

Uitwerking K₀-CRS-proef, bepaling abc-parameters

Contactpersoon	:	Dr. H. den Adel
Datum	:	Maart 2002
Author(s)	:	Dr. H. den Adel Dr. ir. M.A. Van
Opdrachtgever	:	Delft Cluster
Project naam	:	Samengestelde constructies
Project nummer	:	01.04.02-58 versie 1.0
Aantal pagina's	:	36
Aantal tabellen	:	8
Aantal figuren	:	19
Aantal bijlagen	:	5



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.

Rapportnummer 58	Datum maart 2002	Samenvatting rapport In het K_0 -CRS-apparaat wordt een monster grond met constante reksnelheid belast. Uit de registraties van deze proef kunnen de a- en b-parameters van het Isotachenmodel worden bepaald. In principe kan ook de c-parameter worden bepaald, maar in de praktijk worden voor 'c' (nog) geen goede resultaten geboekt. De klassieke oedometerproef levert wel waarden op voor de c-parameter. In dit rapport zijn de stappen beschreven om uit de registraties van de K_0 -CRS-proef de karakteristieke grootheden af te leiden, aan de hand waarvan de a- en b-parameters worden bepaald. Tevens is aangegeven op welke manier de a- en b-parameters uit die karakteristieke grootheden dienen te worden bepaald. De waarde van de c-parameter is uit de verschillende stappen van de oedometerproef bepaald. Aangegeven is hoe de waarde van 'c' wordt bepaald. Met behulp van de analyse van het uitgevoerd laboratoriumonderzoek op monsters genomen nabij de ophoging Barendrechtse weg is een postdictie gemaakt van de maaiveldzakking. De waargenomen zakking is vergeleken met de berekende zakking.			
Versie 2 Definitief	Aantal pagina's 67				
Type rapport Studie					
Titel / subtitel Uitwerking K_0 -CRS-proef, bepaling abc-parameters					
Projectnaam Samengestelde constructies					
Projectleider(s) dr. H. den Adel					
Projectbegeleider(s) dr.ir. M.A. Van					
Overige leden projectteam ir. L. van Loon ing. E.D.G. van Zantvoort					
Verspreiding Extern					
Versie	Datum	Opgesteld door	Paraaf	Gecontroleerd door	Paraaf
1	november 2001	dr. H. den Adel		dr.ir. M.A. Van	
2	maart 2002	dr. H. den Adel		dr. ir. M.A. Van	

Projectgroep

Tijdens de uitvoering van de deelopdracht bepaling abc parameters bestond de Delft Cluster-groep van thema 1 uit

	Naam	Organisatie
Thema Trekker	Dr.ir. P. van den Berg	GeoDelft
Thema Duwer	Dr. A. Scarpas	TU Delft
Thema Leden	Ir. L. van Loon	
	Ing. E.D.G. van Zantvoort	GeoDelft
	Dr. H. den Adel	GeoDelft
	Dr.ir. M.A. Van	GeoDelft

Betrokken personen

Bij de totstandkoming van dit rapport waren betrokken:

Naam	Organisatie
Dr. H. den Adel	GeoDelft
Dr. ir. M.A. Van	GeoDelft
Ir. L. van Loon	
Ing. E.D.G. van Zantvoort	GeoDelft

Management samenvatting

Titel	Uitwerking K_0 -CRS-proef, bepaling abc-parameters
Auteurs	Dr. H. den Adel en Dr. ir. M.A. Van
Datum	Maart 2002
Project nummer	01.04.02
Rapport nummer	58 versie 01

In het K_0 -CRS-apparaat wordt een monster grond met constante reksnelheid belast. Uit de registraties van deze proef kunnen de a- en b-parameters van het Isotachenmodel worden bepaald. In principe kan ook de c-parameter worden bepaald, maar in de praktijk worden voor 'c' (nog) geen goede resultaten geboekt. De klassieke oedometerproef levert wel waarden op voor de c-parameter.

In dit rapport zijn de stappen beschreven om uit de registraties van de K_0 -CRS-proef de karakteristieke grootheden af te leiden, aan de hand waarvan de a- en b-parameters worden bepaald. Tevens is aangegeven op welke manier de a- en b-parameters uit die karakteristieke grootheden dienen te worden bepaald.

De waarde van de c-parameter dient uit de verschillende stappen van de oedometerproef te worden bepaald. Aangegeven is hoe de waarde van 'c' wordt bepaald.

Met behulp van de analyse van het uitgevoerd laboratoriumonderzoek op monsters genomen nabij de ophoging Barendrechtse weg is een postdictie gemaakt van de maaiveldzakking. De waargenomen zakking is vergeleken met de berekende zakking.

Inhoud

1	Inleiding	5
2	De K_0-CRS-proef	6
2.1	Inleiding	6
2.2	Beschrijving toestel	6
2.2.1	Verticale rek	6
2.2.2	Verticale krachten	6
2.2.3	Waterspanning	6
2.2.4	Horizontale kracht, K_0	7
2.3	Beschrijving uitvoering proef	7
2.3.1	Verticale zakking	8
2.3.2	Verticale druk	9
2.3.3	Waterspanning	11
2.3.4	Horizontale druk, K_0	13
2.4	Berekening gecorrigeerde grootheden	14
2.4.1	Verticale rek	14
2.4.2	Totale spanning	14
2.4.3	Korrelspanning	15
2.4.4	Korrelspanning versus rek	17
3	Bepaling parameters	18
3.1	Bepaling a- en b-parameters	18
3.1.1	Bepaling natuurlijke rek	18
3.1.2	Bepaling verticale korrelspanning	18
3.1.3	Uitzetten gemeten grootheden in grafiek	18
3.2	Bepaling a-parameter	19
3.3	Bepaling b-parameter	19
3.4	Bepaling c-parameter	20
4	Case zettingen Barendrechtse weg	24
4.1	Inleiding	24
4.2	Geometrie en parameters	24
4.3	Ophogingen	25
4.4	Keuze meetraai	26
4.5	Berekeningsvarianten	27
5	Conclusies	32
6	Aanbevelingen	34
7	Literatuur	35
8	Lijst met symbolen	36

Bijlagen

Bijlage 1	Geometrie ophoging Barendrechtse weg
Bijlage 2	Benaderingen voor β , λ en σ'_v
Bijlage 3	Wandwrijving
Bijlage 4	Invoer case 1
Bijlage 5	Uitvoer van case 1

Tabellen

Tabel 3.1	Waarden van e_0^H , t_r en c	23
Tabel 4.1	Geometrie in een notendop	24
Tabel 4.2	Doorlatendheid en porositeit	24
Tabel 4.3	De abc-parameters per type grondlaag	25
Tabel 4.4	De korrelspanning, grensspanning en OCR per type grondlaag	25
Tabel 4.5	Tijdschema van de ontgraving en ophogingen	26
Tabel 4.6	Schema berekeningen	27
Tabel 4.7	Het effect van ontgraven	28

Figuren

Figuur 2.1	De zakking als functie van de tijd	8
Figuur 2.2	De verticale kracht boven en onder als functie van de tijd	9
Figuur 2.3	Wrijvingsverlies als functie van de tijd	10
Figuur 2.4	De gemeten waterspanning en celdruk als functie van de tijd	11
Figuur 2.5	Maximale waterspanning aan de onderzijde van het monster als functie van de tijd	12
Figuur 2.6	De K_0 als functie van de tijd	13
Figuur 2.7	Verticale rek als functie van de tijd	14
Figuur 2.8	De gemiddelde waarde van de totale spanning	15
Figuur 2.9	Korrelspanning als functie van de tijd	16
Figuur 2.10	Korrelspanning versus de natuurlijke rek	17
Figuur 3.1	Bepaling van de a- en b- parameter	19
Figuur 3.2	De ruis in de verplaatsingsopnemer en de ruis in de spanning	20
Figuur 3.3	Natuurlijke rek versus de logaritme van de tijd	21
Figuur 3.4	Natuurlijke rek als functie van de gereduceerde tijd	23
Figuur 4.1	Vergelijking gemeten en berekende zakking, met en zonder drainage	29
Figuur 4.2	Invloed datum aanbrengen verticale drainage	30
Figuur 4.3	De invloed van ontgraven en anisotropie in de doorlatendheid	31
Figuur 8.1	Verschil tussen de gemiddelde korrelspanning exact en in kwadratische benadering, bijlage 2, pagina 6.	7
Figuur 8.2	Relatieve afwijking tussen de exacte waarde en de kwadratische benadering van de korrelspanning versus de korrelspanning, bijlage 2 pagina 7	8

1 Inleiding

Bij de aanleg van ophogingen zoals wegen en spoorwegen, op een slappe ondergrond treedt een aanzienlijke zakking van het maaiveld op door verdringing van water uit het onderliggende korrelskelet. Twee processen spelen hierbij een rol: consolidatie en kruip; de laatste wordt ook wel seculair effect genoemd. Voor beide mechanismen zijn al diverse conceptuele modellen ontwikkeld. Omdat beheerskosten van constructies steeds belangrijker worden, komt vanuit de markt tegenwoordig de nadruk te liggen op accuraatheid van de voorspelling van de zetting, ook na vele jaren. Met name kruip is verantwoordelijk voor zettingen gedurende de periode dat een constructie onderhouden moet worden. Consolidatie is vooral van belang in de beginfase van de aanleg.

Omdat er vanuit de markt behoefte bestaat om tot betere voorspellingen van de zakking, met name veroorzaakt door kruip, te komen, is er een Delft Cluster project opgestart: "Samengestelde constructies". Het doel van dit project is om tot een geïntegreerde aanpak van grond en constructie te komen. Een van de onderdelen van dit project bestaat uit in-situ metingen van de reactie van de grond op ophogingen die rond de Barendrechtse weg worden uitgevoerd. Het oorspronkelijke plan was om een ophoging die gedeeltelijk uit EPS schuim zou bestaan, aan te brengen. Dit proces is intensief gemonitord. Mede dankzij de informatie bleek de ophoging met conventionele materialen te kunnen worden uitgevoerd. Naast de monitoring in het veld zijn er monsters gestoken waarop laboratoriumproeven zijn uitgevoerd. Over de uitgevoerde samendrukkingproeven, de K_0 -CRS-proeven en de bepaling van de a-, b- en c-parameters van het Isotachenmodel gaat dit rapport.

In hoofdstuk 2 wordt de procedure van de K_0 -CRS-proef beschreven, in hoofdstuk 3 wordt behandeld hoe uit een K_0 -CRS-proef de abc-parameters van het isotachenmodel kunnen worden bepaald. In hoofdstuk 4 wordt de gemeten zakking aan de Barendrechtse weg vergeleken met de berekende zakking. Tenslotte worden in hoofdstuk 5 conclusies getrokken.

Dit document is de rapportage conform artikel 1 sub 2C van het contract DWW 2041 tussen de Dienst Weg- en Waterbouwkunde en GeoDelft.

2 De K_0 -CRS-proef

2.1 Inleiding

Voor de voorspelling van de zakking van een grondpakket werd van oudsher de oedometerproef uitgevoerd. Deze proef heeft echter beperkingen en niet alle parameters die voor een berekening nodig zijn, konden worden bepaald. In de afgelopen jaren heeft GeoDelft een zogeheten K_0 -CRS-apparaat ontwikkeld. In dit apparaat wordt de grond met een constante reksnelheid (constant rate of strain) belast. Tevens kan de waarde van K_0 worden gemeten.

Met dit apparaat kunnen derhalve meer grondparameters worden bepaald dan in de klassieke oedometerproef. Daarnaast is de uitvoeringsduur van de K_0 -CRS korter dan de oedometerproef. Aangevuld door theorie-ontwikkeling, met name op het gebied van kruip, kan een belangrijke stap worden gemaakt in de voorspelling van de zetting door kruip.

Het K_0 -CRS-apparaat is een recente ontwikkeling. De schat aan kennis en ervaring die met de klassieke oedometerproef is opgedaan, ontbreekt momenteel voor de K_0 -CRS proef nog wel. Dit is een factor waardoor de bepaling van de abc parameters uit het isotachenmodel moeizaam en ingewikkeld lijkt.

2.2 Beschrijving toestel

2.2.1 Verticale rek

Het hart van het K_0 -CRS-apparaat bestaat uit een oedometerring. De proef wordt bij een constante reksnelheid uitgevoerd. Deze kan zowel positief, negatief of 0 zijn.

2.2.2 Verticale krachten

Zowel de kracht op de bovenzijde van het monster als de kracht op de onderzijde van het monster worden gemeten. Het verschil van de beide krachten wordt veroorzaakt door de wrijvingskracht tussen monster en wand. Aangenomen wordt dat de wrijving tussen monster en wand constant is. Indien de wrijvingscoëfficiënt klein is, is het verschil tussen de kracht boven en de kracht onder klein ten opzichte van de kracht onder. Dit heeft tot gevolg dat de wrijvingskracht zich ruwweg lineair langs de wand ontwikkelt, zie appendix 3. Dit maakt het mogelijk een simpele benadering te maken voor de gemiddelde spanning in het monster. In [den Haan, 2001] is overigens een exacte (helaas impliciete) uitdrukking gegeven voor de gemiddelde spanning in het monster.

2.2.3 Waterspanning

Onder invloed van de vervorming zal er water uit het monster worden geperst. Aan de bovenzijde is het monster gedraineerd, het poriewater kan vrijelijk afstromen. Aan de onderzijde is het monster ongedraineerd. Door vervorming van het monster kan zich hier waterspanning opbouwen. Deze is in het algemeen ongelijk aan nul. Door uit te gaan van een parabolisch verloop van de waterspanning kan de waterspanning worden bepaald, gemiddeld over de hoogte van het monster. Het verschil van de gemiddelde totale spanning en de gemiddelde waterspanning levert de gemiddelde waarde van de korrelspanning op.

Uit triaxiaalproeven is bekend dat gasbelletjes in het poriewater de interpretatie van een ongedraineerde proef sterk hinderen. Daarom worden ongedraineerde proeven onder backpressure uitgevoerd. Hierdoor lost het gas in het poriewater op en heeft geen negatieve invloed meer op de stijfheid van het poriewater. Daarom wordt ook de K_0 -CRS-proef onder backpressure uitgevoerd.

2.2.4 Horizontale kracht, K_0

Op halve hoogte verjongt de ring tot een dikte van 0.6 mm. Omdat de verjonging minder stijf is dan de rest van de oedometerring, zal de ring op deze plaats iets meer deformeren dan in het dikkere deel. Op deze verjonging zitten rekstrookjes bevestigd. Deze meten de vervorming van de ring. Hieruit kan de horizontale kracht worden bepaald. In principe wordt door de vervorming niet meer voldaan aan de eis dat het monster in horizontale zin vormvast dient te zijn. In de praktijk zijn de vervormingen voldoende klein om nog in goede benadering het monster horizontaal vormvast te mogen noemen.

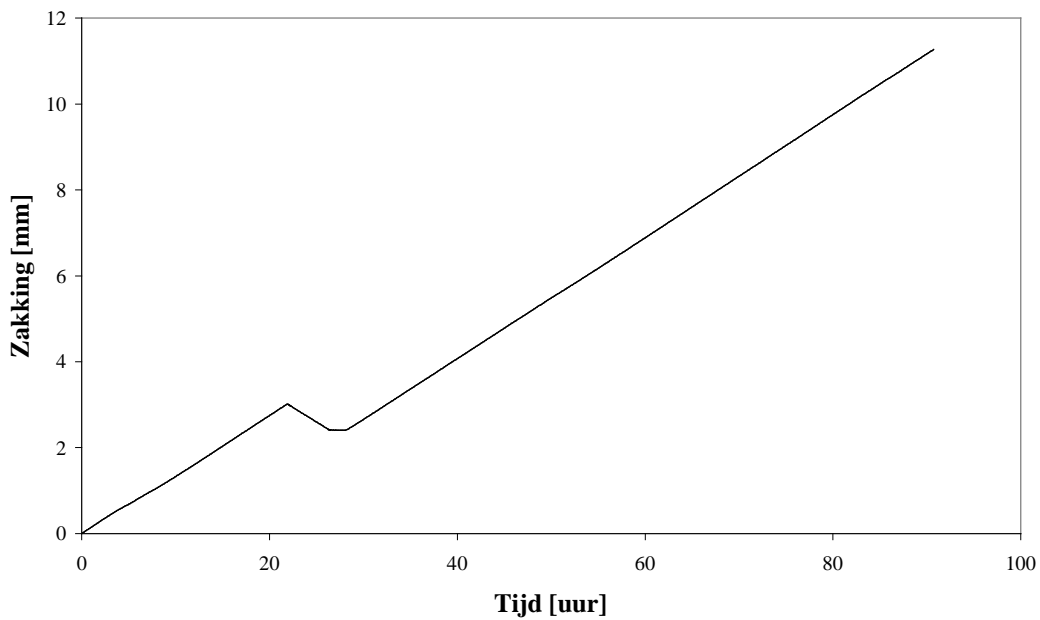
De K_0 -waarde wordt bepaald met behulp van de horizontale totale spanning, zoals deze wordt gemeten met de rekstrookjes in het midden van het monster. Omdat waterspanning altijd isotroop is, wordt de horizontale korrelspanning bepaald uit het verschil tussen de horizontale totale spanning en de waterspanning. Voor de waterspanning wordt een parabolisch verloop aangenomen, tussen de ongedraineerde onderzijde van het monster en de gedraineerde bovenzijde. De waterspanning wordt aan de onderzijde van het monster gemeten. Door de horizontale korrelspanning te delen door de verticale korrelspanning, wordt de waarde van K_0 gemeten.

Tenslotte wordt ter controle de temperatuur gemeten. De constructie met rekstrookjes midden in de ring is gevoelig voor veranderingen in temperatuur. Indien de temperatuur minder dan 0.5°C wijzigt, is de ring nauwkeurig tot 2 kPa, op een bereik tot ruim 200 kPa. De temperatuurmeting dient ter controle van de nauwkeurigheid van de horizontale kracht.

2.3 Beschrijving uitvoering proef

In deze paragraaf worden karakteristieke waarden uit een proef vermeld. Het gaat in de figuren om de proef die op monster 17C is uitgevoerd.

2.3.1 Verticale zakking

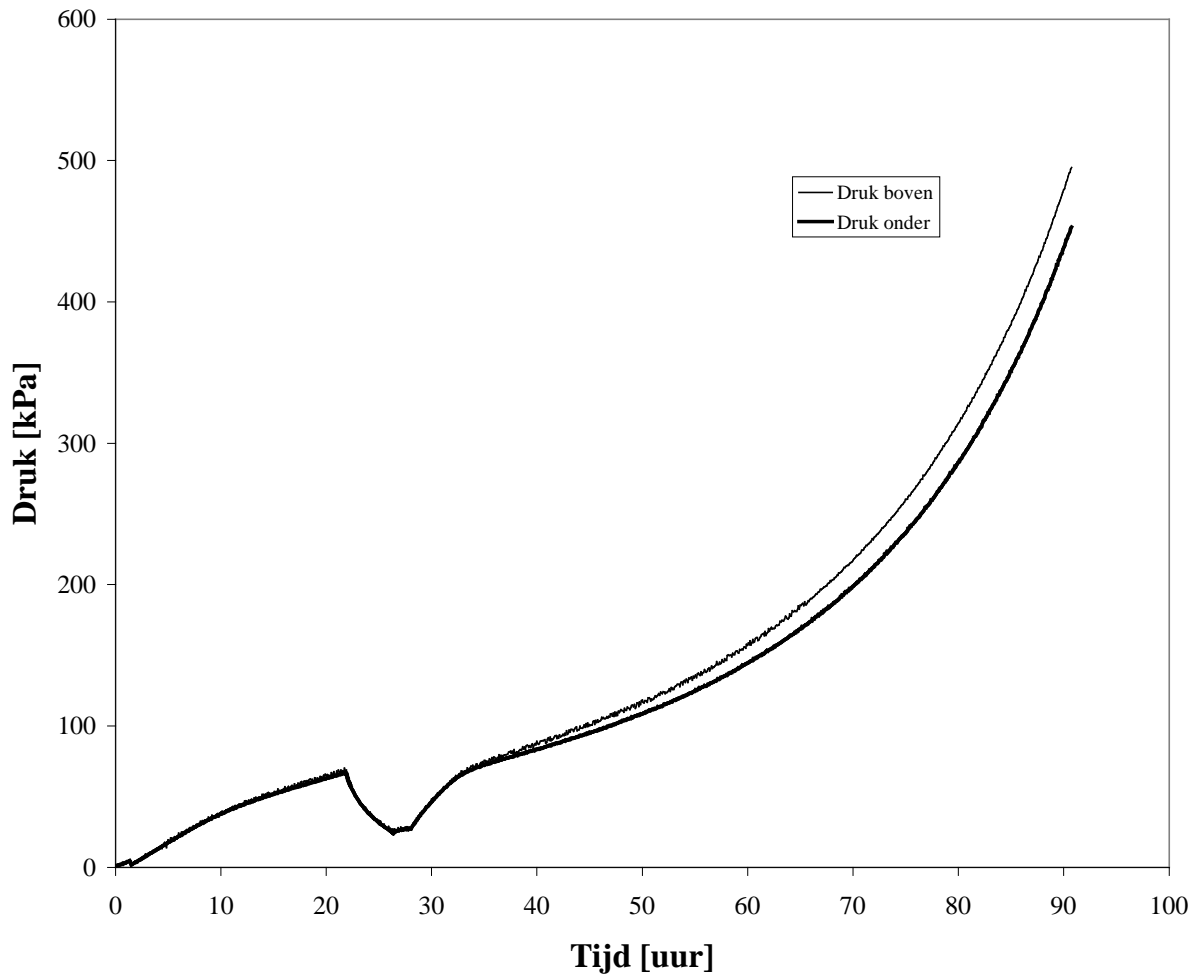


Figuur 2.1 De zakking als functie van de tijd

In Figuur 2.1 is de zakking als functie van de tijd getekend.

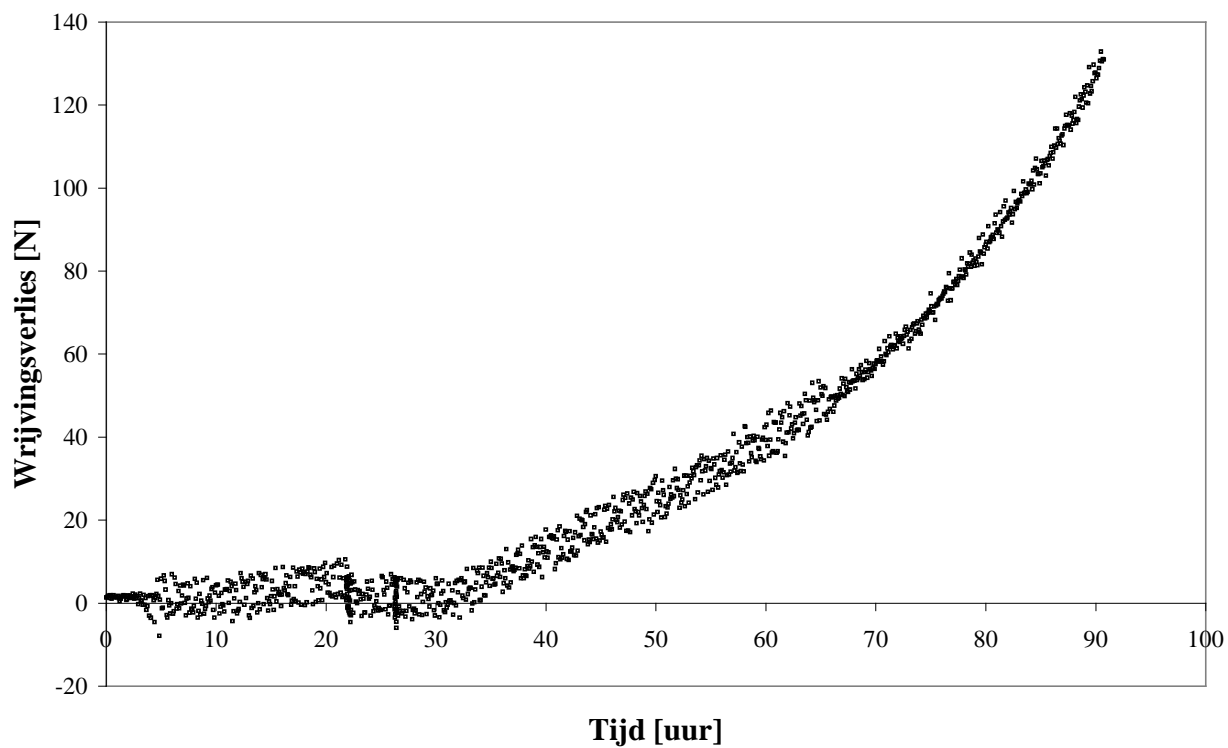
Gedurende een dag loopt de zakking lineair op. De hoogte van het monster is bij het begin van de proef gelijk aan 20 mm. De rek wordt bepaald door de gemeten zakking te delen door de (constante) hoogte van het monster. De bijbehorende reksnelheid bedraagt 2×10^{-6} 1/s. Na ongeveer 24 uur wordt het monster ontlast. In deze fase is de reksnelheid hetzelfde als bij belasten, maar heeft een minteken: -2×10^{-6} 1/s. Na ongeveer 30 uur wordt de zakking gedurende 2 uur constant gehouden. In deze fase is kruip het belangrijkste verschijnsel: bij constante vervorming neemt de kracht af. De reksnelheid wordt daarna weer positief: 2×10^{-6} 1/s.

2.3.2 Verticale druk



Figuur 2.2 De verticale kracht boven en onder als functie van de tijd

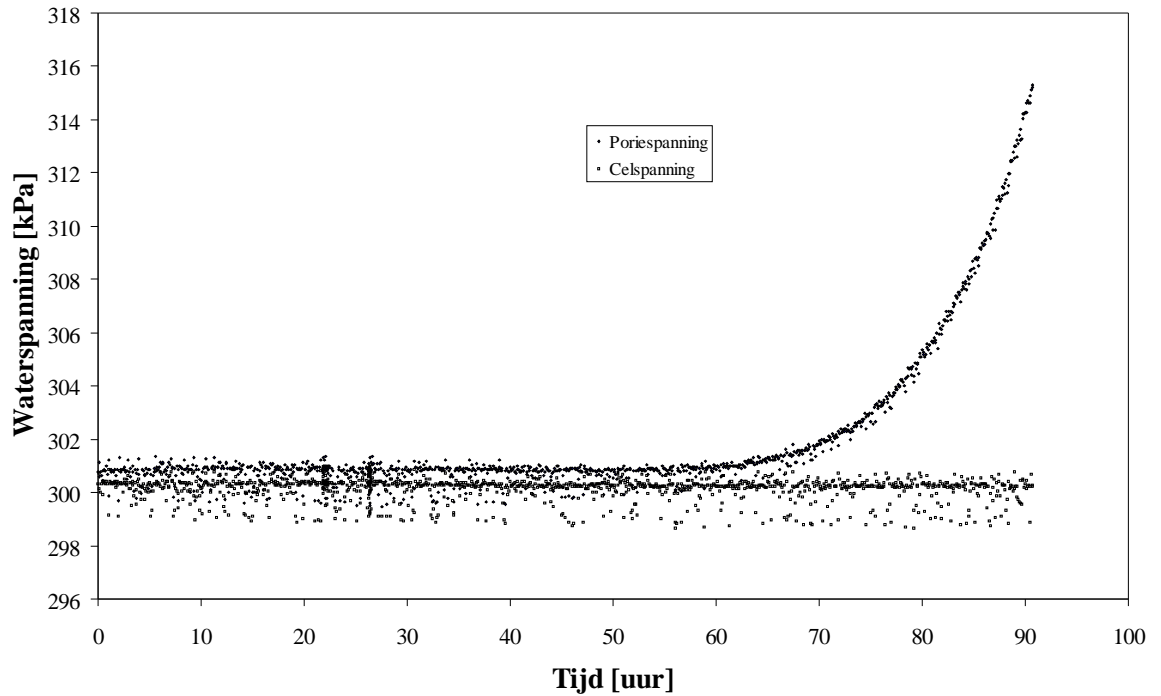
De gemeten krachten worden door de registratiesoftware omgerekend naar drukken. Voor de brekening wordt uitgegaan van een monsterdiameter van 6.3 cm. Na een tijd van 40 uur beginnen er duidelijk zichtbare verschillen te komen tussen de druk aan de bovenzijde van het monster (bovenste lijn) en de druk aan de onderzijde van het monster (onderste dikkere lijn). Het verschil bestaat uit de wrijving langs de wand. Indien de wrijvingskracht dient te worden bepaald, moeten de drukken worden teruggerekend naar krachten. De wrijvingskracht zelf speelt in de analyse van de K_0 -CRS proef overigens geen rol.



Figuur 2.3 Wrijvingsverlies als functie van de tijd

Naarmate de tijd verloopt, wordt de verticale kracht groter. Omdat de waarde van K_0 vrijwel constant is, zie bijvoorbeeld Figuur 2.6, neemt derhalve ook de horizontale kracht toe, zodat ook de wrijving toeneemt.

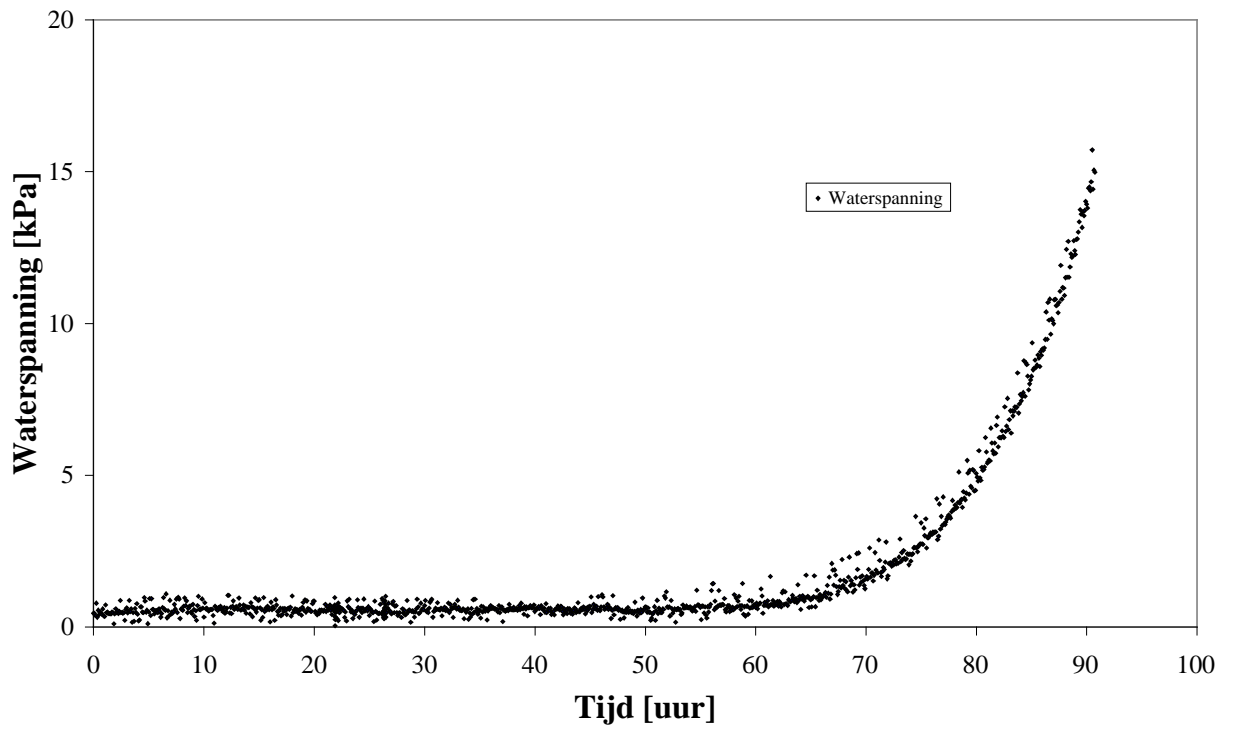
2.3.3 Waterspanning



Figuur 2.4 De gemeten waterspanning en celdruk als functie van de tijd

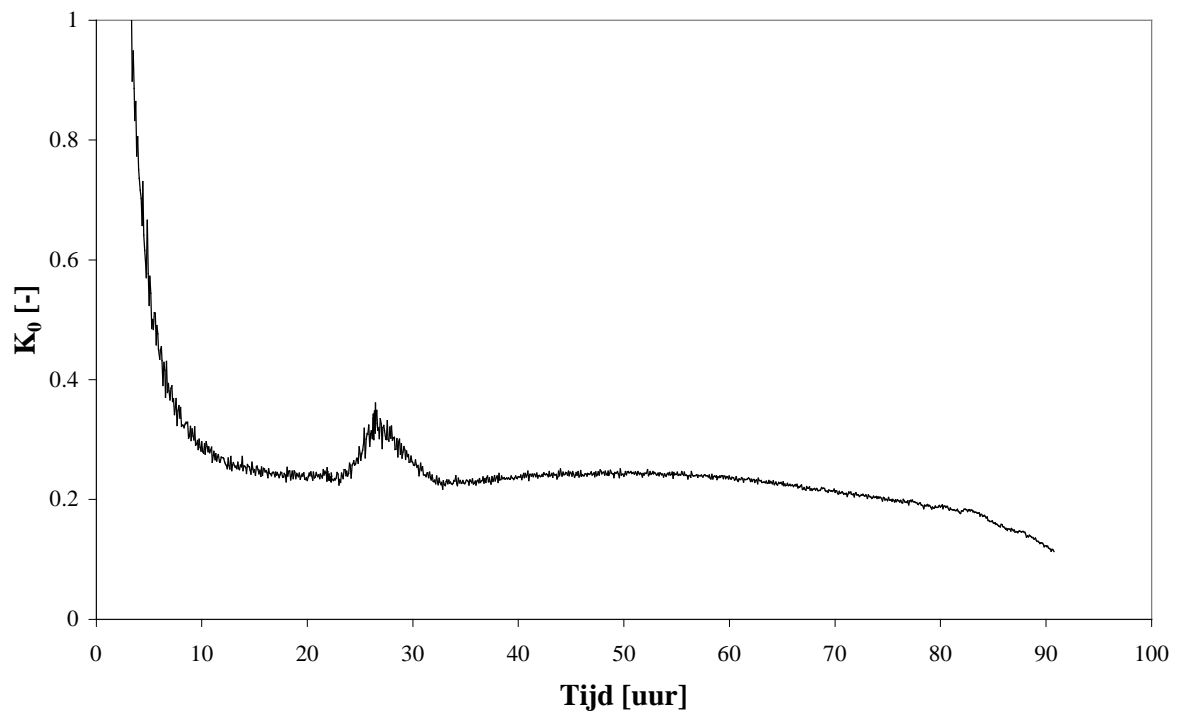
Deze metingen vertonen meer ruis. De opnemers dienen minimaal bestand te zijn tegen 300 kPa en dan bovendien nog verschillspanningen van enkele tienden van kPa's te kunnen registreren. De ruis in de metingen kan worden verminderd door een differentiële drukopnemer te gebruiken.

Door het verschil van beide series punten te berekenen, wordt de waterspanning berekend.



Figuur 2.5 Maximale waterspanning aan de onderzijde van het monster als functie van de tijd

2.3.4 Horizontale druk, K_0

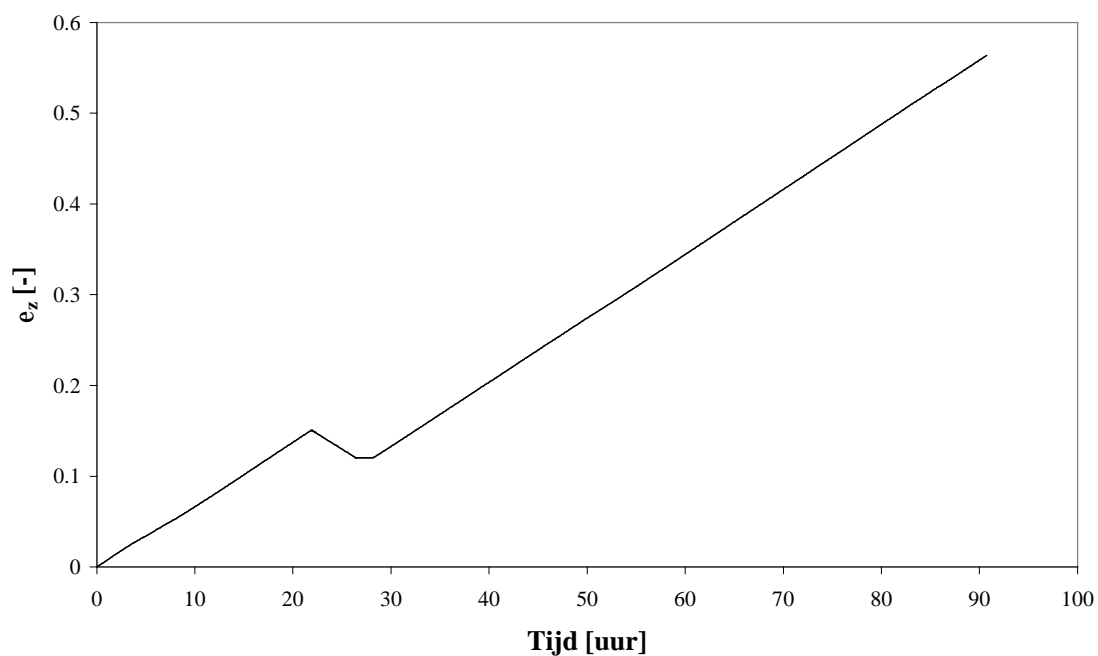


Figuur 2.6 De K_0 als functie van de tijd

2.4 Berekening gecorrigeerde grootheden

2.4.1 Verticale rek

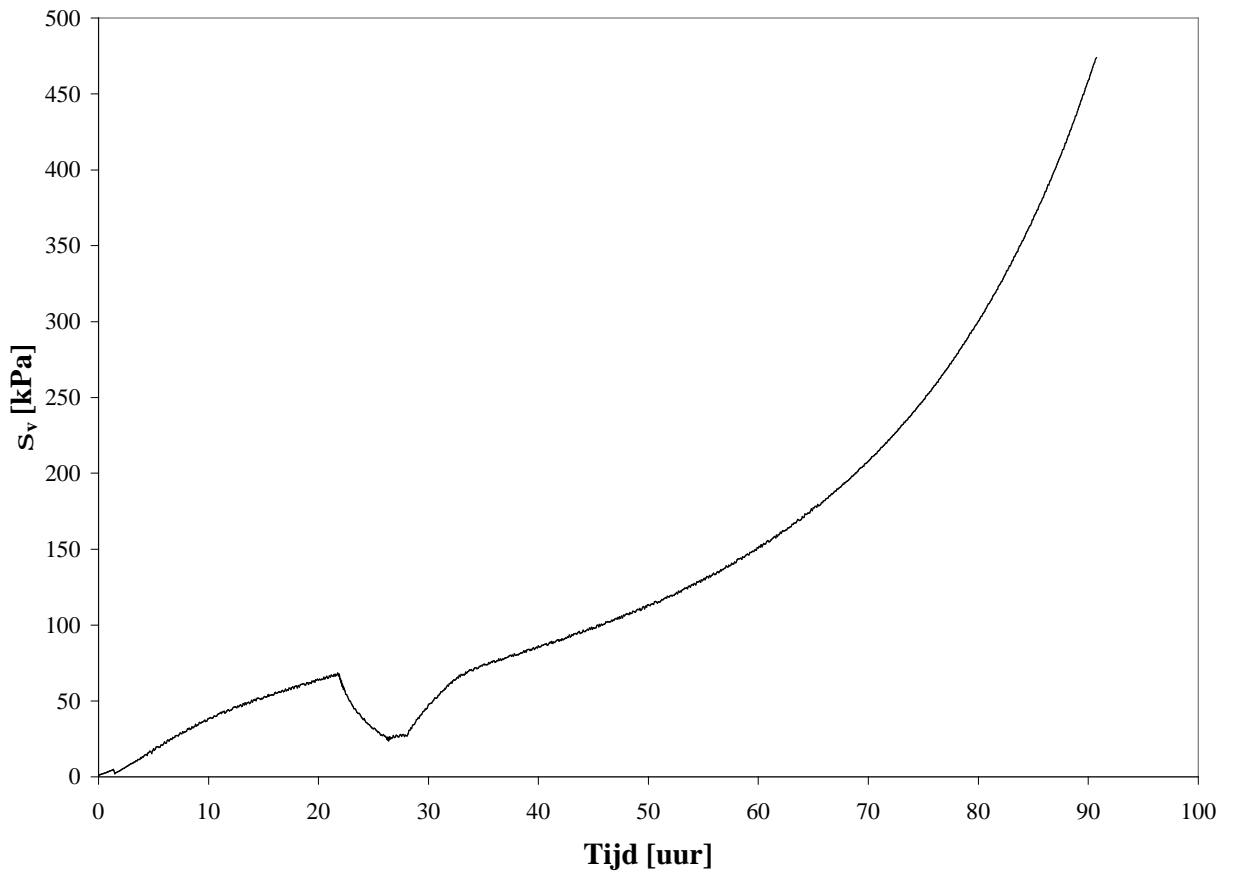
Vooraf bij slappe monsters kan de verticale rek aanzienlijk zijn. Desalniettemin wordt de verticale rek berekend door de zakking te delen door de initiële monsterhoogte, bij de uitgevoerde proeven 20 mm. Het Isotachenmodel rekt met de natuurlijke rek, die uit de verticale rek wordt berekend.



Figuur 2.7 Verticale rek als functie van de tijd

2.4.2 Totale spanning

Voor de berekening van de totale spanning, gemiddeld over de hoogte van het monster, worden de drukken boven en onder gemiddeld, zie Figuur 2.8



Figuur 2.8 De gemiddelde waarde van de totale spanning

2.4.3 Korrelspanning

In [Den Haan, 2001] is uitgewerkt hoe de gemiddelde waarde van de korrelspanning kan worden berekend. In Bijlage 2 zijn benaderingen van Den Haan's vergelijkingen gepresenteerd voor de hulpparameters β en λ en voor de gemiddelde korrelspanning:

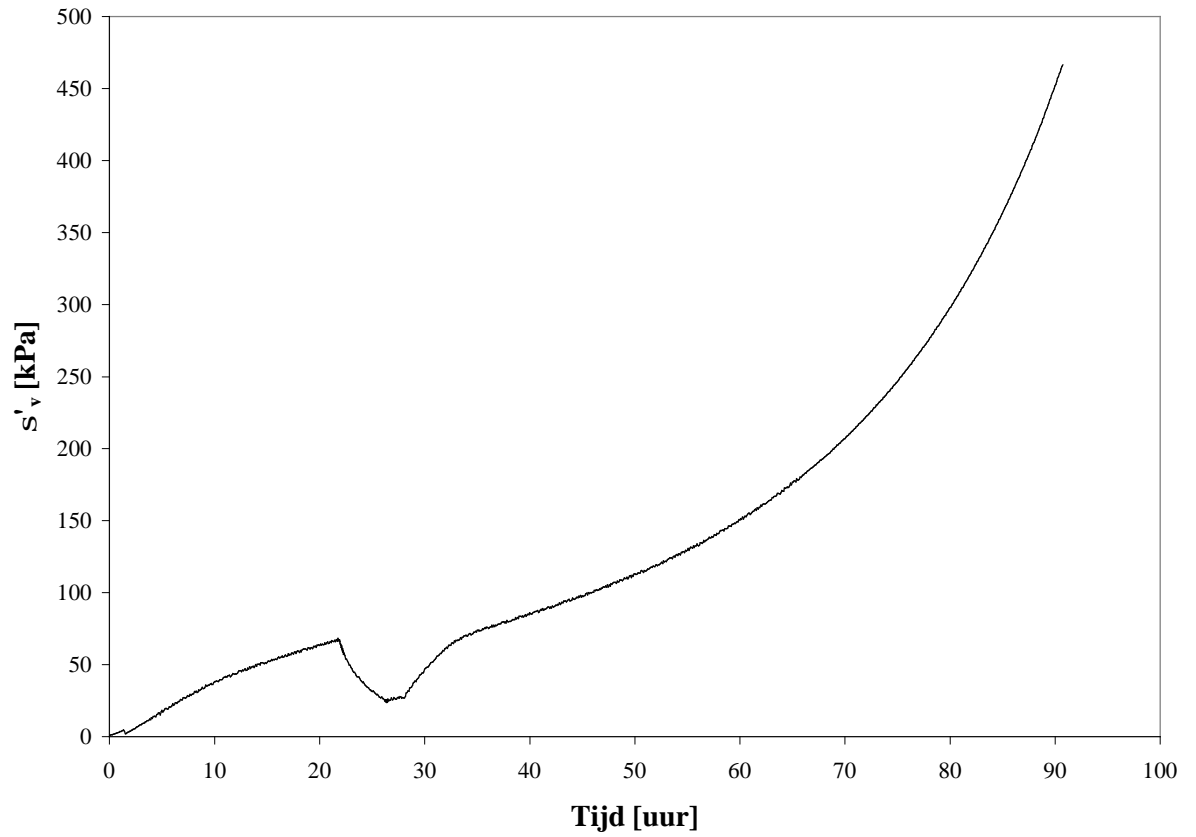
$$b \approx \frac{\sqrt{(s_o - \frac{2}{3}u_b)^2 + 2(s_b - s_o)(s_o - \frac{5}{6}u_b)} - (s_o - \frac{2}{3}u_b)}{(s_o - \frac{5}{6}u_b)} \quad (2.1)$$

$$I = 1 - \frac{b}{2!} + \frac{b^2}{3!} - \frac{b^3}{4!} + \dots \quad (2.2)$$

$$\overline{s'_v} \approx I s_o - \left(\frac{2}{3} - \frac{1}{4}b + \frac{1}{15}b^2\right)u_b \quad (2.3)$$

met σ_b de spanning op de bovenzijde van het monster, σ_o de spanning op de onderzijde van het monster, u_b de waterspanning aan de onderzijde van het monster en $\overline{s'_v}$ de gemiddelde korrelspanning. Deze benaderingen zijn praktischer bij het gebruik van meetwaarden dan de exacte waarde en zij geven toch een voldoende hoge nauwkeurigheid.

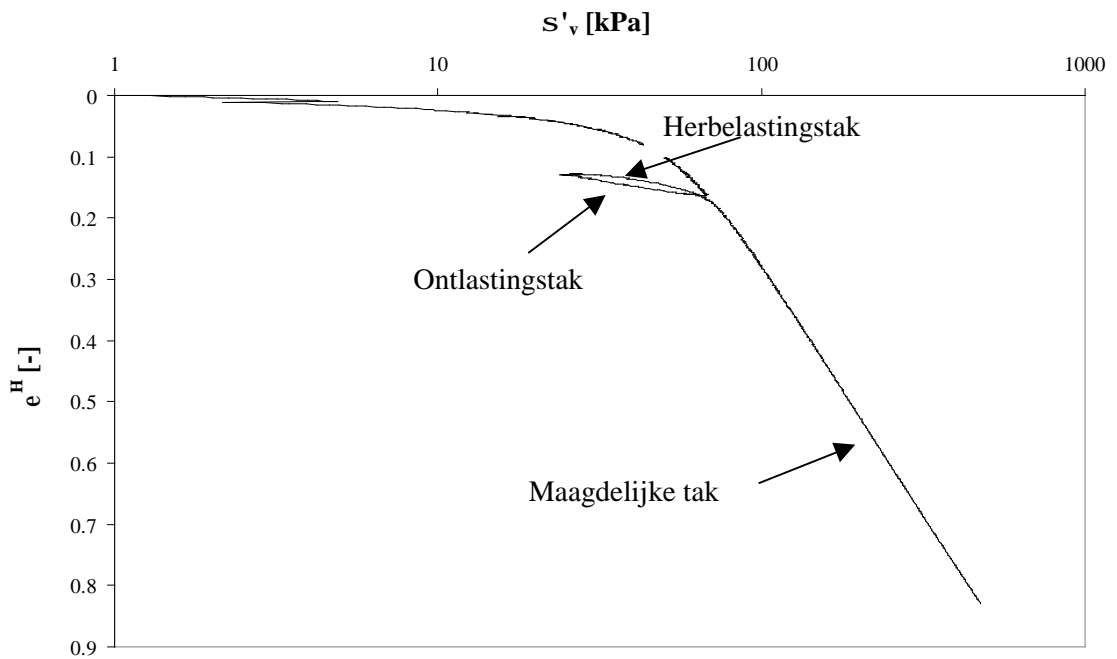
Het gemiddelde van de korrelspanning boven en onder is getekend in Figuur 2.9.



Figuur 2.9 Korrelspanning als functie van de tijd

2.4.4 Korrelspanning versus rek

Na deze correcties zijn alle gegevens beschikbaar om de parameters van het Isotachenmodel te bepalen. Hiervoor wordt het diagram getekend van de logaritme van σ'_v en de natuurlijke rek, ϵ^H , zie Figuur 2.10.



Figuur 2.10 Korrelspanning versus de natuurlijke rek

3 Bepaling parameters

3.1 Bepaling a- en b-parameters

De a-parameter beschrijft het herbelastgedrag van het monster, zie Figuur 2.10. De b-parameter beschrijft de maagdelijke tak van de grafiek. Hieronder wordt de bepaling van deze twee parameters toegelicht aan de hand van monster 17C.

3.1.1 Bepaling natuurlijke rek

Aan de hand van de resultaten van de proeven wordt uit de gemeten zakking de verticale rek ε_z bepaald.

$$e_z = \frac{z}{h} \quad (3.1)$$

Op basis hiervan wordt de natuurlijke rek ε^H berekend:

$$e^H = -\ln(1 - e_z) \quad (3.2)$$

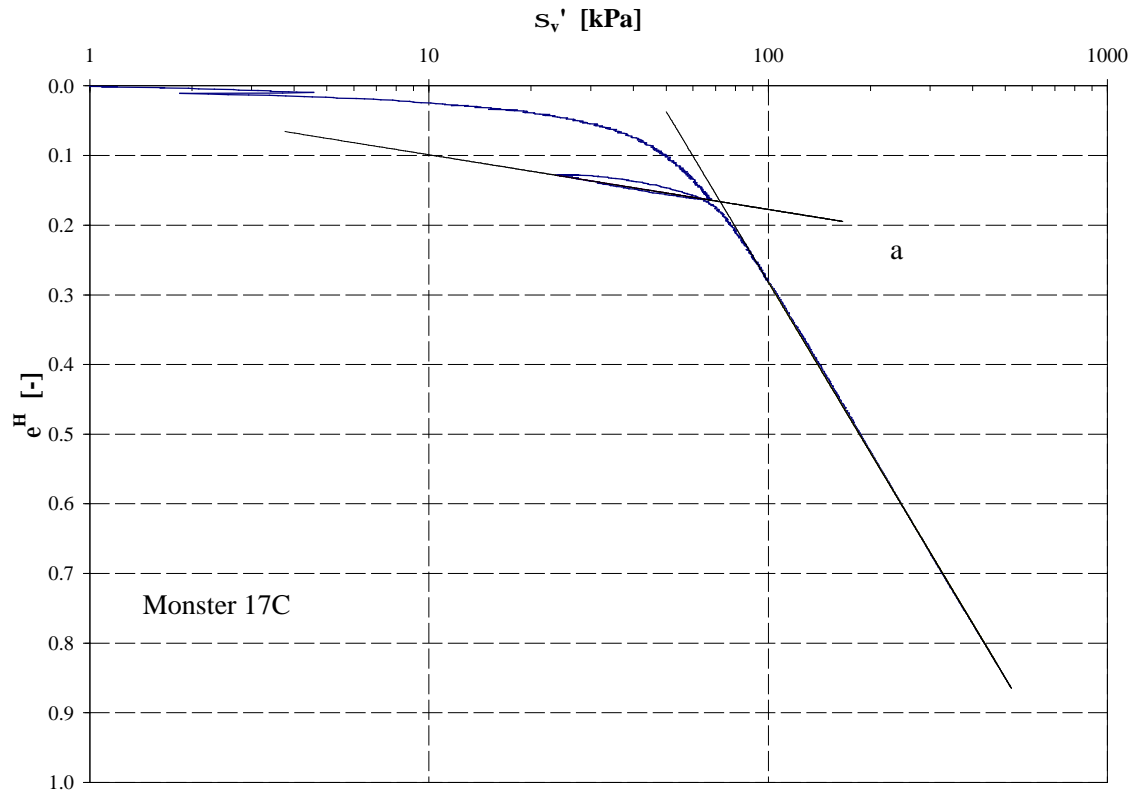
met ε_z de verticale rek, z de zakking van het monster in mm, h de oorspronkelijke hoogte van het monster in mm en ε^H de natuurlijke rek.

3.1.2 Bepaling verticale korrelspanning

De gemiddelde verticale korrelspanning wordt bepaald volgens paragraaf 2.4.3, met de vergelijkingen (2.1) t/m (2.3).

3.1.3 Uitzetten gemeten grootheden in grafiek

De waarden voor de natuurlijke rek en de gemiddelde korrelspanning worden vervolgens in een grafiek uitgezet. Op de y-as wordt de natuurlijke rek ε^H uitgezet op lineaire schaal. Vervolgens wordt de gemiddelde korrelspanning σ'_v op een logaritmische schaal op de x-as uitgezet. Dit geeft voor monster 17C de grafiek in Figuur 3.1. In deze grafiek zijn ook raaklijnen getekend, waaruit de parameters a en b van dit monster worden bepaald.



Figuur 3.1 Bepaling van de a- en b-parameter

3.2 Bepaling a-parameter

De waarde van deze parameter wordt als volgt bepaald. Door de herbelasttak van de grafiek wordt een raaklijn getrokken (door punt uiterst links en door kruispunt lijnen rechts). De helling van deze raaklijn vertegenwoordigt de parameter a:

$$a = \frac{\Delta e^H}{\Delta \ln s'_v} = \frac{(e_2^H - e_1^H)}{\ln\left(\frac{s'_{v,2}}{s'_{v,1}}\right)} \quad (3.3)$$

In het voorbeeld is het deel van de raaklijn gekozen waar de korrelspanning σ'_v oploopt van 10 tot 100 kPa. Dit gebied komt overeen met een verschil in natuurlijke rek Δe^H van 0.079. De waarde van a is dus $0.079/2.3 \approx 0.0344$.

3.3 Bepaling b-parameter

De waarde van deze parameter wordt op vergelijkbare wijze bepaald. Door de maagdelijke tak van de grafiek wordt een raaklijn getrokken, waarbij slechts het (bij benadering) lineaire gedeelte wordt meegenomen. De helling van deze raaklijn vertegenwoordigt de parameter b op dezelfde wijze als bij parameter a:

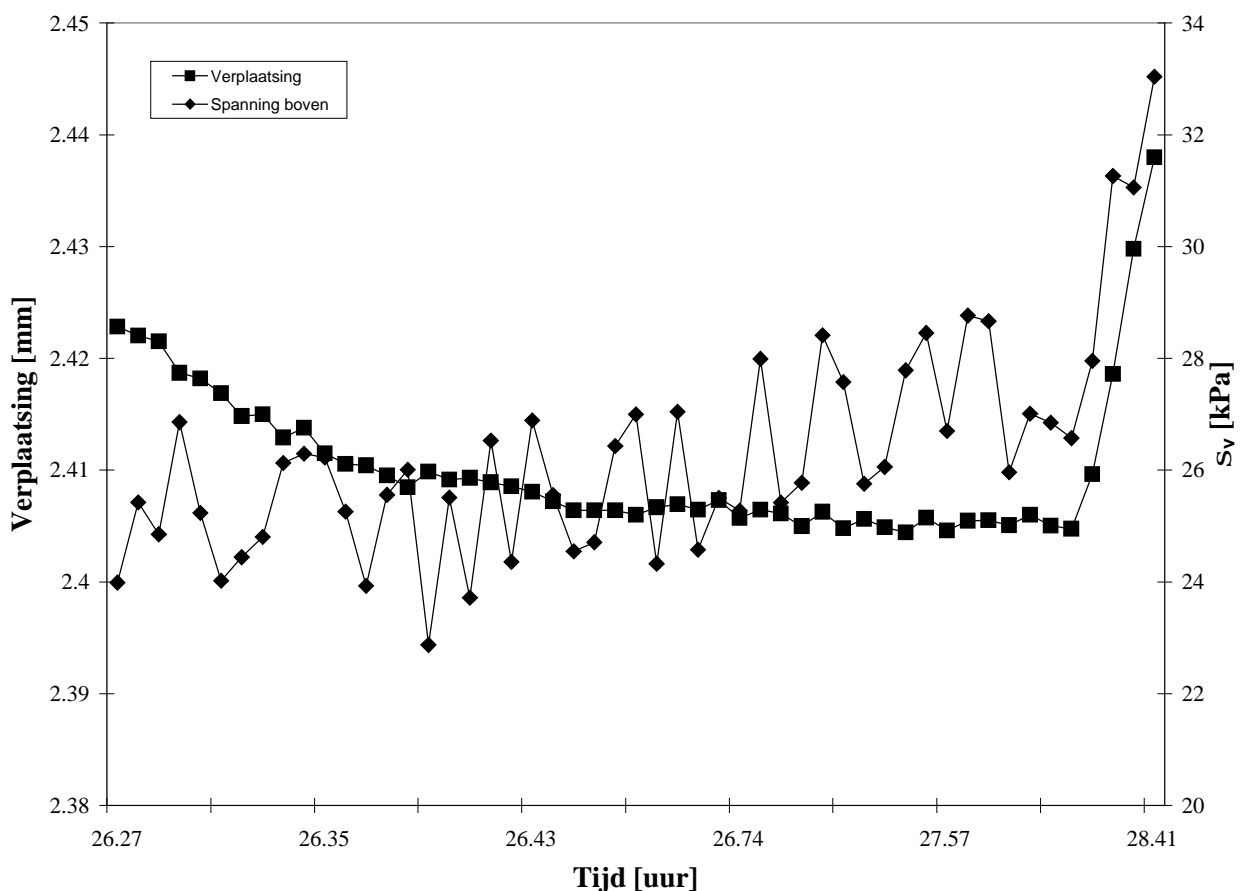
$$b = \frac{\Delta e^H}{\Delta \ln s'_v} = \frac{(e_2^H - e_1^H)}{\ln\left(\frac{s'_{v,2}}{s'_{v,1}}\right)} \quad (3.4)$$

In het voorbeeld is het deel van de raaklijn gekozen, waar de korrelspanning σ'_v oploopt van 60 tot 200 kPa. Dit gebied komt overeen met een verschil in natuurlijke rek $\Delta \varepsilon^H$ van 0.424. De waarde van b is dus $0.424/1.3 \approx 0.352$.

3.4 Bepaling c -parameter

Deze parameter beschrijft het kruipgedrag van het monster. De parameter dient in de K_0 -CRS-proef te worden gemeten indien de opgelegde reksnelheid gelijk aan nul is. In Figuur 2.7 is de fase met constante zakking herkenbaar aan het horizontale stuk. Idealiter wordt er in die fase geen verandering in vervorming opgelegd. De reksnelheid wordt via een verplaatsingsgestuurde geregelde plunjer opgelegd. De actuele zakking wordt in een regellus vergeleken met de gewenste zakking op dat tijdstip. De elektronica in de regellus stuurt de plunjer zodanig dat de gemeten zakking gelijk wordt gemaakt aan de gewenste waarde.

Op papier is dit, zeker voor een constante reksnelheid, een goede methode. Bij eerdere metingen is gebleken dat iedere meting van de zakking voorzien is van ruis, zie Figuur 3.2.



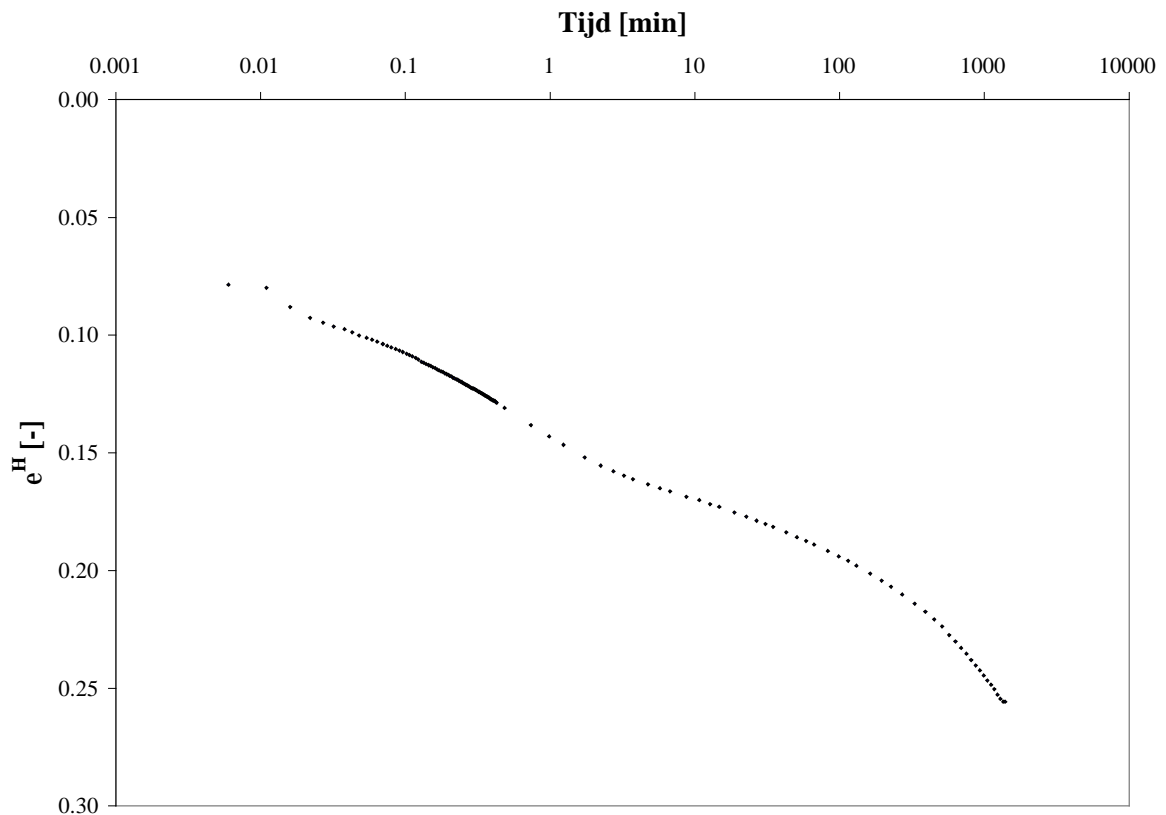
Figuur 3.2 De ruis in de verplaatsingsopnemer en de ruis in de spanning

De ruis in de verplaatsingsopnemer is klein. Naast een licht afnemende trend is er enige spreiding zichtbaar, maar deze is van de orde van enkele micrometers bij een waarde van 2 millimeter, derhalve van de orde van 0.1%. De ruis in de spanning is veel groter: 1 kPa op de ruwweg 30 kPa, derhalve 3%. Voor de effectieve spanning (hier niet getoond) is de ruis nog groter, omdat ook de ruis in de gemeten waterspanning nog meetelt.

Door ruis kan de opnemer een waarde afgeven die verschilt van de gewenste waarde, terwijl de positie van de plunjer wel overeenkomt met de gewenste positie. Door de ruis probeert de regellus te corrigeren voor een niet bestaande afwijking en legt zodoende een extra belasting cq. ontlasting op. Dit verstoort het kruipgedrag aanmerkelijk. Om de ruis te onderdrukken, kan men de ruis in de positie van de plunjer middelen. De verstoring wordt dan weliswaar minder, maar blijft aanwezig, hoe goed er ook wordt gemiddeld.

Met de bestaande elektronische regeling is de K_0 -CRS-proef minder geschikt om de c-parameter te bepalen. Het alternatief is de klassieke oedometerproef. Deze werkt met een dood gewicht, dus zonder een elektronische regeling en zodoende zonder belasten en ontlasten tijdens stilstand. Nadeel van deze proef is dat de spanning slechts aan de bovenzijde bekend is. Wandwrijving, waterspanning e.d. zijn onbekend. Desalniettemin wordt de samendrukkingsproef gebruikt om een reële schatting van de c-parameter te verkrijgen.

In Figuur 3.3. is stap 3 uit de samendrukkingsproef op monster 17D getekend.



Figuur 3.3 Natuurlijke rek versus de logaritme van de tijd

De verwachting is dat de meting in een dergelijk diagram een rechte lijn oplevert. Er zijn echter afwijkingen. In plaats van de ware tijd sinds het aanbrengen van de belastingsverhoging te gebruiken, suggereert Den Haan een gereduceerde tijd te benutten. Deze bestaat uit de tijd sinds een tijdstip t_r :

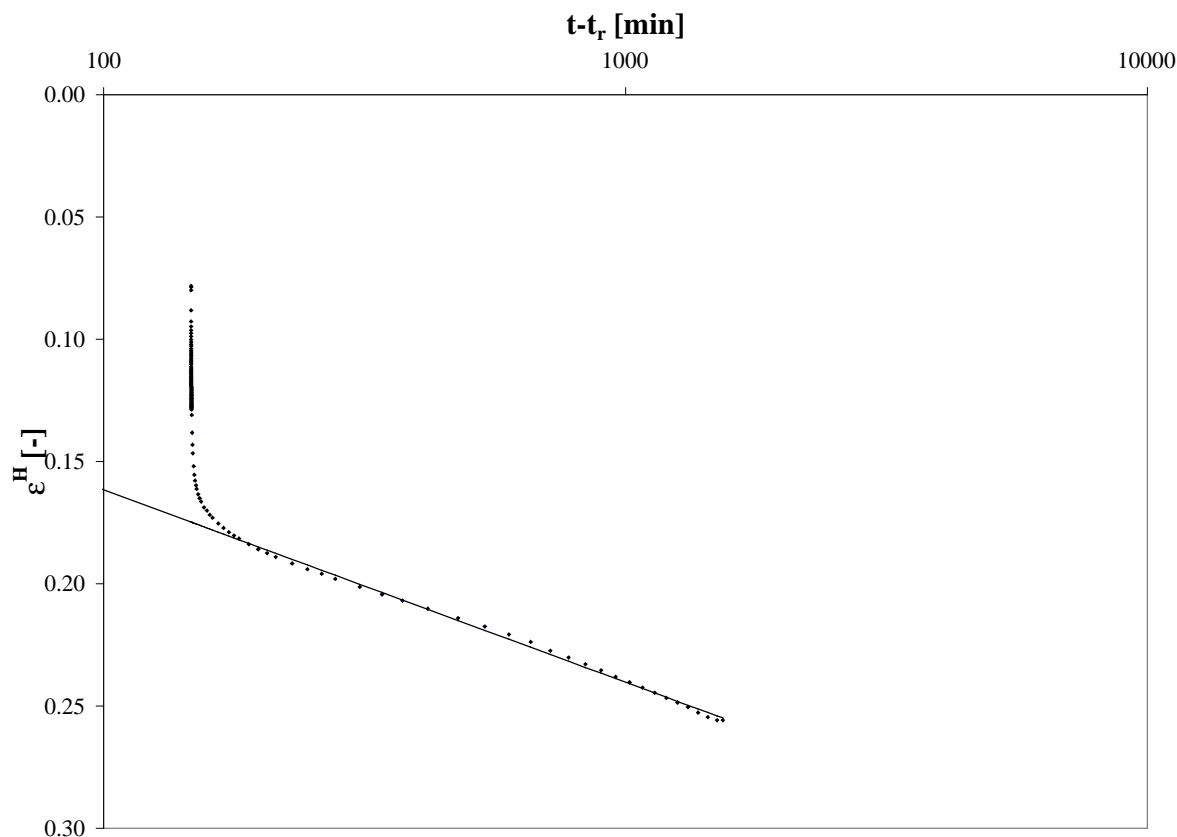
$$e^H(t) = e_0^H + c \times \ln(t - t_r) \quad (3.5)$$

Daarnaast vertoont de curve in Figuur 3.2 een dip, rond $t = 1$ minuut. Omdat kruip pas later dan 1 minuut een rol gaat spelen, dient het latere deel van de metingen te worden geselecteerd, daar waar de natuurlijke rek neerwaarts gekromd is. De keuze waar het startpunt wordt gelegd, is tamelijk arbitrair. In Figuur 3.2 is het deel later dan 20 minuten een goede keuze.

Resteert de bepaling van de waarden van de parameters ϵ_0^H , t_r en c , die zo goed mogelijk bij de gemeten waarden dienen te passen. Dat is een niet-lineair optimalisatie probleem. Het simpelste kan dit worden opgelost door een startwaarde voor t_r te kiezen en vervolgens met een lineaire kleinstekwadratenmethode de waarden van ϵ_0^H en c te bepalen. De correlatiecoëfficiënt (R^2) van deze aanpassing dient vervolgens te worden gemaximaliseerd, als functie van de waarde van t_r . Deze procedure kan o.a. in het spreadsheetprogramma Excel worden uitgevoerd.

Het nadeel van deze methode is dat deze erg arbeidsintensief is. Tevens moeten er na iedere stap beslissingen worden genomen wat de volgende waarde van t_r dient te zijn, opdat de bijbehorende waarde van R^2 hoger is dan de voorafgaande waarden. Alternatieven zijn het maken van een speciaal programma voor de bepaling van de waarden van c en t_r , of de inzet van data-analyseprogrammatuur zoals PV-WAVE of MATLAB.

In Figuur 3.4 zijn de metingen van de natuurlijke rek tegen de logaritme van de gereduceerde tijd in fase 3 van proef 17D uitgezet.



Figuur 3.4 Natuurlijke rek als functie van de gereduceerde tijd

Voor deze fase zijn de volgende waarden gevonden:

ϵ_0^H [-]	t_r [min]	c [-]
0.0342	-147	0.00425

Tabel 3.1 Waarden van ϵ_0^H , t_r en c

De waarde van t_r is slechts een fitparameter. Het feit dat de gevonden waarde negatief is, is uitermate merkwaardig. Een positieve waarde van t_r zou als betekenis kunnen hebben dat een verhoging van de spanning, die op een zeker tijdstip t is gestart, een reactie geeft alsof die verhoging t_r minuten later is ingegaan. Een negatieve waarde van t_r op dezelfde manier geïnterpreteerd, zou betekenen dat effecten van de spanningsverhoging reeds t_r minuten voordat de verhoging is opgelegd, optreden.

4 Case zettingen Barendrechtse weg

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een postdictie gemaakt van de zakking tijdens de ophoging aan de Barendrechtse weg. De zakbaakmetingen leveren de gemeten zakking. Deze wordt vergeleken met de voorspellingen van MSettle met Isotachenmodule. De abc parameters zoals die uit de K_0 -CRS-proeven en samendrukkingsproeven zijn bepaald, de doorlatendheid, porositeit, OCR en volumiek gewicht dienen als invoer om het gedrag van de slappe lagen te karakteriseren.

4.2 Geometrie en parameters

De geometrie is weergegeven in Bijlage 1. Deze laat een opbouw zien met afwisselend kleiige en humeuze lagen. In Tabel 4.1 is aangegeven op welke diepte de lagen liggen.

diepte van [MV - m]	diepte tot [MV - m]	materiaal
0.00	-0.77	Duinkerken klei
-0.77	-1.50	Duinkerken zand
-1.50	-2.00	Duinkerken zand
-2.00	-3.11	Hollandveen
-3.11	-5.63	Gorkum zwaar 1
-5.63	-7.60	Hollandveen
-7.60	-8.98	Gorkum licht
-8.98	-9.52	Gorkum zwaar 2
-9.52	-10.00	Gorkum licht
-10.00	-11.25	Gorkum zwaar 2
-11.25	-12.00	Gorkum zwaar 1
-12.00	-12.40	Basisveen
-12.40		Pleistoceen

Tabel 4.1 Geometrie in een notendop

Voor deze grondsoorten zijn laboratoriumproeven uitgevoerd, teneinde de porositeit en doorlatendheid te bepalen, zie Tabel 4.2.

materiaal	verticale doorlatendheid [m/s]	horizontale doorlatendheid [m/s]	γ_{nat} [kN/m ³]	γ_{droog} [kN/m ³]	porositeit [-]
Duinkerken klei	5.53×10^{-10}	5.53×10^{-10}	19.2	14.5	0.5
Hollandveen	2.31×10^{-8}	9.24×10^{-8}	10.4	1.7	0.9
Gorkum zwaar 1	8.95×10^{-9}	8.95×10^{-9}	16.0	9.7	0.6
Gorkum licht	1.59×10^{-8}	1.59×10^{-8}	13.0	5.8	0.7
Gorkum zwaar 2	8.95×10^{-9}	8.95×10^{-9}	16.7	11.2	0.6
Basisveen	8.99×10^{-9}	3.6×10^{-8}	12.0	4.0	0.8

Tabel 4.2 Doorlatendheid en porositeit

In hoofdstuk 3 zijn de waarden van de a-, b- en c-parameters bepaald, zie Figuur 3.1. Deze parameters zijn in Tabel 4.3 per grondsoort opgesomd, naast de waarde van de grensspanning, p_g . Deze wordt bijvoorbeeld op de manier zoals Cassagrande aangeeft uit de grafiek van ϵ^H tegen de logaritme van σ'_v bepaald.

materiaal	a	b	c	p_g [kPa]
Duinkerken klei	0.0049	0.0566	0.0028	47
Hollandveen	0.035	0.276	0.0217	51
Gorkum zwaar 1	0.0123	0.1374	0.0061	52
Gorkum licht	0.0203	0.1765	0.0138	85
Gorkum zwaar 2	0.0103	0.1130	0.0057	110
Basisveen	0.0134 ¹	0.1344	0.0127	-

Tabel 4.3 De abc-parameters per type grondlaag

Resterende parameters voor het modelleren van het grondgedrag is de over consolidation ratio, de verhouding tussen grensspanning en actuele korrelspanning.

materiaal	σ'_v [kPa]	p_g [kPa]	OCR
Duinkerken klei	9.8	47	3 ²
Hollandveen	31.24	51	1.63
Gorkum zwaar 1	38	52	1.37
Gorkum licht	45.8	85	1.86
Gorkum zwaar 2	52.9	110	2.08
Basisveen	-	-	-

Tabel 4.4 De korrelspanning, grensspanning en OCR per type grondlaag

4.3 Ophogingen

De berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van MSettle, voorzien van een Isotachenmodule. De geometrie, zie Bijlage 1, en bijbehorende grondparameters uit hoofdstuk 4.2 zijn als invoer gebruikt, zie Bijlage 4. Het ophoogschema is in Tabel 4.5 vermeld. De uitvoer staat in Bijlage 5.

¹ 10% van de b-waarde.

² De feitelijke waarde is 4.8. Ervaring heeft geleerd dat dit een te hoge waarde is. Daarom is er voor 3 is er voor 3 gekozen.

Dag	Datum	Actie	γ [kN/m ³]	Hoogte [m]		Opmerkingen
				Van	Tot	
0	2000-03-11	Ontgraven	-19.2	-0.5	-0.8	Tevens perskaden aanbrengen
25	2000-04-05	Ophogen	20	-0.8	+0.8	Opspuiten nat zand
39	2000-04-19	Ontgraven	-20	+0.8	-0.8	Verwijderen natte zand
39	2000-04-19	Ophogen	18	-0.8	+0.8	Nat zand is nu gedeeltelijk droog
44	2000-04-24	Ontgraven	-18	+0.8	0	Tevens perskaden verhogen
117	2000-07-06	Ophogen	20	0.0	2.3	Opspuiten nat zand
131	2000-07-20	Ontgraven	-20	2.3	0	Verwijderen natte zand
131	2000-07-20	Ophogen	18	0	2.3	Nat zand is nu gedeeltelijk droog
192	2000-09-19	Ophogen	18	2.3	3.3	Ophoging in droog zand

Tabel 4.5 Tijdschema van de ontgraving en ophogingen

Het tijdschema uit Tabel 4.5 oogt ingewikkeld, ophogen, ontgraven en weer ophogen. De reden voor dit ophogen, afgraven en weer ophogen met een iets lichter materiaal is, dat naar verloop van tijd door afstromen van poriewater het volumieke gewicht van de ophoging afneemt. Dit wordt gesimuleerd door na enige tijd het opgespoten natte zand te verwijderen en te vervangen door droog zand. Ter illustratie: er wordt op dag 25 anderhalve meter nat zand opgespoten, met een volumiek gewicht van 20 kN/m³. Twee weken later, op dag 39, wordt deze laag weer verwijderd en vervangen door eenzelfde laag droog zand met een volumiek gewicht van 18 kN/m³.

Het ontgraven van een laag wordt gesimuleerd door middel van een ophoging met een negatief volumiek gewicht. De gebruiker geeft de bovenzijde van het grondlichaam na ophoging op. De belasting grijpt aan op de huidige bovenzijde van het grondlichaam, dus voorafgaand aan de ophoging of ontgraving. Indien er wordt ontgraven, dient de gebruiker op te geven dat door het ontgraven de bovenzijde van de ophoging daalt.

Ter illustratie, laat het oorspronkelijke maaiveld zich bevinden op 0 m hoogte. Er wordt een ophoging aangebracht van 1 m hoog, bestaande uit nat zand. De gebruiker geeft aan dat de bovenzijde van de ophoging op 1 m hoogte komt te liggen. Enige tijd later wordt deze ophoging vervolgens afgegraven. Dit wordt gemodelleerd als een ophoging bestaande uit nat zand met een negatief volumiek gewicht. De gebruiker geeft op dat de bovenzijde na de ophoging op 0 m komt te liggen. Tenslotte wordt er weer een laag van 1 m aangebracht bestaande uit droog zand. De gebruiker geeft aan dat de bovenzijde na ophoging weer op 1 m hoogte komt te liggen.

4.4 Keuze meetraai

Er zijn twee raaien geïnstrumenteerd, te weten A en B. Vanwege de grotere hoeveelheid beschadigingen bij meetraai A (meetinstrumenten en Begemannboring) is ervoor gekozen om de analyse primair te richten op meetraai B. De zakbaken 2, 5 en 8 zitten in het midden van deze raai. Daarvan zitten er twee nabij meetraai B, zakbaak 5 zit tussen A en B in. Aan de data van zakbaak 5 ontbreekt het minste. Het feit dat die in het midden zit (in het dwarsprofiel bekeken), geeft het voordeel dat die het minste verstoord is door 2D-effecten.

4.5 Berekeningsvarianten

MSettle gebruikt een andere notatie en waarde voor de a-, b- en c-parameters: C_s , C_c en C_α . Deze zijn een factor 2.3 ($=\ln(10)$) groter dan respectievelijk a, b en c. Het verschil is de definitie van de parameters: via een natuurlijke logaritme of via de $^{10}\log$ berekend. Er zijn enkele varianten doorgerekend. Deze staan in Tabel 4.6.

Coderin g	drainage	klei: k_{hor}/k_{ver}	ontgraving
1	geen	1	met
2	vanaf dag 51	1	met
3	vanaf dag 39	1	met
4	geen	1	zonder
5	vanaf dag 51	1	zonder
6	vanaf dag 51	4	zonder
7	vanaf dag 39	1	zonder
8	geen	1	geen ophoging
9	geen	1	geen ophoging, met ontgraven

Tabel 4.6 Schema berekeningen

Als standaard geldt een situatie waarin de horizontale doorlatendheid van de kleilagen gelijk is aan de verticale doorlatendheid. Door organische bijmengingen in de klei kan deze anisotropie zijn. Daarom wordt rekening gehouden met een doorlatendheid die in de horizontale richting maximaal een factor twee hoger kan zijn dan de verticale doorlatendheid, nr. 6.

De drainage wordt geacht op dag 51 te zijn aangebracht. Uit de aantekeningen van de aannemer is niet meer duidelijk op te maken op welke datum de drains zijn aangebracht: 39 of 51 dagen na het ontgraven. Daarom is ook een variant met drainage op dag 39 doorgerekend, nrs. 3 en 7.

Ontgraven is een proces dat in MSettle niet echt goed is gemodelleerd. Om een ontgraving te simuleren, wordt een ophoging aangebracht met een negatief volumiek gewicht. Door de negatieve waarde van het volumieke gewicht treedt er op de laagovergang tussen de gesimuleerde ontgraving en het bestaande grondmassief een sprong in de korrelspanning op. Dit heeft een negatieve invloed op de resultaten. In de laag direct onder de ontgraving zal daarom de zakking niet helemaal correct zijn, dieper in het grondmassief middelt het effect van de sprong in korrelspanning uit.

In case 5, 6 en 7 is er sprake van een verlaagd maaiveld, tussen de spuitkades ligt het maaiveld 0.3 m lager dan het maaiveld, waarop de spuitkades zijn aangebracht. In de cases 1, 2 en 3 ligt het maaiveld tussen de spuitkades op dezelfde hoogte als onder de spuitkades. Dit heeft kwalitatief gezien gevolgen voor de verwachte zetting voor bijvoorbeeld case 2 en case 5. Grof geredeneerd wordt er in case 2 een 30 cm klei verwijderd en vervangen door 30 cm zand. De volumieke gewichten van beide materialen verschillen niet zo heel erg veel, de verwachting is dat er grosso modo niet veel in de belasting en dus de zakking van het maaiveld wijzigt. In case 5 ligt het maaiveld tussen de spuitkades 0.3 m lager dan in case 2, indien er tot dezelfde hoogte boven NAP in beide cases wordt opgehoogd, betekent dit voor case 5 netto meer toegevoegd gewicht aan grond dan voor case 2. De verwachting is dus dat er in case 5 een wat grotere zakking wordt gevonden dan in case 2. Om hiervoor te corrigeren is de eindhoogte van de opspuiting in de cases 5 en 6 0.3 m lager dan in case 2.

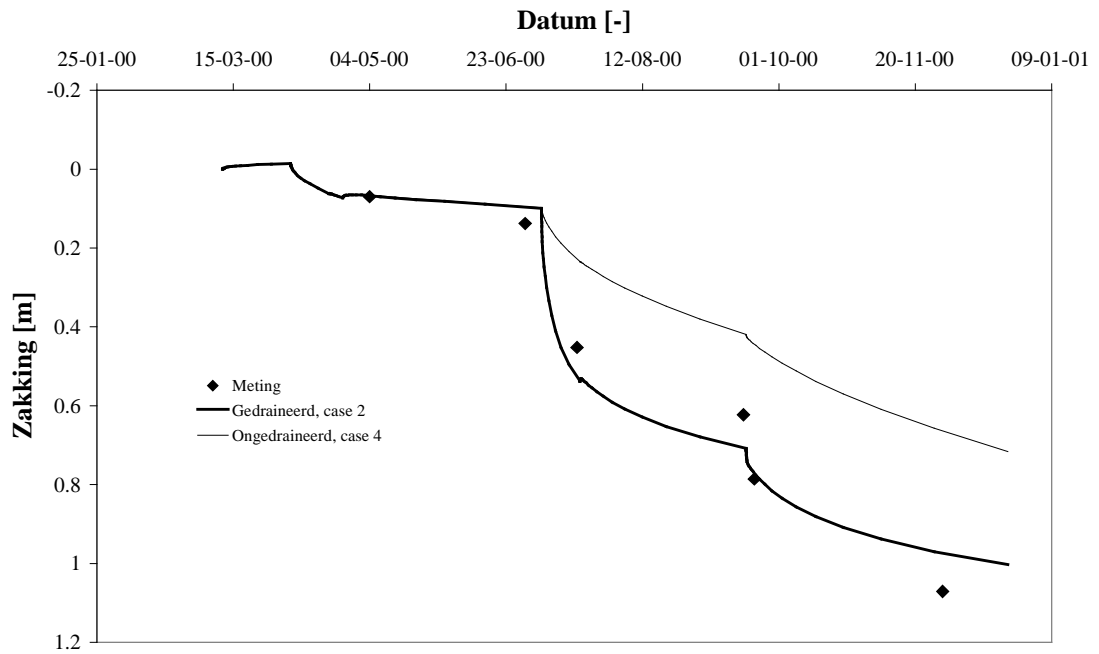
Tenslotte is nagegaan wat het effect is van het ontgraven op het maaiveld, zonder verdere ophogingen. Daarom is eerst een berekening gemaakt van de zetting van het maaiveld zonder ophoging, als het ware de nulsituatie, nr. 8. Onder invloed van het eigen gewicht van het grondmassief vervormt dit en er treedt zodoende maaiveldddaling op. Vervolgens is een laag klei van 0.3 m dik ontgraven, nr. 9. Zonder verdere veranderingen in de belasting is weer de maaiveldddaling doorgerekend. Uit het verschil van beide berekeningen wordt een indruk verkregen van het effect van ontgraven, zie Tabel 4.7.

datum	aantal dagen	nr. 8 zetting [m]	nr. 9 zetting [m]	nr. 8 – nr. 9 zetting [m]
11-03-2000	0			
22-03-2000	11			
11-04-2000	31			
27-04-2000	47	0.007	-0.016	-0.023
04-05-2000	54			
30-06-2000	111	0.021	-0.014	-0.035
19-07-2000	130			
18-09-2000	191			
22-09-2000	195	0.041	-0.008	-0.049
30-11-2000	264			
28-07-2027	10000	0.386	0.248	-0.138

Tabel 4.7 Het effect van ontgraven

Het effect van ontgraven bedraagt na een half jaar ongeveer 5 cm en loopt op tot krap 14 cm na 27 jaar. Dit levert een indicatie voor het effect van ontgraven.

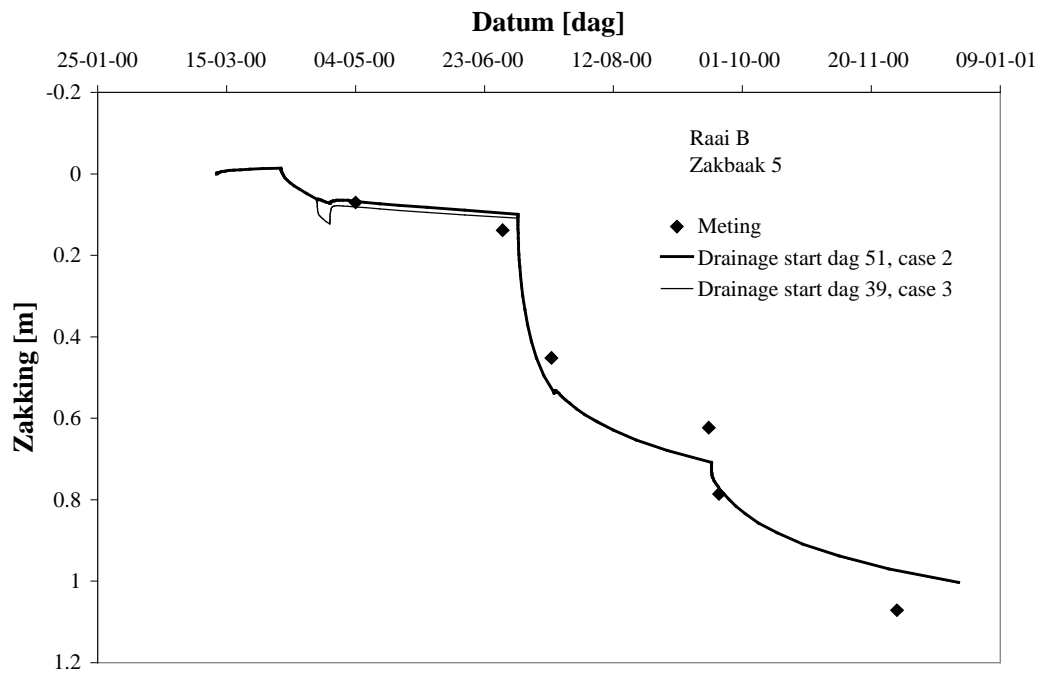
In Figuur 4.1 is de vergelijking gemaakt tussen de gemeten en de berekende zakking van zakbaak 5 uit raai B.



Figuur 4.1 Vergelijking gemeten en berekende zakking, met en zonder drainage

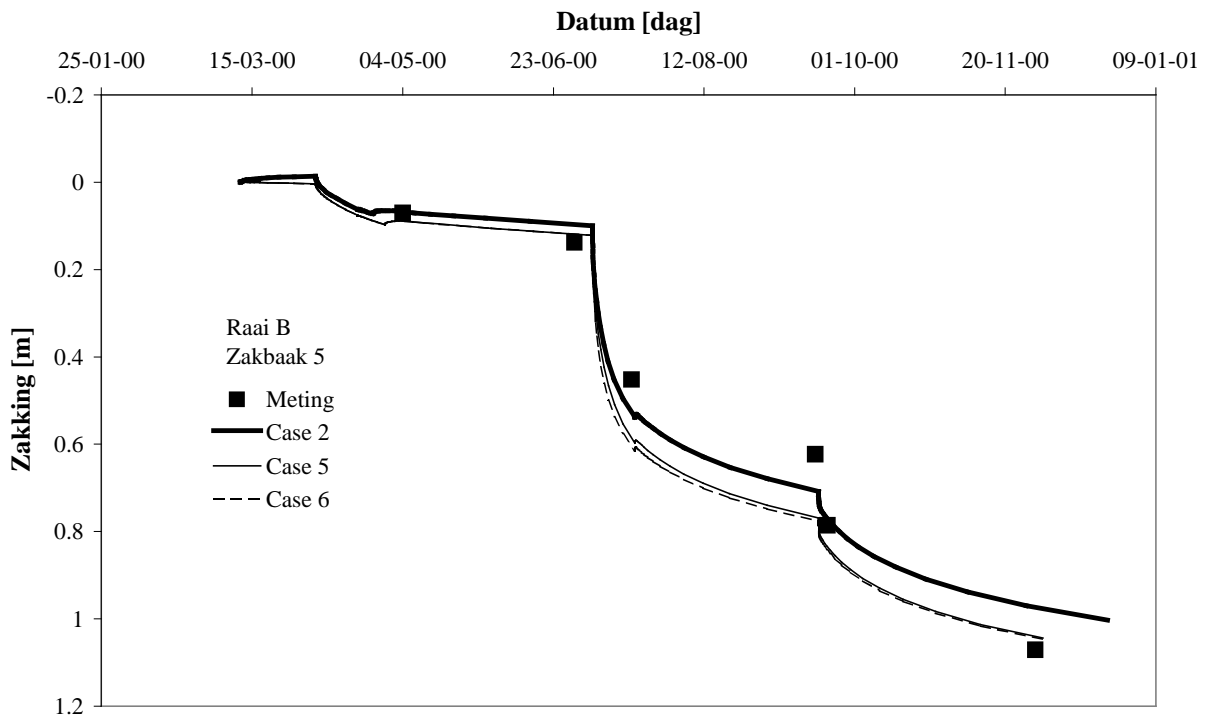
Op dag 51 (na 23 juni 2000) is drainage aangebracht. Het effect van drainage is duidelijk zichtbaar, de berekende waarden voor de zakking zonder drainage liggen aanmerkelijk lager dan de waarden met drainage. De waarden met drainage zijn beter in overeenstemming met de meetwaarden dan die zonder drainage.

Het inschakelen van de drainage op dag 39 maakt niet veel uit, zie Figuur 4.2, zeker na eind juni 2000.



Figuur 4.2 Invloed datum aanbrenge verticale drainage

Tenslotte gaan we de invloed van ontgraven na. Dit is niet ideaal gemodelleerd in MSettle. In Figuur 4.3 staan de meetdata. De drainage start op dag 51. Tevens is het effect van anisotropie in de doorlatendheid aangegeven.



Figuur 4.3 De invloed van ontgraven en anisotropie in de doorlatendheid

In de onderste curve is de horizontale doorlatendheid van de kleilagen een factor vier hoger dan in de curve die direct daarboven ligt. Daarentegen is het effect van ontgraven groter, rond 1 oktober 2000 bedraagt het verschil bijna 1 decimeter. Let wel, hierbij is reeds gecorrigeerd voor verschillende hoeveelheden opgespoten zand. De reden voor de afwijkingen tussen beide varianten heeft twee mogelijke oorzaken. De eerste is het feit dat ontgraven in MSettle niet ideaal is gemodelleerd. Het tweede is inherent aan het huidige isotachenmodel. Bij lage spanningen is het model gevoelig voor wijzigingen in de verticale spanning.

5 Conclusies

- De K_0 -CRS-proef biedt goede mogelijkheden om de parameters te bepalen die de zakking bij belasten en ontlasten/herbelasten beschrijven.
- De huidige elektronische aansturing van de K_0 -CRS-proef is niet geschikt om de parameter te bepalen die de zakking door kruip beschrijft.
- De oude samendrukkingsproef met een doodgewicht als belasting biedt wel de mogelijkheid de kruipparameter te bepalen.
- De herbelastingsparameter 'a' wordt bepaald door een lijn te trekken door de twee snijpunten van de ontlastingsstak en de herbelastingstak van het diagram van de logaritme van de gemiddelde korrelspanning en de natuurlijke rek.
- De belastingsparameter 'b' wordt bepaald uit de raaklijn aan de curve van de logaritme van de gemiddelde korrelspanning en de natuurlijke rek. Hiervoor wordt het deel van de curve genomen dat de maagdelijke belasting toont: het rechte deel boven de grensspanning.
- Voor een monster wordt een serie kruipparameters 'c' bepaald, uit de verschillende belastingsstappen van de oedometerproef.
- De waarde van c wordt bepaald uit de curve die de relatie tussen de gereduceerde tijd en de rek weergeeft. De tijdspanne gedurende welke de zakking wordt geregistreerd, dient voor monsters met een lage doorlatendheid (zoals klei) minimaal een dag te duren. De c-parameter wordt bepaald uit het gedeelte tussen het midden en het einde van die registraties.
- De gereduceerde tijd is een hulpparameter en heeft geen fysische betekenis.
- De waarden van c zijn in het algemeen bij lage belastingen lager dan bij hoge belastingen. Voor hoge belastingen (in het maagdelijke gebied) neigt de c-parameter constant te worden. De min of meer constante waarde is de parameter die in rekenmodellen wordt toegepast.
- De exacte methode om de gemiddelde korrelspanning te bepalen uit de registraties van de K_0 -CRS-proef, is uitvoeringstechnisch ingewikkeld vanwege impliciete relaties. Er zijn evenwel simpele benaderingen afgeleid waarmee de gemiddelde korrelspanning als een expliciete relatie van de registraties kan worden geschreven.
- Er is geen systematische afwijking meetbaar tussen de exacte oplossing van de gemiddelde korrelspanning en de kwadratische benadering. De waargenomen afwijkingen vertonen een toevallig karakter. De relatieve afwijkingen tussen de exacte (impliciete) oplossing en de (expliciete) benadering is minder dan 1%. Gezien het doel: parameterbepaling, is dit alleszins acceptabel.
- De exacte oplossing voor de gemiddelde korrelspanning is gevoelig voor meetruis, omdat daardoor de waarde van β dicht tot 0 kan naderen. Dit euvel kan met de reeks ontwikkelingen, zoals gebruikt in de benaderingen, worden voorkomen.
- Voor de bepaling van de waarde van K_0 is de korrelspanning benodigd, die gemiddeld wordt over de hoogte van de K_0 -ring. Deze uitdrukking bevat termen van het type $1/\beta^2$, die erg gevoelig zijn voor meetruis. Ook voor K_0 kan een benadering worden gemaakt.
- Uit de analyse van de gemeten zakking aan de Barendrechtse weg blijkt dat de voorspelling in goede overeenstemming is met de metingen. De parameters voor de voorspelling zijn afkomstig uit de resultaten van de uitgevoerde laboratoriumproeven en bepaald op de methode zoals aangegeven in hoofdstuk 3.
- De invloed van de onzekerheid in het tijdstip van aanbrengen van de verticale drainage is gering.
- De invloed van anisotropie in de horizontale doorlatendheid van de kleilagen is gering.

- Hoewel ontgraving in MSettle niet ideaal is gemodelleerd, blijkt dat het gebruikte model voor ontgraven toch een betere overeenstemming met de metingen geeft dan wanneer de ontgraving niet wordt gemodelleerd.
- De ruis in de waterspanningsmetingen kan worden verminderd door een differentiële drukopnemer te gebruiken.

6 Aanbevelingen

- De sturing tijdens een periode met constante zakking van de K_0 -CRS-proef dient te worden verbeterd.
- De methode voor de bepaling van de 'c'-parameter uit de klassieke oedometerproef dient gebruikersvriendelijk te worden gemaakt. In plaats van een spreadsheet dient een speciaal daarvoor ontwikkeld programma of programmadeel te worden ontwikkeld.
- De uitdrukking uit [Den Haan 2001] voor de korrelspanning, gemiddeld over de hoogte van de K_0 -ring, dient voor het praktische gebruik te worden vereenvoudigd, o.a. vanwege de gevoeligheid voor meetruis.
- De methode voor het berekenen van de spanningsverandering ten gevolge van een ontgraving in MSettle dient te worden verbeterd.

7 Literatuur

[Den Haan, 2001]

Den Haan, E.J.

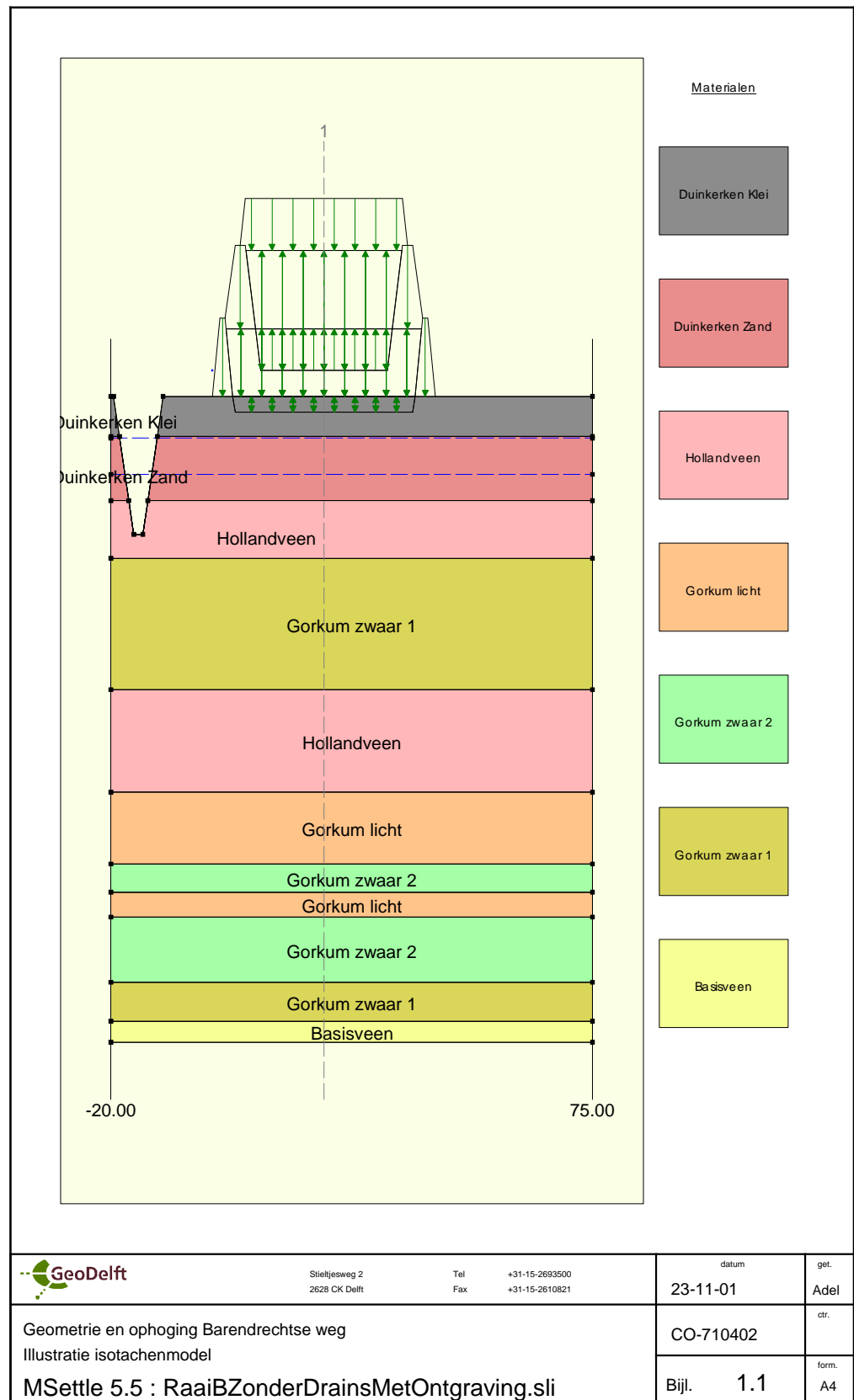
Interpretatie meetdata K_0 -CRS-apparaat

Delft Cluster rapport 01.02.03/22, september 2001.

8 Lijst met symbolen

a	[-]	Herbelastingsparameter
b	[-]	Maagdelijke belastingsparameter
c	[-]	Kruipparameter
h	[-]	Initiële monsterhoogte
k_{hor}	[m/s]	Horizontale doorlatendheid
k_{ver}	[m/s]	Verticale doorlatendheid
K_0	[-]	Verhouding horizontale en verticale maagdelijke spanning
p_g	[kPa]	Grensspanning
t	[s]	Tijd
t_r	[s]	Gereduceerde tijd
u_b	[kPa]	Waterspanning aan de onderzijde van het monster
z	[m]	Verticale positie
β	[-]	Wrijvingsparameter monster met wand
γ_{nat}	[kN/m ³]	Nat volumiek gewicht
γ_{droog}	[kN/m ³]	Droog volumiek gewicht
ε^H	[-]	Natuurlijke rek
ε_z	[-]	Verticale lineaire rek
λ	[-]	Wrijvingsloosheid monster met wand
σ_0	[kPa]	Totaalspanning aan de onderzijde monster
σ_b	[kPa]	Totaalspanning aan de bovenzijde monster
σ'_v	[kPa]	Korrelspanning in het monster

Bijlage 1 Geometrie ophoging Barendrechtse weg



Bijlage 2 Benaderingen voor b , l en s'_v

Voor de bepaling van de gemiddelde korrelspanning moet rekening worden gehouden met de wrijving van het monster met de wand van de oedometerring en de waterspanningsopbouw in het monster. Den Haan heeft in [Den Haan, 2001] afgeleid dat:

$$\overline{s'_v} = I s_b - u_b \left(\frac{1}{b} + \frac{2}{b^2} - \frac{2I}{b} - \frac{2I}{b^2} \right) \quad (8.1)$$

met

$$I = \frac{(1 - e^{-b})}{b} \quad (8.2)$$

en

$$s_b = -\frac{2u_b}{b} - \frac{2u_b}{b^2} + \left(s_o - u_b + \frac{2u_b}{b^2} \right) \times e^b \quad (8.3)$$

met σ_b de spanning op de bovenzijde van het monster, σ_o de spanning op de onderzijde van het monster, u_b de waterspanning aan de onderzijde van het monster en $\overline{s'_v}$ de gemiddelde korrelspanning.

Omdat vergelijking (8.3) in β niet lineair is, moet deze met numerieke methoden worden opgelost. Dit is in zijn algemeenheid geen onoverkomelijk probleem, slechts lastig. In de meetsoftware dient een oplosmethode voor niet lineaire vergelijkingen voor handen te zijn, hetgeen meestal niet het geval is. In deze bijlage zal daarom een vereenvoudiging worden gepresenteerd die de waarde van β via directe methoden levert en gezien de meetnauwkeurigheid van de gebruikelijke opnemers geen essentiële bijdrage aan de waarde van grootheden zoals de gemiddelde korrelspanning levert. De benadering heeft nog een ander voordeel. De vergelijkingen (8.1) t/m (8.3) bevatten termen van het type $1/\beta$. Voor heel kleine waarden van β worden deze termen erg groot. Omdat er zowel positieve als negatieve termen zijn, leveren deze $1/\beta$ -termen numerieke instabiliteiten op. Het voordeel van de benadering is dat de termen van het type $1/\beta$ met analytische methoden worden opgeteld en daarbij wegvallen.

In vergelijking (8.3) zijn twee fysische verschijnselen waarneembaar: wrijving van het monster langs de wand, gerepresenteerd door het verschil in getalwaarden van σ_b en σ_o , en waterspanning, in de vorm van u_b . Indien het K_0 -CRS-apparaat correct is gemaakt, is de wrijving langs de wand klein. De waarde van β zal zonder waterspanning derhalve niet erg groot zijn, van de orde van 0.1. Voor kleine waarden van β kan de term e^β daarom in een Taylorreeks worden ontwikkeld. Omdat in de noemer van vergelijking (8.3) termen van de orde β^2 voorkomen, wordt de reeksonwikkeling voortgezet tot β^5 om termen tot β^3 over te houden:

$$s_b = -\frac{2u_b}{b} - \frac{2u_b}{b^2} + \left(s_o - u_b + \frac{2u_b}{b^2} \right) \times \left(1 + b + \frac{b^2}{2!} + \frac{b^3}{3!} + \frac{b^4}{4!} + \frac{b^5}{5!} \dots \right) \quad (8.4)$$

Verzamel nu termen tot β^3 , dan resteert een derde graads vergelijking in β :

$$\frac{1}{6}(s_o - \frac{9}{10}u_b)b^3 + \frac{1}{2}(s_o - \frac{5}{6}u_b)b^2 + (s_o - \frac{2}{3}u_b)b + (s_o - s_b) \approx 0 \quad (8.5)$$

De verwachting is dat de waarde van β klein is, zodat de bijdrage van de derde graads term klein is. In eerste instantie wordt die verwaarloosd, er blijft dan een vierkantsvergelijking in β over:

$$\frac{1}{2}(s_o - \frac{5}{6}u_b)b^2 + (s_o - \frac{2}{3}u_b)b + (s_o - s_b) \approx 0 \quad (8.6)$$

De fysisch relevante wortel is positief. Indien er aan de onderzijde van het monster nog een positieve korrelspanning is, is $\sigma_o > u_b$. Tevens zijn alle termen met σ_o en fracties van u_b er in derhalve ook positief. Omdat wrijving positief is, is $\sigma_o < \sigma_b$, zodat de term $\sigma_o - \sigma_b$ negatief is. De juiste wortel is dus:

$$b \approx \frac{\sqrt{(s_o - \frac{2}{3}u_b)^2 + 2(s_b - s_o)(s_o - \frac{5}{6}u_b)} - (s_o - \frac{2}{3}u_b)}{(s_o - \frac{5}{6}u_b)} \quad (8.7)$$

Vergelijking (8.5) kan analytisch worden opgelost. De uitdrukking is echter tamelijk complex en is daardoor weinig inzichtelijk. Voor het doel van het afschatten van de fout die met de kwadratische benadering wordt gemaakt, wordt eerste orde storingstheorie toegepast. Laat β_0 de oplossing zijn van de kwadratische vergelijking (8.6). De oplossing van derde graads vergelijking (8.5), noemen we β_1 en deze stellen we gelijk aan de oplossing van de kwadratische vergelijking (8.6) plus een kleine verstoring ε :

$$b_1 = b_0 + \varepsilon \quad (8.8)$$

ε heeft een waarde die klein is ten opzichte van β_0 . ε kan worden beschouwd als de correctie op β uit de kwadratische oplossing ten gevolge van het feit dat het om een derde graads vergelijking gaat.³ Substitueer β_1 in vergelijking (8.5). Bij toepassing van eerste orde storingstheorie verzamelen we alleen de termen die lineair in ε zijn. Dit leidt tot een uitdrukking voor ε o.a. in β_0 :

$$\varepsilon \approx -\frac{1}{6} \frac{(s_o - \frac{9}{10}u_b)}{(s_o - \frac{2}{3}u_b)} b_0^3 \quad (8.9)$$

³ In feite is het een n-de graads vergelijking, die bij graad drie is afgekapt.

Voor kleine waterspanningen ($u_b < \sigma_0/2$) is dit:

$$e \approx -\frac{1}{7} b_0^3 \quad (8.10)$$

De absolute fout in β die wordt gemaakt ten gevolge van het verwaarlozen van de derde graads term bedraagt, als $\beta_0 = 0.2$, ongeveer 0.001, de relatieve fout in β_0 is dus een half procent. Bij de proeven op de monsters van de Barendrechtse weg, het voorbeeld uit hoofdstuk 4, is β 0.1 à 0.2.

Indien er geen wrijving is, $(\sigma_b - \sigma_0) = 0$, is β ook gelijk aan 0. De relatie voor λ is dan niet meer uit te werken. Door $e^{-\beta}$ ook weer in een Taylorreeks te ontwikkelen, wordt voor λ in de limiet voor $\beta \rightarrow 0$ gevonden:

$$\lim_{b \rightarrow 0} I = \lim_{b \rightarrow 0} \left(\frac{1 - e^{-b}}{b} \right) = \lim_{b \rightarrow 0} \left(\frac{1 - \left(1 - b + \frac{b^2}{2!} \right)}{b} \right) = \lim_{b \rightarrow 0} \left(\frac{b - \frac{b^2}{2!}}{b} \right) = 1 \quad (8.11)$$

β is een maat voor de wrijving, λ is een maat voor de wrijvingsloosheid. Als $\beta = 0$, dan is $\lambda = 1$, hetgeen betekent dat er geen verlies door wrijving langs de wand van het K_0 -CRS-apparaat is. In feite is er altijd wrijving. Toch kan het tijdens een experiment voorkomen dat $\sigma_b = \sigma_0$, bijvoorbeeld omdat er meetruis in de registraties van σ_b , σ_0 en of u_b zit.

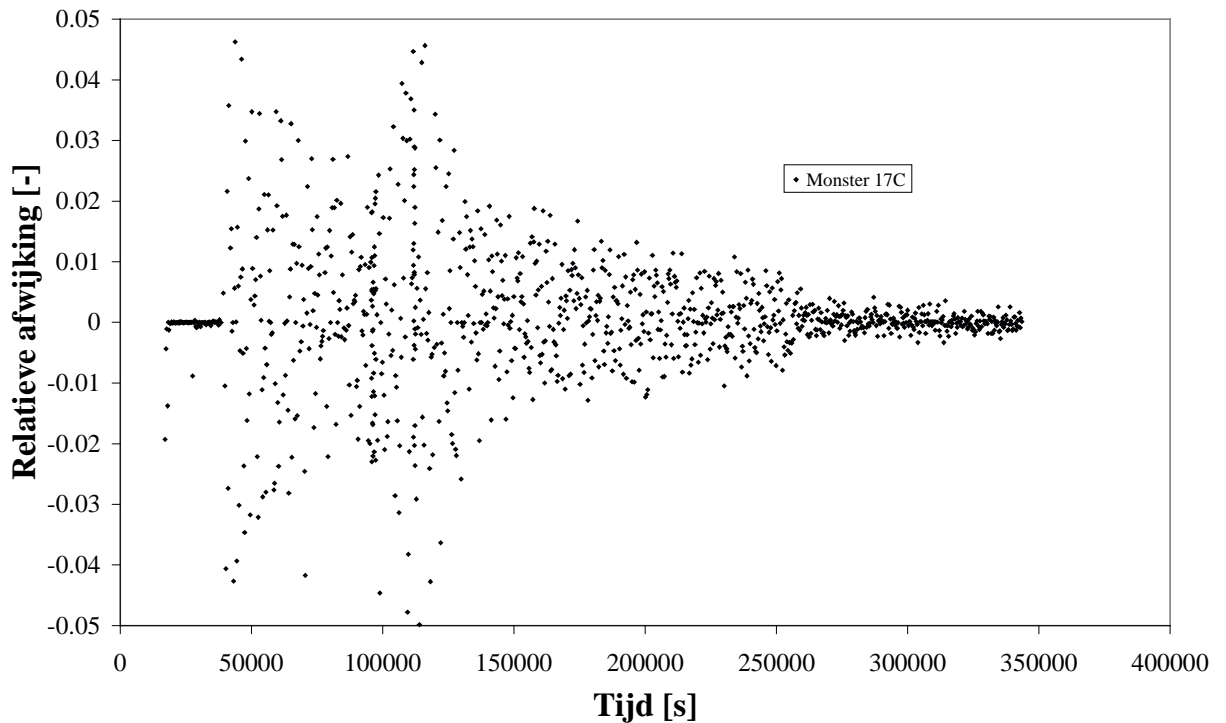
Ook de relatie voor de gemiddelde korrelspanning, vergelijking (8.1), bevat termen van het type $1/\beta$. Voor $\beta = 0$ moet er door 0 gedeeld worden. Maar zelfs voor kleine waarden van β wordt de berekening onnauwkeurig. Daarom wordt λ in een Taylorreeks ontwikkeld tot β^4 , omdat er in de noemer termen staan van de orde β^2 . Dit leidt tot:

$$\overline{s'_v} \approx I s_o - \left(\frac{2}{3} - \frac{1}{4} b + \frac{1}{15} b^2 \right) u_b \quad (8.12)$$

Deze relatie heeft geen singulariteiten voor $\beta = 0$. Voor $\beta = 0$ (en dus $\lambda = 1$) is er geen wrijving en reduceert de uitdrukking voor de gemiddelde korrelspanning tot:

$$\overline{s'_v} \approx s_o - \frac{2}{3} u_b \quad (8.13)$$

In Figuur 8.1 is het relatieve verschil tussen de exacte waarde van de gemiddelde korrelspanning en de kwadratische benadering uitgezet als functie van de tijd.

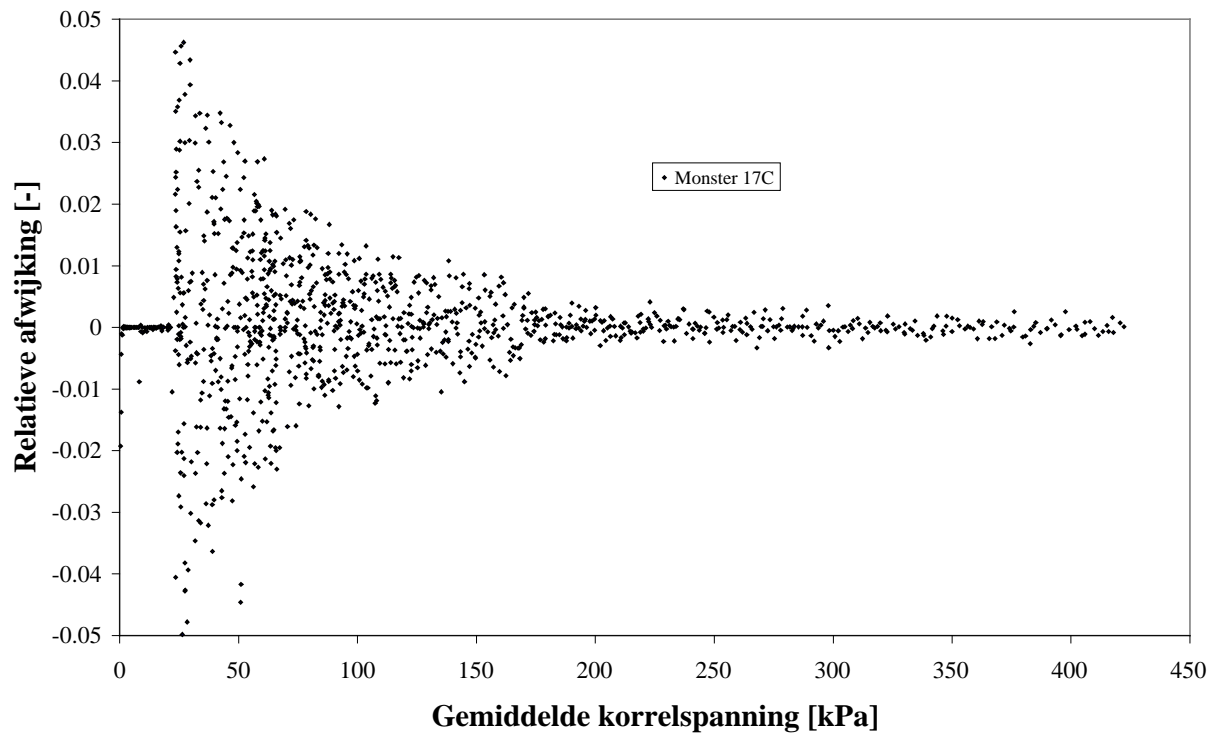


Figuur 8.1 *Verskil tussen de gemiddelde korrelspanning exact en in kwadratische benadering, bijlage 2, pagina 7.*

De gemiddelde waarde van de relatieve afwijking is vrijwel 0. Dit duidt op de afwezigheid van systematische afwijkingen. Systematische afwijkingen worden verwacht bij benaderingen die niet voldoende correct zijn. Er ontstaat dan een puntenwolk die categoriaal hoger of lager ligt dan 0.

Toevallige fouten, die worden veroorzaakt door het feit dat een perfect meetinstrument niet bestaat, liggen meestal rond 0. Figuur 8.2 laat een beeld zien dat karakteristiek voor meetruis is: de ruisband wordt begrensd door twee hyperbolen. Bij lage waarden van de gemeten waarde is de relatieve spreiding groter dan bij hoge waarden van de gemeten waarde.

Hieruit kan worden geconcludeerd dat de afwijkingen in Figuur 8.1 worden gedomineerd door meetruis. De kwadratische benadering is derhalve net zo goed als de exacte oplossing.



Figuur 8.2 Relatieve afwijking tussen de exacte waarde en de kwadratische benadering van de korrelspanning versus de korrelspanning, bijlage 2 pagina 8

Bijlage 3 Wandwrijving

In [den Haan, 2001] wordt een uitdrukking gegeven voor de korrelspanning als functie van de hoogte:

$$s'_v = -\frac{2h}{bH}u_b - \frac{2}{b^2}u_b + C \exp\left(b \frac{h}{H}\right) \quad (8.14)$$

Ter vereenvoudiging van de formules uit [den Haan, 2001] wordt aangenomen dat er geen ontwikkeling van waterspanning is: $u_b=0$. Deze aanname is echter niet essentieel, hij dient slechts voor het leesgemak. C is in vergelijking (8.14) een nog onbekende integratieconstante. Indien de randvoorwaarden worden ingevuld, wordt de betekenis van C en β duidelijk:

$$\begin{aligned} h=0 &\Rightarrow s'_v = s_o = C \\ h=H &\Rightarrow s'_v = s_b = C \exp(b) \end{aligned} \quad (8.15)$$

C is de spanning aan de onderzijde van het monster, β de mate waarin de spanning boven verschilt van de spanning onder. Dit is het gevolg van de wandwrijving. Dus:

$$s_b = s_o \exp(b) \quad (8.16)$$

en

$$s'_v(h) = s_o \exp\left(b \frac{h}{H}\right) \quad (8.17)$$

Uitgaande van een constante wrijvingscoëfficiënt μ tussen wand en grond wordt de schuifspanning τ langs de wand:

$$t = mK_0 s'_v = mK_0 s_o \exp\left(b \frac{h}{H}\right) \quad (8.18)$$

Beschouw nu het relatieve verschil tussen de spanning boven en onder ten opzichte van de spanning onder:

$$\frac{s_b - s_o}{s_o} = \exp(b) - 1 \approx b \quad (8.19)$$

Indien het relatieve verschil klein is, moet de waarde van $\exp(\beta)$ vrijwel gelijk aan 1 zijn. Dit heeft tot gevolg dat de waarde van β klein is. Dat houdt in dat de schuifspanning langs de wand:

$$t \approx mK_0 s_o b \frac{h}{H} \quad (8.20)$$

en dus een lineaire functie van de hoogte. Dit maakt het mogelijk een simpele lineaire afschatting te maken voor de gemiddelde korrelspanning:

$$\overline{s}_v = \frac{s_b + s_o}{2} \approx s_o \left(1 + \frac{1}{2} b\right) \quad (8.21)$$

De exacte gemiddelde korrelspanning wordt gevonden uit:

$$\overline{s}_v = \frac{s_o \int_0^H \exp\left(b \frac{h}{H}\right) dh}{\int_0^H dh} = s_o \frac{\frac{H}{b} (\exp(b) - 1)}{H} = s_o \frac{(\exp(b) - 1)}{b} \quad (8.22)$$

Merk op dat $\exp(\beta)$ voor kleine waarden van β kan worden ontwikkeld in:

$$\exp(b) \approx 1 + b + \frac{1}{2} b^2 \quad (8.23)$$

waardoor vergelijking (8.22) ook weer vereenvoudigt tot vergelijking (8.21).

Bijlage 4 Invoer case 1

```
INPUT FILE FOR MSETTLE
=====
COMPANY      :
LICENSE      : INTERN
DATE         : 26-11-01
TIME         : 14:35:34
FILENAME     : D:\user\user\co710402\MSL tmp\RaaibZonderDrainsMetOntgraving.sli
CREATED BY   : MSettle version 5.5
=====
                        BEGINNING OF DATA      =====
[GEOMETRY FILE]
RaaibZonderDrainsMetOntgraving.geo
[RUN IDENTIFICATION]
Geometrie en ophoging Barendrechtse weg
Illustratie isotachenmodel
[MODEL]
2 : Model = Isotache
0 : Vertical drain = FALSE
[VERTICALS]
    300 = total Mesh
    1 = number of items
    22.00    0.00 = X, Z
[MATERIALS]
    7 = number of items
Duinkerken Klei
    19.20 = Dry unit weight
    19.20 = Wet unit weight
1.00E-12 = Cv
0.00E+00 = Sigma p - Koppejan
1.00E+00 = Cp
1.00E+00 = Cp'
1.00E+00 = Cs
1.00E+00 = Cs'
1.00E+00 = Ap
1.00E+00 = As
0.00E+00 = Sigma p - NEN6744
1 : By compression ratio
    0.0000000 = RR
    0.0000000 = CR
    0.0000000 = Car
    0.0000000 = Ca
    0.0000000 = SR
0 : Drained = FALSE
2 : Material type = Creeping
1.130E-02 = Cs
1.303E-01 = Cc
6.500E-03 = Ca
1.000E+00 = Reference time
1 : Use OCR = TRUE
    20.00 = POP
    3.00 = OCR
4.770E-05 = Vertical permeability
4.770E-05 = Horizontal permeability
    1.000 = Horizontal permeability factor
1 : Horizontal permeability as factor = TRUE
    0.500 = Porosity
9211020 = Color
Duinkerken Zand
    17.00 = Dry unit weight
    19.00 = Wet unit weight
```

```

1.00E-12 = Cv
0.00E+00 = Sigma p - Koppejan
1.00E+00 = Cp
1.00E+00 = Cp'
1.00E+00 = Cs
1.00E+00 = Cs'
1.00E+00 = Ap
1.00E+00 = As
0.00E+00 = Sigma p - NEN6744
1 : By compression ratio
    0.0000000 = RR
    0.0000000 = CR
    0.0000000 = Car
    0.0000000 = Ca
    0.0000000 = SR
0 : Drained = FALSE
1 : Material type = Permeable
2.300E-02 = Cs
2.300E-01 = Cc
1.150E-02 = Ca
1.000E+00 = Reference time
1 : Use OCR = TRUE
    20.00 = POP
    1.00 = OCR
5.000E-02 = Vertical permeability
1.500E-01 = Horizontal permeability
    3.000 = Horizontal permeability factor
0 : Horizontal permeability as factor = FALSE
    0.400 = Porosity
9276906 = Color
Hollandveen
    10.36 = Dry unit weight
    10.36 = Wet unit weight
1.00E-12 = Cv
0.00E+00 = Sigma p - Koppejan
1.00E+00 = Cp
1.00E+00 = Cp'
1.00E+00 = Cs
1.00E+00 = Cs'
1.00E+00 = Ap
1.00E+00 = As
0.00E+00 = Sigma p - NEN6744
1 : By compression ratio
    0.0000000 = RR
    0.0000000 = CR
    0.0000000 = Car
    0.0000000 = Ca
    0.0000000 = SR
0 : Drained = FALSE
2 : Material type = Creeping
8.060E-02 = Cs
6.355E-01 = Cc
5.000E-02 = Ca
1.000E+00 = Reference time
1 : Use OCR = TRUE
    20.00 = POP
    1.63 = OCR
2.000E-03 = Vertical permeability
8.000E-03 = Horizontal permeability
    4.000 = Horizontal permeability factor
1 : Horizontal permeability as factor = TRUE
    0.900 = Porosity
12171263 = Color
Gorkum zwaar 1

```

```

        16.00 = Dry unit weight
        16.00 = Wet unit weight
1.00E-12 = Cv
0.00E+00 = Sigma p - Koppejan
1.00E+00 = Cp
1.00E+00 = Cp'
1.00E+00 = Cs
1.00E+00 = Cs'
1.00E+00 = Ap
1.00E+00 = As
0.00E+00 = Sigma p - NEN6744
1 : By compression ratio
    0.0000000 = RR
    0.0000000 = CR
    0.0000000 = Car
    0.0000000 = Ca
    0.0000000 = SR
0 : Drained = FALSE
2 : Material type = Creeping
2.830E-02 = Cs
3.164E-01 = Cc
1.410E-02 = Ca
1.000E+00 = Reference time
1 : Use OCR = TRUE
    20.00 = POP
    1.37 = OCR
7.730E-04 = Vertical permeability
7.730E-04 = Horizontal permeability
    1.000 = Horizontal permeability factor
1 : Horizontal permeability as factor = TRUE
    0.600 = Porosity
5953498 = Color
Gorkum licht
    13.20 = Dry unit weight
    13.20 = Wet unit weight
1.00E-12 = Cv
0.00E+00 = Sigma p - Koppejan
1.00E+00 = Cp
1.00E+00 = Cp'
1.00E+00 = Cs
1.00E+00 = Cs'
1.00E+00 = Ap
1.00E+00 = As
0.00E+00 = Sigma p - NEN6744
1 : By compression ratio
    0.0000000 = RR
    0.0000000 = CR
    0.0000000 = Car
    0.0000000 = Ca
    0.0000000 = SR
0 : Drained = FALSE
2 : Material type = Creeping
4.670E-02 = Cs
4.064E-01 = Cc
3.170E-02 = Ca
1.000E+00 = Reference time
1 : Use OCR = TRUE
    20.00 = POP
    1.86 = OCR
1.370E-03 = Vertical permeability
1.370E-03 = Horizontal permeability
    1.000 = Horizontal permeability factor
1 : Horizontal permeability as factor = TRUE
    0.700 = Porosity

```

9094655 = Color
 Gorkum zwaar 2
 16.70 = Dry unit weight
 16.70 = Wet unit weight
 1.00E-12 = Cv
 0.00E+00 = Sigma p - Koppejan
 1.00E+00 = Cp
 1.00E+00 = Cp'
 1.00E+00 = Cs
 1.00E+00 = Cs'
 1.00E+00 = Ap
 1.00E+00 = As
 0.00E+00 = Sigma p - NEN6744
 1 : By compression ratio
 0.0000000 = RR
 0.0000000 = CR
 0.0000000 = Car
 0.0000000 = Ca
 0.0000000 = SR
 0 : Drained = FALSE
 2 : Material type = Creeping
 2.370E-02 = Cs
 2.602E-01 = Cc
 1.300E-02 = Ca
 1.000E+00 = Reference time
 1 : Use OCR = TRUE
 20.00 = POP
 2.08 = OCR
 7.730E-04 = Vertical permeability
 7.730E-04 = Horizontal permeability
 1.000 = Horizontal permeability factor
 1 : Horizontal permeability as factor = TRUE
 0.600 = Porosity
 10944420 = Color
 Basisveen
 12.00 = Dry unit weight
 12.00 = Wet unit weight
 1.00E-12 = Cv
 0.00E+00 = Sigma p - Koppejan
 1.00E+00 = Cp
 1.00E+00 = Cp'
 1.00E+00 = Cs
 1.00E+00 = Cs'
 1.00E+00 = Ap
 1.00E+00 = As
 0.00E+00 = Sigma p - NEN6744
 1 : By compression ratio
 0.0000000 = RR
 0.0000000 = CR
 0.0000000 = Car
 0.0000000 = Ca
 0.0000000 = SR
 0 : Drained = FALSE
 2 : Material type = Creeping
 3.090E-02 = Cs
 3.095E-01 = Cc
 2.930E-02 = Ca
 1.000E+00 = Reference time
 1 : Use OCR = TRUE
 20.00 = POP
 1.86 = OCR
 7.760E-04 = Vertical permeability
 3.104E-03 = Horizontal permeability
 4.000 = Horizontal permeability factor

1 : Horizontal permeability as factor = TRUE
 0.800 = Porosity
 9764853 = Color
 [WATER]
 9.81 = Unit Weight of Water
 2000000 = Bulk Modulus of Water
 [NON-UNIFORM LOADS]
 16 = number of items
 ontgraving klei
 0 -19.20 -19.20 = Time, Gamma dry, Gamma wet
 4 = Number of co-ordinates
 4.00 -0.50 = X, Y
 4.50 -0.80 = X, Y
 39.50 -0.80 = X, Y
 40.00 -0.50 = X, Y
 spuitkade 1 west
 0 19.20 19.20 = Time, Gamma dry, Gamma wet
 4 = Number of co-ordinates
 0.00 -0.50 = X, Y
 1.50 1.00 = X, Y
 2.50 1.00 = X, Y
 4.00 -0.50 = X, Y
 spuitkade 1 oost
 0 19.20 19.20 = Time, Gamma dry, Gamma wet
 4 = Number of co-ordinates
 40.00 -0.50 = X, Y
 41.50 1.00 = X, Y
 42.50 1.00 = X, Y
 44.00 -0.50 = X, Y
 ophoogslag 1 tot mv 20
 25 20.00 20.00 = Time, Gamma dry, Gamma wet
 2 = Number of co-ordinates
 4.00 -0.50 = X, Y
 40.00 -0.50 = X, Y
 ophoogslag 1 zand 20
 25 20.00 20.00 = Time, Gamma dry, Gamma wet
 2 = Number of co-ordinates
 2.70 0.80 = X, Y
 41.30 0.80 = X, Y
 ophoogslag 1 tot mv eraf
 39 -20.00 -20.00 = Time, Gamma dry, Gamma wet
 4 = Number of co-ordinates
 2.70 0.80 = X, Y
 4.00 -0.50 = X, Y
 40.00 -0.50 = X, Y
 41.30 0.80 = X, Y
 ophoogslag 1 zand eraf
 39 -20.00 -20.00 = Time, Gamma dry, Gamma wet
 4 = Number of co-ordinates
 4.00 -0.50 = X, Y
 4.50 -0.80 = X, Y
 39.50 -0.80 = X, Y
 40.00 -0.50 = X, Y
 ophoogslag 1 tot mv 18
 39 18.00 18.00 = Time, Gamma dry, Gamma wet
 2 = Number of co-ordinates
 4.00 -0.50 = X, Y
 40.00 -0.50 = X, Y
 ophoogslag 1 zand 18
 39 18.00 18.00 = Time, Gamma dry, Gamma wet
 2 = Number of co-ordinates
 2.70 0.80 = X, Y
 41.30 0.80 = X, Y
 spuitkade 2 west

```

    44      18.00      18.00 = Time, Gamma dry, Gamma wet
4 = Number of co-ordinates
    2.50      1.00 = X, Y
    4.50      2.40 = X, Y
    6.50      2.40 = X, Y
    8.50      0.80 = X, Y
spuitkade 2 oost
    44      18.00      18.00 = Time, Gamma dry, Gamma wet
4 = Number of co-ordinates
    35.50     0.80 = X, Y
    37.50     2.40 = X, Y
    39.50     2.40 = X, Y
    41.50     1.00 = X, Y
ontgraving middendeel
    44      -18.00     -18.00 = Time, Gamma dry, Gamma wet
4 = Number of co-ordinates
    8.50      0.80 = X, Y
    9.50      0.00 = X, Y
    34.50     0.00 = X, Y
    35.50     0.80 = X, Y
ophoogslag 2 zand 20
    117     20.00      20.00 = Time, Gamma dry, Gamma wet
2 = Number of co-ordinates
    6.62     2.30 = X, Y
    37.38     2.30 = X, Y
ophoogslag 2 zand eraf
    131     -20.00     -20.00 = Time, Gamma dry, Gamma wet
4 = Number of co-ordinates
    6.62     2.30 = X, Y
    9.50      0.00 = X, Y
    34.50     0.00 = X, Y
    37.38     2.30 = X, Y
ophoogslag 2 zand 18
    131     18.00      18.00 = Time, Gamma dry, Gamma wet
2 = Number of co-ordinates
    6.62     2.30 = X, Y
    37.38     2.30 = X, Y
ophoogslag 3 zand 18
    192     18.00      18.00 = Time, Gamma dry, Gamma wet
4 = Number of co-ordinates
    5.50     2.40 = X, Y
    6.50     3.30 = X, Y
    37.50     3.30 = X, Y
    38.50     2.40 = X, Y
[WATER LOADS]
0 = number of items
[OTHER LOADS]
0 = number of items
[CALCULATION OPTIONS]
4 : Precon. pressure within a layer = Variable, correction at t=0 [days]
0 : Imaginary surface = FALSE
0 : Submerging = FALSE
0 : Maintain profile = FALSE
Superelevation
0 = Time superelevation
10.00 = Gamma dry superelevation
10.00 = Gamma wet superelevation
0 : Natural strain = FALSE
1 : Dispersion conditions layer boundaries top = Drained
1 : Dispersion conditions layer boundaries bottom = Drained
0 : Stress distribution soil = Buisman
0 : Stress distribution loads = None
10 = Iteration stop criteria submerging [cm]
10 = Iteration stop criteria desired profile [cm]

```

1.00 = Load column width imaginary surface [m]
 1.00 = Load column width non-uniform loads [m]
 1.00 = Load column width trapeziform loads [m]
 10000 = End of consolidation [days]
 8 = Number of subtime steps
 25.00 = Sill stress [kPa]
 [MODEL PORE PRESSURES]
 0 : Pore pressures = FALSE
 [MATERIALS PORE PRESSURES]
 7 = number of items
 Duinkerken Klei
 10.00 = Cohesion
 30.00 = Friction angle
 Duinkerken Zand
 10.00 = Cohesion
 30.00 = Friction angle
 Hollandveen
 10.00 = Cohesion
 30.00 = Friction angle
 Gorkum zwaar 1
 10.00 = Cohesion
 30.00 = Friction angle
 Gorkum licht
 10.00 = Cohesion
 30.00 = Friction angle
 Gorkum zwaar 2
 10.00 = Cohesion
 30.00 = Friction angle
 Basisveen
 10.00 = Cohesion
 30.00 = Friction angle
 [PORE PRESSURE METERS]
 0 = number of items
 [NON-UNIFORM LOADS PORE PRESSURES]
 16 = number of items
 ontgraving klei
 0.00 = Top of heightening
 spuitkade 1 west
 0.00 = Top of heightening
 spuitkade 1 oost
 0.00 = Top of heightening
 ophoogslag 1 tot mv 20
 0.00 = Top of heightening
 ophoogslag 1 zand 20
 0.00 = Top of heightening
 ophoogslag 1 tot mv eraf
 0.00 = Top of heightening
 ophoogslag 1 zand eraf
 0.00 = Top of heightening
 ophoogslag 1 tot mv 18
 0.00 = Top of heightening
 ophoogslag 1 zand 18
 0.00 = Top of heightening
 spuitkade 2 west
 0.00 = Top of heightening
 spuitkade 2 oost
 0.00 = Top of heightening
 ontgraving middendeel
 0.00 = Top of heightening
 ophoogslag 2 zand 20
 0.00 = Top of heightening
 ophoogslag 2 zand eraf
 0.00 = Top of heightening
 ophoogslag 2 zand 18


```
0.00 = Top of heightening
ophoogslag 3 zand 18
0.00 = Top of heightening
[OTHER LOADS PORE PRESSURES]
0 = number of items
[CALCULATION OPTIONS PORE PRESSURES]
1 : Shear stress = TRUE
1 : calculation method of lateral stress ratio (k0) = Nu
[VERTICAL DRAIN]
0 : Flow type = Radial
0.000 = Bottom position
0.000 = Position of the drain pipe
3.000 = Centre to centre distance
0.200 = Diameter
1 = number of items
0.000 40.00 0.000 0.00 = Time, Air pressure, Water level, Tube
pressure
[END OF INPUT FILE]
```

Bijlage 5 Uitvoer van case 1

Program : MSettle for Windows
 Version : 5.5.0.1
 License : INTERN
 Company :
 Date : 26-11-01
 Time : 14:35:46

Output file : D:\user\user\co710402\MSL tmp\RaaiBZonderDrainsMetOntgraving.slo
 Input file : D:\user\user\co710402\MSL tmp\RaaiBZonderDrainsMetOntgraving.sli
 ===== BEGINNING OF DATA =====

LAYER BOUNDARIES =====

Boundary no.		Coordinates [m]					
11	- X -	-20.00	-19.50	-18.34	-16.48	-15.50	-13.70
11	- Y -	-0.50	-0.50	-1.27	-2.50	-3.15	-3.15
11	- X -	-12.72	-10.86	-9.70	75.00		
11	- Y -	-2.50	-1.27	-0.50	-0.50		
10	- X -	-20.00	-18.34	-16.48	-15.50	-13.70	-12.72
10	- Y -	-1.27	-1.27	-2.50	-3.15	-3.15	-2.50
10	- X -	-10.86	75.00				
10	- Y -	-1.27	-1.27				
9	- X -	-20.00	-16.48	-15.50	-13.70	-12.72	75.00
9	- Y -	-2.50	-2.50	-3.15	-3.15	-2.50	-2.50
8	- X -	-20.00	75.00				
8	- Y -	-3.61	-3.61				
7	- X -	-20.00	75.00				
7	- Y -	-6.13	-6.13				
6	- X -	-20.00	75.00				
6	- Y -	-8.10	-8.10				
5	- X -	-20.00	75.00				
5	- Y -	-9.48	-9.48				
4	- X -	-20.00	75.00				
4	- Y -	-10.02	-10.02				
3	- X -	-20.00	75.00				
3	- Y -	-10.50	-10.50				
2	- X -	-20.00	75.00				
2	- Y -	-11.75	-11.75				
1	- X -	-20.00	75.00				
1	- Y -	-12.50	-12.50				
0	- X -	-20.00	75.00				
0	- Y -	-12.90	-12.90				

PL LINES

=====

PL line no.		Coordinates [m]	
1	- X -	-20.00	75.00
1	- Y -	-2.00	-2.00
2	- X -	-20.00	75.00
2	- Y -	-1.30	-1.30

ECHO OF THE INPUT

=====

Calculation method : Isotache
 Groundwater level : Initial determined by PL-line number 1
 Unit weight of water : 9.81 [kN/m3]
 Bulk modulus : 2000000 [kN/m2]
 No imaginary surface
 No maintain profile
 Dispersion conditions layer boundaries
 Top : Drained
 Bottom : Drained
 Stress distribution
 Soil : Buisman
 Loads : None
 Load column width
 Imaginary surface : 1.00 m
 Non-uniform loads : 1.00 m
 Trapeziform loads : 1.00 m
 End of consolidation : 10000 days
 Number of subtime steps: 8
 Sill stress : 25.00 kPa

SOIL PROFILE

=====

Layer no.	SoilType	PL top	PL bottom
11	Duinkerken Klei	1	1
10	Duinkerken Zand	1	1
9	Hollandveen	99	99
8	Gorkum zwaar 1	99	99
7	Hollandveen	99	99
6	Gorkum licht	99	99
5	Gorkum zwaar 2	99	99
4	Gorkum licht	99	99
3	Gorkum zwaar 2	99	99
2	Gorkum zwaar 1	99	99
1	Basisveen	2	2

GENERAL SOIL PROPERTIES

=====

Index	Soil name
7	Basisveen
6	Gorkum zwaar 2
5	Gorkum licht
4	Gorkum zwaar 1
3	Hollandveen
2	Duinkerken Zand
1	Duinkerken Klei

Index	Unit weight	
	dry [kN/m3]	wet [kN/m3]
7	12.00	12.00
6	16.70	16.70
5	13.20	13.20
4	16.00	16.00
3	10.36	10.36
2	17.00	19.00
1	19.20	19.20

Index	Type	Swell index Cs [-]	Compression index Cc [-]	Sec. comp. coefficient Ca [-]	Reference time [days]
7	Creeping	0.030900	0.309500	0.029300	1.000E+0000
6	Creeping	0.023700	0.260200	0.013000	1.000E+0000
5	Creeping	0.046700	0.406400	0.031700	1.000E+0000
4	Creeping	0.028300	0.316400	0.014100	1.000E+0000
3	Creeping	0.080600	0.635500	0.050000	1.000E+0000
2	Permeable				
1	Creeping	0.011300	0.130300	0.006500	1.000E+0000

Index	Pre overb. pressure POP [kPa]	Over cons. ratio OCR [-]	Vertical permeability [m/day]	Horizontal permeability [m/day]	Porosity [-]
7		1.86	7.760E-0004	3.104E-0003	0.800
6		2.08	7.730E-0004	7.730E-0004	0.600
5		1.86	1.370E-0003	1.370E-0003	0.700
4		1.37	7.730E-0004	7.730E-0004	0.600
3		1.63	2.000E-0003	8.000E-0003	0.900
2					
1		3.00	4.770E-0005	4.770E-0005	0.500

NON-UNIFORM LOADS

=====

Load no	Time [days]	Unit weight	
		dry [kN/m3]	wet [kN/m3]
1	0	-19.20	-19.20
2	0	19.20	19.20
3	0	19.20	19.20

4	25	20.00	20.00
5	25	20.00	20.00
6	39	-20.00	-20.00
7	39	-20.00	-20.00
8	39	18.00	18.00
9	39	18.00	18.00
10	44	18.00	18.00
11	44	18.00	18.00
12	44	-18.00	-18.00
13	117	20.00	20.00
14	131	-20.00	-20.00
15	131	18.00	18.00
16	192	18.00	18.00

Load number	Coordinates [m]				
1	- X -	4.00	4.50	39.50	40.00
1	- Y -	-0.50	-0.80	-0.80	-0.50
2	- X -	0.00	1.50	2.50	4.00
2	- Y -	-0.50	1.00	1.00	-0.50
3	- X -	40.00	41.50	42.50	44.00
3	- Y -	-0.50	1.00	1.00	-0.50
4	- X -	4.00	40.00		
4	- Y -	-0.50	-0.50		
5	- X -	2.70	41.30		
5	- Y -	0.80	0.80		
6	- X -	2.70	4.00	40.00	41.30
6	- Y -	0.80	-0.50	-0.50	0.80
7	- X -	4.00	4.50	39.50	40.00
7	- Y -	-0.50	-0.80	-0.80	-0.50
8	- X -	4.00	40.00		
8	- Y -	-0.50	-0.50		
9	- X -	2.70	41.30		
9	- Y -	0.80	0.80		
10	- X -	2.50	4.50	6.50	8.50
10	- Y -	1.00	2.40	2.40	0.80
11	- X -	35.50	37.50	39.50	41.50
11	- Y -	0.80	2.40	2.40	1.00
12	- X -	8.50	9.50	34.50	35.50
12	- Y -	0.80	0.00	0.00	0.80
13	- X -	6.62	37.38		
13	- Y -	2.30	2.30		
14	- X -	6.62	9.50	34.50	37.38
14	- Y -	2.30	0.00	0.00	2.30
15	- X -	6.62	37.38		
15	- Y -	2.30	2.30		
16	- X -	5.50	6.50	37.50	38.50

VERTICALS
=====

Vertical no.	X-coordinates of verticals [m]
1	22.00

Calculation cross section at Z = 0.00 m

Discretisation = 300

RESULTS OF THE SETTLEMENT CALCULATION
=====

RESULTS FOR VERTICAL : 1 - X position : 22.00 m
 =====
 - Z position : 0.00 m
 - Discretisation : 300 m

Depth [m]	Effective stress [kPa]	Hydraulic head [m]	Loading [kPa]	Strain [-]	Settlement [m]
-0.500	83.109	-2.000	68.394	-0.049	1.551
-0.513	83.233	-2.000	68.394	-0.049	1.551
-0.527	83.358	-2.000	68.394	-0.049	1.550
-0.540	83.482	-2.000	68.394	-0.049	1.549
-0.553	83.606	-2.000	68.394	-0.048	1.549
-0.566	83.730	-2.000	68.394	-0.048	1.548
-0.580	83.855	-2.000	68.393	-0.048	1.547
-0.593	83.979	-2.000	68.393	-0.047	1.547
-0.606	84.103	-2.000	68.393	-0.047	1.546
-0.619	84.228	-2.000	68.393	-0.046	1.545
-0.633	84.352	-2.000	68.393	-0.046	1.545
-0.646	84.476	-2.000	68.393	-0.045	1.544
-0.659	84.601	-2.000	68.393	-0.045	1.544
-0.673	84.725	-2.000	68.393	-0.045	1.543
-0.686	84.850	-2.000	68.393	-0.044	1.542
-0.699	84.974	-2.000	68.393	-0.044	1.542
-0.712	85.099	-2.000	68.393	-0.043	1.541
-0.726	85.223	-2.000	68.393	-0.043	1.541
-0.739	85.348	-2.000	68.393	-0.043	1.540
-0.752	85.472	-2.000	68.393	-0.042	1.540
-0.766	85.597	-2.000	68.393	-0.042	1.539
-0.779	85.721	-2.000	68.392	-0.041	1.538
-0.792	85.846	-2.000	68.392	-0.041	1.538
-0.805	85.610	-2.000	68.033	-0.040	1.537
-0.819	85.735	-2.000	68.032	-0.040	1.537
-0.832	85.859	-2.000	68.032	-0.040	1.536
-0.845	85.984	-2.000	68.032	-0.039	1.536

-0.858	86.109	-2.000	68.032	-0.039	1.535
-0.872	86.233	-2.000	68.032	-0.039	1.535
-0.885	86.358	-2.000	68.032	-0.038	1.534
-0.898	86.482	-2.000	68.032	-0.038	1.534
-0.912	86.607	-2.000	68.032	-0.037	1.533
-0.925	86.731	-2.000	68.032	-0.037	1.533
-0.938	86.856	-2.000	68.032	-0.037	1.532
-0.951	86.981	-2.000	68.032	-0.036	1.532
-0.965	87.105	-2.000	68.031	-0.036	1.531
-0.978	87.230	-2.000	68.031	-0.036	1.531
-0.991	87.355	-2.000	68.031	-0.035	1.530
-1.004	87.479	-2.000	68.031	-0.035	1.530
-1.018	87.604	-2.000	68.031	-0.035	1.529
-1.031	87.729	-2.000	68.031	-0.034	1.529
-1.044	87.853	-2.000	68.031	-0.034	1.528
-1.058	87.978	-2.000	68.031	-0.034	1.528
-1.071	88.103	-2.000	68.031	-0.033	1.528
-1.084	88.227	-2.000	68.031	-0.033	1.527
-1.097	88.352	-2.000	68.031	-0.033	1.527
-1.111	88.477	-2.000	68.030	-0.032	1.526
-1.124	88.602	-2.000	68.030	-0.032	1.526
-1.137	88.727	-2.000	68.030	-0.032	1.525
-1.151	88.852	-2.000	68.030	-0.032	1.525
-1.164	88.976	-2.000	68.030	-0.031	1.525
-1.177	89.101	-2.000	68.030	-0.031	1.524
-1.190	89.226	-2.000	68.030	-0.031	1.524
-1.204	89.351	-2.000	68.030	-0.030	1.523
-1.217	89.476	-2.000	68.030	-0.030	1.523
-1.230	89.600	-2.000	68.030	-0.030	1.523
-1.243	89.725	-2.000	68.030	-0.030	1.522
-1.257	89.850	-2.000	68.030	-0.030	1.522
-1.270	89.975	-2.000	68.030	-0.030	1.521
-2.500	99.799	-2.000	68.010	-0.259	1.521
-2.533	99.805	-1.999	68.010	-0.259	1.513
-2.565	99.810	-1.998	68.009	-0.259	1.504
-2.598	99.815	-1.996	68.008	-0.259	1.496
-2.631	99.820	-1.995	68.008	-0.259	1.488
-2.663	99.825	-1.994	68.007	-0.259	1.479
-2.696	99.830	-1.993	68.006	-0.259	1.471
-2.729	99.835	-1.991	68.005	-0.259	1.462
-2.761	99.840	-1.990	68.004	-0.259	1.454
-2.794	99.845	-1.989	68.004	-0.259	1.445
-2.826	99.850	-1.988	68.003	-0.259	1.437
-2.859	99.855	-1.986	68.002	-0.259	1.428
-2.892	99.860	-1.985	68.001	-0.259	1.420
-2.924	99.865	-1.984	68.000	-0.259	1.412
-2.957	99.870	-1.983	67.999	-0.259	1.403
-2.990	99.875	-1.981	67.998	-0.258	1.395
-3.022	99.880	-1.980	67.997	-0.258	1.386
-3.055	99.885	-1.979	67.997	-0.258	1.378
-3.088	99.890	-1.978	67.995	-0.258	1.369
-3.120	99.894	-1.977	67.994	-0.258	1.361
-3.153	99.899	-1.975	67.993	-0.258	1.353
-3.186	99.904	-1.974	67.992	-0.258	1.344
-3.218	99.909	-1.973	67.991	-0.258	1.336
-3.251	99.914	-1.972	67.990	-0.258	1.327
-3.284	99.918	-1.970	67.989	-0.258	1.319
-3.316	99.923	-1.969	67.987	-0.258	1.310
-3.349	99.928	-1.968	67.986	-0.257	1.302
-3.381	99.932	-1.967	67.985	-0.257	1.294
-3.414	99.937	-1.966	67.983	-0.256	1.285
-3.447	99.942	-1.964	67.982	-0.255	1.277
-3.479	99.946	-1.963	67.981	-0.254	1.269
-3.512	99.951	-1.962	67.979	-0.252	1.260

-3.545	99.955	-1.961	67.978	-0.248	1.252
-3.577	99.960	-1.959	67.976	-0.242	1.244
-3.610	99.964	-1.958	67.974	-0.230	1.236
-3.651	100.179	-1.954	67.972	-0.212	1.227
-3.693	100.393	-1.950	67.970	-0.194	1.219
-3.734	100.608	-1.946	67.968	-0.178	1.211
-3.775	100.823	-1.942	67.966	-0.164	1.204
-3.817	101.037	-1.938	67.964	-0.152	1.198
-3.858	101.252	-1.934	67.961	-0.142	1.192
-3.899	101.466	-1.930	67.959	-0.135	1.186
-3.940	101.680	-1.926	67.956	-0.129	1.180
-3.982	101.895	-1.923	67.954	-0.124	1.175
-4.023	102.109	-1.919	67.951	-0.121	1.170
-4.064	102.323	-1.915	67.949	-0.118	1.165
-4.106	102.537	-1.911	67.946	-0.117	1.160
-4.147	102.751	-1.907	67.943	-0.115	1.156
-4.188	102.965	-1.903	67.940	-0.115	1.151
-4.230	103.179	-1.899	67.938	-0.114	1.146
-4.271	103.393	-1.895	67.935	-0.113	1.141
-4.312	103.607	-1.891	67.932	-0.113	1.137
-4.354	103.821	-1.887	67.929	-0.113	1.132
-4.395	104.035	-1.883	67.926	-0.112	1.127
-4.436	104.248	-1.879	67.922	-0.112	1.123
-4.478	104.462	-1.875	67.919	-0.112	1.118
-4.519	104.676	-1.871	67.916	-0.112	1.114
-4.560	104.889	-1.867	67.912	-0.111	1.109
-4.601	105.103	-1.863	67.909	-0.111	1.104
-4.643	105.316	-1.859	67.905	-0.111	1.100
-4.684	105.529	-1.855	67.902	-0.111	1.095
-4.725	105.742	-1.851	67.898	-0.110	1.091
-4.767	105.956	-1.847	67.894	-0.110	1.086
-4.808	106.169	-1.843	67.890	-0.110	1.082
-4.849	106.382	-1.839	67.886	-0.110	1.077
-4.891	106.595	-1.835	67.882	-0.110	1.072
-4.932	106.807	-1.832	67.878	-0.109	1.068
-4.973	107.020	-1.828	67.873	-0.109	1.063
-5.015	107.233	-1.824	67.869	-0.109	1.059
-5.056	107.445	-1.820	67.865	-0.109	1.054
-5.097	107.658	-1.816	67.860	-0.108	1.050
-5.139	107.870	-1.812	67.855	-0.108	1.045
-5.180	108.083	-1.808	67.851	-0.108	1.041
-5.221	108.295	-1.804	67.846	-0.108	1.037
-5.262	108.507	-1.800	67.841	-0.108	1.032
-5.304	108.719	-1.796	67.836	-0.107	1.028
-5.345	108.931	-1.792	67.830	-0.107	1.023
-5.386	109.143	-1.788	67.825	-0.107	1.019
-5.428	109.355	-1.784	67.820	-0.107	1.014
-5.469	109.567	-1.780	67.814	-0.107	1.010
-5.510	109.778	-1.776	67.809	-0.106	1.006
-5.552	109.990	-1.773	67.803	-0.106	1.001
-5.593	110.201	-1.769	67.797	-0.106	0.997
-5.634	110.413	-1.765	67.792	-0.106	0.992
-5.676	110.624	-1.761	67.786	-0.107	0.988
-5.717	110.835	-1.757	67.780	-0.107	0.984
-5.758	111.046	-1.753	67.773	-0.108	0.979
-5.800	111.257	-1.749	67.767	-0.110	0.975
-5.841	111.468	-1.745	67.761	-0.113	0.970
-5.882	111.679	-1.741	67.754	-0.117	0.965
-5.923	111.890	-1.737	67.748	-0.123	0.960
-5.965	112.100	-1.733	67.741	-0.131	0.955
-6.006	112.311	-1.729	67.734	-0.142	0.950
-6.047	112.521	-1.725	67.727	-0.155	0.943
-6.089	112.732	-1.722	67.720	-0.170	0.937
-6.130	112.942	-1.718	67.713	-0.188	0.929

-6.170	112.942	-1.716	67.706	-0.206	0.921
-6.210	112.943	-1.715	67.699	-0.218	0.913
-6.251	112.943	-1.713	67.692	-0.224	0.904
-6.291	112.943	-1.712	67.684	-0.228	0.895
-6.331	112.944	-1.710	67.677	-0.230	0.886
-6.371	112.944	-1.709	67.669	-0.232	0.876
-6.411	112.944	-1.707	67.661	-0.232	0.867
-6.452	112.944	-1.706	67.653	-0.233	0.858
-6.492	112.944	-1.704	67.645	-0.233	0.848
-6.532	112.944	-1.703	67.637	-0.233	0.839
-6.572	112.943	-1.702	67.629	-0.234	0.829
-6.612	112.943	-1.700	67.621	-0.234	0.820
-6.653	112.942	-1.699	67.612	-0.234	0.811
-6.693	112.942	-1.697	67.604	-0.234	0.801
-6.733	112.941	-1.696	67.595	-0.234	0.792
-6.773	112.940	-1.694	67.586	-0.234	0.782
-6.813	112.939	-1.693	67.577	-0.234	0.773
-6.854	112.938	-1.691	67.568	-0.234	0.764
-6.894	112.936	-1.690	67.559	-0.234	0.754
-6.934	112.935	-1.689	67.550	-0.234	0.745
-6.974	112.934	-1.687	67.540	-0.234	0.736
-7.014	112.932	-1.686	67.531	-0.233	0.726
-7.055	112.930	-1.684	67.521	-0.233	0.717
-7.095	112.929	-1.683	67.511	-0.233	0.707
-7.135	112.927	-1.681	67.502	-0.233	0.698
-7.175	112.925	-1.680	67.491	-0.233	0.689
-7.216	112.922	-1.678	67.481	-0.233	0.679
-7.256	112.920	-1.677	67.471	-0.233	0.670
-7.296	112.918	-1.676	67.461	-0.233	0.660
-7.336	112.915	-1.674	67.450	-0.233	0.651
-7.376	112.913	-1.673	67.439	-0.233	0.642
-7.417	112.910	-1.671	67.429	-0.233	0.632
-7.457	112.907	-1.670	67.418	-0.233	0.623
-7.497	112.904	-1.668	67.407	-0.233	0.614
-7.537	112.901	-1.667	67.396	-0.233	0.604
-7.577	112.898	-1.666	67.384	-0.233	0.595
-7.618	112.895	-1.664	67.373	-0.233	0.585
-7.658	112.891	-1.663	67.361	-0.233	0.576
-7.698	112.888	-1.661	67.349	-0.233	0.567
-7.738	112.884	-1.660	67.338	-0.233	0.557
-7.778	112.881	-1.659	67.326	-0.232	0.548
-7.819	112.877	-1.657	67.314	-0.232	0.539
-7.859	112.873	-1.656	67.301	-0.231	0.529
-7.899	112.869	-1.654	67.289	-0.231	0.520
-7.939	112.864	-1.653	67.277	-0.229	0.511
-7.979	112.860	-1.651	67.264	-0.227	0.502
-8.020	112.855	-1.650	67.251	-0.224	0.493
-8.060	112.851	-1.649	67.238	-0.218	0.484
-8.100	112.846	-1.647	67.225	-0.208	0.475
-8.146	112.964	-1.645	67.210	-0.193	0.466
-8.192	113.082	-1.643	67.195	-0.178	0.457
-8.238	113.199	-1.640	67.179	-0.166	0.449
-8.284	113.317	-1.638	67.164	-0.157	0.442
-8.330	113.434	-1.635	67.148	-0.150	0.435
-8.376	113.551	-1.633	67.132	-0.145	0.428
-8.422	113.668	-1.631	67.116	-0.141	0.422
-8.468	113.784	-1.628	67.100	-0.139	0.415
-8.514	113.901	-1.626	67.083	-0.137	0.409
-8.560	114.017	-1.624	67.066	-0.136	0.403
-8.606	114.133	-1.621	67.050	-0.136	0.396
-8.652	114.249	-1.619	67.033	-0.135	0.390
-8.698	114.365	-1.617	67.015	-0.135	0.384
-8.744	114.481	-1.614	66.998	-0.134	0.378
-8.790	114.597	-1.612	66.980	-0.134	0.371

-8.836	114.712	-1.610	66.963	-0.134	0.365
-8.882	114.827	-1.608	66.945	-0.134	0.359
-8.928	114.942	-1.605	66.927	-0.134	0.353
-8.974	115.057	-1.603	66.908	-0.133	0.347
-9.020	115.172	-1.601	66.890	-0.133	0.341
-9.066	115.286	-1.598	66.871	-0.133	0.335
-9.112	115.401	-1.596	66.852	-0.133	0.328
-9.158	115.515	-1.594	66.833	-0.132	0.322
-9.204	115.629	-1.591	66.814	-0.132	0.316
-9.250	115.743	-1.589	66.795	-0.131	0.310
-9.296	115.857	-1.587	66.775	-0.130	0.304
-9.342	115.970	-1.584	66.756	-0.128	0.298
-9.388	116.084	-1.582	66.736	-0.126	0.292
-9.434	116.197	-1.580	66.716	-0.122	0.287
-9.480	116.310	-1.577	66.695	-0.114	0.281
-9.529	116.584	-1.573	66.673	-0.103	0.276
-9.578	116.858	-1.569	66.651	-0.093	0.271
-9.627	117.132	-1.565	66.629	-0.085	0.267
-9.676	117.405	-1.560	66.607	-0.079	0.263
-9.725	117.678	-1.556	66.584	-0.075	0.259
-9.775	117.951	-1.552	66.561	-0.073	0.255
-9.824	118.224	-1.547	66.538	-0.074	0.252
-9.873	118.496	-1.543	66.515	-0.078	0.248
-9.922	118.769	-1.539	66.492	-0.083	0.244
-9.971	119.041	-1.534	66.468	-0.091	0.240
-10.020	119.313	-1.530	66.444	-0.101	0.235
-10.068	119.429	-1.528	66.421	-0.111	0.230
-10.116	119.544	-1.525	66.397	-0.118	0.225
-10.164	119.660	-1.523	66.373	-0.121	0.219
-10.212	119.775	-1.520	66.349	-0.123	0.213
-10.260	119.890	-1.518	66.324	-0.124	0.207
-10.308	120.005	-1.516	66.300	-0.124	0.201
-10.356	120.120	-1.513	66.275	-0.123	0.195
-10.404	120.235	-1.511	66.250	-0.120	0.189
-10.452	120.350	-1.509	66.226	-0.116	0.184
-10.500	120.464	-1.506	66.200	-0.108	0.178
-10.554	120.764	-1.502	66.172	-0.096	0.173
-10.609	121.063	-1.497	66.143	-0.085	0.168
-10.663	121.362	-1.492	66.113	-0.074	0.163
-10.717	121.661	-1.487	66.084	-0.066	0.160
-10.772	121.960	-1.483	66.054	-0.059	0.156
-10.826	122.258	-1.478	66.024	-0.054	0.153
-10.880	122.556	-1.473	65.994	-0.050	0.150
-10.935	122.854	-1.469	65.963	-0.048	0.148
-10.989	123.152	-1.464	65.933	-0.046	0.145
-11.043	123.449	-1.459	65.902	-0.044	0.143
-11.098	123.746	-1.455	65.871	-0.044	0.140
-11.152	124.043	-1.450	65.839	-0.043	0.138
-11.207	124.340	-1.445	65.808	-0.043	0.136
-11.261	124.637	-1.440	65.776	-0.043	0.133
-11.315	124.933	-1.436	65.744	-0.044	0.131
-11.370	125.229	-1.431	65.711	-0.045	0.129
-11.424	125.525	-1.426	65.679	-0.046	0.126
-11.478	125.821	-1.422	65.646	-0.049	0.124
-11.533	126.116	-1.417	65.613	-0.052	0.121
-11.587	126.411	-1.412	65.580	-0.056	0.118
-11.641	126.706	-1.408	65.546	-0.060	0.115
-11.696	127.001	-1.403	65.512	-0.066	0.111
-11.750	127.296	-1.398	65.478	-0.073	0.108
-11.800	127.531	-1.394	65.447	-0.079	0.104
-11.850	127.767	-1.390	65.415	-0.083	0.100
-11.900	128.003	-1.385	65.384	-0.085	0.096
-11.950	128.238	-1.381	65.352	-0.087	0.091
-12.000	128.473	-1.377	65.320	-0.087	0.087

-12.050	128.708	-1.372	65.287	-0.088	0.082
-12.100	128.943	-1.368	65.255	-0.088	0.078
-12.150	129.178	-1.364	65.222	-0.088	0.074
-12.200	129.413	-1.360	65.189	-0.088	0.069
-12.250	129.647	-1.355	65.156	-0.089	0.065
-12.300	129.881	-1.351	65.123	-0.089	0.060
-12.350	130.116	-1.347	65.089	-0.090	0.056
-12.400	130.349	-1.342	65.056	-0.092	0.051
-12.450	130.583	-1.338	65.022	-0.094	0.047
-12.500	130.817	-1.334	64.988	-0.097	0.042
-12.550	130.850	-1.330	64.954	-0.101	0.037
-12.600	130.884	-1.325	64.920	-0.104	0.032
-12.650	130.917	-1.321	64.885	-0.105	0.027
-12.700	130.951	-1.317	64.851	-0.106	0.021
-12.750	130.984	-1.313	64.816	-0.107	0.016
-12.800	131.017	-1.308	64.781	-0.107	0.011
-12.850	131.049	-1.304	64.746	-0.107	0.005
-12.900	131.082	-1.300	64.710	-0.107	0.000

Settlements :
 =====

Vertical number	X co-ordinate [m]	Surface level [m]	Settlement [m]
1	22.00	-0.50	1.551