

Compenserend grouten

Hydraulic fracture grouting in zand

Monique Sanders

Afstudeerder Civiele techniek TUDelft/ GeoDelft



Inhoud

- Introductie
- Materiaalonderzoek
- Opstelling
- Experimenten
- Conclusies en aanbevelingen

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

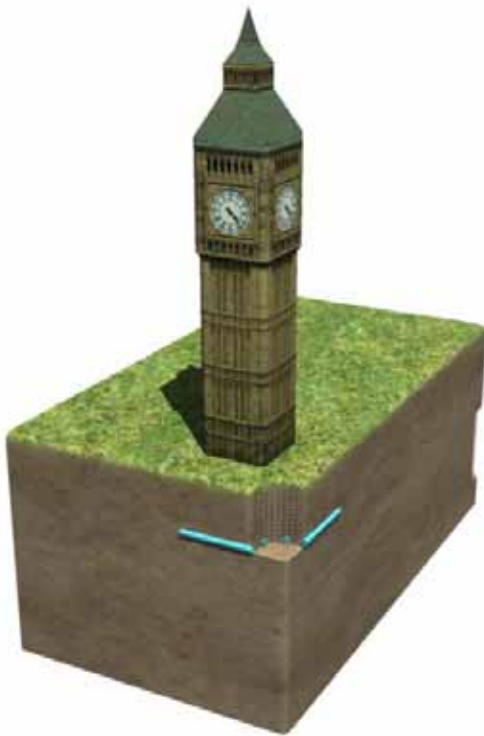
Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep powered by COB



Compenserend grouten



[Arne Bezuijen, 2006]

- Diepe bouwputten of geboorde tunnels
- Compenseren van zettingen dmv het injecteren van grout
- Voorbeeld is de NoordZuid lijn in Amsterdam

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

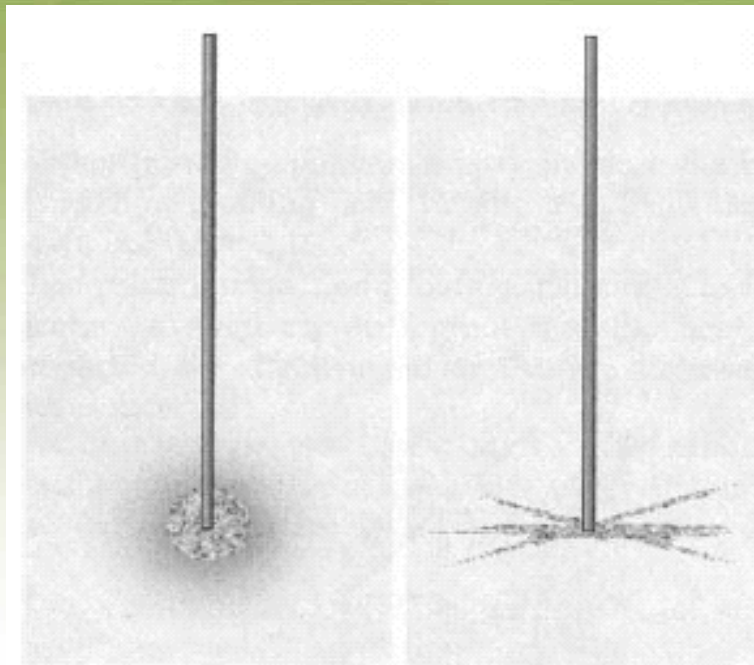
Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep^{•••} powered by COB

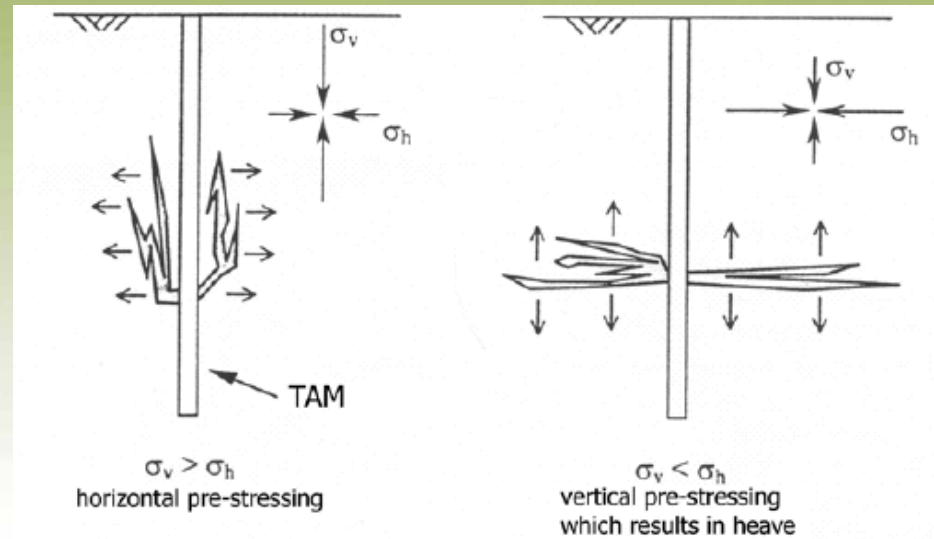
Hydraulic fracture grouting



Compaction Grouting

Fracture Grouting

[Stoel, 2001]



[Hockx, 2001]

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

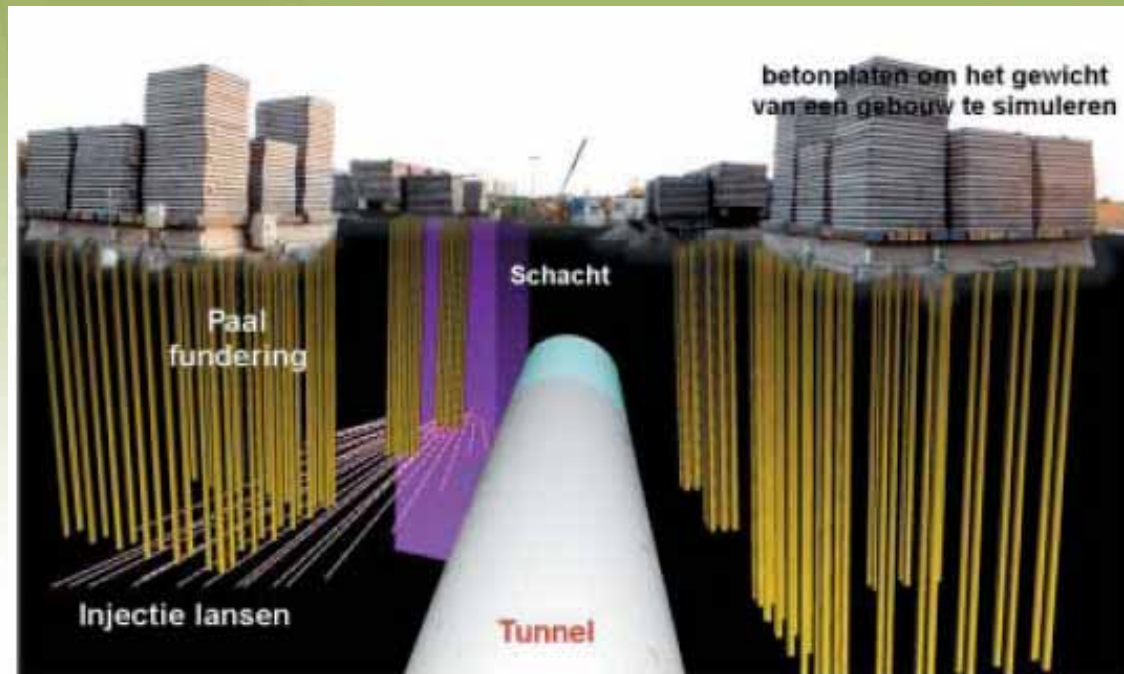
Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep powered by COB

In de Praktijk



[Haasnoot et al., 2003]

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep powered by COB

Voorbeeld injectie Antwerpen



[Te Grotenhuis, 2004]

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft

GeoDelft

denkdiep powered by COB

Experiment 2005

- Variatie in w/c-factor, bentoniet concentratie, injectie drukken en zand dichtheid
- Het grout heeft het zand niet gescheurd. Initiatiepunten aanwezig.
- Filter cake rondom grout injectie



[Kleinlugtenbelt, 2005]

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep powered by COB

Conclusies experimenten 2005

- Commercieel grout (met w/c-factoren 1.2 en 1.4) scheurt het zand niet
- Rondom het geïnjecteerde (commerciele) grout vormt zich een dikke filter cake, die veel weerstand biedt tegen scheuren
- De relatieve dichtheid van het zand heeft veel invloed op de efficiëntie bij het toepassen van commercieel grout
- Variatie van w/c-factor tussen 1.2 en 1.4 is voor de injectie vorm verwaarloosbaar

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Doelstellingen experiment serie 2006

- Het scheuren van zand bij variërende grout eigenschappen
- Inzicht krijgen in het proces van scheurvorming en geometrie bij variërende grout eigenschappen
- Inzicht krijgen in de efficiëntie en uitvoerbaarheid van hydraulische fractuurgrouting in zand

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep^{•••} powered by COB



Inhoud

- Introductie
- **Materiaalonderzoek**
- Opstelling
- Experimenten
- Conclusies en aanbevelingen

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep^{•••} powered by COB

Materialen

Grout componenten:

- Bentoniet $D_{50} = 4.5 \mu\text{m}$
- Cement, OPC CEM I 42.5R $D_{50} = 20 \mu\text{m}$
- Water

Hulpstoffen:

- Vliegashoudend zand $D_{50} = 15 \mu\text{m}$
- Kwartsmeel $D_{50} = 22 \mu\text{m}$
- Vertrager
- Polymers, werkt als vertrager and plastificeerder

Introductie

Materiaalonderzoek

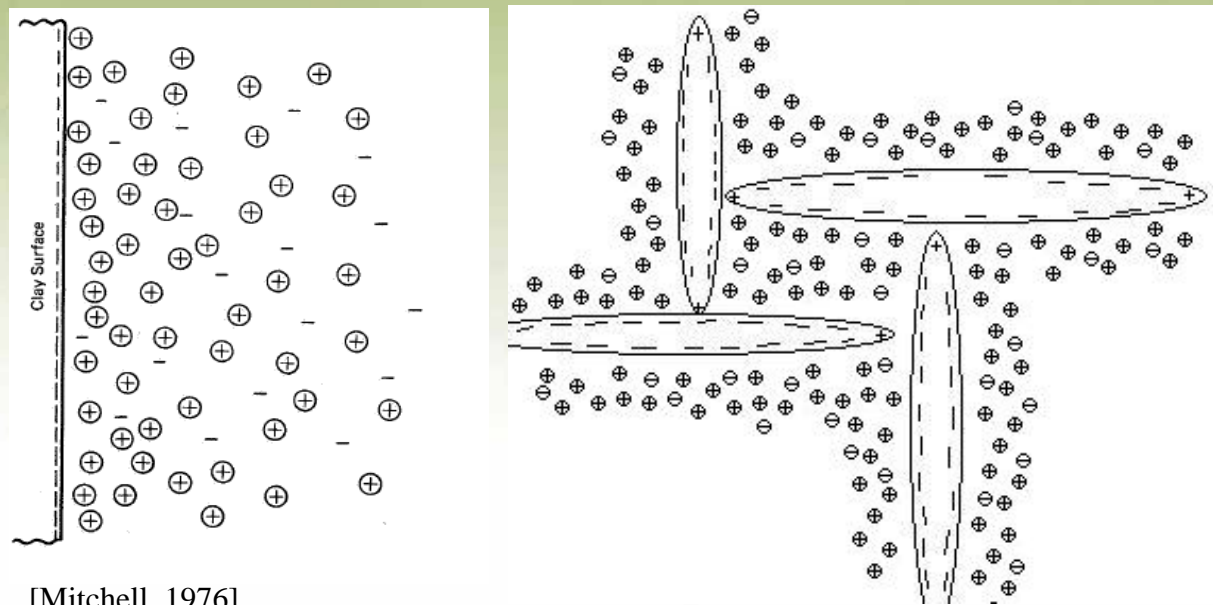
Opstelling

Experimenten

Conclusie

Bentoniet

- Colclay D90, geactiveerd calcium bentoniet
- Vanuit nature natrium bentoniet, maar Na^+ is verwisseld door Ca^{2+}



Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft

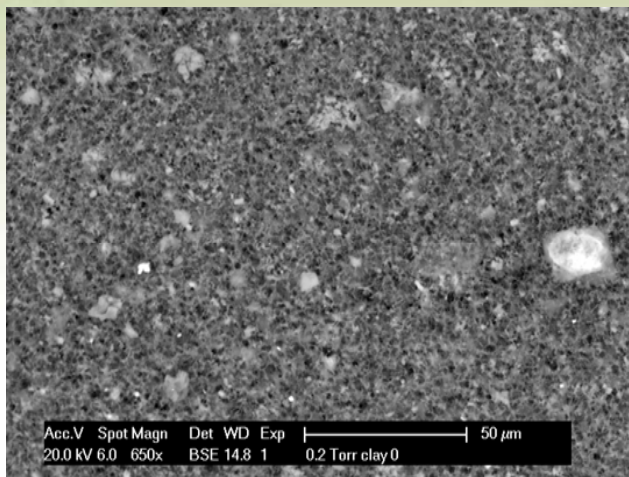
GeoDelft

denkdiep powered by COB

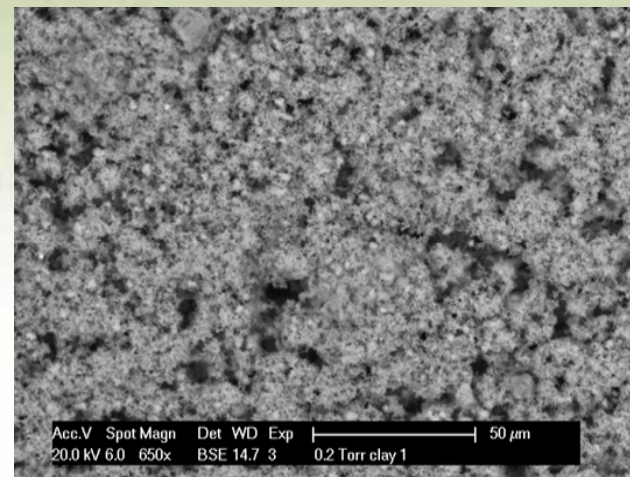
Bentoniet

- Gehydrateerd bentoniet heeft een kaartenhuis structuur (door positieve randen-negatief oppervlak)
- Extra Ca^{2+} of Na^+ in bentoniet slurry verstoort kaartenhuis structuur

Bentoniet slurry



Bentoniet slurry met $\text{Ca}(\text{OH})_2$



Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep powered by COB

Bentoniet

Samengevat

- Standaard grout bevat: Bentoniet, cement en water
 - Cement opgelost in water: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^-$
 - Ca^{2+} wordt opgenomen door negatieve bentoniet oppervlak
 - Lading van het plaatje wordt verlaagd
 - Onderlinge aantrekkingskracht wordt versterkt en aantrekking van +-randen en –oppervlak wordt verstoord
 - Ca^{2+} gaat als brug tussen twee plaatjes werken
- Resultaat flocculatie en verhoging van de doorlatendheid

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Cross-linked gel

- Cross-linked polymeren
- Veel gebruikt mengsel in de olie industrie
- Herschel-Bulkley vloeistof
- Lagere doorlatendheid dan commercieel grout
- Zelfde doorlatendheid als bentoniet
- Veel hogere viscositeit dan grout
- Massa droge stof veel lager dan in grout

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep powered by COB

Conclusies materiaal onderzoek

- Bentoniet is zeer gevoelig voor Ca^{2+}
- Hoe hoger het cement gehalte, hoe hoger de doorlatendheid
- Vertrager verlaagt de doorlatendheid maar verhoogt de viscositeit
- Massa droge stof van grout vele malen hoger dan van cross-linked gel

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Inhoud

- Introductie
- Materiaalonderzoek
- **Opstelling**
- Experimenten
- Conclusies en aanbevelingen

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



*denk*diep^{•••} powered by COB

Opstelling



Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep powered by COB



Zand preparatie

- Zand wordt in de cel (gevuld met water) ingeregend
- Na inregelen wordt het pakket verdicht door cel +/- 18 keer te laten vallen (tot dichtheid 65%)



Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

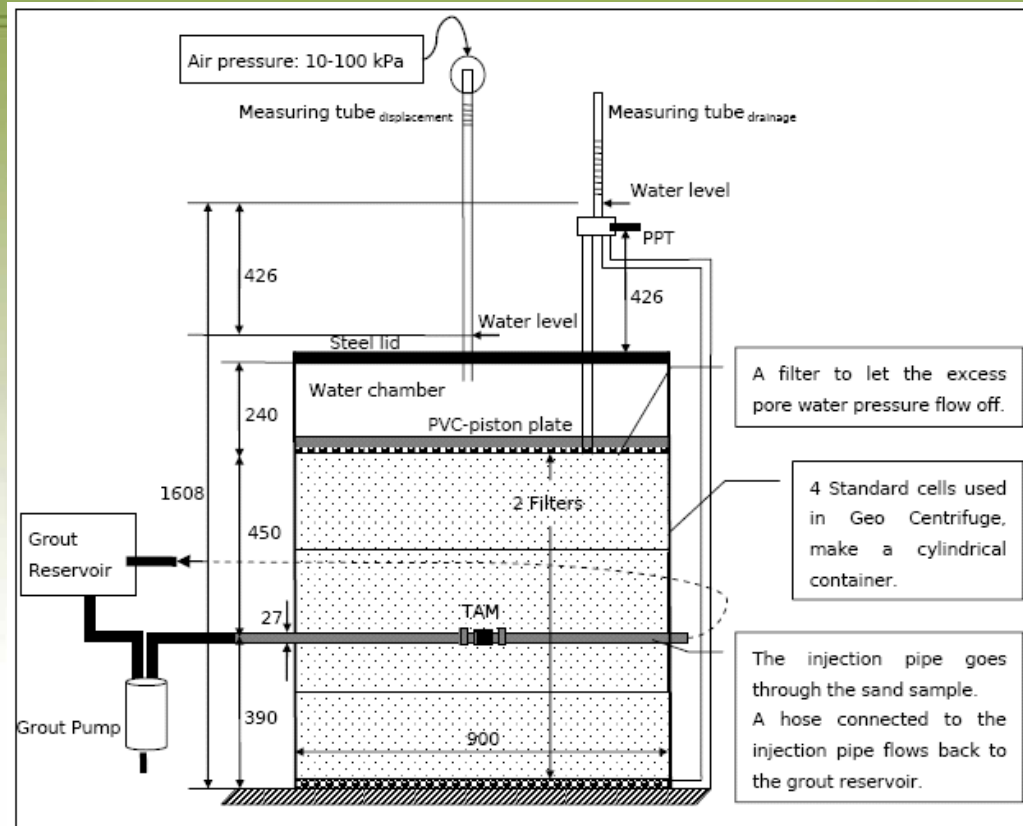
Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep powered by COB

Doorsnede opstelling



[Kleinlugtenbelt, 2005]

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft

GeoDelft

denkdiep powered by COB

Opnemers

- Binnenkant cel: 4 waterdruk opnemers, 2 grondspanning opnemers
- 1 verschildruk opnemer voor drainage water en 2 druk opnemers voor de injectie drukken



Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep powered by COB

Inhoud

- Introductie
- Materiaalonderzoek
- Opstelling
- **Experimenten**
- Conclusies en aanbevelingen

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep^{•••} powered by COB

Injecties



Test 1



Test 3



Test 4

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep powered by COB

Injecties



Test 6



Test 8



Test 10

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep powered by COB

Doorsnedes bij injectiepunt



Test 6



Test 7



Test 10

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

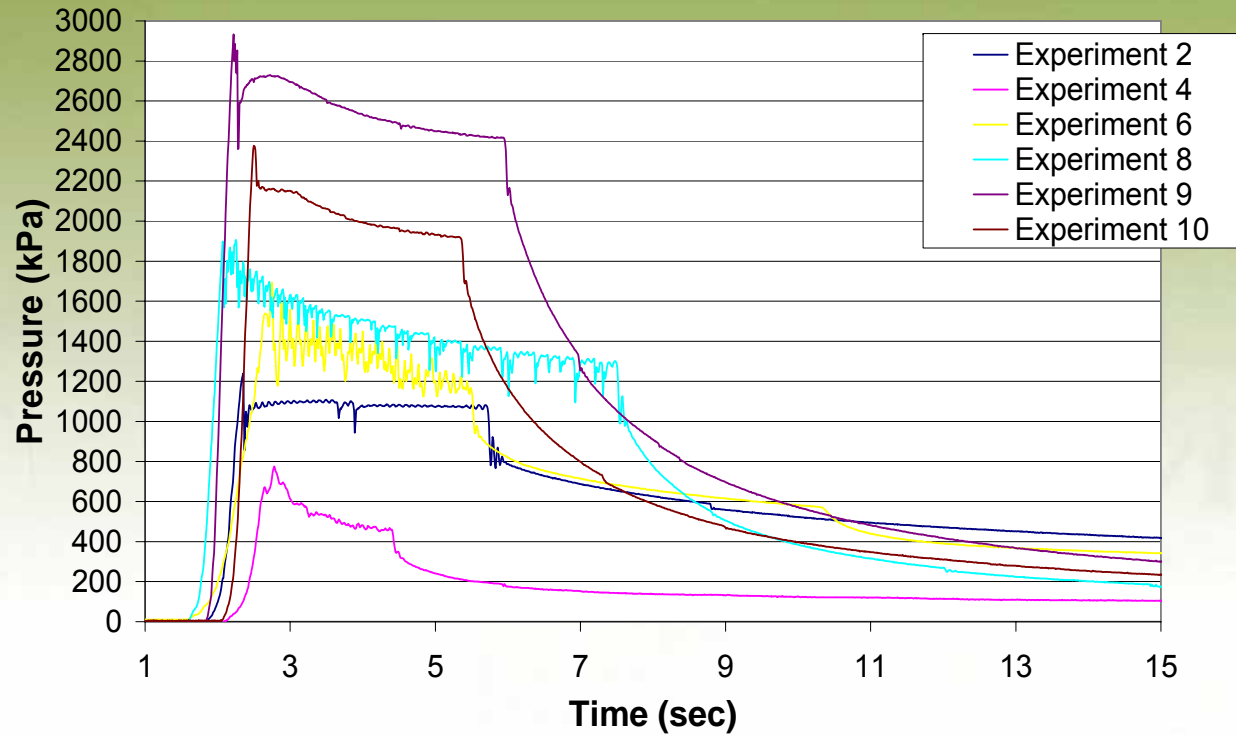
Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep powered by COB

Injectiedrukken



Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

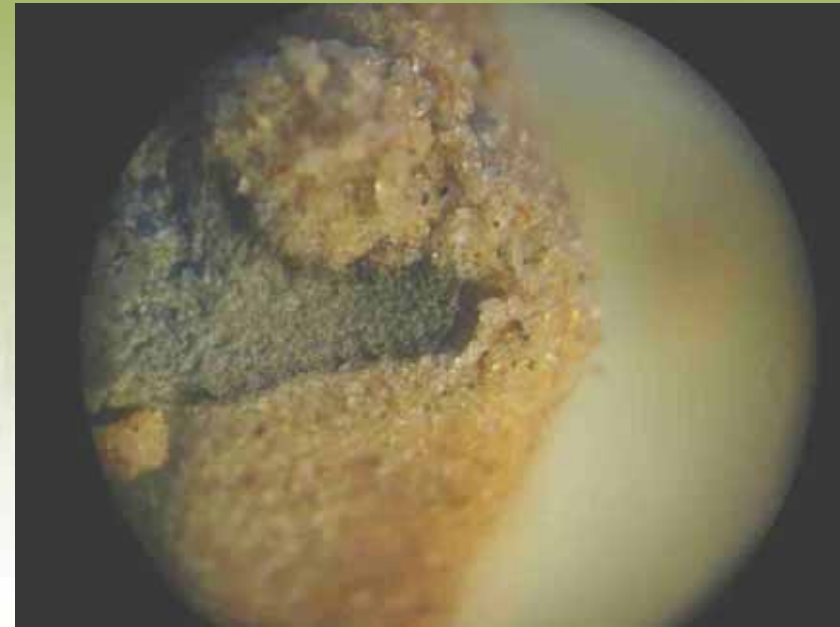
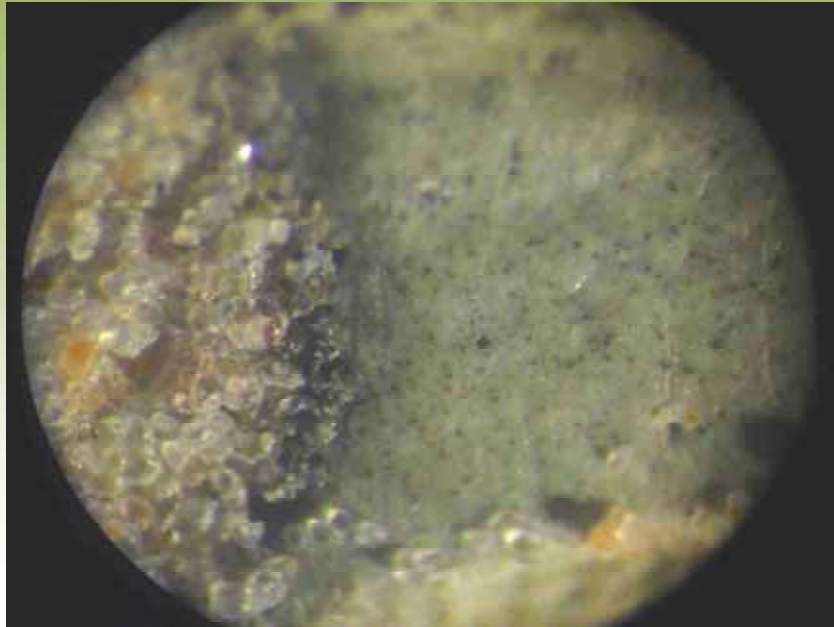
Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep powered by COB

Microscoop foto's



Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

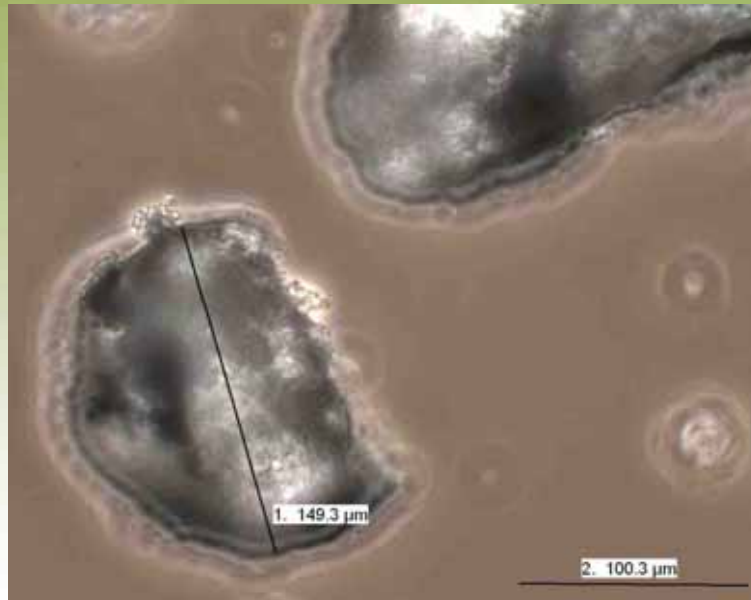
Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep powered by COB



Microscoop foto's



Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep powered by COB



Efficiëntie en scheurlengte



Tests	V injected	Lh per 100ml	Lv per 100ml	Efficiency
	ml	cm	cm	%
1	670	1.64	0.75	10.0
2	670	1.79	0.9	16.7
3	1340	1.87	1.12	20.0
4	670	2.99	1.79	4.0
5	670	1.94	0.45	12.5
6	670	1.94	0.45	11.2
7	1000	2	1.1	13.0
8	1000	2.9	1.75	22.0
9	800	3.13	1.25	29.0
10	670	2.54	1.79	26.7
2005 (7)	670	2.51	unknown	24
2005 (8)	1000	2	unknown	20.0

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

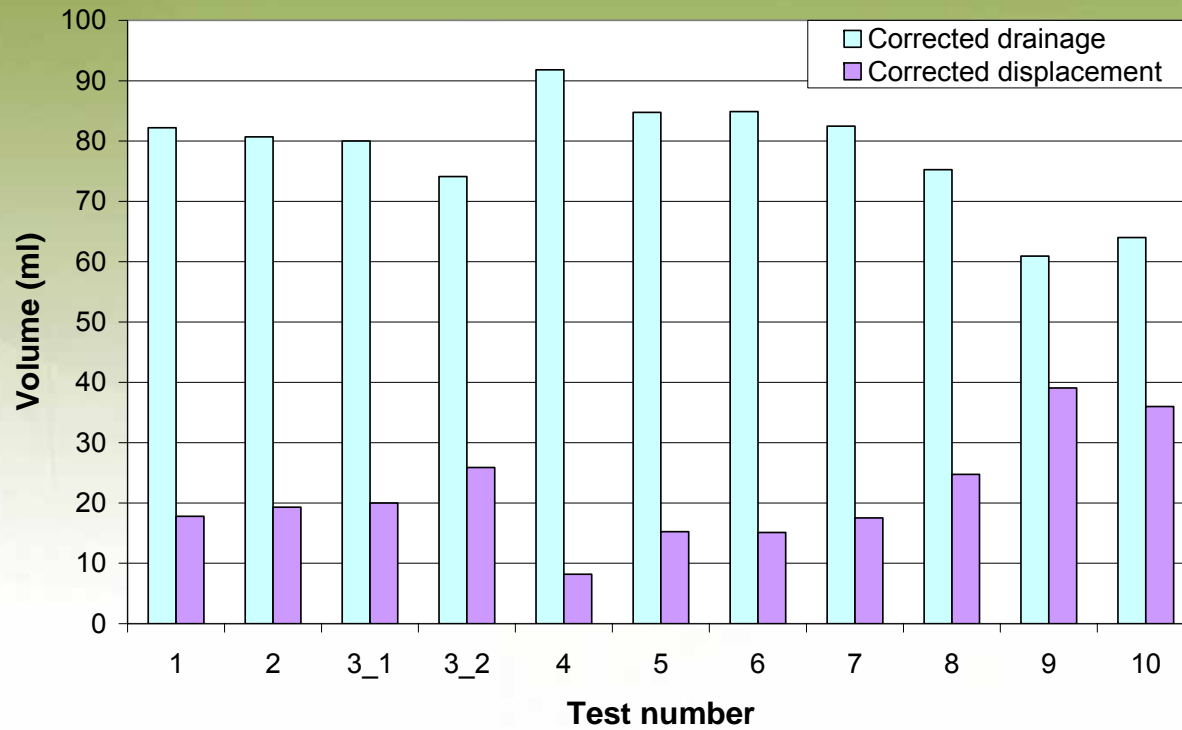
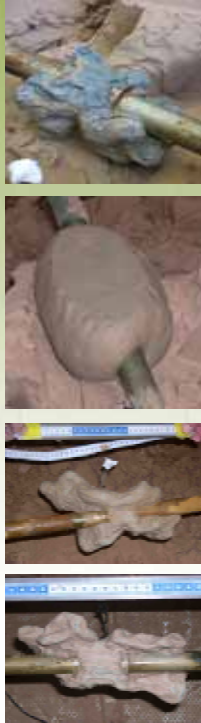
Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep powered by COB

Drainage water



Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep powered by COB

Inhoud

- Introductie
- Materiaalonderzoek
- Opstelling
- Experimenten
- **Conclusies en aanbevelingen**

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep powered by COB



Conclusies

- Vorm van de scheur hangt af van de groutsamenstelling. Met de groutsamenstelling is de scheur te sturen.
- Er zijn 3 tegenstrijdige grout eigenschappen die optreden bij hydraulische fractuurgrouting in zand:
 - Leak off, indringing groutdeeltjes in zand
 - Bleeding, dehydratie grout
 - Massa, oftewel hoeveelheid deeltjes in het grout
- Proeven met veel leak off resulteren in scheurvorming van het zand

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Conclusies

- Cement zorgt voor stevigheid van de scheur, maar ook voor minder leak off
- Te veel cement betekent te veel bleeding en het dichtpluggen van scheuren
- Grout met de componenten bentoniet ~ 70 gr/l, cement w/c = ~ 5 en water heeft de beste eigenschappen (scheurvorming, efficiëntie en stevigheid)
- Het uitvoeren van hydraulic fracture grouting met minder cement dan in de praktijk wordt toegepast, zorgt voor een hogere efficiëntie

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Aanbevelingen

- Een proef met minder injectie debiet, van 10 l/min naar 6 l/min
- Een proef om de invloed van de boogwerking van het zand op het injectielichaam in de opstelling te testen.
- Het uitvoeren van een praktijk proef. Op deze manier wordt de invloed van ongelijkmatige grondspanning en inhomogeniteit van het zandpakket beproefd.
- Minder cement in het commerciële grout zorgt voor betere efficiëntie en sterkte blijft voldoende

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Aanbevelingen

- Scheurvorming is te bereiken door eerst permeation grouting in de ondergrond toe te passen en daarna fracture grouting
- Scheuren kunnen ook gevormd worden op de manier die in de olie-industrie zeer bekend is. Eerst met cross-linked gel injecteren waarna deze scheur met een grout mortar kan worden opgevuld

Introductie

Materiaalonderzoek

Opstelling

Experimenten

Conclusie

Vragen?

Monique Sanders
Afstudeerder Civiele Techniek TUDelft/ GeoDelft



denkdiep powered by COB

