

Deelrapport betreffende:

Dijkvak Westermeerdijk km. 14,2

**Dijkversterking IJsselmeerdijk
Noordoostpolder;
Geotechnische aspecten**

Opdrachtnummer: V-1233/041

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
/00	februari 1994	grondonderzoek Lemmer - Urk	
/02	juli 1995	stabiliteit huidige situatie	
/04	november 1995	grondwaterstroming en stabiliteit	
/041	januari 1996	grondwaterstroming en stabiliteit, huidige situatie en situatie na ophoging -concept-	
/041	augustus 1996	grondwaterstroming en stabiliteit, huidige situatie en situatie na ophoging -definitief-	

BIJLAGEN

nr.

- Sonderingen	DKM 141 t/m DKM 143
- Boorstaat, volumegewicht, watergehalte en poriëngetal	B141
- Samendrukkingsproeven en Cv-waarde bepaling	1-K14 en 2-K14
- Triaxiaalproeven	3-K14 en 4-K14
- Stabiliteitsberekening zonder drainage, huidige situatie	5-K14
- Stabiliteitsberekening met drainage, huidige situatie	6-K14
- Stabiliteitsberekening situatie na ophoging	7-K14

2. PROJECTOMSCHRIJVING

Voor de vergunningsaanvraag conform artikel 33 van de Waterstaatswet dienen een aantal grondmechanische en geohydrologische aspecten te worden onderzocht.

In het vooroverleg met de opdrachtgever zijn in totaal 20 dwarsprofielen gekozen welke maatgevend worden gesteld voor bepaalde dijkvakken. Het dwarsprofiel dat in dit rapport wordt uitgewerkt is gelegen aan de Zuidermeerdijk in de Noordoostpolder.

Dit dwarsprofiel wordt in de toekomst verhoogd. Het dwarsprofiel na ophoging is door de opdrachtgever aangegeven.

1. INLEIDING

Op 22 december 1993 ontving Fugro Ingenieursbureau B.V. te Lelystad van Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied te Lelystad, de opdracht voor het uitvoeren van een grondonderzoek alsmede het uitbrengen van een geotechnisch advies ten behoeve van de dijken in de Provincie Flevoland.

De betreffende dijkenvakken welke onder deze opdracht vallen zijn :

Oostelijk Flevoland - Vanaf de Houtribsluizen tot aan de Roggebotsluis.

Noordoostpolder - Vanaf Lemmer tot aan de Ramspolbrug.

Voor dit project zijn door Fugro Ingenieursbureau B.V. onder opdrachtnummer V-1233 en V-1239 verscheidene grondonderzoeken uitgevoerd en worden adviezen uitgebracht voor maatgevend gestelde dwarsprofielen.

Dit rapport bevat de resultaten van het grondonderzoek (hoofdstuk 3 en 4) en het geotechnische advies (hoofdstuk 5) voor het betreffende dwarsprofiel.

Het geotechnisch advies omvat een analyse van de macro- en de microstabiliteit van het huidige dwarsprofiel en het dwarsprofiel na ophoging van de Zuidermeerdijk ter plaatse van kilometer 14,2.

Opdr.: V-1233/041
Km.: 14,2
Blz.: 1

3. GROND- EN LABORATORIUMONDERZOEK

In het verleden is voor de aanleg van de dijken een grondonderzoek uitgevoerd bestaande uit boringen. Deze boringen zijn gebruikt om de bodemopbouw onder het dijklichaam te schematiseren. Zie voor de boringen de tekening genoemd "Situatie en uitkomsten boringen" blad nr. 2 van kaart nr. 60 van d.d. 12-010-1937 behorende bij bestek nr. 268 van de toenmalige dienst Zuiderzeewerken.

In de navolgende paragrafen wordt het door Fugro uitgevoerde grond- en laboratoriumonderzoek besproken.

3.1 Terreinonderzoek

Het terreinonderzoek heeft t.p.v. km. 14,2 bestaan uit 3 sonderingen en 1 boring en 2 handboringen.

De sonderingen zijn vanaf een standaard sondeertruck uitgevoerd met de elektrische Fugro-(kleefmantel)conus conform norm NEN 3680, waarbij het verticaal sonderen is gecontroleerd door middel van een in de conus ingebouwde hellingmeter. Fugro Ingenieursbureau B.V. is in het bezit van het komo-procescertificaat nummer K2519/94 voor elektrisch sonderen, gebaseerd op de beoordelingsrichtlijn BRL 2364.

De resultaten van de sonderingen zijn getekend op de grafieken DKM 141, DKM 142 en DKM 143, waarop de diepte is uitgezet in meters ten opzichte van MV.

Op de grafieken van de kleefmantelsonderingen is tevens het wrijvingsgetal weergegeven. Dit is de verhouding tussen de plaatselijke mantelwrijving en de conusweerstand. Empirisch is vastgesteld dat het wrijvingsgetal een nauwe relatie met de grondsoort heeft, zodat een goede indicatie van de laagopbouw van de bodem en de aard van de verschillende lagen (klei, zand of veen) is verkregen.

De boring is uitgevoerd met een standaard boortruck. Het resultaat van de uitgevoerde boring is gegeven op boorstaat B 141, waarop de diepte is uitgezet in meters ten

Opdr.: V-1233/041
Km.: 14,2
Blz.: 3

opzichte van MV. Tijdens het boren zijn geroerde grondmonsters genomen en is met het Ackerman steekapparaat elke meter een ongeroerd monster gestoken.

De onderzoekslocaties zijn door Fugro Ingenieursbureau B.V. uitgezet. Hierbij heeft de door de sondeerbaas gemaakte tekening als basis gediend.

De handboringen zijn h.o.h. 250 m uitgevoerd tot een diepte van 0,5 m aan de binnenzijde van de dijk. Tijdens het boren zijn geroerde monsters genomen.

3.2 Laboratoriumonderzoek

In totaal zijn tijdens het boren met de boortruck 8 ongeroerde monsters gestoken. Daarnaast zijn van de verschillende bodemlagen geroerde monsters genomen. De geroerde en ongeroerde monsters zijn in het gecertificeerde laboratorium van Fugro te Arnhem nader geclassificeerd.

Van 8 ongeroerde monsters is in het laboratorium het volumegewicht, het watergehalte, de schuifsterkte en het poriëngehalte bepaald. Het resultaat van deze proeven is gepresenteerd op de boorstaat B 141.

Op 1 ongeroerd monster is een 5-traps samendrukkingproeven uitgevoerd volgens de methode van Keverling Buisman. Tijdens de derde belastingstrap is met de methode van Taylor de consolidatiecoëfficiënt bepaald. Op 2 ongeroerde monsters zijn meertraps triaxiaalproeven uitgevoerd, waarvan 1 CD en 1 CU triaxiaalproef.

Het laboratoriumonderzoek op de geroerde monsters genomen tijdens de uitvoering van de handboring heeft bestaan uit: korrelverdeling, het gehalte aan organische stof en CaCO_3 en de bepaling van de plasticiteitsindex.

De resultaten van het laboratoriumonderzoek is reeds eerder gerapporteerd in het rapport "Dijkversterking IJsselmeerdijk traject Lemmer - Urk, Noordoostpolder" op 24 februari 1994.

4. TERREIN- EN BODEMGESTELDHEID

4.1 Bodemopbouw

Op basis van het beschikbare grondonderzoek kan de bodemgesteldheid naast het dijklichaam globaal worden geschematiseerd zoals in tabel 1a is weergegeven.

Tabel 1a: Bodemgesteldheid naast het dijklichaam op basis van B141 (op 37 m vanuit de kruin).

Diepte in m t.o.v. NAP	Bodembeschrijving
maaiveld tot -3,3	KLEI, bekledingslaag
-3,3 tot -4,3	ZAND
-4,3 tot -4,9	ZAND, met kleilagen
-4,9 tot -5,7	VEEN
-5,7 tot -10,8	ZAND

De bodemgesteldheid onder de kruin van het dijklichaam kan globaal worden geschematiseerd zoals in tabel 1b is weergegeven.

Tabel 1b: Globale bodemgesteldheid ter plaatse van DKM 143 (op 13 m vanuit de kruin).

Diepte in m t.o.v. NAP	Bodembeschrijving
+ 1,4 tot + 0,7	KLEI, bekleding
+0,7 tot -3,9	ZAND
-3,9 tot -5,3	ZAND, met kleilagen
-5,3 tot -5,8	VEEN
-5,8 tot -13,5	ZAND

De dikte van de samendrukbare lagen onder het dijklichaam is ter plaatse van sondering DKM 143 vastgesteld op 1,9 m.

De freatische grondwaterstand in het achterland is tijdens het boren eenmalig gemeten

en bedroeg MV - 0,8 m. De stijghoogte van het eerste watervoerende pakket bedraagt volgens de waterstaatkundige kaart van de geohydrologische atlas van het IJsselmeergebied ca. NAP - 3,5 m.

Het peil van het IJsselmeer wordt in de zomer gehandhaafd op NAP - 0,4 m en in de winter op NAP - 0,2 m. Het maatgevend hoogwater (MHW) is door de opdrachtgever opgegeven en bedraagt NAP + 2,00 m.

4.2 Geometrie dijklichaam

Voor de hoogten van het dijklichaam en het achterland wordt verwezen naar de ontwerptekening van de dijk ter plaatse van het betreffende dwarsprofiel en naar de hoogtemeting van de dijk welke door de opdrachtgever is uitgevoerd.

Ontwerptekening "Situatie en Dwarsprofielen" met reg.nr. 354 van d.d. 12-01-1937 van de toenmalige dienst Zuiderzeewerken. Hoogtemeting in dwarsprofiel op tekening zonder naam van Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied.

Enkele kenmerkende uitgangspunten voor de geometrie zijn:

- de sloot ligt op een afstand van 20 m van de insteek van het binnentalud van het dijklichaam;
- het gemiddelde talud van het dijklichaam aan landzijde bedraagt 1 : 4,1 (1 verticaal : 4,1 horizontaal);
- de kruinhoogte bedraagt NAP + 4,73 m.

4.3 Bodemopbouw en geometrie na ophoging

In overleg met de opdrachtgever is uitgegaan van een ophoging van ca. 1,1 m tot aan de vereiste kruinhoogte. De ophoging is aangebracht op de kruin en het binnentalud.

Voor de indicatieve berekening van de stabiliteit is als uitgangspunt aangenomen dat het ophoogmateriaal, dat bestaat uit zand (kern dijk), is aangebracht bovenop de kleilaag. In de praktijk zal de afdekkende kleilaag eerst worden afgegraven en vervolgens weer over de ophoging worden aangebracht.

5. GEOTECHNISCH ADVIES

5.1 Grondwaterstroming

Met behulp van het numerieke grondwaterstromingsmodel MSEEP is bij het huidige dwarsprofiel en maatgevende omstandigheden de grondwaterstroming door de dijk berekend. Uitgangspunten bij de berekening zijn:

- de grondwaterstroming is stationair verondersteld (conservatieve aanname);
- de buitenwaterstand is gelijk gesteld aan MHW;
- de binnenwaterstand is gelijk gesteld aan de geschatte diepteligging van de aanwezige drainage ca. NAP - 4,5 m. De drainage bevindt zich op ca. 35 m vanuit de kruin;
- geometrie is hierbij geschematiseerd als een doorlatend dijklichaam (zand, $k_{hor} = 4 \cdot 10^{-5}$ m/s en $k_{vert} = 2 \cdot 10^{-5}$ m/s) dat is afgedekt met een laag klei en/of keileem die als ondoorlatend is aangenomen.

Voor het kweldebiet door het dijklichaam wordt gevonden: $Q = 0,8 \cdot 10^{-5}$ m³/m/s.

De freatische lijn treedt, door de aanwezigheid van drainage, niet uit in het talud. Het kwelwater wordt via de drainage in de sloot geloosd.

5.2 Microstabiliteit en interne erosie

Omdat geen sprake is van in het binnentalud uittredend water, hoeft de microstabiliteit van het talud niet te worden gecontroleerd.

Omdat geen sprake is van een geconcentreerde uittreding van water juist achter het binnentalud, is controle op interne erosie niet nodig.

5.3 Opbarsten kleibekleding

Uit de berekeningen met het grondwaterstromingsprogramma MSEEP volgt dat de freatische lijn de onderzijde van de dijkbekleding niet raakt. Derhalve is er geen gevaar voor opbarsten.

5.4 Stabiliteit binnentalud dijklichaam

Voor de huidige en toekomstige situatie en de bodemopbouw wordt verwezen naar hoofdstuk 4: Terrein- en Bodemgesteldheid.

Uit het grondonderzoek blijkt dat tot een diepte van gemiddeld ca. NAP - 7,5 m holocene bodemlagen voorkomen. Deze lagen bezitten een beperkte sterkte tegen afschuiven, waardoor instabiliteit van een aangebrachte ophoging kan optreden.

Teneinde inzicht te verkrijgen in de stabiliteit van het dijklichaam zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd met behulp van het computerprogramma MSTAB. Dit programma berekent de stabiliteit van gelaagde grondmassieven volgens de methode "Bishop", rekening houdend met waterdrukken en bovenbelastingen. Voor de met dit model berekende veiligheden wordt uitgegaan van een minimum van 1,4 (zie par. 4.5, hoofddocument). De resultaten van een dergelijke berekening zijn bijna altijd een goede benadering van de veiligheid van het meest kritische glijvlak.

De berekeningen zijn gebaseerd op de representatieve waarden van de bodemparameters die in tabel 2 zijn gegeven en de met MSEEP berekende freatische lijn. De benodigde parameters zijn ingeschat m.b.v. de resultaten van het laboratoriumonderzoek aangevuld met ervaringscijfers. Voor het ophoogmateriaal is uitgegaan van zand zoals is aangetroffen in de kern van de dijk.

Tabel 2: bodemparameters stabiliteitsberekeningen

Omschrijving	γ [kN/m ²]	ϕ' [°]	c' [kN/m ²]
KLEI, bekledingslaag	15	20	5
ZAND, kleihoudend	15 - 18	22,5	2
VEEN	11	18	3
ZAND	17 - 20	32,5	-
KEILEEM	16	27,5	10

In tegenstelling tot andere dijkvakken is voor dijkvak km 14,2 ook een berekening uitgevoerd zonder drainage. De volgende veiligheden tegen afschuiven zijn berekend:

- huidige situatie zonder drainage: $F_{\text{afsch}} = 0,6$
- huidige situatie met drainage: $F_{\text{afsch}} = 1,9$
- situatie na ophoging zonder drainage: $F_{\text{afsch}} = 1,6$

De berekeningsresultaten zijn weergegeven op de bijlage 5-K14 tot en met 7-K14. Uit het bovenstaande blijkt dat drainage een essentieel onderdeel is van de waterkering. Wanneer geen drainage wordt toegepast wordt een hooggelegen glijvlak gevonden i.p.v. de diepe glijcirkel bij drainage. Zonder drainage zal het binnentalud lokaal afschuiven! Verder blijkt dat ophoging leidt tot een afname van de veiligheidsfactor tegen afschuiving.

5.5 Zetting kruin

Voor de huidige situatie en de bodemopbouw wordt verwezen naar hoofdstuk 4: Terrein- en Bodemgesteldheid.

Ten gevolge van het verhogen van het dijklichaam zullen de korrelspanningen in de bodem toenemen, waardoor zettingen zullen optreden. De grootte van deze zettingen is afhankelijk van de grootte van de opgebrachte belasting, alsmede de samendrukbaarheid van de ondergrond. De zettingen zullen vooral optreden in de samendrukbare holocene lagen van NAP -3,85 m tot NAP -5,7 m.

Om enig inzicht te krijgen in de grootte van de te verwachten zettingen is op basis van de resultaten van de samendrukkingsproeven, aangevuld met ervaringscijfers een een-dimensionale zettingsberekening uitgevoerd.

Omdat de initiële spanning in de samendrukbare laag hoger is dan de grensspanning, kan zetting per laag als volgt worden berekend:

$$z = h \cdot 1/C_2 \cdot \ln\{(\sigma'_{v,z} + \Delta\sigma'_{v,z})/\sigma'_{v,z}\}$$

waarin:

z = samendrukking in m;

h = laagdikte in m;

C_2 = primaire samendrukkingscoëfficiënt m.b.t. niet voorbelast traject;

$\sigma'_{v,z}$ = initiële verticale korrelspanning in kN/m²;

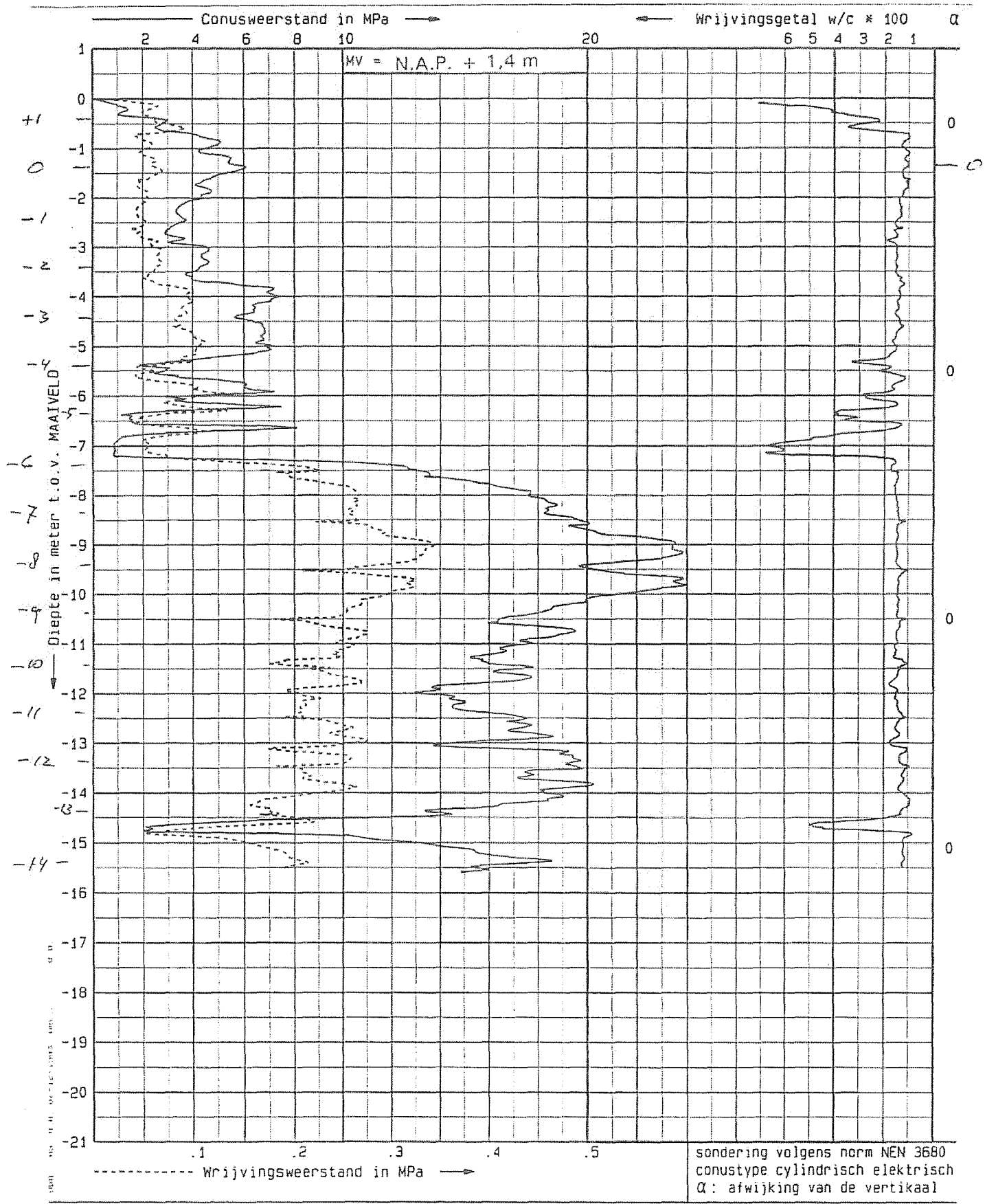
$\Delta\sigma'_{v,z}$ = verticale korrelspanningsverhoging in kN/m²;

De berekeningen zijn gebaseerd op de representatieve waarden van de bodemparameters die in tabel 2 en 3 zijn gegeven. De samendrukkingsconstante zijn bepaald uit het laboratoriumonderzoek aangevuld met ervaringscijfers.

Tabel 3: Samendrukkingsconstanten

Omschrijving	grensspanning [kn/m ²]	C_2 [-]
ZAND	-	100
KLEI, siltig	-	10
VEEN	28	2,7

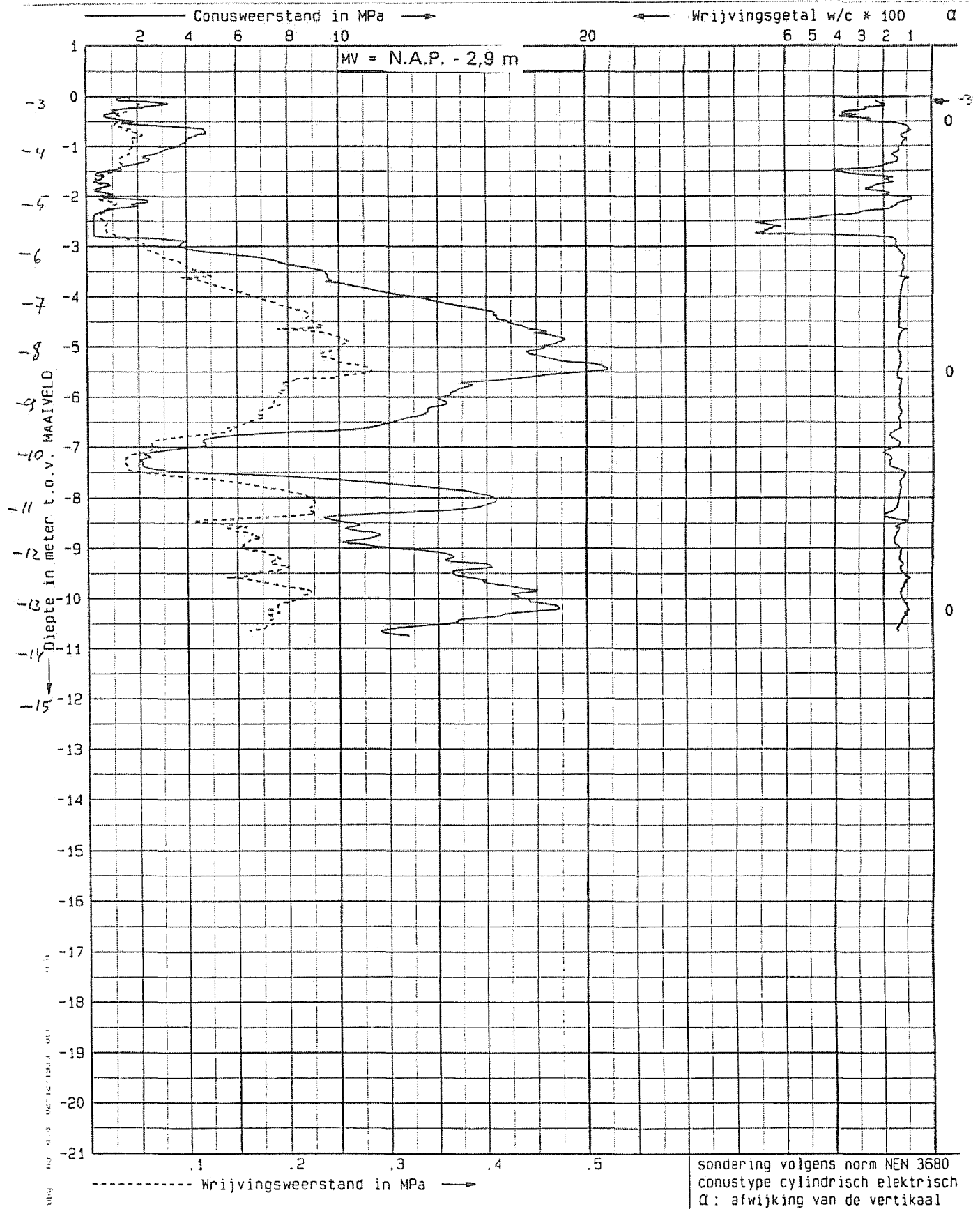
De berekende eindzetting bedraagt bij bovengenoemde waarden $z = 0,06$ m, ofwel 6 cm.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

ONDERZOEK IJSELMEERDIJK TRAJECT LEMMER-URK IN DE NOORDOOSTPOLDER

Opdr. V-1233
Sond. DKM 143



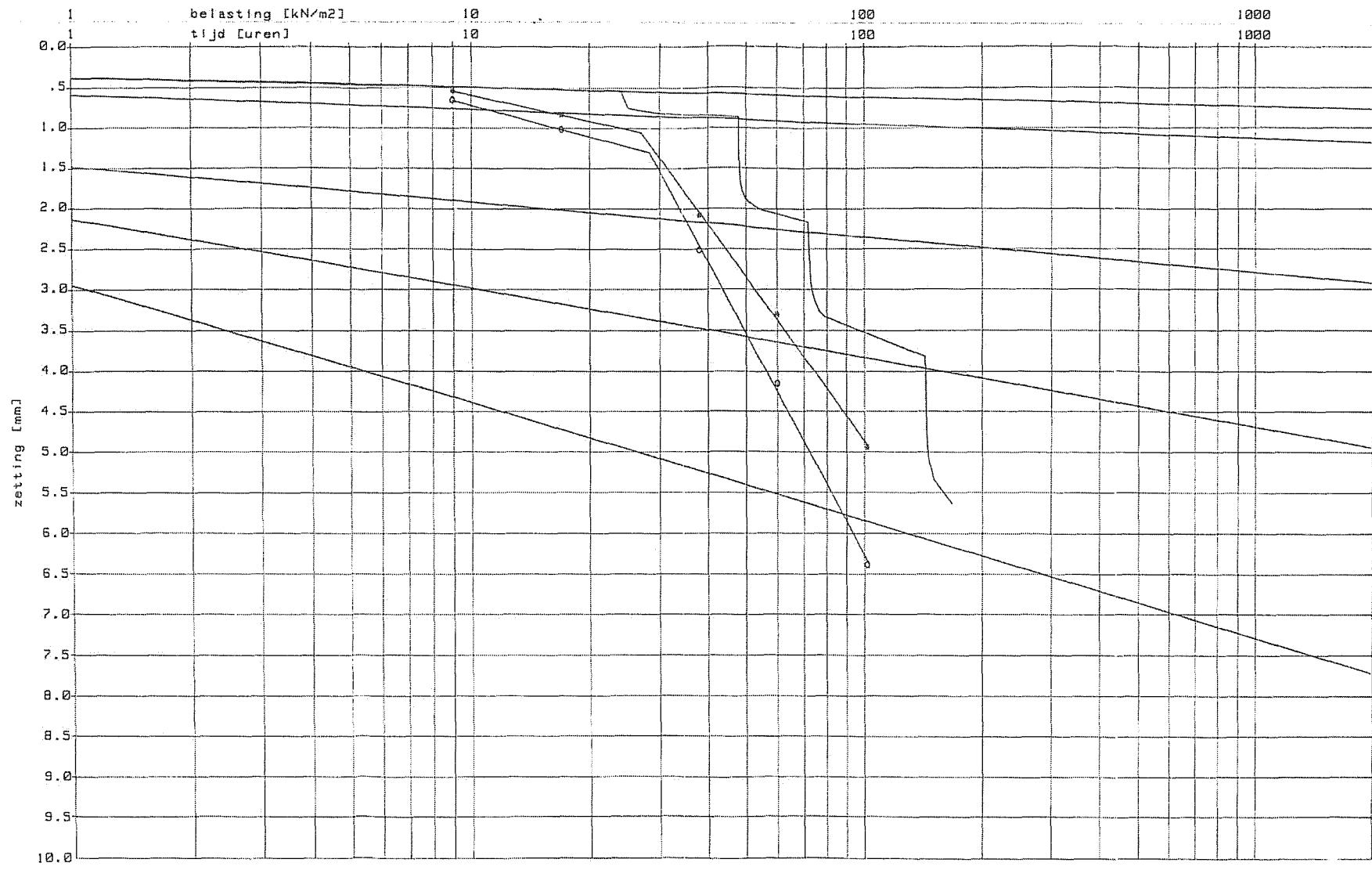
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

ONDERZOEK IJSSELMEERDIJK TRAJECT LEMMER-URK IN DE NOORDOOSTPOLDER

Opdr. V-1233
Sond. DKM 141



SAMEN_Druk 918928/851:3:24/ HP8816
Gemaakt: VLN 06123 Dec 1993
Geconfrid: 044 dds t3 -12-93



Volume gewicht nat : 11.4 kN/m³
 Volume gewicht droog : 3.3 kN/m³
 Watergehalte : 243.3 %

C1 = 22.2
 C2 = 2.7
 P_g = 28 kN/m²

Hoogte = 19 mm
 Diam. = 50 mm

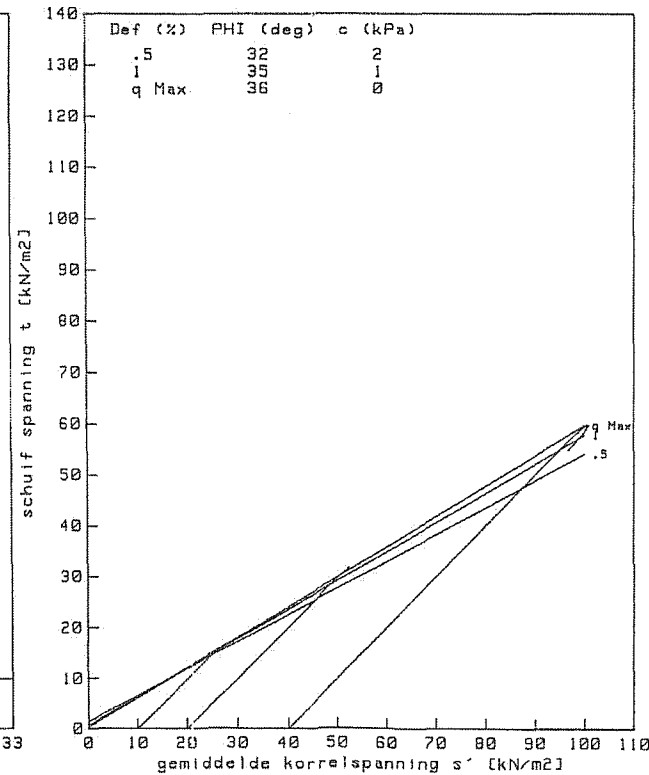
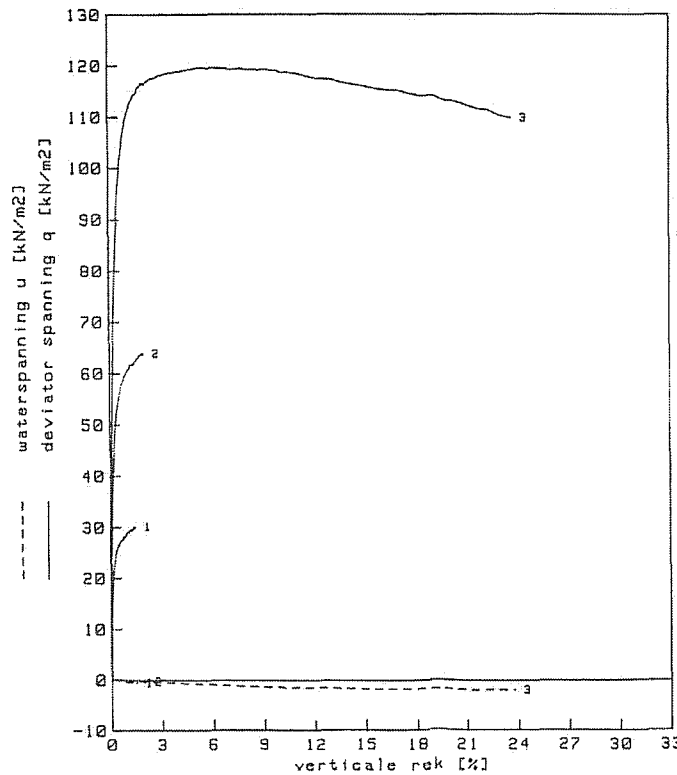
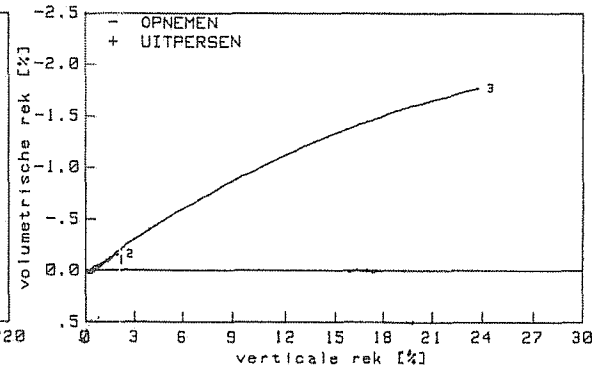
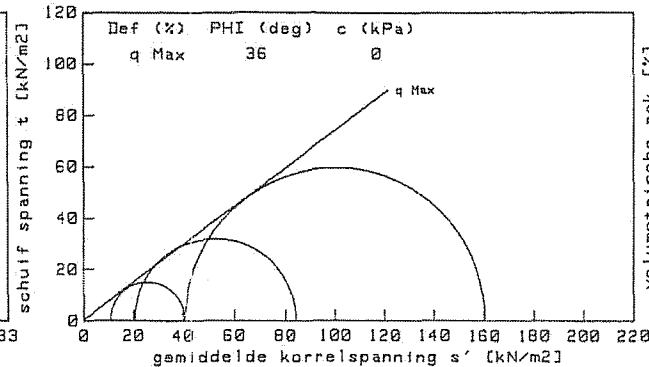
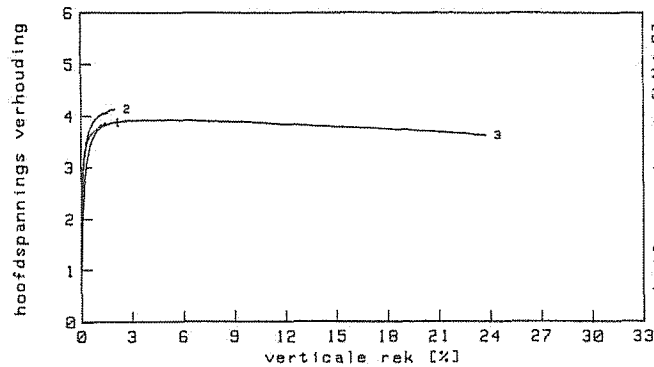
1/C_{p1} = .0244
 1/C_{s1} = .0052
 1/C_{p2} = .1517
 1/C_{s2} = .0540

Boring : B141
 Monster : 2
 Diepte-MV : 2.4 m.
 Grondsoort : VEEN mineraalarm bruin/zwart

SAMENDRUKKINGSPROEF METHODE KEVERLING BUISMAN
 ONDERZOEK IJSELMEERDIJK TRAJEKT
 LEMMER-URK IN DE NOORDOOSTPOLDER

Opdr. V-1233
 Bijl. 1-K14

TRIFAX_STR1 910827/14:35:31/ HP0016
 Gemeekt: h1e ddt:16 Dec 1993
 Geconterid: 1-364 ddt: 23-12-93

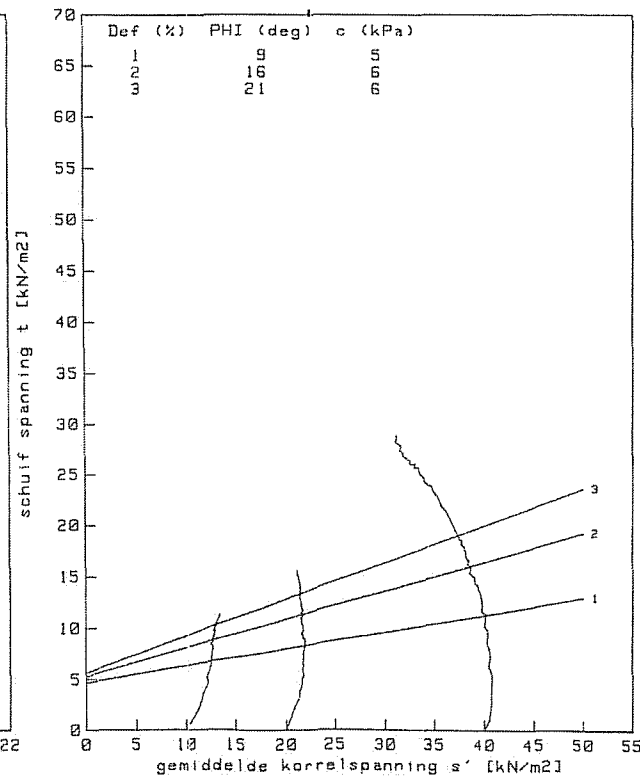
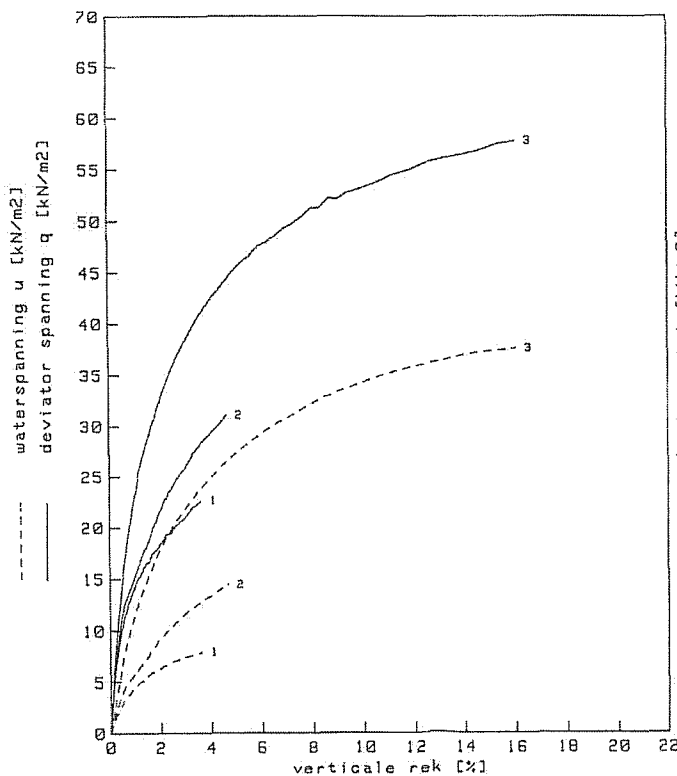
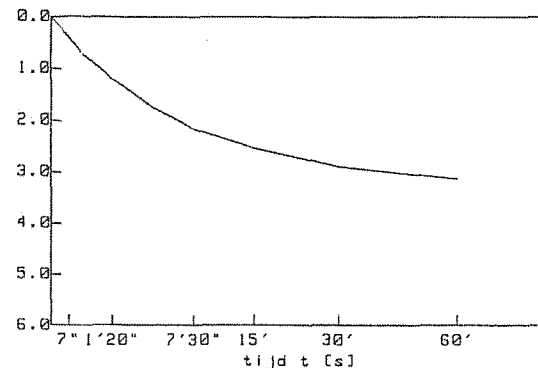
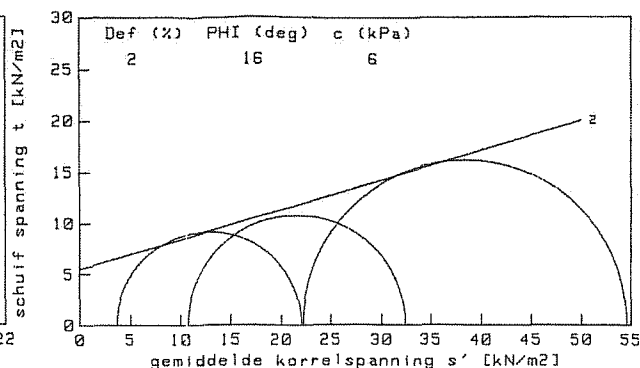
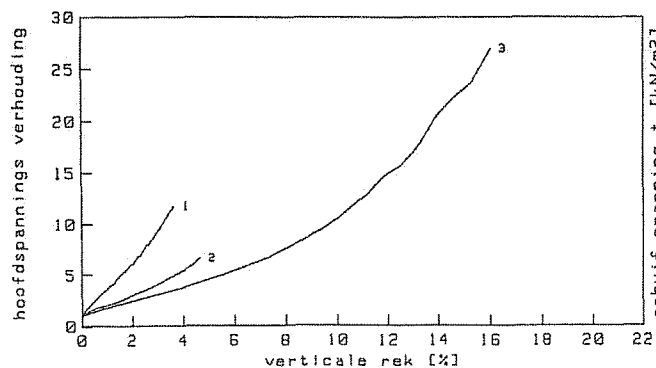


Boring : B141
 Monster : 1
 Diepte - M.V. : 1.50 m.
 Grondsoort : Zand zeer fijn zwak
 siltig grijs met
 schelpenresten
 Soort monster : GEPREPAREERD
 Test techniek : Meer traps
 Vervormingsnelheid : 12 %/uur

= INITIEEL =

Watergehalte	: 34.0	-	-	%
Nat volume gewicht	: 19.3	-	-	kN/m3
Droog volume gewicht	: 14.4	-	-	kN/m3
Hoogte	: 79.0	-	-	mm
Diameter	: 38.0	-	-	mm
Belastingstrap	: 1	2	3	
Back pressure	: 300.	300.	300.	kN/m2
Consolidatiedruk	: 10.	20.	40.	kN/m2
Celdruk	: 310.	320.	340.	kN/m2
e ₅₀	: .1	.1	.2	%
E ₅₀	: 20.4	31.3	36.5	MN/m2

TRIRK_STRT 918827.14:02.03 / HP9916
 Gamakki vln ddi:22 Dec 1983 Gecontri:13 ddi:22 ddi:22-13-13-13



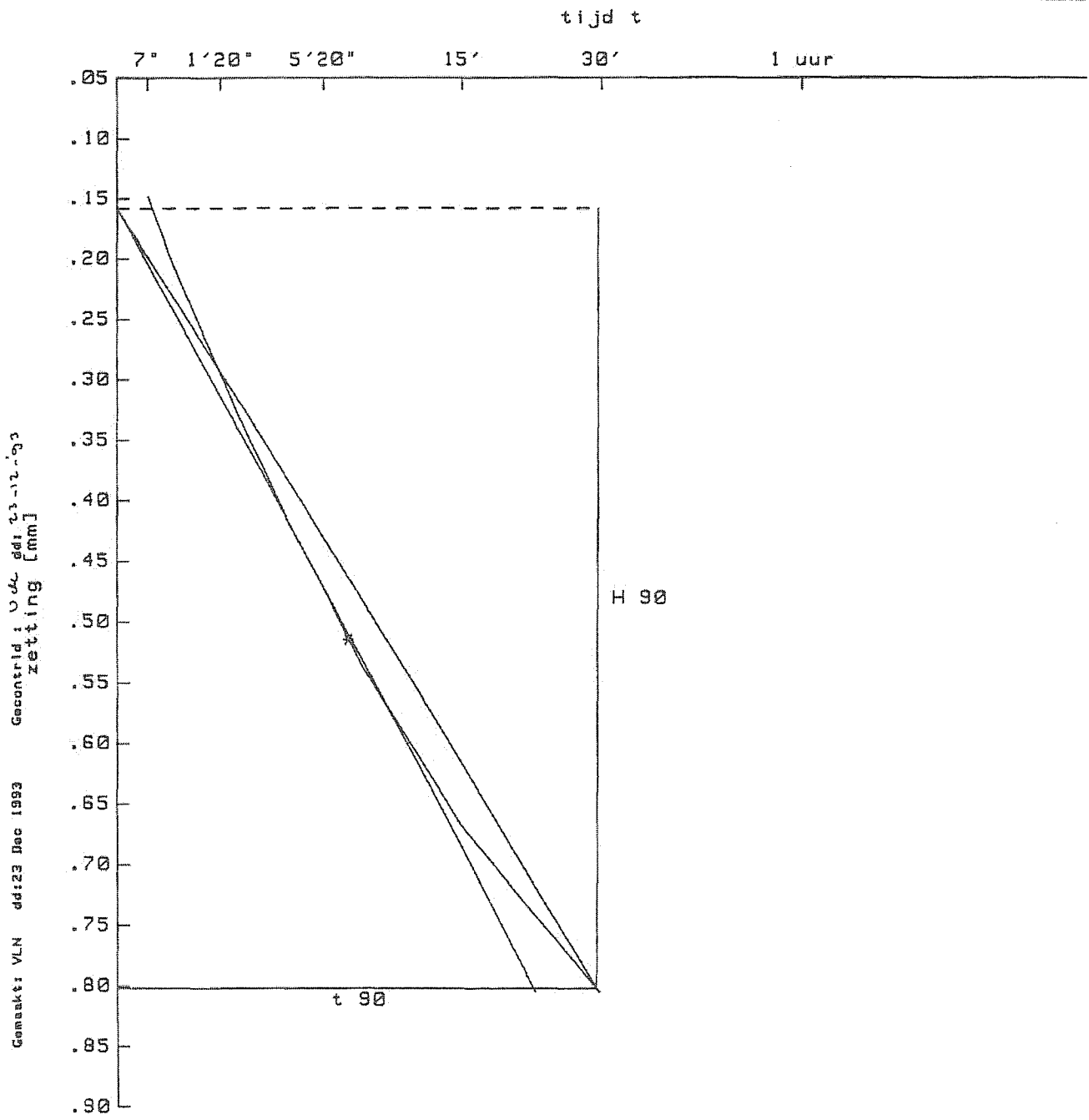
Boring : B141
 Monster : 2
 Diepte - M.V. : 2.25 m.
 Grondsoort : VEEN mineraalarm
 bruin/zwart

Soort monster : ONGEDREED
 Test techniek : Meer traps
 Vervormingssnelheid : 6 %/uur

= INITIEEL =

Watergehalte	: 382.7	-	-	%
Nat volume gewicht	: 10.1	-	-	kN/m3
Droog volume gewicht	: 2.1	-	-	kN/m3
Hoogte	: 76.0	-	-	mm
Diameter	: 38.0	-	-	mm

Belastingstrap	: 1	2	3	
Back pressure	: 300.	300.	300.	kN/m2
Consolidatiedruk	: 10.	20.	40.	kN/m2
Celdruk	: 310.	320.	340.	kN/m2
S _u	: 11.3	15.6	28.9	kN/m2
€50	: .6	1.0	1.6	%
E50	: 1.9	1.5	1.9	MN/m2



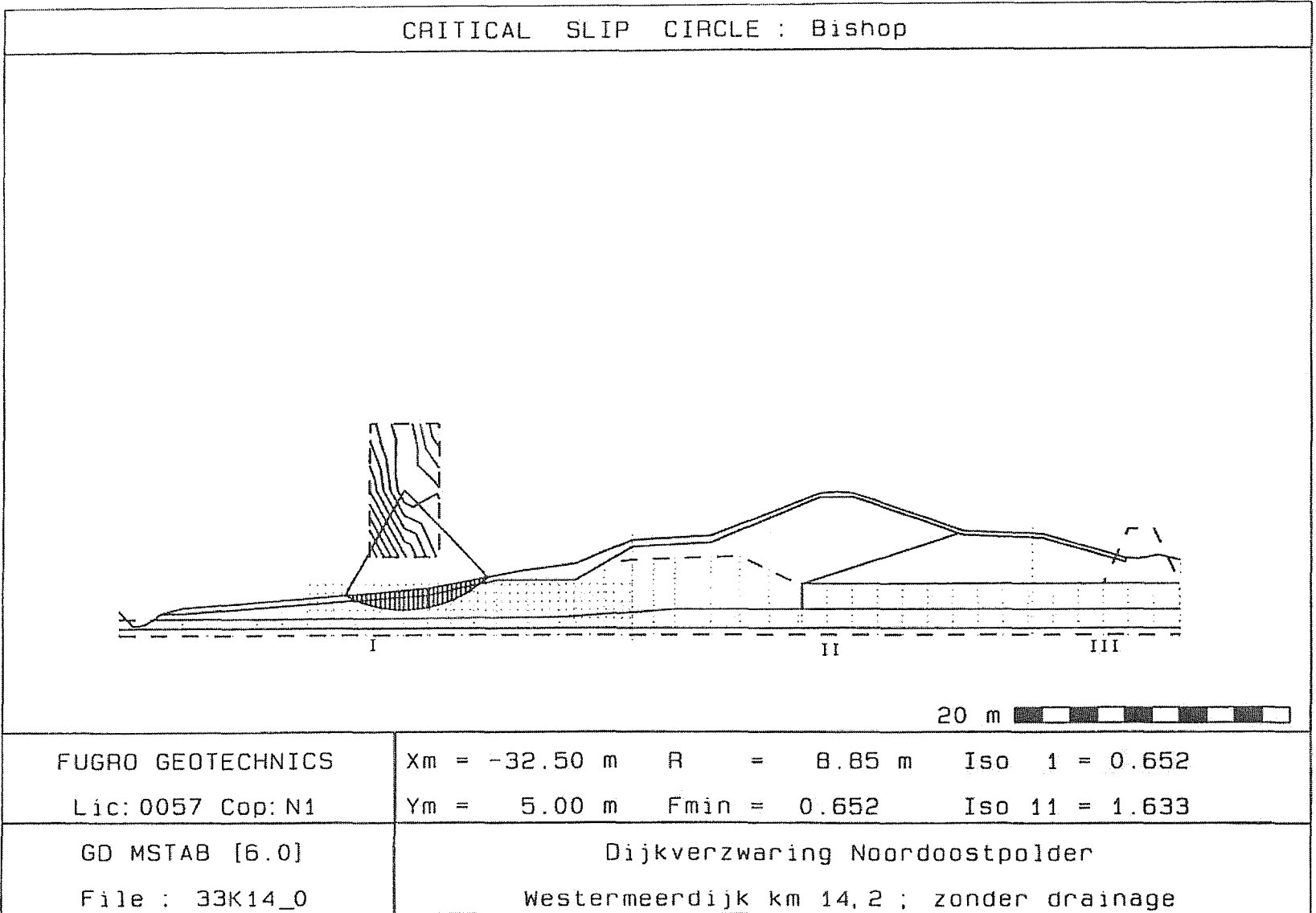
Boring : B141
 Monster : 2
 Diepte-MV : 2.4 m.
 Grondsoort : VEEN mineraalarm
 bruin/zwart

Belastingstrap : 3
 Belasting P : 38 kN/m2
 Belasting ΔP : 21 kN/m2
 Hoogte : 18.212 mm.

	Consolidatie 50	90 %	
H	: .358	.644	mm.
H100	: .716	.716	mm.
t	: 406	1776	s
Cv	: 4.0E-02	4.0E-02	mm2/s
m _v	: 1.9E+00	1.9E+00	mm2/t
k _v	: 7.4E-07	7.3E-07	mm/s

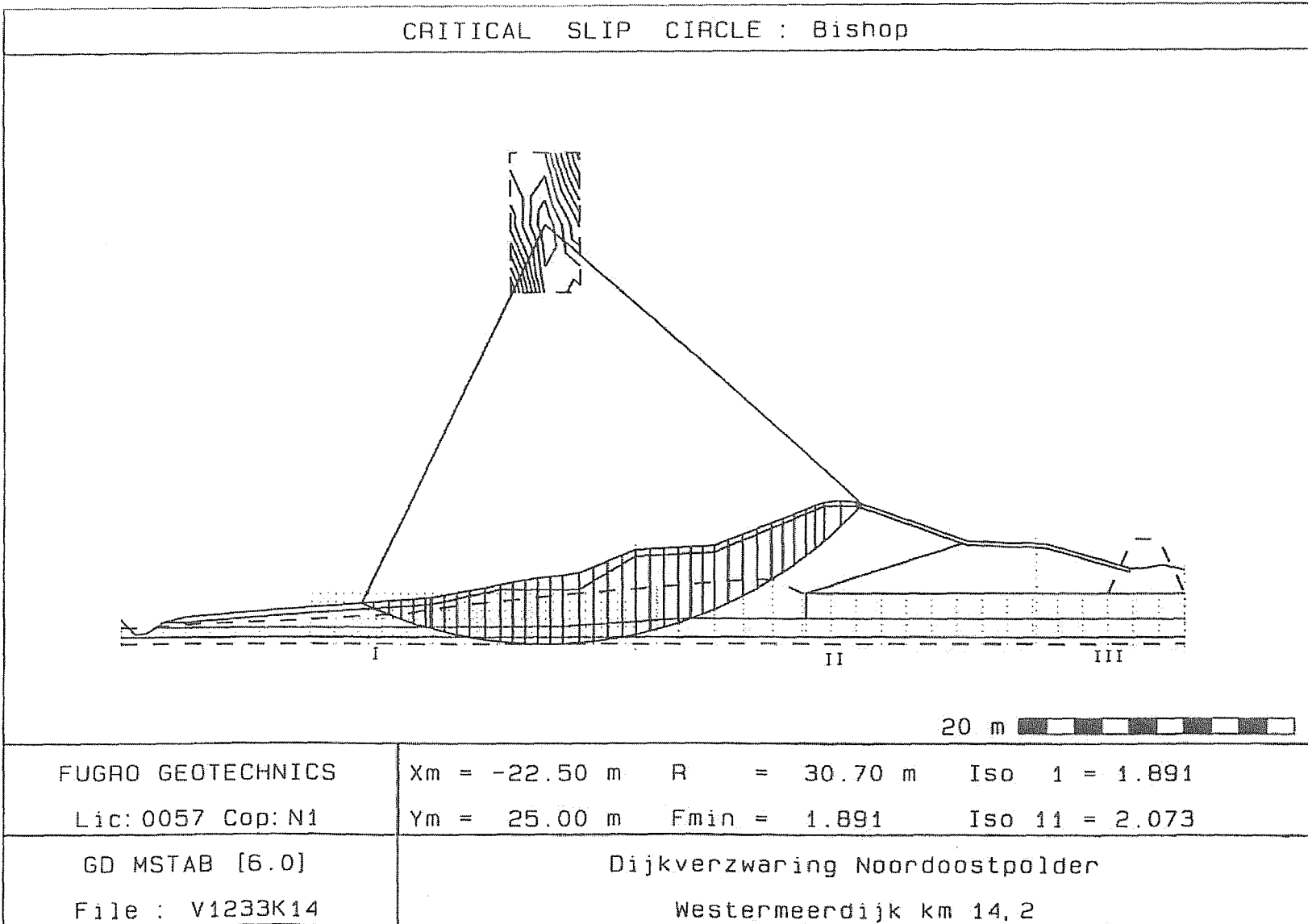
STABILITEIT BINNENTALUD ZONDER DRAINAGE, HUIDIGE SITUATIE
 WESTERMEERDIJK NOORDOOSTPOLDER KM 14,2

Opdr. : V-1233/041
 Bijl. : 5-K14



STABILITEIT BINNENTALUD MET DRAINAGE, HUIDIGE SITUATIE
 WESTERMEERDIJK NOORDOOSTPOLDER KM 14,2

Opdr. : V-1233/041
 Bijl. : 6-K14



STABILITEIT BINNENTALUD MET DRAINAGE, SITUATIE NA OPHOGING
 WESTERMEERDIJK NOORDOOSTPOLDER KM 14,2

Opdr.: V-1233/041
 Bijl.: 7-K14

