

Thema 3: Kust en Rivier

**Adviespraktijk verweking,
verdichting, zettingsvloeiing en
bressen in zand**

Bijeenkomsten 11 mei en 27 juni 2001

Juli 2001

Adviespraktijk verweking, verdichting, zettingsvloeiing en bressen in zand - verslag bijeenkomsten 11 mei en 27 juni 2001

Contactpersoon	:	M.B. de Groot (GeoDelft)
Datum	:	2001-07-31
Author(s)	:	P. Meijers (GeoDelft) en M.B. de Groot (GeoDelft)
Opdrachtgever	:	Delft Cluster
Projectnaam	:	Bouw van grootschalige zandlichamen
Projectnummer	:	03.02.01
Documentnummer	:	03.02.01-02
Totaal aantal pagina's		ca 120
Aantal pagina's eerste verslag	:	3
Aantal bijlagen eerste verslag	:	6
Aantal pagina's tweede verslag		4
Aantal bijlagen tweede verslag		7

ABSTRACT:

Experts in the field of liquefaction, densification, flow slides and breaching in sand, discussed the engineering practice during two meetings in Delft. Representatives of several Delft Cluster partners were present, as well as representatives of several Dutch contractors and consultants. Presentations were given about the state-of-the-art engineering practice, its limitations and potential future developments. The opportunities for future research were discussed. A report of each meeting is enclosed in this volume.



Keverling Buismanweg 4
Postbus 69
2600 AB Delft

015-2693793
015-2693799

info@delftcluster.nl
www.delftcluster.nl

Delft Cluster verricht lange-termijn
fundamenteel strategisch onderzoek
op het gebied van duurzame inrichting
van deltagebieden.

VERSLAG STUDIEMIDDAG VERWEKING EN VERDICHTING (DELFT CLUSTER 1)

Datum: vrijdagmiddag 11 mei

Plaats: auditorium GeoDelft

Deelnemers: zie bijlage

Programma:

- | | |
|--|-----------------|
| - achtergrond programma Delft Cluster | M.B. de Groot |
| - principe verweking | M.B. de Groot |
| - achtergrond MCYCLE | P. Meijers |
| - ervaring met verwekingsmodellen in DIANA | D. van Zanten |
| - ongewenste verdichting | P. Meijers |
| - geforceerde verdichting | P. Lubking |
| - eenvoudig model verweking | W. van Kesteren |
| - discussie | |

INLEIDING

Het doel van de bijeenkomst is het krijgen van een antwoord op de volgende vragen:

- wat is de huidige adviespraktijk?
- welke beperkingen zijn er?
- wat zijn mogelijke oplosrichtingen?
- welke prioriteit hebben de verschillende oplosrichtingen?

Tijdens deze bijeenkomst kan niet het antwoord op al deze vragen worden gegeven. Deze middag moet er wel toe bijdragen dat voor de tweede fase van Delft Cluster (na 2002) de gewenste ontwikkeling duidelijk is.

PRESENTATIES

Door de inleiders is kort aangegeven wat hun ervaringen met de verschillende modellen zijn en wat de geconstateerde beperkingen zijn. Voor de inhoud van de presentaties wordt naar de bijgevoegde sheets verwezen.

Kernpunten van de presentaties en daaropvolgende discussies zijn:

* MCYCLE

Pragmatisch programma. Het programma is 1-dimensionaal. Het programma berekent de gemiddelde stijging van de waterdruk, niet het verloop van de waterspanning tijdens een golfcyclus.

In MCYCLE zit een optie om de wateroverspanning onder een (lang) caisson te berekenen. In het programma is dit nog steeds een 1-D berekening waaraan een extra term is toegevoegd om het horizontaal afstromen van wateroverspanning te simuleren. Een gewenste uitbreiding is het correct meenemen van 2D-situaties, bijvoorbeeld bij caisson golfbrekers.

Het zogenaamde 'geschiedeniseffect' is gebaseerd op resultaten van cyclische proeven voor de SVKO. Dit effect wordt op een naar verwachting conservatieve manier meegenomen. Hier is mogelijk winst te halen.

Opmerkingen:

Verificatie van de gebruikte curven voor het aantal cycli tot verweking voor hoge en lage relatieve dichtheid lijkt weinig zinvol, omdat deze dichtheden ($R_e > 30\%$ en $R_e > 90\%$) in de praktijk praktisch nooit voorkomen.

Het meten van de in-situ dichtheid is in de praktijk moeilijk. Voor de toplagen gelden de gebruikelijke correlaties tussen conusweerstand en dichtheid niet.

Een verificatie van het programma met de resultaten van een centrifugeproef gaf aan dat MCYCLE mogelijk te conservatief is.

Het is de vraag of een beter (meer geavanceerd) model voor de waterspanningsgeneratie zinvol is, omdat zo'n model waarschijnlijk moeilijk te bepalen parameters zal bevatten.

* DIANA

In DIANA zijn drie verwekingsmodellen aanwezig. Eén van deze modellen is gebruikt voor het ontwerp van een caisson golfbreker voor de tweede Maasvlakte. Met dit programma is het gedrag tijdens een aantal golfcycli te berekenen. DIANA heeft de potentie om wateroverspanning en vervorming te berekenen.

De aanpak is arbeidsintensief en rekenintensief. Het doorrekenen van een totaal stormveld is niet haalbaar. Na 6 cycli trad er numerieke instabiliteit op en werd de berekening afgebroken.

Opmerkingen:

Voor ontwerpdoeleinden lijkt dit programma niet geschikt. Mogelijk wel geschikt voor verificatie van een ontwerp.

Het programma is een aanvulling op MCYCLE. In MCYCLE wordt de algemene trend gevolgd, in DIANA het gedrag gedurende enkele golfcycli.

* ongewenste verdichting

Hieronder wordt verstaan het verdichten van zand in gevallen waar dat niet gewenst is. Er is geen 'kant-en klaar' model beschikbaar.

Uit de literatuur blijkt dat er een soort drempelwaarde is waaronder geen verdichting optreedt. Als de belasting hoger is, dan heeft de voorspelling van de grootte van verdichting een grote onzekerheidsmarge. Onzekerheid is er met name bij het vertalen van gepubliceerde proefresultaten bij een beperkt aantal wisselingen naar de situatie bij zeer veel wisselingen. Een discussiepunt is ook de invloed van de versnelling op de verdichting.

Opmerking:

Bij versnellingen $> 1g$ kan de invloed van de versnelling op de verdichting aanzienlijk zijn. Model van R. Hergarden voor verdichting bij het trekken van damwandplanken is mogelijk ook, na de nodige aanpassingen, te gebruiken voor vibroflotation.

* geforceerde verdichting

Hieraan wordt veel gedaan vanuit de wegenbouwhoek.

Het doel van verdichten is meestal het verbeteren van de mechanische eigenschappen van de grond. De aanpak is sterk empirisch. Er zijn veel praktijkgegevens beschikbaar. Deze zijn verzameld in uitgebreide tabellen. Een theoretische onderbouwing ontbreekt nog. Dit in tegenstelling tot de waterbouw waar veel theorie, maar weinig praktijkmeetgegevens zijn.

Opmerkingen:

Een probleem is het verdichten van zand tussen 1 en 4 m diepte. De invloedsdiepte van een trilwals reikt niet zo ver, terwijl voor diepteverdichting het spanningsniveau te laag is.

* eenvoudige methode liquefactiegevoeligheid

Deze methode gaat uit van de korrelverdeling en de dichtheid. Hiermee is te bepalen of een bepaalde grondsoort gemakkelijk verweekt. Een toepassing is het bepalen van de verpompbaarheid van mengsels.

DISCUSSIE

Uit de discussie kwamen een aantal aspecten naar voren.

Er bestaat behoefte aan meer inzicht in de fysica van verweking en verdichting, voordat met modelontwikkeling wordt begonnen.

Een voorstel is om een uitgebreide proevenserie (bijvoorbeeld cyclische triaxiaalproeven) op te zetten waarbij systematisch de diverse parameters (hoekigheid, dichtheid, etc.) worden gevarieerd. Eén van de doelen van een dergelijke proevenverzameling is het krijgen van inzicht in de belangrijke parameters.

Mogelijk kan hiervoor deels gebruik worden gemaakt van de proevenseries voor de SVKO, MAST II en LIMAS. Deze series zijn echter niet opgezet om de parameters voor geavanceerde verwekingsmodellen, zoals in DIANA, te bepalen.

Tijdens de discussie kwamen slechts een paar praktijkproblemen voor het voetlicht:

- Bij verdichting is de overdracht van de energie van de bron (bijvoorbeeld een trilnaald) naar de grond nog onduidelijk. Soms gaat dit goed terwijl in een ander geval de naald 'zijn energie niet kwijt kan'. Waardoor dit komt is volstrekt onduidelijk, maar is wel van belang om het mechanisme te begrijpen.
- Het 'geschiedeniseffect' is gebaseerd op enkele proeven uit de jaren '70. Hier lijkt nog een onderzoeksveld braak te liggen. Dit effect kan een grote invloed hebben op de verwekingsgevoeligheid.
- Bij verweking van grond zitten we tussen het gebied van grondmechanica en vloeistofmechanica. Er is nog niet veel van bekend van de processen na het begin van verweken. Mogelijk is er een link met de chemie, waar men ook naar mengselstromen kijkt.
- Van het gedrag van onverzadigde grond is nog niet veel bekend. Bij geforceerde verdichting zitten we juist in dit gebied.
- Verdichting van zand tussen 1 m en 4 m diepte is problematisch.

Het aantal problemen zal groter zijn. Via een enquête zal worden geprobeerd hier meer inzicht in te krijgen.

Er lijkt consensus te zijn dat binnen Delft Cluster eerst meer fundamenteel naar de ontbrekende kennis gekeken moet worden en theorievorming moet starten, voordat praktijkproblemen worden aangepakt. Deze meer fundamentele aanpak ziet men als een typische DelftCluster taak.

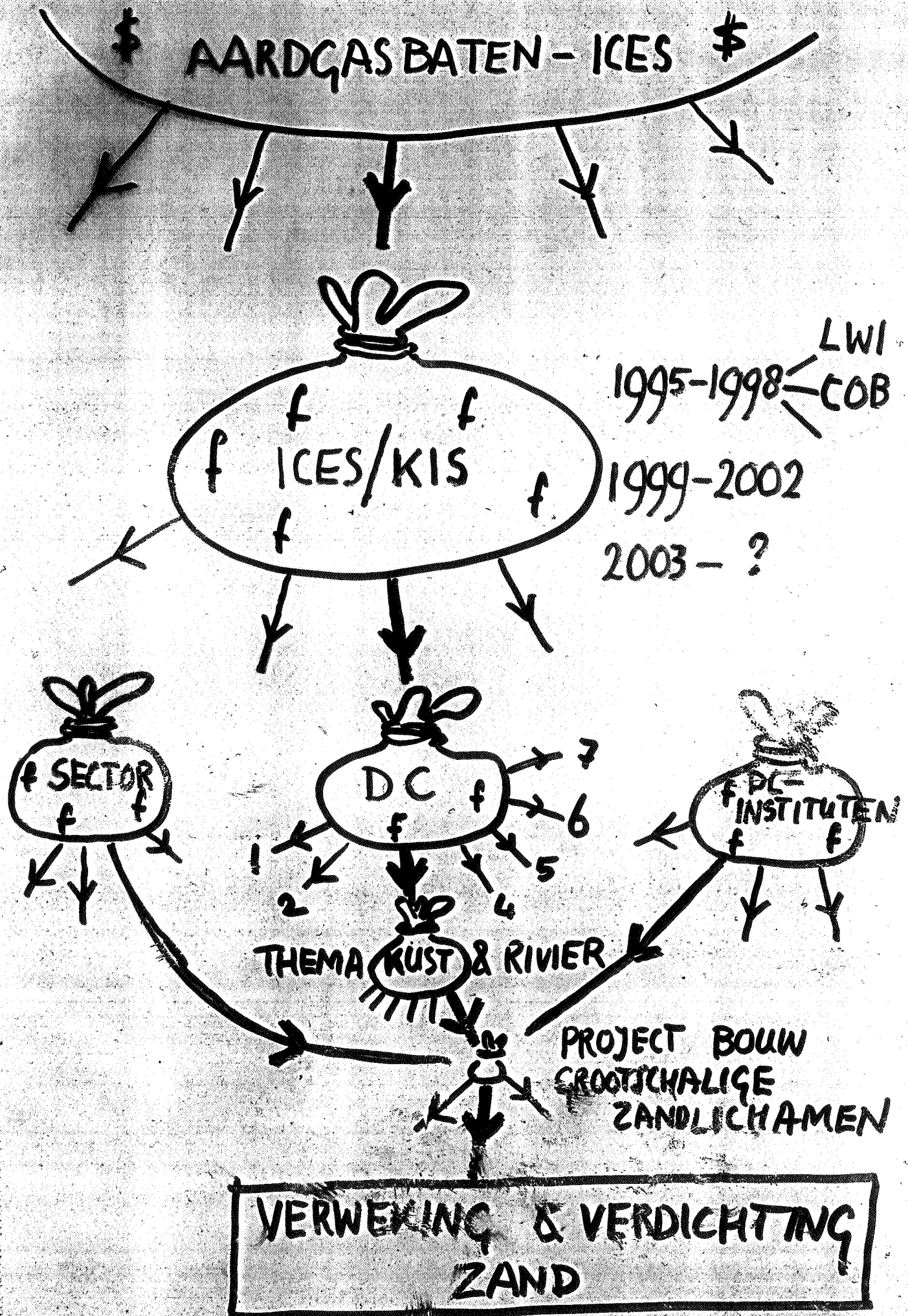
BIJLAGE 1

aanwezig

Aanwezigen:

Janrik van den Berg (UvU)
Adam Bezuijen (GD)
Alexander van Duinen (GD)
Maarten de Groot (GD)
Paul Hölscher (GD)
Walther van Kesteren (WL)
Art Nooy van der Kolff (Boskalis)
Gerard Kruse (GD)
Jaap Lindenberg (GD)
Piet Lubking (GD)
Piet Meijers (GD)
Raymond van der Meij (student TUD)
Cees van Rhee (HAM/TUD)
Rob Schippers (Volker Stevin)
Adriaan van Seters (Fugro)
Herke Stuit (HRC)
Hans Teunissen (GD)
Meindert Van (GD)
Rien Viergever (GD)
Marcel Visschedijk (GD)
Diederik van Zanten (GWR)
Cor Zwanenburg (GD)

BIJLAGE 2
M.B. de Groot



VERWEKING & VERDICHTING ZAND

2001 BIJEENKOMSTEN

- ADVIESPRAKTIJK?
- BEPERKINGEN?
- "OPLOSSINGEN"?
- PRIORITEIT?

BUREAU STUDIES

- ENIGE "OPLOSSINGEN"

2002 BIJEENKOMST + LOBBY

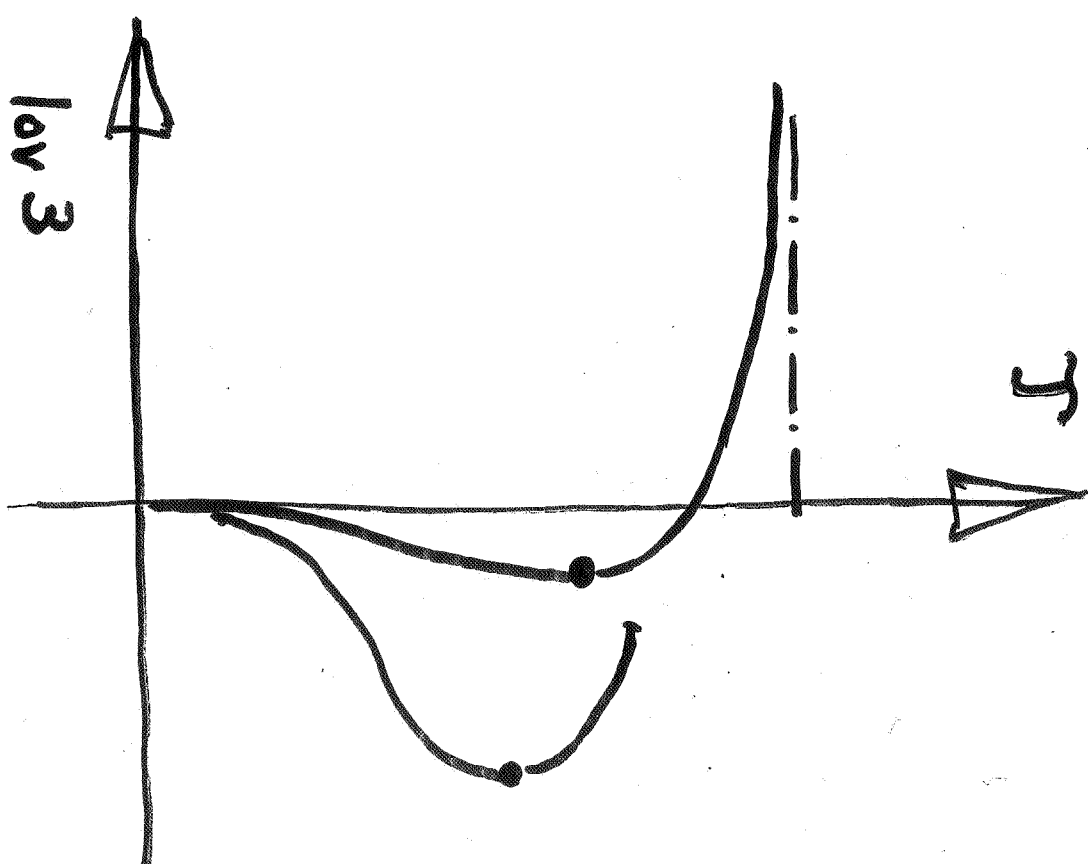
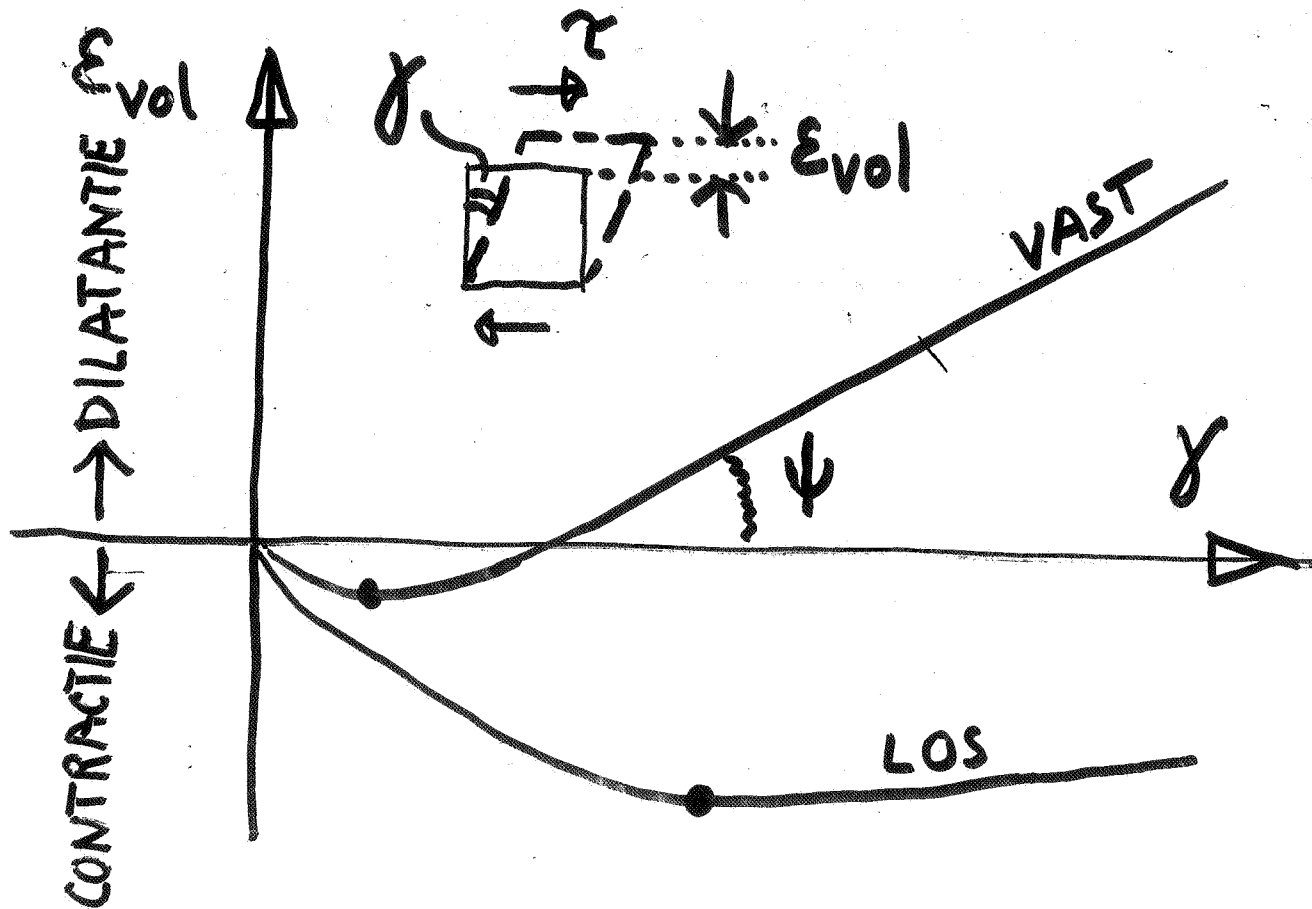
- KEUZE

2003-?

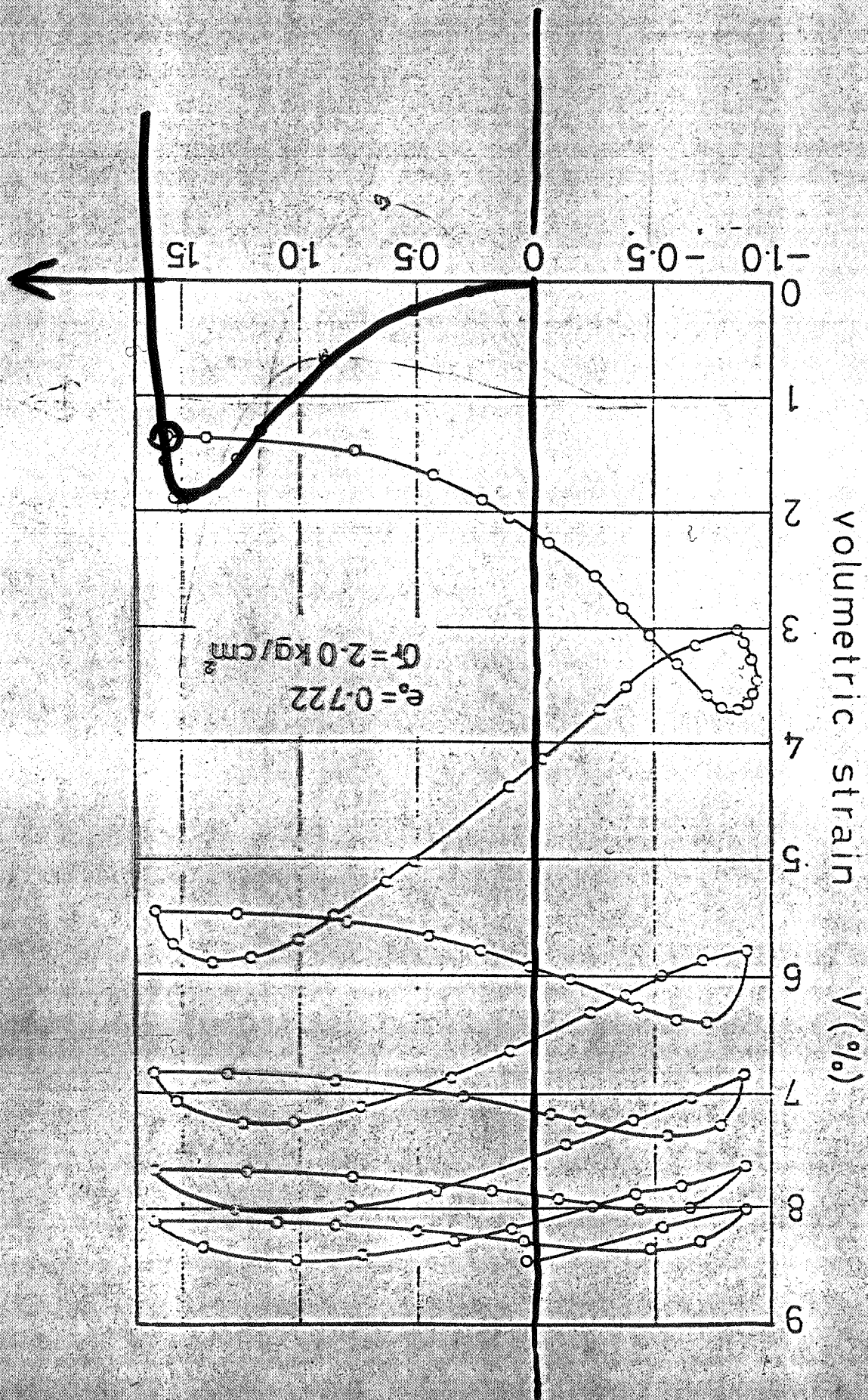
ONDERZOEK

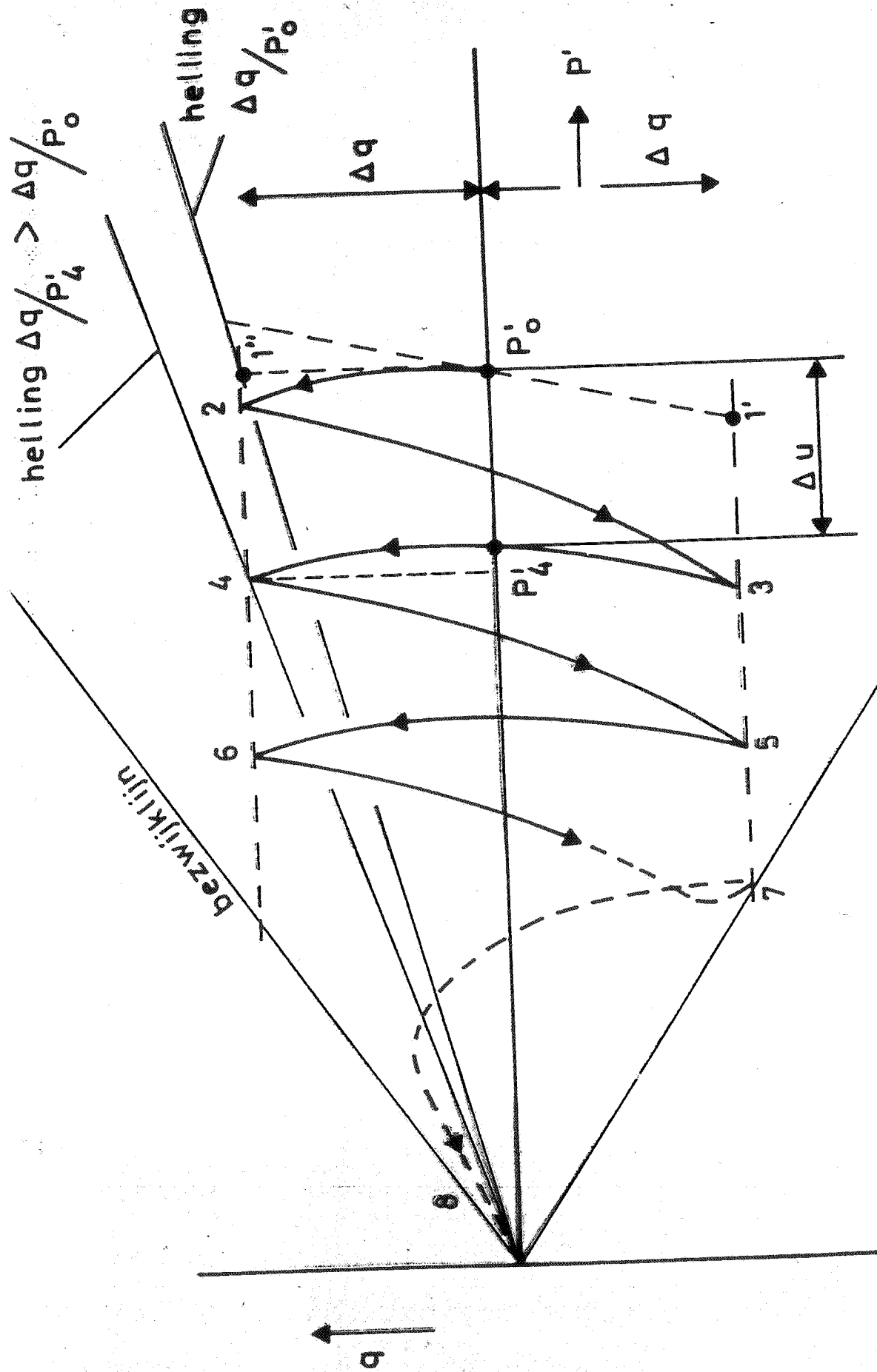
Liquefaction MArine Structures

EU-PROJECT



$$\epsilon_0 - \sigma_3 = \bar{\sigma}$$

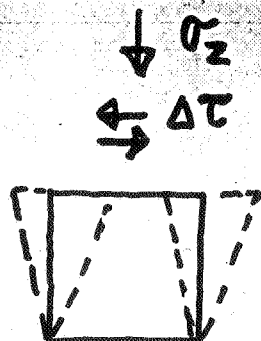




ONGEDRAINEERDE CYCLISCHE PROEF

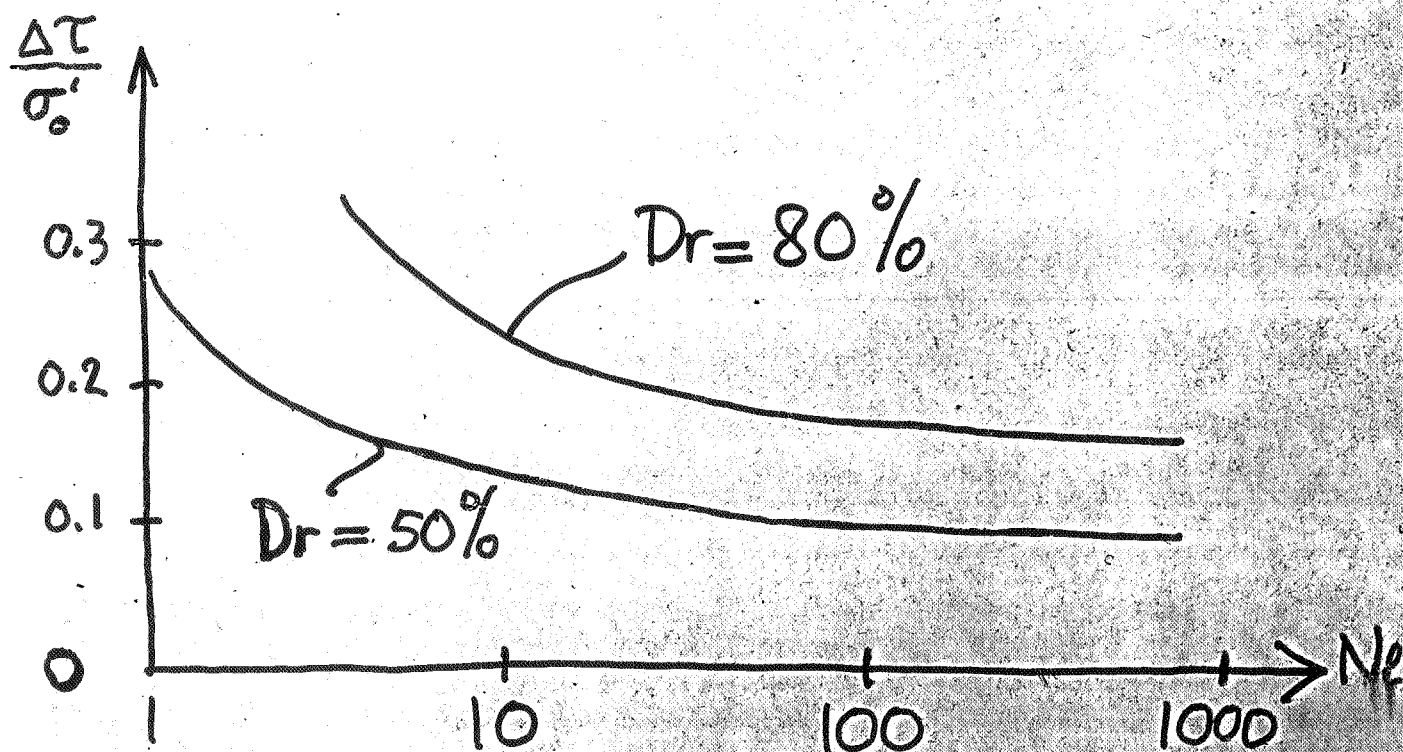
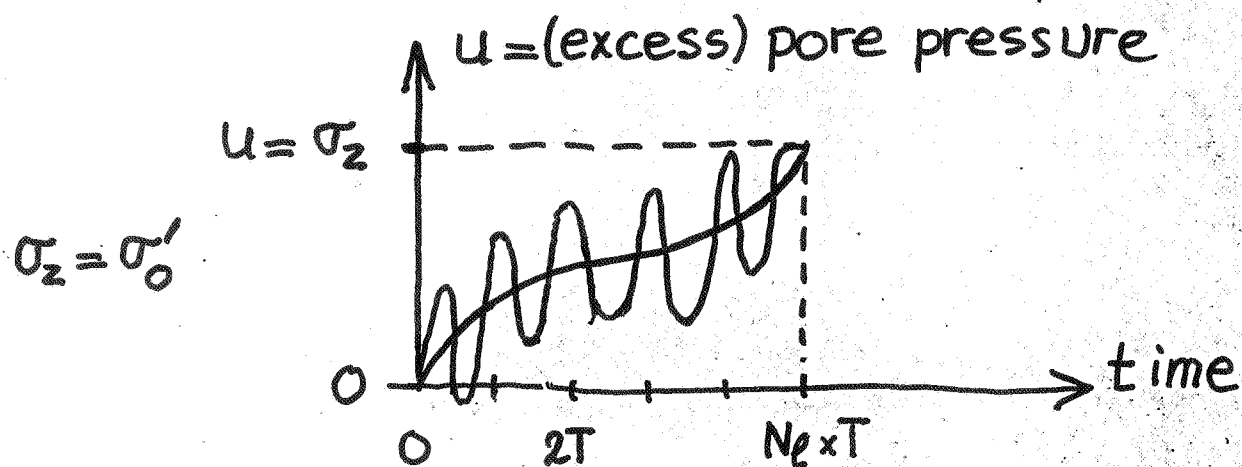
2 CYCLIC LOADING TESTS

2.1 SET-UP AND RESULTS



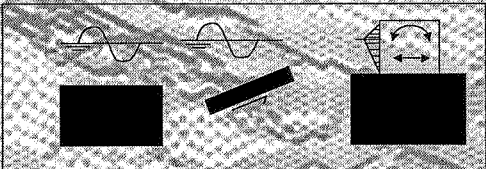
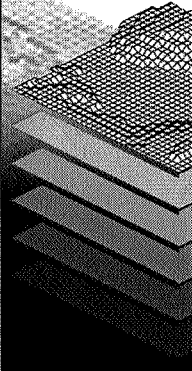
• SIMPLE SHEAR / TRIAXIAL

• UNDRAINED

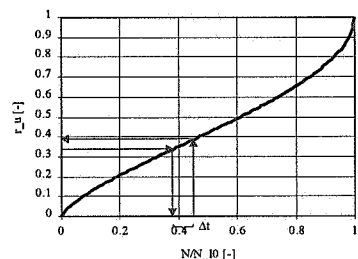


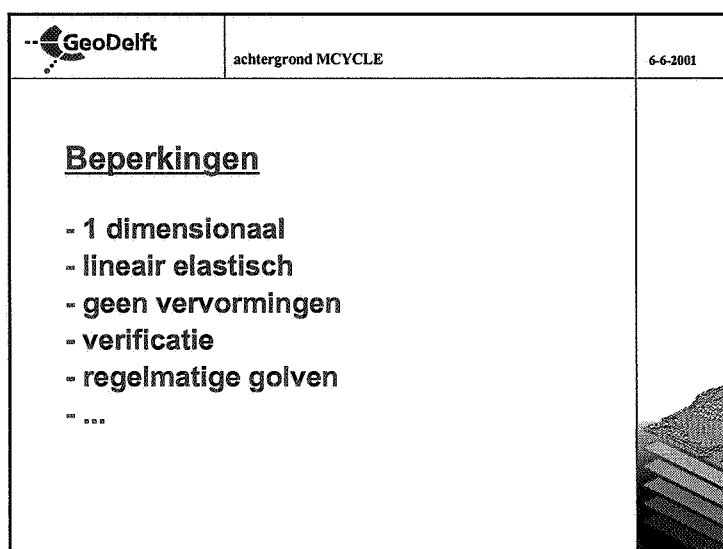
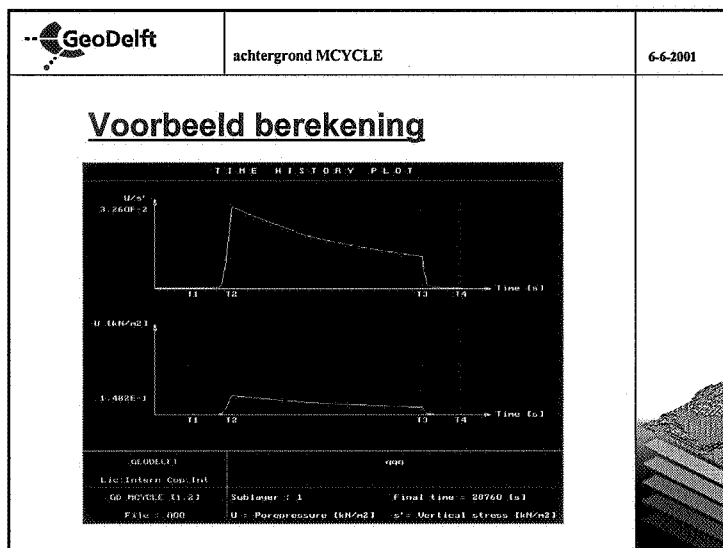
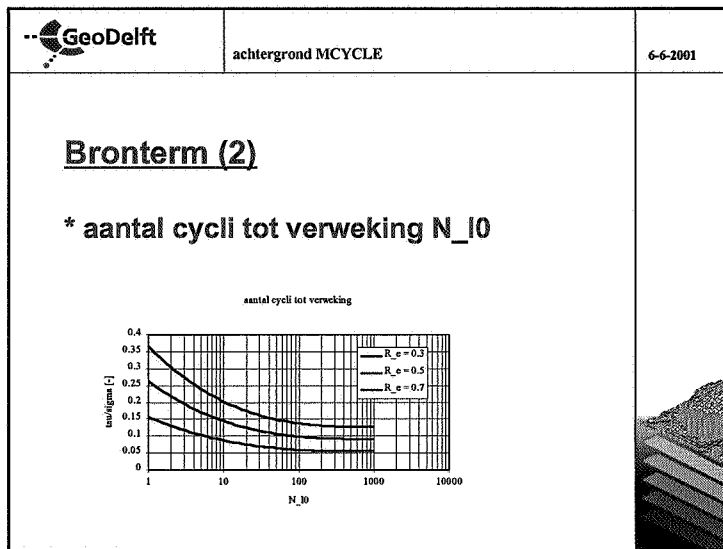
BIJLAGE 3

P. Meijers

	6-6-2001
Achtergrond MCYCLE - ontwikkeld in 1990 - doel: verweking zeebodem door golven - extra's: stabiliteit onderwatertalud verweking onder caisson  	

	achtergrond MCYCLE	6-6-2001
<u>Aanpak</u> - 1-dimensionaal - combinatie van empirische formules - expliciet rekenschema - oplossen consolidatievergelijking $\frac{\partial u}{\partial t} = A(t) + c_v(u) \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$		

	achtergrond MCYCLE	6-6-2001
<u>Bronterm (1)</u> waterspanningsgeneratie 		



Verbeteringen

- verificatie met metingen
- 2D rekenen
- niet homogene grondslag
- extrapolatie naar hoge en lage R_e
- verwerking onregelmatige golven/golfgroepen
- geschiedenis-effect
- multi directional shaking
- ...



BIJLAGE 4

D. van Zanten

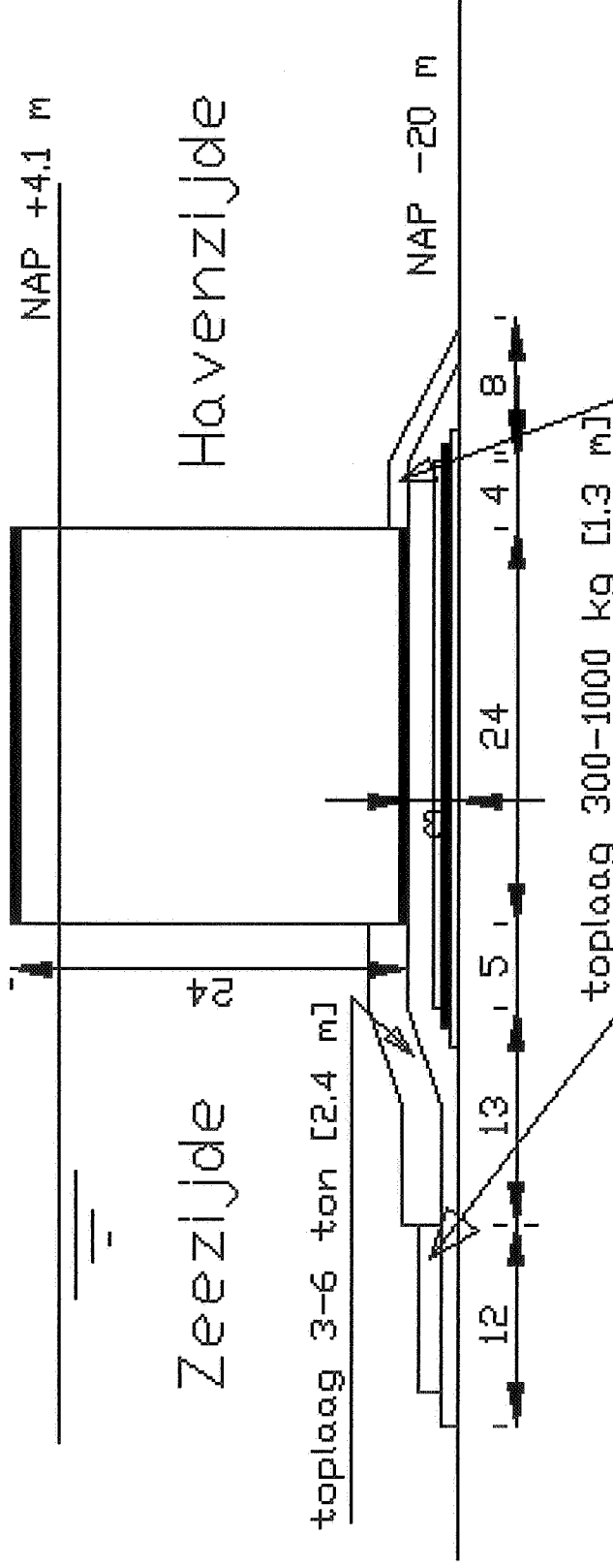


MV2

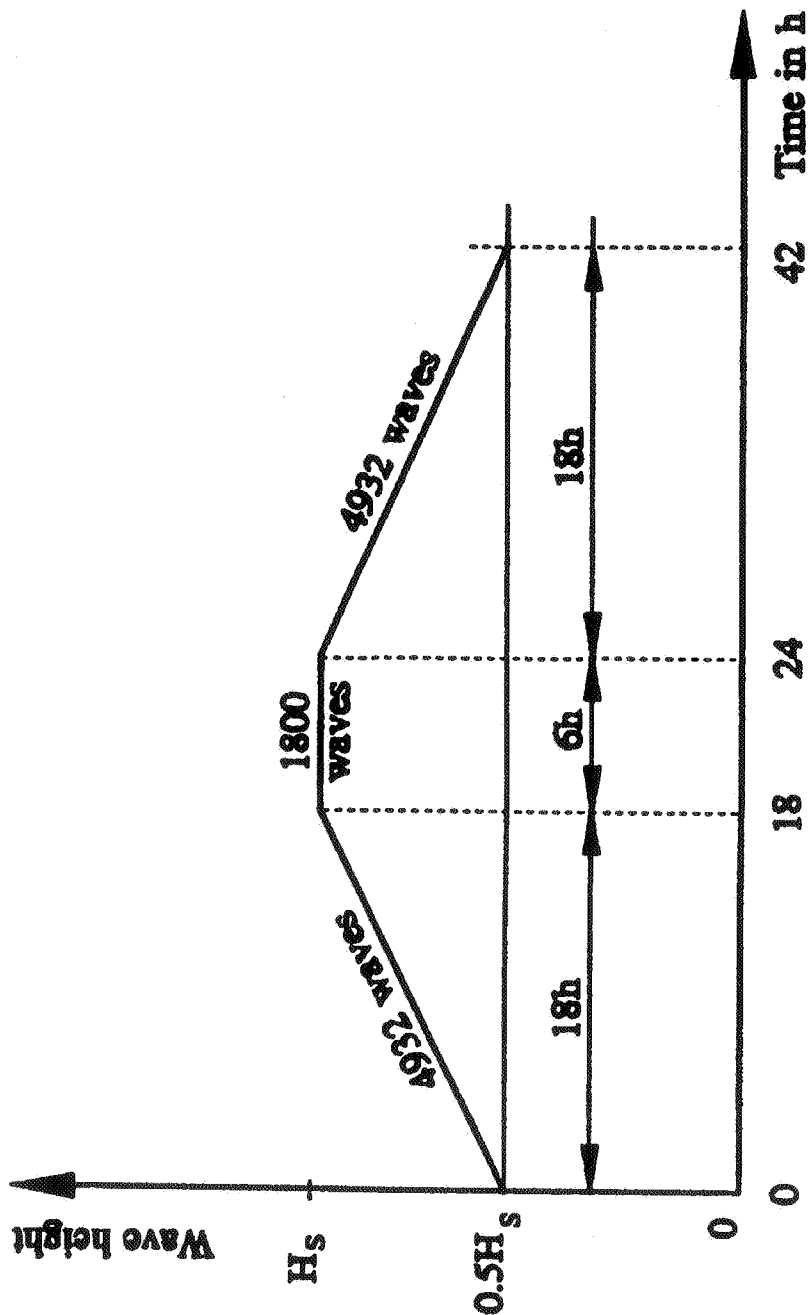
Dianaberekening caisson met
liquefactionmodule



MV2 CAISSON

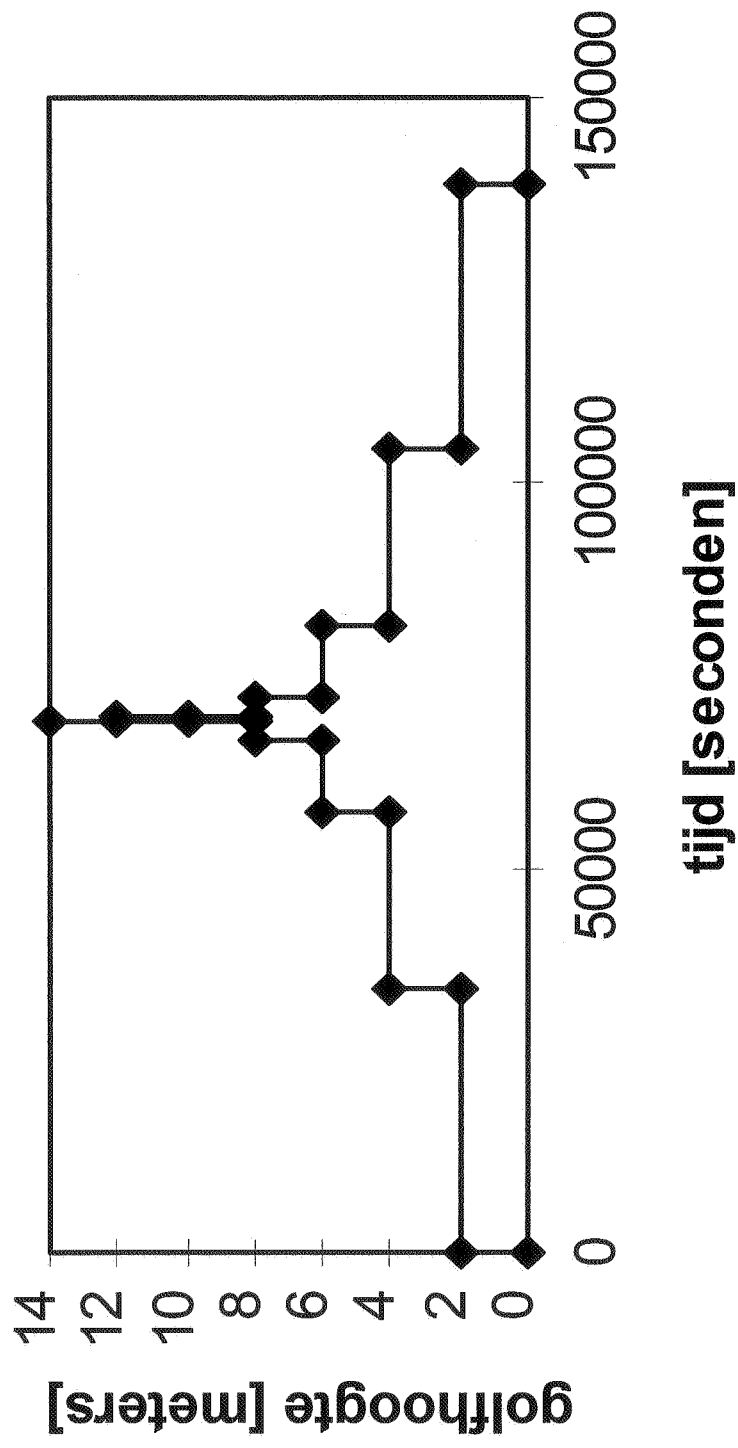


42 UUR DURENDE STORM



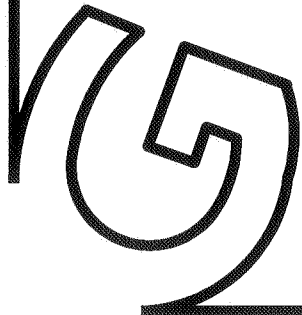


GOLF-TIJD DIAGRAM

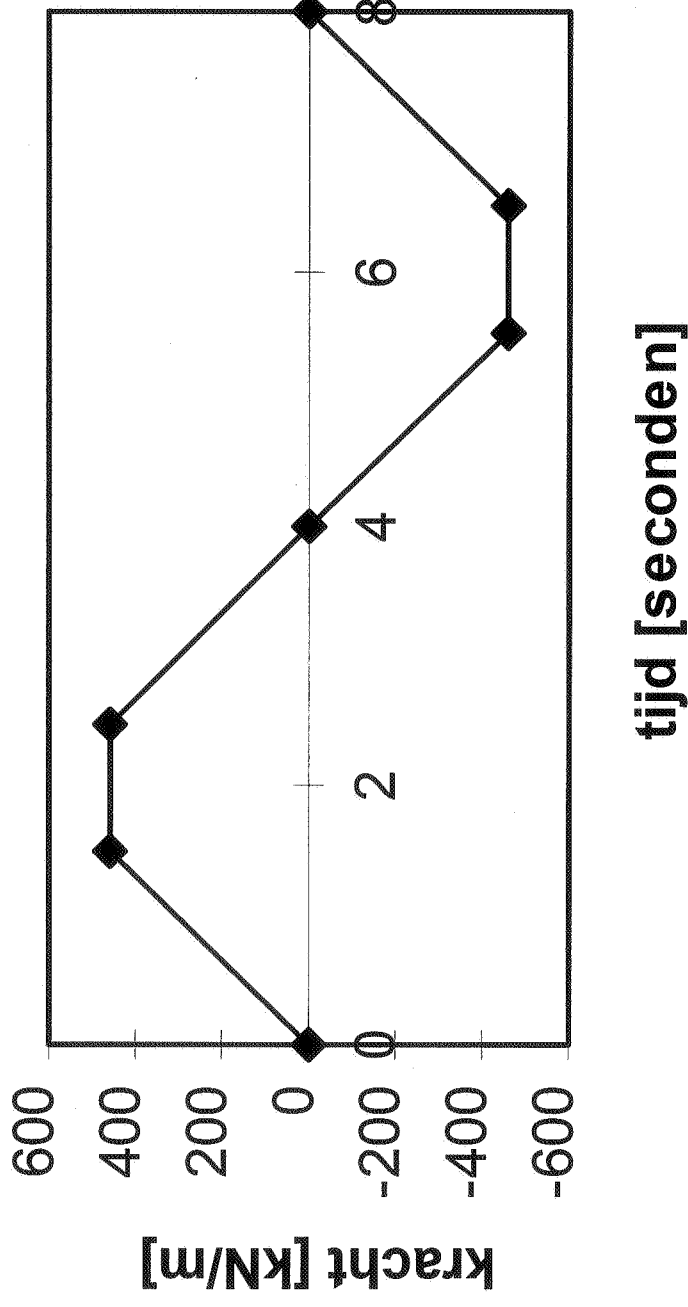


GOLF VAN 6 METER HOOIG

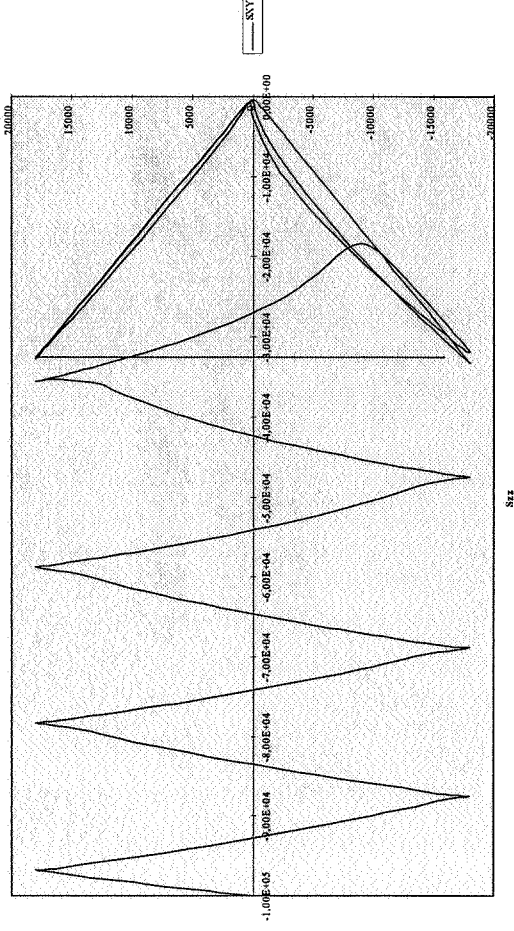
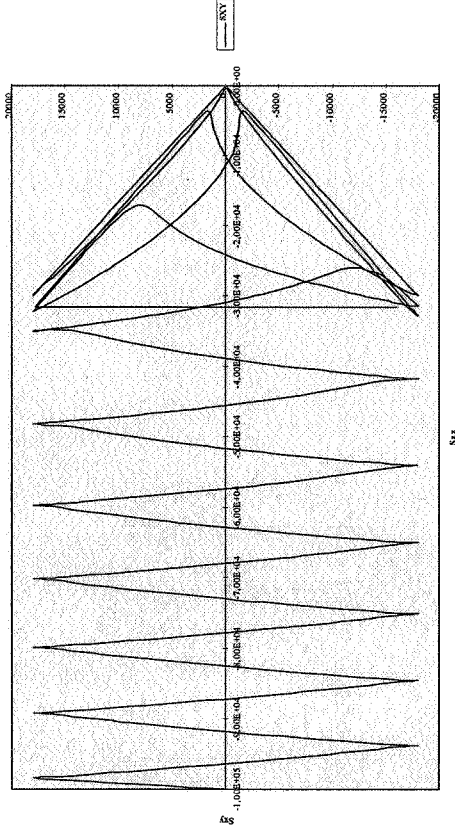
- Golftop = 594 kN
- golfdal = 329 kN
- Middelen --> 462 kN
- Aangrijphoogte = NAP -3 meter
- Periode 8 seconden
- 100 golven (= 13 minuten)



SCHEMATISERING VAN EEN GOLF



Parameterstudie

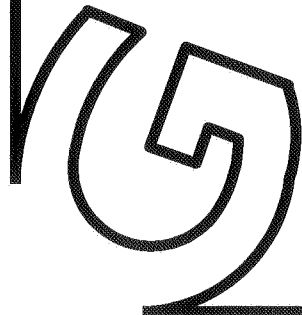


Constante
Bjerrum 10%



GEBRUIKTE GRONDPARAMETERS

- YOUNG 4.4E3 [kN/m²]
- POISON 0.33
- DENSIT 1600 [kg/m³]
- POROSI 0.4
- BULKF 1.E11 [kN/m²]
- K0 0.5 [-]
- KAPSTA 0.003 [-]
- MSTAR 0.003 m²/kN
- PHI 37 [°]
- PHIM 28 [°]
- GOSTAR 3000 [-]
- BETA 100 [-]
- Voor de doorlatendheid van het zand is uitgegaan van 10-4 m/s.



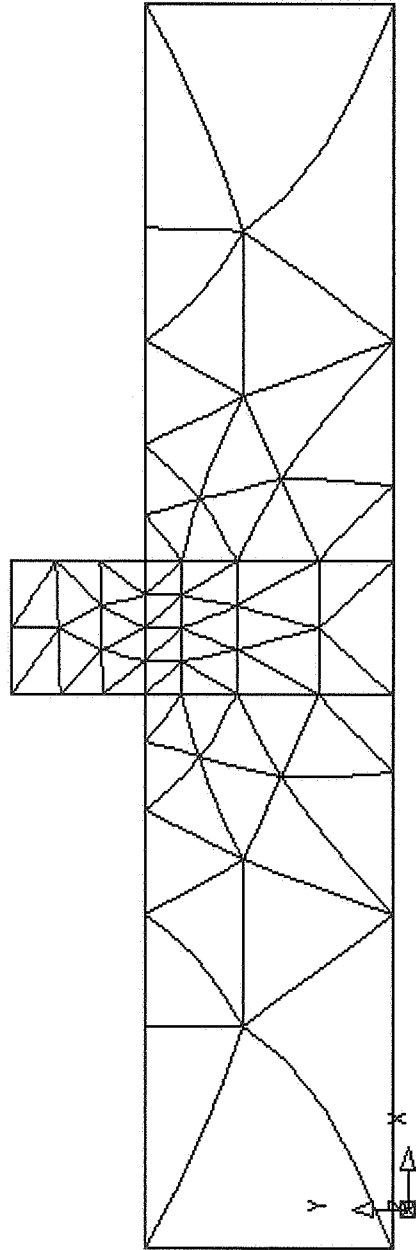
MESH IN DIANA

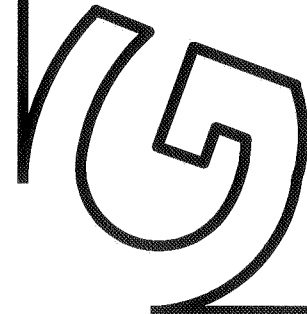
FEMGV 5.2-02.A

Gemeentewerken Rotterdam

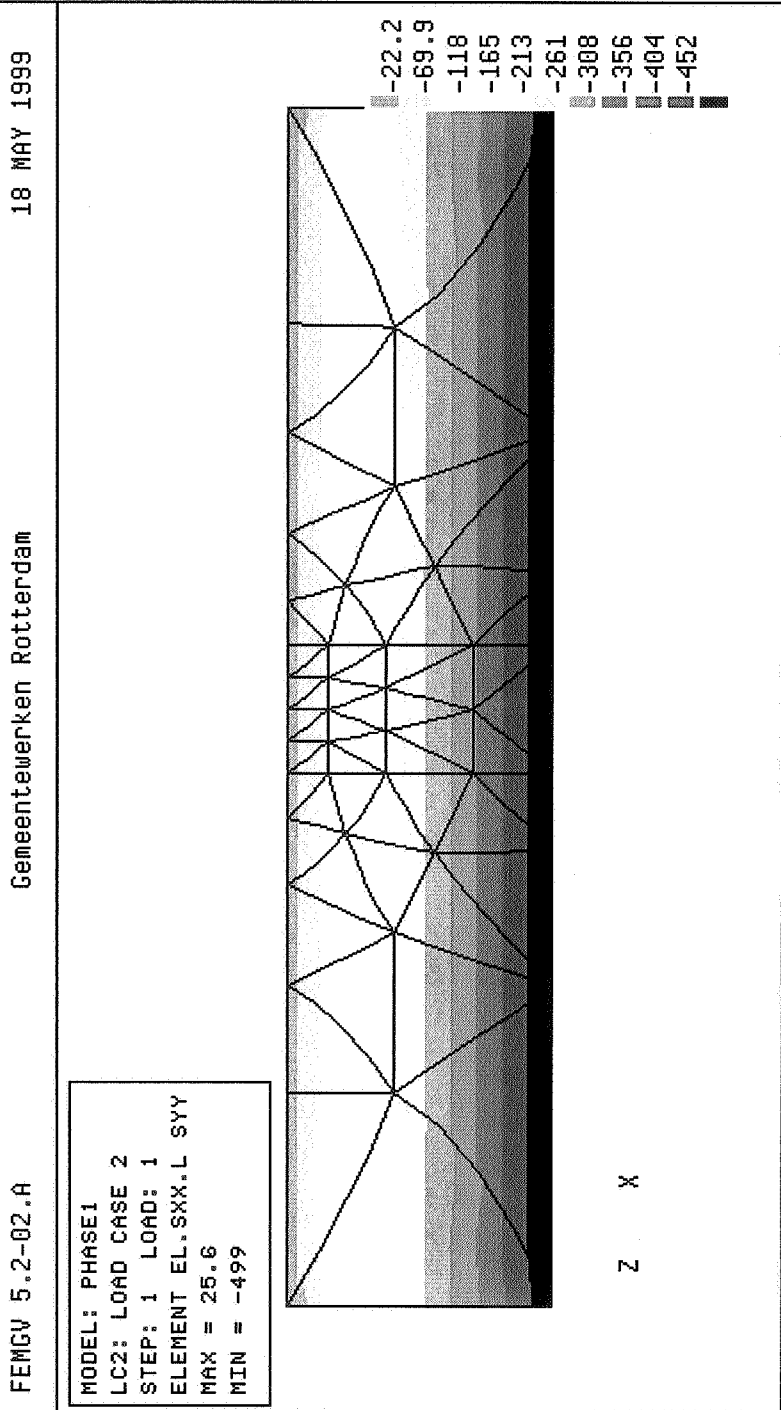
18 MAY 1999

MODEL: FILMPJ



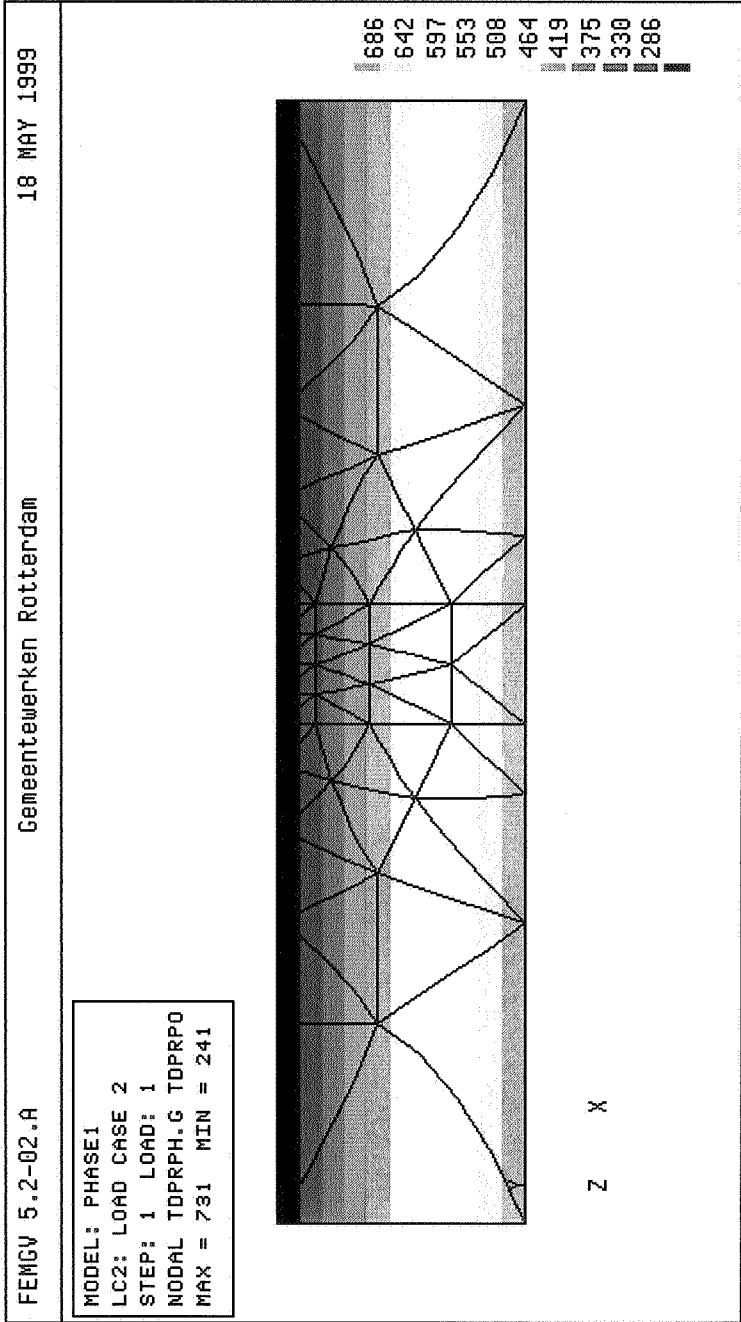


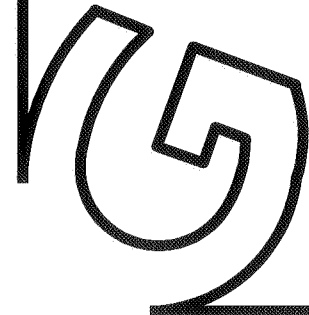
VERT. KORRELSPANNING 1e FASE



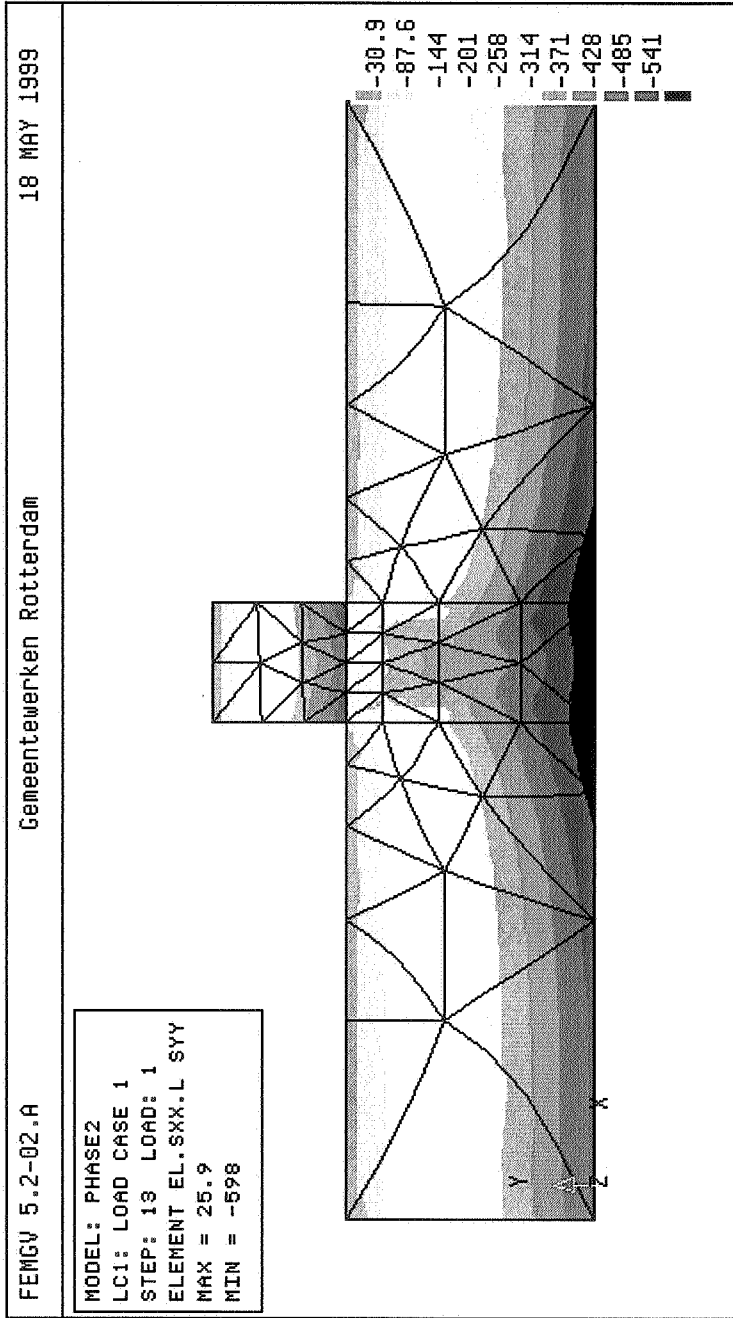


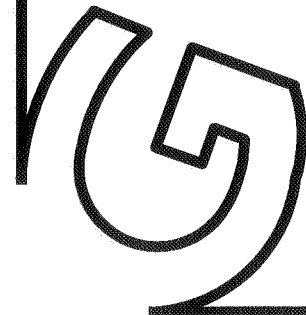
WATERSPANNINGEN



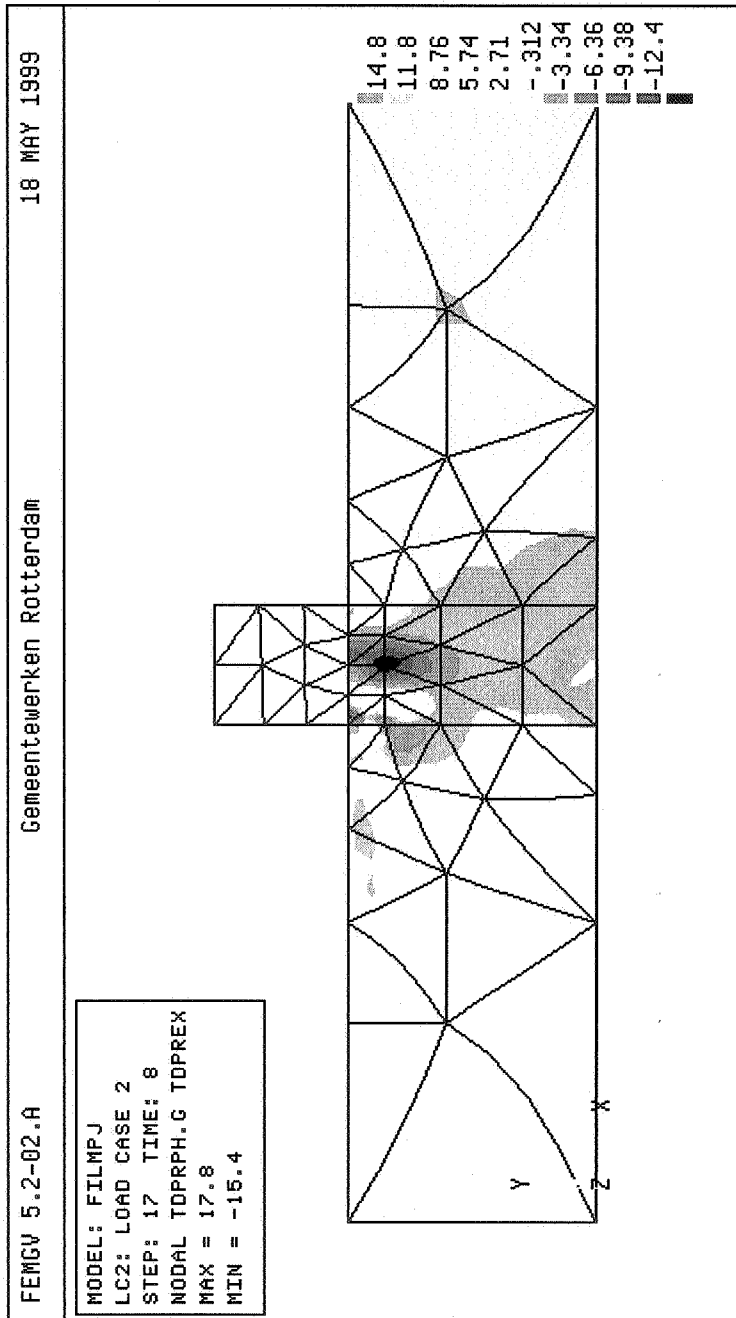


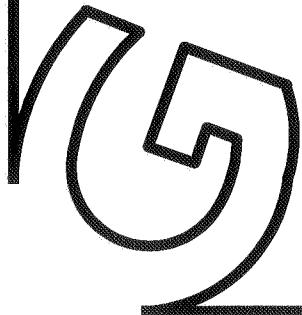
VERT. KORRELSPANNING 2e FASE



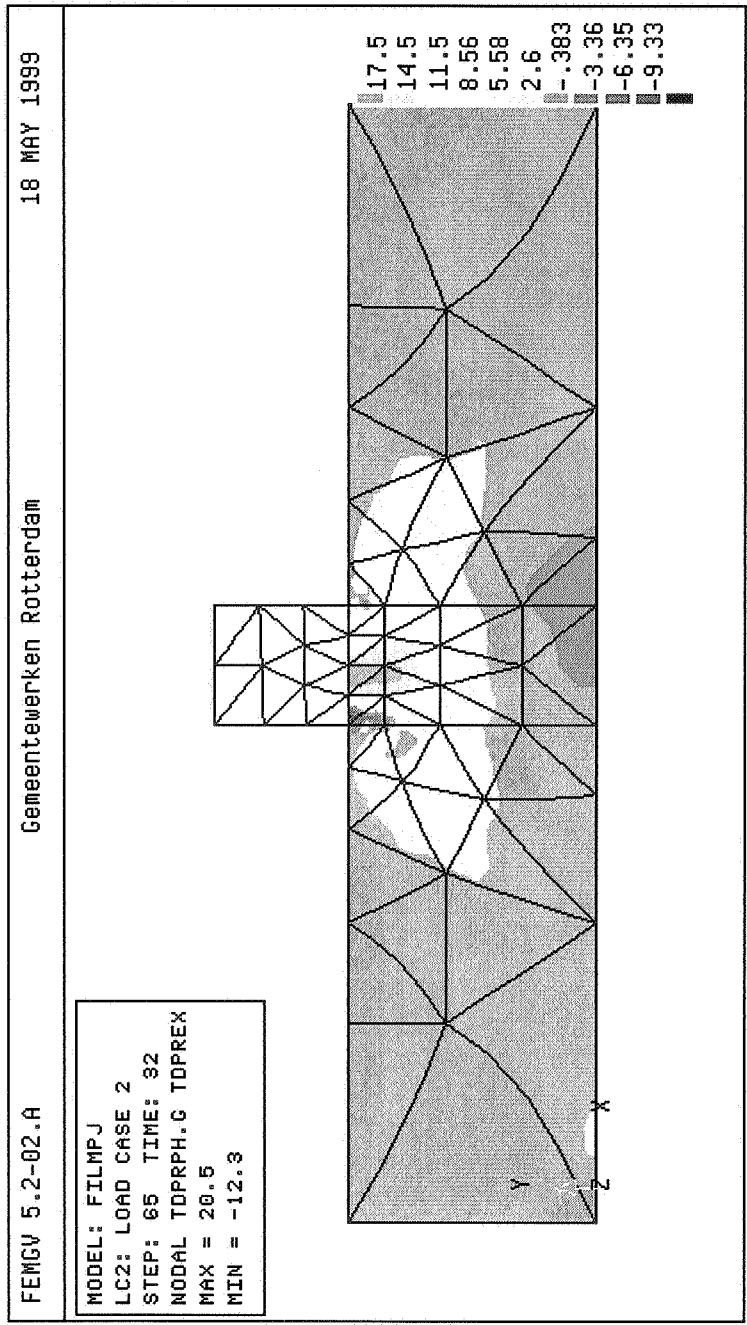


WATEROVERSPANNING NA 1 GOLF

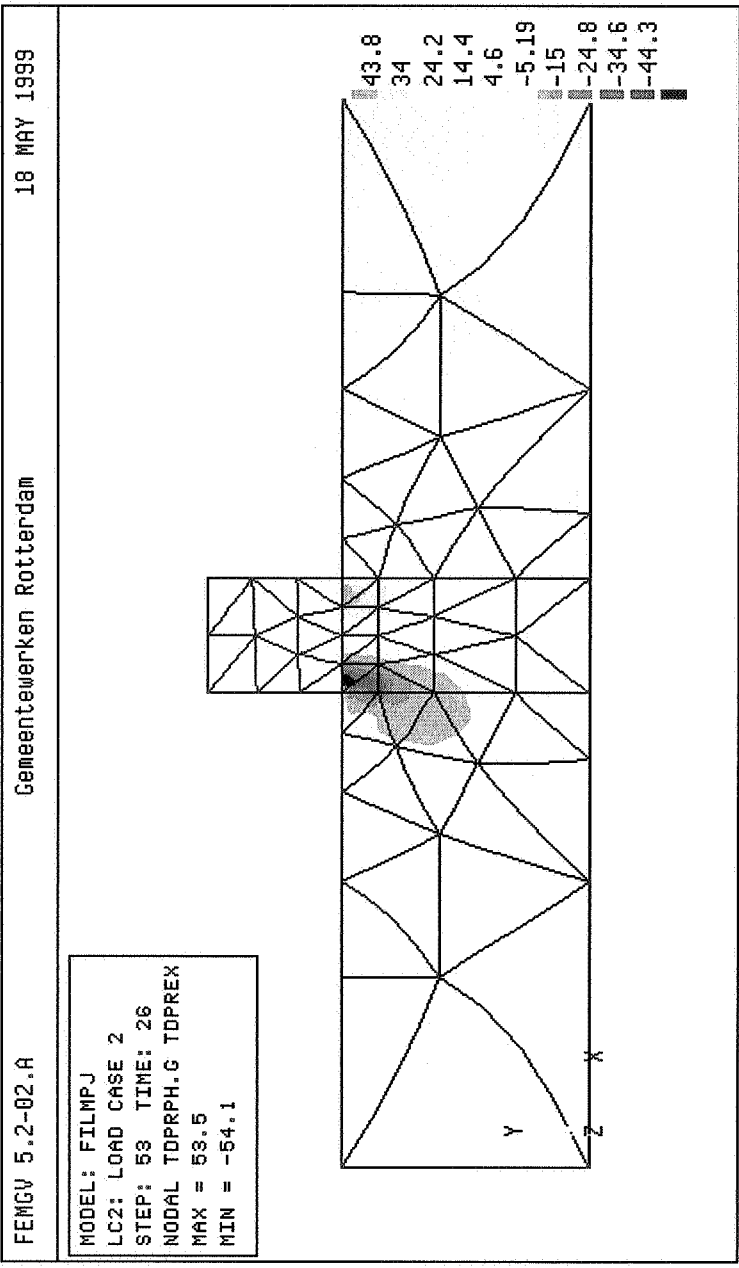




WATEROVERSPANNING NA 4 GOLVEN



WATEROVERSPANNING NA 3.25 GOLVEN



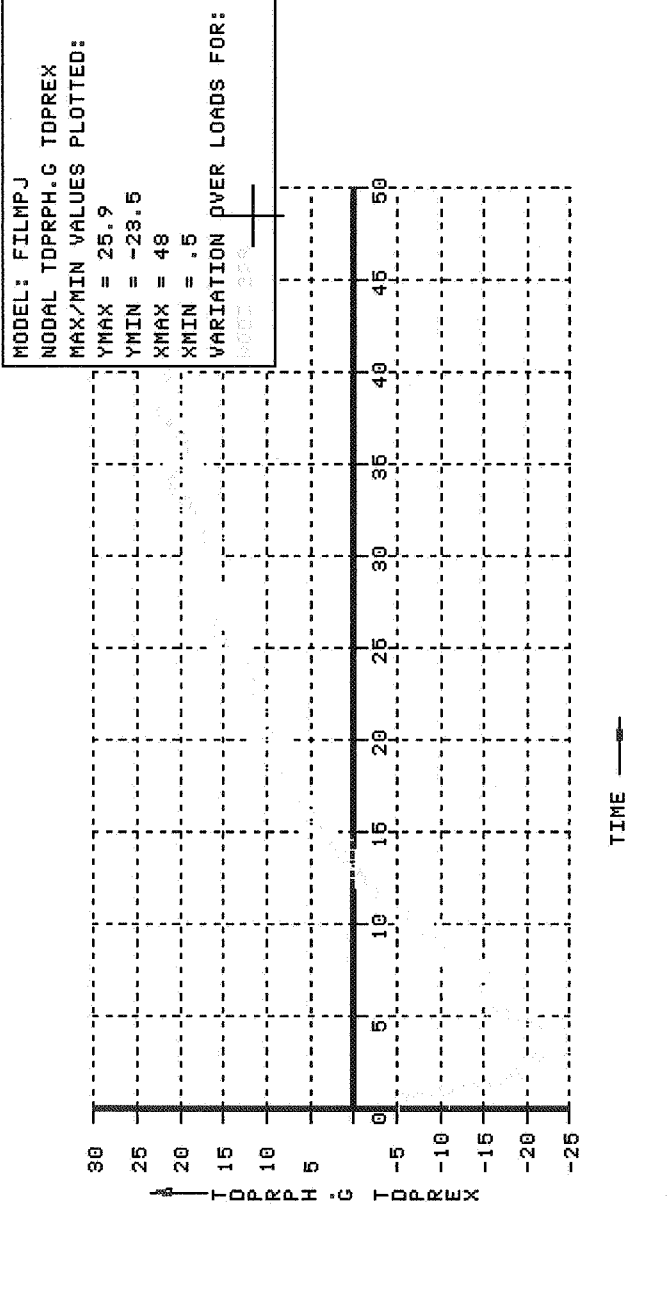


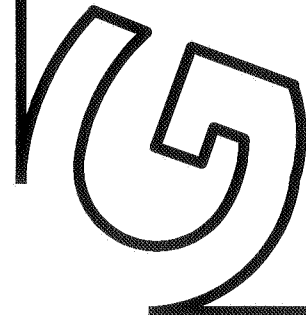
WATEROVERSPANNING MIDDEN ONDER CAISSON

FEMGV 5.2-02.A

Gemeentewerken Rotterdam

18 MAY 1999





Gemeente werken
ROTTERDAM

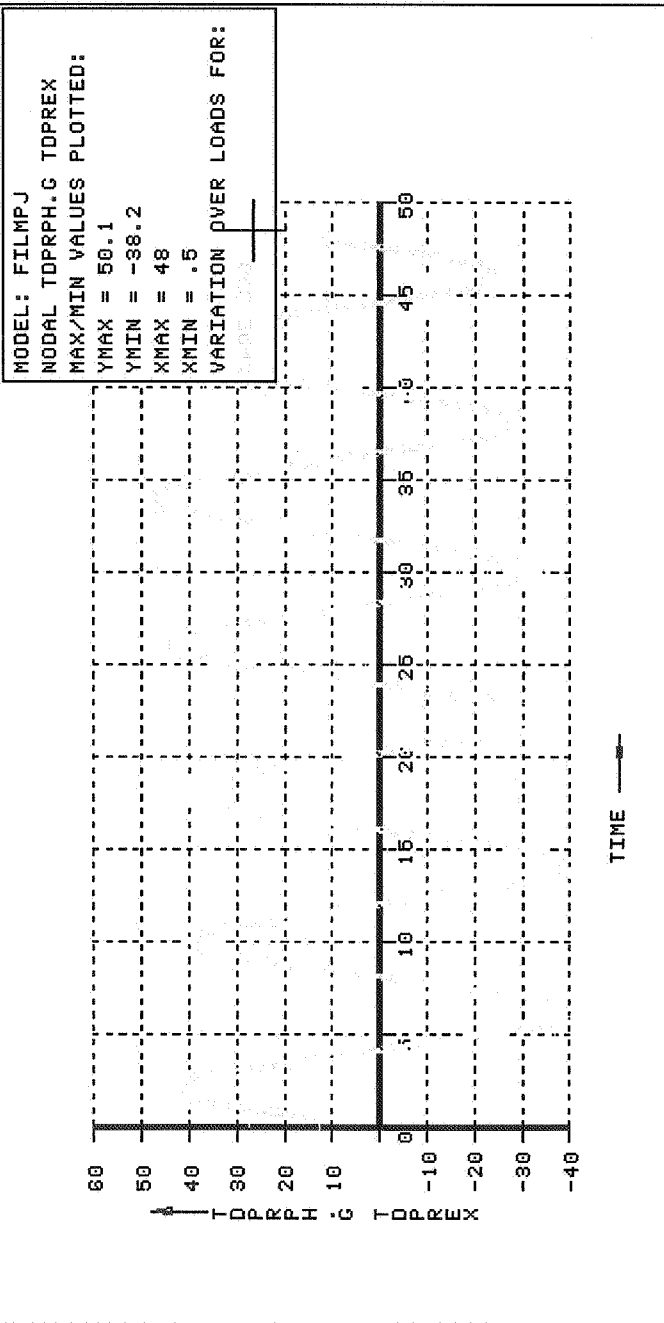
Ingenieursbureau

WATEROVERSPANNING 'UITEINDE CAISSON'

FEMGV 5.2-02.A

Gemeentewerken Rotterdam

18 MAY 1999





VERPLAATSINGEN

FEMGV 5.2-02.A	Gemeentewerken Rotterdam	18 MAY 1999
MODEL: FILMPJ LC2: LOAD CASE 2 STEP: 32 TIME: 15.5 NODAL TDTX...G RESTDT MAX = .515E-1 MIN = 0 FACTOR = 257 Y Z X .343E-1 .172E-1		

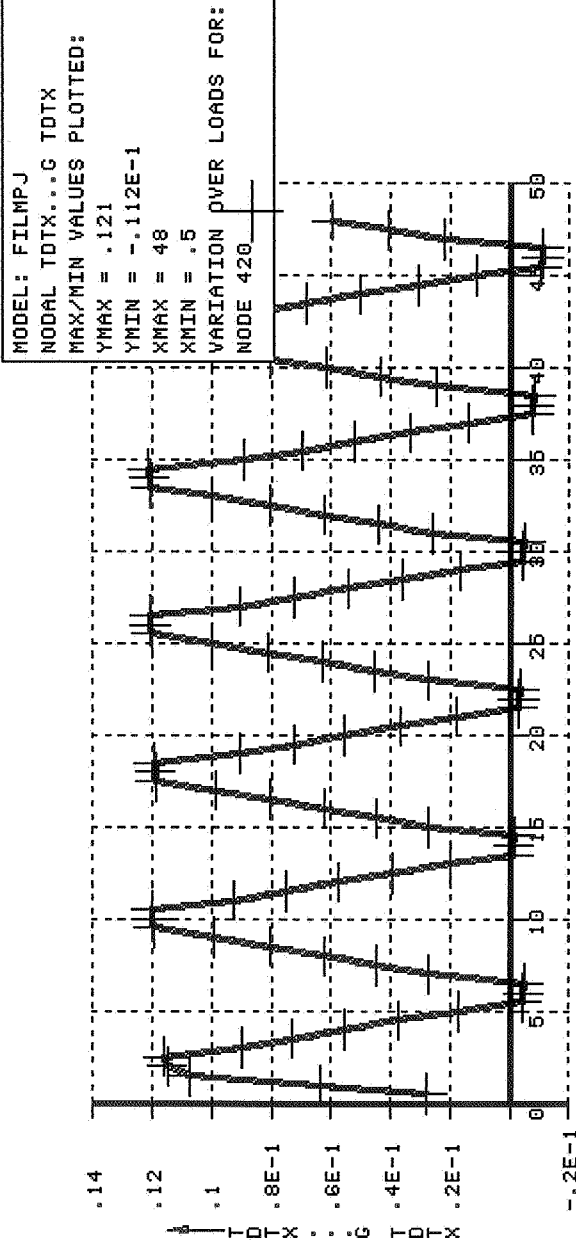


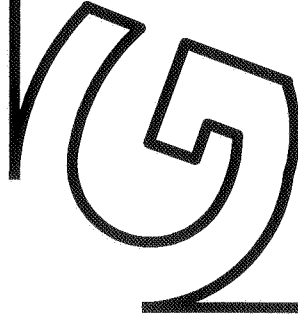
HORIZONTALE VERPLAATSING HOEKPUNT CAISSON

FEMCV 5.2-02.A

Gemeentewerken Rotterdam

18 MAY 1999



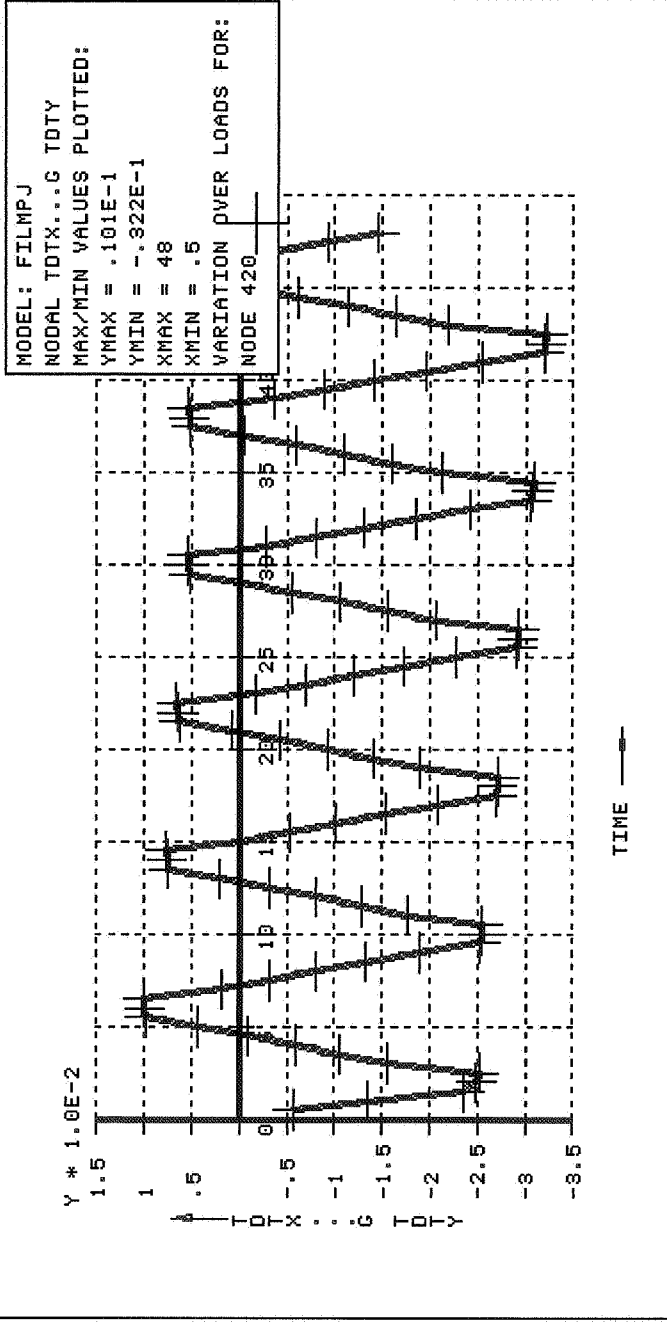


VERTICALE VERPLAATSING HOEKPUNT

FEMGV 5.2-02.A

Gemeentewerken Rotterdam

18 MAY 1999

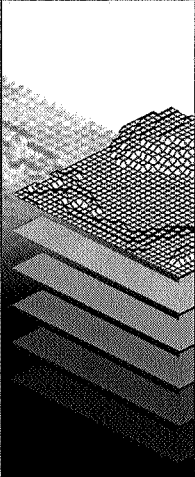


VOORLOPIGE CONCLUSIE:

- DIANA TNO-JIP geeft inzicht in de generatie van wateroverspanningen en vervormingen;
- De rekentijd is een beperkende factor;
- Voortijdige onderbreking door numerieke instabiliteit;
- In een vervolgfase zal de nodige aandacht voor zowel de verwekingsmodule zelf (theorie) als de hiervoor vereiste input(parameters) noodzakelijk zijn.

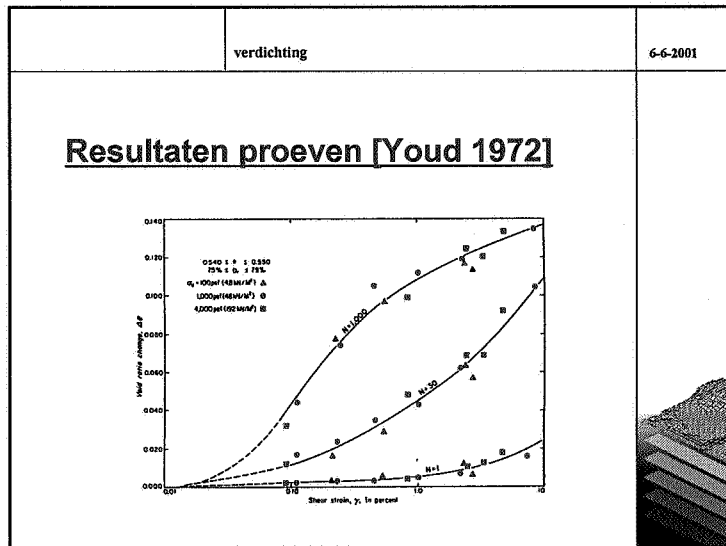
BIJLAGE 5

P. Lubking

	6-6-2001
 VERDICHTING - voorbeelden - trekken damwand - machinefundatie - aardbeving - verkeer (zakking spoor of wegdek) - cyclisch belaste palen ...	

	verdichting	6-6-2001
<u>Modellen</u> Geen 'kant-en-klaar' model * empirisch (Ishihara, Stamatopoulos, Drabkin) * theoretisch (Chang, Przwelochi, Dobry) * in-house MCYCLE (via afstroming) MVERDI (rollers) R. Hergarden (trekken damwand)		

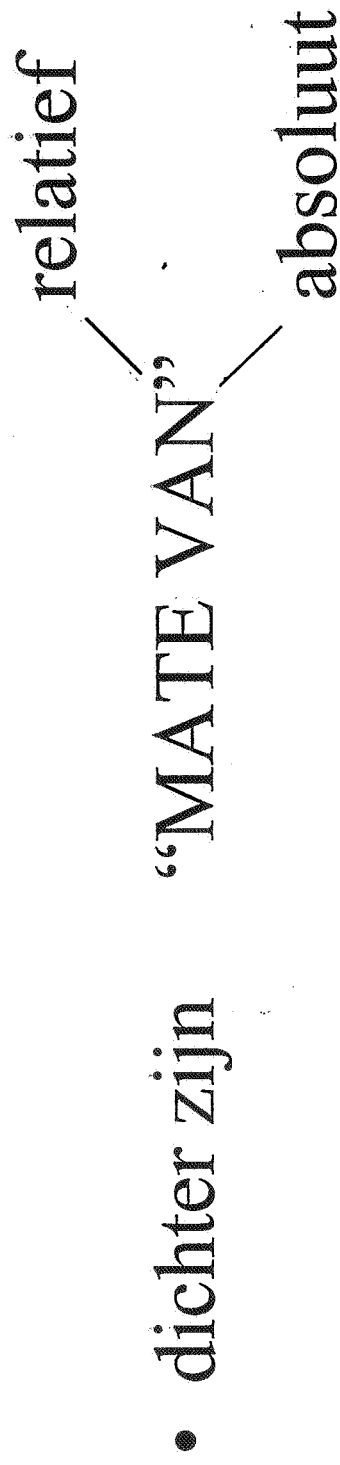
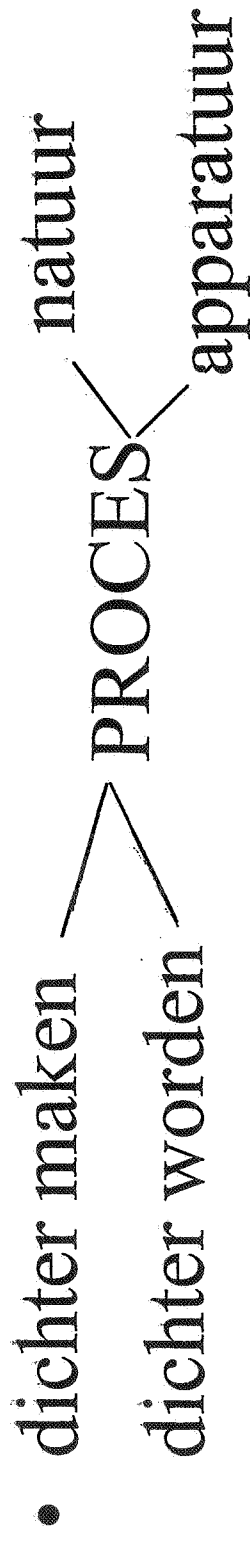
	verdichting	6-6-2001
<u>Parameters</u> - aantal wisselingen - (relatieve) dichtheid - schuifrekamplitude (schuifspanningsamplitude) - versnelling - frequentie - (fictieve) cohesie - korrelverdeling/hoekigheid - afstroming (geschiedenis effect) - ...		



- | | | |
|--|-------------|----------|
| | verdichting | 6-6-2001 |
|--|-------------|----------|
-
- ### Beperkingen
- grote onzekerheidsmarge
 - sterk empirisch
 - beperkt aantal cycli => extrapolatie
 - hoe onregelmatige belasting meenemen?
 - combinatie met verweking?
 -

- | | | |
|--|-------------|----------|
| | verdichting | 6-6-2001 |
|--|-------------|----------|
-
- ### Verbeteringen
- meer inzicht nodig
 - extrapolatie naar hoge N
 - invloed versnelling
 - combinatie verweking en verdichting
 -

Woord “Verdichting”



- verzinzel, fabel

VerdichtingsPROCES:

- realisatie van herschikking van deeltjes door toevoeging energie
- analoog met samendrukingsproces:
logaritmisch of hyperbolisch
- meer energie nodig:
bij meer-gegradeerd materiaal
bij hoekiger materiaal
bij aanwezigheid cohesie
op grotere diepte

MATE VAN verdichting

uitgedrukt in:

- (specifieke) zakking

- verdichtingsgraad $\frac{\rho_{dr}}{\rho_{drmax}}$

- relatieve dichtheid R_e of R_n

I_D of D_r

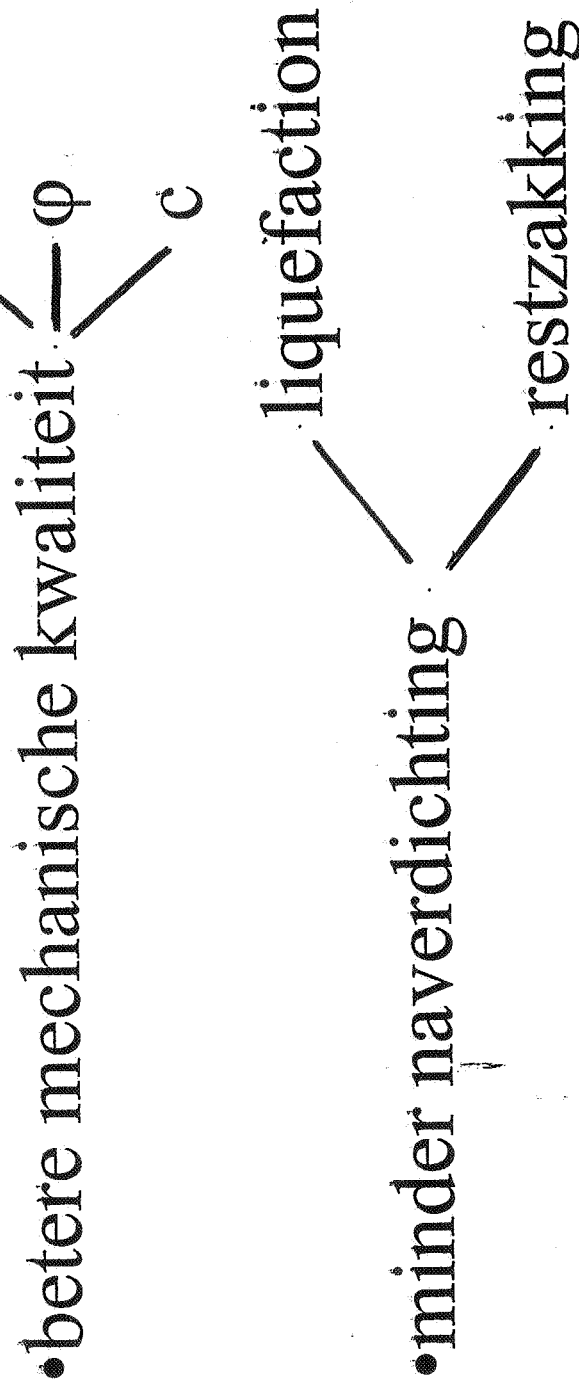
Toegepaste Processen

- (aan)lempen), inwateren
- drukken, kneden
- stamp(en), schok(ken)
- trillen

e.e.a. afhankelijk van:

- grondsoort
- vocht: vochtgehalte en weer
- randvoorwaarden (klankbodem, zijdelingse opsluiting

Waarom verdichting?



Verdichting in GWW

- oppervlakte:
 - drukken, kneden
 - impact
 - trillen
- diepte:
 - impact
 - verdringen
 - trillen

Verdichtingsapparatuur

- oppervlakte:
 - trilwalsen en -platen
 - (banden)walsen
 - dynamic consolidation
- diepte:
 - rüttelen
 - vibroflotation
 - vibrocompaction
 - explosie
 - seepage consolidation

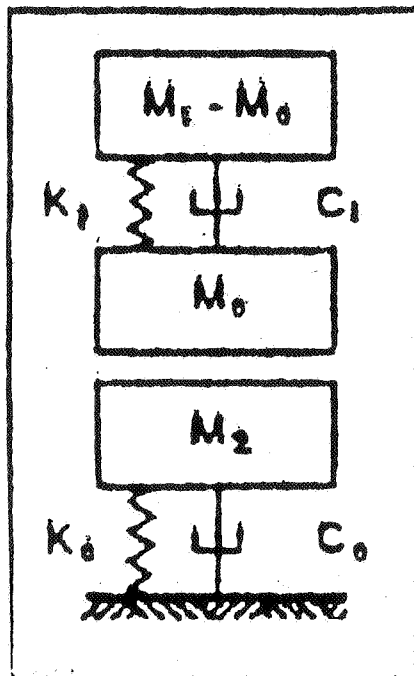
Trilwals

•walsparameters

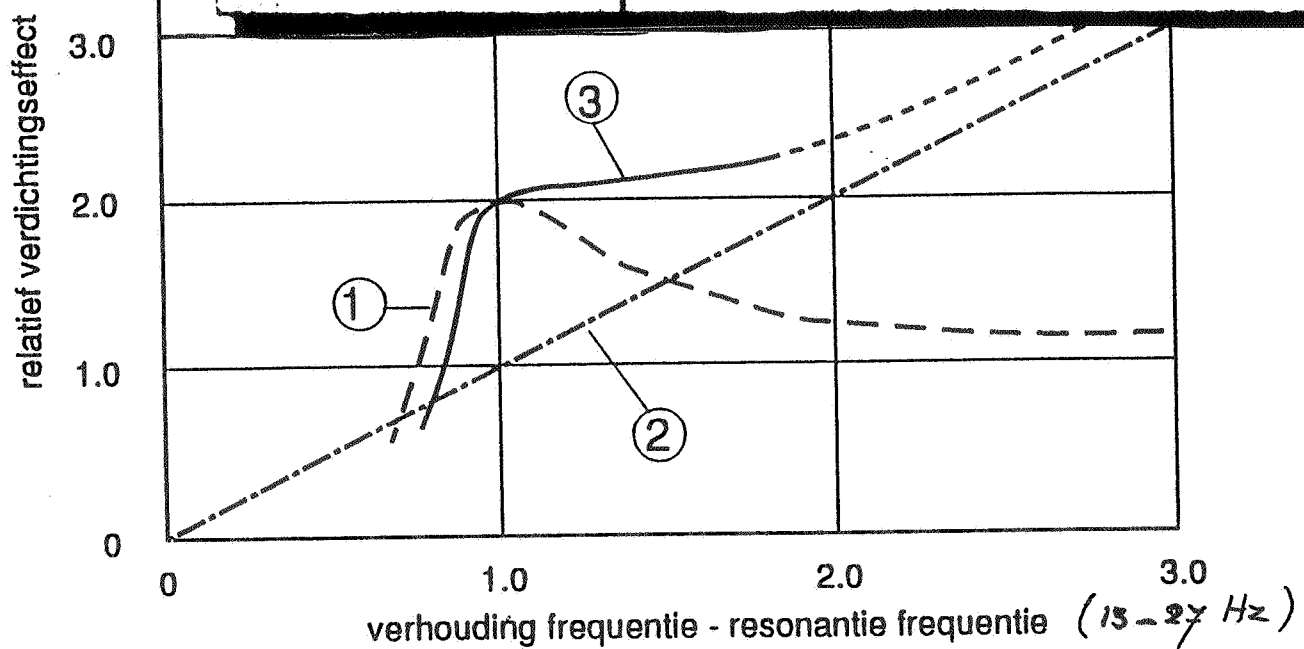
- zwaarte
- frequentie, amplitude
- centrifugaal-, slagkracht

•walsinzet

- snelheid
- laagdikte
- aantal overgangen



M_1	totale massa trilwals
$M_1 - M_0$	afgeveerde massa
M_0	massa trillende rol
K_1	veerconstante trilwals
C_1	dempingsconstante trilwals
M_2	meettrillende grondmassa
K_0	veerconstante ondergrond
C_0	dempingsconstante ondergrond



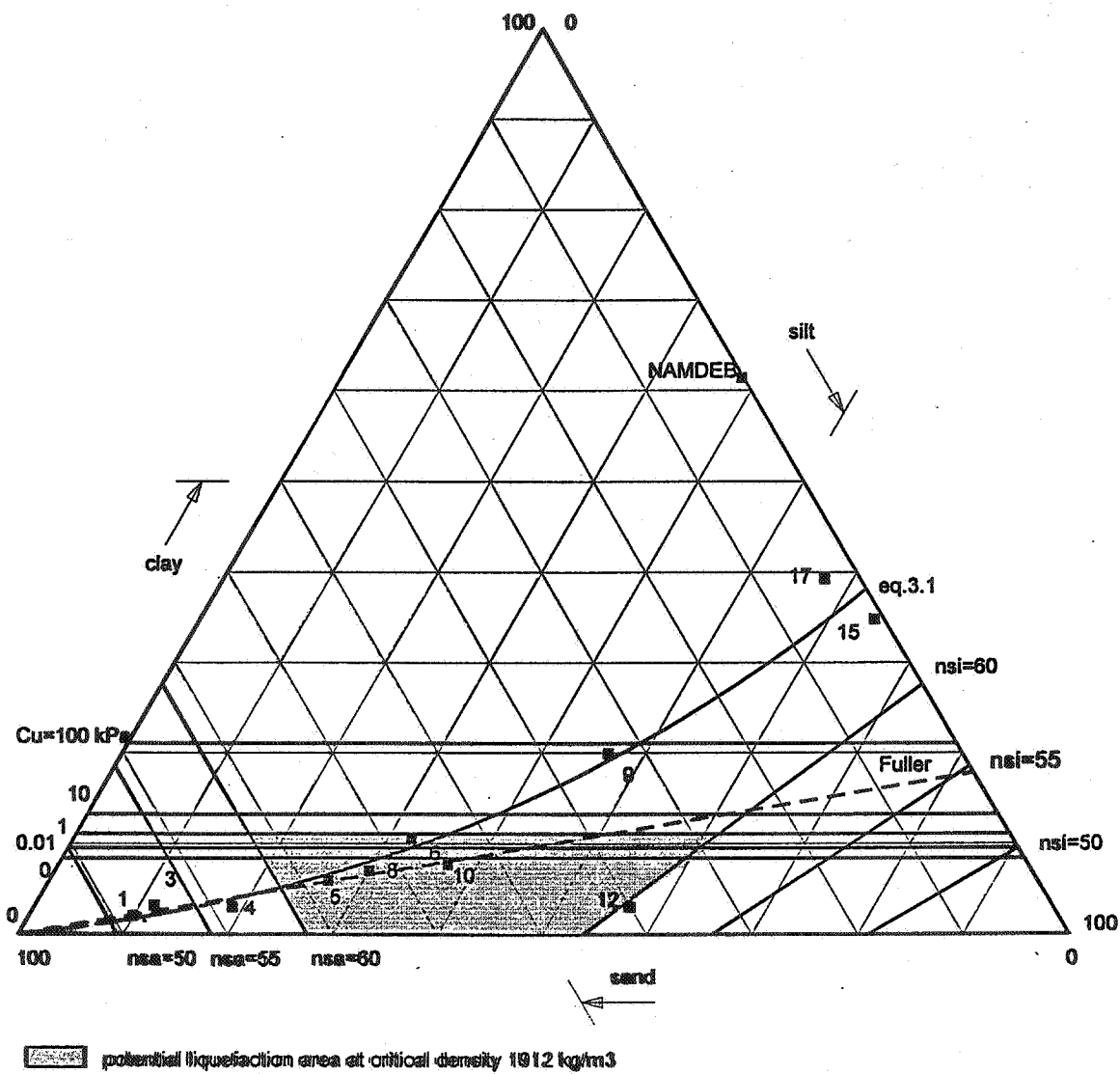
- ① invloed systeem resonantie trilwals - grond
- ② invloedtoenemende trillingsintensiteit bij toenemende frequentie
- ③ uit 1 en 2 resulterend verdichtingseffect

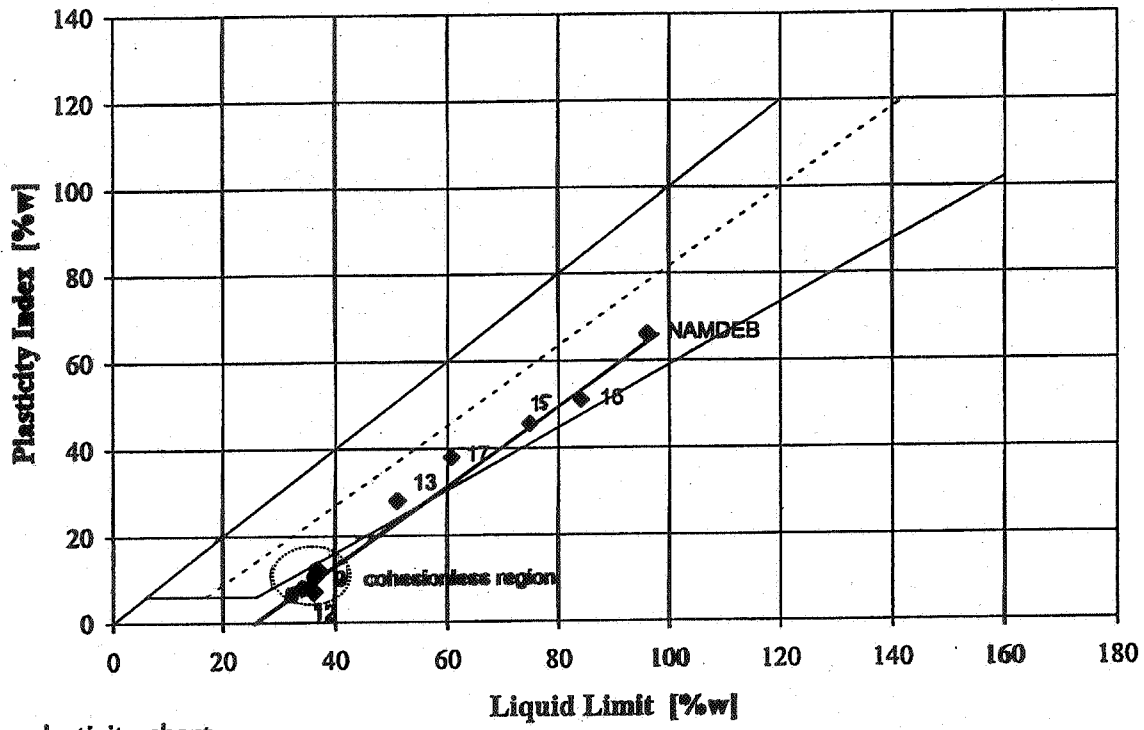
Verdichtings VOORSPELLING

- traditionele tabellen
(ingang: grondsoort, materiaal)
- moderne tabellen (SETRA-LCPC)
(ingang: grondclassificatie, materieel parameters, vochttoestand)
- computermodellen (M-VERDI, e.d.)
gebaseerd op tweemassaveersysteem
- continue-verdichtingscontrole

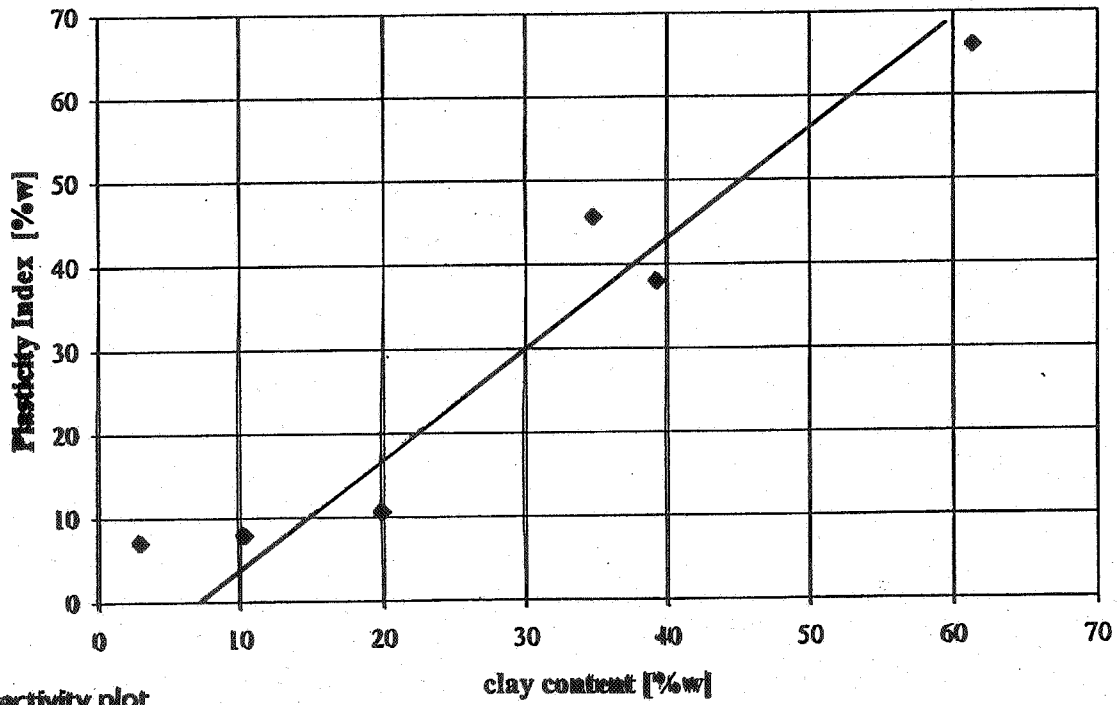
volgens BOMAG, DYNAPAC, HAMM

BIJLAGE 6
W. van Kesteren

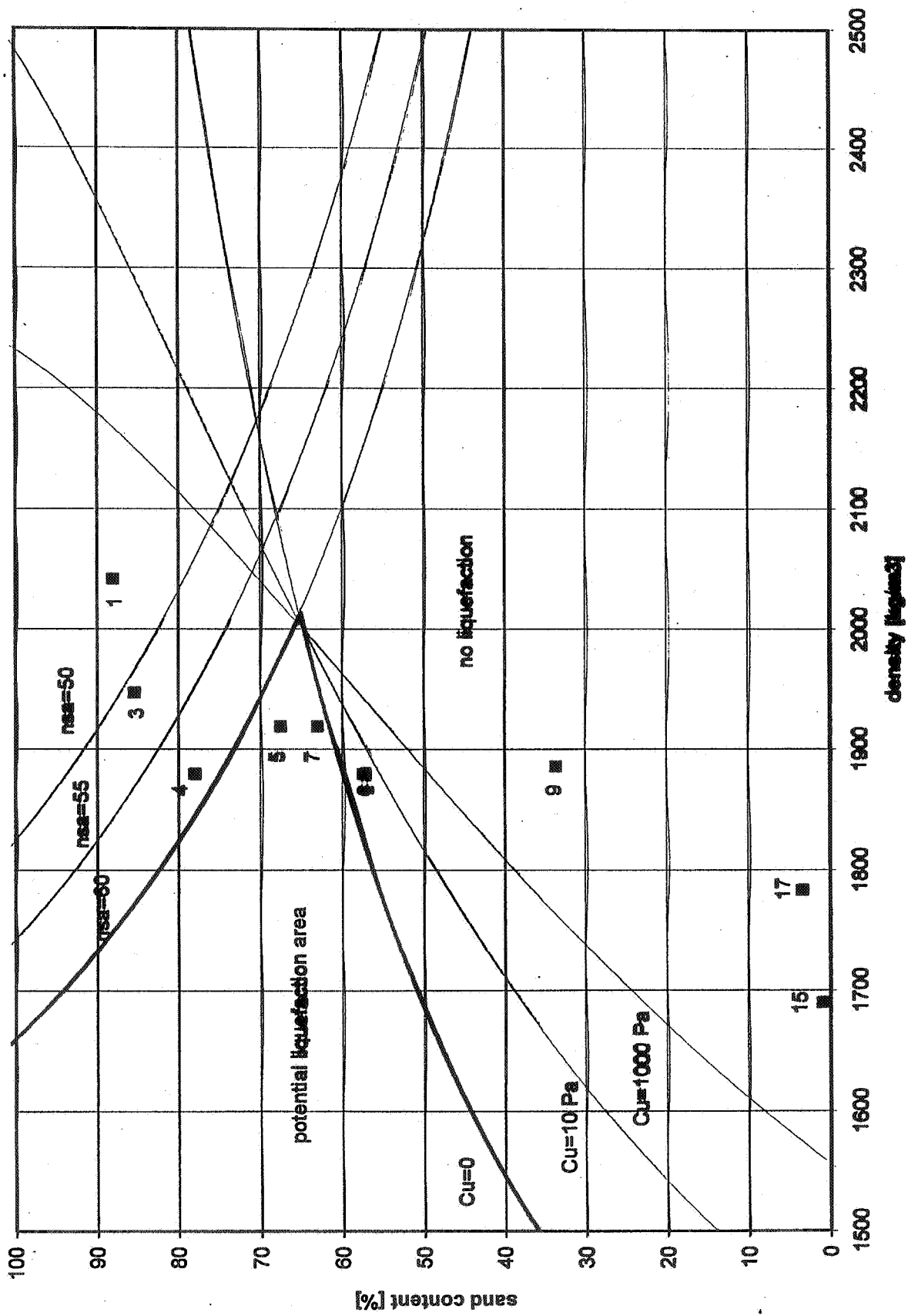


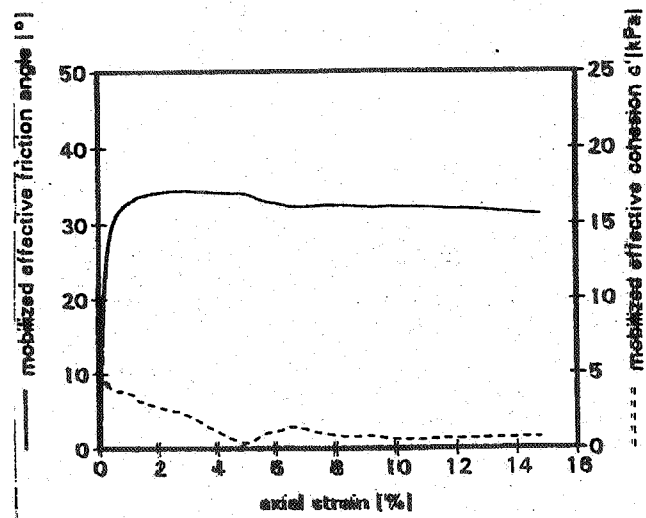
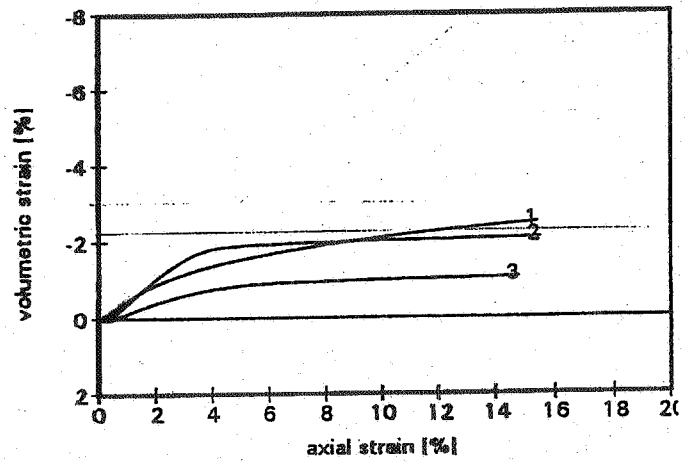
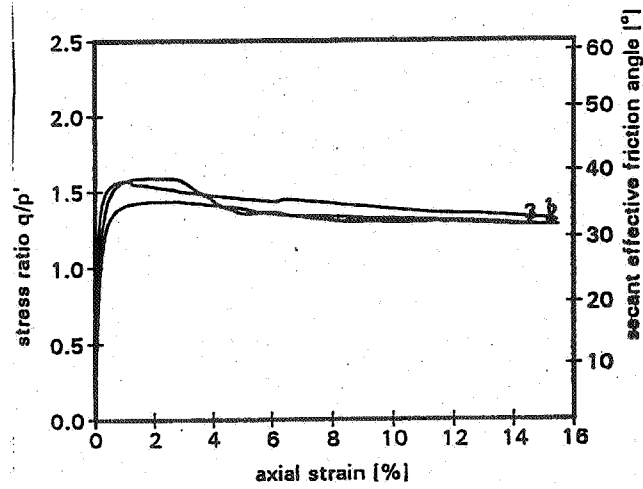
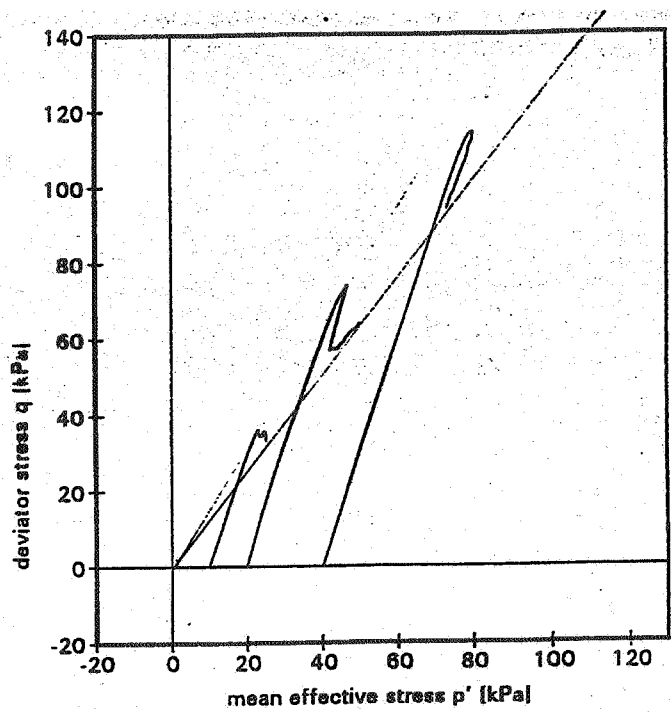
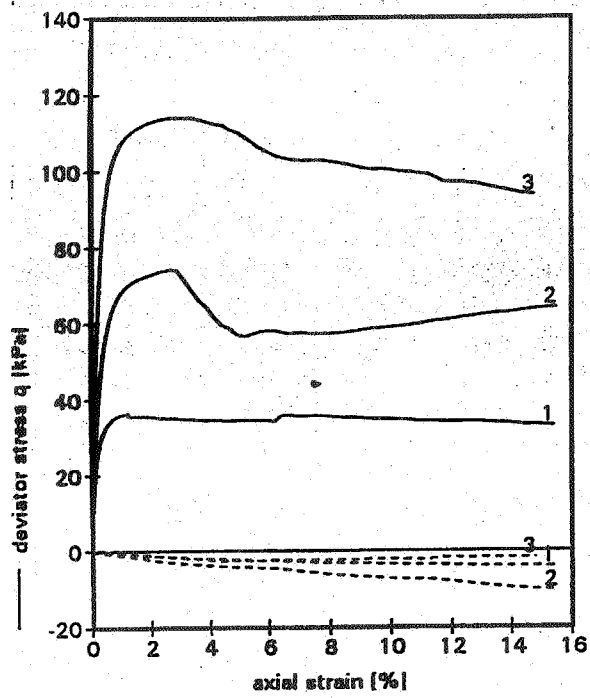


a. plasticity chart

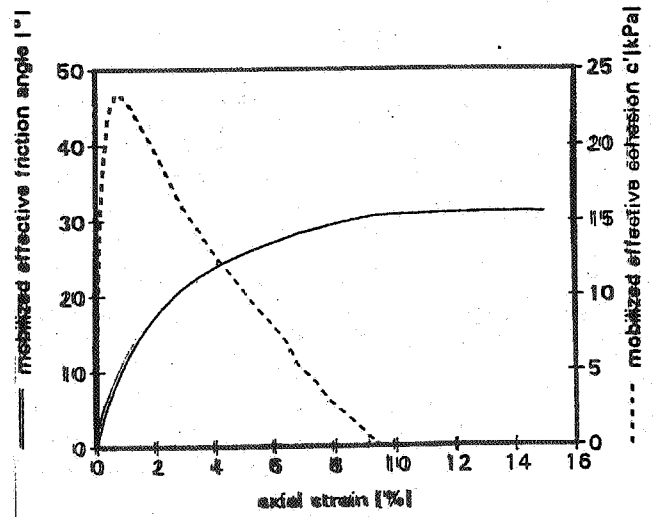
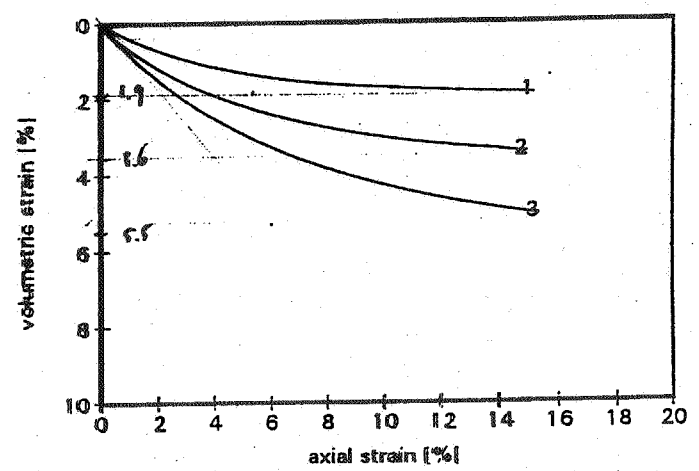
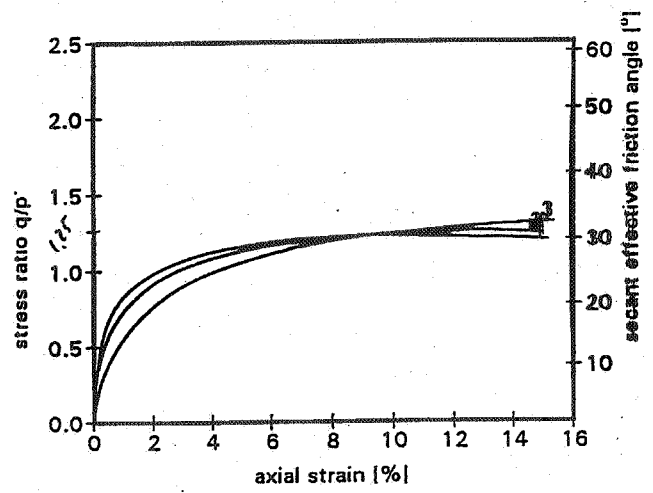
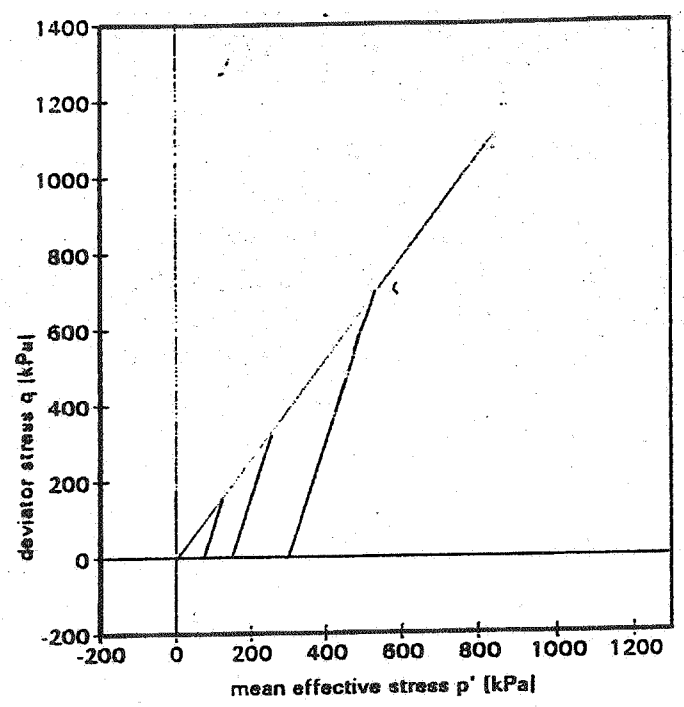
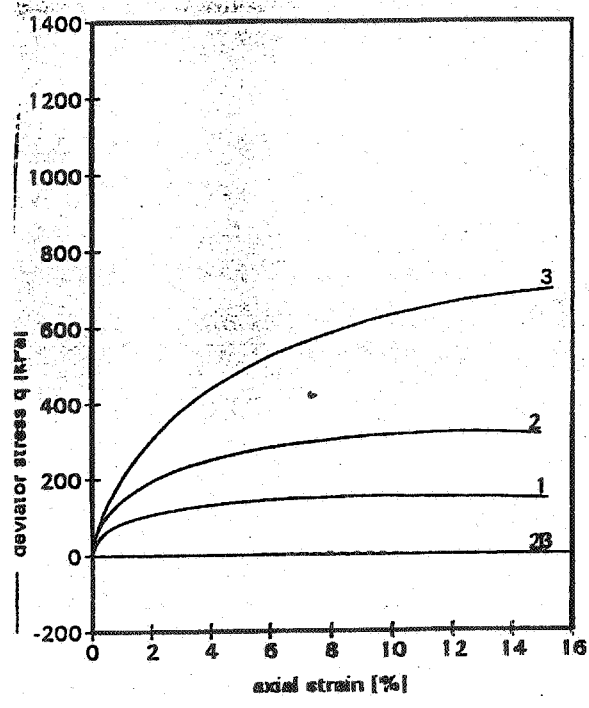


b. activity plot



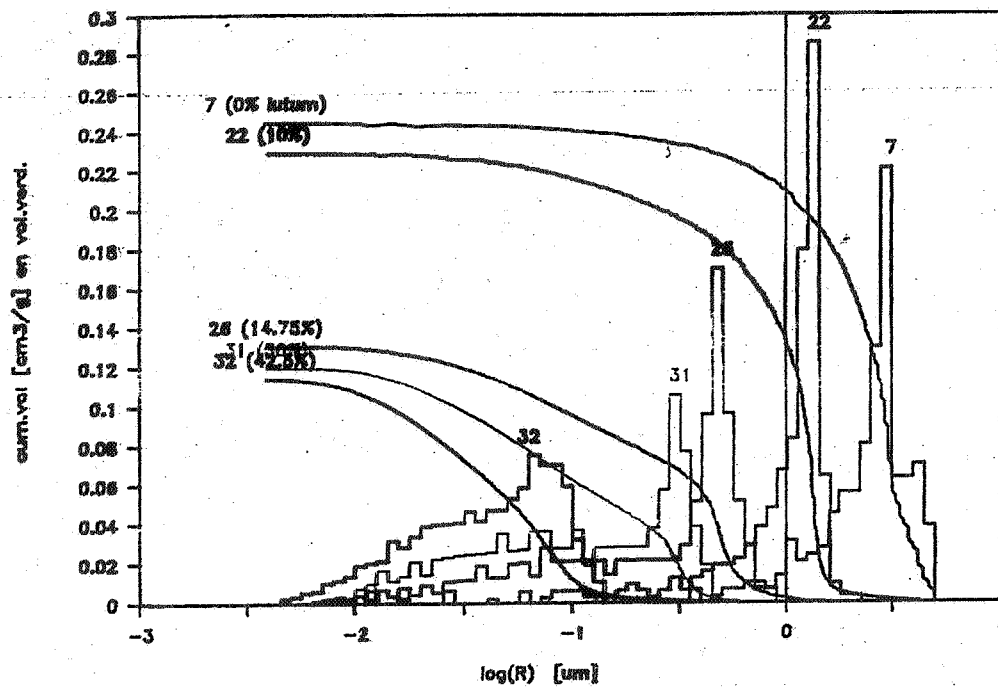


Borehole : BHX
 Sample : 3
 Depth : 2.20 m
 Soil Type : SAND

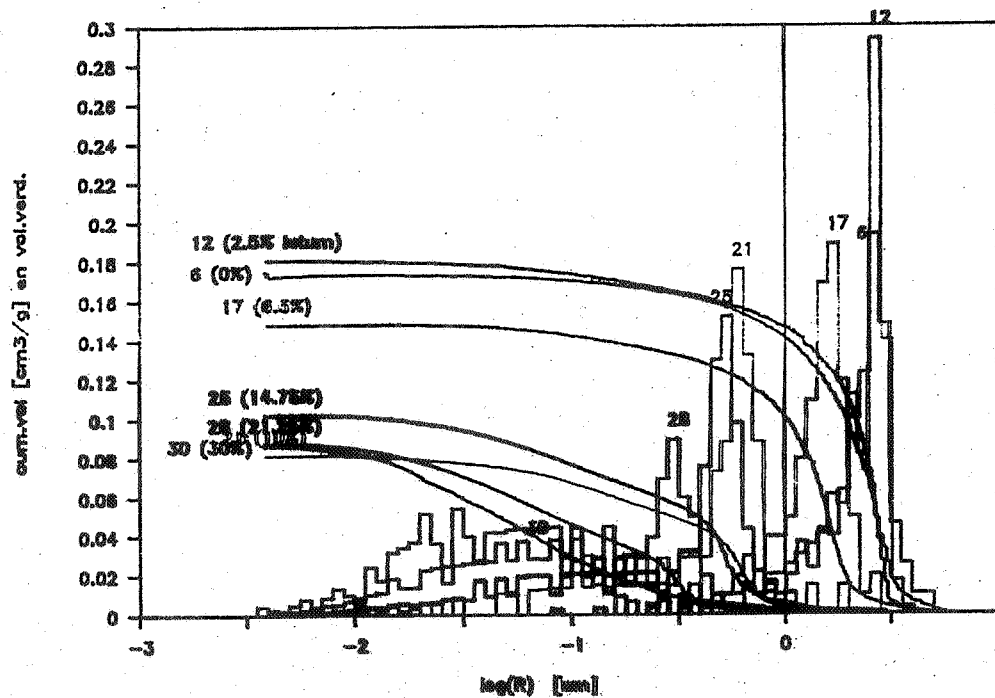


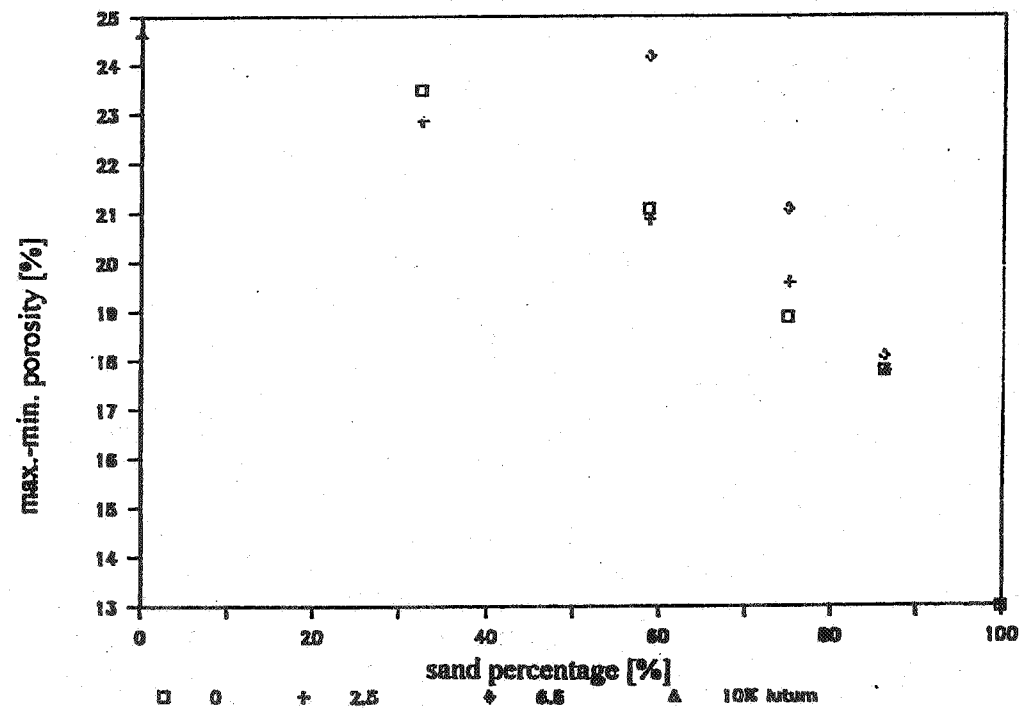
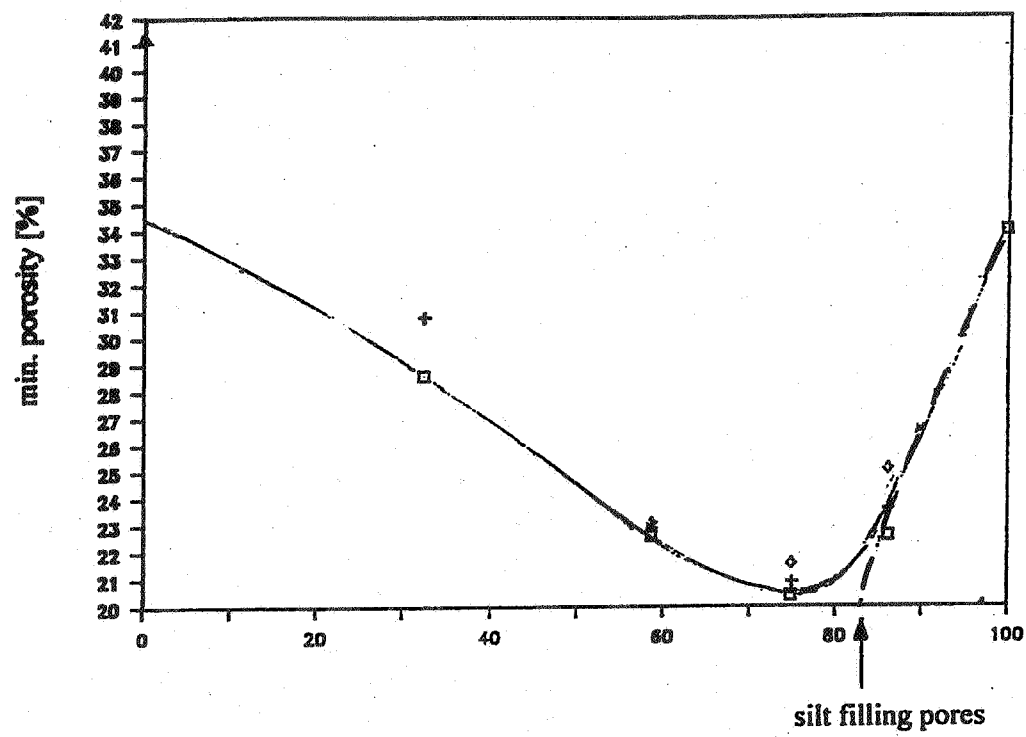
Borehole : BHX
 Sample : 7
 Depth : 15.30 m
 Soil Type : SAND

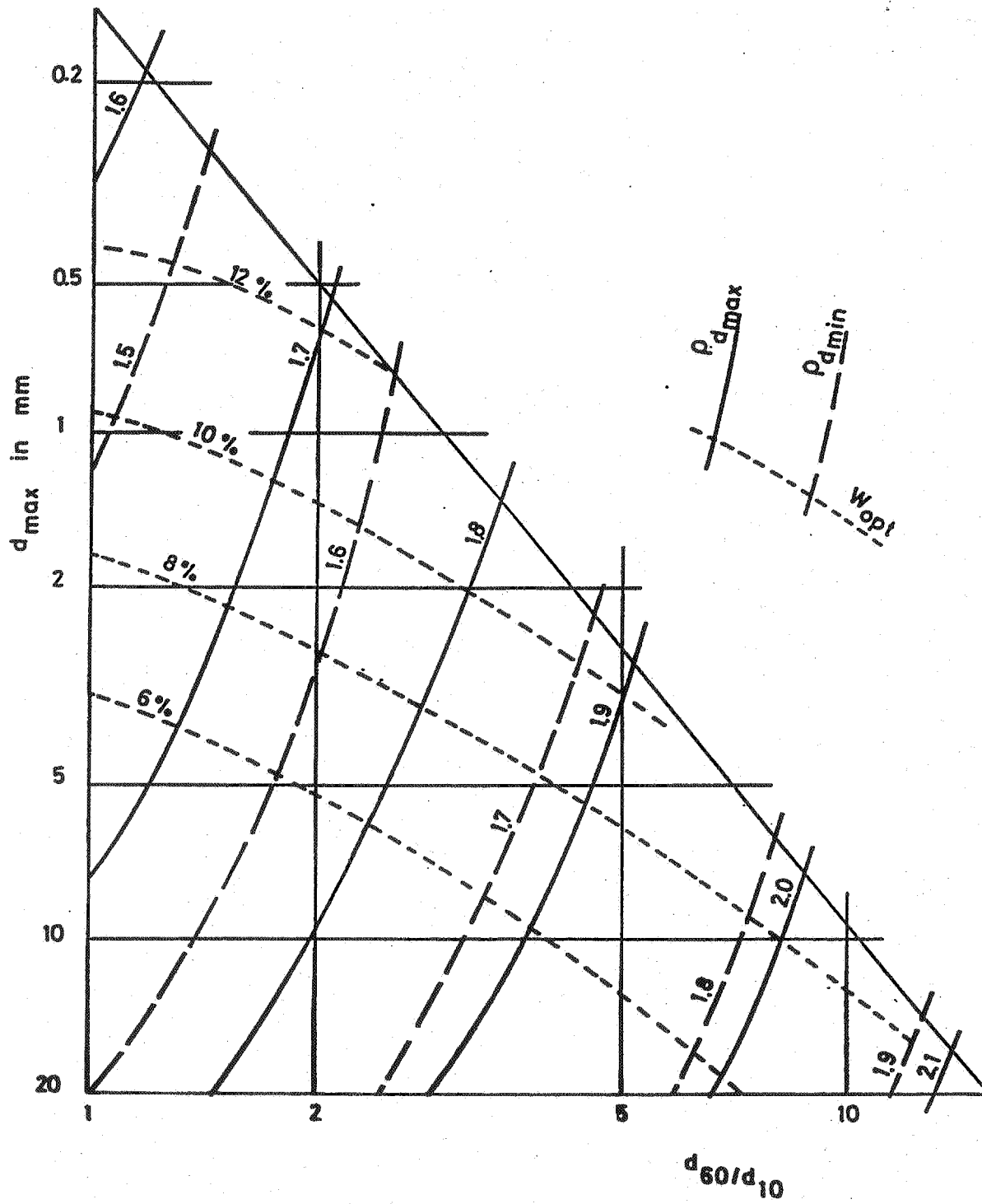
Poriengrootte verdelingen, 0% zand



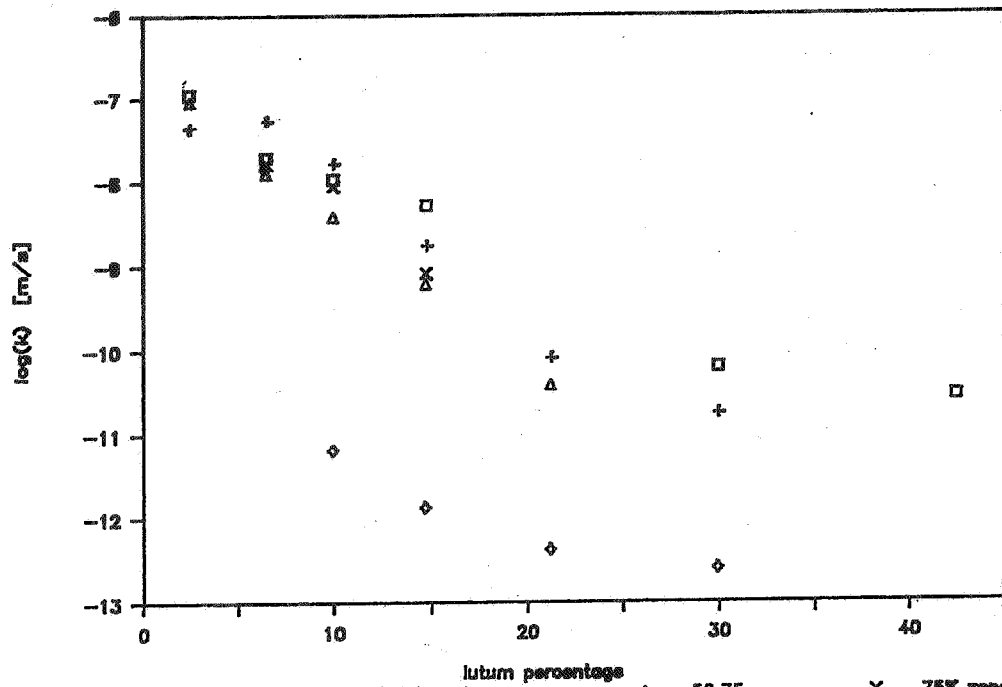
Poriengrootte verdelingen, 32.5% zand



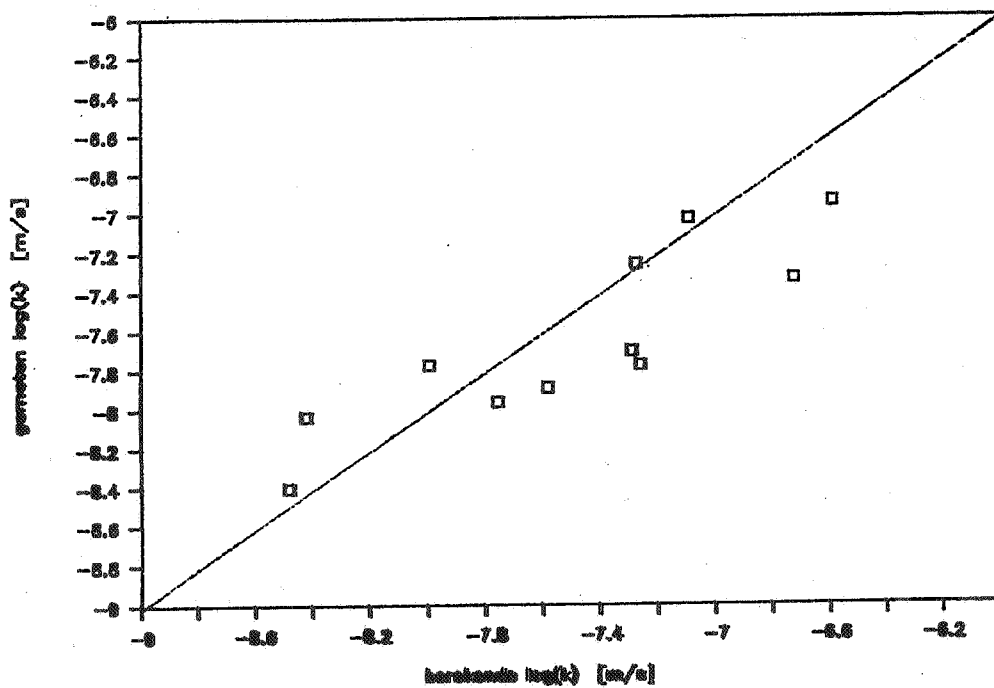


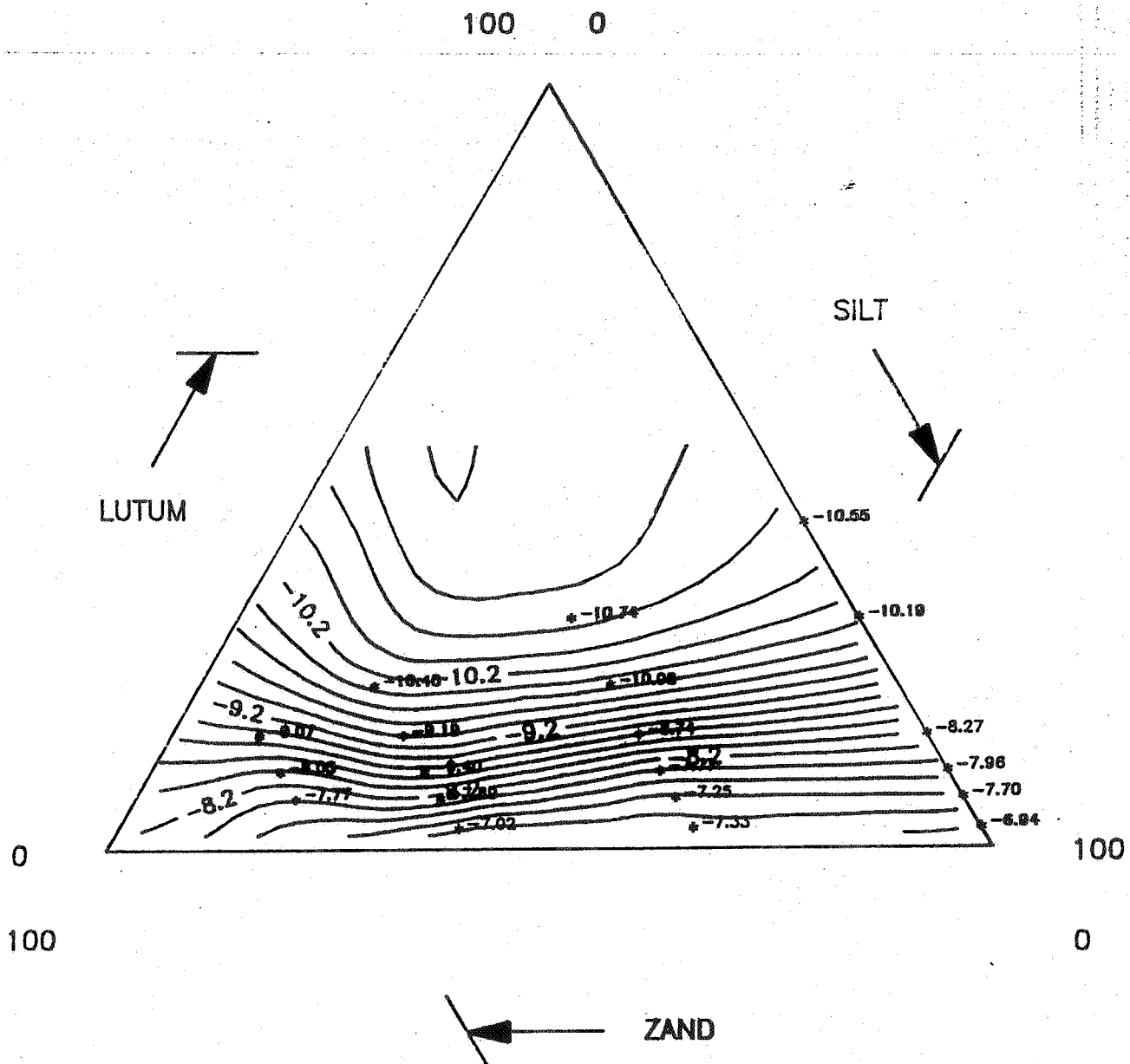


a. doorlatendheid



b. doorlatendheid gemeten en berekend





Hij zet uiteen hoe het computerprogramma SLIQ2D met behulp van de resultaten van die proeven voor elk talud (gekenmerkt door taludhoogte en taludhelling) berekent hoe groot het "metastabiele" gebied in het zandmassief is. Als slechts enkele zandelementen metastabiel zijn, dan zullen die bij een geringe belastingtoename wel wat vervormen en door wateroverspanning in sterkte afnemen, maar zullen de omringende zandelementen extra spanning naar zich toetrekken, voorkomen dat er grote vervormingen ontstaan en de wateroverspanning absorberen. Bij veel metastabiele zandelementen wordt het hele talud (of tenminste een groot deel ervan) metastabiel en zal bij een geringe belastingverandering in een fractie van een seconde verweken, waarna het proces van vervormen begint. Dat laatste wordt echter niet beschreven door het model.

Stoutjesdijk bespreekt ook de andere beperkingen van het model. Tenslotte geeft hij een overzicht van mogelijke richtingen voor verdere ontwikkeling: verbetering van de parameterbepaling, een probabilistische versie van SLIQ2D maken, gelaagdheid en consolidatie modelleren, vervormingen en waterspanningsvariatie modelleren, vloeigedrag en inscharing modelleren, toepassing van het "bollen model".

Van den Berg bespreekt "zettingsvloeiing" en "bressen" als de twee alternatieve oorzaken van waargenomen oevervallen. Hij maakt daarbij vooral gebruik van geologische gezichtspunten. Hij bespreekt de snelheid waarmee het proces verloopt aan de hand van de brestheorie (rol dilatantie en doorlatendheid) en waarnemingen in Zeeland, langs de oever van de Mississippi en in de Waddenzee vlak bij Terschelling.

Er zijn afzettingen, zoals de "dish and pillar" afzettingen die wijzen op een zeer snelle sedimentatie van dikke lagen zand (de "pillars" duiden op water dat ontsnapt in fontijntjes, zoals ook bij aardbevingsverwekingen wordt waargenomen). Door het bijna ontbreken van enige structuur duiden andere afzettingen op het relatief langzaam bezinken van zand uit langzaam stromende dikke zandlagen.

In België bij Vlierzele zijn in een zandgroeve dikke lagen bijna ongestructureerd zand waargenomen, die hoogstwaarschijnlijk zijn afgezet in een estuarium als het zand dat weggestroomd is uit een bres. Bovenaan een onderwater canyon aan de Stille Oceaan bij Californië sedimenteert voortdurend zand. Eens in de zoveel tijd verdwijnt dat zand in de diepte van de canyon. Een tijdje voor zo'n verdwijning heeft men gepoogd het zand te verweken met ontploffingen e.d. Dat is niet gelukt: was het dus niet losgepakt?

Vallen kunnen ook door een natuurlijk proces van bresgroei ontstaan, aldus één van zijn conclusies.

Mastbergen bespreekt de modellering van het bresproces in vastgepakt zand. Bressen treedt op bij baggeren, maar ook bij dijkdoorbraken ("Zwin-proef"), op een zandstort en in sommige rivieren/beken bij hoogwaterafvoer. Wellicht spelen bressen ook een belangrijke rol bij oevervallen in rivieren/estuaria en bij "turbidity currents" in onderwater canyons en in oceanen op de onderwaterhellingen van de continenten.

Hij beschrijft de, voornamelijk grondmechanische processen die bepalend zijn voor de snelheid waarmee de bres zich naar achteren/boven voortplant: dilatantie, doorlatendheid (dus korrelverdeling), hoek van interne wrijving, taludhelling en eventueel verhang in het grondmassief. In de meeste situaties gaat het om een horizontale snelheid van enkele mm/s. Dat betekent dat een taludinstabiliteit veelal enkele uren zal duren.

De bres(sen) op een talud voeden een turbulente zand-watermengsel stroom ("suspensiestroom"). Die stroom is sterker naarmate de erosiesnelheid hoger, de breshoogte en dus de waterdiepte groter en de helling steiler is. De sterkte van die stroom bepaalt in hoge mate of een bestaand talud erodeert danwel aanzandt en welke taludhelling ontstaat. De optredende erosiesnelheid neemt in fijn zand toe met toenemende korreldiameter en in grover zand af.

Er is een quasi-stationair 1-dimensionaal rekenmodel voor dit proces ontwikkeld (in kader storten van zand onderzoek). Het model laat zien dat het talud dat na bressen ontstaat

met de diepte steeds flauwer wordt. Zodoende is de gemiddelde taludhelling bij een waterdiepte van 20 m flauwer dan 1:3 bij de meeste zandsoorten.

Als een baggeraar zo snel het talud inbrest dat de zuiger niet al het zand kan opzuigen, ontstaat een losgepakte morslaag op de bodem van de put/rivier.

Viergever bespreekt allereerst een aantal nieuwe technieken voor de detectie van de verwekingsgevoeligheid van zand:

- Sonderingen met waterspanningsmeting, waarbij de sondeerstang extra snel de grond in geduwd wordt en dan een tijdje stilgezet wordt. Daar is enige ervaring mee. Het verschil in sondeerweerstand (soms groter bij de snelle sondering; soms kleiner) en het verschil in waterspanningsverloop (bv: soms toename, soms afname als de sondering stil staat) kan duiden op verschil in verwekingsgevoeligheid.
- “Dilatantie vane”. Onderaan een sondeerstang zouden verticale vinnen geplaatst kunnen worden. Na wegdrukken tot in de te onderzoeken zandlaag, zou de stang snel gedraaid kunnen worden, waarbij de waterspanning bij de buitenrand van de vinnen zou moeten worden gemeten. De hoogte van de waterdruk is vermoedelijk een maat voor de verwekingsgevoeligheid. Er is geen ervaring met dit idee.
- “Pulsating stiffness probe”. Een zuigertje loodrecht op de sondeerstang beweegt snel naar buiten en naar binnen. Het aanliggende zandelementje wordt op een zelfde manier belast als bij een ongedraineerde cyclische triaxiaalproef. Dit apparaat is ontwikkeld, maar is nog weinig toegepast. Metingen van kracht, verplaatsing en waterdruk geven informatie over de stijfheid van de grond (primaire stijfheid en stijfheid na herhaalde belasting) en eventuele waterspanningsgeneratie.

Verder beschrijft Viergever enige ideeën om het bresproces waar te nemen:

- Waterspanningsmeters in de grond aanbrengen (met een sondeerstang die daarna weer teruggetrokken wordt). De waterspanningsmeter zelf zal uiteindelijk verloren gaan.
- Glasvezels in de grond aanbrengen. Een geringe vervorming van de glasvezel kan waargenomen worden.

De Groot beschrijft in zijn tweede presentatie een eenvoudige methode om de inscharing na een zettingsvloeiing te voorspellen. Met SLIQ2D kan voorspeld worden of een bepaalde zandlaag verweekt. De methode bestaat uit een simpele beschrijving van wat er daarna gebeurt. Met behulp van consolidatie/sedimentatie beschouwingen wordt de tijdsduur van verweking afgeschat. Die kan variëren van één minuut tot enige uren, afhankelijk van de dikte van de verwekingsgevoelige laag en de doorlatendheid. Door aan te nemen dat het verweekte zand als een visceuze massa gaat stromen is een schadeprofiel te berekenen als functie van de tijdsduur en de viscositeit. Daaruit zou volgen dat de inscharing zeer klein blijft als het gaat om dunne verwekingsgevoelige lagen, vooral als deze omringd zijn door zeer doorlatende zand- of grindlagen.

Discussies

Bij de discussies kwamen ondermeer de volgende onderwerpen ter sprake:

- Mogelijkheden en beperkingen van het “bollenmodel” (Stoutjesdijk)
- Het feit dat de gelaagdheid in veel zandpakketten veel fijner is dan met een sondering kan worden gevonden. Indien het gedrag van een taludmassief is als die van een ketting met schakels bestaande uit de grondlaagjes, zou de sterkte van het dunste laagje gekend moeten worden.
- De snelheid waarmee vloeiings- en bresprocessen optreden: de meeste grote vallen die in Zeeland traditioneel “zettingsvloeiingen” genoemd werden, duurden vele uren; de stroming van het verweekte zand in de twee grote proeven achter glas (wat gebeurde er in het midden?) die we in Nederland gehad hebben was als die van een zeer visceuze vloeistof en duurde op die kleine schaal ca 1 minuut; bij toepassing van een voor de hand

liggende schaalregel (maar mag die wel worden toegepast?) zou dit op grote schaal een tijdsduur van ca een uur opleveren. Anderzijds worden in de literatuur “vloeiingen” gerapporteerd met zeer snel stromende turbulente mengselstromen (Noorse fjorden; in oceanen op de onderwaterhellingen van de continenten); zelfs grondbewegingen die een soort vloedgolf op het wateroppervlak veroorzaakte. Gaat een “visceuze” stroming bij grotere diepte over in een turbulente?

- Zettingsvloeiing als start van bresvorming.
- Het 3-dimensionale karakter van vele bressen (bres bij Perkpolder zoekt eigen weg).
- Bij beunbezinking is sterke gelaagdheid waargenomen bij langzame sedimentatie en bijna geen gelaagdheid bij snelle sedimentatie. Bij proeven met het storten van zand is eveneens geen structuur waargenomen bij snelle sedimentatie uit hoog-geconcentreerde suspensiestroom dus dicht bij de bron van oeverinstabiliteit, bres of vloeiing, terwijl gelaagdheid is waargenomen op grote afstand waar sedimentatie plaats vindt uit turbulente laaggeconcentreerde suspensiestroom. Is dat nu in overeenstemming met de gelaagdheid die beschreven is door van den Berg of is dat daar mee in strijd?
- De fysische achtergrond van een suspensiestroom en de parameters die bepalen of zo’n stroom erosie veroorzaakt danwel of er zand uit de suspensiestroom sedimenteert. Verklaring waarom zand via suspensiestroom erg ver weg kan stromen, als het debiet maar groot genoeg is en de diepte groot genoeg is.
- Mogelijkheden om bij baggeren van een gegeven zandsoort bij een gegeven putdiepte (taludhoogte) de taludvorming bij bressen te beïnvloeden met behulp van de baggerparameters (snelheid inbressen; zuigdebiet; verplaatsing zuigbuis; baggeren in terrassen).
- De praktijk van sommige baggeraars (maar beslist niet alle) om bij winning van zand uit een zandwininput eerst voorzichtig een snede te cutteren langs de rand van de concessie en vervolgens de rest van het zand met een steekzuiger te winnen zodat men zich daar geen zorgen hoeft te maken over eventuele taludinstabiliteit.
- Problemen bij monitoren van het bresproces bij baggeren: locatie zuigbuis en andere procesparameters zijn te meten; het bodemprofiel kan geregeld opgemeten worden, maar het is moeilijk om dat te doen als de zuiger daar werkt; meten in de grond kostbaar en locatie van komende inbressing niet goed te voorspellen; dat geldt des te meer bij eventuele vloeiing.
- De konsekwenties van deze beschouwingen voor de regels die in de Leidraad Toetsen op Veiligheid van waterkeringen zijn weergegeven voor zettingsvloeiingen.

Slot

Veel vallen met grote inscharingen zijn vermoedelijk het gevolg van een bresproces dat gestart is als een zettingsvloeiing. Het lijkt de moeite waard om het bresmodel verder uit te werken en na te gaan hoe de geotechnische modellering van zettingsvloeiingen daarin verweven kan worden.

De organisatoren zijn de deelnemers zeer erkentelijk voor hun inbreng.

Bijlage 1: Aanwezigen

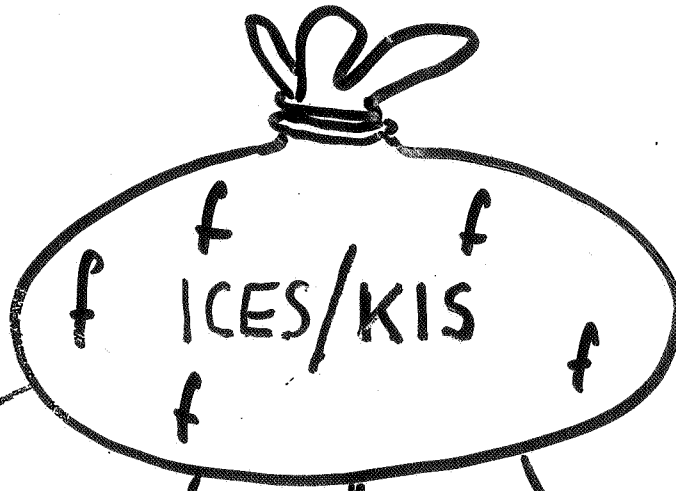
Janrik van den Berg (Universiteit van Utrecht)
Adam Bezuijen (GeoDelft)
G. Buitenhuis (student TUD)
Alexander van Duinen (GeoDelft)
Jan de Feijter (GeoDelft)
Harry van der Graaf (RWS, Bouwdienst)
Maarten de Groot (GeoDelft)
Jan Heemstra (GeoDelft)
André van Hoven (GeoDelft)
Gerard Kruse (GeoDelft)
Jaap Lindenberg (GeoDelft)
Dick Mastbergen (WL | Delft Hydraulics)
Joop van der Meer (Van Oord/ACZ)
Raymond van der Meij (student TUD)
Cees van Rhee (HAM/TUD)
Rob Schippers (Volker Stevin)
Bart van der Schrieck (zelfstandig/TUD)
Adriaan van Seters (Fugro)
Ruud Steenbrink (Grontmij)
Theo Stoutjesdijk (GeoDelft)
Meindert Van (GeoDelft)
Rien Viergever (GeoDelft)
Marcel Visschedijk (GeoDelft)
Cor Zwanenburg (GeoDelft)

\$

AARDGAS BATEN - ICES

BIJLAGE 2

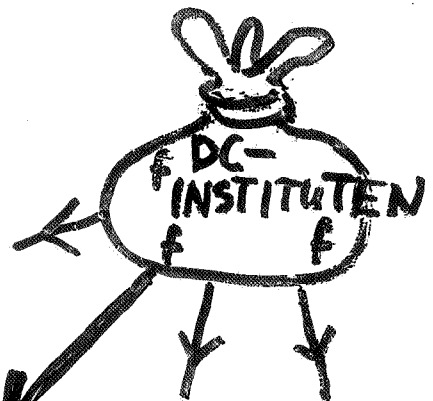
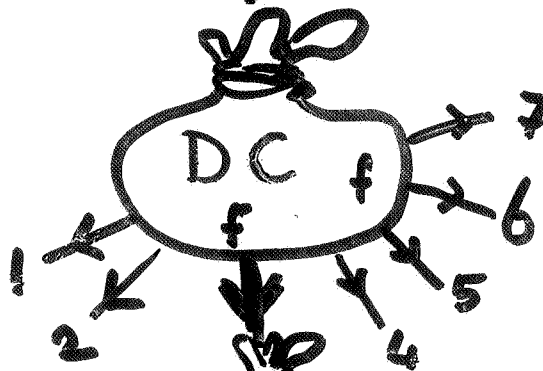
M.B. de Groot



1995-1998 LWI
COB

1999-2002

2003 - ?



THEMA KUST & RIVIER

PROJECT BOUW
GROOTSCHALIGE
ZANDLICHAMEN

VERWEKING & VERDICHTING
ZAND

VERWEKING & VERDICHTING ZAND

2001 BIJeenKOMSTEN

- ADVIESPRAKTJK?
- BEPERKINGEN ?
- "OPLOSSINGEN" ?
- PRIORITEIT ?

BUREAU STUDIES

- ENIGE "OPLOSSINGEN"

2002 BIJeenKOMST + LOBBY

- KEUZE

? ONDERZOEK

Liquefaction Marine Structures
EU-PROJECT

11 mei : { VERWEKING DOOR CYCLISCHE BELASTING
VERDICHTING

27 juni: ZETTINGSVLOEIINGEN

ADVIESPRAKTJK : - ZANDWINPUTTEN

- KANS OP VLOEIING ?
- HOE GROOT INSCHAKING ?

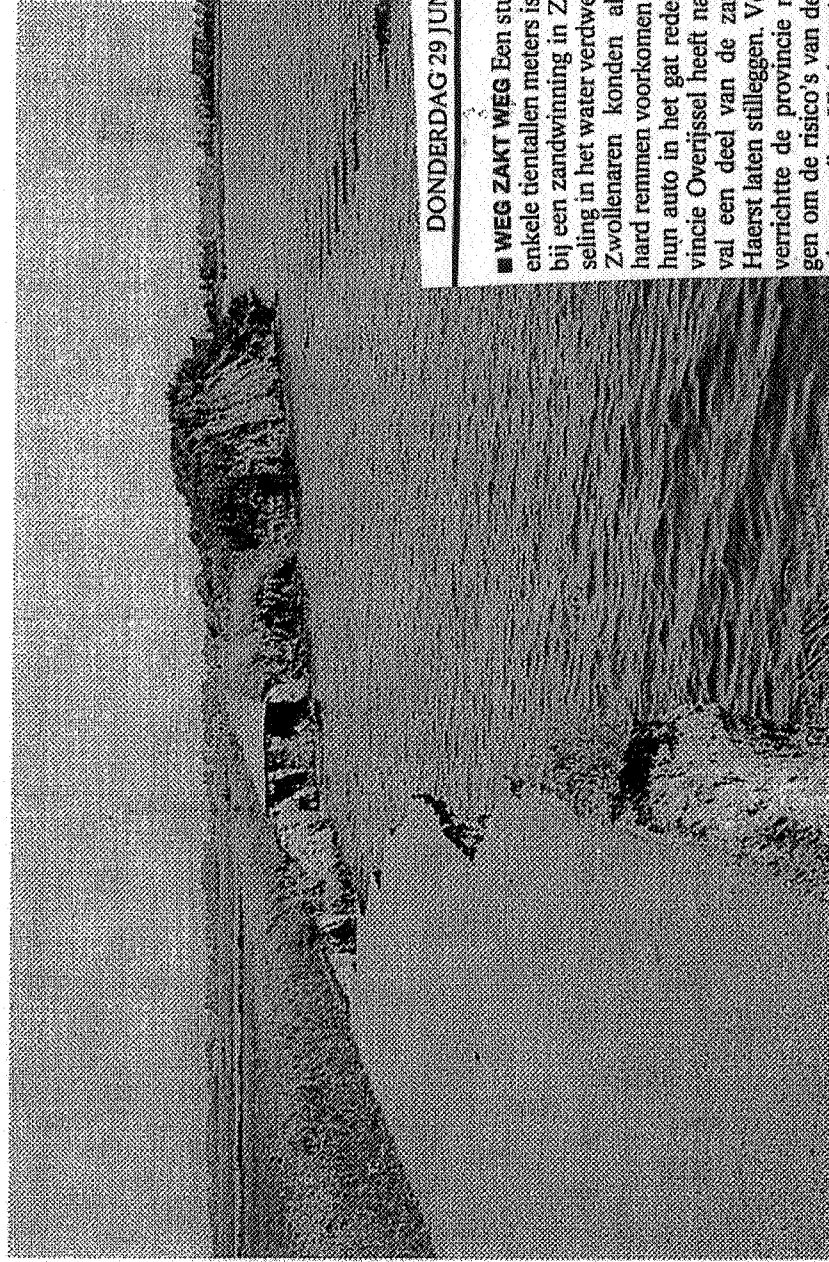
VANDAAG : INBRENG MEERDERE DISCIPLINES

TOEKOMST : INTEGRATIE DISCIPLINES

BETER BEGRIIP VLOEIINGEN ?

BETERE VOORSPELLING ?
ADVIES MAATREGELEN .

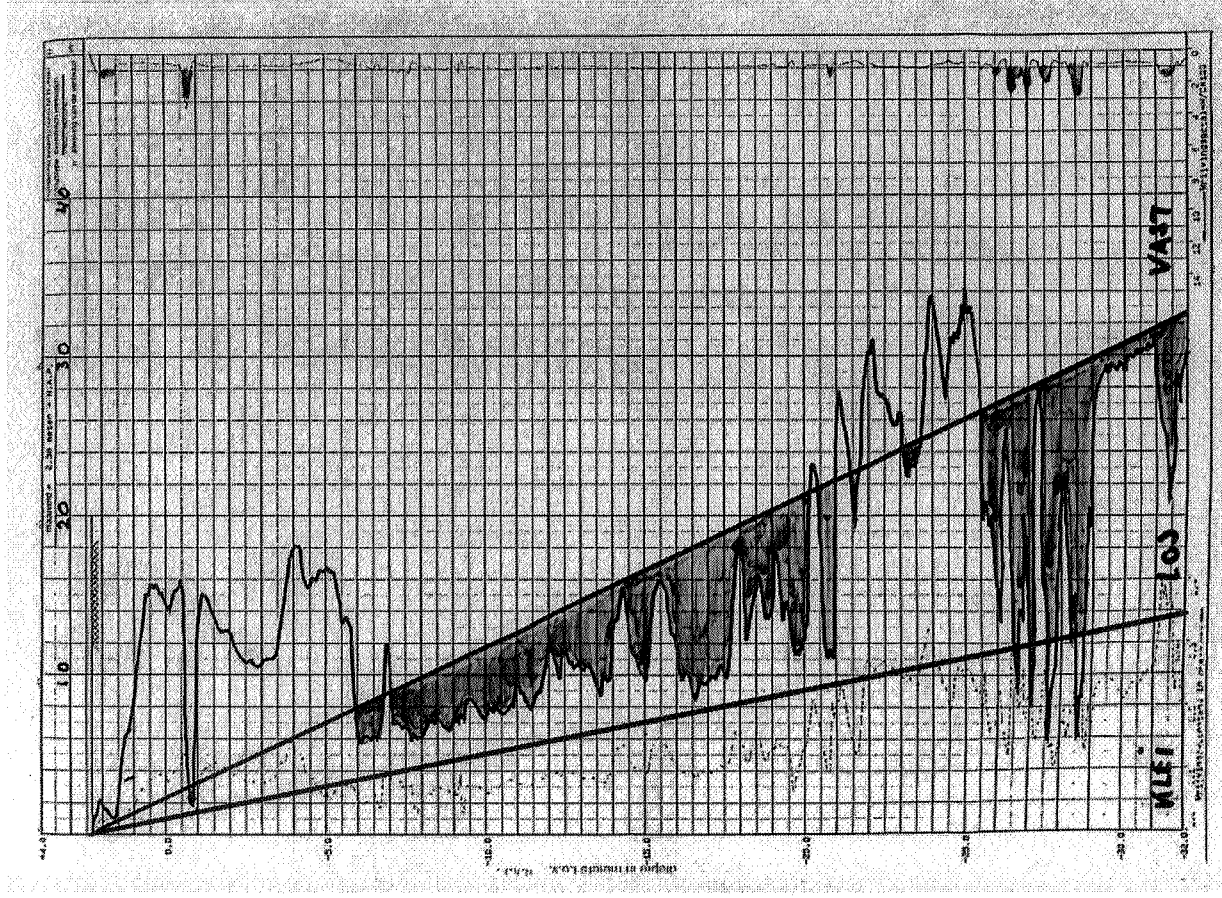
Zettingsvloeiing voorspellen ?



DONDERDAG 29 JUNI 1995 3

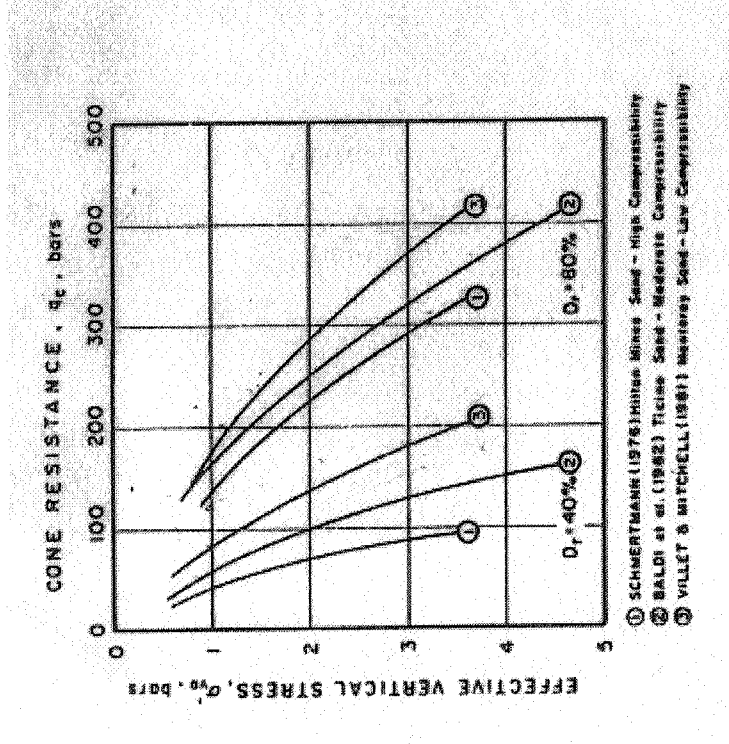
■ **WEG ZAKT WEG** Een stuk weg van enkele tientallen meters is woensdag bij een zandwinning in Zwolle plotseling in het water verdwenen. Twee Zwollenaren konden alleen door hard rennen voorkomen dat ze met hun auto in het gat reden. De provincie Overijssel heeft na het voorval een deel van de zandwinning Haerst laten stilleggen. Vorige week verrichtte de provincie nog metingen om de risico's van de zandwinning te peilen. Uit de metingen bleek toen niet dat de weg elk moment zou kunnen bezwijken.

Sondering



Sondering en boring

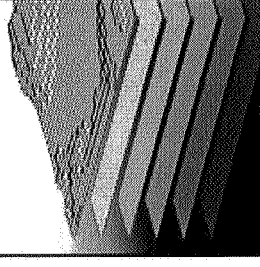
- Interpretatie



- Grof versus fijn

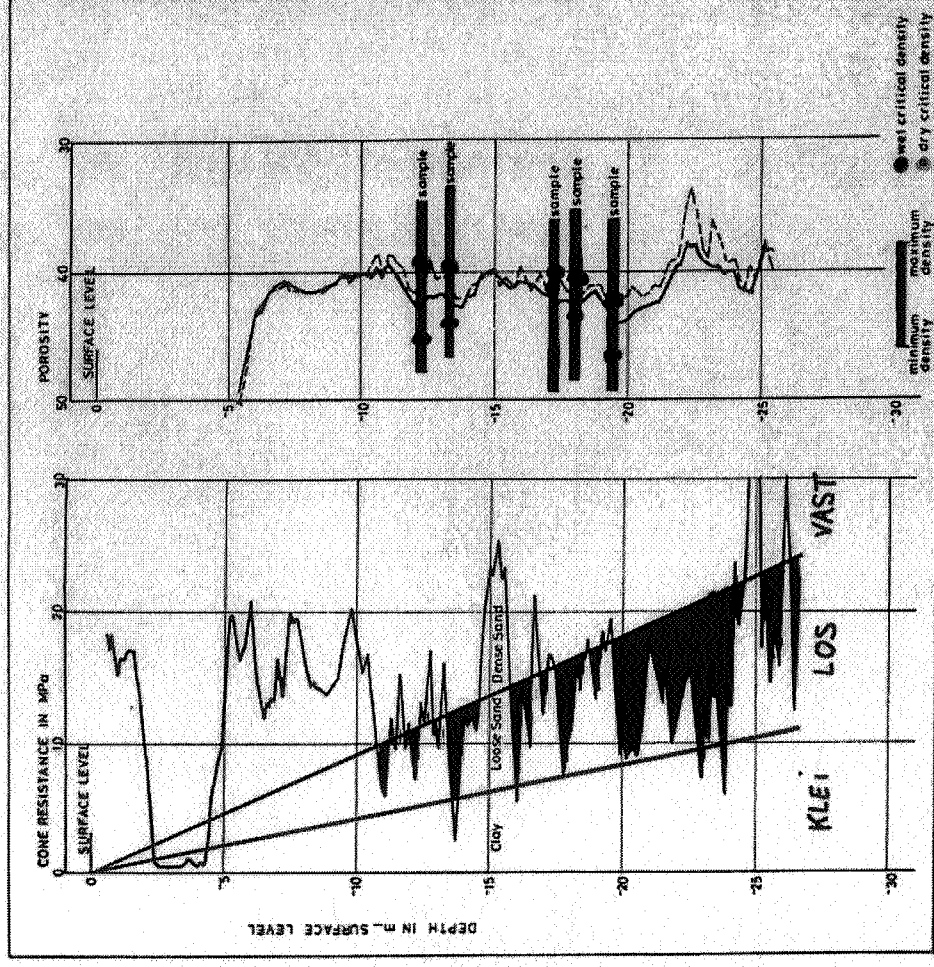
- Siltpercentage

- Gelaagdheid



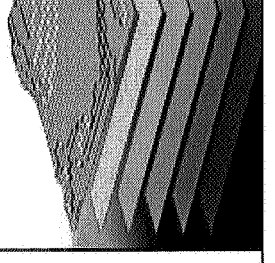
Elektrische dichtheidsmeting

- Methode
- IJking
- Min/max
- Dichtheid
- Relatieve
- Dichtheid



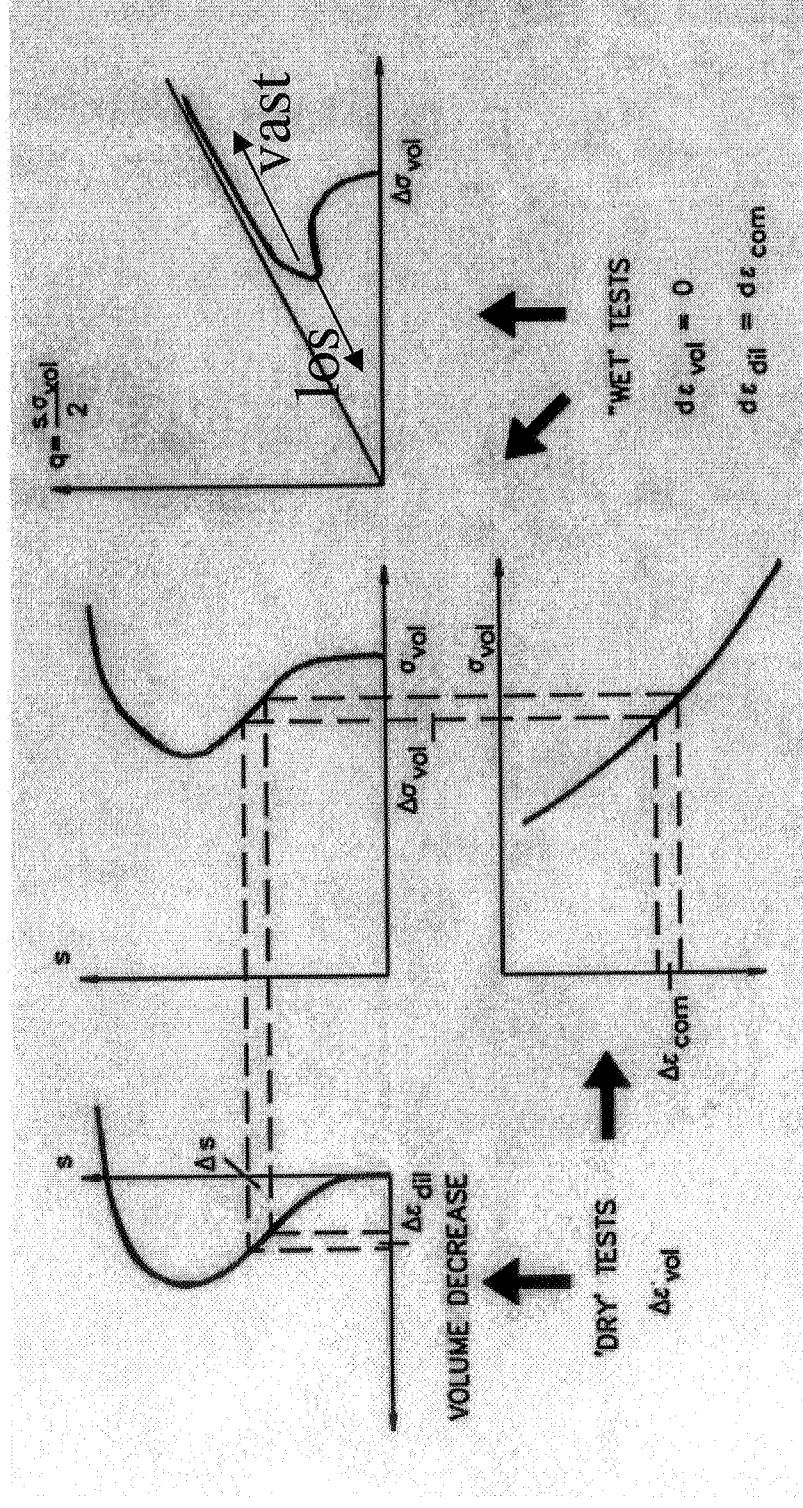
Triaxiaalproeven

- Droog
- Nat
- Spanningsniveau
- Spanningspaden

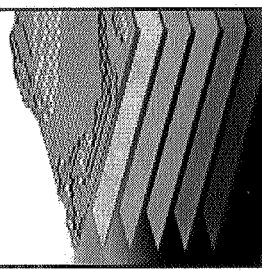
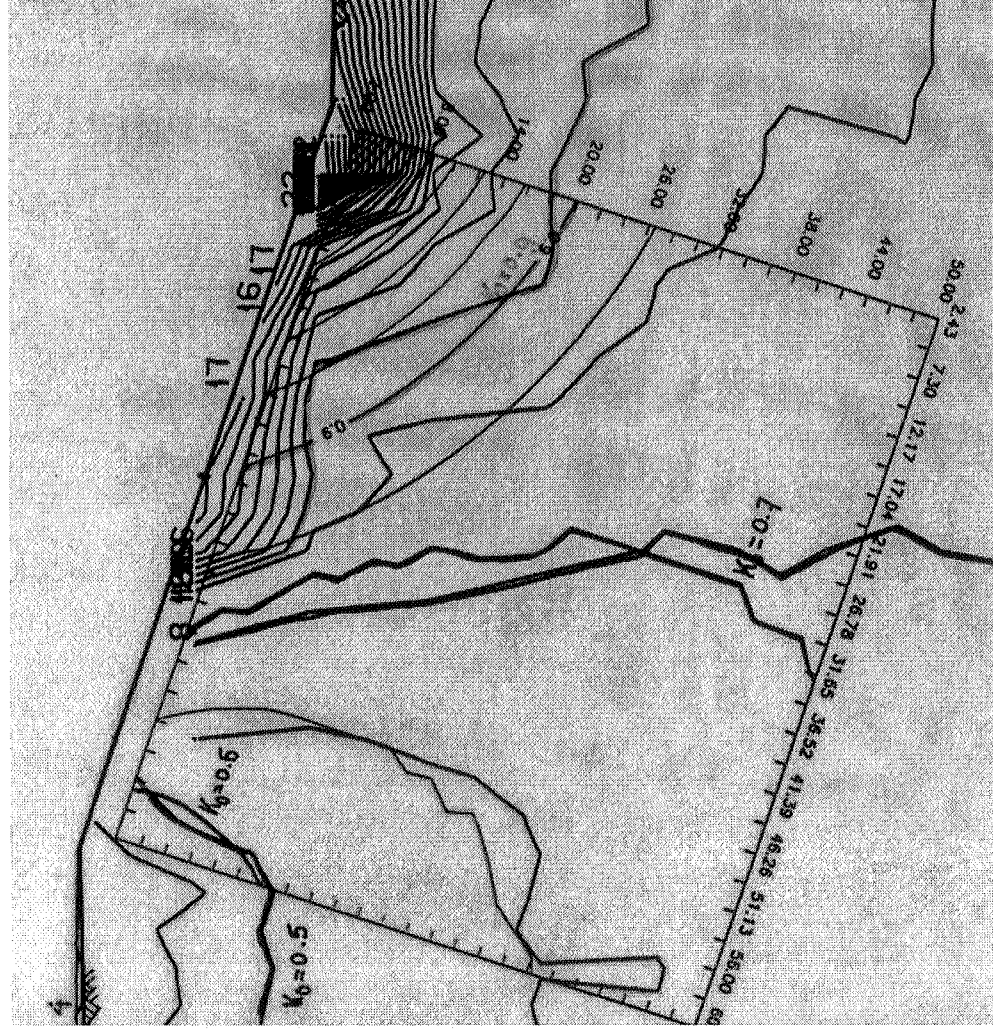


SLIQ2D (Slope Liquefaction)

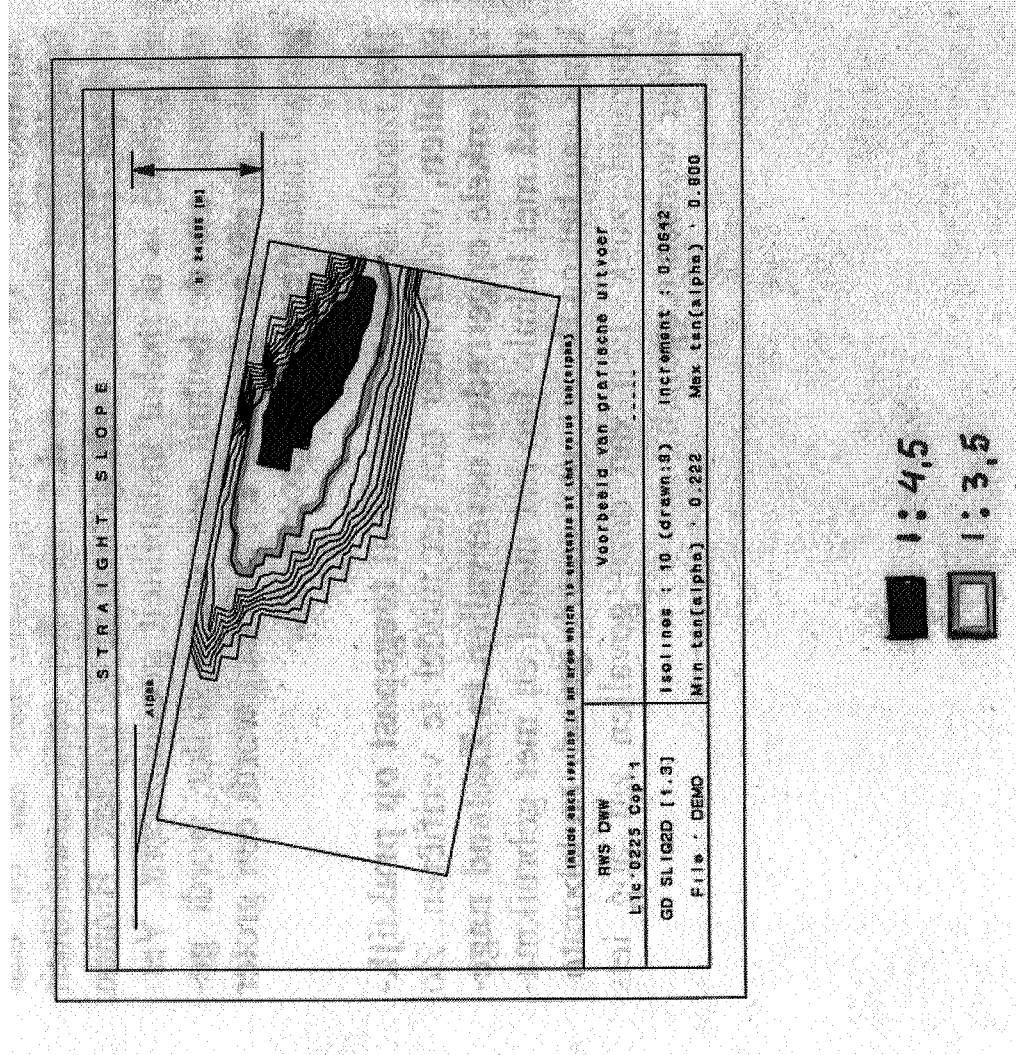
Theorie



SLIQ2D talud en spanningen

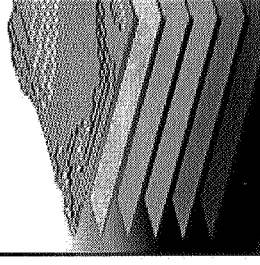


SLIQ2D voorbeeld



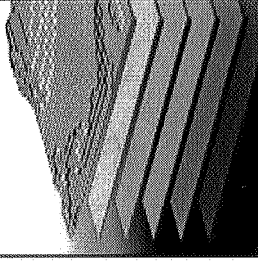
Beperkingen

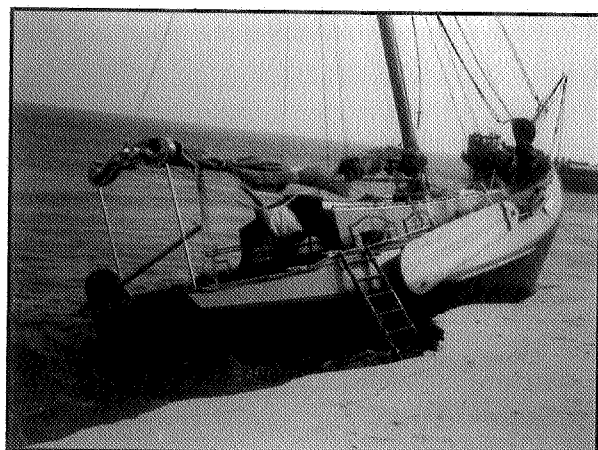
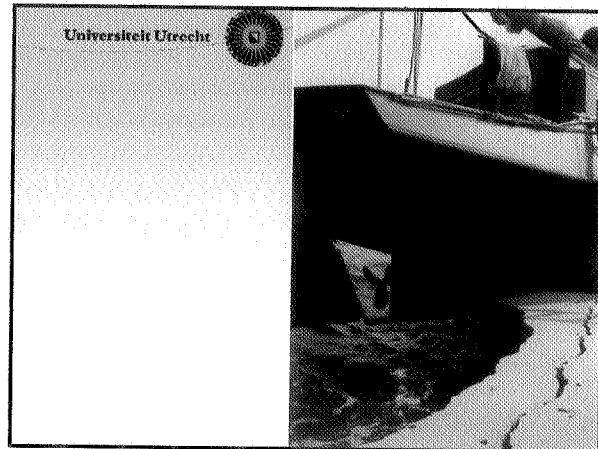
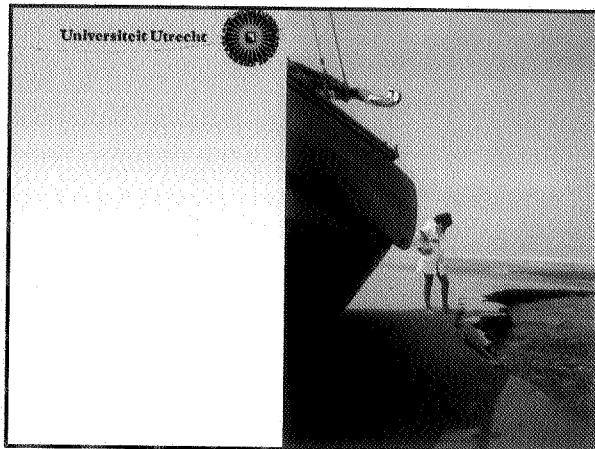
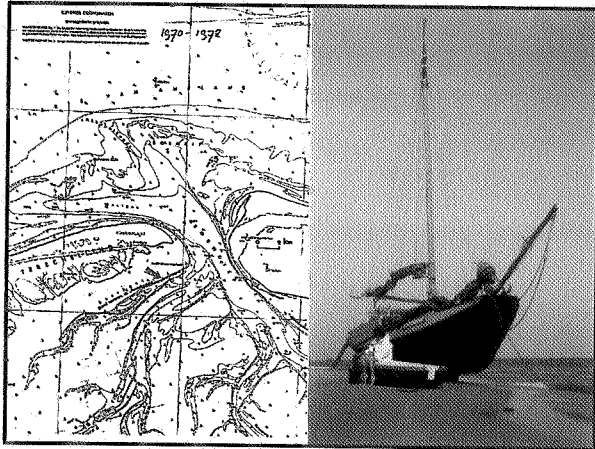
- **Sonderingen: evident maar goedkoop**
- **EDH, boringen, triaxiaal en SLIQ2D**
- **Geen vervorming (conservatief?)**
- **Dus ook geen schade/inscharing**
- **Geen drainage**
- **Uniform zandpakket**
- **Weinig toegepast**

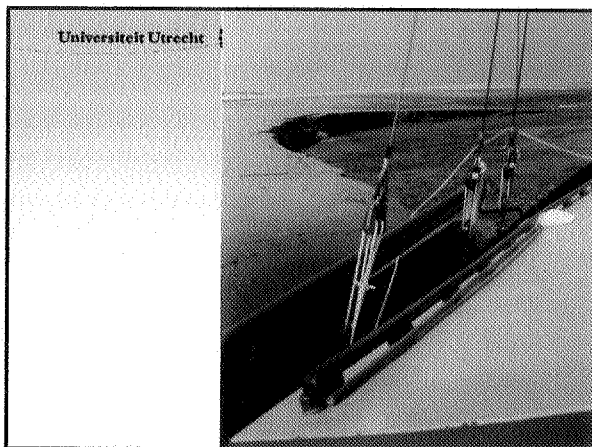
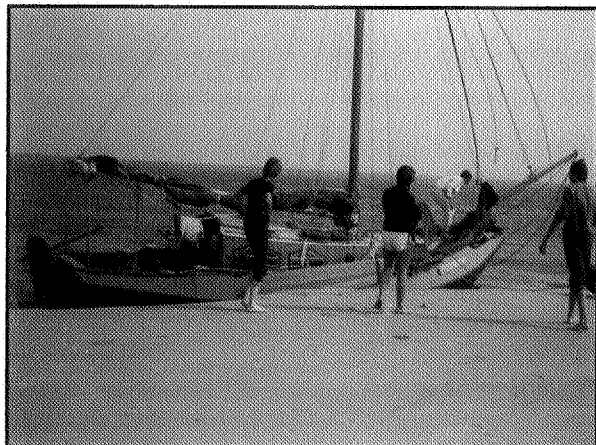
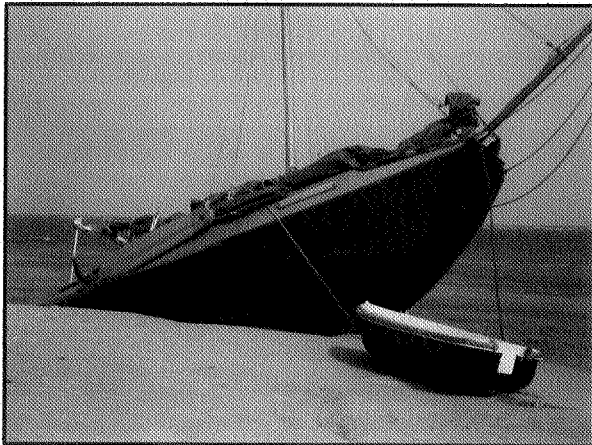


Discussie

- parameterbepaling (fijn/grof, slib, hoekigheid)
- meer/andere triaxiaalproeven
- meten en monitoren
- MProSLIQ2D
- gelaagdheid en consolidatie
- vervormingen/waterspanningen
- vloeigedrag/inscharing
- bollenmodel

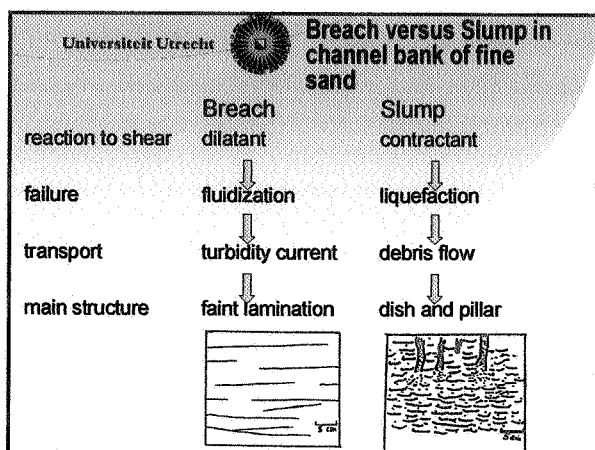






Universiteit Utrecht

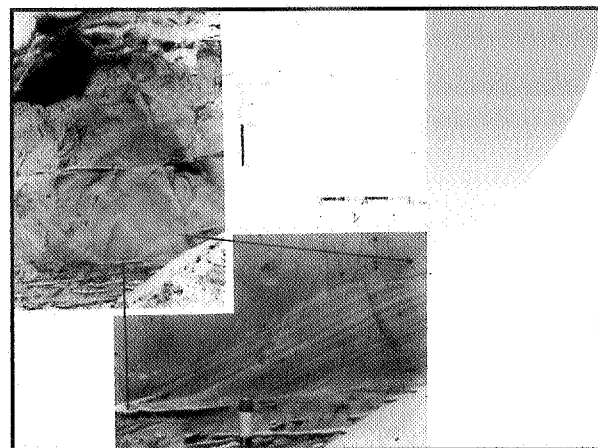
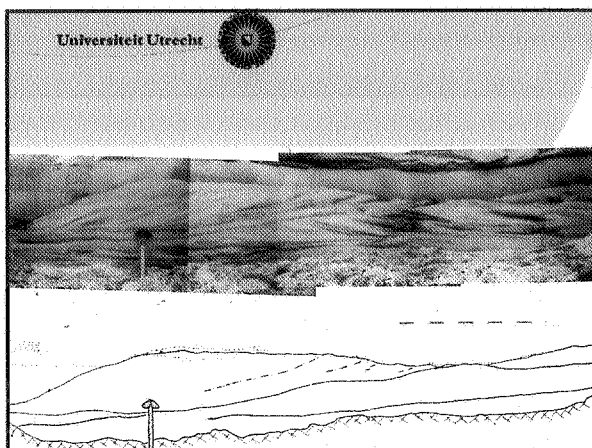
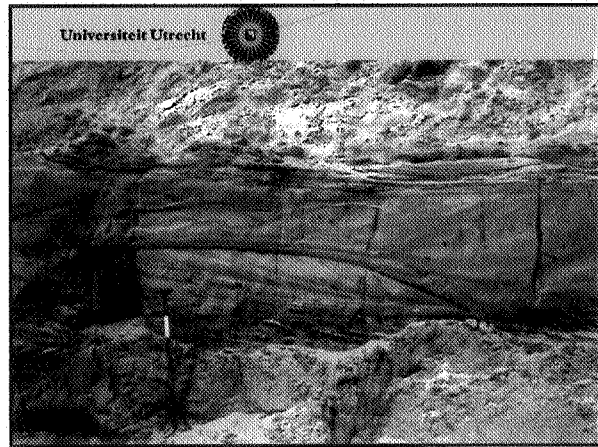
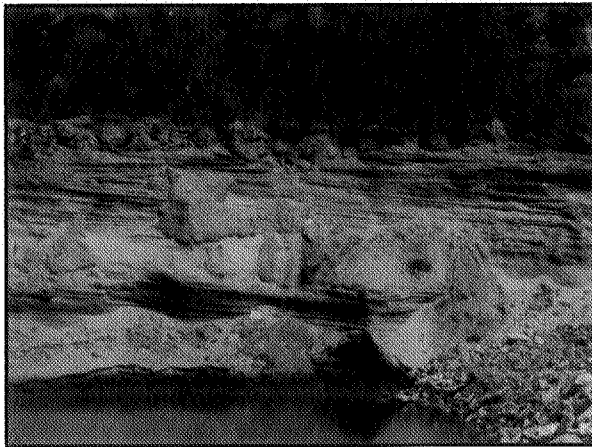
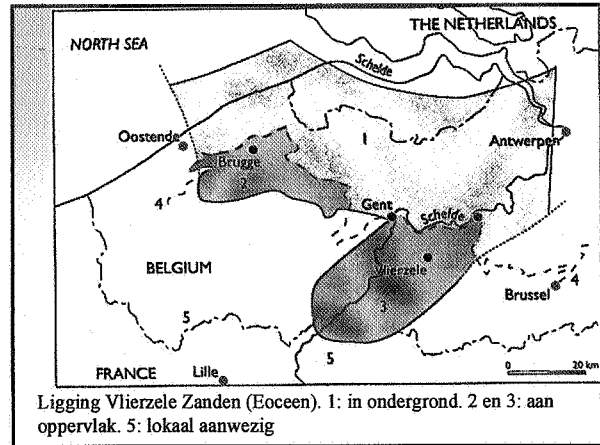
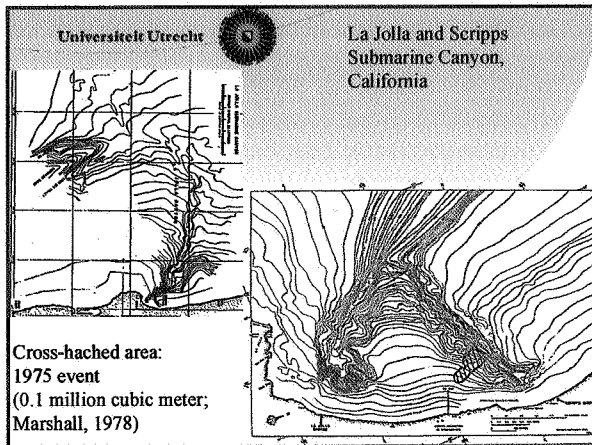
- Aanwijzingen voor bressen uit afzettingen
 - ◆ Massieve zandlagen in turbidiet sequenties (diepzee)
 - ◆ Massieve zandlagen in estuariene sequentie

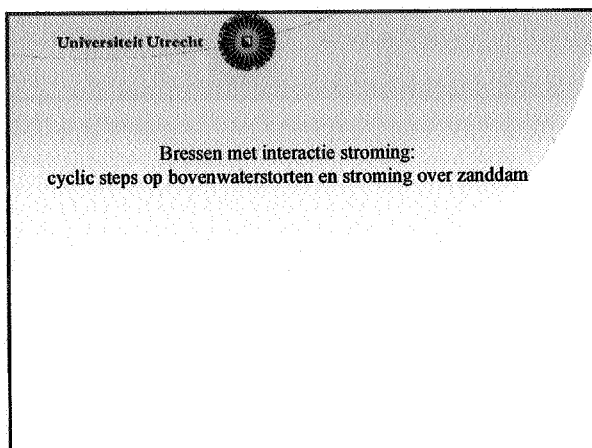
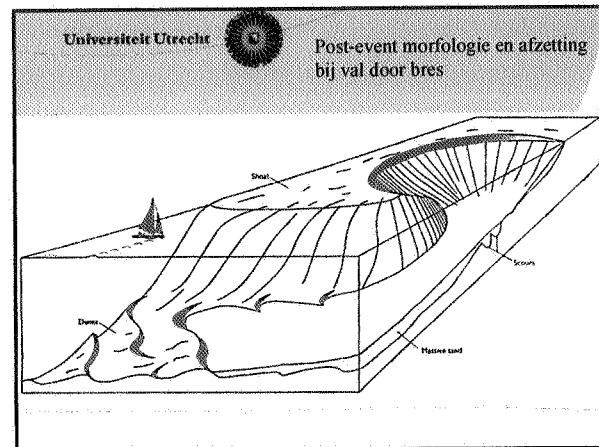
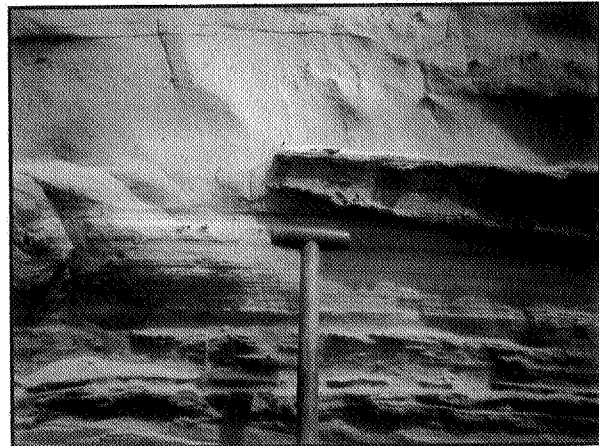
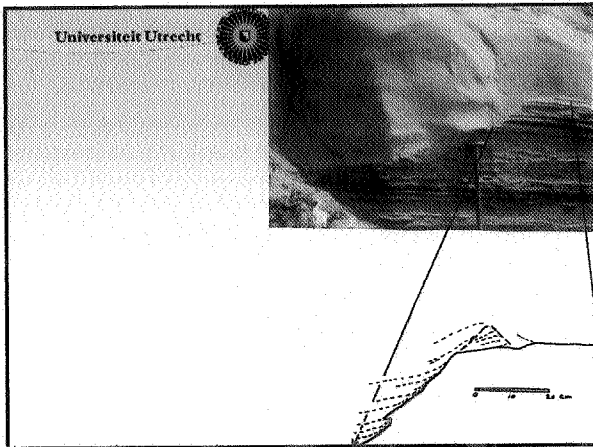


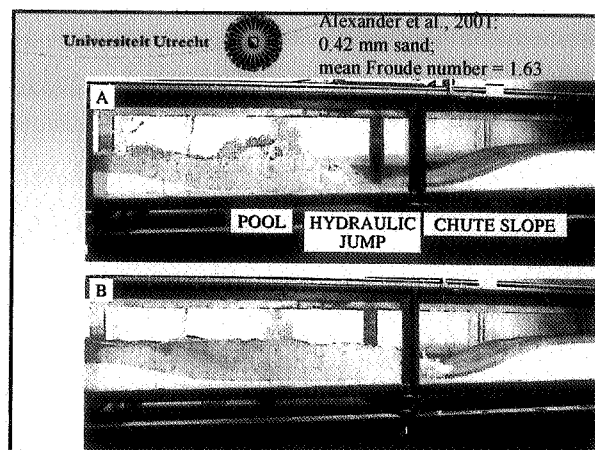
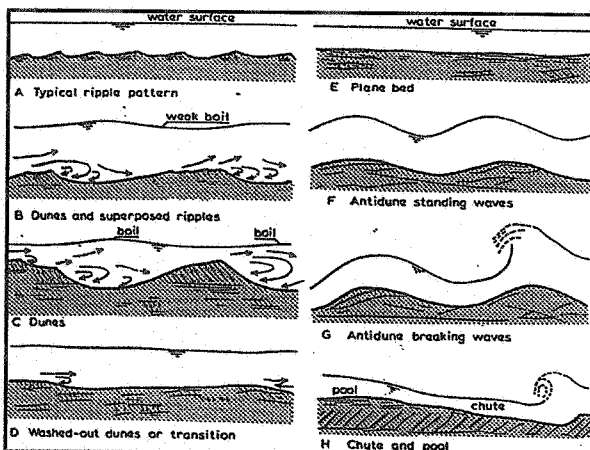
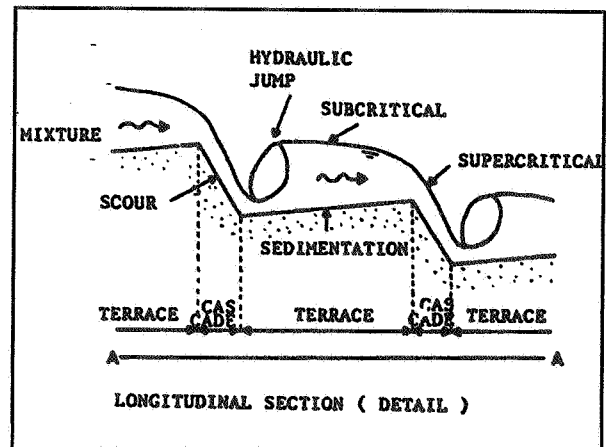
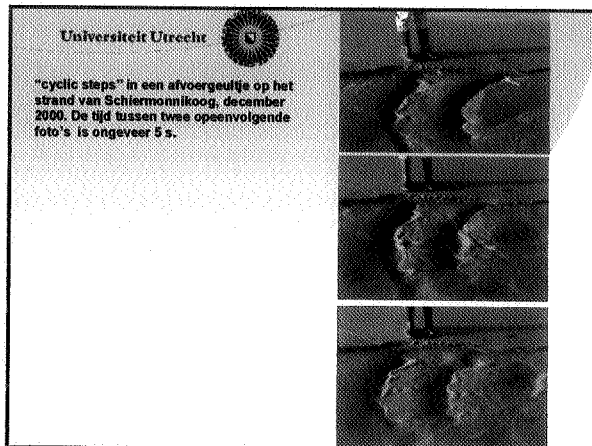
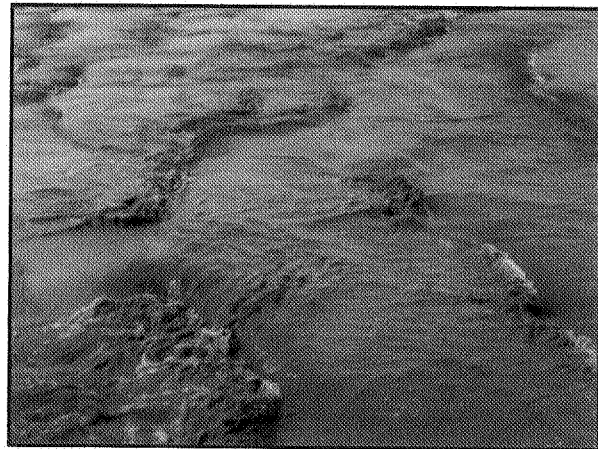
Universiteit Utrecht

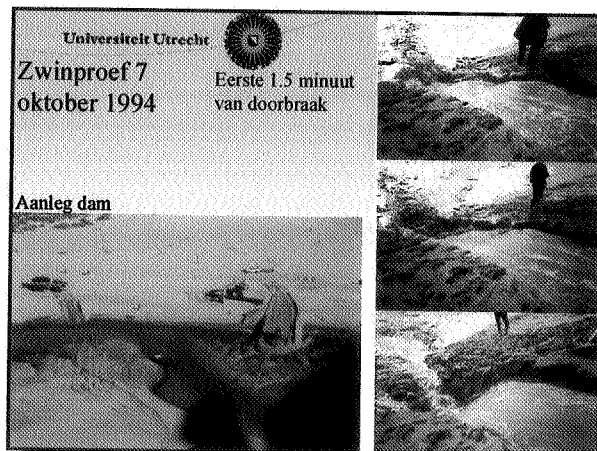
Massieve zandlagen in turbidiet sequenties: aanwijzingen voor "sustained quasi-steady flow"

Schetsen van massieve zandstenen in Tertiaire formaties in Californië en Polen (Kneller & Branney, 1995)









Universiteit Utrecht

Conclusies

- Vallen kunnen ook door een natuurlijk proces van bresgroei ontstaan
- bressen is beperkt tot dilatant zand, maar *niet* tot vastgepakt zand
- cyclic steps is een variant van de chute en pool beddingvorm in fijn zand, en is het gevolg van de manifestatie van het bresproces.

Bressen als vorm van taludinstabiliteit in steile onderwaterhellingen in vastgepakt zand

**Dick Mastbergen
WL|Delft Hydraulics**

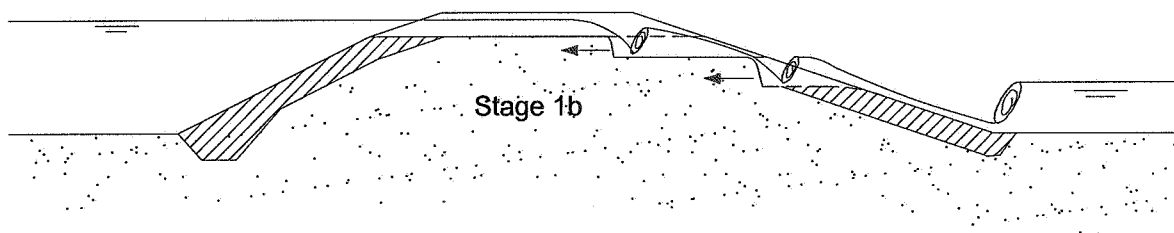
nr. 1

Bresverschijnselen onder / boven water

- **Baggeren: zandwinning met diepzuigers**
- **bresgroei bij dijk- en damdoorbraken,**
- **erosie in geulen op een zandstort, in rivieren en beken bij hoogwaterafvoeren**
- **instabiliteit zandbanken en oevers in rivieren en estuaria**
- **ontwikkeling turbidity currents in submarine canyons en continental slope failures**

nr. 2

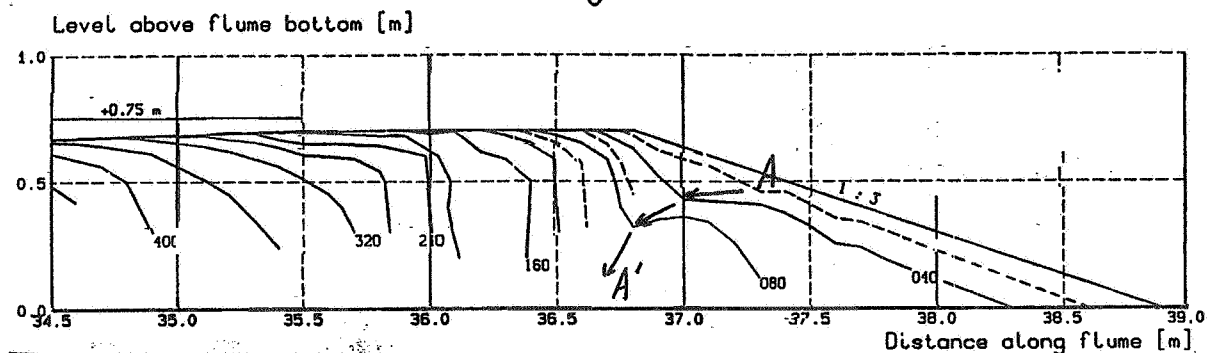
Bresgroei in dijken en geulen diepte en breedte



nr. 3

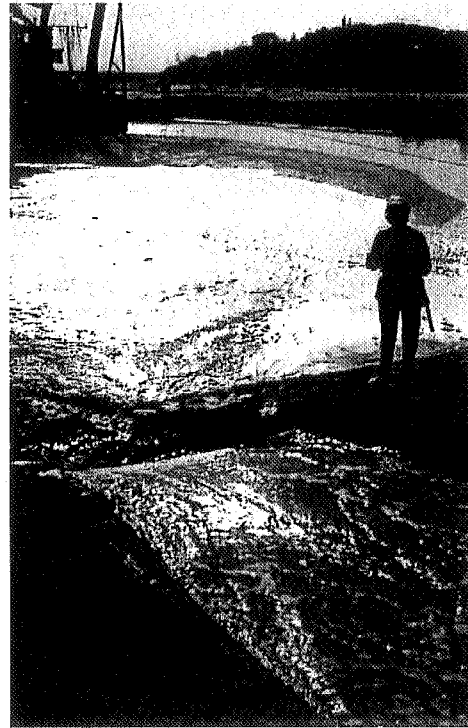
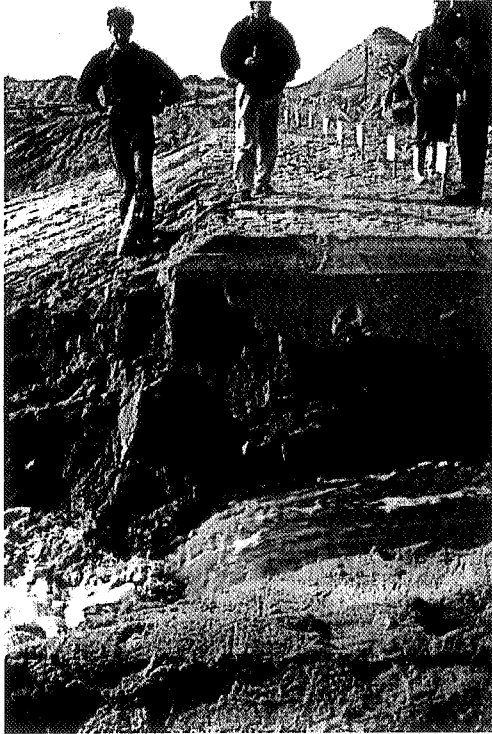
In zandlichamen bij overstroming (proeven WL)

Fig. 2



nr. 4

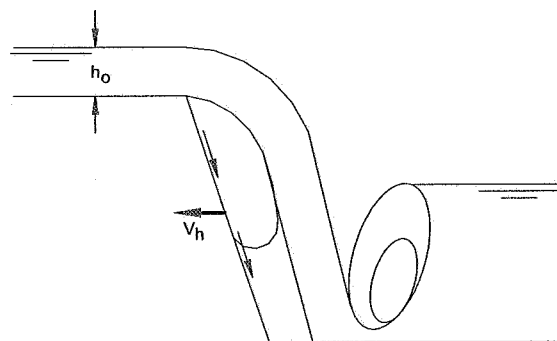
Dijkdoorbraakproef



nr. 5

**Actieve bressen
boven / onder water,
loslating!**

Stage 1, Verdieping



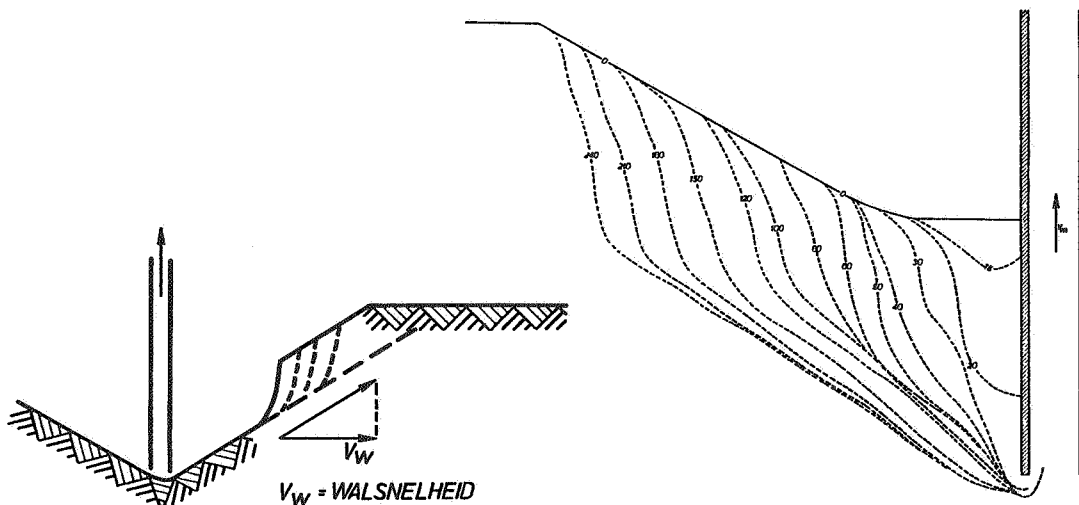
nr. 6

Kenmerken bresproces

- retrogressief oppervlakkig autonoom erosieproces
- geleidelijk afregenen van zand onder invloed van de zwaartekracht langs steil talud
- zand moet lossere pakking aannemen (dilatantie), waardoor onderdruk ontstaat en water in de porien kan indringen
- steile helling tijdelijk stabiel, bij verdwijnen onderdruk treden afschuivingen op van moten zand

nr. 7

Kleinschalige zuigproeven WL: actieve bressen



nr. 8

**Walsnelheid ~ 25 k dus ~ D²
orde enkele mm/s**

$$v_{wal} = - \frac{i + (1 - n_0) \Delta \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\sin(\varphi)}}{\Delta n / k_\lambda}$$

nr. 9

Invloed diepte / breshoogte

- **vorming zand-watermengsel dat als een dichtheidsstroom langs veel flauwere hellingen kan afstromen**
- **daarbij wordt het erosieproces versterkt en neemt de aandrijvende kracht van de stroming toe**
- **e.e.a. afhankelijk van de bodemligging**

nr. 10

Modellering suspensiestroming

3 DV's in u, h en c:

- Impulsvergelijking 1D
- Continuïteit zand en water

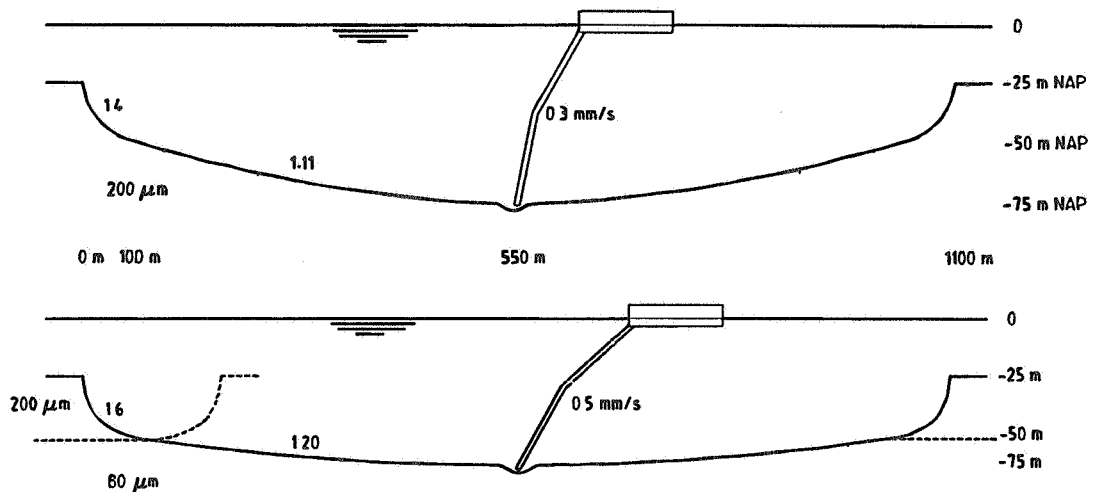
Randvoorwaarden:

- erosie en sedimentatie
- entrainment
- wrijving

nr. 11

Diepe zandwinning

- Taudontwikkeling in grof en fijn zand



nr. 12

Erosieproces in suspensiestroming

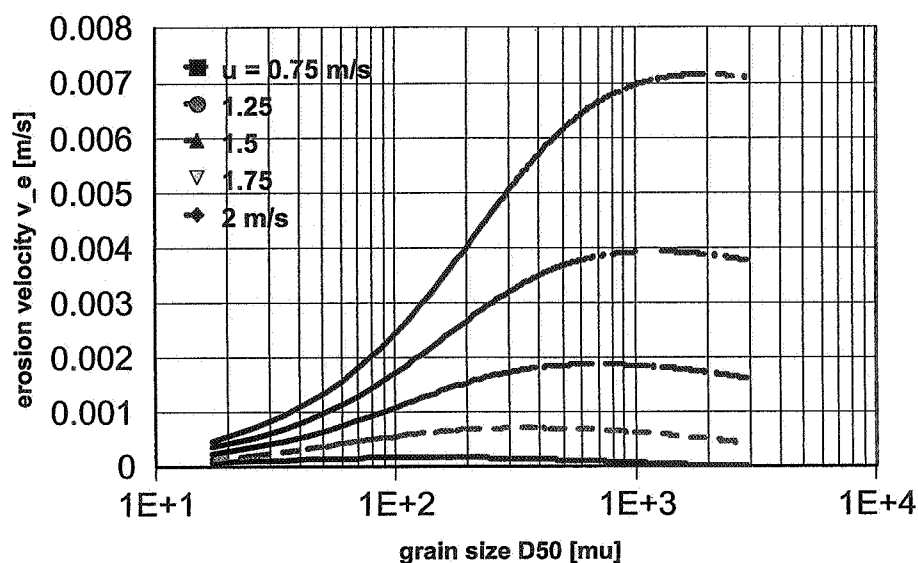
Invloed:

- stromingparameters (snelheid / turbulentie/ schuifspanning)
- bodemhelling
- korreLPARAMETERS (diameter, dichtheid)
- bulkparameters zandbed (pakking, dilatantie, doorlatendheid)

nr. 13

Erosieproces invloed korreldiameter

Sand erosion rate



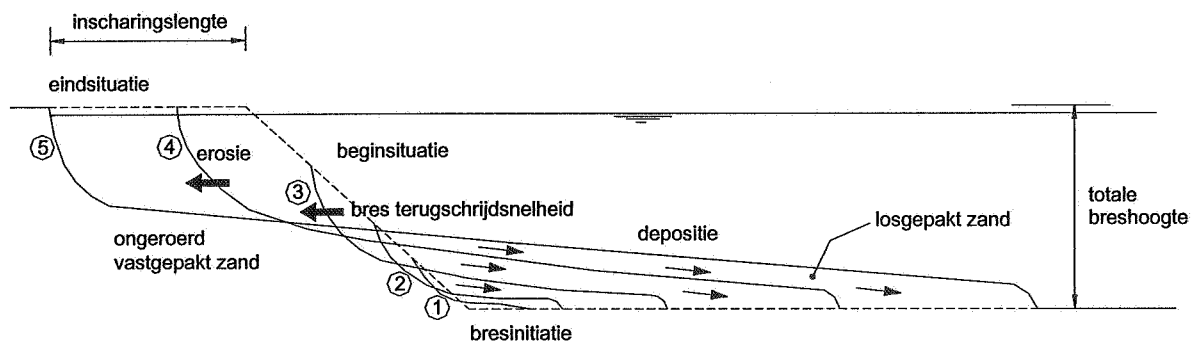
nr. 14

Taludinstabiliteit door bressen

- Inscharingslengte en afschuiving
- transport van materiaal naar dieper gelegen delen
- geleidelijk terugschrijdend autonoom proces (enkele mm/s, dus duurt tenminste enkele uren)
- ook in vastgepakte grovere zanden

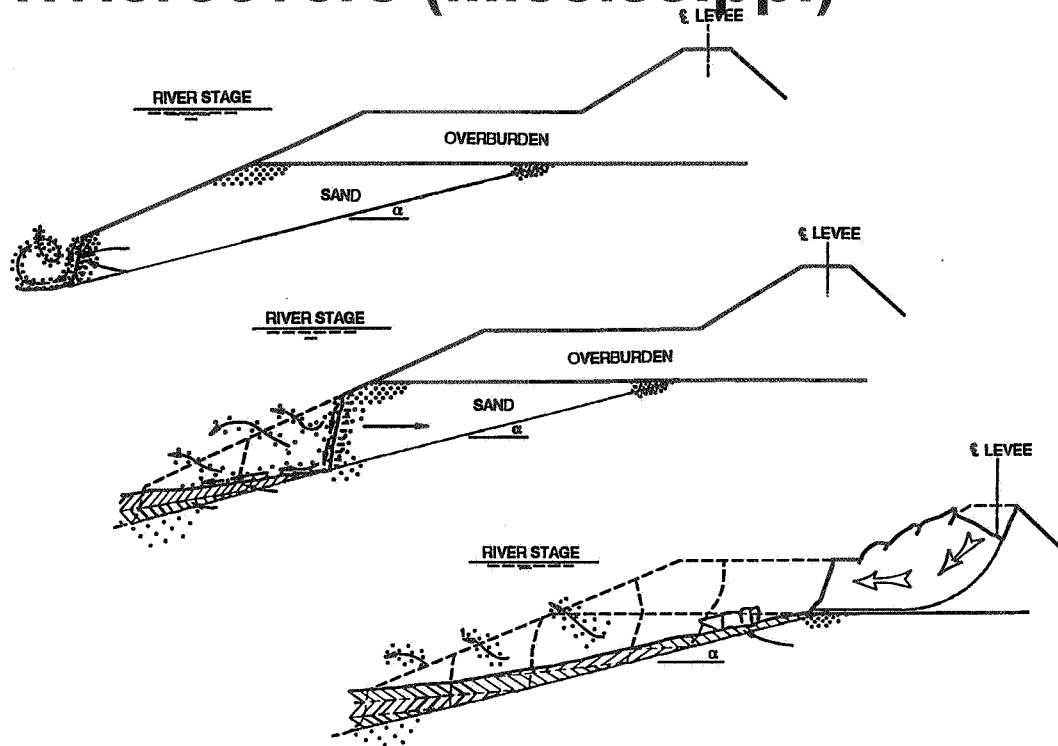
nr. 15

Verloop inbressing



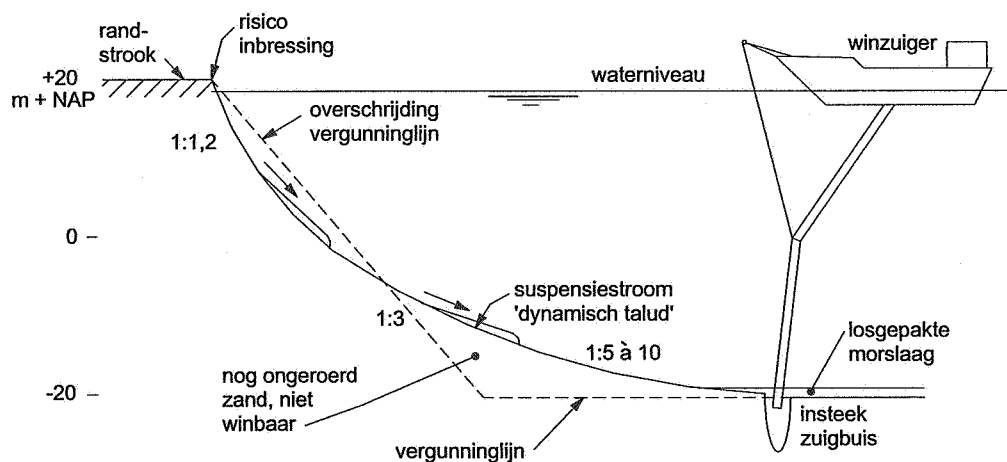
nr. 16

In rivieroevers (Mississippi)



nr. 17

Voorbeeld zandwinning



nr. 18

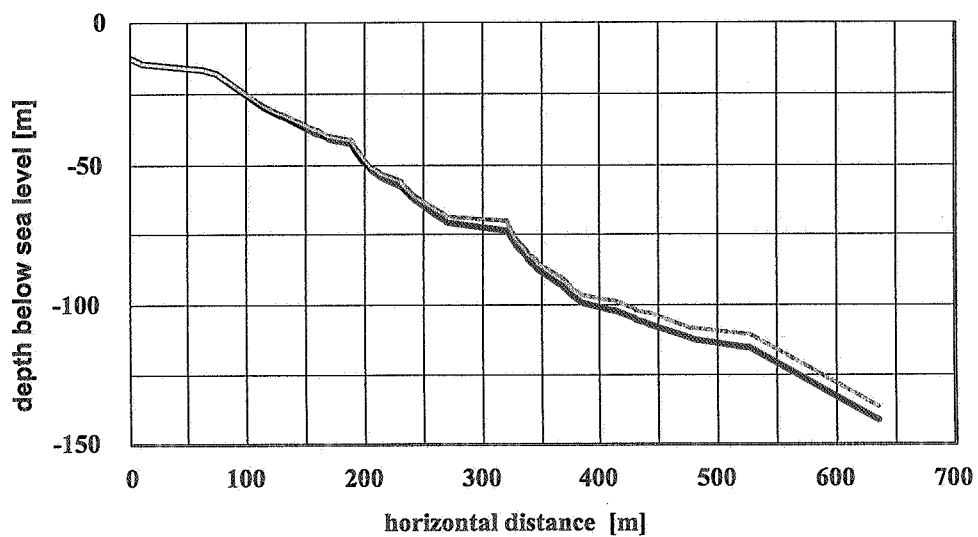
Risico inbressingen



nr. 19

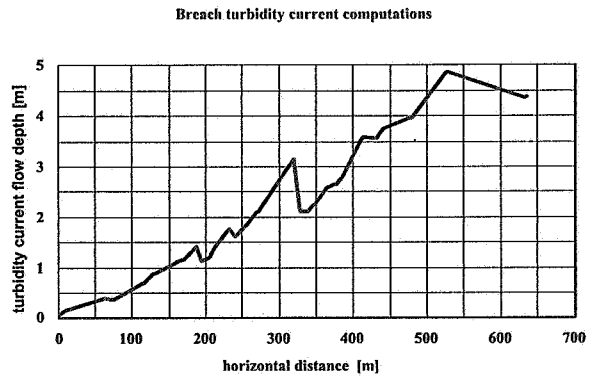
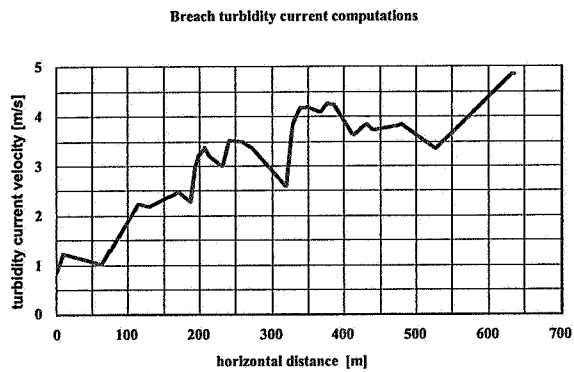
Voorbeeld submariene suspensiestroming

Breach turbidity current computations



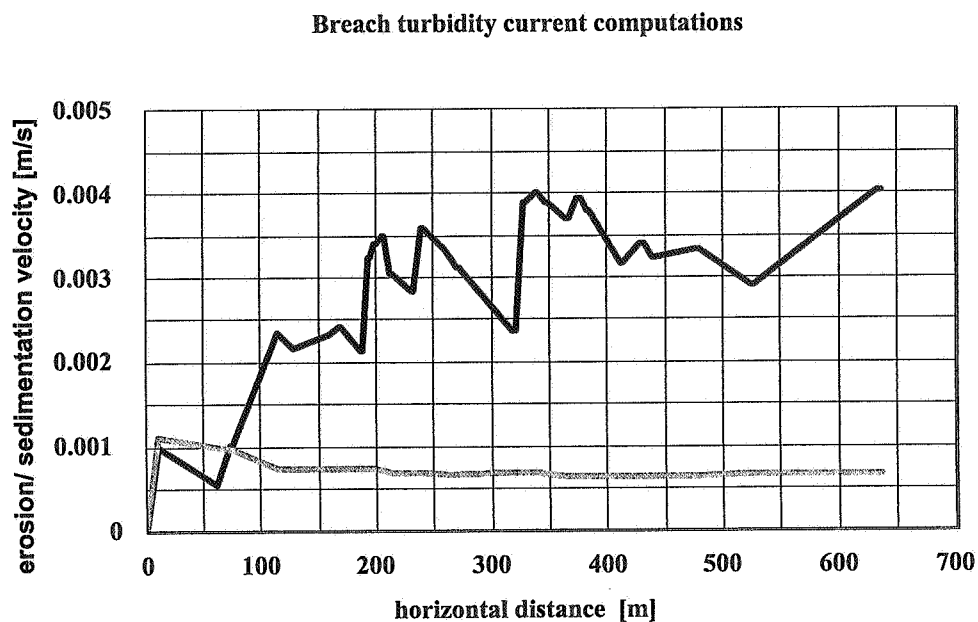
nr. 20

Snelheid u en laagdikte h



nr. 21

Erosie en sedimentatie



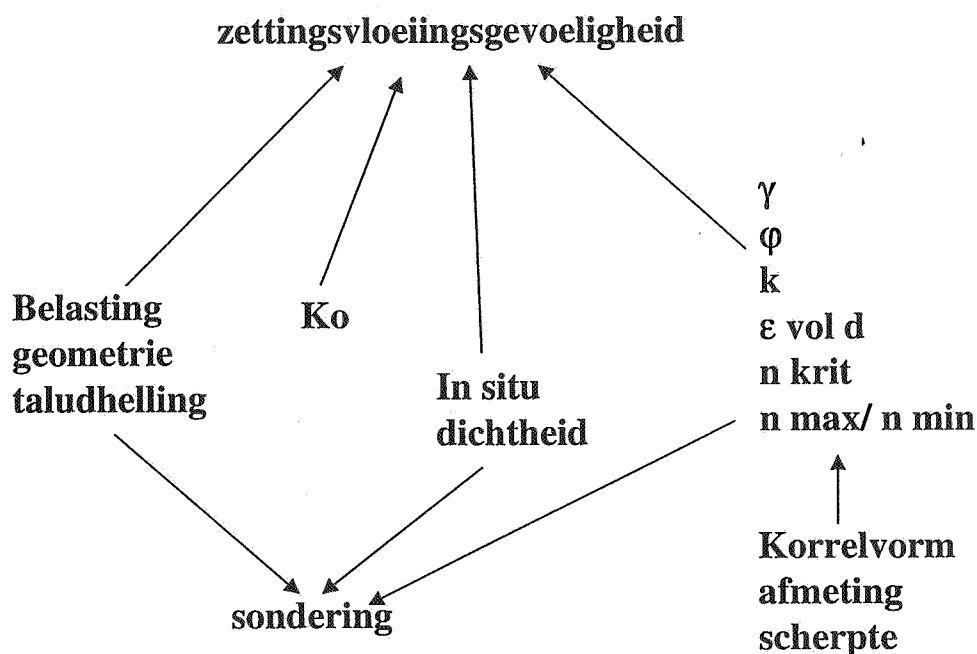
nr. 22

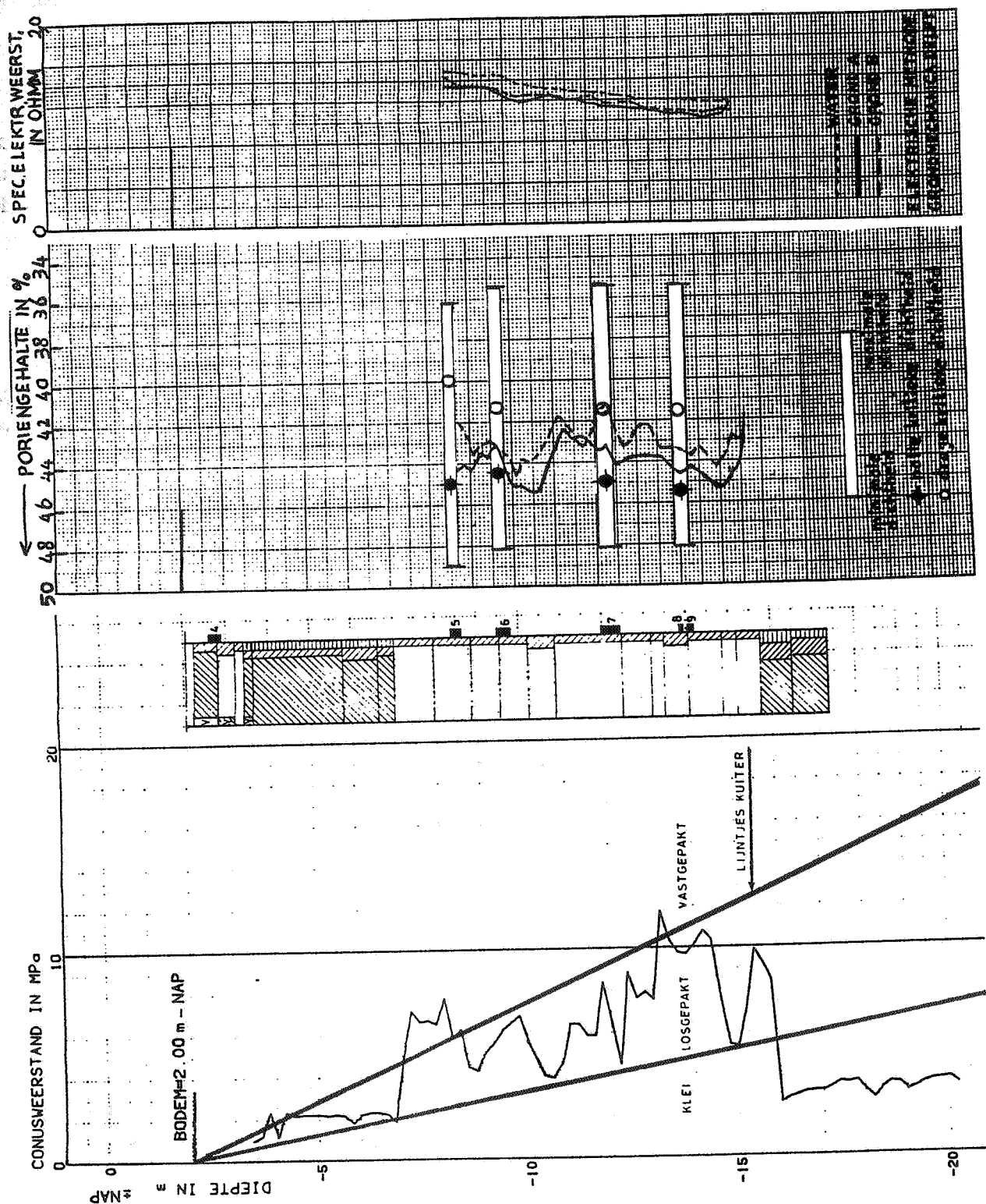
Conclusies

- Een suspensiestroom onder water kan gevoed worden door een actief bressend steil talud, ook in vastgepakt grof zand
- daardoor vindt een terugschrijdend erosieproces plaats dat resulteert in een inscharing en transport van materiaal naar dieper gelegen delen
- hoe adviseren t.a.v. risico taludinstabiliteit?

meten /monitoring

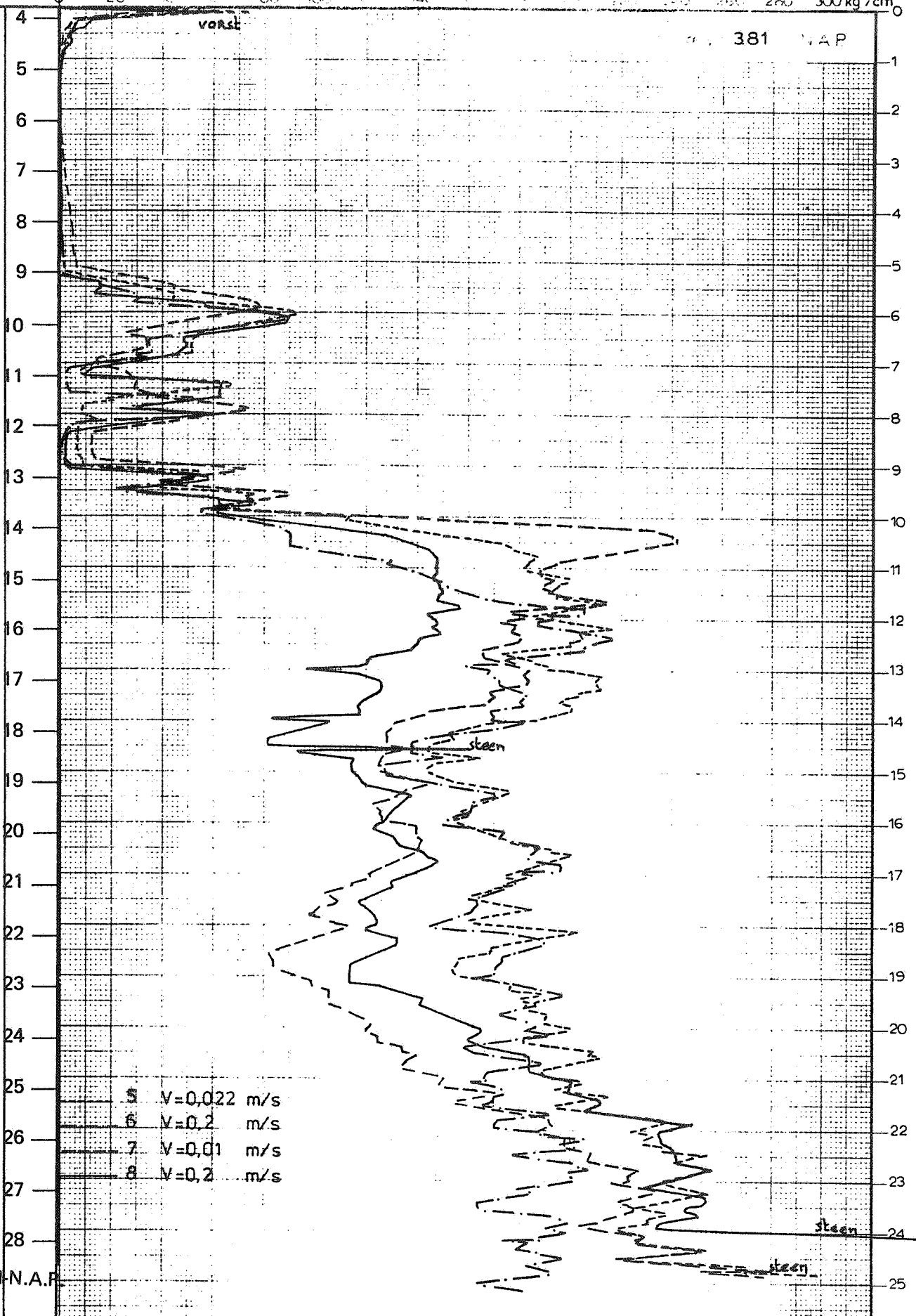
- huidige technieken
 - ervaring
 - sondering
 - snelle waterspanningssondering
 - dichtheidsmeting + lab onderzoek





Figuur III.3 Grondonderzoek en laboratoriumonderzoek voor praktijkvoorbeeld

$q_c(0,2m) < q_c(0,022m/s)$



M.N.A.P.

- 5 V=0,022 m/s
- 6 V=0,2 m/s
- 7 V=0,01 m/s
- 8 V=0,2 m/s

RIJKSDIENST

VOOR DE

DIENST

BIJLAGE 5

hoofdafdeling: STEDEN EN
afdeling: ONDERZOEK

nummer 9824

betreft:

ONDERZOEK SNELHEIDSAFHANKELIJKHEID
SONDEERWEERSTAND
CENTRALE PLAS ALMERE STAD

Y.R.
W.F.E.
10.3.80
E6/O

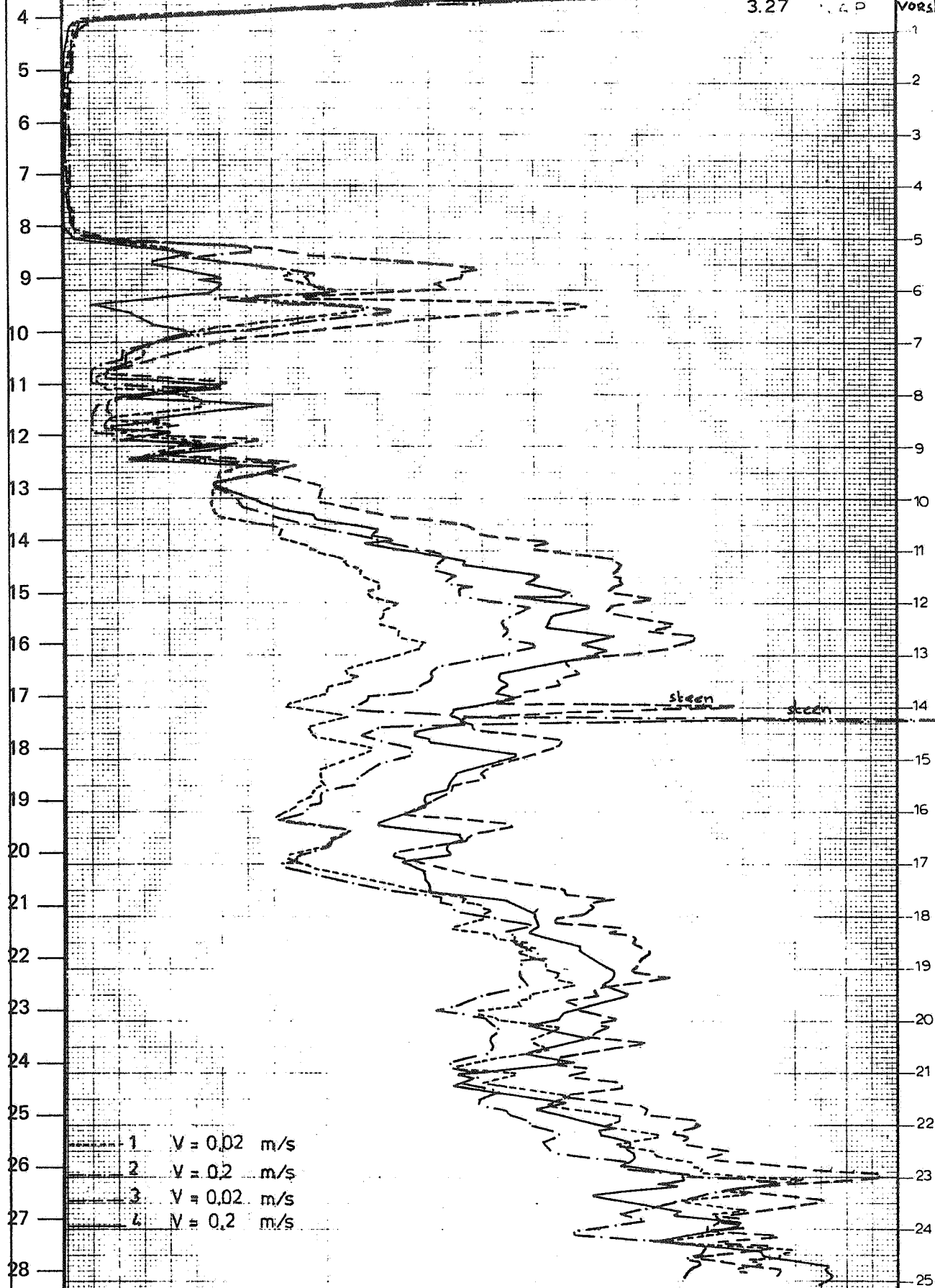
130
5 t/m. 8
167960

m.mv.

3.27

voorst

$q_c(0.02 \text{ m}) < q_c(0.02 \text{ m})$



- 1 $V = 0.02 \text{ m/s}$
- 2 $V = 0.2 \text{ m/s}$
- 3 $V = 0.02 \text{ m/s}$
- 4 $V = 0.2 \text{ m/s}$

M.N.A.P.

RIJKSDIENST

VOOR DE

OLD

BIJLAGE 6

hoofdafdeling: STEDEBOUW

afdeling: ONDERZOEK

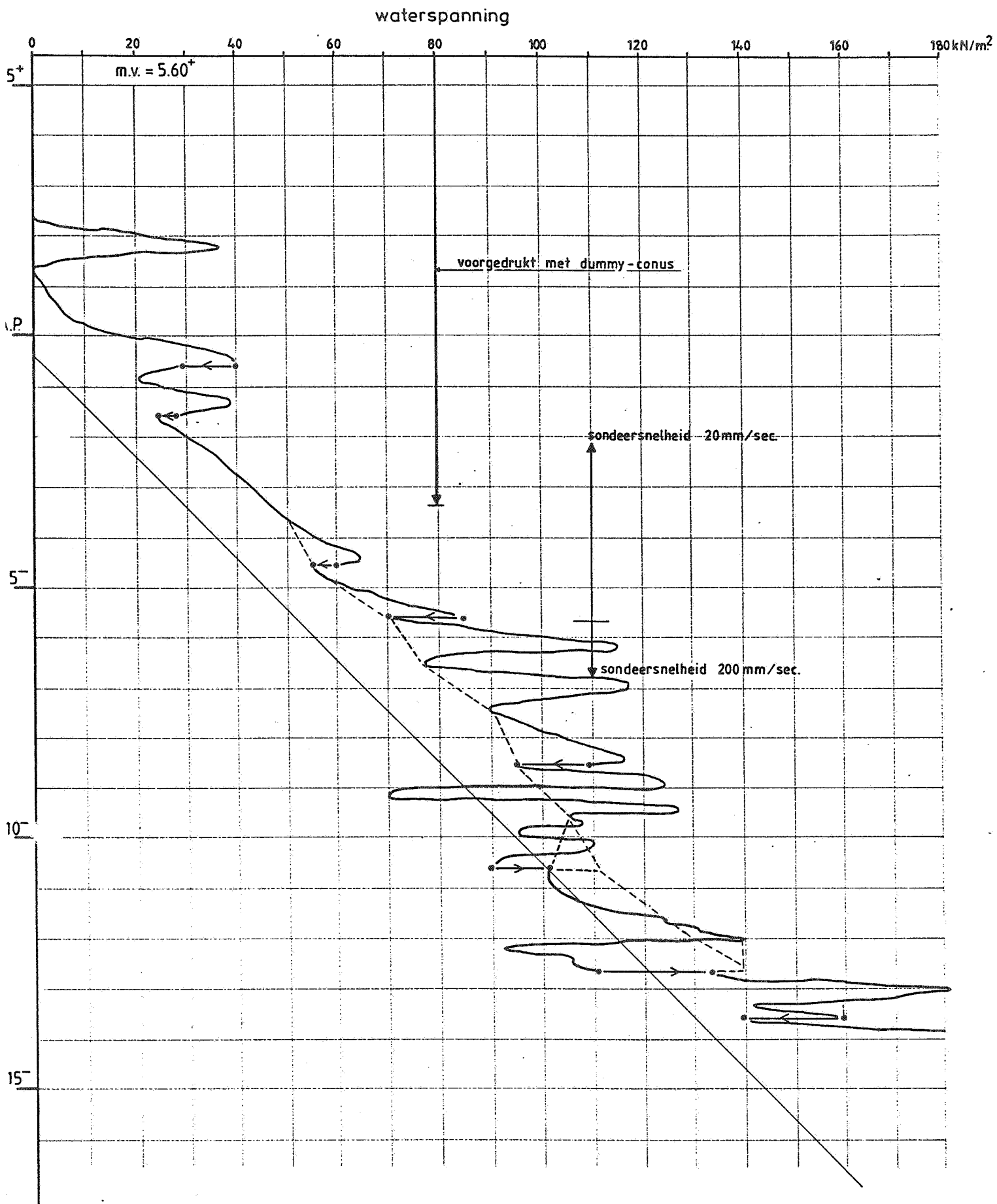
9824

betreft

ONDERZOEK SNELHEIDSAFHANKELIJKHEID
SONDEERWEERSTAND
CENTRALE PLAS ALMERE - STAD

Y.R.
10.3.80
E6/O

131 1t/m⁴
167960

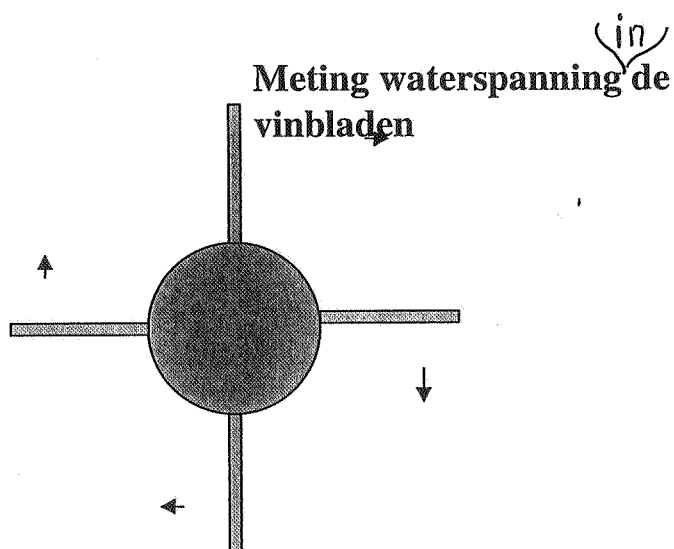


meten/monitoren

- Mogelijke ontwikkelingen
 - “dilatantie vane”
 - pulsating stiffness probe

dilatantie vane

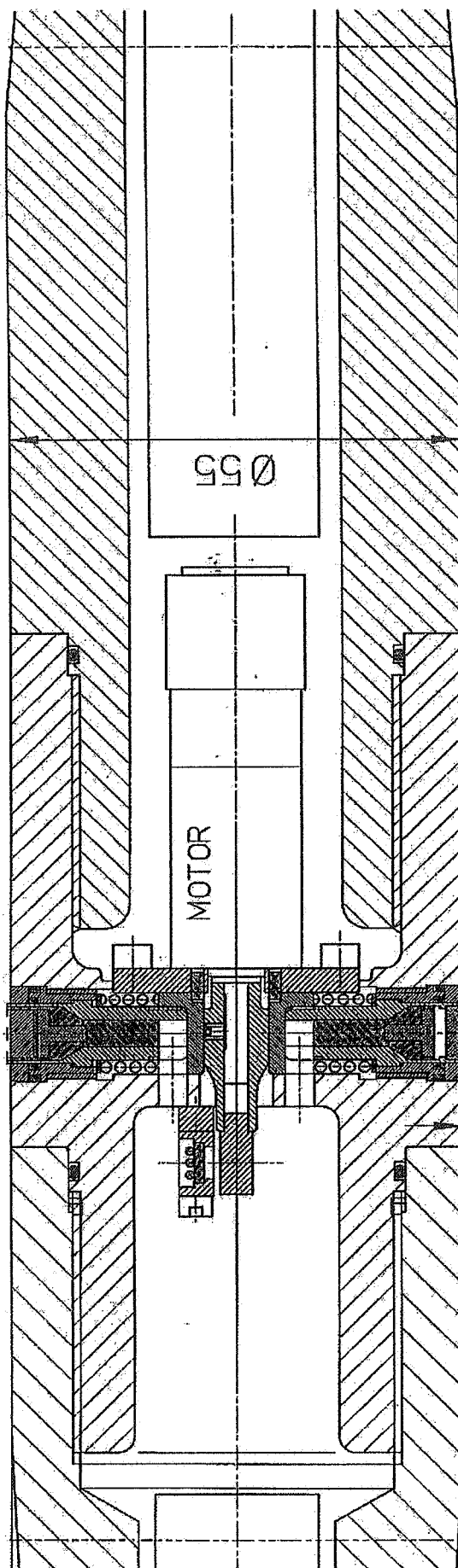
Meetblad
tussen
dummy
boven en
onderblad



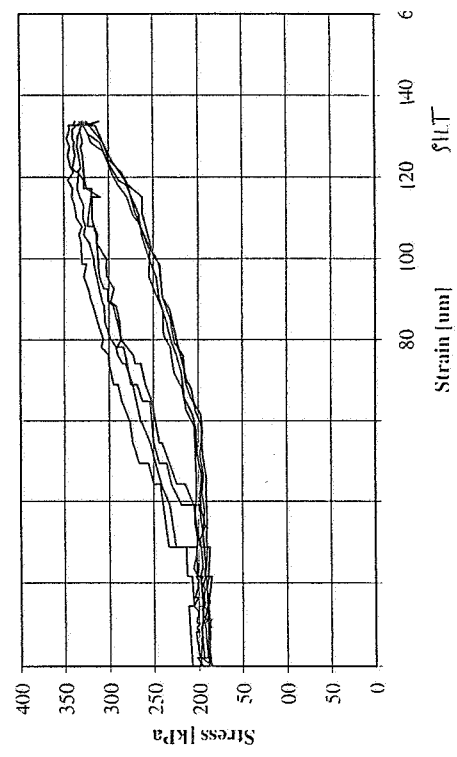
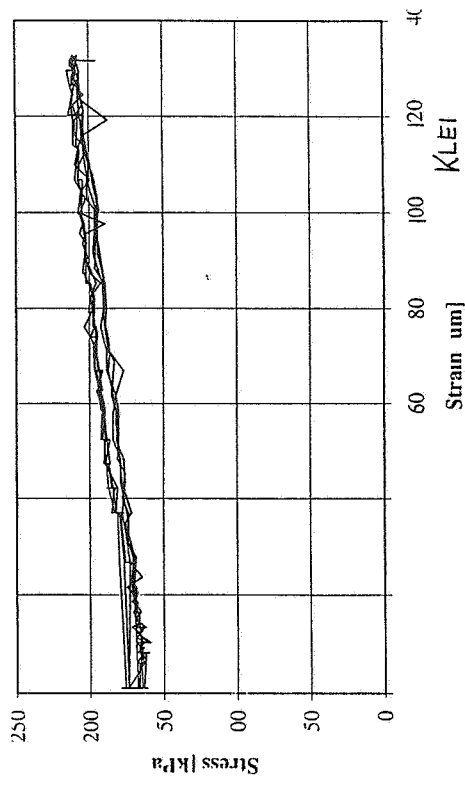
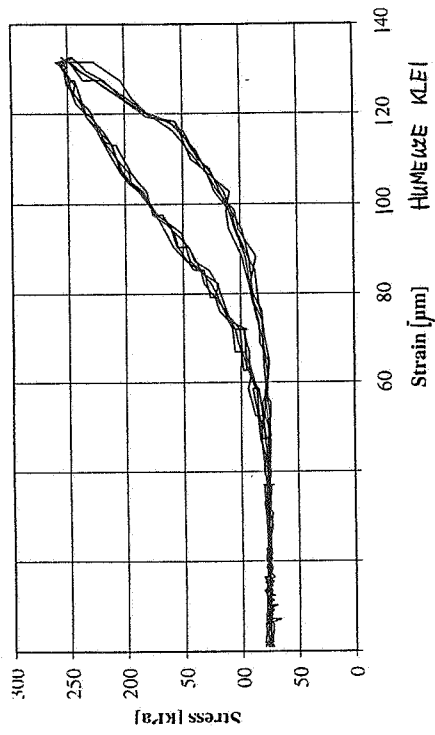
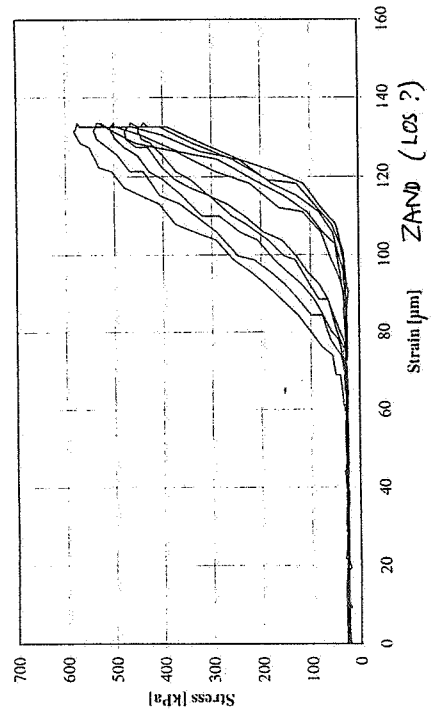
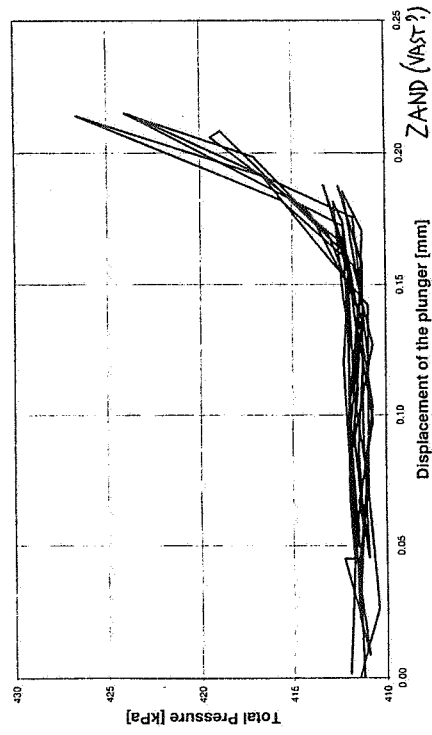
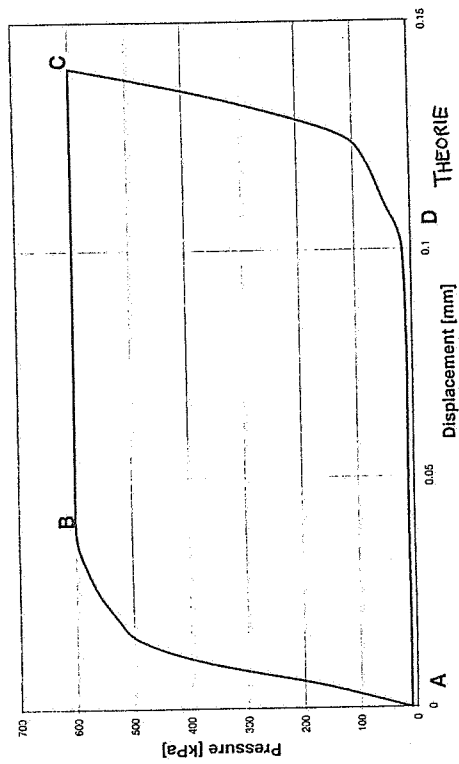
Vin voor het meten van de
dilatantie bij rotatie

pulsating
stiffness probe

Plunger with pressure gauge



Plunger with pore water pressure gauge



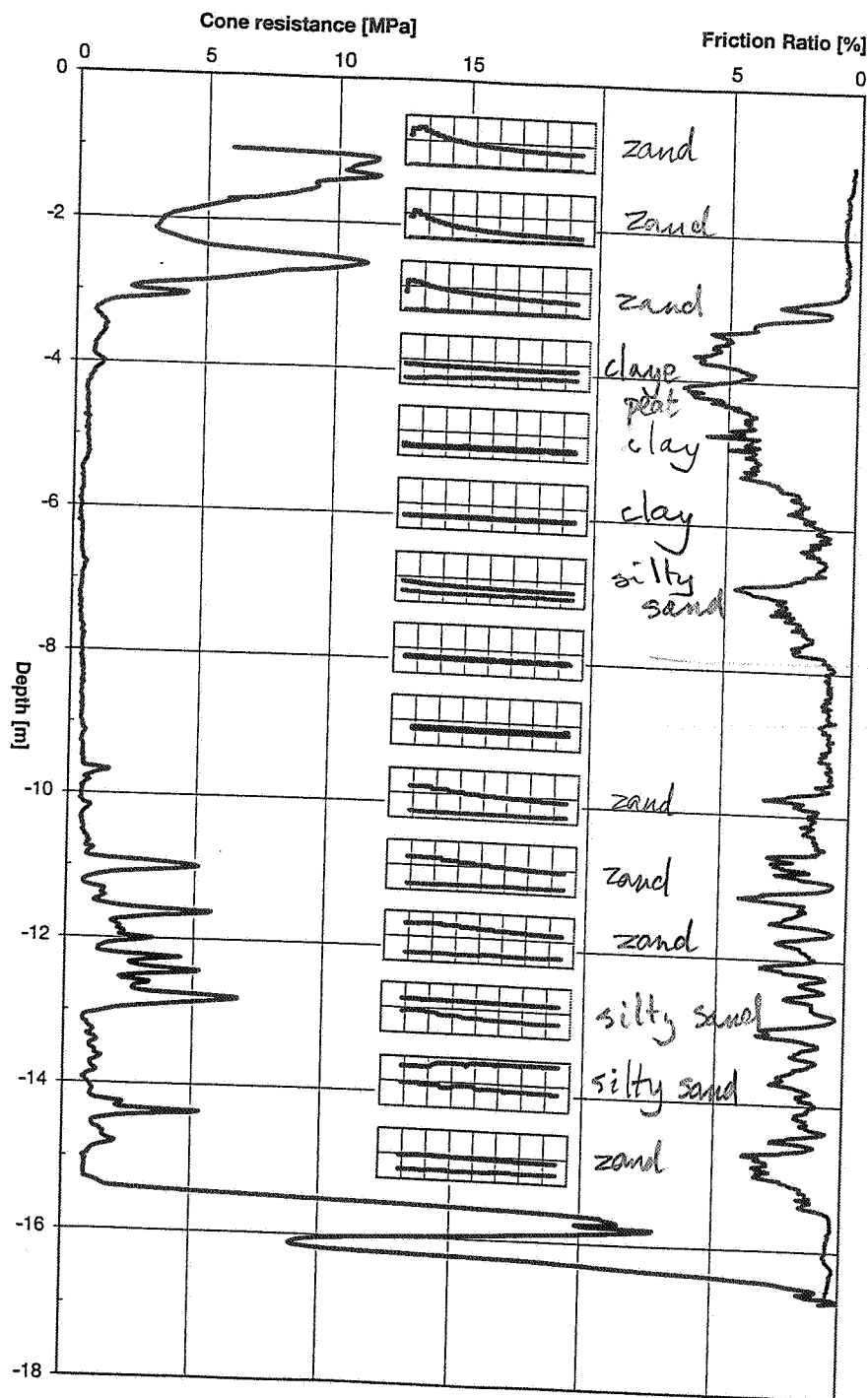


Figure 5: CPT with total pressure (top line of the graphs in the middle of the CPT) and pore water pressure (lower line in the graphs) on top of the plungers at rest of the CPT

silty sand $\Delta u = <$
 $\Delta \sigma = <$

438

sand = $\Delta u = \text{constant}$

$\Delta \sigma_{\text{tot}} <$

clay/peat $\Delta u >$

$\Delta \sigma = \text{constant}$

clay $\Delta u = \text{constant}$
 $\Delta \sigma = \text{constant}$

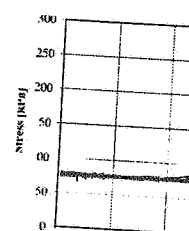
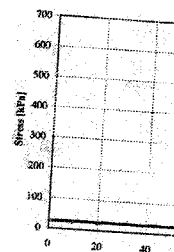


Figure 6, 7: Stress strain

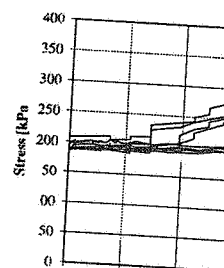
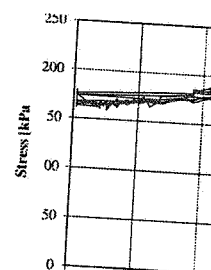
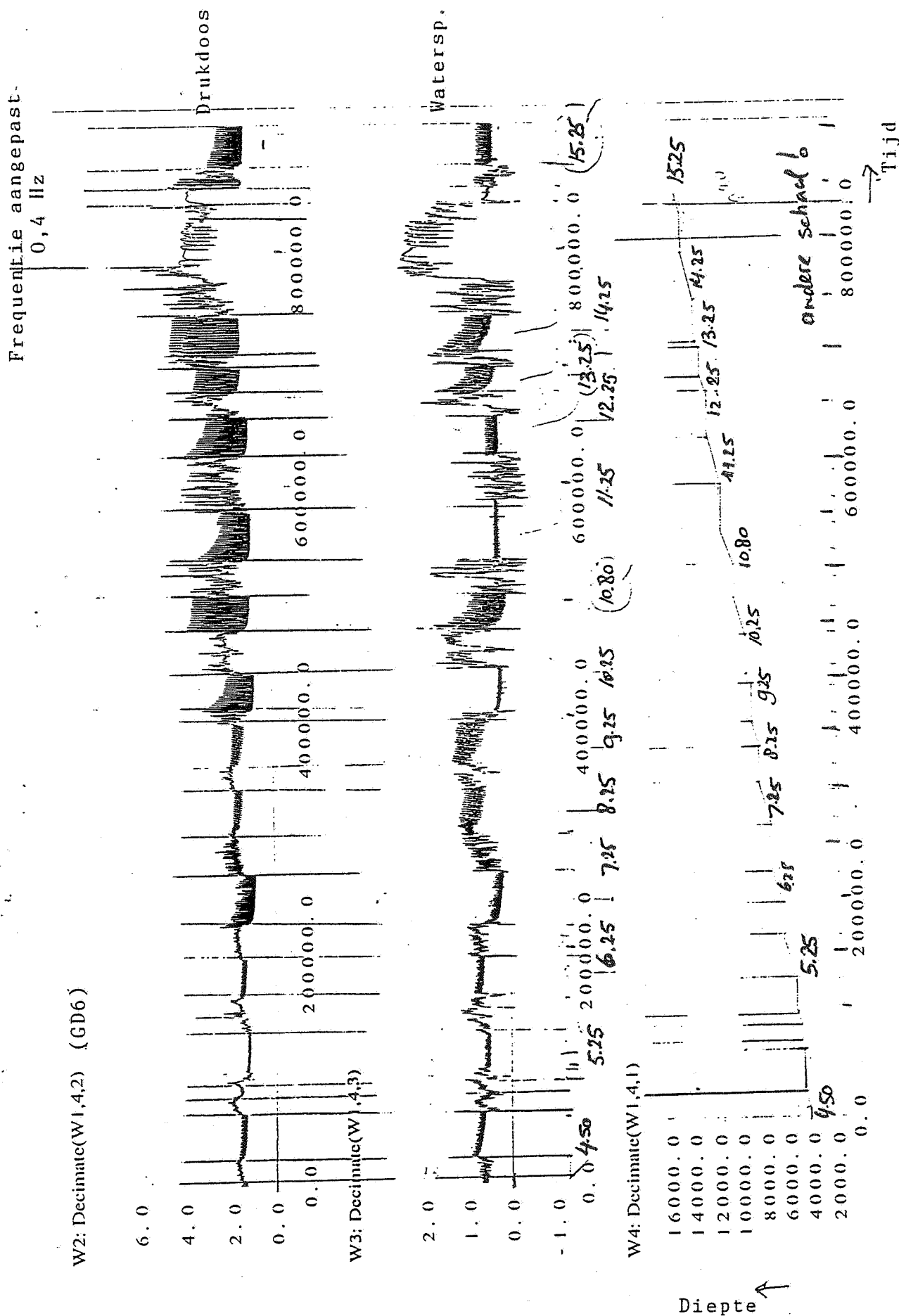


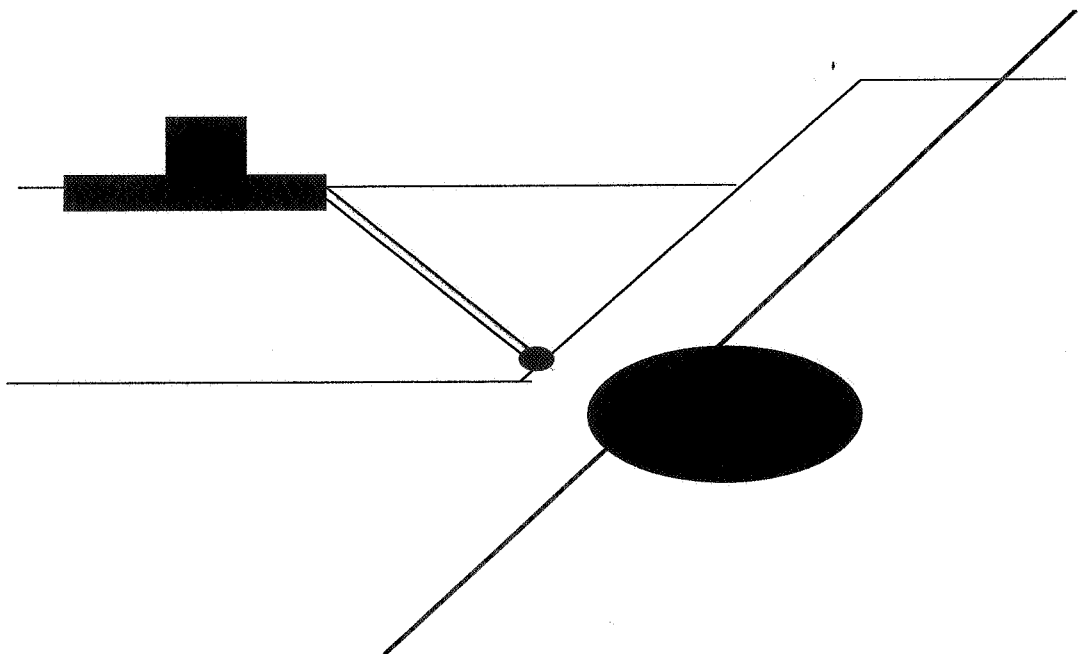
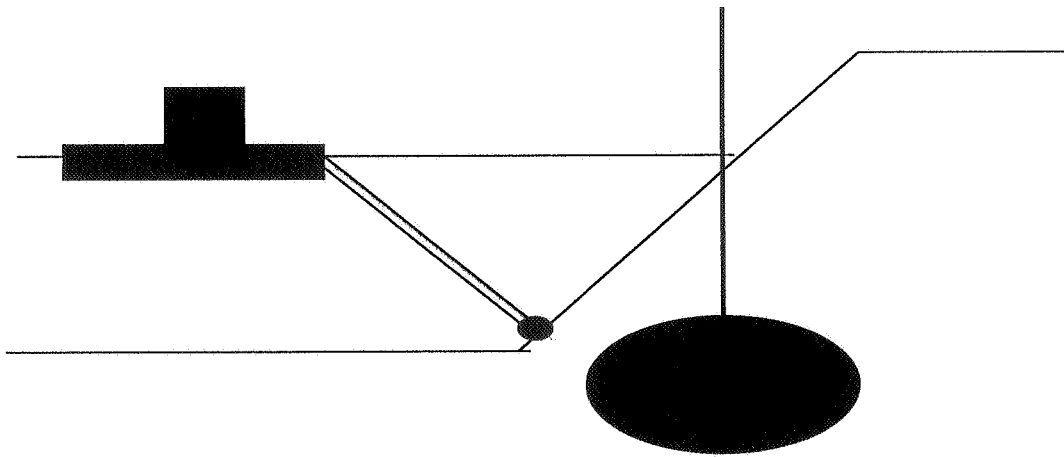
Figure 8, 9: Stress strain re

Locally these values di
 Stiffness probe shows hi
 the stiffness measured
 coincide with the PSP sti



meten/monitoring

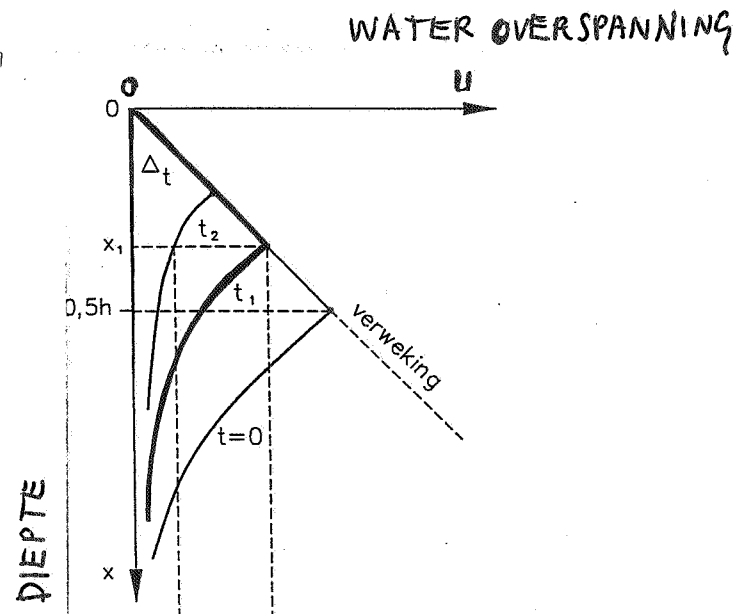
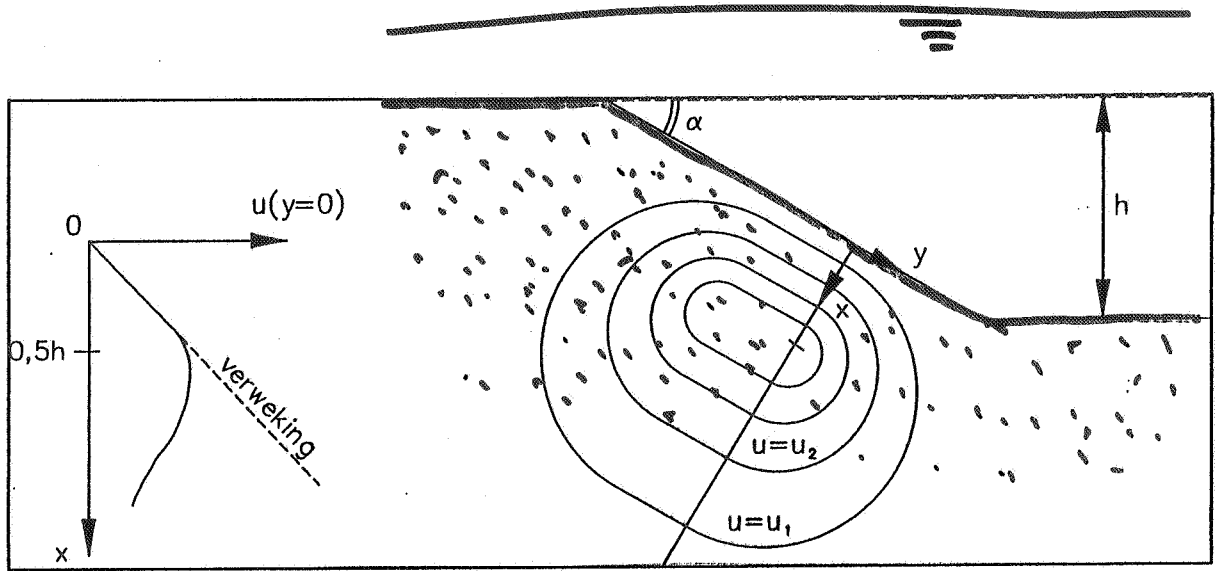
- waterspanningsmeting
- vervormingsmeting

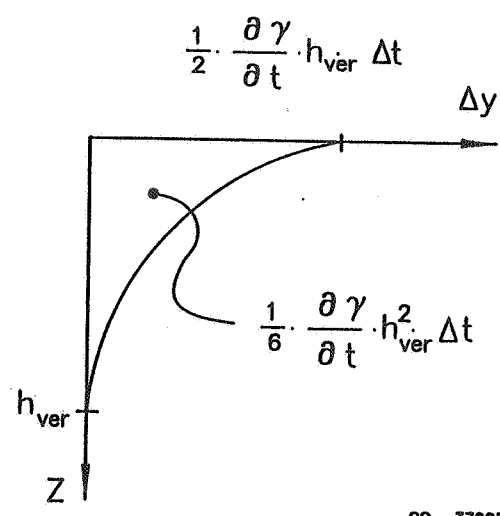
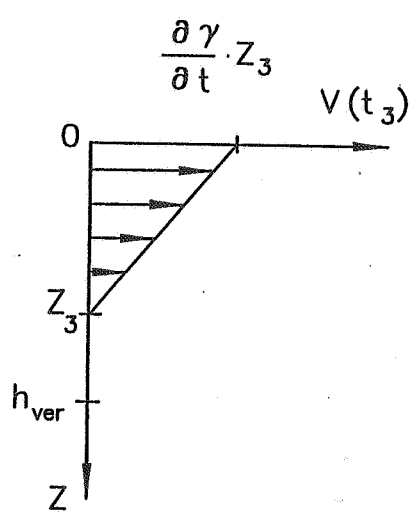


BIJLAGE 7

M.B. de Groot

①

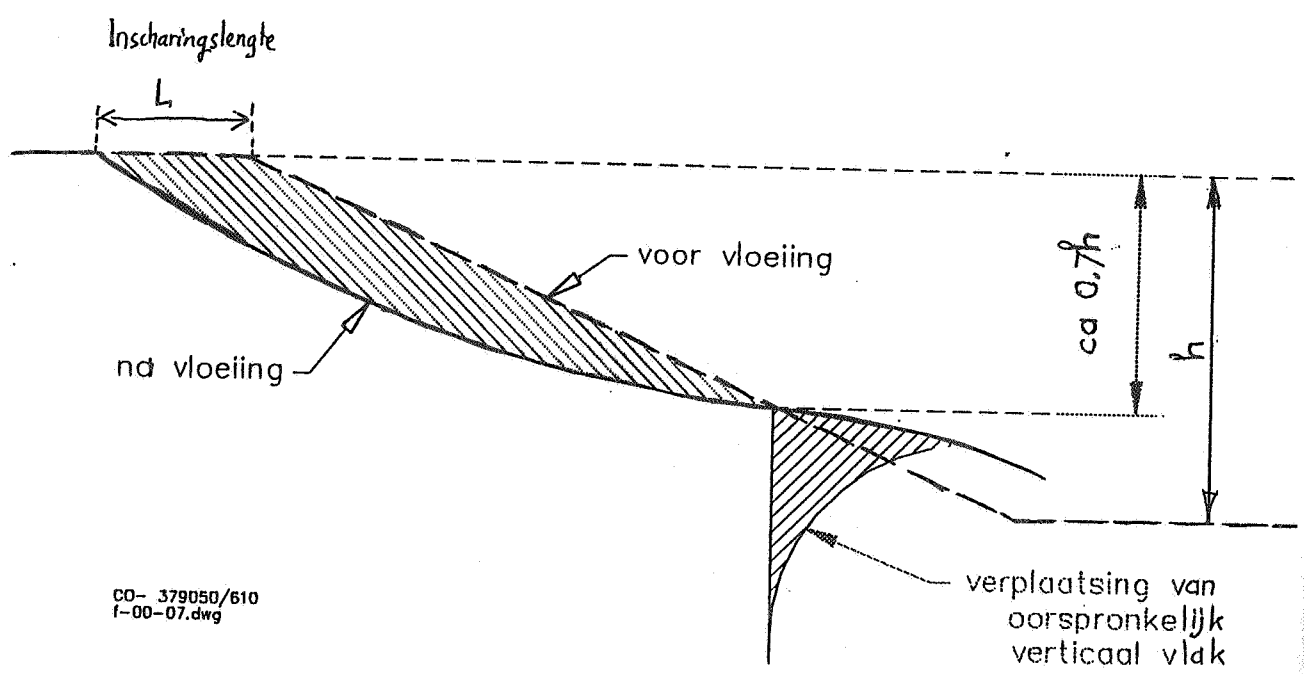




CO- 379050
F-00-08.dwg

VISKEUZE STROMING

RESULTERENDE VERPLAATSING



CO- 379050/610
f-00-07.dwg

Grondverplaatsing bij vloeiing