

Proeven op jetgroutkolommen voor de HSL-tunnel Berchem-Antwerpen Centraal

ir. W. Maekelberg, ir. J. Maertens, Dienst Geotechniek TUC RAIL N.V.

1. Inleiding

Voor de realisatie van de noord-zuidverbinding tussen Brussel en de Nederlandse grens wordt onder Antwerpen een spoorwegtunnel gegraven. Het zuidelijke gedeelte van de tunnel, tussen het station van Berchem en Antwerpen-Centraal, wordt onder de bestaande spoorwegviaduct gegraven. Deze ophoging is aangelegd tussen geklasseerde steunmuren. Ter hoogte van de Belgiëlei en de Plantin-Moretuslei bevinden zich in deze ophoging respectievelijk een stalen driescharnierboog en een gewelf van metselwerk.

Om de graafwerken voor de tunnel mogelijk te maken, worden deze bruggen en steunmuren ondervangen. Voor de tijdelijke ondervanging in de bouwfase wordt voornamelijk gebruik gemaakt van jetgroutkolommen.

Gelet op het belang van de uit te voeren werkzaamheden werd een vrij omvangrijke onderzoekscampagne doorgevoerd teneinde het gedrag van de te realiseren groutkolommen zo nauwkeurig mogelijk vast te leggen. Daarmee werd vooral beoogd om de beschikbare capaciteit van de groutkolommen zoveel mogelijk te kunnen benutten.

Alvorens nader in te gaan op deze onderzoekscampagne en haar resultaten, verduidelijken we eerst de manier waarop de bruggen ter hoogte van Belgiëlei en de Plantin-Moretuslei ondervangen werden.

2. De ondervanging van de bestaande bruggen

De bruggen over de Belgiëlei en de Plantin-Moretuslei worden beiden volgens hetzelfde principe ondervangen.

In eerste instantie wordt de fundering van de landhoofden ondervangen met tijdelijke jetgroutkolommen. Deze jetgroutkolommen zijn in elkaar verankerd tot groutschermen (zie fig 1a).

Een eerste langse groutscherm wordt gemaakt onder het front van het landhoofd. Op dit langse groutscherm zijn dan verschillende dwarsschermen gemaakt. De groutkolommen zijn aangezet op 4m onder het onderste uitgravingspeil in deze fase van de werken. Lokaal worden de kolommen 2 m dieper, t.t.z. 6m onder het onderste uitgravingspeil, aangezet.

Na het aanbrengen van de groutschermen wordt zowel voor als achter ieder landhoofd de nieuwe fundering van de brug gemaakt. Deze fundering bestaat uit beschoeide sleuven en ter hoogte van de Belgiëlei uit na-geïnjecteerde boorpalen. Ter hoogte van de Plantin-Moretuslei werden de boorpalen vervangen door micropalen. De micropalen worden doorheen een vooraf gemaakte beschoeide sleuf gemaakt. Deze beschoeide sleuf vormt tevens de definitieve wand van de latere tunnel. De beschoeide sleuven, de boorpalen en de micropalen worden op grote diepte aangezet, zodat deze bij het graven van de tunnel nog voldoende draagkracht overhouden.

Op de nieuwe funderingen voor en achter de landhoofden worden een kokerliggers gebouwd. De kokerliggers die aan de voorzijde van de landhoofden gemaakt worden, worden samen met de dakplaat van de tunnel tussen de twee landhoofden gebetonneerd.

Voor de constructie van de kokerliggers achter de landhoofden worden de landhoofden van de brug eerst afgestempeld op twee tijdelijke diepwanden (zie fig. 1b). Hierdoor worden de landhoofden volledig geïmmobiliseerd. Na verder ontgraven achter de landhoofden worden ook daar kokerliggers gemaakt.

Tussen de kokerliggers voor en achter het landhoofd worden onder de oude fundering van de landhoofden een betonplaat gemaakt. Hiervoor wordt tussen de eerder gerealiseerd groutschermen een gefaseerde uitgraving tot onder de oude fundering van de brug uitgevoerd.

Tenslotte worden de vier kokerliggers, de dakplaat van de tunnel tussen de landhoofden van de brug en de betonplaten onder de oude fundering van de brug met elkaar verbonden m.b.v. voorspanning. Bij het aanbrengen van de voorspanning wordt de volledige last van de brug overgebracht op de nieuwe funderingen.

Om de zettingen van de bruggen zoveel mogelijk te beperken worden tussen de nieuwe fundering van de brug en de aangebrachte kokerliggers vijzels geplaatst. Samen met het aanbrengen van de voorspanning worden deze vijzels onder druk gebracht.

3. Proeven op jet groutkolommen

Teneinde het vervormingsgedrag van de groutkolommen na te gaan werden belastingsproeven in situ uitgevoerd op voorafgaandelijk uitgevoerde groutkolommen.

Daarnaast werden, ter controle van de gerealiseerde diameter van de groutkolom, een aantal groutkolommen uitgegraven. Om het breukgedrag van de groutkolommen te bepalen, werd op één van dergelijke kolommen een drukproef uitgevoerd in het laboratorium van Magnel.

3.1 Belastingsproeven op groutkolommen in situ

3.1.1. Proefprogramma voor de belastingsproeven

In het totaal werd op 6 voorafgaandelijk uitgevoerde groutkolommen een belastingsproef uitgevoerd. De kenmerken van deze groutkolommen zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 : Kenmerken van de beproefde groutkolommen

Kolomnr.	L _{Kwartair} (m)	L _{F. van B.} ¹ (m)	L _{Totaal} (m)	Φ _{paal} (m)
1	3	4	7	0,51
2	3 (vrij)	6	9	0,54
3	3 (vrij)	4	7	0,58
4	3 (vrij)	4	7	0,62
5	3 (vrij)	6	9	0,65
6	3	6	9	0,51

¹
: Formatie van Berchem

Bij het beproeven werden de kolommen 1 en 6 op trek belast, terwijl de kolommen 2-5 op druk belast werden.

Teneinde tijdens de belastingsproeven een situatie te verkrijgen welke zoveel mogelijk overeenkomt met de werkelijk situatie van de groutkolommen die aangebracht worden onder de bestaande funderingen, werden de groutkolommen, die op druk belast worden (paal 2-5), voorafgaandelijk aan de belastingsproeven over drie meter vrijgegraven en van een vrijstaande mantelbuis voorzien. Op deze wijze werd ervoor gezorgd dat er door de groutkolommen over de bovenste 3 meter geen belasting kon worden overgedragen aan de omringende grond.

3.1.2. Samenstelling van de ondergrond ter plaatse van de beproefde groutkolommen

In de onmiddellijke omgeving van de beproefde groutkolommen werd er een diepsondering uitgevoerd als ook een aantal boringen. De resultaten van de uitgevoerde sondering zijn opgenomen in fig. 2. Op deze figuur is eveneens de positie van de lange en korte groutkolommen aangegeven.

De ondergrond ter plaatse bestaat uit :

- Kwartaire bovenlaag : Dikte ca. 3m (peil +7,8 - 5) ;
- Formatie van Berchem : Dikte ca. 23m (peil +5 - -20) ;
- Formatie van Boom : Dikte >60m (peil -20 - ...).

3.1.3. Resultaten van de uitgevoerde belastingsproeven

De proeven werden uitgevoerd volgens de procedure van het LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) waarbij de belasting aangebracht wordt in 8 stappen en waarbij iedere belastingsstap 1 uur wordt aangehouden. De proef werd doorgevoerd tot 2 maal de nuttige belasting van de kolommen.

In figuren 3a en 3b wordt de proefopstelling schematisch weergegeven.

Tijdens het uitvoeren van de proeven worden, binnen de verschillende belastingsstappen en op vastgelegde tijdstippen, de verplaatsingen van de paalkop gemeten.

Uit de gemeten verplaatsingen in de verschillende belastingsstappen worden 3 grafieken gedestilleerd :

- Een kruipdiagram : hierin worden de verplaatsingen van de paalkop in functie van de tijd binnen de belastingsstap weergegeven (fig. 4a);
- Een lasthellingsdiagram : Hierin wordt de helling van de kruipcurven uitgezet i.f.v. de aangebrachte belasting (fig 4b);
- Een lastzakkingsdiagram : hierin wordt de aangebrachte belasting uitgezet i.f.v. de verplaatsing van de paalkop op het einde van iedere belastingsstap (fig. 4c);

Uit het knikpunt in het lasthellingsdiagram wordt dan de vloeiwaaarde van de groutkolom bepaald. Hieruit wordt dan met een veiligheidscoëfficiënt van 1,25 de dienstlast van de groutkolom berekend.

In tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de resultaten die na interpretatie van de grafieken verkregen worden.

Tabel 2 : Overzicht van de resultaten voor de beproefde groutkolommen

Kolomnr.	Belastingstype	Vloeiwaarde		Dienstwaarde	
		Verplaatsing (mm)	Vloeilast Q_c (kN)	Verplaatsing (mm)	Dienstlast Q_d (kN)
1	Trek	6,88	930	4,43	744
2	Druk	6.95	>1400	5.63	>1120
3	Druk	4.47	920	3.45	736
4	Druk	4.47	850	3.32	680
5	Druk	7.80	>1400	5.35	>1120

Bij de belastingsproef op de groutkolommen 2 en 5 (beiden 9m lang) werd geen vloeiwaarde vastgesteld. Bij de dienstlast van de groutkolommen blijft de verplaatsing van de paalkop beperkt tot ca. 5.5mm, wat overeenkomt met $\pm 1\%$ van de diameter van de groutkolom.

3.1.4. Problemen opgetreden tijdens de belastingsproeven

Bij het uitvoeren van de belastingsproeven op druk werd bij de kolommen 4 en 5 een maximale belasting van 1500 kN aangebracht. Bij deze last is telkens een plotse breuk in het bovenste gedeelte van de groutkolom vastgesteld. Op dat ogenblik heerste er in de groutkolom een gemiddelde spanning van ca. $5N/mm^2$.

Naderhand werden op de brokstukken van deze kolommen proeven uitgevoerd ter bepaling van de druksterkte. De aldus verkregen minimale druksterkte van de grout bedroeg $11N/mm^2$. De breuken hebben zich dus voorgedaan bij 45% van de min. druksterkte van de grout. De druksterkte van de grout lag dus zeker niet rechtstreeks aan de basis van de vastgestelde breuken.

Om de plotse breuken te kunnen verklaren werd een belastingsproef van een groutkolom op ware grootte uitgevoerd in het laboratorium.

3.2. Belastingsproef van een groutkolom op ware grootte in laboratorium

Om een idee te krijgen van de manier waarop de breuken van de kolommen 4 en 5 ontstaan zijn, werd een groutkolom uitgedragen en beproefd in het laboratorium.

De beproefde groutkolom heeft een gemiddelde diameter van 0,67m (min. $\Phi = 0,60m$) en een lengte van 2,70m.

3.2.1. Uitvoering van de proef

De groutkolom werd in verschillende stappen naar een maximale belasting van 2700kN gebracht. Elk van deze stappen werd gedurende 10 min aangehouden. De axiale verkorting van de paal werd gedurende het hele verloop van de proef opgemeten.

Fig. 5 geeft een foto van de proefopstelling.

Bij een belasting van 2700kN werd de vorming van een eerste scheur vastgesteld. Deze scheur is ontstaan onder de bovenste betonsokkel. Door propagatie van deze scheur en het brosse karakter van de grout is de kolom bezweken.

Fig. 6 geeft een foto van de groutkolom na bezwijken. In de kern van de kolom was onder de bovenste betonsokkel duidelijk een lens van zandinsluitels vast te stellen. Deze lens heeft een dikte van ongeveer 3mm en is conisch van vorm. In het centrum onder de betonsokkel is tevens een omgekeerde kegel merkbaar.

Naderhand werden uit de brokstukken de nodige kernen genomen en beproefd. Deze kernen zijn verspreid over de diameter en de hoogte van de kolom genomen zodat een globaal beeld van de sterkte van de grout uit de groutkolom kan verkregen worden.

3.2.2. Interpretatie van de proef

Met betrekking tot het bezwijkmechanisme kan het volgende besloten worden :

- Zolang er geen scheur ontstaat in de buitenste schil van de groutkolom, is het gedrag van de kolom normaal.
- De eerste scheur in de kolom ontstaat ter hoogte van de spanningsconcentraties, daar waar de paal het onregelmatigst is van samenstelling en van vorm.
- Bij het ontstaan van de eerste scheur wordt de omgekeerde kegel in de groutkolom gedrukt en splijt de kolom open. Gelet op het brosse karakter van de groutkolom gebeurt dit zeer snel.

De resultaten van de drukproeven op de genomen kernen tonen aan dat:

- de spreiding van de druksterkte van de grout volgens de diameter van de paal vergroot naarmate men zich hoger in de paal bevindt.
- De druksterkte van de grout in het midden van de paal is lager dan de druksterkte van de grout op de rand van de paal.
- De min. druksterkte bedraagt $7,0 \text{ N/mm}^2$, terwijl de paal bezwiken is bij een belasting van $7,66 \text{ N/mm}^2$.

Uit het verloop van de verkorting van de paal op het einde van iedere belastingsstap, weergegeven in fig. 7, kan de elasticiteitsmodulus van de gehele groutpaal bepaald worden. Deze bedraagt $8\ 990 \text{ N/mm}^2$.

4. Besluit

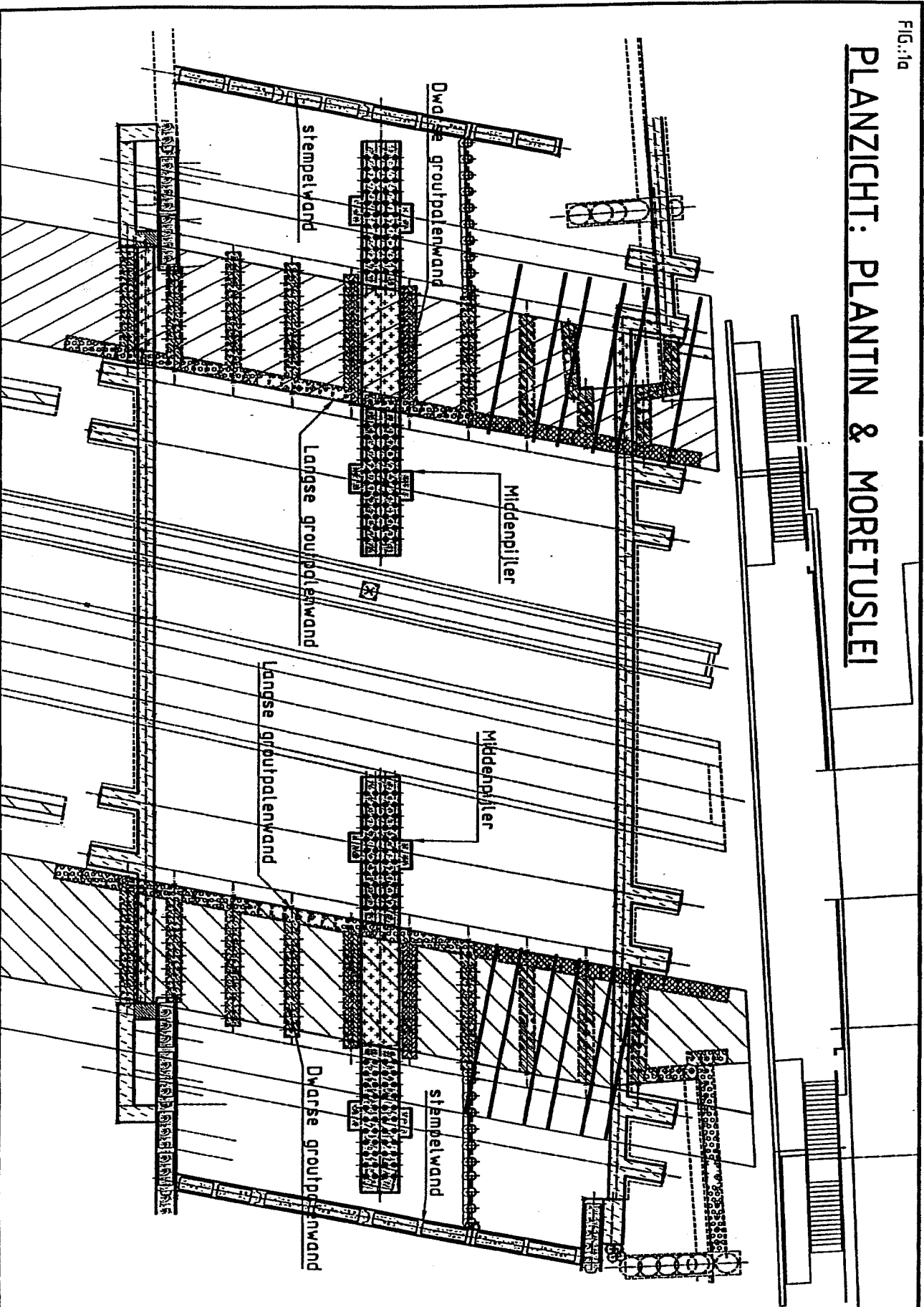
Het uitvoeren van de belastingsproeven op de groutkolommen in situ hebben nuttige informatie opgeleverd betreffende het vervormingsgedrag en de draagkracht van de groutkolommen. Bij het uitvoeren van de belastingsproeven op kolommen 4 en 5 is in het bovenste gedeelte van de kolom een plotse breuk voorgekomen. Deze breuken hebben geleid tot het uitvoeren van een bijkomende proef in het laboratorium.

Om dergelijke breuken zoveel mogelijk te vermijden, moet voldoende aandacht besteed worden aan de aansluiting tussen de paalkop en de funderingszool en moet de paalkop voldoende diep in de funderingszool gebetonneerd worden.

Daarnaast moet een minimale veiligheid van 2 à 3 op de sterkte van de grout voorhanden zijn.

FIG. 1a

PLANZICHT: PLANTIN & MORETUSLEI



LANGDOORSNEDE PLANTIN & MORETUSLEI

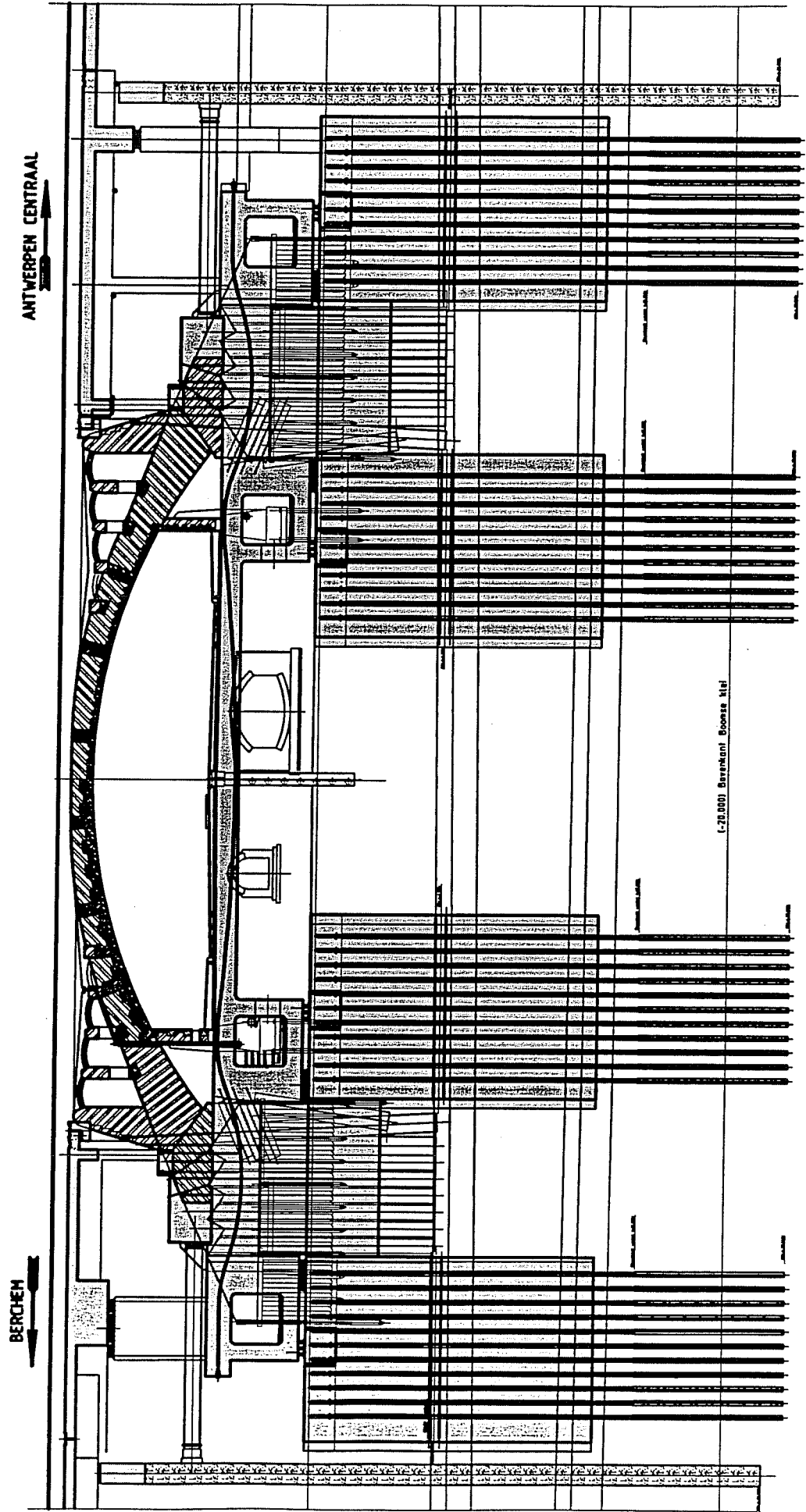


Fig 2 : Sondering ter plaatse van de belastingsproeven

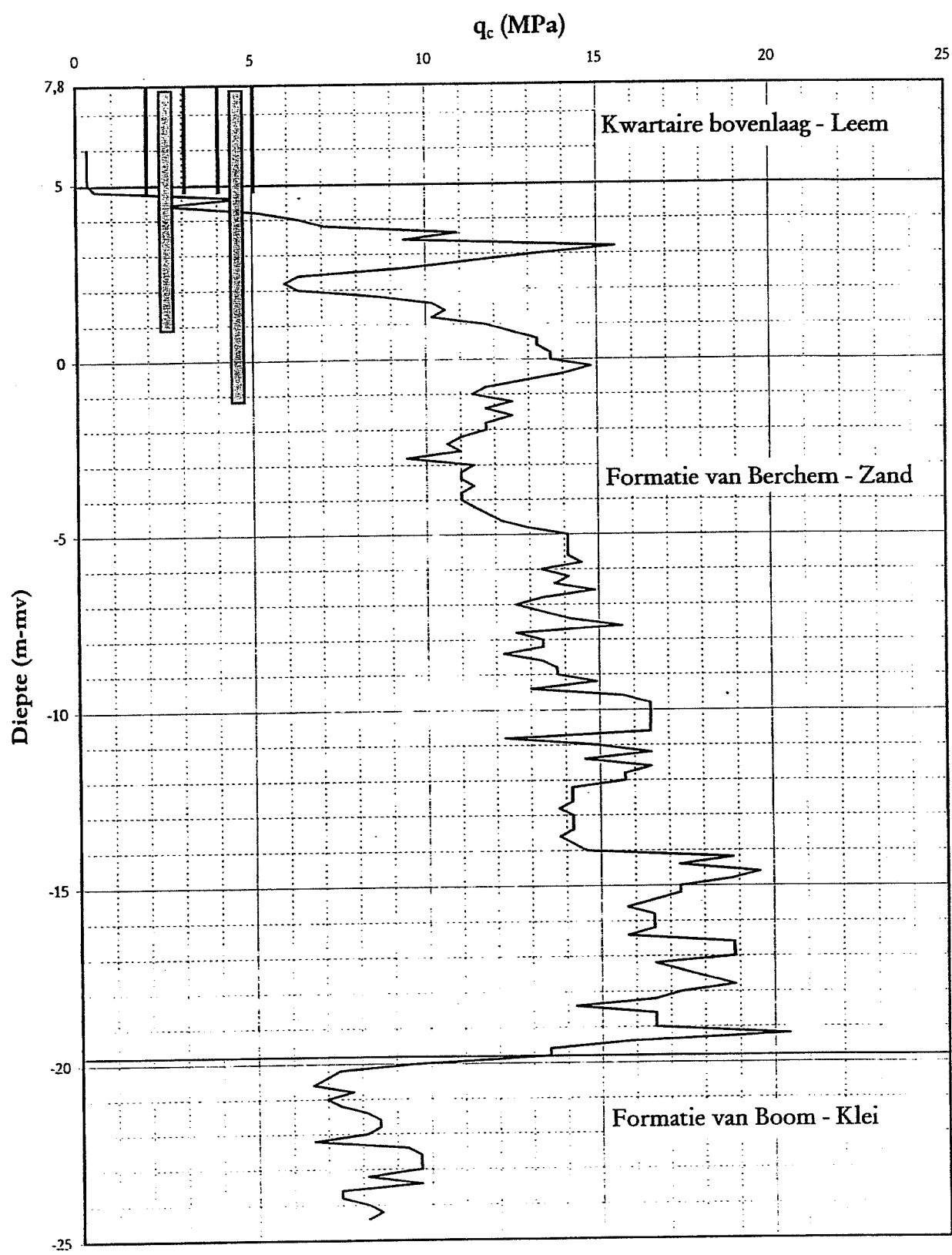


Fig 3a : Principeschets drukproef

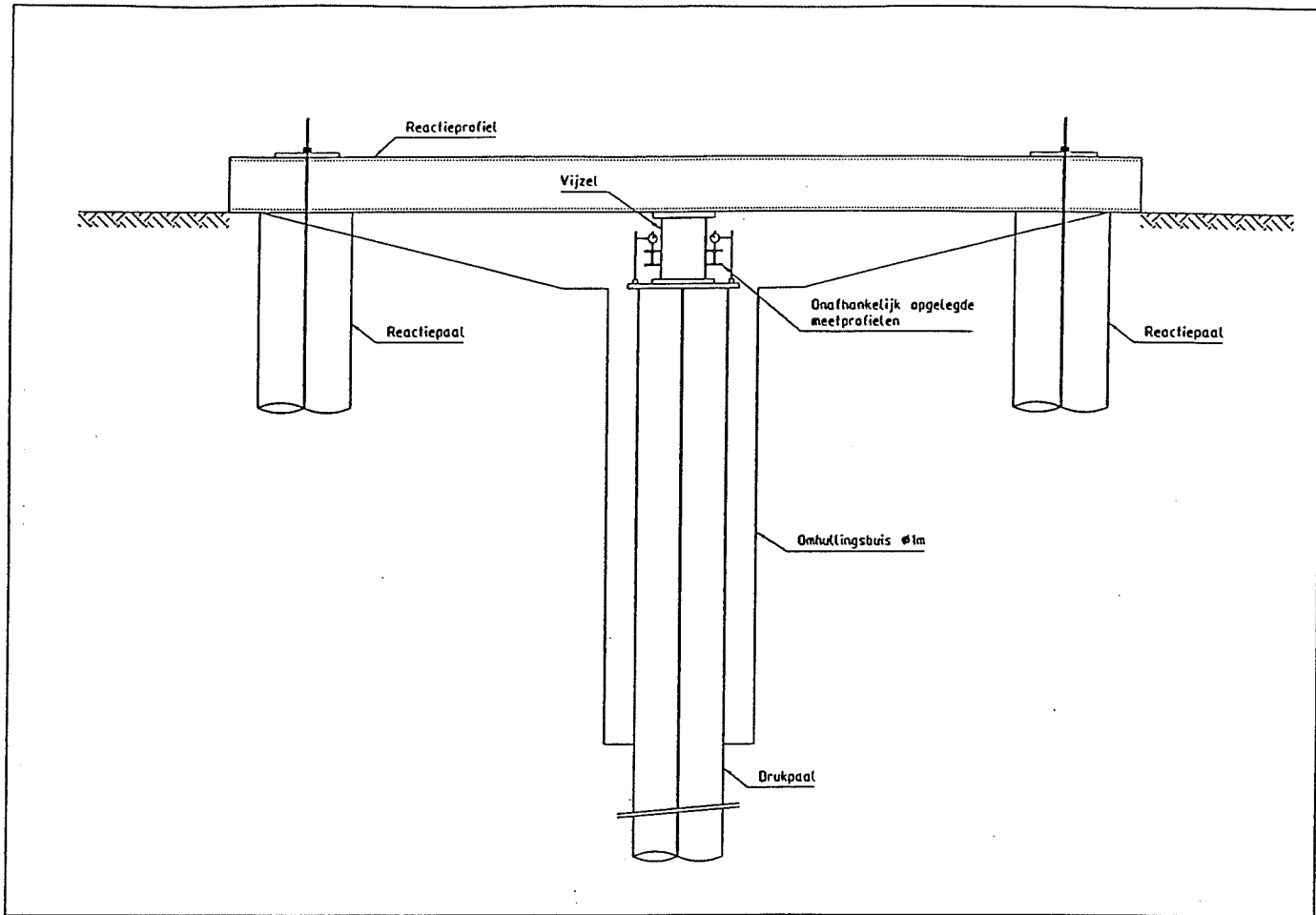


Fig 3b : Principeschets trekproef

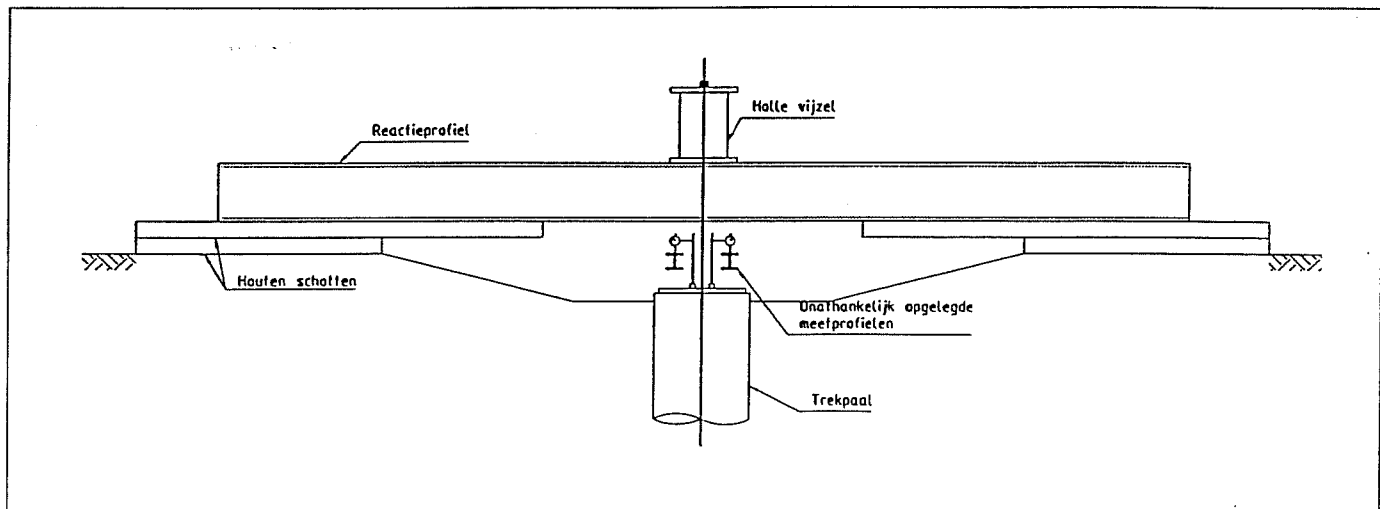


Fig. 4a : Interpretatie van de belastingsproef - Trekproef - Paal 1
Tijd-zakkingsdiagram

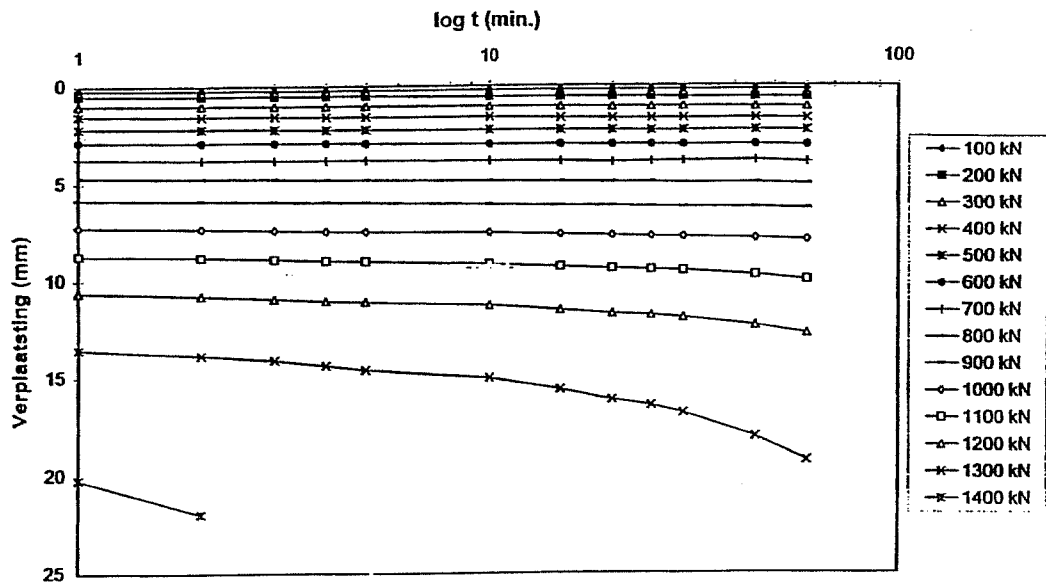


Fig. 4b : Interpretatie van de belastingsproef - Trekproef - Paal 1
Last-hellingsdiagram

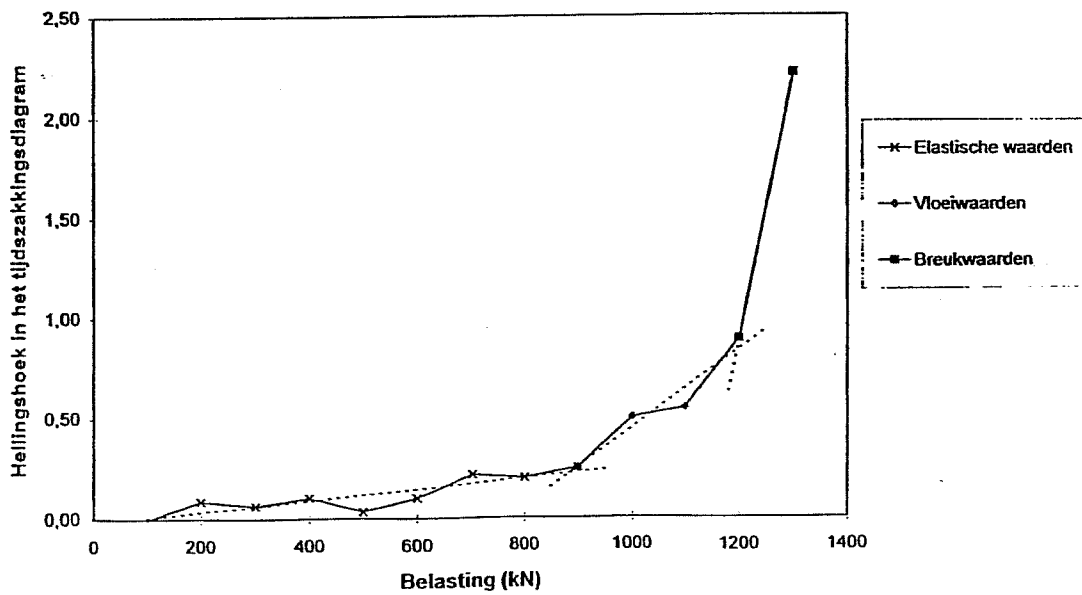


Fig. 4c : Interpretatie van de belastingsproef - Trekproef - Paal 1

Last-zakkingsdiagram

Last (kN)

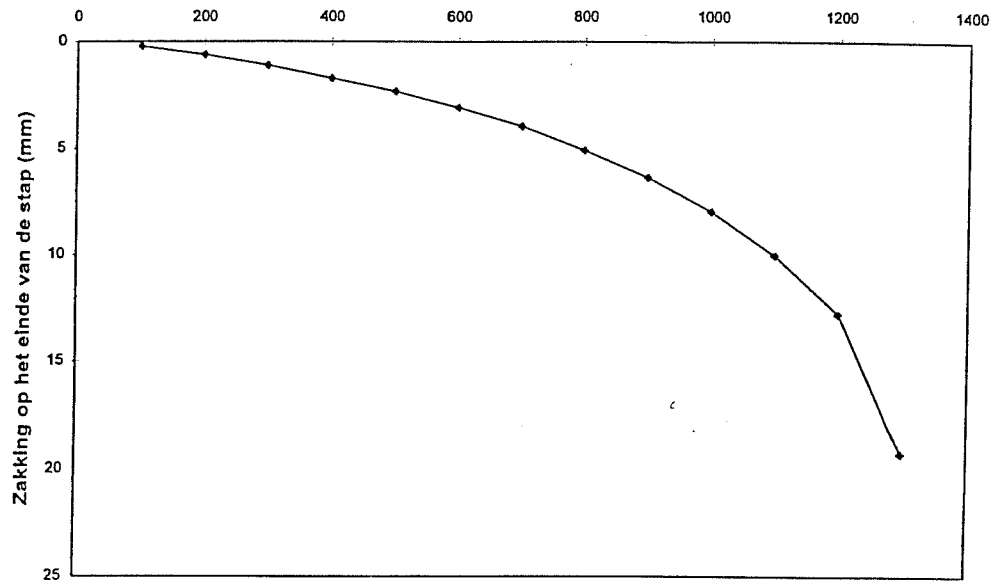


Fig 5 : Opstelling van de proefpaal in lobaratorium

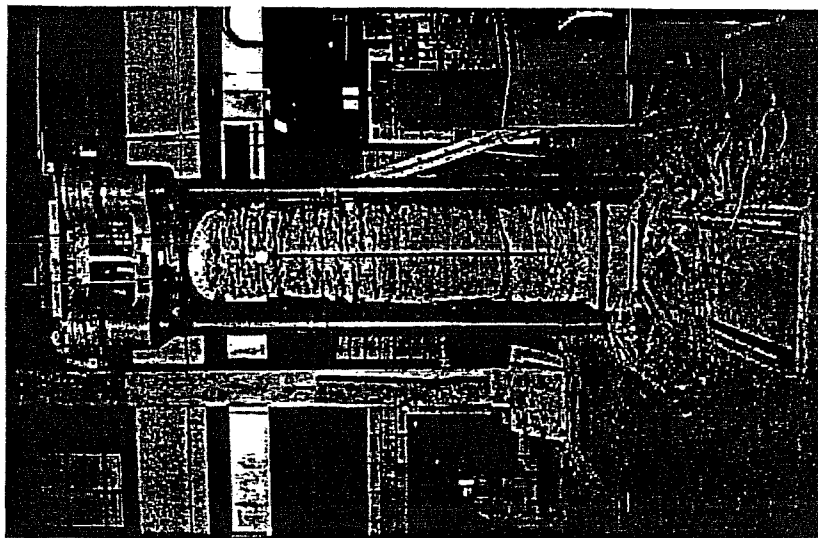


Fig 6 : Breuk van de proefpaal in lobaratorium

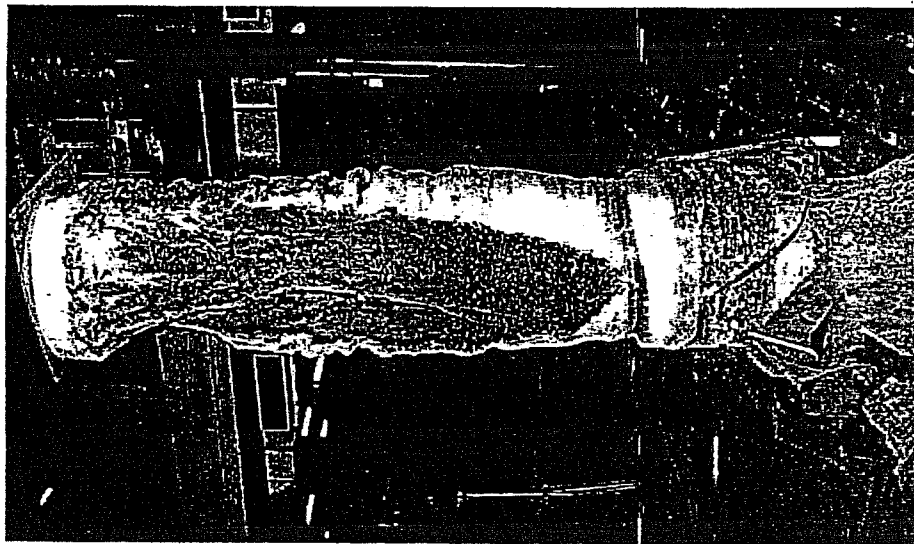


Fig 7 : Het verloop van de aangebrachte spanning i.f.v. de verkorting van de paal -
Groutpaal diam. 670 mm

