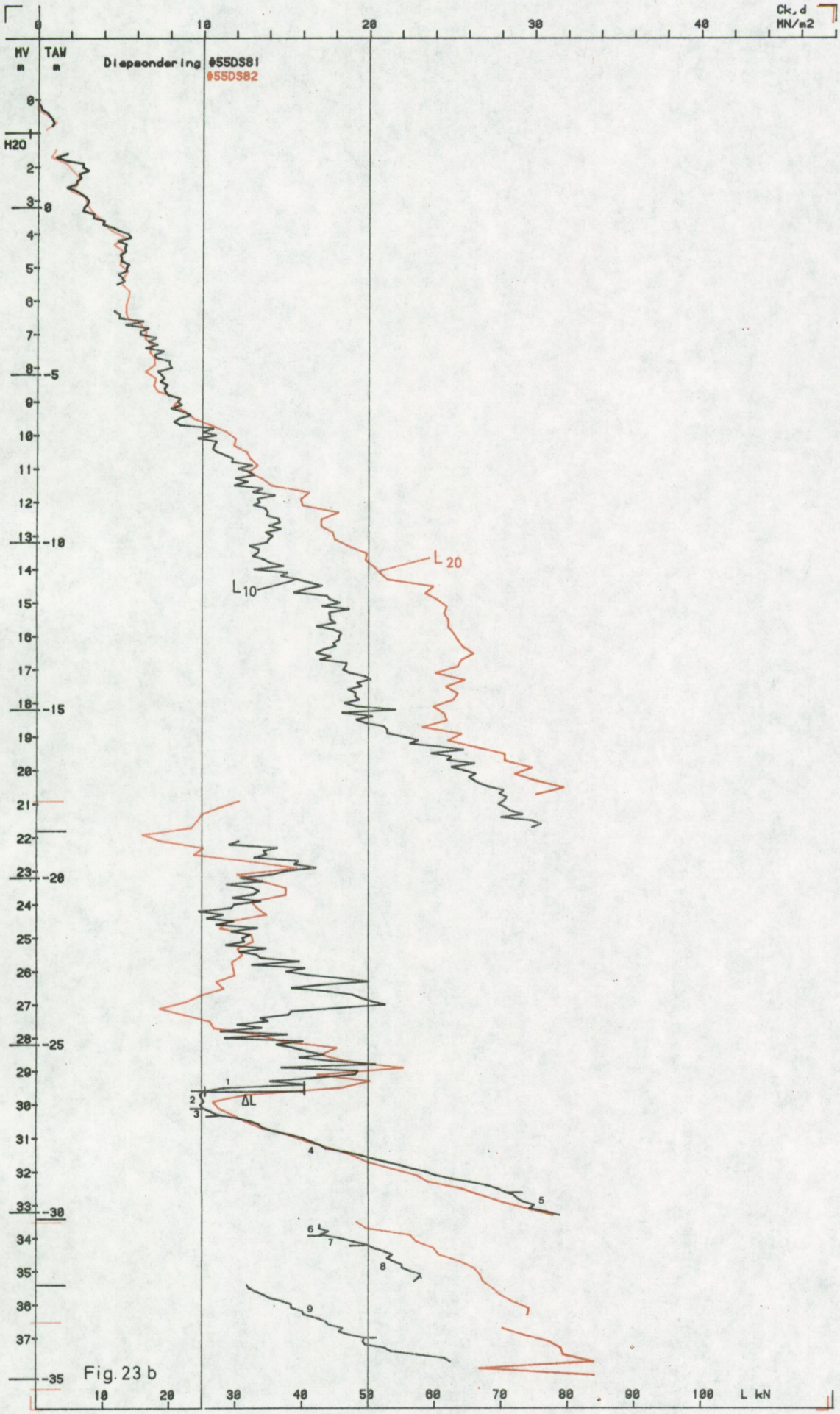

Ck,d MN/m2
INT.
MV m
TAW m
Diepsondering Ø55DS81
Ø55DS82
100Fs,2 MN/m2
100F/C
H20
Ck,d,20
Ck,d,10
fs,2,10
fs,2,20
ΔC
Δfs,2,20
Δfs,2,10
K8,1+2
W10
W20
K4 + K2
K1
T11
T10
T9
T8,2

Fig. 23a



Ck,d
MN/m2
MV
m
TAW
m
Diepsondering #55DS81
#55DS82
H2O
L 20
L 10
ΔL
L kN


Fig. 23 b

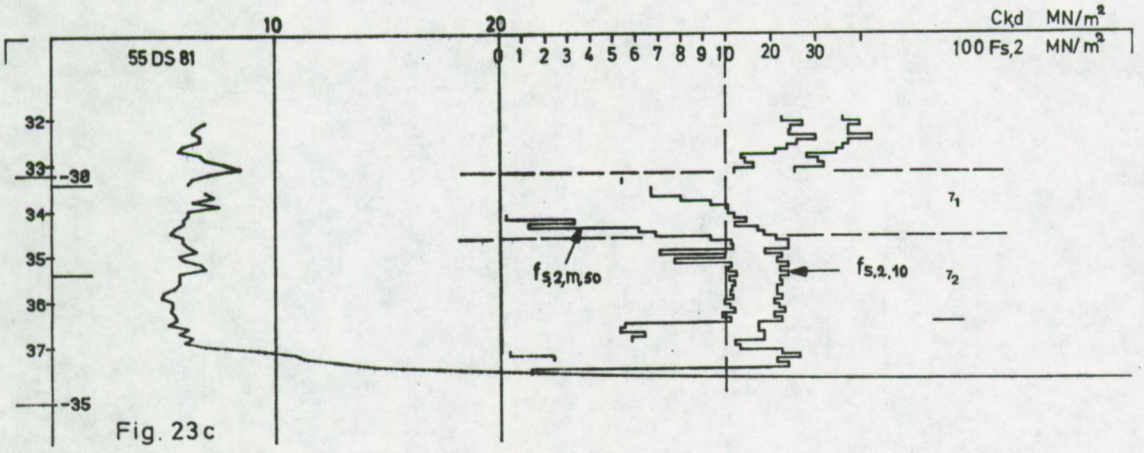

10
20
Ckd MN/m²
55 DS 81
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 20 30
100 Fs,2 MN/m²
32
33
-33
34
35
36
37
-35
$f_{s,2,m,50}$
$f_{s,2,10}$
$\gamma_1$
$\gamma_2$

Fig. 23c

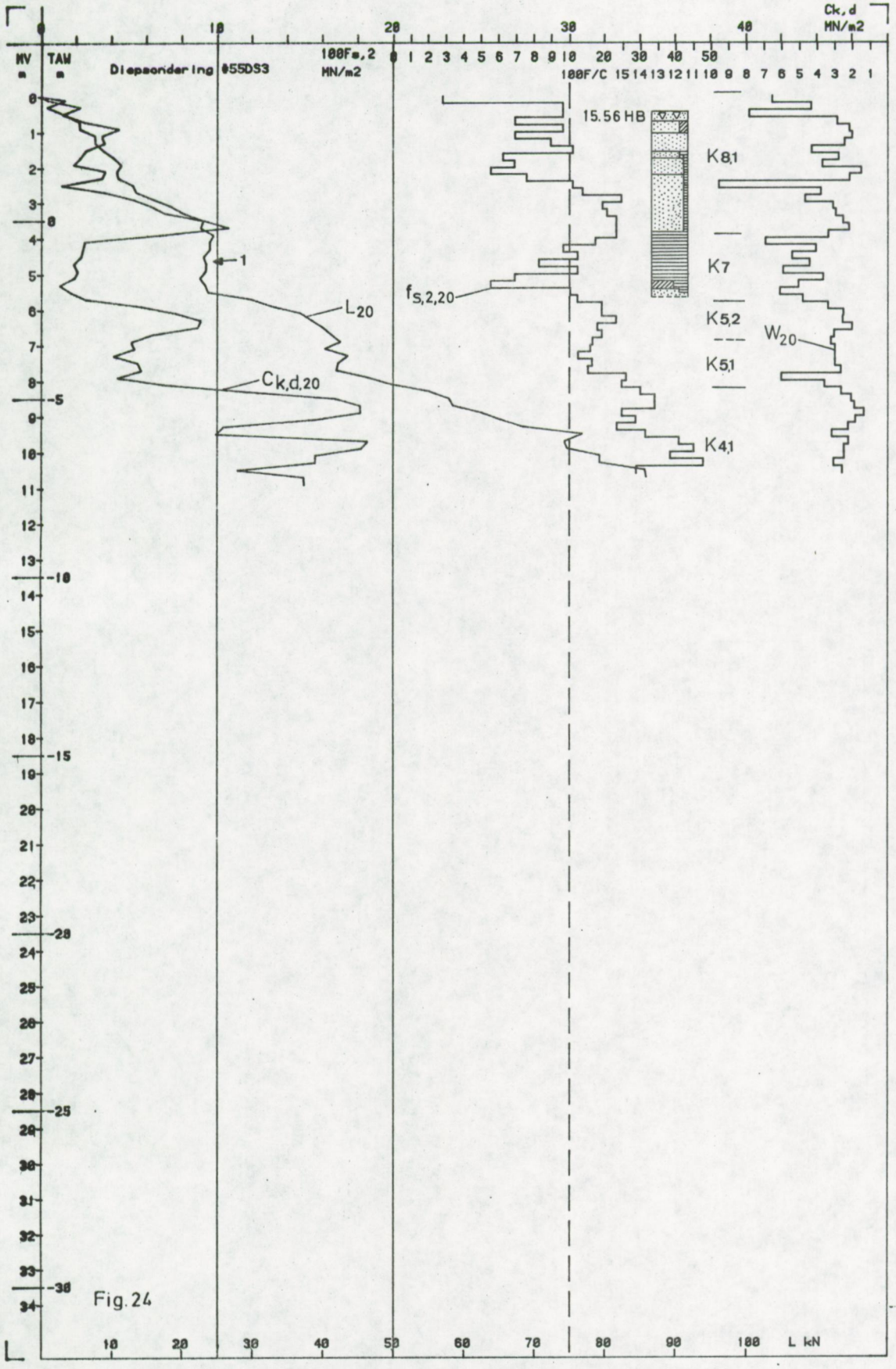
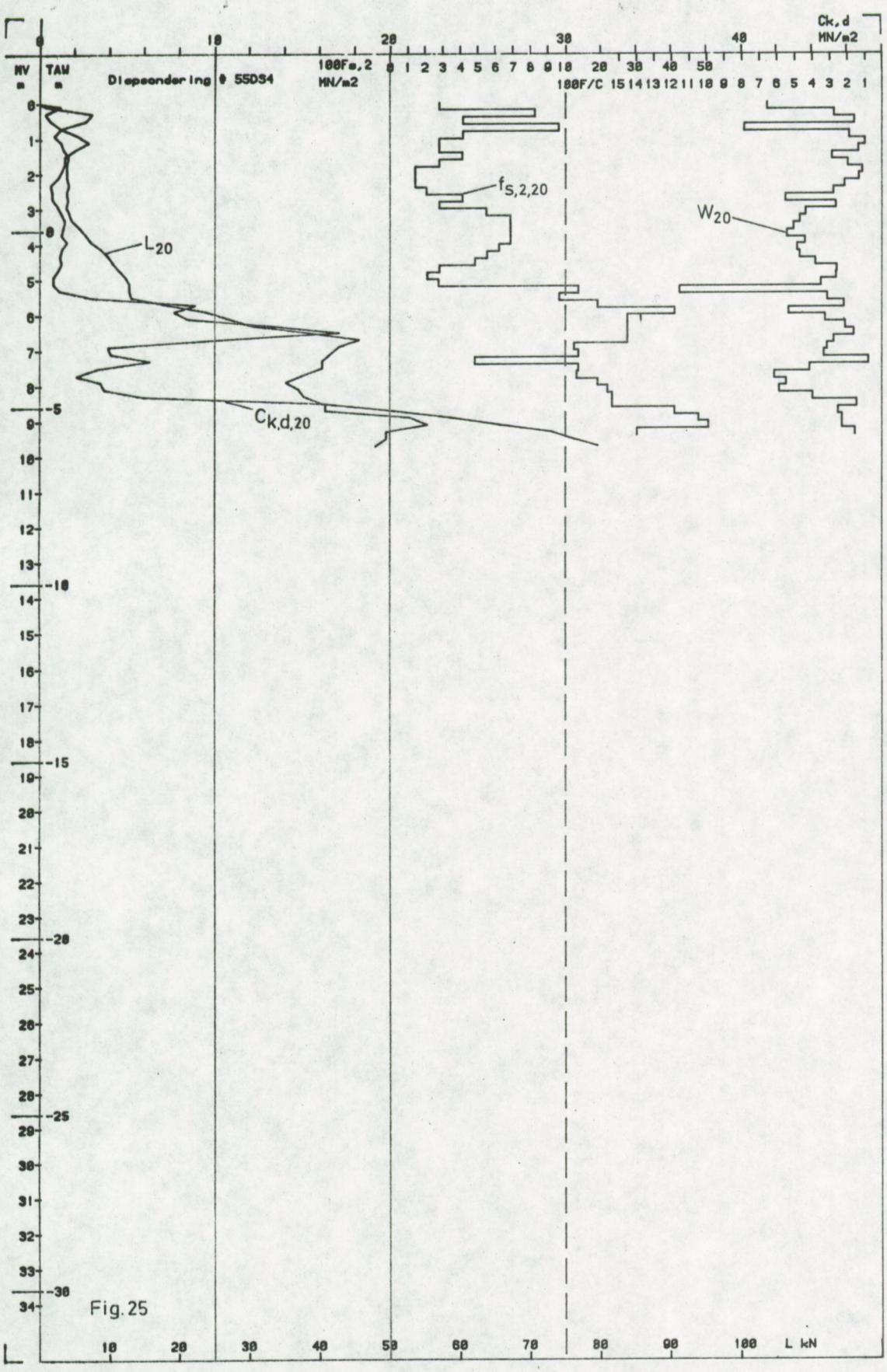
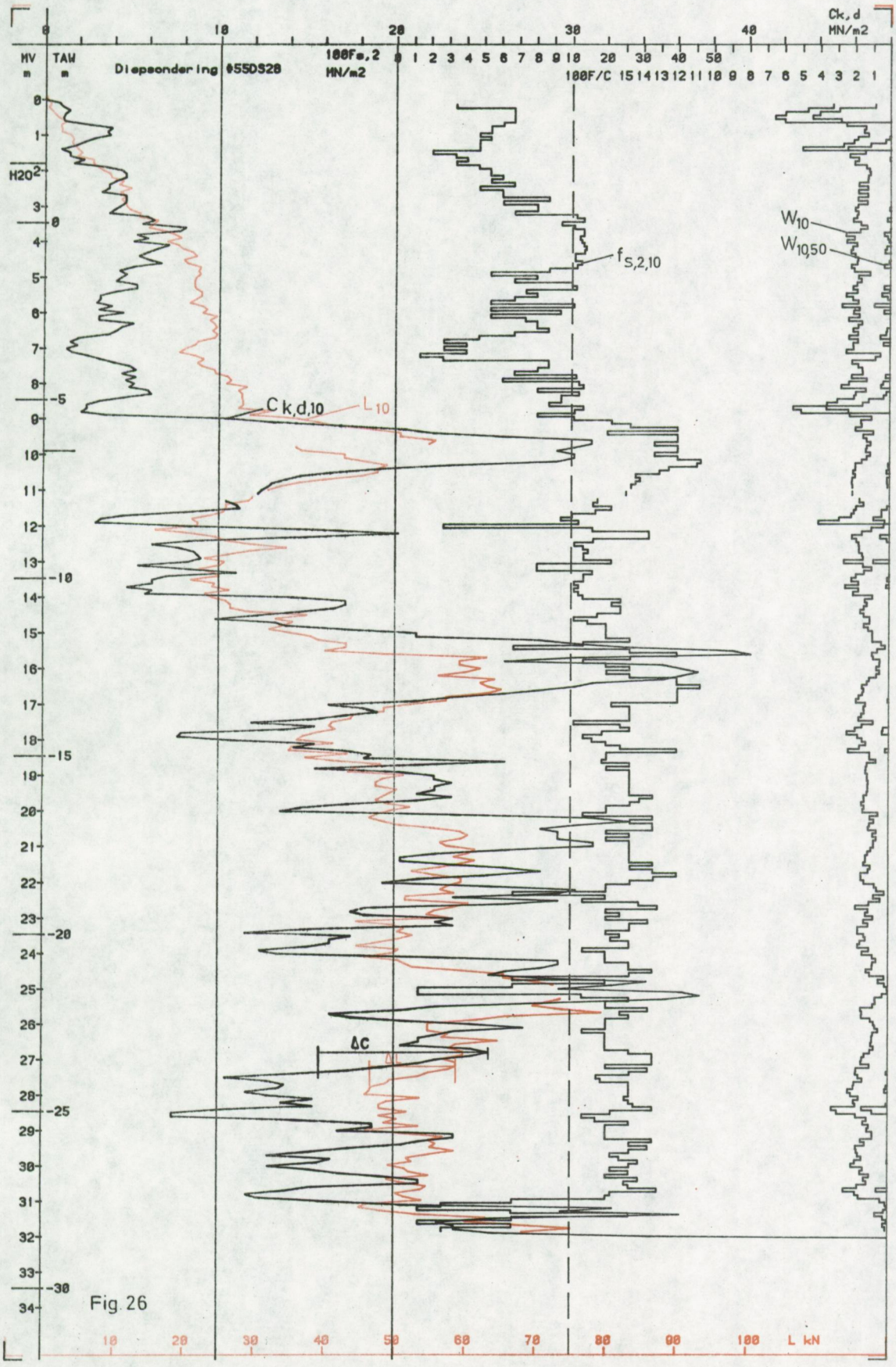

Ck,d MN/m2
MV m
TAW m
Diepsondering 655DS3
100Fs,2 MN/m2
100F/C
15.56 HB
K8,1
K7
K5,2
K5,1
K4,1
fs,2,20
L20
W20
Ck,d,20
L kN

Fig. 24



Ck,d
MN/m2
MV
m
TAW
m
Diepsondering # 55DS4
100Fs,2
MN/m2
100F/C
$f_{s,2,20}$
$W_{20}$
$L_{20}$
$C_{k,d,20}$
L kN


Fig. 25


Ck,d MN/m2
MV m
TAW m
Diepsondering ϕ55D328
100Fs,2 MN/m2
100F/C
H2O
Ck,d,10
L10
fs,2,10
W10
W10,50
ΔC
L kN
INT.
Fig. 26

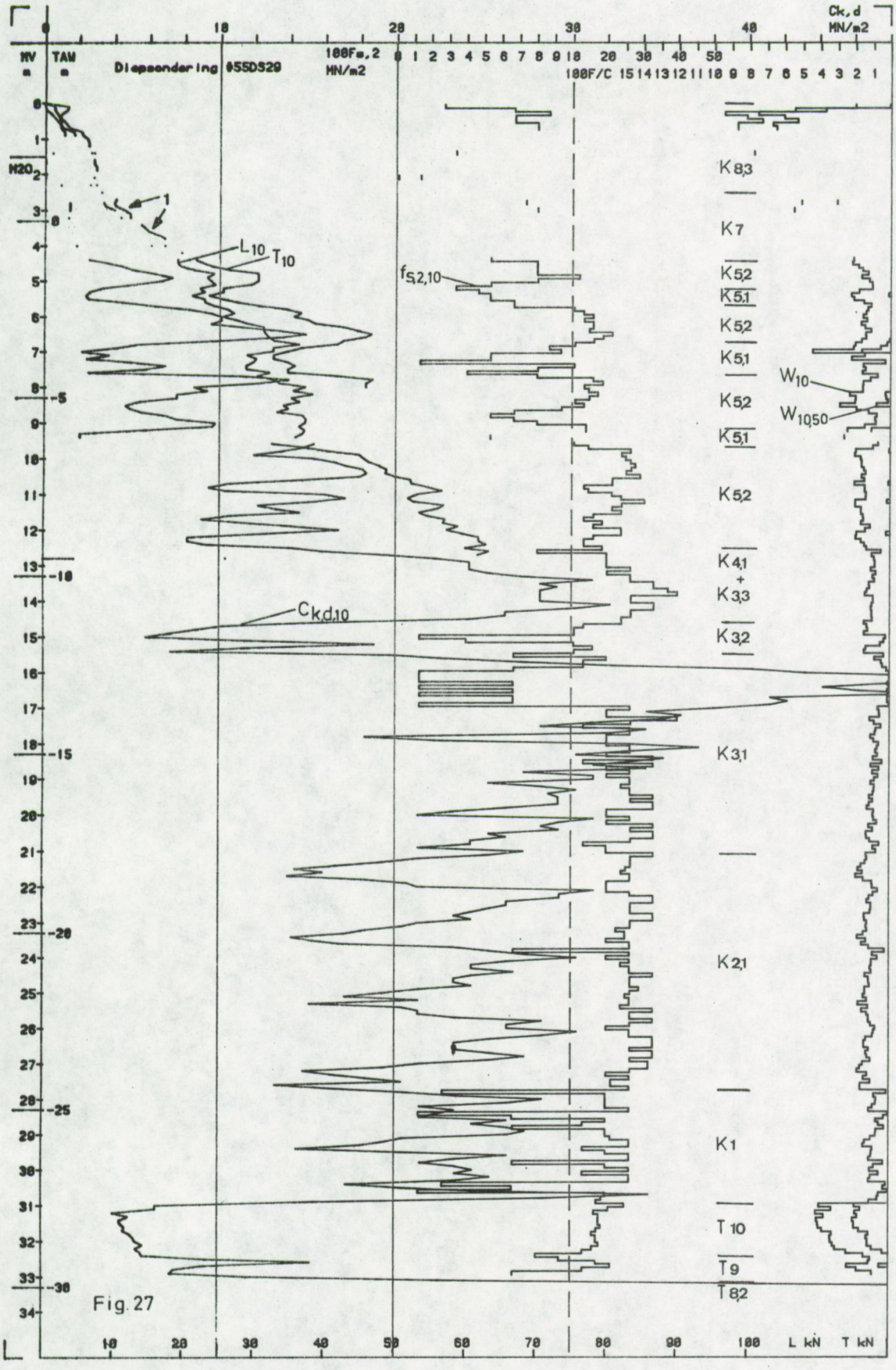
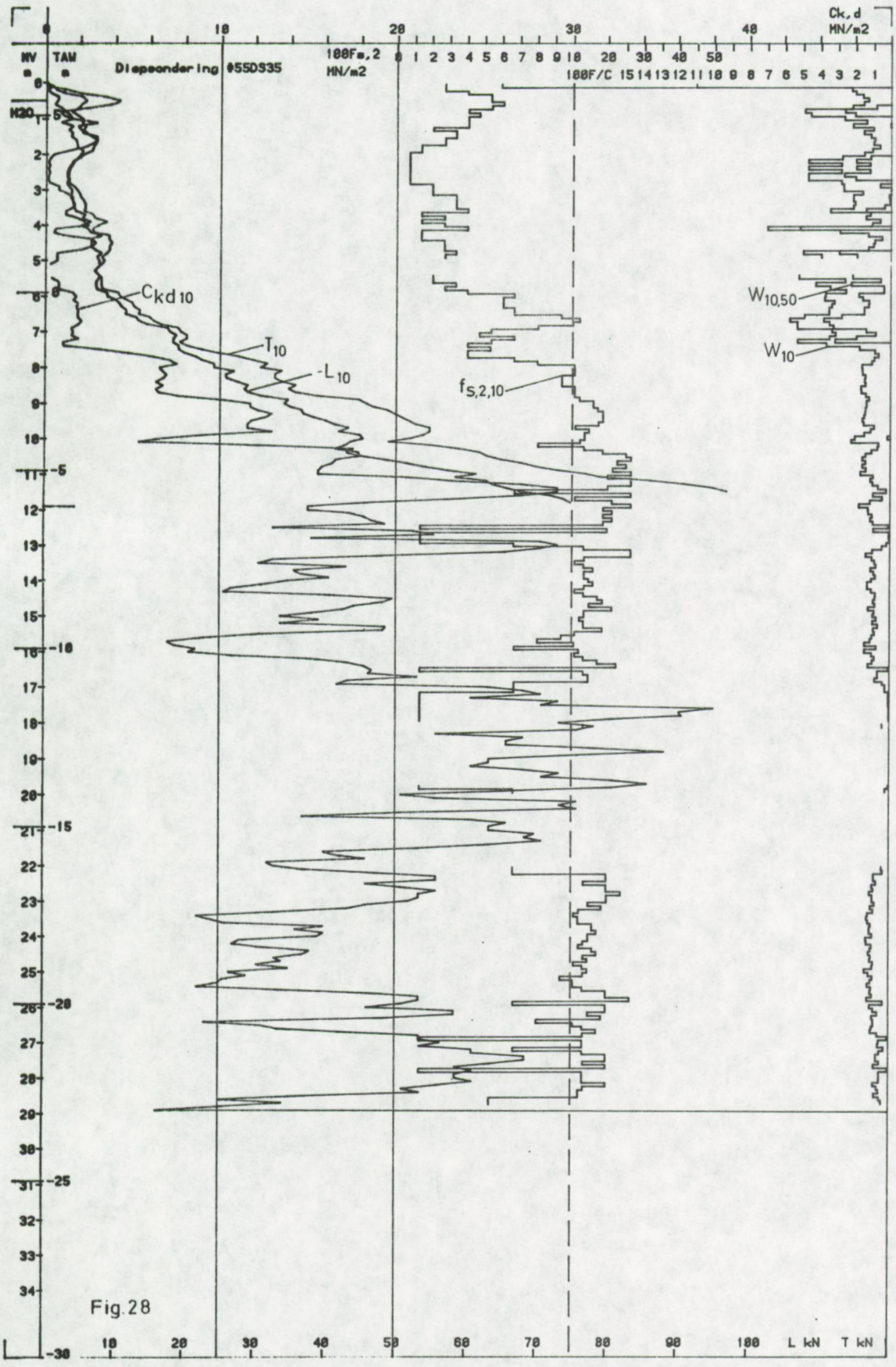
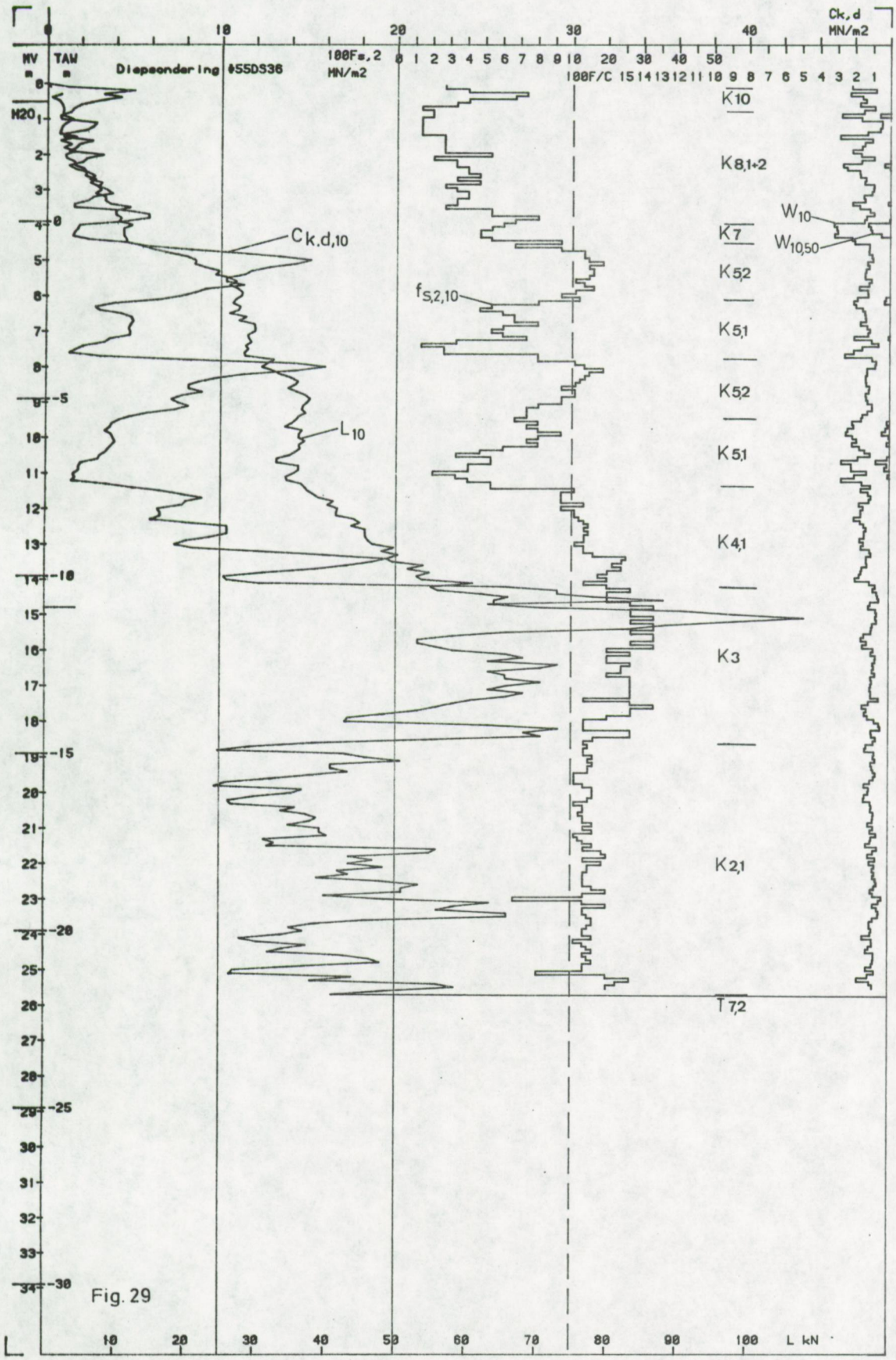

Ck,d MN/m2
MV m
TAW m
Diepsondering 655DS29
100Fm,2 MN/m2
100F/C
INT.
H2O
L10
T10
fs2,10
Ck,d,10
W10
W10,50
K8,3
K7
K5,2
K5,1
K4,1 + K3,3
K3,2
K3,1
K2,1
K1
T10
T9
T8,2
L kN
T kN

Fig. 27



Ck,d
MN/m2
INT.
MV
m
TAW
m
Diepsondering #55DS35
100Fm,2
MN/m2
100F/C
H2O
Ckd10
T10
L10
fs,2,10
W10,50
W10
L kN
T kN


Fig.28



MV m
TAW m
Diepsondering #55DS36
100Fs,2 MN/m2
100F/C
Ck,d MN/m2
INT.
K10
K8,1+2
K7
K5,2
K5,1
K5,2
K5,1
K4,1
K3
K2,1
T7,2
W10
W10,50
Ck.d,10
fs,2,10
L10
L kN


Fig. 29

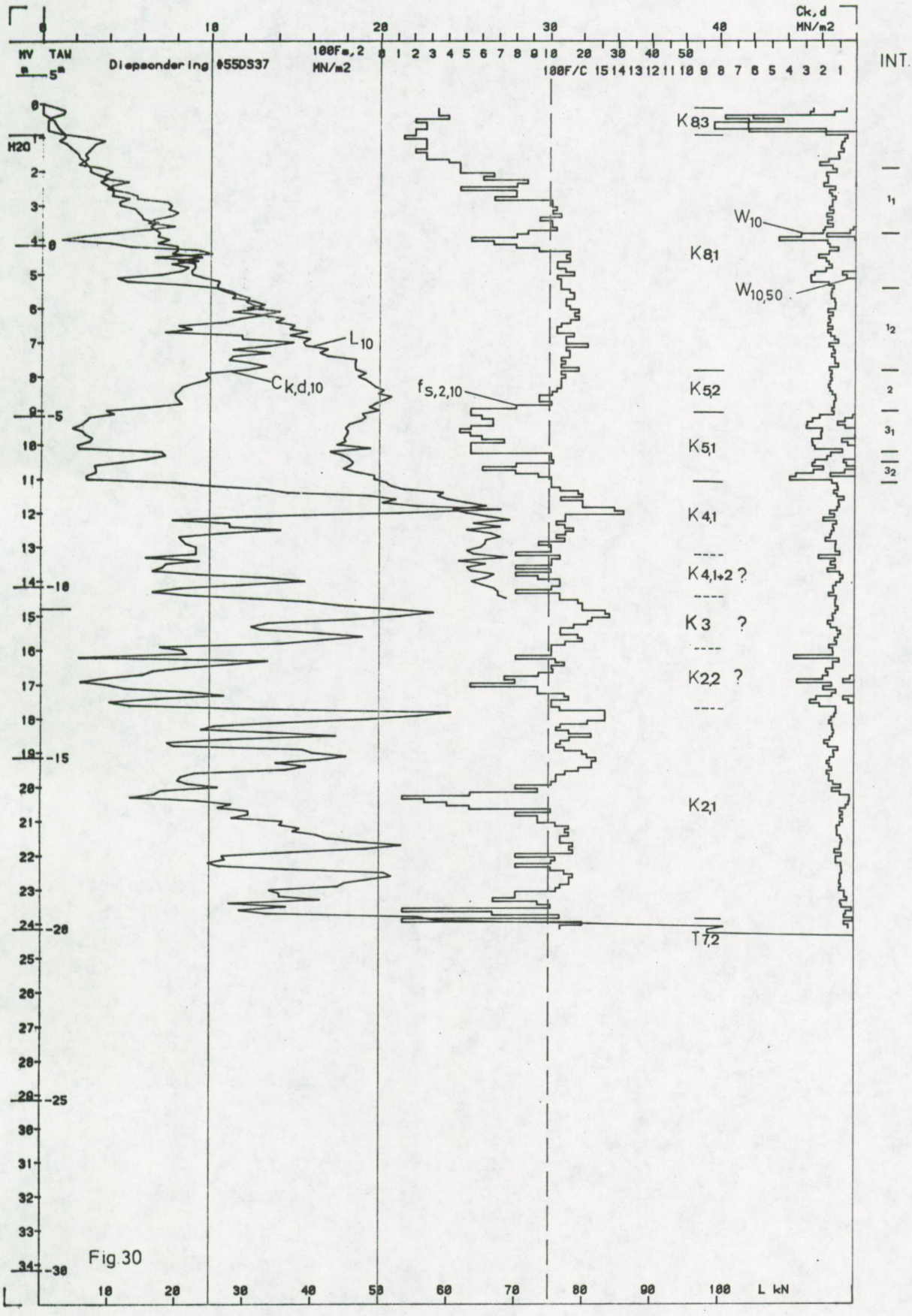

Ck,d MN/m2
MV TAW
Diepsondering 055DS37
100Fs,2 MN/m2
100F/C
INT.
K8,3
W10
K8,1
W10,50
L10
Ck,d,10
fs,2,10
K5,2
K5,1
K4,1
K4,1+2 ?
K3 ?
K2,2 ?
K2,1
T7,2
L kN

Fig 30

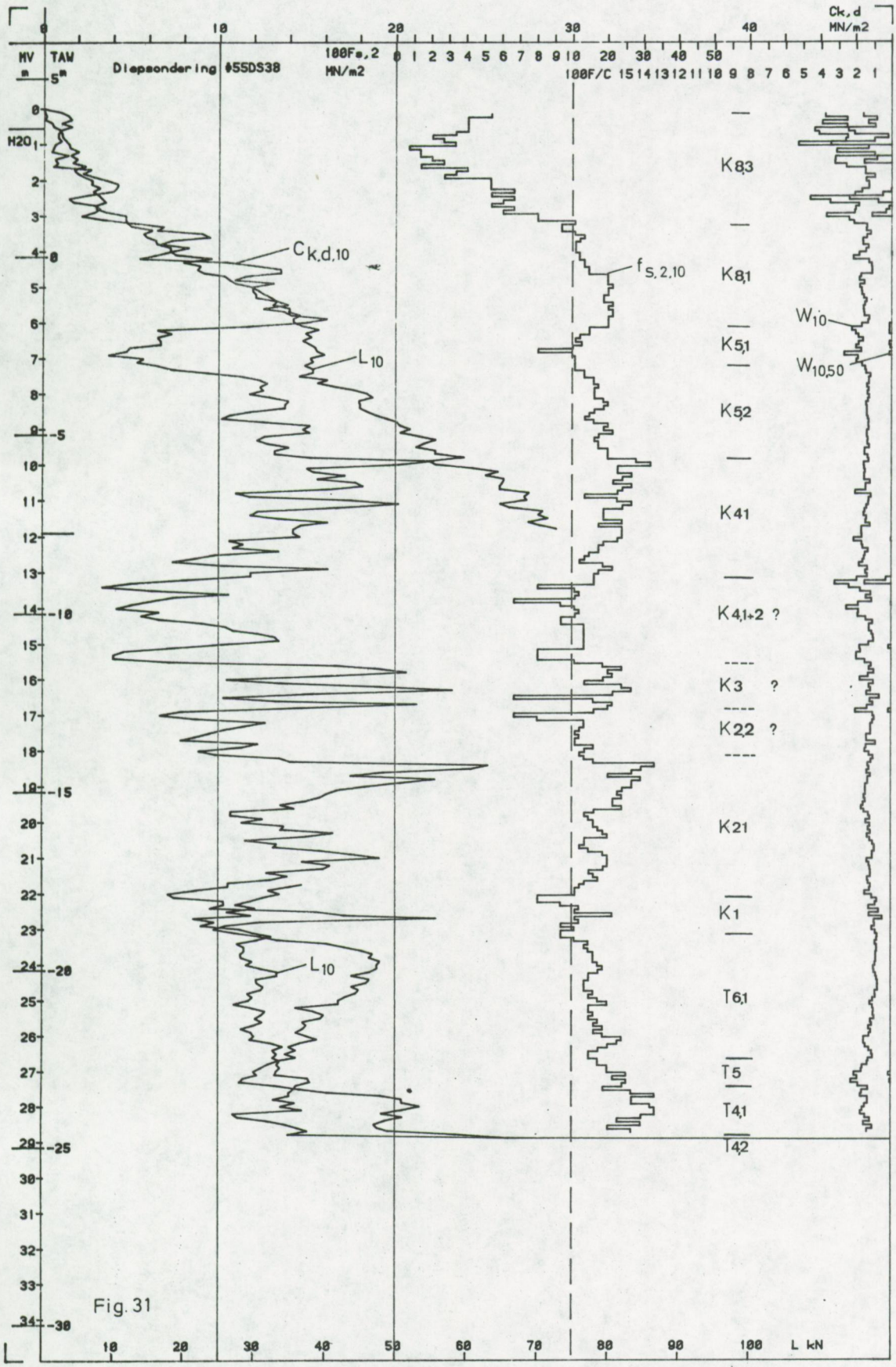

Ck,d MN/m2
MV TAW
Diepsondering ϕ55DS38
100Fe,2 MN/m2
100F/C
INT.
H2O
Ck,d,10
fs,2,10
L10
W10
W10,50
K8,3
K8,1
K5,1
K5,2
K4,1
K4,1+2 ?
K3 ?
K2,2 ?
K2,1
K1
T6,1
T5
T4,1
T4,2
L kN

Fig. 31

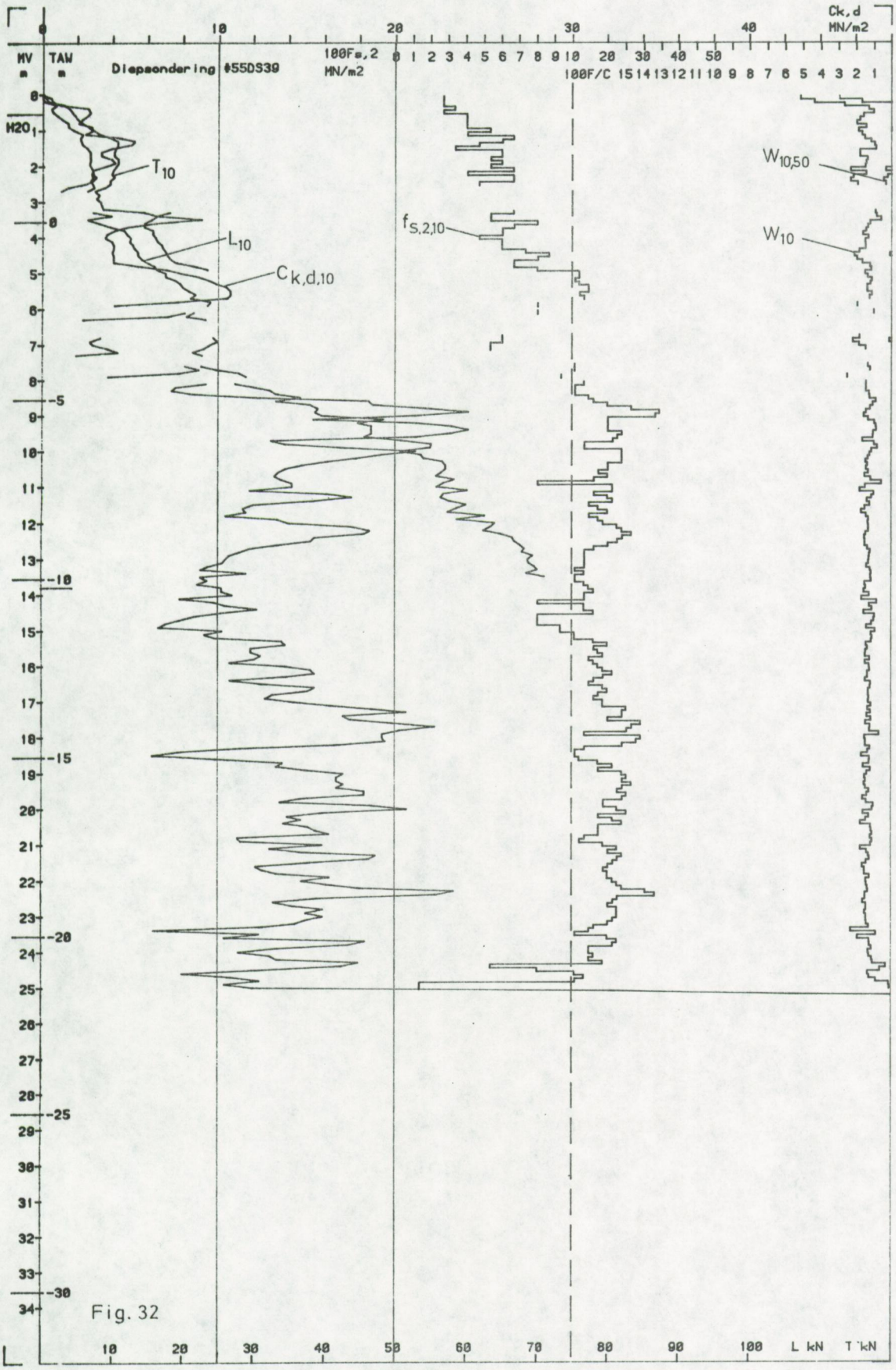
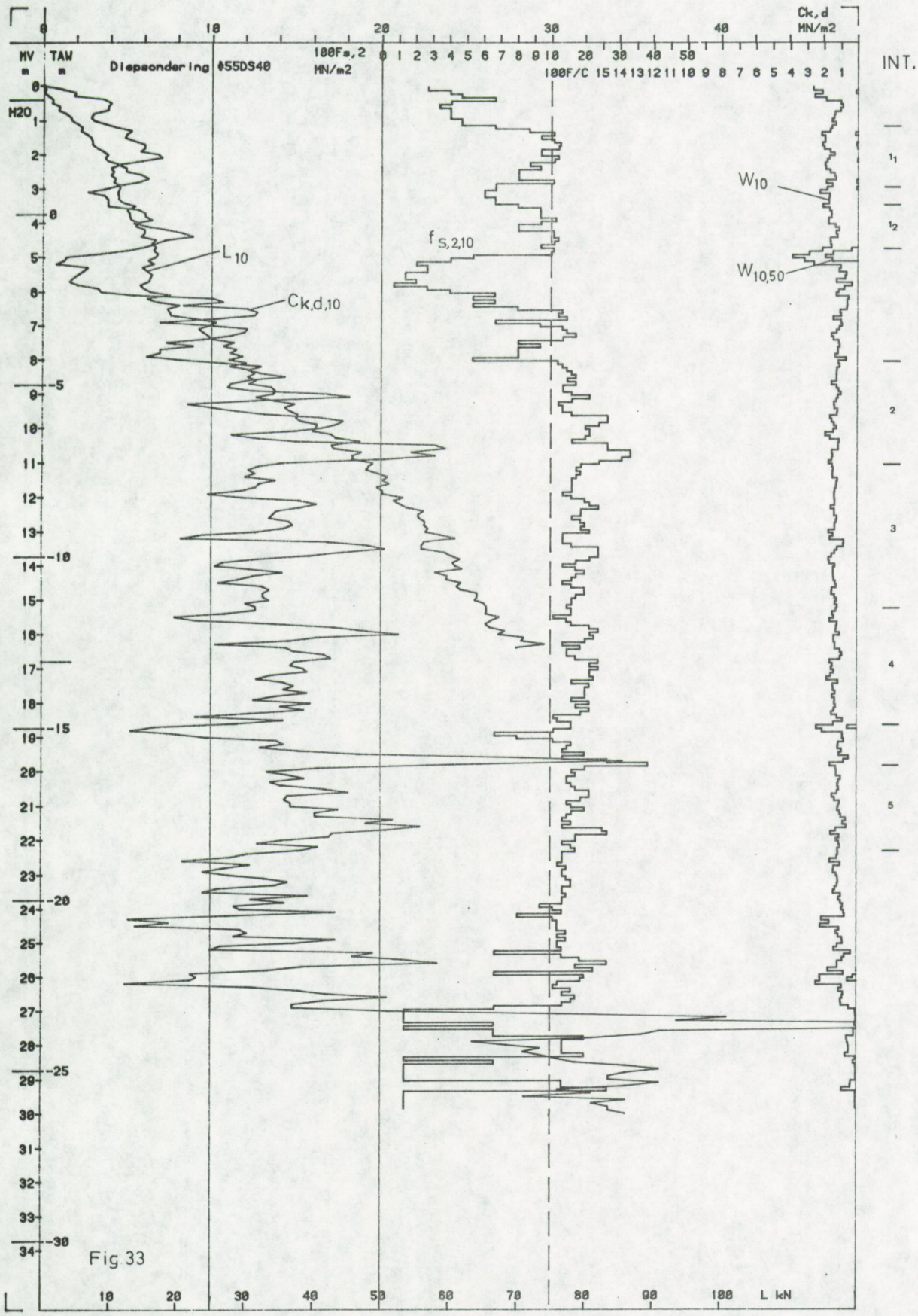
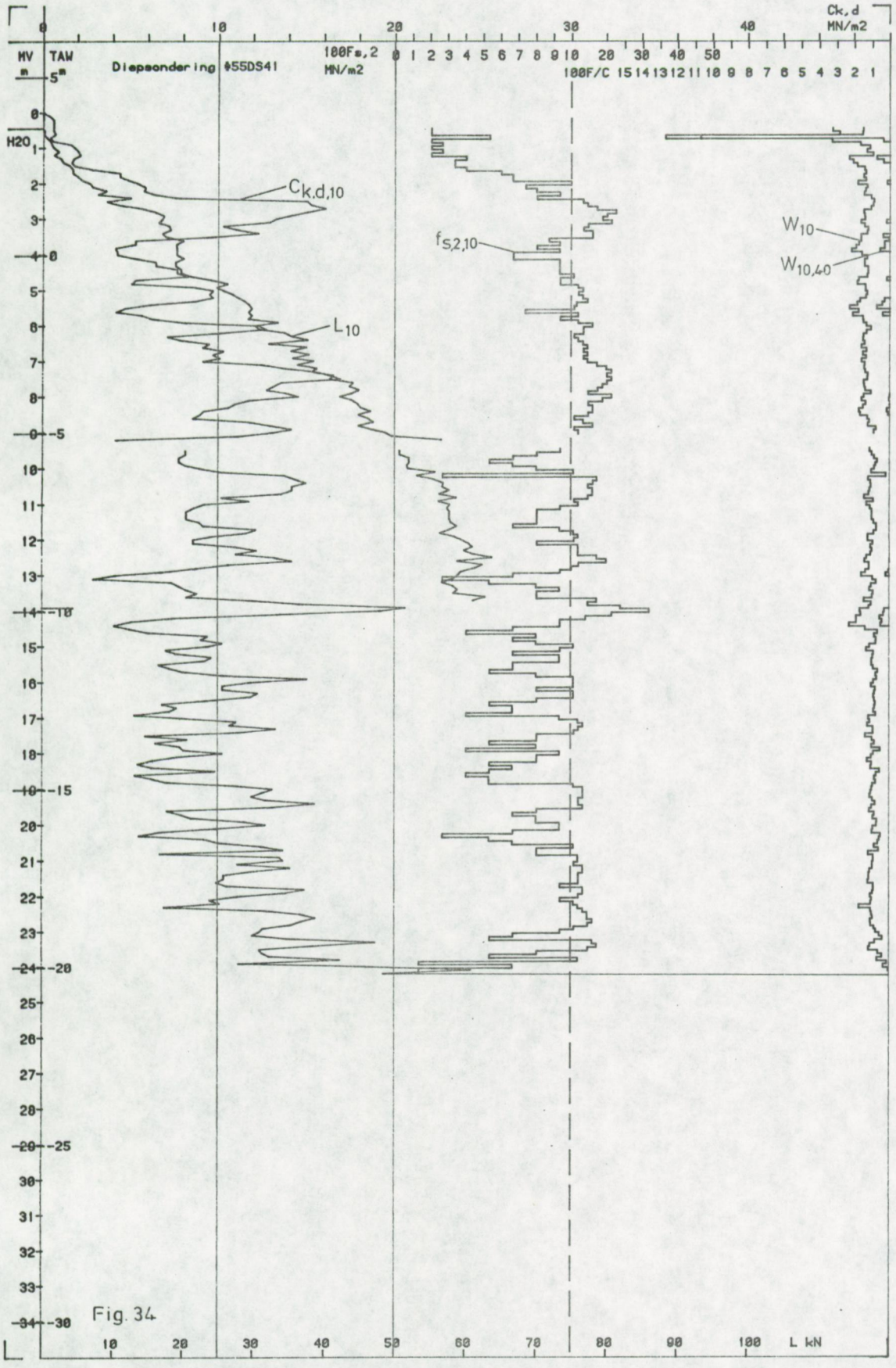

MV m
TAW m
Diepsondering ϕ550S39
100Fs,2 MN/m2
100F/C
Ck,d MN/m2
INT.
H2O
$T_{10}$
$L_{10}$
$C_{k,d,10}$
$f_{s,2,10}$
$W_{10,50}$
$W_{10}$
L kN
T kN

Fig. 32



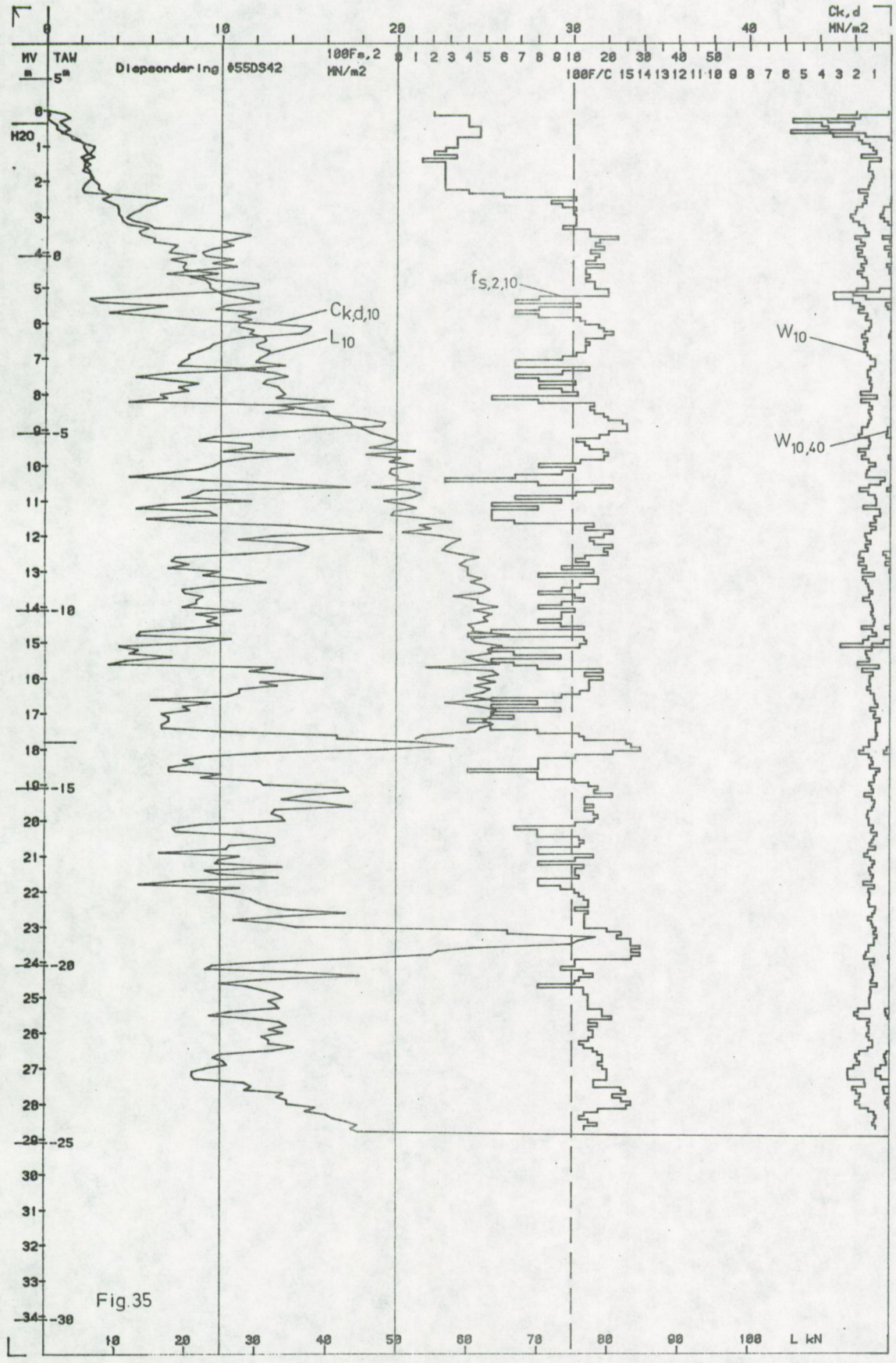
MV m
TAW m
Diepsondering #55DS40
100Fs,2 MN/m2
100F/C
Ck,d MN/m2
INT.
M2O
L10
Ck,d,10
fs,2,10
W10
W10,50
L kN


Fig. 33



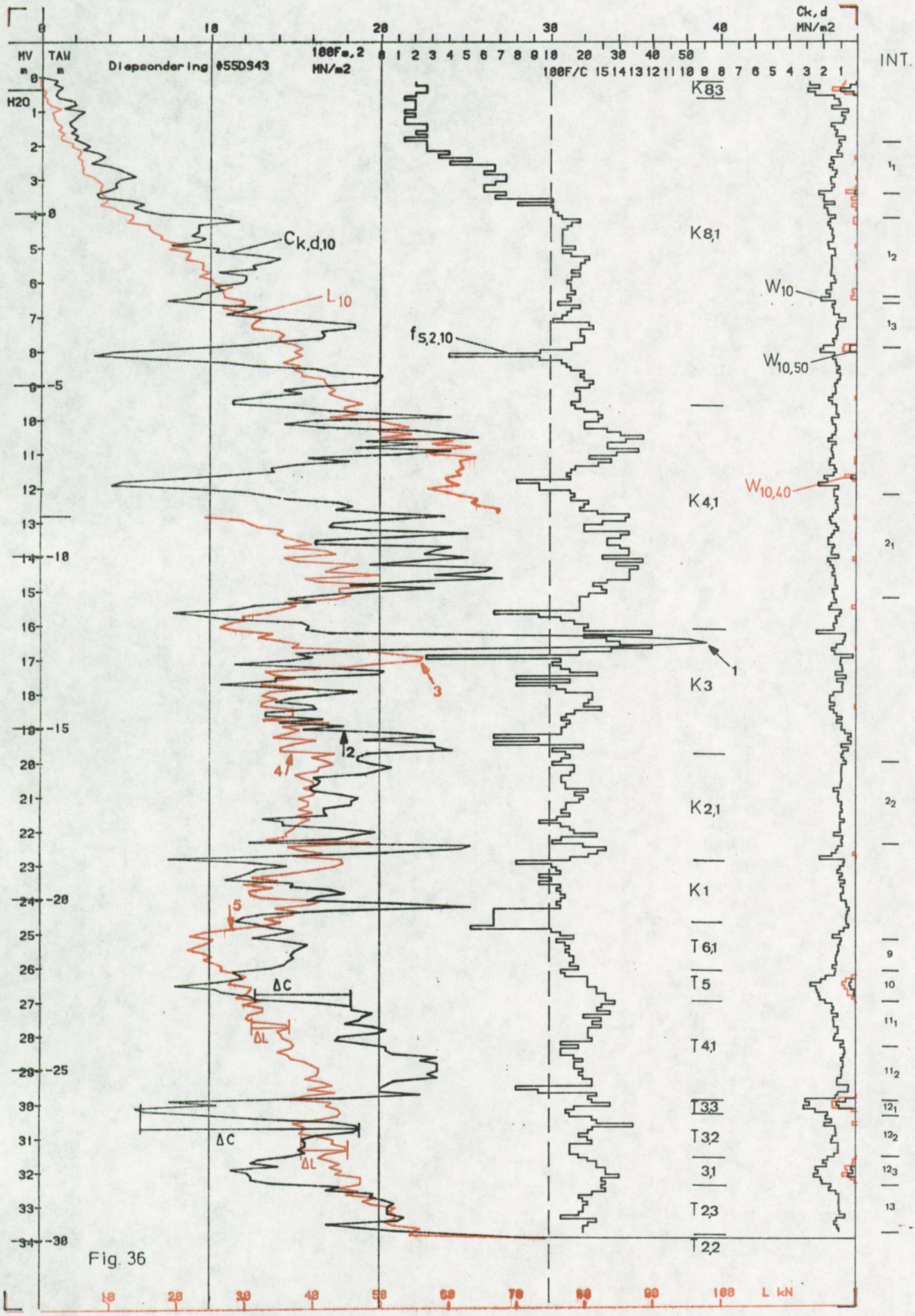
Ck,d
MN/m2
MV
m
TAW
Diepsondering #55DS41
100Fs,2
MN/m2
100F/C
INT.
H2O
Ck,d,10
L10
fs,2,10
W10
W10,40
L kN


Fig. 34



Ck,d
MN/m2
MV
TAW
Diepsondering #55DS42
100Fs,2
MN/m2
100F/C
INT.
H2O
$f_{s,2,10}$
$C_{k,d,10}$
$L_{10}$
$W_{10}$
$W_{10,40}$
L kN


Fig.35



Diepsondering #55DS43
MV m
TAW m
H2O
100Fs,2 MN/m2
100F/C
Ck,d MN/m2
INT.
Ck,d,10
L10
fs,2,10
W10
W10,50
W10,40
K8,3
K8,1
K4,1
K3
K2,1
K1
T6,1
T5
T4,1
T3,3
T3,2
3,1
T2,3
T2,2
ΔC
ΔL
L kN


Fig. 36

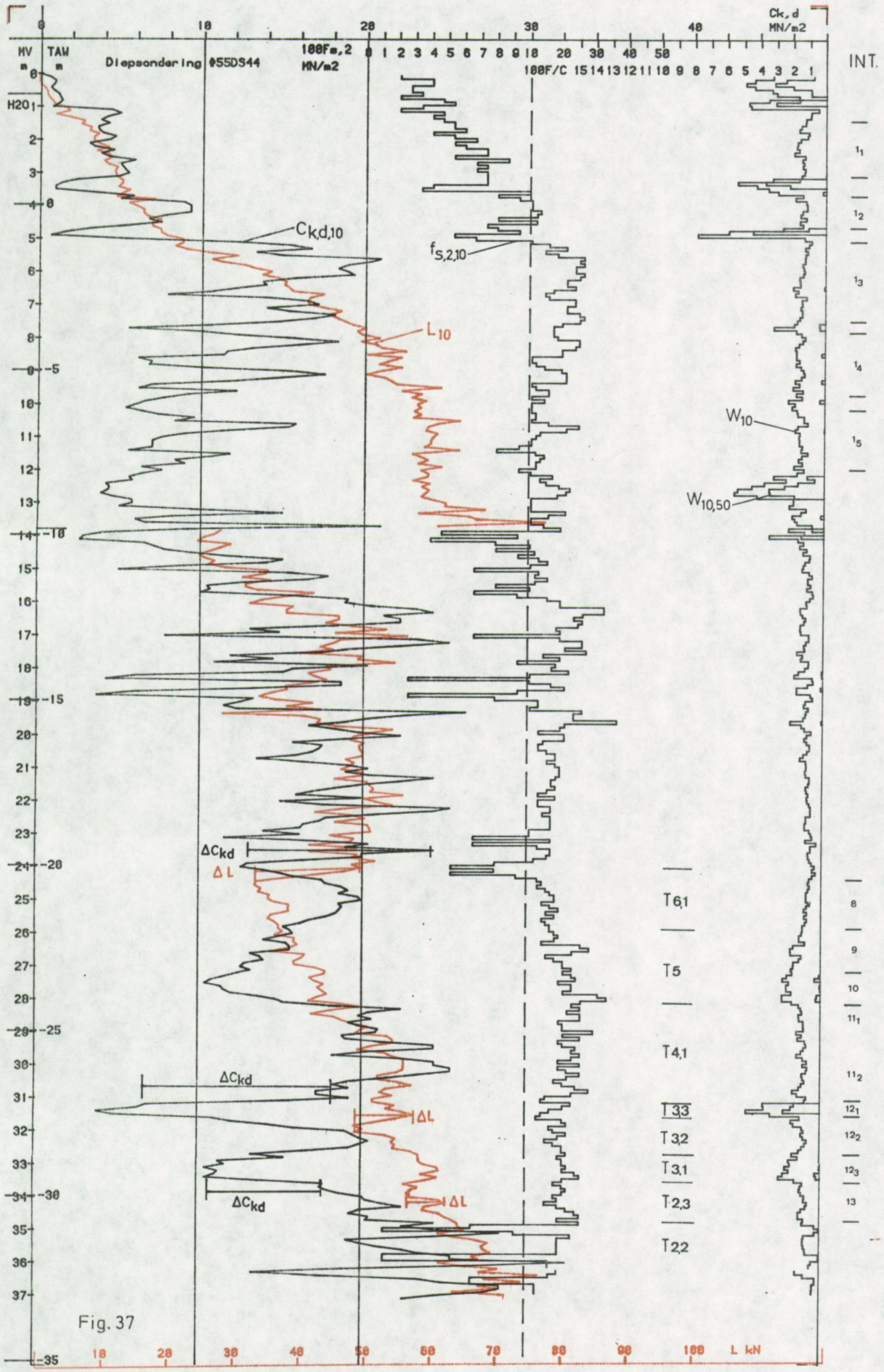

Ck,d MN/m2
MV m
TAW m
Diepsondering 855DS44
100Fs,2 MN/m2
100F/C
INT.
H20
Ckd,10
fs,2,10
L10
W10
W10,50
ΔCkd
ΔL
T6,1
T5
T4,1
T3,3
T3,2
T3,1
T2,3
T2,2
L kN

Fig. 37

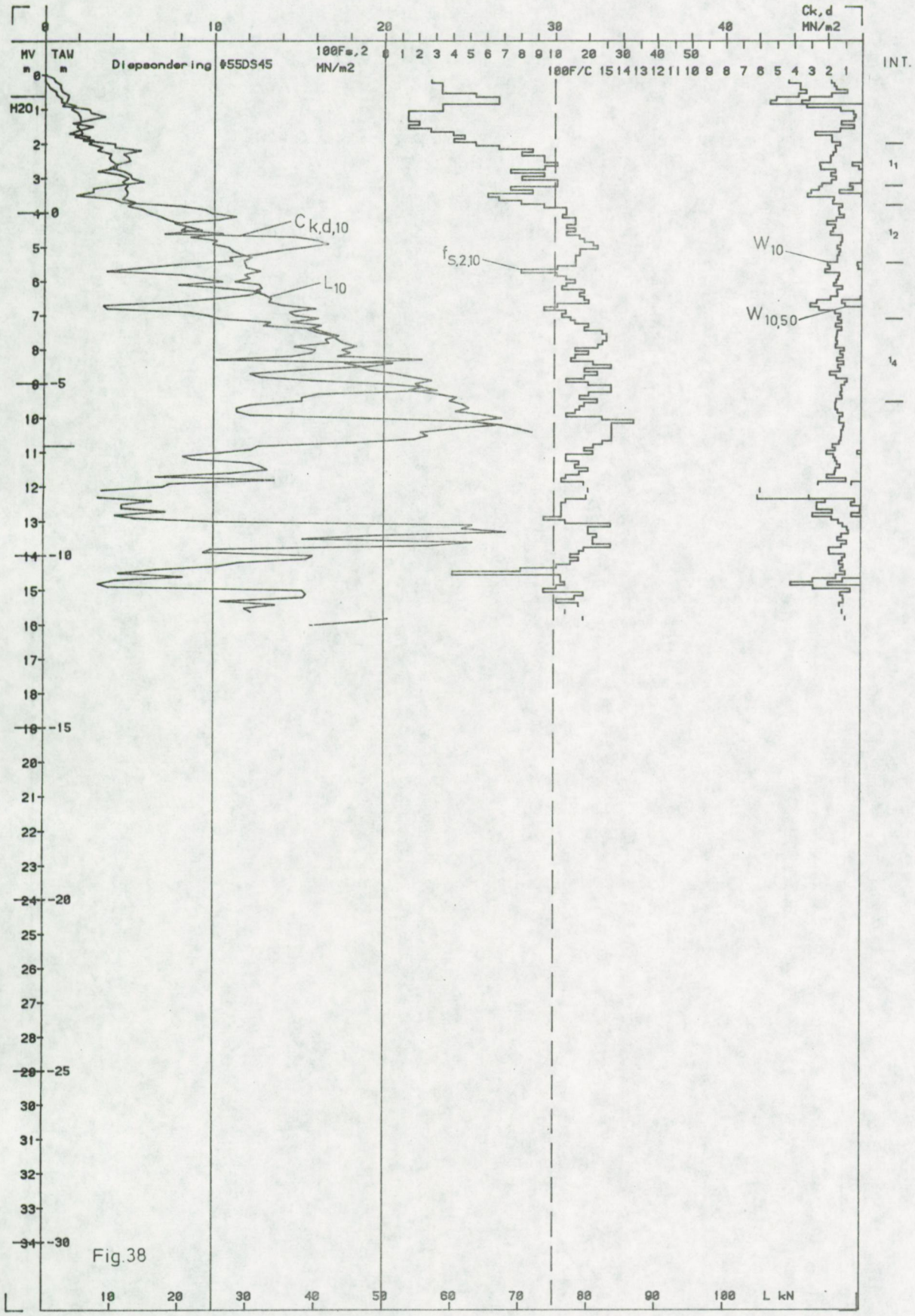
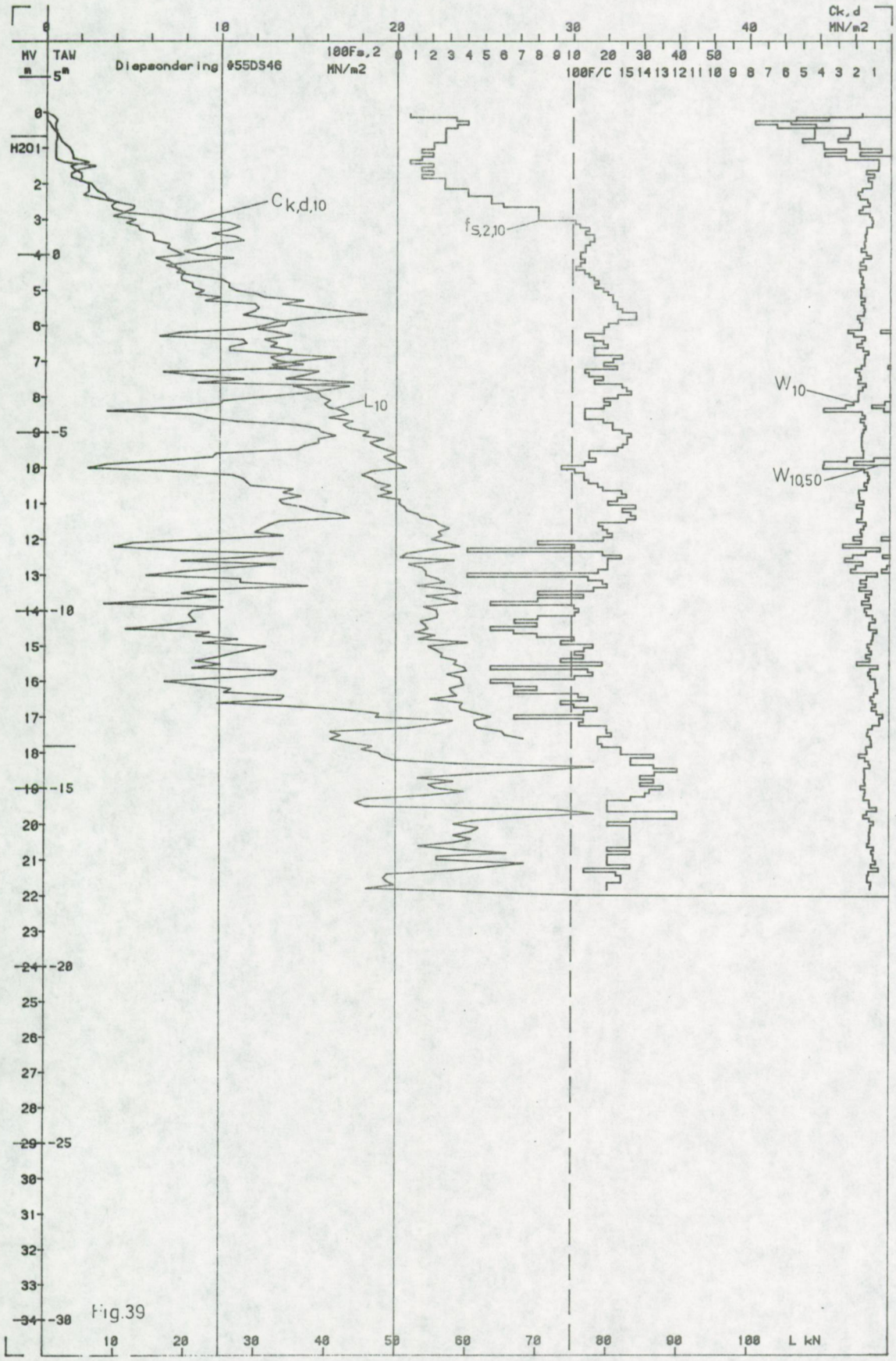
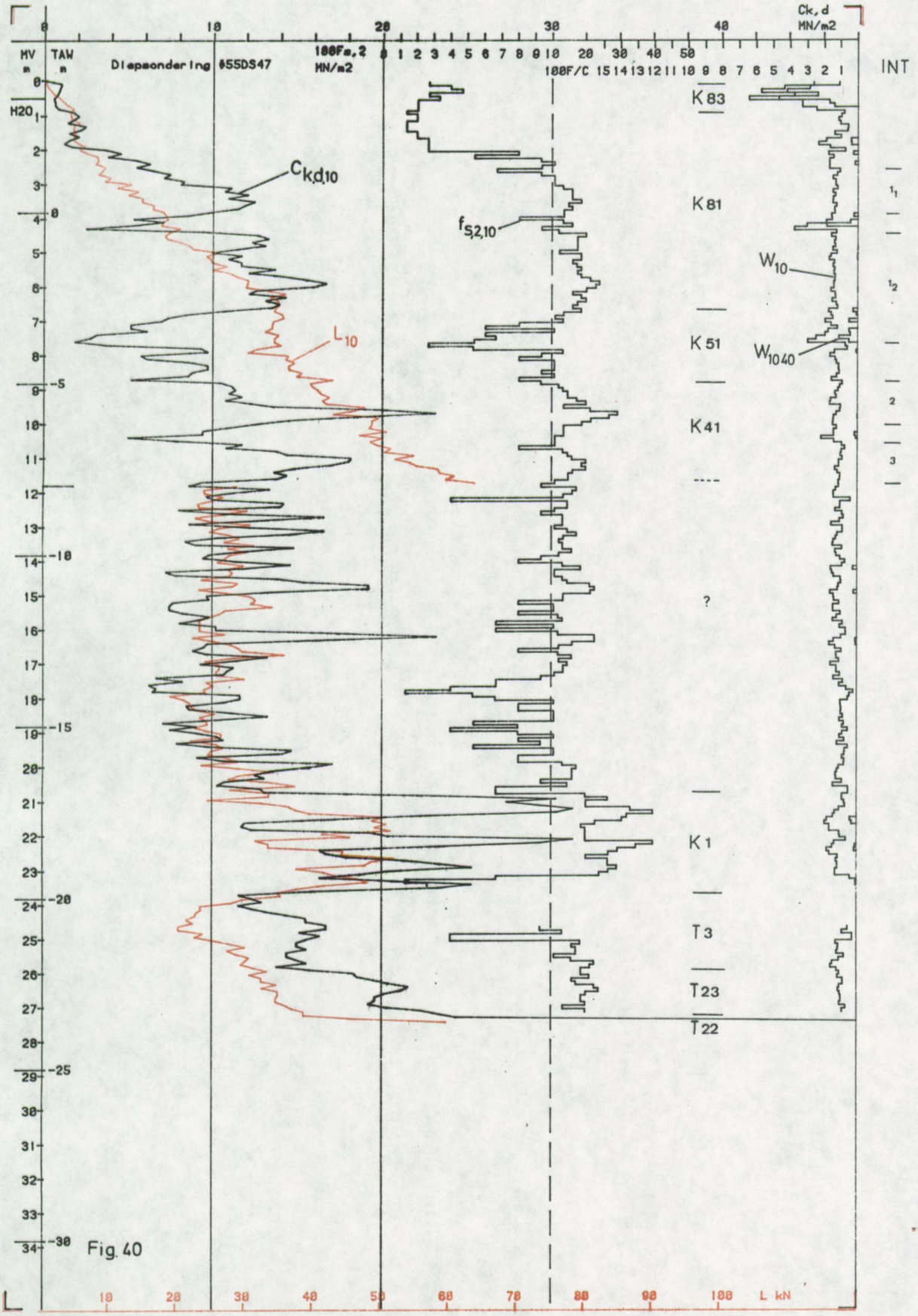

Ck,d MN/m2
MV m
TAW m
Diepsondering 55DS45
100Fs,2 MN/m2
100F/C
INT.
H2O
Ck,d,10
L10
fs,2,10
W10
W10,50
L kN

Fig.38



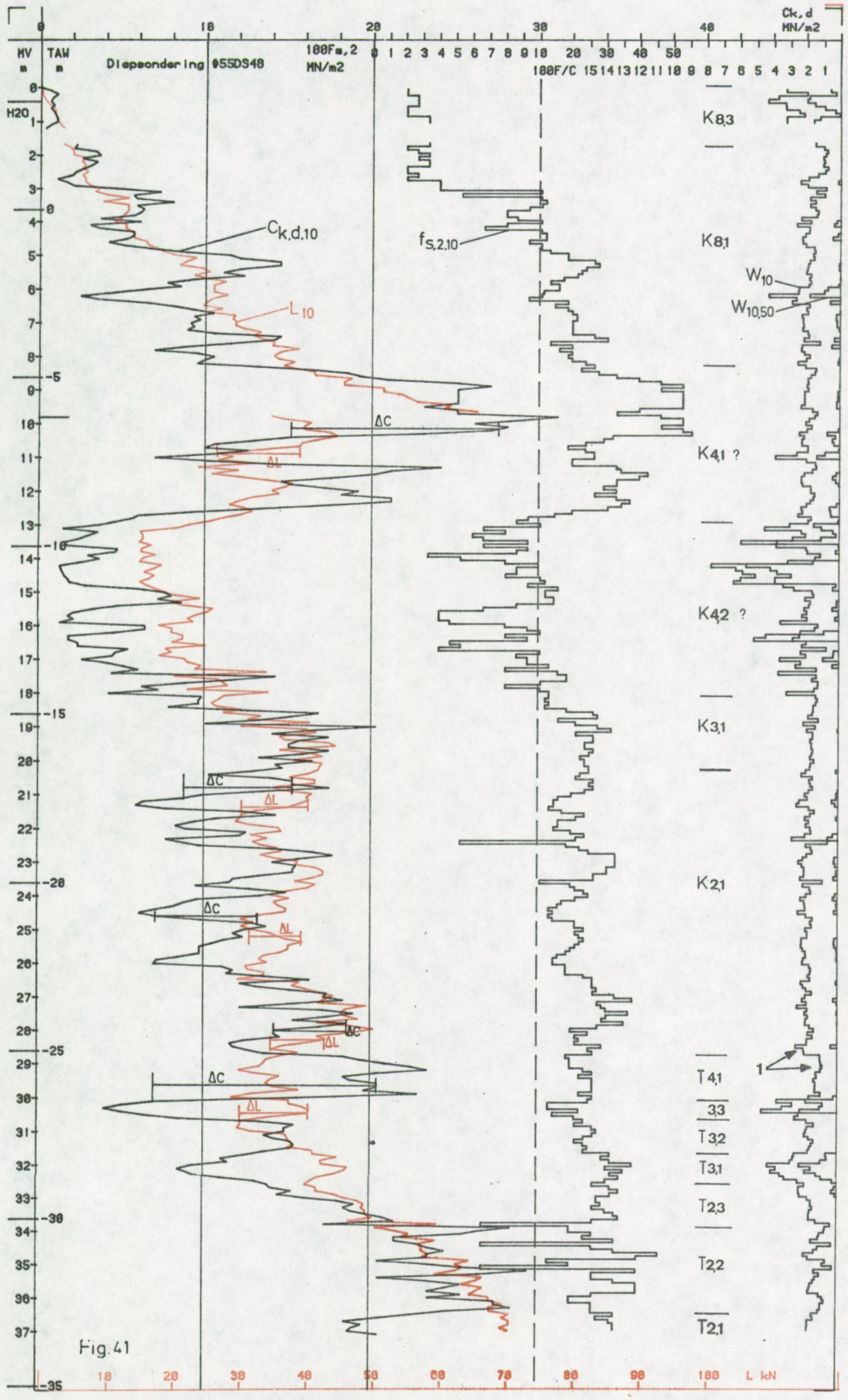
Ck,d
MN/m2
MV
m
TAW
5m
Diepsondering #55DS46
100Fs,2
MN/m2
100F/C
INT.
H2O
Ck,d,10
fs,2,10
L10
W10
W10,50
L kN


Fig.39



MV m
TAW m
Diepsondering #55DS47
100Fs,2 MN/m2
100F/C
Ck,d MN/m2
INT
H2O
$C_{k,d,10}$
$L_{10}$
$f_{s,2,10}$
$W_{10}$
$W_{10\,40}$
K83
K81
K51
K41
?
K1
T3
T23
T22
L kN


Fig. 40



MV m
TAW m
Diepsondering #55DS48
100Fs,2 MN/m2
100F/C
Ck,d MN/m2
INT.
H2O
Ck,d,10
L10
fs,2,10
W10
W10,50
ΔC
ΔL
K8,3
K8,1
K4,1 ?
K4,2 ?
K3,1
K2,1
T4,1
3,3
T3,2
T3,1
T2,3
T2,2
T2,1
L kN


Fig. 41

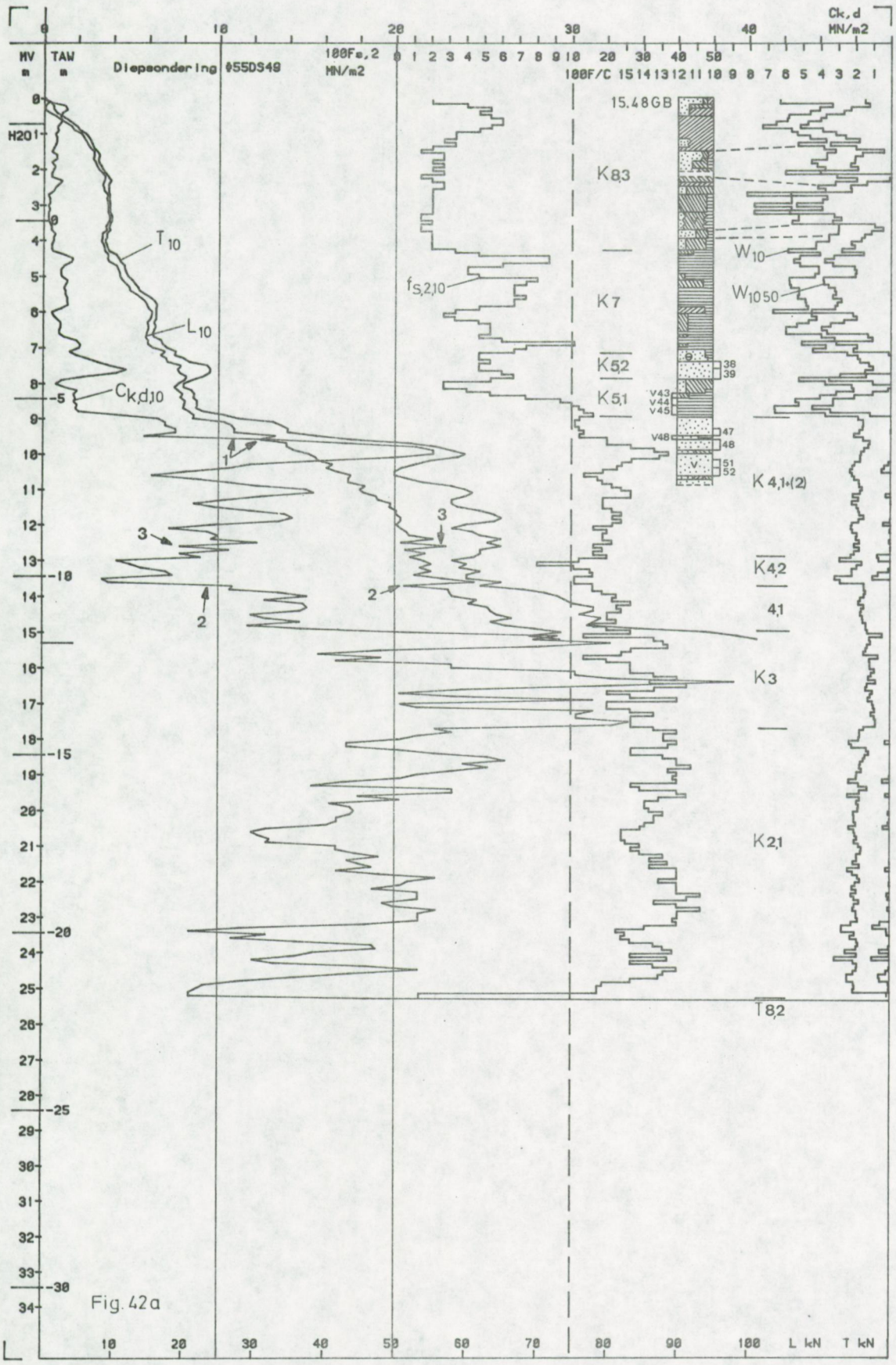

HV m
TAW m
Diepsondering ϕ55DS48
100Fs,2 MN/m2
100F/C
Ck,d MN/m2
INT.
15.48GB
K8,3
K7
K5,2
K5,1
K4,1+(2)
K4,2
4,1
K3
K2,1
T8,2
T10
L10
Ck,d,10
fs,2,10
W10
W10 50
H20
-5
-10
-15
-20
-25
-30
L kN
T kN

Fig. 42a

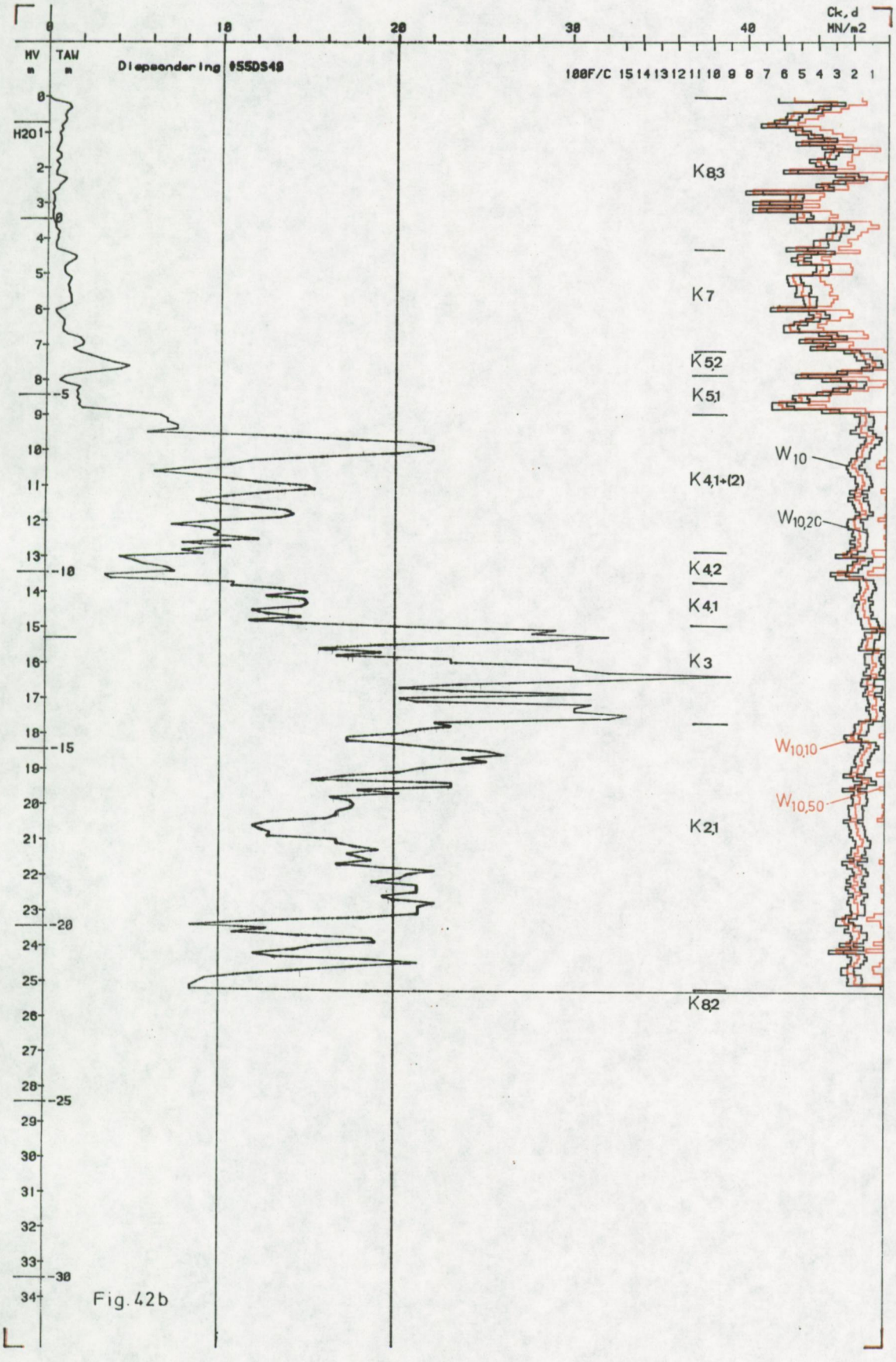

0
10
20
30
40
Ck, d
MN/m2
MV
m
TAW
m
Diepsondering 855DS48
100F/C 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
H20 1
-5
-10
-15
-20
-25
-30
K8,3
K7
K5,2
K5,1
K4,1+(2)
K4,2
K4,1
K3
K2,1
K8,2
W10
W10,20
W10,10
W10,50

Fig. 42b

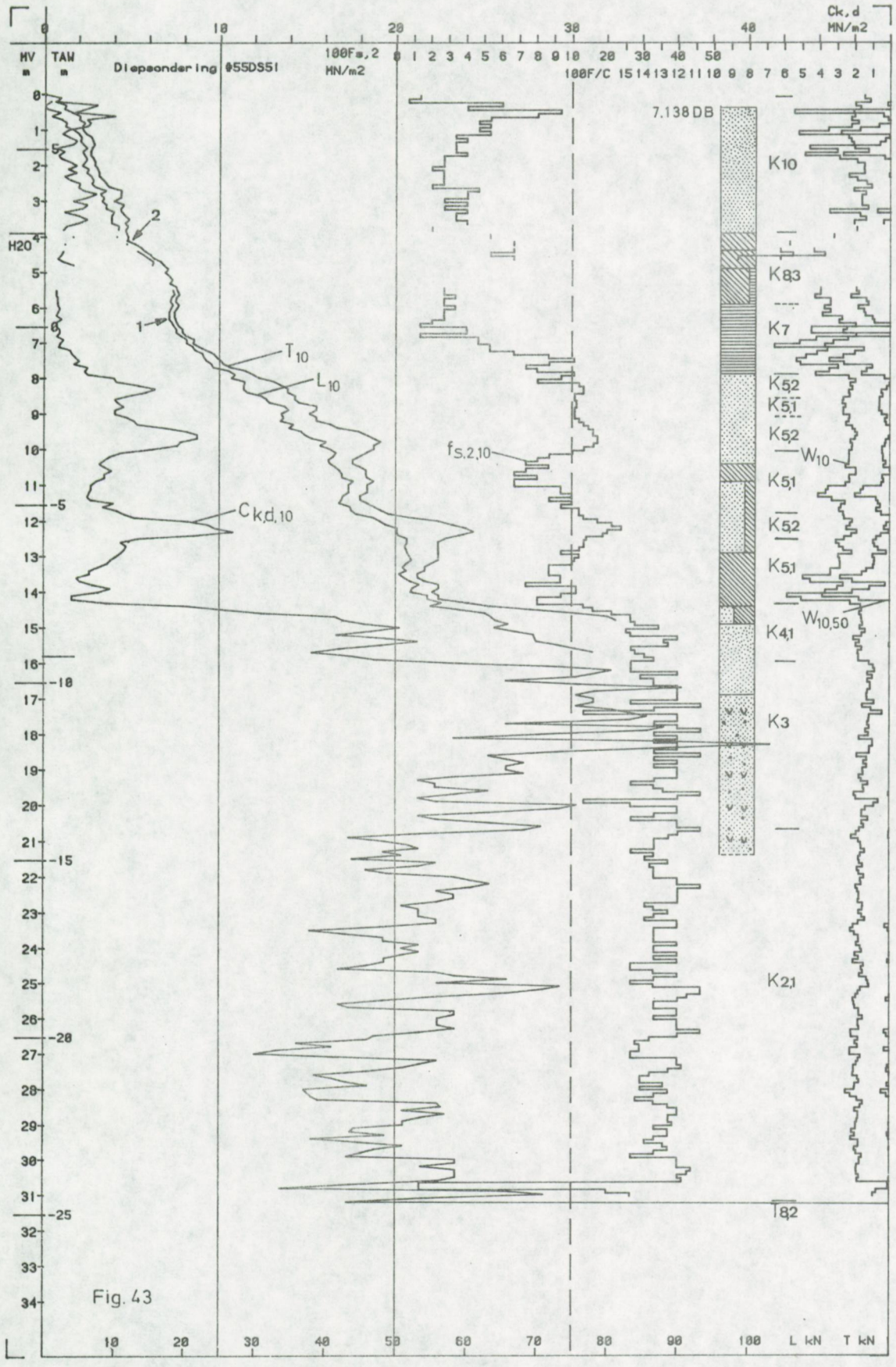

Ck,d MN/m2
MV m
TAW m
Diepsondering ø55DS51
100Fs,2 MN/m2
100F/C
7.138 DB
K10
K8,3
K7
K5,2
K5,1
K5,2
K5,1
K5,2
K5,1
K4,1
K3
K2,1
T8,2
T10
L10
fs,2,10
Ck,d,10
W10
W10,50
H20
L kN
T kN

Fig. 43

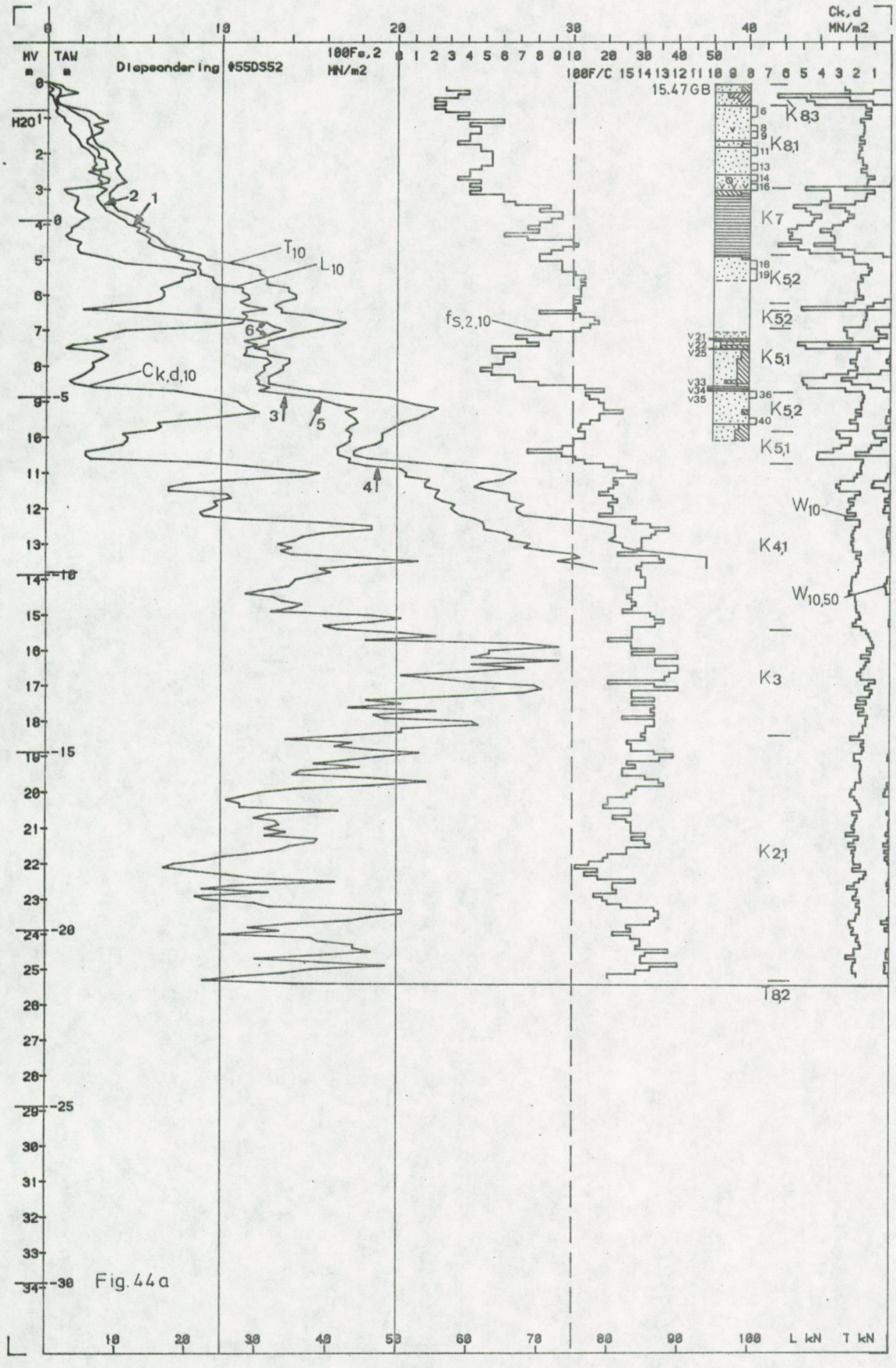

HV
m
TAW
m
Diepsondering 455DS52
100Fs,2
MN/m2
100F/C 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
Ck,d
MN/m2
INT.
15.47GB
K8,3
K8,1
K7
K5,2
K5,2
K5,1
K5,2
K5,1
K4,1
K3
K2,1
T8,2
W10
W10,50
T10
L10
fs,2,10
Ck,d,10
H20
L kN
T kN

Fig. 44a

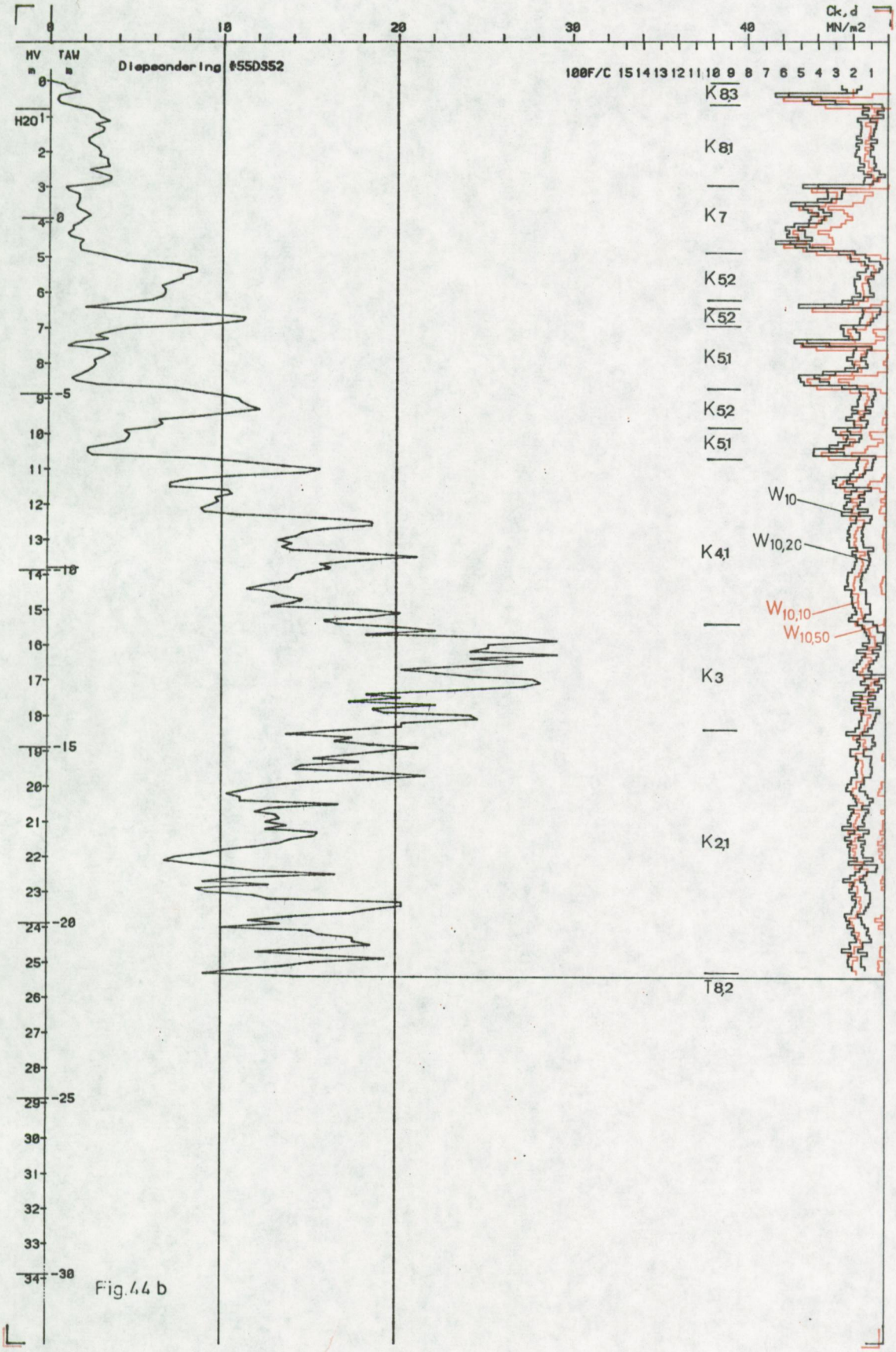
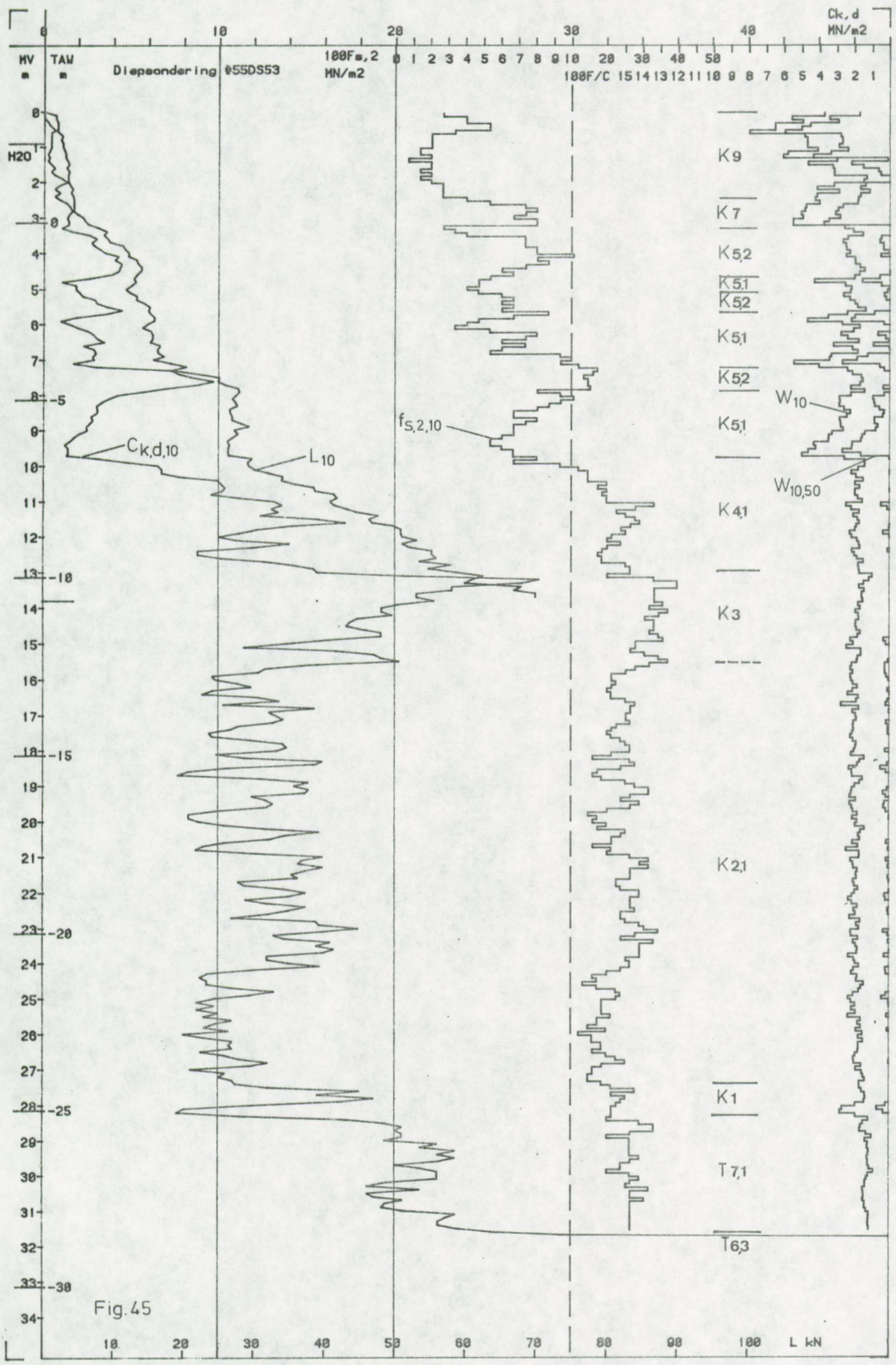

Ck,d
MN/m2
0
10
20
30
40
MV
m
TAW
m
Diepsondering 855D352
100F/C 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
H20
K8,3
K8,1
K7
K5,2
K5,2
K5,1
K5,2
K5,1
W10
W10,20
W10,10
W10,50
K4,1
K3
K2,1
T8,2

Fig. 44 b


MV m
TAW m
Diepsondering ø55DS53
100Fs,2 MN/m2
100F/C
Ck,d MN/m2
INT.
H2O
Ck,d,10
L10
fs,2,10
W10
W10,50
K9
K7
K5,2
K5,1
K5,2
K5,1
K5,2
K5,1
K4,1
K3
K2,1
K1
T7,1
T6,3
Fig. 45
L kN

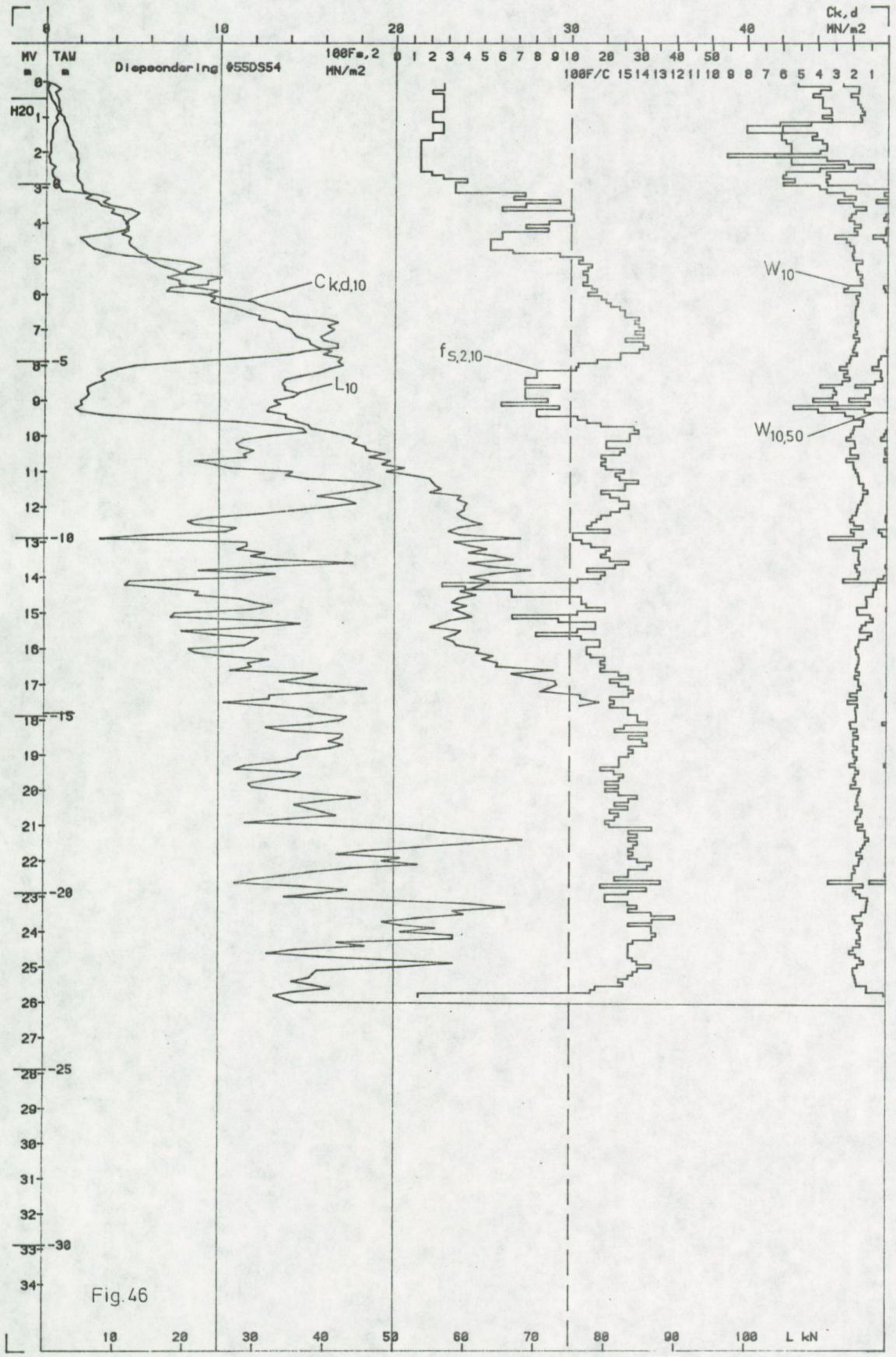

MV m
TAW m
Diepsondering ϕ55DS54
100Fs,2 MN/m2
100F/C
Ck,d MN/m2
INT.
H2O
Ck,d,10
L10
fs,2,10
W10
W10,50
L kN

Fig. 46

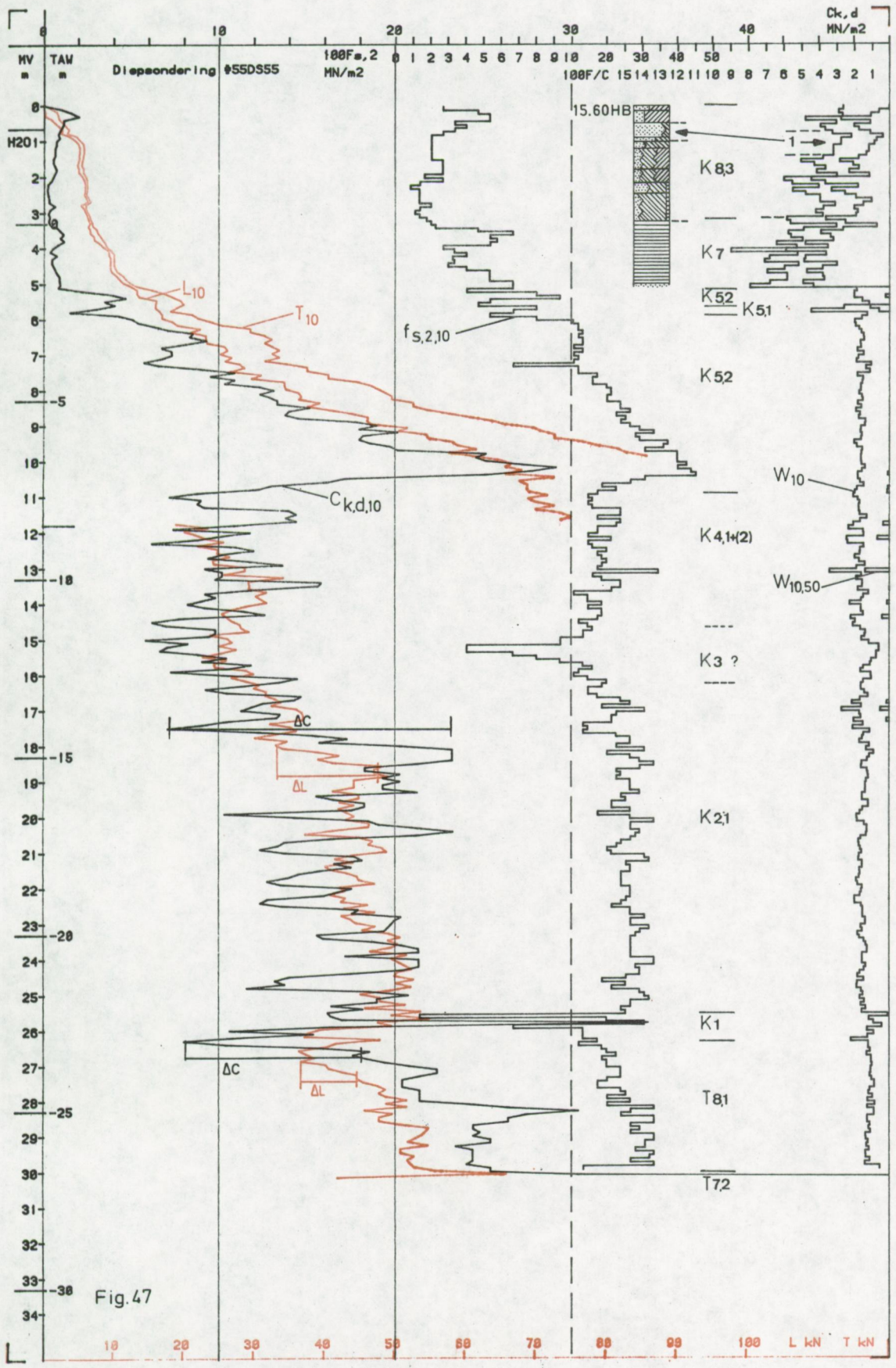

Ck,d MN/m2
MV m
TAW m
Diepsondering 655DS55
100Fs,2 MN/m2
100F/C
15.60HB
1
K8,3
K7
K5,2
K5,1
K5,2
K4,1+(2)
K3 ?
K2,1
K1
T8,1
T7,2
fs,2,10
L10
T10
Ck,d,10
W10
W10,50
ΔC
ΔL
ΔC
ΔL
L kN
T kN
INT.

Fig. 47

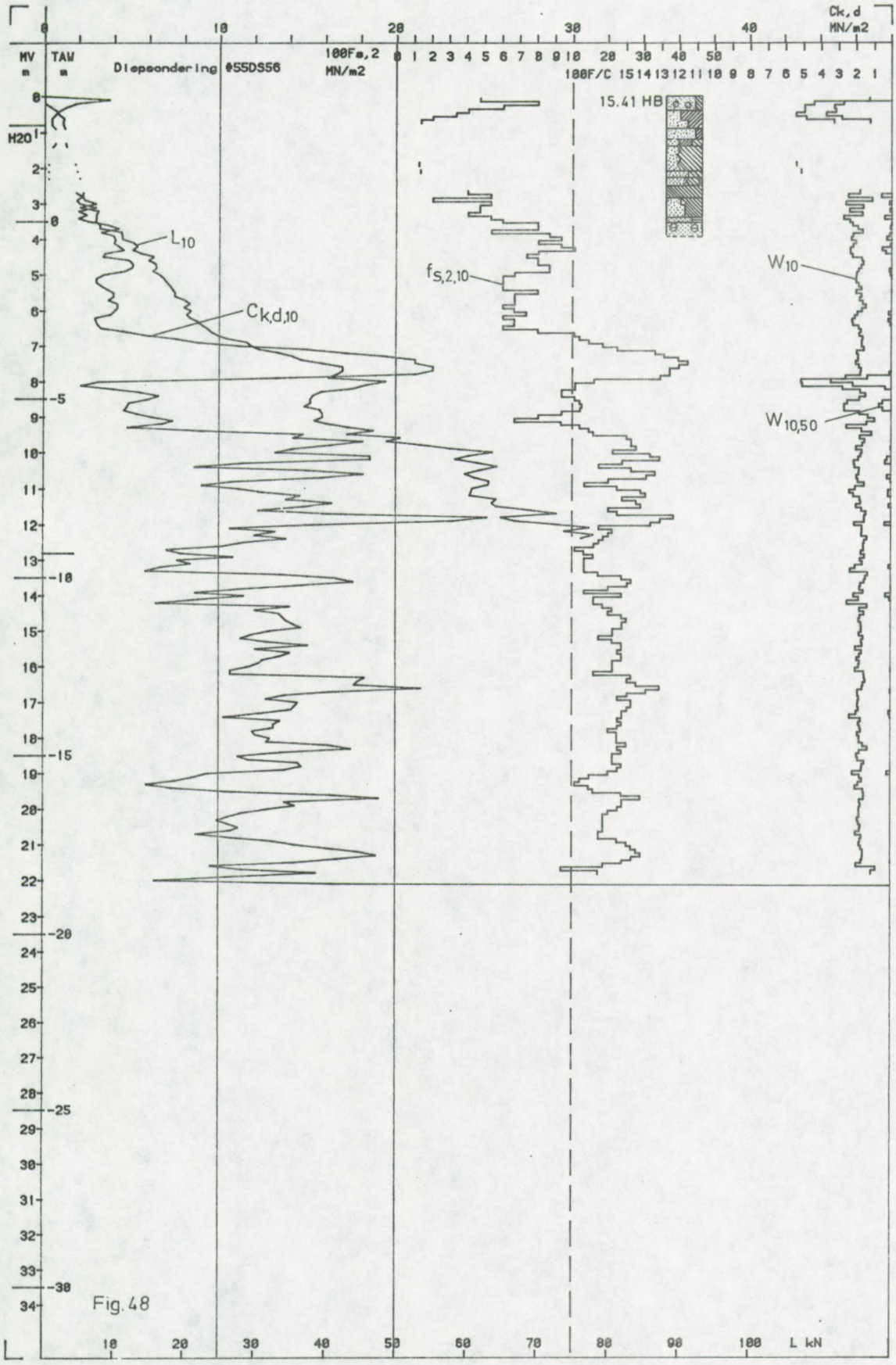

Ck,d MN/m2
MV m
TAW m
Diepsondering ø55DS56
100Fs,2 MN/m2
100F/C
15.41 HB
H20
L10
Ck,d,10
fs,2,10
W10
W10,50
INT.
L kN

Fig. 48

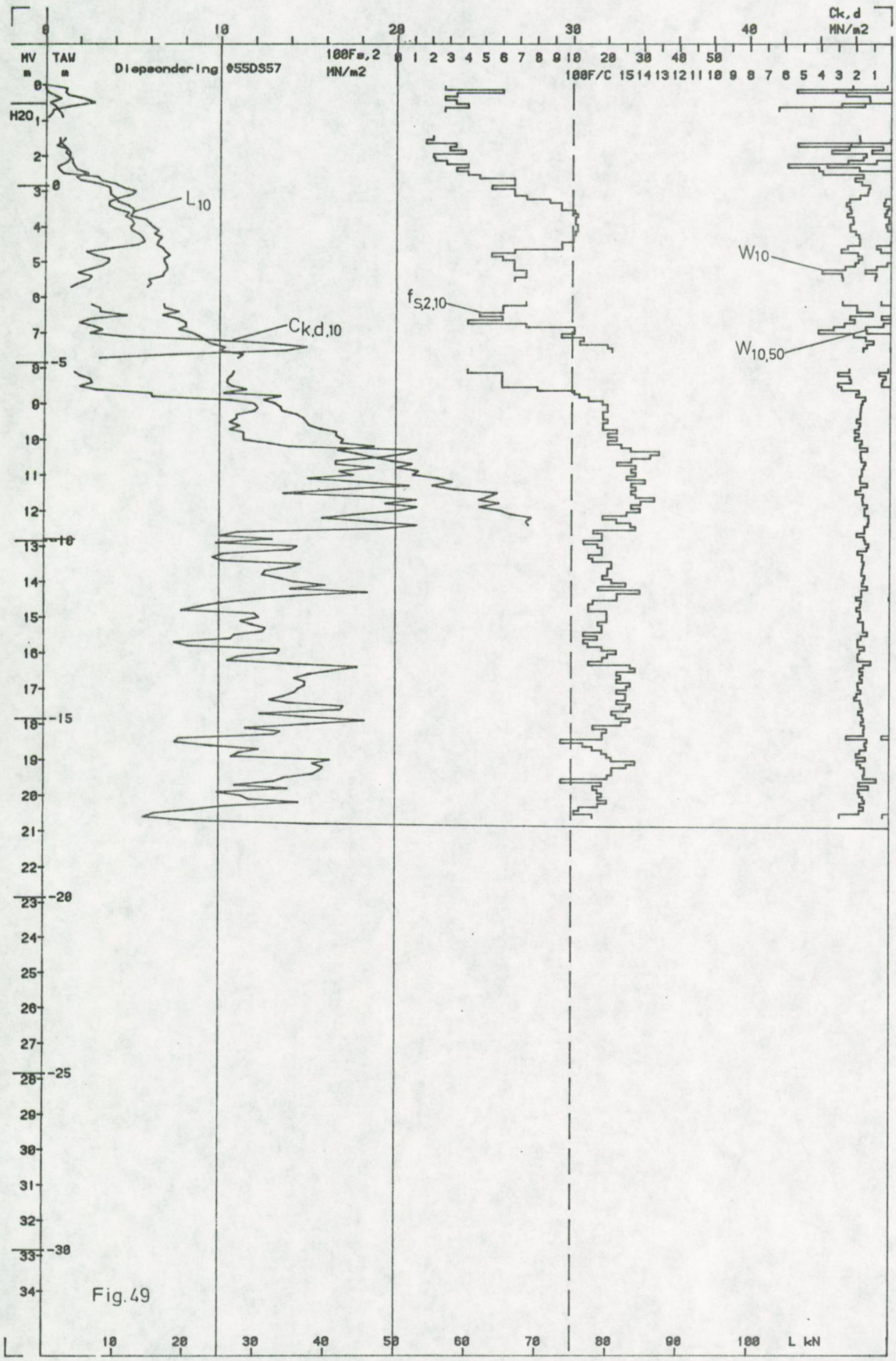

Ck,d MN/m2
MV m
TAW m
Diepsondering 055DS57
100Fs,2 MN/m2
100F/C
INT.
H2O
L10
Ck,d,10
fs,2,10
W10
W10,50
L kN

Fig. 49

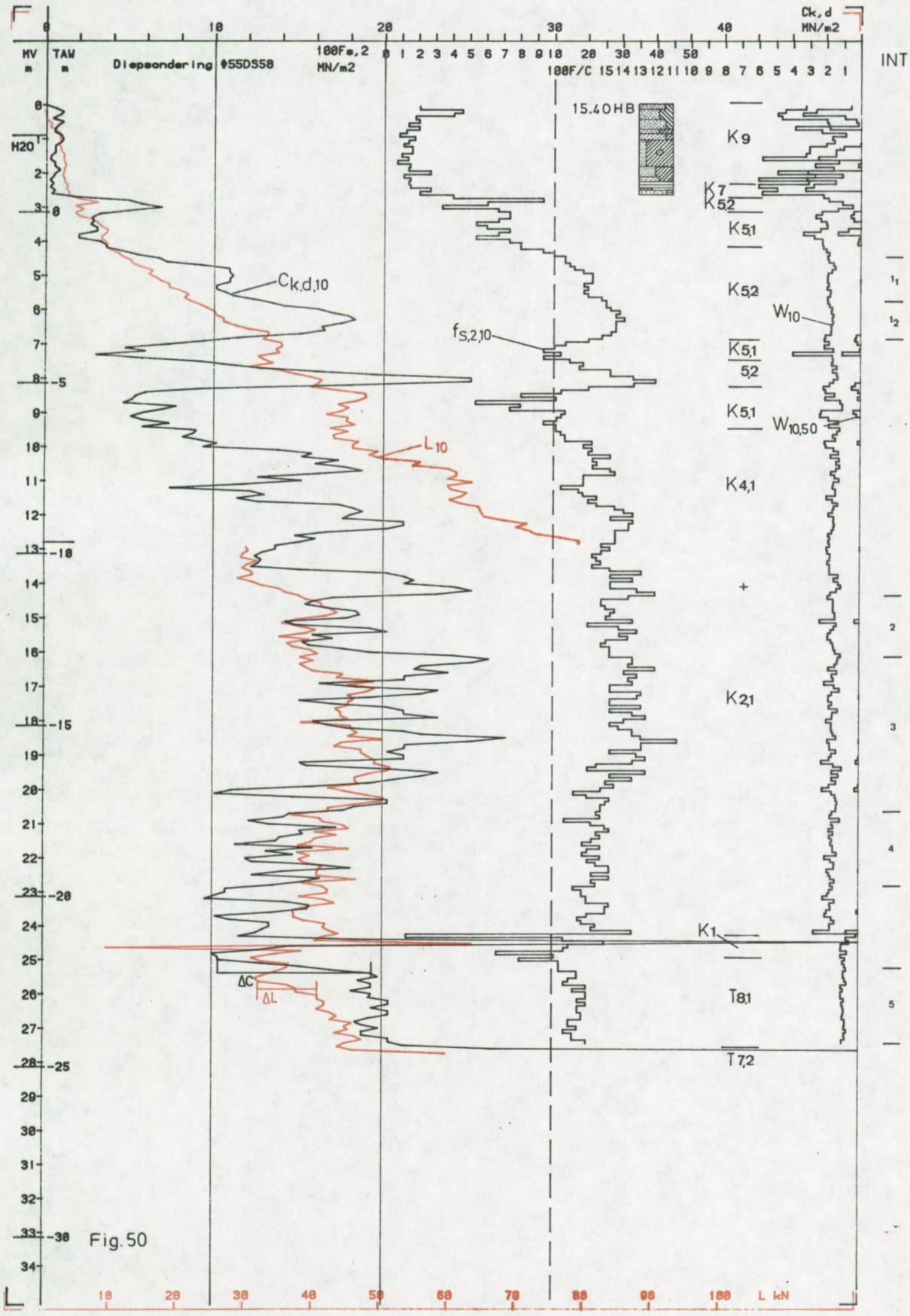

Ck,d MN/m2
MV m
TAW m
Diepsondering 855DS58
100Fs,2 MN/m2
100F/C
15.40HB
INT.
H20
Ck,d,10
fs,2,10
L10
W10
W10,50
K9
K7
K5,2
K5,1
K4,1
K2,1
K1
T8,1
T7,2
ΔC
ΔL
L kN

Fig. 50

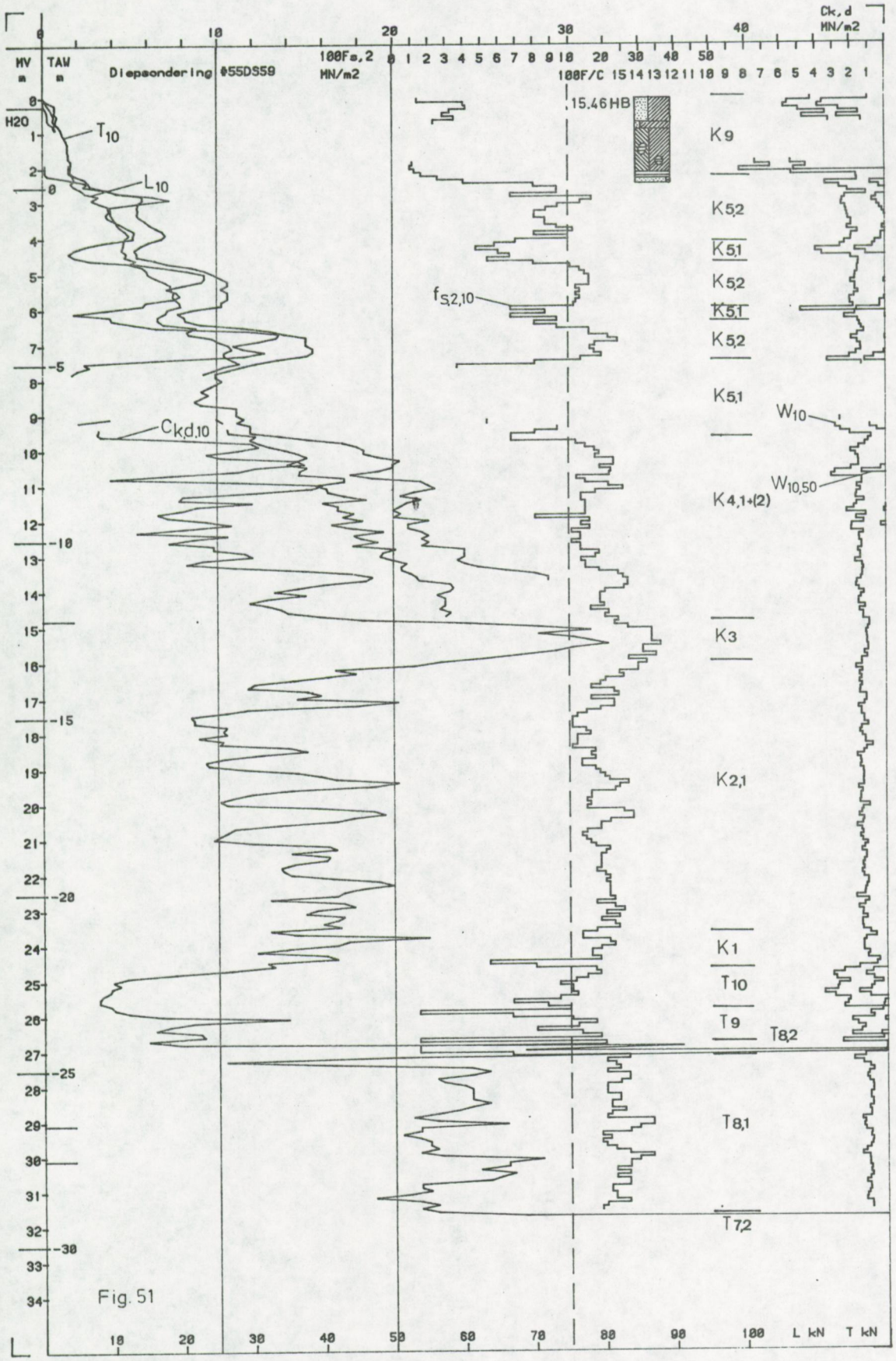

MV m
TAW m
Diepsondering @55DS59
100Fs,2 MN/m2
100F/C
15.46HB
Ck,d MN/m2
INT.
H2O
T10
L10
Ck,d,10
fs,2,10
W10
W10,50
K9
K5,2
K5,1
K4,1+(2)
K3
K2,1
K1
T10
T9
T8,2
T8,1
T7,2
L kN
T kN

Fig. 51

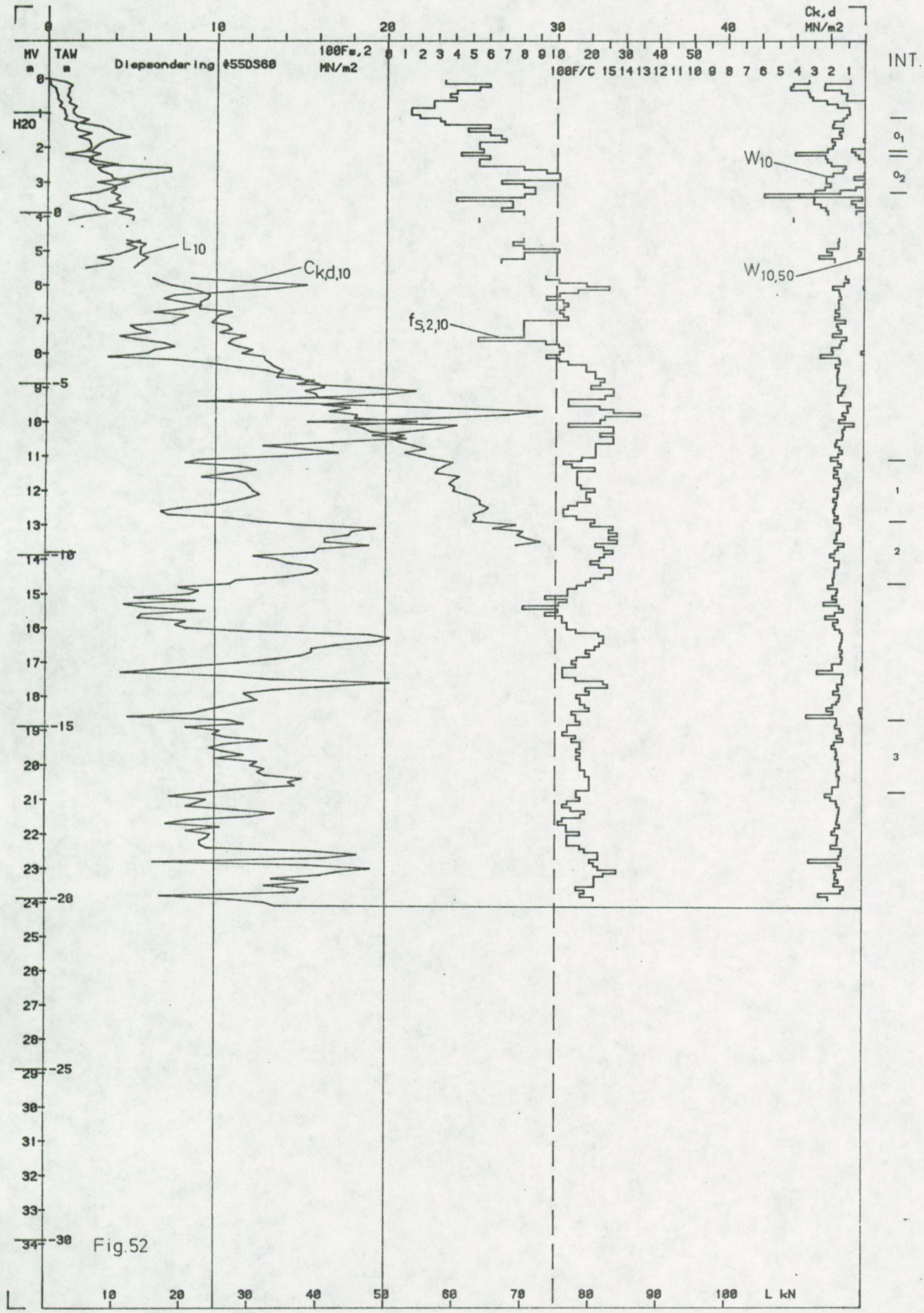
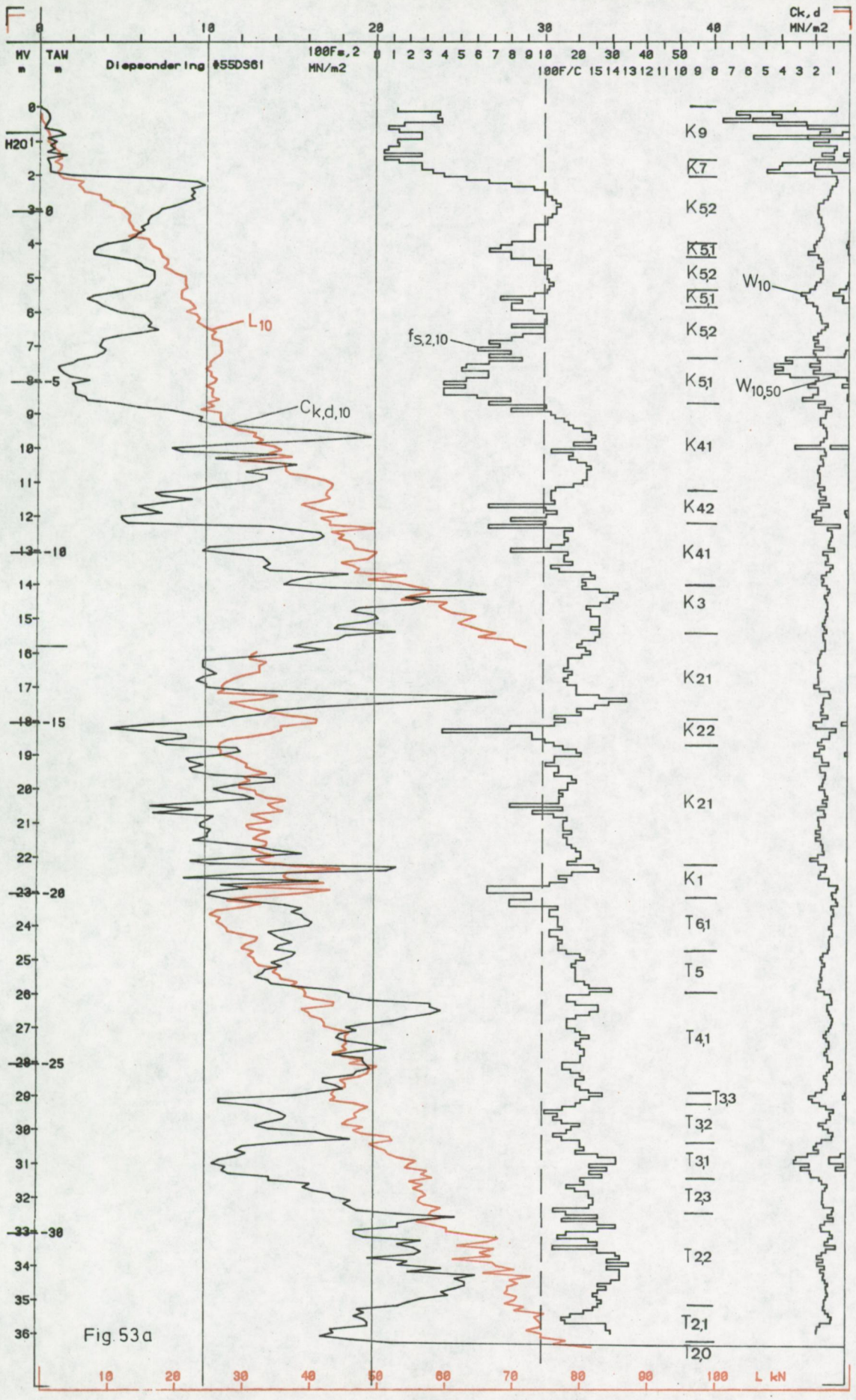

MV m
TAW m
Diepsondering ϕ55DS68
100Fs,2 MN/m2
100F/C
Ck,d MN/m2
INT.
H2O
L10
Ck,d,10
fs,2,10
W10
W10,50
o1
o2
1
2
3
L kN

Fig.52



MV m
TAW m
Diepsondering #55DS61
100Fs,2 MN/m2
100F/C
Ck,d MN/m2
INT.
H2O
L10
Ck,d,10
fs,2,10
W10
W10,50
K9
K7
K5,2
K5,1
K41
K42
K3
K21
K22
K1
T6,1
T5
T4,1
T3,3
T3,2
T3,1
T2,3
T2,2
T2,1
T2,0
L kN


Fig. 53a

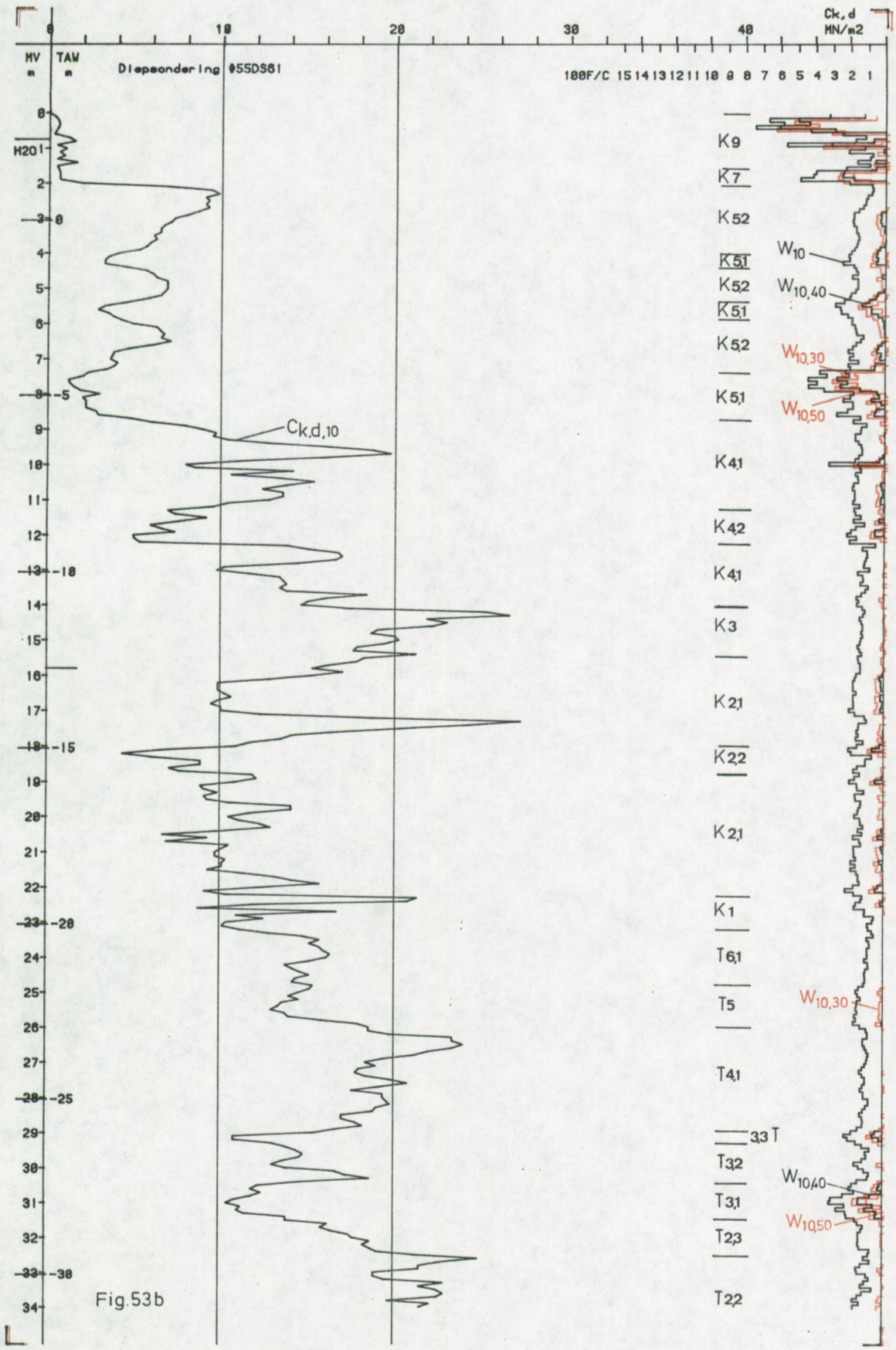
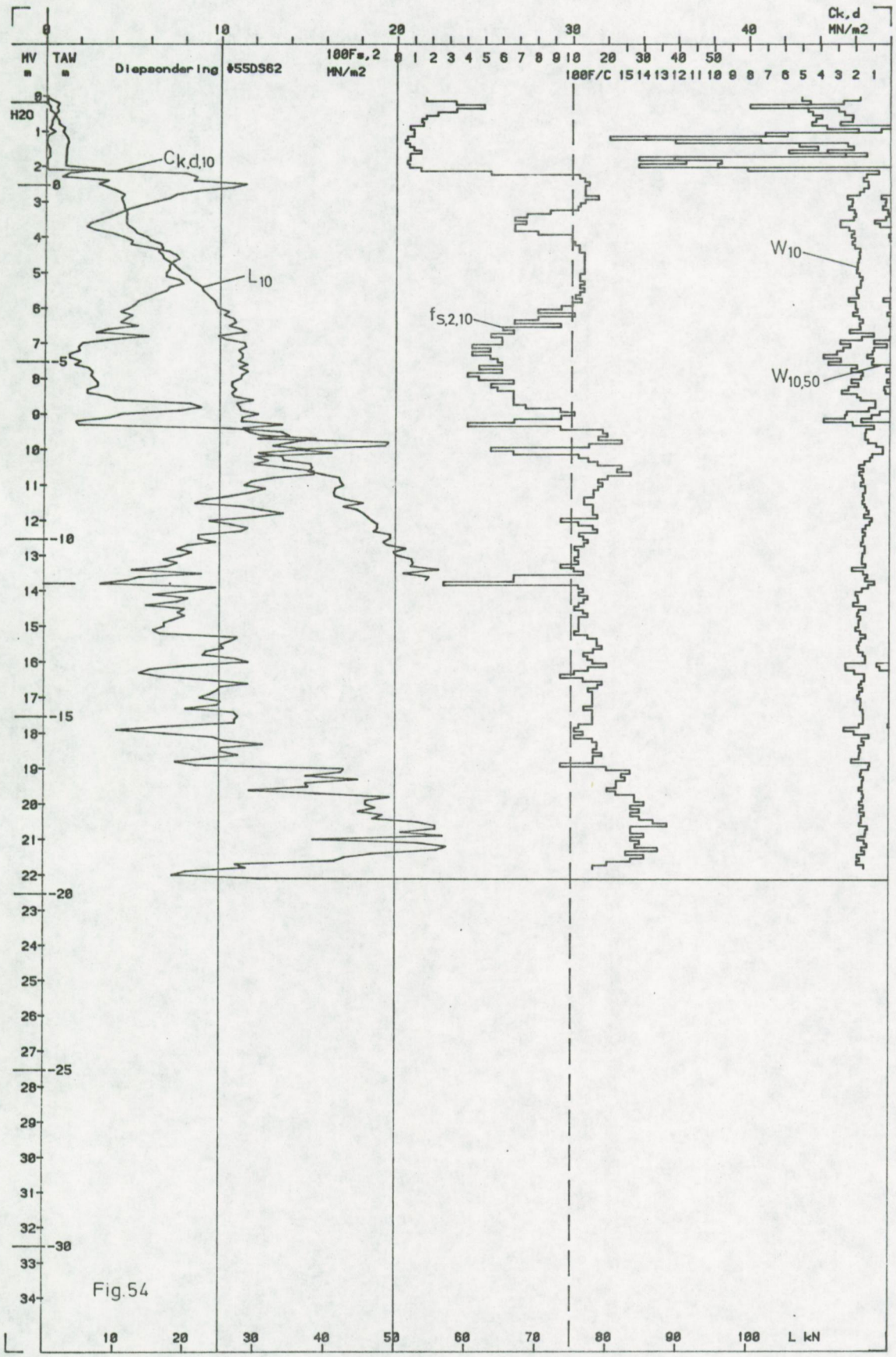

Ck,d
MN/m2
MV
m
TAW
m
Diepsondering 855DS61
100F/C 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
H20
Ck,d,10
K9
K7
K5,2
K5,1
K5,2
K5,1
K5,2
K5,1
K4,1
K4,2
K4,1
K3
K2,1
K2,2
K2,1
K1
T6,1
T5
T4,1
3,3 T
T3,2
T3,1
T2,3
T2,2
W10
W10,40
W10,30
W10,50
W10,30
W10,40
W10,50

Fig. 53b



Ck,d
MN/m2
MV
m
TAW
m
Diepsondering #55DS62
100Fs,2
MN/m2
100F/C
INT.
H2O
Ck,d,10
L10
fs,2,10
W10
W10,50
L kN


Fig.54

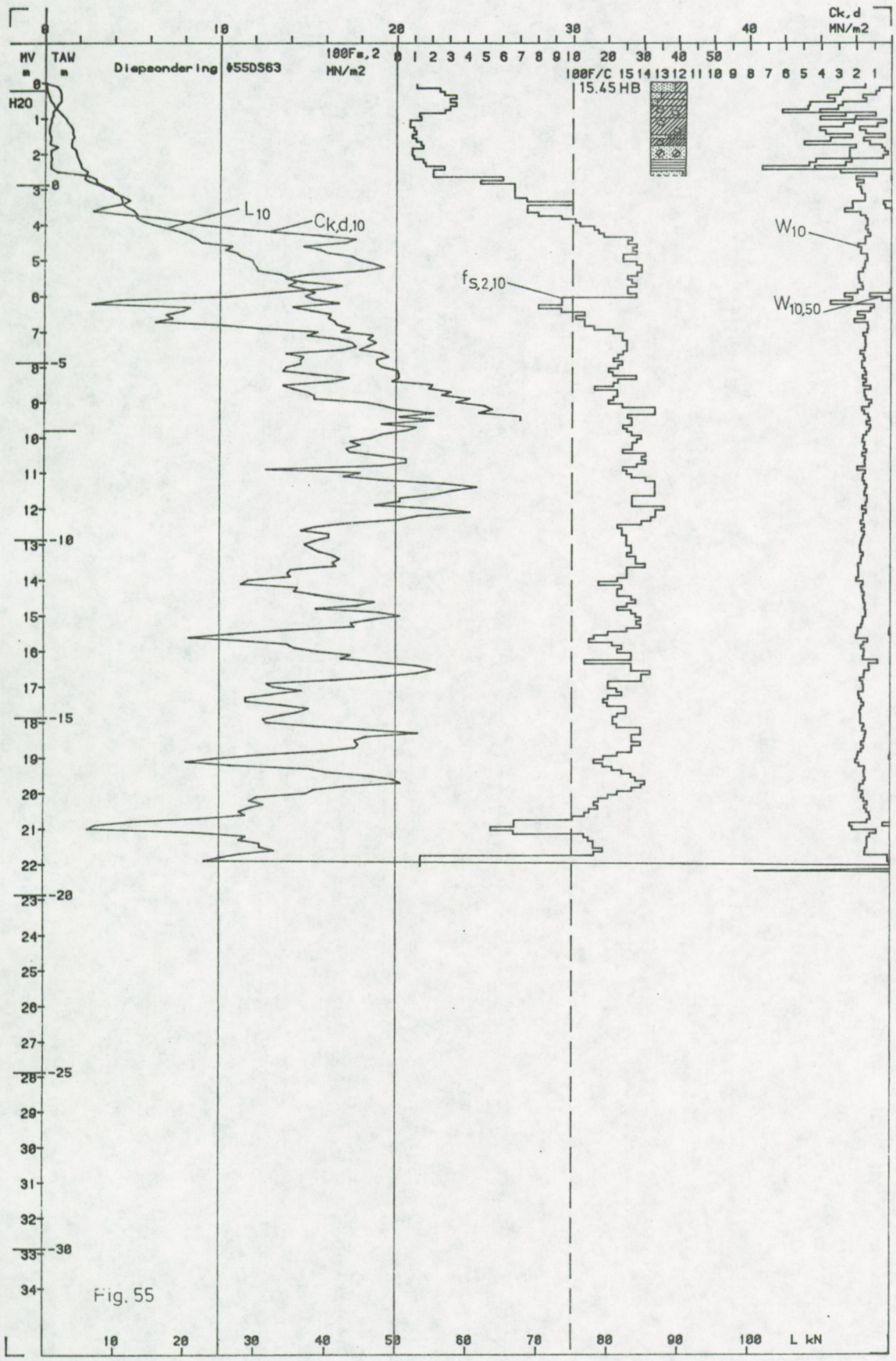

Ck,d MN/m2
MV m
TAW m
Diepsondering ϕ55DS63
180Fs,2 MN/m2
180F/C
15.45 HB
H2O
L10
Ck,d,10
fs,2,10
W10
W10,50
INT.
L kN

Fig. 55

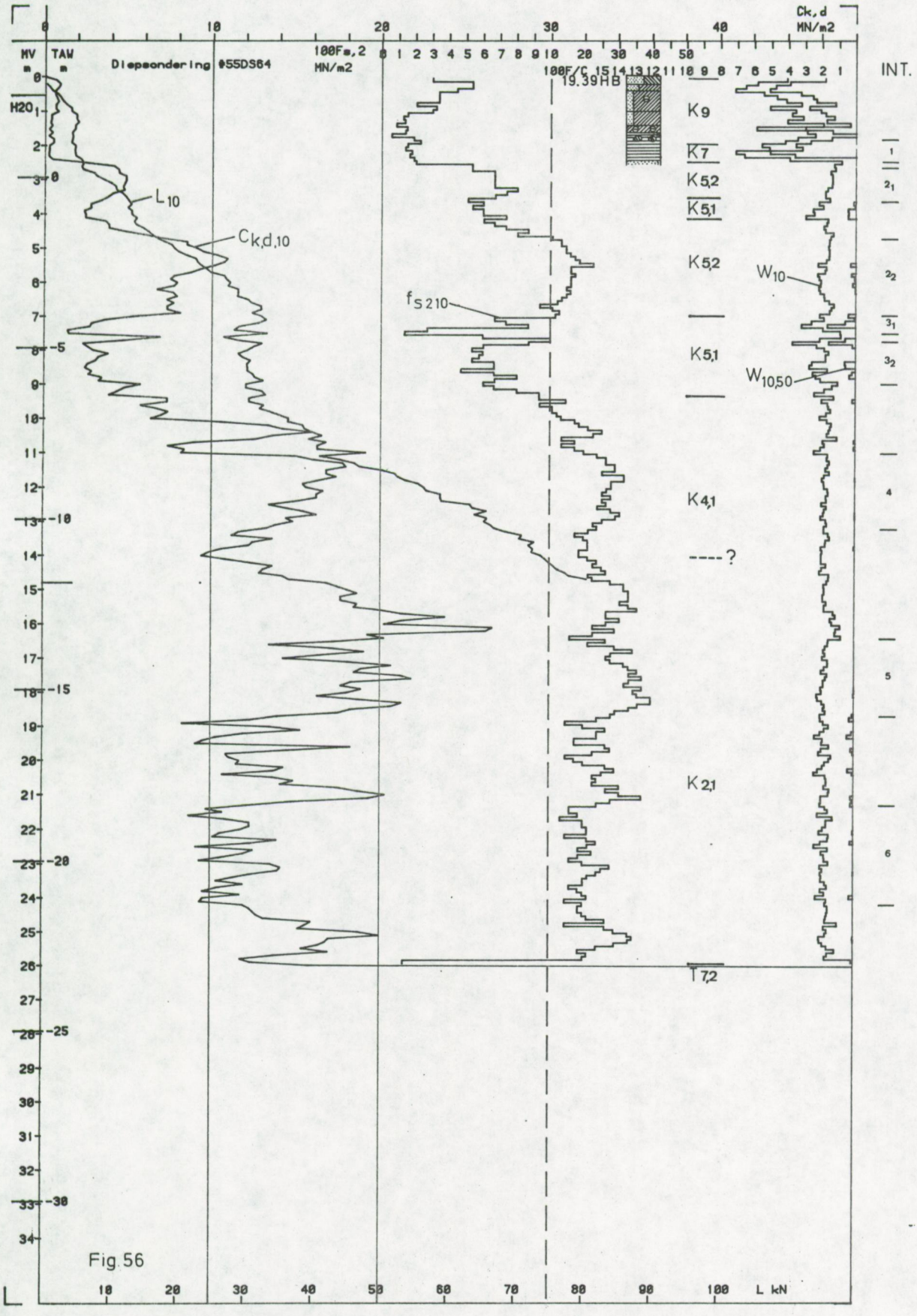

Diepsondering ϕ55DS64
100Fs,2 MN/m2
100F/C
19.39HB
Ck,d MN/m2
INT.
MV m
TAW m
H2O
$L_{10}$
$C_{k,d,10}$
$f_{s\,2\,10}$
$W_{10}$
$W_{10,50}$
K9
K7
K5,2
K5,1
K5,2
K5,1
K4,1
----?
K2,1
T7,2
L kN

Fig. 56

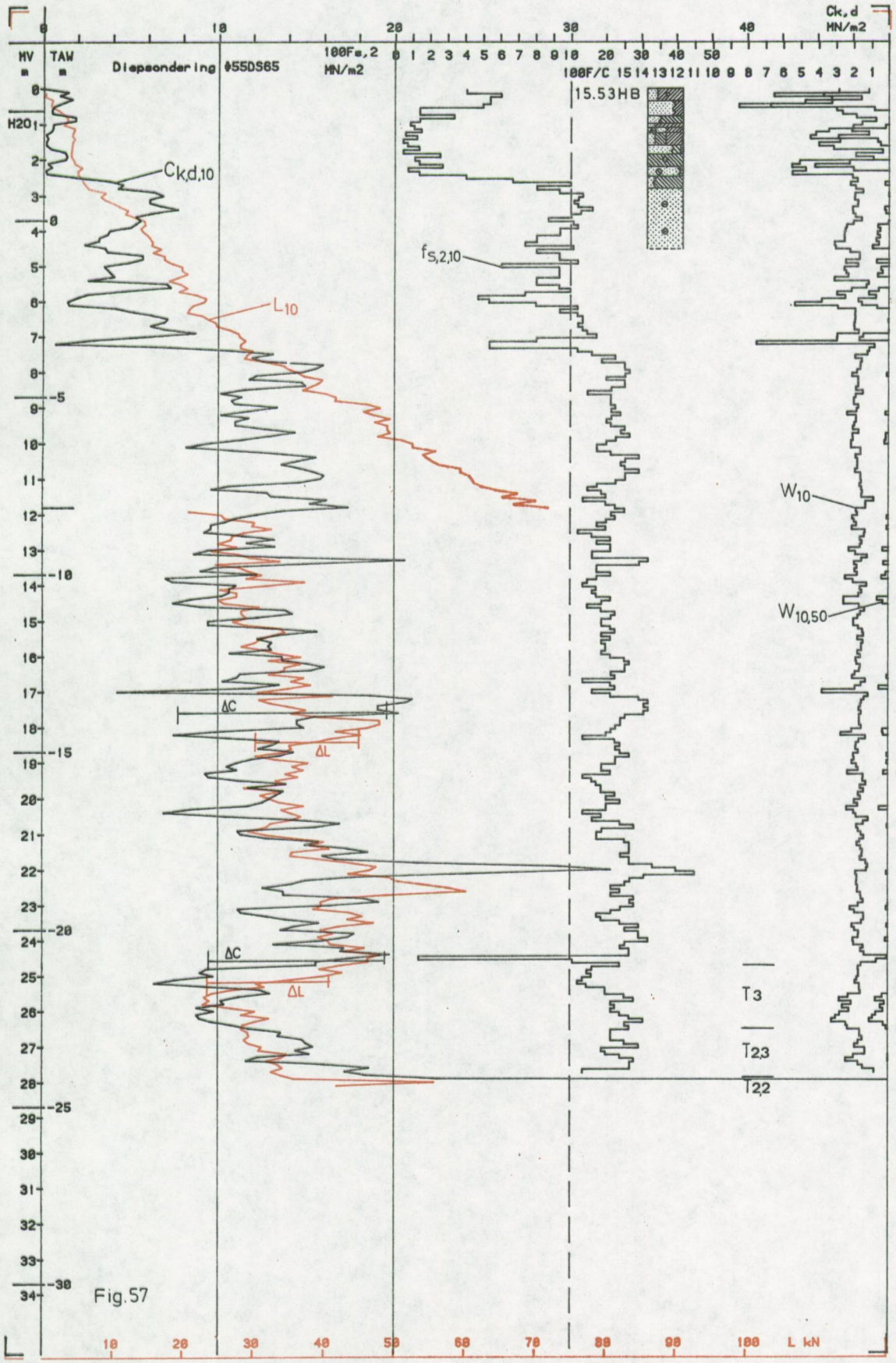
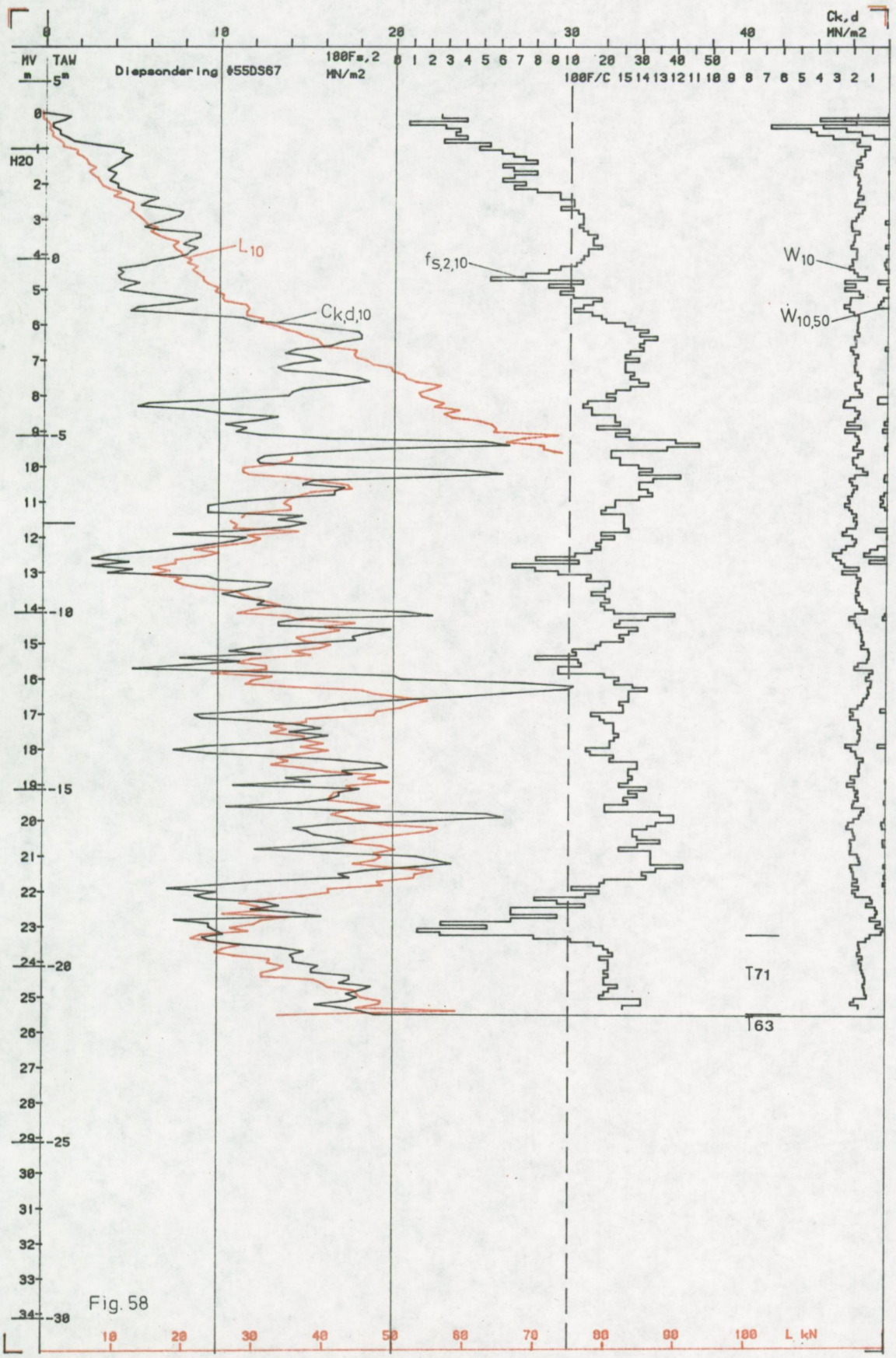
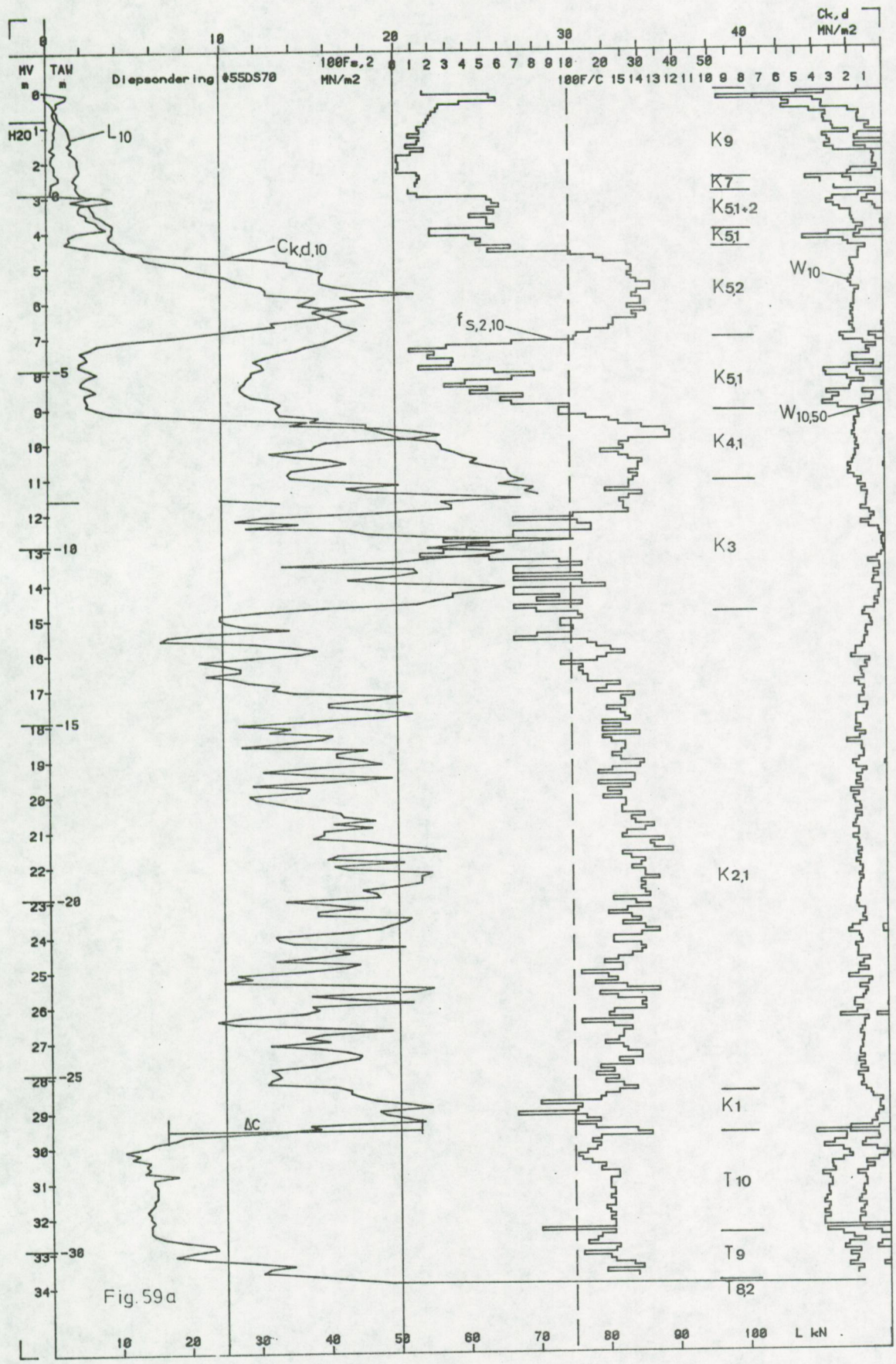

Ck,d MN/m2
MV m
TAW m
Diepsondering ϕ55DS65
100Fs,2 MN/m2
100F/C
15.53HB
INT.
Ck,d,10
L10
fs,2,10
W10
W10,50
ΔC
ΔL
T3
T23
T22
L kN

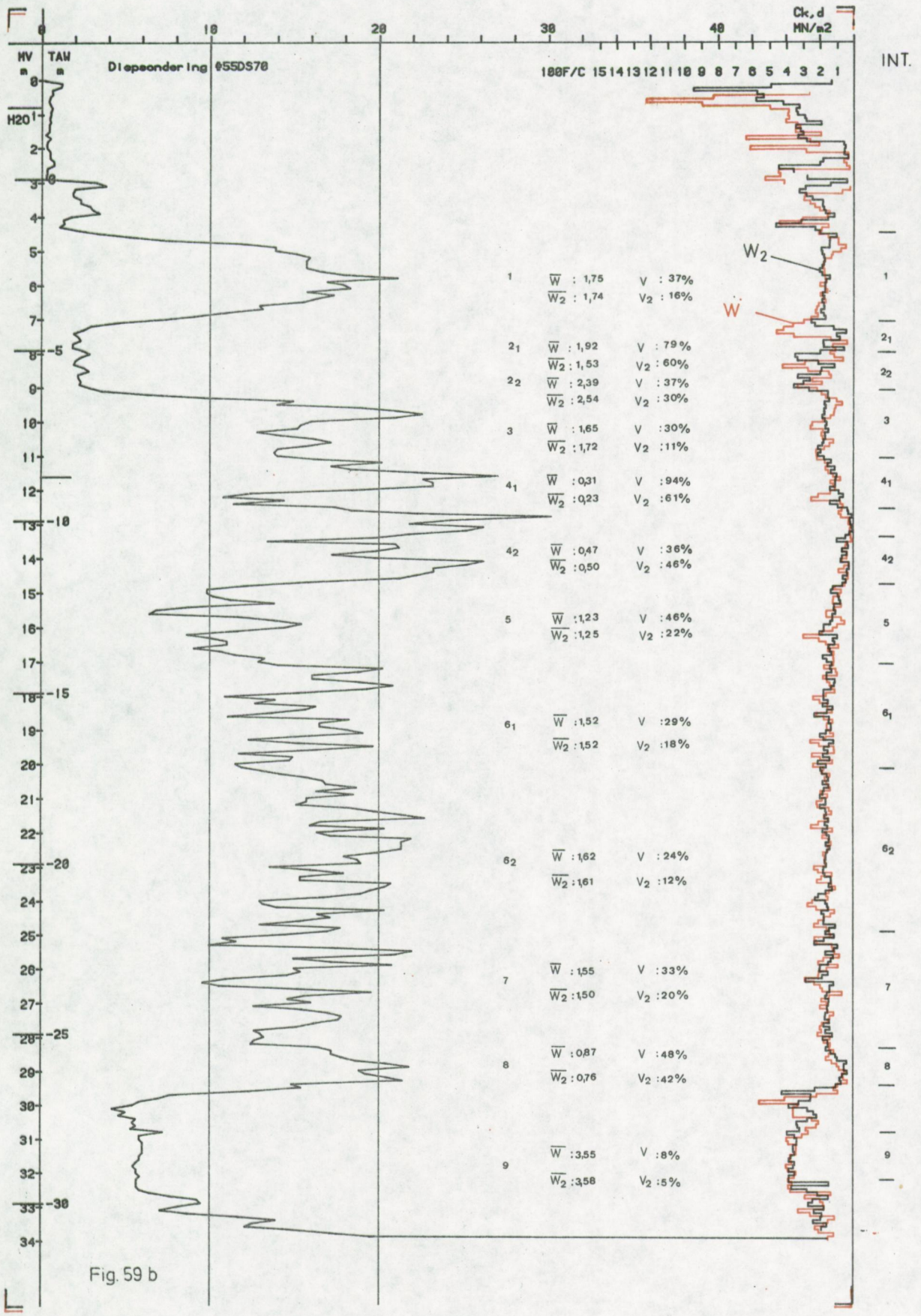
Fig. 57



MV
TAW
Diepsondering #55DS67
100Fs,2
MN/m2
100F/C
Ck,d
MN/m2
INT.
H2O
L10
Ck,d,10
fs,2,10
W10
Ẇ10,50
T71
T63
L kN


Fig. 58


Ck,d MN/m2
MV m
TAW m
Diepsondering ø55DS70
100Fs,2 MN/m2
100F/C
INT.
H20
L10
Ck,d,10
fs,2,10
W10
W10,50
K9
K7
K5,1+2
K5,1
K5,2
K5,1
K4,1
K3
K2,1
K1
T10
T9
T8,2
ΔC
Fig. 59a
L kN



Ck,d
MN/m2
0
10
20
30
40
MV
m
TAW
m
Diepsondering #55DS70
100F/C 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
INT.
H2O
W2
W
1 W̄ : 1,75 V : 37%
W̄2 : 1,74 V2 : 16%
21 W̄ : 1,92 V : 79%
W̄2 : 1,53 V2 : 60%
22 W̄ : 2,39 V : 37%
W̄2 : 2,54 V2 : 30%
3 W̄ : 1,65 V : 30%
W̄2 : 1,72 V2 : 11%
41 W̄ : 0,31 V : 94%
W̄2 : 0,23 V2 : 61%
42 W̄ : 0,47 V : 36%
W̄2 : 0,50 V2 : 46%
5 W̄ : 1,23 V : 46%
W̄2 : 1,25 V2 : 22%
61 W̄ : 1,52 V : 29%
W̄2 : 1,52 V2 : 18%
62 W̄ : 1,62 V : 24%
W̄2 : 1,61 V2 : 12%
7 W̄ : 1,55 V : 33%
W̄2 : 1,50 V2 : 20%
8 W̄ : 0,87 V : 48%
W̄2 : 0,76 V2 : 42%
9 W̄ : 3,55 V : 8%
W̄2 : 3,58 V2 : 5%


Fig. 59 b

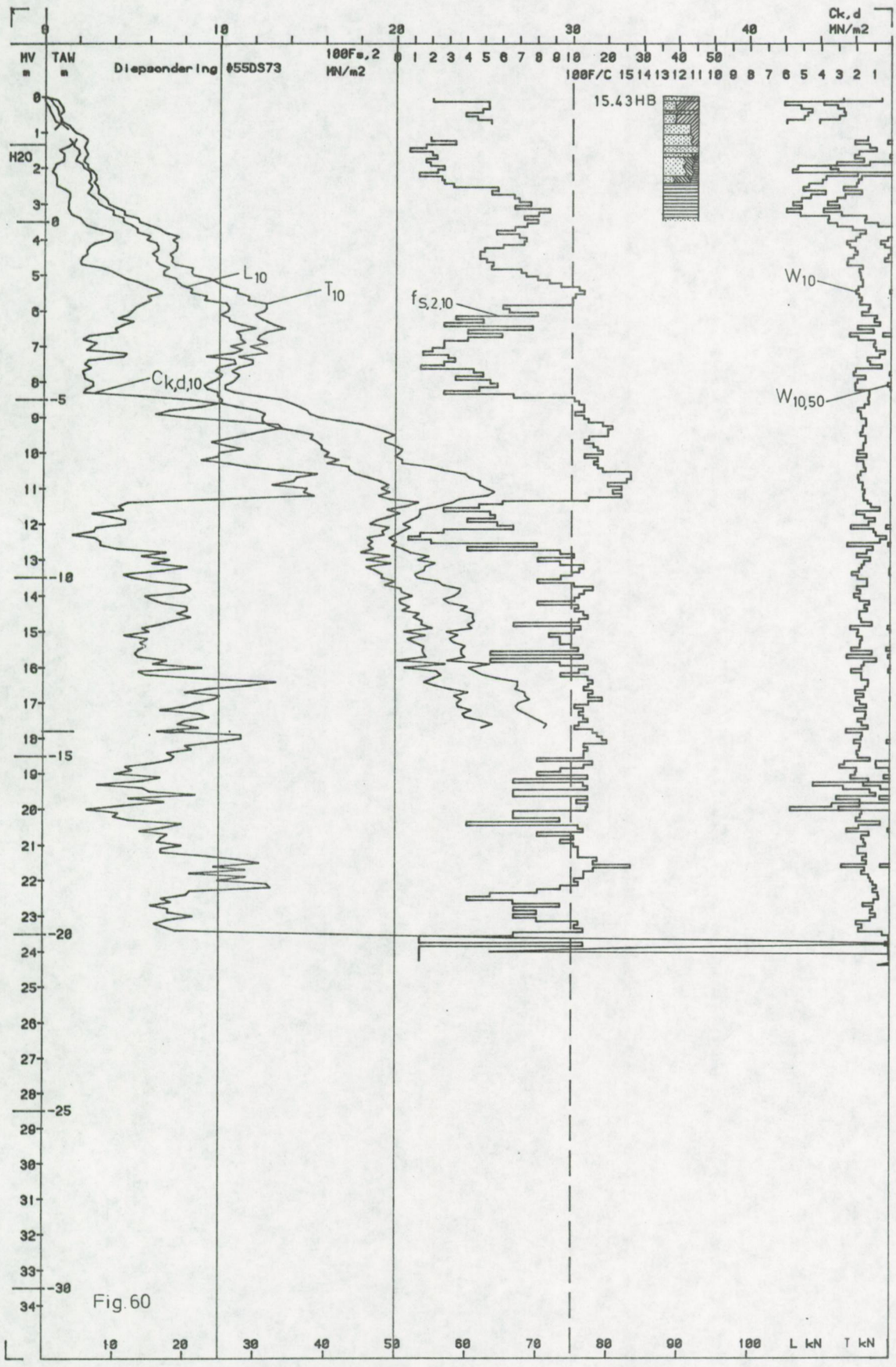

Ck,d MN/m2
HV m
TAW m
Diepsondering 055DS73
100Fs,2 MN/m2
100F/C
15.43HB
INT.
H2O
$L_{10}$
$T_{10}$
$C_{k,d,10}$
$f_{s,2,10}$
$W_{10}$
$W_{10,50}$
L kN
T kN

Fig. 60

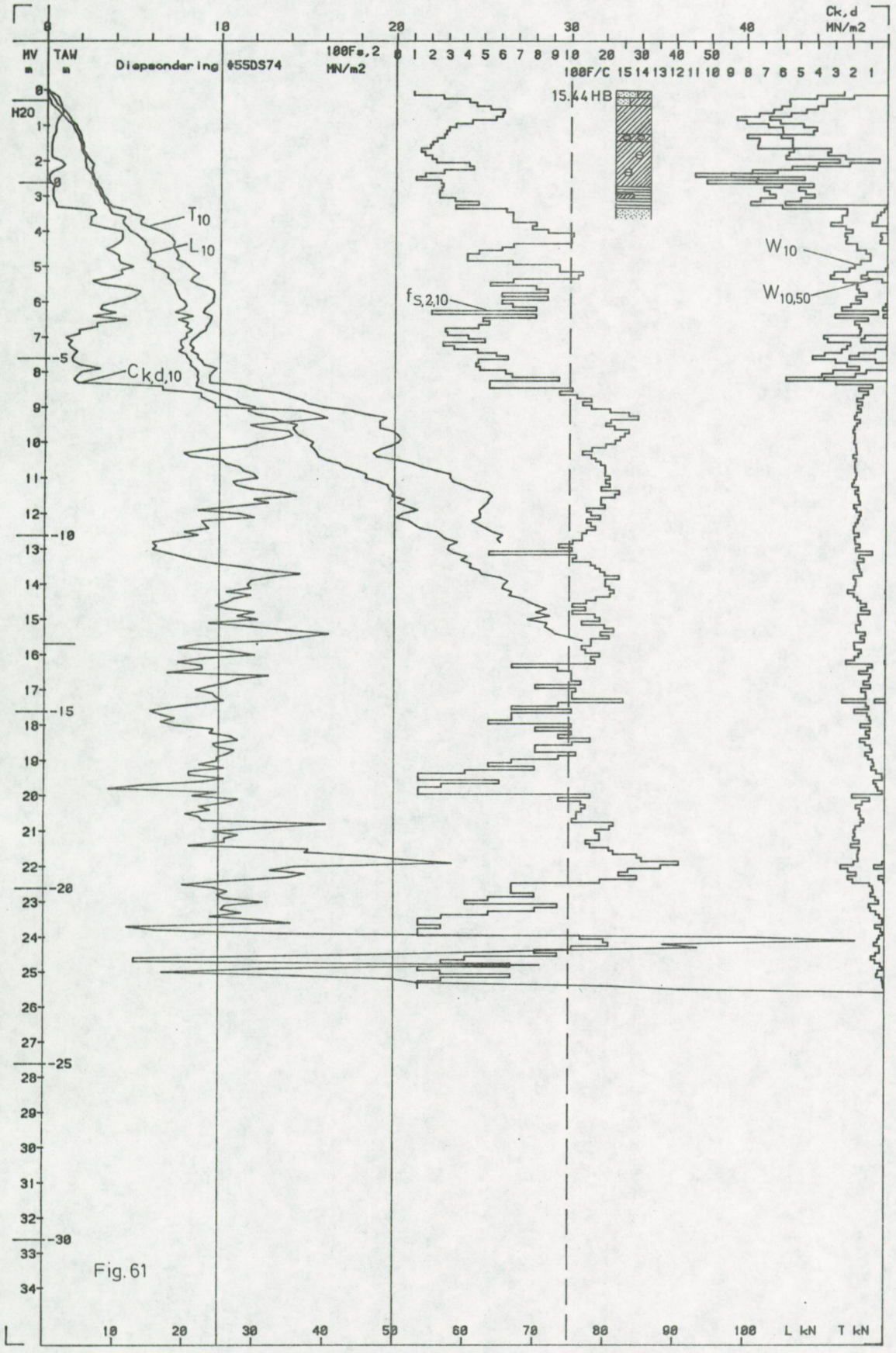
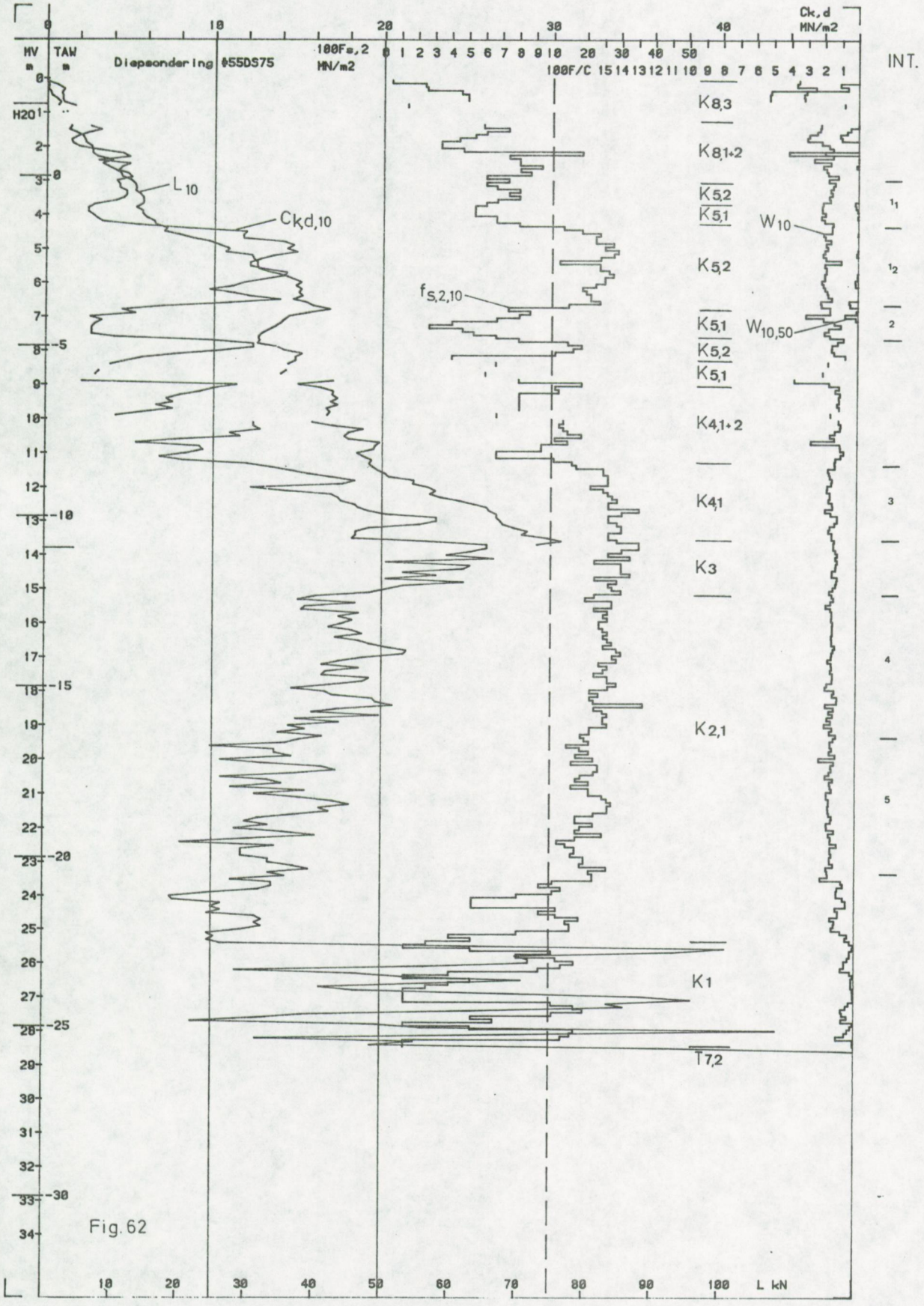

Ck,d MN/m2
MV m
TAW m
Diepsondering 55DS74
100Fs,2 MN/m2
100F/C
15.44 HB
H20
$T_{10}$
$L_{10}$
$C_{k,d,10}$
$f_{s,2,10}$
$W_{10}$
$W_{10,50}$
INT.
L kN
T kN

Fig. 61



MV m
TAW m
Diepsondering #55DS75
100Fs,2 MN/m2
100F/C
Ck,d MN/m2
INT.
H2O
L10
Ck,d,10
fs,2,10
W10
W10,50
K8,3
K8,1+2
K5,2
K5,1
K5,2
K5,1
K5,2
K5,1
K4,1+2
K4,1
K3
K2,1
K1
T7,2
L kN


Fig. 62

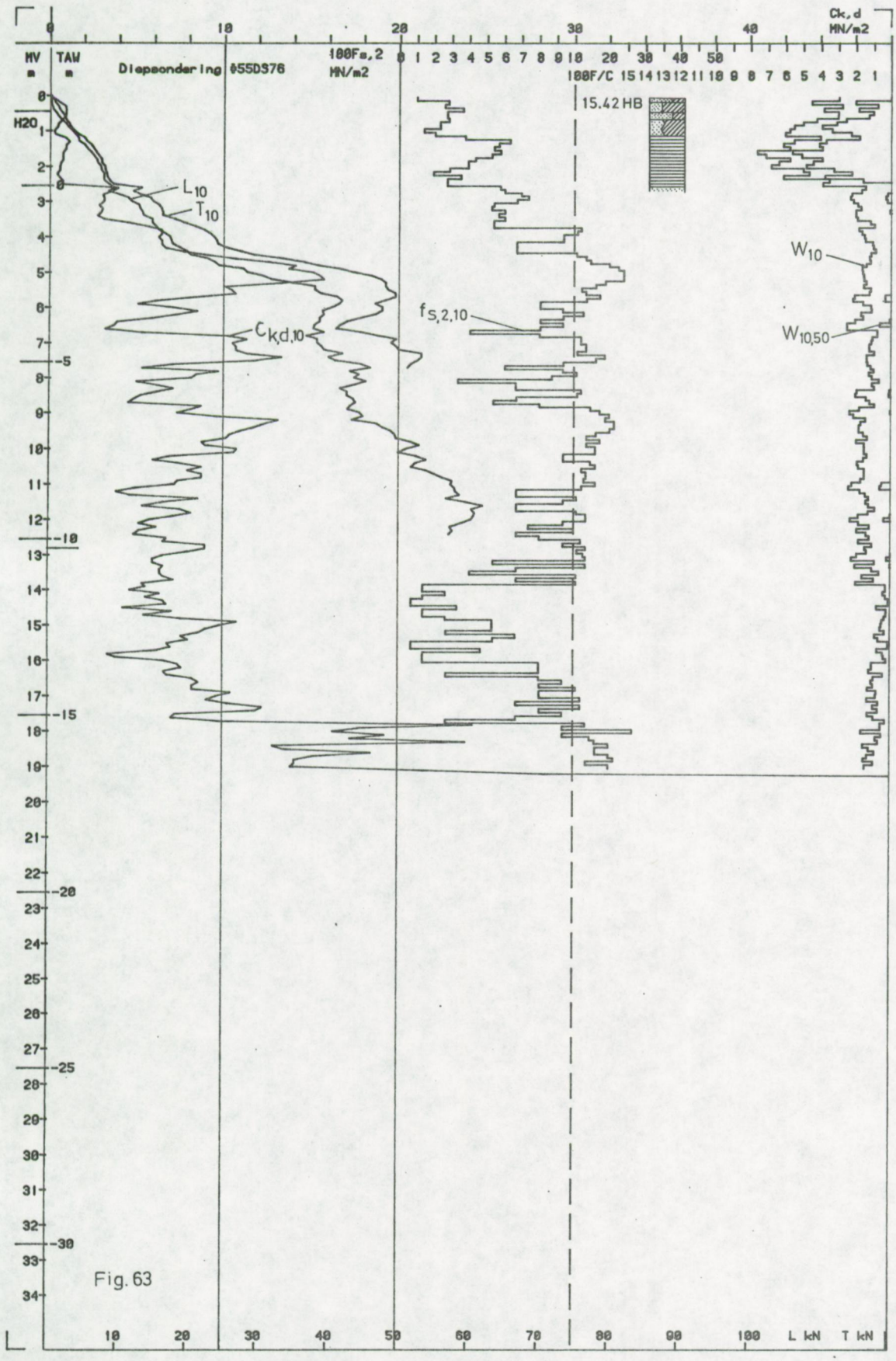

Ck,d MN/m2
MV m
TAW m
Diepsondering 055D376
180Fs,2 MN/m2
180F/C 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
15.42 HB
H2O
L10
T10
Ck,d,10
fs,2,10
W10
W10,50
INT.
1
21
22
23
L kN
T kN

Fig. 63

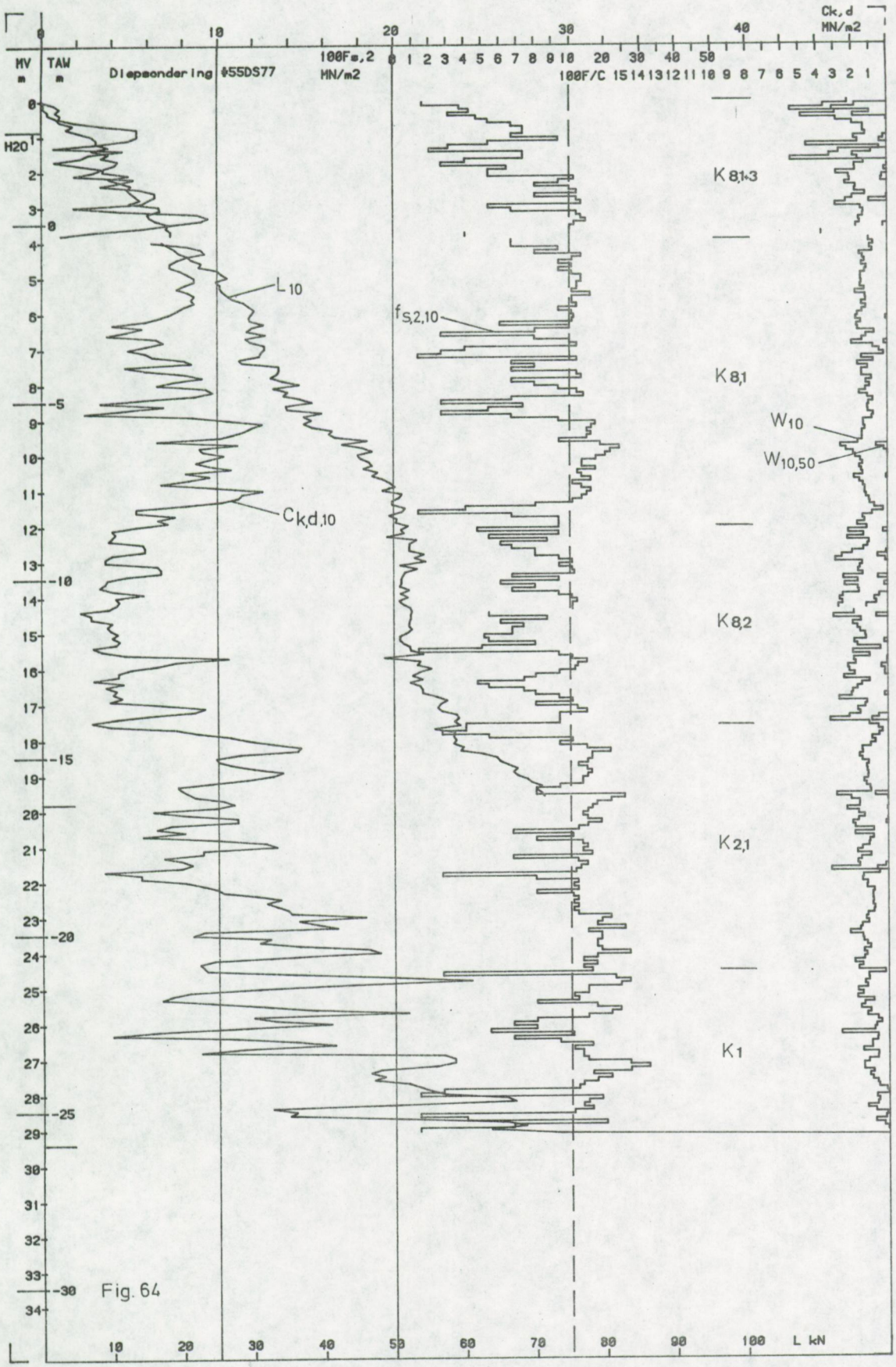
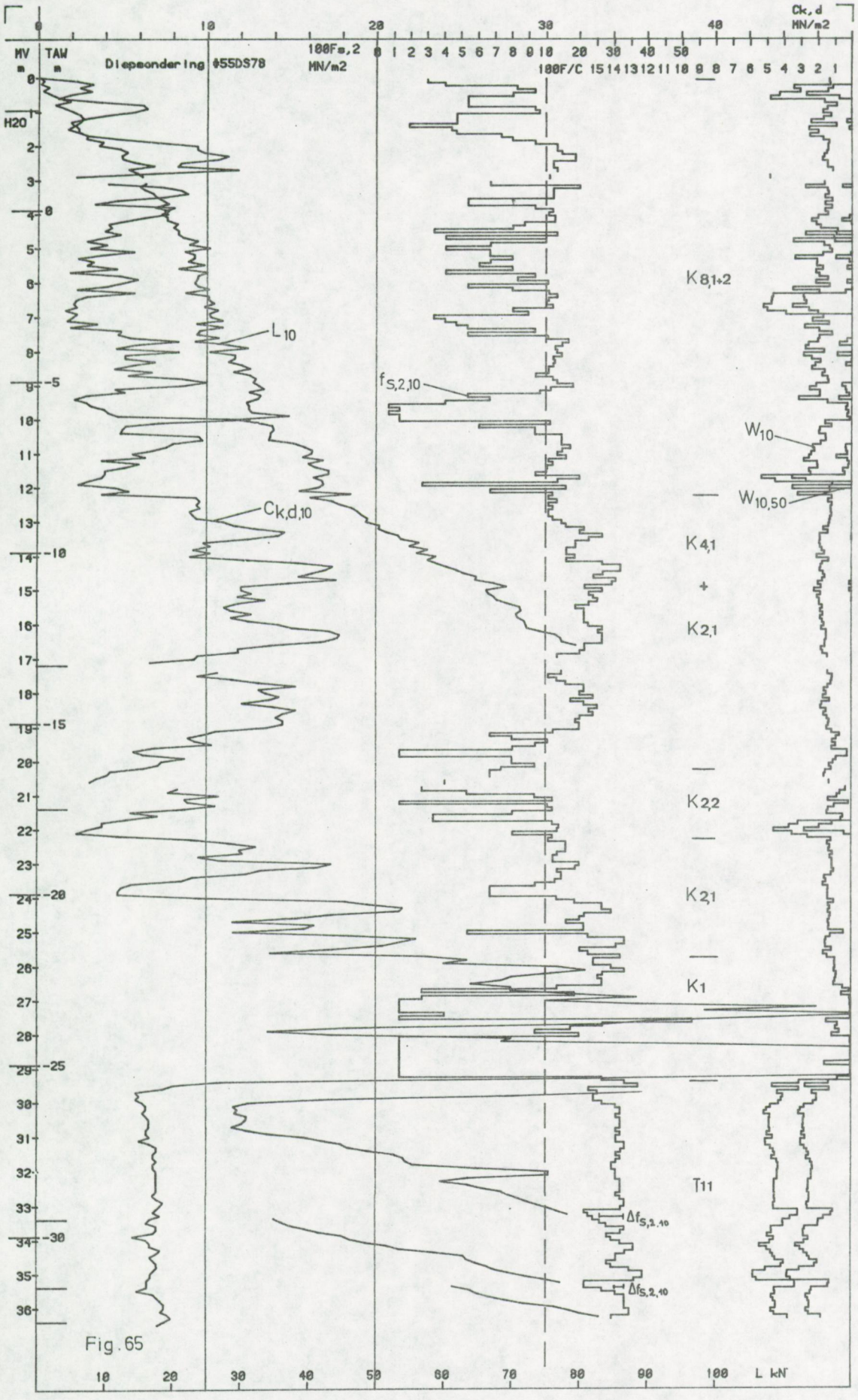
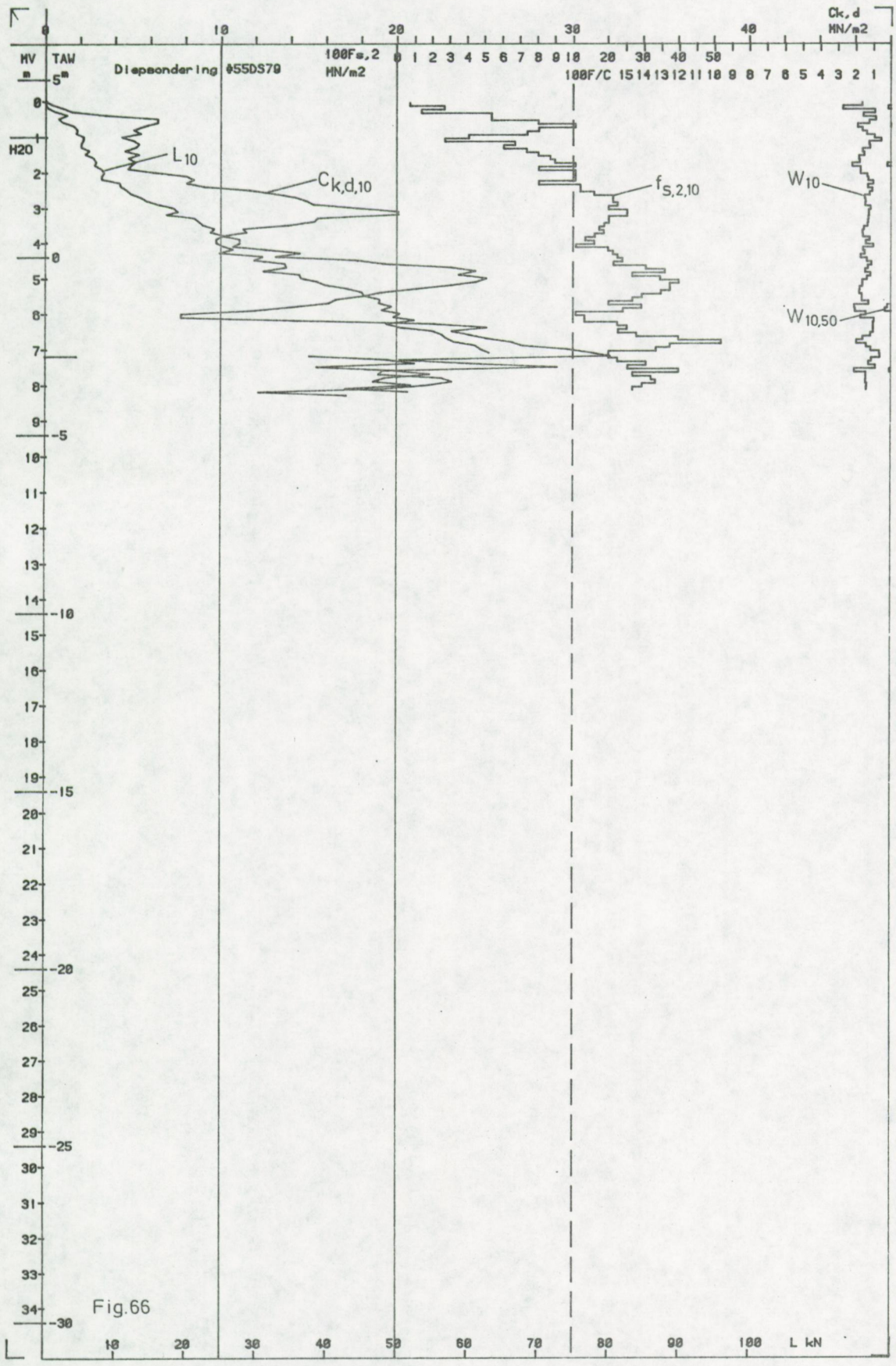

MV m
TAW m
Diepsondering ϕ55DS77
100Fs,2 MN/m2
100F/C
Ck,d MN/m2
INT.
H20
L10
fs,2,10
Ck,d,10
W10
W10,50
K8,1+3
K8,1
K8,2
K2,1
K1
L kN

Fig. 64



MV m
TAW m
Diepsondering #55DS78
100Fs,2 MN/m2
100F/C
Ck,d MN/m2
INT.
H2O
L10
fs,2,10
Ck,d,10
K8,1+2
W10
W10,50
K4,1
+
K2,1
K2,2
K2,1
K1
T11
Δfs,2,10
Δfs,2,10
L kN


Fig. 65



Ck,d
MN/m2
MV
m
TAW
5m
Diepsondering #55DS79
100Fs,2
MN/m2
100F/C
H2O
L10
Ck,d,10
fs,2,10
W10
W10,50
L kN


Fig.66

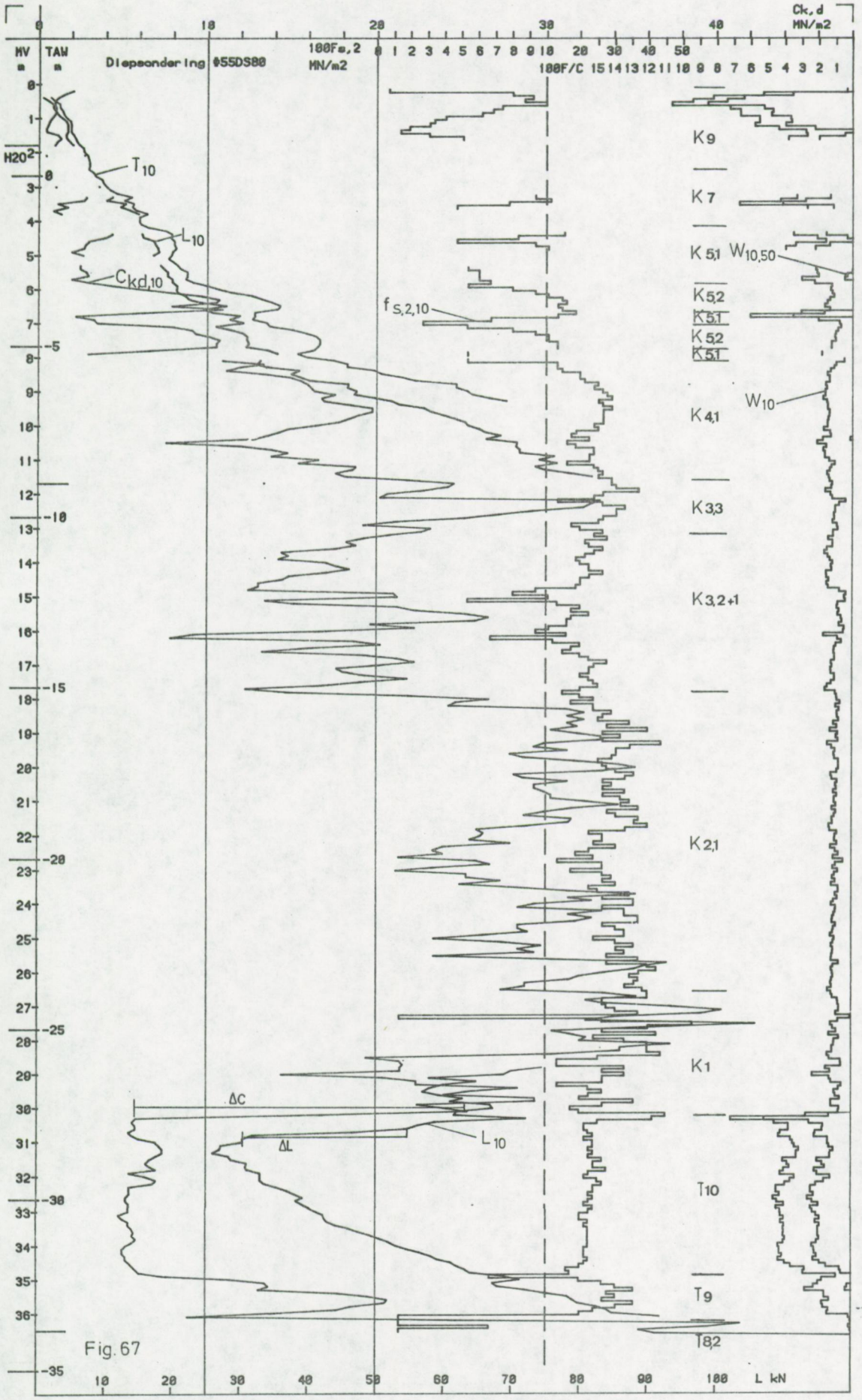
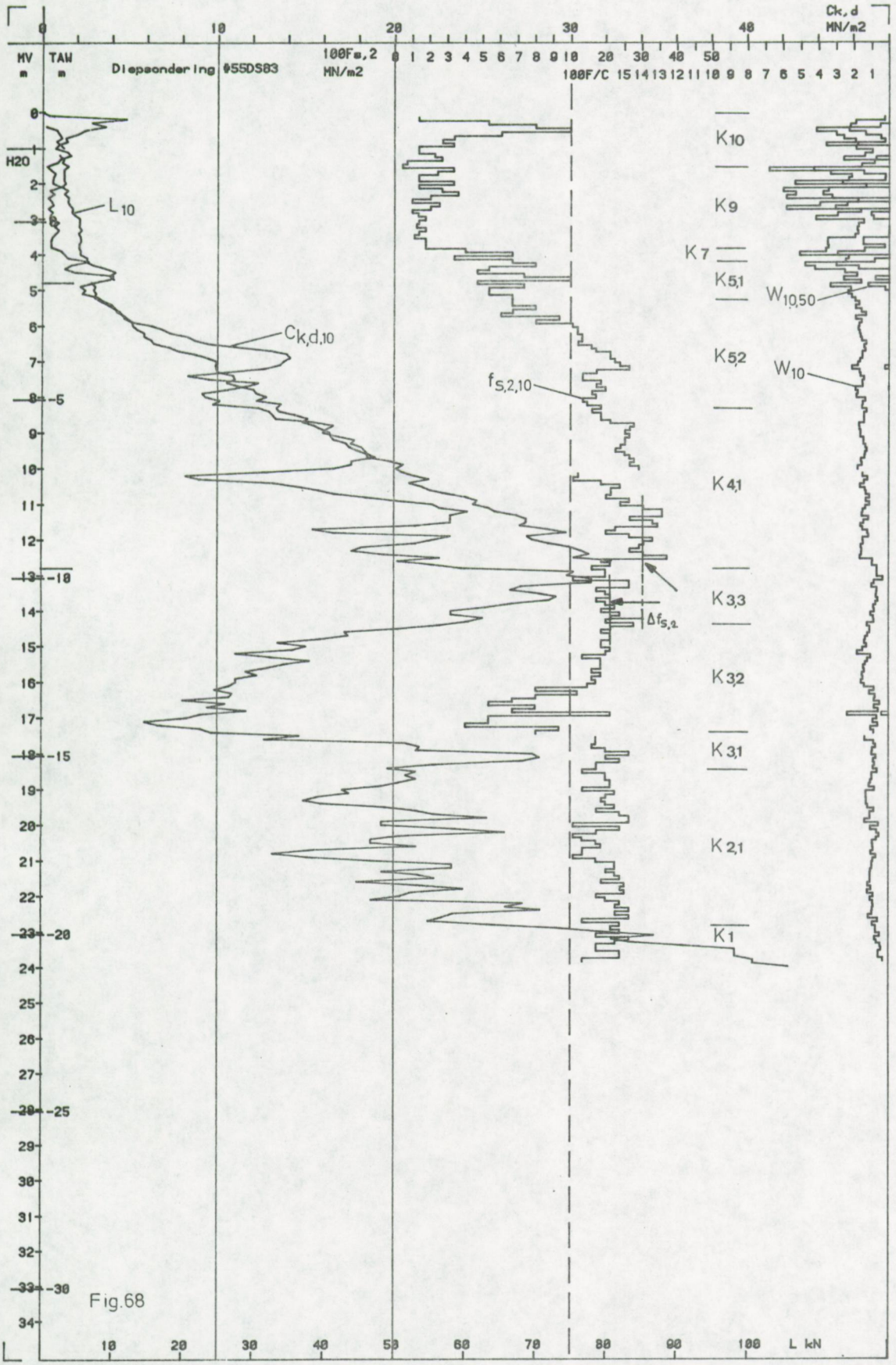

MV m
TAW m
Diepsondering 055DS80
180Fs,2 MN/m2
180F/C
Ck,d MN/m2
H20
T10
L10
Ckd,10
fs,2,10
W10,50
W10
K9
K7
K5,1
K5,2
K5,1
K5,2
K5,1
K4,1
K3,3
K3,2+1
K2,1
K1
T10
T9
T8,2
ΔC
ΔL
L10
L kN

Fig. 67

INT.



MV m
TAW m
Diepsondering #55DS83
100Fs,2 MN/m2
100F/C
Ck,d MN/m2
INT.
H2O
L10
Ck,d,10
fs,2,10
Δfs,2
K10
K9
K7
K5,1
K5,2
K4,1
K3,3
K3,2
K3,1
K2,1
K1
W10,50
W10
L kN


Fig.68

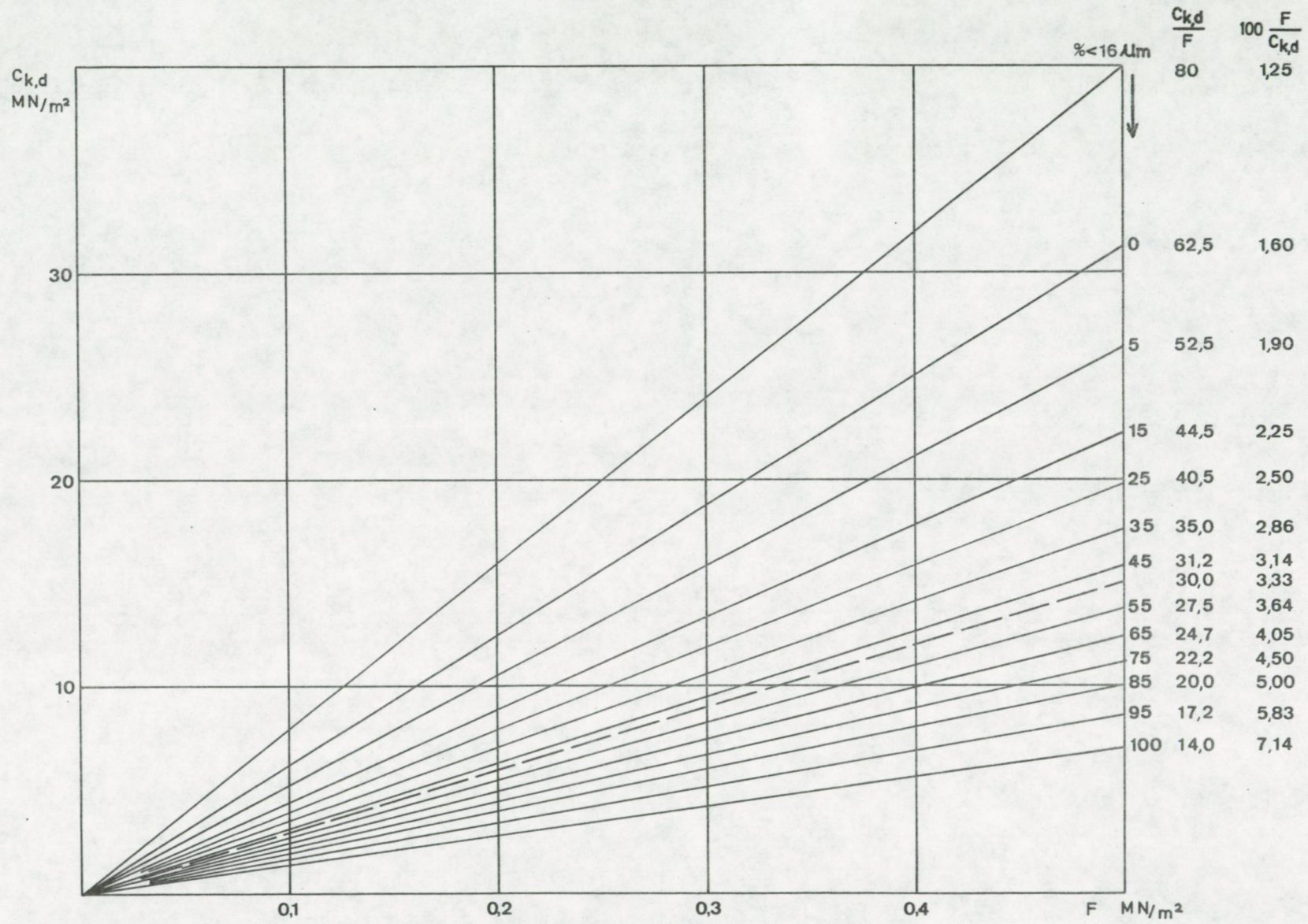



Fig. 69 - Verband tussen de konusweerstand, de plaatselijke kleef en het percentage deeltjes <16 µm (naar BEGEMANN, 1965)

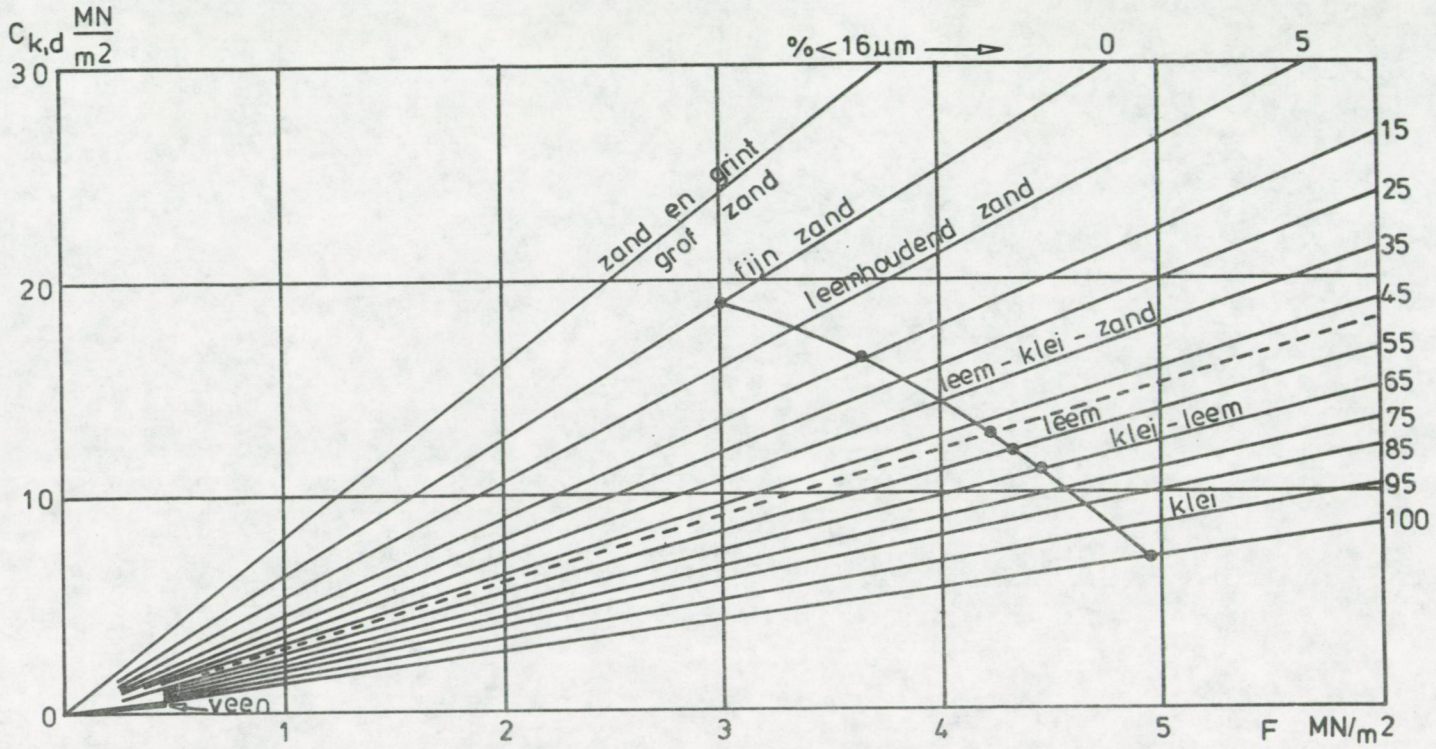



Fig. 70 - Verband tussen de konusweerstand, de plaatselijke kleef en de grondsoorten (naar BEGEMANN, 1965)

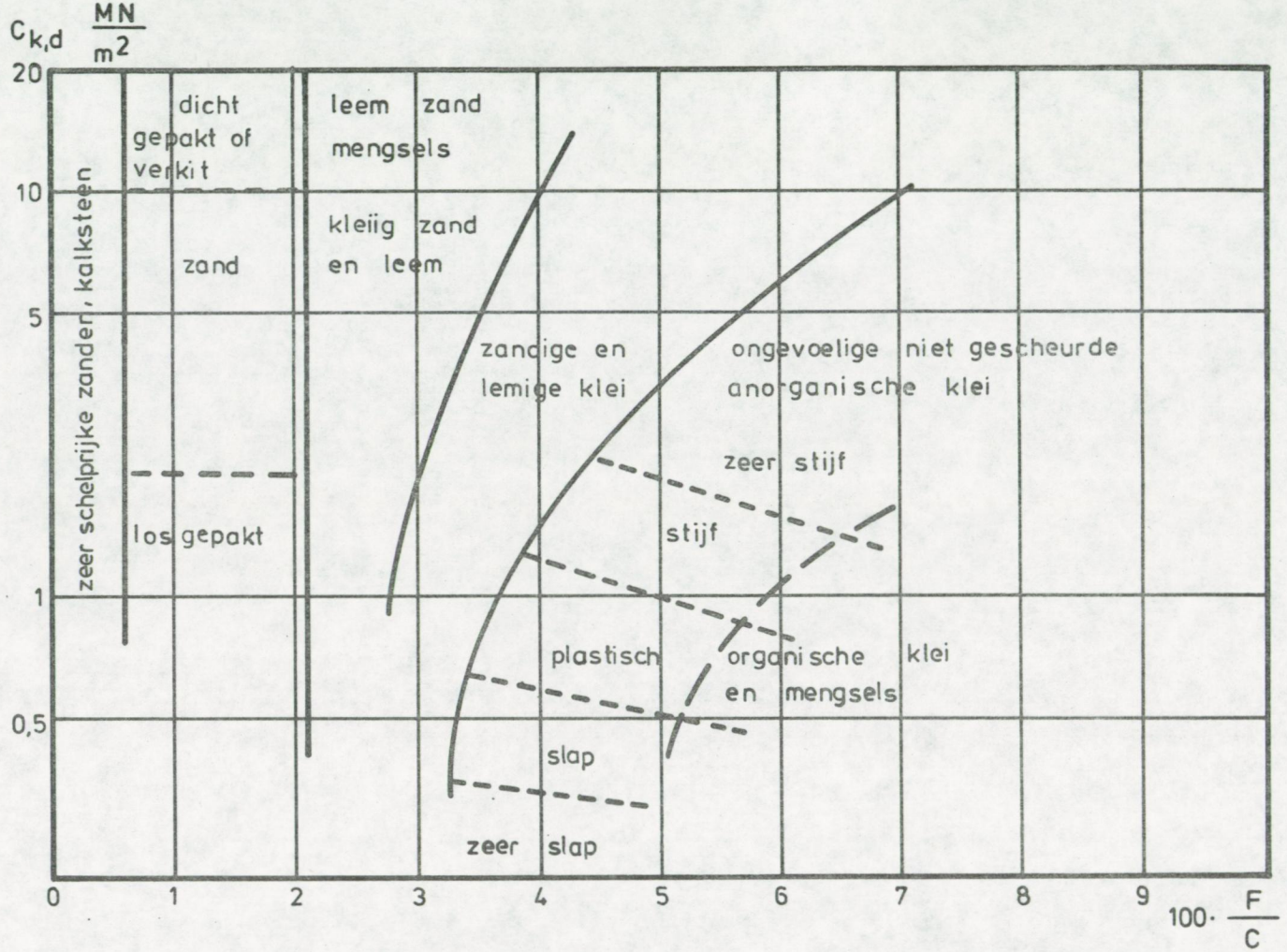



Fig. 71 - Verband tussen de konusweerstand, het wrijvingsgetal en de grondsoorten (naar SCHMERTMANN, 1969)

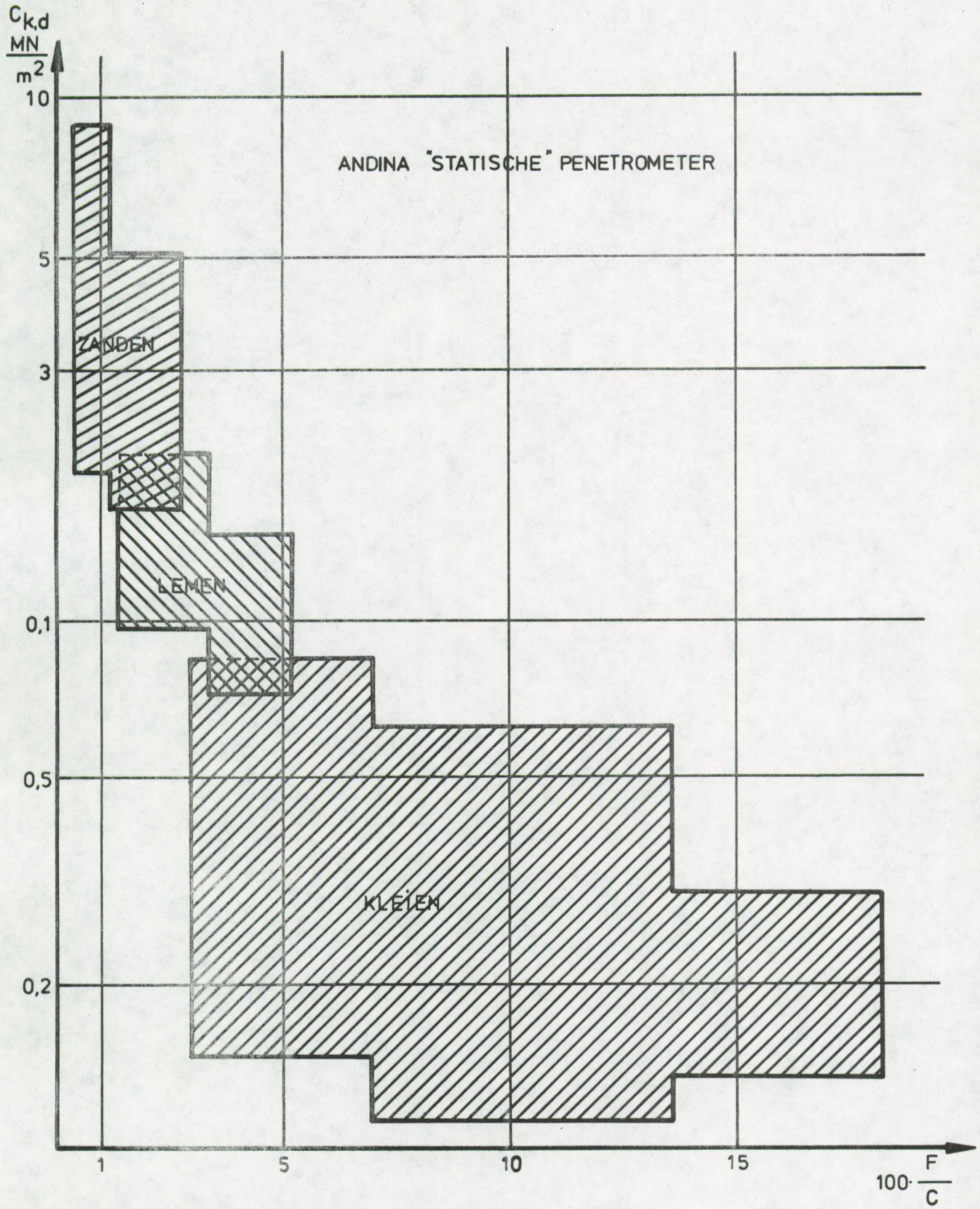



Fig. 72 - Verband tussen de konusweerstand, het wrijvingsgetal en zanden, lemen en kleien (naar SANGLERAT, et al., 1974)

Y = A*X↑B

A =
1.97035483335

B =
-0.0701735635324

R-SQUARE =
0.370755756161

RES ERROR
0.0192170651053

MAX(ABS(RESIDUAL))
0.365062695056

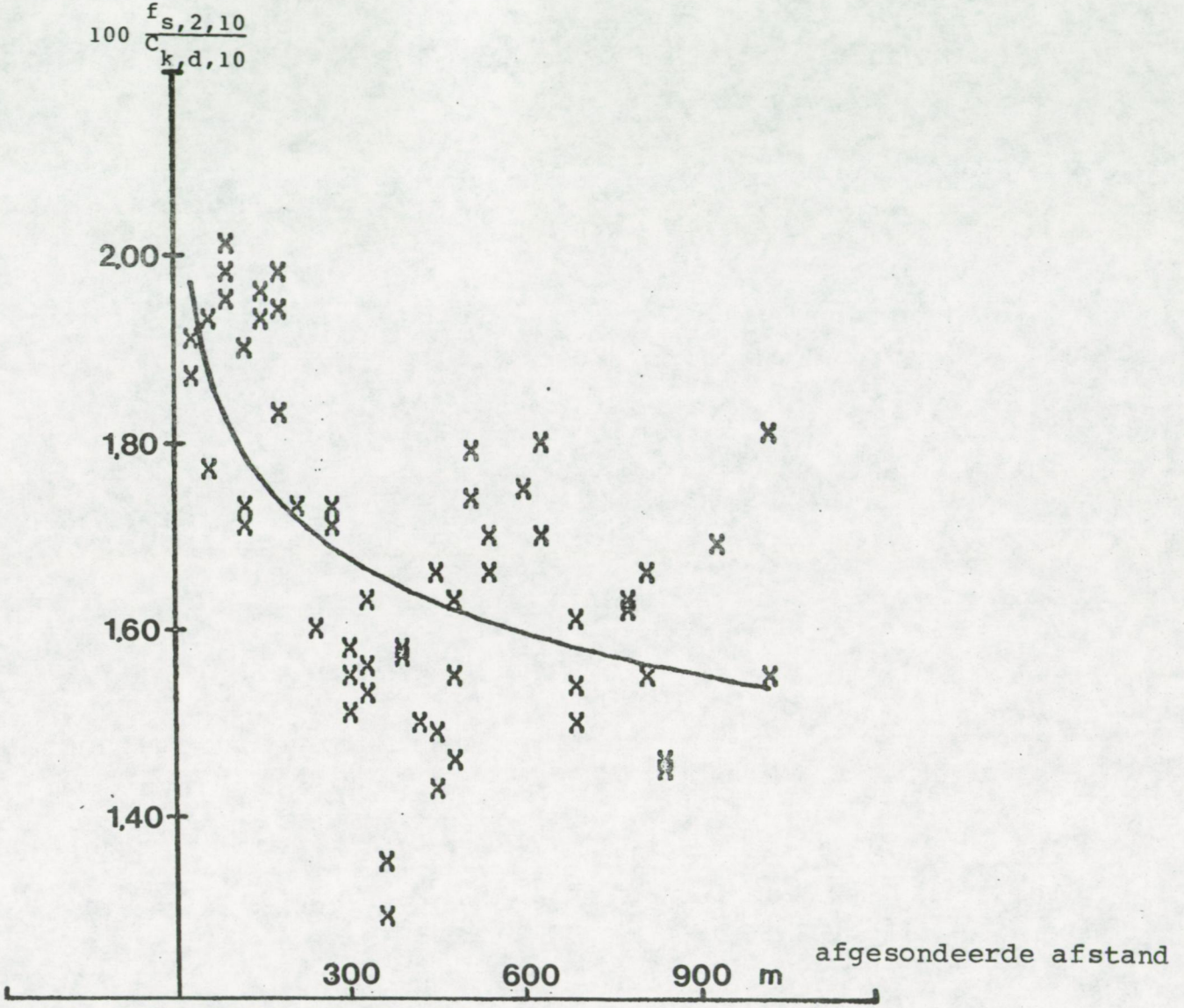



Fig. 73 - Verband tussen de wrijvingsgetallen gemeten in K2,1 en de door de konus II afgesondeerde afstand (serie K2,1 (KII))

Y = X/(A + B*X)

A =
-0.154788976334

B =
0.625237068774

R-SQUARE =
0.216916307381

RES ERROR
0.0239153086442

MAX(ABS(RESIDUAL))
0.34308502911

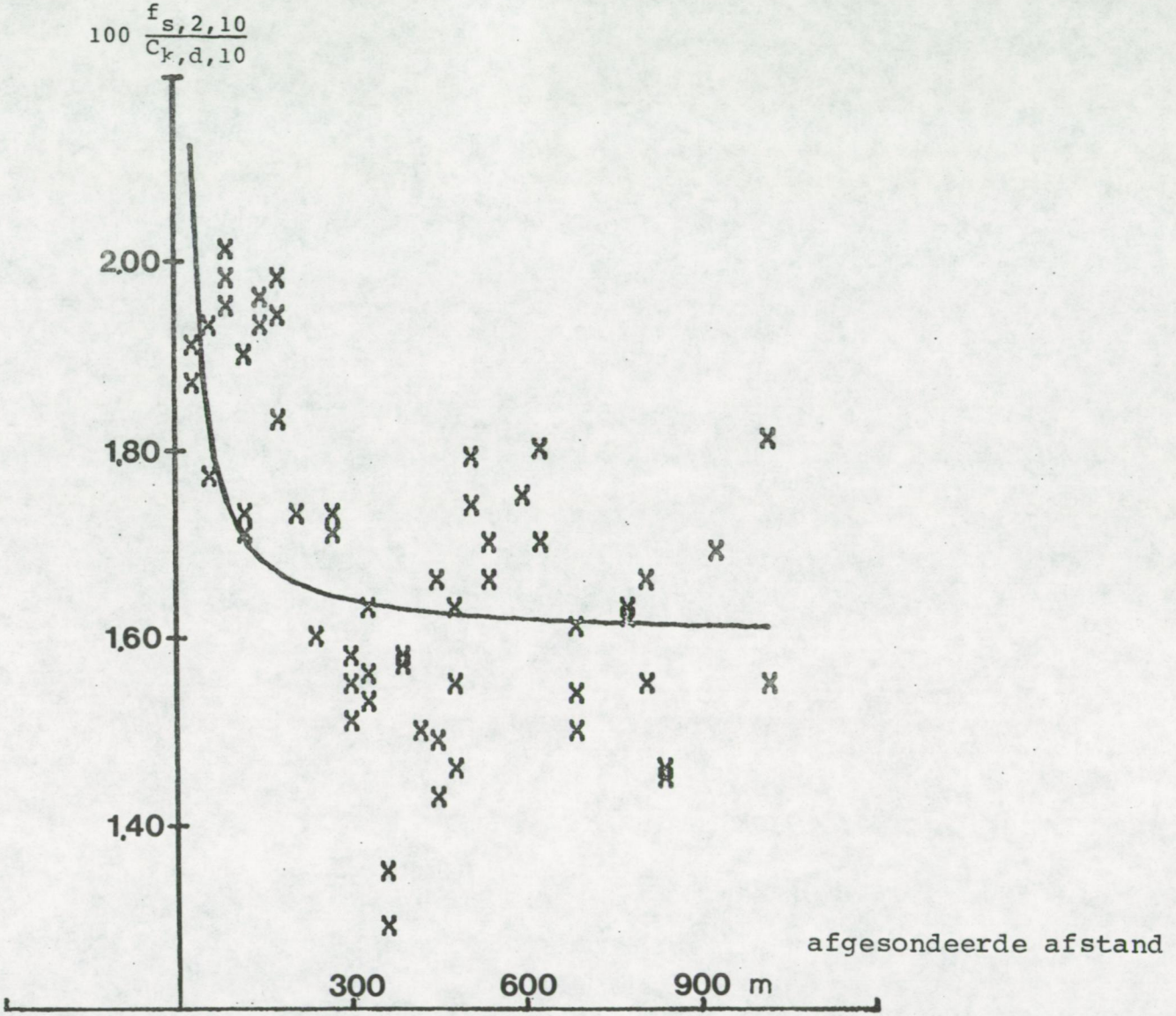



Fig. 74 - Verband tussen de wrijvingsgetallen gemeten in K2,1 en de door de konus II afgesondeerde afstand (serie K2,1 (KII))

Y = A + B/X

A =
1.64475355275

B =
1.16547749829

R-SQUARE =
0.0934266578355

RES ERROR
0.0549922581773

MAX(ABS(RESIDUAL))
0.537547947902

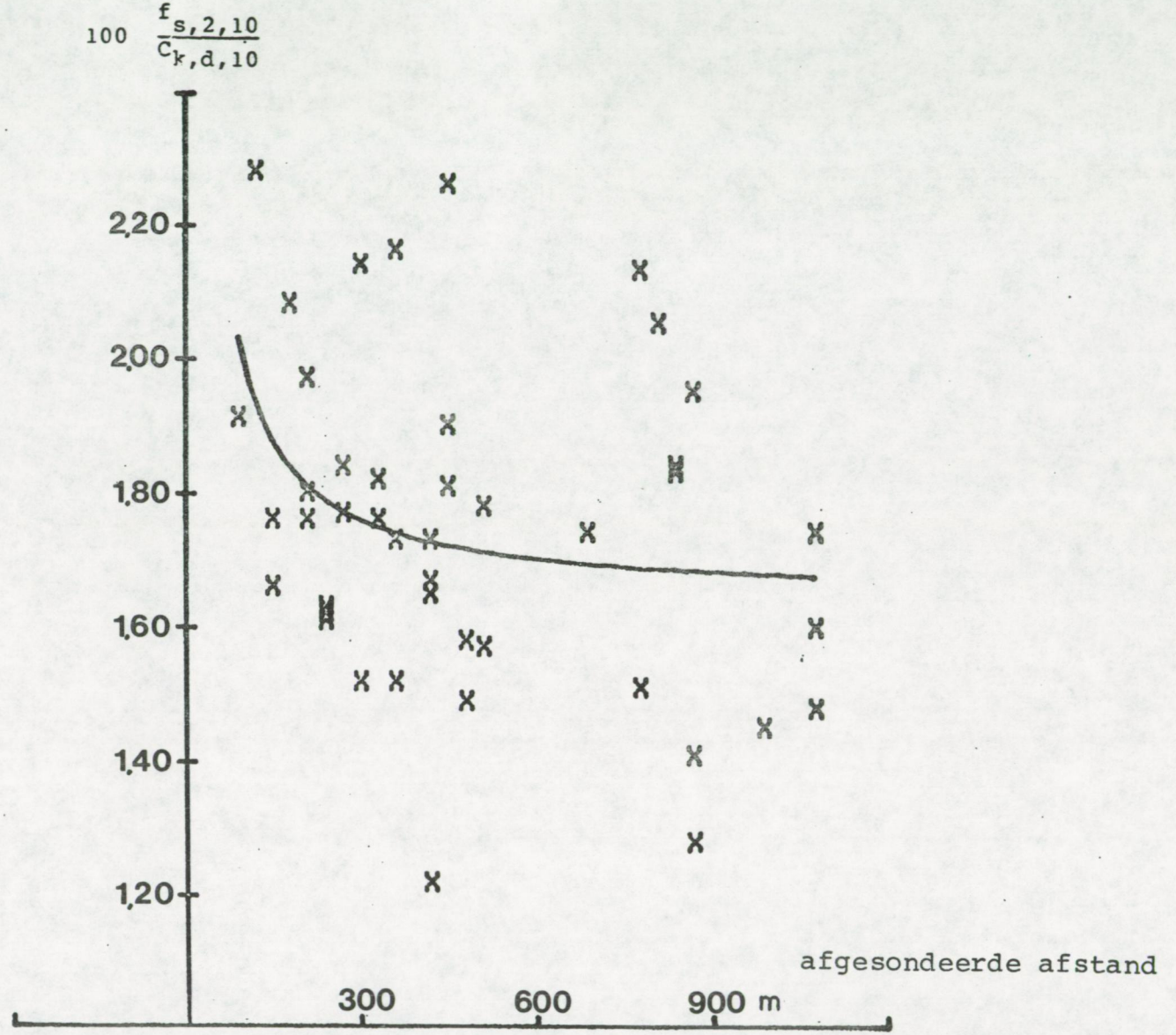



Fig. 75 - Verband tussen de wrijvingsgetallen gemeten in K5,2 en de door de konus II afgesondeerde afstand

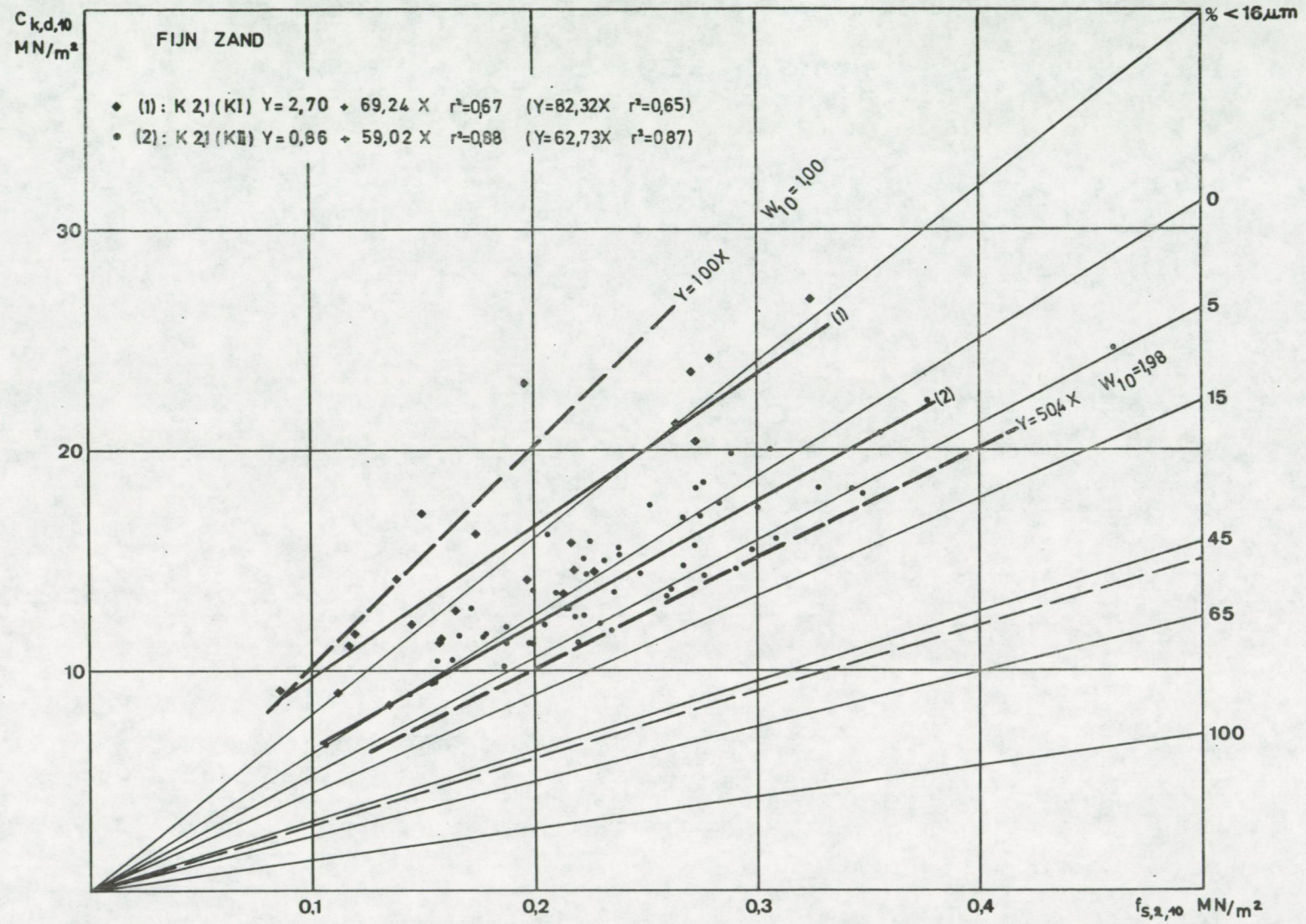



Fig. 76 - Verband tussen de $C_{k,d,10}$, $f_{s,2,10}$ en het fijn zand van K2,1 voor de konussen KI en KII

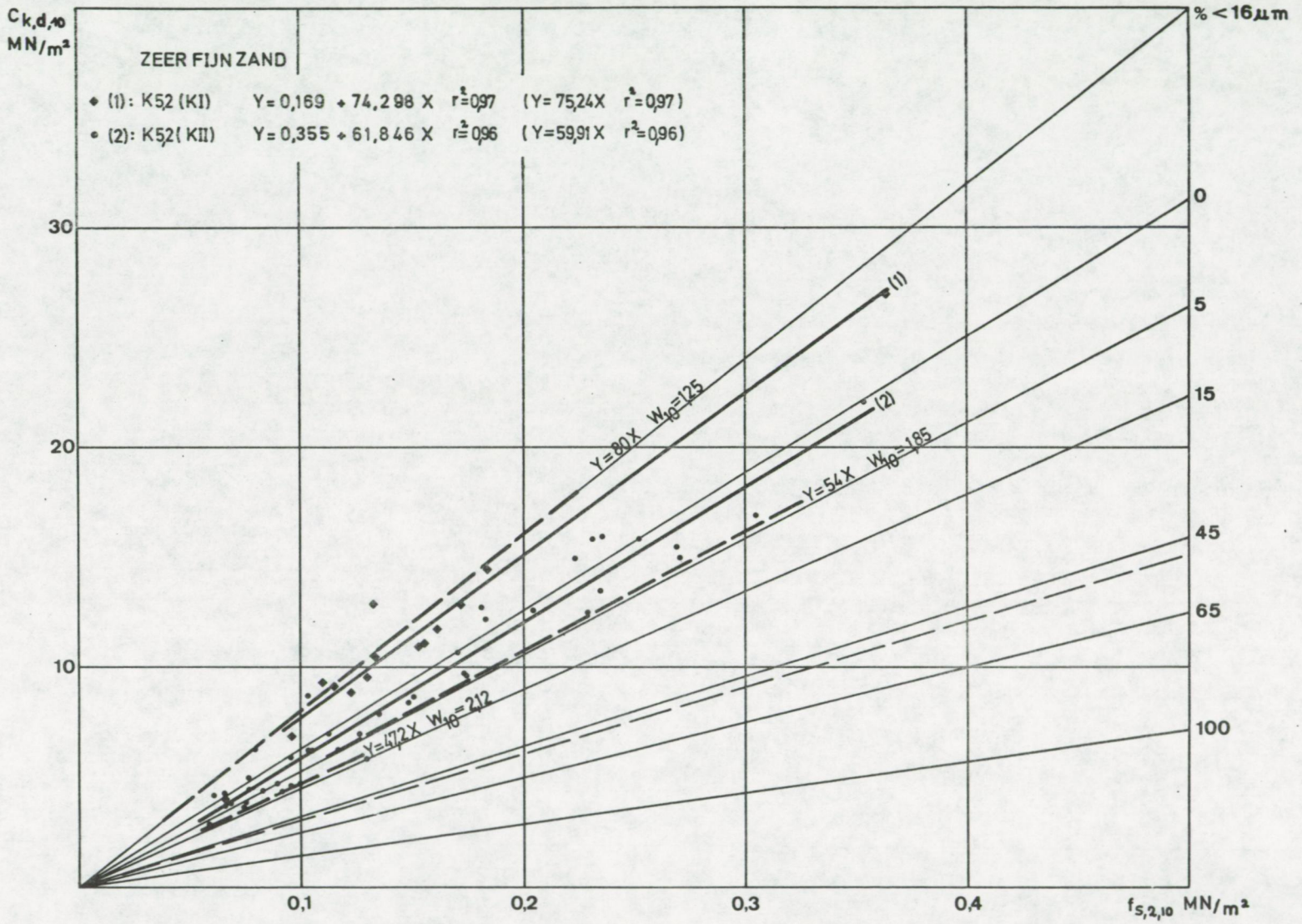



Fig. 77 - Verband tussen de $C_{k,d,10}$, $f_{s,2,10}$ en het zeer fijn zand van K5,2 voor de konussen KI en KII

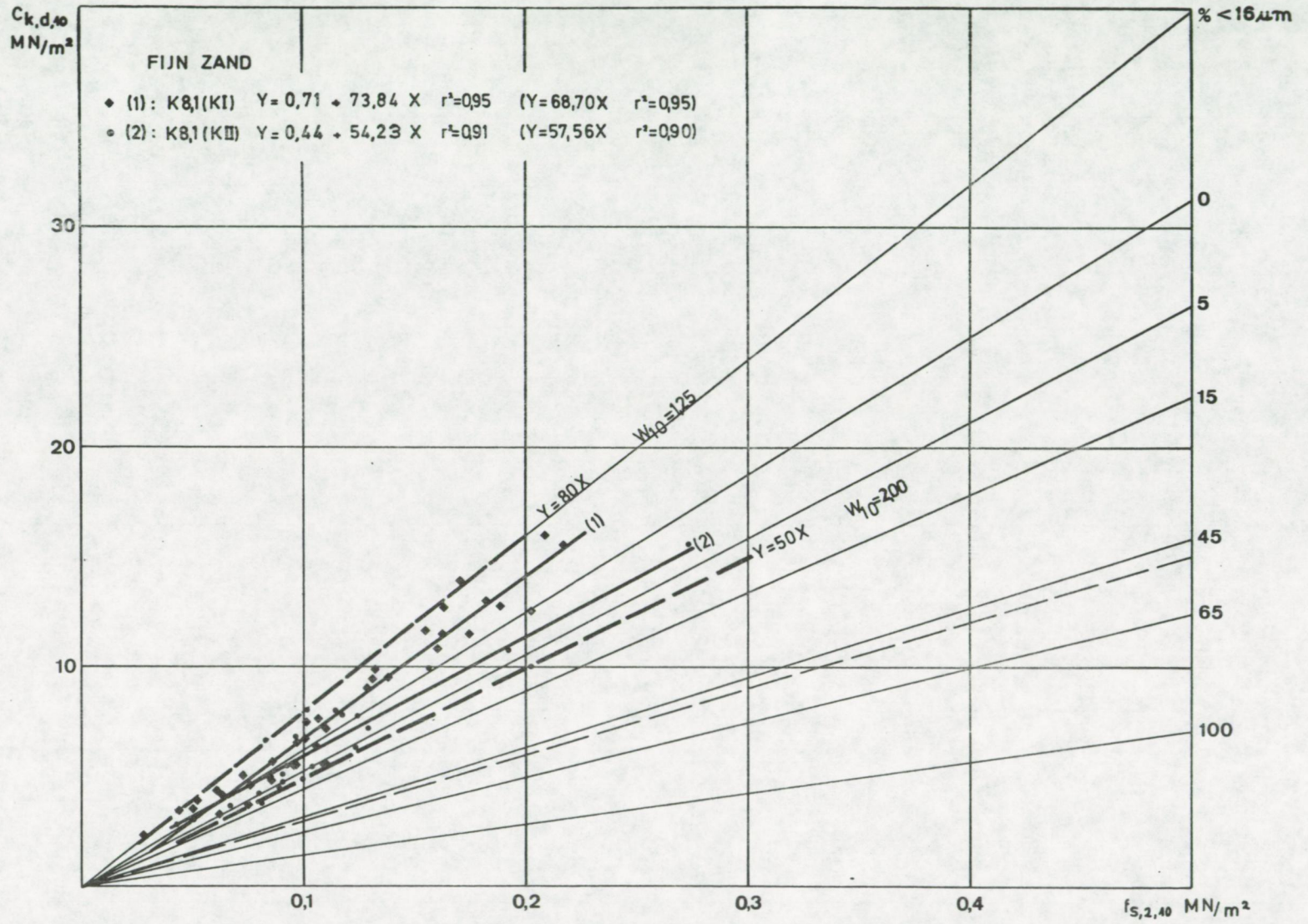



Fig. 78 - Verband tussen de $C_{k,d,10}$, $f_{s,2,10}$ en het fijn zand van K8,1 voor de konussen KI en KII

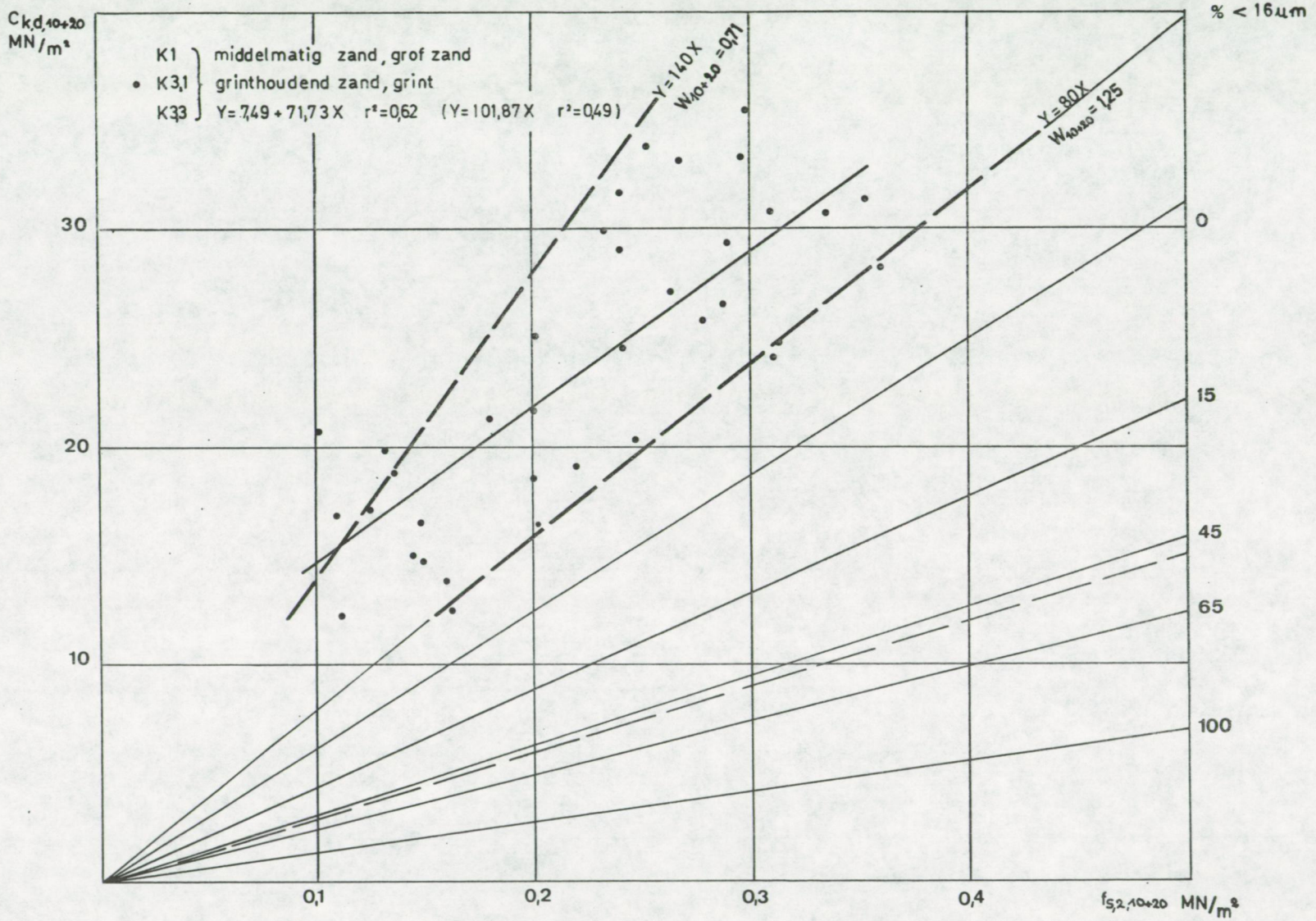



Fig. 79 - Verband tussen de $C_{k,d,10+20}$, $f_{s,2,10+20}$ en de grinthoudende zanden van KI, K3,1 en K3,3

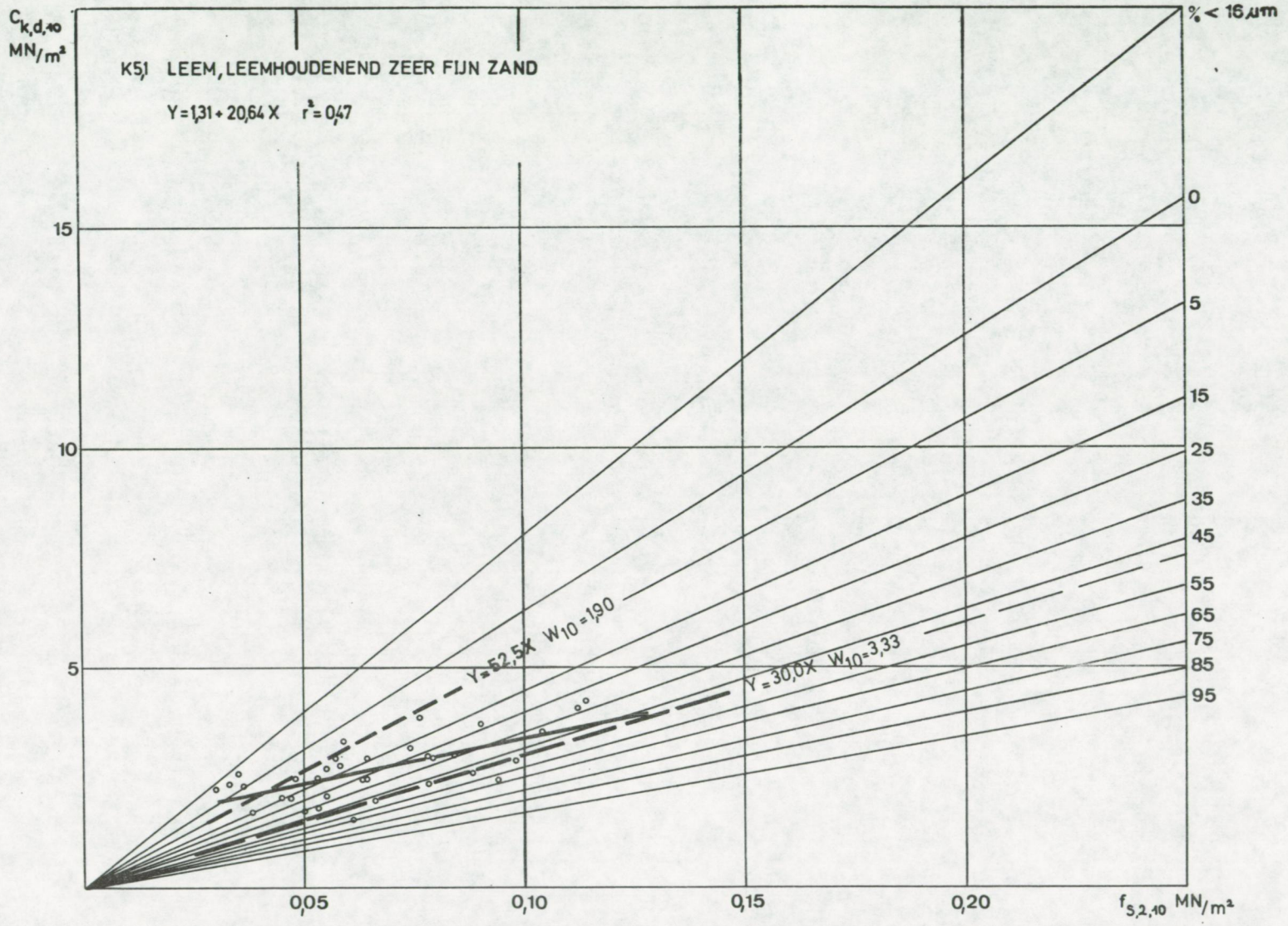



Fig. 80 - Verband tussen de $C_{k,d,10}$, $f_{s,2,10}$ en het leemhoudend zeer fijn zand en leem van K5,1

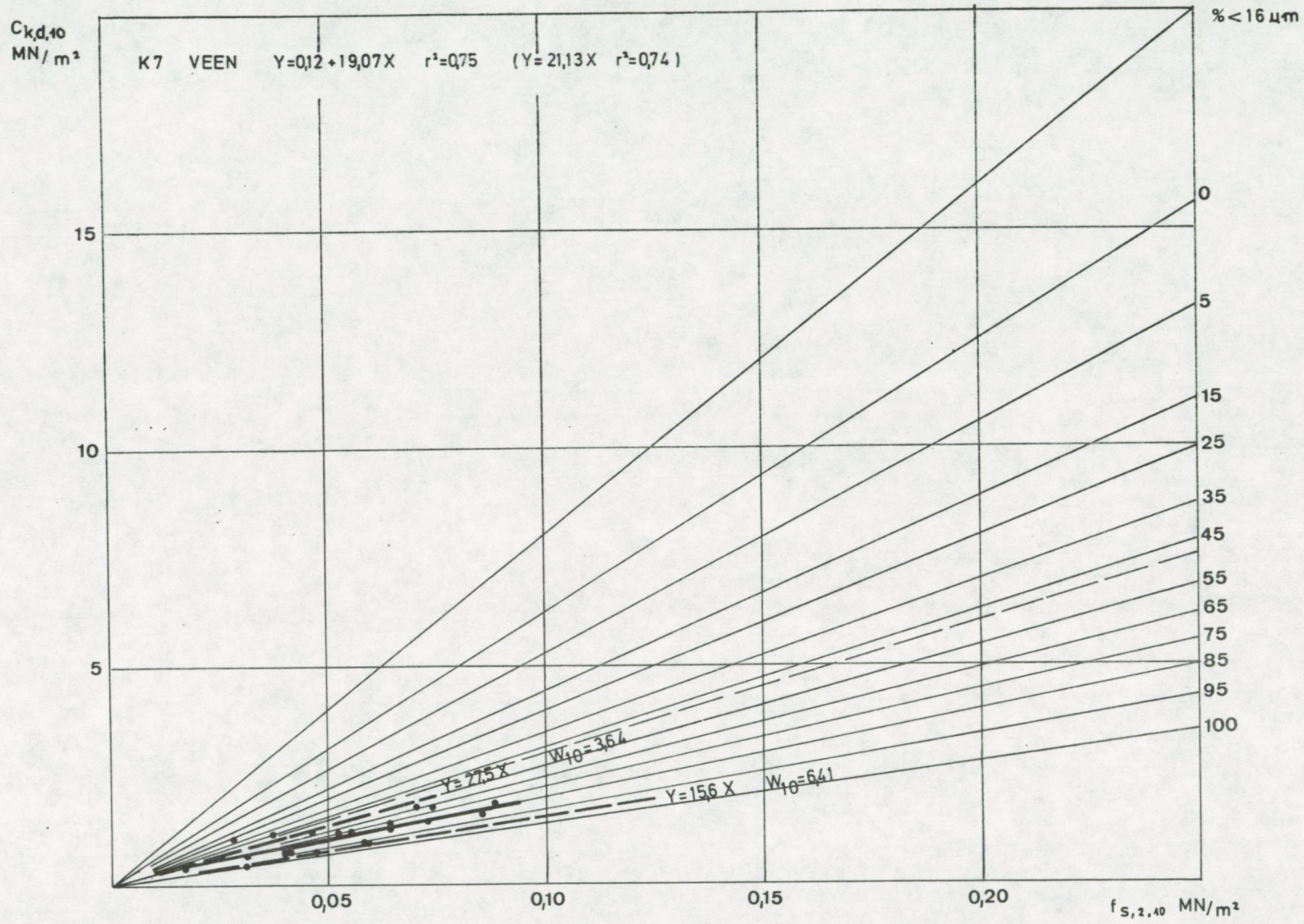



Fig. 81 - Verband tussen de $C_{k,d,10}$, $f_{s,2,10}$ en het Oppervlakte Veen K7

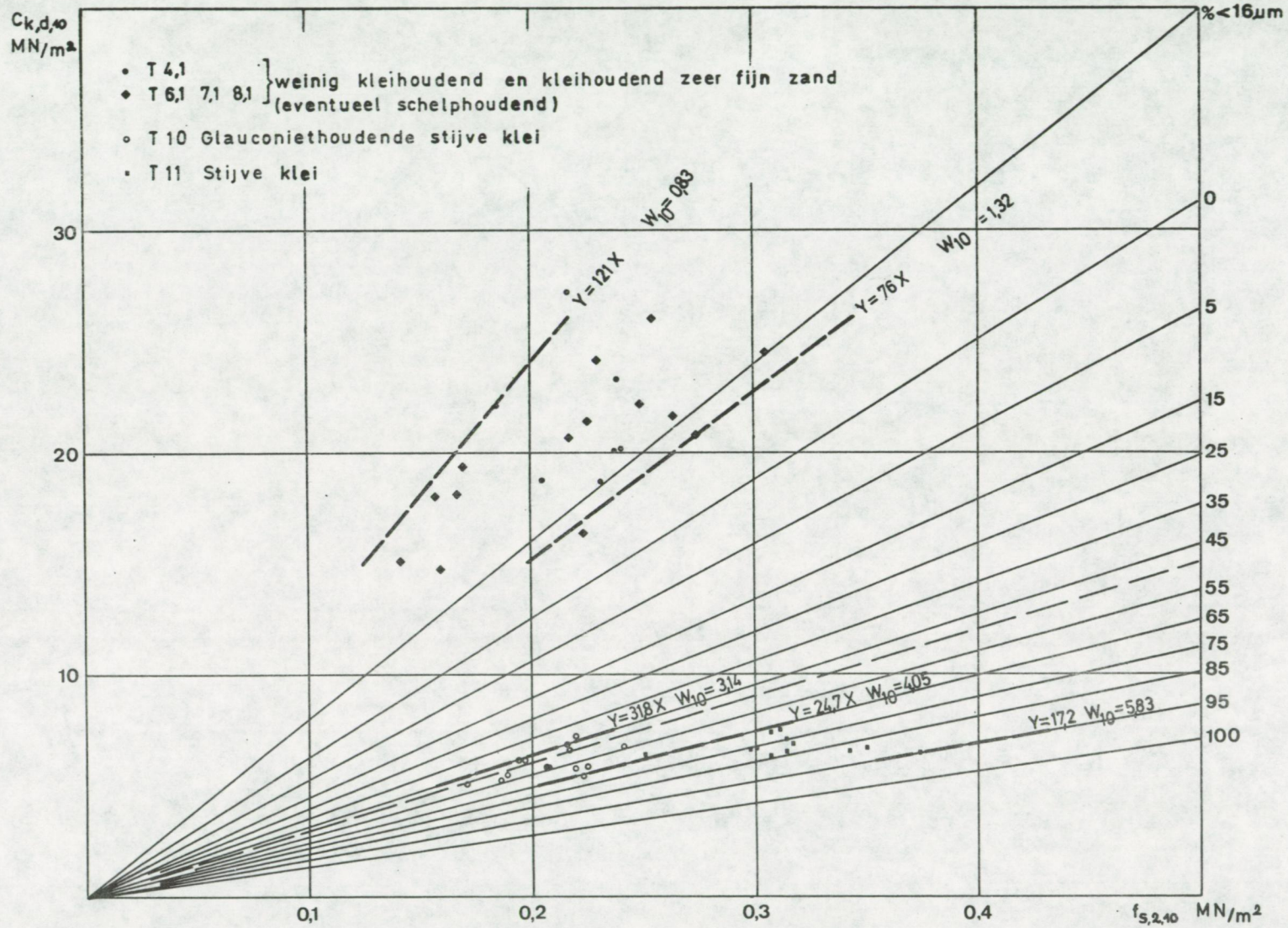



Fig. 82 - Verband tussen de $C_{k,d,10}$, $f_{s,2,10}$ en le het (weinig) kleihoudend zeer fijn zand van T4,1, T6,1, T7,1 en T8,1, 2e de glauconiethoudende stijve klei van T10 en 3e de zuivere stijve klei van T11

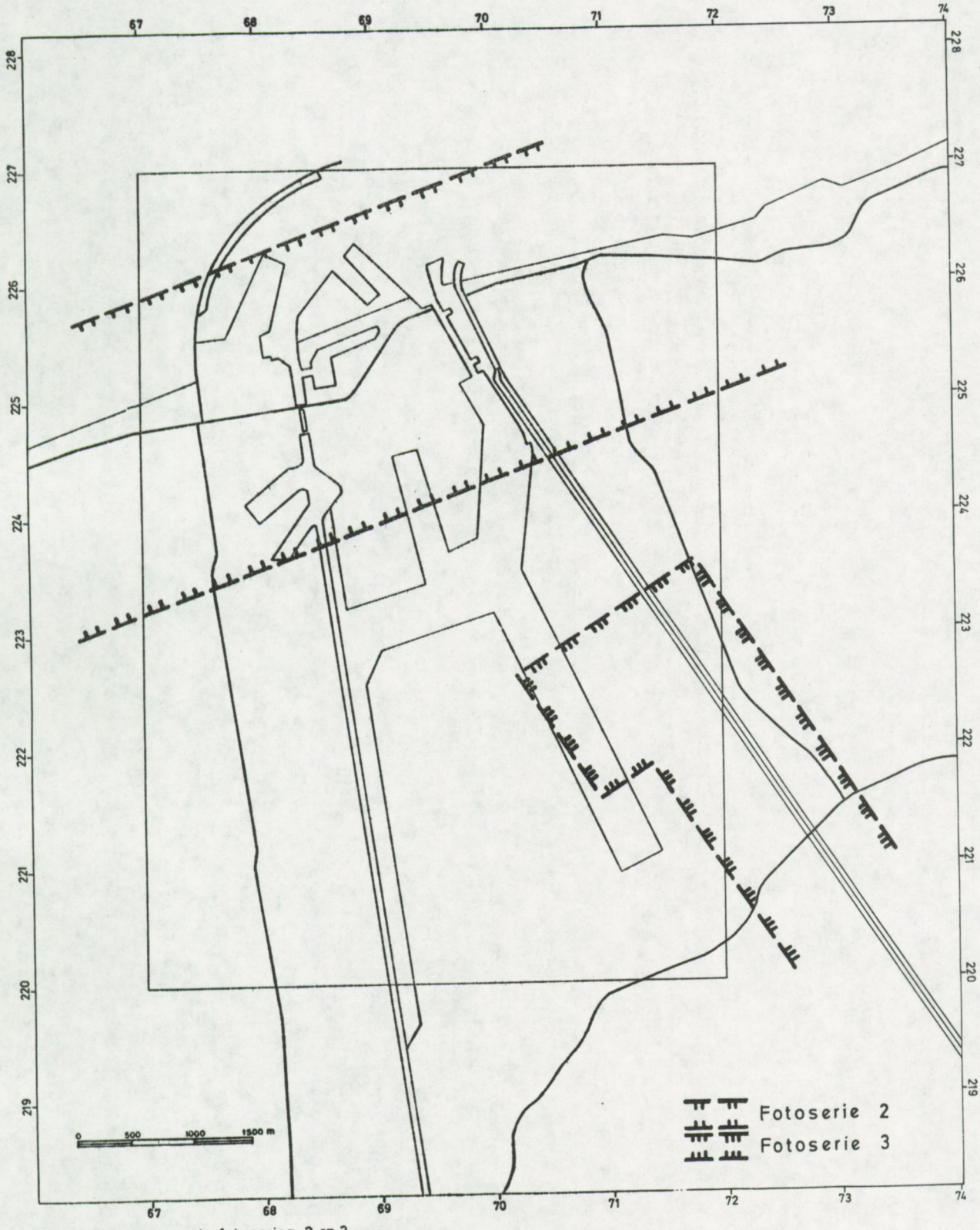



Fig. 83 - Ligging van de fotoseries 2 en 3

Fig.84- SITUATIEPLAN VAN DE PROFIELEN W EN E

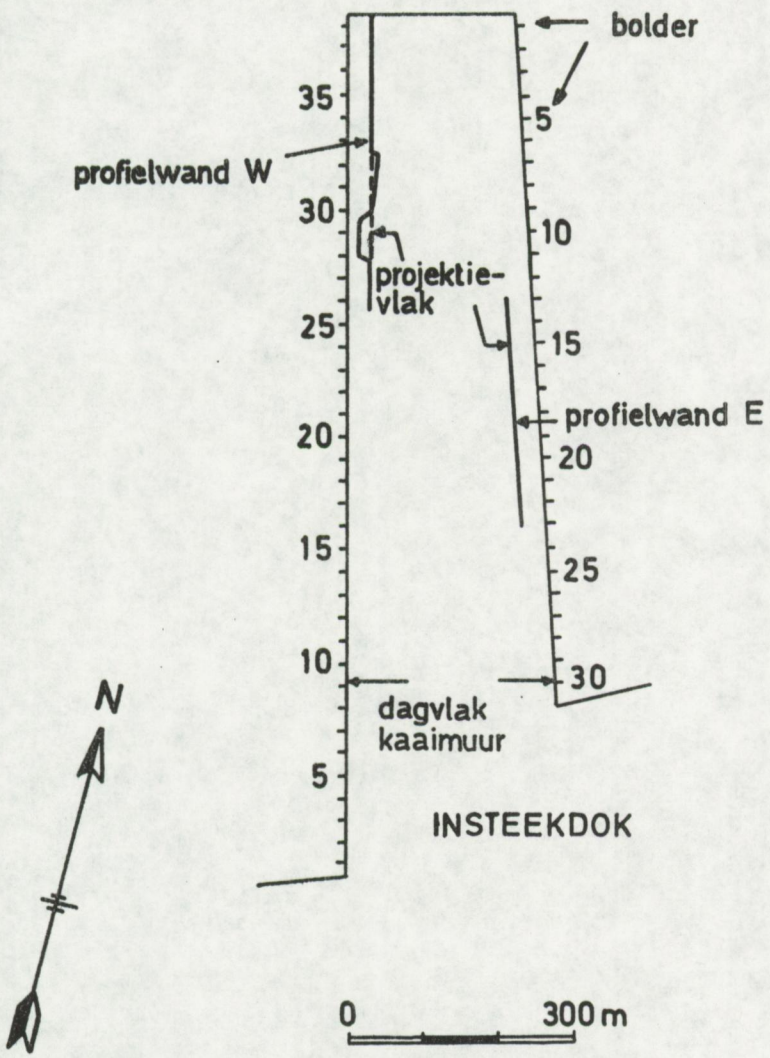


Fig. 85 - LEGENDE VAN DE PROFIELEN W EN E


fijn zand


leem, leembrokken


klei, kleibrokken


veen, veenbrokken


veenputopvullingsgrond


geroerde grond


schelpen


steenfragmenten


verveende plantenwortels


aanrijkingshorizont (humus)


jongste bodemhorizont


bovengrens reduktiezone

K10 : aanvullingen en vergravingen

K 9 : opgevulde veenputten

K 8 : afzetting van Duinkerke

K8,3 : klei, leem, zandhoudende klei

K8,1 : fijn zand

K 7 : oppervlakteveen : veen

K 6 : afzetting van Calais : leemhoudende klei

K 5 : afzetting van Eeklo

K5,2 : weinig kleihoudend zeer fijn zand

K5,1 : leem tot leemhoudend zeer fijn zand

Fig. 86 - PROFIEL W

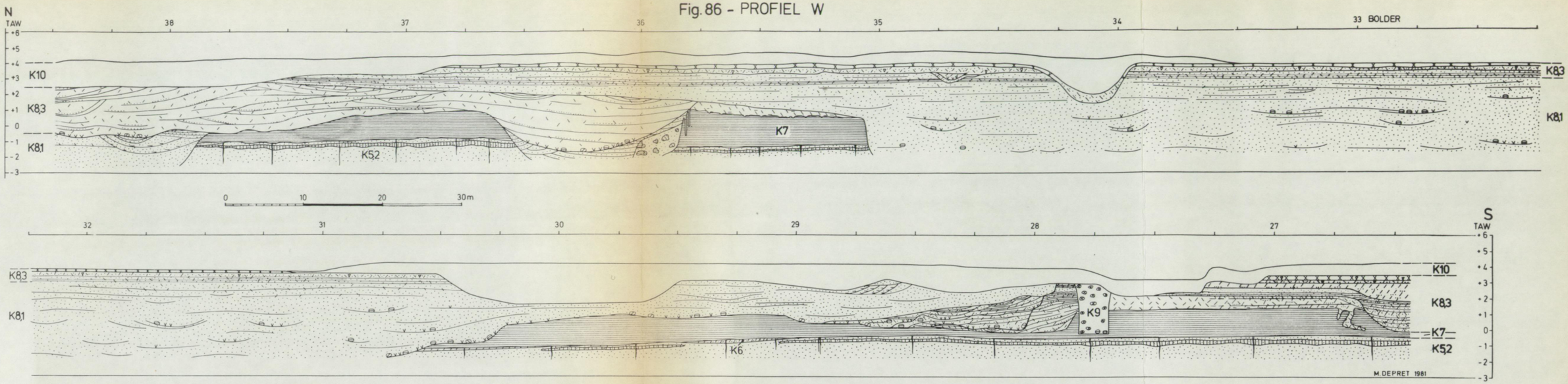
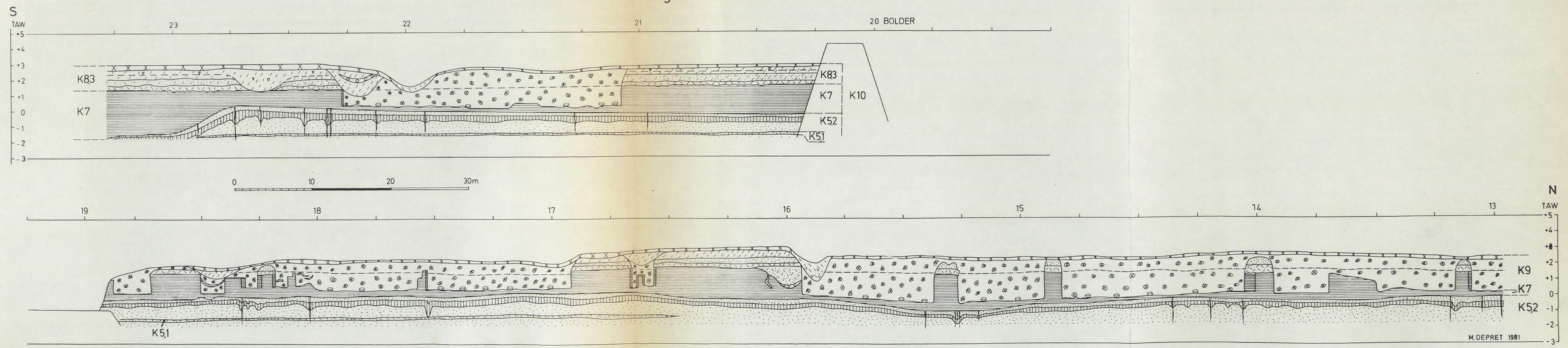



Fig. 87 - PROFIEL E



LEGENDE VAN DE LITOLOGISCHE DOORSNEDEN

1 : grens van een eenheid
2 : vermoedelijke grens van een eenheid
3 : wand van kanaal of dok; begin of einde van de doorsnede
4 : boorprofiel (zie legende fig. 3)
5 : vertikale van een puntwaarneming of snijlijn van twee doorsneden
6 : diepsondering
7 : boring
8 : kruisende doorsnede
9 : eenheid :

Kwartair

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| K10 | : aanvulling | | : | zand, leem en/of klei |
| K9 | : opgevulde veenputten | | : | zand, leem en/of klei |
| 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 (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 | : | sterk kalkhoudende, weinig humushoudende leem, met leemhoudende zeer fijne zand- en veenlaagjes |
| K4 | : afzetting van Damme | K4,2 | : | leem en leemhoudend fijn zand |
| | | K4,1 | : | weinig kalkhoudend fijn zand |
| K3 | : afzetting van Zeebrugge | K3,3 | : | sterk kalkhoudend, grinthoudend (schelpen en weinig keien) middelmatig zand met weinig grof zand |
| | | K3,2 | : | fijn zand met kleilaagjes |
| | | K3,1 | : | sterk kalkhoudend, grinthoudend (schelpen en weinig keien) middelmatig zand met weinig grof zand |
| | | K3 | : | K3,1 + K3,3 |
| K2 | : afzetting van Moerkerke | K2,3 | : | sterk kalkhoudend, (weinig) grinthoudend (schelpen) fijn zand |
| | | K2,2 | : | leem en leemhoudend fijn zand |
| | | K2,1 | : | weinig kalkhoudend fijn tot middelmatig zand |
| K1 | : afzetting van Kaprijke | K1 | : | sterk kalkhoudend, grinthoudend (schelpen en keien) middelmatig zand met weinig grof zand |

Tertiair

T11 : Lid van Ursel : vaste klei
T10 : Lid van Asse : weinig kalkhoudende, vaste glauconiethoudende klei
T9 : Lid van Wemmel + (Formatie van Brussel) : sterk kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand
T8,2 → T1 : Lid van Oedelem :

| | | |
|---|---|---|
| T8,2 | : | zone met glauconietkalkzandsteen en zeer sterk kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand |
| T8,1 | : | sterk kalkhoudend, weinig kleihoudend zeer fijn zand |
| T7,2 | : | zone met glauconietkalkzandsteen en zeer sterk kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand |
| T7,1 | : | sterk kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand |
| T6,3 | : | zone met glauconietkalkzandsteen en zeer sterk kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand |
| T6,2 | : | zone in T6,1 met zeer diskontinue glauconietkalkzandsteen |
| T6,1 | : | weinig kalkhoudend zeer fijn zand |
| T5 | : | zeer fijn zandhoudende klei |
| T4,2 | : | zone in T4,1 met zeer diskontinue glauconietkalkzandsteen |
| T4,1 | : | sterk kalkhoudend, weinig grinthoudend (schelpen), weinig kleihoudend zeer fijn zand |
| T3,3 | : | weinig kalkhoudende vaste klei |
| T3,2 | : | sterk kalkhoudend, weinig kleihoudend zeer fijn zand |
| T3,1 | : | sterk kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand tot zeer fijn zandhoudende klei |
| T2,3 | : | sterk kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand |
| T2,2 | : | sterk kalkhoudend, (weinig) grinthoudend (schelpen : Cardita en Turritella), kleihoudend zeer fijn zand |
| T2,1 | : | sterk kalkhoudend, kleihoudend zeer fijn zand |
| T2,0 | : | schelpenbank (Cardita planicosta) al of niet verhard |
| T1 | : | weinig glauconiethoudend, leemhoudend zeer fijn zand |

# Fig. 88 - LITOLOGISCHE DOORSNEDE A-A'

A — WSW — A'

ENE

BAAN BRUGGE - ZEEBRUGGE — PRINS PHILIP DOK — BOUDEWIJNKANAAL — TEXACO EUROPE — AFWATERINGSVAARTEN — BAAN HEIST - RAMSKAPELLE

P30.50-3.20 — P30.49-30.75 — P30.47-28.76 — P30.41-32.2 — P2813-30.68 — P30.40-30.71

+10 +5 0 -5 -10 -15 -20 -25 -30 -35 -40 -45 -50 -55

K10 — K9+K8.3 — K7+K9 — K5.2 — K5.2 — K5.1 — K5.2 — K5.1 — K4.1 — K4.1 — K4.2 — K4.1 — K3 — K2.1 — K5.1 — K8.1 — K9+K8.3 — K7+K9 — K4.1 — K3.3 — K3.2 — K3.1 — K8.1+K8.2 — K8.2 — K1 — T11 — T10 — T9 — T8.2 — T8.1 — T7.2 — T7.1 — T6.3 — T6.1 — T5 — T4.1 — T3 — T2.3 — T2.2 — T8.1 — T7.2 — T7.1 — T6.3 — T6.1 — T5 — T4.1 — T3 — K1 — T10

1 2 3 4 5 6 7 8 P 9 K5.1

0 250 500 750 1000 1250 1500 1750 2000 m

M. DEPRET 1981

# Fig.89 - LITOLOGISCHE DOORSNEDE B-B'

B
SSW

B'
NNE

BAAN BRUGGE-ZEEBRUGGE
BOUDEWIJNKANAAL
INSTEEKDOK
SPOOR ZEEBRUGGE-KNOKKE-HEIST
KOKER AFWATERINGSVAARTEN
KONINKLIJKE BAAN

P1514-30.65 ●30.41
P30.43-30.61 ●30.38
P30.44-11
P30.50-320 ●30.37
●30.54
P30.49-30.75 ●30.53
●16 ●15
●30.23 ●30.24
P28.10-30.32
P30.35-30.71 ●30.29
●26.16 ●26.20 ●17.8
●26.5 ●11.4
●26.21
28.13-30.68 ●26.31 ●26.33 ●26.32
●28.85
●32.4 ●28.8.3 ●14.28
●28.81 ●32.3 ●19.1
●14.1 ●22.2

+10 +5 0 -5 -10 -15 -20 -25 -30 -35 -40 -45 -50 -55 -60

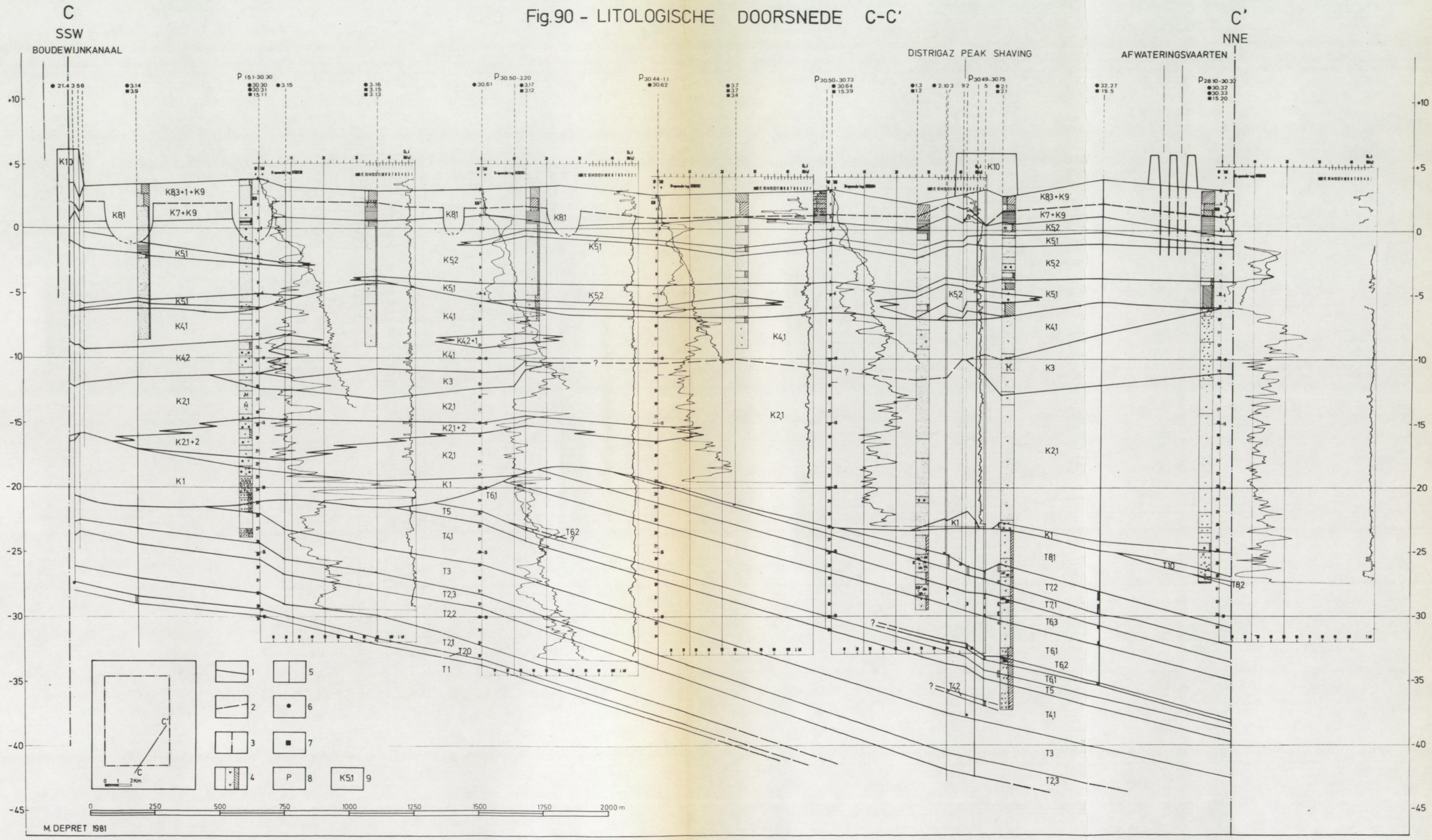
K8.3
K8.1
K5.2
K5.1
K4.1
K4.1+2
K3
K2.2
K2.1
K1
T7.1
T6.3
T6.1
T5
T4.1
T3
T2.3
T2.2
T2.1
T4.2
K10
K7+K8.3+K9
K7+K9.3
K3.3
K3.2
K3.1
T10
T9
T8.2
T8.1
T7.2
T1.1
K1
T11

1 2 3 4 5 6 7 8 P 9 K5.1

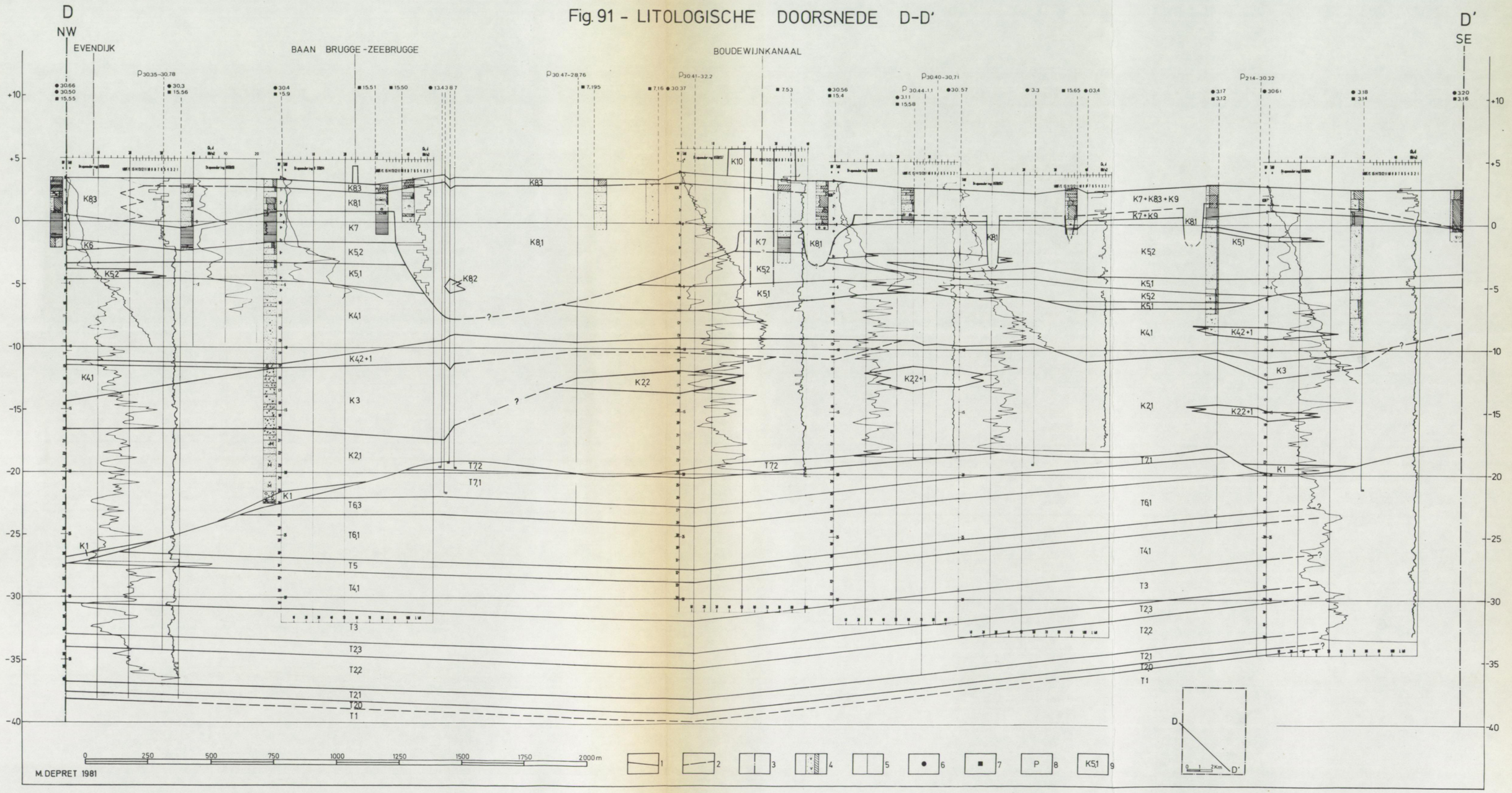
0 250 500 750 1000 1250 1500 1750 2000m

M. DEPRET 1981

# Fig. 90 - LITOLOGISCHE DOORSNEDE C-C'



# Fig. 91 - LITOLOGISCHE DOORSNEDE D-D'



KAARTEN

# KAART 1 : DOKUMENTATIE

LITOSTRATIGRAFIE VAN HET KWARTAIR EN HET TERTIAIRE SUBSTRAAT TE ZEEBRUGGE

LITOLOGISCHE EN STRATIGRAFISCHE INTERPRETATIE VAN DIEPSONDERINGEN MET DE KONUS VAN BEGEMANN

door M. DEPRET (1981)

Rijksuniversiteit Gent
Leerstoel voor Toegepaste Geologie
(Prof. Dr. W. De Breuck)

Legende

Indringingsdiepte van de puntwaarneming (in m)

| | 0 - 20 | 20 - 30 | > 30 |
|---|---|---|---|
| Diepsondering : | · | • | ● |
| Boring : | · | ▪ | ■ |

26 205 : serie - en volgnummer van het punt

(26) : serienummer van een groep punten

A — A' : ligging van de litologische doorsnede

De kilometrisch genummerde aanzetstreepjes duiden het Lambert - ruitennet aan

0 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000 m

# KAART 2 : AANVULLINGEN EN VERGRAVINGEN

uitbreiding (toestand jan. 1980)

0-4 vermoedelijke dikte

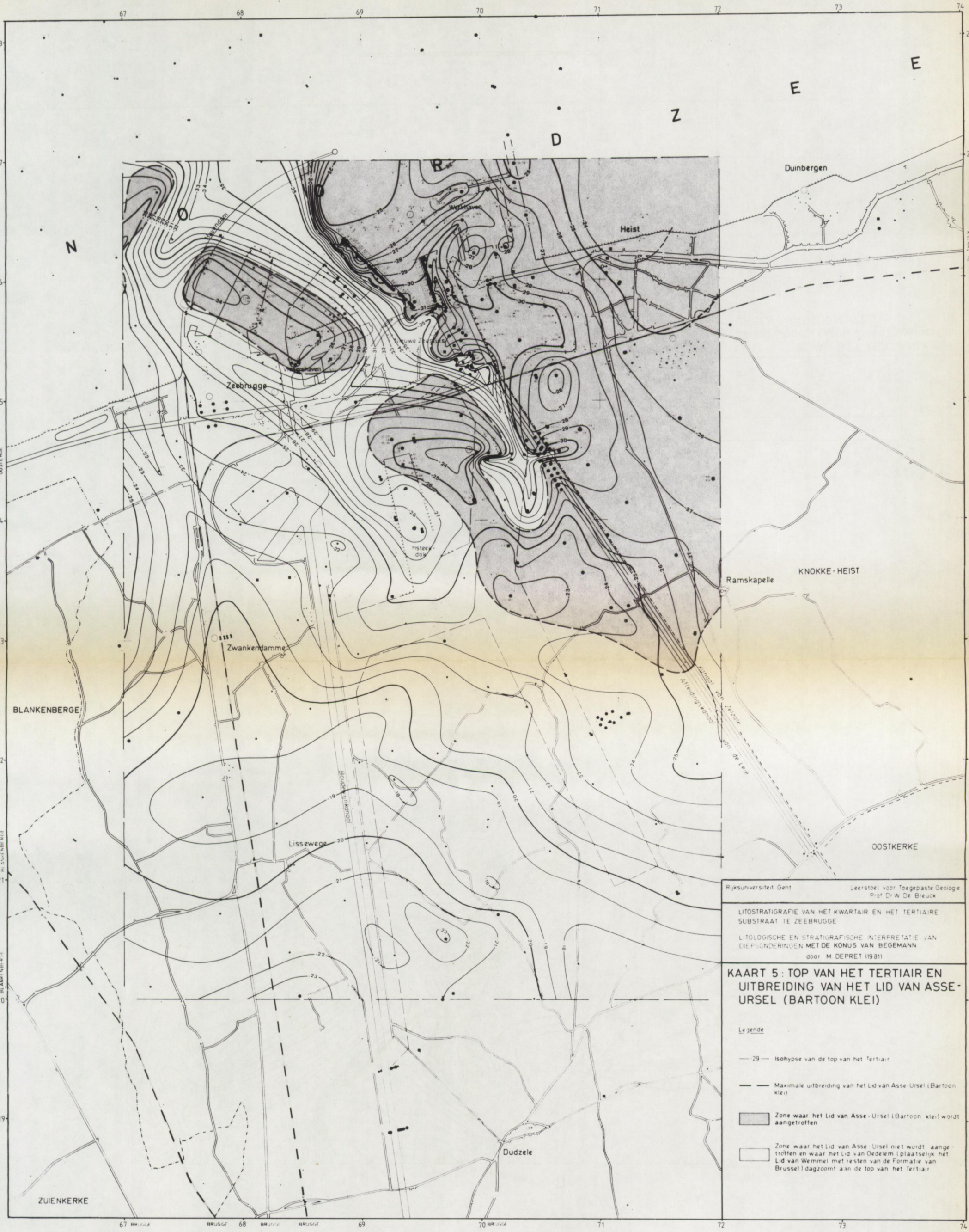
begrenzing van de zone waarvoor het aangegeven dikte-interval geldig is

0 500 1000 1500 m

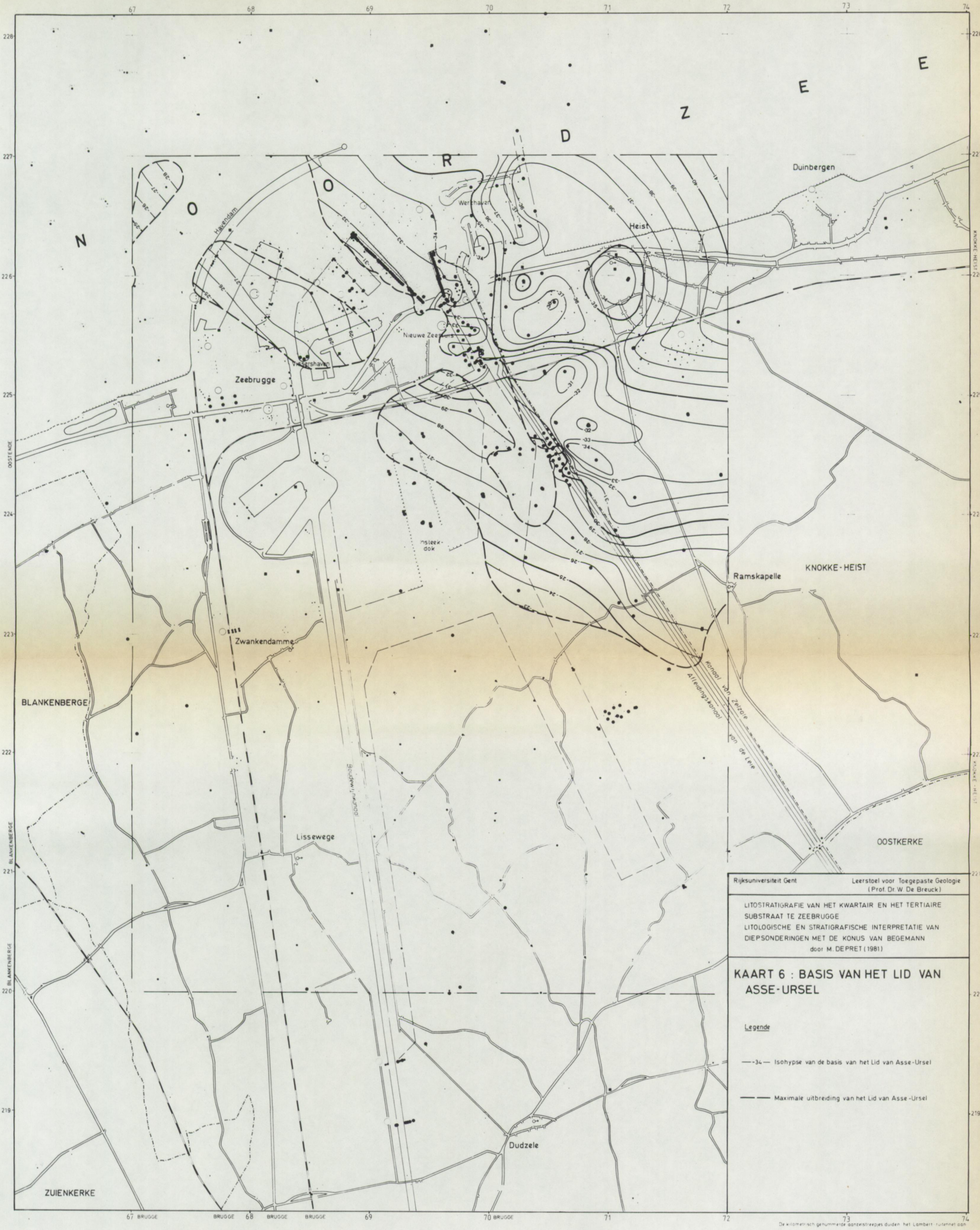
M. DEPRET 1981


N O O R D Z E E
Duinbergen
Werkhaven
Heist
Havendam
Nieuwe Zeestuis
Vissershaven
Zeebrugge
Zwankendamme
BLANKENBERGE
Ramskapelle
KNOKKE-HEIST
OOSTKERKE
Dudzele
ZUIENKERKE
Rijksuniversiteit Gent
Leerstoel voor Toegepaste Geologie
(Prof. Dr. W. De Breuck)
LITOSTRATIGRAFIE VAN HET KWARTAIR EN HET TERTIAIRE SUBSTRAAT TE ZEEBRUGGE
LITOLOGISCHE EN STRATIGRAFISCHE INTERPRETATIE VAN DIEPSONDERINGEN MET DE KONUS VAN BEGEMANN
door M. DEPRET (1981)
KAART 3: UITBREIDING VAN HET OPPERVLAKTEVEEN, VOORMALIGE VEEN-EXPLOITATIES EN OPGEVULDE KREKEN
Legende
Zone waarbinnen geen foto-interpretatie werd verricht
Zone waarbinnen geen interpretaties werden verricht
Isohypse van de basis van een veenloze kreek
Zand op veen
Zand, leem, klei op veen
Zone waarbinnen belangrijke veenexploitatie heeft plaats gegrepen
Zone waarbinnen geringe veenexploitatie heeft plaats gegrepen
Zandige veenloze kreek
Kleige veenloze kreek
Zone met veenondergrond (niet verder gespecifieerd)
Recente uitgravingen al of niet heraangevuld
0 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000 m


N O O R D Z E E
Duinbergen
Werkhaven
Heist
Havendam
Nieuwe Zeesluis
Vissershaven
Zeebrugge
Insteek-dok
Ramskapelle
KNOKKE-HEIST
Zwankendamme
BLANKENBERGE
Kanaal van Zelzate
Afleidingskanaal van de Leie
Boudewijnkanaal
Lissewege
OOSTKERKE
Dudzele
ZUIENKERKE
Rijksuniversiteit Gent
Leerstoel voor Toegepaste Geologie (Prof. Dr. W. De Breuck)
LITOSTRATIGRAFIE VAN HET KWARTAIR EN HET TERTIAIRE SUBSTRAAT TE ZEEBRUGGE
LITOLOGISCHE EN STRATIGRAFISCHE INTERPRETATIE VAN DIEPSONDERINGEN MET DE KONUS VAN BEGEMANN
door M. DEPRET (1981)
KAART 4 : BASIS VAN HET VEEN-LEEM-ZANDKOMPLEX K5 (AFZETTING VAN EEKLO)
Legende
— - 5 — : Isohypse van de basis van het veen-leem-zandkomplex K5 (afzetting van Eeklo)
— — : Maximale uitbreiding van het veen-leem-zandkomplex K5 (afzetting van Eeklo)
De kilometrisch genummerde aanzetstreepjes duiden het Lambert-ruitennet aan
0 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000 m



N O R D Z E E
Duinbergen
Heist
Werkhaven
Zeebrugge
Insteekdok
Ramskapelle
KNOKKE-HEIST
Zwankendamme
BLANKENBERGE
Lissewege
OOSTKERKE
Dudzele
ZUIENKERKE
Rijksuniversiteit Gent
Leerstoel voor Toegepaste Geologie
Prof Dr W De Breuck
LITOSTRATIGRAFIE VAN HET KWARTAIR EN HET TERTIAIRE SUBSTRAAT TE ZEEBRUGGE
LITOLOGISCHE EN STRATIGRAFISCHE INTERPRETATIE VAN DIEPSONDERINGEN MET DE KONUS VAN BEGEMANN
door M DEPRET (1981)
KAART 5: TOP VAN HET TERTIAIR EN UITBREIDING VAN HET LID VAN ASSE-URSEL (BARTOON KLEI)
Legende
-29- Isohypse van de top van het Tertiair
Maximale uitbreiding van het Lid van Asse-Ursel (Bartoon klei)
Zone waar het Lid van Asse-Ursel (Bartoon klei) wordt aangetroffen
Zone waar het Lid van Asse-Ursel niet wordt aangetroffen en waar het Lid van Oedelem (plaatselijk het Lid van Wemmel met resten van de Formatie van Brussel) dagzoomt aan de top van het Tertiair
0 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000 m




Rijksuniversiteit Gent

Leerstoel voor Toegepaste Geologie (Prof. Dr. W. De Breuck)

LITOSTRATIGRAFIE VAN HET KWARTAIR EN HET TERTIAIRE SUBSTRAAT TE ZEEBRUGGE
LITOLOGISCHE EN STRATIGRAFISCHE INTERPRETATIE VAN DIEPSONDERINGEN MET DE KONUS VAN BEGEMANN
door M. DEPRET (1981)

## KAART 6 : BASIS VAN HET LID VAN ASSE-URSEL

Legende

—-34— Isohypse van de basis van het Lid van Asse-Ursel

— — Maximale uitbreiding van het Lid van Asse-Ursel

De kilometrisch genummerde aanzelstreepjes duiden het Lambert-ruitennet aan

0 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000 m

BIJLAGE

BIJLAGE I : Lokalisatie en gegevens van boringen en diepsonderingen

Boringen Geologische Instituut

| nummer | aard | plaats | diepte m | peil m | datum uitvoering | figuur |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 15.1 | DB* | 066/223 | 30,0 | +3 | 8-66 | 6 |
| 15.2 | DB | 071/225 | 27,6 | +3 | 9-66 | 6,88 |
| 15.3 | DB | 071/219 | 20,9 | +3 | 9-66 | - |
| 15.4 | DB | 071/218 | 25,5 | +3 | 9-66 | - |
| 15.5 | DB | 067/219 | 24,2 | +4 | 9-66 | - |
| 15.6 | DB | 069/224 | 31,0 | +3 | 8-69 | 6,14,88 |
| 15.7 | DB | 070/221 | 21,2 | +3,05 | 11-73 | 7 |
| 15.8 | DB | 073/222 | 31,0 | +3 | 11-73 | - |
| 15.9 | DB | 067/223 | 25,7 | +3,6 | 11-73 | 6,91 |
| 15.10 | DB | 069/224 | 30,0 | +3,65 | 12-73 | 6,17a |
| 15.11 | DB | 069/219 | 29,5 | +3,85 | 6-74 | 7,18a,90 |
| 15.12 | SB* | 069/220 | 29,5 | +3,80 | 6-74 | - |
| 15.13 | SB | 069/220 | 29,5 | +3,80 | 6-74 | - |
| 15.14 | DB | 066/221 | 24,4 | +3,8 | 6-74 | 7 |
| 15.15 | SB | 066/221 | 24,4 | +3,8 | 6-74 | - |
| 15.16 | SB | 066/221 | 24,4 | +3,8 | 6-74 | - |
| 15.17 | DB | 073/224 | 29,8 | +3,5 | 6-74 | - |
| 15.18 | SB | 073/224 | 29,8 | +3,5 | 6-74 | - |
| 15.19 | SB | 073/224 | 29,8 | +3,5 | 6-74 | - |
| 15.20 | DB | 071/223 | 30,6 | +3,20 | 7-74 | 7,19,90 |
| 15.21 | SB | 069/224 | 30,0 | +3,70 | 7-74 | - |
| 15.22 | SB | 069/224 | 30,0 | +3,62 | 7-74 | - |
| 15.23 | DHB* | 072/219 | 3,5 | +3 | 11-65 | - |
| 15.24 | DHB | 071/219 | 2,5 | +2,5 | 11-65 | - |
| 15.25 | DHB | 071/220 | 2,7 | +2,5 | 11-65 | - |
| 15.26 | DHB | 070/221 | 3,7 | +3 | 11-65 | - |
| 15.27 | DHB | 070/222 | 3,5 | +2,8 | 11-65 | - |
| 15.28 | DHB | 070/223 | 6,7 | +3 | 11-65 | - |
| 15.29 | DHB | niet op k.* | 4,9 | +3,18 | 3-78 | - |
| 15.30 | DHB | niet op k. | 4,1 | +3,14 | 3-78 | - |

* DB : droge boring
DHB : droge handboring
SB : spoelboring
GB : gestoken boring
k. : kaart

| nummer | aard | plaats | diepte m | peil m | datum uitvoering | figuur |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 15.31 | DHB | niet op k. | 3,8 | +3,06 | 3-78 | - |
| 15.32 | DHB | niet op k. | 4,4 | +3,20 | 3-78 | - |
| 15.33 | DHB | 069/224 | 7,9 | +3,44 | 3-78 | 6,14 |
| 15.34 | DHB | 069/224 | 4,7 | +3,44 | 3-78 | - |
| 15.35 | DHB | 069/224 | 4,6 | +3,46 | 3-78 | 15 |
| 15.36 | DHB | 069/224 | 4,3 | +3,31 | 4-78 | 88 |
| 15.37 | DHB | 069/224 | 8,4 | +3,60 | 5-78 | 6,17a |
| 15.38 | GB | 069/224 | 11,6 | +3,45 | 7-79 | 6,15 |
| 15.39 | DHB | 070/221 | 2,5 | +2,93 | 7-79 | 56 |
| 15.40 | DHB | 070/222 | 2,7 | +3,14 | 7-79 | 50 |
| 15.41 | DHB | 068/221 | 3,9 | +3,49 | 7-79 | 48,91 |
| 15.42 | DHB | 071/220 | 2,5 | +2,54 | 7-79 | 63 |
| 15.43 | DHB | 072/221 | 3,4 | +3,50 | 7-79 | 60 |
| 15.44 | DHB | 071/221 | 3,4 | +2,62 | 7-79 | 61 |
| 15.45 | DHB | 070/221 | 2,6 | +2,87 | 7-79 | 55 |
| 15.46 | DHB | 070/223 | 2,4 | +2,54 | 7-79 | 51 |
| 15.47 | GB | 068/223 | 10,0 | +3,88 | 7-79 | 6,44a |
| 15.48 | GB | 067/224 | 10,8 | +3,44 | 7-79 | 6,42a |
| 15.49 | DHB | 067/223 | 5,1 | +3,6 | 12-79 | - |
| 15.50 | DHB | 067/223 | 3,3 | +3,5 | 12-79 | 91 |
| 15.51 | DHB | 067/223 | 3,9 | +3 | 12-79 | 91 |
| 15.52 | DHB | 066/224 | 5,6 | +3,5 | 12-79 | - |
| 15.53 | DHB | 068/220 | 4,5 | +3,70 | 2-80 | 57 |
| 15.54 | DHB | 068/220 | 3,7 | +3 | 2-80 | - |
| 15.55 | DHB | 066/224 | 5,5 | +3,44 | 2-80 | 20a,91 |
| 15.56 | DHB | 067/223 | 5,2 | +3,5 | 2-80 | 24,91 |
| 15.57 | DHB | 066/224 | 4,8 | +3 | 2-80 | - |
| 15.58 | DHB | 069/221 | 2,7 | +3 | 3-80 | 91 |
| 15.59 | DHB | 070/224 | 6,2 | +3,5 | 3-80 | |
| 15.60 | DHB | 069/222 | 5,1 | +3,30 | 3-80 | 47 |
| 15.61 | DHB | 070/223 | 7,5 | +3,8 | 3-80 | - |
| 15.62 | DHB | 066/224 | 6,7 | +3,5 | 3-80 | - |
| 15.63 | DHB | 069/222 | 7,5 | +3,5 | 4-80 | - |
| 15.64 | DHB | 069/221 | 3,5 | +3,8 | 4-80 | - |
| 15.65 | DHB | 069/221 | 3,7 | +3,0 | 4-80 | 91 |
| 15.66 | DHB | 070/220 | 3,2 | +3,3 | - | - |
| 15.67 | DHB | 071/220 | 3,1 | +3 | 4-80 | - |
| 15.68 | DHB | 069/222 | 3,5 | +3,0 | 4-80 | - |

Vreemde Boringen

| nummer | aard | plaats | diepte m | peil m | datum uitvoering | figuur |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.2 | DB | 070/222 | 31,6 | +1,93 | 8-73 | 90 |
| 1.5 | DB | 069/223 | 48,0 | +3,70 | 7-73 | 4,89 |
| 1.6 | DB | 069/224 | 48,2 | +4,17 | 9-73 | 4,88 |
| 2.1 | DB | 071/222 | 40,0 | +2,63 | 12-73 | 7,90 |
| 3.4 | DB | 070/221 | 12,0 | +2,77 | 9-71 | 7,90 |
| 3.7 | DB | 070/221 | 3,15 | +2,77 | 9-71 | 90 |
| 3.9 | DB | 069/219 | 12,0 | +3,36 | 12-71 | 90 |
| 3.12 | DB | 070/220 | 12,0 | +3,18 | 11-71 | 90,91 |
| 3.13 | DB | 069/220 | 12,0 | +2,90 | 12-71 | 90 |
| 3.14 | DB | 070/220 | 12,0 | +2,81 | 11-71 | 91 |
| 3.15 | DB | 069/220 | 4,0 | +2,90 | 12-71 | 90 |
| 3.16 | DB | 070/220 | 4,0 | +2,92 | 11-71 | 91 |
| 7.16 | DHB | 068/222 | 4,O | +3,5 | 1894 | 91 |
| 7.53 | DHB | 068/222 | 6,6 | +3,5 | 1894 | 91 |
| 7.69 | DB | 068/224 | 94,0 | +6,5 | 1904 | |
| 7.87 | SB | 068/223 | 155,0 | +4,0 | 1930 | |
| 7.129 | DB | 071/219 | 78,0 | +3,0 | 1936 | |
| 7.130 | DB | 073/226 | 65,0 | +6,2 | 1937 | |
| 7.139 | DB | 068/224 | 21,0 | +6,1 | 1937 | 43,88 |
| 7.195 | DHB | 068/222 | 4,0 | +3,5 | 1953 | 91 |
| 14.1 | DB | 070/226 | 70,O | +8,15 | 1977 | 4,89 |
| 14.2 | DB | 068/225 | 100,0 | +8,30 | 1977 | 4 |
| 14.3 | DB | 069/227 | 65,0 | -9,5 | 1977 | 4 |
| 14.4 | DB | 067/228 | 65,0 | -8,9 | 1977 | 4 |
| 14.10 | DB | 068/228 | 30,0 | -9,4 | 1977 | 4 |
| 14.11 | DB | 068/227 | 27,5 | -10,85 | 1977 | 4 |
| 14.28 | DB | 070/225 | 14,0 | +7,47 | 3-78 | 89 |
| 13.5 | DB | 069/225 | 35,4 | +3,57 | 5-71 | 89 |
| 13.12 | DB | 069/225 | 48,0 | +3,0 | 6-73 | 4 |
| 13.13 | DB | 069/225 | 57,0 | +7,0 | 6-73 | 4 |
| 13.14 | GB | 069/225 | 50,5 | +0,5 | 10-76 | 4 |
| 17.7 | DB | 070/224 | 11,0 | +2,67 | 8-78 | 88 |
| 17.8 | DB | 069/225 | 11,0 | +3,16 | 8-78 | 89 |
| 19.1 | DB | 070/225 | 47,5 | +7,32 | 2-79 | 89 |
| 19.6 | DB | 070/224 | 42,5 | +1,7 | 5-79 | 4 |

Diepsonderingen Geologisch Instituut

| nummer | konus type | meet-stap cm | plaats | diepte m | peil m | datum uitvoering | figuur |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30.1 | KMK* | 20 | 066/223 | 13,6 | +3,6 | 7-73 | - |
| 30.2 | KMK | 20 | 066/223 | 9,4 | +3,4 | 7-73 | - |
| 30.3 | KMK | 20 | 067/223 | 11,0 | +3,5 | - | 24 |
| 30.4 | KMK | 20 | 067/223 | 9,8 | +3,6 | - | 25 |
| 30.5 | KMK | 20 | niet op k. | 12,0 | +3,1 | 9-73 | - |
| 30.6 | KMK | 20 | 069/224 | 14,5 | +3,5 | 9-73 | - |
| 30.7 | KMK | 20 | 070/224 | 10,7 | +3,1 | 9-73 | - |
| 30.8 | KMK | 20 | niet op k. | 12,8 | +3,2 | 1-74 | - |
| 30.9 | KMK | 20 | 070/221 | 6,2 | +3,4 | 1-74 | - |
| 30.10 | KMK | 20 | 068/218 | 10,4 | - | 74 | - |
| 30.11 | KMK | 20 | 067/218 | 14,6 | +3,5 | 74 | - |
| 30.12 | KMK | 20 | 066/218 | 9,6 | +3,8 | 74 | - |
| 30.13 | KMK | 20 | 066/219 | 9,8 | +3,5 | 74 | - |
| 30.14 | KMK | 20 | 066/220 | 10,6 | +3,6 | 74 | - |
| 30.15 | KMK | 20 | 066/221 | 10,2 | +3,5 | 74 | - |
| 30.16 | KMK | 10 | niet op k. | 16,5 | +5,47 | 2-78 | - |
| 30.17 | KMK | 10 | 069/224 | 31,2 | +3,44 | 2-78 | 14 |
| 30.18 | KMK | 20 | 069/224 | 31,7 | +3,42 | 3-78 | 14 |
| 30.19 | KMK | 10 | 069/223 | 32,5 | +3,06 | 3-78 | - |
| 30.20 | KMK | 20 | 069/223 | 32,5 | +3,14 | 3-78 | - |
| 30.21 | KMK | 10 | 069/223 | 32,3 | +3,18 | 3-78 | - |
| 30.22 | KMK | 20 | 069/223 | 32,7 | +3,20 | 3-78 | - |
| 30.21 | KMK | 10 | 069/223 | 32,3 | +3,18 | 3-78 | - |
| 30.22 | KMK | 20 | 069/223 | 32,7 | +3,20 | 3-78 | - |
| 30.23 | KMK | 10 | 069/224 | 29,4 | +3,45 | 3-78 | 15 |
| 30.24 | KMK | 20 | 069/224 | 31,1 | +3,46 | 3-78 | 15 |
| 30.25 | KMK | 10 | 069/224 | 31,1 | +3,31 | 4-78 | 16a,b |
| 30.26 | KMK | 10 | 069/224 | 31,6 | +3,59 | 5-78 | 17a,b |
| 30.27 | KMK | 20 | 069/224 | 31,5 | +3,60 | 5-78 | 17a,b |
| 30.28 | KMK | 10 | 068/224 | 32,1 | +3,46 | 5-78 | 26 |
| 30.29 | KMK | 10 | 069/224 | 33,3 | +3,29 | 5-78 | 27 |
| 30.30 | KMK | 10 | 069/219 | 33,4 | +3,85 | 5-78 | 18a,b |
| 30.31 | KMK | 20 | 069/219 | 33,5 | +3,87 | 5-78 | 18a,b |
| 30.32 | KMK | 20 | 071/223 | 30,7 | +3,18 | 5-78 | 19 |

* KMK : kleefmantelkonus
KSM : konus met sluitmoer

| nummer | konus type | meet-stap cm | plaats | diepte m | peil m | datum uitvoering | figuur |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30.33 | KMK | 10 | 071/223 | 30,6 | +3,16 | 6-78 | 19 |
| 30.34 | KMK | 20 | 069/224 | 31,1 | +3,27 | 7-78 | 16a,b |
| 30.35 | KMK | 10 | 067/224 | 29,0 | +5,90 | 2-79 | 28 |
| 30.36 | KMK | 10 | 068/223 | 25,8 | +3,90 | 3-79 | 29 |
| 30.37 | KMK | 10 | 068/222 | 24,5 | +4,16 | 3-79 | 30 |
| 30.38 | KMK | 10 | 068/221 | 29,0 | +4,15 | 3-79 | 31 |
| 30.39 | KMK | 10 | 068/220 | 25,3 | +3,56 | 3-79 | 32 |
| 30.40 | KMK | 10 | 068/220 | 30,0 | +3,74 | 3-79 | 33 |
| 30.41 | KMK | 10 | 067/220 | 24,4 | +4,02 | 3-79 | 34 |
| 30.42 | KMK | 10 | 067/220 | 29,0 | +4,10 | 3-79 | 35 |
| 30.43 | KMK | 10 | 067/222 | 34,0 | +3,96 | 3-79 | 36 |
| 30.44 | KMK | 10 | 067/222 | 37,1 | +3,97 | 3-79 | 37 |
| 30.45 | KMK | 10 | 067/222 | 16,0 | +3,99 | 3-79 | 38 |
| 30.46 | KMK | 10 | 067/221 | 22,1 | +4,01 | 3-79 | 39 |
| 30.47 | KMK | 10 | 067/221 | 27,4 | +3,82 | 3-79 | 40 |
| 30.48 | KMK | 10 | 066/222 | 37,1 | +3,63 | 3-79 | 41 |
| 30.49 | KMK | 10 | 067/224 | 25,5 | +3,44 | 4-79 | 42a,b |
| 30.50 | KMK | 10 | 066/224 | 40,1 | +3,44 | 4-79 | 20a,b |
| 30.51 | KMK | 10 | 068/224 | 31,4 | +6,54 | 4-79 | 43 |
| 30.52 | KMK | 10 | 068/223 | 25,6 | +3,88 | 4-79 | 44a,b |
| 30.53 | KMK | 10 | 069/223 | 31,9 | +3,14 | 4-79 | 45 |
| 30.54 | KMK | 10 | 068/222 | 26,2 | +2,89 | 4-79 | 46 |
| 30.55 | KMK | 10 | 069/222 | 30,2 | +3,30 | 4-79 | 47 |
| 30.56 | KMK | 10 | 068/221 | 22,2 | +3,49 | 4-79 | 48 |
| 30.57 | KMK | 10 | 069/221 | 21,0 | +2,85 | 4-79 | 49 |
| 30.58 | KMK | 10 | 070/222 | 27,7 | +3,14 | 4-79 | 50 |
| 30.59 | KMK | 10 | 070/223 | 31,8 | +2,54 | 4-79 | 51 |
| 30.60 | KMK | 10 | 069/220 | 24,2 | +3,89 | 4-79 | 52 |
| 30.61 | KMK | 10 | 070/220 | 36,5 | +3,06 | 4-79 | 53a,b |
| 30.62 | KMK | 10 | 070/221 | 22,3 | +2,53 | 5-79 | 54 |
| 30.63 | KMK | 10 | 070/221 | 22,3 | +3,05 | 5-79 | 55 |
| 30.64 | KMK | 10 | 070/221 | 26,1 | +2,93 | 5-79 | 56 |
| 30.65 | KMK | 10 | 068/220 | 28,0 | +3,70 | 5-79 | 57 |
| 30.66 | KMK | 20 | 066/224 | 42,9 | +3,44 | 5-79 | 20a,b |
| 30.67 | KMK | 10 | 068/222 | 25,6 | +4,13 | 5-79 | 58 |

| nummer | konus type | meet-stap cm | plaats | diepte m | peil m | datum uitvoering | figuur |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30.68 | KMK | 10 | 071/224 | 38,0 | +3,50 | 5-79 | 21a,b |
| 30.69 | KMK | 20 | 071/224 | 38,1 | +3,50 | 5-79 | 21a,b |
| 30.70 | KMK | 10 | 071/223 | 34,0 | +2,90 | 5-79 | 59a,b |
| 30.71 | KMK | 10 | 071/225 | 42,1 | +3,64 | 5-79 | 22a,b |
| 30.72 | KMK | 20 | 071/225 | 43,5 | +3,64 | 5-79 | 22a,b |
| 30.73 | KMK | 10 | 072/221 | 24,5 | +3,50 | 6-79 | 60 |
| 30.74 | KMK | 10 | 071/221 | 25,7 | +2,62 | 6-79 | 61 |
| 30.75 | KMK | 10 | 071/221 | 28,7 | +2,86 | 6-79 | 62 |
| 30.76 | KMK | 10 | 071/220 | 19,3 | +2,54 | 6-79 | 63 |
| 30.77 | KMK | 10 | 071/225 | 29,7 | +3,47 | 6-79 | 64 |
| 30.78 | KMK | 10 | 072/225 | 36,5 | +3,89 | 7-79 | 65 |
| 30.79 | KMK | 10 | 071/226 | 8,3 | +4,41 | 7-79 | 66 |
| 30.80 | KMK | 10 | 070/225 | 36,7 | +2,67 | 7-79 | 67 |
| 30.81 | KMK | 10 | 071/224 | 37,9 | +3,20 | 7-79 | 23a,b,c |
| 30.82 | KMK | 20 | 071/224 | 38,7 | +3,23 | 7-79 | 23a,b |
| 30.83 | KMK | 10 | 071/225 | 24,0 | +3,07 | 12-79 | 68 |
| Vreemde Diepsonderingen | | | | | | | |
| 27.5 | KSM | 20 | 071/225 | 29,3 | +3,89 | 1952 | |
| 32.4 | KSM | 20 | 070/225 | 45,2 | +7,55 | 1-79 | |