

Deelrapport betreffende:
Dijkvak Westermeerdijk km. 17,0

**Dijkversterking IJsselmeerdijk
 Noordoostpolder;
 Geotechnische aspecten**

Opdrachtnummer: V-1233/041

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
/02	juli 1995	stabiliteit indicatief	
/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-	

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 17,0.

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.

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.

Bij dit dwarsprofiel is door Fugro geen grondonderzoek uitgevoerd bestaande uit sonderingen en boringen. Er is gebruik gemaakt van de resultaten van het grondonderzoek bij km. 14,2 en km. 21,0. Zie voor het uitgevoerde grondonderzoek de rapportage van deze dwarsprofielen.

De handboringen voor de bepaling van de kleikwaliteit 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.

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

4. TERREIN- EN BODEMGESTELDHEID

4.1 Bodemopbouw

Vanwege het ontbreken van lokaal grondonderzoek is bij het bepalen van de bodemopbouw bij dijkvak km. 17,0 gekeken naar het grondonderzoek van omliggende dijkvakken: dijkvak km. 14,2 en dijkvak km. 21,0. Voor de bodemopbouw t.p.v. dijkvak km. 17,0 is uitgegaan van een bodemopbouw die voor de stabiliteit het meest ongunstig is ("worst case benadering"). Gezien de diepte ligging en de dikte van de holocene lagen wordt de bodemopbouw t.p.v. dijkvak km. 21,0 als representatief voor dijkvak km. 17,0 aangenomen.

Tabel 1a: Globale bodemgesteldheid naast het dijklichaam op basis van B211.

Diepte in m t.o.v. NAP	Bodembeschrijving
maaiveld tot -3,6	KLEI, bekledingslaag
-3,6 tot -4,7	ZAND
-4,7 tot -6,1	ZAND, kleihoudend
-6,1 tot -7,4	VEEN, kleiig
-7,4 tot -8,0	VEEN
-8,0 tot -10,0	ZAND

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

Tabel 1b: Globale bodemgesteldheid onder de kruin van de dijk o.b.v. DKM 213.

Diepte in m t.o.v. NAP	Bodembeschrijving
kruin dijk tot -1,7	ZAND
-1,7 tot -2,5	KLEI
-2,5 tot -5,5	ZAND, siltig
-5,5 tot -6,7	KLEI
-6,7 tot -7,4	VEEN, kleiig
-7,4 tot -8,2	VEEN
-8,2 tot -10,0	ZAND

De dikte van de holocene lagen onder het dijklichaam bedraagt ca. 2,8 m. Verder volgt uit het grondonderzoek bij km. 21,0 dat er lokaal onder de kruin een kleilaagje aanwezig is met een dikte van ca 0,8 m. In de stabiliteits berekeningen is de aanwezigheid van deze kleilaag buiten beschouwing gelaten. Bij enkele andere dijkvakken (o.a. km. 27,3) is deze kleilaag wel meegenomen en bleek geen invloed te hebben op de ligging van de glijcirkel.

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 + 2,06 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 11 m van de insteek van het binnentalud van het dijklichaam;
- het gemiddelde talud van het dijklichaam aan landzijde bedraagt 1 : 4 (1 verticaal : 4 horizontaal);
- de kruinhoogte bedraagt NAP + 4,82 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 MSEP 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 is aangenomen op ca. 36 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: $Q = 1,2 \cdot 10^{-5}$ 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. 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. MV -4,5 m. De drainage is aangenomen op ca. 36 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: $Q = 1,2 \cdot 10^{-5}$ 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, behoeft 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 is bij MHW de maximale wateroverdruk (p_{\max}) onder de kleibekleding bepaald. Het opbarsten van het binnentalud dient nu gecontroleerd te worden conform de "Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken" (deel 1, par. 11.6.2).

Bij de aanwezigheid van horizontale afdekkende lagen moet worden voldaan aan de voorwaarde dat:

$$F_{\text{opb}} \geq 1,0$$

met

$$F_{\text{opb}} = \{\rho_d \cdot g \cdot d\} / \{\gamma_m \cdot \gamma_n \cdot \gamma_d \cdot p_{\max}\}$$

hierin is:

ρ_d = soortelijke massa afdeklaag in kg/m^3 (ontwerpwaarde);

g = versnelling van de zwaartekracht ($9,81 \text{ m/s}^2$);

d = laagdikte in m;

γ_n = schadefactor (1,1);

γ_d = factor voor modelonzekerheden (1,1);

p_{\max} = maximale waterdruk onder de afdeklaag in kN/m^2 ;

In dit geval bedraagt de maximale waterdruk (p_{\max}) $1,0 \text{ kN/m}^2$ en de minimale laagdikte $1,0 \text{ m}$, de veiligheid tegen opbarsten van het binnentalud bedraagt derhalve 12,5.

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 stabiliteitsbere-

keningen 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 aan getroffen in de kern van de dijk.

Tabel 2: bodemparameters stabiliteitsberekeningen

Omschrijving	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kN/m ²]
KLEI, bekledingslaag	15	20	5
ZAND	17 - 20	32,5	-
ZAND, siltig	16 - 19	25	-
KLEI	14	20	5
VEEN, kleilig	12	17	3
VEEN	11	18	3
KEILEEM	16	27,5	10

De volgende veiligheden tegen afschuiven zijn berekend:

- huidige situatie: $F_{\text{afsch}} = 1,7$
- situatie na ophoging: $F_{\text{afsch}} = 1,6$

De berekeningsresultaten zijn weergegeven op de bijlage 1-K17 en 2-K17. Uit het bovenstaande blijkt dat de ophoging een (licht) stabiliteitsverlagend effect heeft. In beide gevallen is de veiligheidsfactor echter voldoende ($F_{\text{afsch}} > 1,4$).

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 -5,9 m tot NAP -7,5 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;

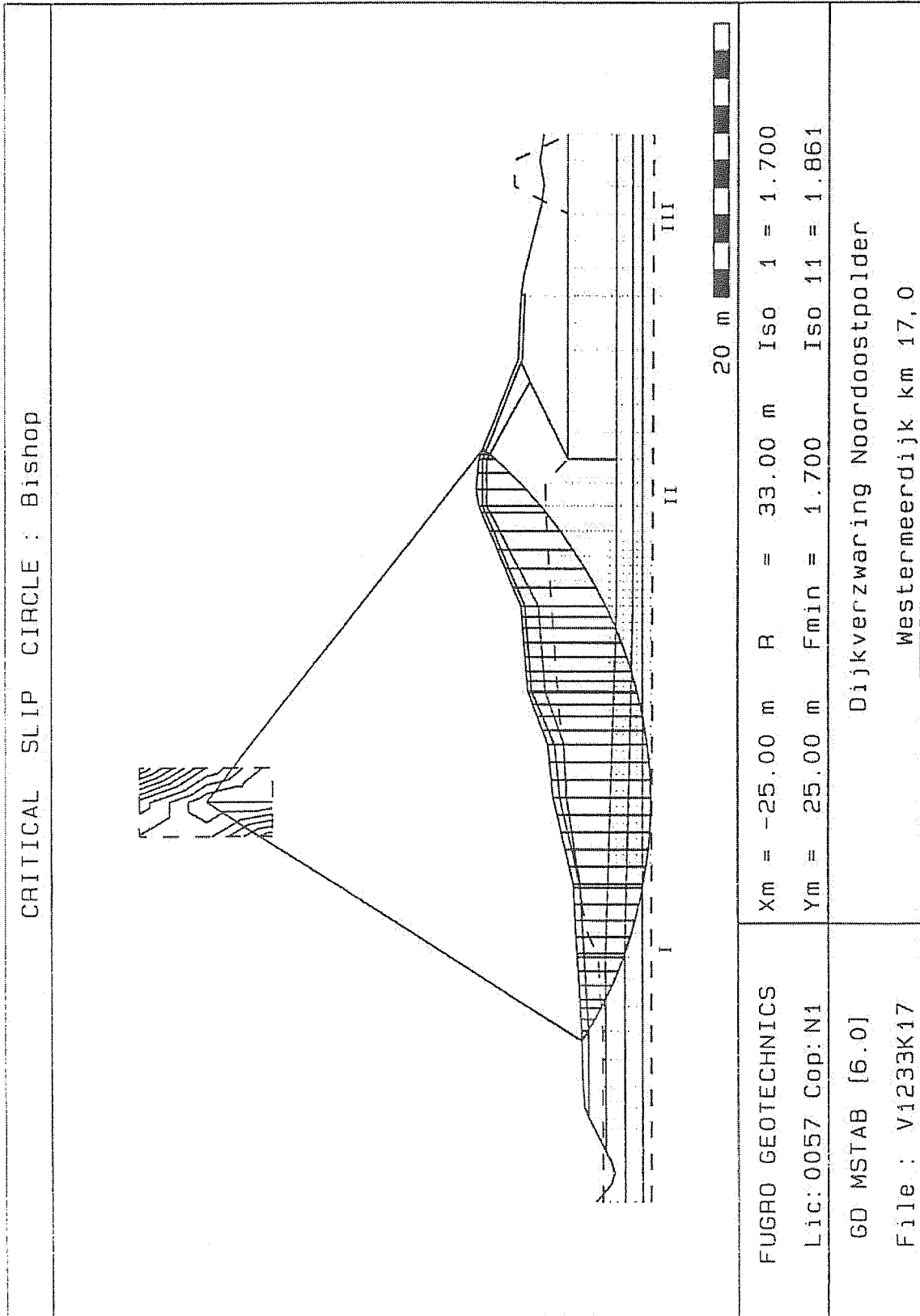
$\Delta\sigma'_{v,z}$ = verticale korrelspanningsverhoging in kN/m²;

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
ZAND, siltig	-	30
KLEI	-	8
VEEN, kleilig	30	3,6
VEEN	31	2,7

De berekende eindzetting bedraagt bij bovengenoemde waarden $z = 0,07$ m, ofwel 7 cm.

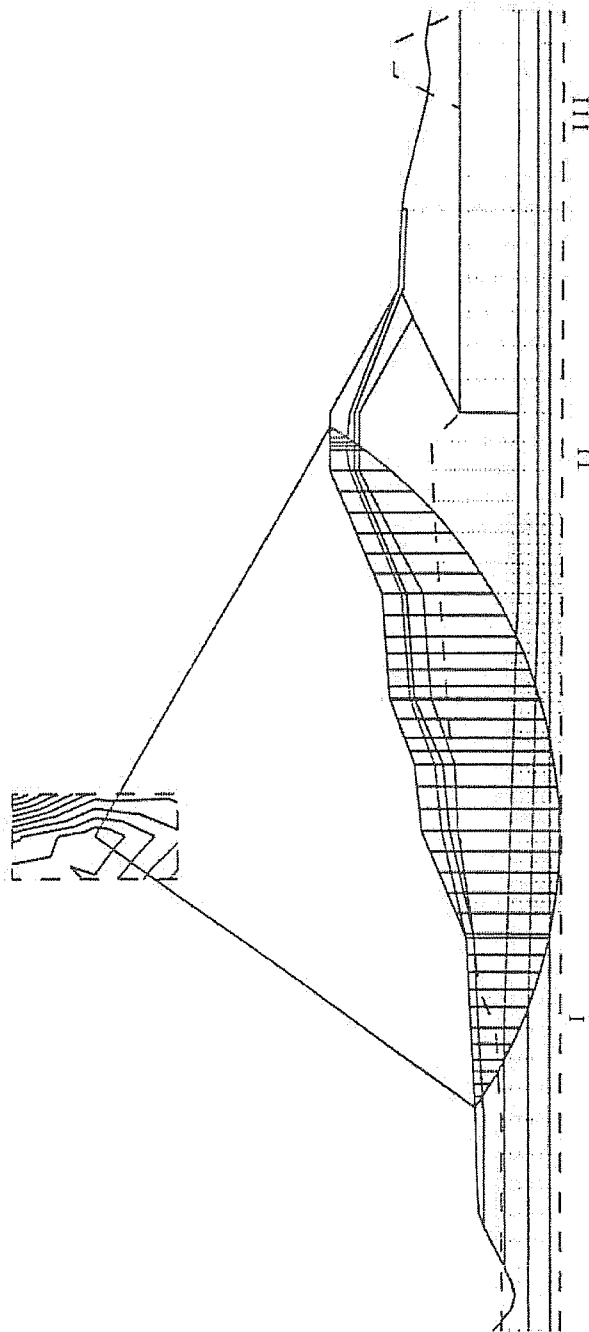


STABILITEIT BINNENTALUD HUIDIGE SITUATIE

WESTERMEERDIJK NOORDOOSTPOLDER KM 17,0

Opdr. : V-1233/04
 Bijl. : 1-K17

CRITICAL SLIP CIRCLE : Bishop



20 m

$X_m = -25.00 \text{ m}$ $R = 28.00 \text{ m}$ $\text{Iso } 1 = 1.575$
 $Y_m = 20.00 \text{ m}$ $F_{\text{min}} = 1.575$ $\text{Iso } 11 = 1.709$

Dijkverzwaring Noordoostpolder

Westermeerdijk km 17,0 : ophoging

FUGRO GEOTECHNICS

Lic: 0057 Cop: N1

GD MSTAB [6.0]

File : 33VERZ17

