

**VALANK**  
**Vallende ankers op**  
**tunneldaken**

**CO-363120/123**  
**januari 1999**



**VALANK**  
Vallende ankers op tunneldaken

CO-363120/123  
januari 1999  
Bijn/Lug

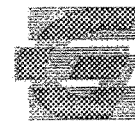
Opgesteld in opdracht van:  
Bouwdienst Rijkswaterstaat  
Hoofdafdeling Droge Infrastructuur  
Postbus 20000  
3502 LA Utrecht

**AFDELING FUNDERINGSTECHNIEK EN ONDERGRONDSE WERKEN**

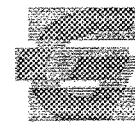
projectleider: ir. J.L. Bijlagte  
projectbegeleider: ir. H.J. Luger

**GRONDMECHANICA DELFT**  
Stieltjesweg 2, 2628 CK DELFT  
Postbus 69, 2600 AB DELFT

Telefoon (015) 69 35 00  
Telefax (015) 61 08 21  
Postbank 234342  
Bank MeesPierson NV  
Rek.nr. 25.92.35.911

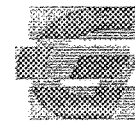


Rapport nr.: CO-363120/123	Datum rapport: januari 1999		
Titel en sub-titel: Vallende ankers op tunneldaken	Behandelende afdeling: Funderingstechniek en Ondergrondse Werken		
	Projectnaam: VALANK		
Projectleider(s): ir. J.L. Bij nagte	Projectbegeleider(s): ir. H.J. Luger		
Naam en adres opdrachtgever: Bouwdienst Rijkswaterstaat Hoofdafdeling Droge Infrastructuur Postbus 20000 3502 LA Utrecht	Referentie opdrachtgever: 97 000530		
	Verzonden in: 3 -voud		
	Type rapport: onderzoeksrapport		
<b>Samenvatting rapport:</b> In opdracht van de Bouwdienst Rijkswaterstaat Utrecht is door Grondmechanica Delft onderzoek gedaan naar het indringmechanisme van een vallend anker in een afdekkende laag op een tunneldak. Dit rapport geeft de resultaten van de vijfde fase van het VALANK project weer. In deze fase van het onderzoek is gebruik gemaakt van een zgn. dipoolmodel. Dit analytische model is uitgewerkt in een Pascal programma. De resultaten van de analyses die hiermee zijn uitgevoerd zijn vertaald naar ontwerpgrafieken. De ontwerpgrafieken geven voor verschillende anker massa's, valsnelheden en diktes van de afdeklaag de resulterende maximale kracht, de einddiepte waar het anker stopt en in het geval van raken de eindsnelheid van het anker.			
<b>Opmerkingen:</b>			
Trefwoorden: Berekeningen, ankers Grote vervormingen, tunnels	Verspreiding: Bouwdienst Rijkswaterstaat: 3 exemplaren TNO: 1 exemplaar		
Opgeslagen op optische disk onder titel: N:\Nuser.afd\bijn\363120\CO363120.123.doc	Aantal blz.:		
Versie: 0	Datum: 1999-01-20	Opgesteld door: ir. J.L. Bij nagte 	Gecontroleerd door: ir. H.J. Luger 



## INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	1
2	Model beschrijving	3
	2.1 Inleiding	3
	2.2 Strain-path methode	3
3	Theoretische grondslagen rekenmodel	7
	3.1 Inleiding	7
	3.2 Ongedraineerde schuifweerstand	7
	3.3 Plastische energie-dissipatie	8
	3.4 Dynamische effecten	9
	3.5 Energiebalans en penetratiediepte van het anker	9
	3.6 Snelheidsverandering van het anker	10
	3.7 Relatie rekenstap-tijd	11
	3.8 Consolidatie-effecten	11
	3.9 Kracht van het anker op de grond en het tunneldak	11
	0.7 Consolidatie-effecten	11
4	Uitgevoerde berekeningen	13
	4.1 Uitgangspunten	13
	4.2 Bepaling debieten gerelateerd aan de ankermassa	13
	4.3 Verificatie berekening	14
	4.4 Problemen bij de berekeningen	15
	4.5 Methode van bepaling van het laatste deel van de kracht-indringsrelatie.	15
	4.6 Voorbeeld gebruik ontwerpgrafieken	15
5	Conclusies en aanbevelingen	17



## BIJLAGEN

- Bijlage 1: Ontwerpgrafiek voor een dekking van 0,5 m
- Bijlage 2: Ontwerpgrafiek voor een dekking van 1,0 m
- Bijlage 3: Ontwerpgrafiek voor een dekking van 1,5 m
- Bijlage 4: Ontwerpgrafiek voor een dekking van 2,0 m
- Bijlage 5: Voorbeeld gebruik ontwerpgrafiek
- Bijlage 6: Source van het programma
- Bijlage 7: Mesh in de initiële situatie.
- Bijlage 8: Mesh in de vervormde situatie.
- Bijlage 9: Mesh in de vervormde situatie, met berekende schuifsterkte per element.

## 1 Inleiding

Door de Bouwdienst Rijkswaterstaat is aan Grondmechanica Delft (GD) opdracht verleend voor het uitvoeren van berekeningen en het maken van ontwerpgrafieken voor het onderzoeksproject 'vallend scheepsanker op een tunneldak' (VALANK). De berekeningen betreffen het analyseren van de kracht die op het tunneldak wordt uitgeoefend met behulp van een programma met een zgn. dipoolmodel.

In een eerder stadium is een literatuurstudie in opdracht van de Bouwdienst Rijkswaterstaat uitgevoerd door TNO in het kader van het VALANK onderzoek. Uit de literatuurstudie bleek dat over het bezwijkgedrag van grond ten gevolge van dynamische belastingen weinig bekend is. Omdat de beschermingslaag op tunneldaken meestal uit zand of grind bestaat is door de Bouwdienst besloten om het bezwijkgedrag van een beschermingslaag ten gevolge van een penetrerend anker te laten analyseren om zodoende betere voorspellingen te kunnen maken van de op een tunneldak werkende belastingen.

Door Grondmechanica Delft is in een eerste fase van het onderzoek een analyse van een in een grondlaag indringend anker uitgevoerd met behulp van een daartoe ontwikkeld rekenmodel dat is gebaseerd op de 'strain-path' methode. Tevens zijn berekeningen uitgevoerd door TNO met het programma TNO-WAVE. Deze fase is weergegeven in een rapport met kenmerk CO-363120/33 d.d. maart 1996. De belangrijkste conclusies die uit deze fase van het onderzoek zijn gekomen zijn:

1. het penetratieproces van een anker in zand of grind kan als ongedraineerd worden beschouwd
2. de kinetische energie van de gronddeeltjes is niet verwaarloosbaar.

De tweede fase van het onderzoek heeft bestaan uit het bestuderen van bestaande experimenten en het maken van voorstellen voor verdere aanpak van het onderzoek. Deze fase is weergegeven in een rapport met kenmerk CO-363120/55 d.d. mei 1996. In bijlage A van het betreffende rapport wordt door TNO en GD voorgesteld om vervolgberekeningen met DIEKA uit te voeren.

In de derde fase van het onderzoek zijn aanpassingen aangebracht in het in DIEKA aanwezige grondmodel. Met het aangepaste model zijn vervolgens berekeningen uitgevoerd met betrekking tot in het verleden uitgevoerde proeven bij de Liefkenshoektunnel. De resultaten van de DIEKA berekeningen zijn gebruikt in een energiebalans. Hiermee is het verloop van het penetratieproces in de tijd bepaald.

In de vierde fase van het onderzoek zijn berekeningen gemaakt met DIEKA waarbij bleek dat bij het toepassen van dit model nog diverse problemen bestaan die een algemeen gebruik voorlopig nog in de weg staan (laagovergangen met grote stijfheidsverschillen, eigen gewicht van de grond).

In deze fase van het onderzoek is daarom weer teruggegrepen naar het 'strain-path' model. Dit model is waar nodig aangepast en gebruikt voor het uitvoeren van een aantal penetratie berekeningen en het opstellen van ontwerpgrafieken

De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in de afbeeldingen 1 tot en met 4. De afbeeldingen 1 tot en met 3 geven de resultaten van de berekeningen voor de verschillende penetratiedieptes van 10, 20 en 30 mm. De afbeelding 4 geeft de resultaten van de berekeningen voor de verschillende penetratiedieptes van 10, 20 en 30 mm. De afbeeldingen 1 tot en met 4 geven de resultaten van de berekeningen voor de verschillende penetratiedieptes van 10, 20 en 30 mm.

De afbeeldingen 1 tot en met 4 geven de resultaten van de berekeningen voor de verschillende penetratiedieptes van 10, 20 en 30 mm. De afbeeldingen 1 tot en met 4 geven de resultaten van de berekeningen voor de verschillende penetratiedieptes van 10, 20 en 30 mm. De afbeeldingen 1 tot en met 4 geven de resultaten van de berekeningen voor de verschillende penetratiedieptes van 10, 20 en 30 mm.

De afbeeldingen 1 tot en met 4 geven de resultaten van de berekeningen voor de verschillende penetratiedieptes van 10, 20 en 30 mm. De afbeeldingen 1 tot en met 4 geven de resultaten van de berekeningen voor de verschillende penetratiedieptes van 10, 20 en 30 mm. De afbeeldingen 1 tot en met 4 geven de resultaten van de berekeningen voor de verschillende penetratiedieptes van 10, 20 en 30 mm.

De afbeeldingen 1 tot en met 4 geven de resultaten van de berekeningen voor de verschillende penetratiedieptes van 10, 20 en 30 mm. De afbeeldingen 1 tot en met 4 geven de resultaten van de berekeningen voor de verschillende penetratiedieptes van 10, 20 en 30 mm. De afbeeldingen 1 tot en met 4 geven de resultaten van de berekeningen voor de verschillende penetratiedieptes van 10, 20 en 30 mm.

De afbeeldingen 1 tot en met 4 geven de resultaten van de berekeningen voor de verschillende penetratiedieptes van 10, 20 en 30 mm. De afbeeldingen 1 tot en met 4 geven de resultaten van de berekeningen voor de verschillende penetratiedieptes van 10, 20 en 30 mm. De afbeeldingen 1 tot en met 4 geven de resultaten van de berekeningen voor de verschillende penetratiedieptes van 10, 20 en 30 mm.

De afbeeldingen 1 tot en met 4 geven de resultaten van de berekeningen voor de verschillende penetratiedieptes van 10, 20 en 30 mm. De afbeeldingen 1 tot en met 4 geven de resultaten van de berekeningen voor de verschillende penetratiedieptes van 10, 20 en 30 mm. De afbeeldingen 1 tot en met 4 geven de resultaten van de berekeningen voor de verschillende penetratiedieptes van 10, 20 en 30 mm.

## 2 Model beschrijving

### 2.1 Inleiding

Tijdens fase I van het VALANK onderzoek is een numeriek rekenmodel ontwikkeld, gebaseerd op de strain-path methode volgens Baligh. Hiermee zijn in fase I ook berekeningen uitgevoerd waarbij de volgende conclusies zijn naar voren gekomen:

1. het penetratieproces van een anker in zand of grind kan als ongedraineerd worden beschouwd
2. de kinetische energie van de gronddeeltjes is niet verwaarloosbaar.

Het rekenmodel is uiteindelijk ontwikkeld tot een numeriek model dat is gebaseerd op semi-analytische principes. Dit model is in deze fase verder uitgewerkt. De opzet van het rekenmodel wordt in dit hoofdstuk behandeld.

### 2.2 Strain-path methode

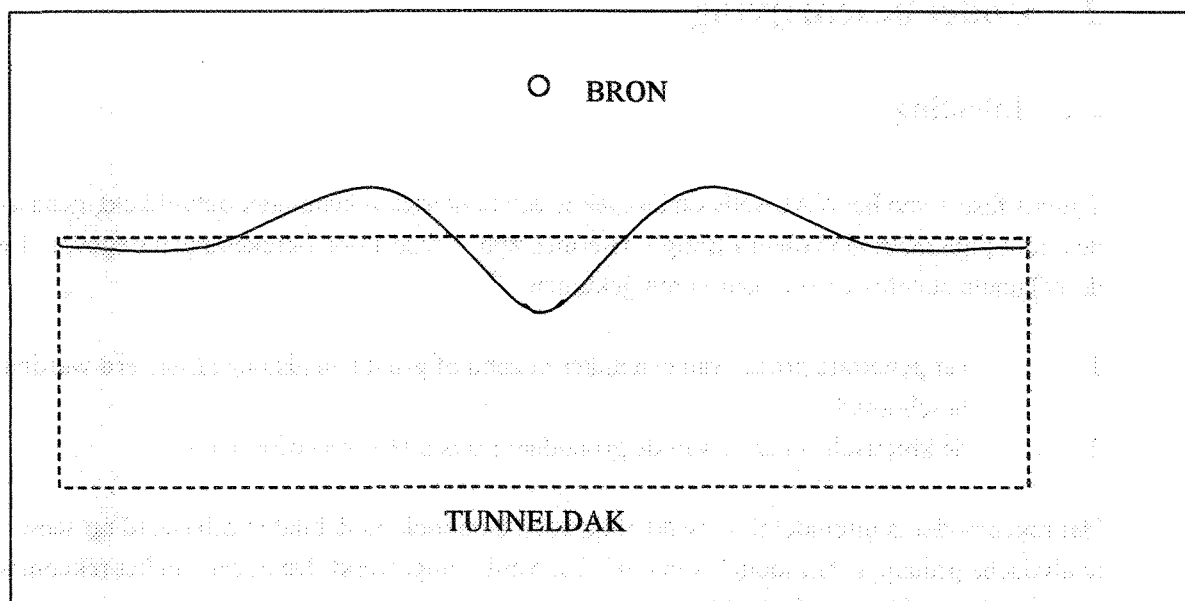
Door het penetreren van een anker in een grondlaag zullen vervormingen van de grond ontstaan. Het deformatiepatroon in het hier gehanteerde rekenmodel wordt bepaald in analogie met de strain-path methode volgens Baligh. Het principe van deze methode gaat uit van stroming vanuit een of meerdere (punt)bronnen die worden gesuperponeerd op een uniform stromingsveld.

#### *Vertaling naar het rekenmodel*

In het rekenmodel worden de vervormingen van de gronddeeltjes rond het anker gesimuleerd door het snelheidsveld ten gevolge van een omlaag bewegende injecterende puntbron (het anker) van bovenaf naar het tunneldak toe. De snelheid van het in de vorige alinea genoemde uniforme stromingsveld moet hier nul zijn en de vorm van het "anker" wordt bepaald door het aantal bronnen, hun onderlinge ligging en de grootte van de debieten. Door het werken met een beperkt aantal puntbronnen is het deformatiepatroon van de grond echter aan grenzen gebonden (willekeurige vormen van het penetrerende lichaam kunnen hierdoor niet zomaar worden gemodelleerd).

In het rekenmodel is de randvoorwaarde van de overgang van de vervormbare grondlaag naar het vaste tunneldak ingebracht door een spiegelbron aan de andere zijde aan te brengen. Deze spiegelbron verplaatst zich gedurende de berekening derhalve met dezelfde snelheid omhoog naar het tunneldak. Een schets van het daarbij optredende vervormingspatroon is weergegeven in de onderstaande figuur:



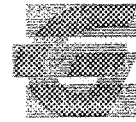


De grondlaag is in het rekenprogramma geschematiseerd tot een mesh met elementen en knooppunten. Afhankelijk van de positie van de puntbron, die zich per rekenstap verplaatst, worden de verplaatsingen en de nieuwe posities van de knooppunten in het stromingsveld bijgehouden. De verplaatsing van een willekeurig knooppunt ten gevolge van de stroming vanuit een puntbron is hierbij omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tot die puntbron. Het model is dus vervormingsgestuurd, volumevast en axiaal-symmetrisch.

De mesh wordt aangemaakt met behulp van het computerprogramma PCMESH, een pakket dat speciaal is ontwikkeld voor het vervaardigen van meshes. De uitvoer van PCMESH wordt als invoer gebruikt voor het eigenlijke rekenmodel, dat is geprogrammeerd in Turbo Pascal. De "source" van het computerprogramma is gegeven in bijlage 6. Na een berekening met het numerieke rekenmodel kan het deel van de uitvoer dat de nieuwe posities van de elementen en knooppunten geeft weer ingelezen worden in PCMESH, waarna een afdruk van de vervormde mesh kan worden gemaakt.

In bijlage 7 is een voorbeeld opgenomen van een mesh in de initiële situatie. De symmetrieas bevindt zich aan de linkerkant van de mesh. Op deze as bevinden zich de twee injectiebronnen die naar elkaar toe bewegen. Om de vorm van het anker beter weer te geven is tevens gebruik gemaakt van een onttrekkingsbron vlak boven de injectiebron (plus een corresponderende spiegelonttrekking). Omdat de grootste vervormingen en dus de grootste dissipatie van energie zich zal voordoen in het gebied rond de symmetrieas is de mesh in die omgeving verfijnd.

Op elke rekenstap kan de vervormde mesh worden weergegeven. Het achtergelaten 'gat' in de vervormde mesh zal zich hierbij moeten kunnen verenigen met de vorm van het anker. In een



iteratief proces van 'trial and error' is in fase 1 van dit project het beste verloop van de puntbronsterkte als functie van zijn positie bepaald. De resultaten daarvan zijn in deze fase als uitgangspunt gehanteerd.

In bijlage 8 is een vervormde mesh weergegeven. Op het eerste gezicht lijkt het vervormingspatroon niet volumevast, doch men dient zich te realiseren dat het plaatje in feite een dwarsdoorsnede van een axiaal-symmetrische geometrie is. Hoe verder een element zich van de symmetrieas verplaatst, hoe groter het volume van de ring om de as is waarvan het element deel uitmaakt.

### 3 Theoretische grondslagen rekenmodel

#### 3.1 Inleiding

De vervormingen van de grond rond het vallende anker worden volledig opgelegd door het systeem van stromingen en onttrekkingen uit de zich verplaatsende puntbronnen. De werking van dit systeem is in hoofdstuk 2 behandeld. Het anker wordt afgeremd door de weerstand die de grondlaag kan bieden aan het penetrerende anker. De mate waarin de grond weerstand kan bieden is in het model gerelateerd aan de schuifvervormingen die in de grond kunnen ontstaan. Deze uitgangspunten zijn gebaseerd op bekende en algemeen aanvaarde theorieën uit de grondmechanica. De theoretische grondslagen en de toepassingen ervan in het rekenmodel worden in dit hoofdstuk behandeld.

#### 3.2 Ongedraineerde schuifweerstand

##### *Theorie*

In het model is uitgegaan van een zandlaag die zich gedurende de penetratie van het anker ongedraineerd gedraagt. Aan het zand wordt daarom een ongedraineerde schuifweerstand ( $C_u$ ) toegekend. Aangenomen is dat de ongedraineerde schuifweerstand lineair evenredig is met de isotrope effectieve spanning. Vóór het indringen van het anker is de initiële ongedraineerde schuifweerstand daarom eveneens lineair met de diepte van de laag.

Door het vallende anker treden er in de grondlaag vervormingen op. De vervormingen in de grond zijn voor een klein deel elastisch en voor het overgrote deel plastisch. De plastische vervormingen in de grond zijn het gevolg van schuifspanningen die uitgaan boven de schuifsterkte van de grond. De plastische schuifvervormingen leiden tot een volumeverandering die het gevolg is van dilatantie. In tegenstelling tot volumeverandering door elastische compressie is volumeverandering door dilatantie van de grond onomkeerbaar. De mate van dilatant gedrag wordt uitgedrukt in een dilatantiehoek. Per definitie is bij zuivere schuifvervorming de sinus van de dilatantiehoek gelijk aan de ratio tussen volumeverandering en schuifrekverandering. In formulevorm:

$$\sin \psi = \frac{\partial \varepsilon_{vol}}{\partial \gamma}$$

Waarin:  $\psi$  = dilatantiehoek  
 $\partial \varepsilon_{vol}$  = volumerekverandering  
 $\partial \gamma$  = schuifrekverandering.

Uitgaande van een voldoende vaste pakking van het korrelskelet zal dilatantie optreden en zullen er door schuifvervormingen in een ongedraineerde situatie wateronderspanningen in het zandpakket

optreden. Deze wateronderspanning heeft tot gevolg dat de isotrope effectieve spanning groter wordt waardoor de ongedraineerde schuifweerstand van de zandlaag toeneemt.

### Toepassing

Omdat in het rekenmodel op elke rekenstap de verplaatsingen van de hoekpunten van een element bekend zijn kan per element het schuifrek-increment worden bepaald. Het schuifrek-increment wordt bepaald met behulp van de wortel uit de 2<sup>o</sup> rek-invariant. Afhankelijk van de grootte van de dilatatiehoek en de stijfheid van het korrelskelet kan hiermee de verandering in de isotrope effectieve spanning van het element worden bepaald. In formulevorm:

$$\partial \sigma'_{iso} = F_1(\partial \gamma, K, \psi)$$

Waarin:  $\partial \sigma'_{iso}$  = verandering in isotrope effectieve spanning

$\partial \gamma$  = schuifrek-increment

K = stijfheid korrelskelet.

Per rekenstap wordt een nieuwe waarde voor de schuifsterkte van het element berekend:

$$\partial C_u = F_2(\partial \sigma'_{iso}, \phi)$$

Waarin:  $\partial C_u$  = verandering van de ongedraineerde schuifweerstand

$\phi$  = hoek van inwendige wrijving van de grond.

Als er cavitatie optreedt zal de schuifsterkte van het zand zal niet verder toe kunnen nemen en derhalve een maximum bereiken. De maximale schuifweerstand van het zand is daarmee afhankelijk van de waterdiepte waarop de grondlaag zich bevindt. Dit is in het model opgenomen.

Om inzicht te krijgen in de grootte van de ontwikkelde sterkte van het zand ten gevolge van het indringen van het anker worden de berekende waarden van de  $C_u$  in de vervormde mesh weggeschreven. Door in PCMESH te kiezen voor een plot met materiaalnummers kunnen deze waarden zichtbaar worden gemaakt. Een voorbeeld van een dergelijk resultaat is weergegeven in bijlage 9.

### 3.3 Plastische energie-dissipatie

Zoals in paragraaf 3.2 is besproken zijn de vervormingen in de grond voor een klein deel elastisch en voor het overgrote deel plastisch. Voor het bepalen van de totale energie-dissipatie wordt de energie-opslag in de elastische vervormingen daarom verwaarloosd.

De plastische energie-dissipatie in de grond is het gevolg van schuifvervormingen. De energie-dissipatie van de grond is evenredig met de schuifrek maal de schuifsterkte.

Omdat in het rekenmodel bij elke rekenstap per element de schuifrek-increment en de schuifsterkte wordt bepaald kan tevens de plastische energie-dissipatie worden berekend. In formulevorm:

$$\partial E_{plas} = \partial \gamma * C_u$$

Waarin:  $E_{plas}$  = verandering (toename) van de plastisch gedissipeerde energie

Met behulp van voorgaande relatie wordt in het programma het verloop van de omgezette plastische energie in de tijd bepaald.

### 3.4 Dynamische effecten

De kinetische energie van het anker zal niet alleen in plastische energie in het zand worden omgezet. Een deel van de kinetische energie van het anker zal worden omgezet in kinetische energie van de gronddeeltjes en het zich daartussen bevindende poriënwater.

In het rekenmodel kan op elke rekenstap per element de kinetische energie worden bepaald door de verplaatsing de elementen te relateren aan de verplaatsing van het anker. De verplaatsing van het anker is in het model echter niet eenduidig vastgelegd. Immers, de vorm van het anker wordt bepaald door de verplaatsingen van de gronddeeltjes die gestuurd worden door de zich verplaatsende injectie- en onttrekkingsbronnen. De verplaatsing van het anker per rekenstap wordt in het model gerelateerd aan de verplaatsing van het bovenste knooppunt van de mesh op de symmetrieas.

Door het aandeel van de kinetische energie van de gronddeeltjes ten opzichte van de plastisch gedissipeerde energie te bepalen kan het aandeel van dynamische (massatraagheids) effecten bij het bestudeerde mechanisme worden bepaald. In het programma is het verloop van de kinetische energie van de grond tijdens de penetratie van het anker verwerkt.

### 3.5 Energiebalans en penetratiediepte van het anker

De plastische en kinetische energie-dissipatie van het zand kan direct gekoppeld worden aan de positie-veranderingen (indringing) van het schematische anker door het opstellen van een energiebalans.

Uitgangspunt voor deze energiebalans is het behoud van de, vlak voordat het anker de bodem raakt, totaal aanwezige kinetische- en potentiële energie in het systeem:

$$E_{kin,a} + E_{pot,a} + E_{plas,g} + E_{kin,g} = constant$$

Waarin:  $E_{kin,a}$  = de kinetische energie van het anker  
 $E_{pot,a}$  = de potentiële energie van het anker  
 $E_{kin,g}$  = de kinetische energie van het zand  
 $E_{plas,g}$  = de plastische energie van het zand

De verandering van de potentiële energie van de grond  $E_{pot,g}$  is niet in de energiebalans meegenomen omdat dit een relatief kleine bijdrage is en voor de juiste verwerking ervan een grote inspanning nodig is.

Om de kinetische energie van de grond uit de DIEKA berekeningen te bepalen, is de volgende procedure gevolgd per berekeningsstap:

1. bepaal de toename van de verplaatsing per element  $du_{g,e}$  uit de verplaatsingen van de vier hoekknopen
2. bepaal de 'axiaal-symmetrische massa' per element:

$$m_{g,e} = \rho_g \cdot g \cdot A \cdot 2\pi \cdot r$$

waarin:

$$\rho_g = \text{soortelijke massa van de grond} = 1950 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

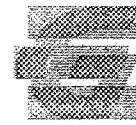
$$A = \text{oppervlak van het betreffende element [m}^2\text{]}$$

$$r = \text{straal waar het element zich bevindt vanaf de axiaal-symmetrie as [m]}$$

3. bepaal de kinetische energie van de grond uit de sommatie over alle elementen van:  $\frac{1}{2} \cdot m_{g,e} \cdot du_{g,e}^2$  (in feite is dit de 'kinetische energie zonder de tijd':  $E_{kin,g} \cdot dt^2$ ).

### 3.6 Snelheidsverandering van het anker

De verandering van de snelheid van het anker wordt in het programma bepaald op basis van de energiebalans. Uit die energiebalans volgt de verandering van de kinetische energie van het anker en aangezien de massa van het anker constant is kan hieruit de nieuwe snelheid van het anker worden bepaald.



### **3.7 Relatie rekenstap-tijd**

Omdat de valsnelheid als functie van de penetratie-diepte bekend is kan berekend worden wat de tijdsduur van elke rekenstap is. Dientengevolge kunnen de waarden van alle uitvoerparameters worden uitgezet tegen de tijd. In het programma wordt de totale tijdsduur van het indringen van het anker in de grondlaag op deze wijze bepaald.

### **3.8 Consolidatie-effecten**

In het rekenmodel wordt verondersteld dat de totale tijdsduur van het indringen van het anker in de grondlaag zo kort is dat het zand zich ongedraineerd gedraagt. De juistheid van dit uitgangspunt is gecontroleerd in het GD rapport CO-363120/33.

### **3.9 Kracht van het anker op de grond en het tunneldak**

Uit een verandering in snelheid kan met de wet van Newton (kracht is gelijk aan massa maal versnelling) de op het anker uitgeoefende kracht worden bepaald. Deze door de grond op het anker uitgeoefende kracht moet uiteraard in grootte gelijk zijn aan de door het anker op de grond uitgeoefende kracht zodat deze daarmee bekend is. Voor de verdeling van de spanning op het tunneldak wordt uitgegaan van een spanningsspreiding van 2:1 (2 vertikaal 1 horizontaal).

## 4 Uitgevoerde berekeningen

### 4.1 Uitgangspunten

Voor de uitgevoerde berekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- een dekking op het tunneldak die varieert van 0,5 tot 2,0 m.
- de dekking bestaat uit zand met een hoek van inwendige wrijving van 34 graden
- de dilatatiehoek van het zand bedraagt 3 graden
- de stijfheid van het zand bedraagt 4 MPa
- de ankermassa's zijn 1000, 2000, 5000 en 10000 kg
- de valsnelheden van de ankers direct voor het penetreren in de bodem bedragen 5, 6, 7, 8, 9 en 10 m/s.

### 4.2 Bepaling debieten gerelateerd aan de ankermassa

Uitgaand van de debieten  $Q_1$  en  $Q_2$  van de twee puntbronnen geldt dat het netto debiet gelijk is aan  $Q_1 - Q_2$  aangezien de 2e bron een onttrekkingsbron is. Als het bronnenstelsel zich met een snelheid  $v$  naar beneden beweegt kan de oppervlakte van de cilinder met een horizontale snelheid gelijk aan 0 worden bepaald met  $A = (Q_1 - Q_2)/v$ . Omdat dit pas wordt bereikt op een relatief grote afstand van de 2 puntbronnen wordt de straal aangehouden ter hoogte van de eerste puntbron, dat komt overeen met ongeveer  $5/6$  van de maximale straal.

De massa en de grootte van het anker kunnen worden gerelateerd aan de bronsterkten. Om tot realistische waarden te komen is gebruik gemaakt van de gegevens zoals vermeld in het rapport: CO-363120/111 d.d. april 1997. Het poolanker had daar een massa van 707 kg en een bladoppervlak van  $1,05 \cdot 0,6 = 0,63 \text{ m}^2$ . Dit komt overeen met een cilinder met een straal van 0,448 m.

Voor de bepaling van de bronsterkten geldt dan dat voor de oppervlakte aangehouden moet worden een  $r$  van  $6/5 \cdot 0,448 = 0,537 \text{ m}$ . Dit geeft bij een zakkingsnelheid van 0,001 m/rekenstap een netto debiet  $Q$  van  $\pi \cdot 0,5372 \cdot 0,001 = 0,00168821 \text{ m}^3/\text{rekenstap}$ . Bij een verhouding van  $Q_1 = 0,02/0,008$   $Q_2$  geeft dit:  $Q_1 = 0,00281368$  en  $Q_2 = 0,00112547 \text{ m}^3/\text{rekenstap}$ . De verhouding is bepaald in fase 1 van het project, zie ook CO-363120/33 d.d. maart 1996.

Uitgaand van het niet al te zeer veranderen van de vorm van een anker met het toenemen van de grootte van het anker kunnen hieruit de debieten worden bepaald voor de diverse andere ankermassa's.



Samengevat in een tabel geeft dit:

ANKERMASSA'S EN DEBIETEN						
M	A [L <sup>2</sup> ]	Q1 [m <sup>3</sup> /stap]	Q2 [m <sup>3</sup> /stap]	Schaalfactor	L	Gewichtsfactor [L <sup>3</sup> ]
707	0.63	0.002813	0.001125	1.00	0.79	0.50
1000	0.79	0.003545	0.001418	1.12	0.89	0.71
2000	1.26	0.005627	0.002251	1.41	1.12	1.41
3000	1.65	0.007374	0.002949	1.62	1.29	2.12
4000	2.00	0.008933	0.003573	1.78	1.41	2.83
5000	2.32	0.010366	0.004146	1.92	1.52	3.54
6000	2.62	0.011706	0.004682	2.04	1.62	4.24
7000	2.90	0.012973	0.005189	2.15	1.70	4.95
8000	3.18	0.014181	0.005672	2.25	1.78	5.66
9000	3.43	0.015339	0.006135	2.33	1.85	6.37
10000	3.68	0.016456	0.006582	2.42	1.92	7.07
11000	3.93	0.017535	0.007014	2.50	1.98	7.78
12000	4.16	0.018583	0.007433	2.57	2.04	8.49
13000	4.39	0.019601	0.007840	2.64	2.09	9.19
14000	4.61	0.020594	0.008237	2.71	2.15	9.90
15000	4.83	0.021563	0.008625	2.77	2.20	10.61

A is het oppervlak van het anker

Q1 en Q2 zijn de debieten van de puntbronnen

L is de lengteschaal

#### 4.3 Verificatie berekening

Ter verificatie van het model is de proef met het poolanker nagerekend. De gehanteerde gegevens hierbij zijn als volgt (zie ook het GD rapport CO-363120/111 d.d. april 1998)

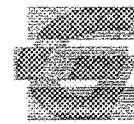
Massa anker: 707 kg.

Valsnelheid: 8 m/s

Hoek van inwendige wrijving van het zand: 35 graden

Dilatantiehoek: 4 graden

Stijfheid van het zand: 6 MPa.



De berekende indringdiepte bedraagt hierbij 0,32 m. Gemeten is 0,28 m. Dit komt goed overeen. Uit wat variatie met de parameters blijkt dat de invloed daarvan vrij groot is: met een  $\phi$  van 34 graden, een  $\psi$  van 3 graden en een stijfheid van het zand van 4 MPa wordt een indringing berekend van 0,41 m. Gezien alle dynamische effecten en de relatieve eenvoud van het berekeningsmodel is dat nog steeds een vrij goede overeenkomst. Het resultaat is daarbij ook nog aan de "veilige" kant: het model zal de penetratie hoogstens overschatten.

#### 4.4 Problemen bij de berekeningen

Bij het uitvoeren van de analyses bleek dat de berekeningsresultaten aan het eind van de indringing een wild slingerend patroon vertonen. De slingering is zo groot dat dit in een aantal gevallen alle andere waarden overheerst. Als verklaring hiervoor werd gedacht aan het feit dat voor de bepaling van de diverse bijdragen aan de energiebalans gebruik wordt gemaakt van de in de vorige rekenstap bepaalde snelheid van het anker. De werkelijke gemiddelde snelheid gedurende de rekenstap zal een andere waarde bezitten. Vooral aan het eind van het penetratieproces waarbij de snelheid procentueel gezien erg sterk verandert kan dit relatief grote afwijkingen veroorzaken. Als remedie is daarom een extra berekeningslus in het programma ingebouwd waarmee in principe een betere waarde voor de gemiddelde snelheid kan worden bepaald. Het bleek echter dat dit aangepaste proces voor het bepalen van de snelheid tot nog grotere instabiliteiten leidde en dus geen oplossing bood voor de geconstateerde problemen.

*niet verklaard dus...*

#### 4.5 Methode van bepaling van het laatste deel van de kracht-indringsrelatie.

Voor het bepalen van het penetratiegedrag in het laatste deel van het traject is daarom uitgegaan van een extrapolatie van het gedrag in het laatste, nog stabiele deel, van de kracht-indringsrelatie. De gehanteerde procedure is als volgt:

- De kracht-verplaatsingsrelatie in het nog stabiele deel van de curve wordt gelineariseerd:

$$F = a + b \cdot x$$

- Op basis van deze linearisatie wordt de gedissipeerde energie bepaald:

$$E_{\text{dis}} = F_{\text{gemiddeld}} \cdot (x_{\text{eind}} - x_0) = a + \frac{1}{2} b (x_{\text{eind}} + x_0) \cdot (x_{\text{eind}} - x_0)$$

- Met behulp van de energiebalans wordt vervolgens de eindsnelheid/indringdiepte van het anker bepaald:  $m \cdot g \cdot h_{\text{eind}} + \frac{1}{2} m (v_{\text{eind}})^2 + E_{\text{diss}} = \frac{1}{2} m (v_{x0})^2 + m \cdot g \cdot h_{x0}$ .

In de ontwerpgrafieken is het gelineariseerde deel ook als een rechte lijn weergegeven en daardoor herkenbaar als een geëxtrapoleerd deel.

#### 4.6 Voorbeeld gebruik ontwerpgrafieken

In bijlage 1-4 zijn de ontwerpgrafieken gegeven voor anker massa's van 1000 tot 10000 kg. De procedure voor het gebruik van deze grafieken is als volgt (zie ook bijlage 5):

- Bepaal de dikte van aanwezige gronddekking op het tunneldak en de ontwerpmassa en -snelheid van het anker.
- Kies de grafiek met de betreffende dekking.
- Lees in het eerste (rechtsboven) kwadrant van de grafiek af wat de maximale indringing ( $h_{\text{eind}}$ ) is voor de ontwerpcombinatie anker/begin snelheid en eventueel de restsnelheid van het anker.
- Lees in het tweede (linksboven) kwadrant van de grafiek af wat de maximale kracht tijdens de indringing is
- Lees in het vierde (rechtsonder) kwadrant van de grafiek af over welk oppervlak van het tunneldak deze kracht werkt.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

Uit de verificatieberekening blijkt dat de berekende indringing vrij goed overeenkomt met de bij de proef gemeten indringing. Het resultaat is in dit geval aan de "veilige" kant: het model overschat de penetratie.

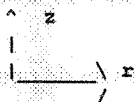
Het betreffende model kan dus worden gebruikt voor het maken van voorspellende berekeningen.

Op een paar plaatsen in de ontwerpgrafieken vertoont de lijn voor de grootte van de penetratiekracht een kleine slingering. Dit is een maat voor de onnauwkeurigheid van de berekeningen. Het verschil ten opzichte van de absolute waarde van de berekende krachten is echter relatief klein en wordt acceptabel geacht.

program VALANK (invoer, uitvoer);

{\*\*\*\*\*  
Programma van J.P. van Schaik

Het programma bepaald de kracht benodigd voor de indringing van een dipool in een laag grond. Tevens wordt een energiebalans uitgewerkt. De eigenlijke invoer staat in een .in file, het aantal invoerfiles en de namen daarvan staan in de file files.nrs. In elke .in staat welke mesh file voor de geometrie wordt gebruikt. de berekening is axiaal symmetrisch, uitgegaan wordt van het volgende assenstelsel:



De uitvoer bestaat uit een vervormde (PC)mesh file voor de laatste stap van de berekening (.plo) en een .cu file met berekende indringediepten en bijbehorende krachten.

Beperkingen en opmerkingen:

- Alleen de 1e mesh rand wordt verwerkt.
- Er wordt altijd uitgegaan van rechthoekige elementen met 4 knopen per element
- De knoopnummering van de elementen moet zijn:  
links boven, links onder, rechts onder rechts boven. Het programma maakt gebruik van deze volgorde zonder controles uit te voeren.
- De eenheid van de mesh moet in m zijn
- Let op de eenheden: het anker heeft een massa [kg] terwijl voor de grond het volumiek gewicht moet worden opgegeven (hierin zit dus de zwaartekrachtsversnelling al verwerkt)
- Het volume van een element wordt alleen aan het begin van de berekening bepaald en verder gedurende de berekening niet aangepast
- Het programma gaat uit van zand, waarbij de phi, de psi en de K0 worden omgewerkt naar een equivalente ongedraineerde cohesie.
- Het 0 punt van de z as ligt op het tunneldak
- De lengte van de tijdstap wordt bepaald aan de hand van een constante snelheid over de stap die gelijk is aan de uit de vorige stap berekende snelheid

Aanpassingen:

Datum	Door	Aanpassing
30-07-1998	Bijn	Lezen DataInvoer vanuit file ipv. hard opgegeven in programma + toevoegen vrijwel alle commentaar
30-07-1998	Bijn	Verwijderen tmax:=round(maxelements) omdat maxelements al een integer is
30-07-1998	Bijn	Hernoemen variabelen t1 en t2 omdat die in de diverse procedures voor verschillende parameters staan zoals het aantal knopen, het aantal elementen etc. De nieuwe namen zijn duidelijker en eenduidig.
30-07-1998	Bijn	Splitsen uitvoerfiles, niet meer 1 file waarvan delen worden overschreven tijdens 1 berekening, maar nu een 3-tal aparte files. Extensies niet meer .pas.
31-07-1998	Bijn	initialisatie imax, zmax toegevoegd
31-07-1998	Bijn	zel in procedure initialisatie binnen de j loop geplaatst
31-07-1998	Bijn	Toevoegen GammaWater als variabele
31-07-1998	Bijn	Wijziging bepaling Cu tevens deling door zmax vervallen

31-07-1998	Bijn	Regel van Cramer gecontroleerd, naam Kramer gewijzigd in Cramer en afbreken bij $D4 = 0$ toegevoegd.
31-07-1998	Bijn	phi en psi omgezet in radialen en type real gemaakt.
03-08-1998	Bijn	Absoluut teken bij Cu aanpassing om erz geplaatst ipv om sigma_iso
03-08-1998	Bijn	Minimum waarde voor Cu ingevoerd
04-08-1998	Bijn	Toegevoegd dat imax op de centrale as moet liggen
03-08-1998	Bijn	Controle op postieve waarde van r[i] toegevoegd
06-08-1998	Bijn	Naam van de meshfile wordt gelezen in invoerfile, output files krijgen zelfde naam + diverse extensies
06-08-1998	Bijn	Lus in hoofdprogramma voor automatisch uitvoeren meerdere berekeningen (nogal bot geprogrammeerd)
06-08-1998	Bijn	Bepaling sigma isotroop m.b.v. K0 waarde
06-08-1998	Bijn	Generatie .ses file toegevoegd
13-08-1998	Bijn	Weergeven Cu waarde als materiaalnummer in .plo file Hierdoor kan de Cu in PCMesh worden bekeken (na omnoemen .plo naar .plm file, NB. in aparte DIR anders is invoerfile .plm verdwenen).
14-08-1998	Bijn	Toevoegen elastische energie van het water: d.w.z. toevoegen stijfheid water + bepalen van de wateroverspanningen + toevoegen tekenen van de wateroverspanningen in een mesh file
18-08-1998	Bijn	printen relevante resultaten sommen in een file voor grafieken
23-09-1998	Bijn	weer uitzetten elastische energie van het water: in principe zou dit 0 moeten zijn want de stroming door de puntbronnen is volumevast.
24-09-1998	Bijn	aanpassing berekening v anker, Epot begin zat er 2 * in, en Ekin zat er ook niet goed in.
24-09-1998	Bijn	aanpassing printout van de overzicht sommen.
24-09-1998	Bijn	toevoegen massa factor voor het snel kunnen maken van een serie sommen met verschillende anker massa's
24-09-1998	Bijn	toevoegen Fmax en bijbehorende indringdiepte aan output voor grafieken
12-10-1998	Bijn	halvering van de bronsterkten uitgezet (tijdelijk weggecommentaard)
14-10-1998	Bijn	stoppen berekening bij $v < 0$ aangepast, oorspronkelijke sprong uit loop gaf hele vreemde resultaten
14-10-1998	Bijn	aanpassen extrapolatie v en h in eindsituatie
14-10-1998	Bijn	niet teruggeven Ekin, en weer weggecommentaard.
14-10-1998	Bijn	max. nmax stappen

\*\*\*\*\*)

uses crt,dos;

type

```
nodes = array [1..500] of real;
rekenstap = array [0..1000] of real;
elements = array [1..500] of integer;
boundaries = array [1..500] of integer;
bronnen = array [1..5] of real;
```

var

```
maxnodes,maxelements,dimension,matfactor,knp,i,j,nmax,n,
boundnum,boundmax,bo,brn,brnmax,imax,neind,Elnr,Nodenr,
somnr,som                                :integer;
zmax,stap,En,a,b,c,d,e,f,c1,c2,c3,rel,zel,I2,er,ez,et,erz,
gamma,GammaWater,g,Manker,tijdstap,psi,dsigma_iso,CuMax,CuMin,
Kskeleton,Kwater,v2,h,phi,tangens,K0,rem,Fanker,
hr1,hr2,hr3,hr4,hz1,hz2,hz3,hz4,Eelas,DEelas,Pw,dv,vdak,heind,
Fmax,zfmax,mfactor,remmax,LaagDikte      :real;
invoer1,invoer2,uitvoer,uitvoer1,uitvoer2,uitvoer3,
uitvoer4,uitvoer5,uitvoer6,uitvoer7,uitvoer8,kraken    :text;
```

```

r,z,dr,dz,Vol,Cu_o,Cu_n,Inhoud           :nodes;
Eplas,Ekin,Epot,vn,tijd                   :rekenstap;
lo,lb,ro,rb                               :elements;
bound                                     :boundaries;
qbron,zbron,zbrongem                     :bronnen;
mesh,InFile                              :string[8];
Titel1                                   :string;
Titel2                                   :string[18];
uur,min,s,s100,yy,mm,dd,dow             :word;
NotFinished                              :Boolean;

(
function tan(phi:real): real;

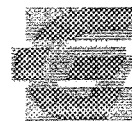
begin
  if abs(cos(phi)) < 0.001 then
  begin
    tan:= 1000.;
    writeln('tan(phi) is afgesnoten op 1000!');
  end
  else
  begin
    tan:= (sin(phi)/cos(phi));
  end;
end;
)

procedure DataInvoer;    {waarde toekenen aan invoer-data}

begin
( clrscr;
  for j := 1 to 5 do writeln;
  writeln(' De naam van de invoerfile is ?');
  write(' ');
  readln(InFile);
) assign(invoer2,InFile);
( assign(invoer2,'a.in');
) reset(invoer2);
  readln(invoer2,mesh);      {naam van de meshfile, zonder extensie!!}
  readln(invoer2,Titel1);   {lezen 1e titelregel}
  read(invoer2,Titel2);     {lezen 2e titelregel}
  readln(invoer2,LaagDikte);
  zbron[1] := LaagDikte+0.2;
  zbron[2] := LaagDikte+0.6;
  for i := 1 to 4 do readln(invoer2);
  (* readln(invoer2,qbron[1]); {sterkte 1e puntbron}
  readln(invoer2,zbron[1]); {hoogte 1e puntbron}
  readln(invoer2,qbron[2]); {sterkte 2e puntbron}
  readln(invoer2,zbron[2]); {hoogte 2e puntbron}
  *) readln(invoer2,brnmax); {het aantal bronnen}
  readln(invoer2,stap);     {het hoogteverschil in meters dat de bron per
                           rekenstap omlaag komt}

  readln(invoer2,nmax);    {het maximum aantal rekenstappen}
  readln(invoer2,vn[0]);   {de beginsnelheid van het anker}
  readln(invoer2,gamma);   {het volumieke gewicht van de grond in [N/m3]}
  readln(invoer2,GammaWater);{het volumieke gewicht van de water}
  readln(invoer2,phi);     {hoek van inwendige wrijving}
  phi := phi/180*(pi);
  readln(invoer2,psi);     {de dilatantie hoek van het zand}
  psi := psi/180*(pi);
  readln(invoer2,K0);      {K0 waarde}
  readln(invoer2,Manker);  {massa van het anker uit de invoerfile}
  Manker := Manker*mfactor;{massa van het anker in de berekening!}
                           {mfactor wordt gelezen uit de file "files.nrs"
                           zie het echte rekendeel van het programma}
  readln(invoer2,Kskelet); {stijfheid van het korrelskelet}

```



```

readln(invoer2,KWater);      {stijfheid van het water}
readln(invoer2,CuMax);      {de maximale waarde van de ongedraineerde
                             schuifsterkte hierin kan de waterdiepte via
                             cavitatie worden verwerkt}

readln(invoer2,CuMin);      {de minimale waarde van de ongedraineerde
                             schuifsterkte}

readln(invoer2,g);          {de zwaartekrachtsversnelling}
h := LaagDikte;
(* readln(invoer2,h);        {geschatte indringdiepte}
*)
{ assign(uitvoer4,mesh+'.out');
  rewrite(uitvoer4);
  writeln(uitvoer4,'Naam meshfile = ',mesh);
  writeln(uitvoer4,'Sterkte 1e puntbron = ',qbron[1]:5:2);
  writeln(uitvoer4,'Hoogte 1e puntbron = ',zbron[1]:5:2);
  writeln(uitvoer4,'Sterkte 2e puntbron = ',qbron[2]:5:2);
  writeln(uitvoer4,'Hoogte 2e puntbron = ',zbron[2]:5:2);
  writeln(uitvoer4,'Aantal bronnen = ',brnmax);
  writeln(uitvoer4,'Hoogteverschil per stap = ',stap:5:2);
  writeln(uitvoer4,'Het maximale aantal rekenstappen = ',nmax);
  writeln(uitvoer4,'De beginsnelheid van het anker = ',vn[0]:5:2);
  writeln(uitvoer4,'De gamma van de grond = ',Gamma:5:2);
  writeln(uitvoer4,'De gamma van het water = ',GammaWater:5:2);
  writeln(uitvoer4,'phi = ',phi:5:2);
  writeln(uitvoer4,'psi = ',psi:5:2);
  writeln(uitvoer4,'K0 = ',K0:5:2);
  writeln(uitvoer4,'De massa van het anker = ',Manker:5:2);
  writeln(uitvoer4,'De stijfheid van het korrelskelet = ',KSkelet:5:2);
  writeln(uitvoer4,'De stijfheid van het Water = ',KWater:5:2);
  writeln(uitvoer4,'CuMax = ',CuMax:5:2);
  writeln(uitvoer4,'CuMin = ',CuMin:5:2);
  writeln(uitvoer4,'g = ',g:5:2);
  writeln(uitvoer4,'h = ',h:5:2);
  close(uitvoer4);
} close(invoer2);
end;

```

Function CalcSurf(x1,z1,x2,z2,x3,z3,x4,z4: Real; Elnr : integer) : real;

Description : calculate area of quadrilateral and check shape.  
when the surface is not convex an error is reported

Created 970813 : (Boey)

Last Update 980813 : (Bijn)

: bepaling zwaartepunt + ring inhoud  
: kleinste oppervlak bij convexe vierhoek

Comment: Er is geen check of het element "doorklapt", kan met snijden van  
lijnen worden gecontroleerd

	Name	Type	Function
Parameters - IN	: x1	Real	x-coor node on quad
- IN	: z1	Real	z-coor node on quad
- IN	: x2	Real	x-coor node on quad
- IN	: z2	Real	z-coor node on quad
- IN	: x3	Real	x-coor node on quad
- IN	: z3	Real	z-coor node on quad
- IN	: x4	Real	x-coor node on quad
- IN	: z4	Real	z-coor node on quad
- IN	: i	teller	vlak nummer

Example call : surf = CalcSurf(x1,z1,x2,z2,x3,z3,x4,z4)



```

var
a1,a2,b1,b2,surf1,surf2,xzw,zzw : real;
Begin
  { writeln('calcsurf (' ,x1:8:4,' ,z1:8:4,' ,x2:8:4,' ,z2:8:4);
    writeln('calcsurf (' ,x3:8:4,' ,z3:8:4,' ,x4:8:4,' ,z4:8:4);
  }
  { 2 maal uitwendig produkt }
a1      := x2-x1;          { 4-----3 }
a2      := z2-z1;          { |         | }
b1      := x4-x1;          { |         | }
b2      := z4-z1;          { |         | }
Surf1   := abs((a1*b2-a2*b1)); { 1-----2 }
a1      := x2-x3;
a2      := z2-z3;
b1      := x4-x3;
b2      := z4-z3;
Surf1   := Surf1 + abs((a1*b2-a2*b1));
{ 2 maal uitwendig produkt }
a1      := x1-x2;
a2      := z1-z2;
b1      := x3-x2;
b2      := z3-z2;
Surf2   := abs((a1*b2-a2*b1));
a1      := x1-x4;
a2      := z1-z4;
b1      := x3-x4;
b2      := z3-z4;
Surf2   := Surf2 + abs((a1*b2-a2*b1));
if Surf2 < Surf1 then Surf1 := Surf2
else; {kleinste van de 2 oppervlakten}
{bepaling zwaartepunt}
xzw := (x1+x2+x3+x4)/4;
zzw := (z1+z2+z3+z4)/4;
Calcsurf := 0.5*Surf1* 2*pi*xzw; {oppervlak maal straal zwaartepunt}
end;

```

```

procedure MeshInvoer; {lezen van de mesh-invoer uit pcmesh file}

```

```

var
opp,InhoudTot : real;

begin
{ Clrscr;
} assign(invoer1,mesh+'.plm');
reset(invoer1);
readln(invoer1);
read(invoer1,maxnodes);
read(invoer1,maxelements);
readln(invoer1,dimension);
for Nodenr:=1 to maxnodes do {invoer van coördinaten knopen}
begin
read(invoer1,i); {knoop nummer}
read(invoer1,r[i]); {r coördinaat}
readln(invoer1,z[i]); {z coördinaat}
if r[i] < 0 then
begin
writeln('De berekening is afgebroken');
writeln('De mesh bevat knopen met negatieve waarden voor de straal');
Exit
end
else;
if (zmax<z[i]) or (Nodenr=1) then
begin
zmax:=z[i]; {let op dit gaat alleen goed bij de hier gehanteerde knoop nummering!}

```

```

        if r[i] = 0 then imax:=i else; {toegevoegd dat imax op de as moet liggen}
        {imax = het nummer van de knoop met de maximale z waarde}
    end;
end;
InhoudTot := 0;
for j:=1 to maxelements do {invoer coördinaten hoekpunten knopen}
begin
    read(invoer1,j); {element nummer}
    read(invoer1,matfactor); {nummer materiaalgroep}
    read(invoer1,knp); {het aantal knopen per element}
    read(invoer1,lb[j]); {links boven knoop}
    read(invoer1,lo[j]); {links onder knoop}
    read(invoer1,ro[j]); {rechts onderknoop}
    readln(invoer1,rb[j]); {rechts bovenknoop}

    Inhoud[j]:=CalcSurf(r[lo[j]],z[lo[j]],r[ro[j]],z[ro[j]],r[rb[j]],z[rb[j]],r[lb[j]],z[lb[j]],
    j);
    InhoudTot := Inhoudtot+Inhoud[j];
end;
{ writeln(' De totale inhoud = ',Inhoudtot);
} readln(invoer1,boundnum); {aantal randen}
readln(invoer1,boundmax); {aantal knopen op de rand}
for bo:=1 to boundmax do
begin
    read(invoer1,bound[bo]); {knoopnummer van knoop op de rand}
end;
close(invoer1);
end;

```

```

procedure Initialisatie; {initialisatie parameters}

```

```

begin
    Eplas[0]:=0; {plastische energie}
    Ekin[0]:=0; {kinetische energie}
    Epot[0]:=Manker*g*h; {potentiele energie van het anker}
    tijd[0]:=0; {begintijdstip}
    zel:=(z[lo[j]]+z[lb[j]]+z[ro[j]]+z[rb[j]])/4;

    for j:= 1 to maxelements do
    begin
        Cu_o[j]:=(1+2*K0)/3*(gamma-GammaWater)*(zmax-zel)*sin(phi); {aangepaste formule}
    end;
end;

```

```

function Cramer (k1,k2,k3,k4,k5,k6,k7,k8,k9,x1,x2,x3: real): real;
{toepassen regel van Cramer}

```

```

var

```

```

    det1,det2,det3,det4: real;

```

```

begin

```

```

    Det1:=x1*k5*k9+k4*k8*x3+k7*x2*k6-x3*k5*k7-k6*k8*x1-k9*x2*k4; {OK}

```

```

    Det2:=k1*x2*k9+x1*k8*k3+k7*k2*x3-k3*x2*k7-x3*k8*k1-k9*k2*x1; {OK}

```

```

    Det3:=k1*k5*x3+k4*x2*k3+x1*k2*k6-k3*k5*x1-k6*x2*k1-x3*k2*k4; {OK}

```

```

    Det4:=k1*k5*k9+k4*k8*k3+k7*k2*k6-k3*k5*k7-k6*k8*k1-k9*k2*k4; {OK}

```

```

    if Det4 = 0 then

```

```

    begin

```

```

        writeln('De berekening is afgebroken');

```

```

        writeln('De waarde van Det4 = 0, het stelsel kan niet worden opgelost');

```

```

        Exit;

```

```

    end

```

```

    else

```

```

    begin

```

```

c1:=Det1/Det4; {OK} {c1 t/m c3 zijn de termen van de oplossingsvector}
c2:=Det2/Det4; {OK}
c3:=Det3/Det4; {OK}
end;
end;

function Volume: real; {bepaal volume-ring per element}

var
Elnr : integer;

begin
for Elnr:=1 to maxelements do
begin
Vol[Elnr]:=pi*(z[rb[Elnr]]-z[ro[Elnr]])*(sqr(r[rb[Elnr]])-sqr(r[lb[Elnr]]));
{Dit is het volume van een cilinder}
{NB. Het element moet dus over de gehele breedte eenzelfde hoogte hebben!}
end;
end;

function BepaalCu: real; {bepaal nieuwe Cu-waarde per element}

begin
{ dsigma_iso:=erz*sin(psi)*Kskelet;} {Oud}
dsigma_iso:=abs(erz)*sin(psi)*Kskelet;
Cu_n[j] := Cu_o[j]+(dsigma_iso)*sin(phi); {Cu_n[j]= CuNieuw, Cu_o[j] = CuOud}
if Cu_n[j] > Cumax then Cu_n[j]:=CuMax;
if Cu_n[j] < CuMin then Cu_n[j]:=CuMin; {toegevoegd: minimale waarde Cu}
Cu_o[j] := Cu_n[j];
end;

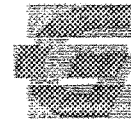
procedure Verplaatsing; {bepaal verplaatsing knooppunten}

var
rd,rds,d,ds :real;
{rd = straal van bron tot knoop;}
{rds = straal van spiegelbron tot knoop;}
{d = de verplaatsing in de knoop tgv de bron}
{ds = de verplaatsing in de knoop tgv de spiegelbron}

begin
{ clrscr;
write('stapnummer = ',n);
}
{hieronder staat de aangepaste halvering:
ook de stapgrootte moet door 2 worden gedeeld!}
(* if n=250 then {halvering bronsterkten vanaf stap 250}
begin
qbron[1] := qbron[1]/2;
qbron[2] := qbron[2]/2;
stap := stap/2;
end;
if n=350 then {opnieuw halvering bronsterkten vanaf stap 350}
begin
qbron[1] := qbron[1]/2;
qbron[2] := qbron[2]/2;
stap := stap/2;
end;
*)

for brn := 1 to brnmax do
begin
zbron[brn] := zbron[brn]-stap; {hoogte aan het einde van de stap}
zbrongem[brn] := zbron[brn]-stap/2; {gemiddelde hoogte gedurende de stap}
end;

```



```
for i:= 1 to maxnodes do
begin
dr[i] := 0;
dz[i] := 0;
for brn := 1 to brnmax do
begin
(
. zbrongem
| \
----- \----- grond
| | \ rd
z[i] |----- \
r[i]
)
(straal van bron tot knoop:)
rd := sqrt(sqrt(zbrongem[brn]-z[i])+sqrt(r[i]));
(straal van spiegelbron tot knoop:)
rds := sqrt(sqrt(zbrongem[brn]+z[i])+sqrt(r[i]));
d := qbron[brn]/(4*pi*sqrt(rd)); {absolute verplaatsing van
de knoop tgv debiet bron/boloppervlak}
ds := qbron[brn]/(4*pi*sqrt(rds)); {absolute verplaatsing van
de knoop tgv debiet in spiegelbron}
dr[i] := dr[i]+(d/rd+ds/rds)*(r[i]); {verplaatsing in r-richting} {OK}
dz[i] := dz[i]+ds/rds*(zbrongem[brn]+z[i])-d/rd*(zbrongem[brn]-z[i]);
{verplaatsing in z-richting} {OK}
end;
end;
end;

procedure Elastisch(n : integer);

{Deze procedure bepaald de wateroverspanningen en de grootte van de
elastische energie die er daardoor in het systeem zit opgeslagen.
Deze energie wordt niet meer teruggegeven, aan het eind zit die dus
nog gewoon in het systeem. In feite betekent dit dat er pas na de som
afstroming gaat plaatsvinden}

var
j : integer;
node1,node2,node3,node4 : real;

begin
Eelas := 0;
for j := 1 to MaxElements do
begin {vervormde knopen}
Inhoud[j]:=
CalcSurf(r[lo[j]],z[lo[j]],r[ro[j]],z[ro[j]],r[rb[j]],z[rb[j]],r[lb[j]],z[lb[j]],j);
dEelas := 0.5*sqrt((Vol[j]-Inhoud[j])/Vol[j])*Kwater;
Eelas := Eelas+dEelas;
end;
end;

procedure Tijdsduur;

begin
tijdstap := -dz[imax]/vn[n-1]; {indrukking van het grondoppervlak/snelheid
berekend aan het eind van de vorige stap}
{imax is het knoopnummer van de knoop met
de maximale z coördinaat}

tijd[n] := tijd[n-1]+tijdstap;
end;

procedure Potentiaal; {bepaal potentiële energie anker}
```

```

begin
  Epot[n] := Manker*g*z[imax];
  { Epot[n] := Manker*g*(h-(zmax-z[imax])); }
  {NB. het anker wordt verondersteld bij aanvang al het maaiveld te raken,
    aangezien de indrukingskuil gedurende de berekening van vorm wijzigt
    geldt dat in feite ook voor het anker...}
end;

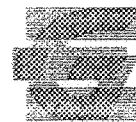
procedure Plastisch; {bepaal gedissipeerde plastische energie}

{ In deze procedure wordt de gedissipeerde plastische energie bepaald.
  Hiervoor wordt uitgegaan van de gevonden verplaatsingen van de knopen,
  Vervolgens wordt per 3 tal knopen een passende functie gezocht.
  Deze functie is van de vorm a+br+cz.
  Omdat dit niet perfect past wordt een kleinste kwadraten methode gebruikt
  om de beste "fit" te vinden.
}

var
  k1,k2,k3,k4,k5,k6,k7,k8,k9,r1,r2,r3,z1,z2,z3,dEplas      :real;
  t1,tmax          :integer;

begin
  dEplas := 0;
  for j := 1 to maxelements do
    begin {bedenk dat het een axiaal symmetrische mesh betreft: de r waarden
           zijn minimaal 0 en nooit negatief}
      {rel is de gemiddelde r van het element gebaseerd op oppervlakte}
      rel := sqrt((sqr(r[lo[j]])+sqr(r[lb[j]])+sqr(r[ro[j]])+sqr(r[rb[j]]))/4);
      zel := (z[lo[j]]+z[lb[j]]+z[ro[j]]+z[rb[j]])/4;
      k1 := 4;
      k2 := r[lo[j]]+r[lb[j]]+r[ro[j]]+r[rb[j]];
      k3 := z[lo[j]]+z[lb[j]]+z[ro[j]]+z[rb[j]];
      k4 := k2;
      k5 := sqr(r[lo[j]]+sqr(r[lb[j]])+sqr(r[ro[j]])+sqr(r[rb[j]]);
      k6 := r[lo[j]]*z[lo[j]]+r[lb[j]]*z[lb[j]]
           +r[ro[j]]*z[ro[j]]+r[rb[j]]*z[rb[j]];
      k7 := k3;
      k8 := k6;
      k9 := sqr(z[lo[j]]+sqr(z[lb[j]]+sqr(z[ro[j]]+sqr(z[rb[j]]));
      r1 := dr[lo[j]]+dr[lb[j]]+dr[ro[j]]+dr[rb[j]];
      r2 := r[lo[j]]*dr[lo[j]]+r[lb[j]]*dr[lb[j]]
           +r[ro[j]]*dr[ro[j]]+r[rb[j]]*dr[rb[j]];
      r3 := z[lo[j]]*dr[lo[j]]+z[lb[j]]*dr[lb[j]]
           +z[ro[j]]*dr[ro[j]]+z[rb[j]]*dr[rb[j]];
      z1 := dz[lo[j]]+dz[lb[j]]+dz[ro[j]]+dz[rb[j]];
      z2 := r[lo[j]]*dz[lo[j]]+r[lb[j]]*dz[lb[j]]
           +r[ro[j]]*dz[ro[j]]+r[rb[j]]*dz[rb[j]];
      z3 := z[lo[j]]*dz[lo[j]]+z[lb[j]]*dz[lb[j]]
           +z[ro[j]]*dz[ro[j]]+z[rb[j]]*dz[rb[j]];
      Cramer(k1,k2,k3,k2,k5,k6,k7,k8,k9,r1,r2,r3);
      a := c1;
      b := c2;
      c := c3;
      Cramer(k1,k2,k3,k4,k5,k6,k7,k8,k9,z1,z2,z3);
      d := c1;
      e := c2;
      f := c3;
      er := b; {bepaal rekken}
      ez := f;
      et := a/rel+b*c*zel/rel;
      erz := c+e;
      I2 := -er*ez-er*et-ez*et+sqr(erz); {rek-invariant}
      if (I2 < 0) then
        begin
          {writeln;

```



```
writeln('De 2e invariant is ',I2);
writeln('De 2e invariant is daarom op 0 gesteld');
I2:=0;
end
else;
BepaalCu; {Aanpassing van de Cu waarde}
dEplas := Cu_n[j]*sqrt(2*I2)*Vol[j]+dEplas;
end;
if n=nmax then
begin
{ tmax:=round(maxelements);
** het is mij geheel onduidelijk waarom dit hier in staat:
maxelements is nl. al een integer.

tmax := maxelements;
for Elnr := 1 to tmax do
}
for Elnr := 1 to maxelements do
begin
writeln(uitvoer,'Element nummer = ',Elnr,' Cu = ',Cu_n[Elnr]/1000:3:0);
end;
end;
Eplas[n]:=Eplas[n-1]+dEplas;
end;

procedure Kinetisch; {bepaal kinetische energie zand}

var
drel,dzel,del,vel,Mel :real;

begin
Ekin[n]:=0;
for j:= 1 to maxelements do {kinetische energie per element}
begin {drel: de verandering van rel op basis van oppervlakte}
drel:=sqrt((sqr(dr[lo[j]])+sqr(dr[lb[j]])+sqr(dr[ro[j]])+sqr(dr[rb[j]]))/4);
dzel:=(dz[lo[j]]+dz[lb[j]]+dz[ro[j]]+dz[rb[j]])/4;
del:=sqrt(sqr(drel)+sqr(dzel));
vel:=-del*vn[n-1]/dz[imax]; {dz[imax]/vn[n-1]= de grootte v/d tijdstap}
if del > (-dz[imax]) then vel:=vn[n-1];
Mel:=Vol[j]*gamma/g;
Ekin[n]:=Mel*sqr(vel)/2+Ekin[n];
end;
(* if Ekin[n] < Ekin[n-1] then Ekin[n] := Ekin[n-1]; {Ekin wordt niet teruggegeven}
*)
end;

procedure Ankersnelheid; {bepaal nieuwe snelheid anker}

begin
v2:=(2/Manker)*(1/2*Manker*sqr(vn[0])+Epot[0]-Epot[n]-Eplas[n]-Ekin[n]+Ekin[1]);
if v2 < 0 then {energiebalans}
begin {stoppen berekening}
NotFinished := false;
{ neind:=n;
n:=nmax;
} v2:=0;
end;
dv := vn[n]-sqr(v2);
vn[n]:=sqr(v2);
end;

procedure Kracht(n :integer); {bepaal kracht op het anker}
```

```

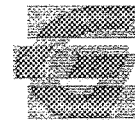
begin
  if vn[n-1] = 0 then
    else if dz[imax] = 0 then
      else
        begin
          (* rem := vn[n]-vn[n-1]/(dz[imax]/vn[n-1]); {a = dv/dt}
          *) rem := -(+vn[n]-vn[n-1])/(tijd[n]-tijd[n-1]); {a = dv/dt}
          FAnker:= Manker*rem/1000; {de massa van het anker is in kg en verder wordt er gewerkt
          met kN en m!}
          {alleen F diagram:   writeln(uitvoer8,tijd[n],',',n:5,',',Fanker:5:2,',',h-z[imax]);
          }   writeln(uitvoer8,tijd[n]:7:4,',',n:5,',',Fanker:8:2,',',h-z[imax]:7:4,
            ',',Ekin[n]:6:0,',',Eplas[n]:6:0,',',0.5*Manker*sqr(vn[n]):6:0,
            ',',EPot[n]:6:0,',',Manker*sqr(vn[0])/2:6:0,
            ',',Ekin[n]+Eplas[n]+0.5*Manker*sqr(vn[n])+EPot[n]:6:0,',',rem:6:3,',',vn[n]);
          if FAnker > Fmax then
            begin
              Fmax := FAnker;
              zfmax := z[imax];
              remmax := rem;
            end
          else;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;

procedure Reken;      {hoofd-rekendeel}

begin
  Volume;
  assign(uitvoer,mesh+'.cu');
  rewrite(uitvoer);
  assign(uitvoer8,mesh+'.f');
  rewrite(uitvoer8);
  {alleen F diagram:   writeln(uitvoer8,'          Tijd          stapnr          F          h-
  dz[imax]');
  writeln(uitvoer8,'          0          0          0          0');
  }
  write(uitvoer8,' Tijd          stapnr          F          indring.  Ekin  Eplas  Ekinr');
  writeln(uitvoer8,'          Epot  Ekin[0]  Etotber  a          vn');
  write(uitvoer8,'
  ');
  writeln(uitvoer8,'          Anker');
  writeln(uitvoer8);
  writeln(uitvoer8,' 0.0          0          0          0          ');

  (* for n:= 1 to nmax do {voor het aantal rekenstappen}
  *)
  n:=0;
  NotFinished := true;
  while NotFinished do {voor het aantal rekenstappen}
  begin
    n := n+1;
    Verplaatsing;
    Tijdsduur;
    Plastisch;
    Kinetisch;
    Potentiaal;
    for i:=1 to maxnodes do {bepaal de nieuwe geometrie}
    begin
      r[i]:=r[i]+dr[i];      {nieuwe r}
      z[i]:=z[i]+dz[i];      {nieuwe z}
    end;
    Elastisch(n);
    Ankersnelheid;
    Kracht(n);
  end;

```



```
    if n = nmax then NotFinished := false;
end;
Close(uitvoer);
Close(uitvoer8);
end;

procedure FileUitvoer;      {uitvoer voor grafieken}

var
    k1,t1                    :integer;

begin
    assign(uitvoer1,mesh+'.dat');
    rewrite(uitvoer1);
    writeln(uitvoer1,' STAP Tijd Indringing Ekin Eplas Ekinr Epot Etot Etotber
dz[imax] F a');
    writeln(uitvoer1,' Zand Zand Anker Anker
anker anker ');
    writeln(uitvoer1);
    { k1:=trunc(neind/20);
} if neind=0 then k1:=nmax;
    for t1:= 0 to nmax do
        begin
            {
                writeln(uitvoer1,' ',tjd[k1*t1]:5:4,' ',Ekin[k1*t1]:5:0,
                ',Eplas[k1*t1]:5:0,' ',0.5*Manker*sqr(vn[k1*t1]):5:0,
                ',Manker*sqr(vn[0])/2:5:0);
            }
            writeln(uitvoer1,' ',t1:4,' ',tjd[t1]:6:4,' ',h-dz[imax]:5:2,' ',Ekin[t1]:6:0,
            ',Eplas[t1]:6:0,' ',0.5*Manker*sqr(vn[t1]):6:0,
            ',EPot[t1]:6:0,' ',Manker*sqr(vn[0])/2:6:0,
            ',Ekin[t1]+Eplas[t1]+0.5*MAnker*sqr(vn[t1])+Epot[t1]:6:0,' ',dz[imax],
            ',Fanker,' ',rem);
        end;
    Close(uitvoer1);
end;

procedure MeshUitvoer; {uitvoer voor pcmesh, moet worden om genoemd naar .plm}

var
    t1                        :integer;

begin
    assign(uitvoer2,mesh+'.plo');
    rewrite(uitvoer2);
    writeln(uitvoer2,'MESH FILE FOR THE MPLUTO PROGRAM');
    writeln(uitvoer2,' ',maxnodes,' ',maxelements,' ',dimension);
    for i:= 1 to maxnodes do
        begin
            writeln(uitvoer2,' ',i,' ',r[i]:2:4,' ',z[i]:2:4);
        end;
    for j:= 1 to maxelements do
        begin
            {de onderstaande regel geeft de Cu waarde weer als een materiaalnummer}
            writeln(uitvoer2,' ',j,' ',Cu_n[j]/1000:3:0,' ',knp,' ',lb[j],' ',lo[j],' ',ro[j],
            ',rb[j]);
            {
                writeln(uitvoer2,' ',j,' ',matfactor,' ',knp,' ',lb[j],' ',lo[j],' ',ro[j],
                ',rb[j]);
            }
        end;
    writeln(uitvoer2,' ',boundnum);
    writeln(uitvoer2,' ',boundmax);
    for bo:=1 to boundmax do
        begin
            write(uitvoer2,' ',bound[bo]);
        end;
    writeln(uitvoer2);
    writeln(uitvoer2,'END OF DATA FILE');
    Close(uitvoer2);
end;
```



```

(Schrijven .ses file. Deze file is nodig om de vervormde mesh te kunnen
bekijken met pcmesh)
assign(uitvoer5,mesh+'.ses');
rewrite(uitvoer5);
writeln(Uitvoer5,'PCMESH SESSION FILE');

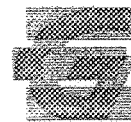
writeln(Uitvoer5,'=====');
writeln(Uitvoer5,'COMPANY : DELFT GEOTECHNICS');
writeln(Uitvoer5,'LICENCE : INTERN ');
{de volgende 4 regels wegcommentaren in verband met mogelijke millenium
problemen en vervangen door de daaronder staande 2 regels}
GetDate(yy,mm,dd,dow);
GetTime(uur,Min,S,s100);
writeln(Uitvoer5,'DATE : ',yy,':',mm,':',dd);
writeln(Uitvoer5,'TIME : ',uur,':',min,':',s);
{writeln(Uitvoer5,'DATE : ');
writeln(Uitvoer5,'TIME : ');
}
writeln(Uitvoer5,'FILENAME : ',mesh+'.ses',' created by Valank version 2.0');
writeln(Uitvoer5,'===== BEGINNING OF DATA');
writeln(Uitvoer5,titel1);
writeln(Uitvoer5,titel2);
writeln(Uitvoer5);
writeln(Uitvoer5,'End of Session-file');
Close(uitvoer5);
end;

procedure MeshWater; {uitvoer voor pcmesh, moet worden omgenoemd naar .plw}
{geeft de gegenereerde waterspanningen weer}

var
    t1 :integer;

begin
    Pw := 0;
    assign(uitvoer2,mesh+'.plw');
    rewrite(uitvoer2);
    writeln(uitvoer2,'MESH FILE FOR THE MPLUTO PROGRAM');
    writeln(uitvoer2,' ',maxnodes,' ',maxelements,' ',dimension);
    for i:= 1 to maxnodes do
        begin
            writeln(uitvoer2,' ',i,' ',r[i]:2:4,' ',z[i]:2:4);
        end;
    for j:= 1 to maxelements do
        begin
            {de onderstaande regel geeft de Cu waarde weer als een materiaalnummer}
            { Inhoud[j]:=
            CalcSurf(r[lo[j]],z[lo[j]],r[ro[j]],z[ro[j]],r[rb[j]],z[rb[j]],r[lb[j]],z[lb[j]],j);
            dEelas := 0.5*(Vol[j]-Inhoud[j])/Vol[j]*Kwater;
            writeln(uitvoer2,' ',j,' ',dEelas:5:0,' ',knp,' ',lb[j],' ',lo[j],' ',ro[j],'
            ',rb[j]);
            }
            Inhoud[j]:=
            CalcSurf(r[lo[j]],z[lo[j]],r[ro[j]],z[ro[j]],r[rb[j]],z[rb[j]],r[lb[j]],z[lb[j]],j);
            Pw := ((Vol[j]-Inhoud[j])/Vol[j])*Kwater;
            writeln(uitvoer2,' ',j,' ',(Pw)/1000:5:0,' ',knp,' ',lb[j],' ',lo[j],' ',ro[j],'
            ',rb[j]);
        end;
    writeln(uitvoer2,' ',boundnum);
    writeln(uitvoer2,' ',boundmax);
    for bo:=1 to boundmax do
        begin
            write(uitvoer2,' ',bound[bo]);
        end;
    end;
end;

```



```
end;
writeln(uitvoer2);
writeln(uitvoer2, 'END OF DATA FILE');
Close(uitvoer2);

{Schrijven .ses file. Deze file is nodig om de vervormde mesh te kunnen
bekijken met pcmesh maar moeten worden omgenoemd naar .ses}
assign(uitvoer5, mesh+'.seb');
rewrite(uitvoer5);
writeln(Uitvoer5, 'PCMESH SESSION FILE');

writeln(Uitvoer5, '=====');
writeln(Uitvoer5, 'COMPANY : DELFT GEOTECHNICS');
writeln(Uitvoer5, 'LICENCE : INTERN ');
{de volgende 4 regels wegcommentaren in verband met mogelijke millenium
problemen en vervangen door de daaronder staande 2 regels}
GetDate(yy,mm,dd,dow);
GetTime(uur,Min,S,s100);
writeln(Uitvoer5, 'DATE : ',yy,':',mm,':',dd);
writeln(Uitvoer5, 'TIME : ',uur,':',min,':',s);
{writeln(Uitvoer5, 'DATE : ');
writeln(Uitvoer5, 'TIME : ');
}
writeln(Uitvoer5, 'FILENAME : ',mesh+'.ses', ' created by Valank version 2.0');
writeln(Uitvoer5, '===== BEGINNING OF DATA');
writeln(Uitvoer5, ' ');
writeln(Uitvoer5, titel1);
writeln(Uitvoer5, titel2);
writeln(Uitvoer5);
writeln(Uitvoer5, 'End of Session-file');
Close(uitvoer5);
end;

begin (hoofdprogramma)
  clrscr;
  assign(uitvoer7, 'grafiek.out');
  rewrite(uitvoer7);

  writeln(uitvoer7, '*****');
  writeln(uitvoer7, ' SAMENVATTING RESULTATEN SOMMEN');

  writeln(uitvoer7, '*****');
  writeln(uitvoer7, ' ');
  writeln(Uitvoer7, ' Som Massa Dekking Indring Rest V V heind vdak
n Fmax h boven dak amax');
  writeln(Uitvoer7, ' Nr. Anker diepte energie begin eind (extp) (extp)
bij Fmax ');
  writeln(Uitvoer7, ' [-] [kg] [m] [m] [kNm] [m/s] [m/s] [m] [m/s]
[-] [kN] [m]');
  writeln(uitvoer7, ' ');
  assign(kraken, 'files.nrs');
  reset(kraken);
  readln(kraken, somnr, mfactor, qbron[1], qbron[2]);
  qbron[2] := -qbron[2];
  { writeln('qbron[1]= ', qbron[1], ' qbron[2]= ', qbron[2]);
} for som := 1 to somnr do
  begin
    Fmax := 0; {de maximale kracht tijdens de indringing}
    zfmax := 0; {de hoogte waarbij F maximaal is}
    remmax := 0; {de maximale vertraging van het anker}
    readln(kraken, InFile); {NB. er is geen controle of de file er wel is}
```

```

                                {De filenaam moet vooraan in de regel staan,
                                zonder voorafgaande/nakomende spaties en
                                zonder extensie}

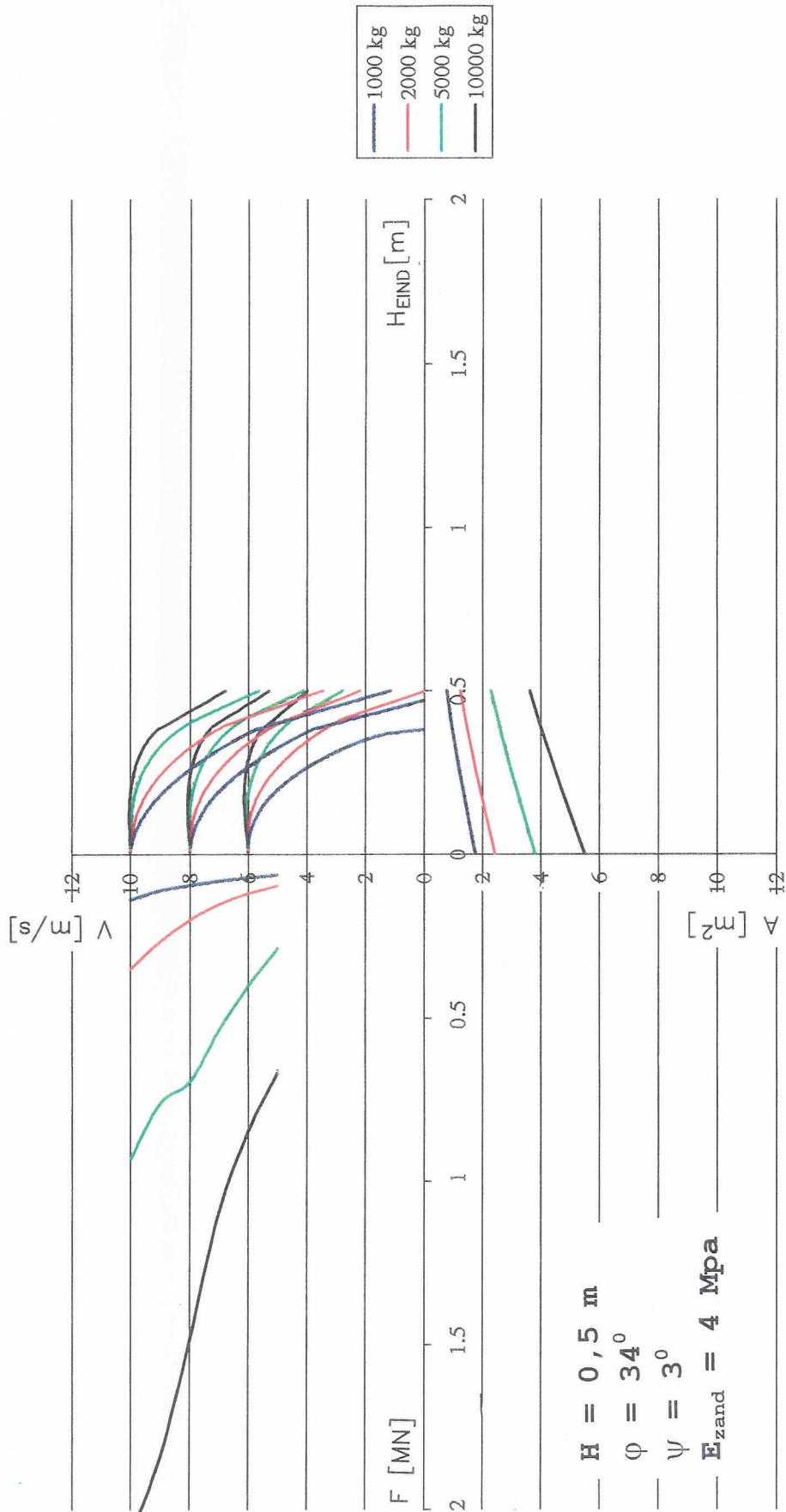
writeln(' De batch is bij berekening nummer ', som);
writeln(' Het aantal hierna nog uit te voeren berekeningen = ', somnr-som);
DataInvoer;
MeshInvoer;
Initialisatie;
Reken;
FileUitvoer;
MeshUitvoer;
{
  MeshWater;
}
{hieronder wordt, als de som erg moeilijk convergeert de geschatte eind
 indringdiepte en eindsnelheid bepaald, op basis van de dv/dh over het
 gehele traject! Over alleen de laatste stap levert nl. onjuiste waarden
 op.)
if vn[n] > 0 then {alleen extrapoleren als vn[n] > 0!}
begin {vn[n] > 0}
{
  vdak := vn[n]-{(vn[0]-vn[n])/(h-z[imax])*z[imax]};
}
  vdak := vn[n]-{(vn[0]-vn[n])/(h-z[imax])*z[imax]};
  if vdak < 0 then
  begin
    vdak := 0;
  {
    heind := z[imax] - (h-z[imax])/(vn[0]-vn[n])*vn[n];
  }
    heind := z[imax] - (h-z[imax])/(vn[0]-vn[n])*vn[n];
  end
  else;
end
else
begin
  vdak := vn[n];
  heind := z[imax];
end;
writeln(Uitvoer7,' ',som:4,' ',MAnker:8:0,' ',h:5:2,' ',h-z[imax]:5:2,' ',
        0.5*MAnker*sqr(vn[n])/1000:7:0,' ',vn[0]:5:2,' ',vn[n]:5:2,' ',
        heind:5:2,' ',vdak:5:2,' ',n:3,' ',Fmax:8:0,' ',zfmmax:5:2,' ',remmax);
end;

writeln(uitvoer7,'*****
*****');
close(Uitvoer7);
close(kraken);
end.

```

# BIJLAGEN

dekking 0,5 m



**GRONDMECHANICA  
DELFT**

Postbus 69,  
2600 AB DELFT

Telefoon (015) 269 35 00  
Telefax (015) 261 08 21

Datum  
1997-10-16

get.  
Bijn

Valank

Vallende ankers op tunneldaken

Resultaten dekking van 0,5 m

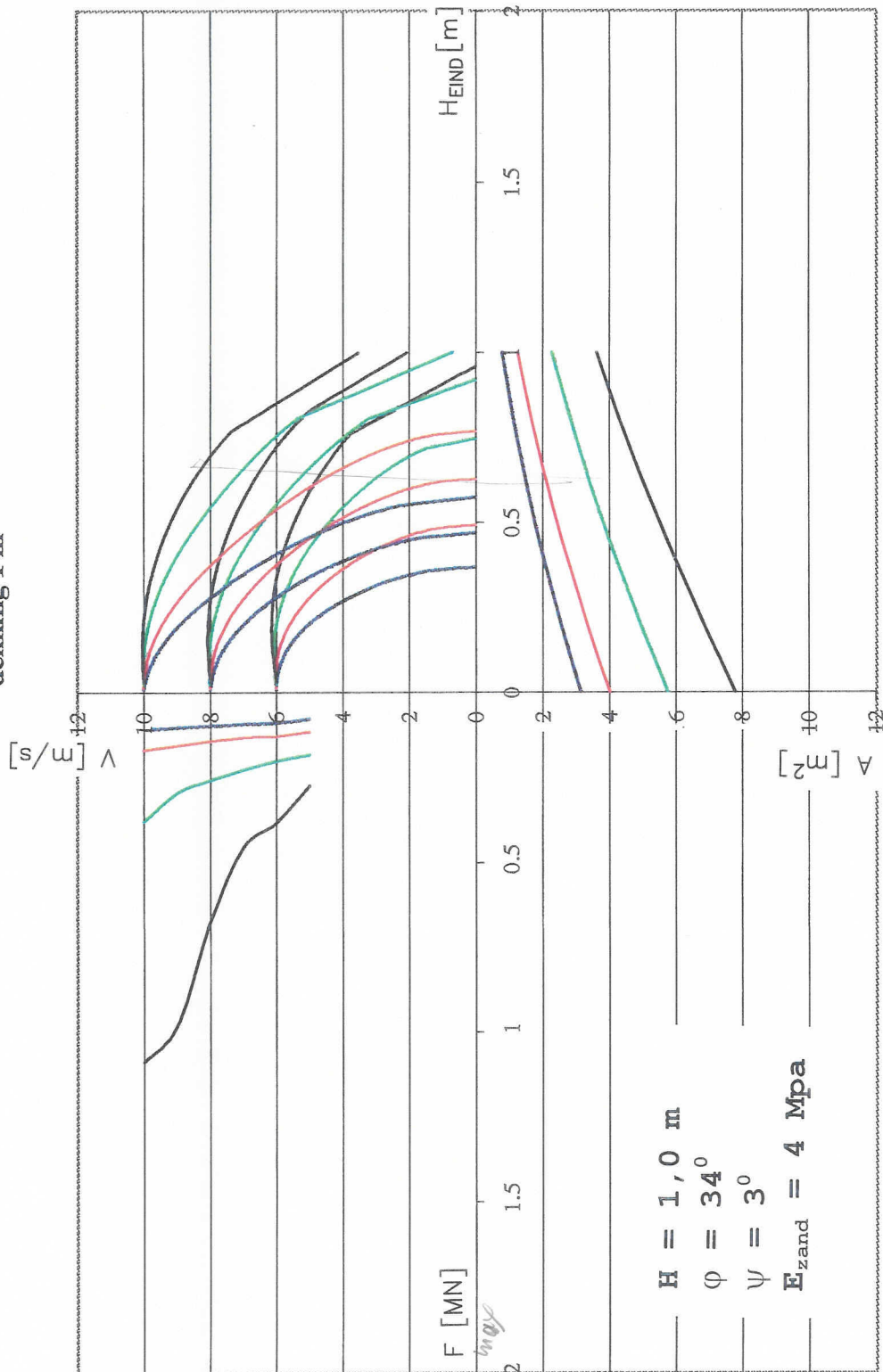
CO - 363120

gez.

BIJL. 1

form.  
A4

dekking 1 m



GRONDMECHANICA  
DELFT

Postbus 69,  
2600 AB DELFT

Telefoon (015) 269 35 00  
Telefax (015) 261 08 21

Datum  
1997-10-16

get.  
Bijn

Valank

Vallende ankers op tunneldaken

Resultaten dekking van 1,0 m

CO - 363120

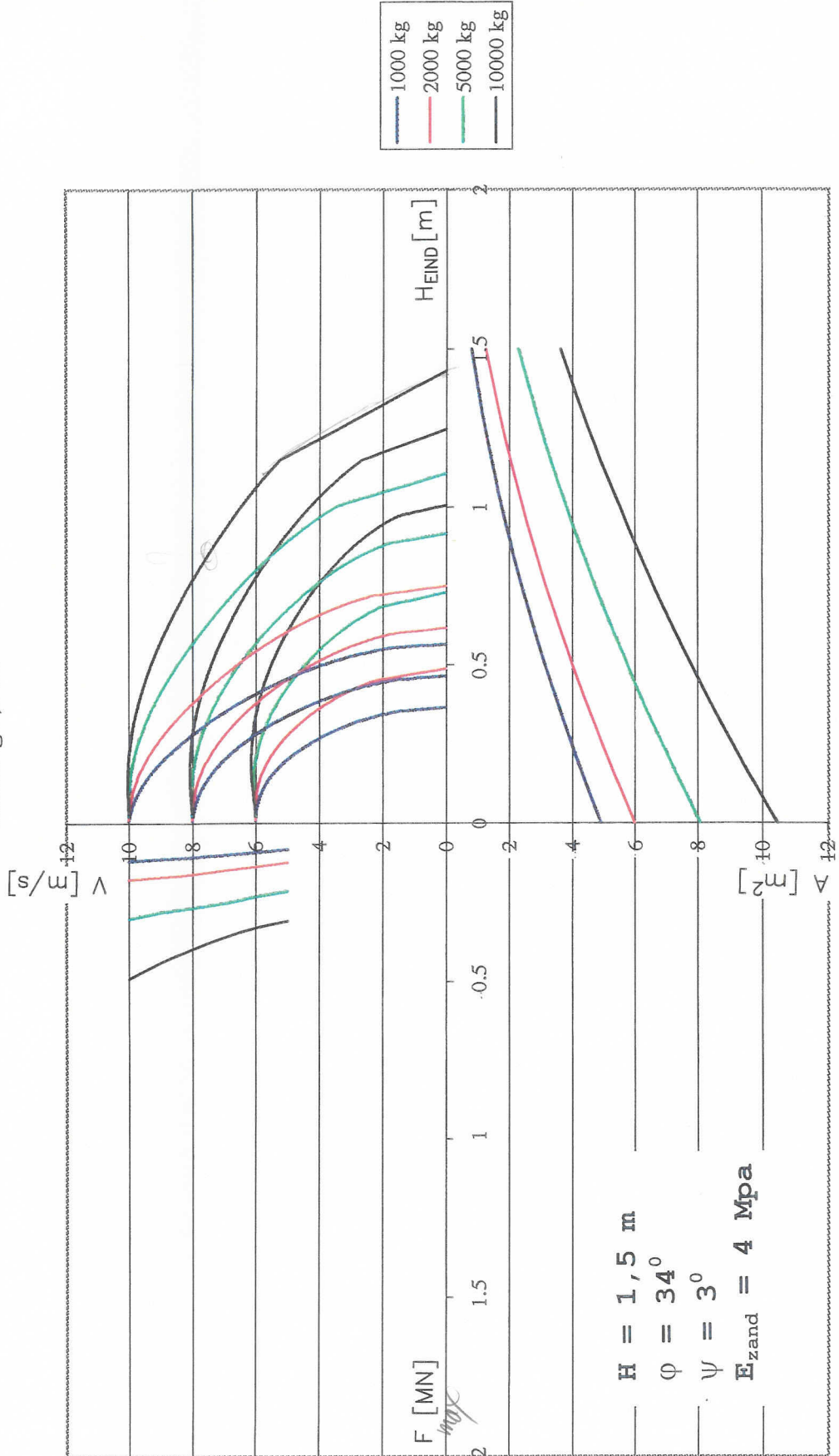
gez.

BIJL. 2

form.  
A4



dekking 1,5 m



GRONDMECHANICA  
DELFT

Postbus 69,  
2600 AB DELFT

Telefoon (015) 269 35 00  
Telefax (015) 261 08 21

Datum  
1997-10-16

get.  
Bijn

Valank

Vallende ankers op tunneldaken

Resultaten dekking van 1,5 m

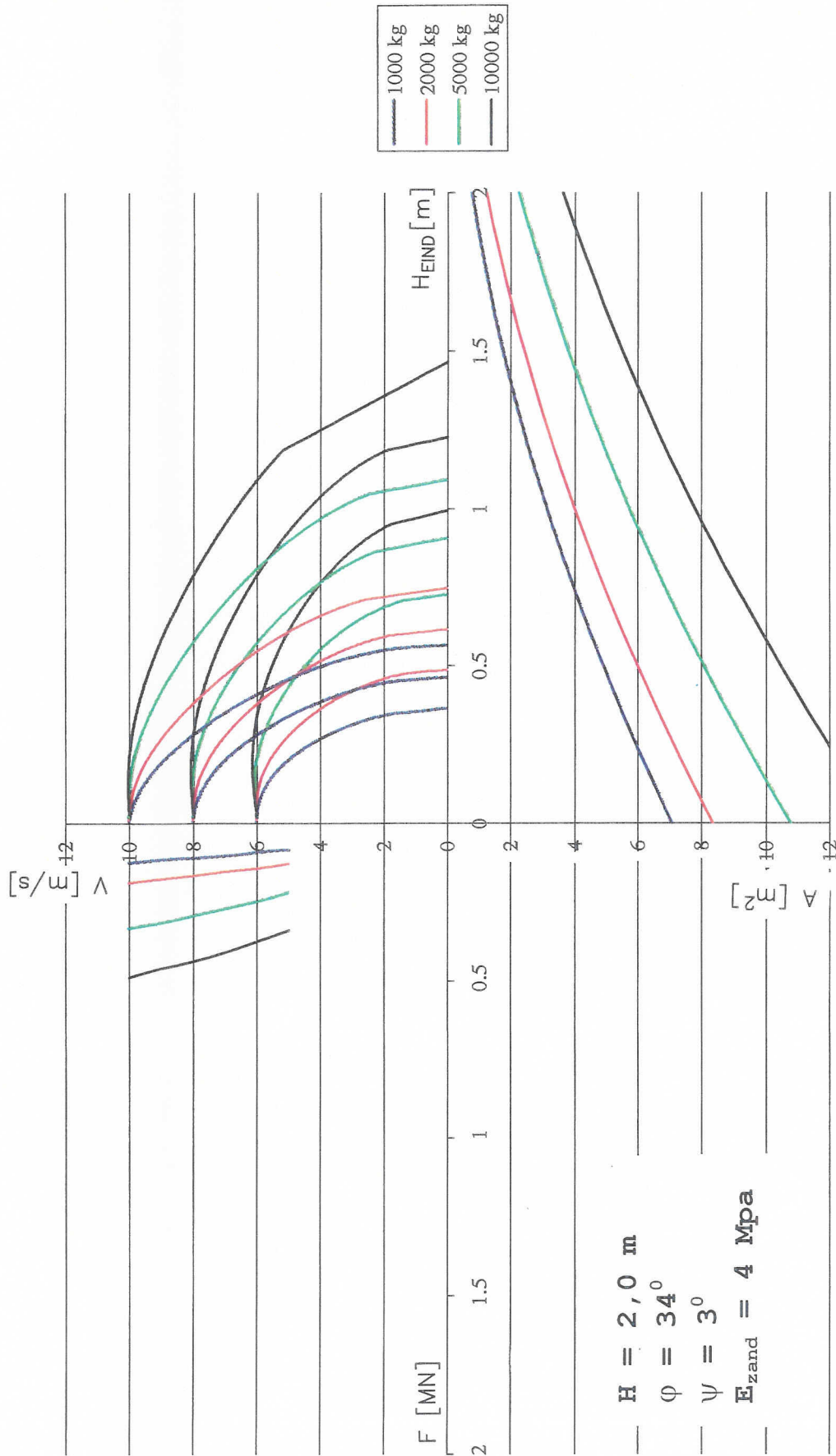
CO - 363120

gez.

BIJL. 3

form.  
A4

dekking 2 m



**GRONDMECHANICA  
DELFT**

Postbus 69,  
2600 AB DELFT

Telefoon (015) 269 35 00  
Telefax (015) 261 08 21

Datum  
1997-10-16

get.  
Bijn

Valank  
Vallende ankers op tunneldaken  
Resultaten dekking van 2,0 m

CO - 363120

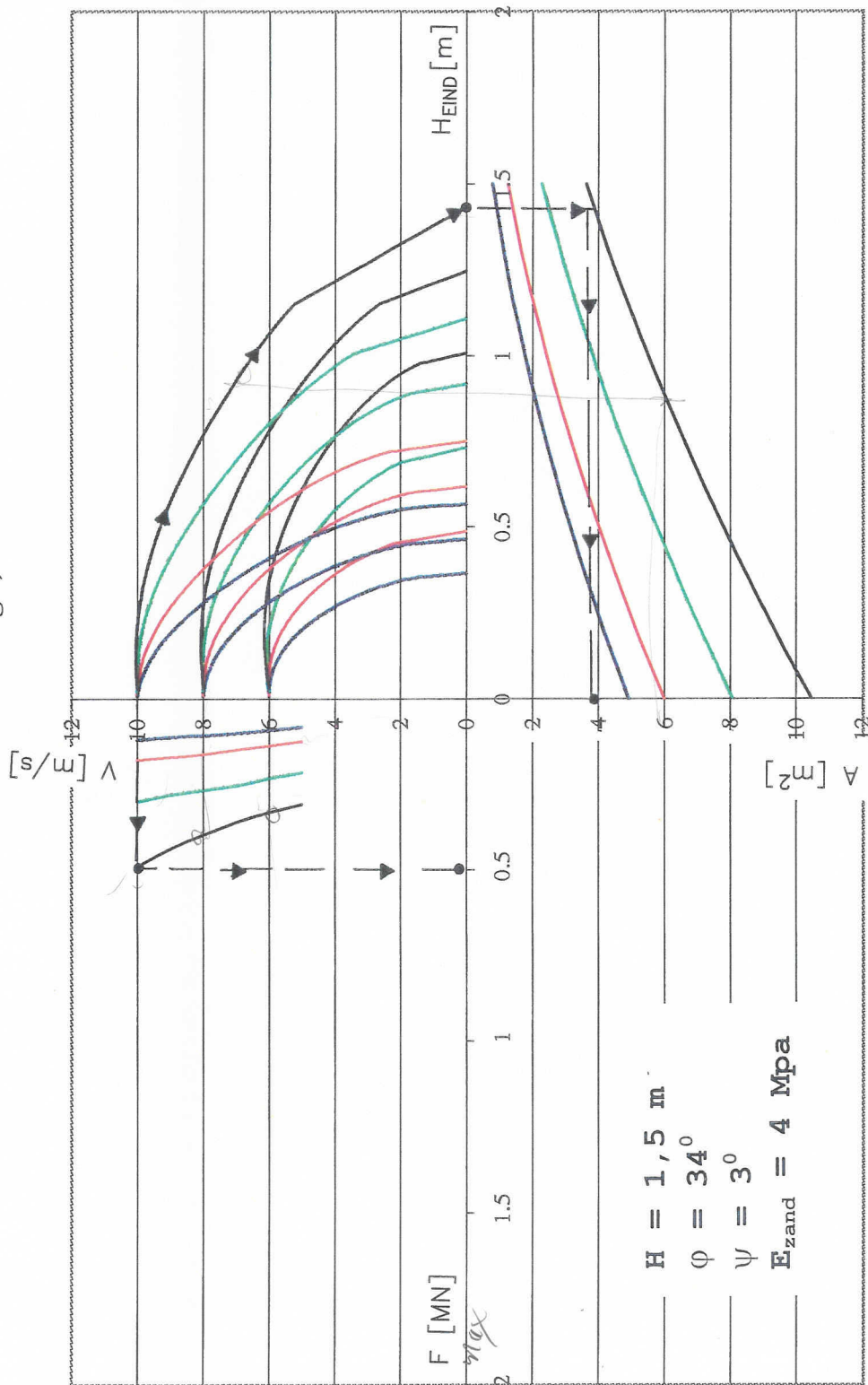
gez.

BIJL. 4

form.  
A4



dekking 1,5 m



GRONDMECHANICA  
DELFT

Postbus 69,  
2600 AB DELFT

Telefoon (015) 269 35 00  
Telefax (015) 261 08 21

Datum  
1997-10-16

get.  
Bijn

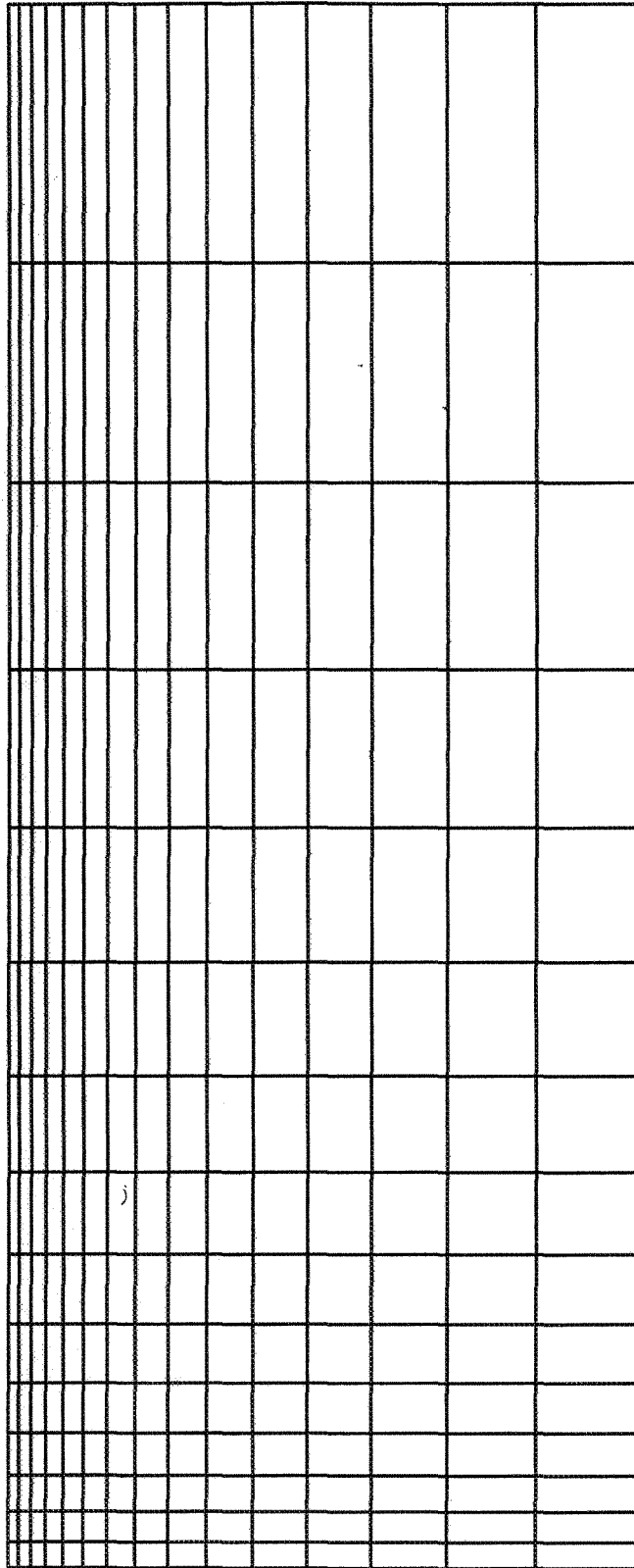
Valank  
Vallende ankers op tunneldaken  
Voorbeeld gebruik grafiek

CO - 363120

gez.

BIJL. 5

form.  
A4



8.0E-01 m

Nodes : 256 Elements : 225

Total mesh drawn.

PCMESH [1.2]

File : MODEL



GRONDMECHANICA  
DELFT

POSTBUS 69  
2600 AB DELFT

TELEFOON (015) 26 93 500  
TELEFAX (015) 26 10 821

datum

1999-01-20

get.

Bijn

Valank: vallende ankers op tunneldaken  
Mesh voor dekking van 1,0 m hoogte

CO-363120

gez.

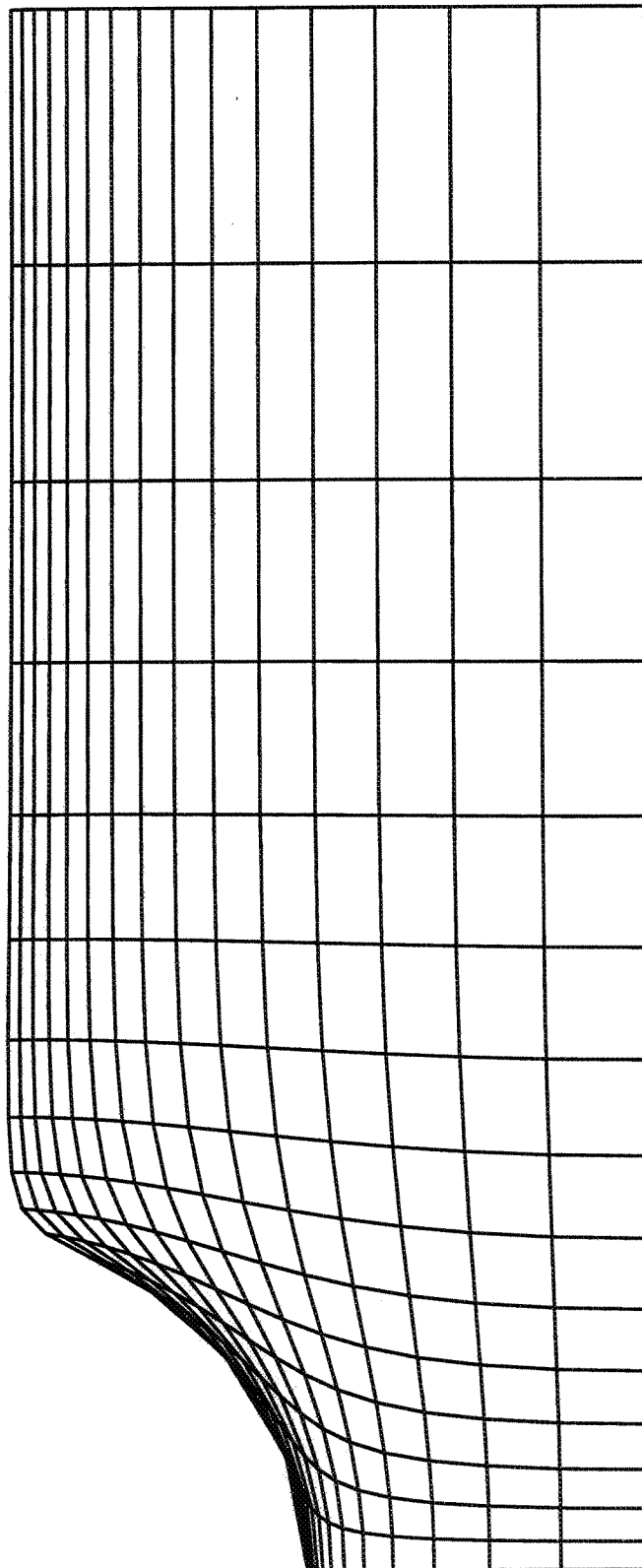
Lug

MESH

BIJL. 7

form.

A4



8.0E-01 m

Nodes : 256 Elements : 225

Total mesh drawn.

PCMESH [1.2]

File : MODEL

 GRONDMECHANICA  
DELFT

POSTBUS 69  
2600 AB DELFT

TELEFOON (015) 26 93 500  
TELEFAX (015) 26 10 821

datum

1999-01-20

get.

Bijn

Valank: vallende ankers op tunneldaken  
Vervormde mesh voor dekking van 1,0 m

CO-363120

gez.

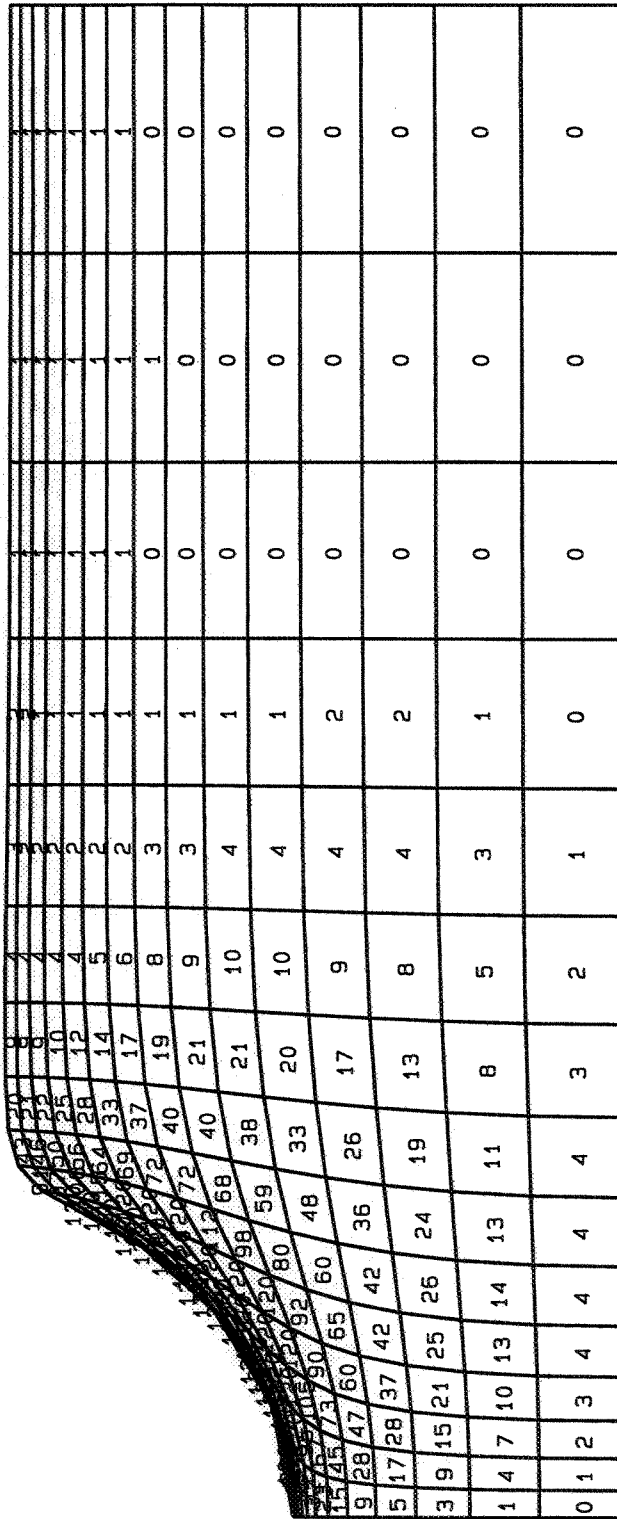
Lug

MESH

BIJL. 8

form.

A4



8.0E-01 m

PCMESH [1.2]	Nodes : 256	Elements : 225
File : MODEL	Total mesh drawn.	

**GRONDMECHANICA DELFT**

POSTBUS 69  
2600 AB DELFT

TELEFOON (015) 26 93 500  
TELEFAX (015) 26 10 821

datum  
1999-01-20

Valank: vallende ankers op tunneldaken  
Vervormde mesh voor dekking van 1,0 m

gez.  
Lug

MESH : VOLUME - MATERIAL NUMBERS

form.  
A4

BIJL. 9

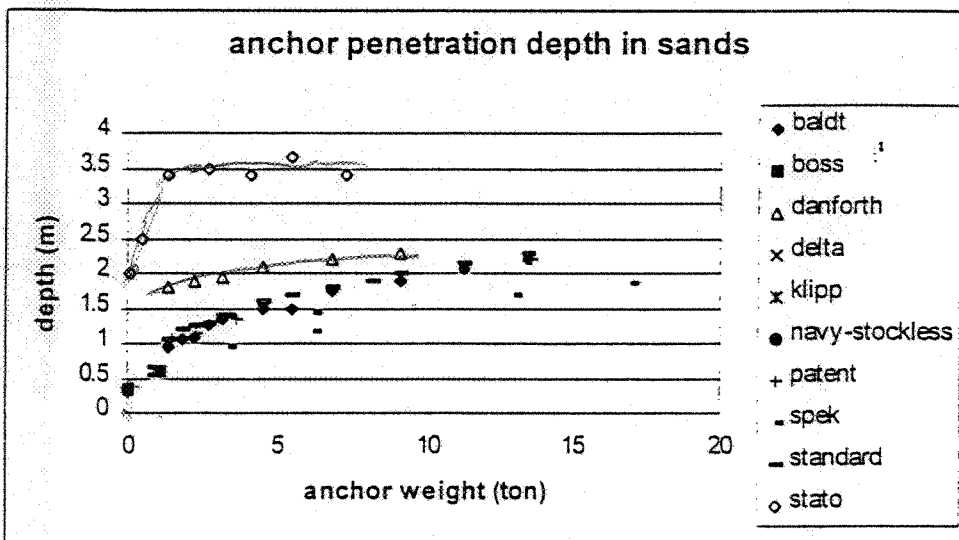


Figure 7.1

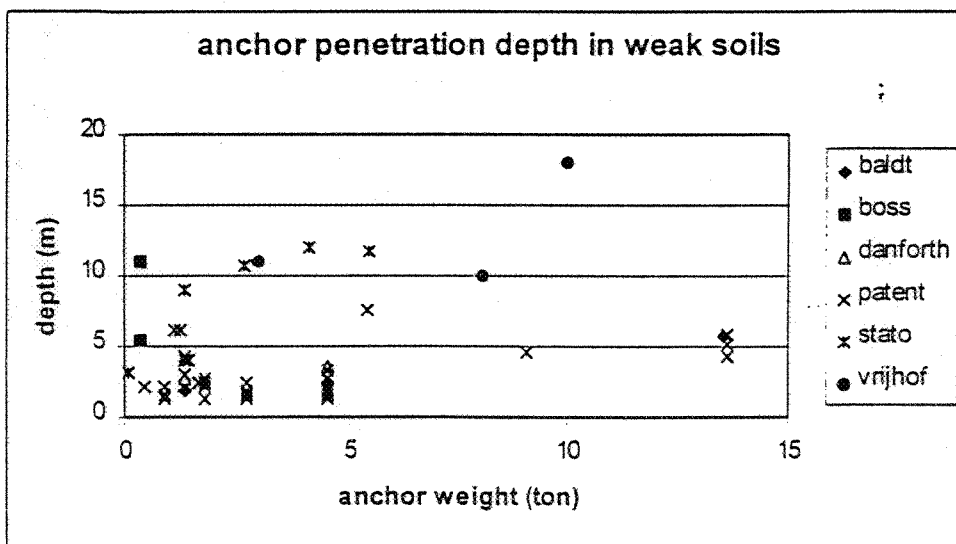


Figure 7.2