

Effecten aardbevingen op kritische infrastructuur

Verwekingstudie



Effecten aardbevingen op kritische infrastructuur

Verwekingstudie

dr.ir. P. Meijers





1208624-007

Titel
Effecten aardbevingen op kritische infrastructuur

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Ministerie van Economische Zaken	1208624-007	1208624-007-GEO-0001- gbh	49

Trefwoorden
Aardbeving, verweking, cyclische testen

Samenvatting
Voor het bepalen van de gevoeligheid voor verweking is op zand uit Groningen een uitgebreid laboratoriumonderzoek uitgevoerd. Dit onderzoek heeft bestaan uit cyclische triaxiaalproeven op zowel intacte als opgebouwde zandmonsters. Ter vergelijking zijn ook twee cyclische DSS-testen uitgevoerd. De resultaten zijn geanalyseerd en de gevoeligheid voor verweking van het zand in Groningen is vergeleken met de verwekingsgevoeligheid volgens methode EERI MNO-12. Uit deze vergelijking volgde dat de resultaten vergelijkbaar zijn en de methode EERI MNO-12 hier gebruikt kan worden.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
concept	dec. 2013	dr.ir. P. Meijers		prof. ir. A.F. van Tol dr. ir. M. Korff		ing. A.T. Aantjes	
01	Jan. 2014	dr.ir. P. Meijers		prof. ir. A.F. van Tol dr. ir. M. Korff	 	ing. A.T. Aantjes	

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Doel en resultaat	1
1.3 Aanpak en uitgevoerde activiteiten	1
2 Bestaande methode	3
2.1 Beschrijving methode EERI MNO-12	3
2.2 Toepassing bestaande methodiek	5
2.3 Geldigheid methodiek voor geïnduceerde bevingen	5
2.3.1 Bepaling grootte CRR	5
2.3.2 Reductie factor r_d	7
2.3.3 Bepaling MSF	9
2.3.4 Huidige ervaringen in Groningen	11
3 Grondonderzoek	13
3.1 Uitvoering veldonderzoek	13
3.2 Uitvoering laboratoriumonderzoek	14
3.2.1 Voorbehandeling monsters	14
3.2.2 Classificatieproeven	14
3.2.3 Cyclische triaxiaaltesten	15
3.2.4 Cyclische DSS testen	16
4 Resultaten veldonderzoek	19
4.1 Sonderingen	19
4.2 Elektrische dichtheidsmeting	20
4.2.1 Uitvoering meting	20
4.2.2 Dichtheid volgens elektrische dichtheidsmeting	23
4.3 VSPT meting	25
4.4 Cone pressiometing	25
5 Resultaten laboratoriumonderzoek	27
5.1 Doel laboratoriumonderzoek	27
5.2 Resultaat classificatieproeven	27
5.3 Discussie dichtheid monsters	29
5.4 Bewerking resultaten cyclische proeven	33
5.5 Aantal cycli tot verweking	34
5.6 Verwekingsgevoeligheid volgens laboratoriumproeven	37
5.7 Verdichting door wisselende belasting	38
5.8 Verdichting door wisselende belasting	40
5.9 Stijfheid zand	40
5.10 Statische proeven	42
6 Toepassing proefresultaten voor geïnduceerde bevingen Groningen	43
6.1 Verband PGA en CSR	43
6.2 Correcties proefresultaten	44
6.2.1 Correctie triaxiaal versus DSS	44
6.2.2 Correctie monsterverstoring	44

6.2.3	Correctie dichtheid	45
6.3	Vergelijking met EERI methode	45
6.4	MSF factor	47
7	Samenvatting en conclusies	49
7.1	Samenvatting	49
7.2	Conclusie	49
7.3	Aanbevelingen	49
	Bijlage(n)	
	Referenties	1

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De aardgaswinning in Groningen leidt tot spanningsveranderingen in de bodem die tot geïnduceerde aardbevingen kunnen leiden. Deze aardbevingen veroorzaken trillingen die schade kunnen aanrichten aan constructies, gebouwen en inventaris, alsmede blijvende grondvervormingen tot gevolg hebben.

Het Ministerie van Economische zaken heeft Deltares gevraagd de risico's van geïnduceerde aardbevingen in het Groningenveld voor de kritische onderdelen van de infrastructuur (waterkeringen, het gastransportnetwerk en het hoogspanningsnetwerk) in beeld te brengen. Hiervoor is in de eerste helft van 2013 een Quick Scan uitgevoerd.

Een van de aandachtspunten die uit de QuickScan naar voren kwam was de bepaling van het risico van verweking tijdens een aardbeving. De horizontale versnellingen in de grond tijdens een aardbeving leiden tot extra schuifspanning. Vooral losgepakt zand zal hierdoor willen verdichten. Voor verdichting moet het water tussen de korrels eerst uitstromen, maar hier is tijdens de aardbeving geen tijd voor, zodat wateroverspanningen optreden. Deze leiden tot tijdelijke vermindering van korrelspanningen en daarmee tot vermindering van sterkte en stijfheid van het zand. Als de trilling sterk is kan het zand zijn sterkte en stijfheid zelfs compleet verliezen (dit wordt verweking genoemd). Dit heeft grote gevolgen voor aanwezige gebouwen en waterkeringen.

Bij de tot op heden opgetreden aardbevingen in Groningen zijn er geen meldingen van verweking. Bij een sterkere aardbeving neemt de kans op verweking volgens de huidige inzichten sterk toe. Bij de aardbeving in 1992 in Roermond zijn verschijnselen gerelateerd aan het optreden van verweking wel geconstateerd. Tijdens de Quick-Scan is de methode van EERI MNO-12 [Idriss Boulanger 2008] gebruikt om de gevoeligheid voor verweking te beoordelen. Deze methode wordt internationaal veel gebruikt. Gevonden is dat bij een piekversnelling van ongeveer 0,15g er in losgepakt zand een niet verwaarloosbaar risico op verweking ontstaat. De methode van EERI MNO-12 is ontwikkeld voor tektonische aardbevingen. Het is daarom de vraag of deze methode zonder meer kan worden gebruikt voor de geïnduceerde aardbevingen zoals deze in Groningen optreden.

1.2 Doel en resultaat

Het doel van de verwekingsstudie is te bepalen wat de weerstand tegen verweking is van het in de ondergrond aanwezige zand bij de in Groningen optredende geïnduceerde aardbevingen. Dit moet leiden tot een validatie en zonodig aanscherping van de bestaande methode voor het bepalen van de verwekingsgevoeligheid bij aardbevingen.

1.3 Aanpak en uitgevoerde activiteiten

Allereerst is op drie plaatsen in Groningen een uitgebreid veldonderzoek uitgevoerd, bestaande uit sonderingen, boringen, bepaling van de schuifgolfsnelheid van de ondergrond en elektrische dichtheidsmetingen. Op materiaal van de boringen zijn vervolgens in het laboratorium cyclische testen uitgevoerd om de weerstand tegen verweking te bepalen.

De resultaten van de proeven zijn geanalyseerd en vergeleken met de verwekingsgevoeligheid volgens de methode EERI MNO-12. Op basis daarvan zijn aanbevelingen

geformuleerd om de methode voor het bepalen van de verwekingsgevoeligheid toe te passen voor geïnduceerde aardbevingen.

2 Bestaande methode

2.1 Beschrijving methode EERI MNO-12

De tijdens de Quick Scan gebruikte methode is beschreven in EERI monografie MNO-12 [Idriss Boulanger 2008]. Deze methode wordt verder ook als basis gebruikt. Voor een goed begrip van de analyse en interpretatie van de uitgevoerde cyclische testen op zand uit Groningen wordt deze methode hier kort beschreven. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar [Idriss Boulanger 2008].

De methodiek bestaat uit het bepalen van de veiligheidsfactor tegen verweking. Deze factor is als volgt gedefinieerd:

$$FS = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} * MSF * K_{\sigma} * K_{\alpha}$$

met:

- FS veiligheidsfactor tegen verweking.
- $CRR_{7.5}$ Cyclic Resistance Ratio bij een aardbeving met magnitude $M_w = 7,5$.
- CSR Cyclic Stress Ratio.
- MSF Magnitude Scaling Factor.
- K_{σ} correctiefactor voor de isotrope spanningstoestand.
- K_{α} correctiefactor voor statische schuifspanning.

De vereiste veiligheidsfactor tegen verweking dient in de nationale annex bij de Eurocode te worden vastgesteld. De aanbevolen waarde is 1,25.

De grootte van CSR wordt bepaald uit een eenvoudige beschouwing van het krachterevenwicht bij versnelling van een kolom grond. Uitgangspunt daarbij is de situatie van een horizontaal maaiveld en een schuifgolf die van onderen naar boven loopt.

De resulterende formule is:

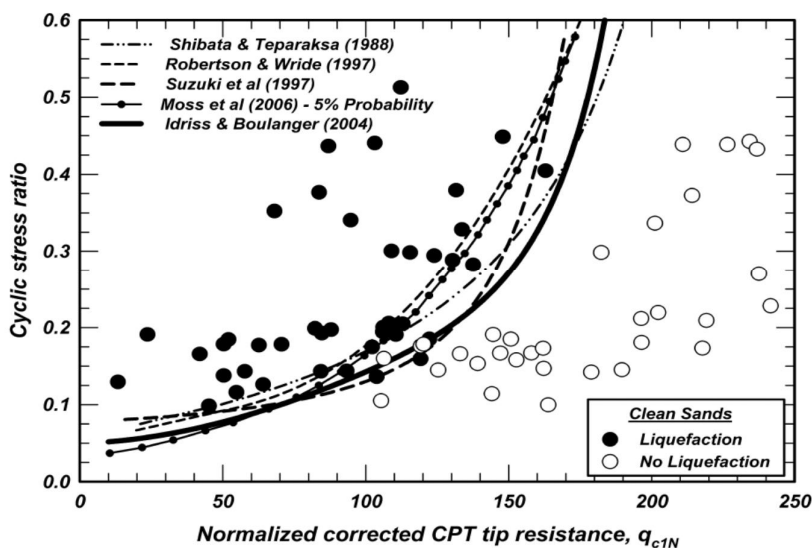
$$CSR = 0,65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d$$

Hierin is:

- 0,65 een factor die de verhouding tussen een representatieve amplitude en de maximale versnellingsamplitude weergeeft.
- r_d een diepte reductie factor.
- a_{\max} piek grond versnelling.
- σ_{v0} totaal verticale spanning.
- σ'_{v0} effectieve verticale spanning.
- g versnelling van de zwaartekracht.

De grootte van $CRR_{7.5}$ is een empirische grootheid. Uit een ervaringsdatabase met aardbevingen is de combinatie van conusweerstand, CSR en het wel of niet verweken bepaald. Door deze situaties in een grafiek weer te geven is het mogelijk om de grens tussen

wel en geen verweking als functie van de (genormaliseerde) conusweerstand te bepalen. Deze grens geeft aan wanneer er wel of geen verweking wordt verwacht, en is dus een maat voor de weerstand tegen verweking. Figuur 2.1 geeft dit weer. Voor de normalisering van de conusweerstand wordt verwezen naar [Idriss Boulanger 2008].



Figuur 2.1 Grafiek voor bepaling CRR7,5

De grootte van de Magnitude Scaling Factor wordt bepaald uit de momentmagnitude (M_w) van de beschouwde aardbeving. In feite wordt niet zozeer de zwaarte van de aardbeving, maar de lengte van het aardbevingssignaal (het aantal wisselingen) hiermee in rekening gebracht. In het algemeen zal een zwaardere aardbeving ook een langer aardbevingssignaal genereren, waarmee een relatie met de magnitude voor de hand ligt. In paragraaf 2.3.3 wordt de magnitude Scaling Factor verder besproken.

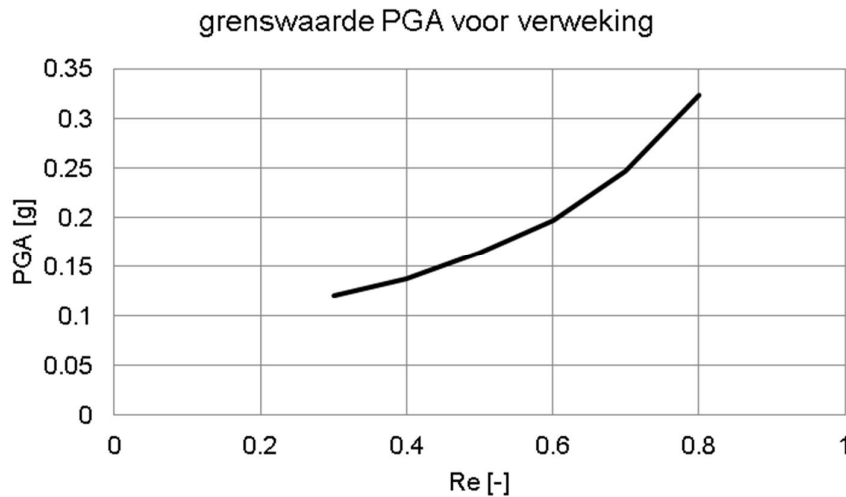
De factor r_d brengt in rekening dat de relatieve schuifspanningsamplitude verloopt met de diepte. De factor is 1 aan maaiveld en neemt in het algemeen af met de diepte. In EERI MNO-12 wordt een uitdrukking gegeven voor de factor r_d als functie van de magnitude en van de diepte. In de daar gegeven uitdrukkingen zijn de grondopbouw, de piekversnelling en de frequentie inhoud van de aardbeving geen parameters. In paragraaf 2.3.2 wordt deze factor verder besproken.

De factor K_σ brengt in rekening dat bij hogere spanningsniveaus, en dezelfde relatieve schuifspanningsamplitude CSR, de verwekingsgevoeligheid toeneemt. De referentiespanning is 100 kPa. Voor de grootte van K_σ wordt naar EERI MNO-12 verwezen.

De factor K_α brengt in rekening dat bij taluds de gevoeligheid tegen verweking afwijkt van die bij situaties met een horizontaal maaiveld. In dit rapport wordt verder uitgegaan van een horizontaal maaiveld zodat deze factor hier niet verder wordt besproken. Meer informatie kan worden gevonden in de gespecialiseerde literatuur.

2.2 Toepassing bestaande methodiek

De methodiek volgens EERI MNO-12 is tijdens de Quick Scan gebruikt om te bepalen bij welke combinatie van dichtheid en piekversnelling er een begin van verweking is. Het resultaat is in Figuur 2.2 weergegeven. Relatief losgepakt zand kan volgens deze methodiek al bij een piekversnelling van ongeveer 0,15g verweken terwijl vastgepakt zand pas bij een piekversnelling van 0,35g verweekt.



Figuur 2.2 Grenswaarden PGA bij verschillende relatieve dichtheden (Re) voor begin verweking

2.3 Geldigheid methodiek voor geïnduceerde bevingen

In deze paragraaf wordt ingegaan op de geldigheid van de gebruikte methode voor geïnduceerde aardbevingen. Er wordt achtereenvolgens aandacht besteed aan de grootte van de CRR, de r_d factor en de Magnitude Scaling Factor.

2.3.1 Bepaling grootte CRR

Het belangrijkste onderdeel van de gebruikte methode is de bepaling van de CRR-waarde. Dit is de schuifspanningsamplitude waarbij het zand net in verweking gaat.

De grafiek voor $CRR_{7,5}$ is gebaseerd op empirische gegevens/waarnemingen tijdens aardbevingen. Van een groot aantal gevallen is de conusweerstand, de CSR en of er wel of geen verweking is waargenomen, verzameld. In Tabel 2.1 is een samenvatting gegeven van de betreffende database. Naast de naam van de aardbeving wordt de momentmagnitude, de PGA en het aantal cases per aardbeving gegeven. Omdat er bij één aardbeving op meerdere plaatsen ervaringen zijn met het wel of niet verweken, kunnen er per aardbeving meerdere ervaringen en dus ook meerdere waarden voor de maximumversnelling aan maaiveld (PGA: Peak Ground Acceleration) zijn.

Aardbeving	M	PGA [g]	Aantal cases
Tohnankai earthquake - Dec 7	8,1	0,2	3
Fukui earthquake - June 28	7,3	0,35 – 0,4	2
Niigata earthquake	7,6	0,09 – 0,18	12
1968 M=7.5 earthquake - April 1	7,5	0,24	1
Tokachi-Oki earthquake	8,3	0,2 – 0,23	5
San Fernando earthquake	6,6	0,45	2
Haicheng earthquake	7,0	0,2 – 0,3	4
Guatemala earthquake	7,5	0,135	3
Tangshan earthquake	7,6	0,13 – 0,50	7
Argentina earthquake	7,4	0,2	5
Miyagiken-Oki earthquake	6,5	0,10 – 0,14	14
Miyagiken-Oki earthquake	7,7	0,2 – 0,32	20
Imperial Valley earthquake	6,53	0,13 – 0,78	9
Mid-Chiba earthquake	6,0	0,095	2
WestMorland earthquake	5,9	0,09 – 0,32	7
Urakawa-Oki earthquake	6,9	0,168	1
Nihonkai-Chubu earthquake	6,8	0,11 – 0,15	3
Nihonkai-Chubu earthquake	7,7	0,116 – 0,28	29
1984 M=6.9 earthquake - Aug 7	6,9	0,268	1
1987 M=6.2 and M=6.5 Superstition Hills earthquakes	6,22 & 6,54	0,09 – 0,206	12
Loma Prieta earthquake	6,9	0,14 – 0,39	25
Luzon earthquake	7,7	0,25	2
Kushiro-Oki earthquake	7,6	0,4	3
Northridge earthquake	6,7	0,43 – 0,84	4
Hyogoken-Nambu (Kobe) earthquake	6,9	0,34 – 0,6	54

Tabel 2.1 Overzicht verweking opgetreden bij verschillende aardbevingen

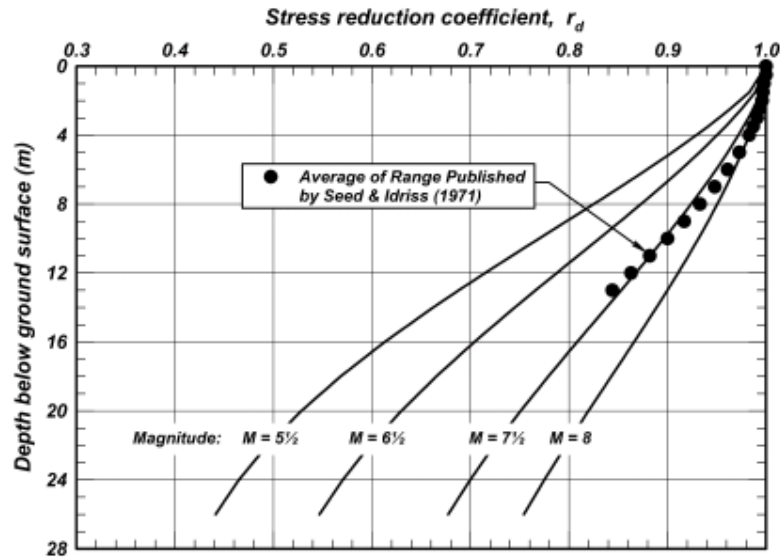
Inspectie van de achterliggende database leert dat:

- Er gegevens zijn van 25 aardbevingen, per aardbeving zijn er wel meer situaties meegenomen; in totaal zijn er 230 cases.
- Er sprake is van uitsluitend tektonische aardbevingen.
- De magnitude hoog is, gemiddeld 7,1; de minimale waarde is 5,9.
- De piekversnelling varieert tussen 0,09g en 0,84g.

Qua piekversnelling komt de gehele range van verwachte PGA's bij de Groningse geïnduceerde bevingen voor in de database. De magnitude ligt boven, en meestal fors boven, de verwachte magnitude in Groningen. De diepte van de aardbeving wordt in de database niet gegeven, maar is naar verwachting groot in vergelijking tot geïnduceerde bevingen. Het aantal wisselingen is daarom naar verwachting ook groot. Gebruik van de methode gebaseerd op deze database voor de situatie van geïnduceerde aardbevingen introduceert daarmee enige onzekerheid, doch op dit moment is er geen specifiekere methode beschikbaar.

2.3.2 Reductie factor r_d

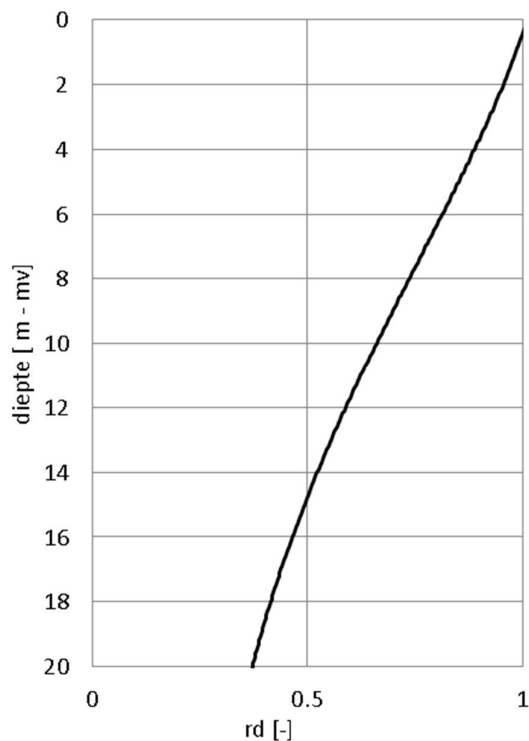
In de methode wordt gewerkt met een r_d factor. Figuur 2.3 geeft de grootte van deze parameter als functie van de diepte en de magnitude.



Figuur 2.3 r_d -factor

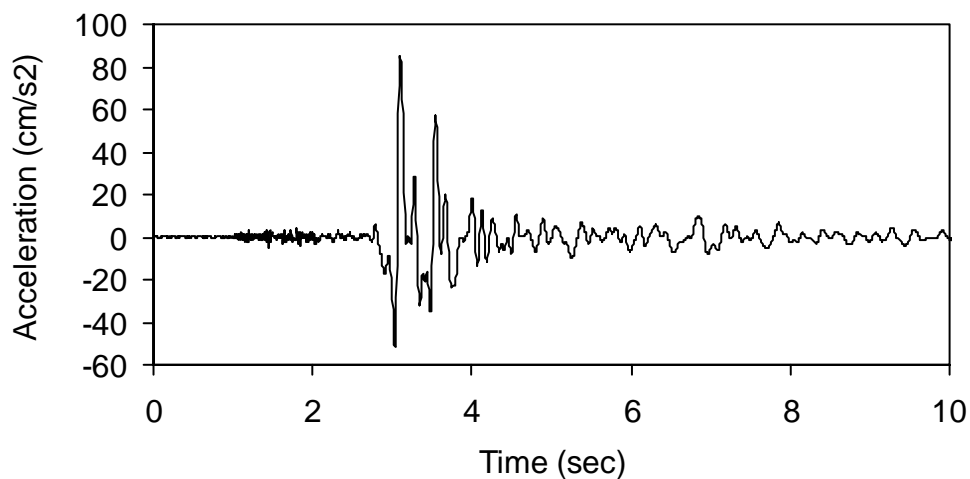
Deze figuur suggereert dat de grootte van deze parameter nauwkeurig bekend is. In werkelijkheid is er sprake van een bandbreedte en hangt de waarde af van het specifieke aardbevingsignaal en de lokale grondopbouw.

Voor een aardbeving met moment magnitude $M_w = 3.5$ is het verloop van r_d met de diepte volgens de formules van EERI MNO-12 in Figuur 2.4 gegeven.



Figuur 2.4 r_d factor voor $M = 3,5$; volgens methode EERI MNO-12

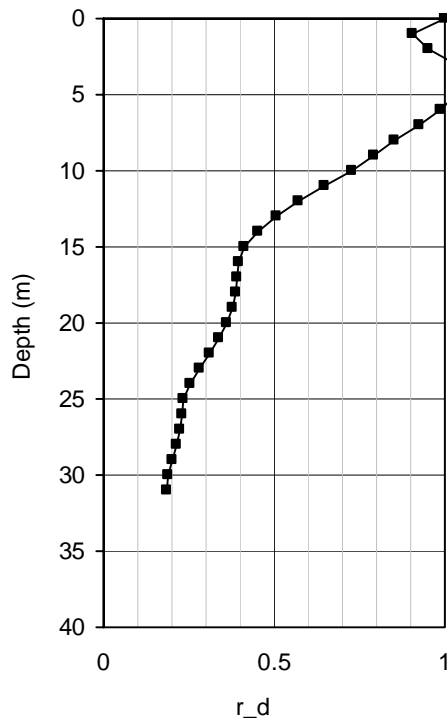
Om een idee te krijgen of de afname van r_d met de diepte volgens deze formules realistisch is voor geïnduceerde bevingen zijn met het programma EERA [Bardet et al 2000] een aantal responsie berekeningen gemaakt. Als invoer voor de aardbeving is het aan het oppervlak gemeten signaal in Middelstum gebruikt, zie Figuur 2.5.



Figuur 2.5 Invoer signaal (N.B. t.b.v. de berekening is het begin deel met versnelling nul weggelaten)

Dit signaal wordt opgelegd aan maaiveld. Als piekversnelling is $PGA = 0,2 \text{ g}$ gebruikt. Uit de berekening volgt het verloop van de maximale schuifrekamplitude met de diepte. Uit deze waarde is vervolgens het verloop van r_d met de diepte bepaald. Hiervoor is de volgende uitdrukking gebruikt:

$$r_d = (\Delta\tau/\sigma') / (\Delta\tau/\sigma')_{z=0}$$



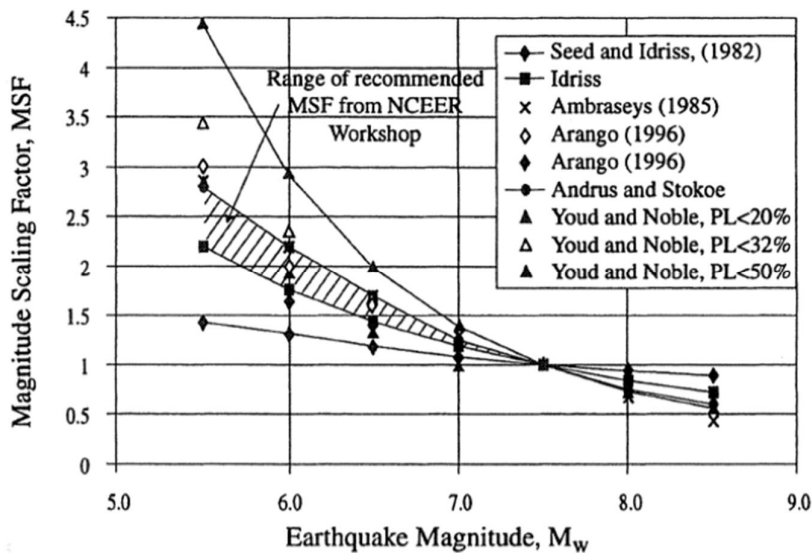
Figuur 2.6 Resultaat berekening r_d met diepte

Figuur 2.6 geeft het verloop van r_d met de diepte voor het beschouwde grondprofiel. Hieruit blijkt dat er in de bovenste 6 m geen reductie optreedt van de relatieve schuifspanning (CSR). Op 10 m diepte is de waarde van r_d ongeveer 0,7. Deze waarden liggen hoger dan die volgens EERI MNO-12.

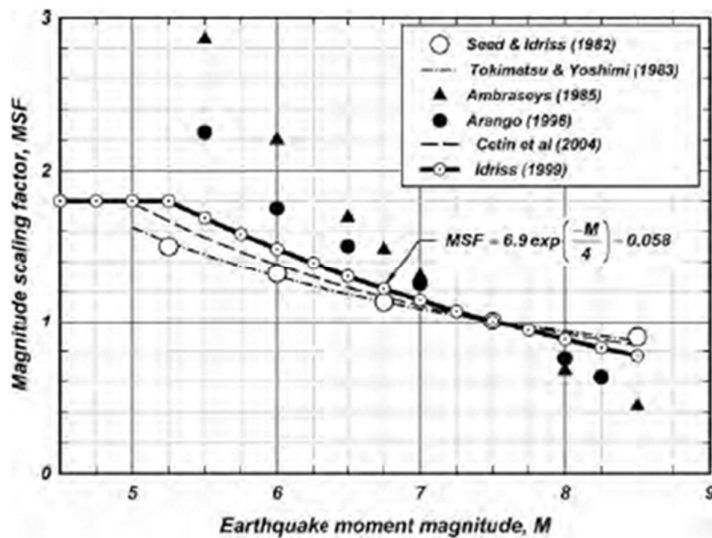
Op basis van deze beperkte analyse lijkt er geen reden te zijn om de r_d -factor sterk naar beneden aan te passen.

2.3.3 Bepaling MSF

In de methodiek zit een MSF factor (Magnitude Scaling Factor). Deze is een functie van de (moment) magnitude. Indirect wordt hiermee de duur van de aardbeving en dus het aantal wisselingen, in rekening gebracht. Bij een aardbeving met moment magnitude $M_w = 7,5$ is $MSF = 1$, de grootte neemt toe bij afnemende magnitude. Een hogere waarde voor MSF betekent dus een hogere veiligheid tegen verweken. Voor de grootte van MSF bij lagere magnituden is er een opvallend verschil in de waarden volgens de NCEER workshops [Youd et al, 2001] en die volgens EERI MNO-12 [Idriss, Boulanger 2008]. Figuur 2.7 en Figuur 2.8 tonen de grootte van MSF als functie van de magnitude.



Figuur 2.7 MSF volgen NCEER workshop 1996/1998 [Youd et al 2001]



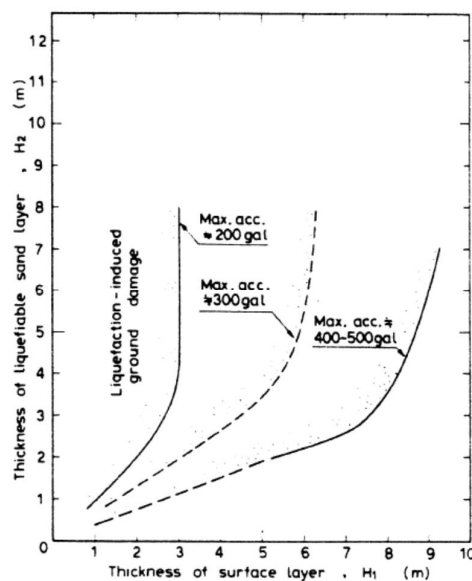
Figuur 2.8 MSF volgen EERI monograph MNO-12 [Idriss, Boulanger 2008]

De grafiek uit de NCEER workshop toont geen waarden voor magnituden lager dan $M_w = 5,5$. Toepassing van deze grafiek voor een magnitude van bijvoorbeeld $M_w = 4$ vereist dus een eigen interpretatie van de gebruiker. Meestal zal dat neerkomen op extrapolatie. In de grafiek van EERI MNO-12 wordt de waarde van MSF begrensd op $MSF = 1,8$. Hiervoor wordt als motivatie gegeven dat een aardbeving, hoe klein de magnitude ook mag zijn, minimaal 1 piek bevat. Gebruikmakend van een empirische relatie tussen CSR en het aantal cycli tot verweking komt EERI MNO-12 vervolgens tot de conclusie dat de maximale waarde 1,8 moet zijn. Dit is echter een theoretische beschouwing, waarvoor geen empirisch bewijs wordt gegeven. De redenering is echter plausibel, en daarom tijdens de Quick Scan overgenomen.

2.3.4 Huidige ervaringen in Groningen

Tot op heden zijn er geen meldingen bekend van zichtbare tekenen van verweking. De piekversnellingen zijn tot nu toe ook beperkt (tot ongeveer 0,1g). Volgens de gebruikte methodiek is er bij los zand en een relatief hoge PGA wel een risico van verweking vanaf waarden iets hoger dan tot nu toe gemeten (vanaf ca. 0,15g).

De grondopbouw in Groningen bestaat vaak uit een toplaag van enige meters klei en veen. In de literatuur (o.a. [Ishihara 1985]) wordt gegeven welke dikte van de niet verweekte toplaag aanwezig moet zijn om geen zichtbare tekenen van verweking te hebben, zie Figuur 2.9. Volgens deze figuur is een 3 m dikke toplaag van klei en/of veen al voldoende om bij een $PGA = 0,2g$ geen schade door verweking te hebben.



Figuur 2.9 Benodigde dikte niet verweekte toplaag voor breuk door verweking (uit [Ishihara 1985]);

N.B. 1 gal = 0,01 m/s²

Dit betekent dat het ontbreken van meldingen van verweking niet bewijst dat er geen verweking is opgetreden. Het is mogelijk dat er in het verleden bij geïnduceerde bevingen wel verweking is opgetreden zonder dat dit aan maaiveld zichtbaar was, en dus ook zonder dat daarbij schade is opgetreden.

Conclusie

Op basis van de voorgaande beschouwingen is er nog geen onderbouwing om voor de grootte van MSF een andere waarde dan die volgens EERI MNO-12 te kiezen. De waarde van r_d lijkt volgens de uitgevoerde berekening minder sterk met de diepte af te nemen dan volgens EERI MNO-12. Dit zou betekenen dat de methode EERI MNO-12 de r_d -factor onderschat, en daarmee de veiligheid tegen verweking overschat. Ook op basis van de huidige ervaringen kan de methodiek niet als te conservatief voor geïnduceerde bevingen worden beschouwd. Dat de gebruikte methodiek de verwekingsgevoeligheid onderschat lijkt op dit moment niet erg waarschijnlijk, maar is toch niet met volledige zekerheid uit te sluiten. Er blijft wel staan dat de methode gebruikt wordt buiten het geldigheidsgebied waarvoor deze is opgesteld. Daarom is een vervolgonderzoek opgezet met veld- en laboratoriumonderzoek om de in dit hoofdstuk gepresenteerde methode te valideren voor typisch Groningse zanden en aardbevingen.

3 Grondonderzoek

3.1 Uitvoering veldonderzoek

Op drie plaatsen in Groningen is een boring gemaakt om materiaal voor cyclische triaxiaalproeven te verkrijgen. Gezocht is naar materiaal van de volgende afzettingen:

- Peelo.
- Boxtel.
- Wadzand.

Hiervoor zijn de volgende plaatsen geselecteerd:

- Eemskanaal Zuidzijde, tegenover Woltersum.
- Kruispunt Zijldijksterweg en Voorwerkweg (Wadzandlocatie noord Groningen).
- Zuidbroek, westoever AG Wildervanckkanaal.

nummer	plaats	CPT	CPTS	El. Dichtheidsmeting	Boring	CPM
1	Eemskanaal	DKMP1	DKMS1	EDM1	B1	--
2	Zijldijksterweg	DKMP2	DKMS2	EDM2	B2	--
3	Wildervanckkanaal	DKMP3	DKMS3	EDM3	B3	CPM3

Tabel 3.1 Overzicht grondonderzoek

De resultaten van het grondonderzoek zijn vastgelegd in Fugro rapportage met referentie 1013-0214-000.R02/FAO/ASG en datum 1 oktober 2013.

De sonderingen (CPT) zijn gebruikt allereerst gebruikt om de diepten waarop de monsters gestoken moeten worden te bepalen. Daarnaast zijn de sonderingen gebruikt voor het schatten van de dichtheid van het zand.

De seismische sonderingen (CPTS) zijn gebruikt om de dynamische grondstijfheid ter plaatse van de onderzoekspunten te bepalen. Deze informatie is nodig voor het uitvoeren van responsieberekeningen.

De Elektrische dichtheidsmetingen zijn gebruikt voor het bepalen van de dichtheid van het zand in-situ.

De boringen zijn gebruikt voor het nemen van grondmonsters ten behoeve van het laboratoriumonderzoek.

De Cone Pressio meting (CPM) was bedoeld voor het bepalen van de horizontale spanning in de grond. Hiermee kan de schatting van de relatieve dichtheid uit de conusweerstand worden verbeterd.

De resultaten van het onderzoek bij het Wildervanckkanaal, en met name de boring, weken sterk af van hetgeen verwacht werd op basis van oud onderzoek in de directe omgeving. Daarop is onderzocht of op die plaats in het verleden iets bijzonders is gebeurd. Daarbij bleek dat op deze plaats in oktober 1998 de dijk is doorgestoken zodat de Tussenklappenpolder gebruikt kon worden als noodberging voor de overvloedige regenval in die maand. Het grondonderzoek heeft dus plaatsgevonden in een oud stroomgat, en is dus niet representatief voor de grondslag ter plaatse. Voor het verdere onderzoek is dit punt daarom buiten beschouwing gelaten.

3.2 Uitvoering laboratoriumonderzoek

Voor de interpretatie van het laboratoriumonderzoek is een nauwkeurige uitvoering van groot belang. Het verkrijgen van kwalitatief hoogwaardige zandmonsters is een specialistische opgave. In deze paragraaf wordt beschreven op welke wijze de monsters zijn verkregen en welke proeven hierop zijn uitgevoerd ter bepaling van de weerstand van het zand tegen verweking.

3.2.1 Voorbehandeling monsters

De monsters zijn gestoken Ackermanmonsters. De bussen hebben een diameter van 70 mm en een lengte van 400 mm. Na het steken zijn de uiteinden afgedicht.

Voor de uitvoering had de veldploeg de volgende instructie gekregen met betrekking tot het nemen van de monsters:

- *Moeten worden gedrukt (Ackermanbussen).*
- *Aandacht voor monstertransport i.v.m. mogelijk ongewenste verdichting zand in bussen.*

Tijdens het veldonderzoek heeft een vertegenwoordiger van Deltares toezicht gehouden op een correcte uitvoering. Door hem is het volgende geconstateerd:

I.v.m. voorkomen van verandering dichtheid zijn de bussen gestoken en niet geslagen. Ook tijdens transport is de nodige aandacht besteed aan niet stoten en voorkomen van trillingen van de bussen.

Na transport van de monsters naar het laboratorium van Deltares in Delft zijn de monsters uit de steekbus gedrukt. Hierbij is gecontroleerd of er in de monsterbussen een laagje water op het monster stond. Dit zou een aanwijzing kunnen zijn dat er tijdens het transport verdichting is opgetreden. Dit is echter niet geconstateerd, zodat er op basis van de uitvoering geen aanwijzingen zijn dat de dichtheid van het zand in de bussen afwijkt van de dichtheid in-situ.

Na inspectie zijn de monsters voor beproeving geselecteerd. Hierbij zijn eerst de monsters voor de testen op intacte monsters geselecteerd. Criteria daarbij waren dat het monster geen tekenen van vervorming vertoonde en geen zichtbare klei of kleilaagjes bevatte.

3.2.2 Classificatieproeven

Op het materiaal dat is beproefd zijn classificatieproeven uitgevoerd ter beoordeling van de algemene eigenschappen van het zand. Deze bestonden uit:

- Korrelverdeling.
- Bepaling droge min/max dichtheid.
- Bepaling natte min/max dichtheid.

De korrelverdeling en de bepaling van de droge min/max dichtheid zijn bepaald volgens de Deltares methode.

Voor de bepaling van de natte min/max dichtheid is geen norm of vast procedure beschikbaar. Daarom wordt de hier gebruikte procedure wordt hieronder kort beschreven. De losse pakking is opgebouwd door de monstermal van 532 cc half te vullen met water en droog monstermateriaal op het wateroppervlak uit te strooien wat vervolgens bezinkt. De vaste pakking is opgebouwd door de monstermal van 532 cc half te vullen met water en droog monstermateriaal op het wateroppervlak uit te strooien en met stampertje voorzichtig en continu/laagsgewijs aan te kloppen. Door de fijnheid van het materiaal en daardoor ook slechte doorlatendheid is het aankloppen iets minder effectief dan bij zand gebruikelijk is, en zal ook het verdichten langer duren om de

wateroverspanning kwijt te kunnen.

Door regelmatig een schoksgewijze draaibeweging aan de monstermal te geven in de opbouw fase, is uiteindelijk de maximum dichtheid bepaald.

3.2.3 Cyclische triaxiaaltesten

Op de monsters zijn Cyclische Triaxiaalproeven (afgekort CTX testen) uitgevoerd. De testen zijn uitgevoerd conform ASTM D3999-91 (2003).

Gemeten is de opbouw van de waterspanning in het monster tijdens de proef. De proef is beëindigd bij volledige verweking of bij 1000 wisselingen. Na de proef is het monster gedraineerd en is de daarbij optredende volumeverandering gemeten om een indruk te krijgen van de compactie na verweking

Bij een cyclische triaxiaalproef wordt een grondmonster cyclisch belast. Bij dit onderzoek zijn de proeven belastinggestuurd en ongedraineerd uitgevoerd. Hierbij wordt een cyclische belasting met een voorgeschreven amplitude en frequentie opgelegd. Het belangrijkste resultaat van deze proeven is het aantal cycli waarbij de wateroverspanning gelijk wordt aan de initiële effectieve spanning. Bij deze situatie is de korrelspanning nul geworden en is een toestand van verweking bereikt. Bij het naderen van de situatie van volledige verweking is de opstelling vaak niet meer in staat om de voorgeschreven belastingamplitude te handhaven. Op welke wijze hiervoor in de analyse wordt gecorrigeerd is in paragraaf 5.4 beschreven.

De monsters in het triaxiaalapparaat hebben een hoogte van ongeveer 150 mm en een diameter van ongeveer 65 mm. Een deel van de proeven is uitgevoerd op intacte monsters. Daarbij is het monster direct na het uitdrukken uit de steekbuis in het triaxiaalapparaat geplaatst. Door deze aanpak blijft de oorspronkelijke gelaagdheid en een deel van de oorspronkelijke structuur behouden. Door alle handelingen vanuit steken, transport en uitdrukken heeft het monster wel diverse spanningsveranderingen ondergaan zodat niet meer van een ongestoord monster gesproken kan worden.

Na het uitvoeren van de testen op de intacte monsters is van het monstermateriaal van boring B2 een mengmonster gemaakt. Op dit materiaal zijn aanvullende cyclische triaxiaalproeven uitgevoerd. Hiervoor zijn monsters opgebouwd volgens een vooraf vastgestelde dichtheid om op deze wijze de invloed van de dichtheid te bepalen.

Zowel de opgebouwde monsters als de intacte monsters zijn na het inbouwen een nacht onder de voorgeschreven isotrope consolidatiespanning geconsolideerd. Hiermee wordt getracht om een deel van de kruip en aging die het materiaal in-situ al heeft gehad weer te herstellen. De consolidatiespanning komt overeen met of is iets hoger dan de effectieve verticale spanning die heerste op de oorspronkelijke diepte waar het monster is gestoken. Bij de testen is een back-pressure van 300 kPa gebruikt. Bij een aantal van de testen op de opgebouwde monsters is voorafgaand aan de ongedraineerde cyclische belastingfase een fase met zogenaamde pre-shearing (ook wel pre-cycling genoemd) toegepast. Het doel daarvan was om een deel van de structuur en belastinggeschiedenis weer terug te brengen in het monster.

Na opbouw in het apparaat en consolidatie zijn de monsters belast met een vooraf vastgestelde belastingamplitude en belastingfrequentie totdat er sprake was van bezwijken. Het maximum aantal cycli in de proef was gelimiteerd tot 1000. De belastingfrequentie was meestal 1 Hz. Bij twee proeven is een belastingfrequentie van 0,2 Hz gebruikt om een mogelijk effect van de frequentie op het resultaat te kunnen signaleren.

In Tabel 3.2 is een overzicht gegeven van de uitgevoerde proeven en de aangehouden consolidatiespanning en belastingamplitude. Voor de belastingamplitude is de in de proef gebruikte amplitude gegeven.

Voor cyclische triaxiaal proeven volgt de relatieve schuifspanningsamplitude (CSR) uit:

$$CSR = \frac{\Delta\sigma_v}{2\sigma'_c}$$

Met:

- $\Delta\sigma_v$ amplitude verticale belasting
- σ'_c effectieve celspanning

test	Boring	monster	Diepte [m + NAP]	Cons. Spanning [kPa]	Verticale amplitude $\Delta\sigma_v$ [kPa]	CSR [-]	Opmerking
B1-st4A	B1	B1-st4A	-5,75	50	23,4	0,234	
B1-st4B	B1	B1-st4B	-5,9	50	18,3	0,183	
B2-St3A	B2	B2-st3A	-1,7	50	19,8	0,198	f = 0,2 Hz
B2-st4A	B2	B2-st4A	-2,07	50	17,2	0,172	
B2-St5A	B2	B2-St5A	-2,46	50	30,0	0,3	
B2-St6A	B2	B2-St6A	-5,87	100	30,8	0,154	
--		B2-St7A		--	--	--	Monster gebroken
B2-st8A	B2	B2-st8A	-6,78	100	20,5	0,103	
B2-st9A	B2	B2-st9A	-7,24	100	59,5	0,2983	f = 0,2 Hz
B2-st10A	B2	B2-st10A	-7,69	100	42,9	0,215	
B2-st11A	B2	B2-st11A	-8	100	35,6	0,178	
B2-mengD	B2	B2-meng	-4,5	100	35,5	0,178	Mengmonster, los
B2-mengC	B2	B2-meng	-4,5	100	37,4	0,187	Mengmonster, vast
B2-mengE	B2	B2-meng	-4,5	100	37,8	0,189	Mengmonster, los, pre-sheared
B2-mengF	B2	B2-meng	-4,5	100	39,5	0,198	Mengmonster, vast, presheared

Tabel 3.2 Overzicht CTX testen

3.2.4 Cyclische DSS testen

In het oorspronkelijke onderzoeksplan was alleen in het uitvoeren van cyclische triaxiaalproeven voorzien. De resultaten van de testen B2-st4A en B2-st4B waren dusdanig

dat een verificatie van deze resultaten gewenst was. Daarom is op materiaal uit dezelfde bus een cyclische DSS test uitgevoerd. De cyclische DSS testen zijn uitgevoerd conform ASTM D6528-07.

Bij een DSS-(direct simple shear) test wordt een monster horizontaal belast. Zijdelingse uitzetting van het monster wordt voorkomen door een rubber membraam binnen gestapelde ringen. Een ongedraineerde situatie wordt gesimuleerd door de testen uit te voeren als zogenaamde 'constant height' testen. Hierbij wordt de verticale spanning dusdanig gestuurd dat de hoogte van het monster constant blijft. De verandering van de verticale spanning wordt daarbij geïnterpreteerd als de verandering van de waterspanning.

De monsters zijn ongeveer 23 mm hoog en hebben een diameter van 63 mm. In Tabel 3.3 is een overzicht gegeven van de uitgevoerde proeven en de aangehouden consolidatiespanning en belastingamplitude.

test	Boring	monster	Diepte [m + NAP]	Cons. Spanning [kPa]	$\Delta\tau$ [kPa]	CSR [-]
B2-St	B2	B2-st	-2.14	50	9,3	0,186
B2-st5B	B2	B2-st5B	-2.54	50	12,8	0,256

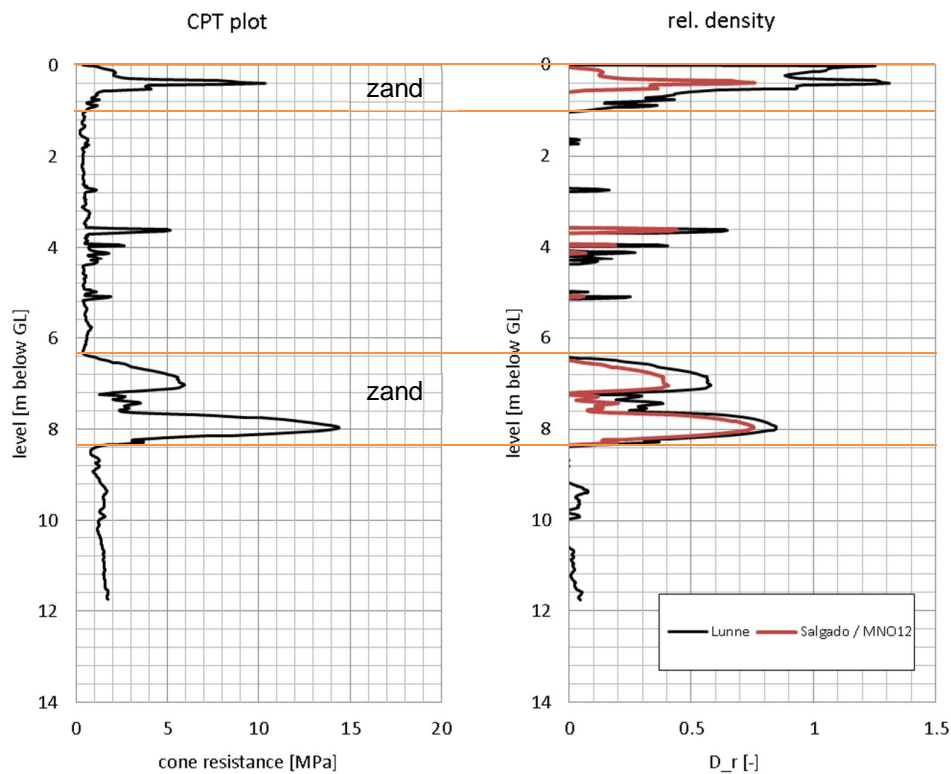
Tabel 3.3 Overzicht cyclische DSS testen op intacte monsters, boring B2

4 Resultaten veldonderzoek

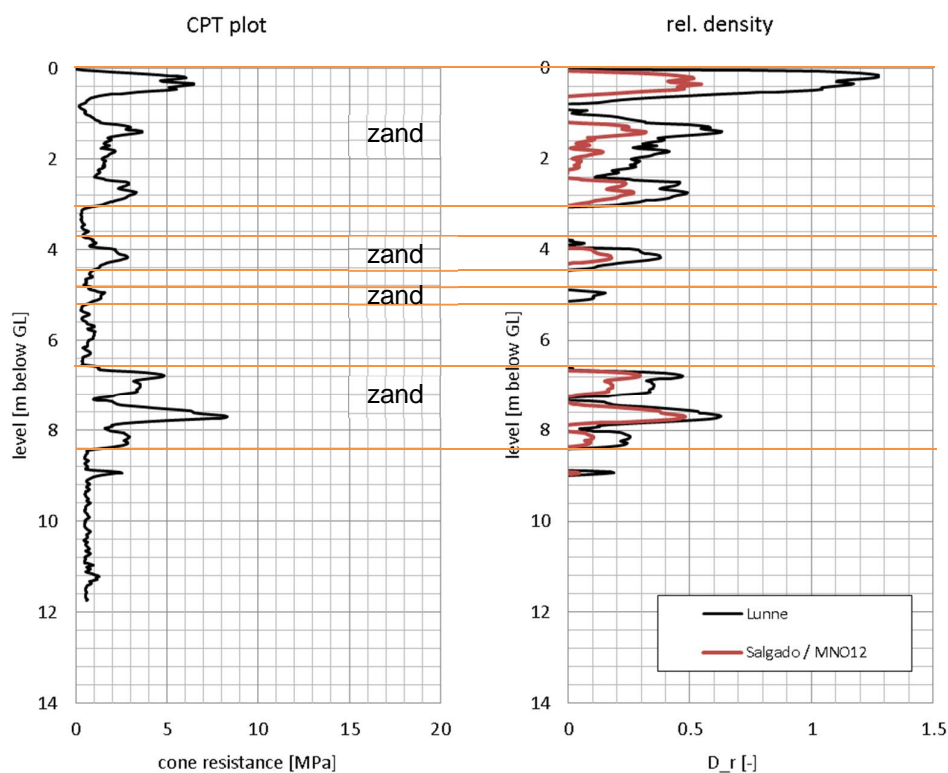
4.1 Sonderingen

Uit de sonderingen is met bestaande correlaties een schatting van de relatieve dichtheid van het zand te bepalen. Voor de sonderingen DKM1 en DKM2 is dit in de volgende figuren weergegeven. De relatieve dichtheid is op twee manieren bepaald, volgens de methode Lunne en Christoffersen [Lunne Christoffersen 1985] en volgens de methode Salgado [Idriss Boulanger 2008]. De laatste methode wordt in EERI MNO-12 beschreven.

De relatieve dichtheid is alleen relevant en bepaald voor de aanwezige zandlagen.



Figuur 4.1 Schatting relatieve dichtheid sondering DKMP1



Figuur 4.2 Schatting relatieve dichtheid sondering DKMP2

Voor DKMP1 (bij locatie Eemskanaal en boring B1) wordt als relatieve dichtheid gevonden $Re = 40$ à 60% . De geschatte relatieve dichtheid van de zandlagen in DKMP2 (bij boring B2) is lager, en ongeveer 20 à 40% .

4.2 Elektrische dichtheidsmeting

4.2.1 Uitvoering meting

Elektrische dichtheidsmetingen zijn uitgevoerd om op meer directe wijze de dichtheid van de zandlagen ter plaatse van de boringen vast te stellen. De elektrische dichtheidsmeting is gebaseerd op het principe dat de elektrische weerstand van verzadigd zand toeneemt bij afnemend porievolume. De zandkorrels geleiden vrijwel geen stroom, terwijl het poriewater dat wel doet. Bij een grotere dichtheid is er minder geleidend poriewater per volume-eenheid en neemt de weerstand toe.

De geleidbaarheid van zand hangt dus grotendeels af van de dichtheid van de grond en van de geleidbaarheid van het poriewater. Beide moeten dus ook gemeten worden. Dit gebeurt met de grondsonde en de watersonde. Er is echter geen universeel verband tussen de dichtheid van het zand en de weerstand daarvan bij een gegeven geleidbaarheid van het poriewater. Om het verband voor een zandsoort te achterhalen zijn ijkmetingen in het laboratorium uitgevoerd op zandmonsters uit de nabijgelegen boring.

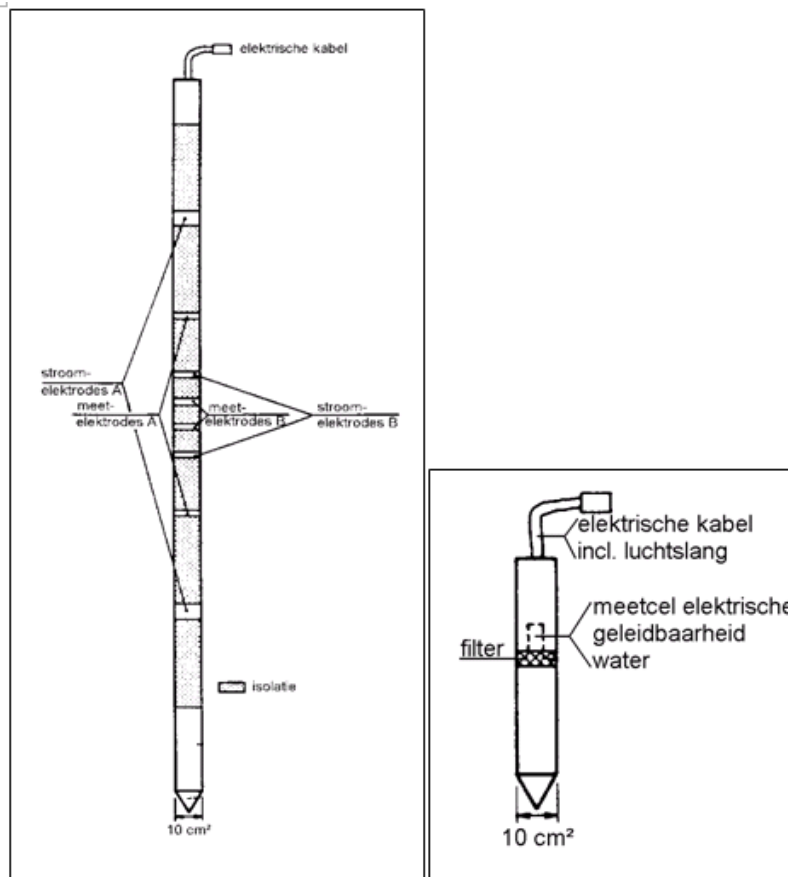
De elektrische dichtheidsmeting is uitgevoerd met de grondsonde nr. 8-200 in combinatie met watersonde nr. 129. De grondsonde bevat 2 sets (A en B) van 4 elektroden, zie Figuur 4.3 (links). De configuratie A heeft $0,50$ m afstand tussen de buitenste (stroom-) elektroden en

0,25 m tussen de spanningsmeetringen. Configuratie B heeft 0,10 m afstand tussen de stroomelektroden en 0,03 m tussen de spanningsmeetringen. De sonde is voorzien van een massieve punt. De kleinere afstanden bij set B heeft tot gevolg dat set A een groter volume grond als meetgebied heeft. De straal van het meetgebied is ruwweg gelijk aan 2,5 maal de afstand tussen de stroomelektroden. De meting met set A geeft daardoor, ten opzichte van de B meting, een wat globaler beeld van de laagopbouw en is minder gevoelig voor verdichting als gevolg van het verdringingsproces van de conus.

Het systeem wordt aangestuurd met 10 Hz wisselspanning op de stroomelektroden. De meetwaarde is een weerstand in Ohm, volgend uit de verhouding van elektrische spanning op de meetelektroden en de ingestuurde stroom ($R = V/I$). Deze weerstand wordt via een ijkfactor – de zogenaamde karakteristieke lengte K - omgerekend naar een specifieke weerstand voor het verzadigde zand rond de elektroden. De waarde van K hangt af van de afstanden tussen de elektroden en de diameter van de sonde.

Voor de sonde nr. 8-200 geldt:

- $K_A = 1,29$ m.
- $K_B = 0,735$ m.



Figuur 4.3 Grondsonde en watersonde Elektrische Dichtheidsmeting

De watersonde bestaat uit een conus met ingebouwde meetcel (zie Figuur 4.3 rechts). De sonde wordt met een lichte overdruk in de meetcel weggedrukt. Op de gewenste diepte wordt

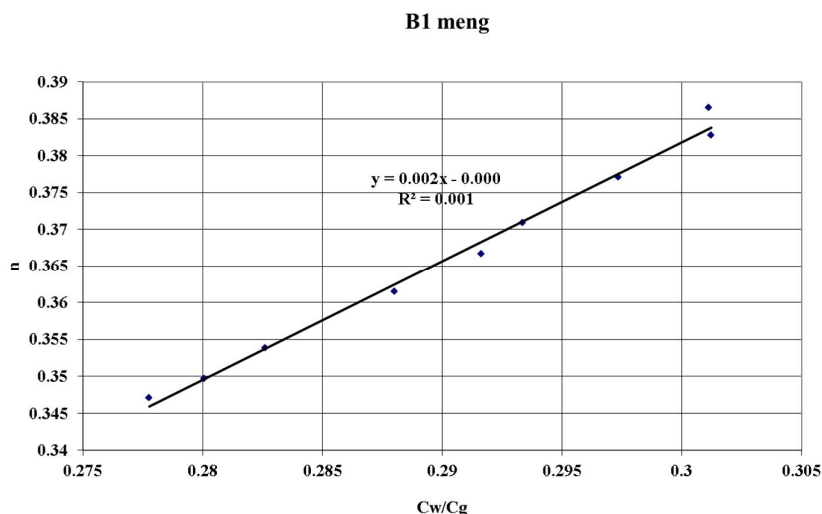
de overdruk verwijderd en stroomt de meetcel vol via het filter. De watersonde heeft een kleine meetcel met een karakteristieke lengte van circa 15 mm.

In het laboratorium worden eveneens de grondweerstand en de waterweerstand gemeten, maar nu bij diverse (opgebouwde) dichtheden van de naburige zandmonsters. Bij deze metingen gaat het om het vastleggen van een ijklijn die maatgevend is voor de in het veld bemeeten zandlaag. Deze ijklijn geeft het lineaire verband tussen het poriegehalte n en de weerstandverhouding tussen water en grond ρ_w/ρ_g :

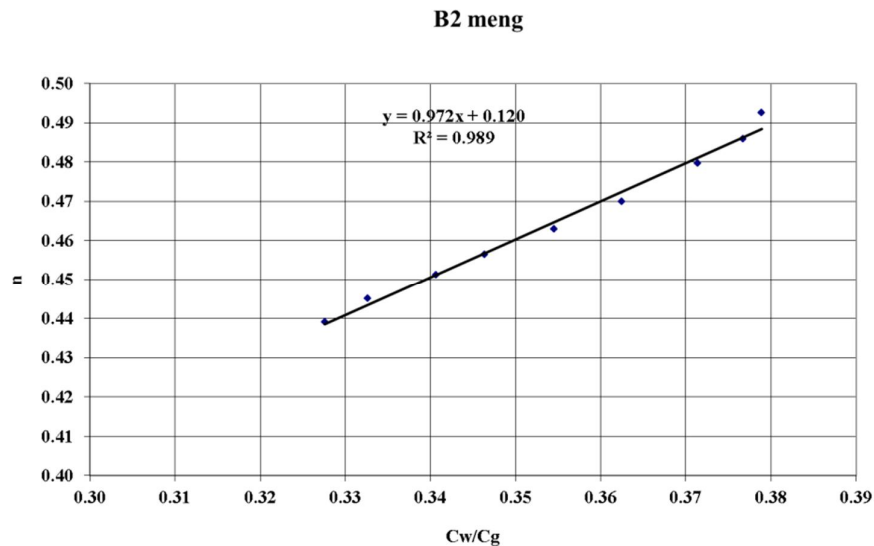
$$n = a + b \cdot \rho_w/\rho_g$$

De combinatie van de veldmetingen en de laboratoriumijkingen maakt het mogelijk een diepteprofiel te maken van het poriegehalte.

Voor materiaal uit boring B1 en B2 zijn de volgende ijklijnen opgesteld op basis van ijking van het materiaal in het laboratorium.



Figuur 4.4 Ijklijn mengmonster B1



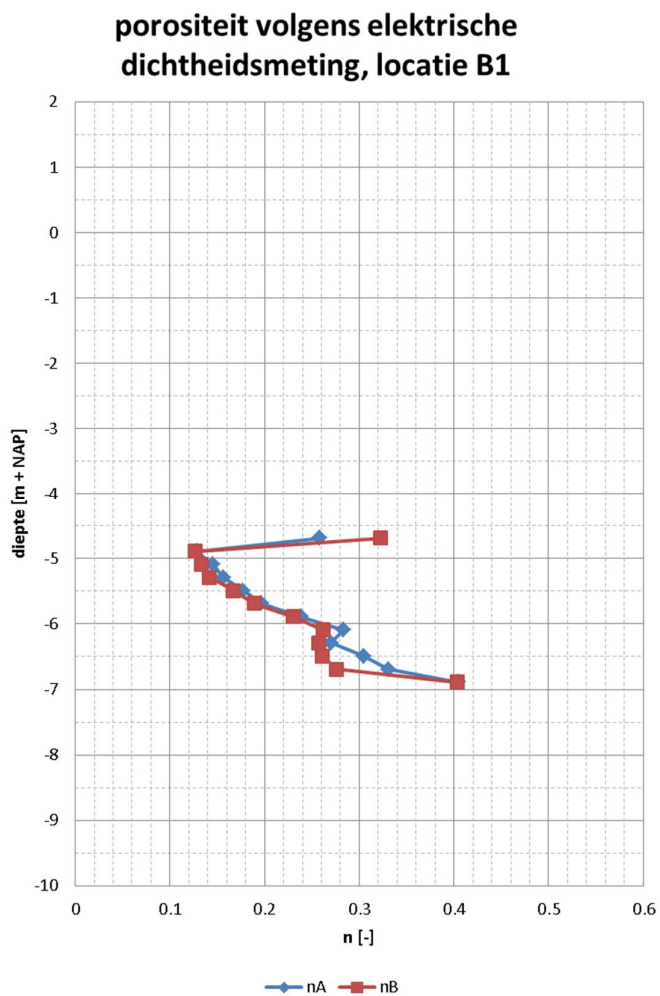
Figuur 4.5 IJklijn mengmonster B2

4.2.2 Dichtheid volgens elektrische dichtheidsmeting

Bij de elektrische dichtheidsmeting is meting A de meting met lange afstand tussen de elektroden en meting B de meting met de korte afstand tussen de elektroden.

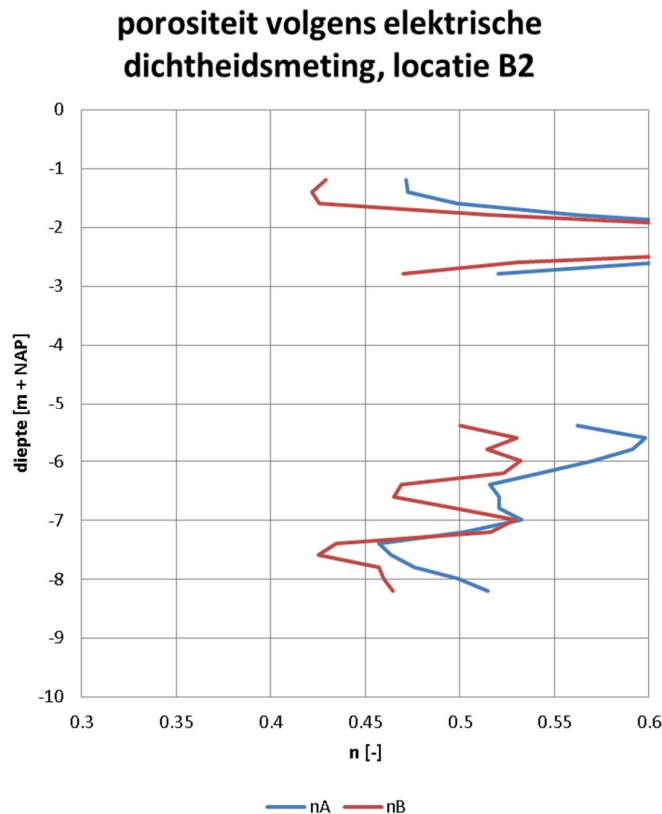
Figuur 4.6 geeft het resultaat van de elektrische dichtheidsmeting bij boring B1. De gevonden waarden voor de porositeit zijn opvallend laag en moeten als onrealistisch worden beschouwd. In de betreffende laag is er sprake van een toename van de geleidbaarheid van het grondwater tussen ongeveer NAP – 5 m en NAP – 6,5 m. De waarden rond NAP – 5 m kunnen beïnvloed zijn door de bovenliggende kleilaag.

De elektrische dichtheidsmeting meet niet direct de dichtheid, maar de elektrische geleidbaarheid van de grond. De achterliggende theorie veronderstelt dat de grond homogeen is. De bovengenoemde aspecten, die duiden op niet homogeniteit, zijn waarschijnlijk verantwoordelijk voor het opvallende resultaat.



Figuur 4.6 Resultaat elektrische dichtheidsmeting B1

Figuur 4.5 toont het resultaat van dichtheidsmeting B2. Alleen voor de niveaus waarbij volgens de boring zand aanwezig is worden de resultaten getoond. Voor kleilagen heeft het meetresultaat geen zinvolle betekenis.



Figuur 4.7 Resultaat elektrische dichtheidsmeting B2

Volgens de elektrische dichtheidsmeting is de porositeit van de eerste zandlaag (tussen -1 en -3 m) volgens de B-sonde gemiddeld 43% en volgens de A-sonde 47%. De piek rond NAP – 2 m is hierbij buiten beschouwing gelaten omdat deze waarden als onrealistisch moeten worden beschouwd. Voor de tweede zandlaag (tussen -5,5 en -8m) worden twee waarden gevonden. De bovenste helft heeft een porositeit van ongeveer 50% en de onderste helft van 45%. Dit verschil in porositeit volgens de elektrische dichtheidsmeting wordt in de sondering niet direct teruggevonden.

4.3 VSPT meting

Voor de resultaten van de VSPT meting wordt verwezen naar de rapportage van Fugro. De resultaten worden gebruikt bij de responsie berekeningen en niet voor de onderhavige verwekingsstudie.

4.4 Cone pressiometing

De CPM meting is uitgevoerd bij meetpunt 3 en was vooral bedoeld voor het vaststellen van de horizontale spanning in het daar te verwachten Peelo zand ten gevolge van de mogelijke aanwezigheid van een voorbelasting van het zand. Omdat meetpunt 3 precies bleek te liggen op de plaats van een oude dijkdoorbraak, iets wat pas achteraf bekend werd, zijn de resultaten van dit meetpunt niet meegenomen in de verwekingsanalyse.

5 Resultaten laboratoriumonderzoek

5.1 Doel laboratoriumonderzoek

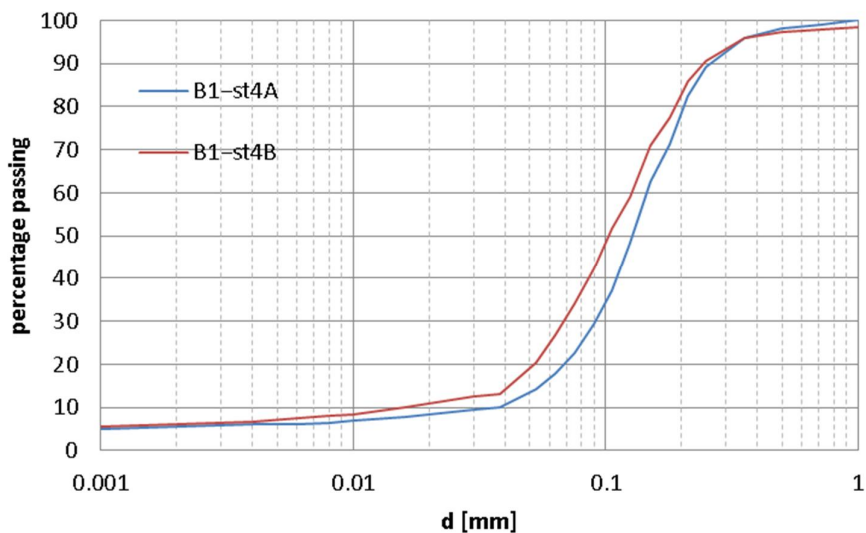
Het doel van het laboratoriumonderzoek is het vaststellen van de verwekingsgevoeligheid van de typisch Groningse zanden in de ondiepe lagen (tot circa 10-15m diepte) bij belastingen die representatief geacht kunnen worden voor geïnduceerde aardsbevingen.

5.2 Resultaat classificatieproeven

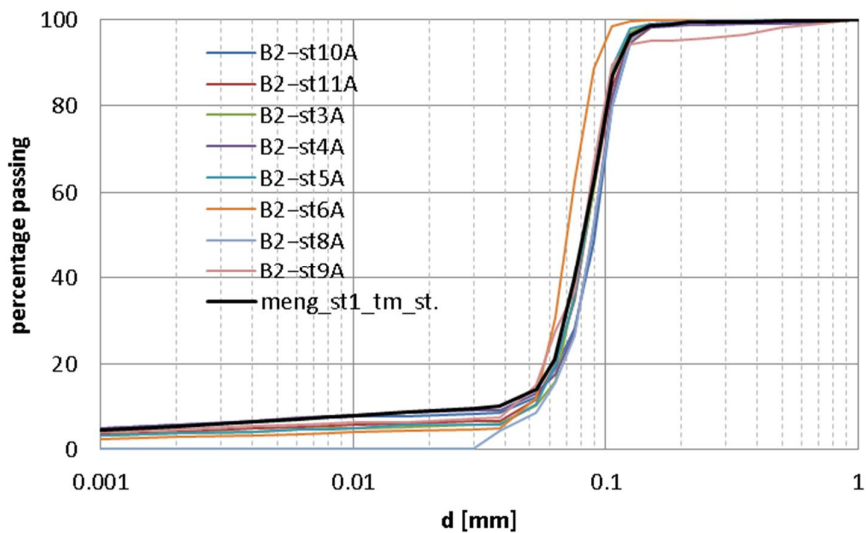
De resultaten van de classificatieproeven zijn gegeven in Tabel 5.1. Vermeld zijn de droge minimum en maximum dichtheid en een aantal kengetallen van de korrelverdelingen. Een verzamelgrafiek van de korrelverdelingen per boring is gegeven in Figuur 5.1 en Figuur 5.2.

monster	ρ_{\min} [g/cc]	ρ_{\max} [g/cc]	FC (% < 0,075mm)	d_{50} [mm]	d_{60}/d_{10} [-]	opmerking
B1-st4AA	1,42	1,83	22,7	0,145	3,8	
B1-st4BA	1,42	1,85	34	0,103	7,7	
B2-st3AA	1,20	1,56	36,5	0,083	1,7	1.85 - 2.0 m weinig schelpgruis een paar gram
B2-st4AA	1,21	1,58	27	0,089	2,3	schelpresten en schelpgruis in 2 laagjes; Gewicht schelpen > 1.0mm = 19.5 gram (totaal droog gewicht ongeveer 700 gr)
B2-St5AA	1,23	1,58	35,3	0,083	1,7	schelpresten en schelpgruis in 1 laagje; Gewicht schelpen > 1.0mm = 13.0 gram (totaal droog gewicht ongeveer 700 gr)
B2-St6AA	1,10	1,49	62,7	0,07	1,5	
B2-St8AA	1,30	1,63	26,4	0,088	1,7	
B2-St9AA	1,25	1,62	36,8	0,081	2	
B2-St10AA	1,16	1,46	28	0,091	2,2	
B2-St11AA	1,30	1,60	35	0,083	1,9	
B2-mixed	1,22	1,57	39,4	0,081	2,3	mengmonster

Tabel 5.1 Resultaat classificatieproeven



Figuur 5.1 Vergelijking korrelverdelingen boring B1



Figuur 5.2 Vergelijking korrelverdelingen boring B2

test	monster	ρ_{\min} [g/cc]	ρ_{\max} [g/cc]	n_{\min} [-]	n_{\max} [-]
B1-st4A	B1-st4A	1,42	1,83	0,309	0,464
B1-st4B	B1-st4B	1,42	1,85	0,302	0,464
B2-St3A	B2-st3A	1,2	1,56	0,411	0,547
B2-st4A	B2-st4A	1,21	1,58	0,404	0,543
B2-St5A	B2-St5A	1,23	1,58	0,404	0,536
B2-St6A	B2-St6A	1,1	1,49	0,438	0,585
	B2-St7A				
B2-st8A	B2-st8A	1,3	1,63	0,385	0,509
B2-st9A	B2-st9A	1,25	1,62	0,389	0,528
B2-st10A	B2-st10A	1,16	1,46	0,450	0,562
B2-st11A	B2-st11A	1,3	1,6	0,396	0,509
B2-st5B (DSS)	B2-st5B	1,23	1,58	0,404	0,539
B2-st4B (DSS)	B2-st4B	1,21	1,58	0,404	0,543
B2-mengD		1,22	1,57	0,408	0,540
B2-mengC		1,22	1,57	0,408	0,540
B2-mengE		1,22	1,57	0,408	0,540
B2-mengF		1,22	1,57	0,408	0,540

Tabel 5.2 Resultaat bepaling droge minimum en maximum dichtheid

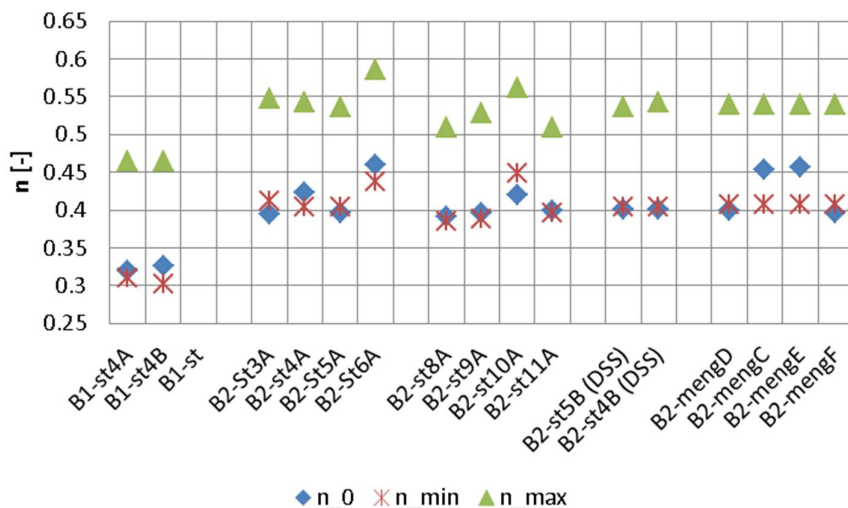
De bepaling van de natte min/max dichtheid van het mengmonster gaf de volgende resultaten:

- Losse pakking $n = 51,2\%$ en herhalingsmeting $51,1\%$.
- Vaste pakking $n = 38,1\%$ en herhalingsmeting $38,4\%$.

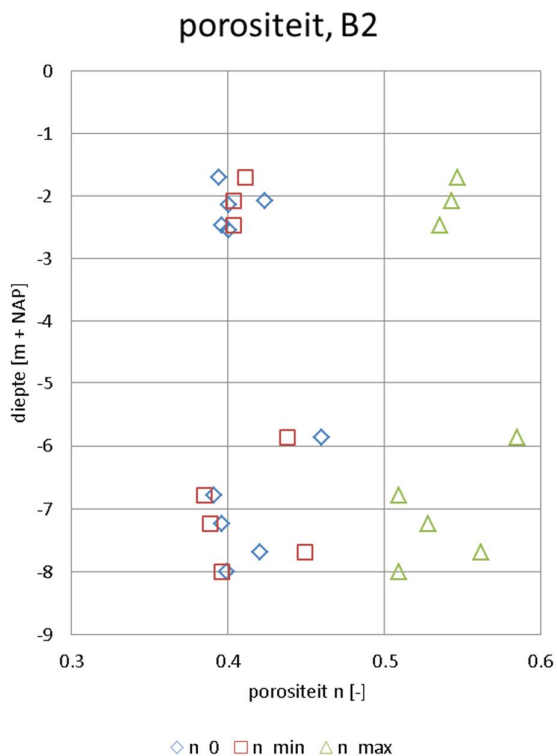
Vergeleken met de droge min-/max-dichtheid liggen deze waarden dus ongeveer 3%punt lager.

5.3 Discussie dichtheid monsters

Figuur 5.3 toont de porositeit van de monsters vergeleken met de minimum- en maximum-dichtheid. In Figuur 5.4 is dit voor boring B2 ook als functie van de diepte uitgezet.



Figuur 5.3 Vergelijking porositeit monsters met droge minimum en maximum dichtheid



Figuur 5.4 Vergelijking porositeit monsters met droge minimum- en maximumdichtheid, boring B2

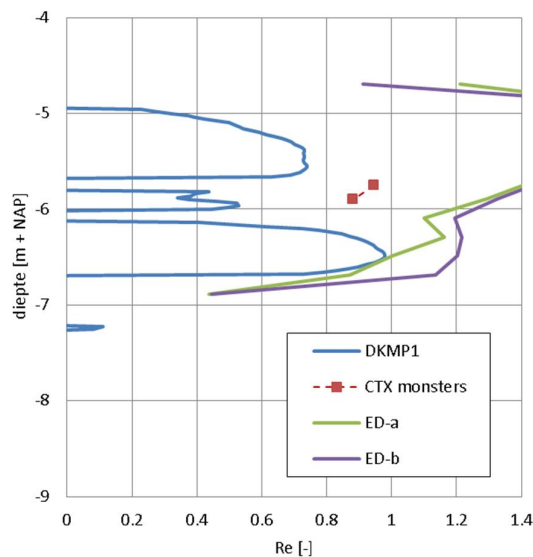
Uit deze vergelijking valt op dat de dichtheid van de intacte monsters ongeveer overeenkomt met de maximum droge dichtheid (minimumporositeit).

De droge minimum en maximum dichtheid zijn opvallend laag. De uniformiteitscoëfficiënt (d_{60}/d_{10}) van het zand is 1,5 à 2. Op basis van gegevens uit de literatuur (o.a. [Lubking 1997]) zouden de volgende waarden voor de minimum en maximum dichtheid worden geschat:

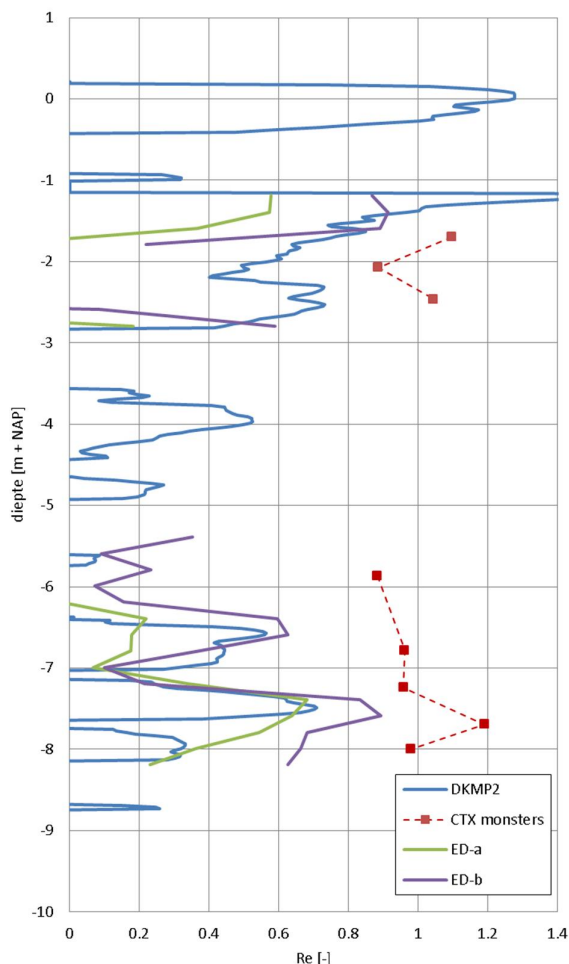
- $n_{\min} = 35\%$.
- $n_{\max} = 50\%$.

De resultaten van de droge minimum- en maximumdichtheid ($n_{\min} = 40\%$ en $n_{\max} = 54\%$) wijken dus af van hetgeen op basis van de korrelverdeling verwacht zou worden. De reden hiervan is niet bekend. De resultaten van de natte minimum en maximum dichtheid ($n_{\min} = 38\%$ en $n_{\max} = 51\%$) verschillen minder van de empirische schatting.

De dichtheden van de intacte monsters zijn ook vergeleken met de dichtheden volgens een correlatie met de conusweerstand en volgens de elektrische dichtheidsmeting. Voor de correlatie van de relatieve dichtheid met de conusweerstand is de correlatie van Lunne en Christoffersen [Lunne, Christoffersen 1985] gebruikt. Voor het omrekenen van de porositeit volgens de elektrische dichtheidsmeting is voor boring B1 het gemiddelde van de minimum en maximum dichtheid van de twee gebruikte monsters gebruikt. Voor boring B2 is de minimum en maximum dichtheid van het mengmonster gebruikt. Omdat er bij de elektrische dichtheidsmeting twee elektroden afstanden zijn gebruikt (zie paragraaf 4.2.1) zijn hiervoor ook twee lijnen aanwezig.



Figuur 5.5 Vergelijking van de relatieve dichtheid volgens diverse methoden, boring B1



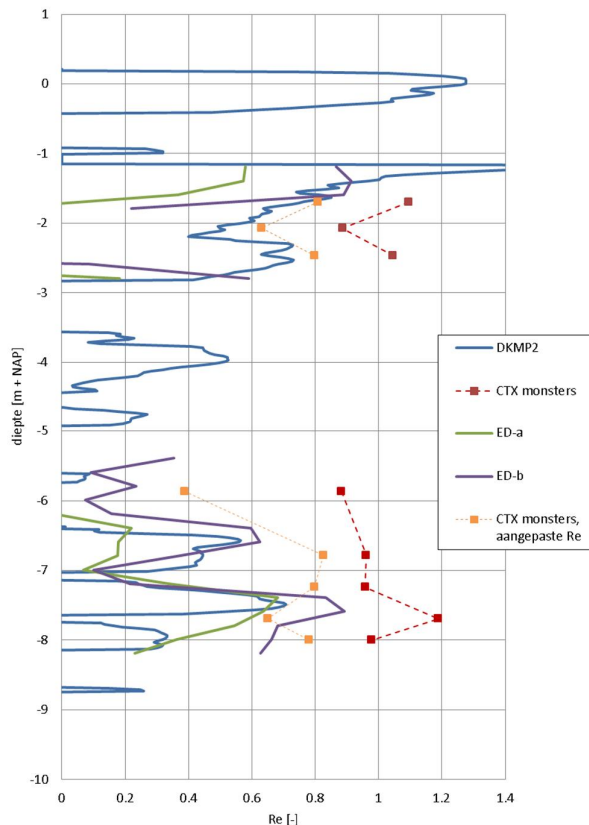
Figuur 5.6 Vergelijking van de relatieve dichtheid volgens diverse methoden, boring B2

Bij boring B1 is er een groot verschil tussen de dichtheid volgens de sondering en volgens de elektrische dichtheidsmeting. De dichtheid van de twee geteste monsters ligt tussen deze twee waarnemingen in. Eerder is al opgemerkt dat de elektrische dichtheidsmeting in dit geval naar verwachting geen realistische waarden geeft. Als die meting buiten beschouwing wordt gelaten volgt dat de relatieve dichtheid van de monsters ongeveer 30 %punt boven de relatieve dichtheid volgens de conusweerstand ligt.

Bij boring B2 is er een goede overeenstemming van de relatieve dichtheid volgens de conusweerstand en volgens de elektrische dichtheidsmeting. De relatieve dichtheid van de monsters ligt hier ongeveer 30%punt boven. Het verloop van de dichtheid met de diepte komt wel overeen met die volgens de andere twee methoden.

Dit verschil van de dichtheid van de geteste monsters met de in-situ meting kan veroorzaakt zijn door verdichting tijdens het proces van monsternamen en transport. Dit zou betekenen dat ondanks alle genomen voorzorgsmaatregelen er toch verdichting is opgetreden. Andere mogelijke oorzaken zijn dat de gebruikte correlatie voor de relatieve dichtheid met de conusweerstand niet geldig is voor dit zand of dat de bepaling van de droge minimum- en

maximumdichtheid deze waarden onderschat. Als voor de minimum- en maximumdichtheid de eerder genoemde waarden uit de literatuur worden gebruikt volgt het resultaat volgens Figuur 5.7.



Figuur 5.7 Vergelijking van de relatieve dichtheid volgens diverse methoden, boring B2

Hierbij komt de dichtheid van de gebruikte monsters beter overeen met de schatting volgens de in-situ meting. Het verschil is ongeveer 20 %punt. De monsters van NAP – 5,9 m en NAP – 7,7 m vertonen een groter verschil, maar de gemeten minimum en maximum dichtheid van die monsters wijkt ook af van het gemiddelde beeld.

Bij de toepassing van de resultaten voor de bepaling van de verwekingsgevoeligheid (hoofdstuk 6) wordt hier verder op ingegaan.

5.4 Bewerking resultaten cyclische proeven

Het belangrijkste resultaat van de cyclische triaxiaalproeven is het bepalen van het aantal belastingwisselingen totdat verweking optreedt, als functie van de dichtheid van het zand en de belastingamplitude. Een probleem bij het bepalen van het aantal cycli tot verweking is dat bij het naderen van het punt van volledige verweking de opstelling de benodigde kracht niet meer kan opleggen (een algemeen probleem bij cyclische proeven, de vervormingen en/of de vervormingssnelheden worden dan te groot voor de testopstelling). Dit betekent dat in de proef de belastingamplitude, en dus ook de relatieve belastingamplitude (CSR) afneemt. Daarom is op de resultaten een bewerking toegepast waarbij de variërende

belastingamplitude wordt vertaald naar een aantal equivalente cycli met een belastingamplitude gelijk aan de belastingamplitude bij de eerste wisseling. Hiermee wordt de soms variërende belastingamplitude omgewerkt naar een situatie met een constante belastingamplitude. Vervolgens wordt de gemeten wateroverspanning geplot als functie van het aantal equivalente cycli.

Voor het definiëren van het aantal equivalente belastingwisselingen wordt gebruik gemaakt van de volgende empirische relatie tussen belastingamplitude en aantal cycli tot verweking: (zie bijvoorbeeld [Rahman, Jaber 1986])

$$\frac{CSR}{a \cdot D_R} = N_{liq}^{-b}$$

Dit kan worden herschreven tot

$$N_{liq} = \left(\frac{CSR}{a \cdot D_R} \right)^{-1/b}$$

Voor de referentie belastingamplitude CSR_{ref} geldt:

$$N_{liq,ref} = \left(\frac{CSR_{ref}}{a \cdot D_R} \right)^{-1/b}$$

Voor een willekeurige CSR kan nu worden geschreven

$$\frac{N_{liq}}{N_{liq,ref}} = \frac{\left(\frac{CSR}{a \cdot D_R} \right)^{-1/b}}{\left(\frac{CSR_{ref}}{a \cdot D_R} \right)^{-1/b}} = \left(\frac{CSR}{CSR_{ref}} \right)^{-1/b}$$

Als de waarde van b bekend is, kan hiermee dus een willekeurig patroon van belastingwisselingen vertaald worden naar een aantal equivalente cycli. In [Rahman Jaber 1985] wordt aangegeven dat b ongeveer 0,2 bedraagt. Deze waarde is door Deltares bij andere projecten ook gevonden. Voor de analyse zal daarom verder $b = 0,2$ worden gebruikt.

5.5 Aantal cycli tot verweking

De resultaten van de cyclische proeven zijn samengevat in Tabel 5.3.

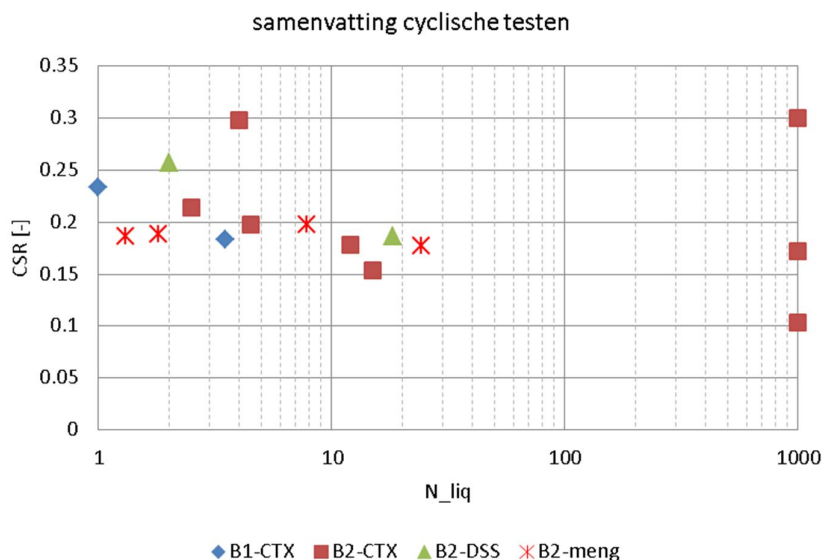
test	aantal cycli in test	cons. Spanning [kPa]	verticale amplitude $\Delta\sigma_v$	CSR [-]	aantal cycli tot verweking	Re	CSR/Re	opmerkingen
B1-st4A	993	50	23,4	0,234	1	0,94	0,25	
B1-st4B	1000	50	18,3	0,183	3,5	0,88	0,21	
B2-St3A	313	50	19,8	0,198	4,5	1,09	0,18	f = 0,2 Hz
B2-st4A	1000	50	17,2	0,172	--	0,89	0,19	zeer langzame toename wateroverspanning na N = 200
B2-St5A	999	50	30	0,3	--	1,04	0,29	geen toename wateroverspanning na N = 100
B2-St6A		100		0,154	15	0,88	0,17	
B2-st8A	3000	100	20,5	0,103	> 3000	0,96	0,11	geen verweking binnen 3000 cycli
B2-st9A f = 0,2Hz	565	100	59,5	0,298	4	0,96	0,31	f = 0,2 Hz
B2-st10A	90	100	42,9	0,215	2,5	1,19	0,18	
B2-st11A	122	100	35,6	0,178	12	0,98	0,18	
B2-st4B (DSS)	1000	50		0,186	18,2	1	0,19	
B2-st5B (DSS)	1000	50		0,257	2	1,02	0,25	
B2-mengD	1000	100	35,5	0,178	24,1	1,05	0,17	
B2-mengC	1000	100	37,4	0,187	1,3	0,71	0,267	
B2-mengE	1000	100	37,75	0,189	1,8	0,69	0,28	
B2-mengF	1000	100	39,5	0,202	7,8	1,06	0,19	

Tabel 5.3 Resultaat cyclische proeven

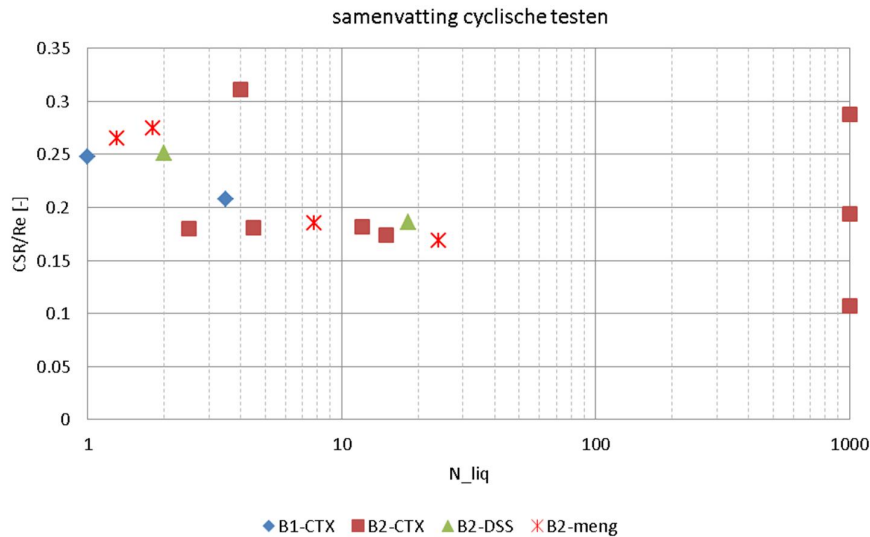
Bij drie proeven is het monster niet tot verweking gekomen. Bij test B2-st8A waren 3000 cycli niet voldoende om het monster te laten verweken. De wateroverspanning nam nog wel toe. Door extrapolatie van het verloop van de wateroverspanning is geschat dat mogelijk bij ongeveer 5000 cycli het monster zou zijn verwekt. Bij test B2-st4A en B2-st5A was er aanvankelijk sprake van opbouw van wateroverspanningen maar stagneerde de opbouw van de wateroverspanning na een aantal wisselingen. Daarom is op materiaal dat in de boring direct onder of boven deze monsters lag een cyclische DSS test gedaan. Deze cyclische DSS testen B2-st4B en B2-st5B laten wel volledige verweking zien. Na afloop van de proef is

van de monsters een korrelverdeling gemaakt. Daarbij is bij de monsters B2-st4A en B2-st5A geconstateerd dat er 1 of 2 laagjes met schelpresten en schelpgruis aanwezig waren, welke ervoor kunnen zorgen dat waterspanningen draineren en geen verweking optreedt.

De resultaten van de cyclische proeven zijn in de volgende figuren gepresenteerd. In de eerste figuur wordt het aantal cycli tot verweking (N_{liq}) als functie van de CSR gepresenteerd. In de tweede figuur is op de verticale as niet de parameter CSR maar de parameter CSR/R_e uitgezet. Hiermee worden resultaten van testen op monsters met verschillende dichtheden met elkaar vergeleken. De grootte van de relatieve dichtheid is bepaald uit de dichtheid van de monsters en de droge minimum en maximum dichtheid. In paragraaf 5.3 wordt de betekenis van deze grootte verder uitgewerkt. Voor de proeven waarbij het monster niet tot verweking kwam is het resultaat geplot als $N_{liq} = 1000$.



Figuur 5.8 Overzicht resultaten cyclische proeven



Figuur 5.9 Overzicht resultaten cyclische proeven

In paragraaf 5.6 worden de resultaten verder geïnterpreteerd.

5.6 Verwekingsgevoeligheid volgens laboratoriumproeven

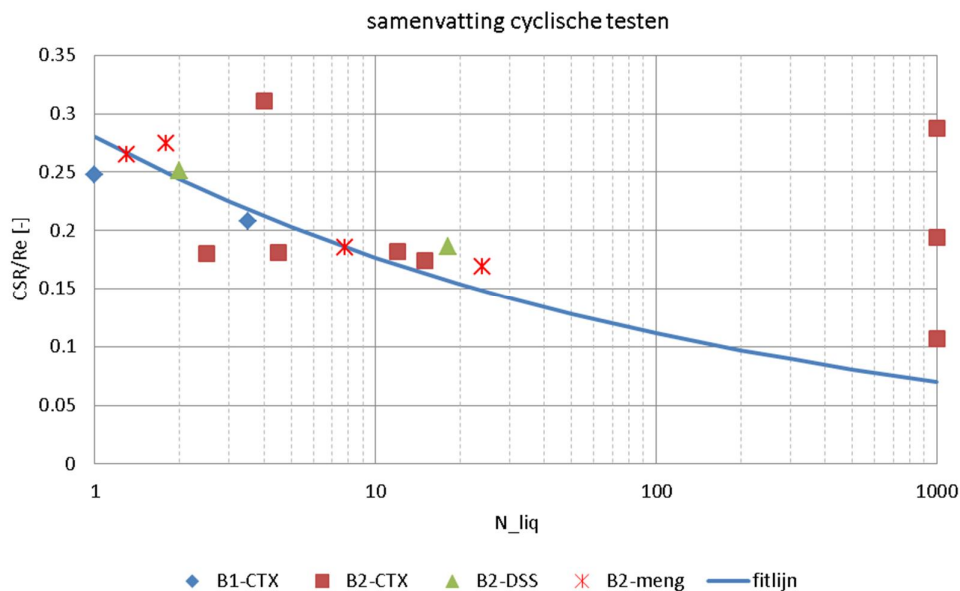
In paragraaf 5.5 geeft de resultaten van de cyclische proeven. Aan de resultaten is een fitlijn toegevoegd met de volgende vergelijking:

$$\frac{CSR}{a * R_e} = N_{liq}^{-b}$$

Voor de empirische constanten a en b zijn respectievelijk voor de beste fit afgeleid:

- a = 0,28.
- b = 0,2.

De waarde van b = 0,2 is een gebruikelijke waarde voor zand. De waarde van a = 0,28 is aan de lage kant.



Figuur 5.10 Resultaten cyclische proeven, vergeleken met fitlijn

Voor de geïnduceerde bevingen is het aantal equivalente cycli dat verwacht wordt tijdens de beving beperkt. Bij de geanalyseerde signalen (zie rapport 1208624-002-GEO-0003) is het aantal ongeveer 1. Op dit moment is niet uit te sluiten dat bij zwaardere aardbevingen het aantal equivalente cycli groter wordt maar nog steeds beperkt zal zijn. Voor de beoordeling van de gevoeligheid voor verweking is daarom het gedrag bij 1 à 3 wisselingen van belang.

5.7 Verdichting door wisselende belasting

Na de ongedraineerde cyclische belastingfase is het monster gedraineerd. Daarbij is het volume water dat afstroomt gemeten. Hieruit is de volumerek tijdens de dissipatiefase bepaald. Tabel 5.4 geeft de resultaten. Achtereenvolgend staat hierin:

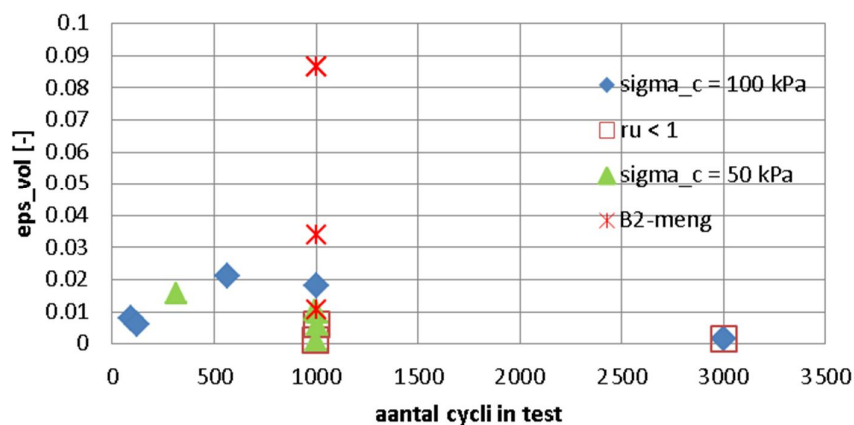
- Het testnummer.
- De gemeten volumeverandering tijdens de dissipatiefase.
- De hieruit berekende volumerek.
- De maximale wateroverspanning aan het einde van de cyclische belastingsfase.
- De hieruit berekende compressiemodulus (K).
- Het aantal cycli tijdens de cyclische belastingfase.

test	Volume verandering [cc]	Volume rek [-]	Max. waterover spanning [kPa]	K [kPa]	Aantal cycli in test [-]
B1-st4A	4,5	0,0104	48	4615	993
B1-st4B	4,5	0,01	50	5000	1000
B2-St3A	7	0,016	50	3125	313
B2-st4A	2,3	0,006	40	6667	1000
B2-St5A	0,6	0,0013	25	19231	999
B2-St6A	8,5	0,018	100	5556	1000
B2-st8A	0,75	0,0016	55	35256	3000
B2-st9A	10	0,021	100	4762	565
B2-st10A	4	0,008	100	12500	90
B2-st11A	2,9	0,006	100	16667	122
B2-mengD	5,2	0,0107	100	9346	1000
B2-mengC	35	0,0865	100	1157	1000
B2-mengE	34,9	0,0866	100	1154	1000
B2-mengF	15,55	0,0337	100	2967	1000

Tabel 5.4 Resultaten dissipatiefase

De resultaten zijn uitgezet in Figuur 5.11. Op de horizontale as staat het aantal cycli tijdens de test. Dit is meer, en soms veel meer, dan het aantal cycli tot verweking. De resultaten van de testen waarbij het monster niet tot volledige verweking hebben als extra markering een rood vierkant rond het meetpunt.

effect aantal cycli op volumerek



Figuur 5.11 Volumerek door cyclische belasting

Uit deze meetdata volgt dat de volumerek van de intacte monsters beperkt is. In het geval er geen volledige verweking ontstaat is de volumerek orde 0,5%. Bij volledige verweking van de intacte monsters is de volumerek tijdens de dissipatiefase beperkt tot 2%. Voor de opgebouwde monsters is er een verschil tussen de los en de vast opgebouwde monsters. Bij de vast opgebouwde monsters is de volumerek ongeveer 1%. Dit is in lijn met de resultaten bij de intacte monsters. De dichtheid was ook vergelijkbaar. Bij de los opgebouwde monsters is de volumerek beduidend hoger. De twee gemeten waarden zijn 3,5% en 9%.

5.8 Verdichting door wisselende belasting

Naast verweking is verdichting, en daardoor veroorzaakte verzakkingen, een ongewenst gevolg van aardbevingen. Daarom is tevens de volumerek na verweking bepaald. De resultaten staan in paragraaf 5.7.

Bij volledige verweking lijkt er een tendens aanwezig te zijn dat de volumerek toeneemt als na verweking het aantal cycli blijft toenemen. Er zijn echter onvoldoende proefresultaten om dit met zekerheid te kunnen stellen.

Gezien deze tendens is op dit moment niet uit te sluiten dat de resultaten van de proeven de verdichting tijdens een aardbeving overschatten. Bij de geïnduceerde aardbevingen is het aantal wisselingen namelijk beperkt.

Dat betekent dat op basis van deze resultaten geconcludeerd kan worden dat de compactie mogelijk beperkt is tot 0,5 à 1% in geval verweking optreedt. In de literatuur worden voor dicht zand ($R_e > 80\%$) volumerekken van ongeveer 1% genoemd.

De los opgebouwde monsters hebben een relatieve dichtheid van ongeveer 65%. Hierbij zijn volumerekken gevonden van 3% en 9%. De waarde van 3% komt redelijk overeen met waarden uit de literatuur, een volumerek van 9% wordt eerder verwacht bij een relatieve dichtheid van 20% of 30%. Wel moet worden bedacht dat de bij het huidige onderzoek gemeten volumerekken de rekken na 1000 wisselingen zijn. Het is goed mogelijk dat de volumerek kleiner zou zijn geweest als direct na het bereiken van het punt van verweking de proef was gestopt, maar dat is op basis van deze proefresultaten niet aan te tonen.

5.9 Stijfheid zand

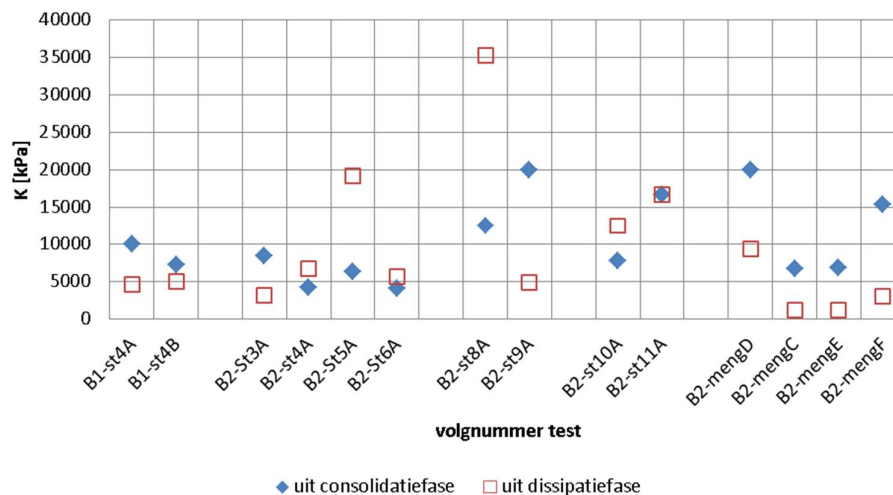
Uit de consolidatiefase voorafgaand aan de test en uit de dissipatiefase na afloop van de test is een schatting van de stijfheid (compressiemodulus) van de zandmonsters te maken. De resultaten van de consolidatiefase staan in Tabel 5.5, die van de dissipatiefase zijn al opgenomen in Tabel 5.4. De waarden van de compressiemodulus K zijn bepaald door de verandering van de isotrope spanning te delen door de volumerek, het betreft dus een gemiddelde waarde over het totale spanningstraject. Het verloop van de volumerek tijdens de consolidatiefase is opgenomen in de uitvoer van de proeven. Bij een aantal proeven lijkt het monster na de consolidatiefase volgens de meting iets in volume toe te nemen. Er is geen reden om aan te nemen of te verwachten dat de monsters zwellen. Deze schijnbare zwel wordt daarom verder in de analyse buiten beschouwing gelaten.

test	ε_{vol} consolidatie [%]	σ_{cel} [kPa]	K [kPa]
B1-st4A	0,5	50	10000
B1-st4B	0,7	50	7150
B2-St3A	0,6	50	8350
B2-st4A	1,2	50	4200
B2-St5A	0,8	50	6250
B2-St6A	2,5	100	4000
B2-st8A	0,8	100	12500
B2-st9A	0,5	100	20000
B2-st10A	1,3	100	7700
B2-st11A	0,6	100	16667
B2-mengD	0,5	100	20000
B2-mengC	1,5	100	6650
B2-mengE	1,47	100	6800
B2-mengF	0,65	100	15400

Tabel 5.5 Volumeverandering tijdens consolidatiefase

De resultaten zijn grafisch weergegeven in Figuur 5.12.

compressiestijfheid monsters



Figuur 5.12 Compressiestijfheid (gemiddelden over spanningsverandering)

Voor de analyse van de gevoeligheid tegen verweking is deze parameter niet direct van belang. Volledigheidshalve zijn de resultaten hier wel opgenomen.

5.10 Statische proeven

Voor het bepalen van de materiaalparameters zijn tevens op het mengmonster van boring B2 4 statische proeven uitgevoerd. Het betreft gedraineerde statische triaxiaalproeven (TX proeven) en statische samendrukkingsproeven (CRS proeven: Constant Rate of Strain). Tabel 5.6 geeft een overzicht van de proeven.

Proef	Type proef	Dichtheid	γ [kN/m ³]	w [%]	e_0 [-]	Re	ϕ [°]	E_{50} [MPa]
	TX	los	18,45	32,4	0,865	0,63	33,4	3,8
	TX	vast	19,62	24,1	0,644	1,09	38,1	12,2
	CRS	los	18,1	35,8	0,950	0,46	--	--
	CRS	vast	19,4	25,8	0,686	1,00	--	--

Tabel 5.6 Overzicht statische proeven op mengmonster B2

De consolidatiespanning bij de triaxiaalproeven was 100 kPa.

Bij de CRS proeven is het monster belast tot 300 kPa met een ontlast-herbelaststap bij 100 kPa en een ontlaststap bij 300 kPa.

Voor de volledige resultaten wordt naar de bijlagen verwezen.

6 Toepassing proefresultaten voor geïnduceerde bevingen Groningen

6.1 Verband PGA en CSR

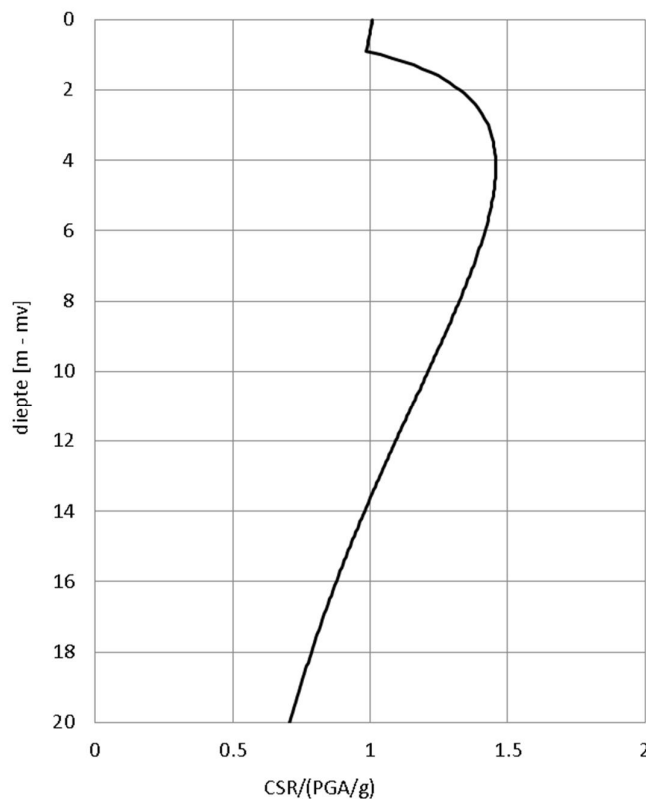
De resultaten van de proeven geven het aantal cycli tot verweking als functie van de belastingamplitude. Voor de toepassing op aardbevingen moet dus aangegeven worden wat de belastingamplitude (CSR) is en wat het equivalent aantal cycli is.

Voor het bepalen van de CSR tijdens een aardbeving wordt de methode in EERI MNO-12 gebruikt. Hierin wordt een uitdrukking voor r_d gegeven.

Het verband tussen CSR en PGA hangt af van het grondprofiel (volumegewicht van de grond) en de grondwaterstand. Voor de hier gemaakte keuze van een homogene zandgrond en een grondwaterstand van 1 m onder maaiveld.

De relatieve schuifspanningsamplitude is hier bepaald als de maximale waarde. De gebruikte formule is

$$CSR = \frac{PGA}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d$$



Figuur 6.1 CSR profiel, zand ondergrond, GWS = mv – 1 m

Voor de hier gemaakte keuze van een homogene zandgrond en een grondwaterstand van 1 m onder maaiveld is de maximale waarde van de CSR ongeveer 1,5 keer de PGA/g.

Volgens de methode EERI MNO-12 is de CSR, als de factor MSF ook hierin wordt meegenomen:

$$CSR = 0,65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d \frac{1}{MSF}$$

6.2 Correcties proefresultaten

Voordat de proefresultaten vergeleken kunnen worden met de empirische methode EERI MNO-12 is een aantal correcties nodig. Deze correcties betreffen:

- Verschil triaxiaal proeven en DSS proeven.
- Effect monsterverstoring.
- Effect bepaling dichtheid.

In de volgende paragrafen worden deze correcties besproken.

6.2.1 Correctie triaxiaal versus DSS

Bekend is dat in een triaxiaalproef het monster een hogere weerstand heeft tegen verweking dan in een DSS proef. Over de grootte van de correctie worden verschillende waarden genoemd. De bandbreedte is 0,7 tot 0,9. Hier zal voor de cyclische triaxiaaltesten een correctie van 0,8 op de gebruikte CSR-waarde worden toegepast. Voor de cyclische DSS-testen is deze correctie uiteraard niet van toepassing.

Tijdens een aardbeving is er sprake van schuifspanningswisselingen in alle richtingen. Tijdens de proeven is er maar in 1 richting sprake van schuifspanningswisselingen. Voor dit effect wordt geen correctie toegepast.

6.2.2 Correctie monsterverstoring

Uit de literatuur is bekend dat er een groot verschil is in de weerstand tegen verweking bij opgebouwde monsters en bij ongeroerde monsters. In dat geval wordt onder 'ongeroerd' verstaan dat de grond in-situ is bevroren en daarna als bevroren monster is gestoken, vervoerd en in het triaxiaalapparaat is ingebouwd. De beschikbare literatuurgegevens geven geen eenduidig beeld van het verschil, maar globaal kan worden gesteld dat, bij eenzelfde aantal cycli tot verweking, de belastingamplitude een factor 1,5 à 2 hoger ligt.

De proeven zijn gedaan op intacte monsters. De monsters zijn niet echt ongestoord. Tijdens het steken, het transport en het uitleggen heeft het monster diverse veranderingen van de spanning ondervonden. De monsters zijn ook niet echt geroerd.

Daarnaast hebben de monsters allerlei spanningsveranderingen ondergaan. Welke invloed dit heeft gehad op de weerstand tegen verweking is niet direct aan te geven. Uit de proefresultaten blijkt wel dat er nauwelijks verschil is in de verwekingsgevoeligheid van intacte en opgebouwde monsters. Verwacht werd dat de intacte monsters een hogere weerstand zouden hebben. Dit doet vermoeden dat er tijdens het gehele proces wel een dusdanige verstoring is opgetreden dat de monsters niet meer als ongeroerd zijn te beschouwen.

Er is dus niet eenduidig te concluderen dat de intacte monsters wel of niet zijn verstoord. Voor de verdere analyse zal voorzichtigheidshalve geen correctie voor mogelijke monsterverstoring in rekening worden gebracht.

6.2.3 Correctie dichtheid

Uit de vergelijking van de dichtheid van de monsters tijdens de laboratoriumtesten en de verwachte dichtheid in-situ dichtheid (resultaat sondering en elektrische dichtheidsmeting) wordt geconcludeerd dat de monsters tijdens het hele proces waarschijnlijk iets zijn verdicht. Voor de verdere interpretatie zal worden uitgegaan van de relatieve dichtheid van de monsters, zodat deze mogelijke verdichting geen effect heeft op de conclusies. Hiervoor hoeft dus niet te worden gecorrigeerd.

De bepaling van de relatieve dichtheid van de monsters uit de gemeten droge minimum en maximum dichtheid geeft een overschatting van de relatieve dichtheid. Uit de analyse van de dichtheid van de monsters in vergelijking met de in-situ bepaling volgt dat er mogelijk sprake is van een overschatting van de relatieve dichtheid van de monsters met 20% tot 30%. Hier zal een correctie van 25%punt op de berekende relatieve dichtheid op basis van de droge minimum en maximum dichtheid worden toegepast bij de verdere interpretatie van de verwekingsgevoeligheid.

6.3 Vergelijking met EERI-methode

De basis van de methode in EERI MNO-12 is een empirische grafiek met het verband tussen de weerstand tegen verweking (CRR7.5) en de (genormaliseerde) conusweerstand (in dit rapport opgenomen als Figuur 2.1). Om de resultaten van de cyclische proeven op dezelfde wijze te presenteren worden de volgende transformaties uitgevoerd:

- Vertaling relatieve dichtheid naar genormaliseerde conusweerstand.
- Vertaling aantal cycli tot verweking naar de CRR-waarde die $N_{liq}=15$ geeft.

Voor de vertaling van de relatieve dichtheid naar een genormaliseerde conusweerstand wordt de in EERI MNO-12 gegeven correlatie gebruikt:

$$R_e = 0.478 * (q_{c1N})^{0.264} - 1.063$$

Deze uitdrukking is te herschreven tot

$$q_{c1N} = \left(\frac{R_e + 1.063}{0.478} \right)^{1/0.264}$$

De empirische grafiek is gebaseerd op een aardbeving met moment magnitude $M_w = 7,5$. Bij een (tektonische) aardbeving van deze zwaarte wordt gerekend dat deze 15 equivalente cycli met een amplitude van 0,65 keer de piekwaarde heeft.

De gemeten combinatie van CSR en aantal cycli tot verweking moet dus worden omgerekend naar de CSR-waarde die bij 15 cycli verweking geeft. Hiervoor wordt dezelfde relatie gebruikt als bij het bepalen van het aantal equivalente cycli in een cyclische triaxiaalproef (zie paragraaf 5.4).

$$\frac{N_{liq}}{N_{liq.ref}} = \frac{\left(\frac{CSR}{a \cdot D_R} \right)^{-1/b}}{\left(\frac{CSR_{ref}}{a \cdot D_R} \right)^{-1/b}} = \left(\frac{CSR}{CSR_{ref}} \right)^{-1/b}$$

Anders geschreven:

$$\frac{N_{liq,test}}{N_{liq,7.5}} = \frac{\left(\frac{CSR}{a \cdot D_R}\right)^{-1/b}}{\left(\frac{CSR_{ref}}{a \cdot D_R}\right)^{-1/b}} = \left(\frac{CSR_{test}}{CSR_{calc}}\right)^{-1/b}$$

Met:

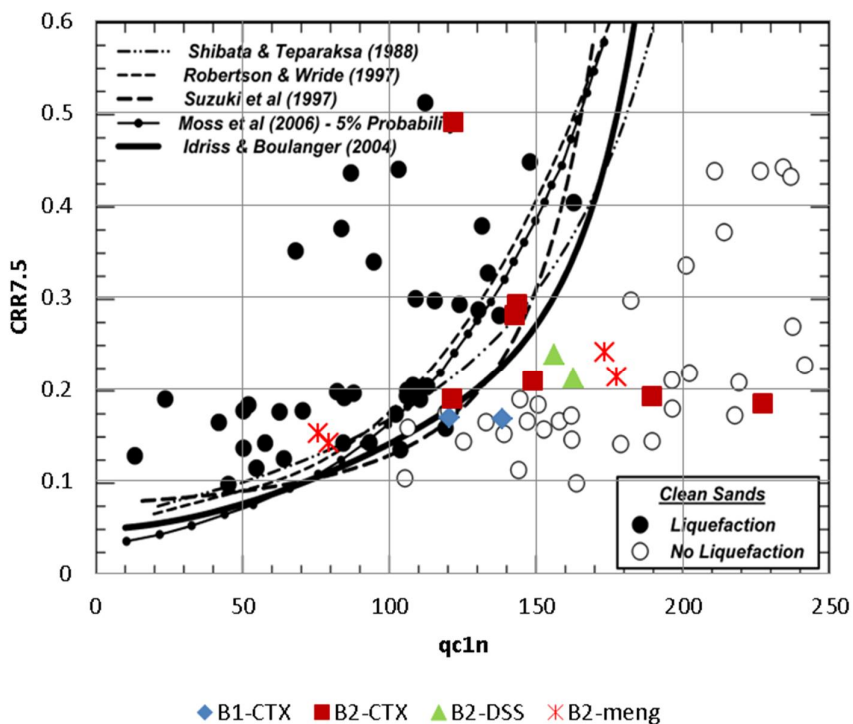
- $N_{liq,test}$ aantal cycli tot verweking in de test.
- $N_{liq,7.5}$ aantal cycli bij een aardbeving $M_w = 7.5$ ($N = 15$).
- CSR_{test} in de cyclische test gebruikte CSR.
- CSR_{calc} de CSR waarde die naar verwachting in $N_{liq,calc}$ aantal cycli verweking zou geven.
- b empirische constante ($b = 0,2$).

Herschrijven van de uitdrukking geeft:

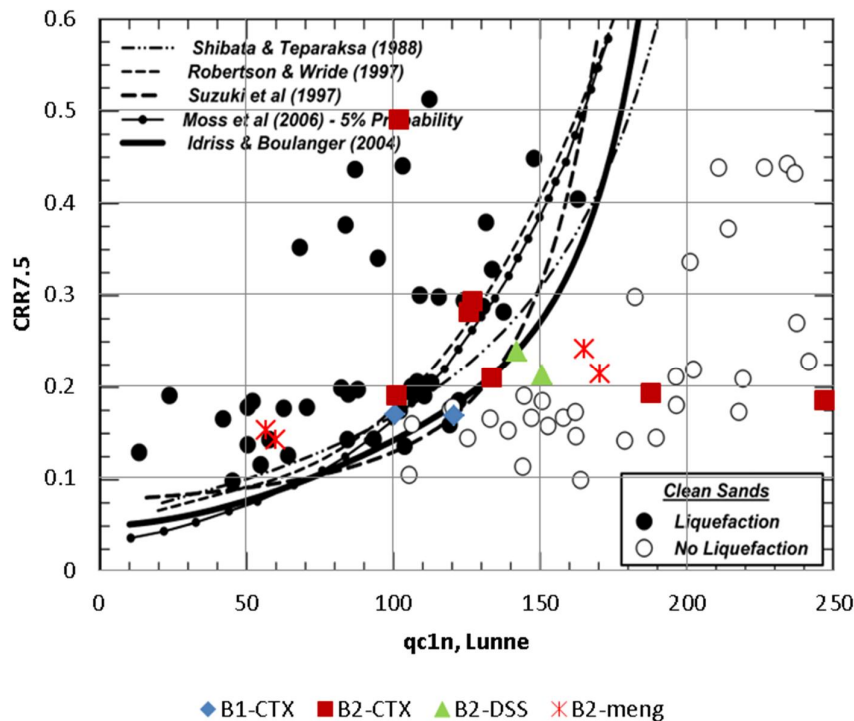
$$CSR_{calc} = CSR_{test} \left(\frac{N_{liq,test}}{N_{liq,7.5}}\right)^{-b}$$

Daarnaast wordt nog een correctiefactor 0,65 toegepast omdat in de EERI methode dit de verhouding tussen equivalente en maximale amplitude.

De proefresultaten kunnen nu worden uitgezet in de empirische grafiek van EERI MNO-12, zie Figuur 6.2. Voor de drie testen die niet verweekten is voor het opstellen van deze grafiek gerekend met $N_{liq,test} = 1000$.



Figuur 6.2 Vergelijking proefresultaten met empirische grafiek



Figuur 6.3 Vergelijking proefresultaten met empirische grafiek, $qc1N$ bepaald uit schatting conusweerstand volgens correlatie [Lunne, Christoffersen 1985]

Tot een genormaliseerde conusweerstand van $qc1N = 0,75$ (dit komt overeen met $Re = 0,75$) liggen de meetpunten op of boven de empirische grafiek. Er is dus geen reden om de toegepaste methode voor dit gebied naar beneden bij te stellen. Het aantal meetpunten bij lage relatieve dichtheid (lage $qc1N$) is te beperkt om een aanpassing naar boven te rechtvaardigen. Voor relatief hoge waarden van de conusweerstand (de relatieve dichtheid) zijn de proefresultaten ongunstiger dan de empirische methode.

6.4 MSF factor

De Magnitude Scaling Factor heeft te maken met het aantal equivalente wisselingen tijdens een aardbeving. Dat aspect kan niet met cyclische proeven worden onderzocht, en moet komen uit een analyse van de gemeten versnellingsignalen.

7 Samenvatting en conclusies

7.1 Samenvatting

Voor het bepalen van de verwekingsgevoeligheid van zand uit Groningen tijdens een geïnduceerde aardbeving is een serie ongedraineerde cyclische proeven uitgevoerd. Het doel van de proeven was vaststellen of er, en zo ja welke, aanpassingen aan de gebruikelijke methode om de verwekingsgevoeligheid te bepalen nodig zijn om deze methode voor de Groningse bevingen te kunnen gebruiken.

Voor los tot vast zand ($Re < 0,75$) liggen de resultaten op of boven de gebruikte methode. Een aanpassing van de methode naar beneden is niet nodig. Voor een aanpassing van de methode naar boven wordt het aantal proefresultaten bij lage dichtheden onvoldoende geacht.

Bij vast en zeer vast zand ($Re > 0,75$) liggen de resultaten onder de empirische lijn.

7.2 Conclusie

Gezien deze bevindingen wordt geconcludeerd dat de methode die nu wordt toegepast om het risico op verweking tijdens een aardbeving (EERI MNO-12) niet aangepast hoeft te worden.

7.3 Aanbevelingen

Onderzoek naar de verwekingsgevoeligheid van zand is zeer complex en afhankelijk van vele factoren van monsternamen en beproeving. Om tot een nadere validatie te komen wordt aanbevolen in situ onderzoek te doen zodat natuurlijke omstandigheden zo dicht mogelijk benaderd worden. Het wordt dan ook sterk aanbevolen om in Groningen een aantal verticale arrays te installeren waar zowel de trillingen als het verloop van de waterspanningen op verschillende diepten wordt gemeten. De resultaten kunnen dan worden gebruikt voor het valideren en verbeteren van de bestaande modellen voor responsie berekeningen en verwekingsstudies.

Het is onzeker of ter plaatse van een van de meetarrays een zware aardbeving zal optreden. Daarom wordt tevens aanbevolen om een onderzoek uit te voeren waarbij in-situ een situatie van verweking wordt gecreëerd, en daarmee het gedrag van de ondergrond te meten. Deze meting dient daarna tevens als validatie van rekenmethoden.

Bij het optreden van aardbevingen met versnellingen hoger dan circa 0,1 a 0,2 g is het zeer belangrijk alert te zijn op mogelijke tekenen van verweking en deze gevallen van zichtbare verweking te inspecteren, documenteren en rapporteren. Tekenen van verweking zijn bijvoorbeeld het ontstaan van zandkraters (uitstromen van verweekt zand uit de ondergrond) en (kleine) afschuivingen.

Voor meer fundamenteel onderzoek naar de opbouw van wateroverspanningen en mogelijke verweking tijdens geïnduceerde bevingen zijn de overige mogelijke sporen:

- Valideren en toepassen van geavanceerde grondmodellen in EEM berekeningen.
- Onderzoek naar het steken van echt ongeroerde monsters

Het onderzoek naar mogelijkheden om echt ongeroerde monsters te nemen is van belang om de huidige empirische methoden te kunnen valideren met gecontroleerde metingen.

Referenties

[Bardet et al 2000]

Bardet, J.P., Ichii, K., Lin, C. H.

EERA A Computer Program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits

University of Southern California, Department of Civil Engineering, August 2000

[Idriss, Boulanger 2008]

Idriss, I.M., Boulanger, R.W.

Soil liquefaction during earthquakes

Monograph EERI MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, 2008

[Ishihara 1985]

Ishihara, K.,

Stability of natural deposits during earthquakes

Proc. 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. San Francisco, Vol. 2. pp. 321-376

[Lubking 1997]

Lubking, P.

BAGT 569 - Soft Soil Correlaties

Grondmechanica Delft, rapport C0374590, december 1997

[Lunne, Christoffersen 1985]

Lunne, T., Christoffersen, H.P.,

Interpretation of cone penetrometer data for offshore sands

Paper OTC 4464, Proceedings Offshore Technology Conference, mei 1983

[Rahman, Jaber 1986]

Rahman, M.S., Jaber, W.Y.,

A simplified drained analysis for wave-induced liquefaction in ocean floor sands

Soils and Foundations, Vol. 26, No. 3, Sept. 1986, pp 57-68

[Youd et al 2001]

Youd, T., Idriss, I., Andrus, R., Arango, I., Castro, G., Christian, J., Dobry, R., Finn, W., Harder, L., Jr., Hynes, M., Ishihara, K., Koester, J., Liao, S., Marcuson, W., III, Martin, G., Mitchell, J., Moriwaki, Y., Power, M., Robertson, P., Seed, R., and Stokoe, K., II (2001).

Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998

NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. J. Geotech.

Geoenviron. Eng. , 127 (10), 817–833

BIJLAGE A CLASSIFICATIE PROEVEN

Boringcode	Monstercode	Diepte		Grondbeschrijving	Min/max dichtheid	
		van [m - MV]	tot [m - MV]		$\rho_{d \text{ min}}$ [g/cm ³]	$\rho_{d \text{ max}}$ [g/cm ³]
B1-Woltersum	B1-st4AA	-7.20	-7.33	Zand, sterk siltig	1.42	1.83
	B1-st4BA	-7.33	-7.46	Zand, sterk siltig	1.42	1.85

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

Gasbevingen

Labwerk

TABLAB [blad 1/1]

datum	2013-10-28	get.	hsd
project	1208624.013	gez.	*)
bijlage	A3	form.	A4

Boringcode	Monstercode	Diepte		Grondbeschrijving	Min/max dichtheid	
		van [m - MV]	tot [m - MV]		$\rho_{d\ min}$ [g/cm ³]	$\rho_{d\ max}$ [g/cm ³]
B2-tZandt	B2-st4AA	-2.20	-2.35	Zand, matig siltig, schelgruis, schelpresten	1.21	1.58
	B2-st5AA	-2.60	-2.75	Zand, matig siltig, schelpresten, schelgruis	1.23	1.58
	B2-st10AA	-7.83	-7.98	Zand, matig siltig	1.16	1.46
	B2-st11AA	-8.14	-8.29	Zand, matig siltig	1.30	1.60

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

Gasbevingen

Labwerk

TABLAB [blad 1/1]

datum	2013-10-08	get.	hsd
project	1208624.013	gez.	*)
bijlage	A1	form.	A4

Boringcode	Monstercode	Diepte		Grondbeschrijving	Min/max dichtheid	
		van [m - MV]	tot [m - MV]		$\rho_{d\ min}$ [g/cm ³]	$\rho_{d\ max}$ [g/cm ³]
B2-tZandt	B2-st3AA	-1.85	-2.00	Zand, sterk siltig, met kleistukjes en weinig schelpgruis.	1.20	1.56
	B2-st6AA	-6.00	-6.15	Zand, sterk siltig, kleistukjes.	1.10	1.49
	B2-st8AA	-6.92	-7.07	Zand, matig siltig, met een enkele schelprest.	1.30	1.63
	B2-st9AA	-7.38	-7.53	Zand, sterk siltig, weinig schelpresten.	1.25	1.62

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

Gasbevingen

Labwerk

TABLAB [blad 1/1]

datum	2013-10-17	get.	hsd
project	1208624.013	gez.	*)
bijlage	A2	form.	A4

Boringcode	Monstercode	Diepte		Grondbeschrijving	Min/max dichtheid	
		van [m – MV]	tot [m – MV]		$\rho_{d\ min}$ [g/cm ³]	$\rho_{d\ max}$ [g/cm ³]
B2-tZandt	meng_st1_t..	-1.00	-8.40	Zand, sterk siltig	1.22	1.57

Deltares

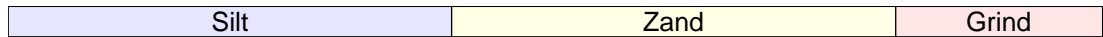
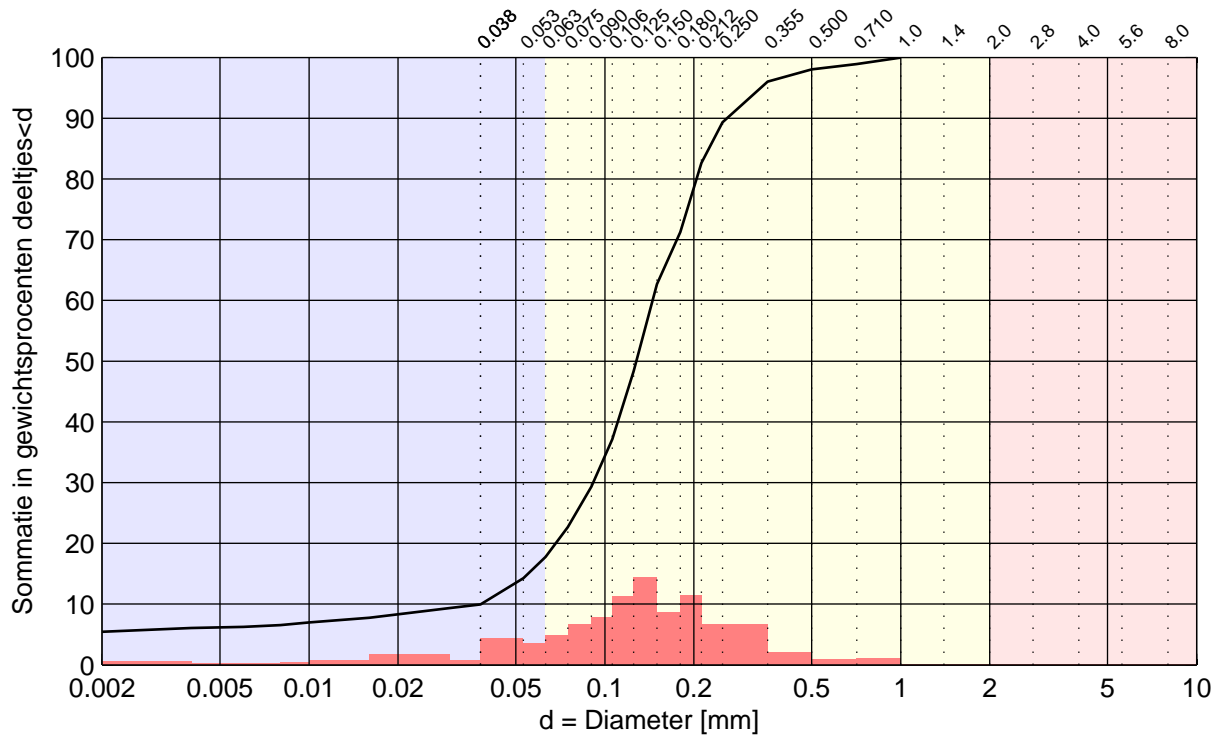
Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

Gasbevingen
Labwerk
TABLAB [blad 1/1]

datum	2013-10-22	get.	hsd
project	1208624.013	gez.	*)
bijlage	-	form.	A4



Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.038
d_{15} [mm]	0.055
d_{50} [mm]	0.128
d_{60} [mm]	0.145
d_{60}/d_{10} [-]	3.8
d_{90}/d_{10} [-]	6.8
C_c [-]	1.51
M_{63} [μm]	136
M_{2000} [mm]	-
D_m [mm]	0.135
F_m [-]	0.64
U [-]	-

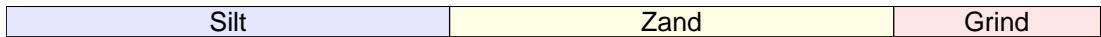
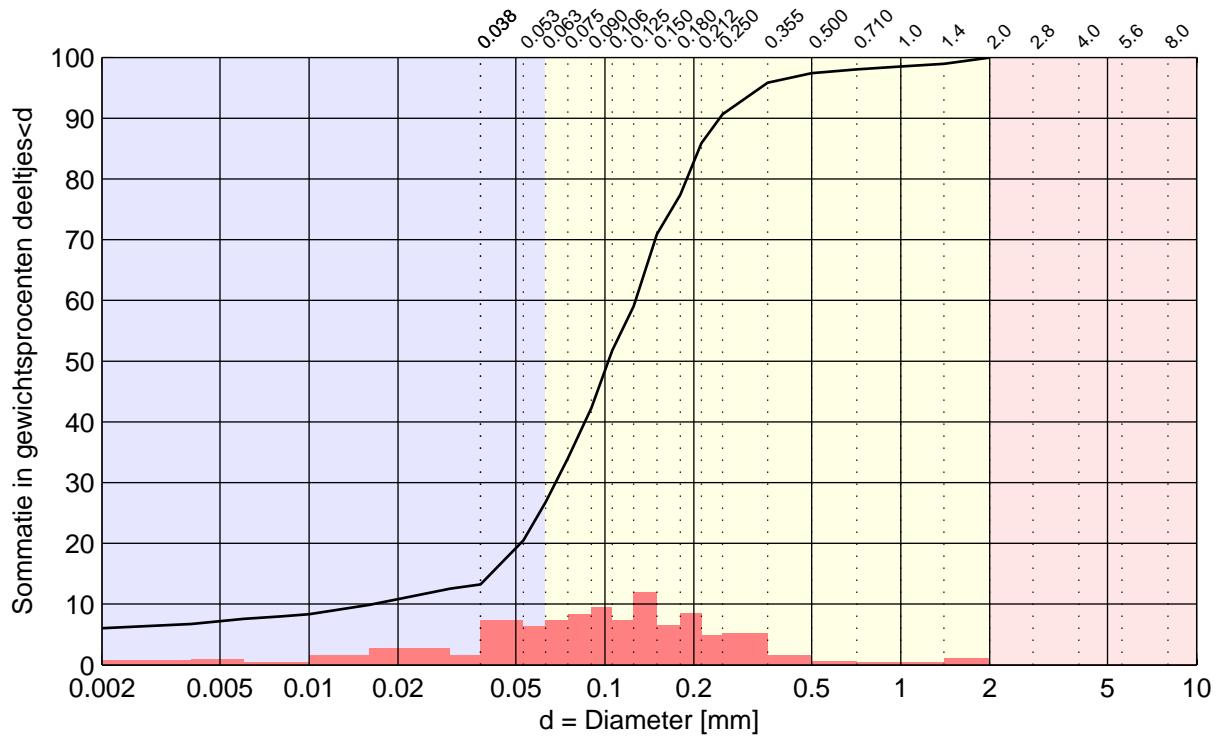
Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	B1-Woltersum	B1-st4A	-7.2 - -7.33

Fijne fractie		Zandzeving: 81.45 g				Grind fractie: 0...	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	71.2	-	-
0.001	5.0	0.038	9.9	0.212	82.6	2.8	-
0.002	5.5	0.053	14.3	0.250	89.3	4.0	-
0.004	6.0	0.063	17.8	0.355	96.0	5.6	-
0.006	6.2	0.075	22.7	0.500	98.1	8.0	-
0.008	6.5	0.090	29.3	0.710	98.9	11.2	-
0.010	7.0	0.106	37.2	1.0	100.0	16.0	-
0.016	7.7	0.125	48.3	1.4	-	31.5	-
0.030	9.4	0.150	62.7	2.0	-	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
 Beschrijving volgens NEN5104: Zand, sterk siltig
 Volumieke massa $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Aangenomen waarde
 Methode: Deltares
 Bepaling fijne fractie: sedigraph
 Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
 Analyse uitgevoerd door: Deltares
 Boormethode: Ackermann boring
 Mengmonster: nee

Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Gasbevingen Labwerk KORRELVERDELING B1 - st4A	Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821	Homepage: www.deltares.nl	datum 2013-10-28	get. hsd	
				project 1208624.013	gez. *)
				bijlage KB1-st4A	form. A4



Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.017
d_{15} [mm]	0.041
d_{50} [mm]	0.103
d_{60} [mm]	0.127
d_{60}/d_{10} [-]	7.7
d_{90}/d_{10} [-]	14.7
C_c [-]	2.21
M_{63} [μ m]	118
M_{2000} [mm]	-
D_m [mm]	0.115
F_m [-]	0.54
U [-]	-

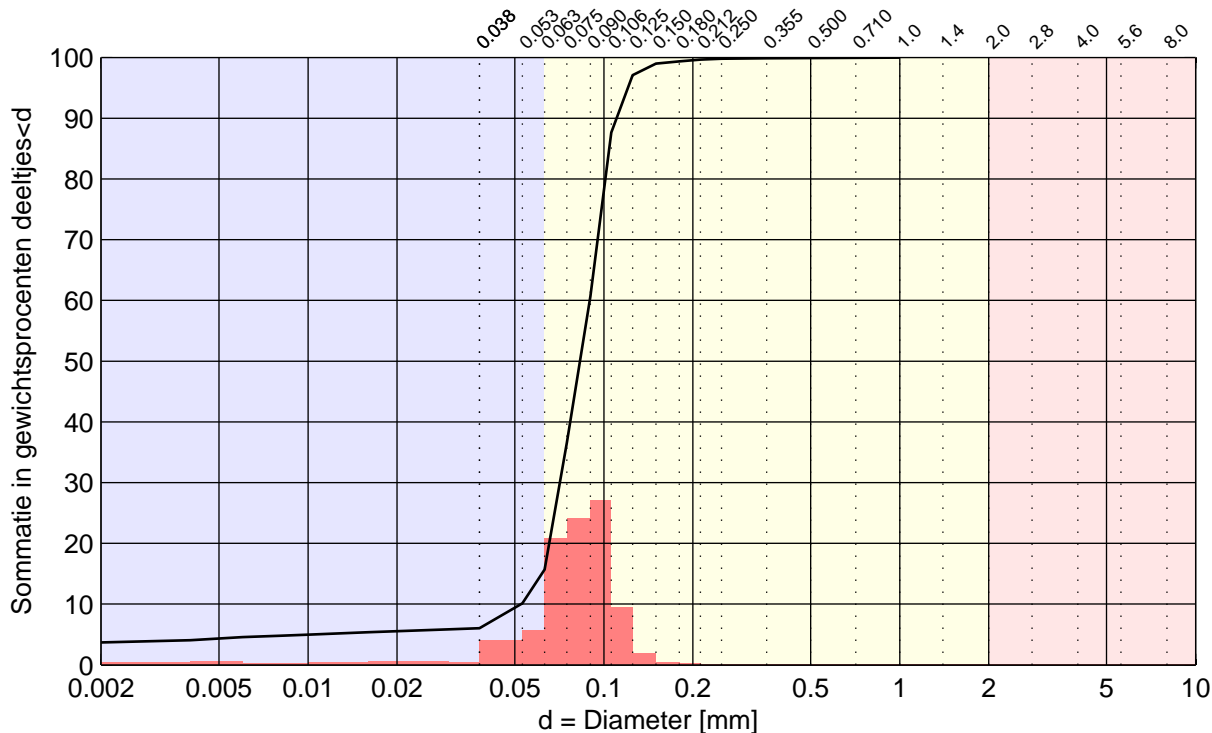
Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	B1-Woltersum	B1-st4B	-7.33 – -7.46

Fijne fractie		Zandzeving: 73.34 g				Grind fractie: 0...	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	77.4	-	-
0.001	5.4	0.038	13.2	0.212	85.9	2.8	-
0.002	6.0	0.053	20.5	0.250	90.7	4.0	-
0.004	6.7	0.063	26.8	0.355	95.8	5.6	-
0.006	7.6	0.075	34.0	0.500	97.4	8.0	-
0.008	8.0	0.090	42.3	0.710	98.0	11.2	-
0.010	8.3	0.106	51.8	1.0	98.5	16.0	-
0.016	9.9	0.125	59.0	1.4	99.0	31.5	-
0.030	12.5	0.150	70.9	2.0	100.0	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
 Beschrijving volgens NEN5104: Zand, sterk siltig
 Volumieke massa 2.65×10^3 kg/m³. Aangenomen waarde
 Methode: Deltares
 Bepaling fijne fractie: sedigraph
 Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
 Analyse uitgevoerd door: Deltares
 Boormethode: Ackermann boring
 Mengmonster: nee

Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Gasbevingen Labwerk KORRELVERDELING B1- st4B	Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821	Homepage: www.deltares.nl	datum 2013-10-28	get. hsd	
				project 1208624.013	gez. *)
				bijlage KB1-st4B	form. A4



Silt	Zand	Grind
------	------	-------

Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.053
d_{15} [mm]	0.062
d_{50} [mm]	0.083
d_{60} [mm]	0.090
d_{60}/d_{10} [-]	1.7
d_{90}/d_{10} [-]	2.1
C_c [-]	1.07
M_{63} [μm]	85
M_{2000} [mm]	-
D_m [mm]	0.083
F_m [-]	0.03
U [-]	-

Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	B2-tZandt	B2-st3A	-1.85 - -2

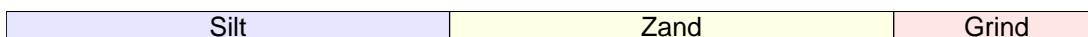
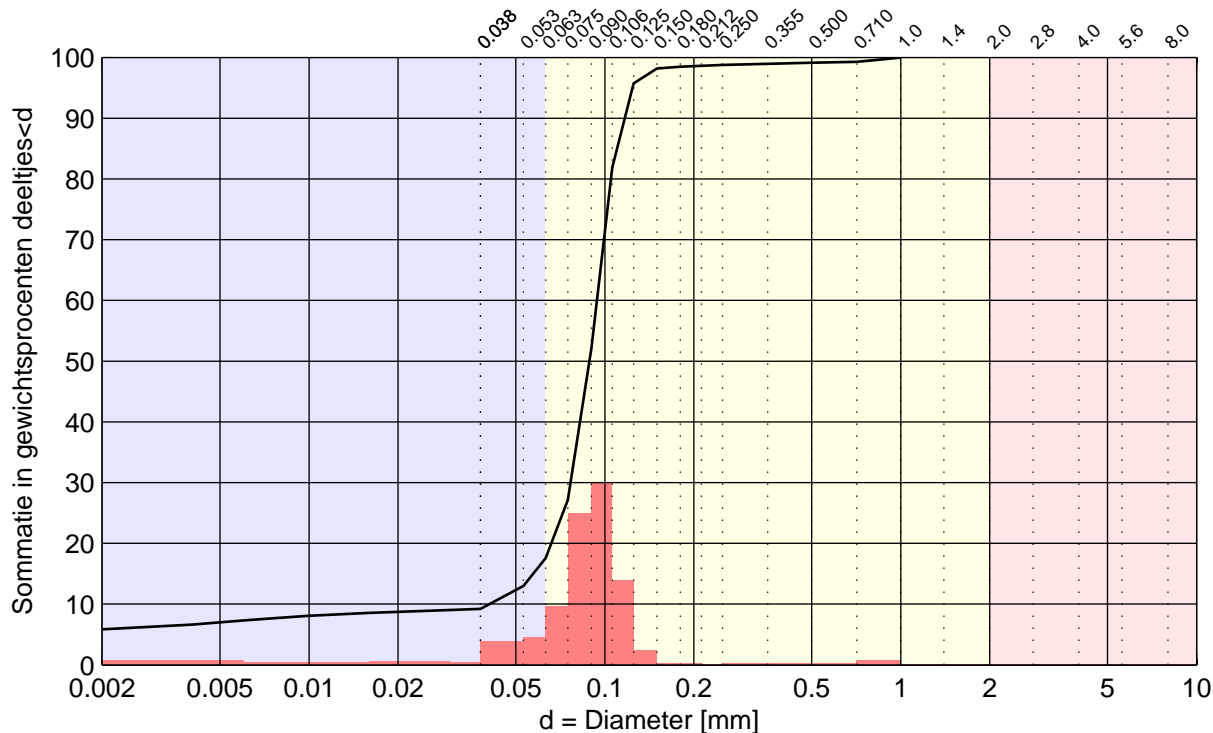
Fijne fractie		Zandzeving: 82.22 g				Grind fractie: 0...	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	99.4	-	-
0.001	3.2	0.038	6.0	0.212	99.6	2.8	-
0.002	3.7	0.053	10.1	0.250	99.8	4.0	-
0.004	4.1	0.063	15.7	0.355	99.9	5.6	-
0.006	4.5	0.075	36.5	0.500	99.9	8.0	-
0.008	4.8	0.090	60.7	0.710	100.0	11.2	-
0.010	4.9	0.106	87.7	1.0	100.0	16.0	-
0.016	5.3	0.125	97.1	1.4	-	31.5	-
0.030	5.8	0.150	99.0	2.0	-	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
 Beschrijving volgens NEN5104: Zand, matig siltig
 Volumieke massa $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Aangenomen waarde
 Methode: Deltares
 Bepaling fijne fractie: sedigraph
 Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
 Analyse uitgevoerd door: Deltares
 Boormethode: Ackermann boring
 Mengmonster: nee

Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Gasbevingen Labwerk KORRELVERDELING B2-st3A	Telefoon 088 335 7200	Homepage: www.deltares.nl	datum 2013-10-28	get. hsd
	Telefax 015 261 0821		project 1208624.013	gez. *)
			bijlage KB2-st3A	form. A4

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-11-01



Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.041
d_{15} [mm]	0.057
d_{50} [mm]	0.089
d_{60} [mm]	0.094
d_{60}/d_{10} [-]	2.3
d_{90}/d_{10} [-]	2.9
C_c [-]	1.53
M_{63} [μm]	91
M_{2000} [mm]	-
D_m [mm]	0.085
F_m [-]	0.06
U [-]	-

Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	B2-tZandt	B2-st4A	-2.2 - -2.35

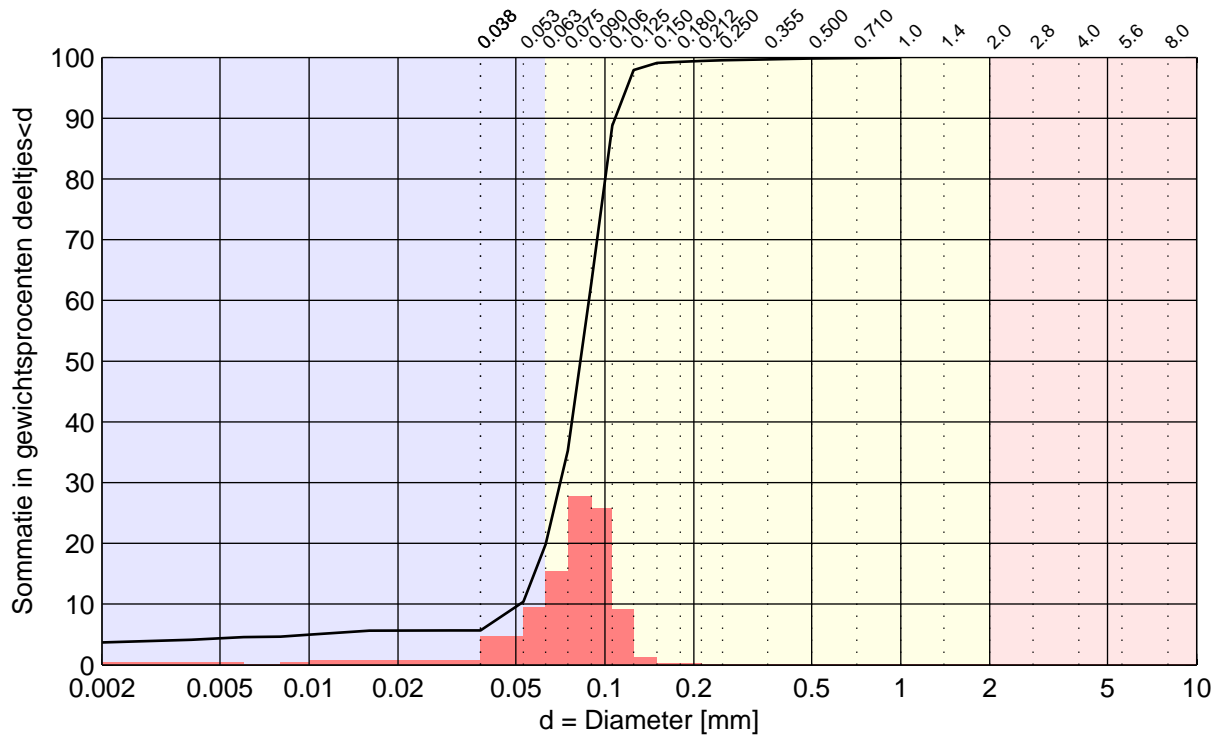
Fijne fractie		Zandzeving: 86.99 g				Grind fractie: 0...	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	98.5	-	-
0.001	4.9	0.038	9.2	0.212	98.6	2.8	-
0.002	5.8	0.053	13.0	0.250	98.8	4.0	-
0.004	6.6	0.063	17.5	0.355	98.9	5.6	-
0.006	7.3	0.075	27.1	0.500	99.1	8.0	-
0.008	7.8	0.090	52.1	0.710	99.3	11.2	-
0.010	8.1	0.106	81.9	1.0	100.0	16.0	-
0.016	8.5	0.125	95.7	1.4	-	31.5	-
0.030	9.0	0.150	98.2	2.0	-	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
 Beschrijving volgens NEN5104: Zand, sterk siltig
 Volumieke massa $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Aangenomen waarde
 Methode: Deltares
 Bepaling fijne fractie: sedigraph
 Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
 Analyse uitgevoerd door: Deltares
 Boormethode: Ackermann boring
 Mengmonster: nee

Deltares Gasbevingen Labwerk KORRELVERDELING	Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821	Homepage: www.deltares.nl	datum 2013-10-09	get. hsd	
					project 1208624.013	gez. *)
					bijlage KB2-st4A	form. A4

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-10-10



Silt	Zand	Grind
------	------	-------

Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.052
d_{15} [mm]	0.058
d_{50} [mm]	0.083
d_{60} [mm]	0.088
d_{60}/d_{10} [-]	1.7
d_{90}/d_{10} [-]	2.1
C_c [-]	1.10
M_{63} [μ m]	84
M_{2000} [mm]	-
D_m [mm]	0.082
F_m [-]	0.03
U [-]	-

Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	B2-tZandt	B2-st5A	-2.6 - -2.75

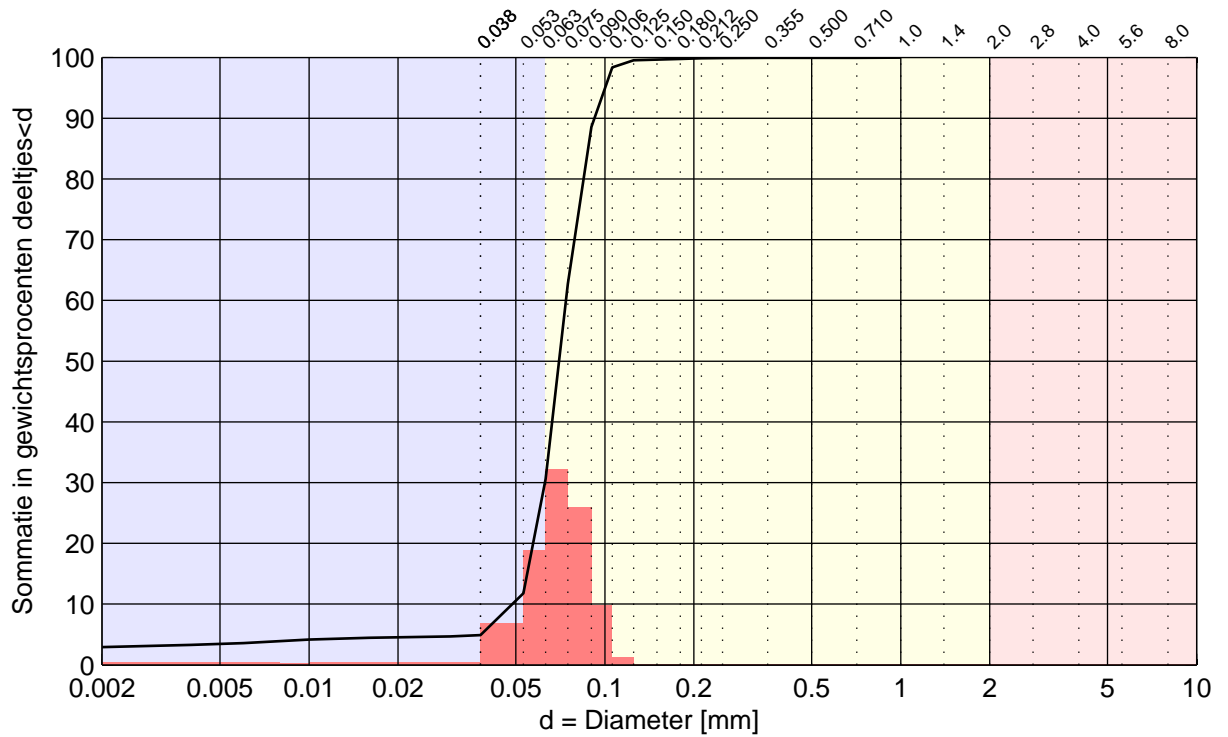
Fijne fractie		Zandzeving: 96.47 g				Grind fractie: 0...	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	99.3	-	-
0.001	3.1	0.038	5.6	0.212	99.4	2.8	-
0.002	3.7	0.053	10.4	0.250	99.5	4.0	-
0.004	4.1	0.063	19.8	0.355	99.7	5.6	-
0.006	4.5	0.075	35.3	0.500	99.8	8.0	-
0.008	4.6	0.090	63.0	0.710	99.9	11.2	-
0.010	4.9	0.106	88.8	1.0	100.0	16.0	-
0.016	5.6	0.125	97.9	1.4	-	31.5	-
0.030	5.6	0.150	99.1	2.0	-	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
 Beschrijving volgens NEN5104: Zand, sterk siltig
 Volumieke massa 2.65×10^3 kg/m³. Aangenomen waarde
 Methode: Deltares
 Bepaling fijne fractie: sedigraph
 Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
 Analyse uitgevoerd door: Deltares
 Boormethode: Ackermann boring
 Mengmonster: nee

Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Gasbevingen Labwerk KORRELVERDELING	Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821	Homepage: www.deltares.nl	datum 2013-10-09	get. hsd	
				project 1208624.013	gez. *)
				bijlage KB2-st5A	form. A4

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-10-18



Silt	Zand	Grind
------	------	-------

Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.049
d_{15} [mm]	0.055
d_{50} [mm]	0.070
d_{60} [mm]	0.074
d_{60}/d_{10} [-]	1.5
d_{90}/d_{10} [-]	1.9
C_c [-]	1.09
M_{63} [μm]	71
M_{2000} [mm]	-
D_m [mm]	0.071
F_m [-]	0.01
U [-]	-

Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	B2-tZandt	B2-st6A	-6 - -6.15

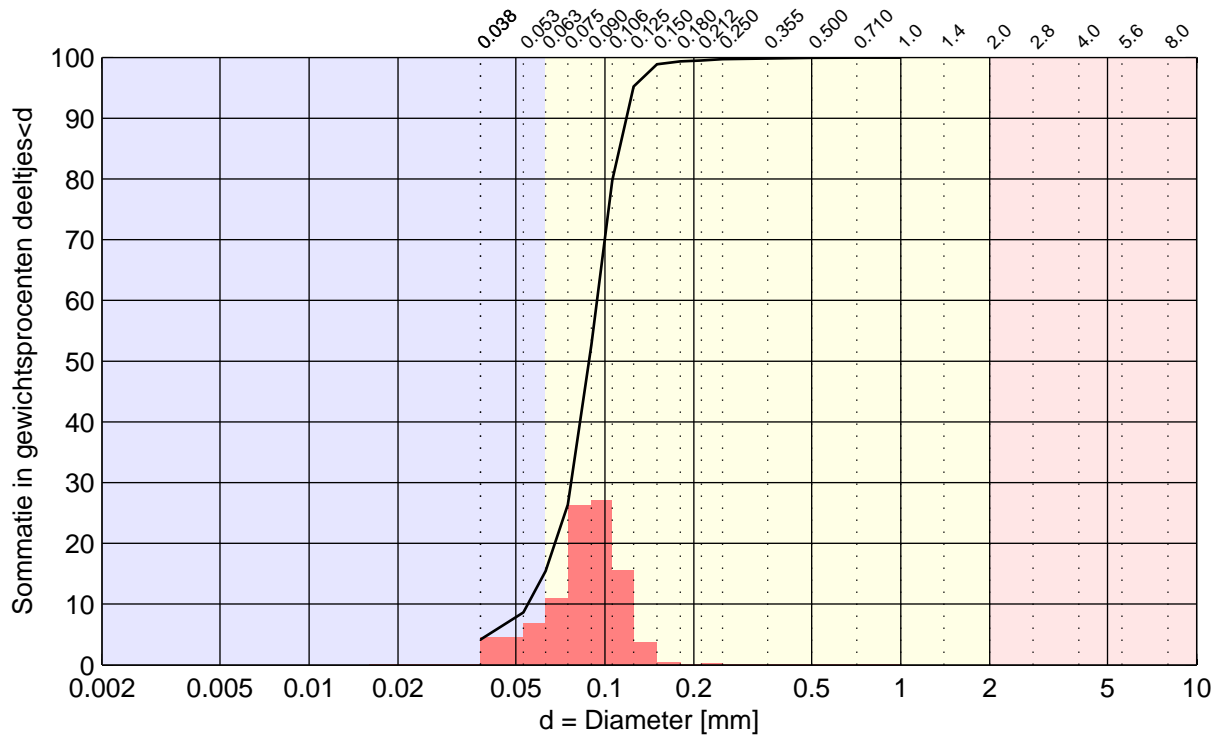
Fijne fractie		Zandzeving: 88.28 g				Grind fractie: 0...	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	99.8	-	-
0.001	2.3	0.038	4.9	0.212	99.9	2.8	-
0.002	2.9	0.053	11.8	0.250	99.9	4.0	-
0.004	3.3	0.063	30.6	0.355	99.9	5.6	-
0.006	3.6	0.075	62.7	0.500	99.9	8.0	-
0.008	3.9	0.090	88.6	0.710	100.0	11.2	-
0.010	4.1	0.106	98.4	1.0	100.0	16.0	-
0.016	4.4	0.125	99.5	1.4	-	31.5	-
0.030	4.7	0.150	99.7	2.0	-	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
 Beschrijving volgens NEN5104: Zand, sterk siltig
 Volumieke massa $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Aangenomen waarde
 Methode: Deltares
 Bepaling fijne fractie: Geen
 Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
 Analyse uitgevoerd door: Deltares
 Boormethode: Ackermann boring
 Mengmonster: nee

Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Gasbevingen Labwerk KORRELVERDELING B2 - st6A	Telefoon 088 335 7200	Homepage: www.deltares.nl	datum 2013-10-28	get. hsd
	Telefax 015 261 0821		project 1208624.013	gez. *)
			bijlage KB2-st6A	form. A4

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-11-01



Silt	Zand	Grind
------	------	-------

Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.055
d_{15} [mm]	0.062
d_{50} [mm]	0.088
d_{60} [mm]	0.094
d_{60}/d_{10} [-]	1.7
d_{90}/d_{10} [-]	2.2
C_c [-]	1.15
M_{63} [μm]	90
M_{2000} [mm]	-
D_m [mm]	0.088
F_m [-]	0.05
U [-]	119.2

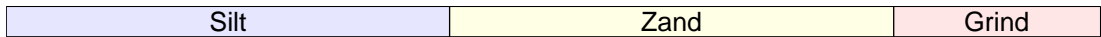
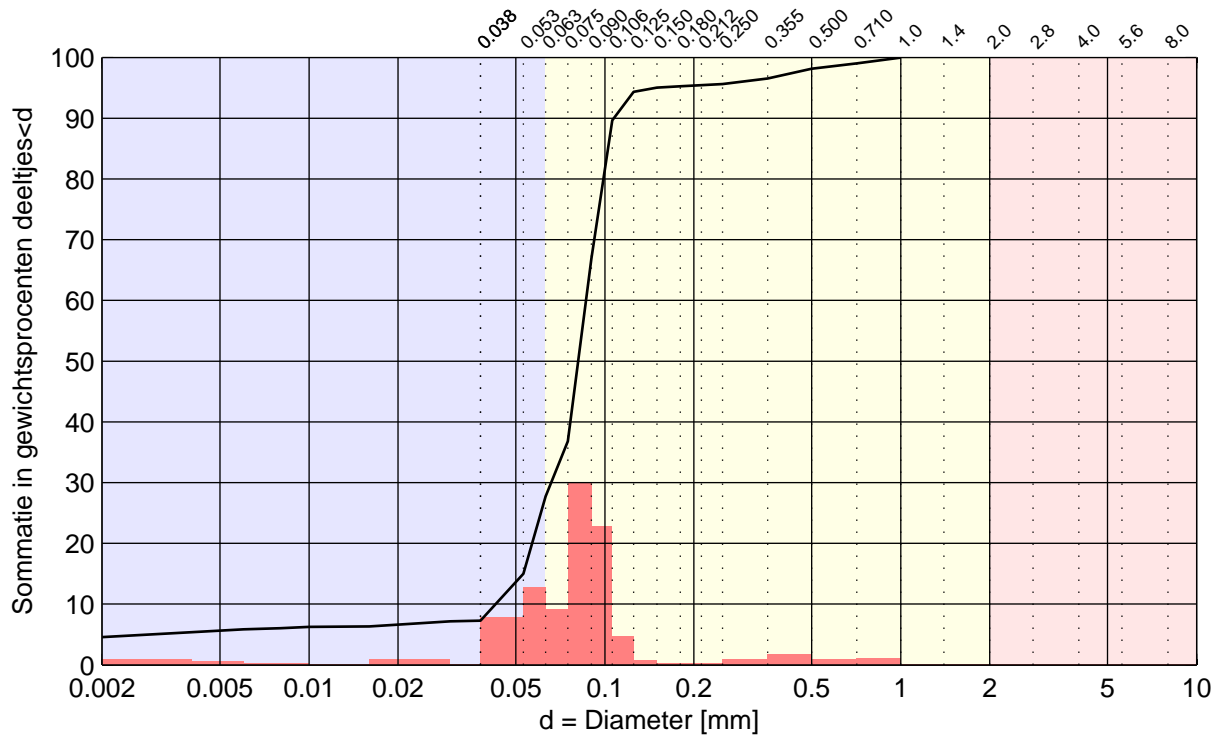
Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	B2-tZandt	B2-st8A	-6.92 – -7.07

Fijne fractie		Zandzeving: 84.13 g				Grind fractie: 0...	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	99.3	-	-
0.001	-	0.038	4.2	0.212	99.5	2.8	-
0.002	-	0.053	8.6	0.250	99.7	4.0	-
0.004	-	0.063	15.4	0.355	99.8	5.6	-
0.006	-	0.075	26.4	0.500	100.0	8.0	-
0.008	-	0.090	52.7	0.710	100.0	11.2	-
0.010	-	0.106	79.8	1.0	100.0	16.0	-
0.016	-	0.125	95.2	1.4	-	31.5	-
0.030	-	0.150	98.9	2.0	-	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
Beschrijving volgens NEN5104: Zand, matig siltig
Volumieke massa $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Aangenomen waarde
Methode: Deltares
Bepaling fijne fractie: Geen
Bepaling grove fractie: droge zeving

Commentaar
Analyse uitgevoerd door: Deltares
Boormethode: Ackermann boring
Mengmonster: nee

Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Gasbevingen Labwerk KORRELVERDELING B2- ST8A	Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821	Homepage: www.deltares.nl	datum 2013-10-28	get. hsd	
				project 1208624.013	gez. *)
				bijlage KB2-st8A	form. A4



Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.043
d_{15} [mm]	0.053
d_{50} [mm]	0.081
d_{60} [mm]	0.086
d_{60}/d_{10} [-]	2.0
d_{90}/d_{10} [-]	2.5
C_c [-]	1.17
M_{63} [μm]	83
M_{2000} [mm]	-
D_m [mm]	0.079
F_m [-]	0.12
U [-]	-

Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	B2-tZandt	B2-st9A	-7.38 – -7.53

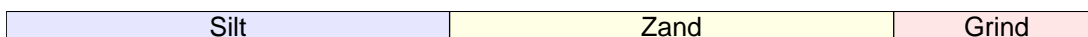
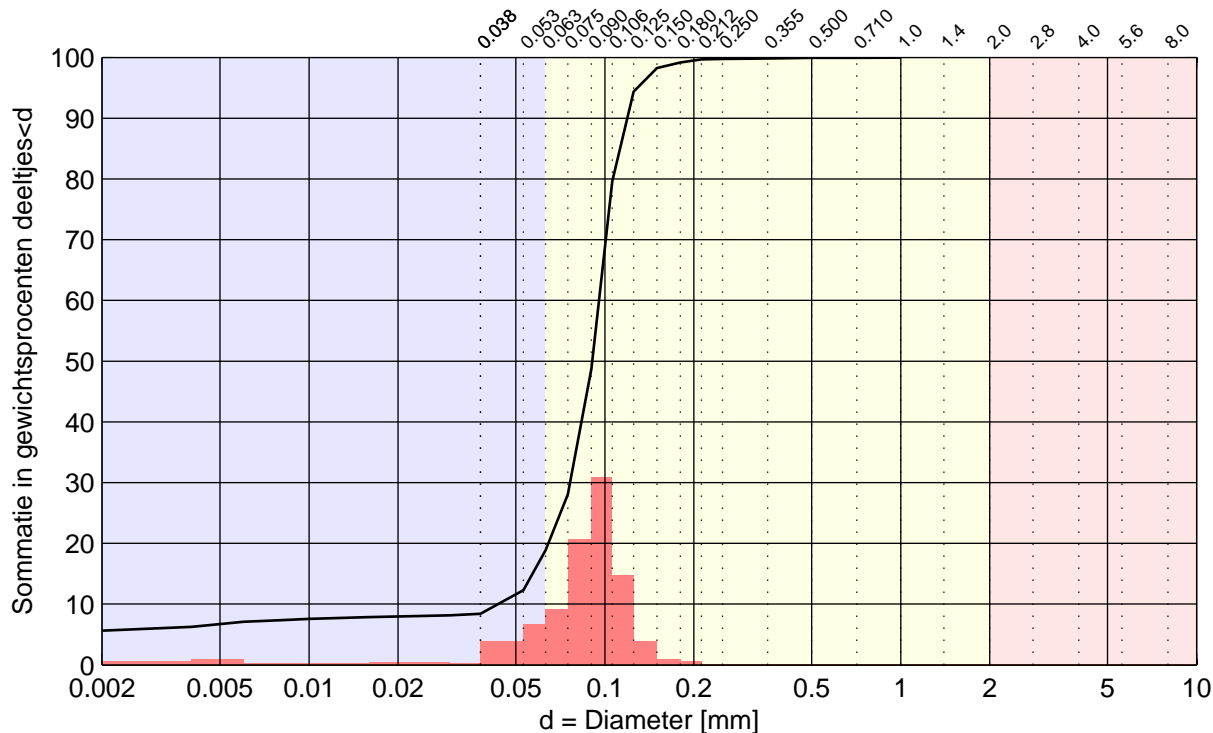
Fijne fractie		Zandzeving: 83.47 g				Grind fractie: 0...	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	95.2	-	-
0.001	4.1	0.038	7.3	0.212	95.4	2.8	-
0.002	4.6	0.053	15.0	0.250	95.6	4.0	-
0.004	5.4	0.063	27.7	0.355	96.5	5.6	-
0.006	5.8	0.075	36.8	0.500	98.2	8.0	-
0.008	6.0	0.090	66.9	0.710	99.0	11.2	-
0.010	6.2	0.106	89.6	1.0	100.0	16.0	-
0.016	6.3	0.125	94.3	1.4	-	31.5	-
0.030	7.2	0.150	95.1	2.0	-	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
 Beschrijving volgens NEN5104: Zand, sterk siltig
 Volumieke massa $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Aangenomen waarde
 Methode: Deltares
 Bepaling fijne fractie: sedigraph
 Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
 Analyse uitgevoerd door: Deltares
 Boormethode: Ackermann boring
 Mengmonster: nee

Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Gasbevingen Labwerk KORRELVERDELING B2 – st9A	Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821	Homepage: www.deltares.nl	datum 2013-10-28	get. hsd	
				project 1208624.013	gez. *)
				bijlage KB2-st9A	form. A4

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-11-01



Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.044
d_{15} [mm]	0.057
d_{50} [mm]	0.091
d_{60} [mm]	0.096
d_{60}/d_{10} [-]	2.2
d_{90}/d_{10} [-]	2.7
C_c [-]	1.40
M_{63} [μm]	93
M_{2000} [mm]	-
D_m [mm]	0.087
F_m [-]	0.06
U [-]	-

Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	B2-tZandt	B2-st10A	-7.83 – -7.98

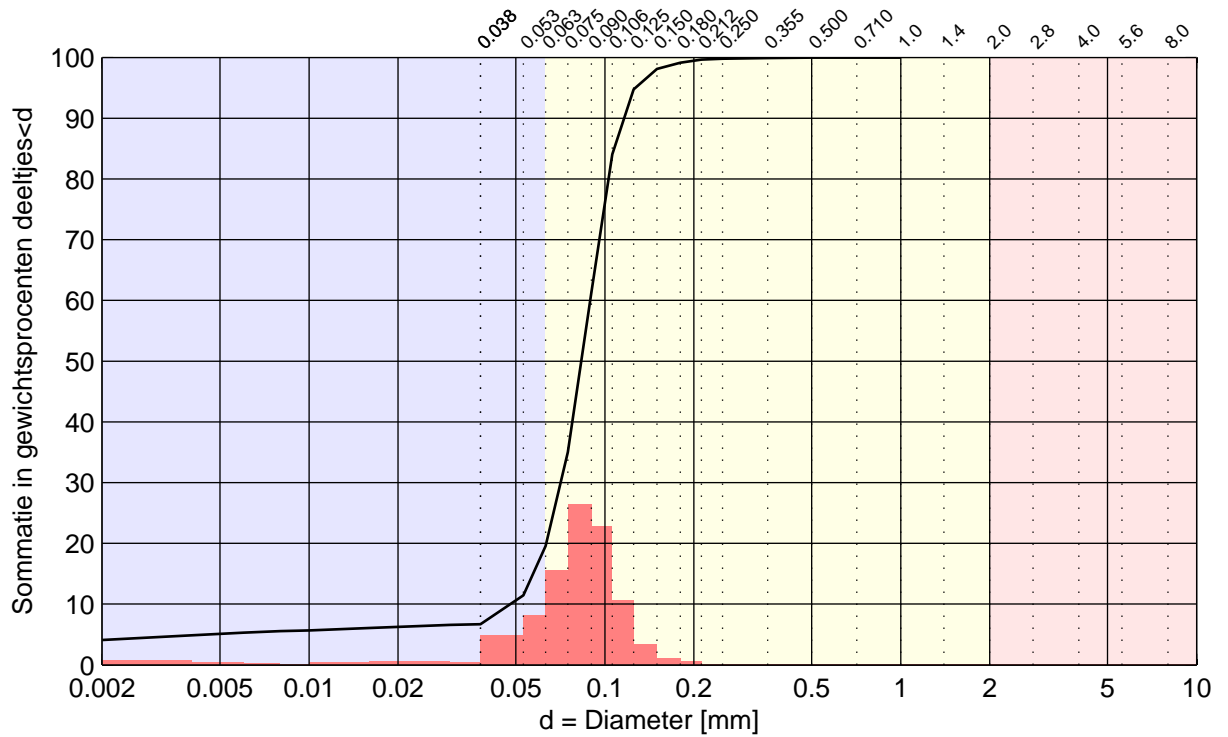
Fijne fractie		Zandzeving: 98.70 g				Grind fractie: 0...	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	99.2	-	-
0.001	5.0	0.038	8.4	0.212	99.7	2.8	-
0.002	5.6	0.053	12.3	0.250	99.7	4.0	-
0.004	6.2	0.063	18.9	0.355	99.8	5.6	-
0.006	7.1	0.075	28.0	0.500	99.9	8.0	-
0.008	7.3	0.090	48.7	0.710	100.0	11.2	-
0.010	7.6	0.106	79.6	1.0	100.0	16.0	-
0.016	7.8	0.125	94.4	1.4	-	31.5	-
0.030	8.2	0.150	98.2	2.0	-	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
 Beschrijving volgens NEN5104: Zand, sterk siltig
 Volumieke massa $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Aangenomen waarde
 Methode: Deltares
 Bepaling fijne fractie: sedigraph
 Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
 Analyse uitgevoerd door: Deltares
 Boormethode: Ackermann boring
 Mengmonster: nee

Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821	Homepage: www.deltares.nl	datum	get.
			2013-10-09	hsd
			project	gez.
Gasbevingen Labwerk KORRELVERDELING			1208624.013	*)
			bijlage	form.
			KB2-st10A	A4

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-10-18



Silt	Zand	Grind
------	------	-------

Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.048
d_{15} [mm]	0.057
d_{50} [mm]	0.083
d_{60} [mm]	0.089
d_{60}/d_{10} [-]	1.9
d_{90}/d_{10} [-]	2.4
C_c [-]	1.18
M_{63} [μm]	85
M_{2000} [mm]	-
D_m [mm]	0.083
F_m [-]	0.06
U [-]	-

Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	B2-tZandt	B2-st11A	-8.14 – -8.29

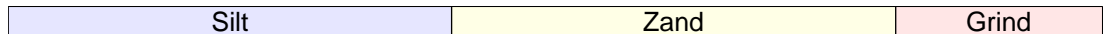
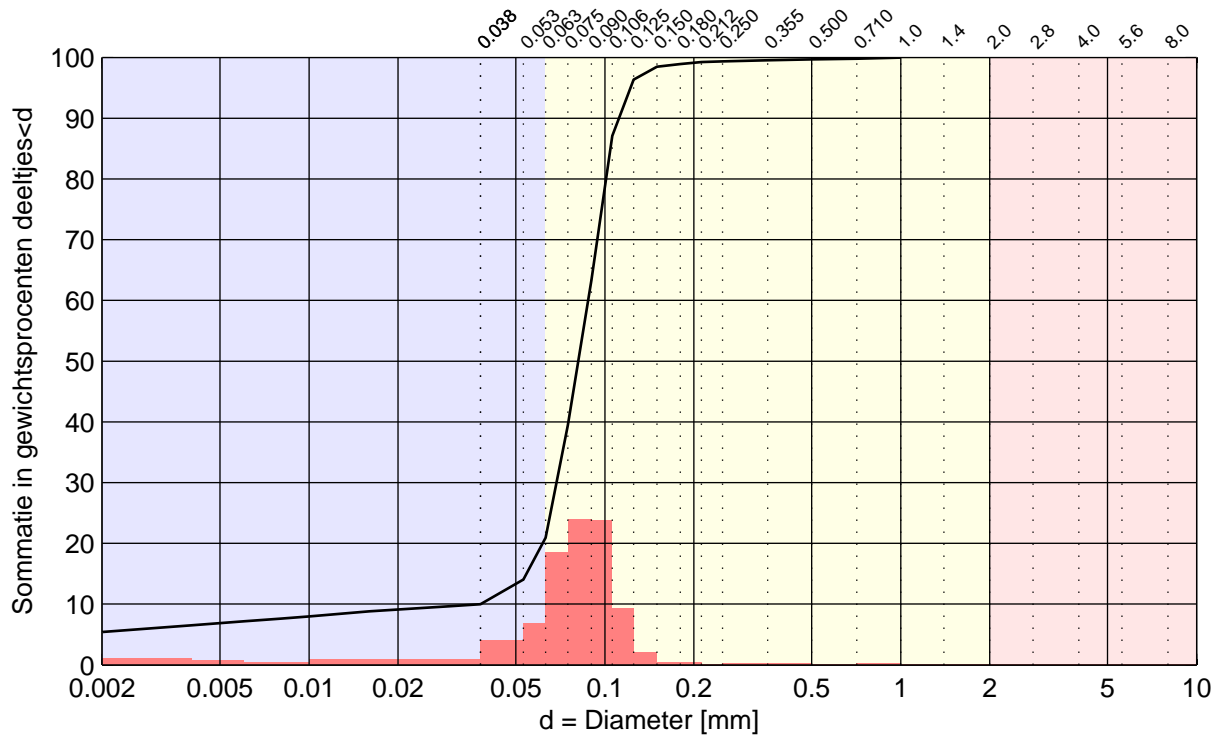
Fijne fractie		Zandzeving: 99.88 g				Grind fractie: 0...	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	99.1	-	-
0.001	3.4	0.038	6.7	0.212	99.7	2.8	-
0.002	4.1	0.053	11.5	0.250	99.8	4.0	-
0.004	4.9	0.063	19.6	0.355	99.9	5.6	-
0.006	5.3	0.075	35.0	0.500	100.0	8.0	-
0.008	5.5	0.090	61.3	0.710	100.0	11.2	-
0.010	5.7	0.106	84.1	1.0	100.0	16.0	-
0.016	6.1	0.125	94.7	1.4	-	31.5	-
0.030	6.6	0.150	98.1	2.0	-	63.0	-

Beschrijving proefuitvoering
 Beschrijving volgens NEN5104: Zand, sterk siltig
 Volumieke massa $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Aangenomen waarde
 Methode: Deltares
 Bepaling fijne fractie: sedigraph
 Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
 Analyse uitgevoerd door: Deltares
 Boormethode: Ackermann boring
 Mengmonster: nee

Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Gasbevingen Labwerk KORRELVERDELING	Telefoon 088 335 7200	Homepage: www.deltares.nl	datum 2013-10-09	get. hsd
	Telefax 015 261 0821		project 1208624.013	gez. *)
			bijlage KB2-st11A	form. A4

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-10-18



Kengetal	Waarde
d_{10} [mm]	0.038
d_{15} [mm]	0.054
d_{50} [mm]	0.081
d_{60} [mm]	0.088
d_{60}/d_{10} [-]	2.3
d_{90}/d_{10} [-]	2.9
C_c [-]	1.41
M_{63} [μm]	84
M_{2000} [mm]	-
D_m [mm]	0.080
F_m [-]	0.05
U [-]	-

Legenda	Boring	Monster	Diepte t.o.v. ma..
—	B2-tZandt	meng_st1_tm_st..	-1 - -8.4

Fijne fractie		Zandzeving: 100.73 g				Grind fractie: 0...	
d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%	d [mm]	%
-	-	-	-	0.180	98.9	-	-
0.001	4.6	0.038	10.0	0.212	99.3	2.8	-
0.002	5.4	0.053	14.0	0.250	99.4	4.0	-
0.004	6.5	0.063	20.9	0.355	99.5	5.6	-
0.006	7.1	0.075	39.4	0.500	99.7	8.0	-
0.008	7.6	0.090	63.3	0.710	99.8	11.2	-
0.010	7.9	0.106	87.1	1.0	100.0	16.0	-
0.016	8.8	0.125	96.4	1.4	-	31.5	-
0.030	9.6	0.150	98.5	2.0	-	63.0	-

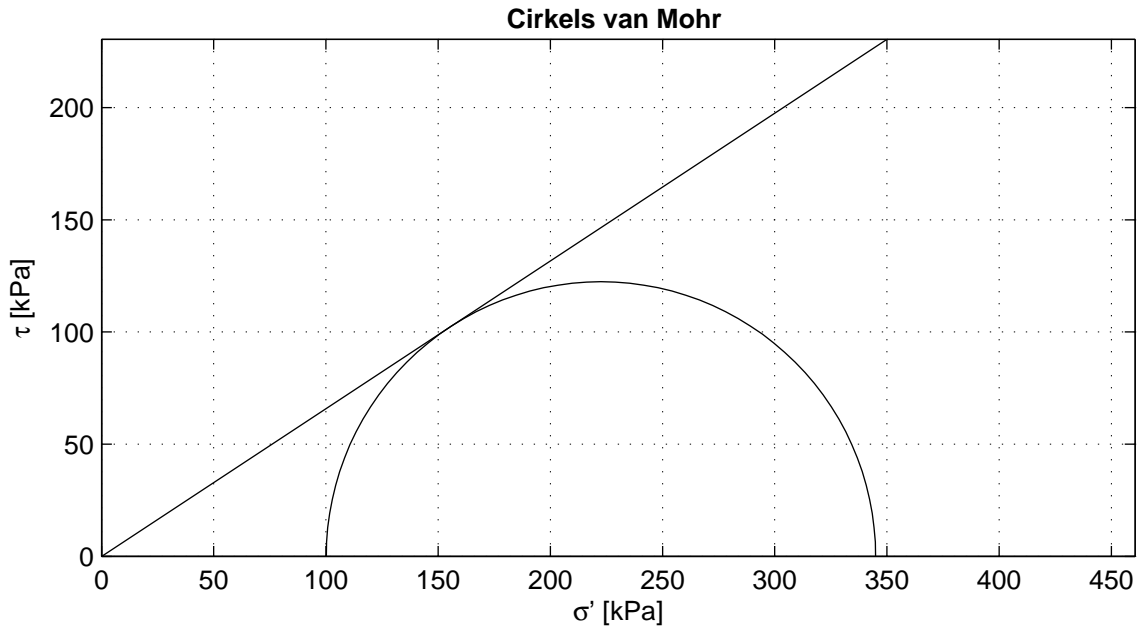
Beschrijving proefuitvoering
 Beschrijving volgens NEN5104: Zand, sterk siltig
 Volumieke massa $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Aangenomen waarde
 Methode: Deltares
 Bepaling fijne fractie: sedigraph
 Bepaling grove fractie: droge zieving

Commentaar
 Analyse uitgevoerd door: Deltares
 Boormethode: Ackermann boring
 Mengmonster: ja

Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821 Homepage: www.deltares.nl	datum	get.
	2013-10-28	hsd
	project	gez.
Gasbevingen	1208624.013	*)
Labwerk	bijlage	form.
KORRELVERDELING mengmonster BORING B2	Kmeng_st1_tm_st11B	A4

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-10-29

BIJLAGE B STATISCHE PROEVEN



Voor beproeving

Cirkels criterium	maximale t		
ϕ' [°]	33.37		
c' [kPa]	0.00		
Nummer Boring	B2-tZandt		
Monsternaam	meng_st1_tm..		
Diepte NAP [m]			
NEN5104 code	Zs3		
m_i [g]	774.6		
D_i [mm]	61.0		
h_i [mm]	141.3		
w_i [%]	32.9		
$\rho_{i,bulk}$ [kg/m ³]	1874		
$\rho_{i,dry}$ [kg/m ³]	1410		
Grondsoort	zand		

Mengmonster met losse pakking

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-26

get.
venema

Gasbevingen: Labwerk
CD_meng_st1_tm_st11H

project
1208624.13

gez.

-

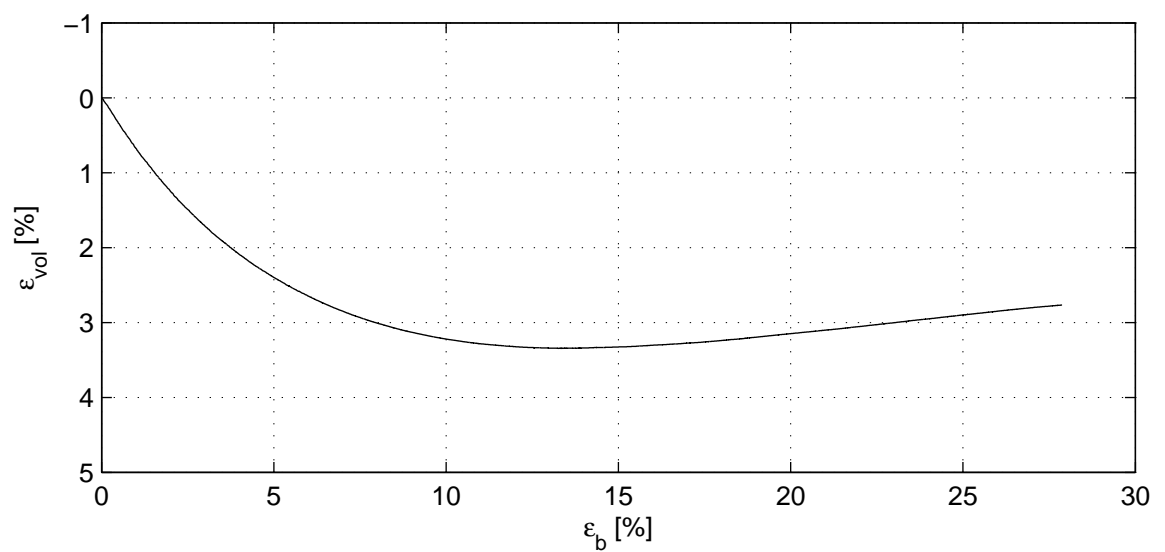
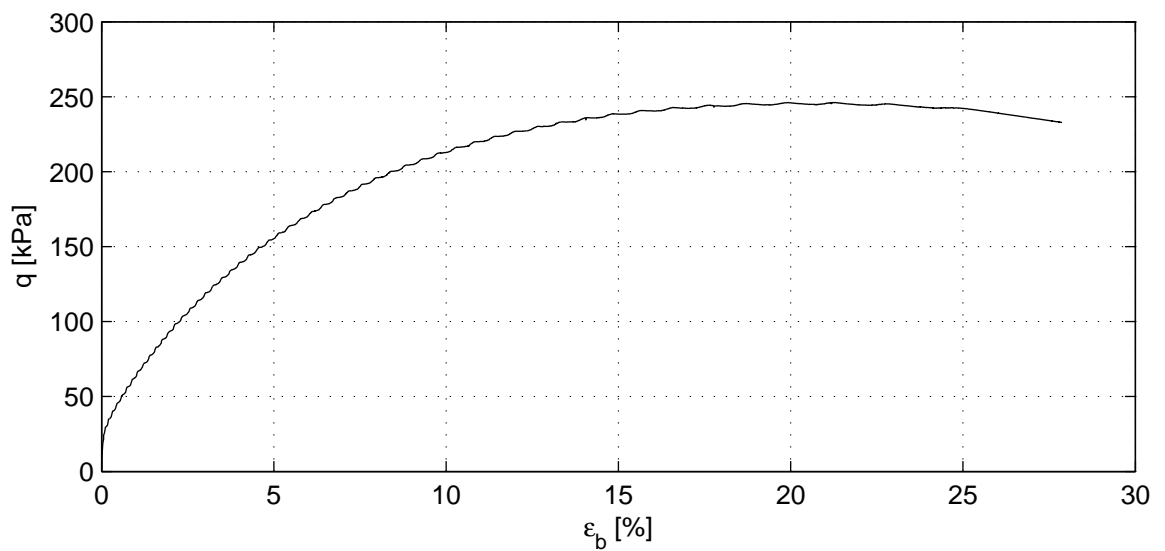
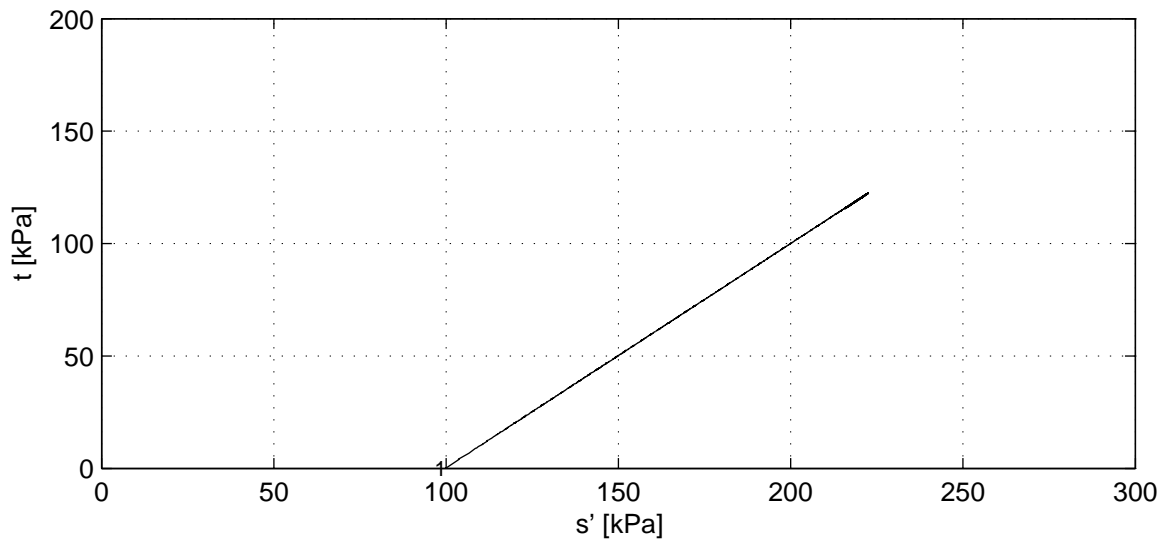
CD Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117

bijlage
st1 - st11H

pag.

1

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-11-26



Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-26

get.
venema

Gasbevingen: Labwerk
CD_meng_st1_tm_st11H

project
1208624.13


gez.
-

CD Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117

bijlage
st1 - st11H

pag.
2

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-11-26

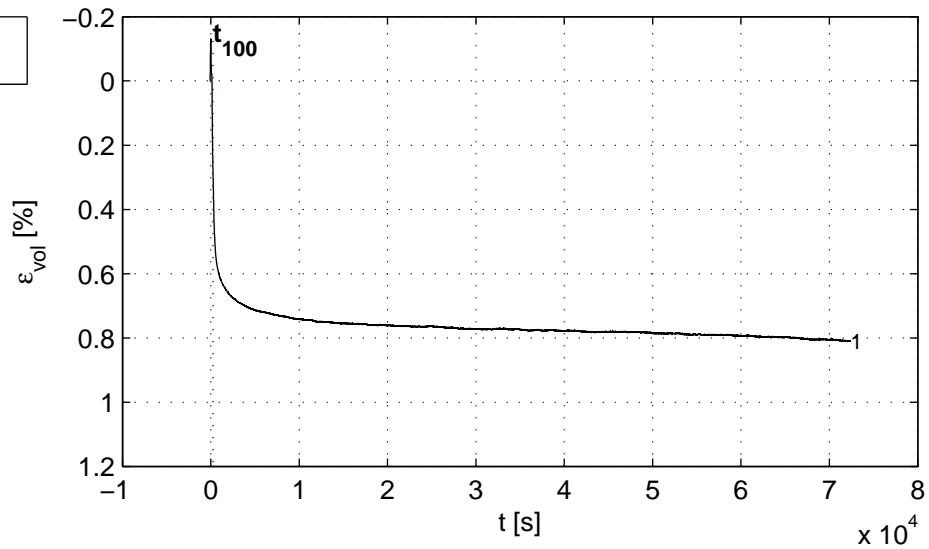
	Belastingsfase	1	2	3
Verzadigingsfase	B_0 [-]	0.72		
	B_1 [-]	0.99		
Consolidatiefase	$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	103.2		
	t_{100} [min]	4		
	h_c [mm]	140.64		
	V_c [cm ³]	410.02		
	$\rho_{n,c}$ [kg/m ³]	1881		
	w_c [%]	32.4		
	u_{bk} [kPa]	299		
	P [-]	2.20		
	v_{max} [%/h]	13.0		
	v [%/h]	4.00		
Belastingsfase	Corr method	Deltares		
	Stopcriterium	$\Delta q < 1$ kPa		
	q_u [kPa]	244.8		
	f_{undr} [kPa]	122.4		
Na beproeving	$\epsilon_{b,50}$ [%]	3.21		
	E_{50} [MPa]	3.8		
	w_e [%]	31.0		
	Bezwijkfiguur			

Verticale rek [%]	s' [kPa]	t [kPa]	ϕ' [°]	c' [kPa]
2.0	146.7	46.8	18.6	0.0
5.0	177.2	77.4	25.9	0.0
10.0	206.0	106.0	31.0	0.0
t_{max} [kPa]	222.5	122.4	33.4	0.0

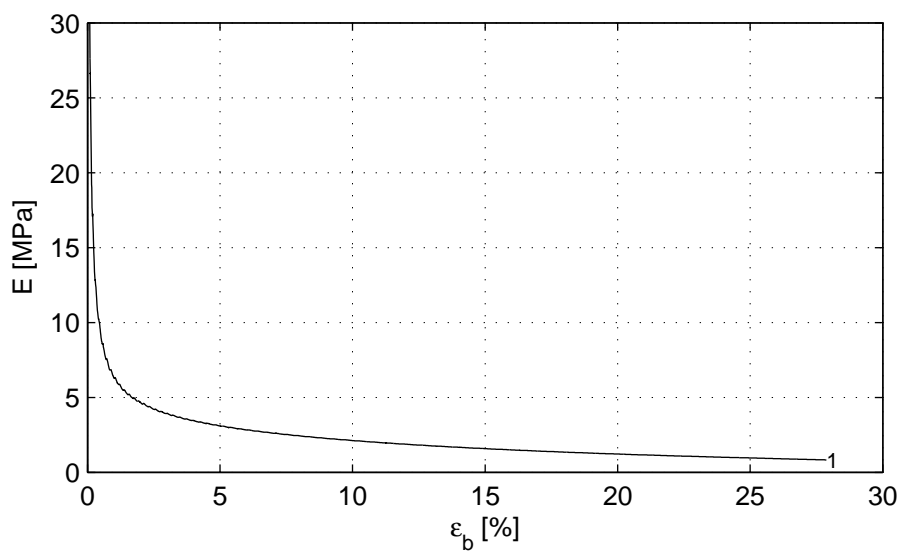
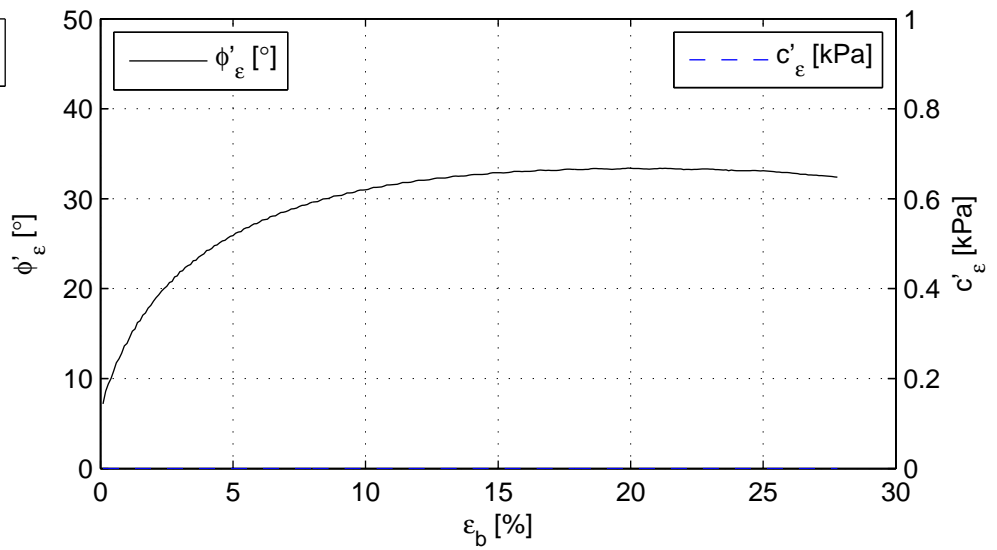
Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821 Homepage: www.deltares.nl	datum	get.
	2013-11-26	venema
	project	gez.
Gasbevingen: Labwerk CD_meng_st1_tm_st11H CD Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117	1208624.13	-
	bijlage	pag.
	st1 - st11H	3

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-11-26

Consolidatiefase



Belastingsfase



Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-26

get.
venema

Gasbevingen: Labwerk
CD_meng_st1_tm_st11H

project
1208624.13

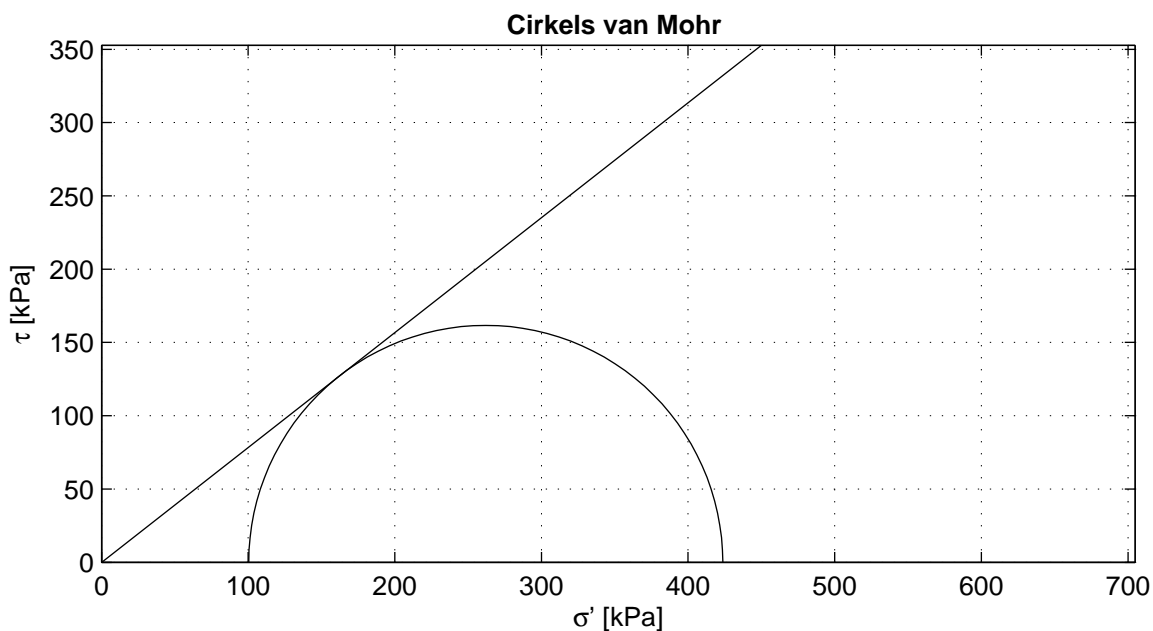
gez.
-

CD Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117

bijlage
st1 - st11H

pag.
4

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-11-26



Voor beproeving

Cirkels criterium	maximale t		
ϕ' [°]	38.09		
c' [kPa]	0.00		
Nummer Boring	B2-tZandt		
Monsternaam	meng_st1_tm..		
Diepte NAP [m]			
NEN5104 code	Zs3		
m_i [g]	939.4		
D_i [mm]	65.0		
h_i [mm]	142.3		
w_i [%]	24.5		
$\rho_{i,bulk}$ [kg/m ³]	1993		
$\rho_{i,dry}$ [kg/m ³]	1601		
Grondsoort	zand		

Mengmonster met vaste pakking

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-26

get.
venema

Gasbevingen: Labwerk
CD_meng_st1_tm_st111

project
1208624.13

gez.

-

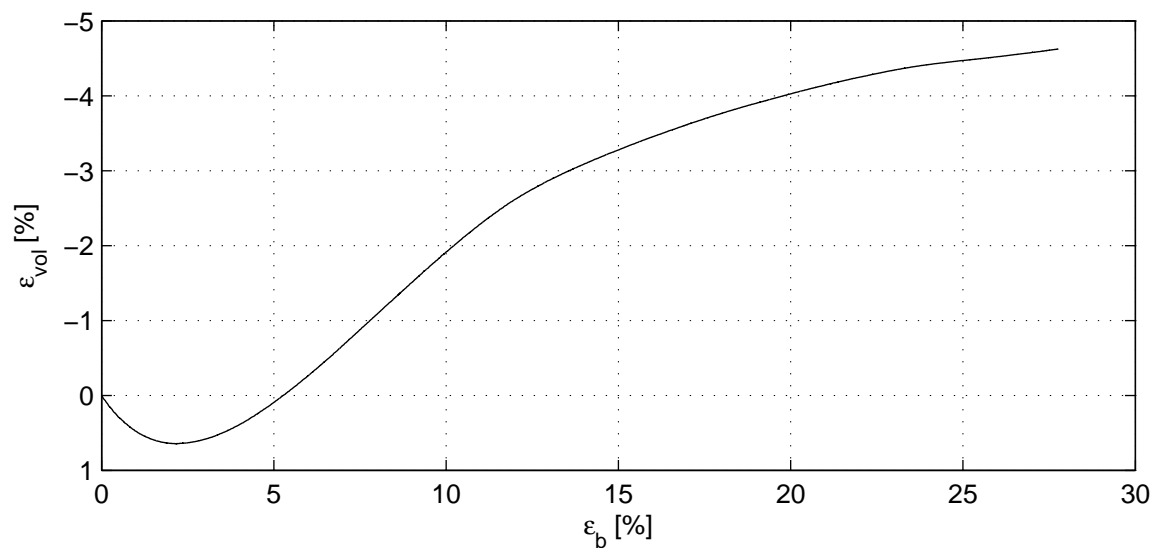
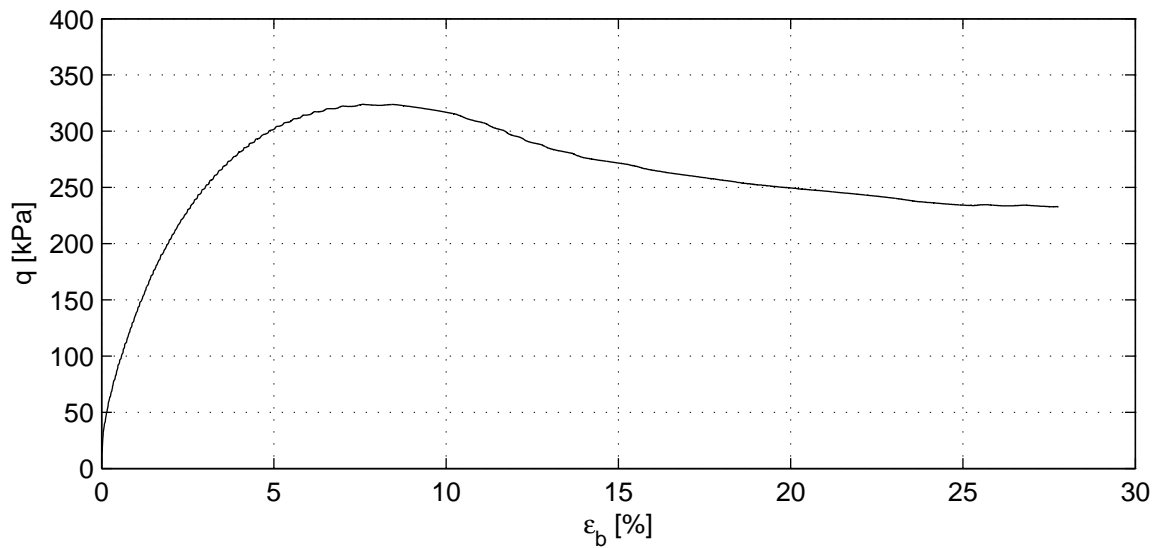
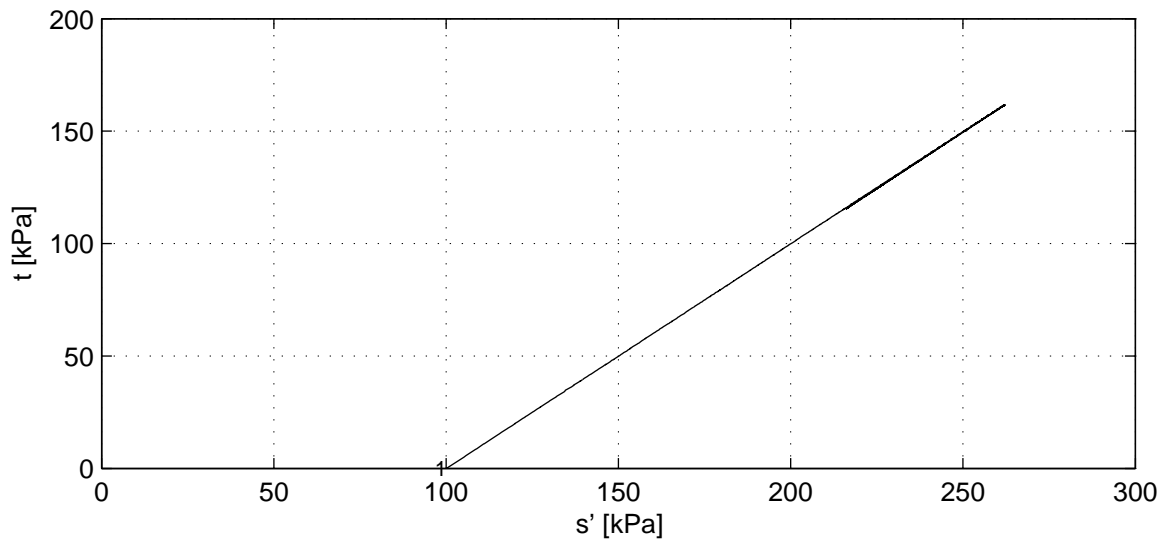
CD Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117

bijlage
st1 - st111

pag.

1

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-11-26



Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-26

get.
venema

Gasbevingen: Labwerk
CD_meng_st1_tm_st111

project
1208624.13


gez.
-

CD Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117

bijlage
st1 - st111

pag.
2

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-11-26

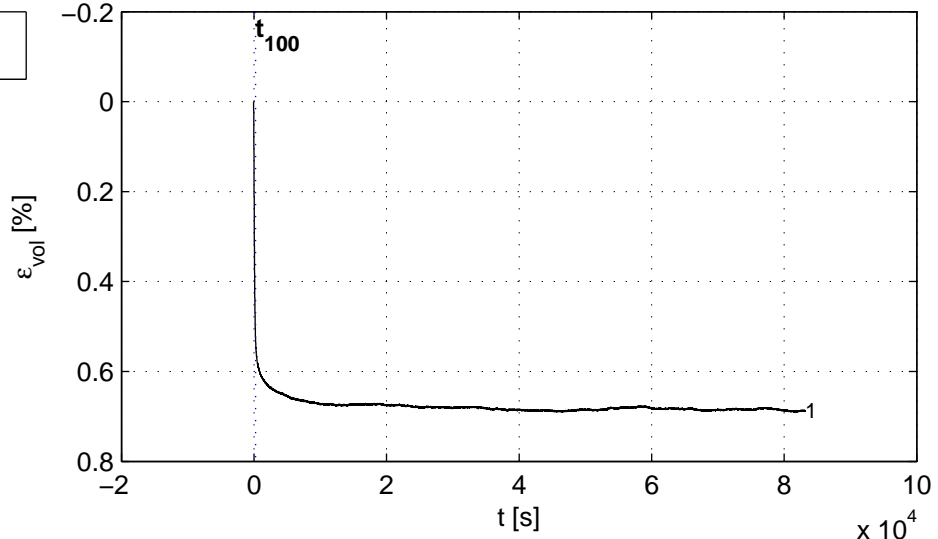
	Belastingsfase	1	2	3
Verzadigingsfase	B_0 [-]	0.75		
	B_1 [-]	0.99		
Consolidatiefase	$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	99.2		
	t_{100} [min]	4		
	h_c [mm]	141.83		
	V_c [cm ³]	468.06		
	$\rho_{n,c}$ [kg/m ³]	2000		
	w_c [%]	24.1		
	u_{bk} [kPa]	300		
	P [-]	2.20		
	v_{max} [%/h]	13.9		
	v [%/h]	4.00		
Belastingsfase	Corr method	Deltares		
	Stopcriterium	$\Delta q < 1$ kPa		
	q_u [kPa]	323.3		
	f_{undr} [kPa]	161.6		
Na beproeving	$\epsilon_{b,50}$ [%]	1.32		
	E_{50} [MPa]	12.2		
	w_e [%]	27.4		
	Bezwijkfiguur			

Verticale rek [%]	s' [kPa]	t [kPa]	ϕ' [°]	c' [kPa]
2.0	202.0	101.9	30.3	0.0
5.0	250.8	150.7	36.9	0.0
10.0	258.6	158.0	37.7	0.0
t_{max} [kPa]	262.0	161.6	38.1	0.0

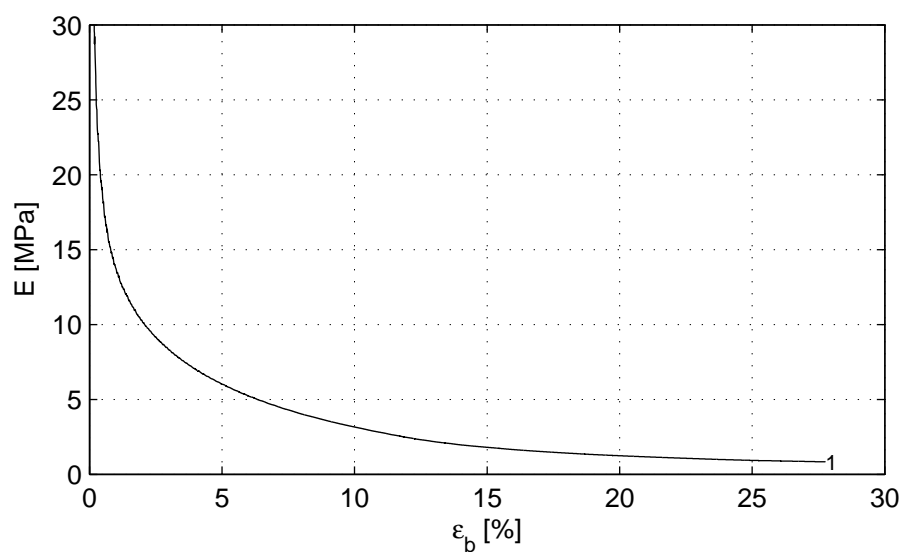
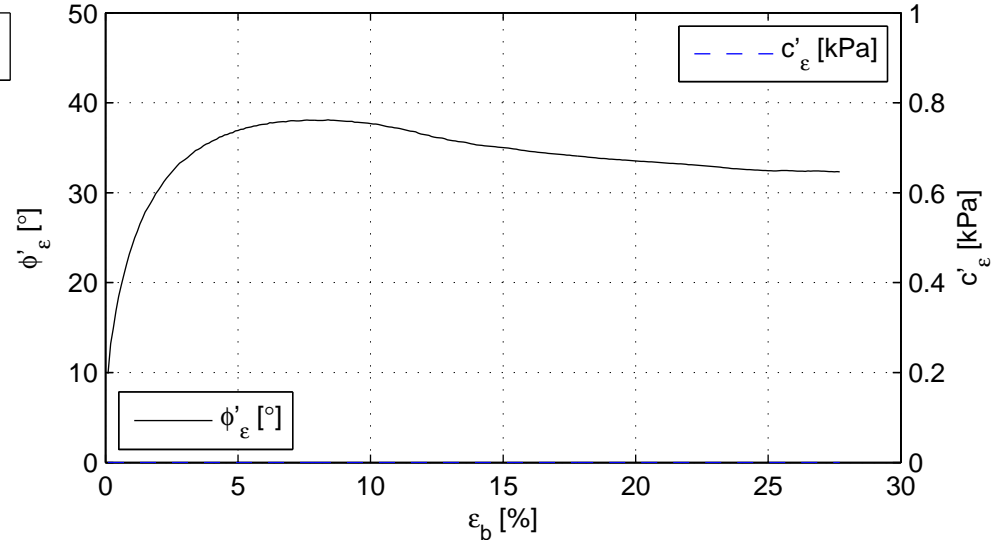
Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft Telefoon 088 335 7200 Telefax 015 261 0821 Homepage: www.deltares.nl	datum	get.
	2013-11-26	venema
	project	gez.
Gasbevingen: Labwerk CD_meng_st1_tm_st111 CD Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117	1208624.13	-
	bijlage	pag.
	st1 - st111	3

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-11-26

Consolidatiefase

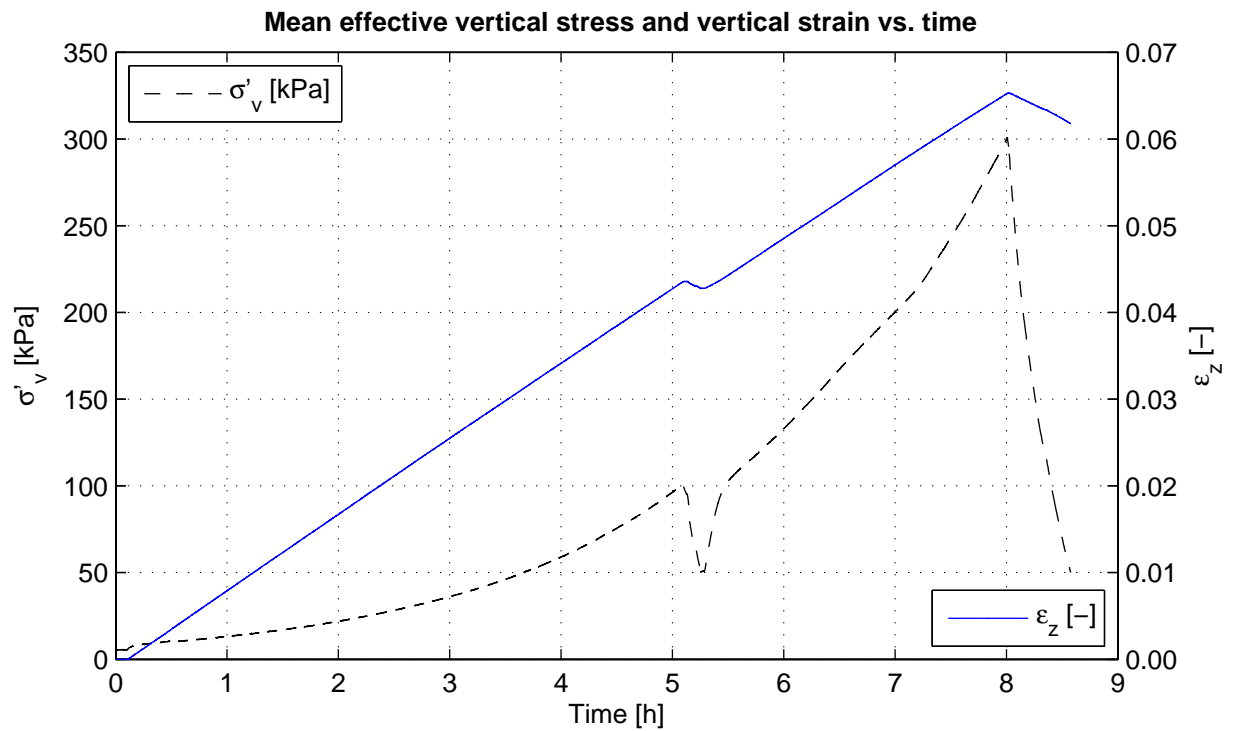


Belastingsfase



Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telefoon 088 335 7200	Homepage:	datum	get.
	Telefax 015 261 0821	www.deltares.nl	2013-11-26	venema
	Gasbevingen: Labwerk CD_meng_st1_tm_st111		project	gez.
CD Triaxiaalproef (Singlestage) volgens NEN 5117		1208624.13	-	
		bijlage	pag.	
		st1 - st111	4	

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-11-26



Description of soil sample:

Soil description (NEN 5104)	Zand, sterk siltig
Depth to top of sample [m from ground surface]	-1.00
Initial height [mm]	33.34
Diameter [mm]	63.03
Unit weight saturated soil [kN/m ³]	18.1
Unit weight dry soil [kN/m ³]	13.3
Water content [%]	35.8
Water content final [%]	31.2
Void ratio – initial [-]	0.95 (e)
Void ratio – final [-]	0.83 (e)

Test overview (test plan):

In-situ effective stress [kPa]	NaN
Maximum mean effective vertical stress [kPa]	301

Losse pakking, meng monster van boring B2.

De gemeten waterspanning is te laag voor de bepaling van de cv-waarde en de doorlatendheid.

Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-26

signed
venema

Dudgeon: CRS measurement

Boring B2-tZandt, sample meng_st1_tm_st11J

CRS test: ASTM D 4186 – 06

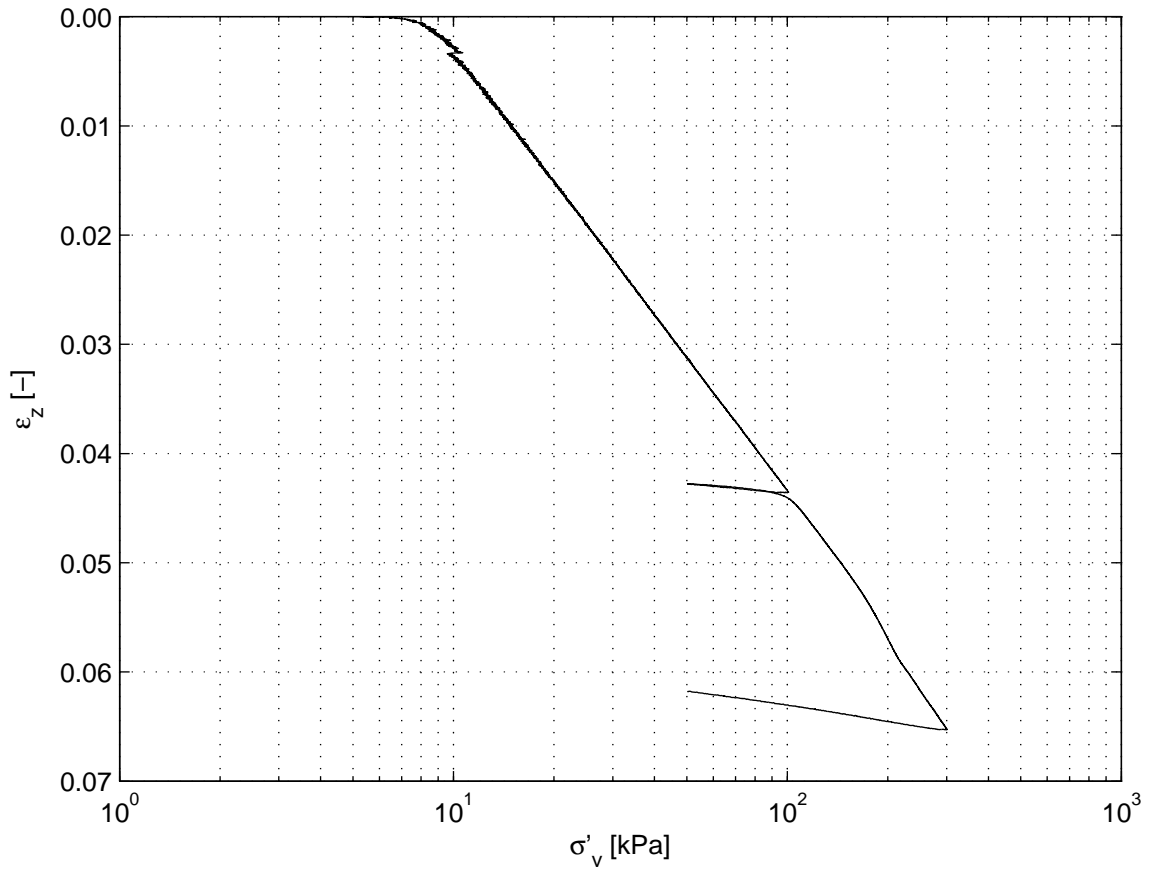
project
1208624.13

seen
-

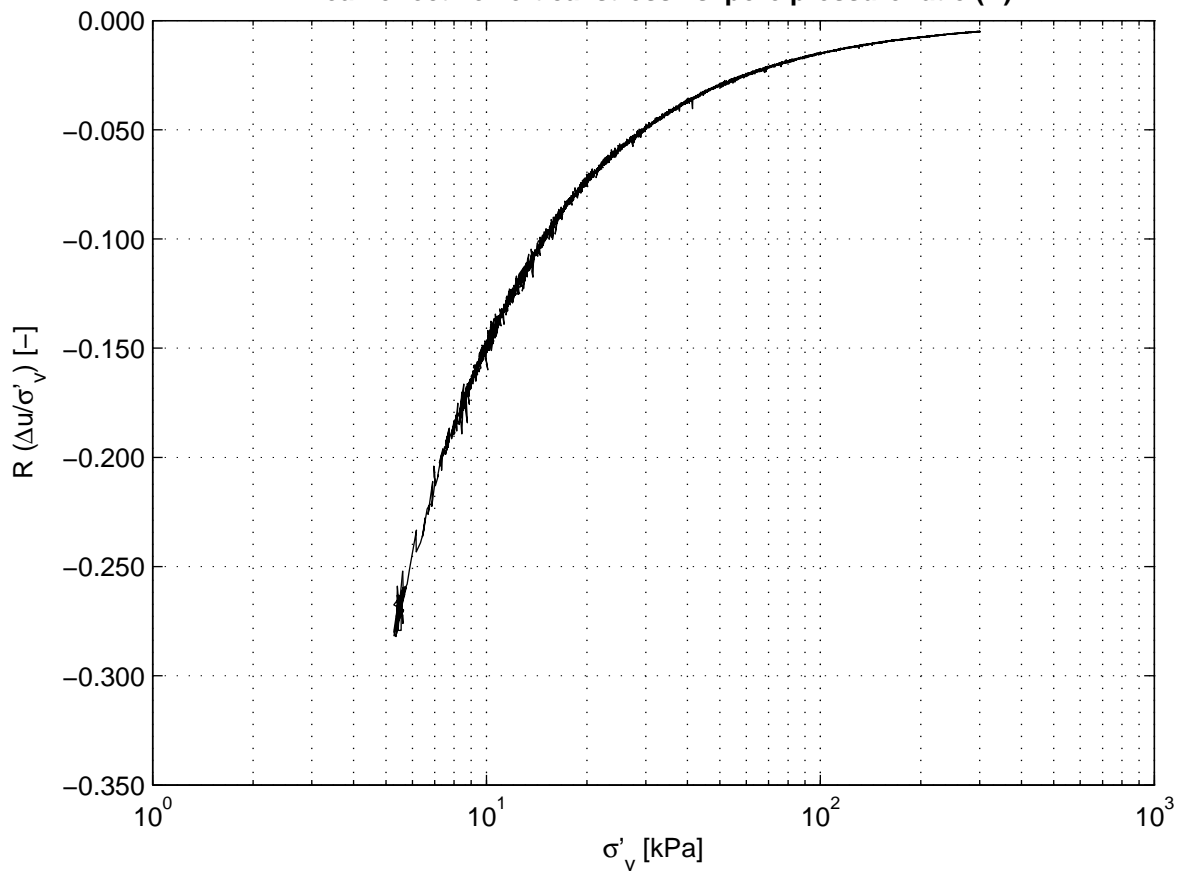
appendix
st1_tm_st11J

page
1

Mean effective vertical stress vs. vertical strain



Mean effective vertical stress vs. pore pressure ratio (R)



Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage: www.deltares.nl
Telefax +31 (0)15 261 0821

date
2013-11-26

signed
venema

Dudgeon: CRS measurement
Boring B2-tZandt, sample meng_st1_tm_st11J

project
1208624.13

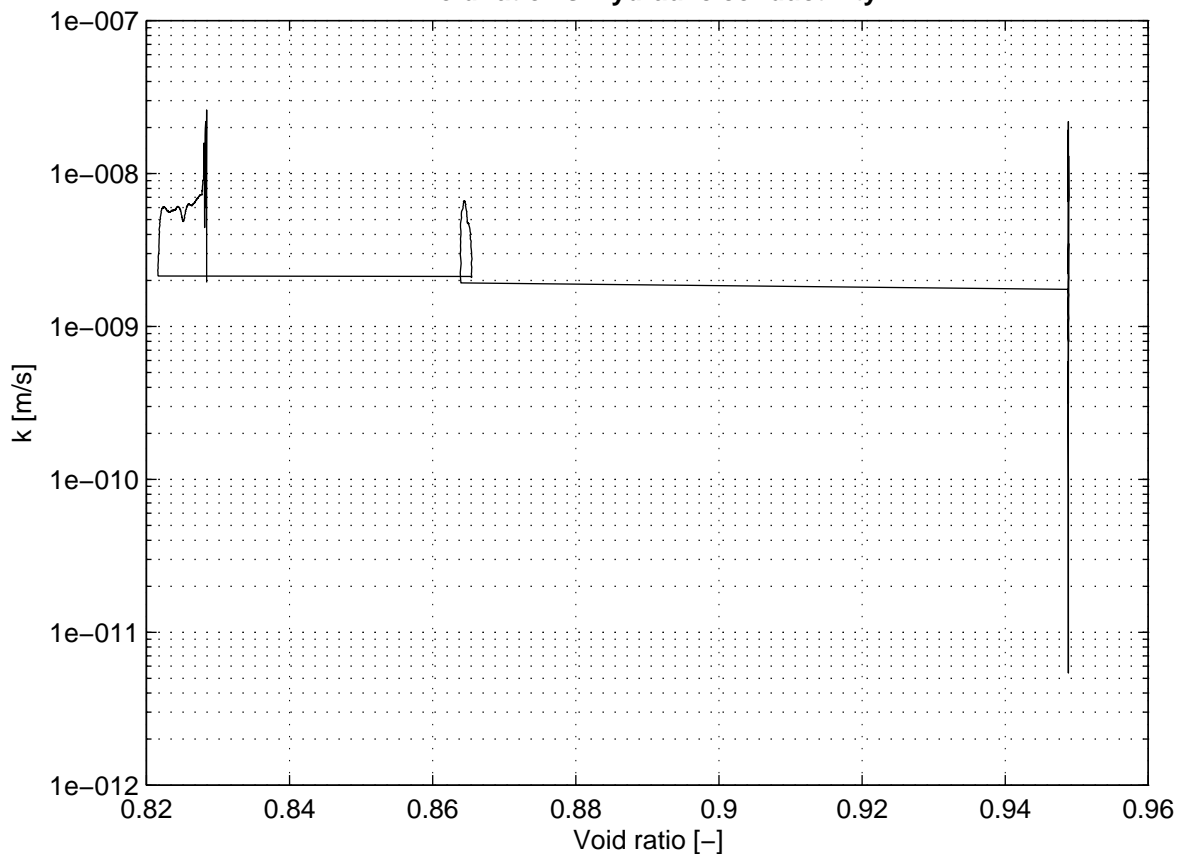
seen
-

CRS test: ASTM D 4186 - 06

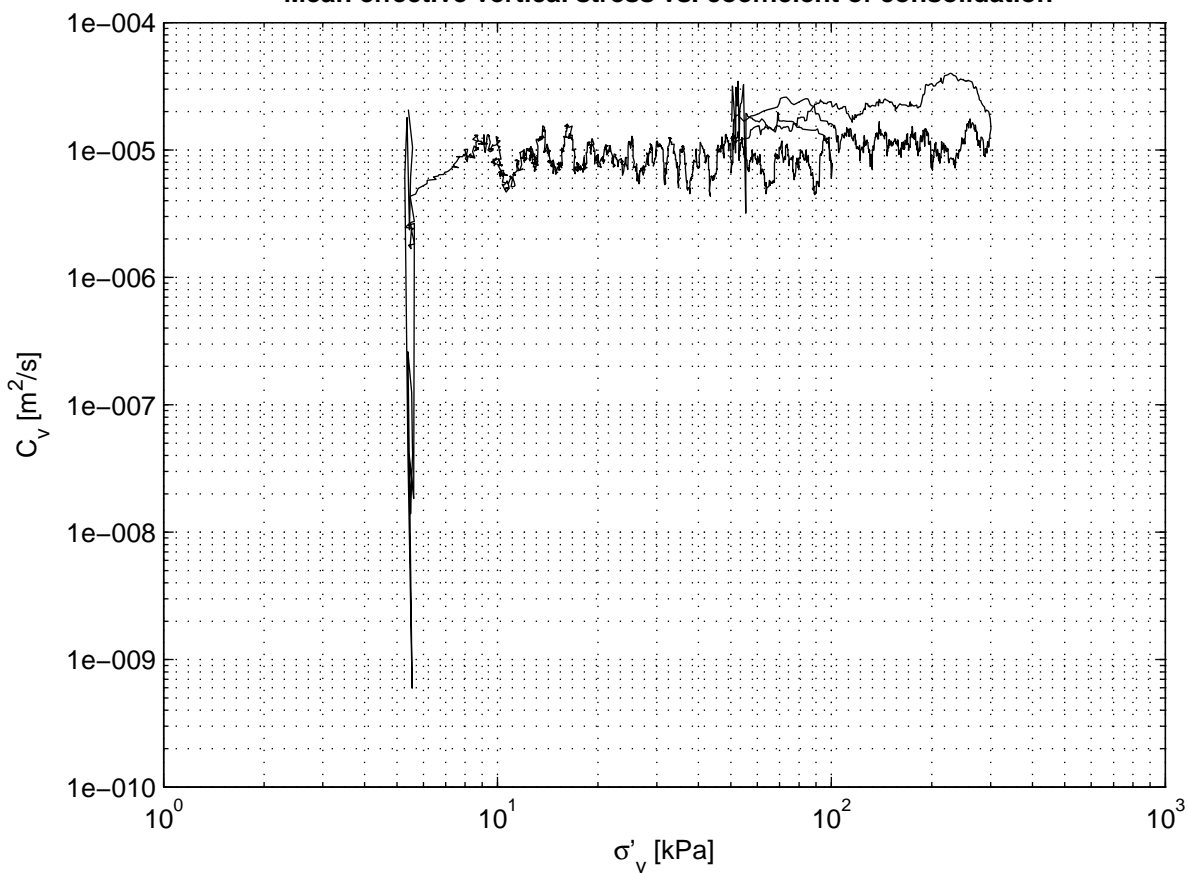
appendix
st1_tm_st11J

page
2

Void ratio vs. hydraulic conductivity



Mean effective vertical stress vs. coefficient of consolidation



Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage: www.deltares.nl
Telefax +31 (0)15 261 0821

date
2013-11-26

signed
venema

Dudgeon: CRS measurement

Boring B2-tZandt, sample meng_st1_tm_st11J

CRS test: ASTM D 4186 – 06

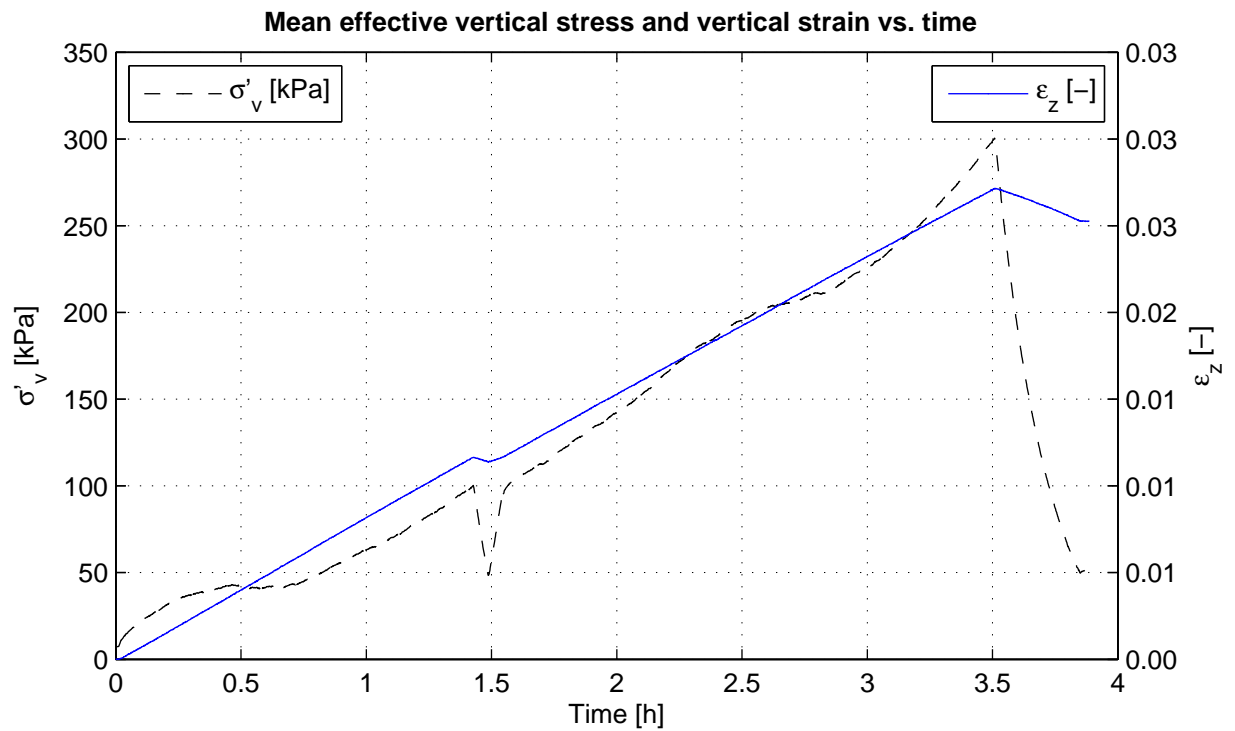
project
1208624.13

seen
-

appendix
st1_tm_st11J

page
3

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-11-28



Description of soil sample:

Soil description (NEN 5104)	Zand, sterk siltig
Depth to top of sample [m from ground surface]	-1.00
Initial height [mm]	35.84
Diameter [mm]	63.00
Unit weight saturated soil [kN/m ³]	19.4
Unit weight dry soil [kN/m ³]	15.4
Water content [%]	25.8
Water content final [%]	24.2
Void ratio – initial [-]	0.68 (e)
Void ratio – final [-]	0.64 (e)

Test overview (test plan):

In-situ effective stress [kPa]	NaN
Maximum mean effective vertical stress [kPa]	300

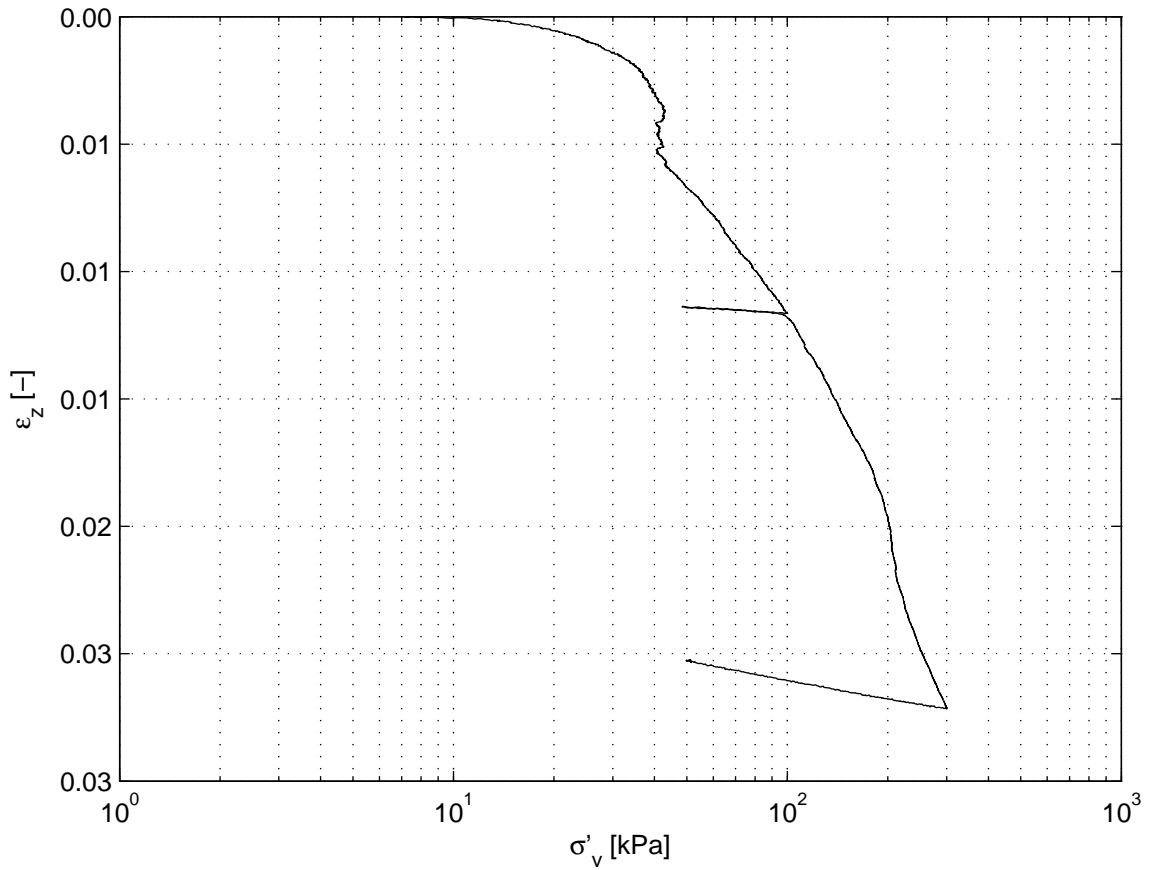
Vaste pakking, mengmonster van boring B2.

De gemeten waterspanning is te laag voor de bepaling van de cv-waarde en de doorlatendheid.

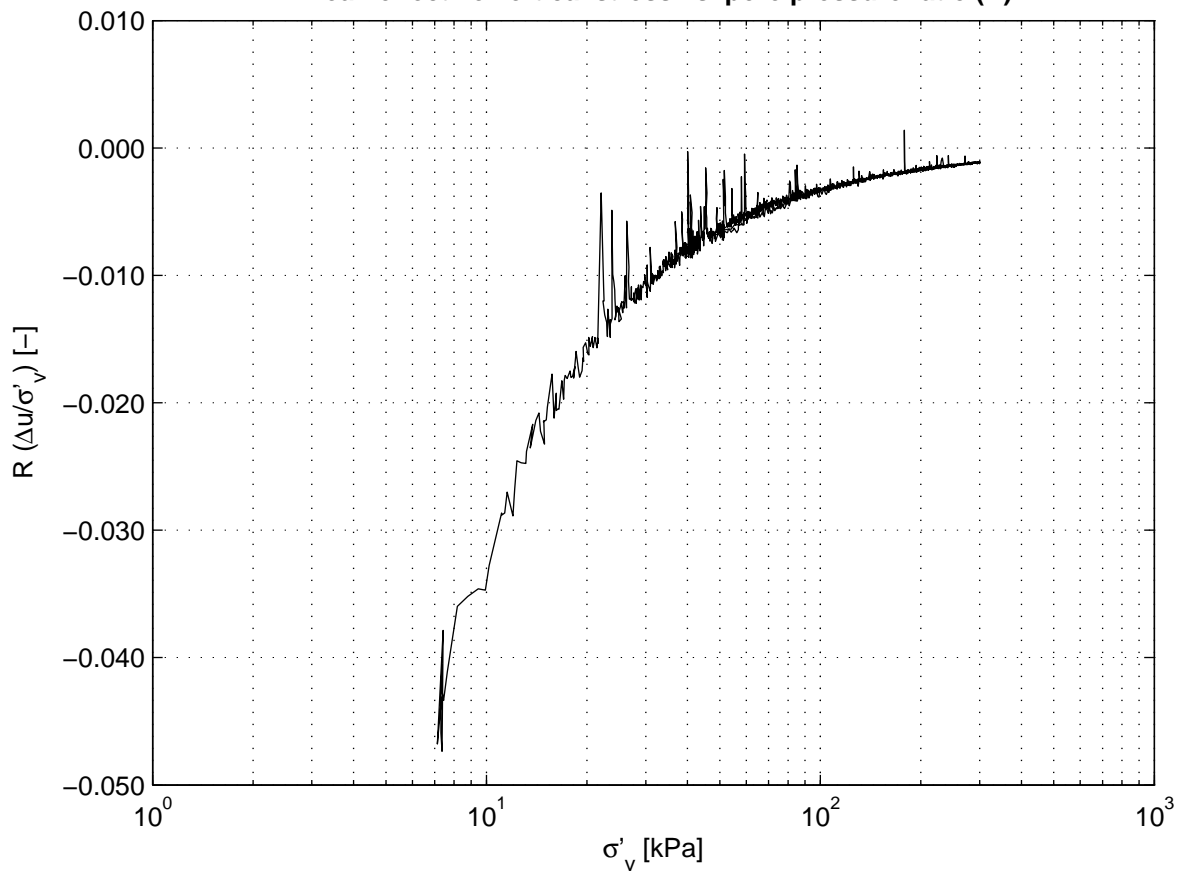
	PO Box 177, NL 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage: Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl	date 2013-11-26	signed venema
	Dudgeon: CRS measurement Boring B2-tZandt, sample meng_st1_tm_st11K CRS test: ASTM D 4186 – 06		project 1208624.13	seen -
appendix st1_tm_st11K			page 1	

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-11-28

Mean effective vertical stress vs. vertical strain



Mean effective vertical stress vs. pore pressure ratio (R)



Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-26

signed
venema

Dudgeon: CRS measurement
Boring B2-tZandt, sample meng_st1_tm_st11K

project
1208624.13

seen
-

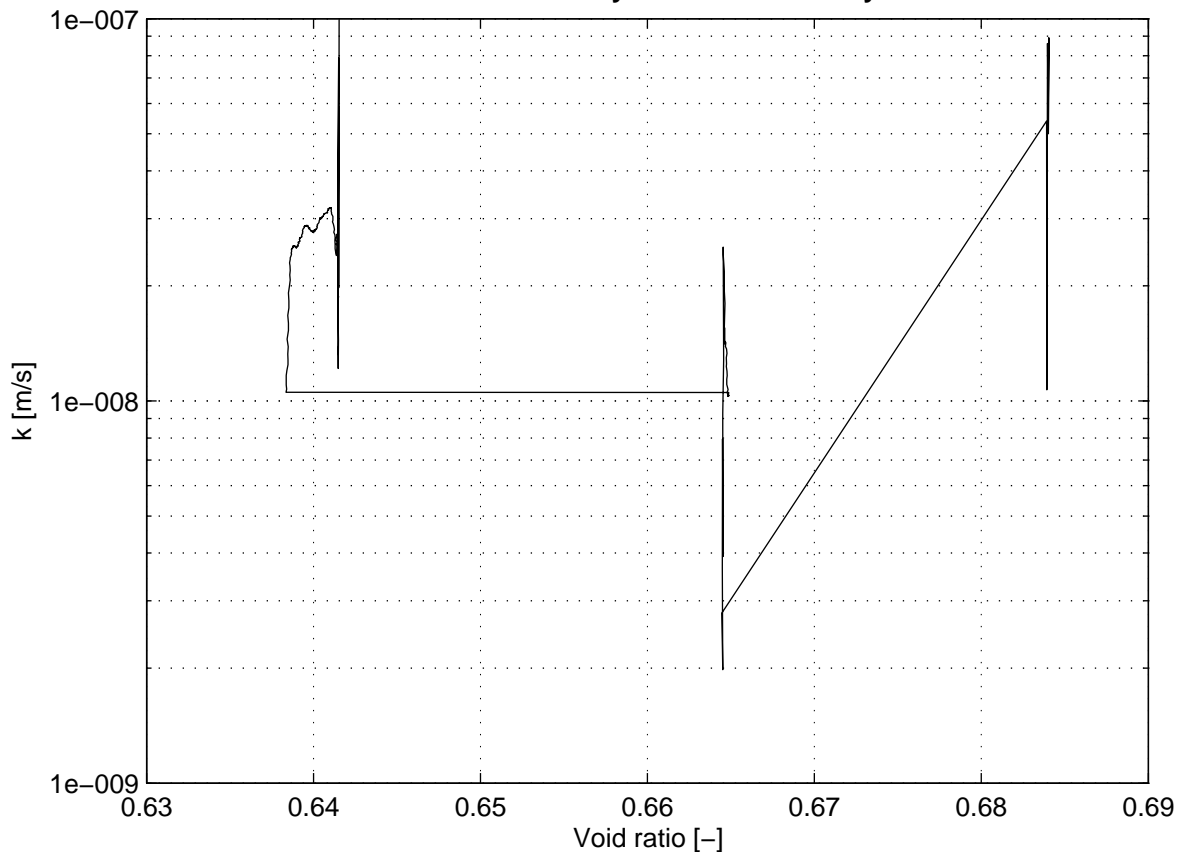
CRS test: ASTM D 4186 – 06

appendix
st1_tm_st11K

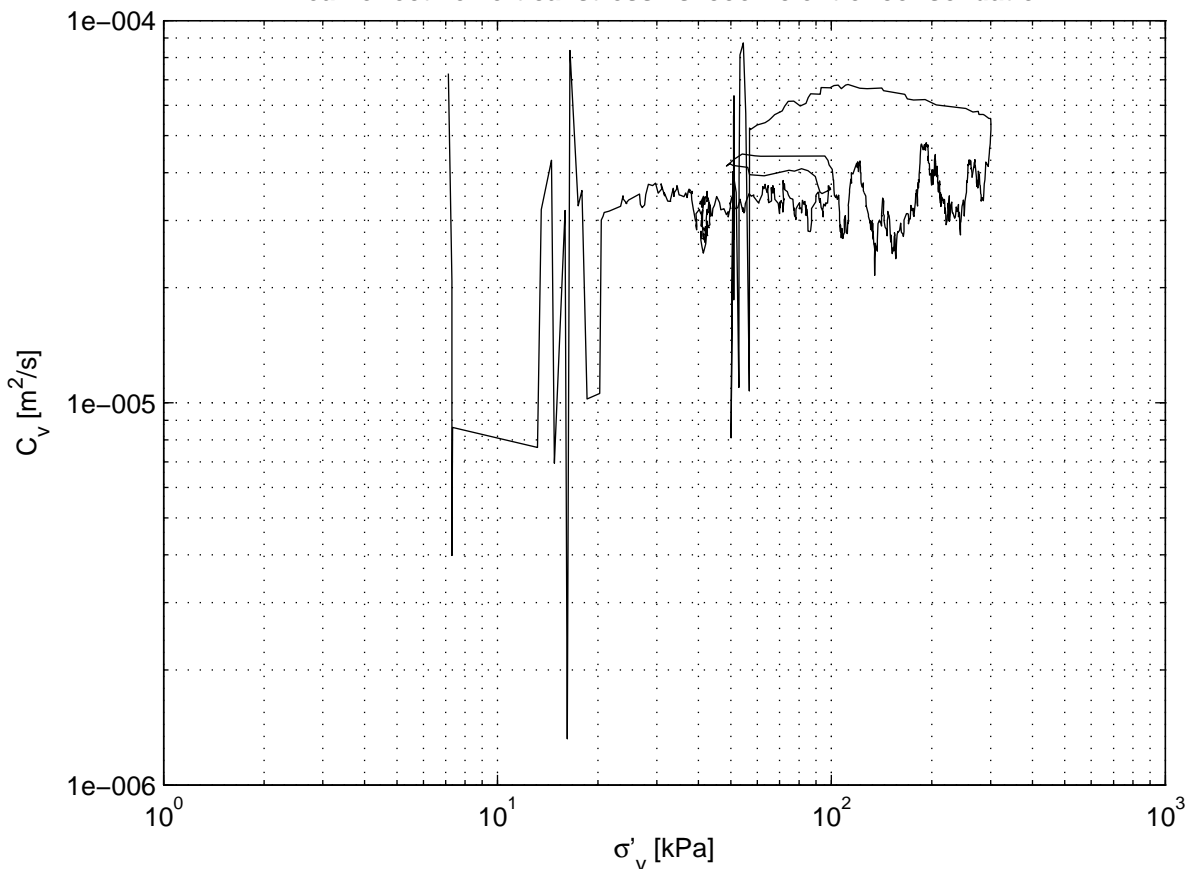
page
2

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-11-28

Void ratio vs. hydraulic conductivity



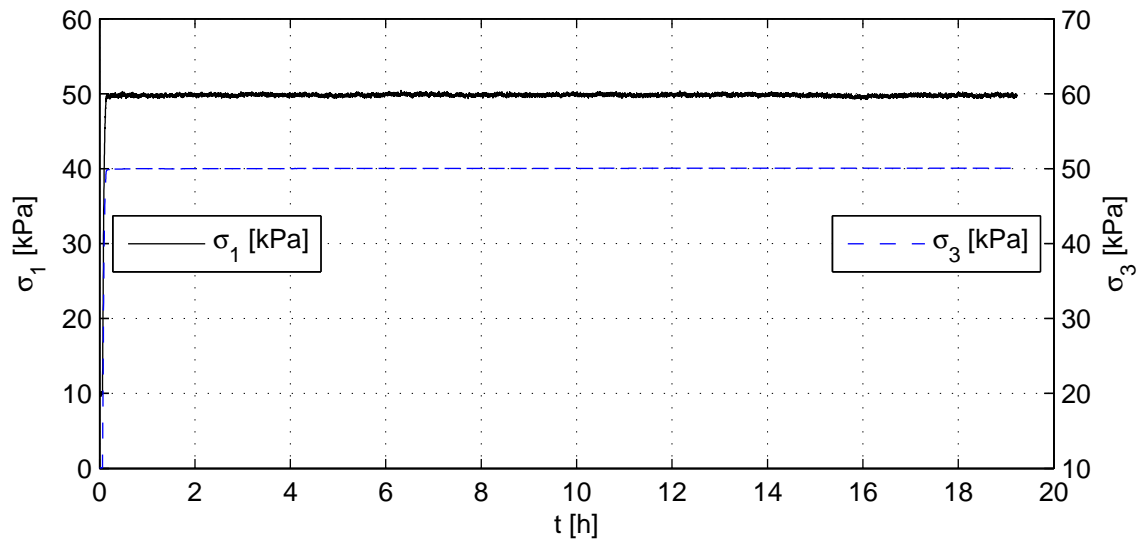
Mean effective vertical stress vs. coefficient of consolidation



	PO Box 177, NL 2600 MH Delft Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft	Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage: www.deltares.nl Telefax +31 (0)15 261 0821	date 2013-11-26	signed venema
	Dudgeon: CRS measurement Boring B2-tZandt, sample meng_st1_tm_st11K CRS test: ASTM D 4186 – 06		project 1208624.13	seen -
			appendix st1_tm_st11K	page 3

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door grw op 2013-11-28

BIJLAGE C CYCLISCHE PROEVEN



Voor beproeving

Monsternaam	B1-st4A
m_i [g]	930.9
D_i [mm]	65.2
h_i [mm]	130.2
V_i [cm ³]	434.7
w_i [%]	19.3
$\rho_{i,bulk}$ [kg/m ³]	2141
$\rho_{i,dry}$ [kg/m ³]	1796
e_i [-]	-
Grondsoort	zand

Device: TX-D

Monster intact uit boring.
Cyclisch belasten 30 kPa amplitude, 1 Hz.
Bij einddrainage 4.5 cc uitstroom.

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-09-24

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B1-Woltersum, Sample B1-st4A, depth -5.70 till -5.83m NAP

project
1208624.13

gez.

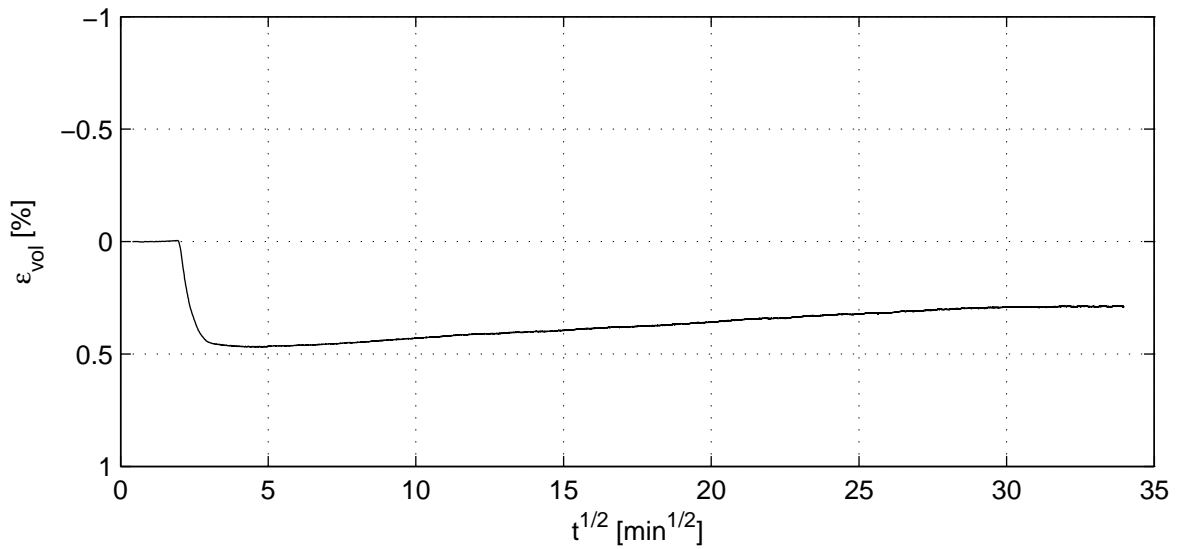
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

bijlage
B1-st4A

pag.
1

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-26



Verzadigingsfase

Consolidatiefase

B_0 [-]	0.87
B_1 [-]	0.98
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	50.4
T_{avg} [°C]	20.0
t_{100} [min]	-
h_c [mm]	130.1
V_c [cm ³]	433.5
$\rho_{n,c}$ [kg/m ³]	2145
w_c [%]	19.1
u_{bk} [kPa]	298
P [-]	8.50
Creep rate [%/h]	-0.001

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-09-24

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B1-Woltersum, Sample B1-st4A, depth -5.70 till -5.83m NAP

project
1208624.13

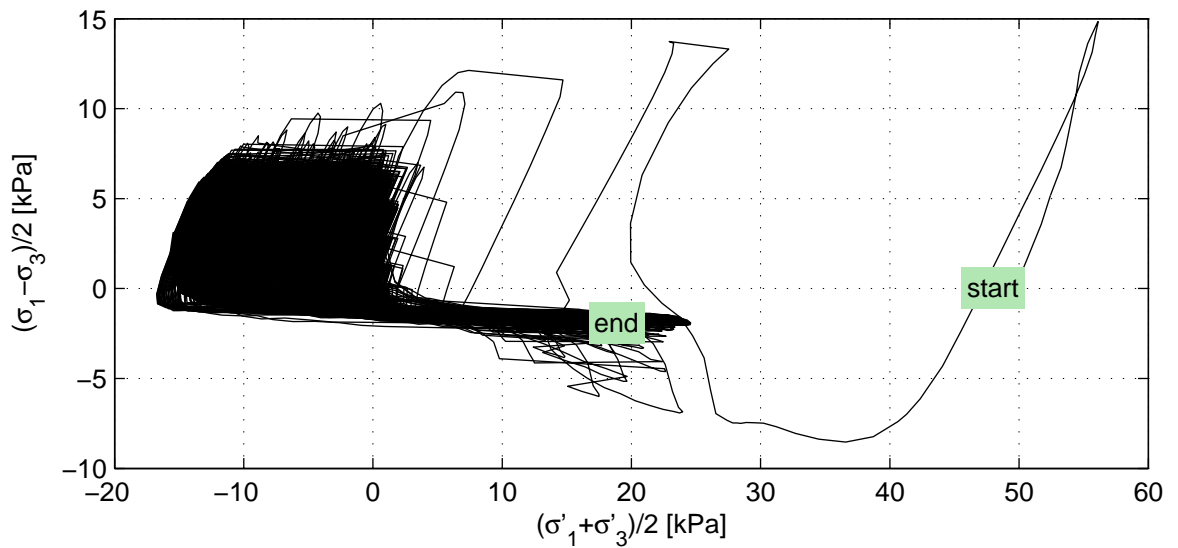
gez.
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch


bijlage
B1-st4A

pag.
2

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-26



Belastingsfase

Stopcriterium	σ'_1 / σ'_3 max
Correction text	M (Deltares)
w_e [%]	19.1
Bezwijkfiguur	

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-09-24

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B1-Woltersum, Sample B1-st4A, depth -5.70 till -5.83m NAP
CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
1208624.13

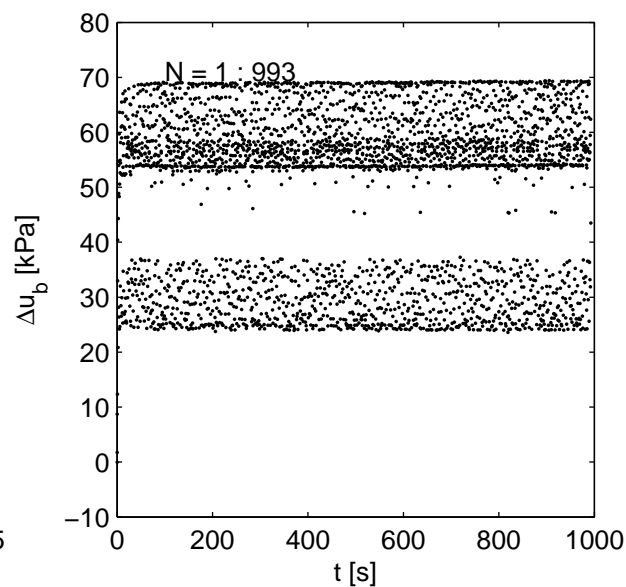
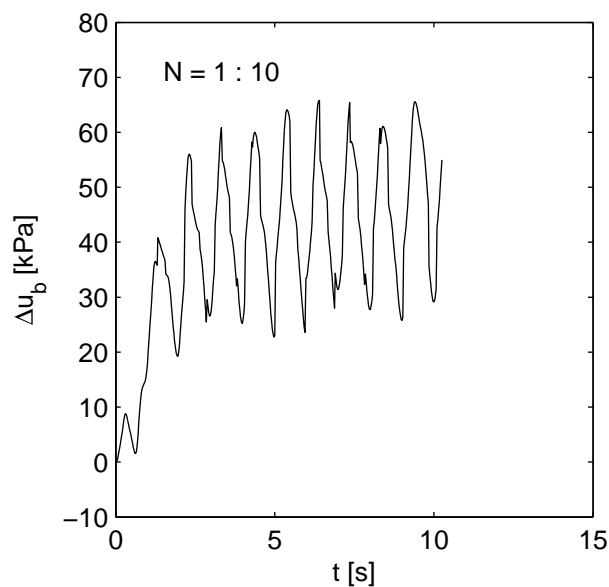
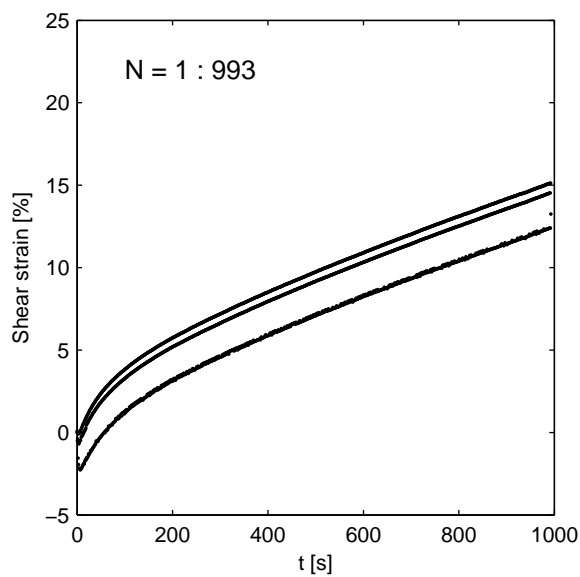
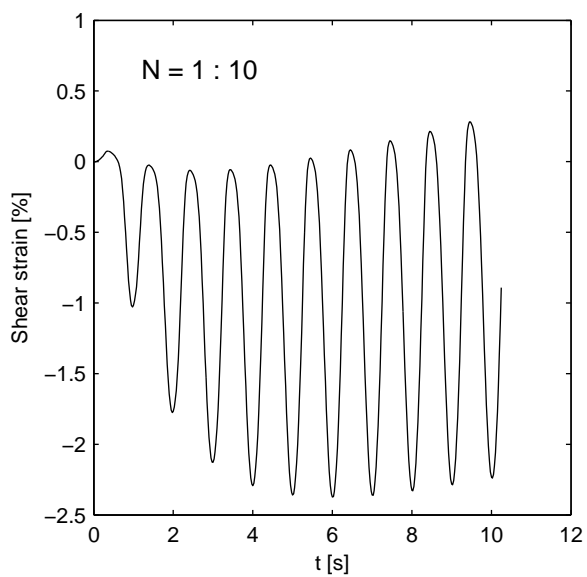
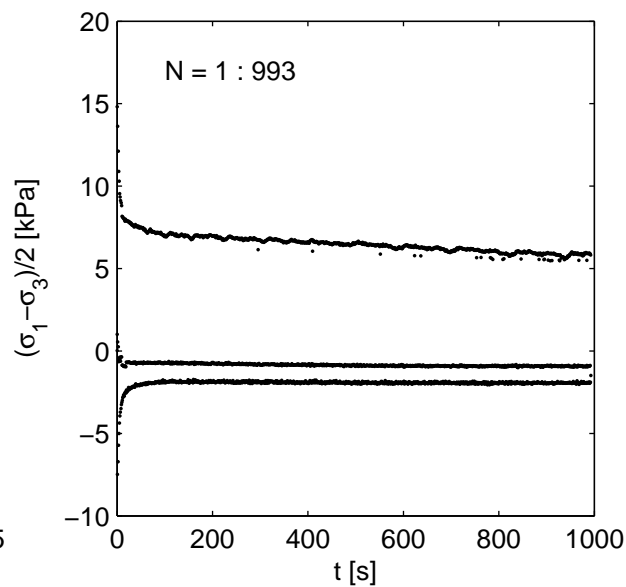
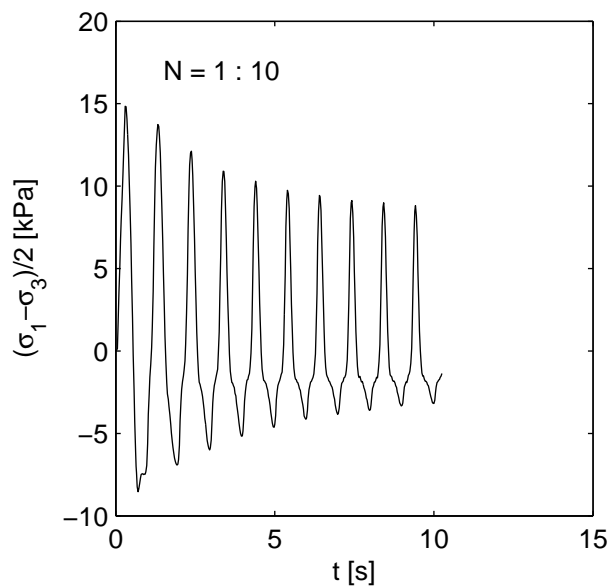
gez.

-

bijlage
B1-st4A

pag.

3



Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-09-24

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B1-Woltersum, Sample B1-st4A, depth -5.70 till -5.83m NAP

CU Triaxiaalproef Cyclisch

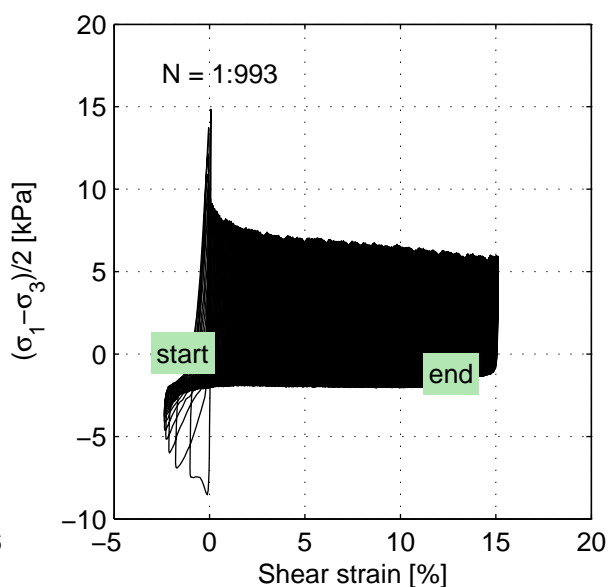
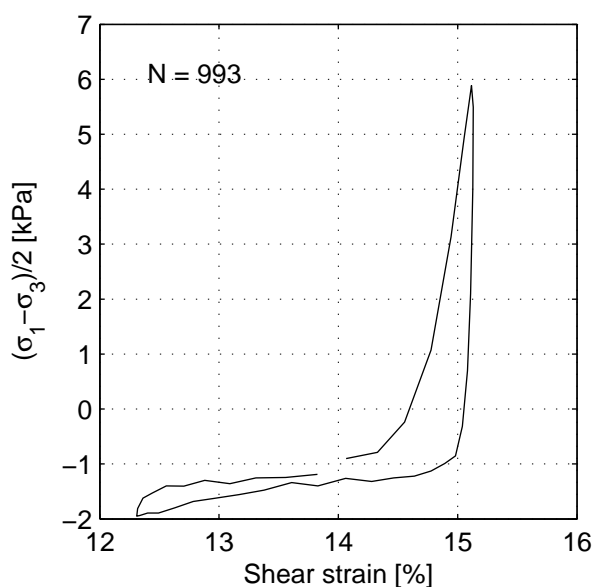
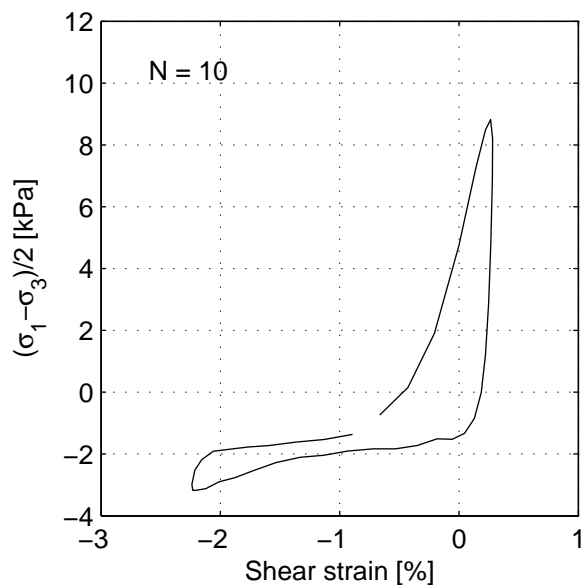
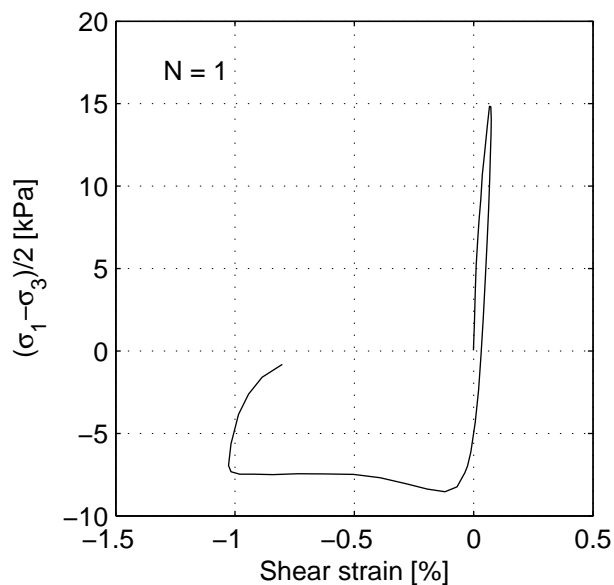
project
1208624.13

seen
-

appendix
B1-st4A

page
4

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-26



Cyclical results with external strain:

Cycle:	1	10	993
Shear strain amplitude [%]	0.551	1.250	1.411
Damping ratio [%]	19.2	11.1	7.1
Shear modulus [MPa]	2.0	0.5	0.3

Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-09-24

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B1-Woltersum, Sample B1-st4A, depth -5.70 till -5.83m NAP
CU Triaxiaalproef Cyclisch

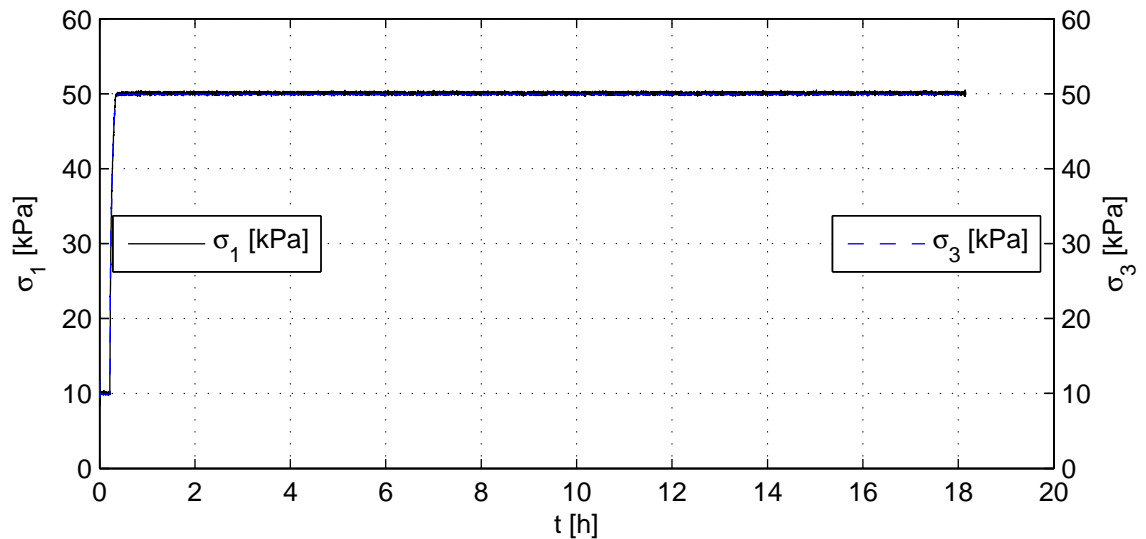
project
1208624.13

seen
-

appendix
B1-st4A

page
5

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-26



Voor beproeving

Monsternaam	B1-st4B
m_i [g]	920.8
D_i [mm]	65.4
h_i [mm]	130.4
V_i [cm ³]	438.0
w_i [%]	18.2
$\rho_{i,bulk}$ [kg/m ³]	2102
$\rho_{i,dry}$ [kg/m ³]	1778
e_i [-]	-
Grondsoort	zand

Device: TX-A

Monster intact uit boring.
Cyclisch belasten 20 kPa amplitude, 1 Hz.
Bij einddrainage 6.2 cc uitstroom.

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-09-24

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B1-Woltersum, Sample B1-st4B, depth -5.83 till -5.96m NAP

project
1208624.13

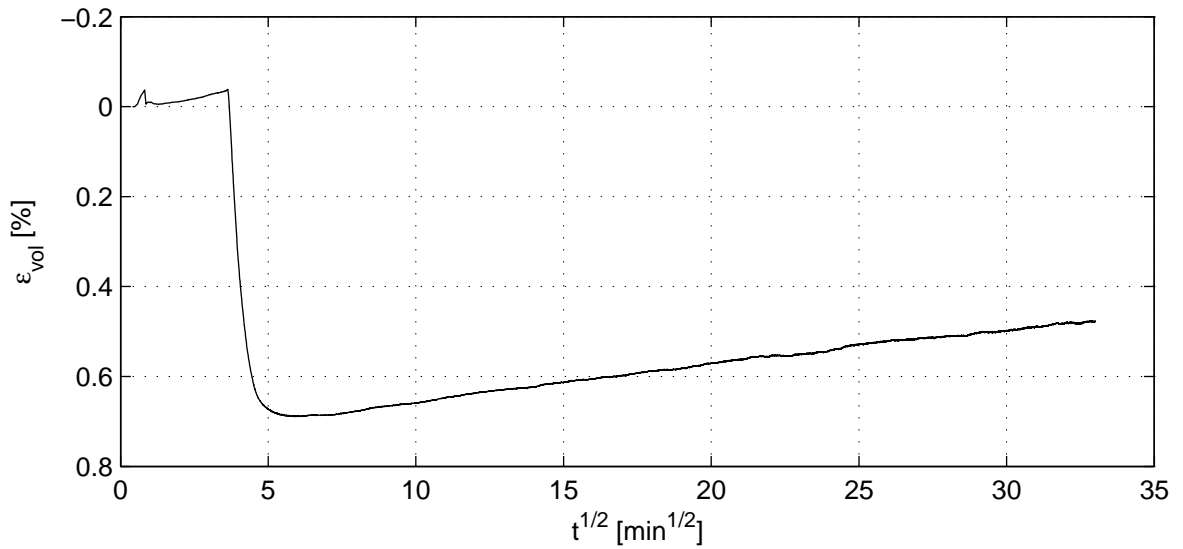
gez.
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

bijlage
B1-st4B

pag.
1

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-26



Verzadigingsfase

Consolidatiefase

B_0 [-]	0.95
B_1 [-]	0.98
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	50.2
T_{avg} [°C]	20.0
t_{100} [min]	-
h_c [mm]	130.2
V_c [cm ³]	436.0
$\rho_{n,c}$ [kg/m ³]	2107
w_c [%]	18.0
u_{bk} [kPa]	298
P [-]	8.50
Creep rate [%/h]	-0.019

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-09-24

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B1-Woltersum, Sample B1-st4B, depth -5.83 till -5.96m NAP

CU Triaxiaalproef Cyclisch

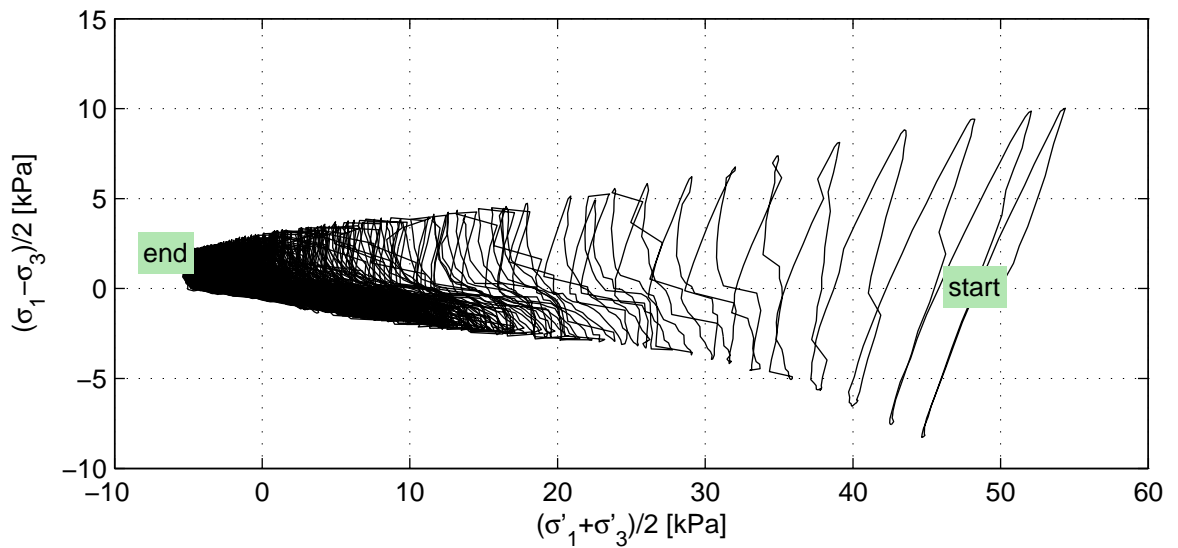
project
1208624.13

gez.
-


bijlage
B1-st4B

pag.
2

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-26



Belastingsfase

Stopcriterium	σ'_1/σ'_3 max
Correction text	M (Deltares)
w_e [%]	18.0
Bezwijkfiguur	

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-09-24

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B1-Woltersum, Sample B1-st4B, depth -5.83 till -5.96m NAP

project
1208624.13

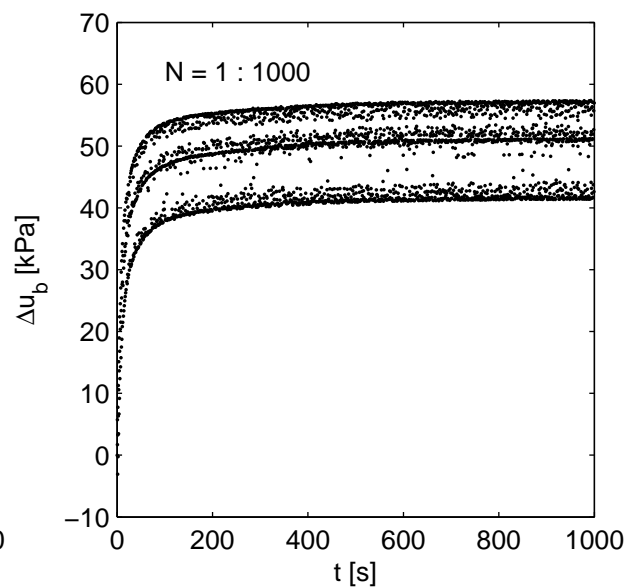
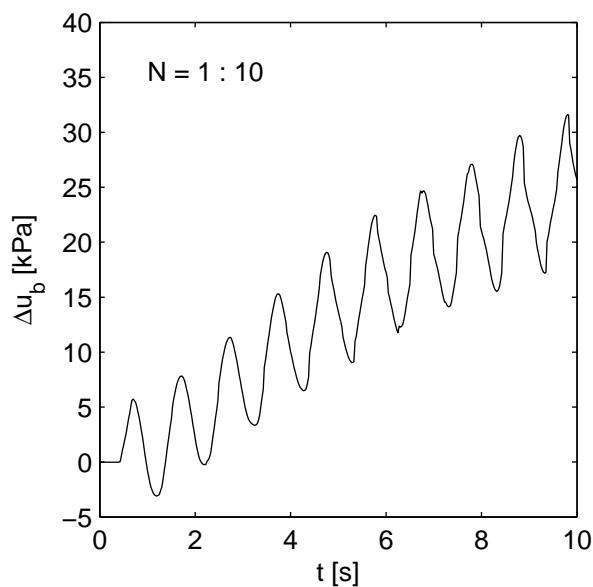
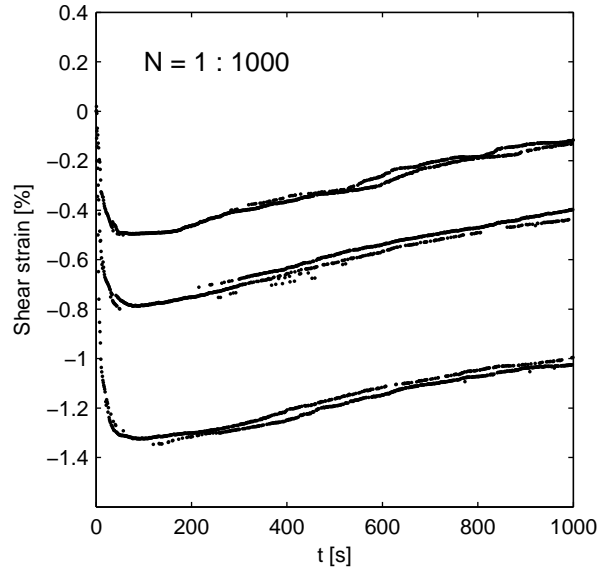
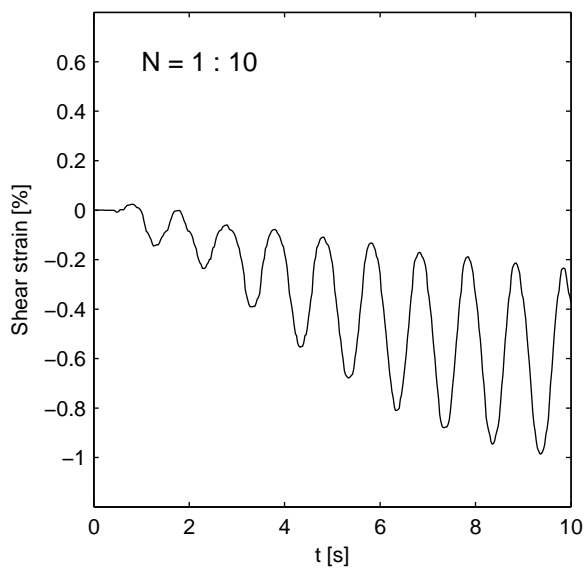
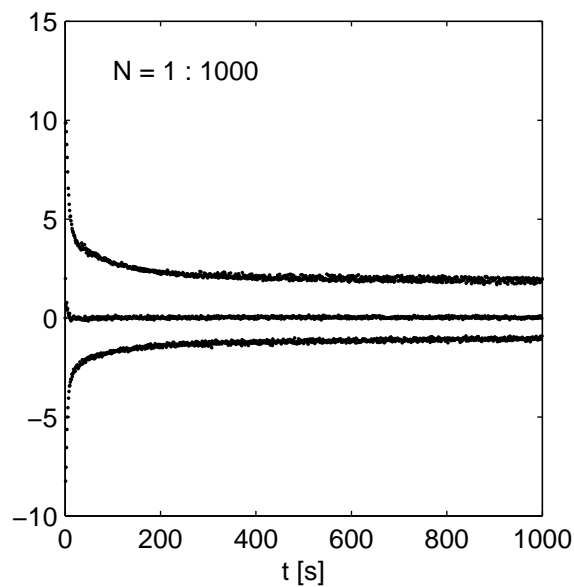
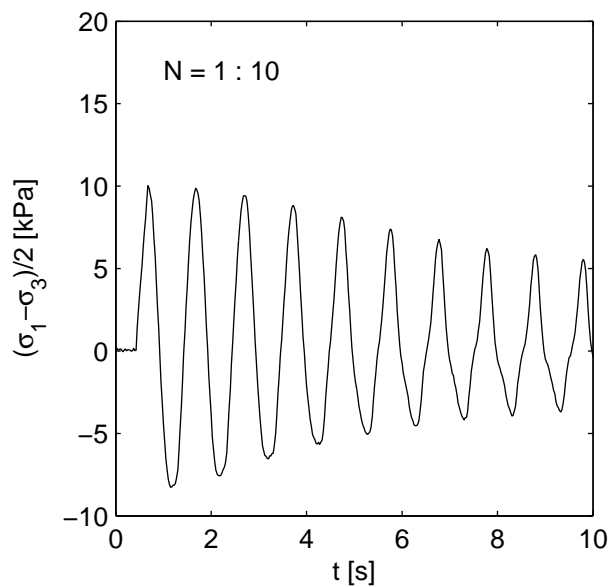
gez.
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

bijlage
B1-st4B

pag.
3

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-26



Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-09-24

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B1-Woltersum, Sample B1-st4B, depth -5.83 till -5.96m NAP

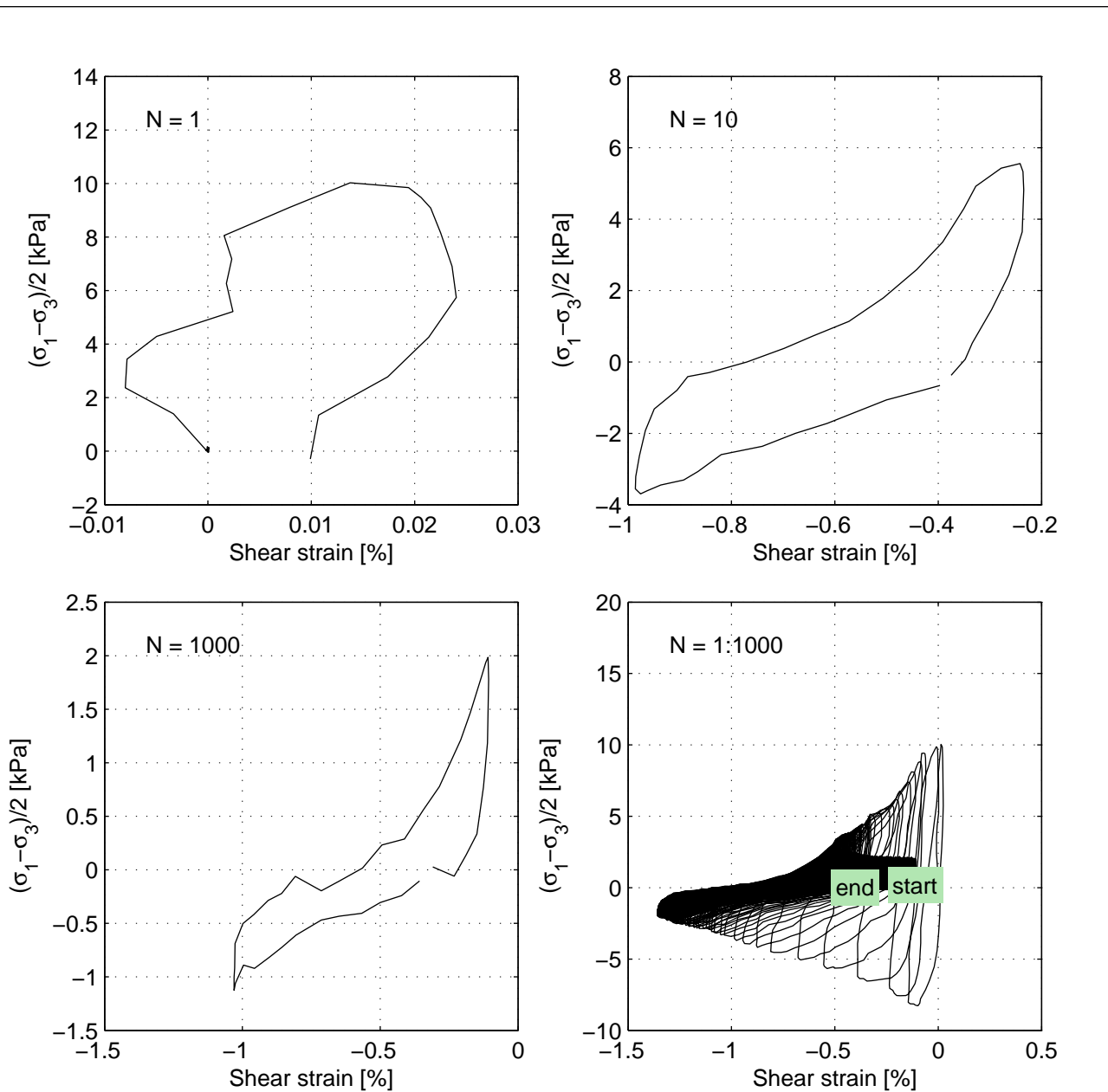
CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
1208624.13

seen
-

appendix
B1-st4B

page
4



Cyclical results with external strain:

Cycle:	1	10	1000
Shear strain amplitude [%]	0.016	0.366	0.462
Damping ratio [%]	62.2	20.8	12.2
Shear modulus [MPa]	51.1	1.4	0.3

Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-09-24

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B1-Woltersum, Sample B1-st4B, depth -5.83 till -5.96m NAP

project
1208624.13

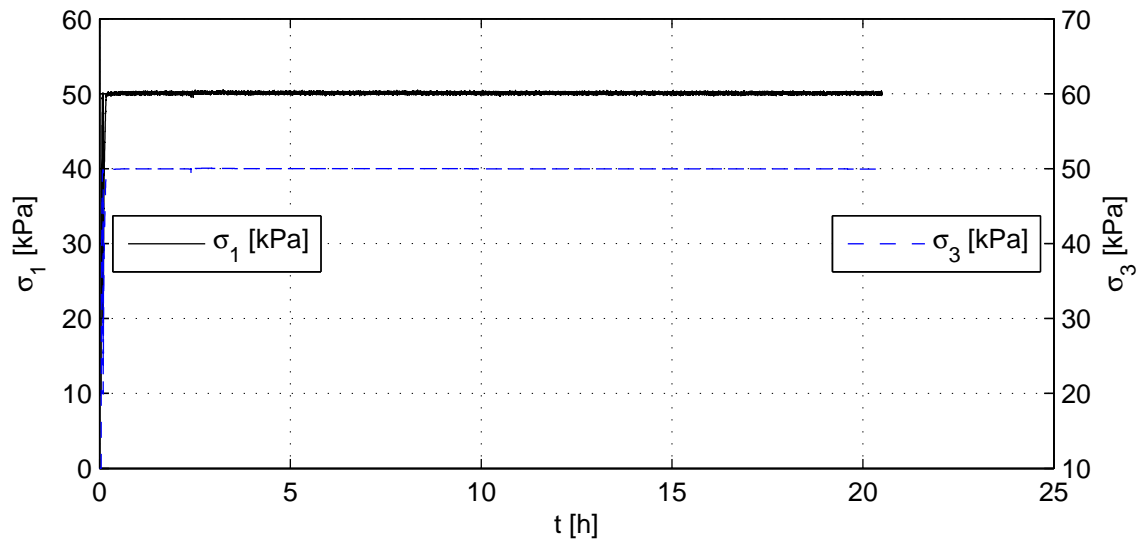
seen
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

appendix
B1-st4B

page
5

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-26



Voor beproeving

Monsternaam	B2-st3A
m_i [g]	872.8
D_i [mm]	66.0
h_i [mm]	128.0
V_i [cm ³]	437.9
w_i [%]	24.9
$\rho_{i,bulk}$ [kg/m ³]	1993
$\rho_{i,dry}$ [kg/m ³]	1596
e_i [-]	-
Grondsoort	zand

Device: TX-A

Monster intact uit boring.
Cyclisch belasten 20 kPa amplitude, 0.2 Hz.
Bij einddrainage 7.0 cc uitstroom.

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-10-03

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st3A, depth -1.64 till -1.79m NAP

project
1208624.13

gez.

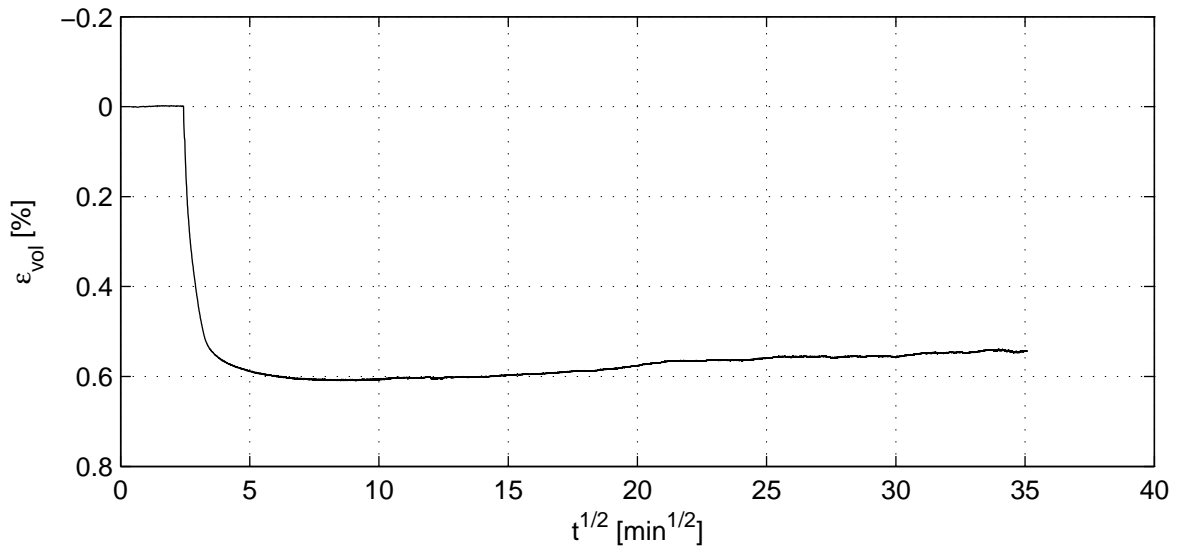
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

bijlage
B2-st3A

pag.

1



Verzadigingsfase

Consolidatiefase

B_0 [-]	0.78
B_1 [-]	0.95
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	50.4
T_{avg} [°C]	20.0
t_{100} [min]	-
h_c [mm]	127.6
V_c [cm ³]	435.5
$\rho_{n,c}$ [kg/m ³]	1999
w_c [%]	24.5
u_{bk} [kPa]	299
P [-]	8.50
Creep rate [%/h]	0.001

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-10-03

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample B2-st3A, depth -1.64 till -1.79m NAP

project
1208624.13

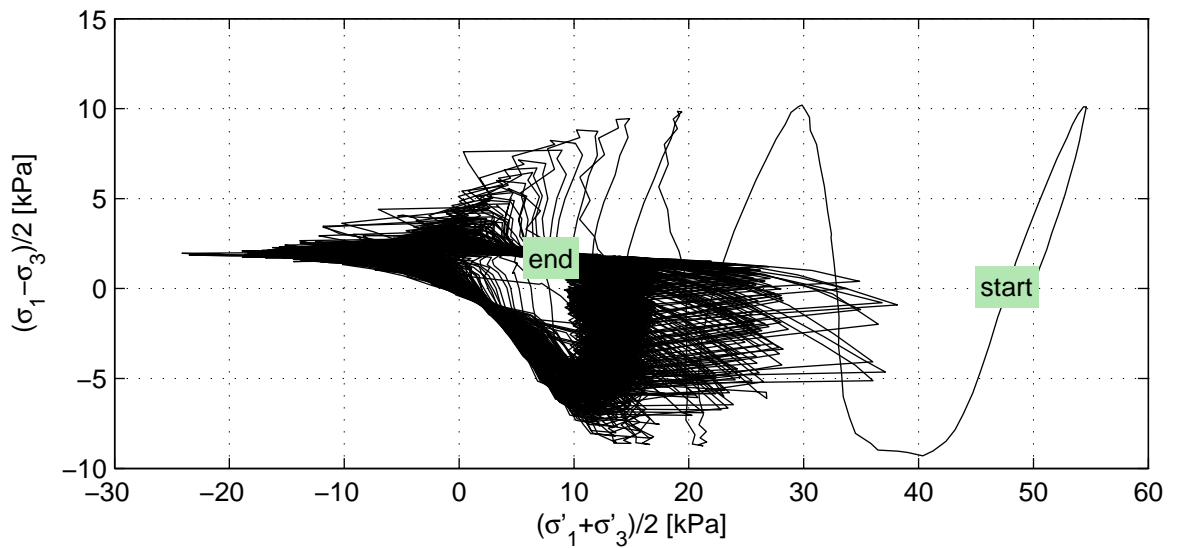
gez.
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch


bijlage
B2-st3A

pag.
2

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-26



Belastingsfase

Stopcriterium	σ'_1/σ'_3 max
Correction text	M (Deltares)
w_e [%]	24.1
Bezwijkfiguur	

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-10-03

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st3A, depth -1.64 till -1.79m NAP
CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
1208624.13

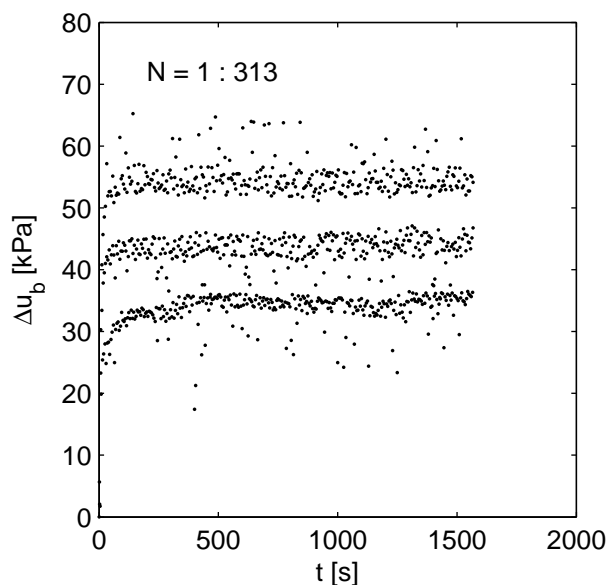
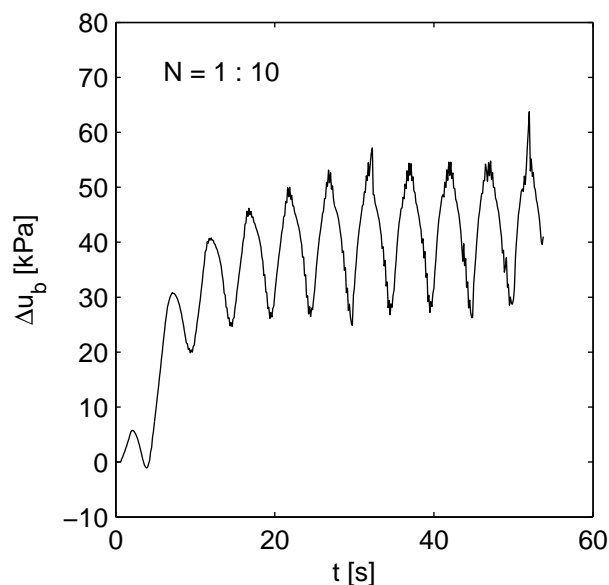
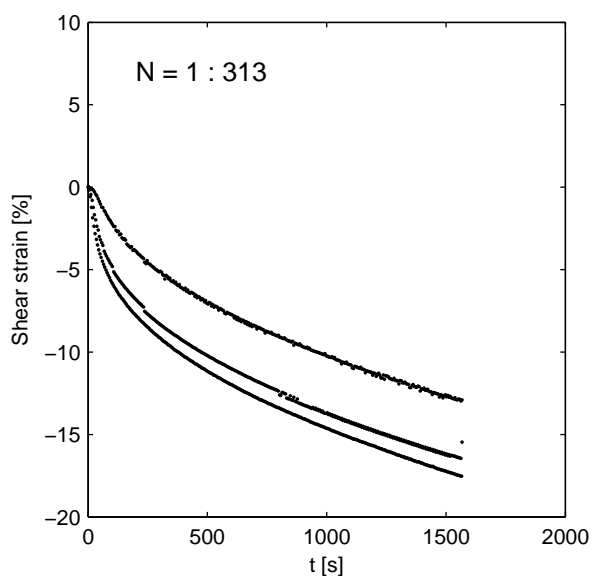
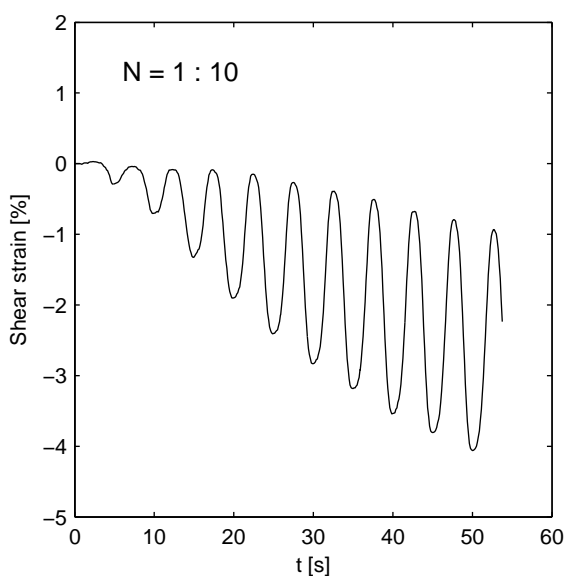
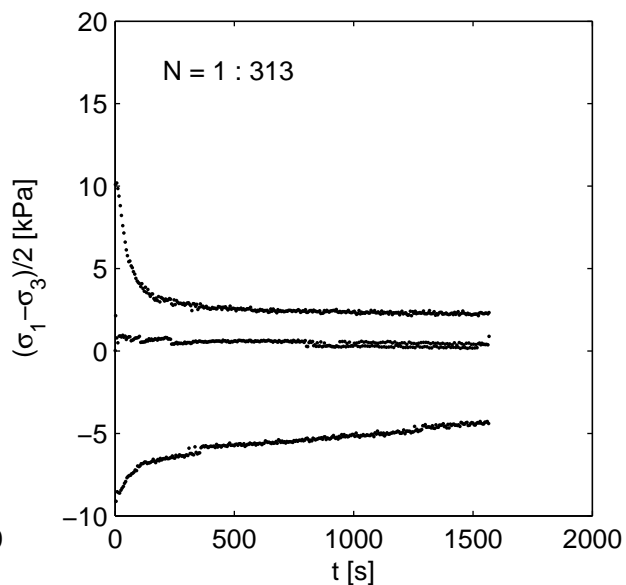
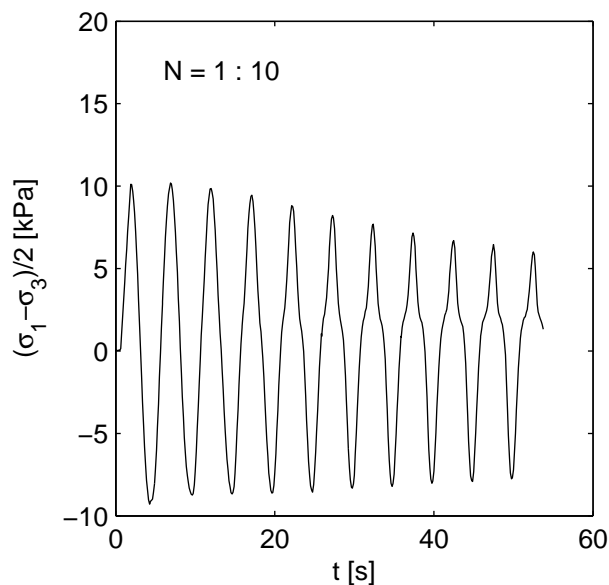
gez.

-

bijlage
B2-st3A

pag.

3



Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-10-03

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample B2-st3A, depth -1.64 till -1.79m NAP

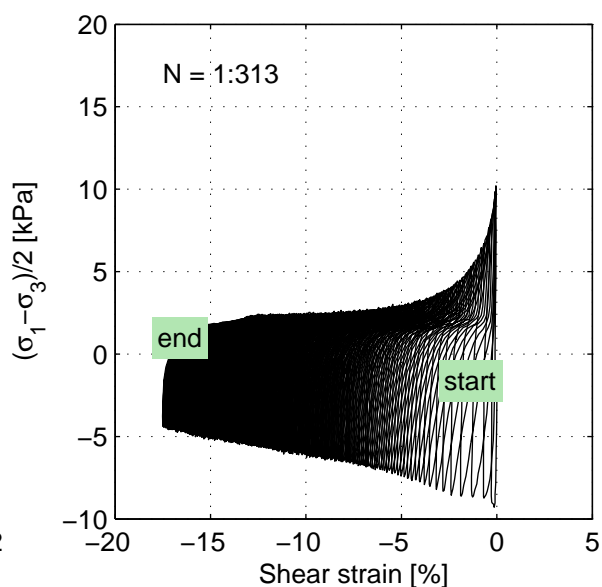
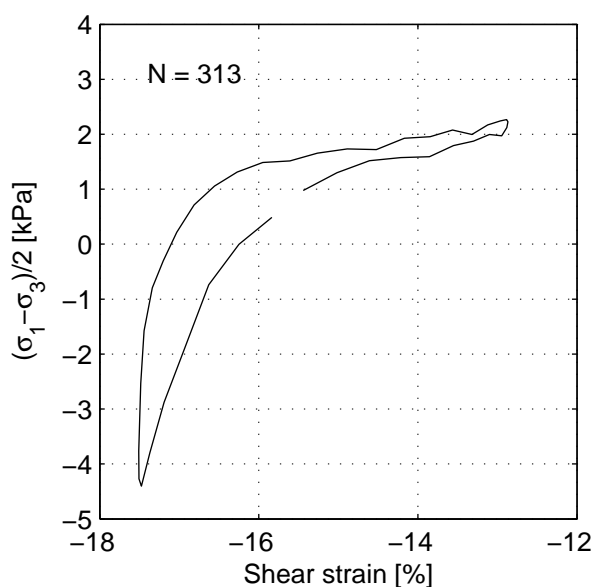
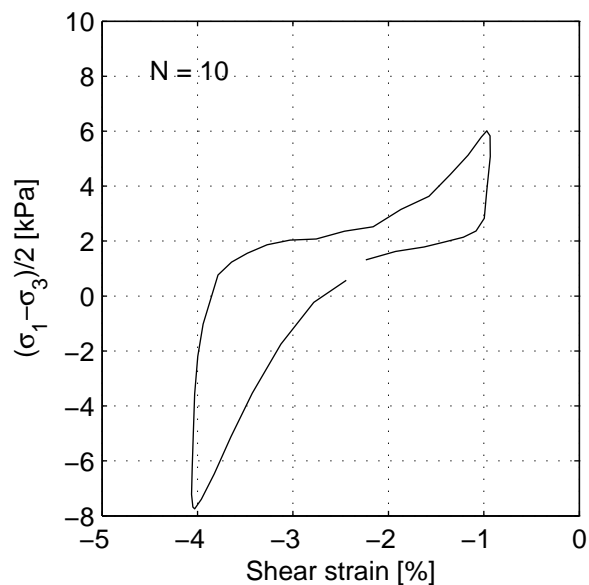
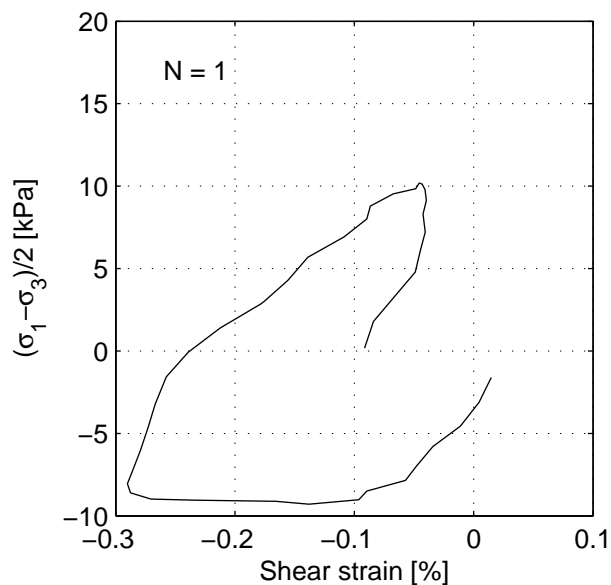
project
1208624.13

seen
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

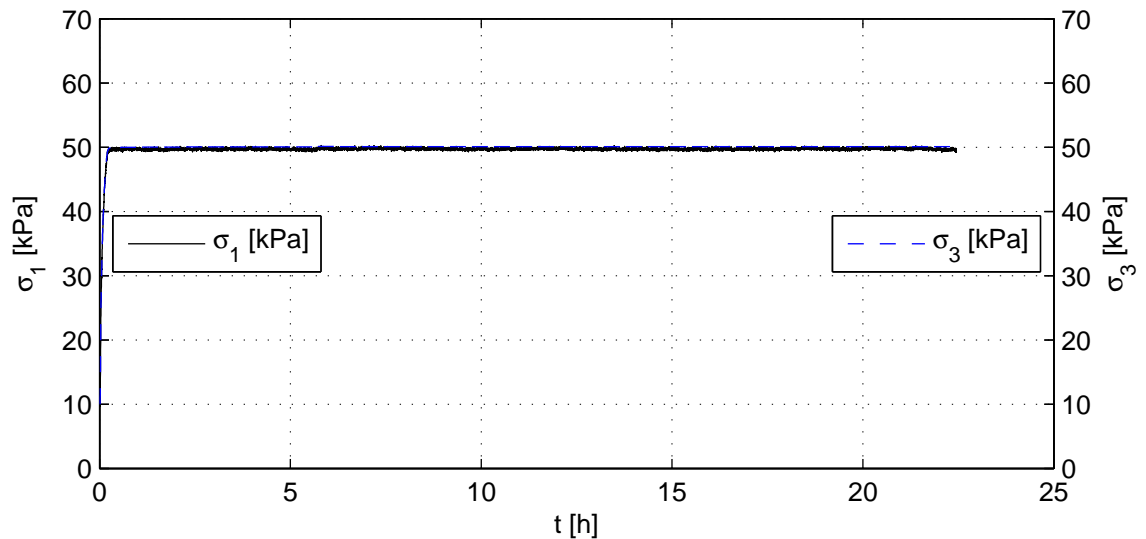
appendix
B2-st3A

page
4



Cyclical results with external strain:

Cycle:	1	10	313
Shear strain amplitude [%]	0.152	1.507	2.321
Damping ratio [%]	45.1	14.9	8.7
Shear modulus [MPa]	7.7	0.5	0.1



Voor beproeving

Monsternaam	B2-st4A
m_i [g]	927.7
D_i [mm]	65.8
h_i [mm]	138.4
V_i [cm ³]	470.6
w_i [%]	30.7
$\rho_{i,bulk}$ [kg/m ³]	1971
$\rho_{i,dry}$ [kg/m ³]	1508
e_i [-]	-
Grondsoort	Zand, zwak siltig, schelpresten

Device: TX-D

Monster intact uit boring.
 Cyclisch belasten met 20 kPa amplitude instelling maar dit is niet bereikt,
 waarschijnlijk door begrenzing snelheid plunjer; frequentie 1 Hz.
 Bij einddrainage 7.5 cc uitstroom.

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
 Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
 Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
 2013-11-25

get.
 grw

Gasbevingen: Labwerk
 Boring B2-tZandt, Sample B2-st4A, depth -1.99 till -2.14m NAP

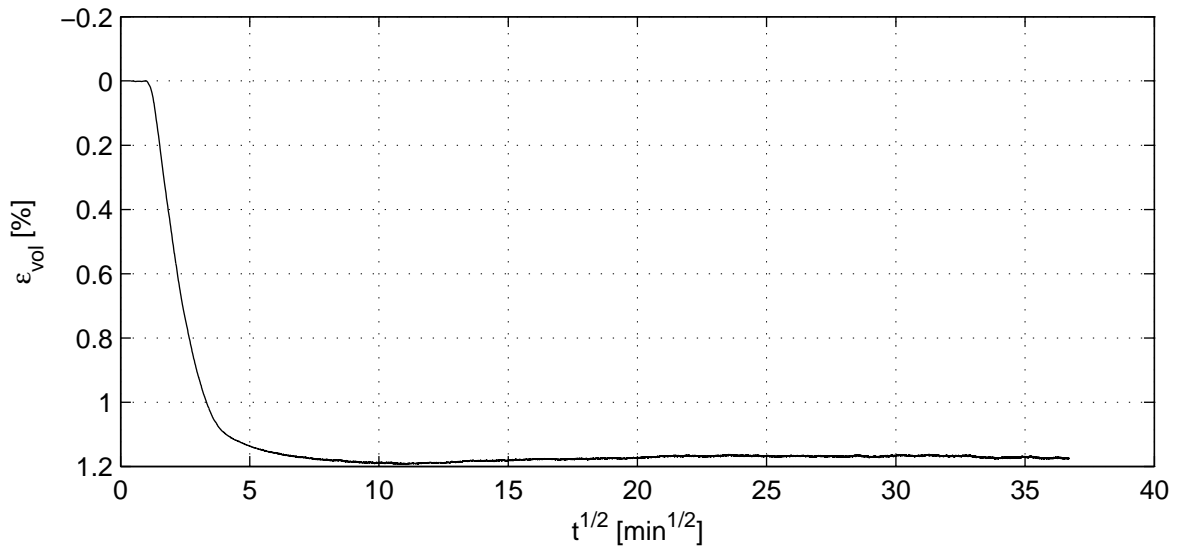
project
 1208624.13

gez.
 -

CU Triaxiaalproef Cyclisch

bijlage
 B2-st4A

pag.
 1



Verzadigingsfase

Consolidatiefase

B_0 [-]	0.97
B_1 [-]	0.99
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	49.5
T_{avg} [°C]	20.0
t_{100} [min]	-
h_c [mm]	137.5
V_c [cm ³]	465.1
$\rho_{n,c}$ [kg/m ³]	1983
w_c [%]	29.9
u_{bk} [kPa]	299
P [-]	8.50
Creep rate [%/h]	0.003

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-25

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st4A, depth -1.99 till -2.14m NAP

project
1208624.13

gez.

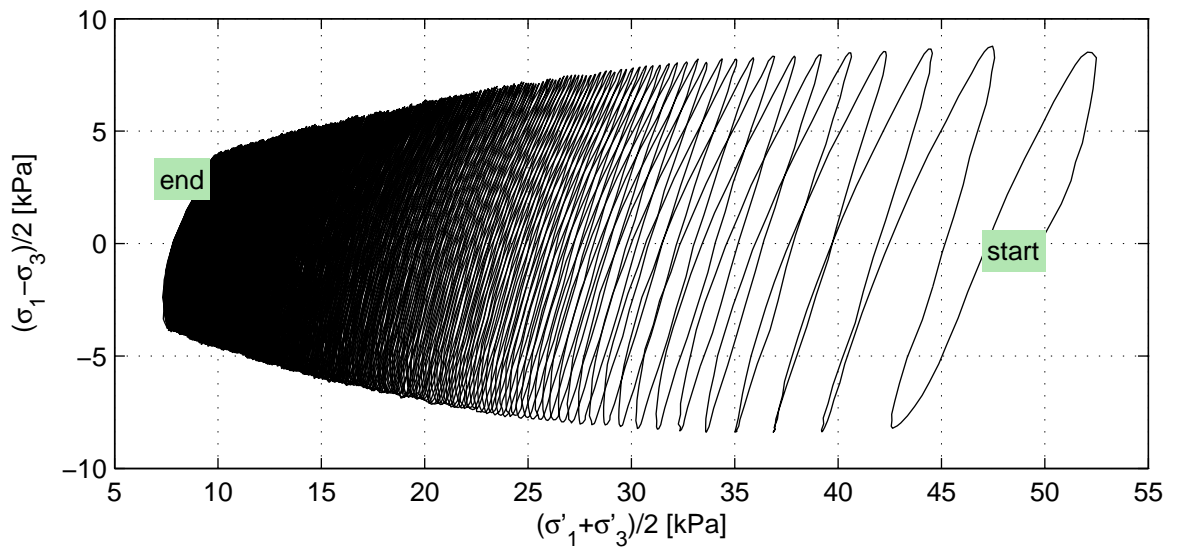
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch


bijlage
B2-st4A

pag.

2



Belastingsfase

Stopcriterium	σ'_1/σ'_3 max
Correction text	M (Deltares)
w_e [%]	28.8
Bezwijkfiguur	

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-25

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st4A, depth -1.99 till -2.14m NAP
CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
1208624.13

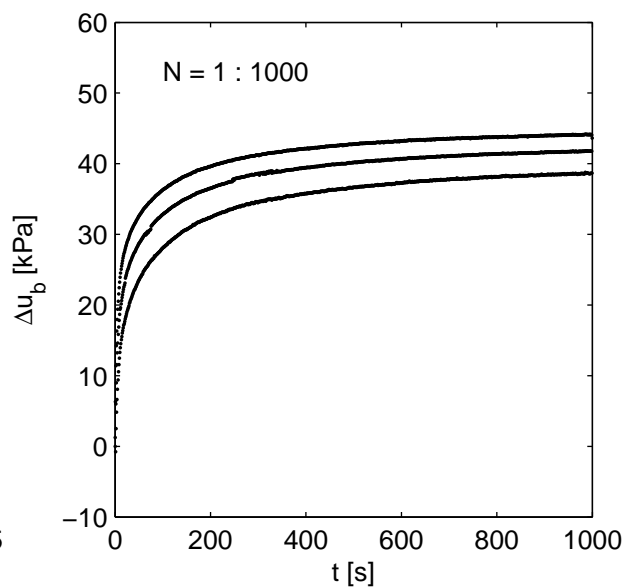
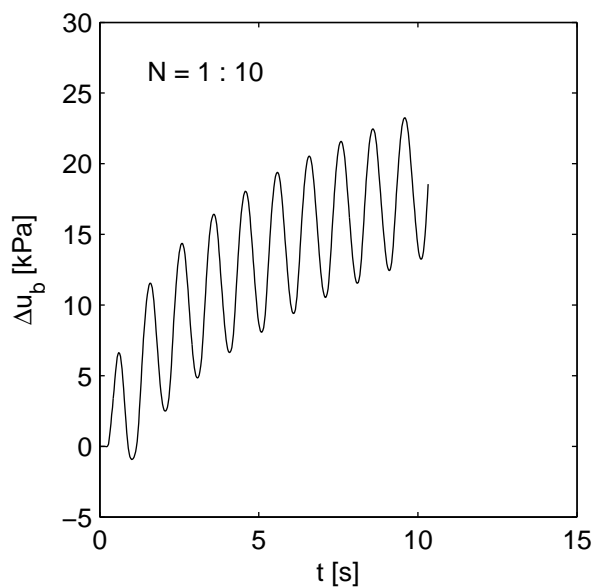
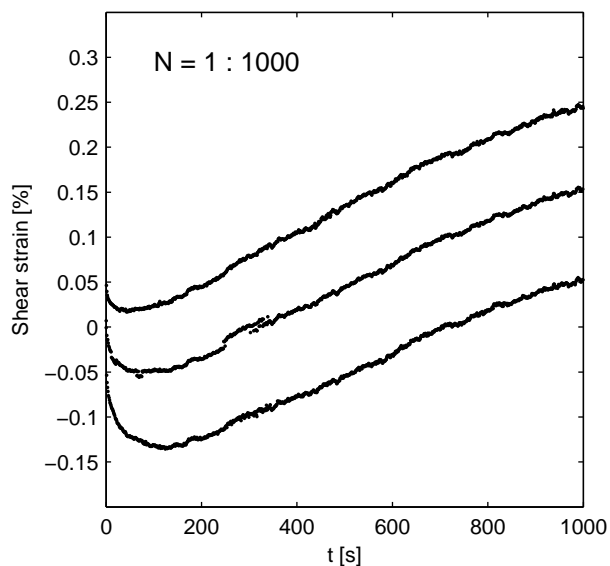
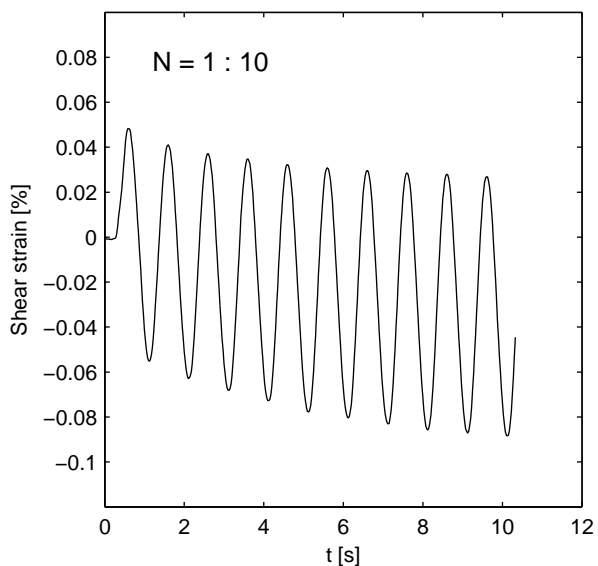
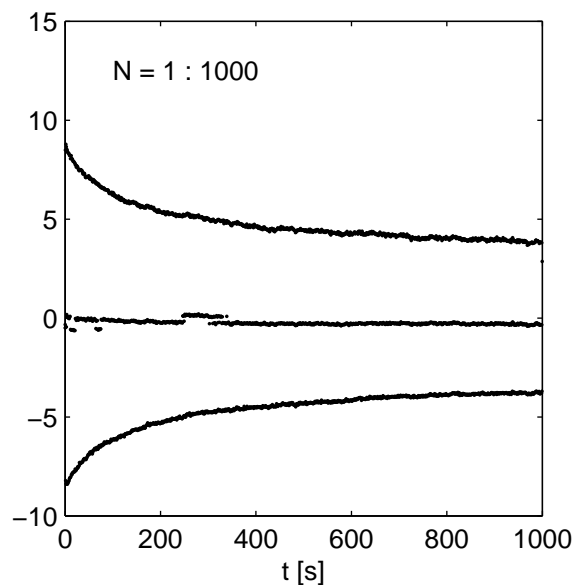
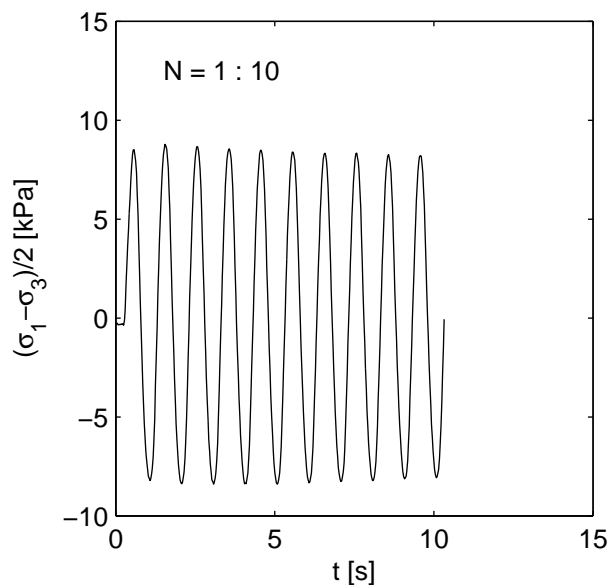
gez.

-

bijlage
B2-st4A

pag.

3



Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-25

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample B2-st4A, depth -1.99 till -2.14m NAP

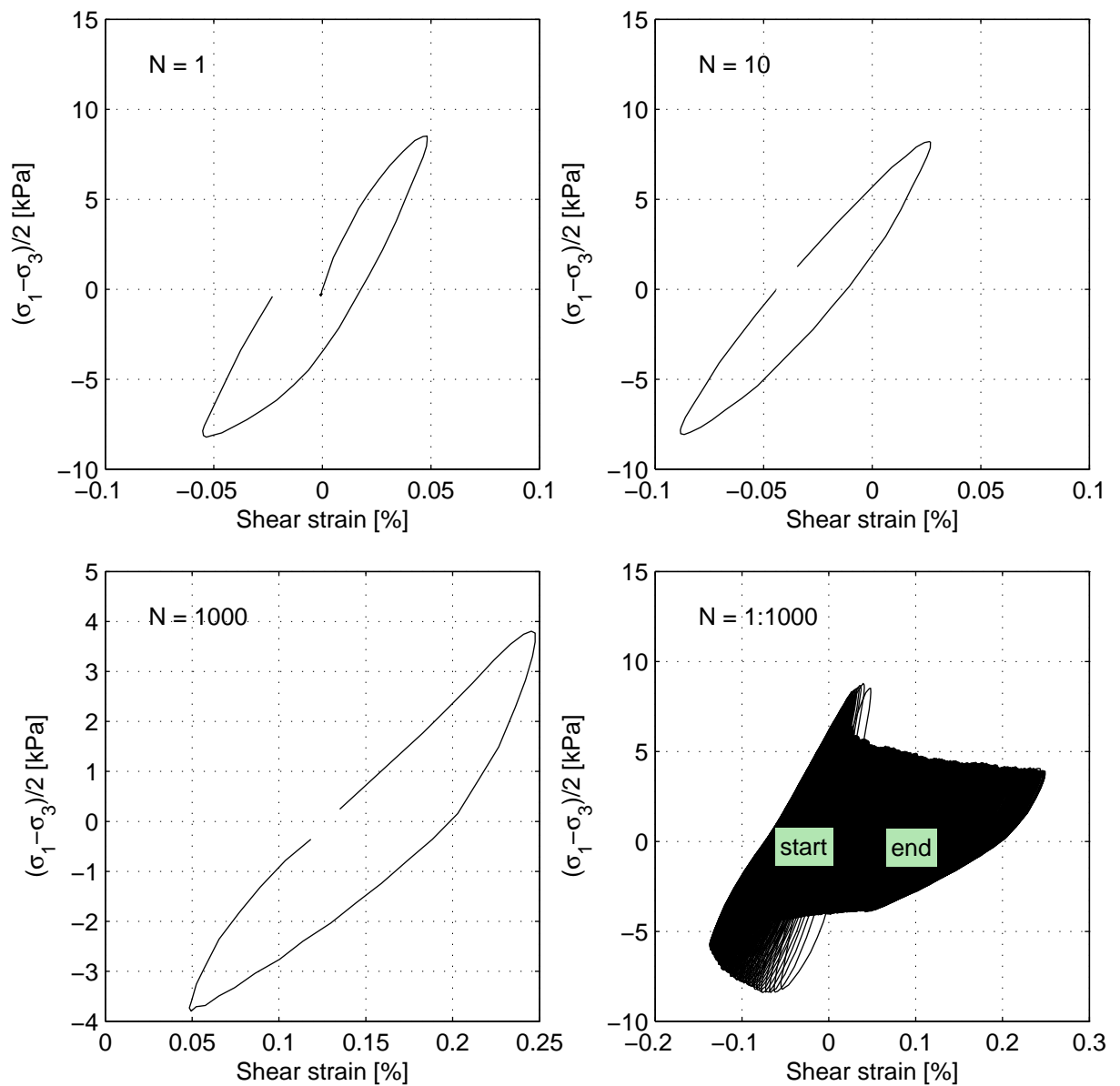
CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
1208624.13

seen
-

appendix
B2-st4A

page
4



Cyclical results with external strain:

Cycle:	1	10	1000
Shear strain amplitude [%]	0.052	0.058	0.100
Damping ratio [%]	14.2	13.1	15.3
Shear modulus [MPa]	16.2	14.4	3.8

Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-25

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st4A, depth -1.99 till -2.14m NAP

project
1208624.13

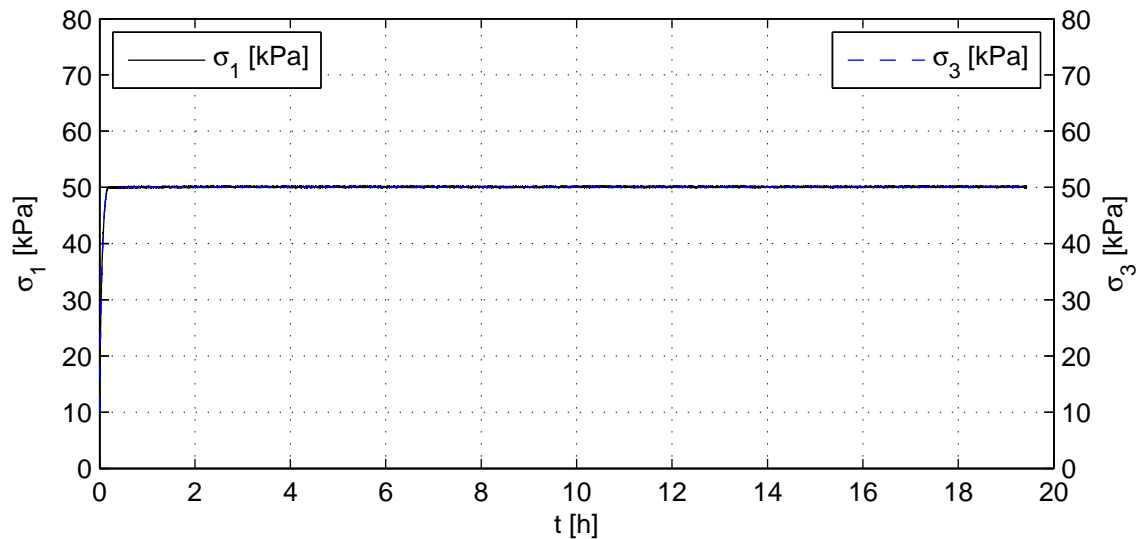
seen
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

appendix
B2-st4A

page
5

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-26



Voor beproeving

Monsternaam	B2-st5A
m_i [g]	954.6
D_i [mm]	67.2
h_i [mm]	134.9
V_i [cm ³]	478.9
w_i [%]	25.5
$\rho_{i,bulk}$ [kg/m ³]	1993
$\rho_{i,dry}$ [kg/m ³]	1589
e_i [-]	-
Grondsoort	Zand, zwak siltig

Device: TX-D

Monster intact uit boring.
Cyclisch belasten 30 kPa amplitude, 1 Hz, 999 cycli.
Bij einddrainage 0.6 cc uitstroom.

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-29

get.
grw

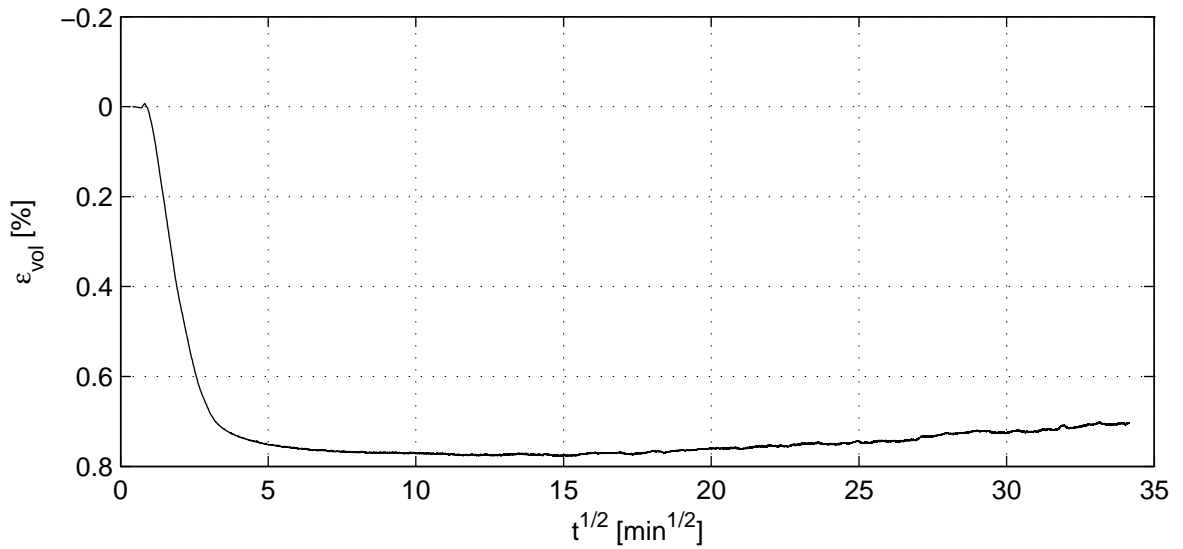
Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st5A, depth -2.39 till -2.54m NAP
CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
1208624.13

gez.
-

bijlage
B2-st5A

pag.
1



Verzadigingsfase

Consolidatiefase

B_0 [-]	0.60
B_1 [-]	0.98
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	50.3
T_{avg} [°C]	20.0
t_{100} [min]	-
h_c [mm]	134.6
V_c [cm ³]	475.5
$\rho_{n,c}$ [kg/m ³]	2000
w_c [%]	25.0
u_{bk} [kPa]	298
P [-]	8.50
Creep rate [%/h]	-0.005

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-29

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st5A, depth -2.39 till -2.54m NAP

project
1208624.13

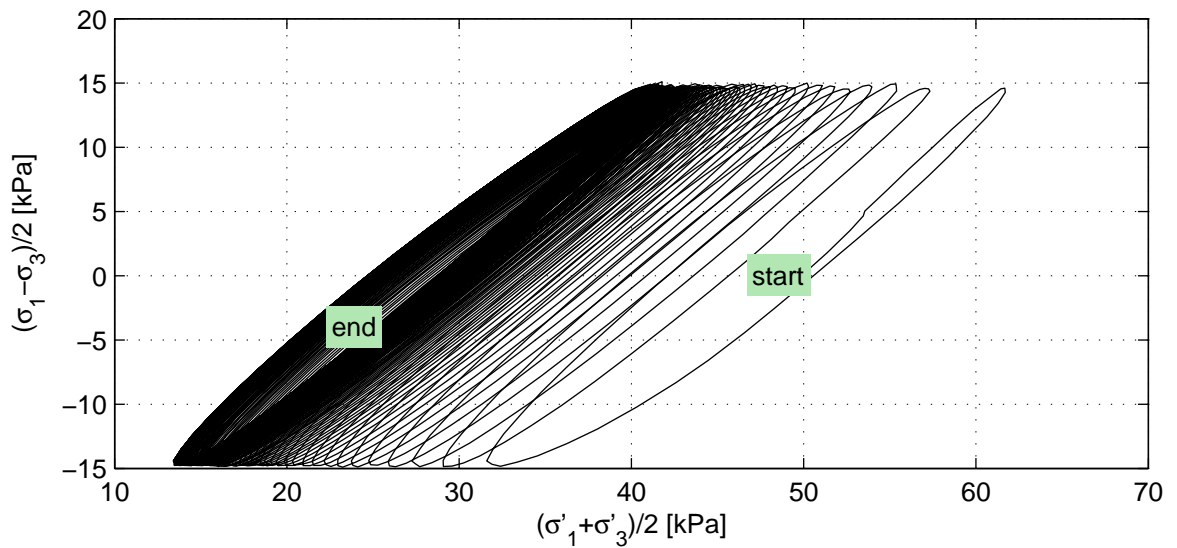
gez.
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch


bijlage
B2-st5A

pag.
2

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-12-03



Belastingsfase

Stopcriterium	Max. number of cycles
Correction text	M (Deltares)
w _e [%]	26.9
Bezwijkfiguur	

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-29

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st5A, depth -2.39 till -2.54m NAP

project
1208624.13

gez.

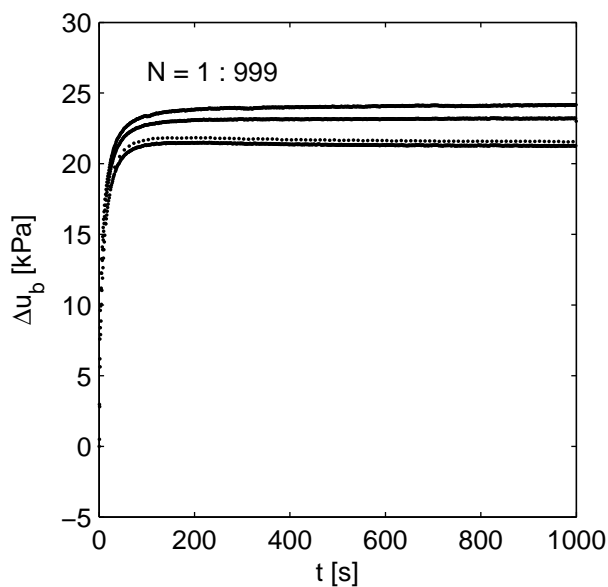
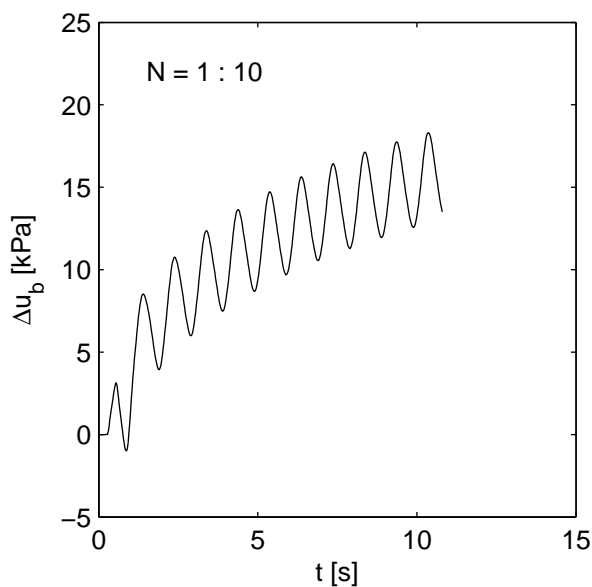
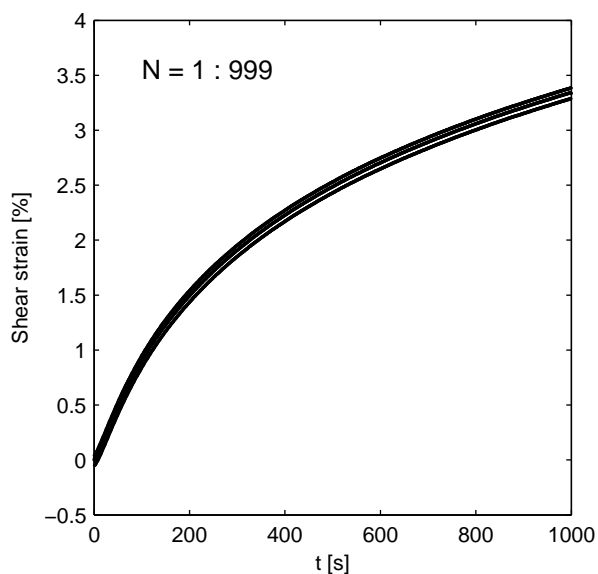
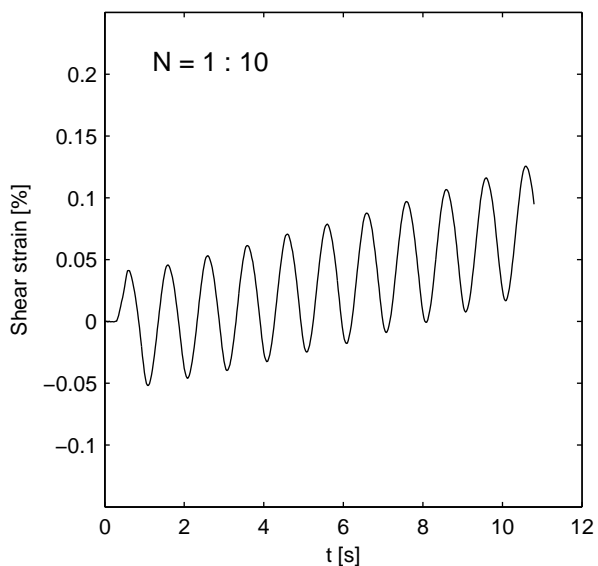
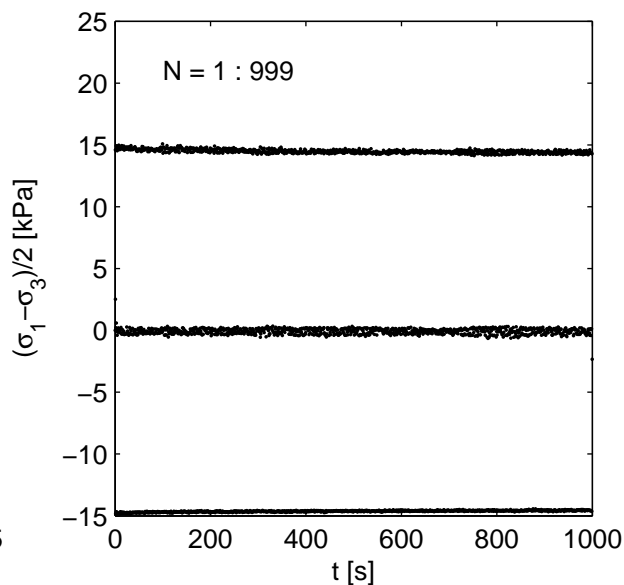
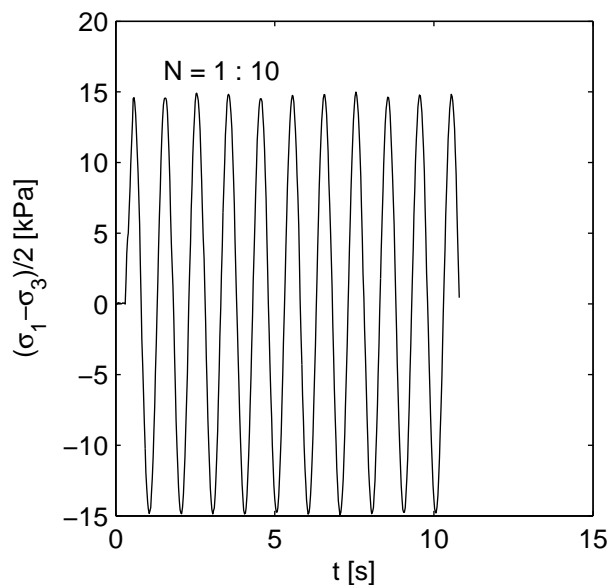
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

bijlage
B2-st5A

pag.

3



Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-29

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample B2-st5A, depth -2.39 till -2.54m NAP

project
1208624.13

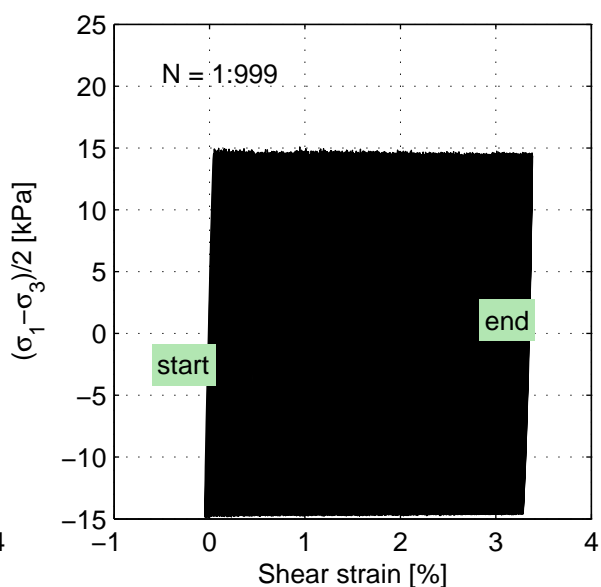
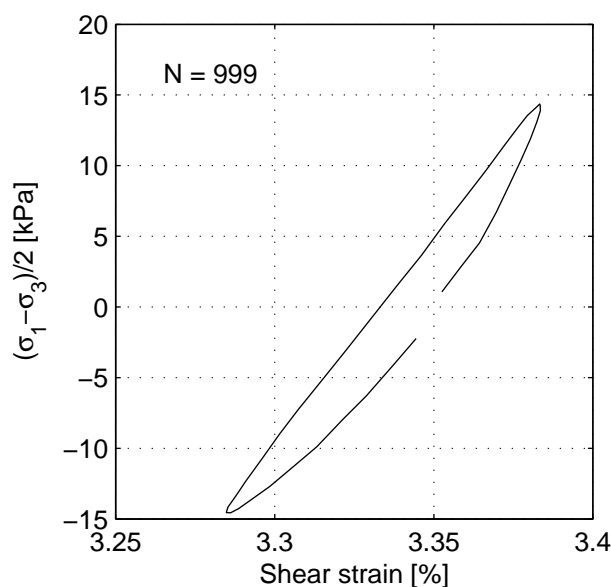
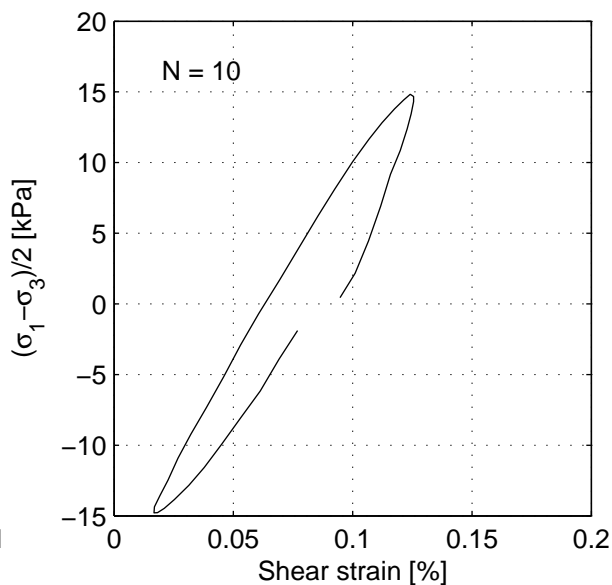
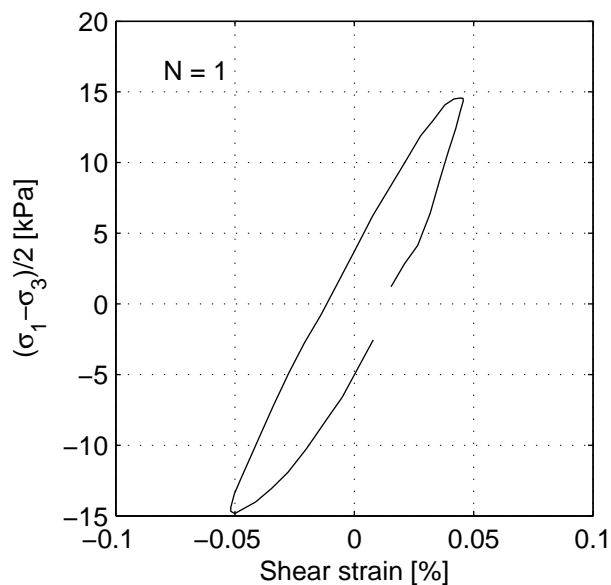
seen
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

appendix
B2-st5A

page
4

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-12-03



Cyclical results with external strain:

Cycle:	1	10	999
Shear strain amplitude [%]	0.049	0.054	0.049
Damping ratio [%]	14.0	10.8	8.6
Shear modulus [MPa]	30.0	27.3	30.0

Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-29

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st5A, depth -2.39 till -2.54m NAP

project
1208624.13

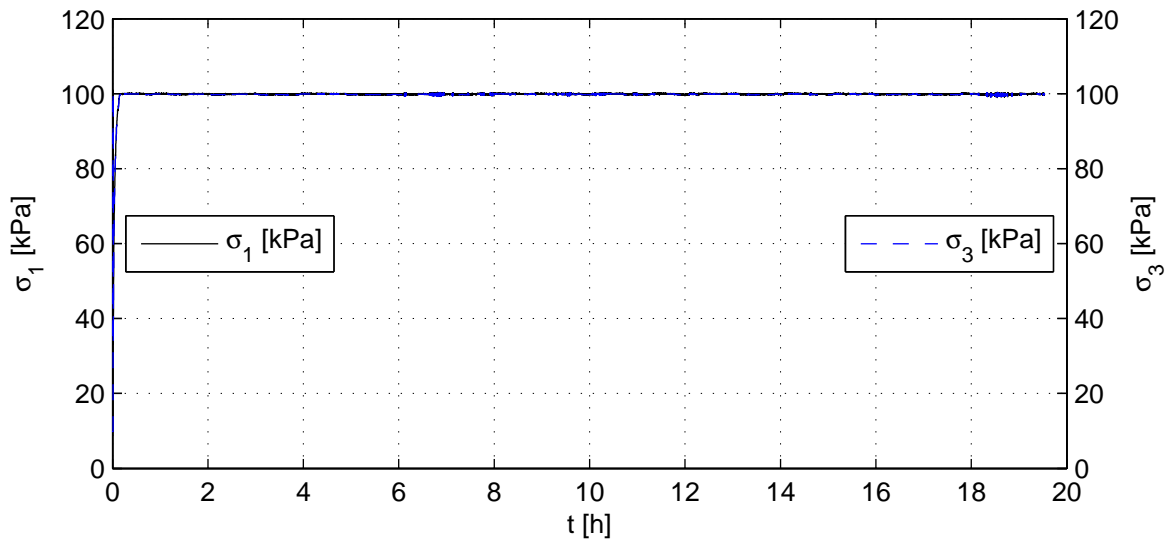
seen
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

appendix
B2-st5A

page
5

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-12-03



Voor beproeving

Monsternaam	B2-st6A
m_i [g]	899.0
D_i [mm]	67.0
h_i [mm]	139.5
V_i [cm ³]	491.8
w_i [%]	31.2
$\rho_{i,bulk}$ [kg/m ³]	1828
$\rho_{i,dry}$ [kg/m ³]	1393
e_i [-]	-
Grondsoort	Zand, matig siltig

Device: TX-D

Monster intact uit boring.
 Isotrope consolidatie 100 kPa.
 Cyclisch belasten 30 kPa amplitude, 1 Hz.
 Bezwijken na circa 20 cycli.
 Bij einddrainage 8.5 cc uitstroom.

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
 Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
 Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
 2013-11-28

get.
 grw

Gasbevingen: Labwerk
 Boring B2-tZandt, Sample B2-st6A, depth -5.79 till -5.94m NAP

project
 1208624.13

gez.

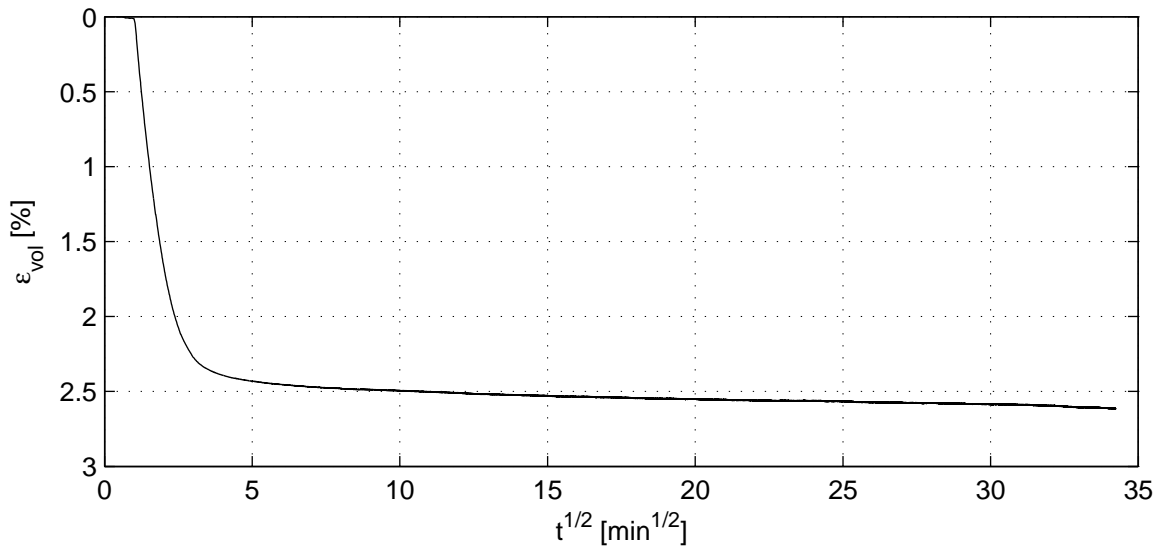
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

bijlage
 B2-st6A

pag.

1



Verzadigingsfase

Consolidatiefase

B_0 [-]	0.95
B_1 [-]	0.99
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	101.7
T_{avg} [°C]	20.0
t_{100} [min]	-
h_c [mm]	137.8
V_c [cm ³]	479.0
$\rho_{n,c}$ [kg/m ³]	1850
w_c [%]	29.3
u_{bk} [kPa]	299
P [-]	8.50
Creep rate [%/h]	0.021

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-28

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st6A, depth -5.79 till -5.94m NAP

project
1208624.13

gez.

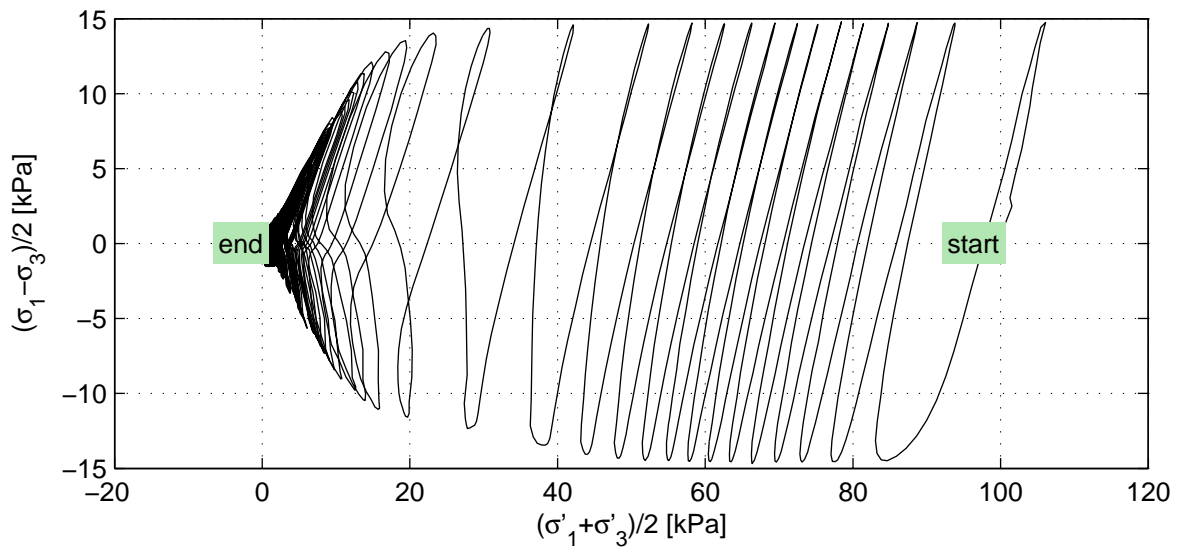
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch


bijlage
B2-st6A

pag.

2



Belastingsfase

Stopcriterium	Max. number of cycles
Correction text	MP (Deltares)
w_e [%]	28.8
Bezwijkfiguur	

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-28

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st6A, depth -5.79 till -5.94m NAP
CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
1208624.13

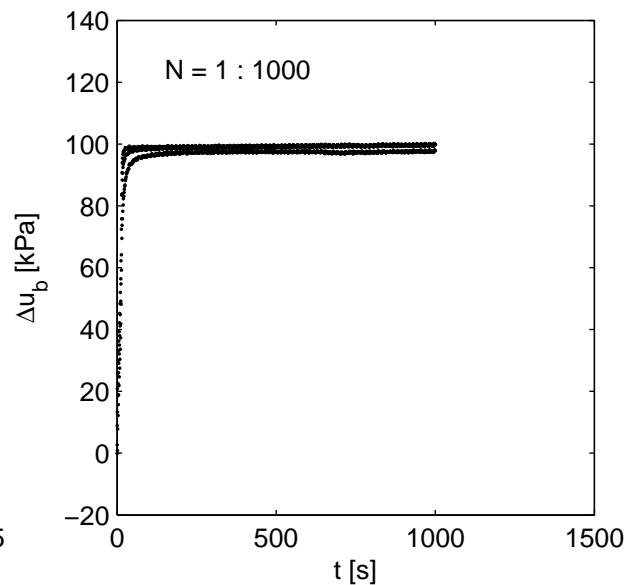
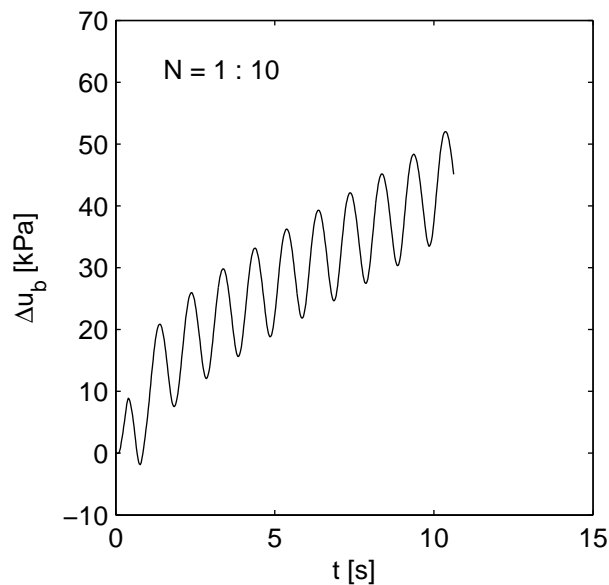
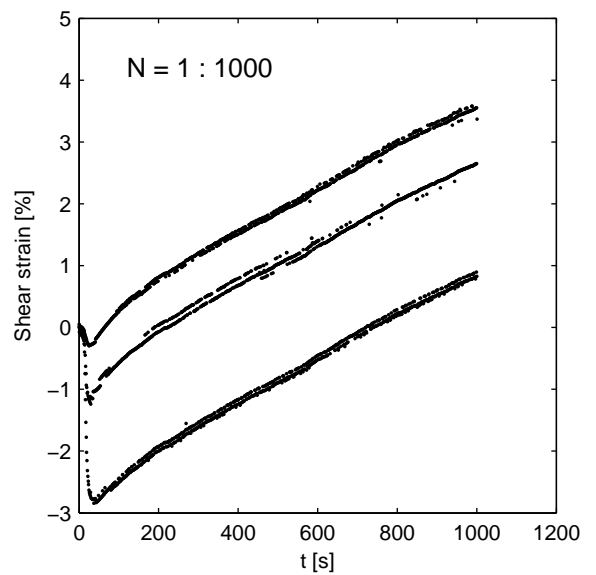
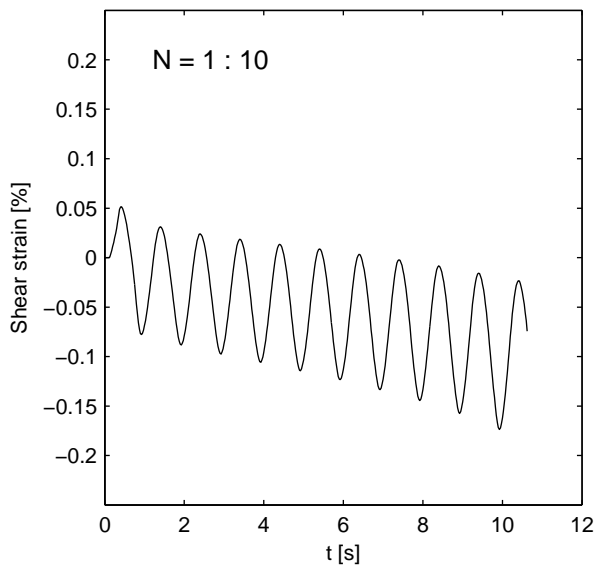
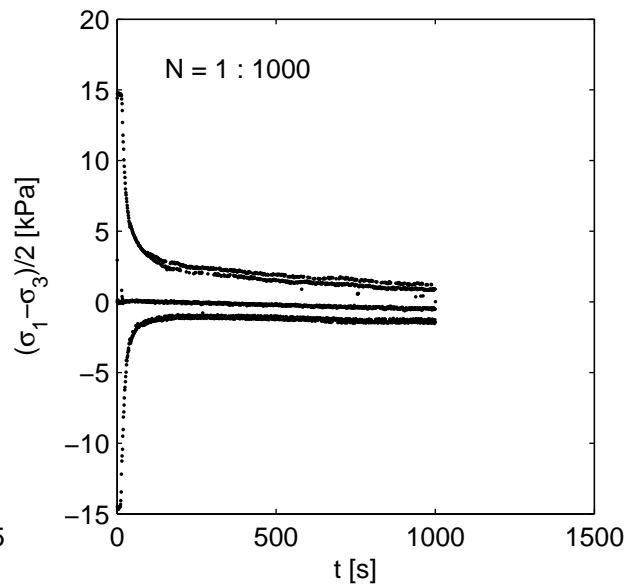
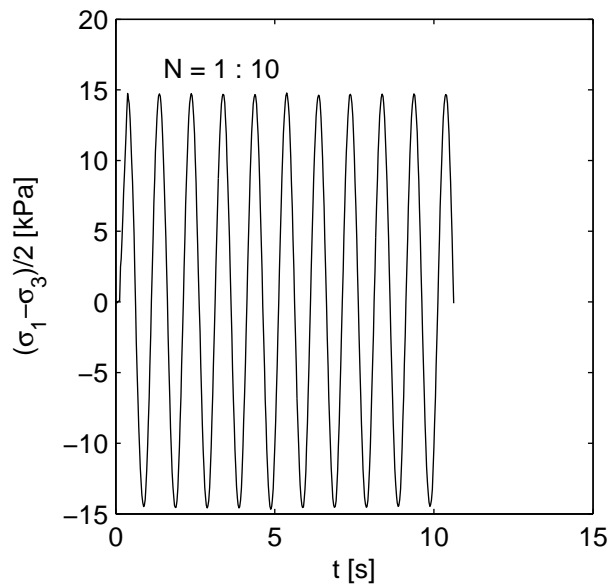
gez.

-

bijlage
B2-st6A

pag.

3



Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-28

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample B2-st6A, depth -5.79 till -5.94m NAP

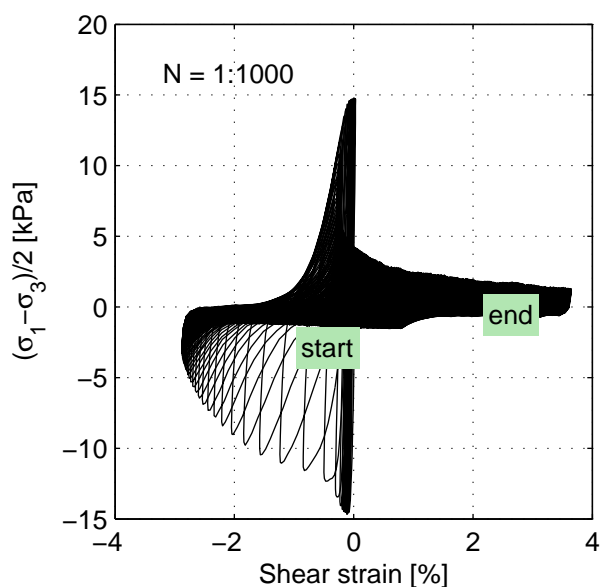
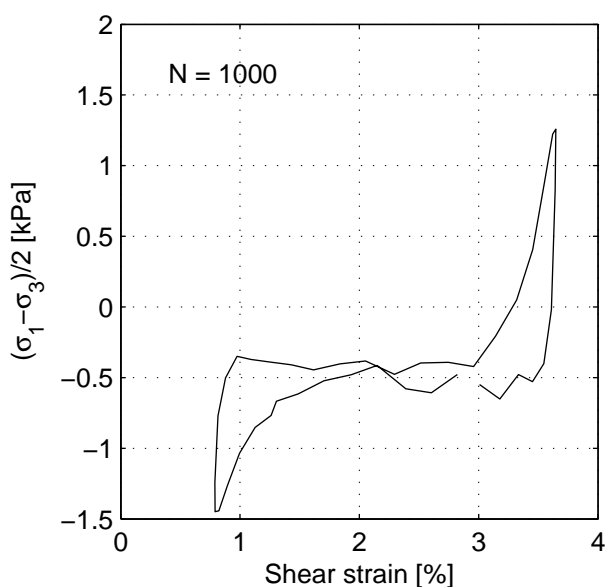
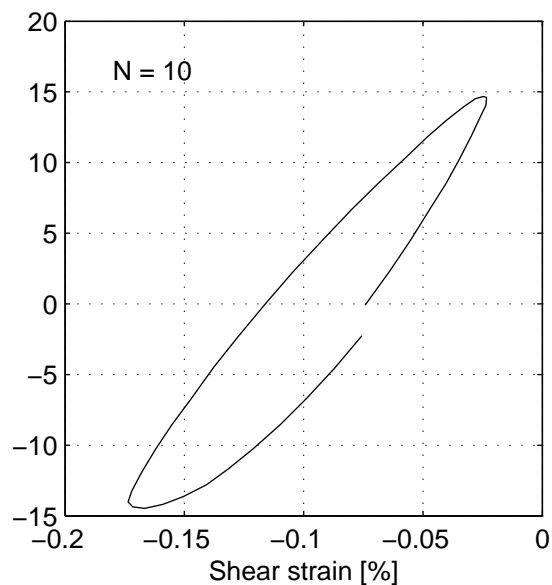
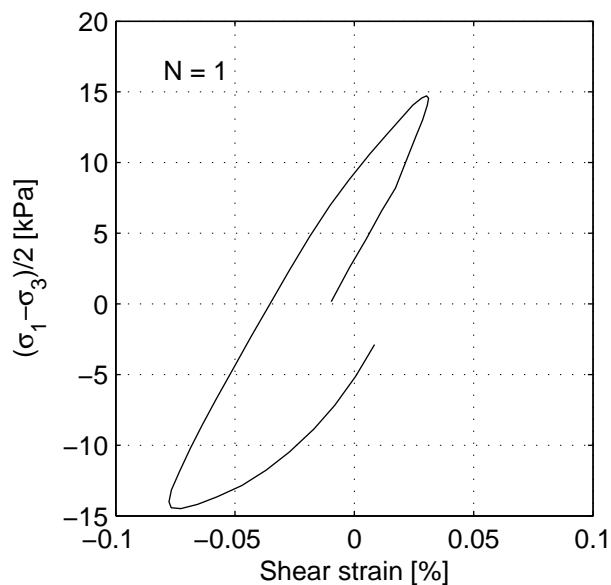
project
1208624.13

seen
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

appendix
B2-st6A

page
4



Cyclical results with external strain:

Cycle:	1	10	1000
Shear strain amplitude [%]	0.054	0.071	1.429
Damping ratio [%]	19.6	14.9	6.8
Shear modulus [MPa]	26.9	20.7	0.1

Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-28

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st6A, depth -5.79 till -5.94m NAP

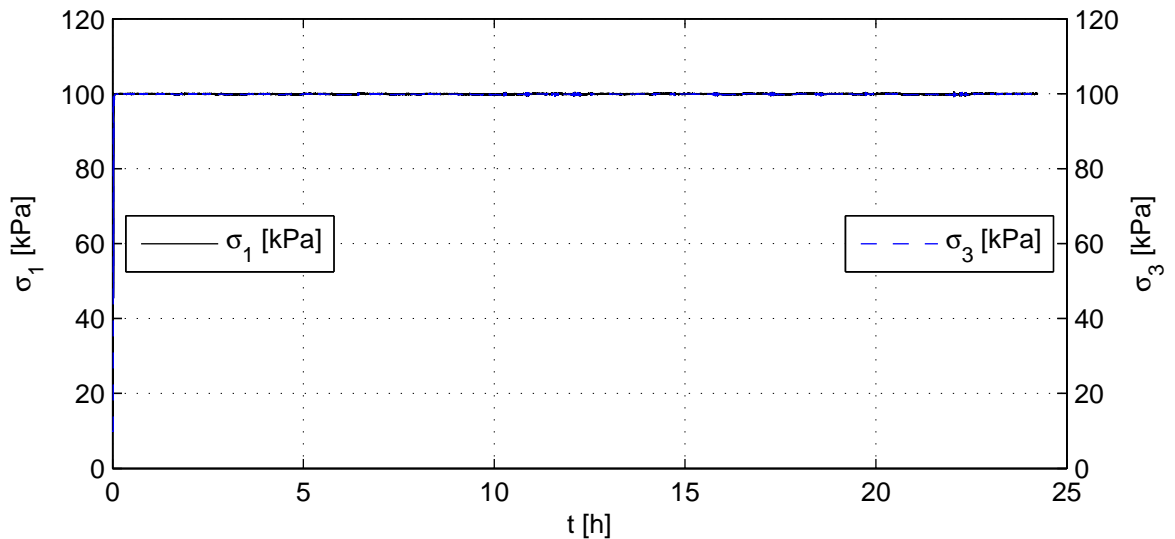
project
1208624.13

seen
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

appendix
B2-st6A

page
5



Voor beproeving

Monsternaam	B2-st8A
m_i [g]	973.6
D_i [mm]	66.7
h_i [mm]	138.9
V_i [cm ³]	485.3
w_i [%]	25.3
$\rho_{i,bulk}$ [kg/m ³]	2006
$\rho_{i,dry}$ [kg/m ³]	1601
e_i [-]	-
Grondsoort	Zand, matig siltig

Device: TX-D

Monster intact uit boring.
 Isotrope consolidatie 100 kPa.
 Cyclisch belasten 20 kPa amplitude, 1 Hz.
 3 fasen van 1000 cycli.
 Bij einddrainage 4.6 cc uitstroom.

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
 Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
 Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
 2013-10-14

get.
 grw

Gasbevingen: Labwerk
 Boring B2-tZandt, Sample B2-st8A, depth -6.71 till -6.86m NAP

project
 1208624.13

gez.

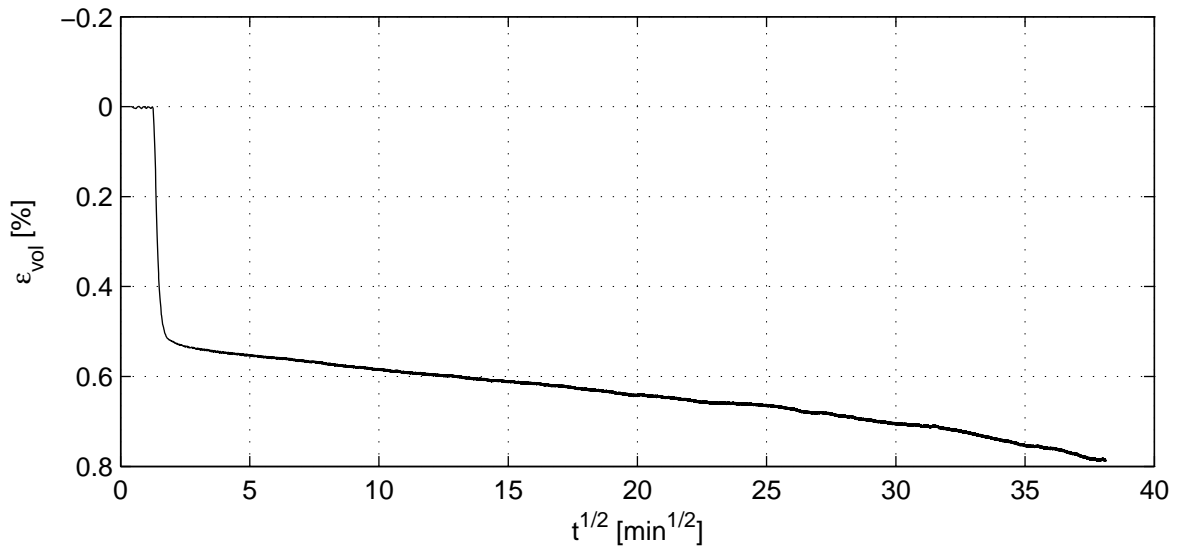
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

bijlage
 B2-st8A

pag.

1



Verzadigingsfase

Consolidatiefase

B_0 [-]	0.70
B_1 [-]	0.99
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	101.2
T_{avg} [°C]	20.0
t_{100} [min]	-
h_c [mm]	138.6
V_c [cm ³]	481.5
$\rho_{n,c}$ [kg/m ³]	2014
w_c [%]	24.8
u_{bk} [kPa]	299
P [-]	8.50
Creep rate [%/h]	0.002

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-10-14

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample B2-st8A, depth -6.71 till -6.86m NAP

project
1208624.13

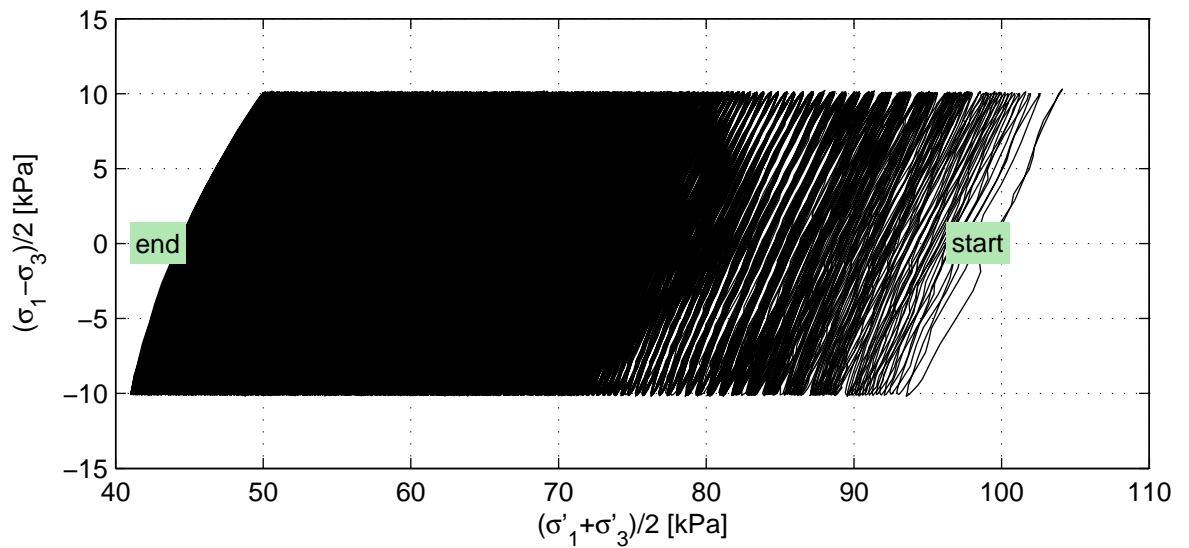
gez.
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch


bijlage
B2-st8A

pag.
2

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-26



Belastingsfase

Stopcriterium	Max. number of cycles
Correction text	M (Deltares)
w _e [%]	24.1
Bezwijkfiguur	

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-10-14

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st8A, depth -6.71 till -6.86m NAP

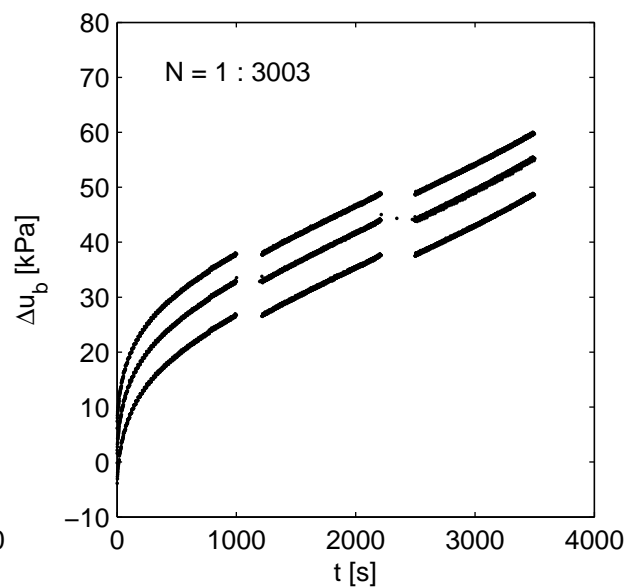
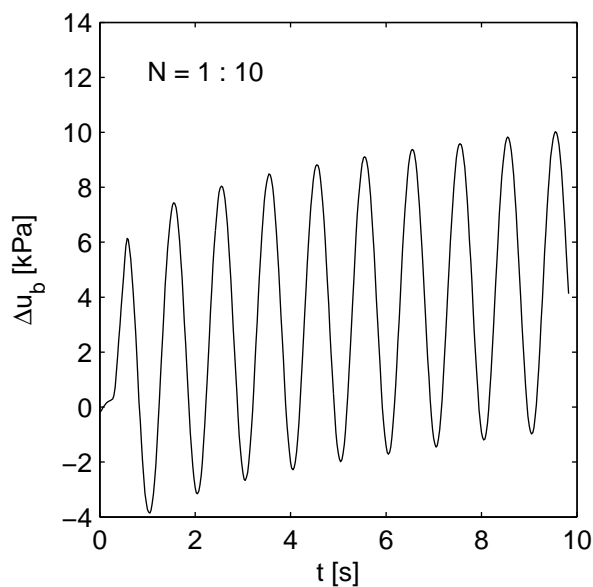
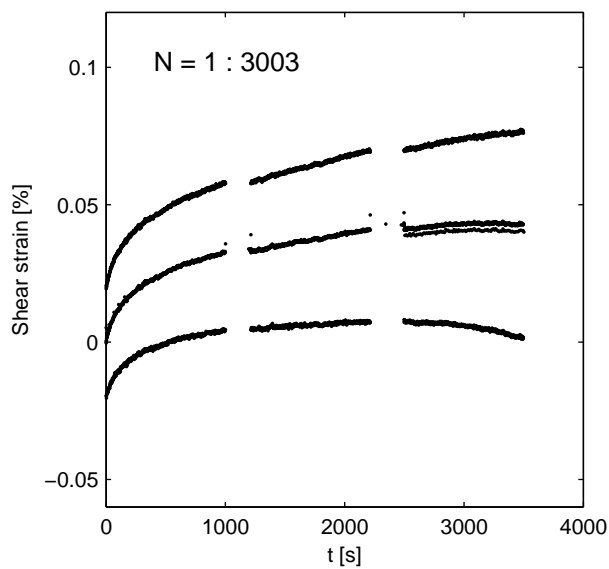
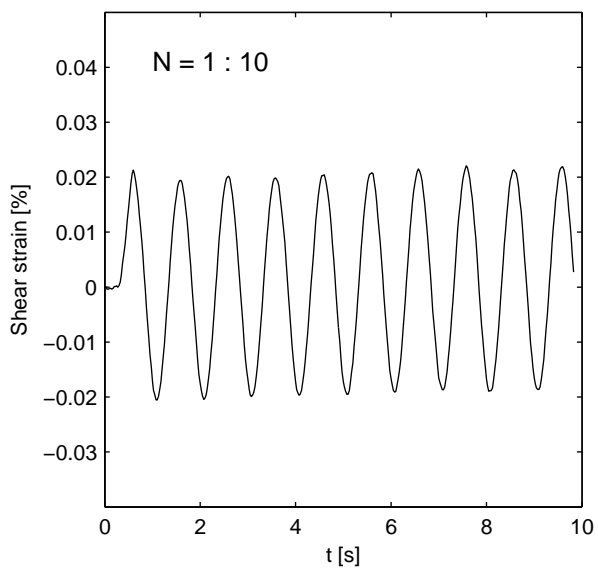
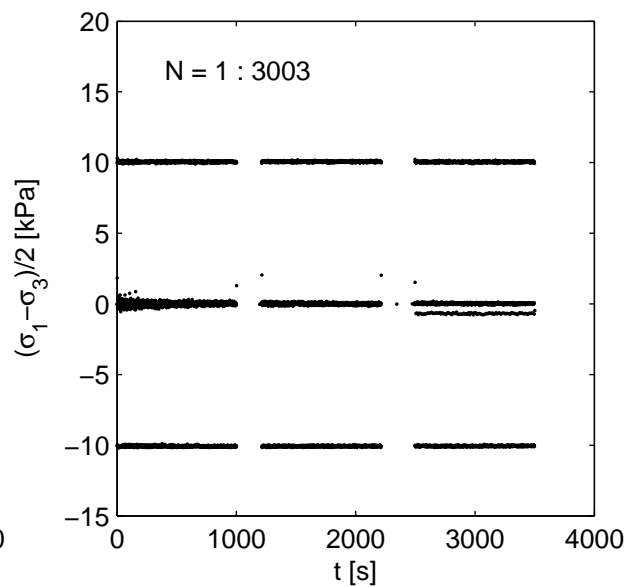
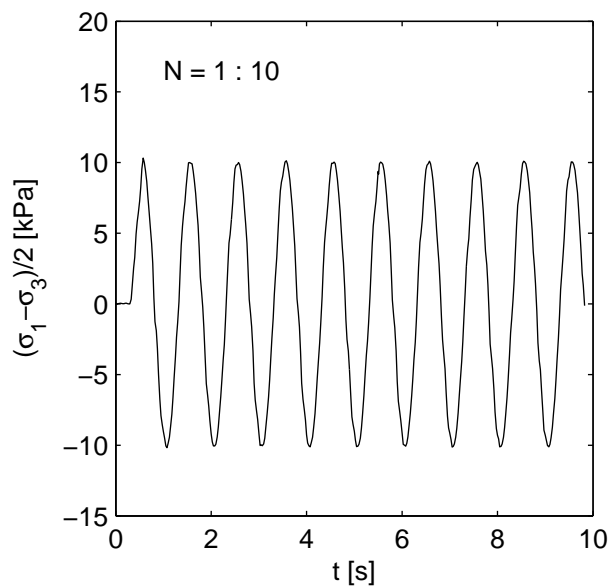
project
1208624.13

gez.
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

bijlage
B2-st8A

pag.
3



Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-10-14

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st8A, depth -6.71 till -6.86m NAP

project
1208624.13

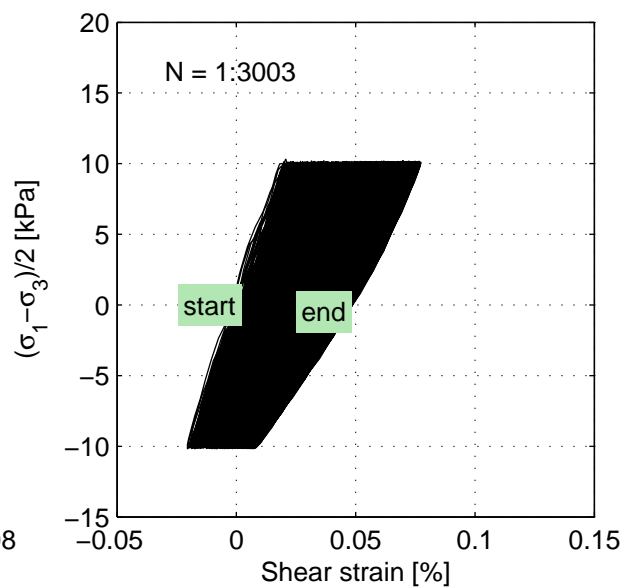
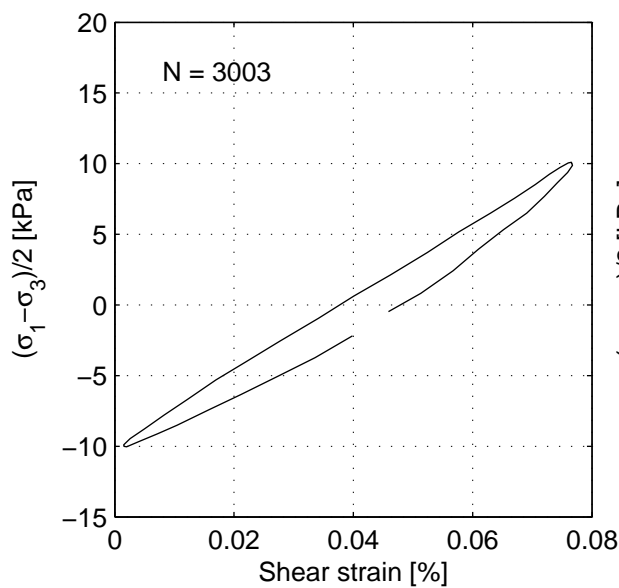
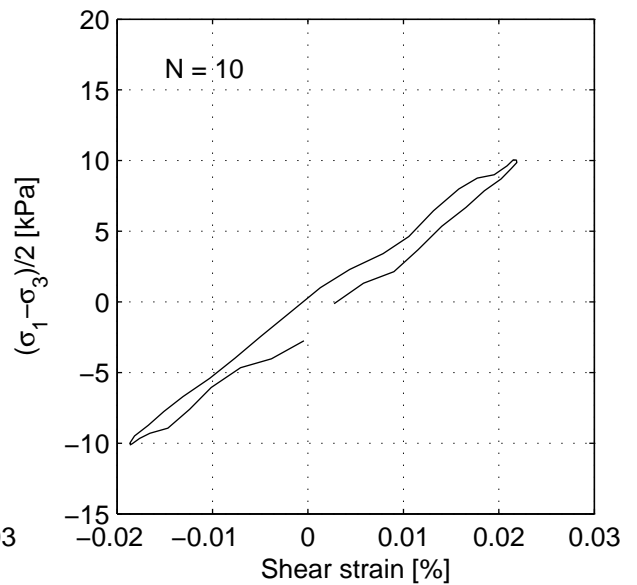
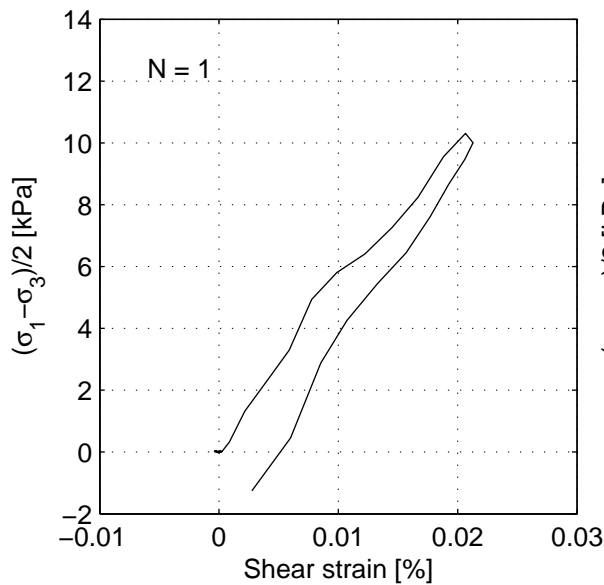
seen
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

appendix
B2-st8A

page
4

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-26



Cyclical results with external strain:

Cycle:	1	10	3003
Shear strain amplitude [%]	0.011	0.020	0.038
Damping ratio [%]	9.8	4.3	6.3
Shear modulus [MPa]	46.1	50.0	26.8

Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-10-14

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample B2-st8A, depth -6.71 till -6.86m NAP

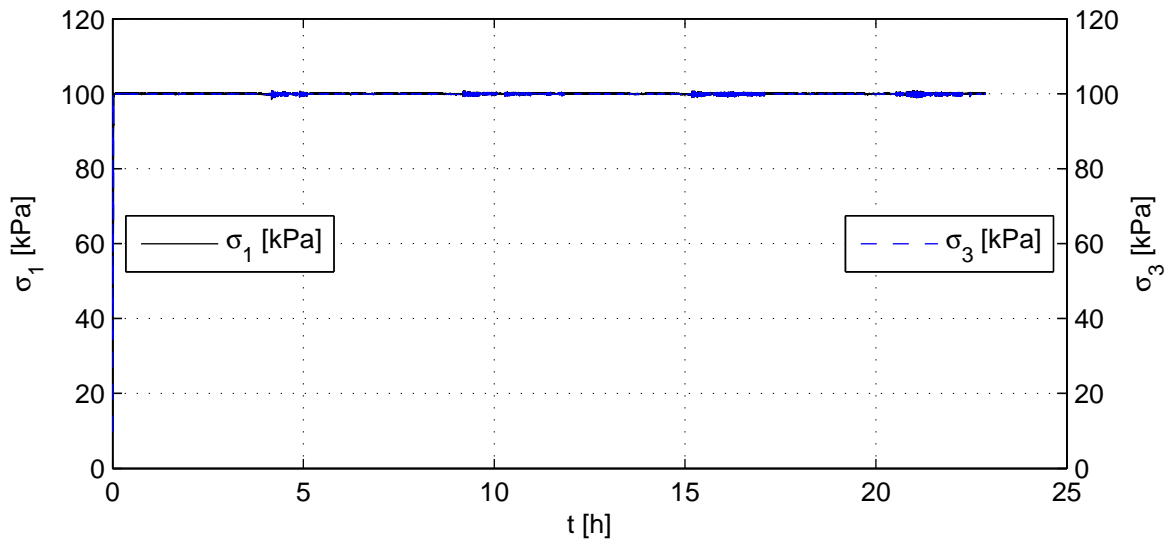
CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
1208624.13

seen
-

appendix
B2-st8A

page
5



Voor beproeving

Monsternaam	B2-st9A
m_i [g]	964.5
D_i [mm]	66.0
h_i [mm]	139.8
V_i [cm ³]	478.3
w_i [%]	26.4
$\rho_{i,bulk}$ [kg/m ³]	2017
$\rho_{i,dry}$ [kg/m ³]	1595
e_i [-]	-
Grondsoort	Zand, matig siltig

Device: TX-D

Monster intact uit boring.
 Cyclisch belasten 60 kPa amplitude, 0.2 Hz.
 N= 575, verweking treedt al eerder op.
 Bij einddrainage 11.6 cc uitstroom.

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
 Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
 Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
 2013-11-25

get.
 grw

Gasbevingen: Labwerk
 Boring B2-tZandt, Sample B2-st9A, depth -7.17 till -7.32m NAP

project
 1208624.13

gez.

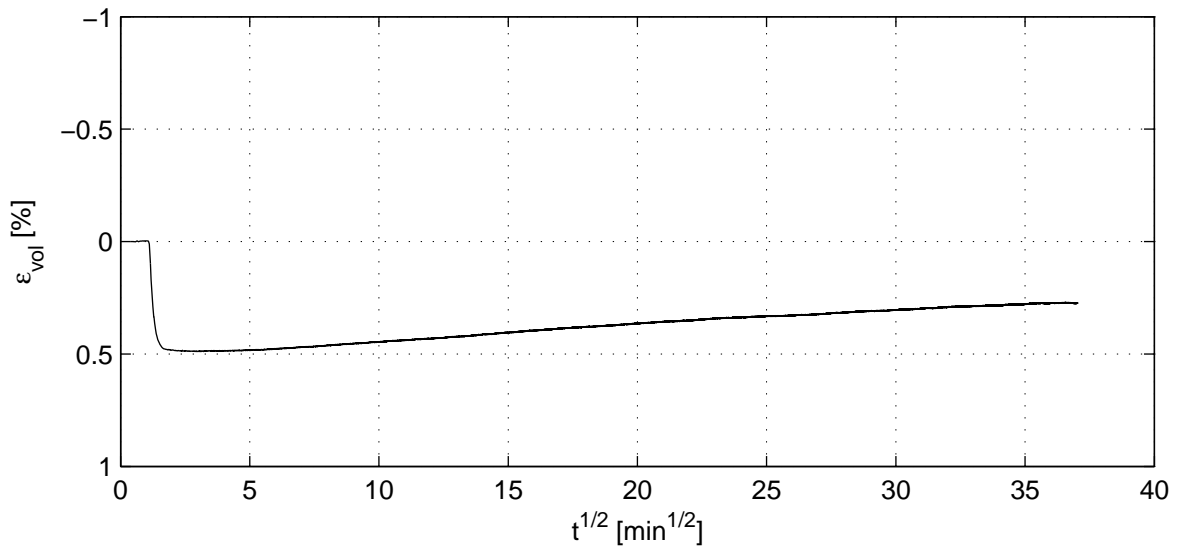
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

bijlage
 B2-st9A

pag.

1



Verzadigingsfase

Consolidatiefase

B_0 [-]	0.50
B_1 [-]	0.97
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	100.8
T_{avg} [°C]	20.0
t_{100} [min]	-
h_c [mm]	139.5
V_c [cm ³]	477.0
$\rho_{n,c}$ [kg/m ³]	2019
w_c [%]	26.2
u_{bk} [kPa]	299
P [-]	8.50
Creep rate [%/h]	-0.002

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-25

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample B2-st9A, depth -7.17 till -7.32m NAP

project
1208624.13

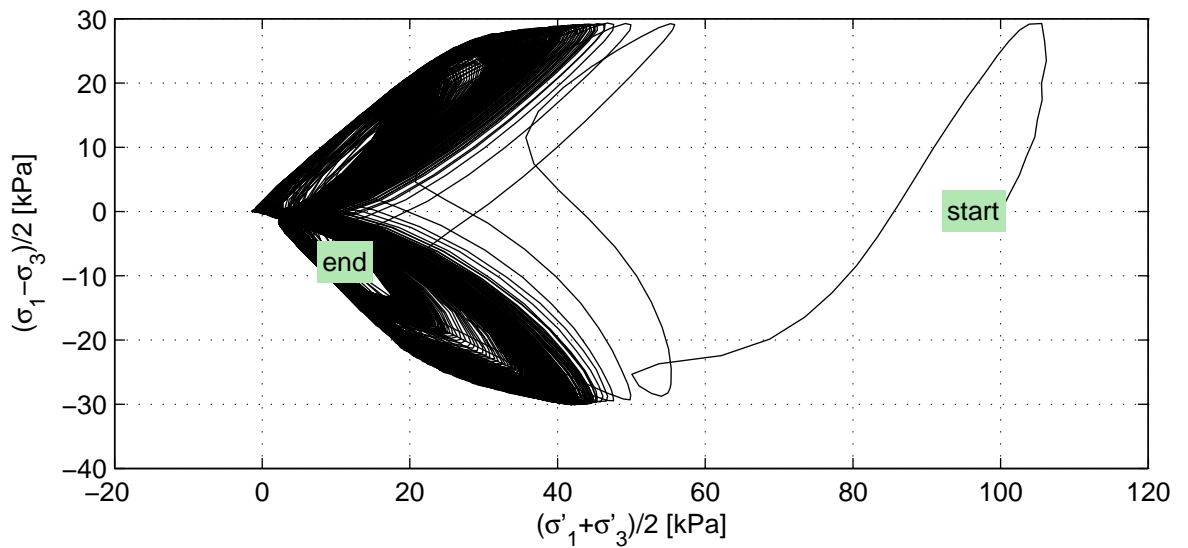
gez.
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch


bijlage
B2-st9A

pag.
2

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-26



Belastingsfase

Stopcriterium	σ'_1/σ'_3 max
Correction text	M (Deltares)
w_e [%]	22.7
Bezwijkfiguur	

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-25

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st9A, depth -7.17 till -7.32m NAP
CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
1208624.13

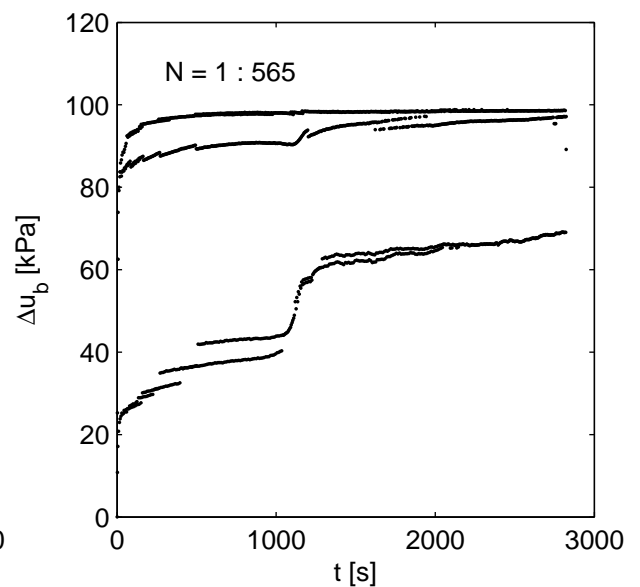
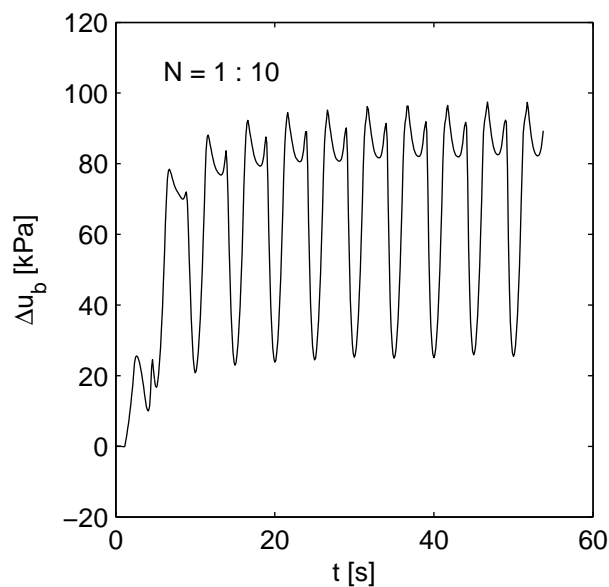
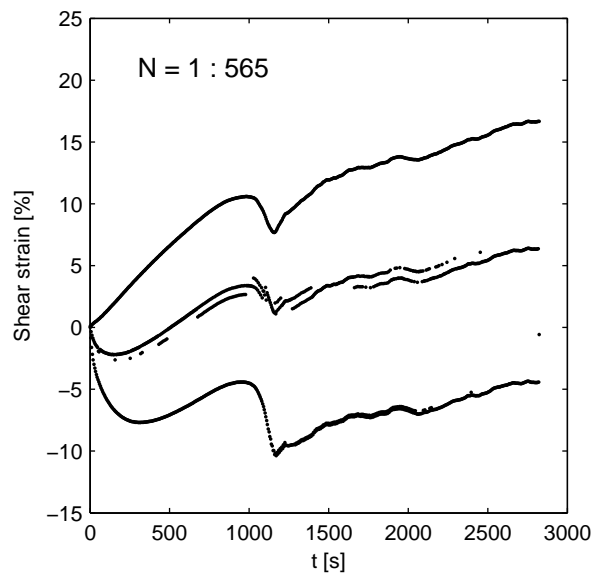
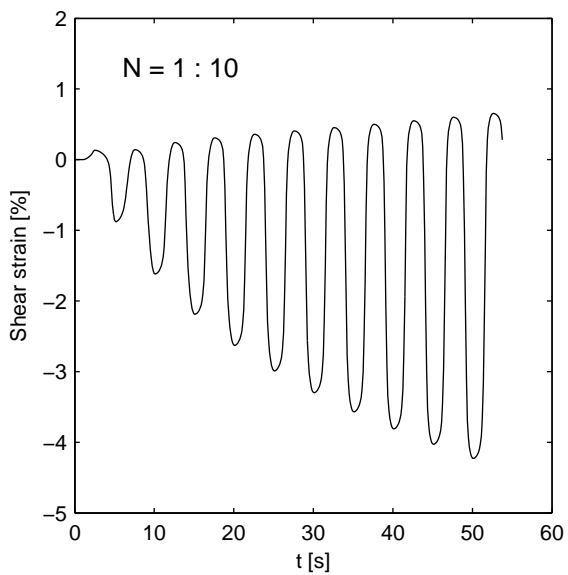
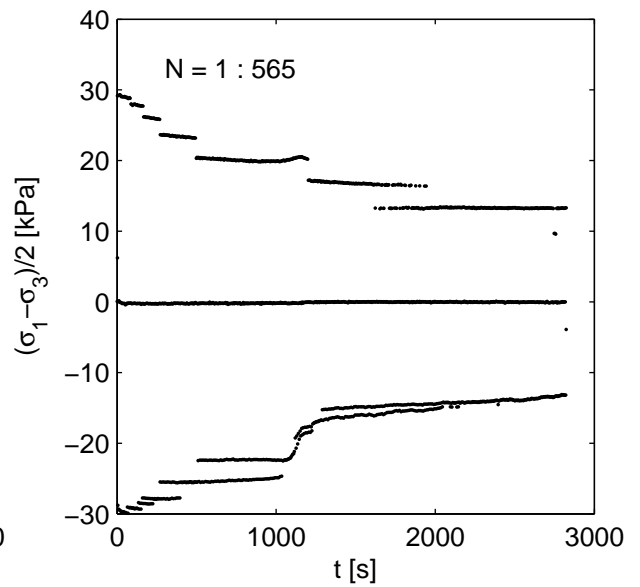
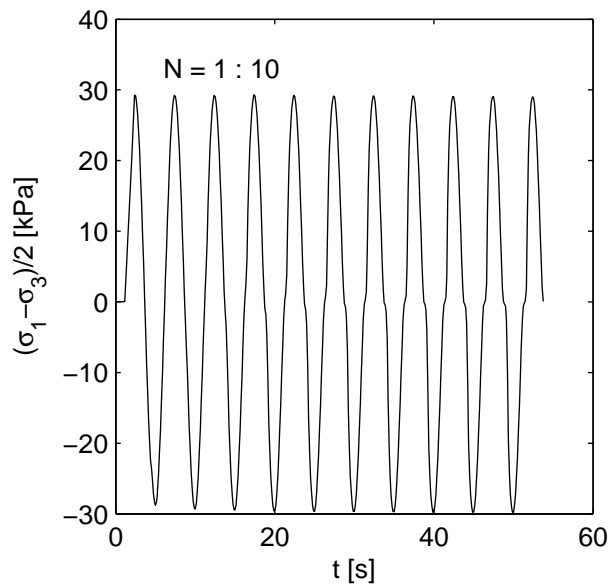
gez.

-

bijlage
B2-st9A

pag.

3



Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date

2013-11-25

signed

grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample B2-st9A, depth -7.17 till -7.32m NAP

project

1208624.13

seen

-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

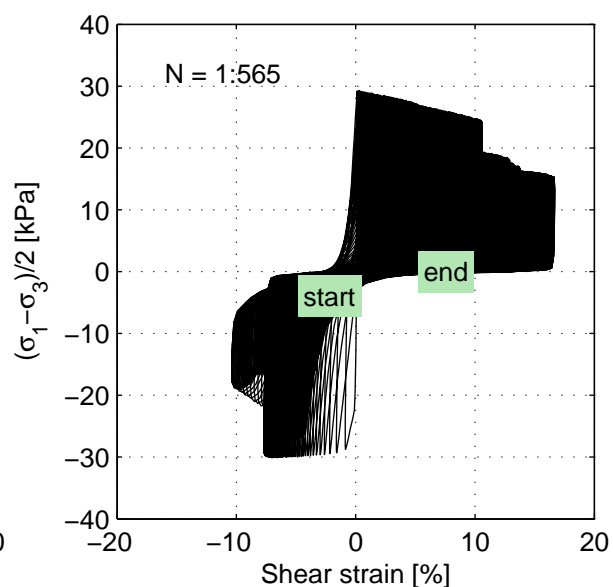
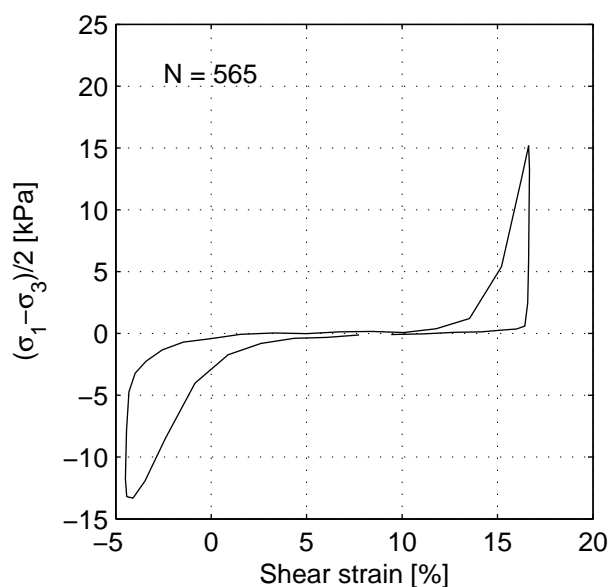
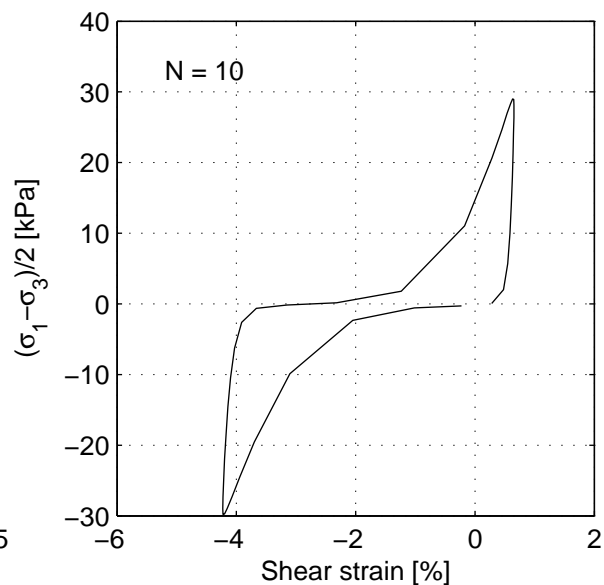
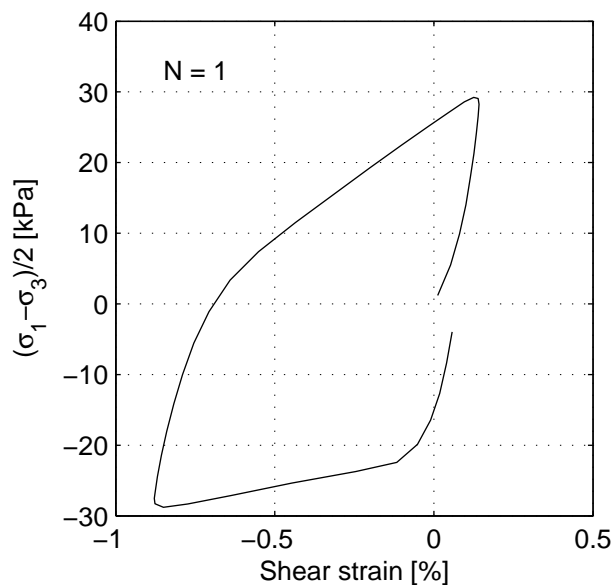
appendix

B2-st9A

page

4

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-26



Cyclical results with external strain:

Cycle:	1	10	565
Shear strain amplitude [%]	0.510	2.315	10.581
Damping ratio [%]	36.1	11.2	5.8
Shear modulus [MPa]	5.6	1.3	0.1

Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-25

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample B2-st9A, depth -7.17 till -7.32m NAP

CU Triaxiaalproef Cyclisch

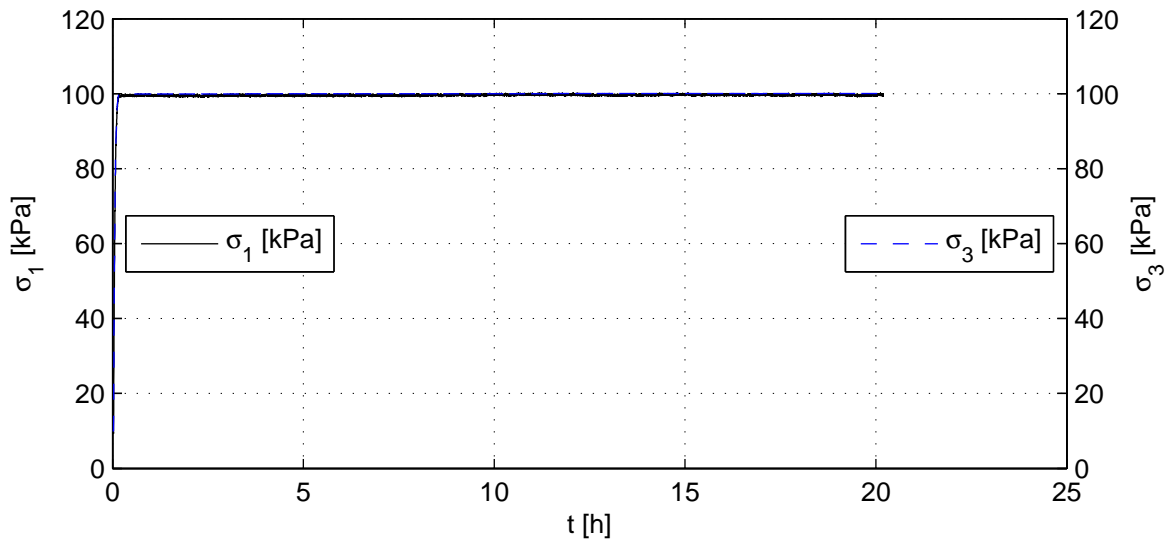
project
1208624.13

seen
-

appendix
B2-st9A

page
5

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-26



Voor beproeving

Monsternaam	B2-st10A
m_i [g]	936.9
D_i [mm]	66.2
h_i [mm]	139.0
V_i [cm ³]	478.5
w_i [%]	29.2
$\rho_{i,bulk}$ [kg/m ³]	1958
$\rho_{i,dry}$ [kg/m ³]	1515
e_i [-]	-
Grondsoort	Zand, zwak siltig

Device: TX-D

Monster intact uit boring.
 Cyclisch belasten 60 kPa amplitude, 1 Hz.
 Amplitude wordt niet gehaald door verweking.
 Bij einddrainage 4.2 cc uitstroom.

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
 Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
 Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
 2013-11-29

get.
 grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample B2-st10A, depth -7.62 till -7.77m NAP

CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
 1208624.13

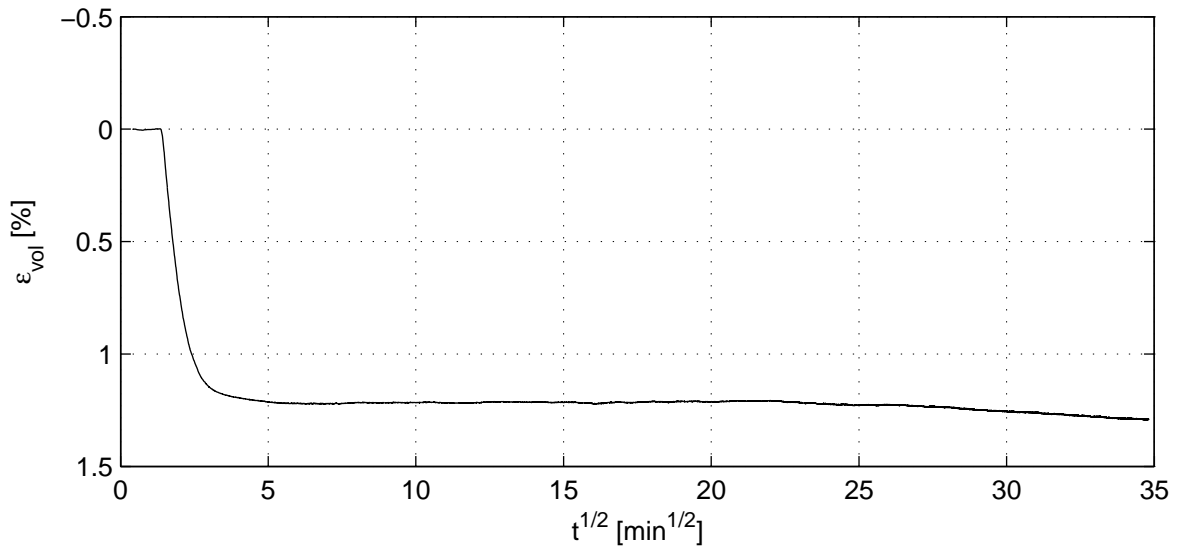
gez.

-

bijlage
 B2-st10A

pag.

1



Verzadigingsfase

Consolidatiefase

B_0 [-]	0.82
B_1 [-]	0.99
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	100.0
T_{avg} [°C]	20.0
t_{100} [min]	-
h_c [mm]	138.6
V_c [cm ³]	472.3
$\rho_{n,c}$ [kg/m ³]	1971
w_c [%]	28.4
u_{bk} [kPa]	298
P [-]	8.50
Creep rate [%/h]	0.002

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-29

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample B2-st10A, depth -7.62 till -7.77m NAP

project
1208624.13

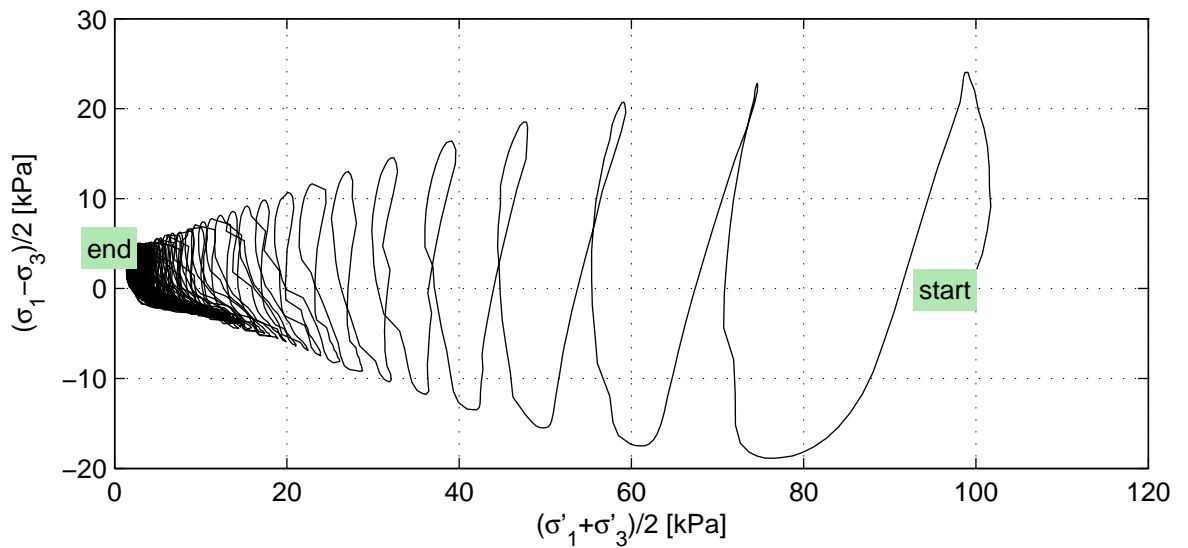
gez.
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch


bijlage
B2-st10A

pag.
2

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-29



Belastingsfase

Stopcriterium	σ'_1/σ'_3 max
Correction text	M (Deltares)
w_e [%]	25.8
Bezwijkfiguur	

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-29

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st10A, depth -7.62 till -7.77m NAP

project
1208624.13

gez.

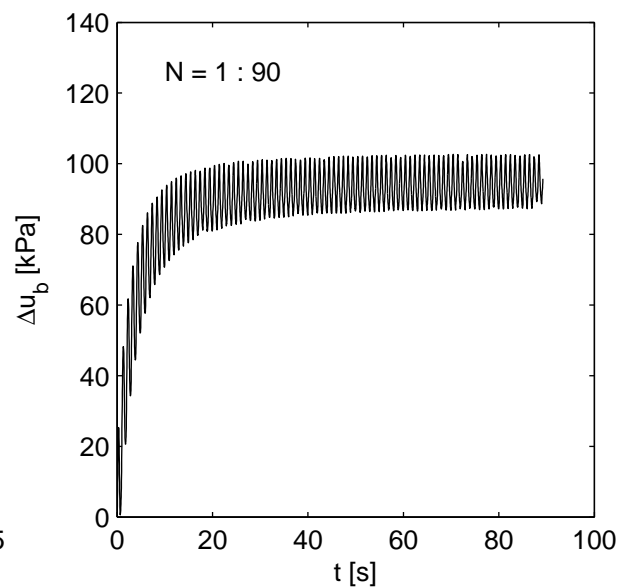
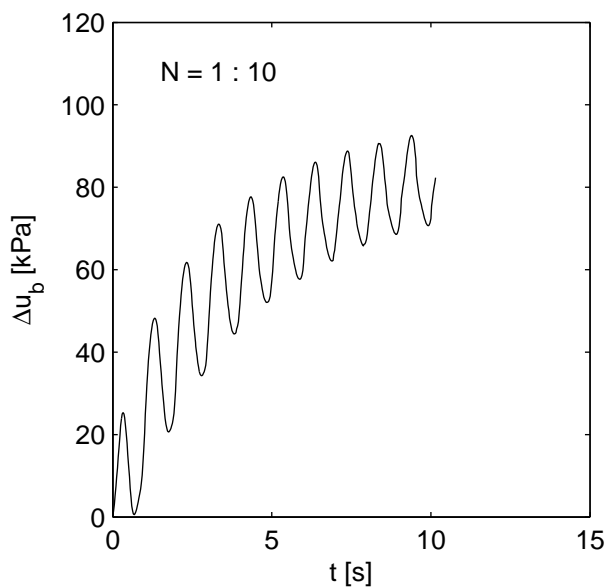
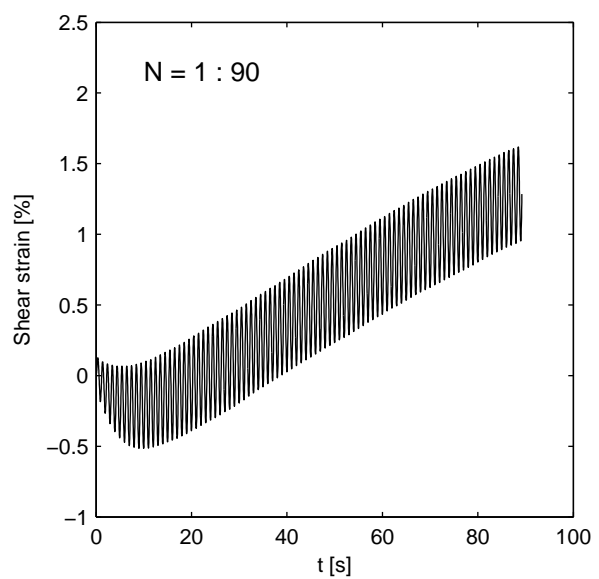
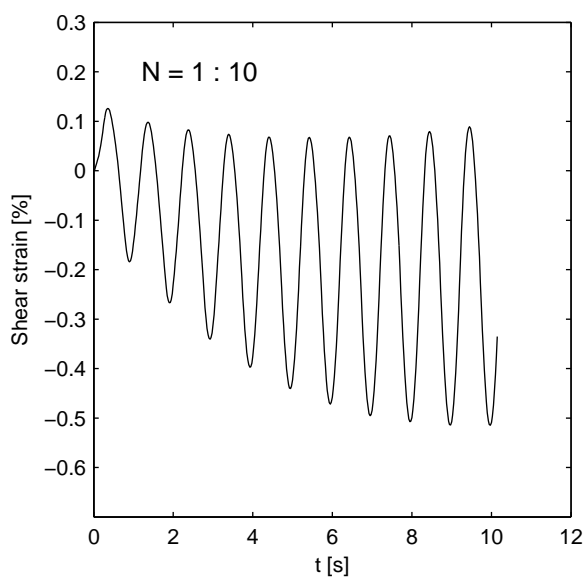
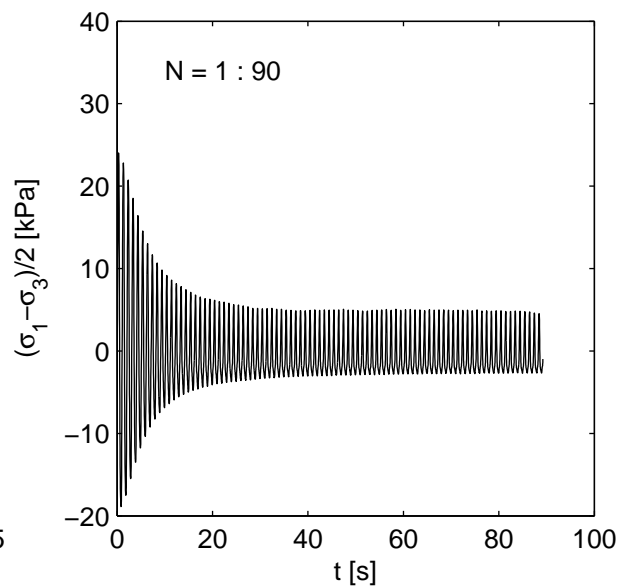
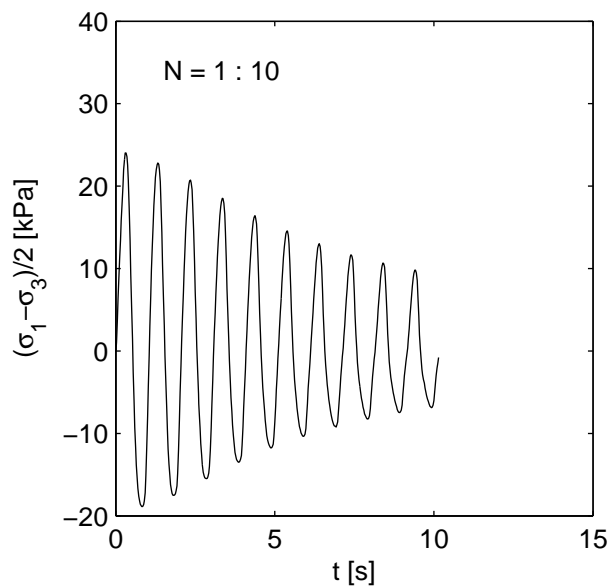
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

bijlage
B2-st10A

pag.

3



Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-29

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample B2-st10A, depth -7.62 till -7.77m NAP

project
1208624.13

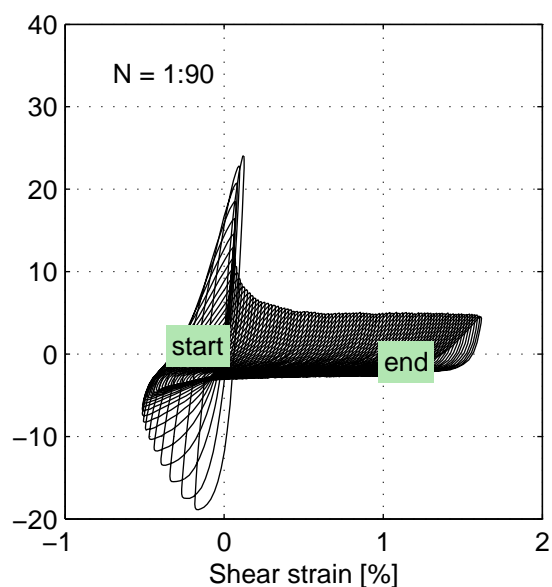
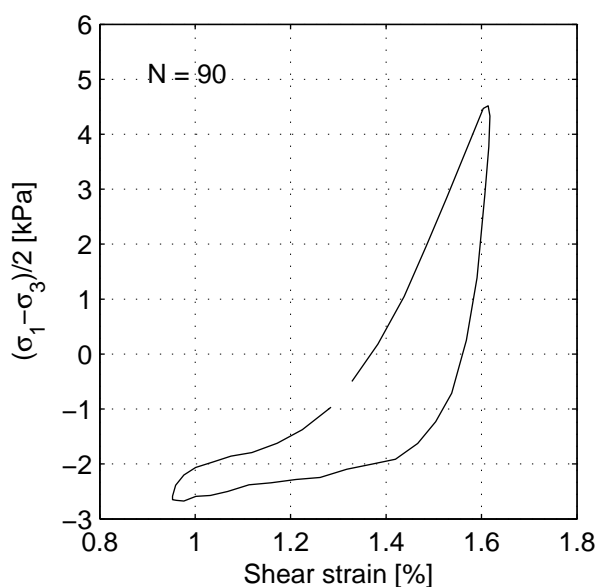
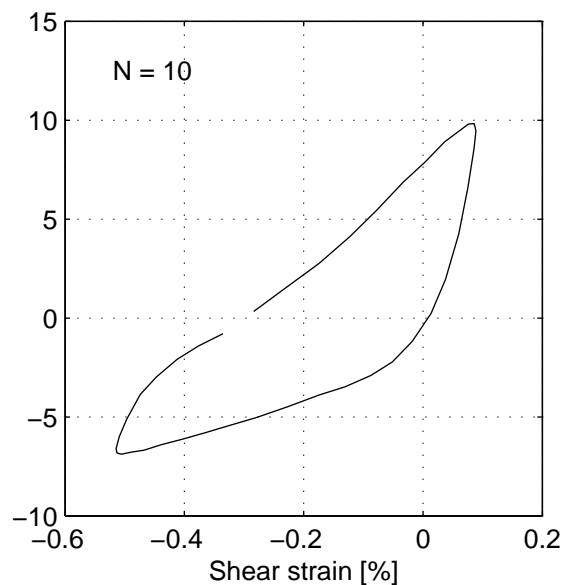
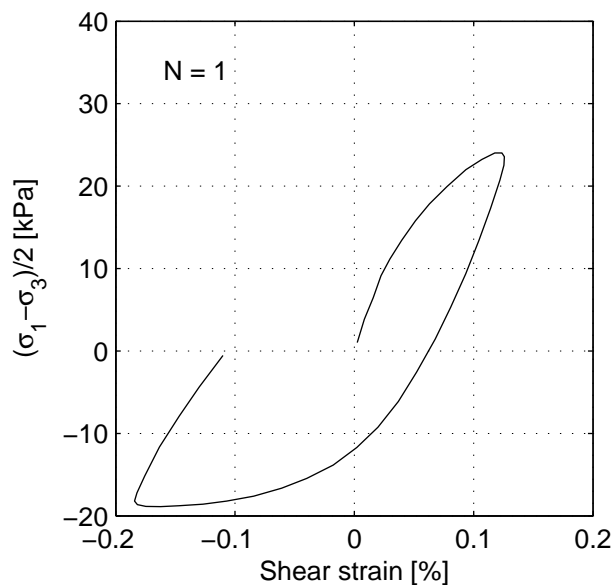
seen
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

appendix
B2-st10A

page
4

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-29



Cyclical results with external strain:

Cycle:	1	10	90
Shear strain amplitude [%]	0.155	0.297	0.333
Damping ratio [%]	19.9	22.5	14.8
Shear modulus [MPa]	14.0	3.0	1.1

Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-29

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st10A, depth -7.62 till -7.77m NAP

project
1208624.13

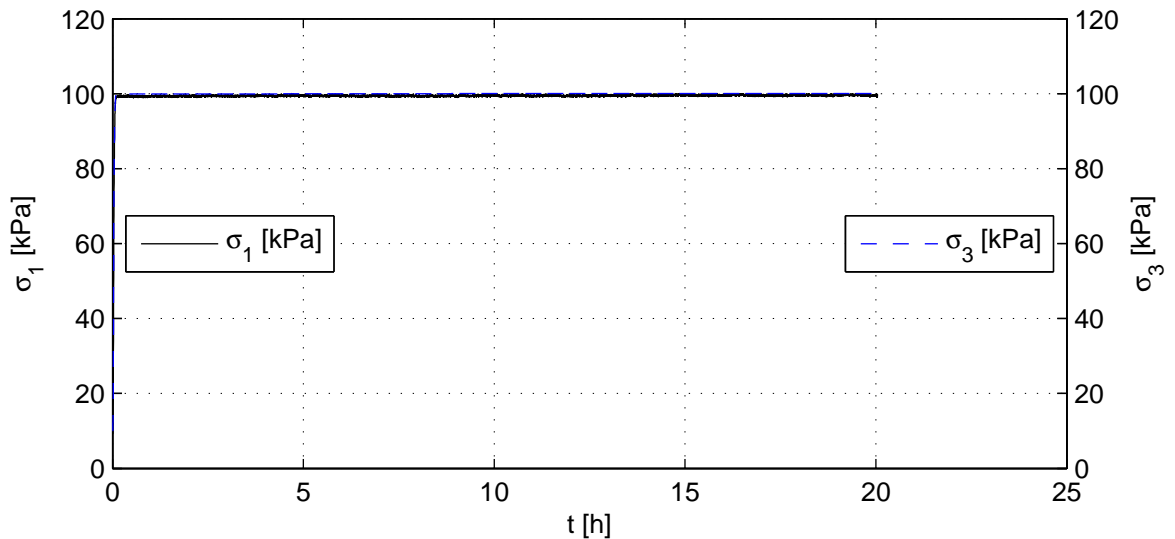
seen
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

appendix
B2-st10A

page
5

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-29



Voor beproeving

Monsternaam	B2-st11A
m_i [g]	959.0
D_i [mm]	66.4
h_i [mm]	139.4
V_i [cm ³]	482.7
w_i [%]	25.6
$\rho_{i,bulk}$ [kg/m ³]	1987
$\rho_{i,dry}$ [kg/m ³]	1582
e_i [-]	-
Grondsoort	zand

Device: TX-D

Monster intact uit boring.
Cyclisch belasten 40 kPa amplitude, 1 Hz.
Bij einddrainage 6.1 cc uitstroom.

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-09-20

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample B2-st11A, depth -7.93 till -8.08m NAP

project
1208624.13

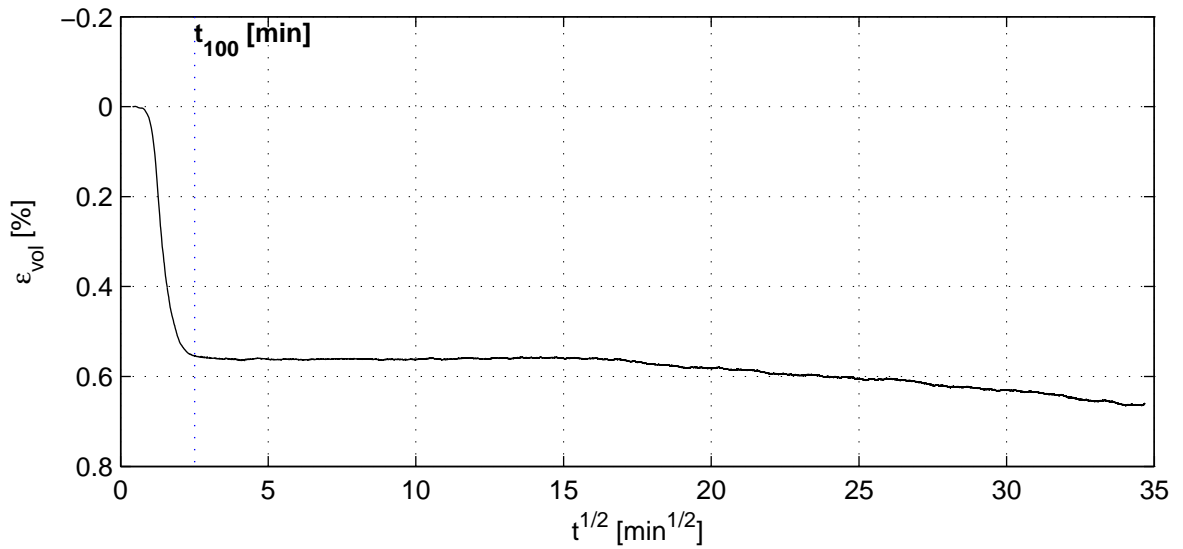
gez.
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

bijlage
B2-st11A

pag.
1

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-26



Verzadigingsfase

Consolidatiefase

B_0 [-]	0.64
B_1 [-]	0.99
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	99.9
T_{avg} [°C]	20.0
t_{100} [min]	6.3
h_c [mm]	139.2
V_c [cm ³]	479.5
$\rho_{n,c}$ [kg/m ³]	1993
w_c [%]	25.2
u_{bk} [kPa]	299
P [-]	8.50
Creep rate [%/h]	-0.007

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-09-20

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st11A, depth -7.93 till -8.08m NAP

project
1208624.13

gez.

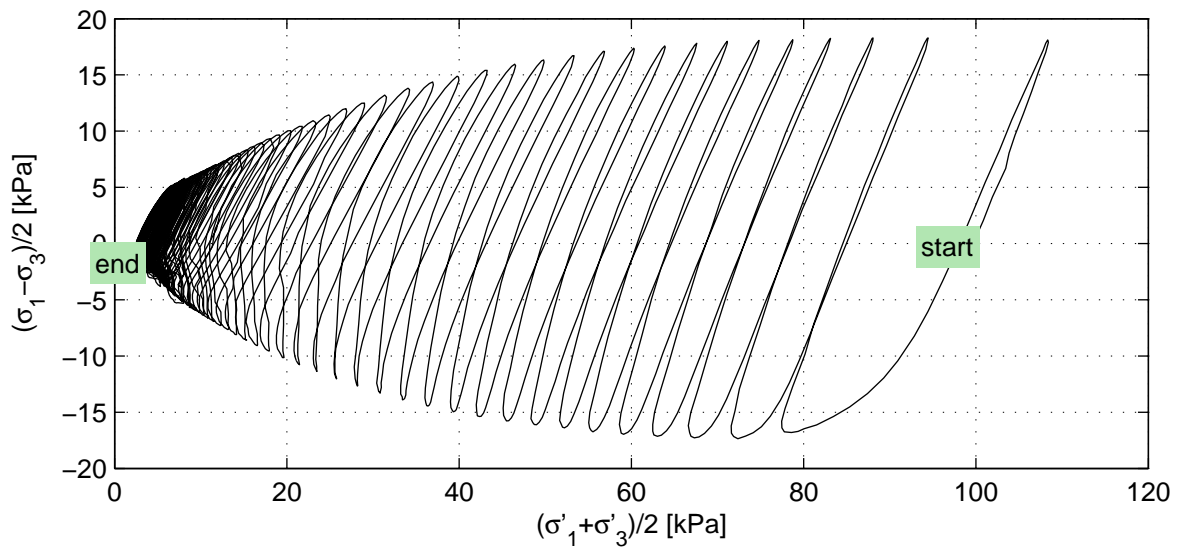
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch


bijlage
B2-st11A

pag.

2



Belastingsfase

Stopcriterium	σ'_1/σ'_3 max
Correction text	M (Deltares)
w_e [%]	25.6
Bezwijkfiguur	

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-09-20

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st11A, depth -7.93 till -8.08m NAP

project
1208624.13

gez.

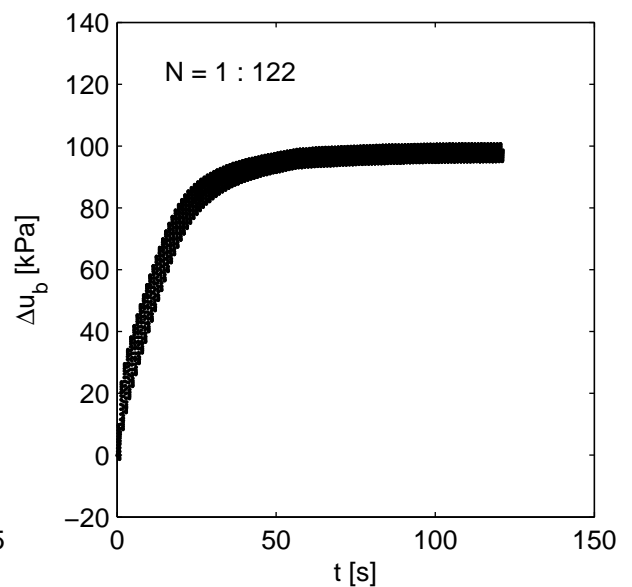
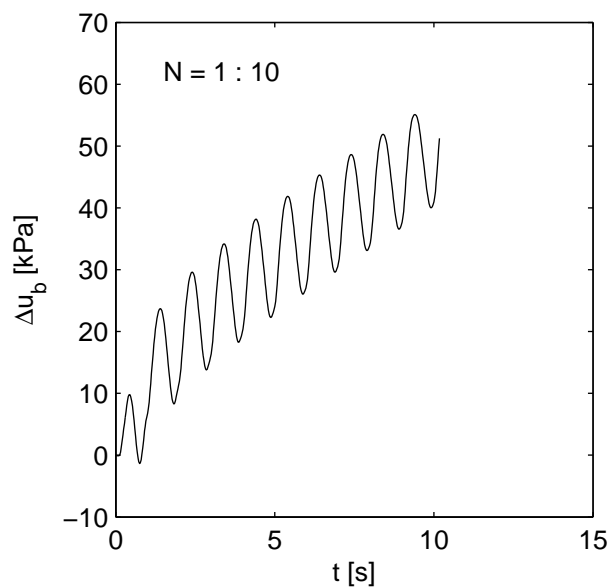
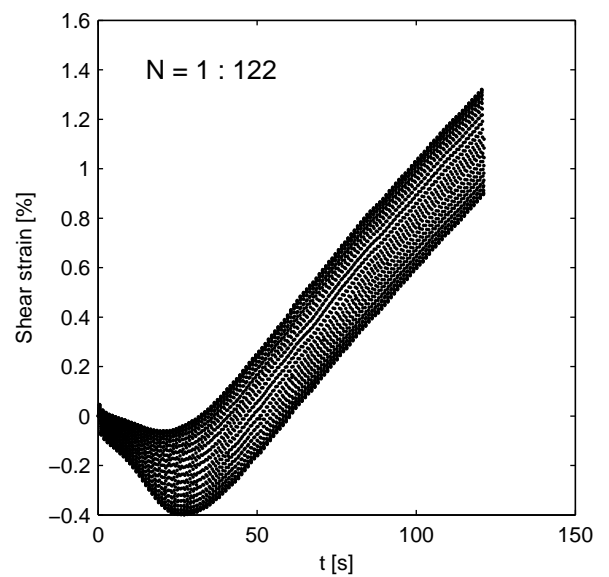
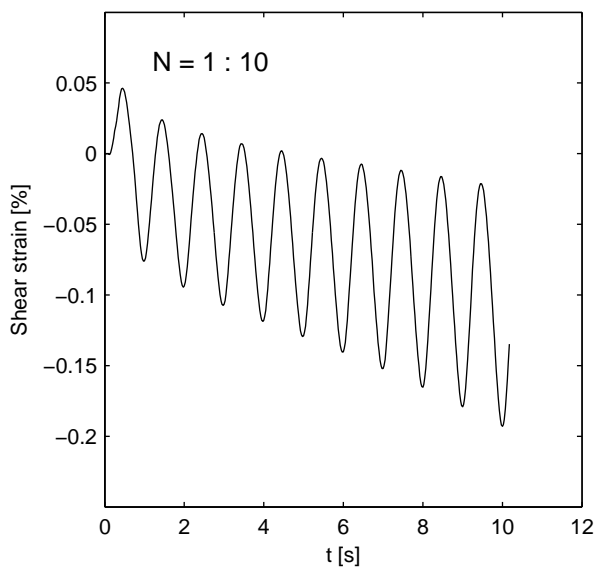
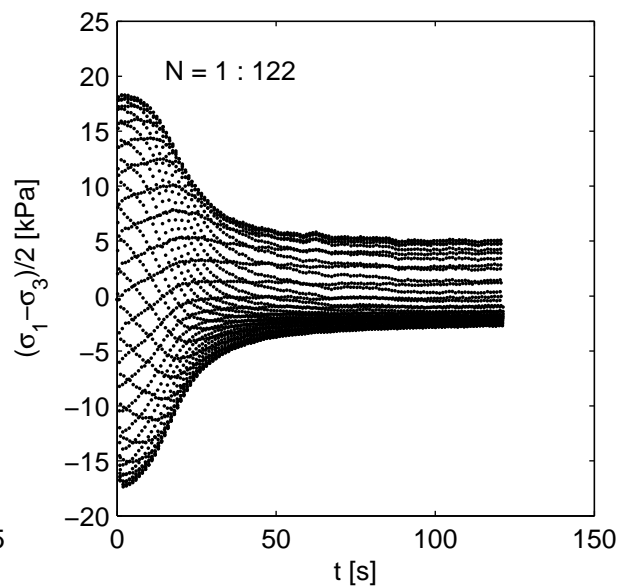
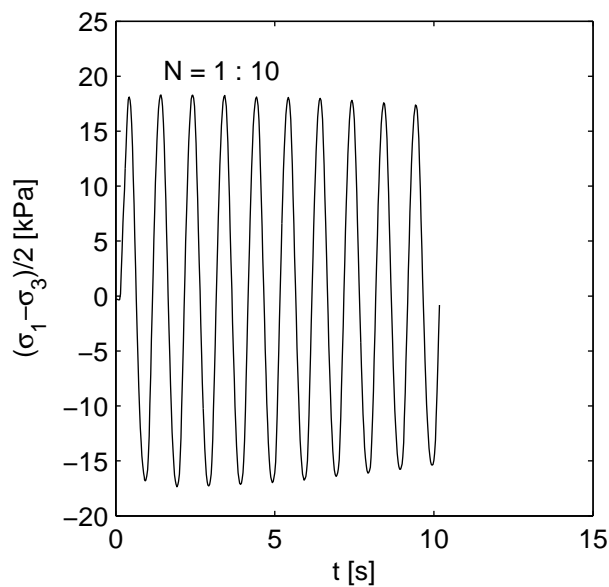
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

bijlage
B2-st11A

pag.

3



Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date

2013-09-20

signed

grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample B2-st11A, depth -7.93 till -8.08m NAP

project

1208624.13

seen

-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

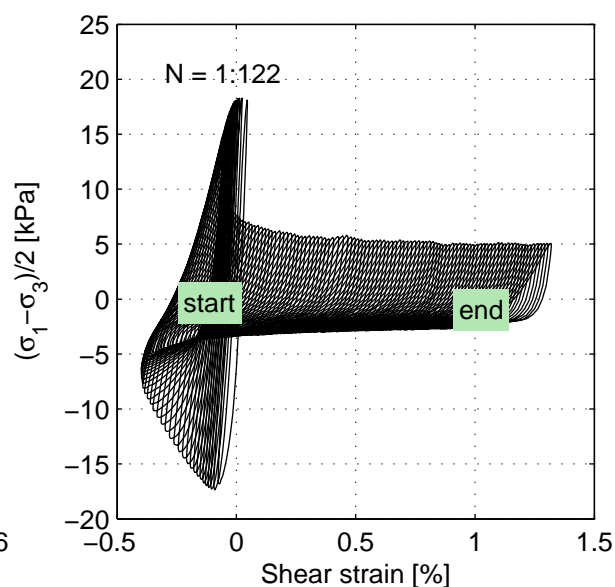
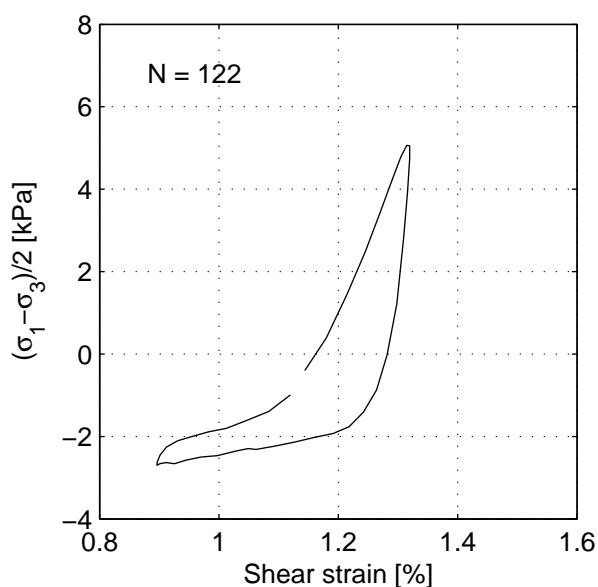
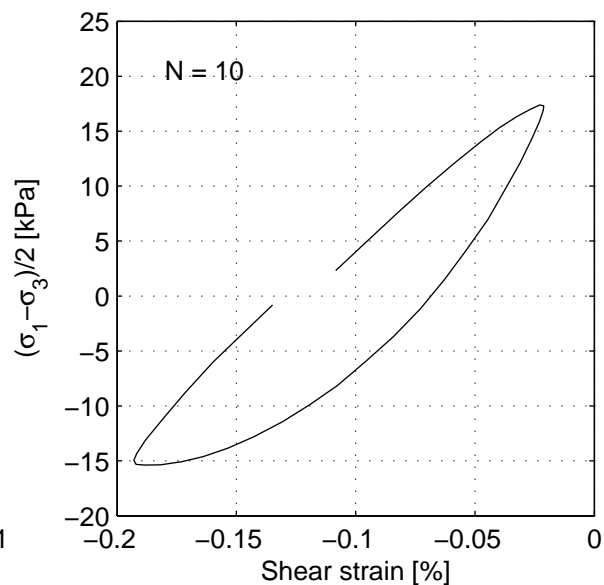
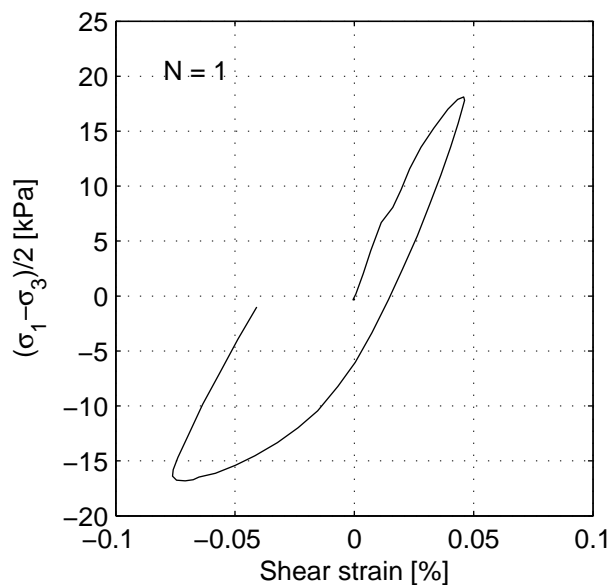
appendix

B2-st11A

page

4

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-26



Cyclical results with external strain:

Cycle:	1	10	122
Shear strain amplitude [%]	0.061	0.082	0.212
Damping ratio [%]	14.2	15.7	13.9
Shear modulus [MPa]	28.3	20.4	1.8

Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-09-20

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample B2-st11A, depth -7.93 till -8.08m NAP

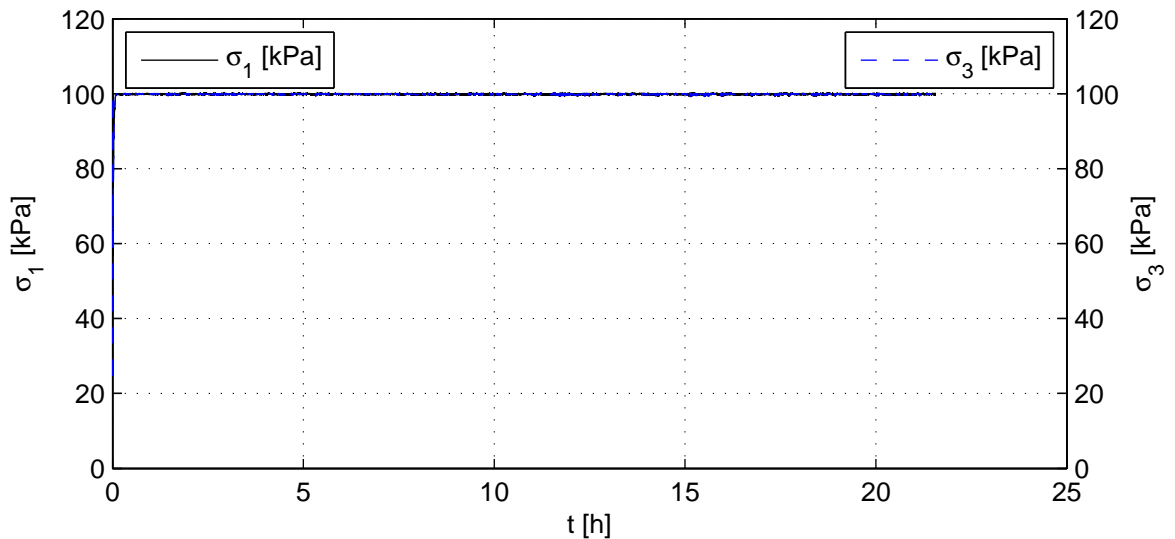
project
1208624.13

seen
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

appendix
B2-st11A

page
5



Voor beproeving

Monsternaam	meng_st1_tm_st11C
m_i [g]	772.5
D_i [mm]	60.7
h_i [mm]	142.1
V_i [cm ³]	411.2
w_i [%]	31.7
$\rho_{i,bulk}$ [kg/m ³]	1879
$\rho_{i,dry}$ [kg/m ³]	1426
e_i [-]	-
Grondsoort	Zand, sterk siltig

Device: TX-D

Monster droog opgebouwd met losse pakking en verzadigd.
 Isotrope consolidatie 100 kPa.
 Cyclisch belasten 40 kPa amplitude, 1 Hz.
 Monster bezwijkt na enkele cycli.
 Bij einddrainage 35 cc uitstroom.

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
 Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
 Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
 2013-11-29

get.
 grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11C, depth -0.79 till -8.19m NAP

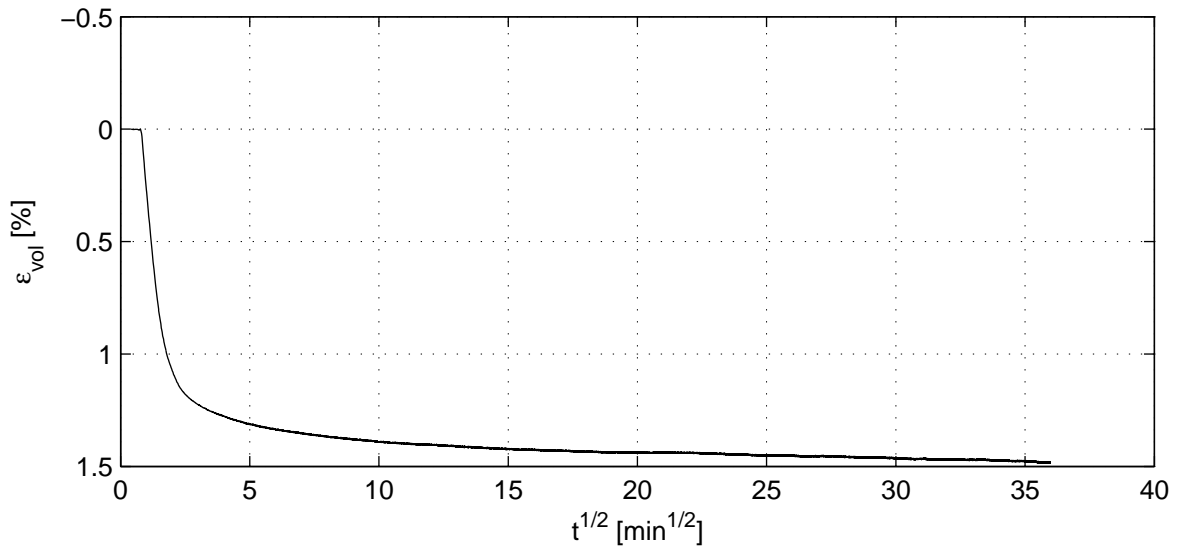
project
 1208624.13

gez.
 -

CU Triaxiaalproef Cyclisch

bijlage
 st1_tm_st11C

pag.
 1



Verzadigingsfase

Consolidatiefase

B_0 [-]	0.75
B_1 [-]	0.99
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	100.8
T_{avg} [°C]	20.0
t_{100} [min]	-
h_c [mm]	141.0
V_c [cm ³]	405.1
$\rho_{n,c}$ [kg/m ³]	1892
w_c [%]	30.7
u_{bk} [kPa]	299
P [-]	8.50
Creep rate [%/h]	0.000

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-29

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11C, depth -0.79 till -8.19m NAP

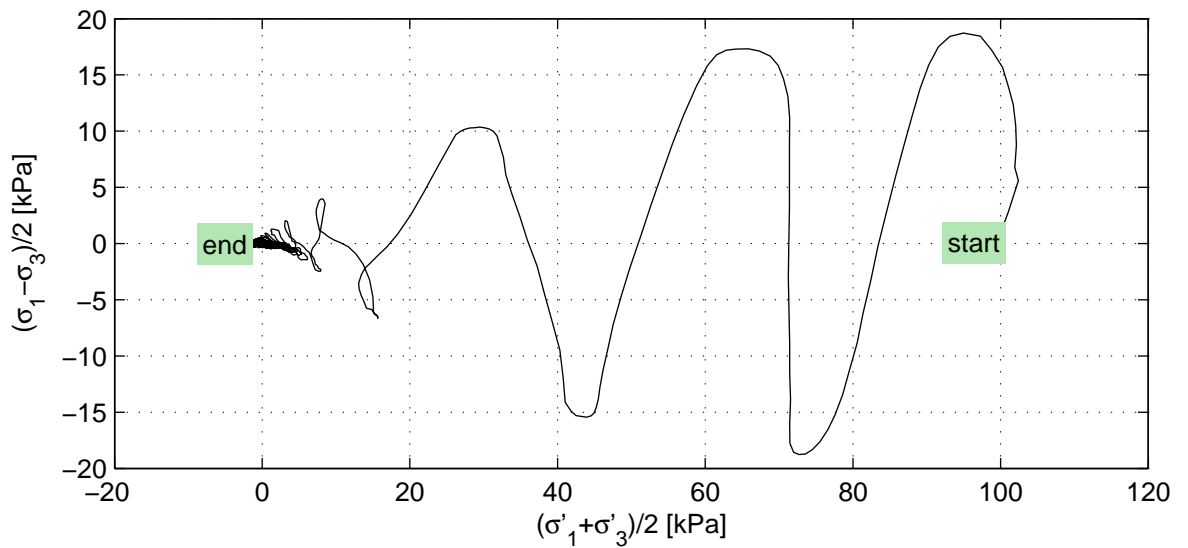
CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
1208624.13

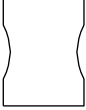
gez.
-

bijlage
st1_tm_st11C

pag.
2



Belastingsfase

Stopcriterium	Max. number of cycles
Correction text	M (Deltares)
w _e [%]	25.7
Bezwijkfiguur	

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-29

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11C, depth -0.79 till -8.19m NAP

project
1208624.13

gez.

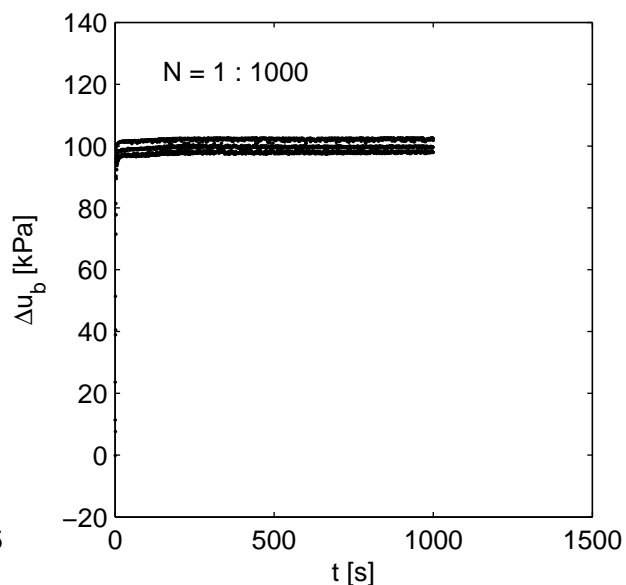
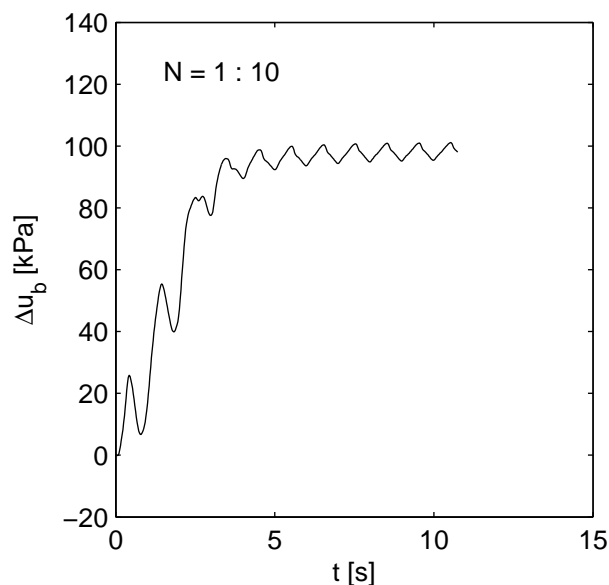
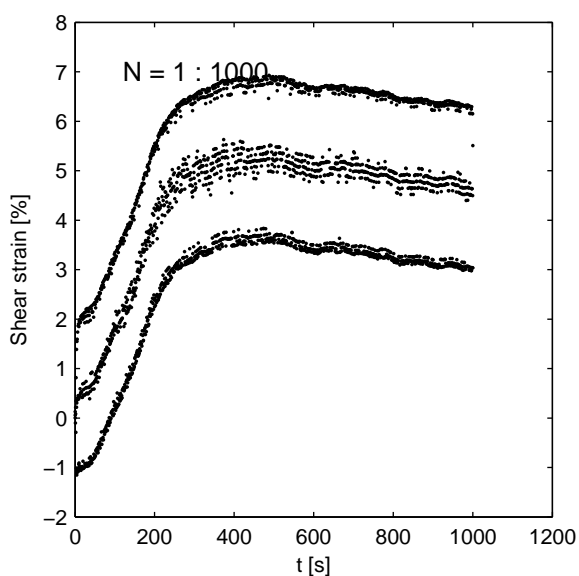
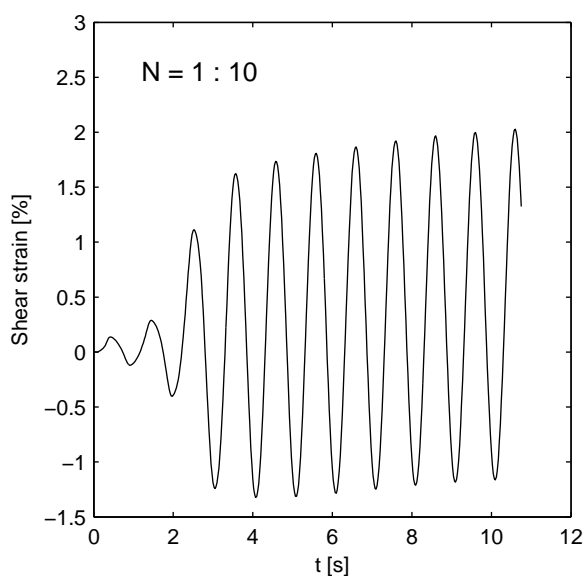
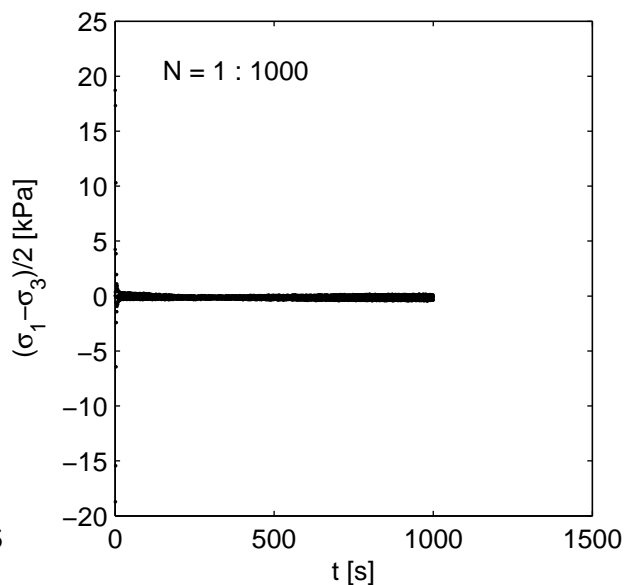
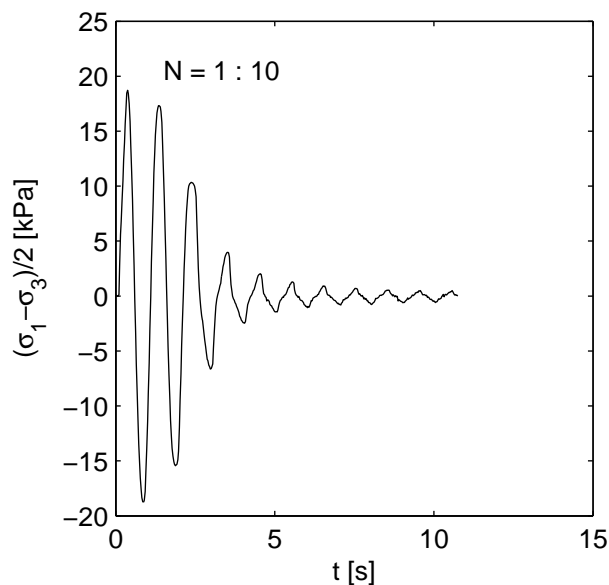
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

bijlage
st1_tm_st11C

pag.

3



Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-29

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11C, depth -0.79 till -8.19m NAP

CU Triaxiaalproef Cyclisch

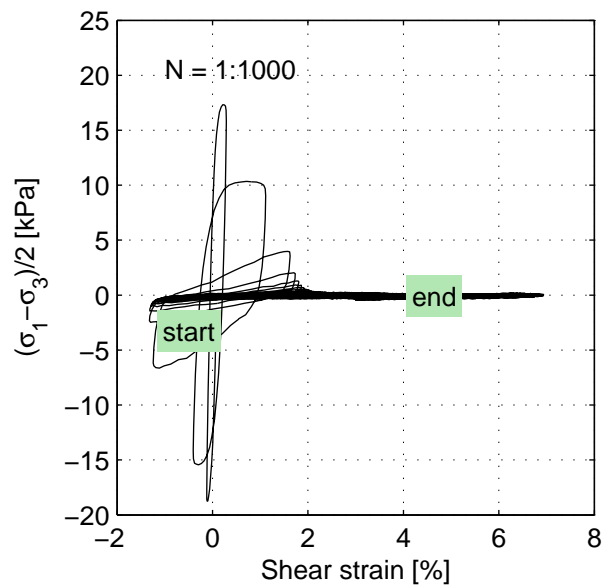
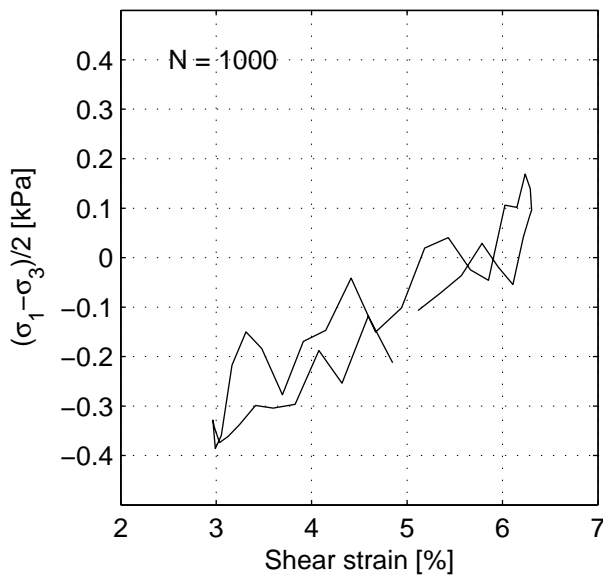
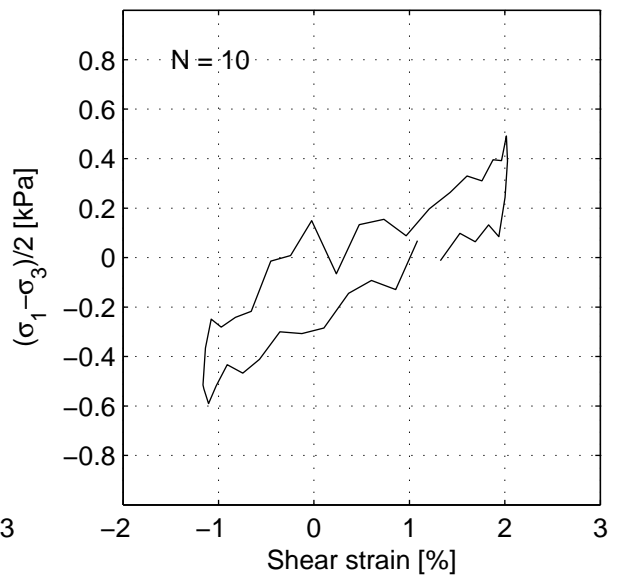
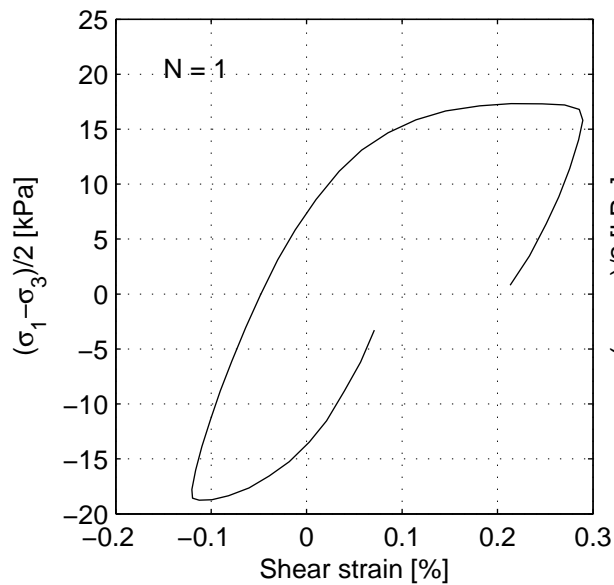
project
1208624.13

seen
-

appendix
st1_tm_st11C

page
4

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-29



Cyclical results with external strain:

Cycle:	1	10	1000
Shear strain amplitude [%]	0.205	1.591	1.670
Damping ratio [%]	26.8	13.0	7.5
Shear modulus [MPa]	8.7	0.0	0.0

Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-29

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11C, depth -0.79 till -8.19m NAP

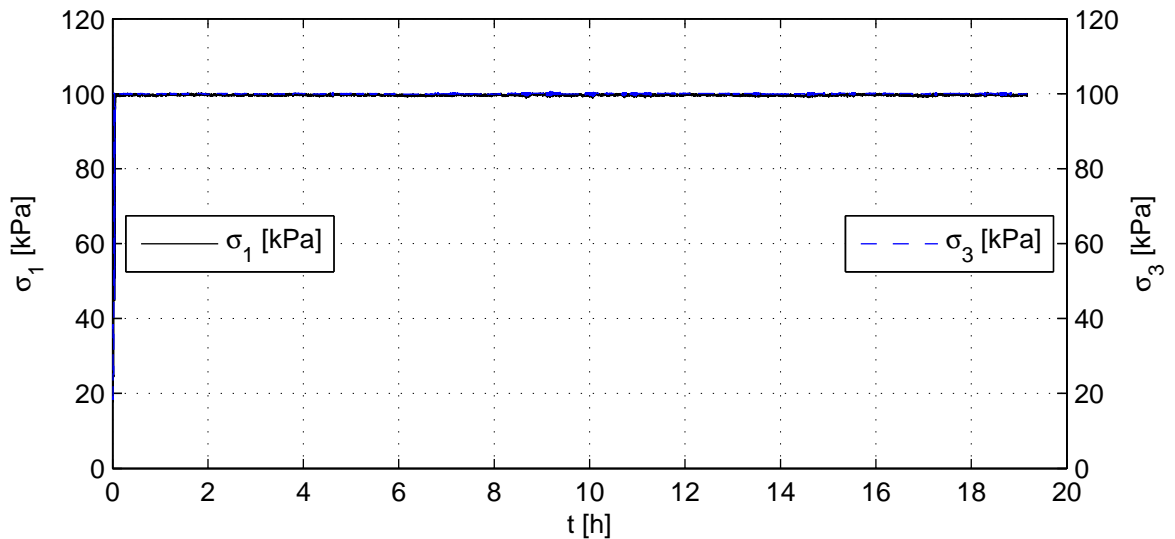
CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
1208624.13

seen
-

appendix
st1_tm_st11C

page
5



Voor beproeving

Monsternaam	meng_st1_tm_st11D
m_i [g]	931.5
D_i [mm]	64.8
h_i [mm]	142.5
V_i [cm ³]	470.0
w_i [%]	25.0
$\rho_{i,bulk}$ [kg/m ³]	1982
$\rho_{i,dry}$ [kg/m ³]	1586
e_i [-]	-
Grondsoort	Zand, sterk siltig

Device: TX-D

Monster droog opgebouwd met vaste pakking en verzadigd.
 Isotrope consolidatie 100 kPa.
 Cyclisch belasten 40 kPa amplitude, 1 Hz.
 Amplitude wordt niet bereikt door snelle verweking.
 Bij einddrainage 5.2 cc uitstroom.

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
 Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
 Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
 2013-11-29

get.
 grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11D, depth -0.79 till -8.19m NAP

CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
 1208624.13

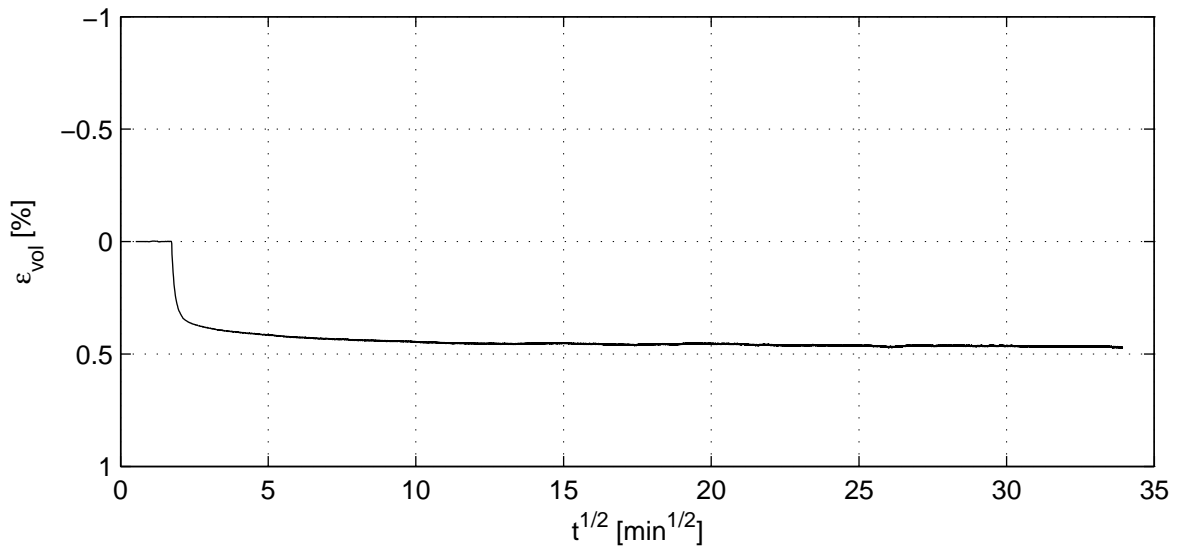
gez.

-

bijlage
 st1_tm_st11D

pag.

1



Verzadigingsfase

Consolidatiefase

B_0 [-]	0.34
B_1 [-]	0.99
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	100.2
T_{avg} [°C]	20.0
t_{100} [min]	-
h_c [mm]	142.2
V_c [cm ³]	467.7
$\rho_{n,c}$ [kg/m ³]	1987
w_c [%]	24.7
u_{bk} [kPa]	298
P [-]	8.50
Creep rate [%/h]	0.010

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-29

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11D, depth -0.79 till -8.19m NAP

CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
1208624.13

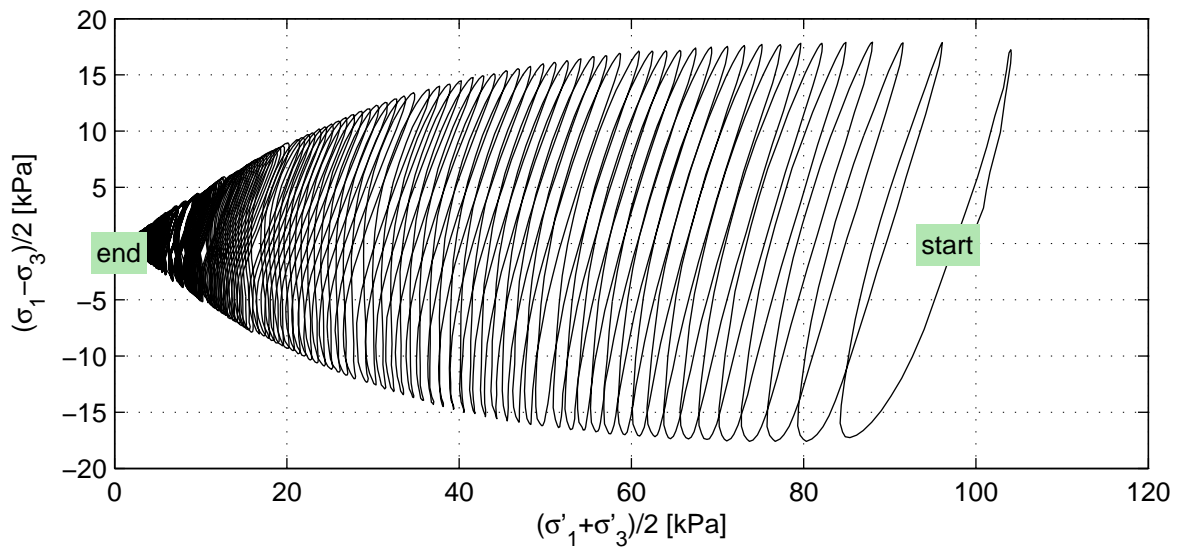
gez.

-


bijlage
st1_tm_st11D

pag.

2



Belastingsfase

Stopcriterium	Max. number of cycles
Correction text	M (Deltares)
w _e [%]	24.3
Bezwijkfiguur	

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-29

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11D, depth -0.79 till -8.19m NAP
CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
1208624.13

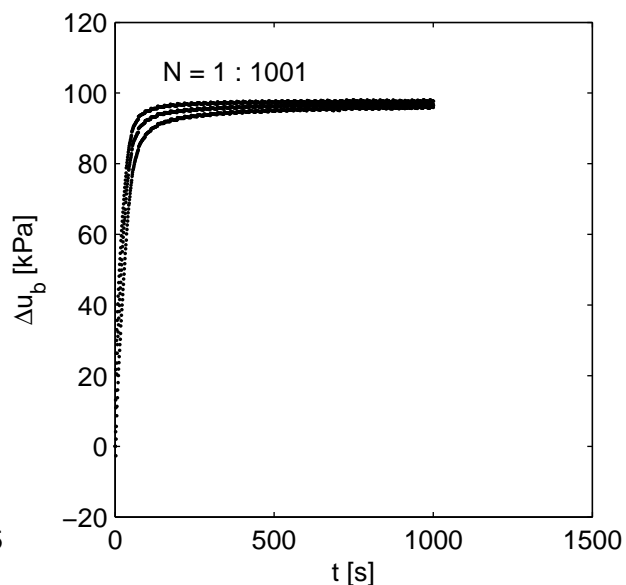
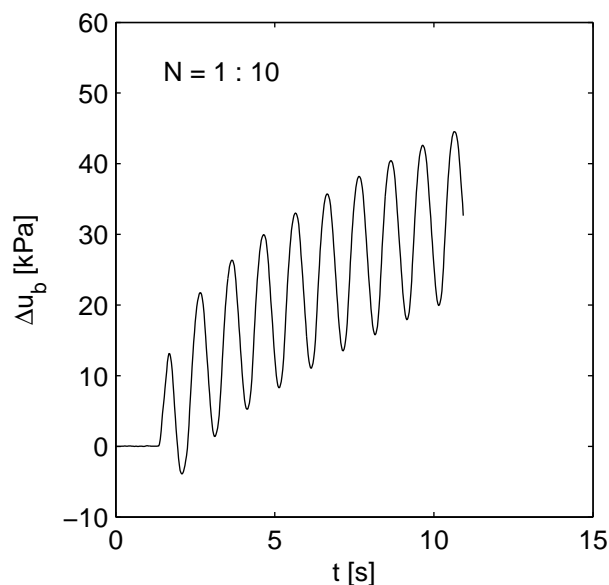
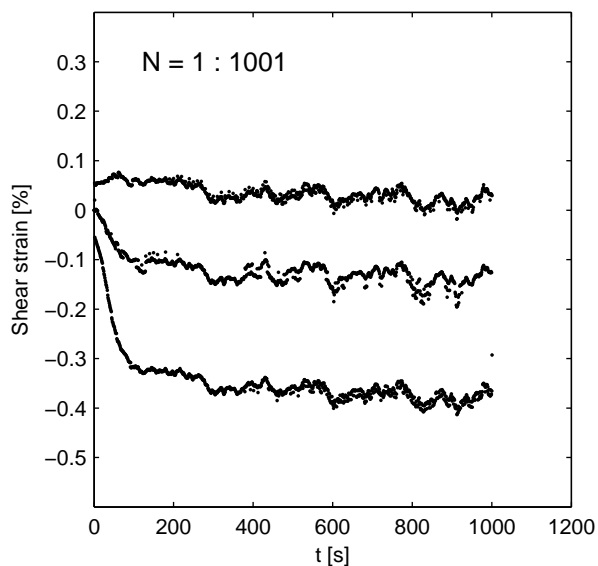
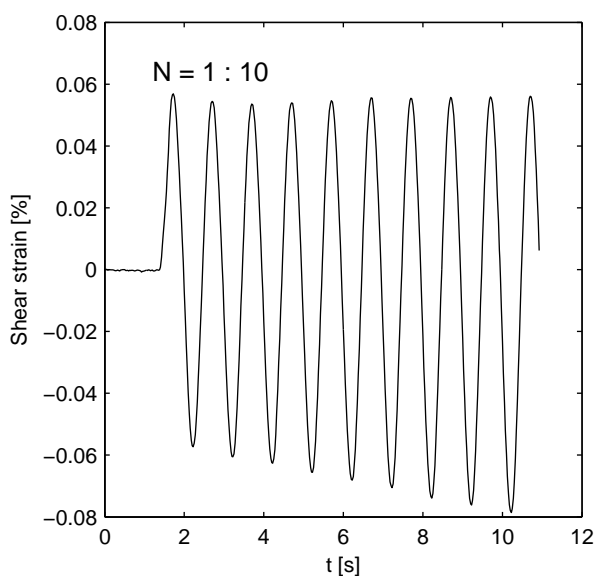
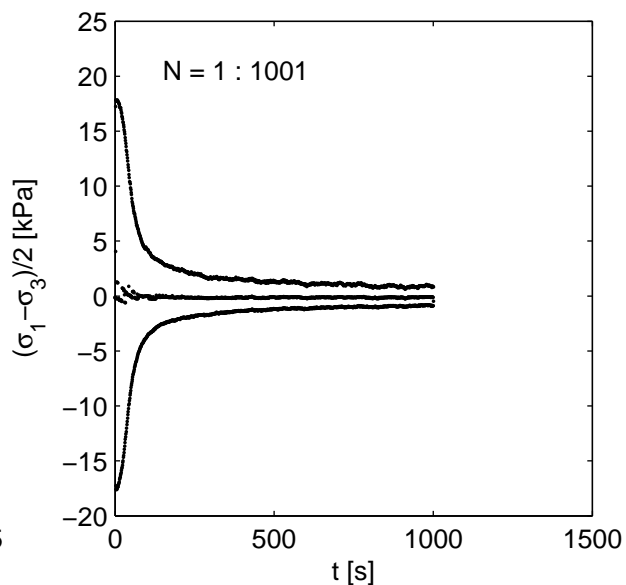
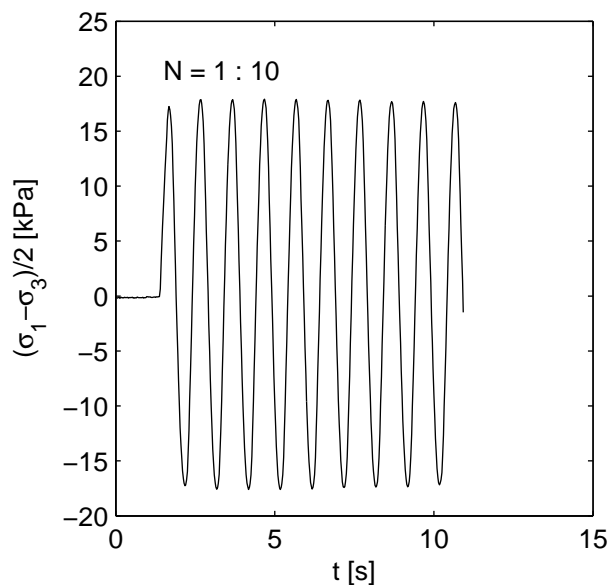
gez.

-

bijlage
st1_tm_st11D

pag.

3



Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-29

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11D, depth -0.79 till -8.19m NAP

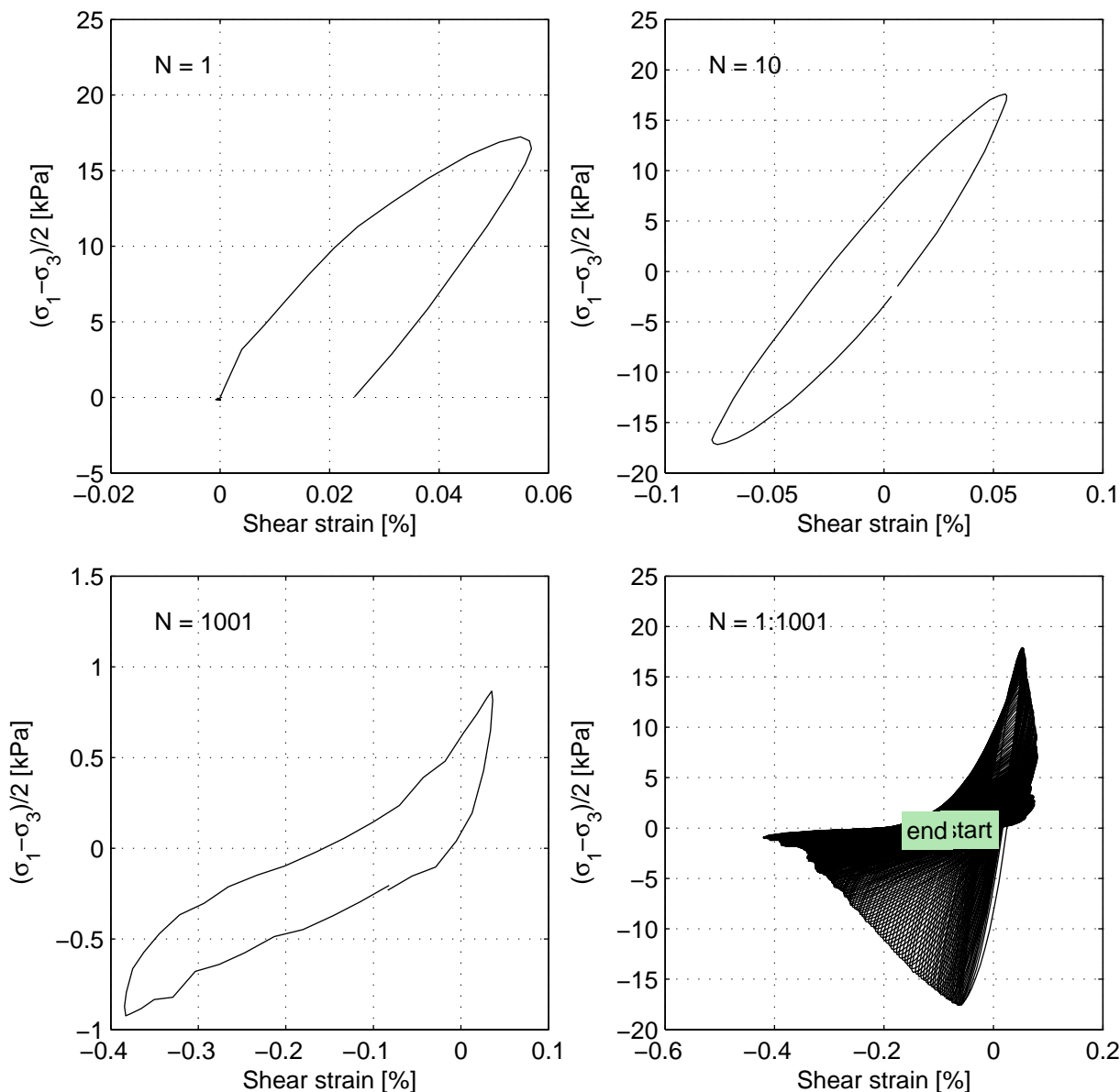
project
1208624.13

seen
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

appendix
st1_tm_st11D

page
4



Cyclical results with external strain:

Cycle:	1	10	1001
Shear strain amplitude [%]	0.029	0.066	0.210
Damping ratio [%]	23.3	13.7	14.3
Shear modulus [MPa]	29.9	26.7	0.4

Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-29

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11D, depth -0.79 till -8.19m NAP

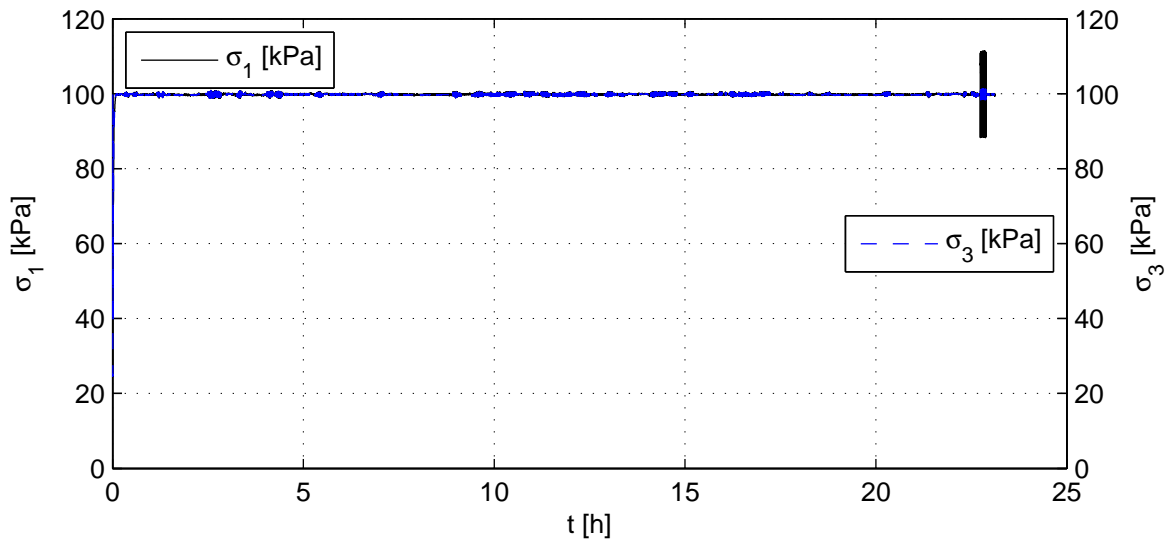
CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
1208624.13

seen
-

appendix
st1_tm_st11D

page
5



Voor beproeving

Monsternaam	meng_st1_tm_st11E
m_i [g]	771.7
D_i [mm]	60.6
h_i [mm]	142.1
V_i [cm ³]	410.6
w_i [%]	31.7
$\rho_{i,bulk}$ [kg/m ³]	1880
$\rho_{i,dry}$ [kg/m ³]	1427
e_i [-]	-
Grondsoort	Zand, sterk siltig

Device: TX-D

Monster droog opgebouwd met losse pakking en verzadigd.
 Isotrope consolidatie 100 kPa.
 Preshear fase gedraineerd, 10kPa amplitude, N =500 .
 Cyclisch belasten ongedraineerd, 40 kPa amplitude, 1 Hz.
 Bezijken na enkele cycli.
 Bij einddrainage 41 cc uitstroom.

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
 Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
 Telefax 015 261 0821

Homepage:
 www.deltares.nl

datum
 2013-11-01

get.
 grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11E, depth -0.79 till -8.19m NAP

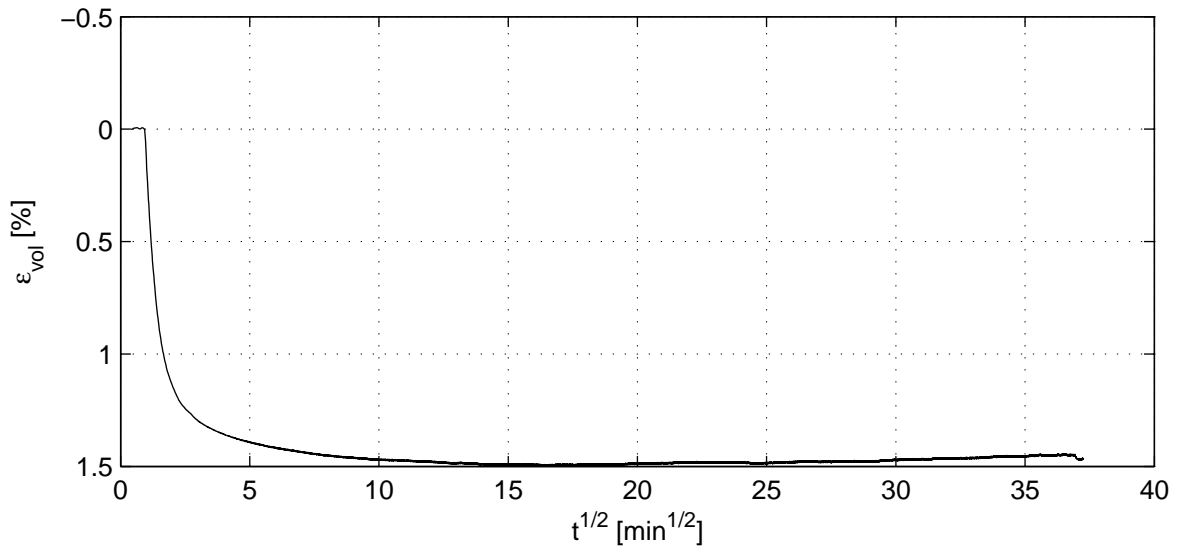
project
 1208624.13

gez.
 -

CU Triaxiaalproef Cyclisch

bijlage
 meng_st11E

pag.
 1



Verzadigingsfase

Consolidatiefase

B_0 [-]	0.83
B_1 [-]	0.99
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	100.2
T_{avg} [°C]	20.0
t_{100} [min]	-
h_c [mm]	140.9
V_c [cm ³]	404.5
$\rho_{n,c}$ [kg/m ³]	1893
w_c [%]	30.7
u_{bk} [kPa]	299
P [-]	8.50
Creep rate [%/h]	-0.001

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-01

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11E, depth -0.79 till -8.19m NAP

CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
1208624.13

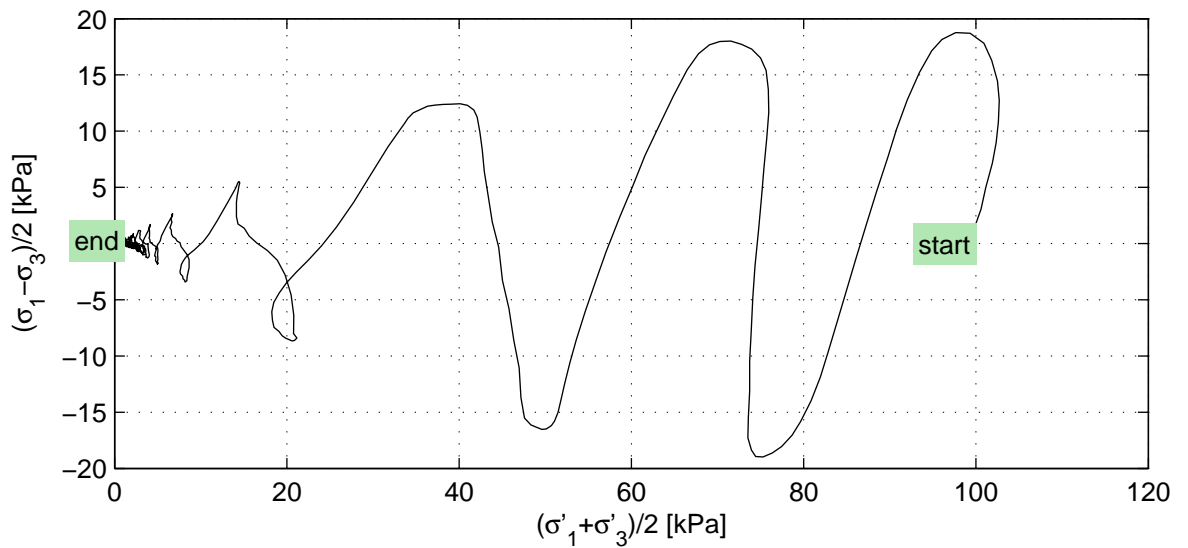
gez.

-

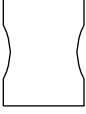
bijlage
meng_st11E

pag.

2



Belastingsfase

Stopcriterium	Max. number of cycles
Correction text	M (Deltares)
w_e [%]	25.7
Bezwijkfiguur	

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-01

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11E, depth -0.79 till -8.19m NAP

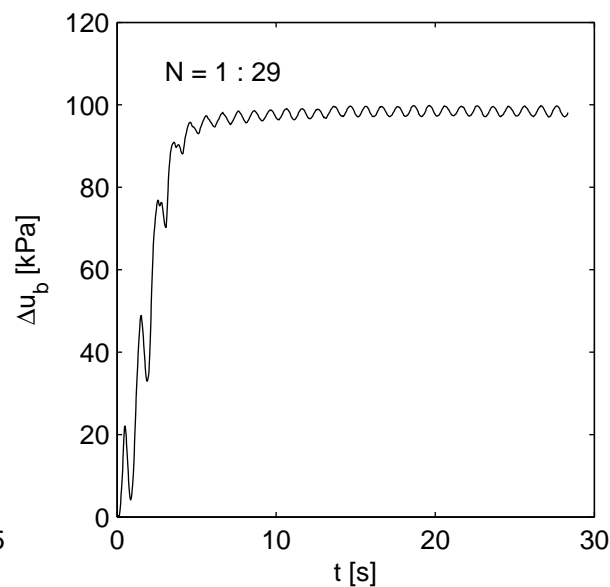
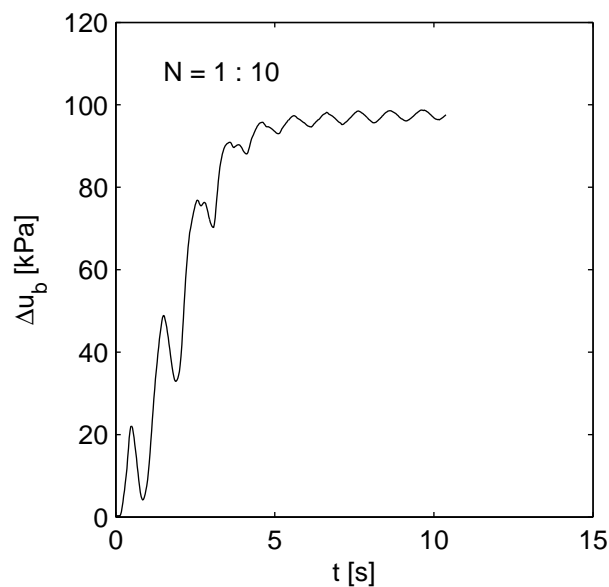
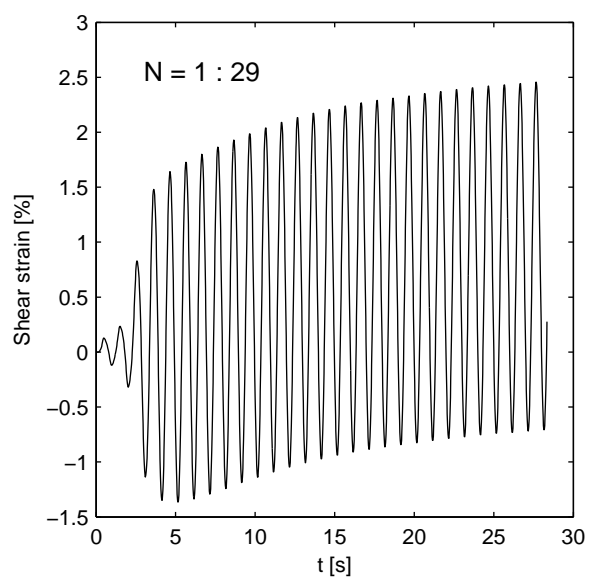
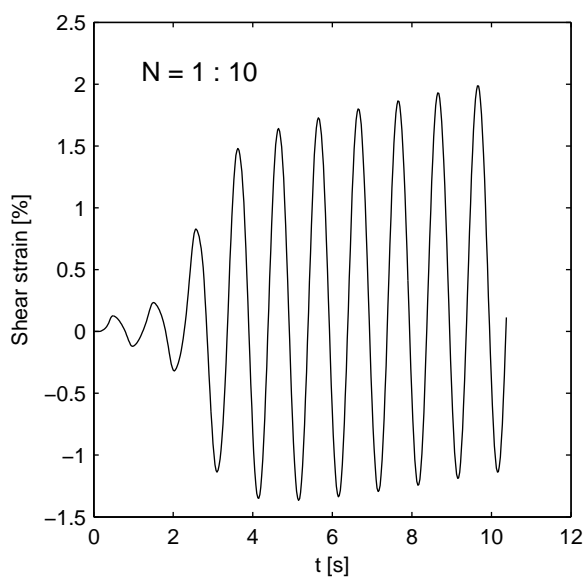
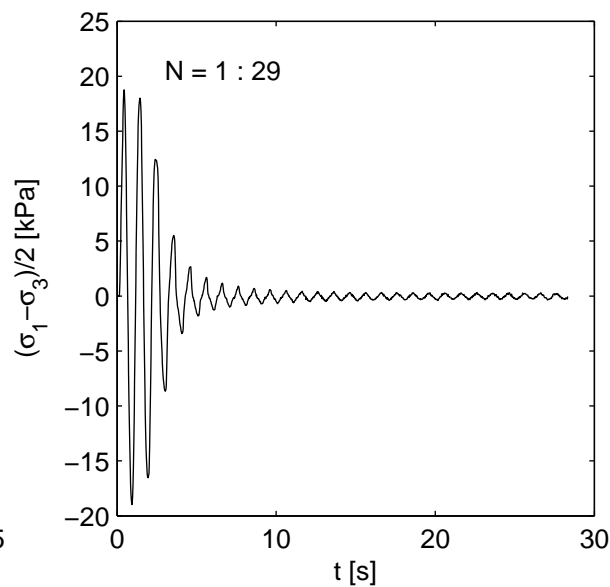
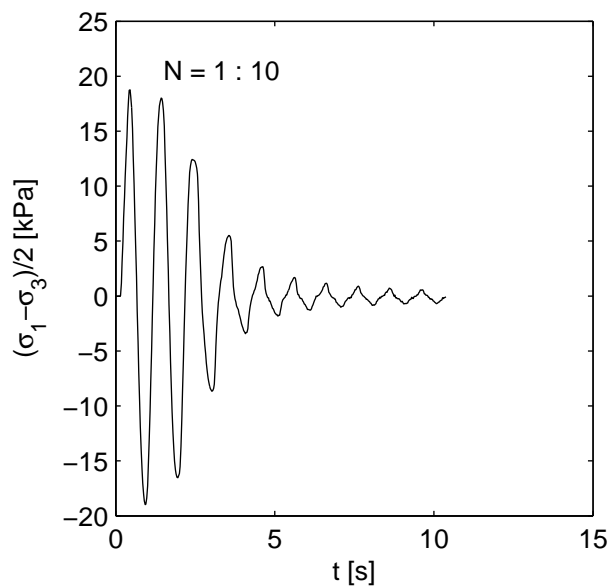
project
1208624.13

gez.
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

bijlage
meng_st11E

pag.
3



Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-01

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11E, depth -0.79 till -8.19m NAP

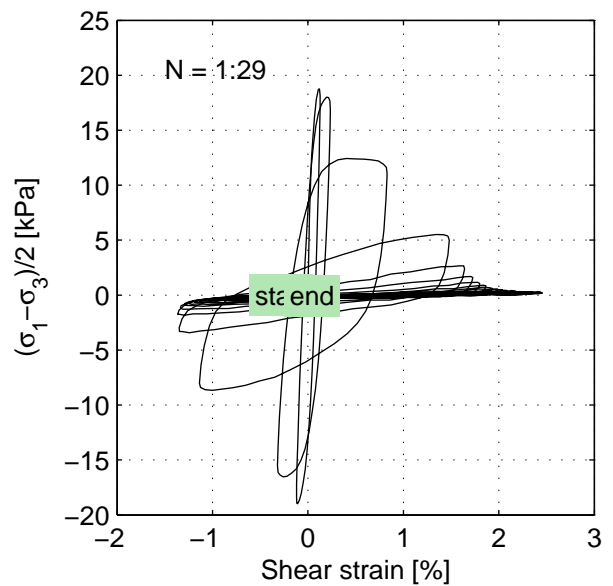
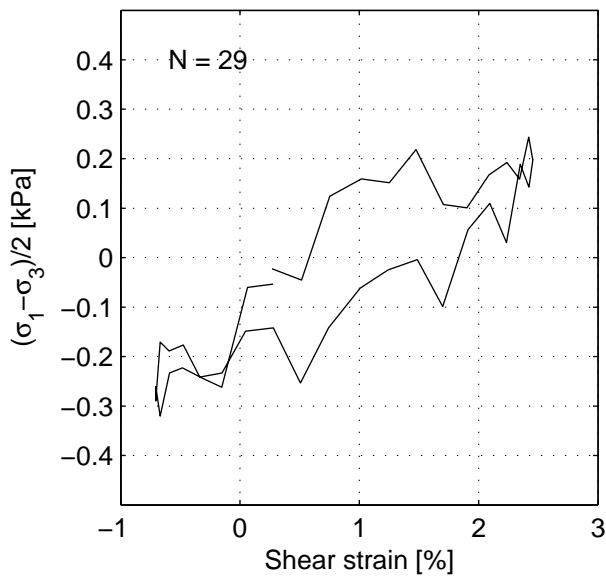
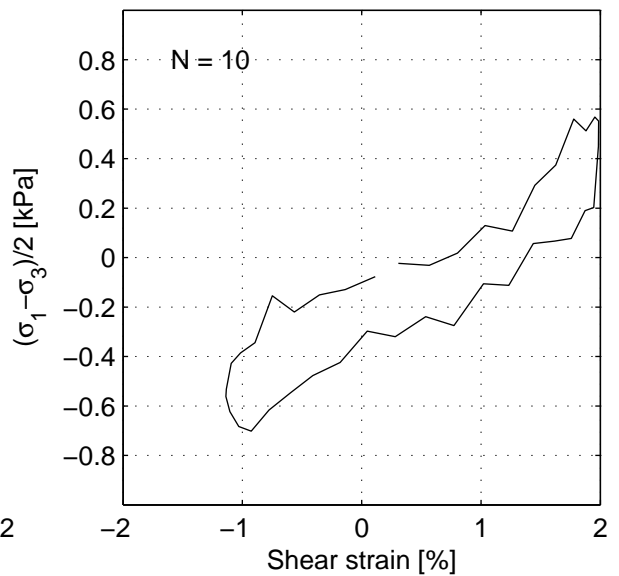
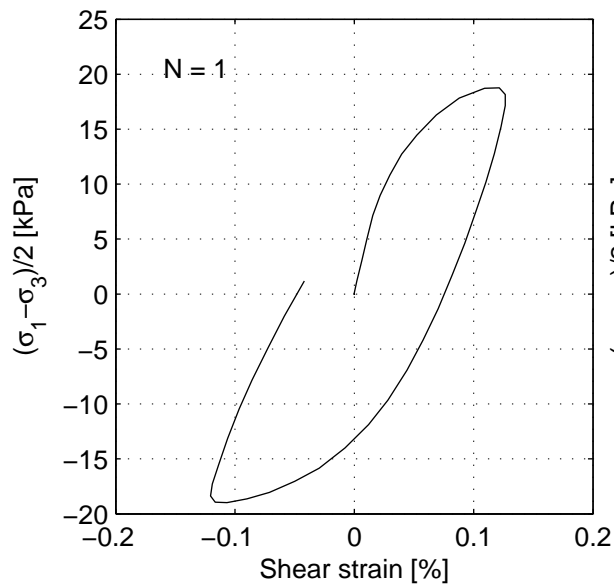
project
1208624.13

seen
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

appendix
meng_st11E

page
4



Cyclical results with external strain:

Cycle:	1	10	29
Shear strain amplitude [%]	0.124	1.558	1.581
Damping ratio [%]	23.9	17.0	12.4
Shear modulus [MPa]	14.8	0.1	0.0

Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-01

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11E, depth -0.79 till -8.19m NAP

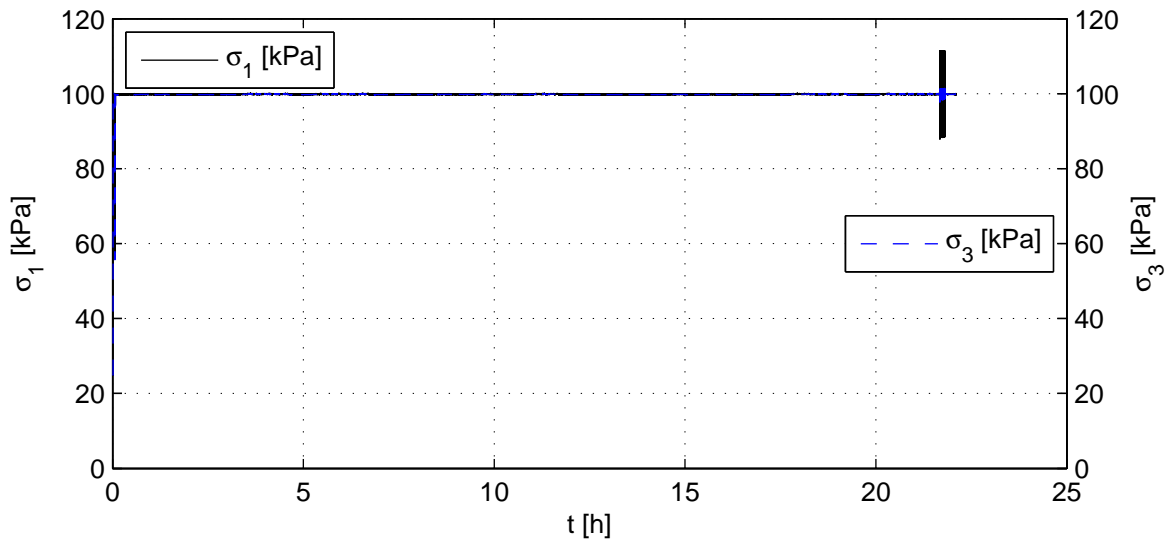
CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
1208624.13

seen
-

appendix
meng_st11E

page
5



Voor beproeving

Monsternaam	meng_st1_tm_st11F
m_i [g]	930.3
D_i [mm]	65.1
h_i [mm]	140.1
V_i [cm ³]	466.3
w_i [%]	24.9
$\rho_{i,bulk}$ [kg/m ³]	1995
$\rho_{i,dry}$ [kg/m ³]	1598
e_i [-]	-
Grondsoort	Zand, sterk siltig

Device: TX-D

Monster droog opgebouwd met vaste pakking en verzadigd.
 Isotrope consolidatie 100 kPa.
 Preshear fase gedraineerd, 10kPa amplitude, $N = 500$.
 Cyclisch belasten ongedraineerd, 40 kPa amplitude, 1 Hz.
 Bezijken na enkele cycli.
 Bij einddrainage 16 cc uitstroom.

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
 Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
 Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
 2013-11-29

get.
 grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11F, depth -0.79 till -8.19m NAP

CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
 1208624.13

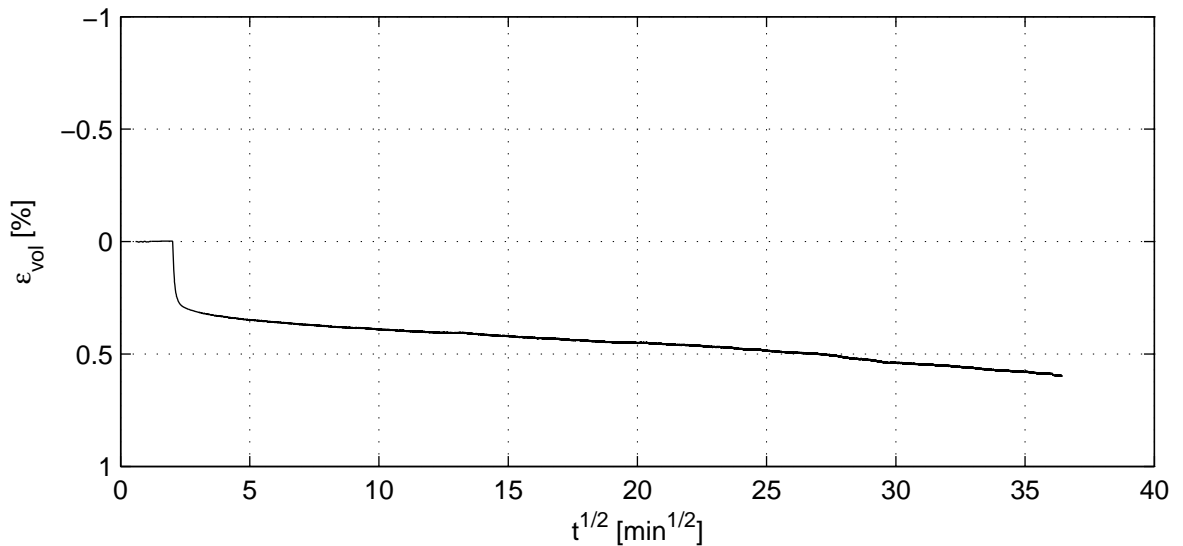
gez.

-

bijlage
 st1_tm_st11F

pag.

1



Verzadigingsfase

Consolidatiefase

B_0 [-]	0.93
B_1 [-]	0.93
$\sigma'_{1,c}$ [kPa]	101.2
T_{avg} [°C]	20.0
t_{100} [min]	-
h_c [mm]	139.8
V_c [cm ³]	463.5
$\rho_{n,c}$ [kg/m ³]	2001
w_c [%]	24.5
u_{bk} [kPa]	299
P [-]	8.50
Creep rate [%/h]	0.006

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-29

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11F, depth -0.79 till -8.19m NAP

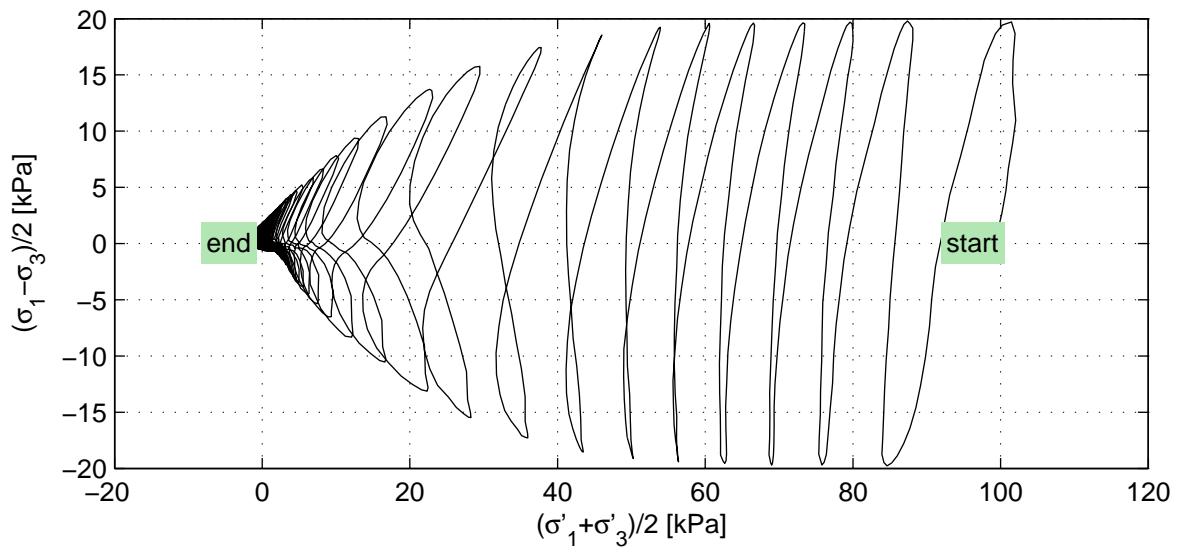
CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
1208624.13


gez.
-

bijlage
st1_tm_st11F

pag.
2



Belastingsfase

Stopcriterium	Max. number of cycles
Correction text	M (Deltares)
w _e [%]	22.7
Bezwijkfiguur	

Deltares

Postbus 177, 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telefoon 088 335 7200
Telefax 015 261 0821

Homepage:
www.deltares.nl

datum
2013-11-29

get.
grw

Gasbevingen: Labwerk
Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11F, depth -0.79 till -8.19m NAP

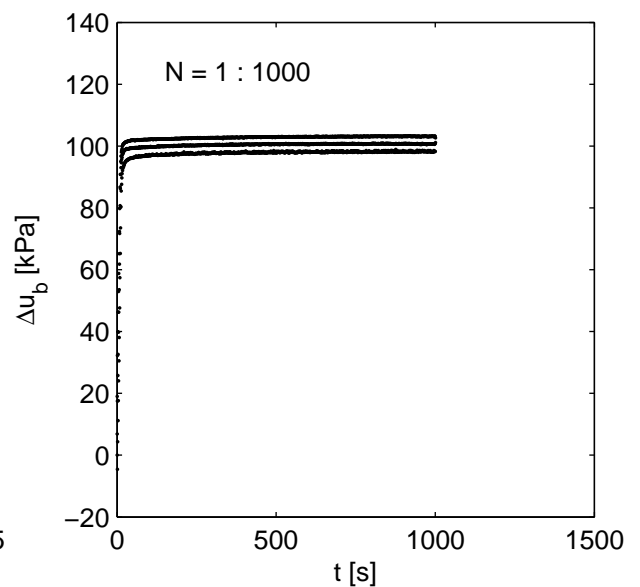
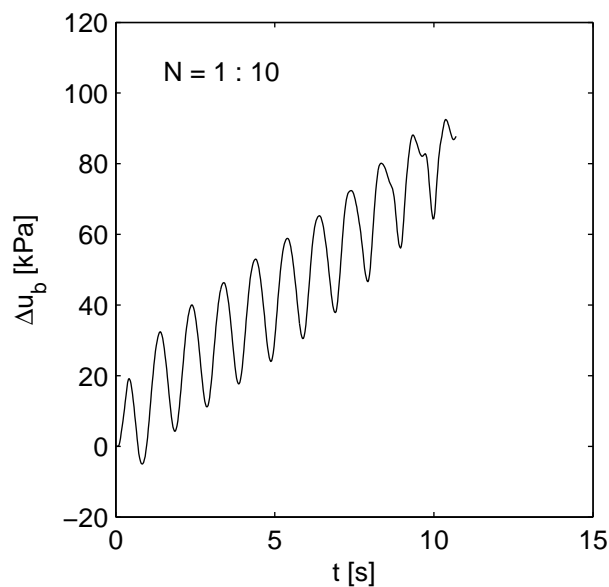
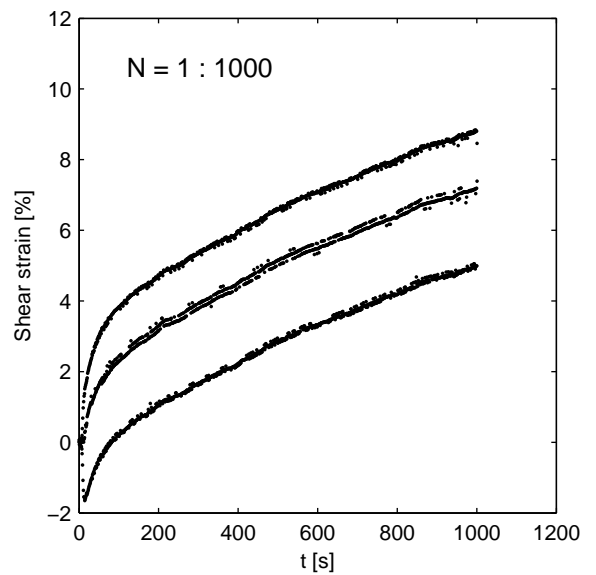
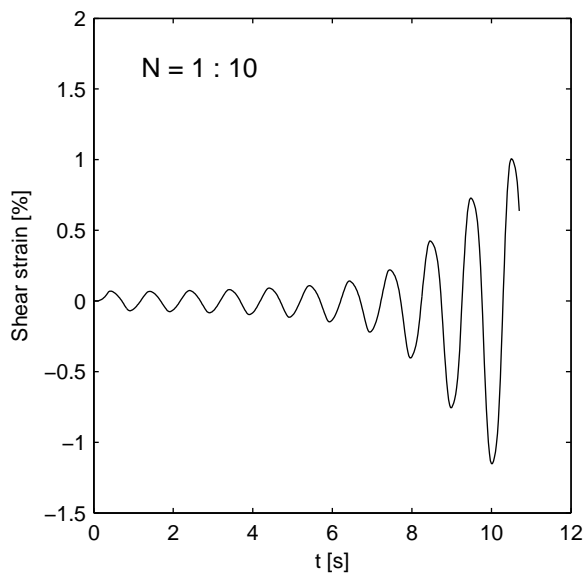
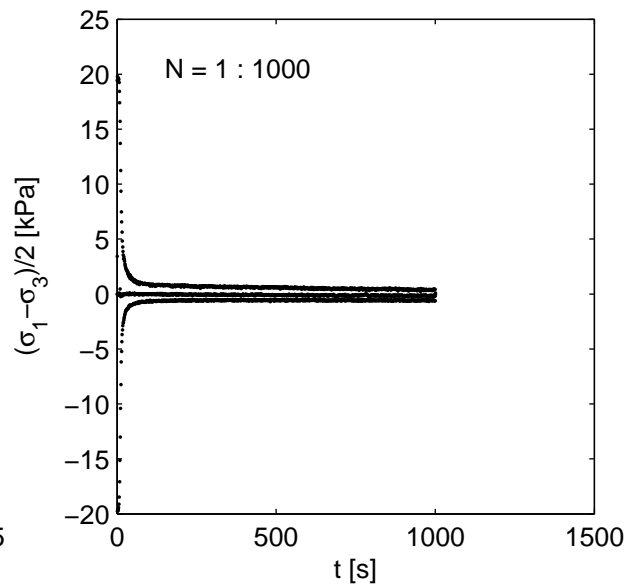
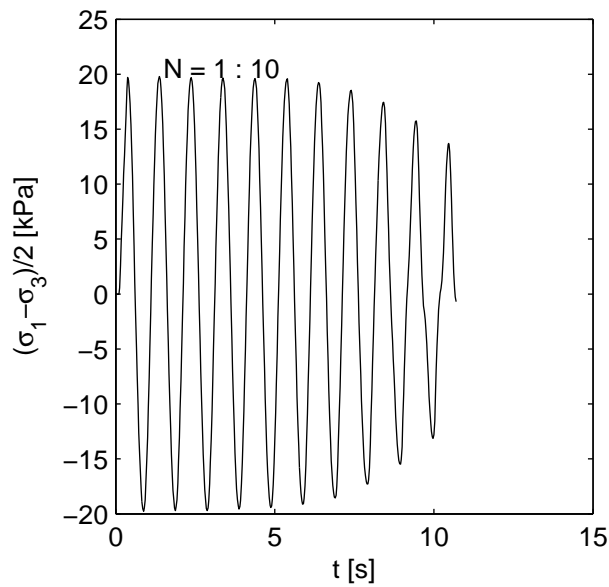
project
1208624.13

gez.
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

bijlage
st1_tm_st11F

pag.
3



Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-29

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11F, depth -0.79 till -8.19m NAP

project
1208624.13

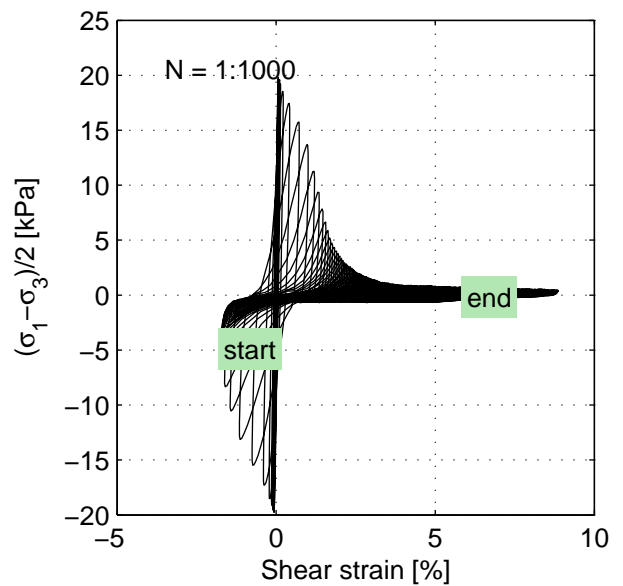
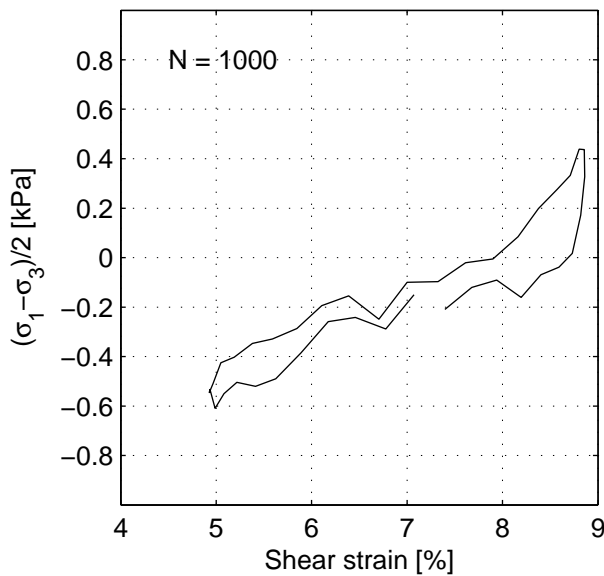
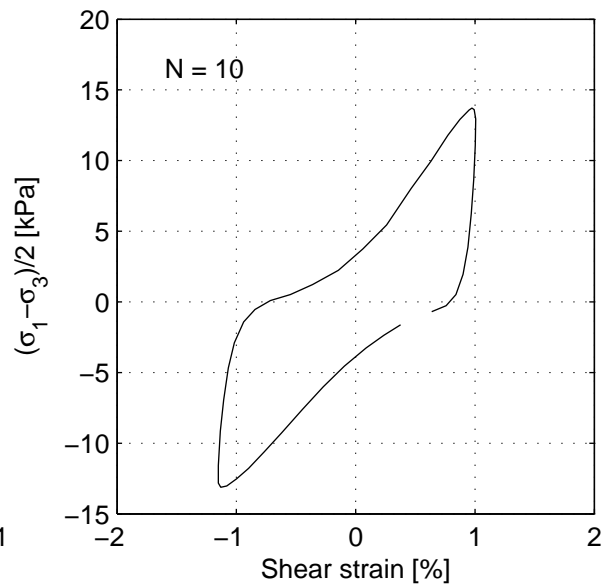
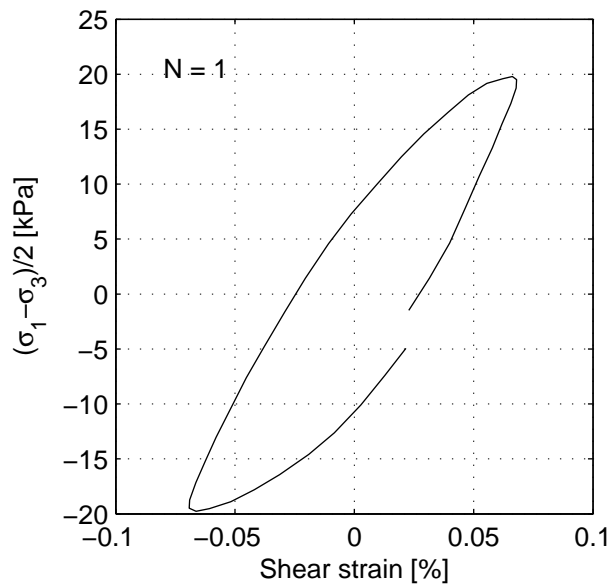
seen
-

CU Triaxiaalproef Cyclisch

appendix
st1_tm_st11F

page
4

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-29



Cyclical results with external strain:

Cycle:	1	10	1000
Shear strain amplitude [%]	0.069	0.742	1.967
Damping ratio [%]	20.4	26.2	7.7
Shear modulus [MPa]	28.4	2.2	0.0

Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-29

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk

Boring B2-tZandt, Sample meng_st1_tm_st11F, depth -0.79 till -8.19m NAP

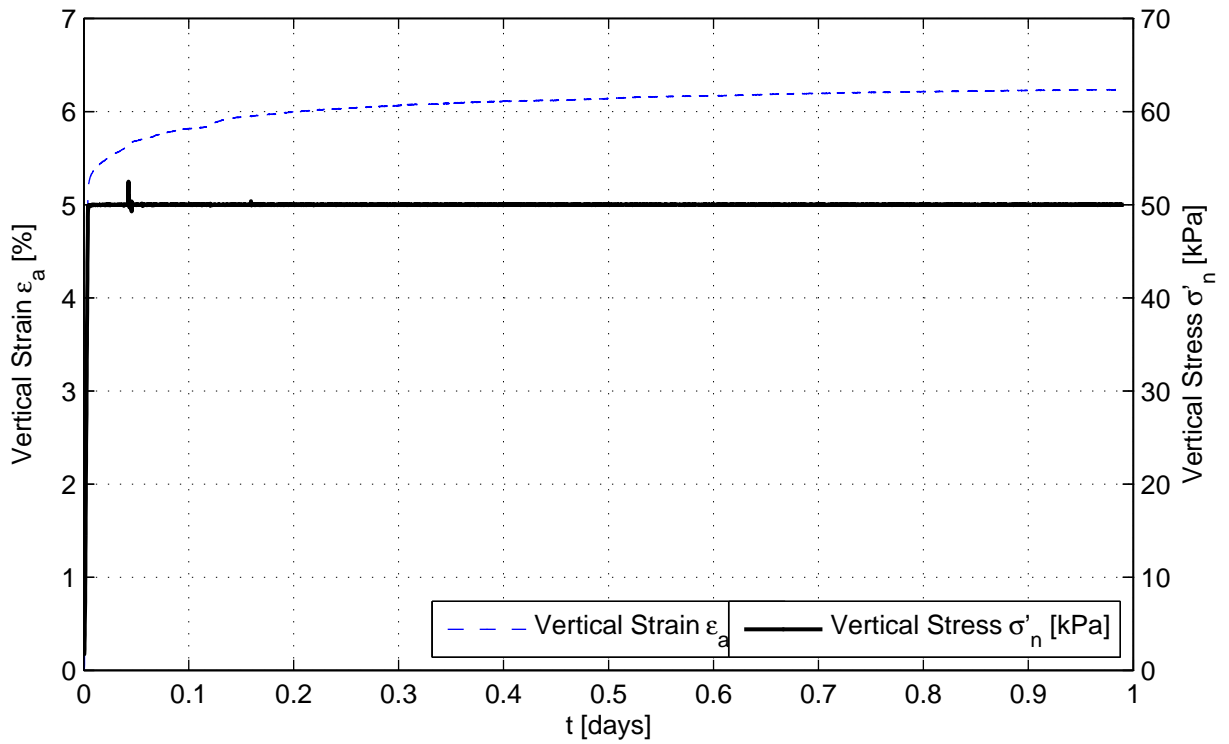
CU Triaxiaalproef Cyclisch

project
1208624.13

seen
-

appendix
st1_tm_st11F

page
5



Description of soil sample:

Hoofdgrondsoort	zand
Pressure area [cm ²]	31.17
Height at start test [mm]	20.0
Diameter [mm]	63.0
Temperature [°C]	20.0
Sample	B2-st4B
Bor. No.	B2-tZandt
Diepte van NAP [m]	-2.14
Height at start cyclic phase [mm]	18.8
ρ (initial) [g/cm ³]	1.77
S_r [%]	100
e initial [-]	1.01
e final [-]	0.88
w initial [%]	34.2
w final [%]	38.7
Test type	Constant height
Cyclic test type	Constant stress
Number of cycles [-]	38
Frequency [Hz]	1.0
Shear stress Amplitude [kPa]	9.6
Shear strain Amplitude [mm]	
Device	DSS-B

Monster intact uit boring.

Cyclisch belasten 10 kPa amplitude, 1 Hz.

Monster bezwijkt snel; G- moduli zijn daarom onbetrouwbaar.

Proef gestopt bij 5% schuifrek.

Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-28

signed
Grw

Gasbevingen: Labwerk

DSScy_B2-st4B

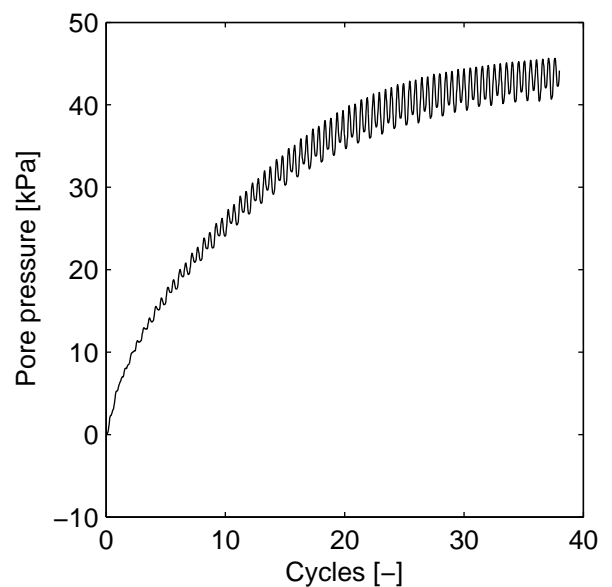
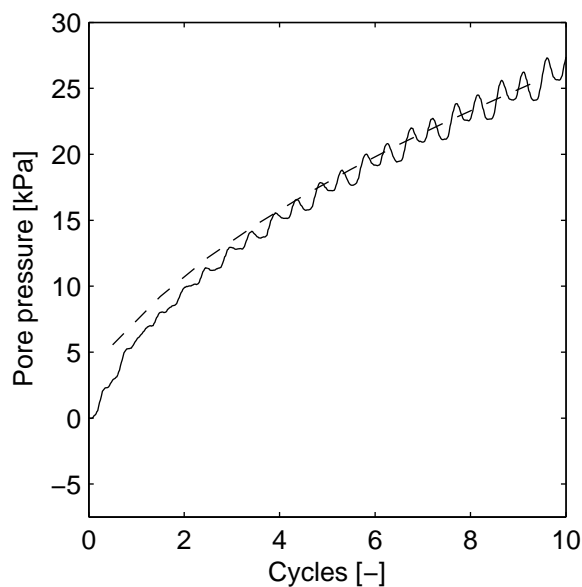
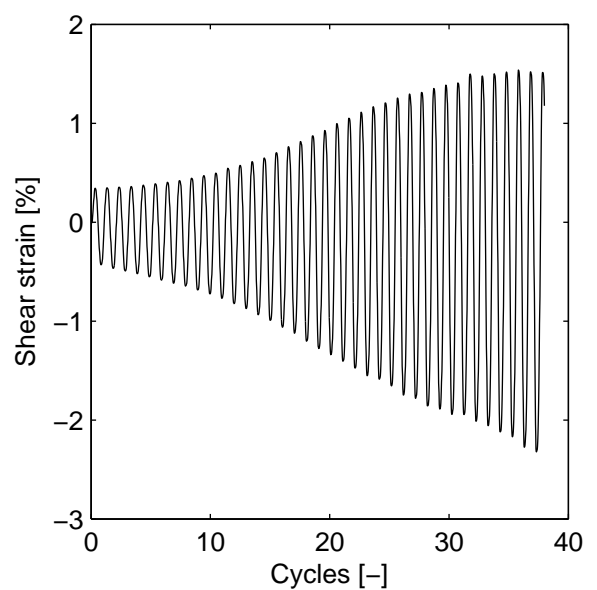
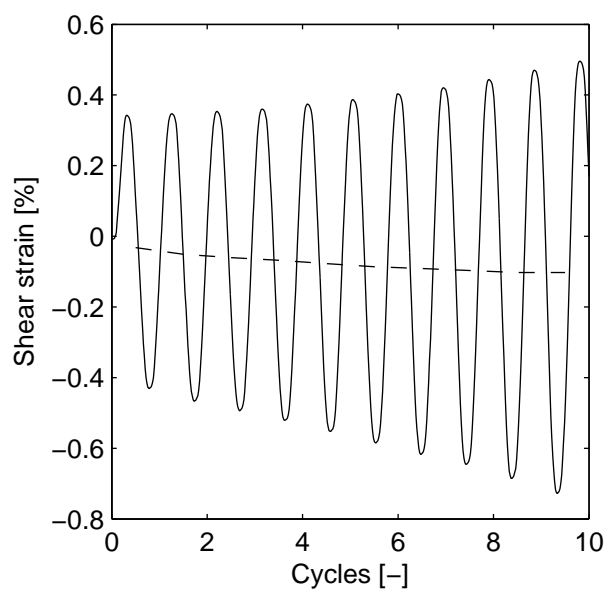
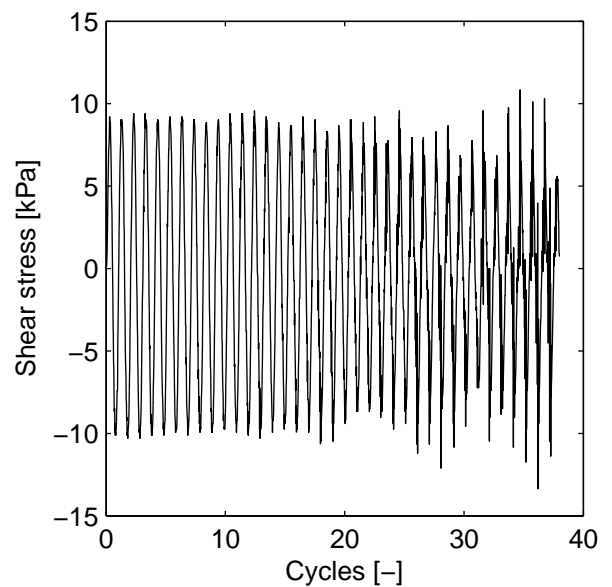
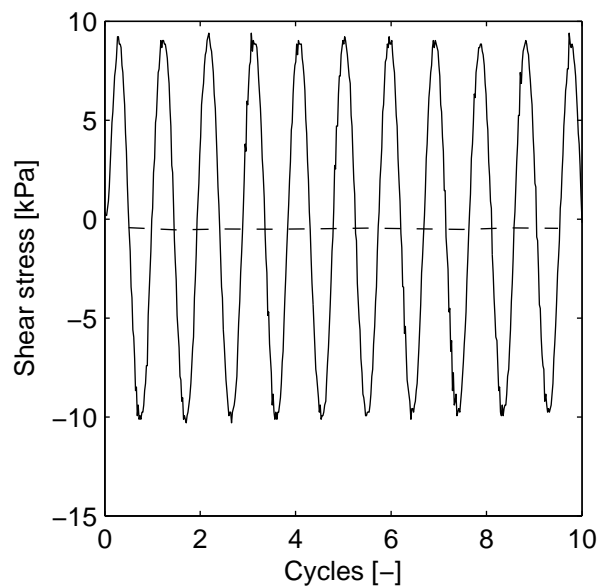
Cyclic Direct Simple Shear test

project
1208624.13

seen
-

appendix
B2-st4B

page
1



Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date

2013-11-28

signed

Grw

Gasbevingen: Labwerk

DSScy_B2-st4B

project

1208624.13

seen

-

Cyclic Direct Simple Shear test

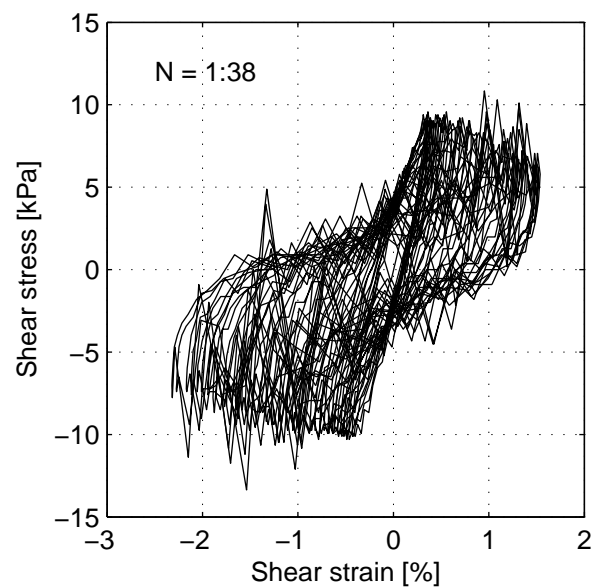
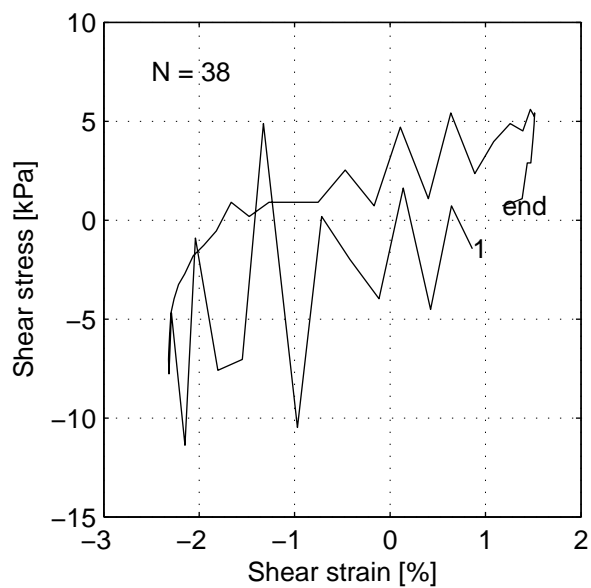
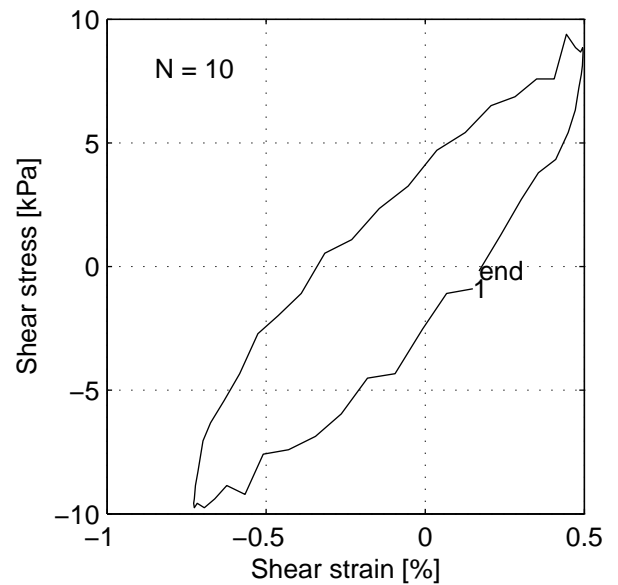
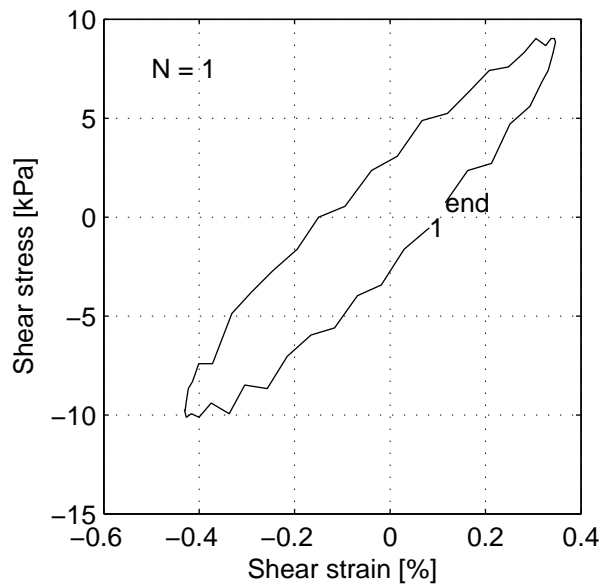
appendix

B2-st4B

page

2

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-29



Cyclic results:

Cycle:	1	10	38
Damping ratio [%]	14.9	18.4	16.4
Shear modulus [MPa]	13.2	8.1	2.4

Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-28

signed
Grw

Gasbevingen: Labwerk
DSScy_B2-st4B

project
1208624.13

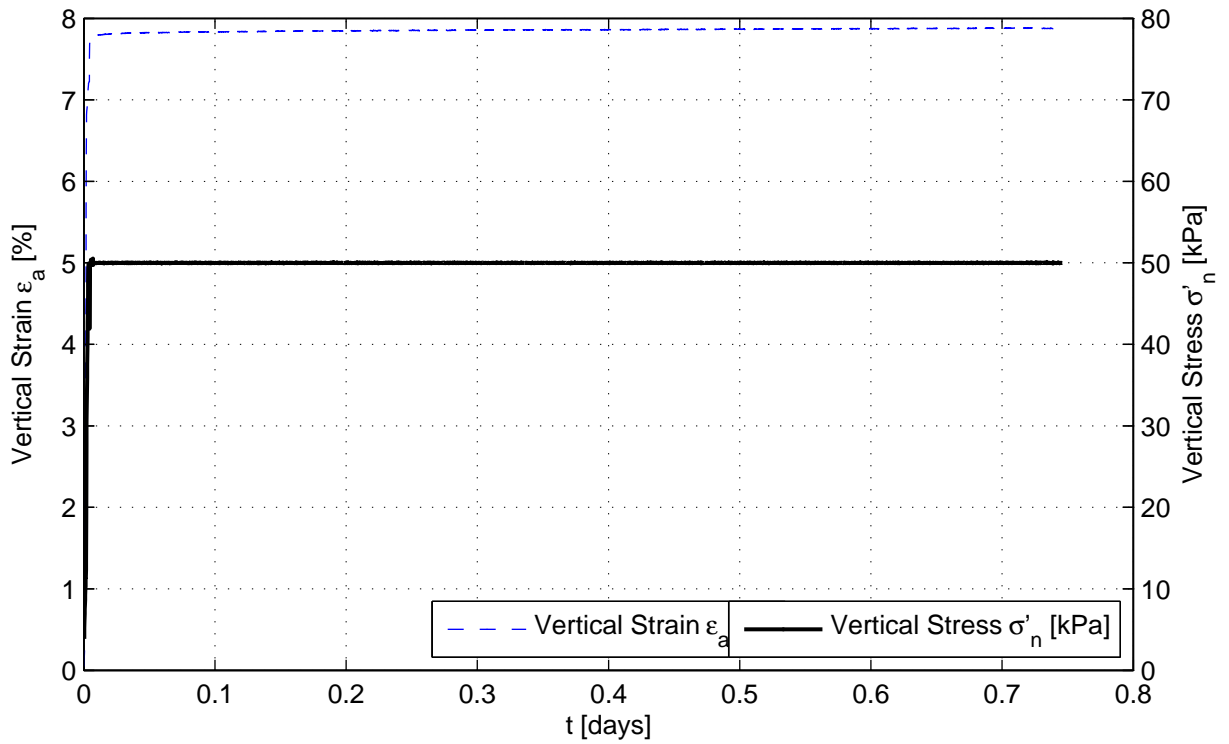
seen
-

Cyclic Direct Simple Shear test

appendix
B2-st4B

page
3

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-29



Description of soil sample:

Hoofdgrondsoort	zand
Pressure area [cm ²]	31.17
Height at start test [mm]	20.0
Diameter [mm]	63.0
Temperature [°C]	20.0
Sample	B2-st5B
Bor. No.	B2-tZandt
Diepte van NAP [m]	-2.54
Height at start cyclic phase [mm]	18.4
ρ (initial) [g/cm ³]	1.96
S _r [%]	100
e initial [-]	0.69
e final [-]	0.55
w initial [%]	25.1
w final [%]	25.2
Test type	Constant height
Cyclic test type	Constant stress
Number of cycles [-]	19
Frequency [Hz]	1.2
Shear stress Amplitude [kPa]	16.2
Shear strain Amplitude [mm]	
Device	DSS-B

Monster intact uit boring.

Cyclisch belasten 15 kPa amplitude, 1 Hz.

Monster bezwijkt snel, daardoor onregelmatige schuifspanning.

Berekende moduli en demping niet betrouwbaar.

Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-28

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk

DSScy_B2-st5B

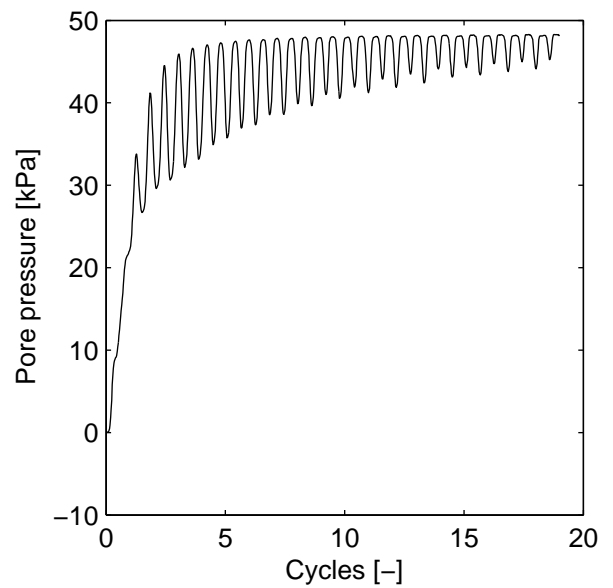
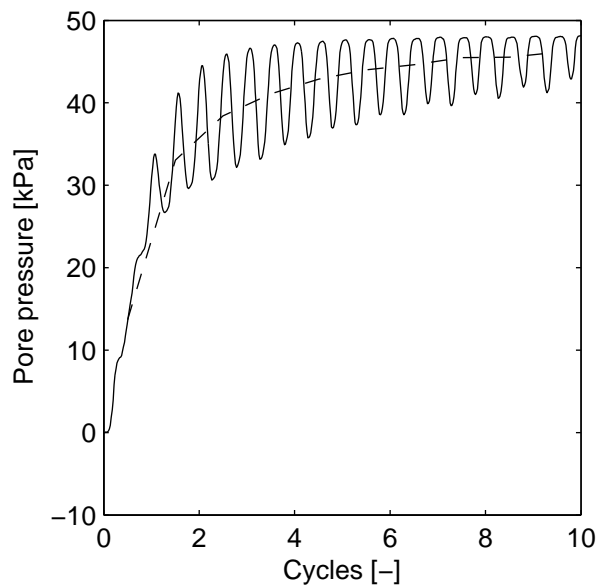
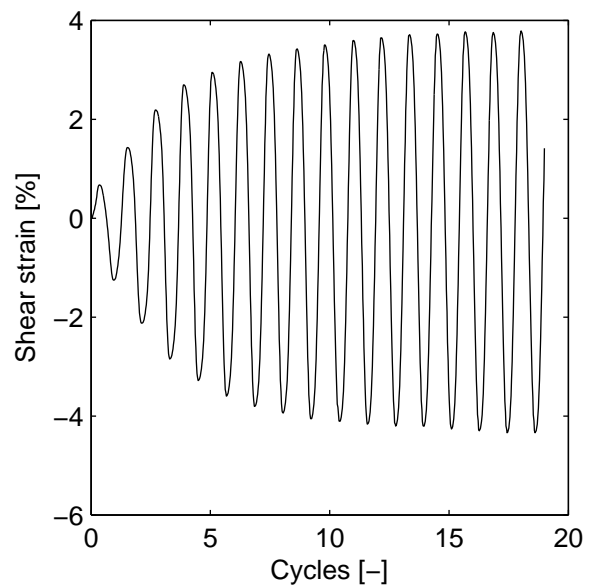
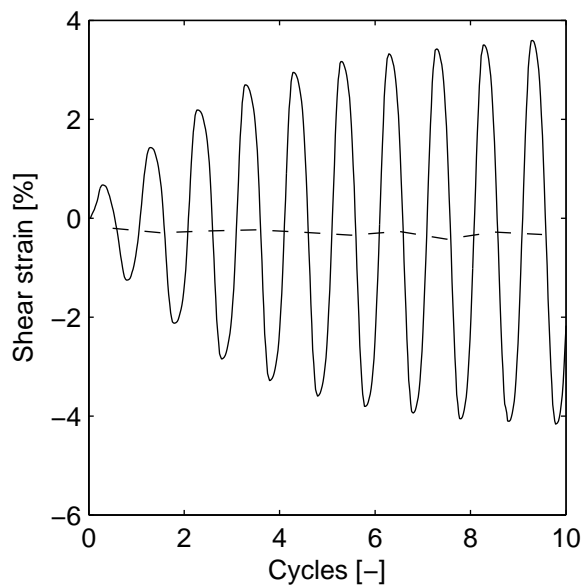
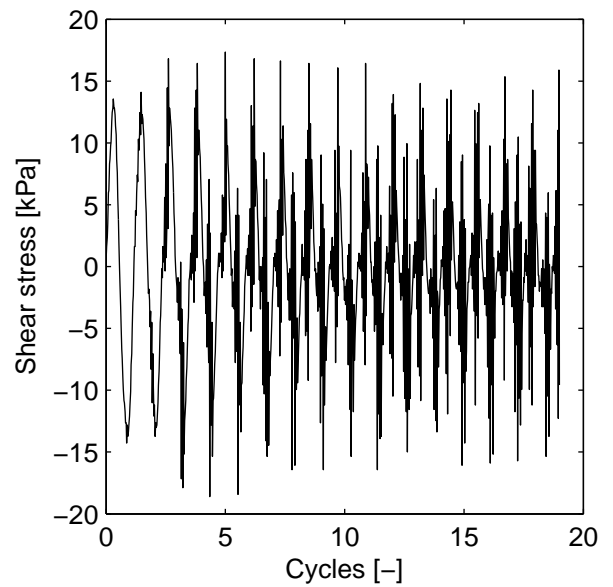
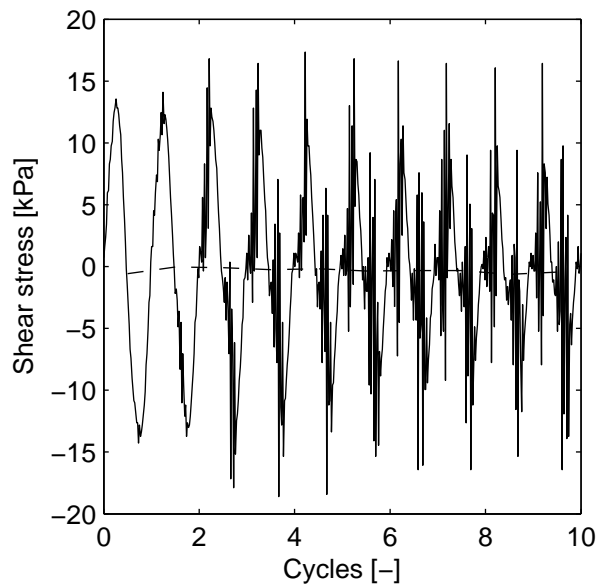
Cyclic Direct Simple Shear test

project
1208624.13

seen
-

appendix
B2-st5B

page
1



Deltares

PO Box 177, NL 2600 MH Delft
Stieltjesweg 2, 2628 CK Delft

Telephone +31 (0)88 335 7200 Homepage:
Telefax +31 (0)15 261 0821 www.deltares.nl

date
2013-11-28

signed
grw

Gasbevingen: Labwerk
DSScy_B2-st5B

project
1208624.13

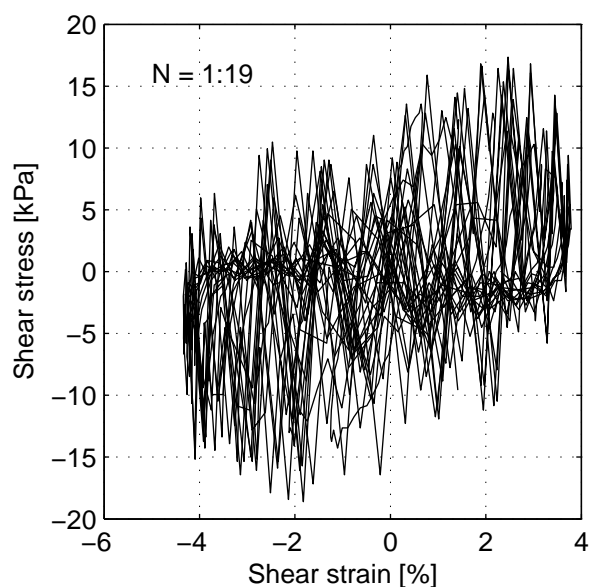
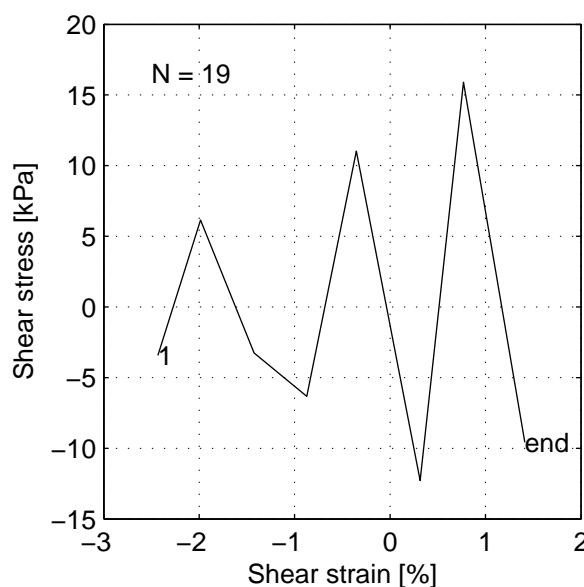
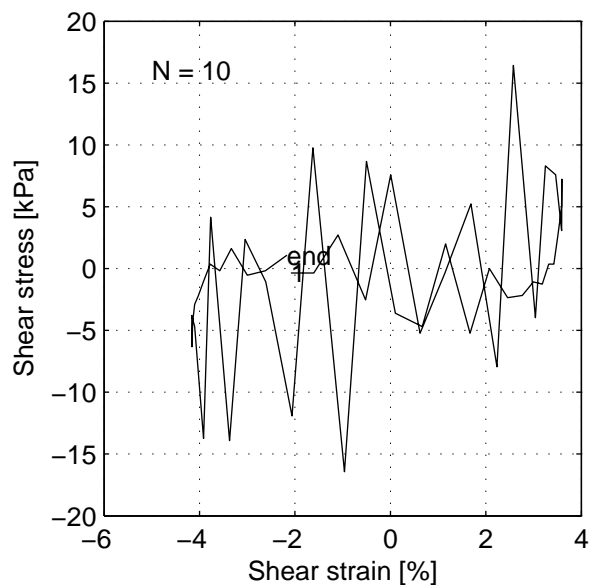
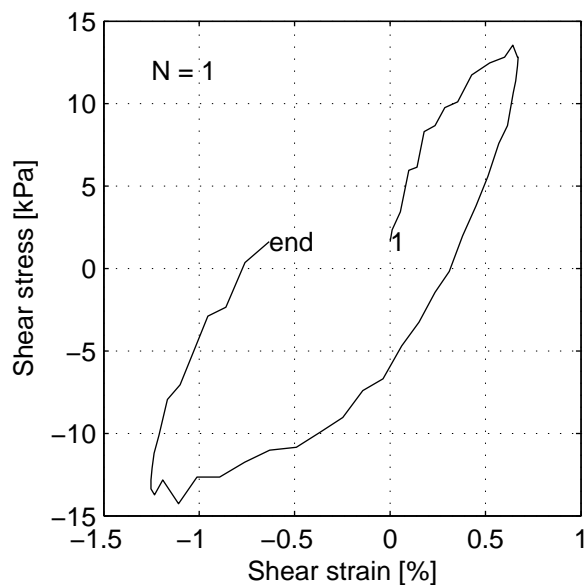
seen
-

Cyclic Direct Simple Shear test

appendix
B2-st5B

page
2

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2013-11-29



Cyclic results:

Cycle:	1	10	19
Damping ratio [%]	21.2	8.9	21.9
Shear modulus [MPa]	7.9	2.5	3.3