r+k raadgevend ingenieurs- en konstruktieadviesbureau bv

consulting engineers

PROVINCIAAL BESTUUR VAN ZUID-HOLLAND
DIENST WATER EN MILIEU
INGEK. 11 JAN. 1989
REG. NR.

Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland
T.a.v. Ing. J.G. Westerhoven
Postbus 90602
2509 LP Den Haag

71

d.d. 1989-01-09 onze ref.: UC/89-002

betreft: Onderzoek opleghoeken pijpleidingen.

Mijne heren,

Naar aanleiding van het overleg over het rapport "Onderzoek naar de Opleghoek van Pijpleidingen", dat plaatsvond op 19 november 1987, doen wij u hierbij een exemplaar toekomen van het rapport 5/077/117: De invloed van de inwendige druk en andere stijfheidsbepalende parameters voor de grond/buis doorsnede op de grootte van de opleghoek van pijpleidingen.

Hoogachtend,

Ir H.M. Ufkes

handelsregister
trade register
nr. 106686, den haag

geestbrugweg 44, 2281 CM rijswijk nederland
telefoon (070) 906890
telefax (070) 989475

banknummer : 51.92.69.985
Algemene Bank Nederland
gironummer : 5514129

ONDERZOEK NAAR DE OPLEGHOEK

VAN

PIJPLEIDINGEN

D.W.L. Rotterdam

Dienst Openbare Werken Amsterdam

Gemeentewerken Rotterdam

Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde

NV Nederlandse Gasunie

r+k raadgevendingenieurs- en
+
konstruktieadviesbureau bv

INHOUD

1. Inleiding

2. Samenvatting en Conclusies

3. Proefopstelling en Proeven

   3.1 Proefopstelling

   3.2 Overzicht van de uitgevoerde proeven

   3.3 Korte beschrijving van de proeven

4. Proefgegevens

   4.1 Geotechnische aspecten

   4.2 Belastingrange

   4.3 Oplegging van de buis

      4.3.1 Onbegraven situatie

      4.3.2 Begraven situatie

   4.4 Overbrengen van de belastingen

5. Gemeten en Berekende Spanningsverlopen

   5.1 Algemene beschrijving

   5.2 Uitwerking van de meetgegevens

      5.2.1 De meetopstelling

      5.2.2 De belastingen op de buis

      5.2.3 Verwerking van de meetgegevens

5.3 Gemeten en Berekende spanningsverlopen

5.3.1 De onbegraven buis

5.3.2 De begraven buis

5.3.3 Berekende spanningen

5.4 Tabellen en Grafieken

5.4.1 Verklaring van de tabellen

5.4.2 Verklaring van de aanduidingen bij de grafieken

6. Evaluatie

6.1 Inleiding

6.2 Invloed van de belastingvolgorde

6.3 Begraven situatie

6.4 Vergelijking van de onbegraven en de begraven situatie

6.5 Aanbevelingen en opmerkingen t.a.v. toekomstige proeven

7. Supplement: Uitgebreide beschrijving van de proeven

Bijlagen

I : Berekening belastingoverdracht en dimensionering van de proefbak

II : Grondmechanische gegevens

III: Geregistreerde meetwaarden Meetrapport Gemeentewerken Rotterdam

IV : Gemeten spanningen

1. INLEIDING

Bij onderzoekingen aan reeds gelegde buizen is geconstateerd, dat de ondersteuningshoeken veel groter moeten zijn dan tot op heden in bepaalde ontwerpberekeningen worden verdisconteerd.
Door het in de berekeningen toepassen van meer reële waarden van de ondersteuningshoeken zal het dimensioneren van leidingen, uiteraard met inachtneming van de vereiste veiligheden, economischer kunnen gebeuren.

Tijdens het overleg van vertegenwoordigers van D.W.L. Rotterdam, de gemeenten Amsterdam en Rotterdam, de N.V. Nederlandse Gasunie, de Rijkswaterstaat en r+k raadgevend ingenieurs- en konstruktieadviesbureau bv is het idee om nader onderzoek te verrichten naar de grootte van deze ondersteuningshoeken uitgewerkt.

Een onderzoek, waarbij alle parameters en randvoorwaarden worden meegenomen, zal zeer omvangrijk en ingewikkeld zijn en daardoor tijdrovend en duur.
Besloten is daarom om, eventueel vooruitlopend op de hiervoor aangeduide omvangrijke proef, een eenvoudiger onderzoek te doen, waarbij alleen het gedrag van de buis wordt gemeten onder invloed van verschillende belastingen.

Voor dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van een bij gemeentewerken Rotterdam aanwezig buiselement dat reeds is voorzien van rekstrookjes. Dit buiselement wordt zodanig op een zandbed gelegd, dat de ondersteuningshoek, onder een statische belasting, tot ontwikkeling kan komen. Voor de belastingen is een schema opgesteld. Bij één van de proeven wordt de buis, na oplegging op het zandpakket, volledig met zand afgedekt. Bij deze 'begraven' situatie kan de invloed van de 'horizontale steundruk', mede veroorzaakt door de vervormingen van de buis en het gedrag van de grond boven de buis tot uitdrukking komen.

Met behulp van gebruikelijke rekenmethodieken worden parameterstudies uitgevoerd, waarbij de ondersteuningshoeken en de reactieverdeling als variabele parameters worden beschouwd.
Door vergelijking van de resultaten van de metingen met de resultaten van parameterstudies wordt getracht een indruk te krijgen van de opleghoeken onder de leiding.

2. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Hoewel door uiteenlopende oorzaken het aantal proeven is uitgebreid van twee naar zes, is voor de uitwerking van de resultaten uitgegaan van twee proeven, die voldaan hebben aan de opgegeven randvoorwaarden en uitgangspunten (zie hoofdstuk 3.2 en 3.3).
De uitgewerkte meetresultaten zijn vergeleken met resultaten van parameterstudies, waarvoor algemeen aanvaarde rekenmethodieken zijn toegepast. De berekeningen zijn uitgevoerd met het computerprogramma GERING/1, dat voor de spanningsberekening dezelfde methodiek volgt als het programma BELIPO. Het enige verschil met BELIPO is, dat de vorm van de belastingen kan worden opgegeven. Er is gerekend zowel met gelijkmatig verdeelde belastingen als met sinusvormige belastingverdelingen.
De resultaten van de berekeningen met gelijkmatige belastingverdelingen zijn vergelijkbaar met resultaten, die gevonden kunnen worden met de formules van Spangler.

Vergelijkingen van de resultaten van de parameterstudies en de resultaten van de metingen geven aan, dat de 'gemeten spanningen' lager liggen dan de 'berekende spanningen'. Door het aannemen van ondersteuningshoeken in de berekeningen, die groter zijn dan in de onbegraven proefsituatie mogelijk zijn, blijken de gemeten spanningen rekenkundig te benaderen. De bestaande en algemeen aanvaarde rekenmethodieken geven blijkbaar 'conservatieve' resultaten.

Ter verkrijging van proefresultaten, die als een 'conservatieve' benadering van de werkelijkheid kunnen gelden zijn de volgende ongunstige randvoorwaarden aangehouden:

- Harde sleufbodem. Normaliter wordt een buis ter plaatse van een kunstwerk op de juiste hoogte gesteld, waarbij de sleufbodem plaatselijk wordt aangevuld en verdicht.
  Voor de proevenserie is een sondeerwaarde van 5-7 N/mm^2 aangehouden.
- Bij de proeven in de begraven situatie is de grond naast de buis niet extra verdicht.
- Het effect van de horizontale steundruk kon slechts ten dele worden onderzocht, doordat er slechts een relatief kleine dekking op de leiding is aangebracht. Tevens is geen scheiding aan te brengen tussen de invloed van de steundruk en de invloed van een mogelijk grotere opleghoek of een andere verdeling van de grondreactie over de oplegzone.

De kleinste ondersteuningshoek, die uit het vergelijken van de 'gemeten spanningen' met de 'berekende spanningen' naar voren komt is 72^{o} (zie grafiek 5). In grafiek 6 wordt een ondersteuningshoek van 75^{o} gevonden. Deze waarden zijn gevonden voor die belastingstappen, waarbij eerder een grotere belasting aanwezig is geweest.
De minimale waarde voor de opleghoek voor het geval er nog geen grotere belasting aanwezig is geweest, is 98^{o} (zie grafiek 5). De overige waarden liggen boven 100^{o}. Bovengenoemde hoeken gelden voor de onbegraven situatie.
Het blijkt, dat de opleghoek varieert onder invloed van de volgorde, waarin de belastingen worden aangebracht.

De resultaten van de metingen aan de begraven buis zijn vergeleken met de resultaten van de onbegraven buis en de resultaten van de parameterstudie voor de onbegraven situatie.
Uit deze vergelijking volgt, dat voor de begraven situatie grotere opleghoeken verdisconteerd kunnen worden in de gangbare rekenmethodieken.
Beschouwing van de gemeten spanningsverlopen bij diverse belastingstappen in de begraven situatie en in de onbegraven situatie en vergelijking met de berekende spanningsverlopen heeft de hypothese doen ontstaan, dat de grondreactieverdeling over de omtrek van de buis een andere vorm heeft dan tot dusver is aangenomen.
Afhankelijk van de stijfheidsverhouding tussen buis en grond zal, bij een relatief slappe buis ten opzichte van de stijfheid van de grond, naar alle waarschijnlijkheid de grootste grondreactie niet midden onder de buis optreden, maar meer naar de zijkanten. Hierdoor zullen de grondreacties over een groter oppervlak worden gespreid, waardoor relatief lagere spanningen ontstaan.
Om meer inzicht in dit verschijnsel te krijgen is gedetailleerder onderzoek naar dit phenomeen noodzakelijk.

3. PROEFOPSTELLING EN PROEVEN

3.1 Proefopstelling

Bij de proeven wordt het buisstuk op het verdichte zand gelegd. In overleg met de afdeling geotechniek van gemeentewerken Rotterdam zijn de karakteristieken van het zand vastgelegd. De bak is zodanig gedimensioneerd, dat de hoogte en de breedte (naast de buis) van de bak het tot ontwikkeling komen van de theoretisch bepaalde schuifvlakken in het zand -onder en naast de buis- niet beïnvloeden.
Daar de bij de proef te gebruiken belastingen bovendien verhoudingsgewijs laag zijn zullen deze schuifvlakken zich slechts over een klein gebied, vlak bij de oplegging, ontwikkelen.

Na het plaatsen van de buis op het verdichte zand wordt bij de onbegraven situatie een inbeddingshoek gevormd door tot een hoogte van ca. 0.09 m zand tegen de buis aan te vullen, waardoor een inbeddingshoek van circa 120^{o} ontstaat.
Bij de begraven situatie wordt eerst een sleuf gegraven in de geheel met zand gevulde bak. Het zand is vooraf verdicht. Daarna wordt de buis op een vlakke sleufbodem gelegd. Na plaatsing van de balkjes, vijzel enz. wordt de sleuf naast en boven de buis weer met zand gevuld. Dit zand wordt slechts in lichte mate verdicht om beschadiging van de meetstrookjes te voorkomen. De dekking boven de kruin van de buis bedraagt na aanvullen van de sleuf 0.28 m.

Het buisstuk dat voor de proef wordt gebruikt is in een eerder uitgevoerde proef gebruikt. De buis is in één doorsnede reeds, gelijkmatig verdeeld over de omtrek, voorzien van 12 rekstrookjes aan de buitenzijde en 12 rekstrookjes aan de binnenzijde.
Met behulp van deze rekstrookjes kunnen de spanningen in tangentiële richting worden bepaald.
Daarnaast zitten om de 90^{o} over de buiswand verdeeld, zowel aan de binnenzijde als aan de buitenzijde een 4-tal rekstrookjes in axiale richting.
Aan beide uiteinden van de buis is eveneens reeds een constructie aangebracht voorzien van meetklokjes, waardoor de verticale verplaatsing van de buis en de vervorming van de buis kan worden bepaald.

De afmetingen van de buis zijn :

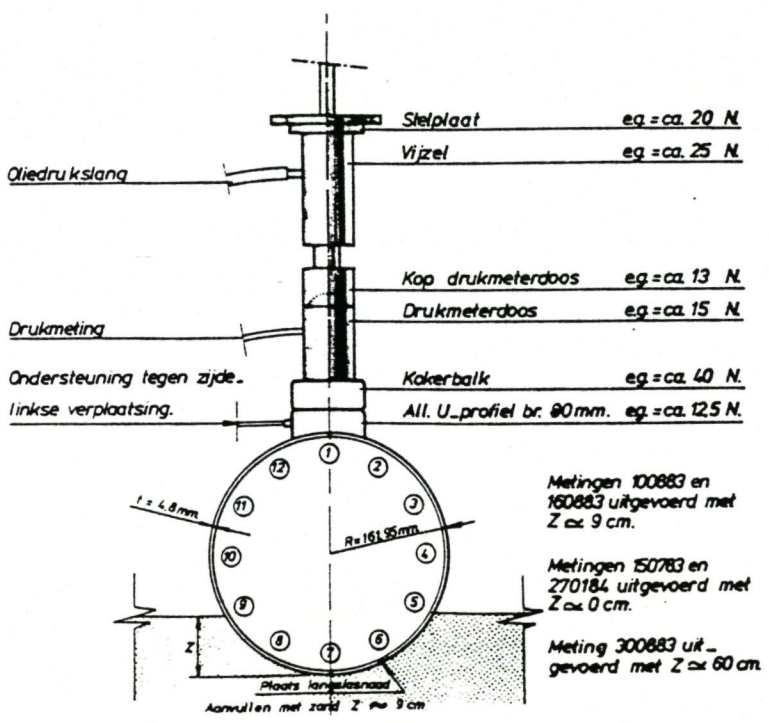
lengte van de buis	L =	760	mm
buitendiameter	D =	323.9	mm
wanddikte	t =	4.8	mm

D/t = 67.5 → is vrij relevant voor D/t = 30 (zelfde D houden) voor evt. kunststof

De belasting wordt aangebracht met behulp van een vijzel. De druk daar ~~in~~ de vijzel, die met een handpomp wordt opgewekt, kan worden afgelezen, zodat de gewenste belasting kan worden aangebracht.
Op de buis ligt een U-profiel met de open zijde op de buis. De breedte van het (aluminium) U-profiel bedraagt 80 mm.
Op dit U-profiel is een stalen kokerbalk aangebracht om een gelijkmatige belasting over de buislengte te realiseren. In het midden van de kokerbalk wordt de drukdoos, die de gewenste belasting registreert, geplaatst.

Zoals in de schets van de proefopstelling is aangegeven, is de vijzel boven de drukdoos geplaatst. De "eigengewichten" van de verschillende onderdelen zijn bij de diverse onderdelen op de schets vermeld.

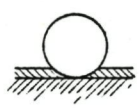
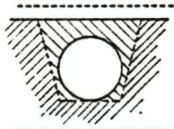
Om een mogelijke wrijving tussen het zand en de wanden van de bak tot een verwaarloosbaar minimum terug te brengen is tegen de wanden een dunne p.v.c. folie aangebracht. Tussen de folie en de wanden is vloeibare zeep aangebracht.



3.2 Overzicht van de uitgevoerde proeven

In hoofdstuk 1 is aangegeven, dat het de bedoeling is geweest om met behulp van een tweetal proeven -onbegraven en begraven buis- de gewenste gegevens te verkrijgen. Om diverse redenen is het aantal proeven uitgelopen tot vijf. Daarnaast is tenslotte nog een proef uitgevoerd, waarbij ook de oplegging werd gevormd door een U-balkje met dezelfde afmetingen als het balkje dat gebruikt wordt om de belasting op de buis over te brengen.

Schematisch weergegeven zijn de volgende proeven uitgevoerd.

proefopstelling	datum	belastingen in kN	sondeerw. N/mm^2	opmerkingen
	120783	= '0'.2.5.10.5.'0'.12^5.15.10.'0'.15.'0' =	0,5 - 0,7	* proef 's middags uitgevoerd; dankzij lage sondeerwaarde een zetting van ∿ 4½ cm.
	270184	= 0.'0'.2.'0'.2.'0'.2.5.10.x =	> 5 - 7	* proef 's ochtends uitgevoerd. bij x een rotatie. opstelling vernieuwd en tweede serie uitgevoerd. zand niet meer verdicht/gecontroleerd.
		= 0.'0'.8.'0'.8.'0'(15)'0' =		
	100883	= '0'.2.5.10.15.'0' =	5 - 7	* proef 's middags uitgevoerd; 's ochtends is een fout gemaakt; aangepast belastingschema.
	160883	= '0'.2.5.10.5.'0'.12^5.15.10.'0'.15.'0' =	5 - 7	* proef 's ochtends uitgevoerd; geen problemen.
	300883	= '0'.2.5.10.5.'0'.12^5.15.10.'0'.15.'0' =	5 - 7	* 1e programma 's ochtends en het 2e 's middags bij * d.m.v. een trilling nazakking niet visueel gemerkt
		= 0.5.12^5.'0'.'0'.*.'0'.12^5.'0' =		
	200684	= '0'.10 =	n.v.t.	-----

3.3 Korte beschrijving van de proeven

Voor een meer uitgebreide beschrijving van de proeven wordt verwezen naar het supplement.

Eerste proef (120783)

De preparatie van de oplegging door aanvulling tot 0.09 m boven de onderkant van de buis is niet gebeurd.
Door een te grote zetting van de buis bij de eerste belasting van 10 kN blijkt, dat het zand niet voldoende is verdicht. De zetting bedraagt ca. 4.5 cm en de sondeerwaarde bedraagt ca. 0.5 - 0.7 N/mm2.
Bij het opnieuw belasten van de buis met de waarde van ca. 10 tot 15 kN blijkt nauwelijks nog zetting op te treden. De verkregen gegevens worden als niet representatief voor leidingen in de grond geacht.

Tweede proef (100883)

De sondeerwaarde van het zand bedraagt ca. 5 - 7 N/mm2. Bij het gereedmaken voor de 's middags uit te voeren metingen wordt een te hoge belasting op de buis aangebracht. De buis vervormde te veel en roteerde enigszins. De gehele proefopstelling wordt opnieuw geïnstalleerd. Door tijdgebrek is een aangepast belastingschema afgewerkt.
De proef zal nogmaals opnieuw worden uitgevoerd.

Derde Proef (160883)

Hoewel dit feitelijk reeds de derde proef is, is dit de eerste proef, die geheel overeenkomstig de uitgangspunten is uitgevoerd. Over de uitvoering van deze proef zijn geen bijzondere gegevens te vermelden.

Vierde proef (300883)

Dit is de proef, waarbij de buis geheel omhuld is met zand.
's Ochtends is het gehele meetprogramma zonder problemen afgewerkt.
In verband met de aanwezigheid van vertegenwoordigers van de deelnemers aan de proef is 's middags een aangepast belastingschema uitgevoerd.
Bij deze proef zijn geen bijzonderheden voorgevallen.

Vijfde proef (270184)

Bij de uitwerking van de meetresultaten van de voorgaande proeven toont het verloop van de spanning van het punt midden onder in de buis een restspanning bij de "0"-belasting indien de belasting eenmaal een hoge waarde heeft gehad.
Een volgende terugval in de belastingen geeft nauwelijks extra restspanning aan.
Een oorzaak hiervoor zou kunnen zijn, dat deze restspanning veroorzaakt wordt door een niet volledig afvloeien van de hydraulische vijzel.

Bij deze proef is duidelijk geconstateerd dat de vijzel in de 0- stand vrij is gekomen van het frame.
Deze proef had mede tot doel het geven van antwoorden op in de discussies gerezen vragen.

Zesde proef (200684)

Deze proef diende om te meten of door las- en of walsspanningen b.v. de spanningsberekeningen beinvloed worden zodat er geen of onvoldoende symmetrie blijkt te zijn.
Het meten heeft geen problemen opgeleverd.

4. PROEFGEGEVENS

4.1 Geotechnische aspecten

Bij de proef wordt de leiding in het zand gelegd. De leidingen die aan relatief hoge belastingen weerstand moeten bieden liggen meestal in het zand, zowel bij kruisingen met dijken en wegen als in leidingstroken.
De eigenschappen van zand, die in mindere mate tijdsafhankelijk zijn dan die van klei en veen, zijn eenvoudiger te karakteriseren. Mede keuze-bepalend is, dat aanvullen met zand kwalitatief beter beinvloedbaar en controleerbaar is.
In de praktijk blijkt, dat vele sleuven worden voorzien van een zandbedding en aangevuld met zand. Het wordt aangenomen dat in zand een oplegging ontstaat, die als gevolg van een relatief hoog draagvermogen en hoge beddingsconstante leidt tot geconcentreerde reactieverlopen en daardoor tot relatief hoge spanningen.

Uitgaande van zand met een inwendige wrijvingshoek van ca. 40^{o} zal, berekend volgens de methode Prantl, de bak waarin de proef zal worden uitgevoerd ca. 5.00 m breed moeten zijn. Het evenwichtsdraagvermogen is volgens berekeningen ca. 100 kN.
De belasting die maximaal op de buis wordt aangebracht is 15 kN. Door de breedte van de bak terug te brengen tot ca. 3.50 m zullen de meetresultaten, door de verhouding tussen evenwichtsdraagvermogen en belasting, niet beïnvloed worden.

De "lengte" van de bak wordt aangehouden op de lengte van het buisstuk, dat wil zeggen ca 0.76 m. De diepte van de bak onder de buis (uitw. diam. ca. 330 mm) wordt aangehouden op ca 0.90 m.

De breedte van de bak is zo groot, dat bij aanvulling met zand tot ca. 0.30 m boven de bovenzijde van de buis, de horizontale steundruk op de buis niet wordt beinvloed door de zijwand van de bak.

Voor de bepaling van de optimale verdichting van het zand en het grensdraagvermogen zijn een proctor- en celproef uitgevoerd (voor meetresultaten zie bijlage II).
Daarnaast wordt bij de metingenserie met behulp van sonderingen de dichtheid van het zand bepaald.
De sondeerwaarde moet ca. 5 - 7 N/mm^2 bedragen, een waarde die overeenkomt met die van sleuven in de praktijk.

4.2 Belastingrange

Bij het bepalen van de statische belastingrange wordt tevens getracht inzicht te verkrijgen in het niet-statische effect van de belasting op de buis en de ondergrond. Hierbij wordt gedacht aan het optreden van verkeersbelastingen.
Als richtlijn voor de grootte van de belasting wordt uitgegaan van de belasting die wordt gevormd door een zandlaagdikte van ca. 1.00 m boven de buis. Voor het te beproeven buisstuk komt dit overeen met ca. 5 kN. De manier van aanbrengen van de belasting, zoals dit gebeurd in de proeven met behulp van een vijzel en een U-profiel veroorzaakt echter grotere spanningen in de buiswand, dan de vergelijkbare grondbelasting, die gelijkmatig verdeeld over een breedte gelijk aan de diameter van de buis werkt.

Door de belasting in stappen op te voeren tot een hoge waarde wordt de grond onder tegen de buis verdicht. Het nadien tot "0" terug laten lopen van de belasting zal het effect van de grondverdichting, indien aanwezig, op het spanningsverloop en het spanningsniveau onder in de buis kunnen tonen. Ook bij het hierna bereiken van een hogere waarde van de belasting en het tot "0" reduceren zal dit effect kunnen vertonen. Waarschijnlijk zal na de eerste cyclus de relatie tussen belasting en spanning ongeveer lineair zijn.

De proeven worden uitgevoerd met de volgende belastingrange:

"0"-2-5-10-5-"0"-12.5-15-10-"0"-15-"0" kN.

Vanwege het eigengewicht van de vijzel en de oplegconstructie bedraagt de "0"-belasting ca. 0.2 kN.

Voor de bepaling van de opleghoek wordt de buis op het (verdichte) zand aangebracht. In tweede instantie wordt de buis, met een dekking van ca. 0.30 m zand, belast met de hiervoor aangegeven belastingen. De belasting wordt, zoals in de proefopstelling is aangegeven, in alle gevallen direct op de buis aangebracht.
Door de bak aan te vullen met zand is de invloed van de horizontale steundruk op de buis te bepalen. De verhouding tussen de bovenbelasting en de ontwikkelde horizontale steundruk is echter nogal afwijkend van de situaties, die zich in de werkelijkheid voordoen. Door het aanbrengen van het grootste deel van de belasting door middel van een vijzel direct op de buis kan er zich slechts een relatief geringe steundruk ontwikkelen.

4.3 Oplegging van de buis

4.3.1 Onbegraven situatie

De bak wordt tot een hoogte van ca. 0.90 m met zand gevuld en verdicht. Op dit zand wordt een oplegging voor de buis gemaakt zodanig, dat de situatie, die in werkelijkheid in een sleuf optreedt, wordt benaderd. Voor de metingen zal de reële opleghoek zoveel als mogelijk tot volle ontwikkeling moeten kunnen komen.
De buis wordt daarom, nadat deze op het zand is gelegd, aan de onderzijde tot een hoogte van ca. 90 mm met zand aangevuld. Op deze wijze is een beddingshoek van ca. 120^{o} gevormd.
Deze aanvulling wordt verdicht door het met de voet aan te stampen.

4.3.2 Begraven situatie

Deze proef wordt uitgevoerd na de onbegraven situatie. Het reeds aanwezige zand wordt daarbij niet losgewoeld. Op dit zand wordt nu een extra aanvulling met zand, dat verdicht wordt, van ca. 0.60 m aangebracht, zodat nu de gehele bak met zand is gevuld.

In de 'extra' aanvulling wordt een sleuf met een diepte van ca. 0.60 m gegraven. Op de vlakke bodem van de sleuf wordt de buis gelegd. Na het aanbrengen van de balkjes, vijzel enz. wordt de sleuf naast en boven de buis weer met zand gevuld. Dit zand wordt in lichte mate verdicht, door het voorzichtig aan te stampen, om te voorkomen, dat de meetapparatuur wordt beschadigd.

4.4 Overbrengen van de belastingen

De invloed, die uitgaat van het aanbrengen van de belastingen op de buis over een zekere belastingshoek is van belang voor de grootte en het verloop van de spanningen aan de onderzijde van de buis ter plaatse van de oplegging.
Tevens is de manier van aanbrengen van de belastingen op de buis van invloed op het spanningsverloop in de buisdoorsnede.
Om deze invloeden op het spanningsverloop te onderzoeken is een parameterstudie uitgevoerd met behulp van een computermodel.

In de parameterstudie zijn de navolgende parameters gevarieerd:

- de belastinghoek: 30^{o} en 180^{o}
- de opleghoek: 30^{o} en 60^{o}
- de manier van belasten:
  - verticaal gelijkmatig verdeeld
  - radiaal gelijkmatig verdeeld
  - twee symmetrische verticale puntlasten
  - twee symmetrische verticale puntlasten samen met twee symmetrische horizontale puntlasten in dezelfde punten van de doorsnede.

In het geval van de belastinghoek van 180^{o} is alleen gerekend met de verticaal gelijkmatig verdeelde belasting.
De rekenmodellen en de resulterende spanningen zijn weergegeven in bijlage I.
Uit de berekeningsresultaten blijkt, bij een belastingshoek van 30^{o}, dat de wijze (gelijkmatig verdeeld of puntlasten), waarop de belasting wordt overgebracht op de buis geen noemenswaardig effect heeft op de spanningen aan de onderzijde van de buis. Bij een belastinghoek van 180^{o} zijn de spanningen middenonder in de buis lager.
Om inzicht te krijgen in het effect van een grotere opleghoek zijn de berekeningen ook uitgevoerd met een opleghoek van 60^{o}.
Het blijkt dat het spanningsverloop vergelijkbaar is met de resultaten van de berekeningen, waarbij de opleghoek van 30^{o} is aangehouden. Het spanningsniveau, voornamelijk onder in de buis, is wel lager.
Naar aanleiding van de resultaten van deze berekeningen wordt daarom geconcludeerd, dat:

- bij een belastinghoek van 30^{o} de wijze van belasting-overdracht (gelijkmatig verdeelde belasting of puntlasten) de spanningen aan de onderzijde van de buis nauwelijks beinvloedt.
- bij een grotere opleghoek de spanningen duidelijk lager liggen.

Voor de proef wordt daarom een U-balk omgekeerd op de buis geplaatst, waarop door middel van een vijzel de belasting wordt overgebracht. Het U-profiel is zo groot dat de beide benen een belastinghoek van 30^{o} vormen.

5. GEMETEN EN BEREKENDE SPANNINGSVERLOPEN

5.1 Algemene beschrijving

Bij de metingen zijn alleen de "rekken" in de buiswand gemeten. Met behulp van een initiële "nul" meting (referentie meting), voorafgaand aan iedere serie metingen, en een omrekeningsfactor zijn hieruit de spanningen berekend: "De Gemeten Spanningen".
Doordat er zowel aan de binnenkant als aan de buitenkant rekstrookjes zijn aangebracht, dus ter weerszijden van de buiswand, kunnen buig- en normaalspanningen worden berekend.
Met behulp van bekende rekenmethoden zijn parameterstudies uitgevoerd, waarbij de ondersteuningshoek en de vorm en grootte van de ondersteuningen als parameters zijn gevarieerd. Op deze manier is getracht om de spanningsverlopen zo nauwkeurig mogelijk te benaderen: "De Berekende Spanningen".
De uit de proeven 160883 en 300883 resulterende spanningsverlopen zijn weergegeven in de tabellen 1 t/m 4 en in de grafieken 1 en 2.
De uit de berekeningen resulterende spanningen zijn weergegeven in de tabellen 5 en 6.
De weergave in de tabellen is zodanig dat symmetrische locaties op de buis onder elkaar zijn geplaatst.
Uit beschouwing van de resultaten van de metingen op 160883 bleek, dat er een aantal onvolkomenheden in de metingen en/of aflezingen zijn geslopen. Deze onvolkomenheden zijn geëlimineerd (zie tabel 1 en 2). De 'geschoonde' gegevens zijn in de rest van de tabellen en grafieken weergegeven.

5.2 Uitwerking van de meetgegevens

5.2.1 De meetopstelling

In hoofdstuk 3 is de opstelling voor de meting alsmede de locaties van de rekstrookjes (meetstations) weergegeven. Doordat de rekstrookjes aan de binnenkant tegenover de strookjes aan de buitenkant liggen kunnen de gemeten rekken worden omgewerkt tot normaal- en buigspanningen in de buiswand.

5.2.2 De belastingen op de buis

Tijdens de proeven 160883 en 300883 werd de volgende belastingserie op het U-profiel aangebracht :

0 - 2 - 5 - 10 - 5 - 0 - 12,5 - 15 - 10 - 0 - 15 - 0 kN

Tijdens de proef 300883 was de buis begraven.
De dekking op de kruin van de buis bedroeg 0,28 m. Hierdoor ontstond een neutrale grond belasting (NB), die is te berekenen met de volgende formule.

$$NB = \gamma_{gr} \times h \times D \ N/mm$$

waarin:

$\gamma_{gr} = 16.9 \times 10^{-6} \ N/mm^3$

$h = 280.0 \ mm$

$D = 323.9 \ mm$

Het eigen gewicht van de buis bedraagt:

$$Q = \gamma_{st} \times D_g \times t \times \pi \ N/mm$$

waarin:

$\gamma_{st} = 7.85 \times 10^{-5} \ N/mm^3$

$D_g = 319.1 \ mm$

$t = 4.8 \ mm$

$Q = 0.378 \ N/mm'$

Het gewicht van de apparatuur op de buis bedraagt:

$Q_{app} = 0.165 \ N/mm'$

5.2.3 Verwerking van de meetgegevens

De geregistreerde meetwaarden zijn opgenomen in bijlage III van dit rapport. Voor de verwerking van de meetgegevens is uitgegaan van de zgn. "0" meting, die direct vooraf gaat aan de belastingserie.
Voor de berekening van de spanningen in de buiswand is gewerkt met de volgende omwerkingsformule:

$$\sigma_n = (MS_1 - MS_0) \times 0.21$$

σ_n = spanning ter plaatse van rekstrookje n

MS_1= microstrain waarde ter plekke van rekstrookje n onder belasting 1

MS_0= microstrain waarde ter plekke van rekstrookje n onder belasting van het eigen gewicht van buis en apparatuur en e.v. grondaanvulling.

Voor proef 160883 zijn de aldus gevonden spanningen weergegeven in tabel 1 en voor proef 300883 in tabel 4. Voor de overige proeven zijn de aldus gevonden waarden weergegeven in bijlage IV.
In tabel 2 zijn de gecorrigeerde spanningen weergegeven.
In tabel 3 zijn de aldus gecorrigeerde waarden opgenomen, samen met de niet gecorrigeerde waarden uit tabel 1.
Voor de proeven 160883 en 300803 zijn uit bovengenoemde spanningen aan binnen- en buitenkant van de buiswand de buigspanningen bepaald. Deze zijn weergegeven in de tabellen 3 en 4 als σ_m.

Door gebruik te maken van de symmetrie van de constructie (buis) en de belasting, zijn uit de σ_m waarden de gemiddelde buigspanningen σ_{mg} bepaald.
Voor proef 300883 kon deze vorm van corrigeren niet worden toegepast i.v.m. het meer gecompliceerde belasting- en reactie mechanisme van de omringende grond in samenhang met het gedrag van de buis.

5.3 'Gemeten' en 'Berekende' spanningsverlopen

5.3.1 De onbegraven buis

In de grafieken 1 en 2 zijn de buigspanningen, resulterend uit de proeven 160883 en 300883, voor alle belastingstappen weergegeven. De uitgezette waarden zijn weergegeven in de tabellen 3 en 4 van de respectievelijke proeven.
Op de horizontale as is de locatie van de meetstrookjes weergegeven, waarbij gebruik is gemaakt van de symmetrie van de situatie. Op de vertikale as zijn de buigspanningen uitgezet.
Door gebruikmaking van de symmetrische situatie is voor proef 300883 gemakkelijk aangetoond, dat onder invloed van een kleine verdraaiing van de buis om zijn as relatief grote verschillen ontstaan in de spanningen ter plaatse van meetstations 2/12; 3/11; 5/9; 6/8. De maximale spanningen ter plaatse van de meetstations 1 en 7 worden hierdoor echter nauwelijks beinvloed (zie grafieken 3 t/m 3F).
Uit de grafieken 3 t/m 3F blijkt, dat deze rotatie van de buis (locatie van de meetstrook nr. 1 t.o.v. de verticaal) maximaal 6^{o} bedraagt. Dit komt overeen met 1/60 gedeelte van de omtrek van de buis is : 17 mm.
Daar het opstellen van de buis 'op het oog' is geschied, is een dergelijke afwijking heel goed mogelijk.
Door middeling van de waarden van de symmetrische meetstations zijn de goede waarden verkregen. Deze waarden zijn weergegeven in de grafieken 1 en 2.
Uit grafiek 1A voor de niet begraven situatie (160883) blijkt, dat wanneer een zelfde belastinggrootte optrad in een teruggaande belastingreeks (2 - 5- 10 - 5 - 0 - 12,5 - 15 - 10 - 0 - 15 - 0) de spanningen onder in de buis (locatie 7) groter waren dan wanneer de belasting in een opgaande belastingsreeks (2 - 5 - 10 - 5 - 0 - 12,5 - 15 - 10 - 0 - 15 - 0) voor kwam. Dit kan door een extra verdichting als gevolg van een grotere belasting worden verklaard, waardoor bij ontlasten de reactie over een kleinere hoek wordt gespreid. Ditzelfde verschijnsel deed zich in sterkere mate voor in de begraven situatie (zie grafiek 2A).

5.3.2 De begraven buis

Door het begraven van de buis moeten een dusdanig groot aantal extra parameters aan de modellering worden toegevoegd, dat de gemeten situatie slechts zeer ruw rekenderwijs benaderd kan worden.

Een van de factoren die hierin een rol speelt is :
- door de initiële ovalisatie van de buis als gevolg van de grotere belasting zal de grond op de buis mee naar beneden zakken en zal enige afschuiving plaatsvinden. Tijdens het ontlasten van het U-profiel zal de buis weer rond willen worden, doch dit wordt tegengewerkt door het gewicht van de grond en de ontwikkelde passieve weerstand op de kolom grond boven de buis.

Daarom is in eerste instantie besloten om de gemeten spanningen resulterend uit de begraven situatie te vergelijken met de gemeten spanning uit de onbegraven situatie.
Daartoe zijn de spanningsverlopen uit overeenkomstige belastingstappen uitgezet in de grafieken 9 t/m 13. Tevens zijn in die grafieken de berekeningsresultaten weergegeven die bij de overeenkomstige belasting een spanningsverdeling geven, die het dichtst de onbegraven situatie benaderen.

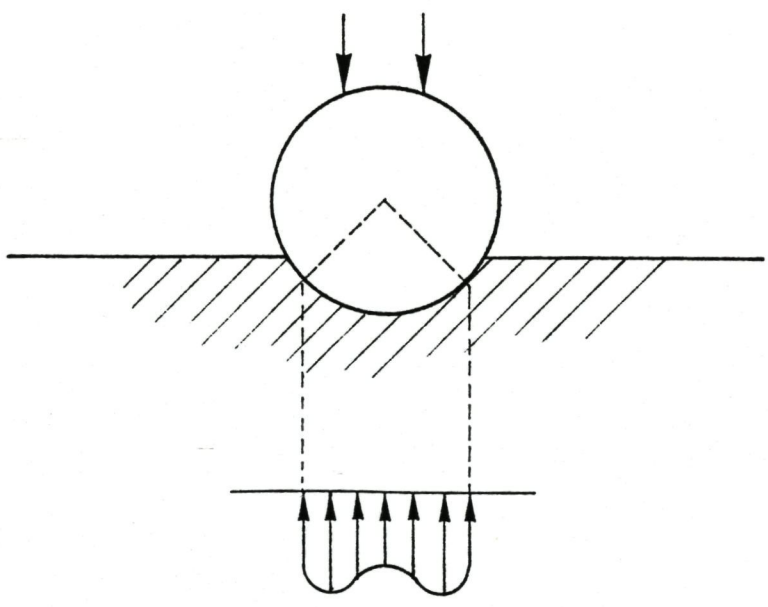
5.3.3 Berekende spanningen

Met behulp van het programma GERING/1, dat dezelfde rekenmethodiek voor de bepaling van spanningen als gevolg van laterale belastingen op een buis als het programma BELIPO volgt, zijn de spanningen in de buisdoorsnede bepaald. Het verschil tussen BELIPO en GERING/1 is dat in GERING/1 verschillende vormen voor de laterale belastingsverdeling kunnen worden ingevoerd.
Met GERING/1 zijn voor twee verschillende vormen, gelijkmatige (G) en sinusvormige (S) verdeling, met ondersteuningshoeken variërend van 30^{o} tot 165^{o} de spanningsverdelingen bepaald. De resultaten hiervan zijn ondergebracht in de tabellen 5 en 6. De berekening van de spanningen met de gelijkmatige verdeling van de grondreactie onder de buis leidt tot nagenoeg dezelfde spanningen in het onderste punt (7) van de buis als met behulp van de "coëfficienten van Spangler" kunnen worden berekend.
In beide gevallen blijkt de grootste variatie in spanningsgrootte als gevolg van variërende opleghoeken op te treden in het punt 7 onder in de buis (midden van de oplegging).
Om deze reden zijn voor dat punt (7) de spanningen uit de metingen vergeleken met de spanningen uit de berekeningen (zie grafieken 4 t/m 8) voor de onbegraven situatie.
Uit dat vergelijk blijkt, dat de ondersteuningshoek minstens 72^{o} moet zijn geweest.

De maximaal mogelijke opleghoek tijdens proef 160883 is: 150^{o}, waarbij ervan uit is gegaan, dat de zakking van de totale buis 30 mm heeft bedragen. De initiële inbeddingshoek in onbelaste toestand bedroeg : 123^{o}.

Uit de vergelijking van de gemeten spanningen met de berekende spanningen blijkt voorts, dat de rekenkundige benadering van de spanningsverdeling onder in de buis een zeer conservatieve benadering is. Het ligt voor de hand om op grond van deze resultaten te veronderstellen, dat het grondreactieverloop onder de buis een ander, meer gunstig, verloop heeft dan tot dusver werd aangenomen. Om dit verloop te leren kennen zal nader onderzoek moeten worden verricht.

Vermoed wordt, dat de tegendruk van de grond het volgende schematische verloop zal hebben.



De verhouding tussen de stijfheid van de buis en de stijfheid van de grond onder de buis zal op de reactieverdeling waarschijnlijk een behoorlijke invloed hebben.
Naarmate de stijfheid van de buis groter wordt zal een meer gelijkmatige reactieverdeling ontstaan en bij een relatief zeer grote stijfheid van de buis zal een sinusvorming verloop ontstaan naar analogie met stuikspanningsverdelingen in geboute platen.
Daar de gronddrukverdeling in deze proeven niet kan worden gemeten is ook geen goede rekenkundige benadering van de proef mogelijk. De rekenkundige benaderingen die gebruikt zijn blijken voor de overeenkomende belastingen te resulteren in te hoge spanningen t.o.v. de gemeten spanningen. Geconcludeerd kan dan ook worden dat de gangbare rekenmethoden leiden tot conservatieve spanningsverdelingen en dat de opleghoeken van 30^{o}, die in sommige gevallen in rekening moeten worden gebracht, boven genoemd 'conservatisme' nog vergroten.

5.4 Tabellen en Grafieken

5.4.1 Verklaring van de tabellen

De tabellen 1 t/m 3 geven de spanningsresultaten weer van de proef 160883, waarbij de buis onbegraven is.
In Tabel 1 zijn de rechtstreeks uit de microstrain waarnemingen afgeleide spanningen weergegeven.
In Tabel 2 zijn de gecorrigeerde spanningen weergegeven.
In Tabel 3 zijn de resulterende spanningen voor de proef 160883 weergegeven, waarmee verder is gewerkt in dit rapport.
In de eerste regel van de tabellen staat de grootte van de belasting, die aangebracht is.
In de tweede regel zijn de symbolen voor de spanningen weergegeven. De subscripten hebben de volgende betekenis:

- u = uitwendig
- i = inwendig
- m = momentspanningen per punt op de doorsnede
- mg = gemiddelde van de momentspanningen in de symmetrische punten op de doorsnede

In Tabel 4 zijn de spanningsresultaten van proef 300883 weergegeven, bij deze proef is de buis ingegraven. De opbouw van de tabel is dezelfde als voor de tabellen 1 t/m 3.

In Tabel 5 zijn de spanningsresultaten van de computerberekeningen, waarbij de oplegreactie gelijkmatig verdeeld is ingevoerd, weergegeven.
In de eerste regel van de tabel zijn de opleghoeken, die verdisconteerd zijn in de berekeningen weergegeven. In de tweede regel zijn de belastingen aangegeven. In de derde regel zijn de symbolen voor de gemiddelde momentspanningen aangegeven.

In Tabel 6 zijn de spanningsresultaten van de computerberekeningen, waarbij de oplegreactie sinusvormig verdeeld is ingevoerd, weergegeven. De opbouw van de tabel is dezelfde als voor tabel 5.

In alle tabellen worden in de eerste kolom de nummers van de punten op de doorsnede aangegeven.

De spanningen zijn weergegeven in N/mm^2.

5.4.2 Verklaring van de aanduidingen bij de grafieken

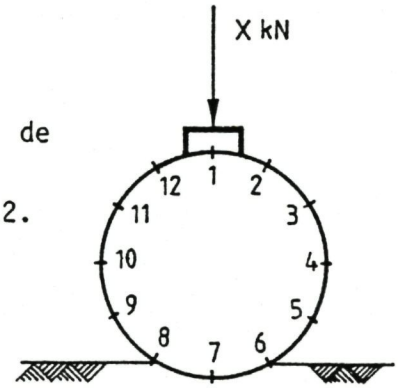
Grafieken 1 t/m 3:
De aanduidingen onder de grafieken hebben betrekking op de Onbegraven of de Begraven situatie als oorsprong van de spanningsverlopen.
De cijferaanduiding geeft de grootte van de belasting aan en, indien die bepaalde belasting twee keer voorkomt, om welke keer het gaat, de eerste (1) of de tweede (2) keer.

Grafieken 3 t/m 3F:
De getallen langs de lijn die het spanningsverloop weergeeft zijn de aanduidingen van de meetstations langs de omtrek van de buis. Dit is dezelfde aanduiding als gebruikt in de tabellen.

Grafieken 4 t/m 8:
Onder de grafieken staan aanduidingen, die betrekking hebben op de verdeling van de grondreactie onder de buis in de berekeningen.
GEL = GELijkmatig vertikaal verdeeld over de opleghoek
SIN = SINusvormig vertikaal verdeeld over de opleghoek
M = Uit de Meting gevonden waarde van de spanningen in punt 7
De getalaanduiding heeft betrekking op de grootte van de belasting en de keer van voorkomen van de belasting.

Grafieken 9 t/m 13
De 'B' en 'O' aanduidingen onder de grafieken stellen hetzelfde voor als in de grafieken 1 t/m 3 evenals de getalaanduiding er achter.
De onderste aanduiding geeft de code voor de uit de berekeningen gevonden spanningsverdelingslijn.
G = Gelijkmatig verdeelde grondreactie.
Een getal, dat aangeeft de grootte van de opleghoek, waarmee gerekend is en een getal,dat aangeeft de grootte van de belasting, waarmee gerekend is.

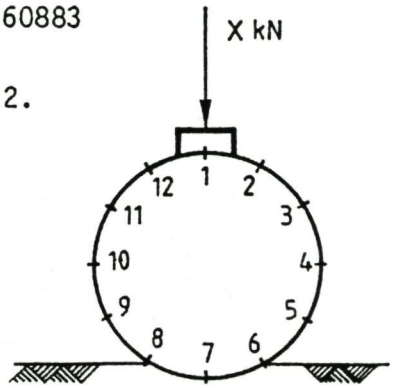
TABEL 1: Spanningsresultaten meting 160883.
Niet-ingegraven situatie.
(de gegevens zijn rechtstreeks uit de microstrain registraties afgeleid)
NR - Nummer van het meetstation 1 t/m 12.
σ_u - Spanning Uitwendig (N/mm^2)
σ_i - Spanning Inwendig (N/mm^2)



NR	2 kN		5 kN		10 kN		5 kN		0 kN	
	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i
1	14.5	-15.1	39.9	-49.8	98.5	-99.5	50.2	-56.7	-3.6	-1.1
2	6.3	-6.1	17.2	-18.1	34.9	-32.6	23.1	-21.8	-0.2	-0.6
12	5.3	-5.7	16.6	-18.7	35.1	-36.3	24.8	-24.4	0.6	-0.4
3	-9.2	8.4	-49.8	26.9	-79.2	52.1	-51.2	27.5	-26.3	0.6
11	-7.1	7.6	-23.5	25.4	-54.4	54.2	-25.8	27.1	0.4	0.2
4	-11.6	11.3	-40.3	36.8	-80.2	72.7	-50.6	45.2	-5.9	1.9
10	-12.6	17.9	-39.7	50.2	-79.2	93.5	-47.7	59.2	0.6	-33.0
5	-4.2	4.6	-16.6	19.3	-36.1	27.5	-31.3	31.7	-1.9	1.5
9	-5.7	-7.6	-19.5	6.5	-39.1	19.7	-33.6	15.8	0.6	-18.5
6	1.3	-2.9	6.1	-11.6	20.6	-27.7	9.2	-15.1	0.2	-0.4
8	4.6	-14.3	14.1	-23.7	33.8	-42.4	17.0	-24.6	0.4	-8.6
7	17.4	-19.5	48.9	-56.5	93.7	-97.7	78.3	-16.6	4.4	14.5

NR	12.5 kN		15 kN		10 kN		0 kN		15 kN		0 kN	
	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i
1	136.5	-132.9	169.5	-163.8	109.0	-112.6	-2.1	-1.9	169.9	-165.7	-2.3	-1.5
2	49.8	-45.2	58.8	-54.6	41.6	-41.2	0.4	-2.3	62.8	-56.3	0.0	-1.9
12	20.2	-42.2	48.5	-52.1	38.4	-40.3	1.5	-2.1	46.8	-49.4	0.8	-0.2
3	-98.3	70.4	-116.1	84.6	-82.1	53.1	-29.8	0.6	-120.3	93.9	-26.3	0.8
11	-75.2	71.6	-93.0	87.6	-60.1	56.7	1.1	-0.4	-85.7	83.8	0.6	1.3
4	-103.7	96.4	-124.7	115.1	-88.0	80.0	-5.3	1.5	-127.1	121.4	-5.3	2.3
10	-102.7	126.0	-125.0	145.3	-88.6	96.4	0.0	-101.0	-122.4	132.3	-0.8	-92.4
5	-46.2	32.6	-58.3	31.3	-48.1	30.7	-1.7	2.3	-49.6	23.5	-2.3	1.7
9	-46.2	2.9	-54.2	1.1	-46.8	-5.0	-0.4	-38.6	-55.7	-9.0	-1.3	-42.0
6	31.3	-40.5	42.2	-55.4	24.8	-35.1	0.6	-0.8	53.6	-64.3	0.4	-0.4
8	48.9	-55.4	61.3	-67.8	41.0	-48.3	0.2	-6.7	57.8	-62.6	-0.4	-5.0
7	109.8	-119.3	124.5	-150.4	105.8	-133.8	5.7	-24.4	121.2	-152.9	4.8	-27.9

TABEL 2: Gecorrigeerde spanningen van de meting 160883
Niet-ingegraven situatie.
NR - Nummer van het meetstation 1 t/m 12.
σ_u - Spanning Uitwendig (N/mm^2)
σ_i - Spanning Inwendig (N/mm^2)

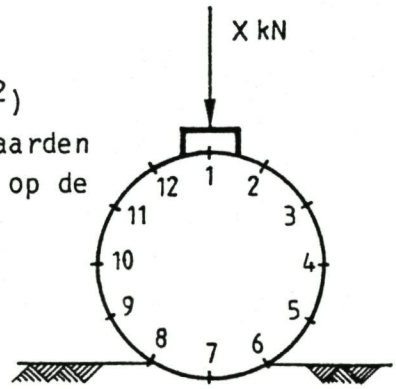


NR	2 kN		5 kN		10 kN		5 kN		0 kN	
	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i
1										
2 12										
3 11			-23.5		-52.9		-24.9		-26.3	
4 10			-34.4	34.9	-74.3	70.8	-44.7	43.3	-5.9	1.9
5 9		10.9		25.0		38.2		34.3		-18.5
6 8		-5.7		-15.1		-33.8		-16.0		-8.6
7	13.0	-13.0	44.5	-50.0	89.3	-91.2	52.9	-52.1	4.4	-6.5

NR	12.5 kN		15 kN		10 kN		0 kN		15 kN		0 kN	
	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i
1												
2 12												
3 11	-68.5		-86.3		-52.3		-29.8		-94.0		-26.3	
4 10	-98.4	94.9	-119.4	113.6	-82.5	78.5	-5.3	1.5	-121.8	119.1	-5.3	2.3
5 9		41.7		39.7		33.6		-38.6		33.0		-42.0
6 8		-48.7		-61.1		-41.6		-6.7		-57.6		-5.0
7	104.1	-94.9	118.8	-126.0	100.1	-109.4	5.7	-24.4	116.4	-125.0	4.8	-27.9

TABEL 3: Resulterende spanningen van meting 160883.
Niet-ingegraven situatie.

NR - Nummer van het meetstation 1 t/m 12.
σ_u - Spanning Uitwendig (N/mm^2)
σ_i - Spanning Inwendig (N/mm^2)
σ_m - $(\sigma_u - \sigma_i)/ 2$ = buigspanning (N/mm^2)
σ_{mg} - Gemiddelde waarde van de σ_m waarden voor de symmetrische punten (NR) op de buisdoorsnede.



NR	2 kN				5 kN				10 kN			
	σ_u	σ_i	σ_m	σ_{mg}	σ_u	σ_i	σ_m	σ_{mg}	σ_u	σ_i	σ_m	σ_{mg}
1	14.5	-15.1	14.8	14.8	39.9	-49.8	-44.9	44.9	98.5	-99.5	99.0	99.0
2	6.3	-6.1	6.2	5.9	17.2	-18.1	17.7	17.7	34.9	-32.6	33.8	34.8
12	5.3	-5.7	5.5	5.9	16.6	-18.7	17.7	17.7	35.1	-36.3	35.7	34.8
3	-9.2	8.4	-8.8	-8.1	23.5	26.9	-25.2	-24.9	-52.9	52.1	-52.5	-53.4
11	-7.1	7.6	-7.4	-8.1	-23.5	25.4	-24.5	-24.9	-54.4	54.2	-54.3	-53.4
4	-11.6	11.3	-11.5	-12.0	-34.4	34.9	-34.7	-37.2	-74.3	70.8	-72.6	-75.9
10	-12.6		-12.6	-12.0	-39.7		-39.7	-37.2	-79.2		-79.2	-75.9
5	-4.2	4.6	-4.4	-5.1	-16.6	19.3	-18.0	-18.8	-36.1		-36.1	-37.4
9	-5.7		-5.7	-5.1	-19.5		-19.5	-18.8	-39.1	38.2	-38.7	-37.4
6		-2.9	2.9	4.1		-11.6	11.6	13.1		-27.7	27.7	30.8
8	4.6	-5.7	5.2	4.1	14.1	-15.1	14.6	13.1	33.8	-33.8	33.8	30.8
7	13.0	-13.0	13.0	13.0	44.5	-50.0	47.3	47.3	89.3	-91.2	90.3	90.3

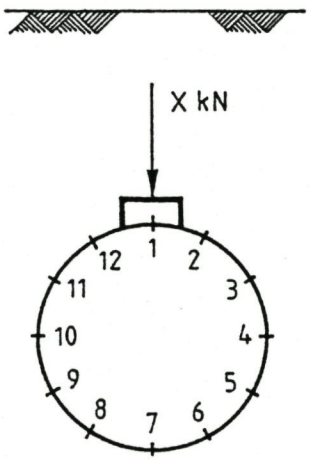
NR	5 kN				0 kN		12.5 kN				15 kN			
	σ_u	σ_i	σ_m	σ_{mg}	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i	σ_m	σ_{mg}	σ_u	σ_i	σ_m	σ_{mg}
1	50.2	-56.7	53.5	53.5	-3.6	-1.1	136.5	-132.9	134.7	134.7	169.5	-163.8	166.7	166.7
2	23.1	-21.8	22.5	23.6	-0.2	-0.6	49.8	-45.2	47.5	44.6	58.8	-54.6	56.7	53.5
12	24.8	-24.4	24.6	23.6	0.6	-0.4	41.2	-42.2	41.7	44.6	48.5	-52.1	50.3	53.5
3	-24.9	27.5	-26.2	-26.4	0.0	0.6	-68.5	70.4	-69.5	-71.5	-86.3	84.6	-85.5	-87.9
11	-25.8	27.1	-26.5	-26.4	0.4	0.2	-75.2	71.6	-73.4	-71.5	-93.0	87.6	-90.3	-87.9
4	-44.7	43.3	-44.0	-45.9	0.0	0.0	-98.4	94.9	-96.7	-99.7	-119.4	113.6	-116.5	-120.8
10	-47.7		-47.7	-45.9	0.6	-33.0	-102.7		-102.7	-99.7	-125.0		-125.0	-120.8
5	-31.3	31.7	-31.5	-32.8	-1.9	1.5	-46.2			-46.2	-58.3		-58.3	-56.3
9	-33.6	34.3	-34.0	-32.8	0.6	0.0	-46.2			-46.2	-54.2		-54.2	-56.3
6		-15.1	15.1	15.8	0.2	-0.4		-40.5	40.5	44.7		-55.4	55.4	58.3
8	17.0	-16.0	16.5	15.8	0.4	0.0	48.9	-48.7	48.8	44.7	61.3	-61.1	61.2	58.3
7	52.9	-52.1	52.5	52.5	0.0	0.0	104.1	-94.9	99.5	99.5	118.8	-126.0	122.4	122.4

TABEL 3A : Vervolg van tabel 3.

NR	10 kN				0 kN		15 kN				0 kN	
	σ_u	σ_i	σ_m	σ_{mg}	σ_u	σ_i	σ_u	σ_i	σ_m	σ_{mg}	σ_u	σ_i
1	109.0	-112.6	110.8	110.8	-2.1	-1.9	169.9	-165.7	167.8	167.8	-2.3	-1.5
2	41.6	-41.2	41.4	40.4	0.4	-2.3	62.8	-56.3	59.6	53.9	0.0	-1.9
12	38.4	-40.3	39.4	40.4	1.5	-2.1	46.8	-49.4	48.1	53.9	0.8	-0.2
3	-52.3	53.1	-52.7	-55.6	0.0	0.6	-94.0	93.9	-94.0	-89.4	0.0	0.8
11	-60.1	56.7	-58.4	-55.6	1.1	-0.4	-85.7	83.8	-84.8	-89.4	0.6	1.3
4	-82.5	78.5	-80.5	-84.6	0.0	0.0	-121.8	119.1	-120.5	-121.5	0.0	0.0
10	-88.6		-88.6	-84.6	0.0	-101.0	-122.4		-122.4	-121.5	-0.8	-92.4
5	-48.1		-48.1	-47.5	-1.7	2.3	-49.6		-49.6	-52.7	-2.3	1.7
9	-46.8		-46.8	-47.5	-0.4	0.0	-55.7		-55.7	-52.7	-1.3	
6		-35.1	35.1	38.2	0.6	-0.8	53.6		53.6	55.7	-0.4	-0.4
8	41.0	-41.6	41.3	38.2	0.2	0.0	57.8	-57.6	57.7	55.7	-0.4	0.0
7	100.1	-109.1	104.6	104.6	0.0	0.0	116.4	-125.0	120.7	120.7	0.0	0.0

TABEL 4: Resulterende spanningen van de meting 300883 Ingegraven situatie.
(Gegevens zijn rechtstreeks uit de microstrain registraties afgeleid)

NR - Nummer van het meetstation 1 t/m 12.
σ_u - Spanning Uitwendig (N/mm^2)
σ_i - Spanning Inwendig (N/mm^2)
σ_m - $(\sigma_u - \sigma_i)/ 2$ = buigspanning (N/mm^2)
σ_{mg} - Gemiddelde waarde van de σ_m waarden voor de symmetrische punten (NR) op de buisdoorsnede.



NR	2 kN				5 kN				10 kN			
	σ_u	σ_i	σ_m	σ_{mg}	σ_u	σ_i	σ_m	σ_{mg}	σ_u	σ_i	σ_m	σ_{mg}
1	9.0	-6.3	7.7	7.7	30.2	-25.8	28.0	28.0	77.7	69.5	73.6	73.6
2	0.8	-1.9	1.4	1.5		-1.1	1.1	4.6	4.6	-5.7	5.2	17.6
12	1.3	-1.9	1.6	1.5	7.6	-8.6	8.1	4.6	28.6	-31.3	30.0	17.6
3	-1.3		-1.3	-1.3	-13.9	12.0	-13.0	-13.8	-41.2	39.3	-40.3	-39.3
11	-1.1	1.5	-1.3	-1.3	-14.9	14.1	-14.5	-13.8	-39.1	37.4	-38.3	-39.3
4	0.8	3.4	2.1	1.4	-8.0	11.3	-9.7	-9.2	-33.2	37.0	-35.1	-36.0
10	0.6		0.6	1.4	-8.6		-8.6	-9.2	-36.8		-36.8	-36.0
5	1.9	-1.1	1.5	1.3	-2.1	1.7	-1.9	-4.0	-13.0	11.6	-12.3	-17.1
9	1.5	-0.4	1.0	1.3	-5.0	6.9	-6.0	-4.0	-24.4	19.1	-21.8	-17.1
6	2.7	-2.9	2.8	2.5	5.9	-6.9	6.4	5.2	17.9	-21.6	19.8	15.6
8	1.9	-2.3	2.1	2.5	4.0	-3.8	3.9	5.2	11.6	-10.9	11.3	15.6
7	3.6	-3.8	3.7	3.7	17.6	-20.4	19.0	19.0	57.5	43.5	45.3	45.3

TABEL 4A: Vervolg van tabel 4.

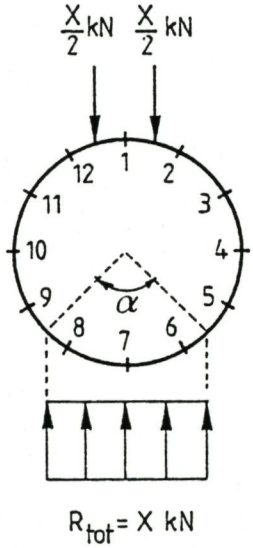
NR	5 kN				0 kN				12.5 kN			
	σ_u	σ_i	σ_m	σ_{mg}	σ_u	σ_i	σ_m	σ_{mg}	σ_u	σ_i	σ_m	σ_{mg}
1	54.0	-54.0	54.0	54.0	11.8	-13.0	12.4	12.4	115.5	-106.3	110.9	110.9
2	10.3	-11.3	10.8	19.0	7.1	-9.0	8.1	8.5	10.1	-15.5	12.8	28.1
12	26.5	-27.7	27.1	19.0	8.6	-9.2	8.9	8.5	42.0	-44.5	43.3	28.1
3	-29.6	27.9	-28.8	-26.2	-5.5	5.9	-5.7	-4.1		47.3	-47.3	-51.0
11	-25.2	21.8	-23.5	-26.2	-2.5	2.5	-2.5	-4.1	-57.3	51.9	-54.6	-51.0
4	-35.7	37.6	-36.7	-37.1	-11.8	15.3	-13.6	-12.2	-55.9	58.2	-57.1	-58.4
10	-37.4		-37.4	-37.1	-10.7		-10.7	-12.2	-59.6		-59.6	-58.4
5	-17.0	14.5	-15.8	-19.9	-8.8	6.3	-7.6	-7.9	-24.2	20.4	-22.5	-31.2
9	-28.1	19.7	-23.9	-19.9	-9.5	6.7	-8.1	-7.9	-39.9		-39.9	-31.2
6	16.2	-20.0	18.1	14.4	5.3	-6.3	5.8	4.8	27.7	-33.4	30.1	24.4
8	10.9	-10.5	10.7	14.4	3.8	-3.8	3.8	4.8	19.1	-18.1	18.6	24.4
7	57.8	-41.6	49.7	49.7	23.1	-12.0	17.6	17.6	87.6		87.6	87.6

NR	15 kN				10 kN				0 kN			
	σ_u	σ_i	σ_m	σ_{mg}	σ_u	σ_i	σ_m	σ_{mg}	σ_u	σ_i	σ_m	σ_{mg}
1	143.6	-128.3	136.0	136.0	111.1	-104.2	107.7	107.7	14.1	-14.1	14.1	14.1
2	15.1	-19.3	17.2	35.2	21.0	-25.2	23.1	36.2	9.2	-16.2	12.7	11.4
12	53.1	-53.3	53.2	35.2	49.4	-49.1	49.3	36.2	10.3	-9.9	10.1	11.4
3	-76.9	61.7	-69.3	-68.3	-59.0	44.5	-51.8	-50.3	-5.3	6.5	-5.7	-4.1
11	-70.1	64.3	-67.2	-68.3	-50.8	46.6	-48.7	-50.3	-2.3	-2.7	-2.5	-4.1
4	-69.1	70.8	-70.0	-71.7	-69.7	71.2	-70.5	-71.6	-12.2	17.6	-14.9	-13.6
10	-73.3		-73.3	-71.7	-72.7		-72.7	-71.6	-12.2		-12.2	-13.6
5	-28.6	21.8	-25.2	-37.2	-33.4	27.9	-30.7	-41.0	-6.3	-8.4	-7.4	-9.7
9	-49.1	8.2	-49.1	-37.2	-51.2		-51.2	-41.0	-10.1	-13.9	-12.0	-9.7
6	37.0	-41.0	39.0	31.7	33.8	-37.6	35.7	29.2	6.3	-6.7	6.5	5.6
8	26.3	-22.5	24.4	31.7	24.2	-21.2	22.7	29.2	5.0	-4.2	4.6	5.6
7	109.6		109.6	109.6	107.1		107.1	107.1	27.9		27.9	27.9

NR	15 kN				0 kN			
	σ_u	σ_i	σ_m	σ_{mg}	σ_u	σ_i	σ_m	σ_{mg}
1	147.8	-134.6	141.2	141.2	14.7	-14.7	14.7	14.7
2	18.5		18.5	37.8	9.9	-16.4	13.2	12.0
12	56.1	-58.0	57.1	37.8	11.1	-10.3	10.7	12.0
3	-80.2		-80.2	-76.4	-5.0	-13.9	-9.5	-5.9
11	-72.5		-72.5	-76.4	-2.3		-2.3	-5.9
4	-78.1	79.4	-78.8	-81.0	-12.6	18.1	-15.4	-14.1
10	-83.2		-83.2	-81.0	-12.8		-12.8	-14.1
5	-34.4	29.4	-31.9	-43.8	-6.7	3.6	-5.2	-9.4
9	-55.7		-55.7	-43.8	-10.5	16.6	-13.6	-9.4
6	39.5	-45.4	42.5	34.9	6.5	-6.3	6.4	5.7
8	28.6	-25.8	27.2	34.9	5.5	-4.2	4.9	5.7
7	118.2	-40.5	118.2	118.2	29.0	-1.7	29.0	29.0

TABEL 5: Resulterende spanningen uit de berekeningen voor de niet-ingegraven situatie.

- De oplegreactie is gelijkmatig verdeeld over de opleghoek.
- De opleghoek varieert van 30^o tot 165^o met stappen van 15^o.
- De belastingen zijn conform de belastingen in de metingen 2 - 5 - 10 - 12.5 - 15 kN.
- NR: Nummer van het outputpunt op de doorsnede 1 t/m 12 conform de nummering van de meetstations in de metingen.
- σ_m: Resulterende buigspanning in de wand.
- Belastingschema:



NR	30					45				
	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN
	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m
1	23.1	57.7	115.4	144.3	173.1	23.0	57.4	114.8	143.5	172.2
2 / 12	9.2	23.0	45.9	57.4	68.9	9.1	22.9	45.7	57.1	68.6
3 / 11	-11.7	-29.2	-58.3	-72.9	-87.5	-11.7	-29.4	-58.7	-73.4	-88.1
4 / 10	-19.5	-48.8	-97.6	-122.0	-146.4	-19.4	-48.6	-97.1	-121.4	-145.7
5 / 9	-12.2	-30.6	-61.2	-76.5	-91.8	-11.9	-29.8	-59.6	-74.5	-89.4
6 / 8	8.3	20.7	41.3	51.66	62.0	8.9	22.3	44.5	55.6	66.8
7	26.7	66.7	133.3	166.6	200.0	24.9	62.3	124.5	155.6	186.8

TABEL 5A: Vervolg van tabel 5.

NR	60					75				
	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN
	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m
1	22.8	57.1	114.1	142.6	171.2	22.6	56.5	112.9	141.1	169.4
2 / 12	8.9	22.4	44.7	55.9	67.1	8.6	21.5	42.9	53.6	64.4
3 / 11	-11.7	-29.3	-58.6	-73.3	-87.9	-12.1	-30.2	-60.4	-75.5	-90.6
4 / 10	-19.3	-48.2	-96.4	-120.5	-144.6	-18.6	-46.6	-93.1	-116.4	-139.7
5 / 9	-11.4	-28.6	-57.1	-71.4	-85.7	-9.9	-24.7	-49.4	-61.8	-74.1
6 / 8	9.5	23.9	47.7	59.6	71.6	9.8	24.5	48.9	61.1	73.4
7	23.2	58.1	116.2	145.3	174.3	20.2	50.5	100.9	126.1	151.4

NR	90					105				
	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN
	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m
1	21.9	54.8	109.6	137.0	164.4	21.6	54.1	108.1	135.1	162.2
2 / 12	8.3	20.9	41.7	52.1	62.6	8.1	20.3	40.6	50.8	60.9
3 / 11	-11.7	-29.2	-58.4	-73.0	-87.6	-11.6	-29.1	-58.2	-72.8	-87.3
4 / 10	-18.3	-45.7	-91.4	-114.3	-137.1	-17.9	-44.9	-89.7	-112.1	-134.6
5 / 9	-9.6	-24.0	-47.9	-59.9	-71.9	-8.9	-22.4	-44.7	-55.9	-67.1
6 / 8	9.6	24.1	48.1	60.1	72.2	9.4	23.5	46.9	58.6	70.4
7	19.4	48.5	96.9	121.1	145.4	18.5	46.2	92.4	115.5	138.6

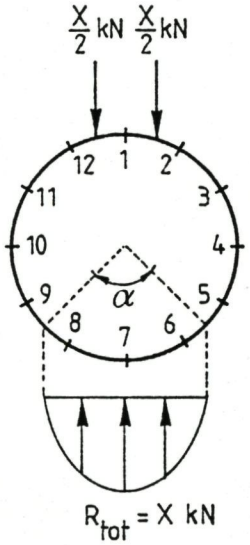
NR	120					135				
	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN
	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m
1	21.0	52.4	104.8	131.0	157.2	20.8	52.0	103.9	129.9	155.9
2 / 12	7.7	19.3	38.5	48.1	57.8	7.6	18.9	37.8	47.3	56.7
3 / 11	-11.5	-28.8	-57.5	-71.9	-86.3	-11.5	-28.7	-57.4	-71.8	-86.1
4 / 10	-17.1	-42.9	-85.7	-107.1	-128.6	-16.9	-42.2	-84.4	-105.5	-126.6
5 / 9	-7.8	-19.6	-39.1	-48.9	-58.7	-7.5	-18.8	-37.6	-47.0	-56.4
6 / 8	8.9	22.2	44.4	55.5	66.6	8.7	21.8	43.6	54.5	65.4
7	17.0	42.6	85.1	106.4	127.7	16.6	41.6	83.2	104.0	124.8

TABEL 5B: Vervolg van tabel 5A.

NR	150					165				
	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN
	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m
1	20.6	51.6	103.1	128.9	154.7	20.5	51.2	102.4	128.0	153.6
2 / 12	7.5	18.7	37.4	46.8	56.1	7.4	18.5	36.9	46.1	55.4
3 / 11	-11.5	-28.7	-57.3	-71.6	-86.0	-11.4	-28.6	-57.1	-71.4	-85.7
4 / 10	-16.7	-41.8	-83.5	-104.4	-125.3	-16.5	-41.3	-82.5	-103.1	-123.8
5 / 9	-7.3	-18.3	-36.5	-45.6	-54.8	-7.1	-17.9	-35.7	-44.6	-53.6
6 / 8	8.6	21.5	43.0	53.8	64.5	8.5	21.3	42.5	53.1	63.8
7	16.3	40.8	81.6	102.0	122.4	16.1	40.2	80.3	100.4	120.5

TABEL 6: Resulterende spanningen uit de berekeningen voor de niet-ingegraven situatie.

- De oplegreactie is sinusvormig verdeeld over de opleghoek.
- De opleghoek varieert van 30^o tot 165^o met stappen van 15^o.
- De belastingen zijn conform de belastingen in de metingen 2 - 5 - 10 - 12.5 - 15 kN.
- NR: Nummer van het outputpunt op de doorsnede 1 t/m 12 conform de nummering van de meetstations in de metingen.
- σ_m: Resulterende buigspanning in de wand.
- Belastingschema:



NR	30					45				
	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN
	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m
1	22.9	57.2	114.3	142.9	171.5	22.9	57.4	114.7	143.4	172.1
2 / 12	9.1	22.8	45.5	56.9	68.3	9.1	22.9	45.7	57.1	68.6
3 / 11	-11.5	-28.9	-57.7	-72.1	-86.6	-11.6	-29.1	-58.1	-72.6	-87.2
4 / 10	-19.3	-48.2	-96.3	-120.4	-144.5	-19.4	-48.5	-96.9	-121.1	-145.4
5 / 9	-12.2	-30.5	-61.0	-76.3	-91.5	-12.1	-30.4	-60.7	-75.9	-91.1
6 / 8	7.3	18.2	36.4	45.5	54.6	8.1	20.4	40.7	50.9	61.1
7	28.1	70.3	140.5	175.6	210.8	26.9	67.3	134.6	168.3	201.9

TABEL 6A: Vervolg van tabel 6.

NR	60					75				
	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN
	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m
1	22.9	57.3	114.6	143.3	171.9	22.7	56.8	113.6	142.0	170.4
2 / 12	9.1	22.8	45.5	56.9	68.3	8.9	22.3	44.6	55.8	66.9
3 / 11	-11.7	-29.2	-58.3	-72.9	-87.5	-11.8	-29.4	-58.8	-73.5	-88.2
4 / 10	-19.4	-48.5	-96.9	-121.1	-145.4	-19.2	-47.9	-95.8	-119.8	-143.7
5 / 9	-11.9	-29.9	-59.7	-74.6	-89.6	-11.2	-28.1	-56.2	-70.3	-84.3
6 / 8	8.6	21.5	43.0	53.8	64.5	9.3	23.2	46.3	57.9	69.5
7	25.7	64.3	128.6	160.8	192.9	23.4	58.6	117.1	146.4	175.7

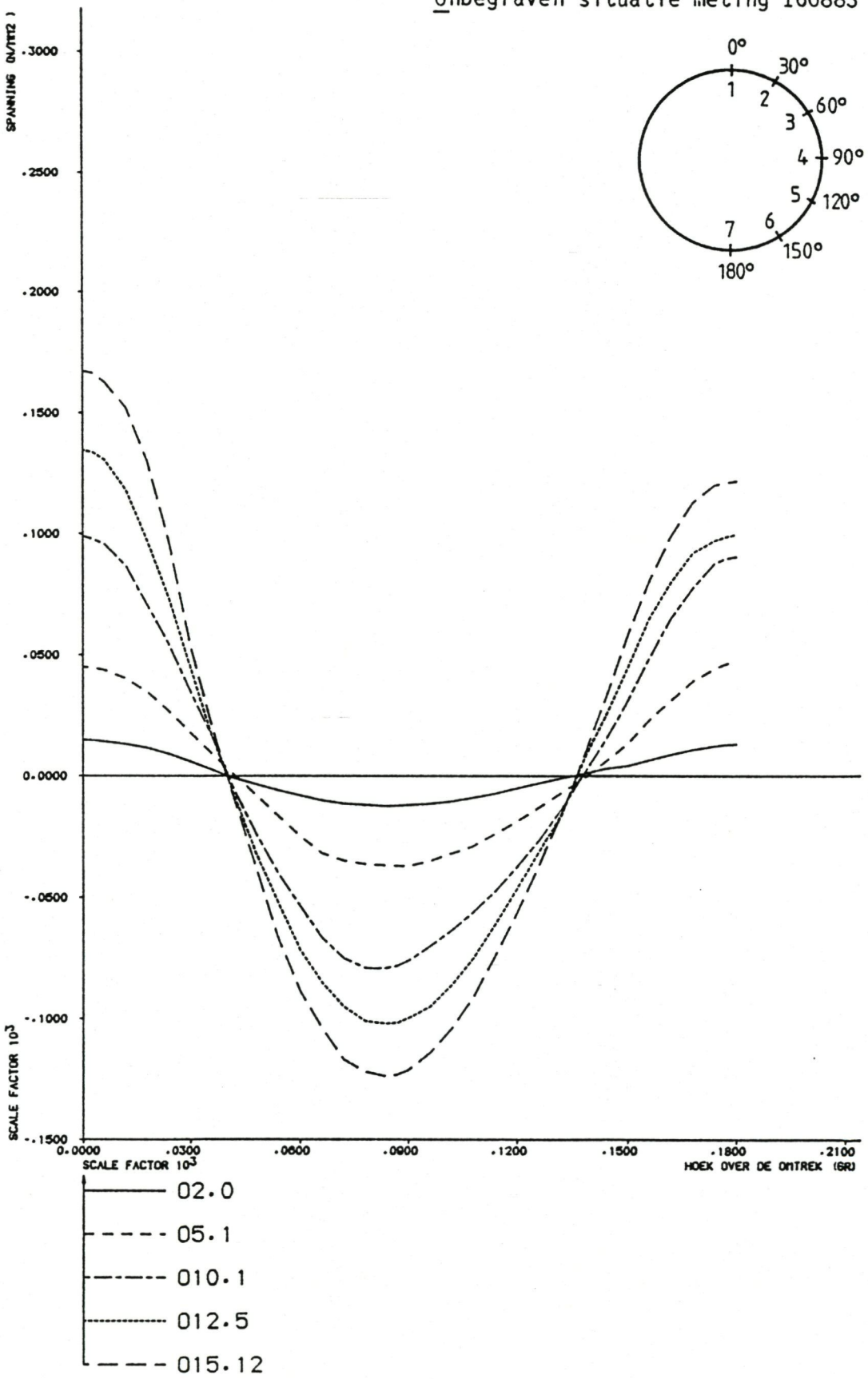
NR	90					105				
	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN
	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m
1	22.6	56.5	113.0	141.3	169.5	22.4	56.0	112.0	140.0	168.0
2 / 12	8.8	22.0	44.0	55.0	66.0	8.7	21.7	43.3	54.1	65.0
3 / 11	-11.8	-29.5	-58.9	-73.6	-88.4	-11.8	-29.4	-58.8	-73.5	-88.2
4 / 10	-19.0	-47.4	-94.8	-118.5	-142.2	-18.8	-46.9	-93.8	-117.3	-140.7
5 / 9	-10.8	-27.1	-54.1	-67.6	-81.2	-10.4	-26.1	-52.2	-65.3	-78.3
6 / 8	9.4	23.5	47.0	58.8	70.5	9.4	23.6	47.1	58.9	70.7
7	22.4	56.0	112.0	140.0	168.0	21.5	53.9	107.7	134.6	161.6

NR	120					135				
	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN
	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m
1	21.8	54.6	109.1	136.4	163.7	21.6	54.1	108.2	135.3	162.3
2 / 12	8.3	20.8	41.5	51.9	62.3	8.2	20.5	40.9	51.1	61.4
3 / 11	-11.6	-29.1	-58.1	-72.6	-87.2	-11.6	-29.0	-57.9	-72.4	-86.9
4 / 10	-18.1	-45.4	-90.7	-113.4	-136.1	-17.9	-44.8	-89.6	-112.0	-134.4
5 / 9	-9.6	-23.9	-47.8	-59.8	-71.7	-9.2	-23.1	-46.1	-57.6	-69.2
6 / 8	9.2	23.1	46.2	57.8	69.3	9.2	22.9	45.8	57.3	68.7
7	19.9	49.8	99.6	124.5	149.4	19.3	48.4	96.7	120.9	145.1

TABEL 6B: Vervolg van tabel 6A.

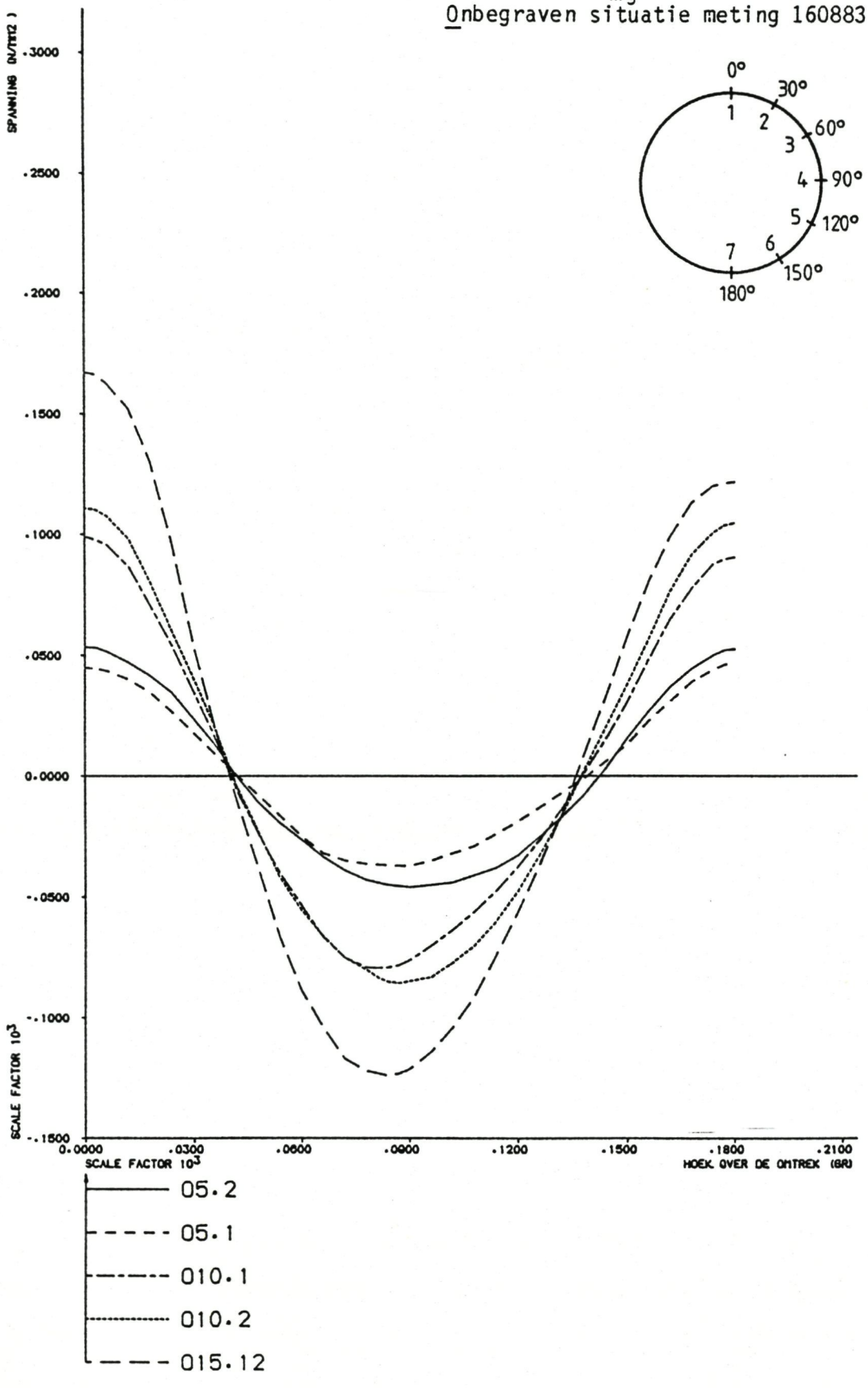
NR	150					165				
	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN	2 kN	5 kN	10 kN	12.5 kN	15 kN
	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m	σ_m
1	21.5	53.7	107.4	134.3	161.1	21.2	53.2	106.1	132.6	159.2
2 / 12	8.1	20.2	40.3	50.4	60.5	7.9	19.7	39.4	49.3	59.1
3 / 11	-11.6	-28.9	-57.8	-72.3	-86.7	-11.5	-28.9	-57.7	-72.1	-86.6
4 / 10	-17.7	-44.4	-88.7	-110.9	-133.1	-17.4	-43.6	-87.1	-108.9	-130.7
5 / 9	-8.9	-22.3	-44.6	-55.8	-66.9	-8.4	-21.1	-42.2	-52.8	-63.3
6 / 8	9.1	22.7	45.4	56.8	68.1	8.9	22.4	44.7	55.9	67.1
7	18.8	47.1	94.2	117.8	141.3	18.1	45.3	90.5	113.1	135.8

GRAFIEK 1 : Grafische weergave van de resultaten (σ_{mg}) uit tabel 3.
Onbegraven situatie meting 160883



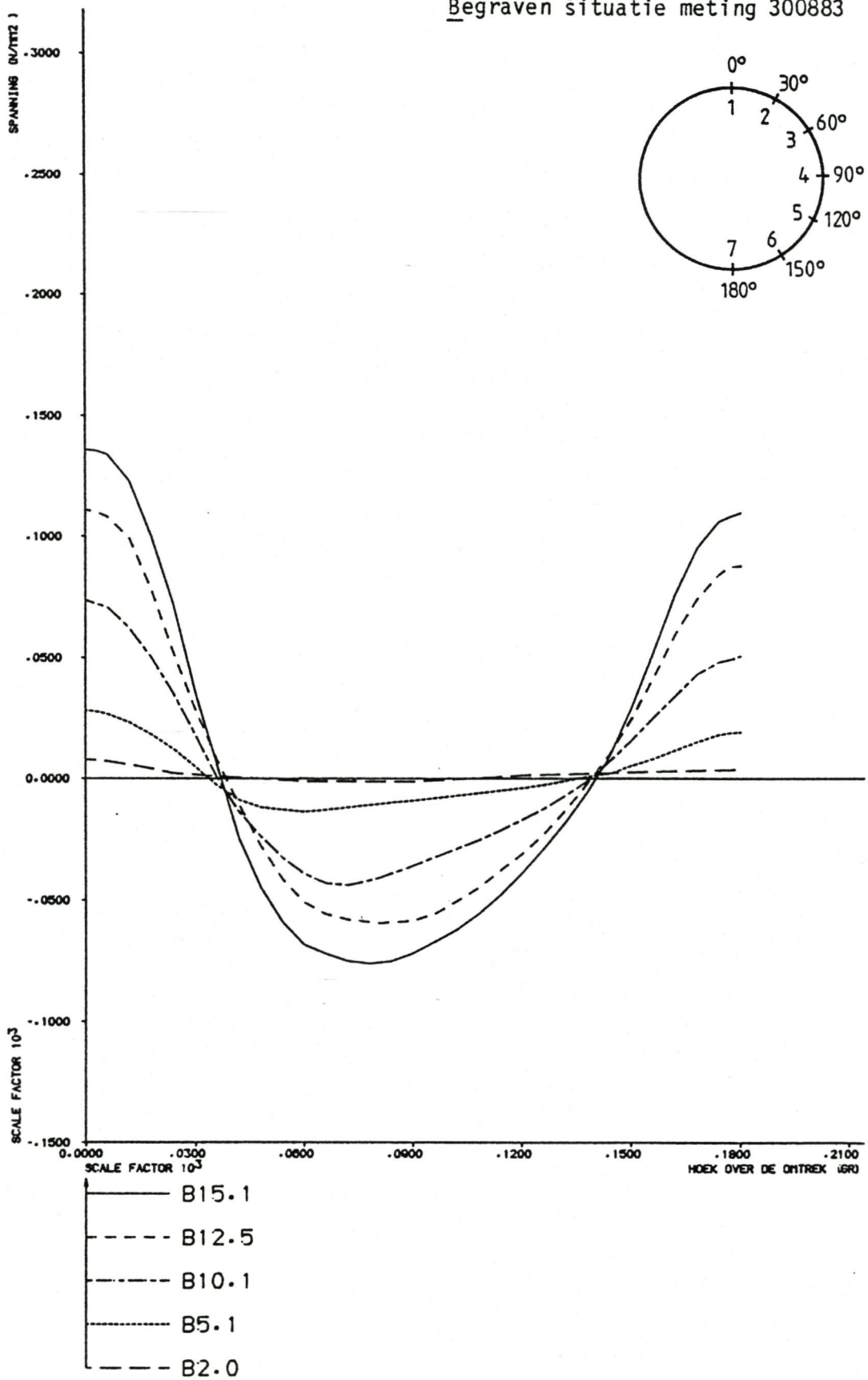
GRAFIEK 1

GRAFIEK 1A : Vervolg grafische weergave van de resultaten (σ_{mg}) uit tabel 3.
Onbegraven situatie meting 160883



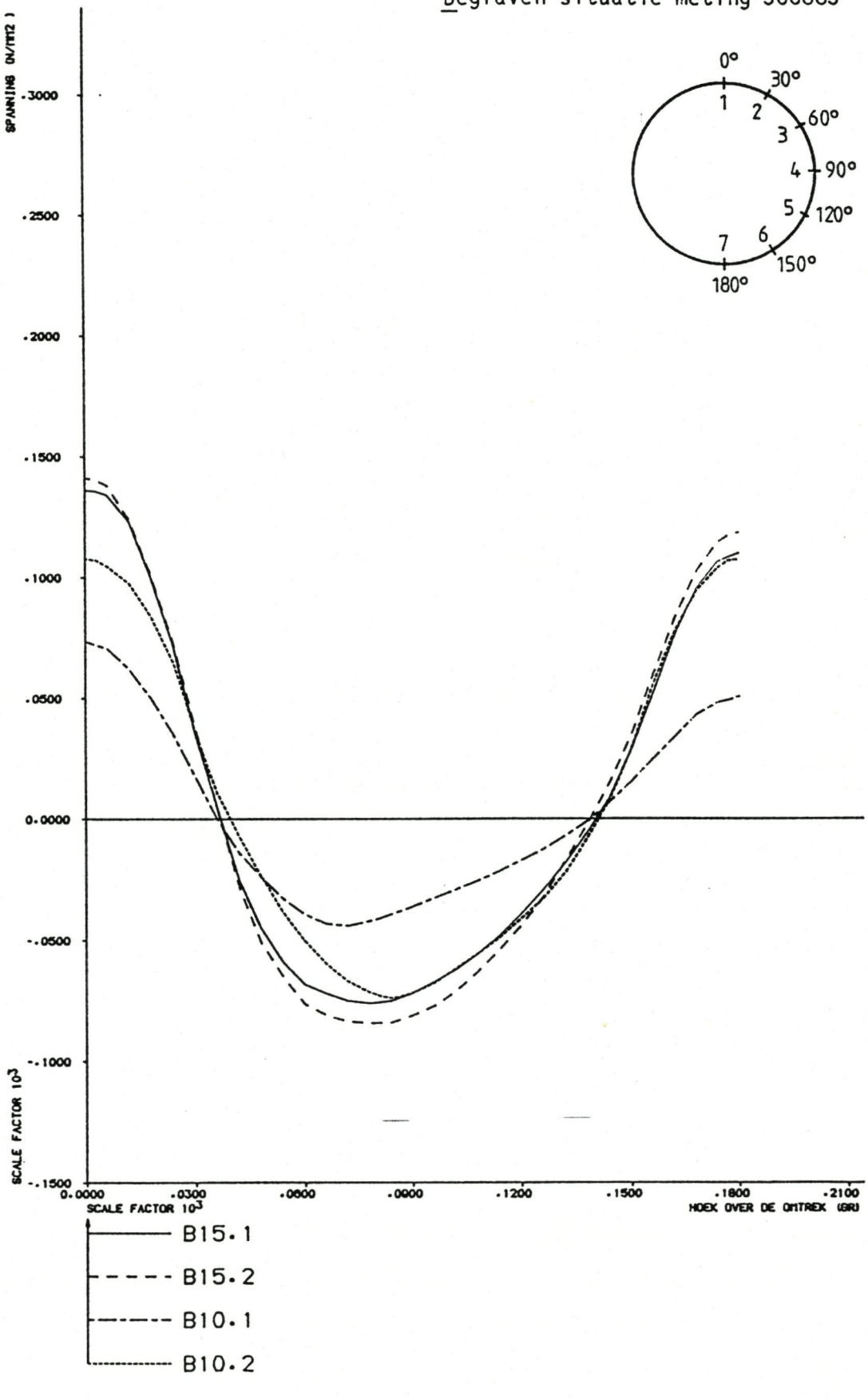
GRAFIEK 1A

GRAFIEK 2 : Grafische weergave van de resultaten (σ_{mg}) uit tabel 4.
Begraven situatie meting 300883



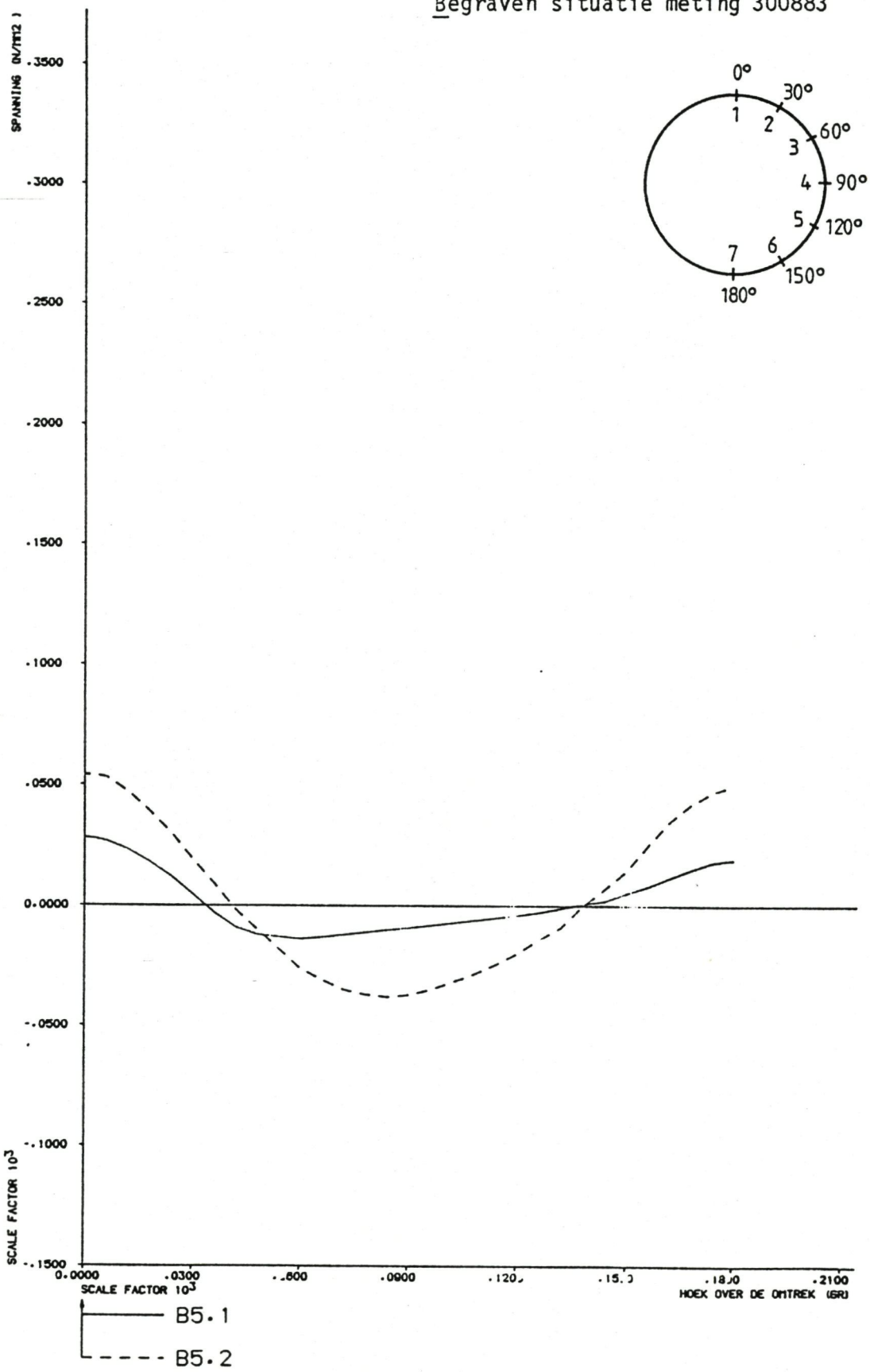
GRAFIEK 2

GRAFIEK 2A : Vervolg grafische weergave van de resultaten (σ_{mg}) uit tabel 4.
Begraven situatie meting 300883



GRAFIEK 2A

GRAFIEK 2B : Vervolg grafische weergave van de resultaten (σ_{mg}) uit tabel 4.
Begraven situatie meting 300883

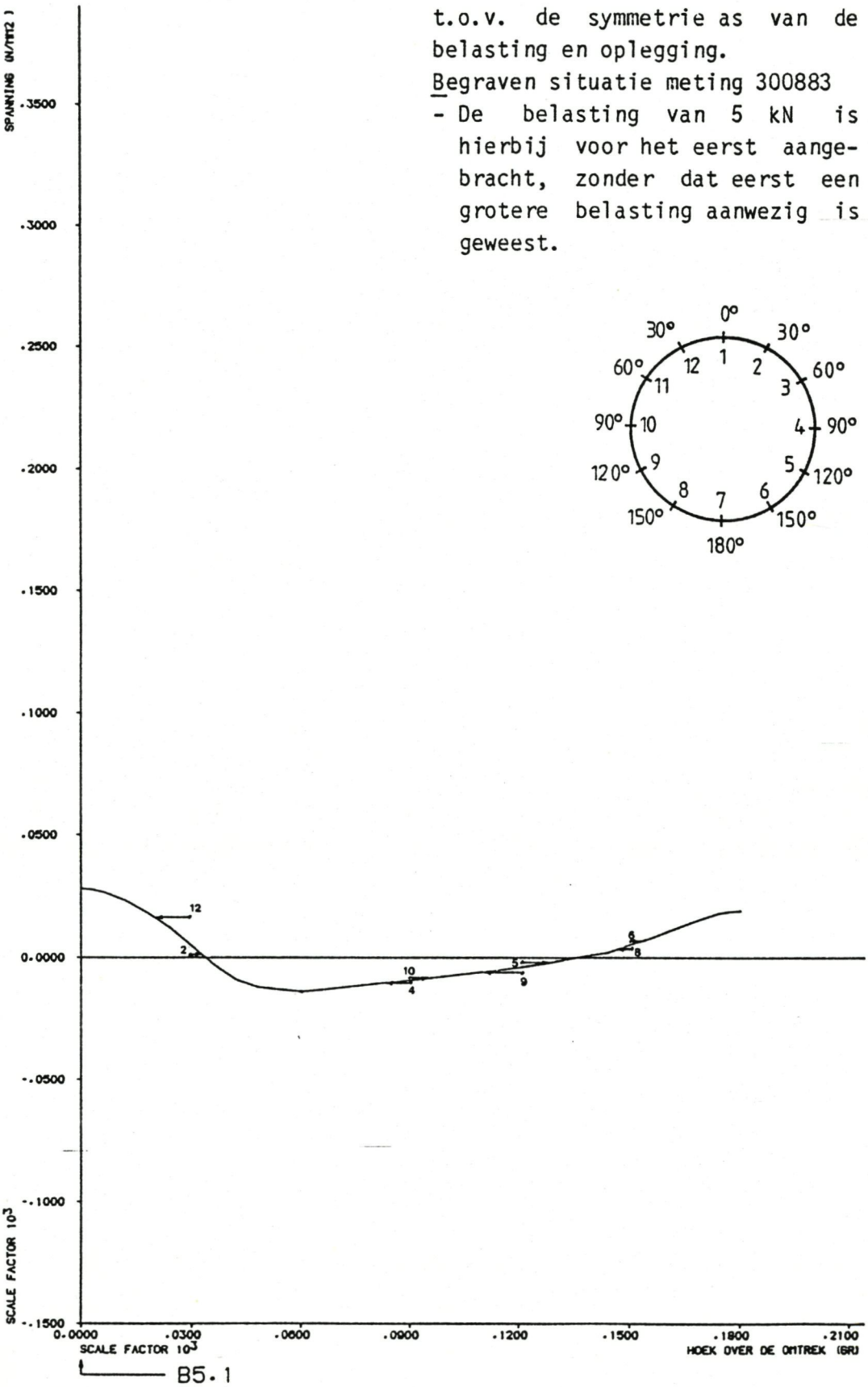


GRAFIEK 2B

GRAFIEK 3 : Illustratie van de asymmetrische opstelling van de meetlocaties t.o.v. de symmetrie as van de belasting en oplegging.

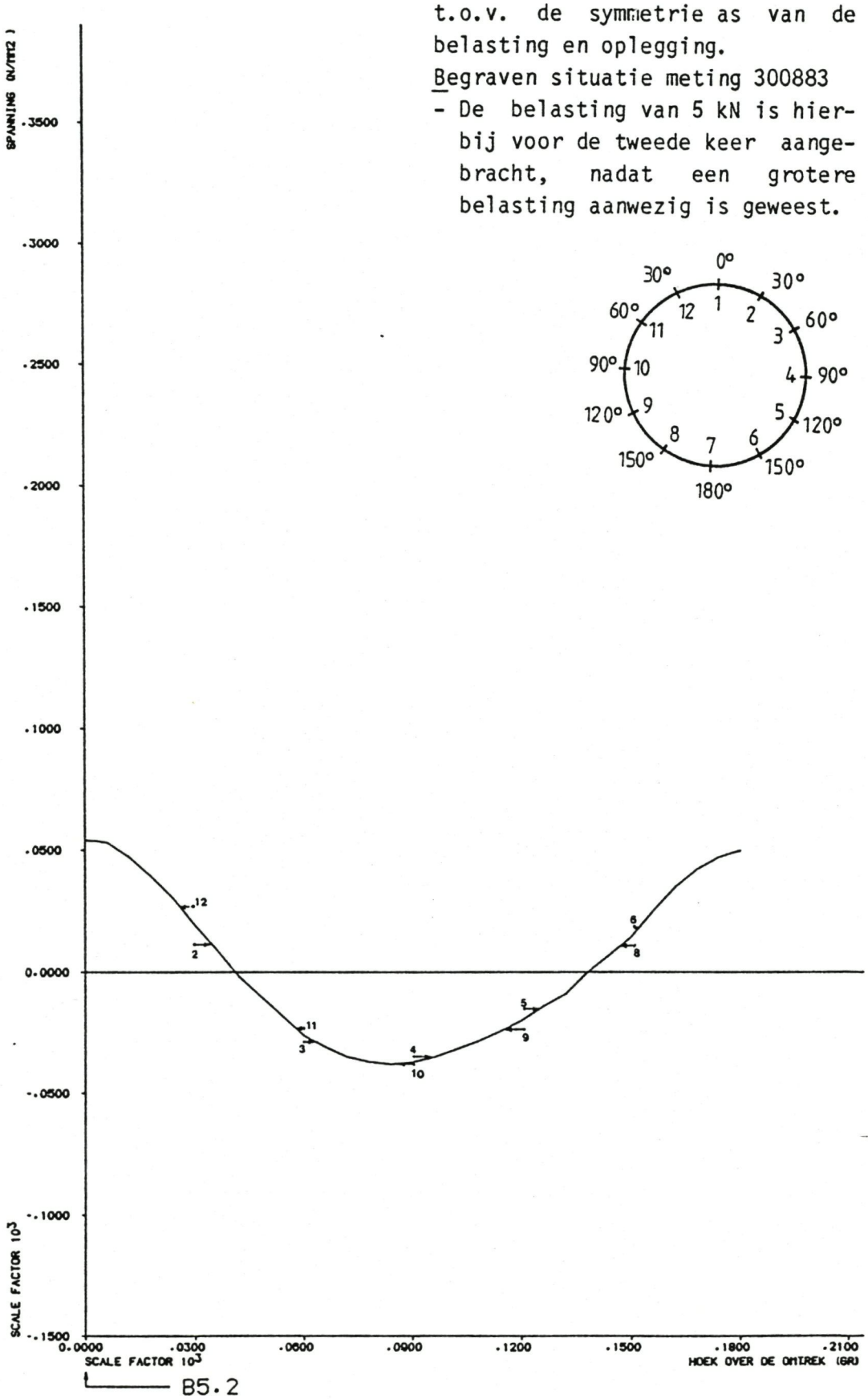
Begraven situatie meting 300883

- De belasting van 5 kN is hierbij voor het eerst aangebracht, zonder dat eerst een grotere belasting aanwezig is geweest.



GRAFIEK 3

GRAFIEK 3A : Illustratie van de asymmetrische opstelling van de meetlocaties t.o.v. de symmetrie as van de belasting en oplegging.
Begraven situatie meting 300883
- De belasting van 5 kN is hierbij voor de tweede keer aangebracht, nadat een grotere belasting aanwezig is geweest.

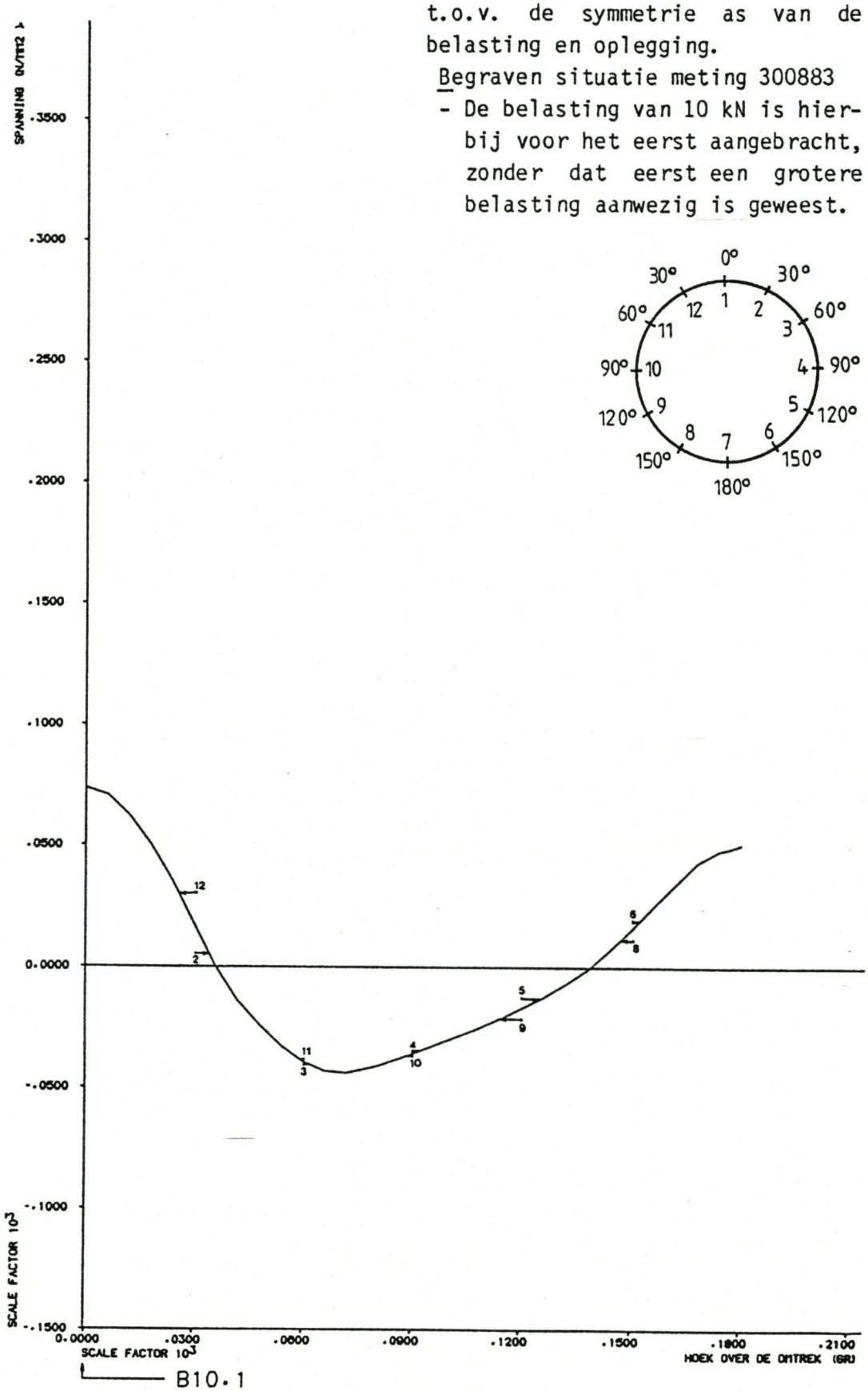


GRAFIEK 3A

GRAFIEK 3B: Illustratie van de asymmetrische opstelling van de meetlocaties t.o.v. de symmetrie as van de belasting en oplegging.

Begraven situatie meting 300883

- De belasting van 10 kN is hierbij voor het eerst aangebracht, zonder dat eerst een grotere belasting aanwezig is geweest.

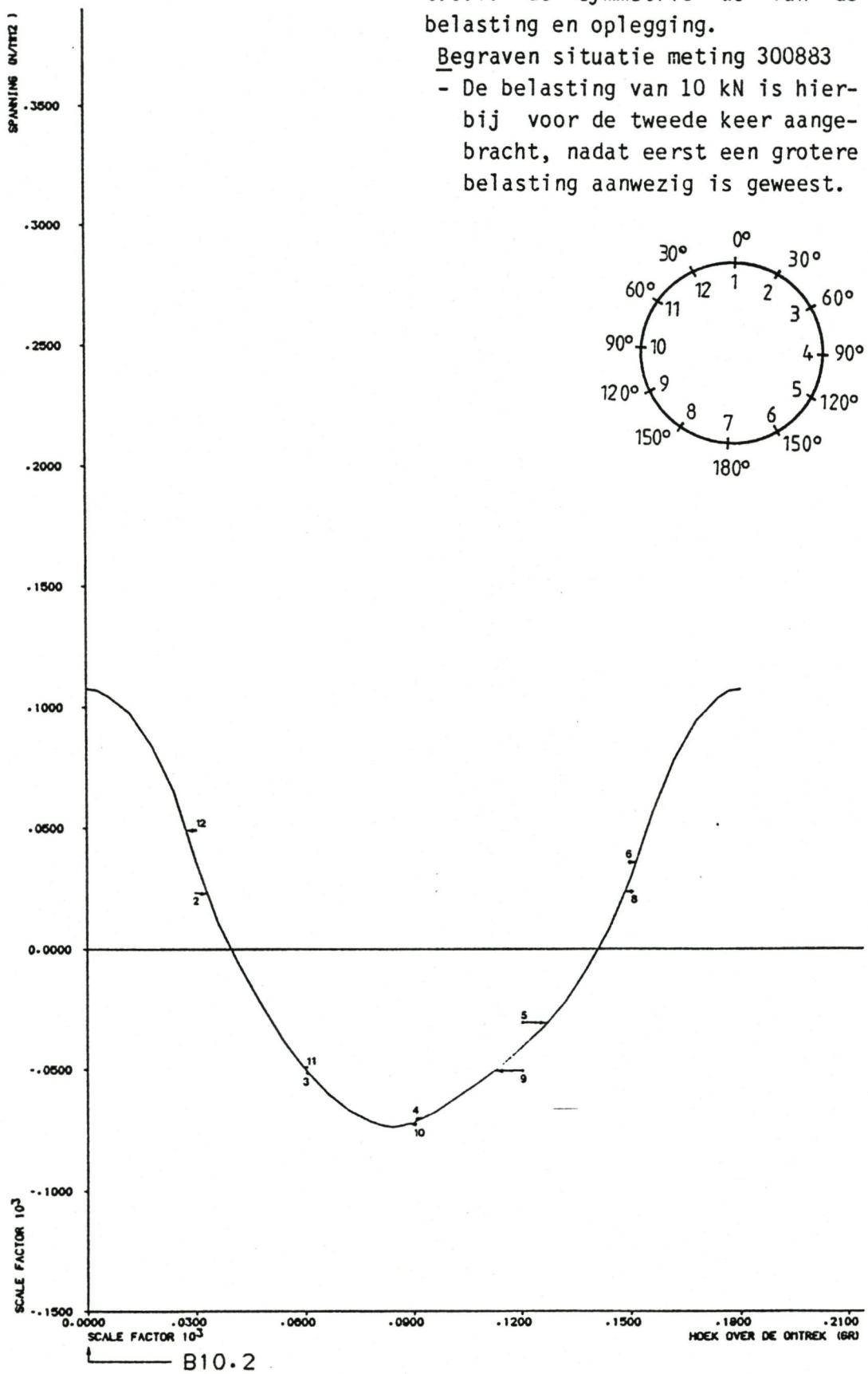


GRAFIEK 3B

GRAFIEK 3C: Illustratie van de asymmetrische opstelling van de meetlocaties t.o.v. de symmetrie as van de belasting en oplegging.

Begraven situatie meting 300883

- De belasting van 10 kN is hierbij voor de tweede keer aangebracht, nadat eerst een grotere belasting aanwezig is geweest.



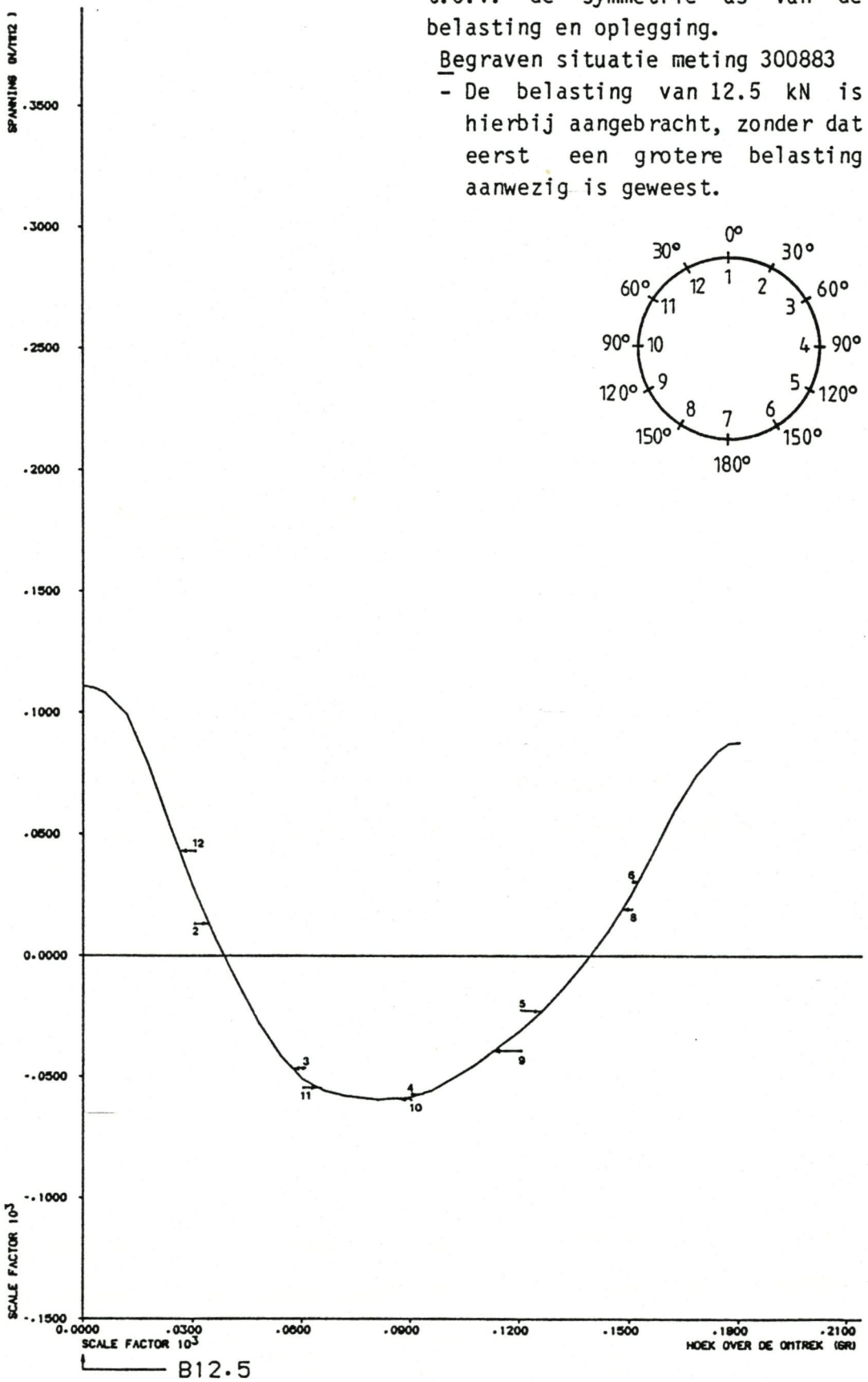
GRAFIEK 3C

B10.2

GRAFIEK 3D: Illustratie van de asymmetrische opstelling van de meetlocaties t.o.v. de symmetrie as van de belasting en oplegging.

Begraven situatie meting 300883

- De belasting van 12.5 kN is hierbij aangebracht, zonder dat eerst een grotere belasting aanwezig is geweest.



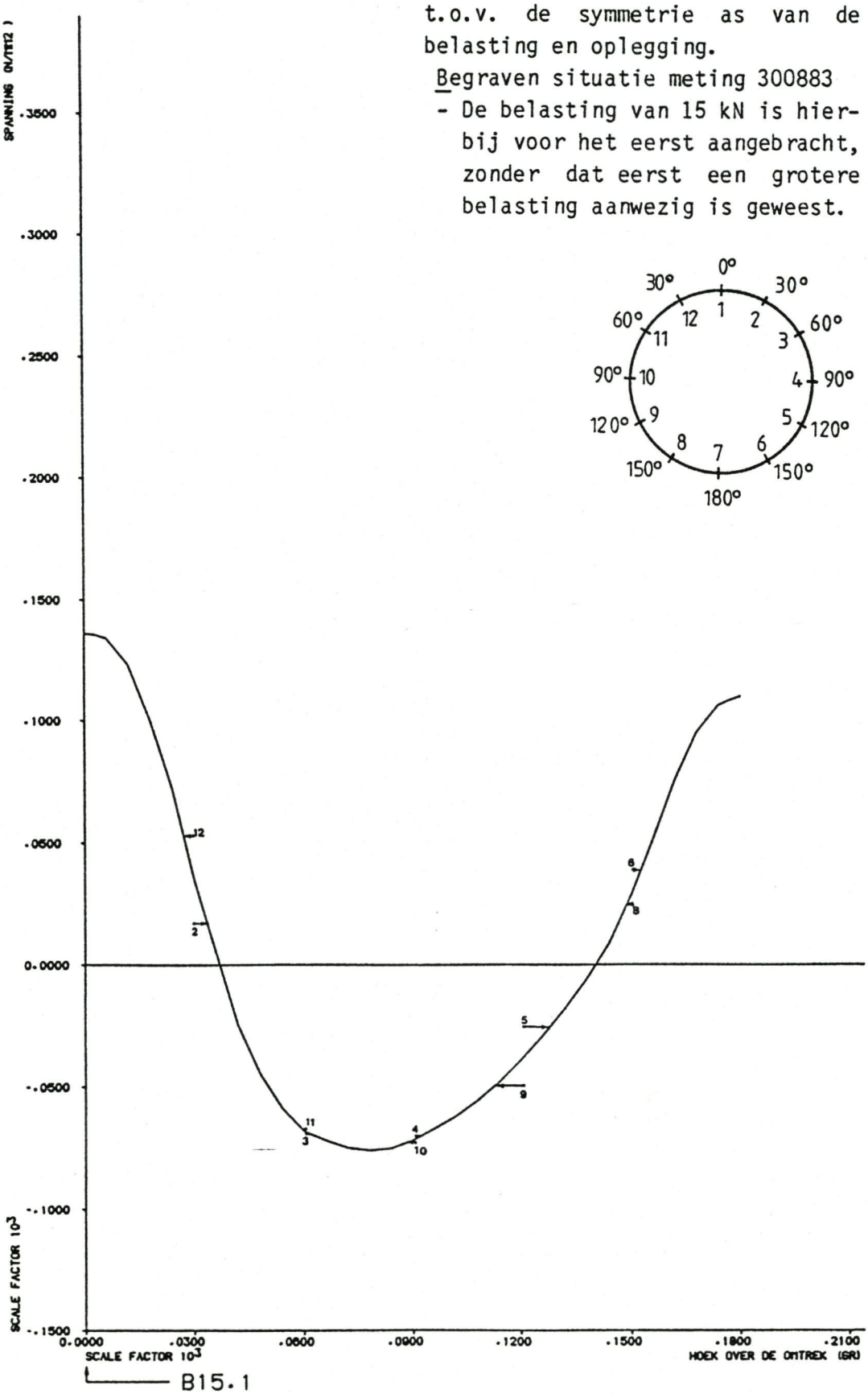
GRAFIEK 3D

B12.5

GRAFIEK 3E: Illustratie van de asymmetrische opstelling van de meetlocaties t.o.v. de symmetrie as van de belasting en oplegging.

Begraven situatie meting 300883

- De belasting van 15 kN is hierbij voor het eerst aangebracht, zonder dat eerst een grotere belasting aanwezig is geweest.

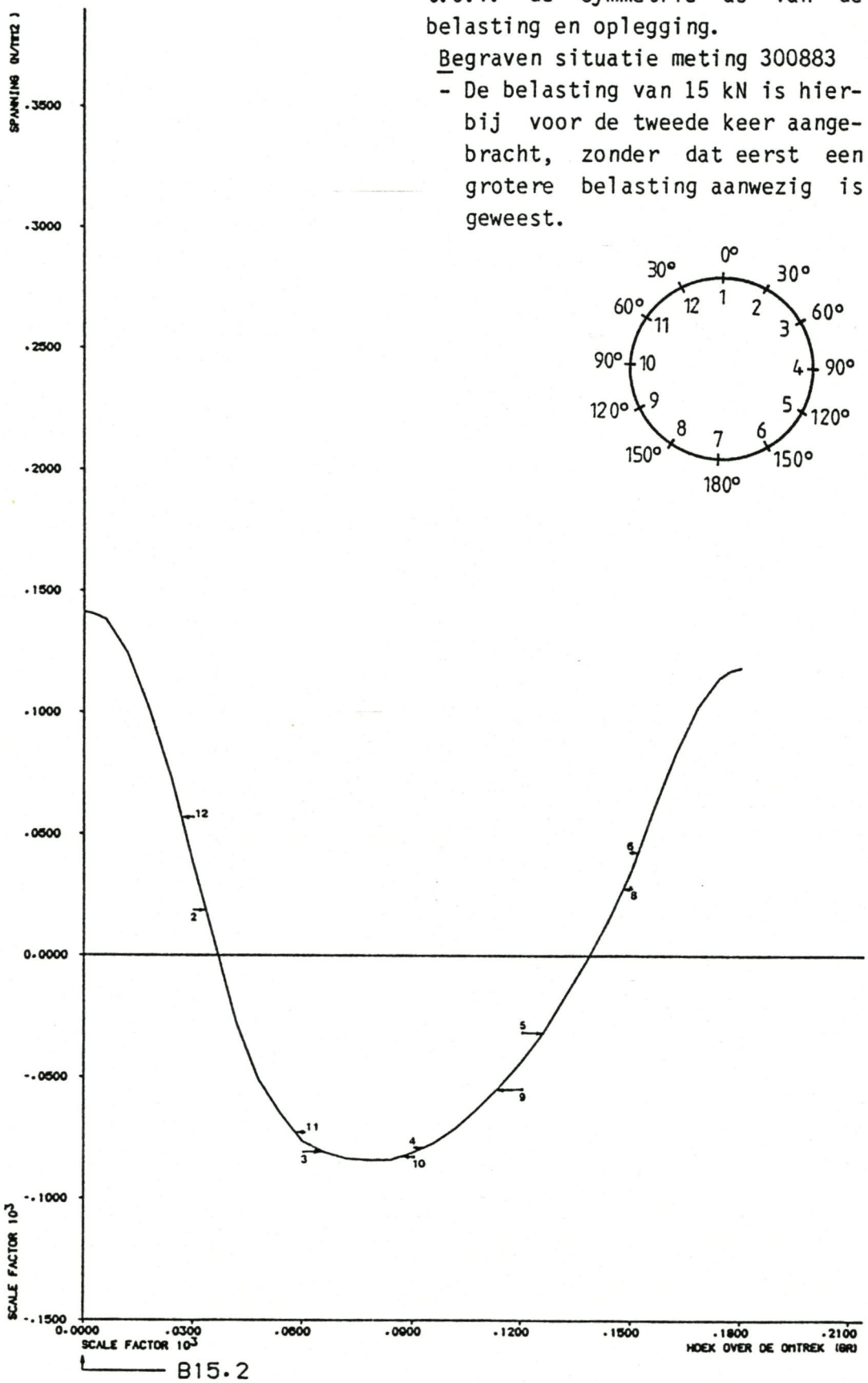


GRAFIEK 3E

GRAFIEK 3F: Illustratie van de asymmetrische opstelling van de meetlocaties t.o.v. de symmetrie as van de belasting en oplegging.

Begraven situatie meting 300883

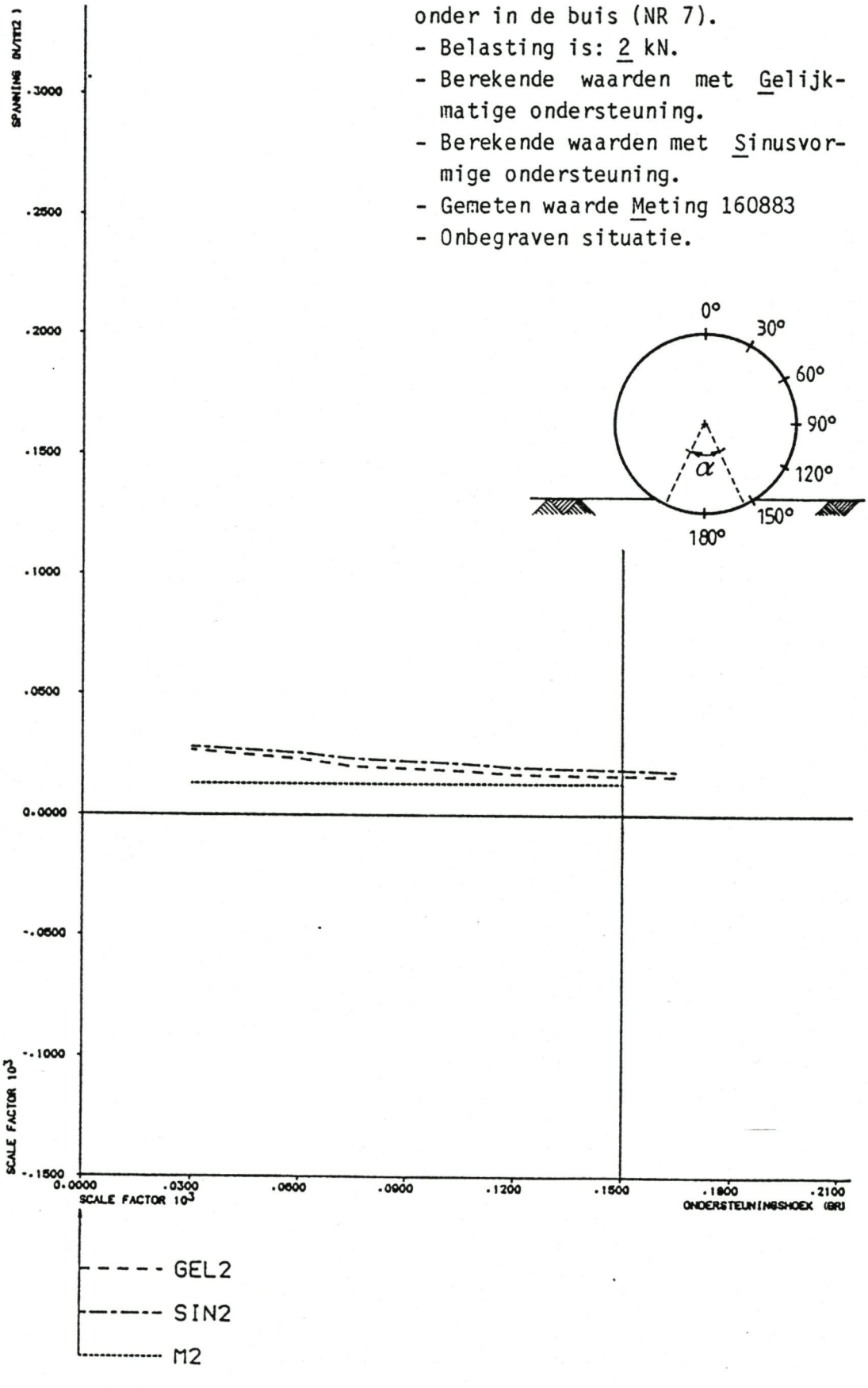
- De belasting van 15 kN is hierbij voor de tweede keer aangebracht, zonder dat eerst een grotere belasting aanwezig is geweest.



GRAFIEK 3F

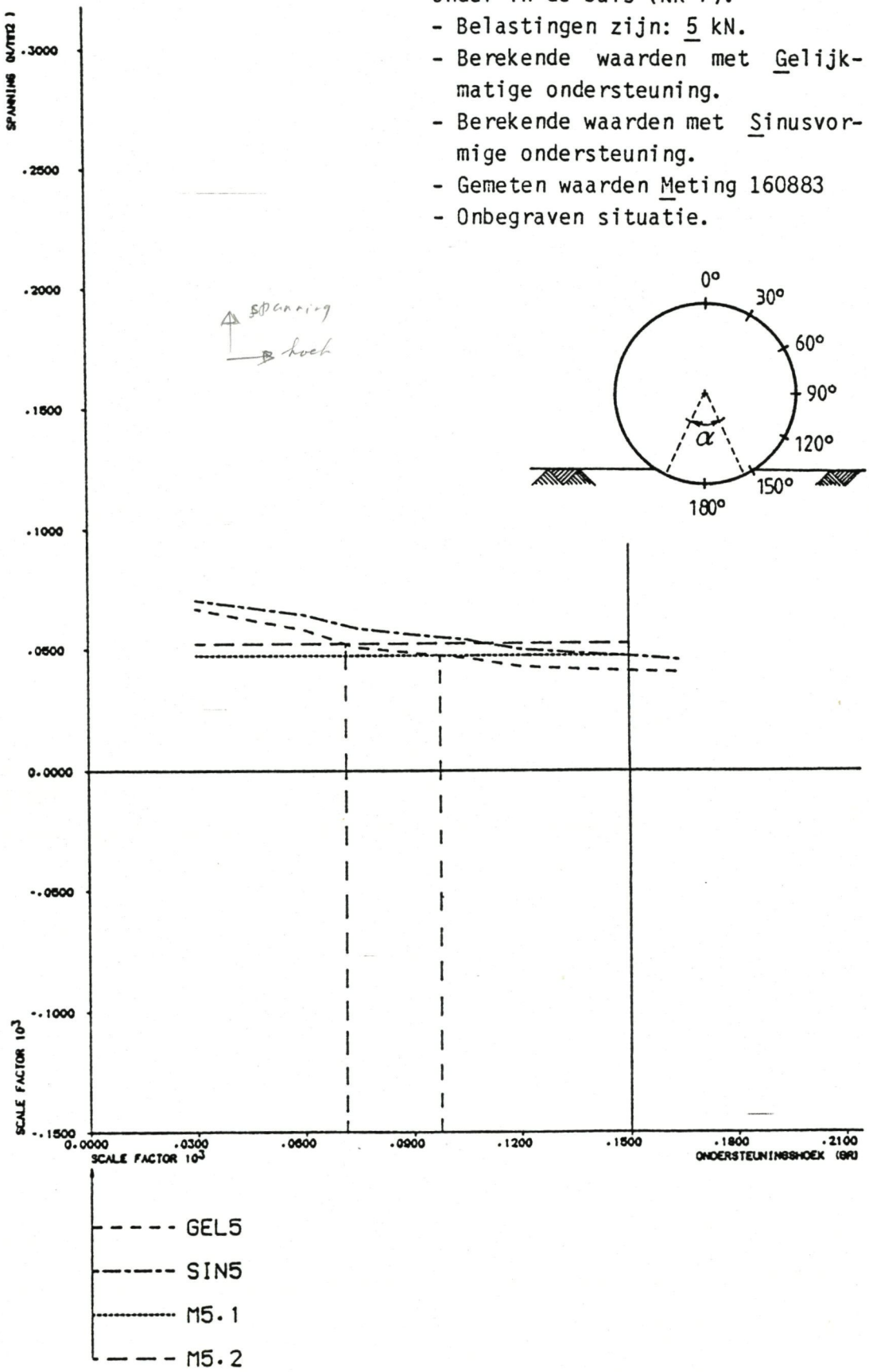
B15.2

GRAFIEK 4 : Relatie tussen de ondersteuningshoek (α) en de buigspanningen onder in de buis (NR 7).
- Belasting is: 2 kN.
- Berekende waarden met Gelijkmatige ondersteuning.
- Berekende waarden met Sinusvormige ondersteuning.
- Gemeten waarde Meting 160883
- Onbegraven situatie.



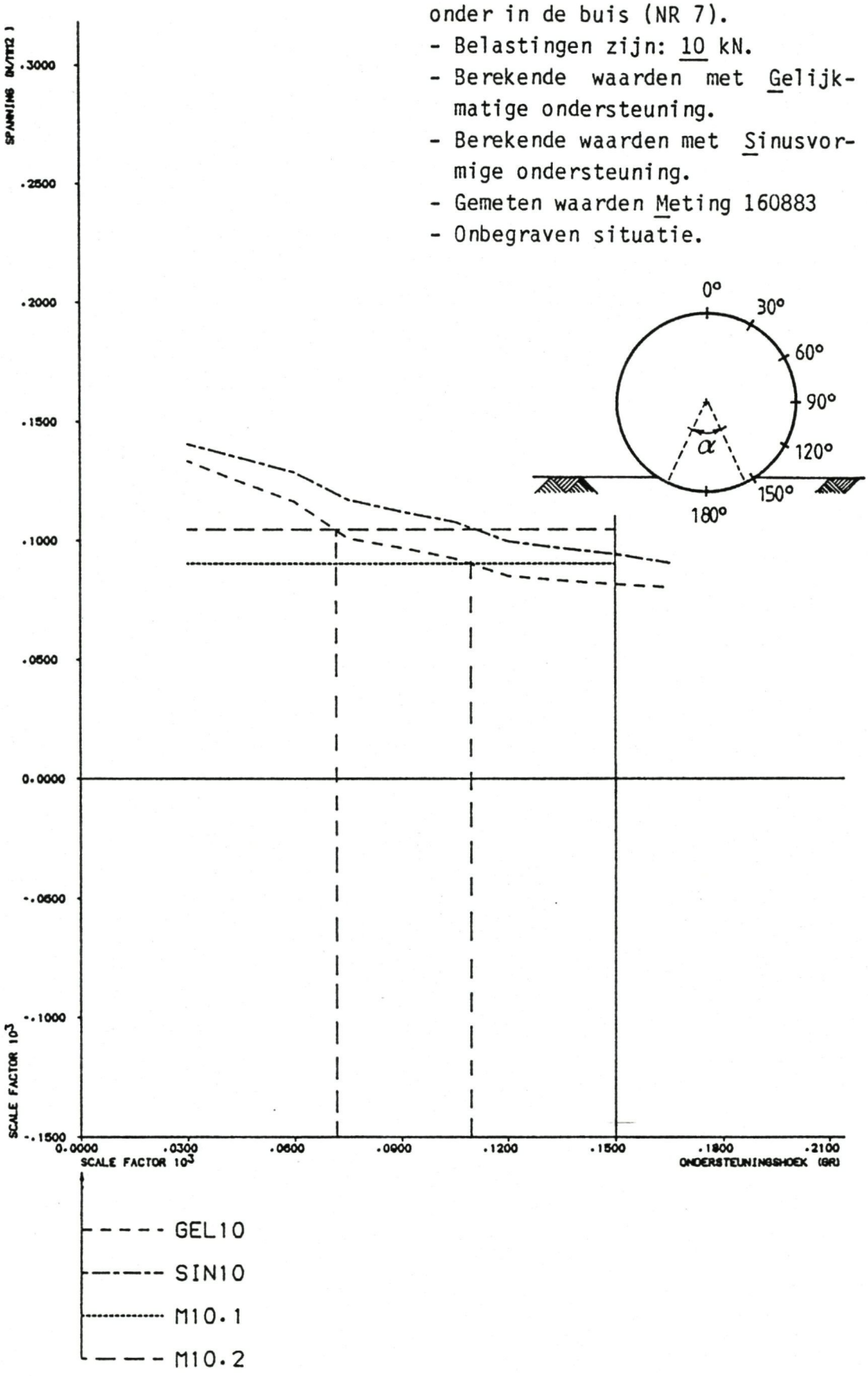
GRAFIEK 4

GRAFIEK 5 : Relatie tussen de ondersteuningshoek (α) en de buigspanningen onder in de buis (NR 7).
- Belastingen zijn: 5 kN.
- Berekende waarden met Gelijkmatige ondersteuning.
- Berekende waarden met Sinusvormige ondersteuning.
- Gemeten waarden Meting 160883
- Onbegraven situatie.



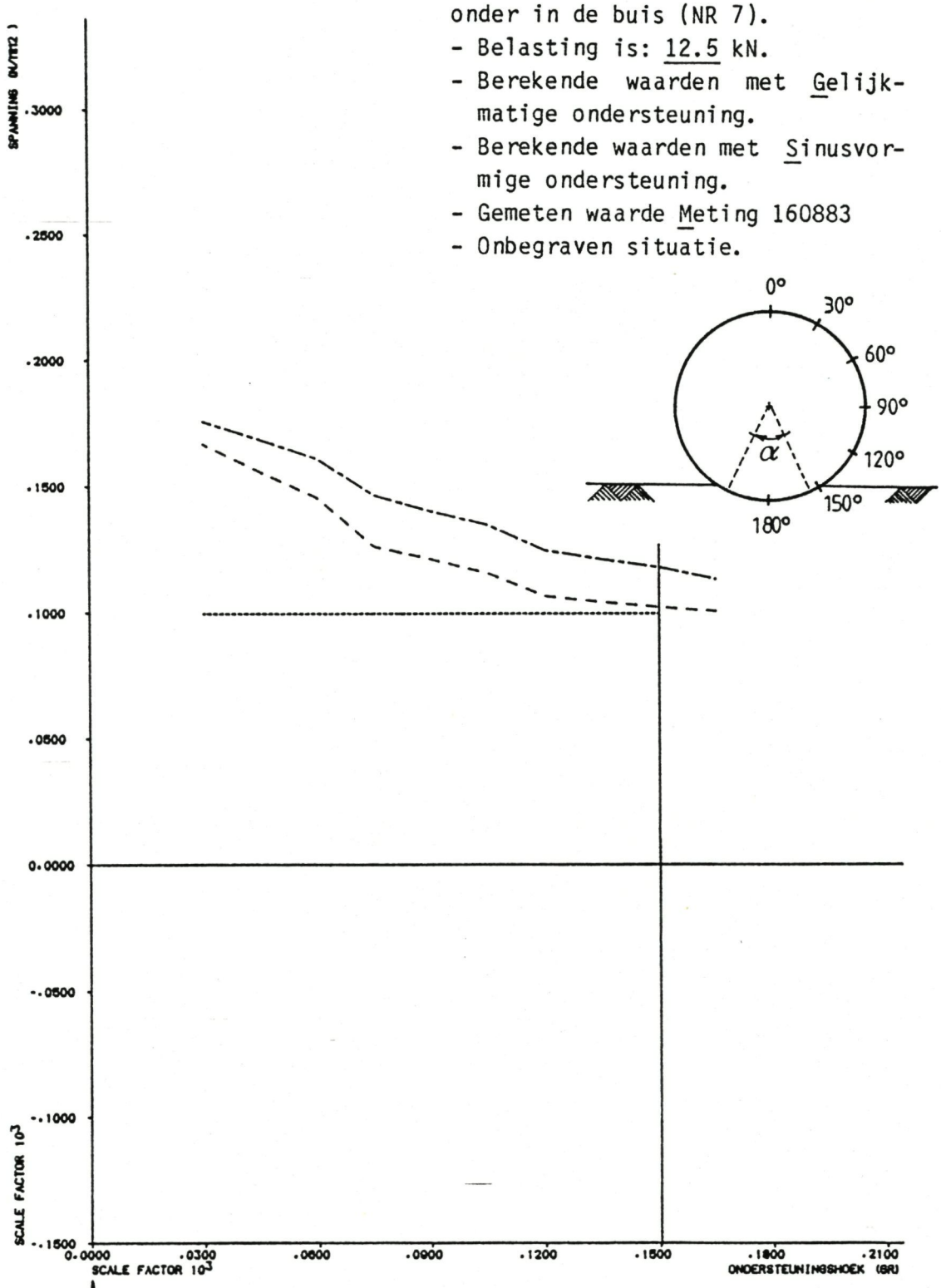
GRAFIEK 5

GRAFIEK 6 : Relatie tussen de ondersteuningshoek (α) en de buigspanningen onder in de buis (NR 7).
- Belastingen zijn: 10 kN.
- Berekende waarden met Gelijkmatige ondersteuning.
- Berekende waarden met Sinusvormige ondersteuning.
- Gemeten waarden Meting 160883
- Onbegraven situatie.



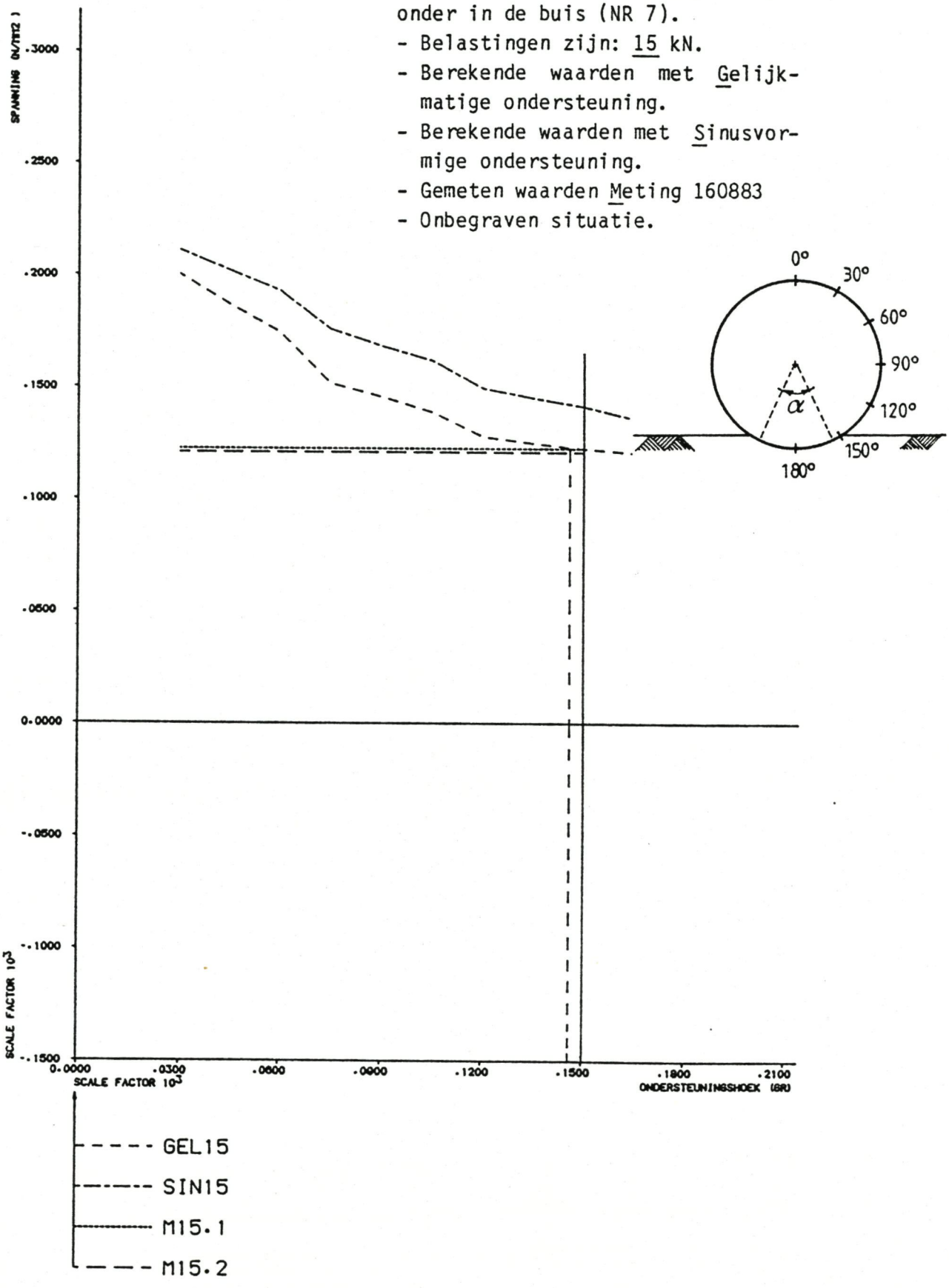
GRAFIEK 6

GRAFIEK 7 : Relatie tussen de ondersteuningshoek (α) en de buigspanningen onder in de buis (NR 7).
- Belasting is: 12.5 kN.
- Berekende waarden met Gelijkmatige ondersteuning.
- Berekende waarden met Sinusvormige ondersteuning.
- Gemeten waarde Meting 160883
- Onbegraven situatie.



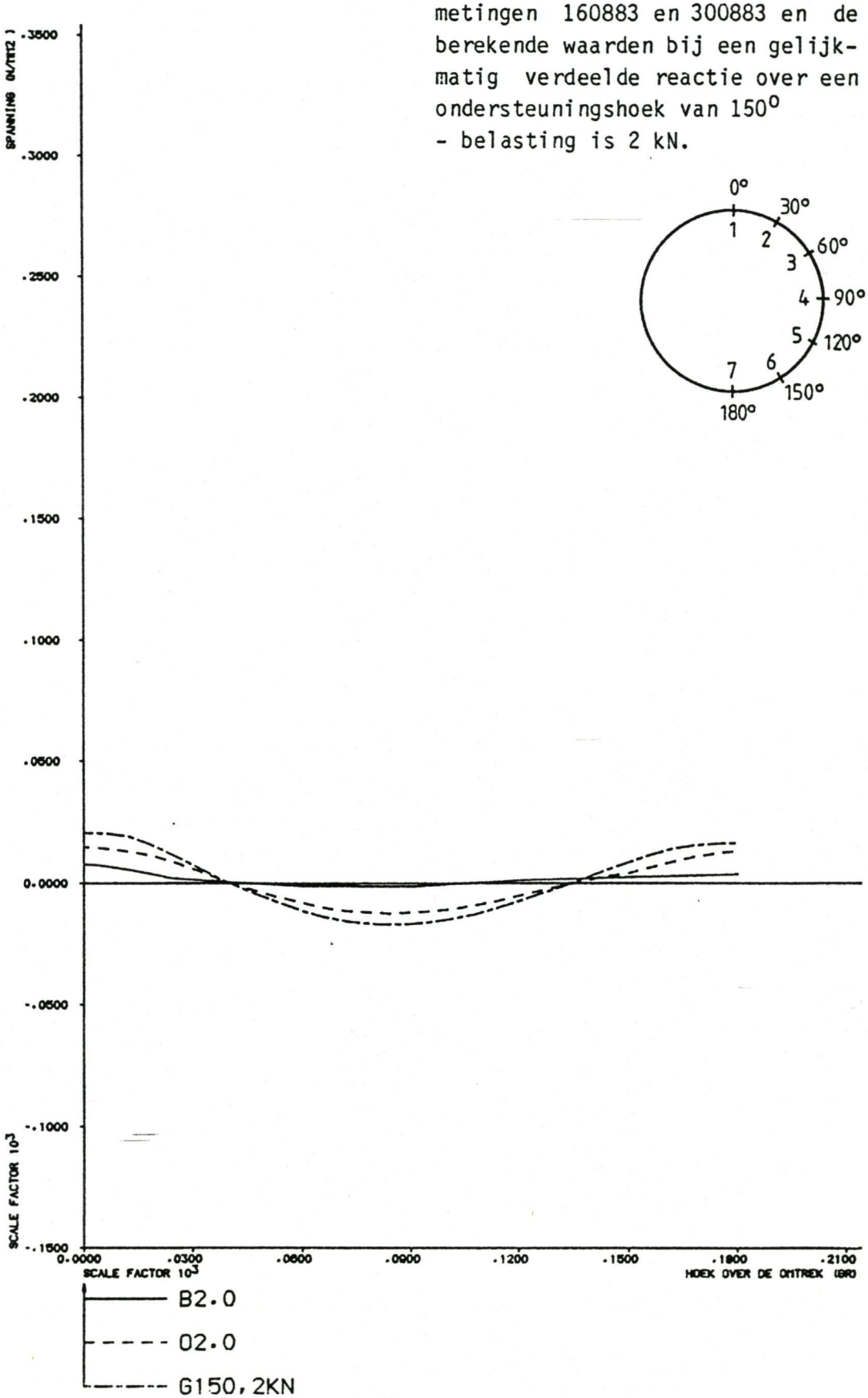
GRAFIEK 7

GRAFIEK 8 : Relatie tussen de ondersteuningshoek (α) en de buigspanningen onder in de buis (NR 7).
- Belastingen zijn: 15 kN.
- Berekende waarden met Gelijkmatige ondersteuning.
- Berekende waarden met Sinusvormige ondersteuning.
- Gemeten waarden Meting 160883
- Onbegraven situatie.



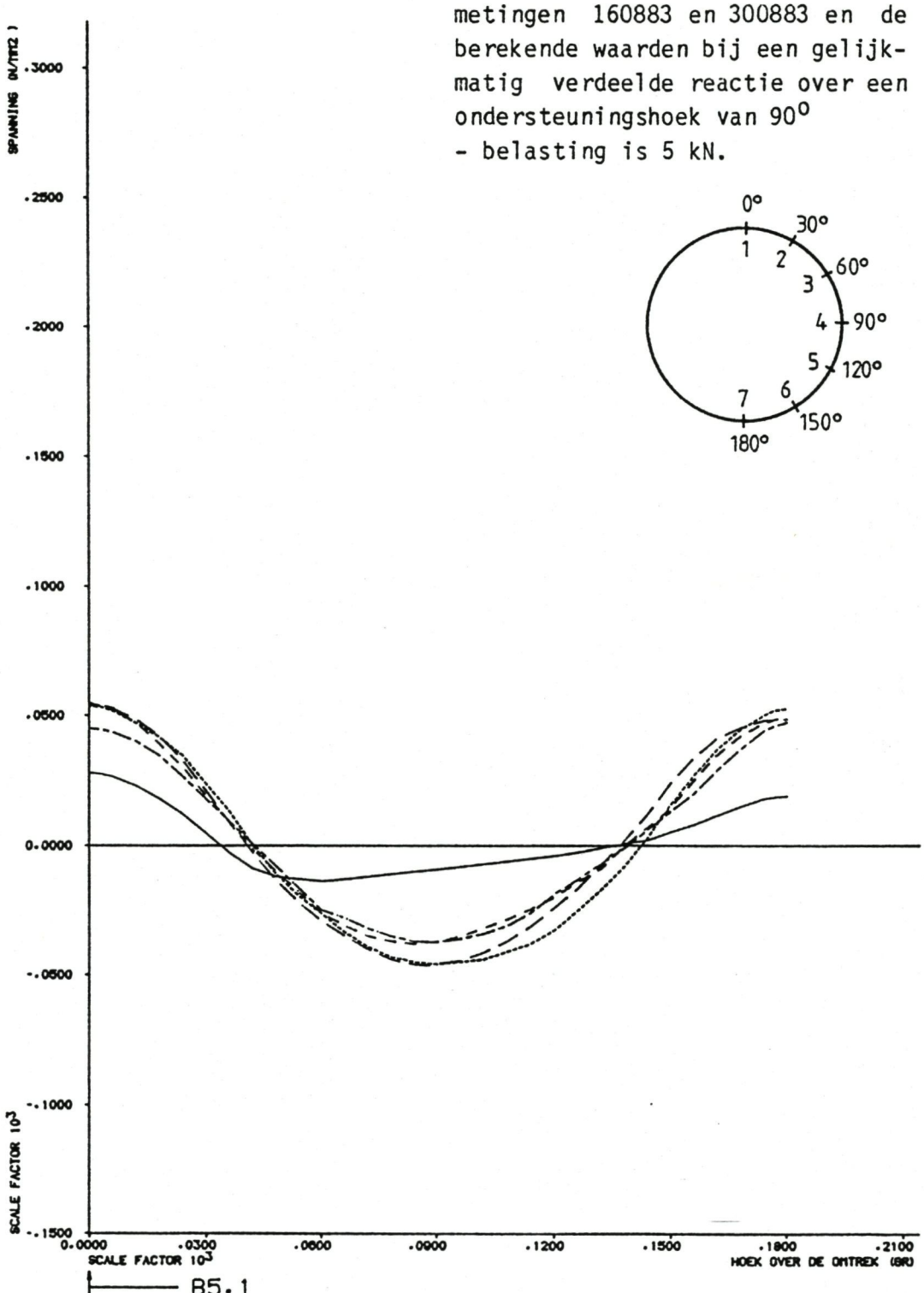
GRAFIEK 8

GRAFIEK 9 : Vergelijk van resulterende spanningen over de omtrek uit de metingen 160883 en 300883 en de berekende waarden bij een gelijkmatig verdeelde reactie over een ondersteuningshoek van 150°
- belasting is 2 kN.



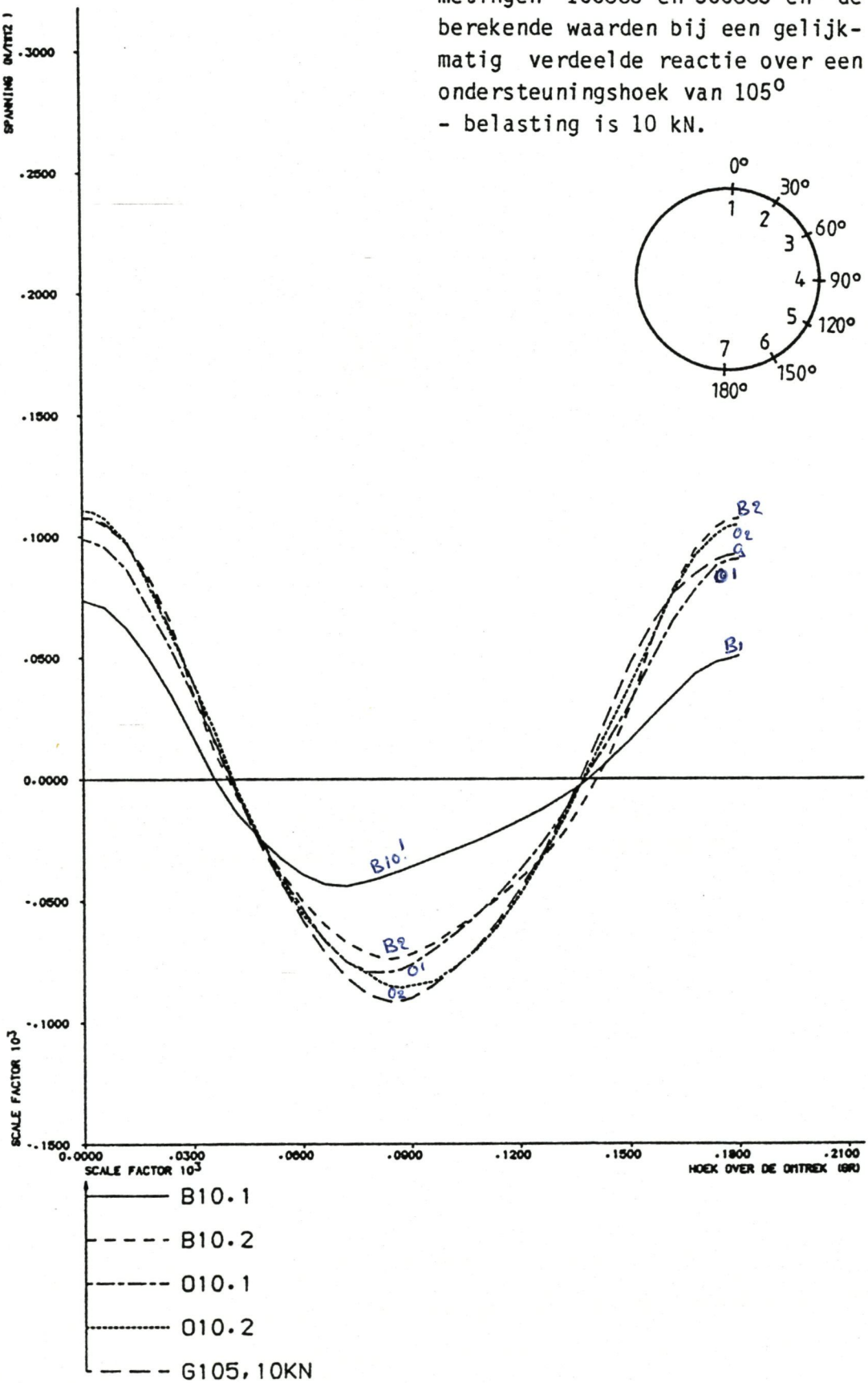
GRAFIEK 9

GRAFIEK 10 : Vergelijk van resulterende spanningen over de omtrek uit de metingen 160883 en 300883 en de berekende waarden bij een gelijkmatig verdeelde reactie over een ondersteuningshoek van 90°
- belasting is 5 kN.



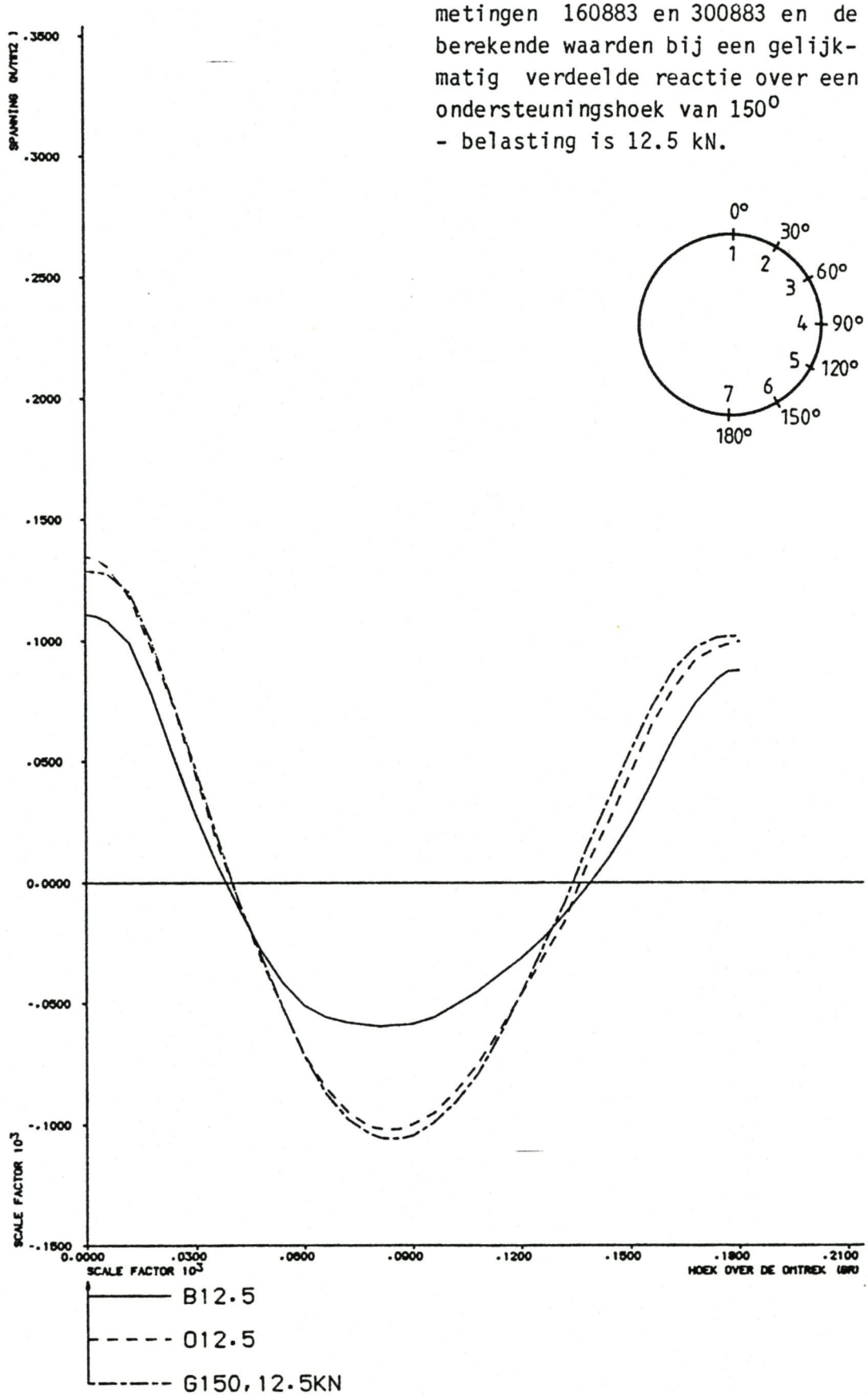
RAFIEK 10

GRAFIEK 11 : Vergelijk van resulterende spanningen over de omtrek uit de metingen 160883 en 300883 en de berekende waarden bij een gelijkmatig verdeelde reactie over een ondersteuningshoek van 105°
- belasting is 10 kN.



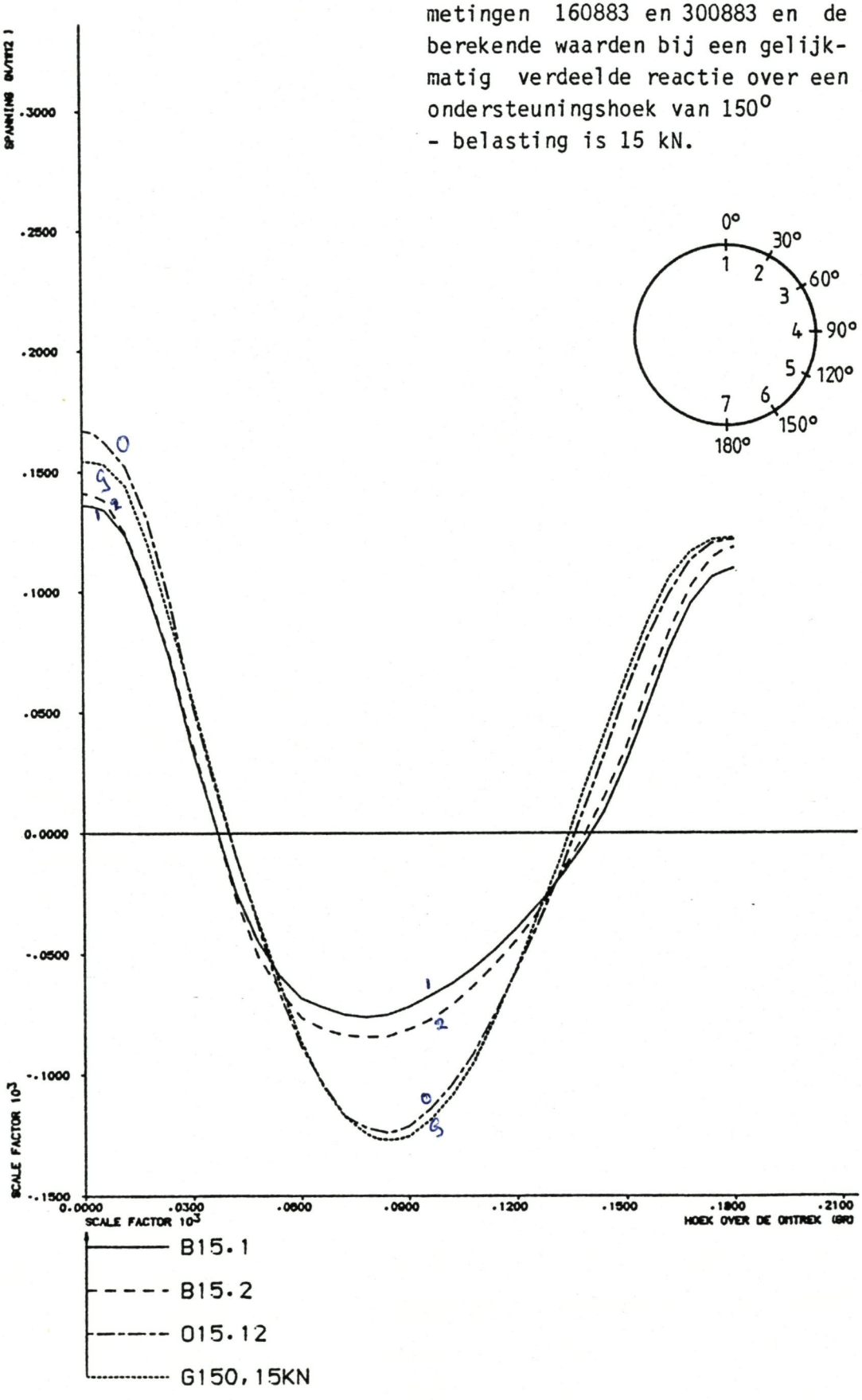
GRAFIEK 11

GRAFIEK 12 : Vergelijk van resulterende spanningen over de omtrek uit de metingen 160883 en 300883 en de berekende waarden bij een gelijkmatig verdeelde reactie over een ondersteuningshoek van 150°
- belasting is 12.5 kN.



GRAFIEK 12

GRAFIEK 13 : Vergelijk van resulterende spanningen over de omtrek uit de metingen 160883 en 300883 en de berekende waarden bij een gelijkmatig verdeelde reactie over een ondersteuningshoek van 150°
- belasting is 15 kN.



GRAFIEK 13

6.EVALUATIE

6.1 Inleiding

Van de uitgevoerde proeven zijn alleen de proeven van 160883 en 300883, respectievelijk de onbegraven en de begraven situatie, uitgewerkt.

Bij de voorlopige uitwerking van de resultaten van alle uitgevoerde proeven was het in eerste instantie de bedoeling om uit te gaan van de spanningen midden onder in de buis (NR 7).
Deze opzet was gekozen om een eenvoudige vergelijking te kunnen maken met de resultaten van de berekeningen, die gemaakt kunnen worden met behulp van de coëfficienten van Spangler, die weergegeven zijn in de Pijpleidingcode 1972 rev. 1984 van de Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland.
Uit de grafieken 4 t/m 8 blijkt echter, dat deze vergelijking niet zo eenvoudig te maken is. De grootte van de berekende opleghoek, en daardoor de coëfficient van Spangler, die gebruikt zou moeten worden, varieert nogal.
Om deze reden is besloten om de spanningsverlopen uit de onbegraven proef (160883) over de halve omtrek van de doorsnede te vergelijken met de resulterende spanningsverlopen uit berekeningen, waarin de opleghoek als parameter is gebruikt evenals de manier waarop de reactie op de doorsnede aangrijpt (gelijkmatig of sinusvormig verdeeld).

6.2 Invloed van de belastingvolgorde.

De grootte van de hoek is onder meer afhankelijk van de volgorde, waarin de belastingen worden aangebracht. Bij een belasting lager dan een belasting, die eerder aangebracht is geweest, blijkt, dat de spanningen in punt 7 hoger zijn dan werd verwacht. Dit wordt veroorzaakt door het verschijnsel van grotere plaatselijke verdichting als gevolg van de voorafgaande grotere belasting, hierdoor krijgt de verdeling van de grondreactie onder de buis bij de lagere belasting meer het karakter van een 'lijnoplegging'.
In hoeverre dit verschijnsel zich ook voordoet bij dynamische verkeersbelastingen en hoge grondwaterstanden kan een zaak van nader onderzoek zijn. Bij de diverse proeven is gebleken, dat deze fenomenen zich voordoen, zowel bij een goed verdichte, als een minder goed verdichte ondergrond c.q. bedding.

6.3 Begraven situatie.

De voornoemde verschijnselen traden ook bij de begraven situatie naar voren. De horizontale ondersteuning vertroebelde het echter enigzins. De gemeten situaties konden rekentechnisch niet goed worden benaderd, omdat er teveel parameters zijn, die het gedrag van de buis beïnvloeden.
Doordat er geen onderscheid gemaakt kan worden tussen de invloed van een grotere ondersteuningshoek en de invloed van de horizontale steundruk van de grond is het via berekeningsmodellen benaderen van de begraven situatie een zeer tijdrovende en kostbare zaak, die binnen het hier gerapporteerde onderzoek niet volvoert kan worden.
Naast bovengenoemde invloeden kan ook nog gedacht worden aan een mogelijke uitdemping van de vervorming van de buisdoorsnede als gevolg van de radiale en tangentiale steun van de grond op de buiswand.

6.4 Vergelijking van onbegraven en begraven situatie.

Bij vergelijking van de meetresultaten van de begraven en de onbegraven situatie wordt geconstateerd, dat de spanningen in punt 7 van de doorsnede in beide gevallen nagenoeg gelijk zijn.
Bij het vergelijken van de berekende en de gemeten spanningen blijkt bovendien, dat vooral bovenin de spanningen toch duidelijk van elkaar verschillen.
De verklaring hiervoor kan worden gevonden in de stijfheid van de kokerbalk en het U-profiel samen, die zodanig is, dat er geen sprake is van volkomen gelijkmatige belasting op de buis in lengterichting gedurende de proeven, waardoor sprake is van een relatief te hoge belasting in het midden van de buis.
Ook een niet precies in het midden van de buislengte geplaatste vijzel geeft afwijkingen in dezelfde orde van grootte, die niet uit de meetresultaten kunnen worden afgeleid, omdat slechts in één doorsnede meetstrookjes zijn aangebracht.
Op dezelfde manier kan ook een niet-gelijkmatig verdeelde reactie van de ondergrond in lengterichting afwijkingen in de spanningsverdeling onder in de buis veroorzaken.
De invloed van de bovengenoemde onvolkomenheden wordt echter tegengewerkt door stijfheid van de buis tegen ovalisaties. De lengte van de invloedssfeer van lokale ovaliserende vervormingen is bepalend voor de invloed van bovengenoemde fenomenen op de grootte van de spanningen. In dit geval zou de uitdemplengte van een lokale ovalisatie 2193 mm bedragen naar weerszijden bij een

veel langere buis als waarvan hier sprake is. De lengte van de onderhavige buis is echter dusdanig kort, dat bovengenoemde invloeden hier afwijkingen kunnen veroorzaken van minder dan 10 %

6.5 Aanbevelingen en opmerkingen t.a.v. toekomstige proeven.

Voor toekomstige proeven wordt geadviseerd om de belasting over meerdere punten op de buis over te brengen en tevens in tenminste twee doorsneden meetstrookjes aan te brengen.
Tevens is het aan te bevelen om de belastingrange meerdere keren te doorlopen. Ook zouden meerdere teruggaande belastingstappen in de belastingrange moeten worden opgenomen.
Een van de dingen, die tijdens de uitwerking ook naar voren kwam, was de onbekendheid met de orientatie van de rekstrookjes t.o.v. de vertikaal. De meetresultaten, waarvan was aangenomen, dat ze symmetrisch t.o.v. de vertikaal zouden moeten zijn, bleken niet symmetrisch te zijn. In hoofdstuk 5 is aangegeven, dat deze afwijking geen invloed uitoefent op de resultaten weergegeven in tabel 3 omdat de spanningen gemiddeld zijn.
Bij deze proeven is ook gebleken, dat de rekstrookjes gevoelig zijn voor de veranderingen in de vochtigheidsgraad van de ruimte, waarin de proeven zijn gedaan. Enkele van de meetstrookjes zijn nl. uitgevallen tijdens de metingen. Daarom ware het beter geweest om snel achter elkaar alle metingen te verrichten.
Om het verloop van de spanningen over de omtrek beter te kunnen weergeven is het voor toekomstige proeven aan te raden om meer dan 12 rekstrookjes over de omtrek aan te brengen.

Het verdient voorts aanbeveling om nader onderzoek te doen naar de vorm van de verdeling van de ondersteuning en de effecten van verkeersbelastingen en wisselende grondwaterstanden op het gedrag van de buis.
Naar verwachting zullen de resultaten van dergelijk onderzoek aanzienlijk lagere spanningen te zien geven, dan tot dusver worden berekend. Het verwerken van deze resultaten in de rekenmodellen voor pijpleidingen kan dan bijdragen tot meer inzicht in het gedrag van pijpleidingen, waardoor veiliger en goedkoper kan worden gekonstrueerd.

bl 65, onder zeker voorbehoud gehandhaafd.

7. SUPPLEMENT: Uitgebreide beschrijving van de proeven.

Aangegeven zijn de doelstellingen en de proeven die verricht zijn. Daarnaast is aangegeven hoe de opstelling van de metingen zal zijn en waar rekstroken op de buiswand zijn aangebracht.

Door diverse oorzaken is het aantal van de uit te voeren proeven opgelopen van drie (één onbegraven, één begraven en één controlemeting) proeven opgelopen tot zes. Enerzijds doordat er tijdens de proeven een en ander niet verliep volgens de uitgangspunten, anderzijds doordat tijdens het uitwerken van de resultaten van de proeven aspecten naar voren kwamen die nader onderzoek nodig maakte.

Tijdens de proeven bleek dat de rekstrookjes kwetsbaar zijn voor vocht en voor mechanische impulsen als gevolg van het voortdurend verplaatsen en installeren van de buis voor de diverse proeven.

Op warme dagen bleek zo nu en dan, dat bij metingen, die in 't begin van de middag werden uitgevoerd een rekstrookje afwijkende resultaten aangaf ten opzichte van de metingen in de ochtend, die daaraan voorafging.
Dit fenomeen bleek zich ook meer te manifesteren bij de rekstrookjes, die aan de binnenzijde van de buis zijn aangebracht, dan bij de rekstrookjes die aan de buitenzijde van de buis zijn aangebracht.

Door de zeer langzame toename van het aantal rekstrookjes, dat afwijkende resultaten geeft en door het geringe totale aantal ervan, zijn de gevolgen op het eindresultaat beperkt.

Proef 120783

Doel :
Deze metingen, uit te voeren met het volledige belastingschema, waarbij de buis aan de onderzijde gedeeltelijk is aangevuld tot een hoogte van ca. 0.09 m, zullen de gegevens moeten leveren voor de bepaling van de opleghoeken.

Uitgevoerd :
De inrichting van de bak en het vullen met het zand is overeenkomstig de omschrijving uitgevoerd. Het verdichten van het zand is gerealiseerd door de bak driemaal met water te vullen en dit water via de onderzijde af te voeren.

Op het op deze wijze verdichte zandbed is de buis aangebracht en voor de meting gereed gemaakt. De aangegeven aanvulling tot een hoogte van ca. 0.09 m om een beddingshoek te maken is echter niet aangebracht.

Tijdens het belasten volgens het afgesproken schema blijkt de buis ca. 0.045 m in het zand te zakken.

Gezien de lage sondeerwaarde, slechts 0.5 à 0.7 N/mm^2, van het zand en de daardoor optredende zetting van de buis van ca. 45 mm, met als gevolg mogelijk een te gunstige ontwikkeling van de spanningen in de buis, wordt de proef geheel opnieuw uitgevoerd. De dichtheid van het zand moet dan een sondeerwaarde hebben van 5 à 7 N/mm^2.
Voor de resultaten van de metingen en de geotechnische aspecten wordt verwezen naar de bijlagen.

Proef 100883

Doel :
Bij de proef van 100783 zijn de sondeerwaarden aan de lage kant gebleken. De proef wordt opnieuw uitgevoerd. Met behulp van een trilplaat zal de grond extra verdicht worden, waarbij de sonderingen nu waarden van 5 à 7 N/mm^2 aan moeten geven.

Uitgevoerd :
De bak is reeds ingericht en het zand is met behulp van een trilplaat nu voldoende verdicht. Op het zand wordt de buis geplaatst en voor de metingen gereed gemaakt.
De onderzijde van de buis is tot een hoogte van ca. 0.09 m met zand aangevuld. Het zand tegen de buis aan is verdicht door het met de voeten aan te stampen. De verdichting van dit zand is niet gemeten.

Direct na het begin van de proef is, waarschijnlijk veroorzaakt door een verkeerde aflezing, de belasting op de buis te hoog opgevoerd. De belasting, de vervorming van de buis en de spanningen in de buis ten tijde van de grootste belasting zijn niet geregistreerd. Na opmeting bleek de buis ca. 0.017 m in het zand te zijn weggedrukt. Door een draaiing van de buis zijn de verrichte metingen geheel onbruikbaar.

Na het gedeeltelijk uitvlakken en verdichten van het zandbed is de buis tegen de middag opnieuw geplaatst. Daarna is zand los tegen de buis aangebracht en in verband met het tijdstip van de nieuwe start is een aangepast meetprogramma uitgevoerd. Gemeten is met de belastingrange "0"-2-5-10-15-"0" kN. Op een latere datum wordt de proef nogmaals uitgevoerd.

Voor de resultaten van de metingen en de geotechnische aspecten wordt verwezen naar de bijlagen.

Proef 160883

Doel :
Bij deze proef zal de buis (nogmaals) op het zand worden aangebracht zodat het spanningsverloop behorende bij het vastgestelde belastingschema kan worden doorgemeten.

Uitgevoerd :
Het zandbed, zoals het bij de voorgaande metingen is gebruikt, is ongeroerd gebleven. Uit de sondeergegevens blijkt, dat de verdichting steeds beter wordt. Op dit verdichte zandbed is de buis ingericht voor het meetprogramma. Over een hoogte van ca. 0.09 m is de buis aangevuld. Het zand onder tegen de buis is verdicht door er met de steel van de schop tegen te stampen.
De gehele meting en het afgesproken belastingschema zijn zonder problemen uitgevoerd.

Voor de resultaten van de metingen en de geotechnische aspecten wordt verwezen naar de bijlagen.

Proef 300883

Doel :
Bij deze proef wordt de buis geheel omhuld met zand. Getracht wordt om in vergelijking met de voorgaande proeven een reële indruk te krijgen van de invloed van een horizontale ondersteuning op de spanningen en daaruit de ondersteuningshoeken te bepalen.

Uitgevoerd :
De bak is, vergeleken met de voorgaande metingen, met ca. 0.60 m zand opgevuld. Dit zand is in lagen van ca. 0.15 m aangebracht en verdicht met behulp van een trilapparaat. Het onderliggende zand is niet meer verdicht en niet geroerd.

Na het aanbrengen van het extra zandpakket is hierin een sleuf uitgegraven om de buis, de balkjes, die de belasting overbrengen, en de vijzel aan te brengen. Voor de "werkstabiliteit" is het zand zeer licht bevochtigd. De gebruikte sleuf heeft een onderbreedte van ca. 1.20 m en een bovenbreedte van ca. 2.00 m. Het zand in de sleuf en naast de buis is verdicht door het met de voeten aan te stampen.
Het meetprogramma is 's ochtends uitgevoerd.

In verband met de aanwezigheid van alle deelnemers is 's middags nog een aangepast programma ("0"-5-12-"0"-"0"-*-"0"-12-"0" kN) doorgemeten. Bij * is er met een hamer tegen de bak geklopt. Door deze trilling kan het zand, als het door de vervormingsverschillen van de buis los van de buiswand is gebleven, weer tegen de buis komen, zodat bij het opbrengen van een volgende belasting een eventuele invloed kan blijken. Voor zover kon worden nagegaan blijkt dit effect niet uit de resultaten.

Voor de resultaten van de metingen en de geotechnische aspecten wordt verwezen naar de bijlagen.

Proef 270184

Doel :
Tijdens de diverse metingen zijn de resultaten steeds enigszins uitgewerkt, zodat bij een volgende meting met de ervaringen uit de voorgaande metingen rekening kan worden gehouden.

De proef, waarbij de buis op het zand is geplaatst en met een willekeurig belastingprogramma is belast, diende globaal de volgende doelen:
- toetsen van de in de discussie over de resultaten van de vorige proeven gevonden verklaring van de restspanningen.
- controleren of er toevalligerwijze geen belasting aanwezig is door het e.v. niet goed functioneren van de vijzel.
- toetsen van de nauwkeurigheid van de aflezingen en de werking van de afleesapparatuur.

Uitgevoerd :
De bak is na de vorige metingen niet verplaatst (te zwaar) en niet leeggemaakt. Het zand is niet losgewoeld. Na de proef van 300883 is de bovenste ca. 0,6 m zand verwijderd, daarna is het zand steeds afgedekt geweest met een plasticfolie.

Voor de proef is deze folie verwijderd en de buis is voor de meting op het zand aangebracht. Het zand is bij deze proef niet onder tegen de buis aangevuld. Er zijn ook geen sonderingen meer gemaakt. Daarna is de volgende belastingrange uitgevoerd:

0-"0"-2-"0"-2-"0"-2-5-10-* kN.

Hierbij is : 0 kN - rekverdeling in de buis zonder gewicht van de vijzel enz.;
"0" kN - rekverdeling in de buis inclusief het gewicht van de vijzel enz.

Bij * zou de belasting worden opgevoerd tot 15 kN. Doordat de U-balk niet gefixeerd was, is de buis gaan draaien, voordat de gewenste belasting bereikt werd, Het punt midden boven in de buis is daarbij ca. 19.5 mm geroteerd (het hart van de buis is dus ca. 9.75 mm verplaatst). Met de scheefstaande vijzel en een belasting van ca. 8 kN zijn de rekken gemeten.
Na de meting is de vijzel enz. verwijderd. De buis is hierna niet verplaatst noch teruggedraaid. Daarna is het geheel van U-balk, vijzel enz. recht boven de buis geplaatst. In tegenstelling tot de eerdere metingen zitten de rekstrookjes nu een weinig gedraaid ten opzichte van de horizontale en vertikale assen (de invloed hiervan op het gemiddelde van de spanningen in de punten, die nagenoeg symmetrisch ten opzichte van de symmetrieas van de belasting en de oplegreactie liggen is verwaarloosbaar klein).
Daarna zijn nog de volgende belastingen doorgemeten :
0-"0"-8-"0"-(15)-"0" kN.

Ook nu is de 0-meting uitgevoerd voordat de vijzel enz. is aangebracht. De belastingstap van (15) kN is niet gemeten. Er is alleen gekeken of er nog een zetting zou optreden. Dit is niet geconstateerd.

Bij deze metingen is geconstateerd dat, nadat de belasting eenmaal tot een hogere waarde is opgevoerd, de buis geen zettingen meer ondergaat.

Voor de resultaten van de metingen wordt verwezen naar de bijlagen.

Proef 200684

Doel :
Door alle handelingen met, de opslag van de buis en optredend vocht zijn in de loop der tijd een toenemend aantal rekstrookjes een afwijkend gedrag gaan vertonen of zelfs geheel uitgevallen.
Daardoor lijkt, het alsof het spanningsverloop niet meer symmetrisch over de buis omtrek is.
De onregelmatigheid in de symmetrie van de resulterende spanningen kan ook veroorzaakt worden door restspanningen in de buis.
Om hierin inzicht te krijgen, wordt de controleproef uitgevoerd, waarbij de oplegging wordt gevormd door een U-balk met dezelfde afmetingen als voor het overbrengen van de belastingen wordt gebruikt. Bij deze proef is alleen de belasting van 10 kN gemeten.

Uitgevoerd :
De proef is tweemaal uitgevoerd. De eerste keer heeft de buis dezelfde stand als bij alle andere uitgevoerde proeven. Bij de tweede keer is de buis over 180^{o} gedraaid.

Tussentijds is nog een meting uitgevoerd waarbij de buis over 90^{o} is gedraaid. Door de bevestigingsconstructie van de meetklokjes is echter de vrije vervorming van de buis belemmerd.

Bij deze proef is de verstijvingsbalk niet gebruikt. Daardoor is het spanningsverloop aan de bovenzijde van de buis niet vergelijkbaar met het verloop aan de onderzijde, waar het U-profiel op het zand ligt.
Door de afwezigheid van de verdelende invloed van de verstijvingsbalk zijn de spanningen bovenin duidelijk hoger dan onderin de buisdoorsnede.
Door al de bovengenoemde invloeden zijn de meetresultaten niet vergelijkbaar met de resultaten van de berekeningen.

Voor de resultaten van de metingen wordt verwezen naar de bijlagen.

Bijlage I
Berekening belastingoverdracht en dimensionering van de proefbak.

Gemeentewerken Rotterdam
Ingenieursbureau Wegen- en Waterhuishouding

BELIPO februari 1983

Leidingproef

Toetsen van de huidige uitgangspunten voor de berekening van de buisdwarsdoorsnede aan de praktijk

1. Inleiding

In kleine onderzoeken aan reeds gelegde leidingen is gekonstateerd dat de opleg- en steunhoeken in de praktijk groter zijn dan tot op heden aangenomen wordt. Economischer dimensioneren lijkt, met inachtname van alle veiligheden, mogelijk te zijn.
Dit is zowel voor nieuw te leggen leidingen als voor het inschatten van de veiligheid van bestaande leidingen van belang.
Eventuele aanpassingen, voor wat deze laatste categorie betreft, kunnen dan tot een minimum worden beperkt.
Om bovenstaande effecten te bereiken, zullen in eerste instantie de geotechnische randvoorwaarden aan een kritische beschouwing worden onderworpen.
De opleg- en steunhoeken zijn hoogst waarschijnlijk de meest relevante parameters bij het bepalen van radiale buisspanningen.
Naar alle waarschijnlijkheid neemt de grootte van deze hoeken toe in de tijd en is mede een funktie van de belastingen.
Het bepalen van deze invloeden zal een zeer kostbare en tijdrovende zaak zijn.
Teneinde de hiervoor benodigde "proef" zo efficiënt mogelijk te kunnen opzetten wordt gestart met een "laboratorium proef".
Doel hiervan is ervaring op te doen met het opstellen van de proef, de geotechnische aspekten en kontroles, het verwerken van de verkregen gegevens en het voldoende inzicht verkrijgen in de opleg- en steunhoeken o.i.v. statische belastingen zodat de "proef" voldoende gemotiveerd wordt.
Kostenbesparende vereenvoudigingen bij deze lab proef worden aangebracht indien de effecten op de proefresultaten voldoende kunnen worden ingeschat en het gestelde doel (bijna) niet beïnvloeden.
Tevens zal gebruik gemaakt worden van een voor een eerdere proef geprepareerde buis met de volgende afmetingen:
L = 760 mm
Du= 323,9 mm
T = 4,8 mm.
Deze buis is voorzien van 24 rekstrookjes, evenredig verdeeld over de binnen- en buitenzijde van de buiswand. De beslissing tot uitvoering van de "(full-scale) proef" zal pas dan genomen worden nadat de resultaten van de laboratoriumproef bekend zijn en een verantwoorde kosten/baten-analyse gemaakt is.

2. Laboratoriumproef

2.1. Bepaling opleghoek uitgaande van vervormingen en rekken

Uit de gemeten vervormingen en rekken zullen de momenten en normaalkrachten worden berekend. Met gebruikmaking van de schematisatie

volgens Spangler kan de momentfaktor en de bijbehorende aan te houden opleghoek worden bepaald.
Voor de vorm en grootte van de optredende ondersteuning is mede van belang hoe de bovenbelasting aangrijpt op de buis.
Onder punt 2.4. wordt nader ingegaan op de invloed die diverse mogelijkheden van het aanbrengen van de belastingen hebben op de momenten onder in de buis en de opleghoek èn op de afmetingen van de bak waarin de proef zal plaatsvinden.

2.2. Beproevingsserie

Gestart wordt met een eerste serie proeven, waarbij de buis slechts over een klein gedeelte (120°) ondersteund wordt.
Bereikt wordt met deze opstelling dat de invloed van de horizontale steundruk voor het doel verwaarloosbaar klein zal zijn.
In een aanvullende metingsserie wordt de buis opnieuw in het zand geplaatst, doch nu wordt tot ongeveer 0,3 m boven de buis aangevuld.
Bij de bepaling van de opleghoek wordt nu ook de invloed van de horizontale steundruk meegenomen.
Door herberekening volgens 2.1. wordt nu opnieuw de "bijbehorende" opleghoek bepaald.
In beide gevallen wordt de belasting direkt op de buis overgebracht zoals onder 2.4. is aangegeven.

2.3. Belasting-range

Een gronddekking van 1 m geeft op deze buis een equivalente belasting van ongeveer 5 KN.
Met dit als uitgangspunt is een belastingsschema als volgt samengesteld:

$$0 - 2 - 5 - 10 - 5 - 0 - 12^{5} - 15 - 10 - 0 - 15 - 0 \text{ kN}$$

2.4. Proefopstelling

Bovenbelasting

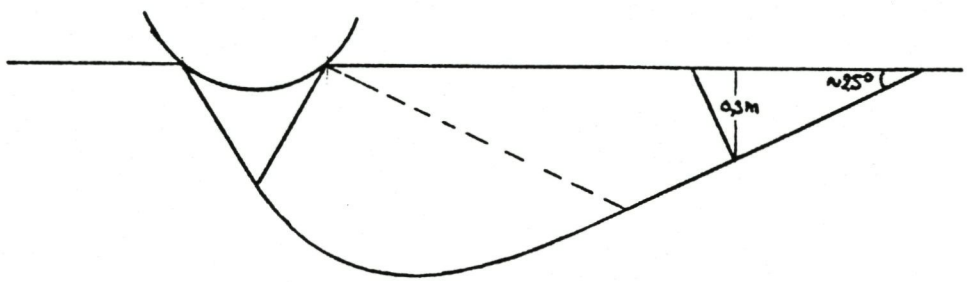
Het op de juiste wijze aanbrengen van de belasting zal een ingewikkelde en dure konstruktie vergen. Ingeschat is het effekt op de opleghoek bij het aanbrengen van de belasting over een belastinghoek van ca 30°.
Uit de gemaakte berekening (zie bijlage) blijkt dat de vorm van de spanningskarakteristieken aan de onderzijde van de buis bij verschillende belastinghoeken overeenkomen.

Gekozen wordt een oplegging d.m.v. een U-balk met een breedte van ± 9 cm. Tussen de U-balk en de buis wordt, t.b.v. een gelijkmatige oplegging, een rubberslab aangebracht.

Bakafmetingen

De afmetingen van de bak worden zowel door de afmetingen van de buis bepaald als door de geotechnische gegevens van het te gebruiken zand.

De inwendige wrijvingshoek φ van het te gebruiken zand zal in de orde van 40° liggen. Indien de proefbak zo groot moet zijn dat de schuifvlakken, berekend volgens de methode Peantl, zich moeten kunnen ontwikkelen, zal de bak ca. 5 m breed moeten zijn. Deze breedte kan worden teruggebracht doordat bij de voorgestelde belastingen het evenwichtsdraagvermogen bij lange na niet bereikt zal worden (het evenwichtsdraagvermogen wordt volgens berekening bereikt bij een belasting op de buis van ca. 100 KN). Om randverschijnselen die desondanks op zouden kunnen treden op te vangen wordt nabij de rand het zand afgegraven als volgt:



De breedte van de bak kan daardoor teruggebracht worden tot $\pm$ 3,5 m.

De diepte onder de buis wordt aangehouden op $\pm$ 0,9 m , zodat tussen de bodem van de bak en de "wig van Prantl" nog $\pm$ 0,2 m zand is.

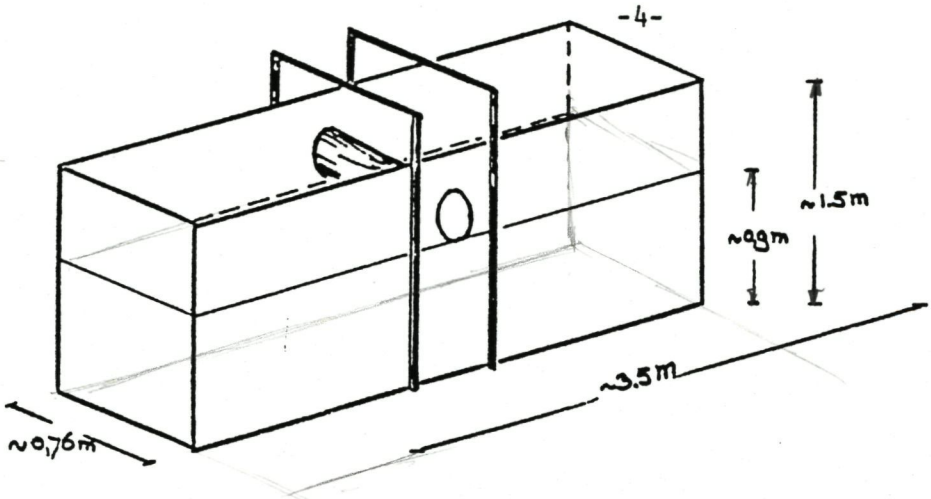
De voor- en achterkant van de bak hebben, zonder voorzorgsmaatregelen, een remmende invloed op het tot stand komen van de schuifvlakken. Door tussen de bak en het zand twee plastik-folies aan te brengen, die zijn ingesmeerd met zeep, wordt ook deze weerstand tot zeer kleine waarden teruggebracht.

Bovengenoemde maatregelen zullen gezien de maximaal aan te brengen belasting t.o.v. het bezwijkdraagvermogen voldoende zijn om de na te streven doelen met voldoende nauwkeurigheid te bereiken.

Voor de tweede serie proeven, dus met een zandaanvulling tot ca. 0,3 m boven de buis, wordt de bak opgehoogd tot (0,9 + 0,3 (=diam) + 0,3)$\sim$ 1,5 m.
Om de horizontale steundruk niet door de bak te laten opnemen moet de breedte minimaal bedragen:

$$B = \text{diam} + 2 * \text{diam} * \text{tg}\,(45 + \tfrac{\varphi}{2})$$
$$\sim 1{,}7 \text{ m} < 3{,}5 \text{m}.$$

De maten van de bak zijn dan $L * b * h = 0{,}76 * 3{,}5 * 1{,}5\ m^3$.



De lange wanden worden verstevigd om ongewenste geotechnische aspekten, als gevolg van uitbuiging, te voorkomen.

2.5. Metingen

De buis is aan binnen- en buitenzijde reeds voorzien van rekstrookjes. Uit de hieruit gemeten vervormingen worden de momenten en normaalkracht over de doorsnede berekend.
Door terugrekening wordt hieruit de bijbehorende opleghoek berekend.

Om ook de verplaatsing en de vervorming van de buis t.o.v. de bak te meten, en mede om een konkrete meting te verkrijgen, worden vanuit het midden van de buis door middel van meetklokjes (8 stuks) metingen verricht.

Deze metingen worden verricht bij de niet aangevulde en de aangevulde buis. Hierdoor kan tevens inzicht worden gekregen in de invloed van horizontale steunkracht.

2.6. Geotechnische gegevens

Grondsoort

De keuze van de grondsoort zand is gebaseerd op de volgende overwegingen.
Ten eerste heeft zand eigenschappen die tamelijk eenvoudig zijn vast te leggen en die niet of nauwelijks tijdsafhankelijk zijn zoals bij klei en veen.
Gezien de doelstelling van deze proef zijn eventuele tijdsafhankelijke aspekten van ondergeschikt belang.

Ten tweede liggen leidingen, die aan relatief hoge uitwendige belastingen worden blootgesteld, meestal in het zandbed van een weglichaam. Ook in leidingenstroken in stedelijk of industiegebied zal dikwijls zand worden aangetroffen.

Ten derde komt het vrij frequent voor dat in zand een oplegzône ontstaat, hetgeen gecombineerd met een relatief hoog draagvermogen en dito beddingsconstante leidt tot spanningsconcentraties.

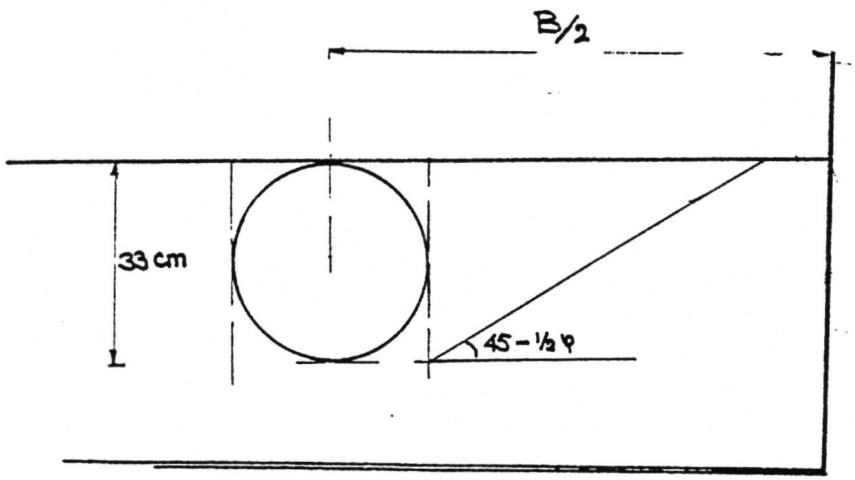
Ten vierde omdat verwacht wordt dat het voordeel in zand groter zal zijn dan in klei en veen.
Klei en veen zullen consolideren en zand niet. Bovendien is het aanvullen met zand kwalitatief gezien beter beïnvloedbaar.

Grondmechanische parameters

De te bepalen grondmechanische parameters zijn de opleghoek, de beddingsconstante en het grensdraagvermogen van de grond. De opleghoek zou direkt te bepalen zijn indien in de buiswand gronddrukdozen worden geïnstalleerd.
In dit geval, voor de eenvoudige proef, wordt hiervan afgezien vanwege de relatief hoge kosten.
Het ligt in de bedoeling de werkelijke opleghoek terug te rekenen uit de gemeten spanningen en vervormingen van de buis.
De beddingsconstante kan min of meer direkt worden bepaald uit plaatdrukproeven aan weerzijden van de buis.
Voor de proef wordt ruim naast de buis een tweetal plaatdrukproeven uitgevoerd om vooraf de beddingskonstante te bepalen en de grond nabij de buis niet extra te verdichten.
Na de proef worden vlak naast de buis en ter plaatse van de oplegging plaatdrukproeven uitgevoerd.
Om het grensdraagvermogen van de grond te berekenen wordt de inwendige wrijvingshoek φ van de grond bepaald door middel van een cel- of triaxaal proef.

Horizontale steundruk

Het effekt van de horizontale steundruk wordt nagegaan door na de eerste proef de (verhoogde) bak aan te vullen tot $\pm$ 0,3 m boven de buis en vervolgens de proef te herhalen.
Uitgaande van $\varphi = 40^{o}$ wordt de noodzakelijke minimale breedte van de bak bepaald zoals is aangegeven in onderstaand figuur.



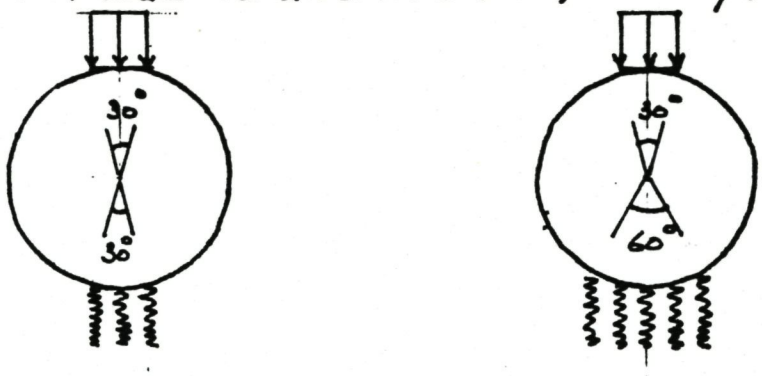
Een bakbreedte van $\pm$ 3,5 m is hiervoor ruim voldoende.

Uitvoering van de proef

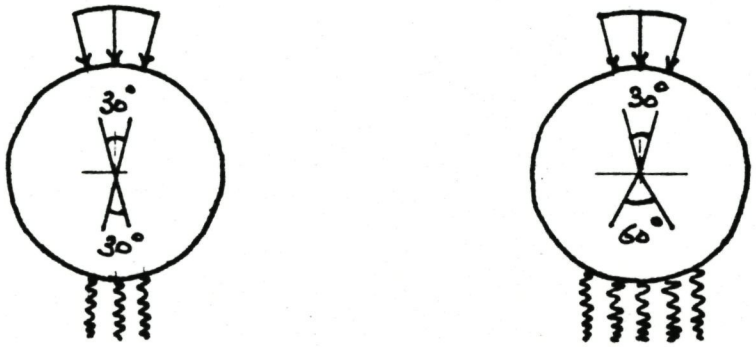
De proef moet zodanig worden uitgevoerd dat een zo dicht mogelijk bij de werkelijkheid aansluitende ingraving van de buis ontstaat. Daartoe zal tot het niveau van de onderkant van de buis de zandlaag worden ingewaterd en boven dit niveau het zand los worden aangebracht.

TOTALE VERTIKALE BELASTING : 13,158 N/MM' BUIS.

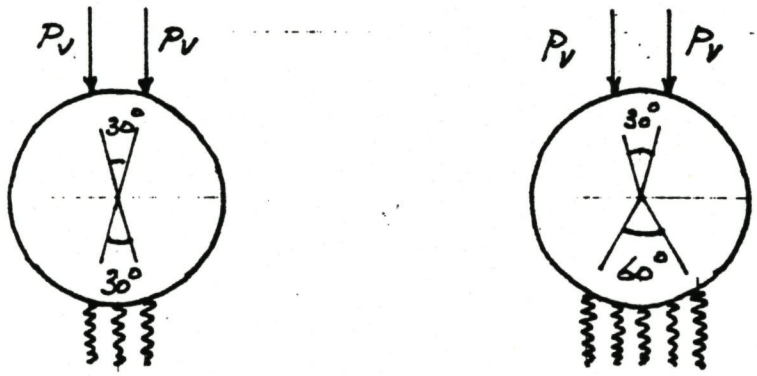
1



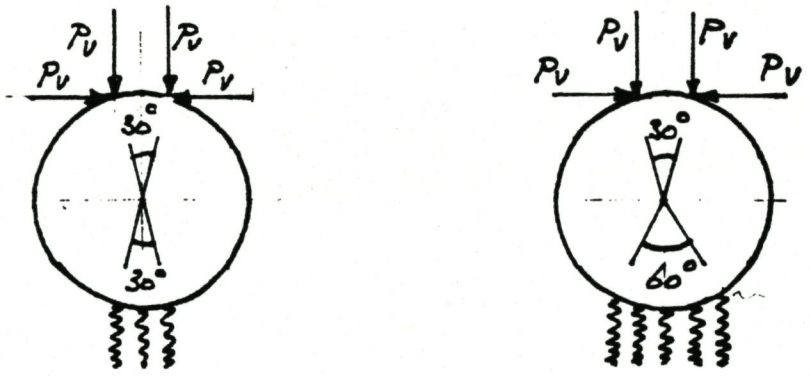
2



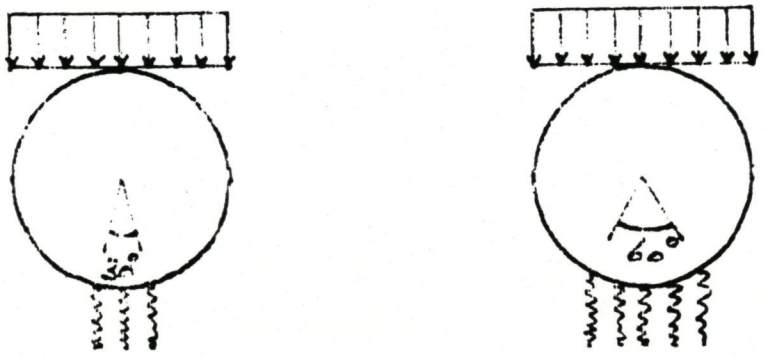
3



4



5

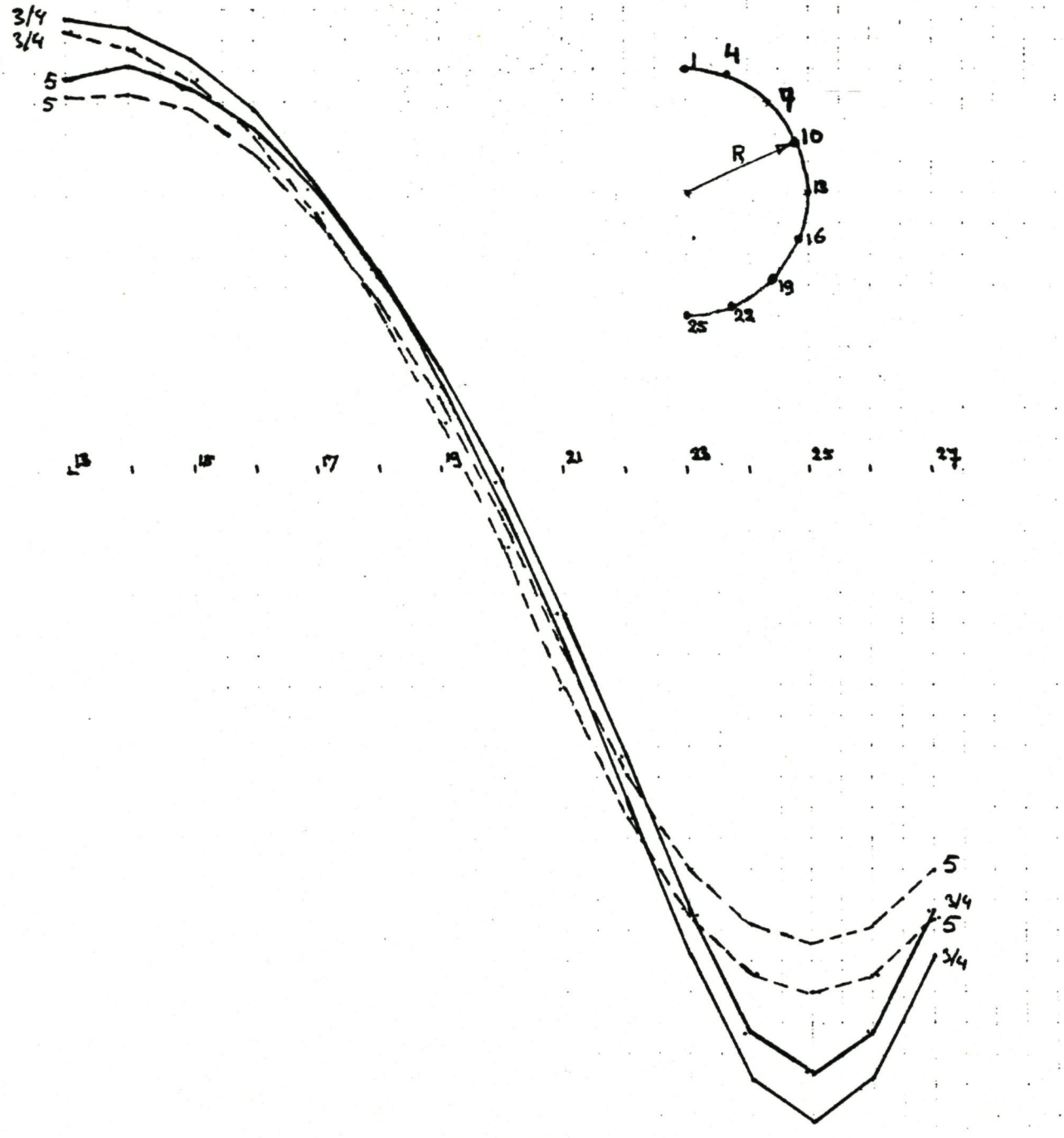


Buigende momenten in de buiswand (tangentieel) in Nmm.
De opleghoek in de grond bedraagt 30°.

KNOOP	BELASTING GEVALLEN				
	1	2	3	4	5
1	- 539,73	- 537,17	- 425,01	- 394,81	- 310,48
2	- 505,17	- 503,80	- 424,89	- 403,60	- 300,65
3	- 403,94	- 404,34	- 424,53	- 429,99	- 271,79
4	- 273,90	- 274,29	- 293,91	- 299,21	- 225,71
5	- 150,77	- 151,15	- 169,96	- 175,05	- 165,35
6	- 36,66	- 37,01	- 54,83	- 59,65	- 94,53
7	66,54	66,21	49,58	45,08	- 17,67
8	157,03	156,73	141,45	137,32	60,45
9	233,25	232,98	219,20	215,47	135,00
10	293,95	293,71	281,54	278,25	201,52
11	338,07	337,86	327,39	324,56	256,08
12	364,88	364,71	356,00	353,66	295,66
13	373,81	373,67	366,76	364,90	318,11
14	364,84	364,74	359,62	358,24	322,71
15	337,98	337,91	334,56	333,66	309,17
16	293,82	293,79	292,14	291,70	277,88
17	233,08	233,08	233,05	233,05	229,33
18	156,85	156,85	158,31	158,72	164,36
19	66,29	66,35	69,16	69,93	84,03
20	- 36,93	- 36,85	- 32,85	- 31,76	- 10,25
21	- 151,07	- 150,97	- 145,97	- 144,61	- 116,86
22	- 274,22	- 274,11	- 268,31	- 266,74	- 234,02
23	- 404,28	- 404,15	- 397,78	- 396,05	- 359,73
24	- 504,37	- 504,24	- 497,53	- 495,71	- 457,29
25	- 538,21	- 538,08	- 531,26	- 529,41	- 490,32

Buigende momenten in de buiswand (tangentieel) in Nmm.
De opleghoek in de grond bedraagt 60°.

KNOOP	BELASTING GEVALLEN				
	1	2	3	4	5
1	- 528,48	- 525,92	- 413,78	- 383,58	- 299,38
2	- 494,12	- 492,74	- 413,85	- 392,58	- 289,74
3	- 393,47	- 393,87	- 414,09	- 419,55	- 261,46
4	- 264,40	- 264,79	- 284,42	- 289,72	- 216,33
5	- 142,59	- 142,96	- 161,80	- 166,89	- 157,27
6	- 30,14	- 30,49	- 48,32	- 53,14	- 88,10
7	71,08	70,75	54,11	49,61	- 13,18
8	159,33	159,02	143,74	139,61	62,72
9	233,06	232,78	219,00	215,27	134,80
10	291,06	290,82	278,66	275,37	198,67
11	332,34	332,14	321,68	318,85	250,43
12	356,22	356,05	347,36	345,02	287,11
13	362,16	362,02	355,13	353,28	306,61
14	350,20	350,10	345,01	343,64	308,26
15	320,40	320,34	317,02	316,13	291,82
16	273,41	273,37	271,76	271,34	257,73
17	209,98	209,99	210,00	210,00	206,52
18	131,24	131,27	132,78	133,19	139,09
19	38,45	38,55	41,38	42,16	56,54
20	- 66,74	- 66,66	- 62,61	- 61,51	- 39,69
21	- 182,55	- 182,45	- 177,39	- 176,02	- 147,94
22	- 289,64	- 289,53	- 283,72	- 282,14	- 249,37
23	- 368,42	- 368,29	- 362,00	- 360,29	- 324,42
24	- 416,34	- 416,21	- 409,65	- 407,87	- 370,26
25	- 432,43	- 432,30	- 425,65	- 423,84	- 385,69



belastinggeval 3 en 4: belasting over 30^0
belastinggeval 5 : belasting over 180^0

——— opleghoek 30^0
------- opleghoek 60^0

pnt. 25 = midden onder de buis

Uit de berekeningen, weergegeven in de grafiek blijkt dat bij een gelijkblijvende opleghoek, de spanningskarakteristieken onderin de buis dezelfde zijn, ongeacht de grootte van de belastinghoek.

Bijlage II
Grondmechanische gegevens.

hwz

MEMORANDUM

Rotterdam,

Aan : Ir. W. de Groot

Datum: 13 september 1983

Van : W.C. van den Boom

c.c. :

Onderwerp : Dichtheid zand
Opstelling te Kleinpolderplein

Referentie : WvdB/AdK

30-08-'83

In opdracht van u 2 dichtheidsmetingen uitgevoerd op zand door middel van nukleaire methode.

nr. 1	natte dichtheid	1671	kg/m3
	droge dichtheid	1592	kg/m3
	vochtgehalte	5,0	% (m/m)
nr. 2	natte dichtheid	1713	kg/m3
	droge dichtheid	1651	kg/m3
	vochtgehalte	3,8	% (m/m)

De kodering komt overeen zoals door u wordt gehanteerd.

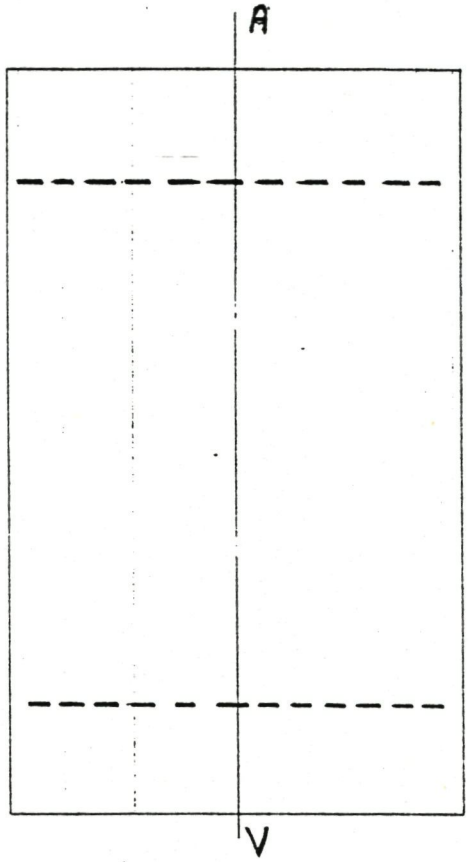
****

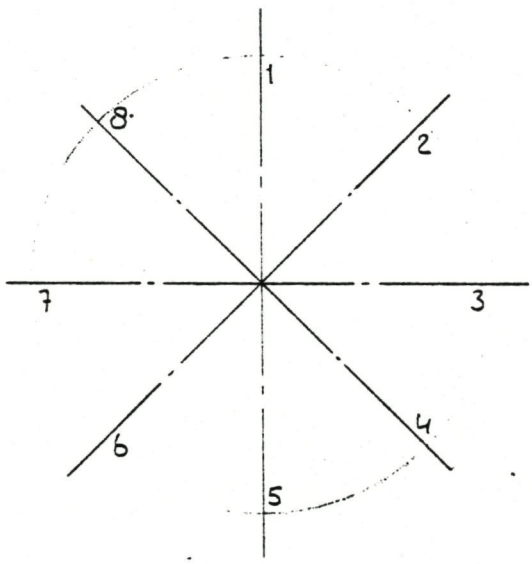
Bijlage III
Geregistreerde Meetwaarden
Meetrapport Gemeentewerken Rotterdam

Metingen : d.d. 12-07-1983
d.d. 10-08-1983
d.d. 16-08-1983
d.d. 30-08-1983
d.d. 27-01-1984
d.d. 19-06-1984

Dichtheidsmeting
d.d. 30-08-1984

BELIPOPROEF PLAATS MEETKLOKJES.

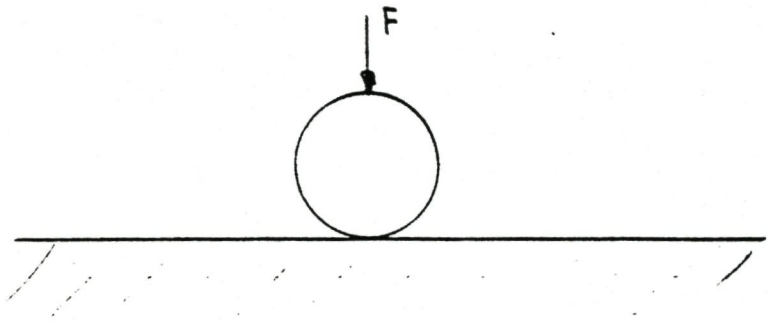




GEMEENTEWERKEN
ROTTERDAM
ING. BUR. STAAL- EN WERKTUIGBOUW

BELIPOPROEF

METING 12-7-1983



J. Kerpel

ed 962 / 518 '82

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM

AFD. GEOTECHNIEK

G.S. 50 - ed 1047 / 2464-'82

werk: .....

.....

waarnemingen door: .....

op ..... 19 .....

	U1	= U1			B1	= B1				
	U2	= U1L			2	= B1L				
	U3	= U2			3	= B2				
	U4	= U3			4	= B3				
	U5	= U4			5	= B4				
	U6	= U4L			6	= B4L				
	U7	= U5			7	= B5				
	U8	= U6			8	= B6				
	U9	= U7			9	= B7				
	U10	= U7L			10	= B7L				
	U11	= U8			11	= B8				
	U19	= U12			19	= B12				
	U20	= U11			20	= B11				
	U21	= U10L			21	= B10L				
	U22	= U10			22	= B10				
	U23	= U9			23	= B9				

GEMEENTEWERKEN
ROTTERDAM

ING. BUR. STAAL- EN WERKTUIGBOUW

BELIPOPROEF METING D.D. 12-7-1983.

SPANNINGEN IN BUIS IN N/mm² BIJ EEN BELASTING IN KGF VAN.

NR. REK STROOK.		200	500	1000	500	0	1250	1500	1000	0	1500	0
U1	U1	18,1.	47,5	92,8	67,2.	28,4.	163	198,7	92,6	10,3.	207,1	6,1
U2	U1L	3,6	2,9	- 2,7	5,9	4	-2,5	- 2,5	2,3	5,3	-2,9	2,5.
3	U2	9	21.	28,4	27,5	15,5	28,1.	66,8	49,4	6,7	66,6	2,5
4	U3	-7,8	-22,3	-47	-34,2	-14,5	-77,5	- 97	-82,1.	1,5	-107,7	-0,8
5	U4	- 15,8	-38,9	-64,9	-56,1.	-27,9	-113,4	-141,1.	-96,6	-4,8	-152.	-3,6
6	U4L	0,2.	0,4.	3,4.	1,5	-0,2	3,4	4,8	4,6	4,6	2,3	0,2
7	U5	33,6	20,4.	5,7	13,9	29,4.	-16,4	-28,6	- 9,5	38,9	-30,9	39,5
8	U6	7,6	15,1.	29,4.	24,8	11,3	50,4.	67,8	42,4.	0,2.	78,1.	-1,7
9	7	18,9	49,4.	85,7	68,5	28,6	130,2	159,2.	118,4.	8,4.	169,3	4,2
10	7L											
11	8	9	18,5	23,7	20,2	8,8	42,6.	58.	35,3	-0,2.	68,5	-1,7
19	12	9,2.	19,7	35,9	33,6	18,7	55,7	64,5	47,5	7,4.	71,8.	2,9
20	11	-7,4	-19,5	-36,1	-22,5	-8,8	-56,9	-74,1	-45,6	2,1	-87,6	0,6
21	10L	0,4	0	2,9	-0,6	-1,7	3,4.	5	4,4	4.	3,6	1,7
22	10	-16,2	-37,8	-63,8	-53,1	-28,1	-102,7	-127,9	-86,9	-4,4.	-147,4	-2,5
23	9	-9,2.	-23,3.	-45,6	-36,5	-19,3	-69,5	-82,7	-58,2.	-3,2	-93,5	-2,5
B1	1	-17,4	-36,3	-79,8	-59	-28,1	-124,5	-156,9	-106,7	-7,1	-188	-4,8
2	1L	2,3	3,4	1,7	5	2,5	0,6	-1,1	2,7	2,5	-1,9	0,4
3	2	-10,3	-20,4.	- 33	-35,3	-30,5	-49,8	-61,5	-48,9	-10,8	-64,3	0,6
4	3	8,6	21,2	43,9	31,9	15,3	64,7	81,3	54,8	2,3	101,4	1,5
5	4	15,6	35,5	60,7	49,6	27,9	94,3	119,9	84	5	144,1	2,3
6	4L											
7	5	8	19,1.	30,9	21,4	9	47	59,4.	43,7	2,1.	67,2	0,4
8	6	-7,1.	-15,8	-33,2	-29,6	-18,1	-53,1	-65,7	-43,3.	-3,6	-83	-1,3
9	7	-17,4	-36,8	-66,2	-49,8	-17,6	-103,7	-126,2	-89,3	8,6.	-146,4	14,3
10	7L	-0,6.	-1,9	-10,7	-9,9	-8,2	-10,7	-10,9	-11,8	-12,8	-22,9	-26,7
11	8	-7,1	-15,3	-22,3	-19,1	-12,6	-33,6	-42.	-26,7	0,2.	-66,8	1,5
19	12	-8	-18,1	-33,2.	-29,2	0,8	-48,7	-54,4	-38,9	-1,3	-69,5	0,2.
20	11	7,6	18,7	35,7	23,1	1,7	54.	67,8	47,5	7,1	86,1	6,1
21	10L	-0,8	0,4	0	-5,9	-7,4.	-12,6	-10,3	-9,2	-9,7	-4,4.	-4,6
22	10											
23	9	4,2.	15,3	32,3	11,8	-28,6	13,7.	33	14,5	-40,3	31,7	-20,2

ed 9621 a 18-'82

BELIPOPROEF METING D.D. 12-7-1983.

SPANNINGEN IN PIJP IN N/mm² BIJ EEN BELASTING IN KGF VAN.

PUNT	200	500	1000	500	0	1250	1500	1000	0	1500	0
1	17,8	41,9	86,3	63,1	28,3	143,8	177,8	99,7	8,7	197,6	5,5
2	9,7	20,7	30,7	31,4	23	39	64,2	49,2	11,8	65,5	1,6
3	-8,2	-21,8	-45,5	-33,1	-14,9	-71,1	-89,2	-68,5	1,9	-104,6	-1,2
4	-15,7	-37,2	-62,8	-52,9	-27,9	-103,9	-130,5	-90,3	-4,9	-148,1	-3
5	20,8?	19,8?	18,3?	17,7?	19,2?	-31,7	-44	-26,6	-20,5	-49,1	20
6	11,4	15,5	31,3	27,2	14,7	51,8	66,8	42,9	1,9	80,6	-1,5
7	18,2	43,1	76	58,2	23,1	117	142,7	103,9	8,5	157,9	9,3
8	8,1	16,9	23	19,7	10,7	38,1	50	31	-0,2	67,7	-1,6
9	-6,7	-19,3	-39	-24,5	-24	-41,6	-57,9	-36,4	-21,8	-62,6	-11,4
10	-16,2	-37,8	-63,8	-53,1	-28,1	-102,7	-127,9	-86,9	-4,4	-147,4	-2,5
11	-7,5	-19,1	-35,9	-22,8	-5,3	-55,5	-71	-46,6	-4,6	-86,9	-3,4
12	8,6	18,9	34,6	31,4	9,8	52,2	59,5	43,2	4,4	70,7	1,6

ed 962 / 518-82

GEMEENTEWERKEN
ROTTERDAM
ING. BUR. STAAL- EN WERKTUIGBOUW

BELIPOPROEF METING D.D. 12-7-1983

VERVORMINGEN BUIS IN mm BIJ EEN BELASTING IN KGF VAN

PUNT	200	500	1000	500	0	1250	1500	1000	0	1500	0
V 1	- 0,28	-0,48	- 0,6	- 0,06	- 0,1	- 1,28	- 1,83	- 0,98	- 0,6	-1,95	- 0,68
2	0,14	0,01	1,28	1,69	1,38	1,25	1,12	1,32	1,13	1,28	1,14
3	0,07	0,44	0,66	0,86	1,63	3,54	4,03	3,32	1,6	4,25	1,54
4	0,2	0,45	0,62	0,44	0,57	0,52	0,61	0,45	0,25	0,91	0,27
5	- 1,52	- 0,81	- 0,26	- 0,2	- 0,19	- 1,65	- 2,15	- 1,43	- 0,3	- 2,66	- 0,33
6	0,66	0,55	0,29	0,71	1,19	1,03	1,05	1,09	0,95	1,13	0,95
7	4,5	4,94	4,76	3,93	3,45	4,94	5,4	4,67	3,37	5,78	3,33
8	2,31	2,49	2,2	1,1	2,34	1,76	1,7	1,86	2,05	1,77	2,08
9	- 1,68	- 0,48	- 33,92	- 33,75	- 32,7	- 37,45	- 43,65	- 42,89	- 40,11	- 42,04	- —
A 1	- 0,49	- 0,87	- 1,05	- 0,52	- 0,52	- 2,59	- 3,13	- 2,34	- 0,65	- 3,23	- 0,6
2	0,07	0,18	0,11	0,3	0,3	0,55	0,51	0,45	0,37	0,37	0,35
3	0,55	1,02	1,18	0,06	0,04	1,48	1,96	1,28	0,03	2,19	0,02
4	0,27	0,38	1,94	0,6	0,6	0,9	0,99	0,87	0,43	0,98	0,41
5	- 0,15	- 0,45	- 1,05	- 0,97	- 0,91	- 3,49	- 4	- 3,18	- 1,42	- 4,24	- 0,8
6	0,04	0,08	0,14	0,19	0	0,86	0,83	0,93	1,71	0,75	0,06
7	0,01	0,18	0,74	1,2	1,95	0,27	0,8	0,05	1,93	2,08	1,79
8	0,32	0,5	0,14	0,99	0,42	4,58	4,57	4,54	4,28	4,55	1,92
9	- 2,14	- 0,28	- 34,06	- 33,89	- 33,3	- 38,41	- 45,41	- 44,85	- 42,19	- —	- —

ed 962 / 518-82

GEMEENTEWERKEN
ROTTERDAM

AFD. GEOTECHNIEK

werk: Leidingproef

Pc 7129

waarnemingen door:

G.S. 50 - ed 1047 / 2464-'82

op 12-7 19 83

	20 kgf	200 kgf.	500 kgf.	1000 kgf.	500 kgf	20 kgf.	1250 kgf	1500 kgf	1000 kgf	
1	57060,5	57151.	57291	57507	57385,5	57200	57841	58011.	57706	1
2	50637	50653,5	50651	50623,5	50665	50655,5	50624,5	50625	50640	
3	51749	51791,5	51848,5	51883,5	51879,5	51872,5	51882,5	52067	51984	2
4	50757,5	50721	50652	50534	50595	50689	50389	50296	50367	3
5	53195	53178	53010	52886	52928	53062	52654,5	52523	52735	4
6	54210	54211	54272	54226	54216,5	54210	54226	54233.	54232.	
7	51227	51387	51323,5	51254.	51292,5	51366,5	51149	51091.	51182.	5
8	51771	51807	51843	51911.	51889	51825	52010,5	52093,5	51973.	6
9	50454	50543,5	50689	50862	50780	50589,5	51074	51212.	51018.	7
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
11	50537,5	50589,5	50626	50650,5	50634	50580	50741	50813,5	50706	8
19 ~~20~~	52786	52829,5	52880	52956,5	52945,5	52874,5	53051	53093	53012.	12
20 ~~21~~	54923,5	54889	54830,5	54751,5	54816,5	54881,5	54853	54571.	54707	11
21 ~~22~~	53796	53798	53795,5	53810	53793	53787,5	53812.	53820	53817	
22 ~~23~~	53404	53327	53224	53100	53150,5	53270	52915	52795	52990	10
23	51969	51925	51858	51752	51795	51877	51638	51574,5	51692	9
B 1	50158.	50074,5	49958	49777,5	49877	50024	49565	49411.	49649,5	1
2	53170	53181	53186	53177,5	53194	53182	53172,5	53165	53183	
3	51076,5	51027,5	50980	50920	50909	50932.	50840	50784.	50844.	2
4	56284	56324,5	56385	56493	56436	56357	56592	56671.	56545	3
5	49867	49942	50036	50156	50103	50000	50316	50438.	50266,5	4
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
7	54945	54983	55036	55092	55047	54987,5	55168,5	55228	55153	5
8	56446	56412	56371	56288	56305	56360	56193	56132,5	56240	6
9	49252	49171	49079	48939	49017	49170	48760	48652,5	48829	7
? 10	72502	72499	72493	72451	72455	72462,5	72451	72450.	72446	
11	52144	52110	52071	52038	52053	52083,5	51984	51944.	52017	8
19	52379	52341	52292	52221	52240	52383	52146,5	52119,5	52193,5	12
20	52571.	52607	52660	52740,5	52600,5	52579	52828	52894	52796,5	11
21	52746	52742	52744	52746	52718	52711	52686	52697	52702	
22	—.	—	—	—	—	—	—	—	—	10
23	47251.	47271	47324	47405	47307	47115	47316	47408	47319,5	9

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM

AFD. GEOTECHNIEK

G.S. 50 - ed 1047 / 2464-'82

werk: .....

waarnemingen door: .....

op ..... 19 .....

		20 kg/cm²	1500 kg/cm²	20 kg/cm²						
4	1	57114	58051	57094[1]	1					
	2	50661,5	50623	50648,5						
	3	51781	52066	51760,5	2					
	4	50765	50245	50754	3					
	5	53171,5	52470,5	53178	4					
	6	54231,5	54221	54212						
	7	51412	51080	51414,5	5					
	8	51771,5	52143	51763	6					
	9	50493,5	51260	50473,5	7					
	10	–	–	–						
	11	50536,5	50864	50530	8					
	19	52821	53128	52800	12					
	20	54934	54507	54926,5	11					
	21	53815	53813	53804						
	22	53382,5	52702	53391,5	10					
	23	51953,5	51523,5	51957	9					
3	1	50123,5	49263	50135	1					
	2	53182	53161	53172						
	3	50997	50770,5	51080	2					
	4	56295	56766,5	56291	3					
	5	49891	50552,5	49877,5	4					
	6	–	–	–						
	7	54955	55264,5	54947	5					
	8	56429	56051	56440	6					
	9	49295	48556,5	49321,5	7					
	10	72441	72393	72375						
	11	52144,5	51852,5	52161	8					
	19	52373	52047,5	52380	12					
	20	52605	52981	52600	11					
	21	52700	52724,5	52724						
	22	–	–	–	10					
	23	47059	47402?	47155	9					

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM

werk: .....

AFD. GEOTECHNIEK

waarnemingen door: .....

G.S. 50 - ed 1047 / 2464-'82

op ..... 19 ..... += 10,95

	20	240	500	1000	500	20	10,45 125	11.45 150	11.30 1000
Druk	50846²	50882²	50942²	51042²	50947²	50846²	51092²	51142²	51042²
		+75.8	−20	−50					
M 1	2.84	3,12	3.32	3.44	2.90	2,94	4,12	4,67 =	3,82
2	3,84	3.98	3.83	2.56	2,15	2,10	2.59	2,72	2,52
3	4,74	4,67	4,80	4,08	3.88	3,11	1,20	0,71	1,42
4	7,65	7.85	8,10	8.27	8.09	8,22	8,17	8,26	8,10
5	3.02	1.50	2.21	3.28	3.22	3,21	4,57	5,17	4,45
6	3,96	2.60	2.71	3,55	3,97	4,45	4,29	4,31	4,55
7	8.23	3,73	3,29	3,47	4,80	4,78	3,29	2,83	3.56
8	11.45	9,14	8,96	9.25	10,35	9,11	9,64	9,75	9.59
Z						+1.08	+7,28	+6,38	6,84
C 1	5,35	5,84	6.22	6.40	5.87	5,87	7,94	8,48	7,69
2	4,02	3.95	3.84	3.91	4.32	4,32	4,51	4,53	4,47
3	3,98	3.43	2.96	2.80	3.92	3,94	2.50	2.02	2,20
4	5,02	4.75	4.64	6.96	5.62	5,82	5,92	6.07	5.89
5	5,86	6.01	6,31	6.91	6.83	5,77	9,55	9,86	6,48
6	7,35	7,39	7,43	7,49	7,16	7,35	6,49	6,52	6,85
7	5,40	5,59	5,22	4,66	4,20	3,45	5,13	4,60	5,35
8	7,07	8,09	8,57	8,01	8,86	7,45	3,29	3,30	3,33
Z						5,18	0.07	+4.02	+4,58
S M	0	1.68	8.40	33.92	33.75	32,70	37.45	43.65	42.89
S C	0	2.11	8.28	34.06	33.89	33,20	38,41	45,41	44.85

90%

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM

AFD. GEOTECHNIEK

G.S. 50 - ed 1047 / 2464-'82

werk: .....

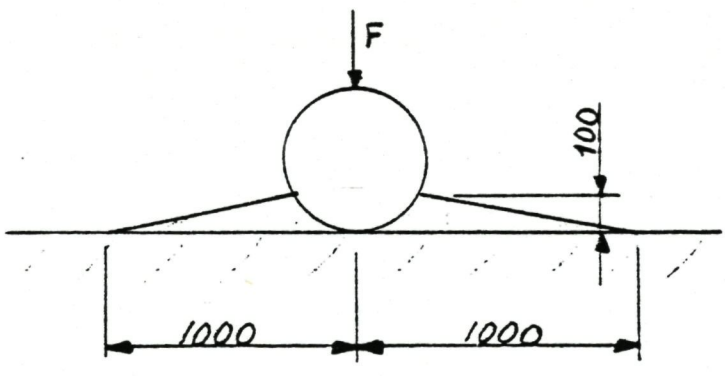
waarnemingen door: .....

op ..... 19 .....

	11.35 20 kg	1500	1450 1500	15.15 0					
	50846²	51142²	51142²						
M 1	2,24		4,79	2,16					
2	2,71		2,56	2,70					
3	3,14		0,9	3,20					
4	7,90		8,56	7,92					
5	2,72		5,65	2,69					
6	4,20		4,39	4,21					
7	11,86		1,45	4,90					
8	9,40		9,65	9,37					
M 2	4,62		± 5,45	10,60					
C 1	6.00		8,58	5,95					
2	4,39		4,39	4,37					
3	3,95		1,75	3,96					
4	5,45		6.00	5,43					
5	7,28		0,10	6,66					
6	5,64		6.60	7,40					
7	7,25		7,48	3,01					
8	3,59		3,32	5,95					
2	7,24	~~3,1~~	± 9,17	~~4,95~~ 12,86					
				1,90					
SM	40,11		41,04						
SC	42,19		[illegible]						

BELIPOPROEF

METING D.D. 10-8-1983



ed 962 / 518-82

GEMEENTEWERKEN
ROTTERDAM

ING. BUR. STAAL- EN WERKTUIGBOUW

BLAD 1.

BELIOPROEF METING D.D. 1983-08-10.

NR. REKSTROOK	SPANNINGEN IN PUP IN N/mm² BIJ IEEN BELASTING IN KGF				
	200 kgf.	500 kgf	1000 kgf	1500 kgf	0 kgf
U1	12,4	34,7	96,2	174,3	-0,6
U1 L	2,1.	1,3	-2,3	-7,1	-1.5
U2	6,3	19,1.	39,9	61,7	-1,3
U3	-11,1.	-15,1	-52,3	-93,7	3,8.
U4	-14,3	-40,3	-83,8.	-131,7	-0,2.
U4L	7,4.	11,3	4,2.	21.	17,6.
U5	-3,8	-14,3	-31,7	-49,1.	0
U6	5,0	16,6	38,0	63	0.
U7	13,7	43,1.	91,6	139,2.	0,2
U7L	—	—	—	—	—
U8	5,3	14,9	31,9	52,1.	-0,6
U9	-4,6	-17,0	-38,6	-61,1.	-0,6
U10	-14,7	-40,3	-81,7.	-127,5	-0,2.
U10L	-1,1.	-1,3	-1,3	-0,6	-0,4.
U11	-8,8.	-25,4.	-53,6.	-86,1.	-0,2.
U12	6,7	17,4.	34,0.	51,2.	-0,2.
B1	-17,4.	-49,8.	-105,6.	-168.	-0,4.
B1L	2,5	2,7.	0.2.	-2,5	-1,1.
B2	3,8	-18,3.	-36	-54.	0,2
B3	-3,2	15,3.	46,4.	83.	-12,2.
B4	12,6	37,2.	78,1	124,3.	0,2.
B4L	—	—	—	—	—
B5	3,2.	12,6	43,1.	58,6	13,7
B6	-6,5	-18,7	-40,5	-65,7	-0,2.
B7	-15,8.	-44,9	-90,7	-136,9	-0,2
B7L	-1,3.	-2,1	-3,4.	-3,6	-0,4
B8	-6,5	-16,2.	-31,3	-49,4.	-1,9
B9	-0,8.	2,7	19,5	38,6	-8,0.
B10	16,0.	40,3.	79,2.	123,3.	3,8.
B10L	-1,7	-2,3.	-2,3	-1,3	+0,6.
B11	7,6	22,9	47,5	77,5	-1,1
B12	-8	-18,7	-36,8.	-55,0	0.

ed 962 / 518 · 82

GEMEENTEWERKEN
ROTTERDAM

ING. BUR. STAAL- EN WERKTUIGBOUW

BELIPOPROEF METING D.D. 10-8-1983

SPANNINGEN IN PUP IN N/mm² BIJ EEN BELASTING IN KGF VAN

PUNT	200	500	1000	1500	0
1	14,9	42,3	100,9	171,2.	-0,5
2	5,1.	18,7	38	51,9	-0,8
3	-7,2	-15,2	-49,4	-88,4	8.
4	-13,5	-38,8	-81	-128	-0,2.
5	-3,5	-13,5	-37,4.	-53,9	-6,9
6	6,5	17,7	39,9	64,4.	-0,1
7	14,8	44	91,2	138,1.	+0,2.
8	5,9	15,6	31,6	51.	-1,3.
9	-2,9	-9,9	-29,1	-49,9	-4,3.
10	-15,4	-40,3	-80,5	-125,4	-2.
11	-8,2	-24,2	-50,6	-81,8	-0,7
12	7,4	18,1	35,4	53,1.	-0,1.

ed 962 / 518 '82

GEMEENTEWERKEN
ROTTERDAM

ING. BUR. STAAL- EN WERKTUIGBOUW

BELIPOPROEF HETING D.D. 10-8-1983

VERVORMINGEN BUIS IN mm BIJ EEN BELASTING IN KGF VAN.

PUNT	200	500	1000	1500	0.
V 1	-0,69	-0,3	-0,74	-1,3	-1,03
2	2,02	2,06	1,99	1,09	2,05
3	0,16	0,52	1,33	2,21	0,05
4	0,1	0,24	0,2	0,06	0,07
5	-0,24	-0,68	-1,32	-1,67	-0,04
6	0	0,03	0,15	0,53	0
7	0,12	0,91	1,46	1,23	0,06
8	0,05	1,09	0,14	0,71	0,06
9	-0,43	1,01	2,43	3,61	0,73
A 1	-0,35	-0,86	-1,03	-3,61	-0,08
2	0,91	1,18	0,96	0,52	1,06
3	0,38	0,93	1,53	2,4	0,13
4	0,12	0,07	0,11	0,45	0,12
5	-0,17	-0,67	-1,2	-1,36	-0,04
6	0,06	0,11	0,12	0,56	0,06
7	0,11	0,51	1,4	2,28	0,14
8	0,13	0,17	0,61	0,79	0,11
9	-0,13	-0,84	1,5	1,65	0,13

nd 9628 / 518.82

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM

AFD. GEOTECHNIEK

werk: Belipoproef 9-8-83

waarnemingen door: Th. Meerman – Kempers – Slagtenhorst.

GS 50 - ed 1047 / 2464 - 82 14.30 op 9/8/83 19

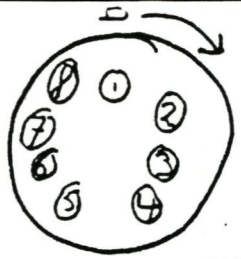
	NULpunt.	Nulpunt. Zand opgebracht	1 dag later	19/8/83 d. 20	200 kg 19/8/83 9.10.	500 kg 19/8/83 9.20	1000 kg.	0. kg		
U1	56897	56910	56967	57070	57226			57289		
U2	50440,5	50446	50438	50442	50440			50436		
U3	51525,5	51529	51523	51556	51618			51645		
U4	50624	50666	50652	50642	50564			50515		
U5	53076	53076	53073	53004	52885			52780		
U6	54203	54215	54198	54212	54193			54125	301	
U7	51191	51195	51190	51156	51105			51094		
U8	51532	51535	51530	51549	51601			51671		
U9	50238	50247	50241	50216	50451			50534.		
U10	-----	----	--- -	--- —	---- -			----		
U11	50305	50305	50302	50336	50389			50429		
U19	52565	52570	52556	52583	52632			52681.		
U20	54742,5	54747,5	54736	54789	54610			54613		
U21	53563,5	53573	53557	53554	53556.			53524.		
U22	53184,5	53192	53183	53214	52996			52903		
U23	51733	51741	51735	51720	51657			51569		
B1	49916	49920,5	49908	48834	49682			49589		
B2	52958	52963,5	52953	52968	52968			52959		
B3	51275	51277	51277	51249	51190			51148.		
B4	56063	56067	56059	56004	56178			56241		
B5	49642	49650	49646	49710	49820			49965		
B6	------	- ---	---	----	------			------		
B7	54733	54747	54729	54754	54802			54848		
B8	56228	56232,5	56235	56213	56156			56065		
B9	49002	49012,5	49016	48939	48821			48759.		
B10	70496,5	70504	70517	70512	70506			70521		
B11	51671	51680	51678	51643	51592			51564		
B19	52174,5	52182	52175	52144	52096			52046		
B20	52381	52387,5	52381	52427	52497			52526		
B21	62579	52572	52599	52598	52589			52545		
B22	51845	52175	52159	52310	52424			52545		
B23	47713	47653,5	47780	47807	47842			47928.		

Uitslag 0 is + 300 kg van de belasting

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM

AFD. GEOTECHNIEK

G.S. 50 - ed 1047 / 2464-'82



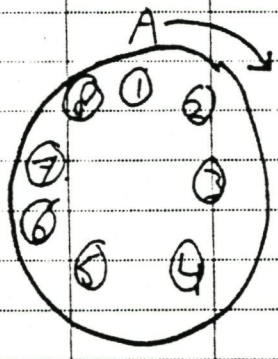
werk: Belipo proef.
Meetbuisjes

waarnemingen door: Sleutenhorst - hempers.

op 9-8 1983

11,00 uur	Nulpunt			9/8/83 13,00 uur	10/8/83 0.	20 kN	500 kN	Kabouter	O.N.S
1	2,29			2,40	2,35	2,40	3,00		2,13
2	2,84			2,87	2,86	2,70	2,66		0,74
3	2,24			3,16	3,18	2,95	2,40		0,26
4	7,80			7,68	7,74	7,88	7,76.		8,08
5	2,50 2,8			2,40	2,46	2,91	3,21		5,27
6	4,08. 3,9			4,07	4,09	4,26	4,27		6,20
7	4,91			4,98	4,95	4,72	4,41		5,48
8	8,68			8,80	8,76.	8,59	8,78		9,05
					0,00	0,64. 0,7	0,95		7,88
1	6,12			6,23	6,15	6,28	6,82		5,93
2	4,50			4,59	4,55	4,51	4,64		4,30
3	3,96			3,98	3,96	2,89	3,66		4,24
4	5,26			5,23	5,25	5,49	5,63		6,24
5	7,01			6,92	6,97	7,34	7,70		8,06
6	6,53			6,44	6,49	6,47	6,29		6,57
7	7,44			7,39	7,39	7,05	6,42		6,35
8	3,76			3,80	3,77	3,59	3,52		2,87
					0,00.	0,24	0,77		0,37

Kant opgelegd 10 cm hoger dan midden



GEMEENTEWERKEN
ROTTERDAM

AFD. GEOTECHNIEK

werk:

waarnemingen door:

G S. 50 - ed 1047 / 2464- 82

op 10/8/83 19

	0m	0 Nap.	200	500	1000	1500	0		
U 1	57289	57061	57120	57226	57519	57891	57058	-0,63	1
U 2	50436	50438	50468	50444	50427	50404	50431		
U 3	57645	51539	51569	51630	51729	51833	51533		2
U 4	50515	50689	50636	50617	50440	50243	50707		3
U 5	52780	53039	52971	52847	52640	52412	53038		4
U 6	54125	54159	54194	54213	54179	54259	54243		
U 7	52094	51196	51178	51128	51045	50962	51196		5
U 8	51671	51554	51578	51633	51736	51854	51554		6
U 9	50536	50277	50362	50482	50713	50940	50278		7
U 10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
U 11	50429	50317	50342	50388	50469	50565	50314		8
U 19	52681	52556	52588	52639	52710	52800	52555		12
U 20	54613	54727	54685	54606	54472	54317	54726		11
U 21	53524	53567	53562	53561	53561	53564	53565		
U 22	52503	53163	53093	52971	52774	52556	53162		10
U 23	51569	51735	51713	51664	51551	51444	51732		9
B 1	49589	49854	49771	49617	49351	49055	49852		1
B 2	52989	52965	52977	52978	52966	52953	52960		
B 3	51458	51278	51246	51191	51107	51021	51279		2
B 4	56458	56167	56152	56240	56388	56562	56109		3
B 5	49965	49700	49760	49877	50072	50292	49701		4
B 6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B 7	54868	54754	54769	54814	54959	55033	54819		5
B 8	56065	56220	56189	56131	56027	55907	56219		6
B 9	48759	49014	48939	48800	48582	48362	49013		7
B 10	70521	70521	70515	70511	70505	70504	70519		
B 11	51564	51679	51668	51602	51530	51444	51670		8
B 19	52046	52197	52159	52108	52022	51935	52197		12
B 20	52526	52436	52472	52545	52662	52805	52431		11
B 21	52545	52588	52580	52577	52577	52582	52591		
B 22	52545	52295	52371	52487	52672	52882	52313		10
B 23	47528	47753	47749	47766	47846	47937	47715		9

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM

AFD. GEOTECHNIEK

G.S. 50 - ed 1047 / 2464-'82

werk: .....

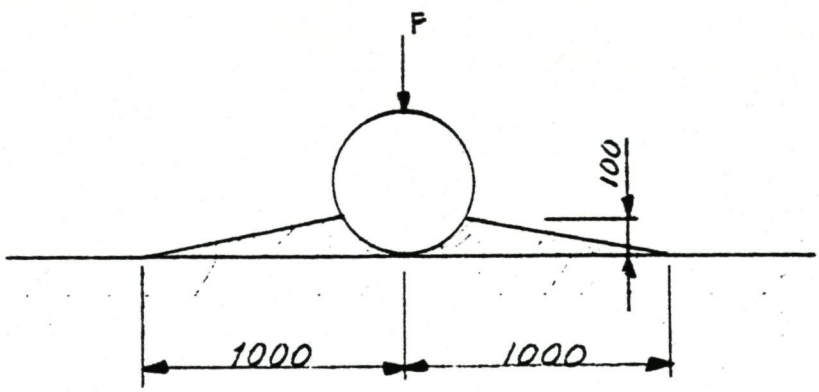
waarnemingen door: .....

op 4/8/83 19 .....

ONS	~~200~~ 0	~~500~~ 200 VOORzijde	~~1000 kg~~ 500	1000 kg	HG 1500	0			
Nap	Nap								
2,13	2,73	2,04	2,43	3,47	4,03	1,70			
0,74	4,04	2,02	1,98	2,05	2,95	1,99			
0,26	2,65	2,49	2,13	1,32	0,44	2,20			
8,08	8,14	8,24	8,38	8,34	8,08	8,21			
5,27	3,40	3,64	4,08	4,72	5,07	3,44			
6,30	4,95	4,95	4,92	4,80	4,42	4,95			
5,48	5,21	5,09	4,40	3,75	3,98	5,15			
9,03	8,54	8,49	7,45	8,65	9,25	8,48			
		(1,11)	(1,11)	2,43	(3,61)	(0,73)			
7,88	6,31	6,74	2,32	3,74	4,92	2,04			
		ACHTERzijde							
5,93	4,99	5,34	5,85	6,02	8,60	5,07			
4,50	4,98	4,07	3,80	4,02	4,46	3,92			
4,24	4,55	4,17	3,62	3,02	2,15	4,42			
6,24	6,63	6,51	6,56	6,52	6,18	6,51			
8,06	8,36	8,53	9,03	9,56	9,72	8,32			
6,57	7,04	7,10	7,15	6,92	6,48	7,10			
6,31	6,71	6,60	6,20	5,31	4,43	6,85			
2,87	2,41	2,54	2,58	3,02	3,20	2,52			
		(1,67)	(0,89)	(1,50)	(1,64)	~~(0,13)~~			
0,31	4,07	4,20	4,91	5,57	5,72	~~3,94~~ 3,94			

BELIPOPROEF

METING. D.D. 16-8-1983.



ed 962 / 518-82

GEMEENTEWERKEN
ROTTERDAM

ING. BUR. STAAL- EN WERKTUIGBOUW

BELIOPROEF HETING D.D. 1983-08-16.

SPANNINGEN IN PIJP IN N/mm² BIJ EEN BELASTING IN KGF VAN.

NR. REK-STROOK		200kgf	500	1000	500	0	1250	1500	1000	0	1500	0
U1	41	14,5	39,9	98,5	50,2	-3,6	136,5	169,5	109	-2,1	169,9	-2,3
2	41L	2,5	-1,9	-5,3	-1,5	-6,1 x	-7,4	-10,3	-5	-5,5	-30,9	-5,9
3	42	6,3	17,2	34,9	23,1	-0,2	49,8	58,8	41,6	0,4	62,8	0
4	43	-9,2	-49,8	-79,2	-51,2	-26,3	-98,3	-116,1	-82,1	-29,8	-120,3	-26,3
5	44	-11,6	-40,3	-80,2	-50,6	-5,9	-103,7	-124,7	-88	-5,3	-127,1	-5,3
6	4L	-16,2	-58	-56,9	-57,1	-57,5	-55,4	-54,8	-56,3	-56,5	-53,1	-57,1
7	5	-4,2	-16,6	-36,1	-31,3	-1,9	-46,2	-53,8	-48,1	-1,7	-49,6	-2,3
8	6	1,3	6,1	20,6	9,2	0,2	31,3	42,2	24,8	0,6	53,6	0,4
9	7	17,4	48,9	93,7	78,3	4,4	109,8	124,5	105,8	5,7	121,2	4,8
10	7L											
11	8	4,6	14,1	33,8	17	-0,4	48,9	61,3	41	0,2	57,8	-0,4
19	12	5,3	16,6	35,1	24,8	0,6	20,2	48,5	38,4	1,5	46,8	+0,8
20	11	-7,1	-23,5	-54,4	-25,8	0,4	-62,6	-98	-60,1	1,1	-85,7	0,6
21	10L	-0,2	0,2	1,4	1,2	0	2,3	2,5	2,1	0,6	3,6	0
22	10	-12,6	-39,7	-79,2	-47,7	-0,6	-102,7	-125	-88,6	0	-122,4	-0,8
23	9	-5,7	-19,15	-39,1	-33,6	-0,6	-46,2	-54,2	-46,8	-0,4	-55,7	-1,2
B1	1	-15,1	-49,8	-99,5	-56,7	-1,1	-132,9	-163,8	-112,6	-1,9	-165,7	-1,5
2		2,5	4,2	3,6	5,5	-0,2	2,3	-1,1	1,9	-1,3	0	0,2
3	2	-6,1	-18,1	-32,6	-21,8	-0,6	-45,2	-54,6	-41,2	-2,3	-56,3	-1,9
4	3	8,4	26,9	52,1	27,5	0,6	70,4	84,6	53,1	0,6	93,9	1,2
5	4	11,3	36,8	72,7	45,2	1,9	96,4	115,1	80	1,5	121,4	2,3
6												
7	5	4,6	19,3	27,5	31,7	1,5	32,6	31,3	30,7	2,3	23,5	1,7
8	6	-2,9	-11,6	-27,7	-15,1	-0,4	-40,5	-55,4	-35,1	-0,8	-64,3	-0,4
9	7	-19,5	-56,5	-97,7	-16,6	14,5	-119,3	-150,4	-133,8	-24,4	-152,9	-27,9
10		..... ?										
11	8	-14,3	-23,7	-42,4	-24,6	-8,6	-55,4	-67,8	-48,3	-6,7	-62,6	-5
19	12	-5,7	-22,5	-36,3	-24,4	-0,4	-42,2	-52,1	-40,3	-2,1	-49,4	-0,2
20	11	7,6	25,4	54,2	27,1	0,2	71,6	87,6	56,7	-0,4	83,9	1,3
21	10L	-0,8	-0,2	1,7	0,4	0	-0,2	-2,5	-2,3	-3,6	-1,3	-2,1
22	10	17,9	50,2	93,5	59,2	-33	126	145,3	96,4	-101	132,3	-92,4
23	9	-7,6	6,5	19,7	15,8	-18,5	2,9	1,1	-5	-38,7	-9	-42

ed 962 / 518 '82

GEMEENTEWERKEN
ROTTERDAM

ING. BUR. STAAL- EN WERKTUIGBOUW

BELIOPROEF METING D.D. 1983-08-16

SPANNINGEN IN PUP IN N/mm². BIJ EEN BELASTING IN KGF VAN.

PUNT.	200	500	1000	500	0	1250	1500	1000	0	1500	0
1	+14,8	+44,9	+99	+53,5	-2,4	+134,7	+166,7	+110,8	-2	+67,8	-1,9
2	+6,2	+17,7	+33,8	+22,5	-0,4	+47,5	+56,7	+41,4	+1,4	+59,6	+1
zie blad 1 ? → 3	-8,8	-38,4	-65,7	-39,4	+3,5	-84,4	+00,4	-67,6	+5,2	+07,1	+3,8
4	+11,5	-38,6	-76,5	-47,9	-3,8	+00,1	-119,8	-84	-3,4	+24,3	-3,8
5	-4,4	-18	-31,8	-31,5	-1,7	-39,4	-42,6	-39,4	-2	-36,6	-2
6	+2,1	+8,9	+24,2	+12,2	+0,3	+35,9	+48,9	+30	+0,7	+59	+0,4
7	+18,5	+52,7	+95,7	+47,5	+9,5	+114,6	+137,5	+119,8	+15,1	+139,1	+16,4
8	+9,5	+18,9	+38,1	+20,8	-4,5	+52,2	+64,6	+44,7	+3,5	+60,2	-2,7
9	-6,7	-13	-29,4	-24,7	-9,6	-24,6	-27,7	-25,9	-19,6	-32,4	-21,6
10	-15,3	-45	-86,4	-53,5	-16,8	-114,4	-135,2	-82,5	-50,5	-127,4	-46,6
11	-7,4	-24,5	-53,3	-26,5	+0,3	-67,1	-90,3	-58,4	+0,8	-84,8	+1
12	+5,5	+19,6	+35,7	+24,6	+0,5	+31,2	+50,3	+39,4	+1,8	+48,1	+0,5

ed 952 / 518 '82

GEMEENTEWERKEN
ROTTERDAM

ING. BUR. STAAL- EN WERKTUIGBOUW

BELIPO PROEF METING D.D. 16-8-1983.

VERVORMINGEN BUIS IN mm BIJ EEN BELASTING IN KGF VAN.

PUNT	200	500	1000	500	0	1250	1500	1000	0	1500	0
V 1	- 0,32	-0,78	-1,65	-0,95	- 0,1	-2,16	- 2,54	-1,78	-0,08	-2,6	-0,08
2	0,09	0,05	0,02	0,07	0,18	0,23	0,36	0,12	0,1	0,34	0,1
3	0,16	0,57	1,27	0,92	0,13	1,54	1,87	1,19	0,07	1,93	0,08
4	0,08	0,03	0,02	0,11	0,03	0,22	0,31	0,17	0,02	0,37	0,01
5	- 0,13	- 0,56	- 1,2	- 0,86	- 0,06	- 1,69	- 2,06	- 1,56	- 0	- 1,94	- 0
6	0,08	0,08	0,1	0	0,18	0,1	0,04	0,13	0,1	0,12	0,1
7	0,26	0,68	1,39	0,67	0,14	1,99	2,34	1,76	0,13	2,31	0,13
8	0,06	0,09	0,18	0,2	0,02	0	0,02	0,02	0,03	0,07	0,03
9	- 0,24	- 0,26	- 0,94	- 2,88	- 2,06	- 5,11.	- 5,62	- 5,48	- 3,46	- 6,16	- 4,03
A 1	- 0,31	- 0,81	- 1,75	- 1	- 0,08	- 2,05	- 2,46	- 1,75	- 0,04	- 2,48	- 0,05
2	0,03	0,12	0,16	0,02	0,16	0,52	0,59	0,47	0,12	0,42	0,12
3	0,28	0,71	1,43	0,76	0,19	2,03	2,44	1,84	0,14	2,28	0,14
4	0,1	0,03	0,18	0,22	0,18	0,15	0,25	0,08	0,07	0,15	0,06
5	- 0,09	- 0,57	- 1,25	- 0,94	- 0,06	- 1,73	- 2,17	- 1,53	- 0,07	- 2,04	- 0,07
6	0,05	0	0,26	0,29	0,04	0,01	0,03	0,02	0,08	0,08	0,11
7	0,15	0,61	1,4	1,06	0,15	1,44	1,78	1,21	0,09	1,85	0,09
8	0,19	0,2	0,35	0,1	0,2	0,54	0,55	0,54	0,08	0,49	0,08
9	- 0,14	- 0,7	- 1,36	- 1.	- 0,55	- 1,26	- 1,68.	- 1,05	- 0,45	- 1,36	- 0,46

ed 962 / 518 · 82

GEMEENTEWERKEN ROTTENDAM

AFD. GEOTECHNIEK

werk: PEL. PO PROEF MEETHUIS 63

waarnemingen door: L.J. HOEFMAN. SLAGTER HOUT.

G.S. 50 - ed 1047 / 2464-'82

op 12/8/83 19

TIEF. PUNTEN 0 13,35 m NAP.		15/8/83 9,30	VIJZEL + DRUKDOOS + BINOTA BESTJE VASTGEZET.		16/8/83. 0	200	500	1000	5000
1,97	1,89	1,88	1.89	1.88	1,78	2,10	2,56	3,43	2,73
2,24	2,17	2,16	2.14	2.15	2,08	2,17	2,13	2,10	2,01
2,78	2,75	2,75	2.73	2.74.	2,75	2,59	2,18	1,48	1,83
8,01	8,06	8,05	8.07.	8.06.	8,14	8,11	8,16	8,21	8,08
3,11	3,21	3,21	3.25.	3.23.	3,32	3,45	3.88	4,52	4,18
4,68	4,76	4,76	4.78	4.78.	4,86	4,78	4.78	4,76	4,86
5,11	5,12	5,11	5.10.	5.12.	5,12	4,86	4,44	3,73	4,45
8,74	8,61	8,60	8.60.	8.61.	8,52	8.58	8,61	8.70	8,72
				0,00	0,00	0,24	0,26.	0,94	2,88
5,18	5,16	5,16	5.16.	5.16.	5,07	5,38	5,88	6,82	6,07
4,04	4,05	4,03	4.02.	4.03.	3,94	3,91	3,82	3,78	3,92
4,44	4,46	4,45	4.44	4.48.	4,46	4,18	3,75	3,03	3,70
6,40	6,44	6,43	6.45	6.44	6,53	6,45	6.56	6,71	6,75
8,15	8,17	8,18	8.19.	8.17.	8,29	8,38	8,86	9,54	9,23
6,98	6,96	7,03	7.02	7.03	7,07	7,02	7,07	6,81	6,78
6,87	6,82	6,82	6.81.	6.82	6,83	6,68	6,22	5,43	5,77
2,66	2,62	2,62	2.62.	2.61.	2,53	2,72	2,73	2,88	2,63
				0,00	0,00	0,14	0,70	1,36	1,00

ZAND AANGEVULD EN AANGESTAMPT MET OR VORTEX

GEMEENTEWERKEN
ROTTERDAM

AFD. GEOTECHNIEK

G.S. 50 - ed 1047 / 2464-'82

werk: Belipo proef Nulpunten Rekstrookje
Na 2 maal trillen 20 min op buisplaat

waarnemingen door: Rehmeter 6911

op 12-8 19 83

Nulpunt onbelast.	Nulpunt Zand opgebracht		15/8/83 9.20 u	Vijzel + drukdoos + buisjes bevestigd vastgezet	Zand aangebracht tot 10 cm boven onderkant buisplaat	16/8/83	200	500	1000
U1	56920	56918	56924	56933	56926				
U2	50407	50407	50423	50424	50419				
U3	51501	51501	51517	51525	51517				
U4	50532	50536	50553	50560	50557				
U5	53016	53013	53015	53016	53018				
U6	54227	54197	54181	54255	54250				
U7	51178	51175	51180	51182	51180				
U8	51517	51513	51515	51520	51513				
U9	50244	50253	50253	50265	50250				
U10	--	---	---	---	.....				
U11	50545		50280	50287	50286				
U19	52521	52519	52519	52531	52527				
U20	54703	54697	54699	54708	54704				
U21	53539	53536	53535	53543	53543				
U22	53144	53141	53138	53143	53143				
U23	51711	51708	51708	51710	51712				
B1	49829	49822	49825	49829	49832				
B2	52930	52929	52934	52944	52930				
B3	51253	51251	51253	51260	51257				
B4	56075	56076	56086	56093	56093				
B5	49654	49656	49656	49668	49660				
B6	---	---	---	---	---				
B7	54833	54828	54858	54875	54854				
B8	56193	56195	56196	56203	56205				
B9	48968		48733	48770	48772				
B10	70501	70495	70505	70510	69330				
B11	51645	51645	51638	51640	51638				
B19	52166	52165	52175	52177	52178				
B20	52402	52403	52408	52413	52411				
B21	52587	52568	52610	52603	52604				
B22	51856		52020	52022	52151				
B23	47727	47727	47772	47748	47689				

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM

AFD. GEOTECHNIEK

werk: Beliaproef

waarnemingen door:

op 19

G.S. 50 - ed 1047 / 2464 - 82

	16-8-83 0	200	500	1000	500	0	1250	1500	1000	0	1600	0	
1	56919	56900	57109	57300	57150	56902	57569	57726	57430	56909	57720	56900	1
2	50409	50421	50400	50384	50402	50380	50374	50360	50305	50383	50262	50301	
3	51500	51530	51590	51674	51618	51507	51745	51700	51706	51510	51807	51600	2
4	50577	50533	50340	50200	50333	50452	50109	50024	50106	50435	50004	50452.	3
5	53014	52959	52822	52632	52773	52906	52520	52420	52695	52909	62409	52989	4
6	54217	54140	53941	53946	53945	53843	53953	53956	53949	53940	63964	53945	
7	51100	51160	51109	51016	51039	51179	50960	50932	50959	51100	50952	51177	5
8	51517	51523	51546	51615	51561	51510	51666	51718	51635	51520	51772	51819	6
9	50249	50230	50400	50693	50620	50260	50770	50840	50361	50274	50024	50270	7
0													
11	50290	50312	50357	50451	50371	50200	50523	50502	50405	50281	50565	50200	8
19	52510	52643	52597	52605	52636	52521	52614	52749	52701	52525	52741	52522	12
20	54697	54663	54585	54438	54574	54699	54339	54264	54411	54702	54209	54900	11
11	53535	53534	53536	53542	53541	53535	53546	53547	53545	53538	53552	53535	
22	53143	53093	52954	52766	52816	53140	52654	52548	52721	53143	52660	53139	10
23	51712	51605	51619	51526	51552	51709	51492	51454.	51409	51710	51447	51706	9
1	49025	49753	49588	49351	49555	49020	49192	49045	49209	49016	49030	49010	1
2	52933	52946	52953	52850	52969	52932	52944	52920	52942	52927	52933	52934	
3	51270	51241	51184	51115	51166	51267	51055	51010	51034	51259	51002	51261	2
4	56003	56123	56211	56331	56214	56006	56418	56486	56336	56086	56530	56007	3
5	49061	49715	49036	50007	49076	49670	50120	50209	50042	49660	50239	49672	4
6													
7	54057	54079	54049	54088	55008	54064	55012	55006	55003	54060	54969	54065	5
8	56206	56192	56151	56074	56134	56204	56013	55942	56039	56202	55900	56204	6
9	48333	48240	48064	47868	48054	48402	47765	47617	47681	48213	47685	48200	7
10	50479	- - -	50936	50854	50949	50980	50361	50302	50486	50416	50633	50904	
11	51635	51567	51522	51433	51510	51594	51371	51312.	51405	51603	51337	51611.	8
19	52175	52148	52086	52002	52069	52173	51974	51927	51983	52165	51940	52194	12
20	52406	52442	52527	52664	52535	52407	52347	52023	52636	52404	52005	52412.	11
21	52617	52613	52616	52625	52613	52617	52616	52605	52606	52600	52611	52607	
22	52105	52180	52344	52550	52387	51940	52705	52997	52564	51624	52735	51665	10
23	47773	47737	47804	47867	47840	47605	47707	47730	47749	47509	47730	47573	9

51518

50520

48054 47796

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM

AFD. GEOTECHNIEK

G.S. 50 - ed 1047 / 2484-'82

werk: BELPU - PROEVEN
METINGEN

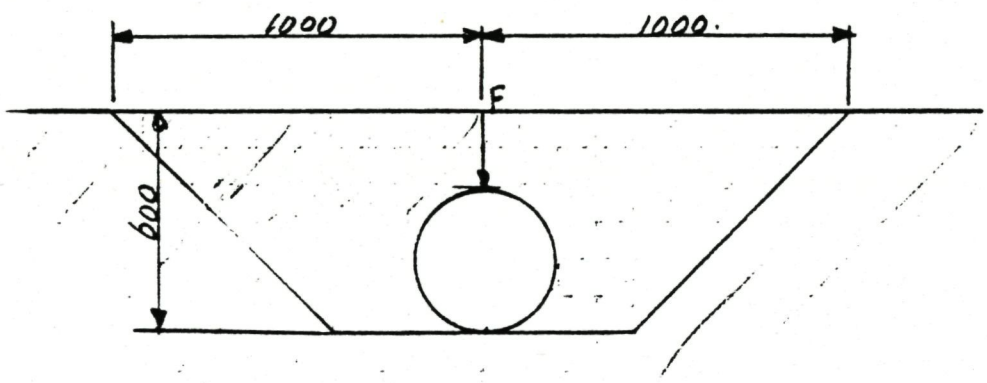
waarnemingen door: L.J. MEIJERMAN

op 16 - 8 - 1983 19

0	57071 1250	51121 1500	57017 1000	57012 0	51121 1500	57012 0			
1,88	3,94	4,32	3,56	1,86	4,38	1,86			
3,26	2,31	3,44	2,20	2,18	3,42	2,18			
3,88	1,21	0,88	1,56	2,82	0,82	2,83			
8,16	8,41	8,50	8,36	8,17	8,56	8,18			
3,26	5,01	5,38	4,88	3,32	5,26	3,32			
4,68	4,76	4,82	4,73	4,76	4,74	4,76			
4,98	3,13	2,78	3,36	4,99	2,81	4,99			
8,50	8,52	8,50	8,50	8,49	8,59	8,49			
2,06	5,11	5,82	5,48	3,46	6,16	4,03			
5,15	7,12	7,53	6,82	5,03	7,55	5,02			
3,88	3,42	3,35	3,47	3,82	3,52	3,82			
4,27	2,43	2,02	3,62	4,32	2,18	4,32			
6,35	6,68	6,78	6,61	6,46	6,68	6,47			
8,23	10,02	10,46	9,82	8,36	10,33	8,36			
7,11	7,06	7,10	7,05	7,15	7,15	7,18			
6,98	5,39	5,05	5,62	6,92	4,98	6,92			
2,73	3,07	3,08	3,07	2,61	3,02	2,61			
0,55	1,26	1,68	1,05	0,45	1,36	0,46			

BELIPOPROEF

METING D.D. 30-8-1983.



ed 962 / 518-82

BELIPOPROEF METING DD 30-8-1983.

SPANNINGEN IN PUP IN N/mm² BIJ EEN BELASTING IN KGF VAN.

NR. REK-STROOK.		200	500	1000	500	0	1250	1500	1000	0	1500	0
U1	1	9	30,2	77,7	54	11,8	115,5	143,6	111,1	14,1	147,8	14,7
2	1L	-0,2	-3,2	-5	-1,1	1,1	-8	-8,2	-3,2	3	-7,4	3,4
3	2	0,8	0,2	4,6	10,3	7,1	10,1	15,1	21	9,2	18,5	9,9
4	3	-1,3	-13,9	-41,2	-29,6	-5,5	-63	-76,9	-59	-5,3	-80,2	-5
5	4	0,8	-8	-33,2	-35,7	-11,8	-55,9	-69,1	-69,7	-12,2	-78,1	-12,6
6	4L	2,3	2,3	3,2	1,3	0,8	3,4	6,5	4	2,9	4,8	2,3
7	5	1,9	-2,1	-13	-17	-8,8	-24,2	-28,6	-33,4	-6,3	-34,4	-6,7
8	6	2,7	5,9	17,9	16,2	5,3	27,7	37	33,8	6,3	39,5	6,5
9	7	3,6	17,6	57,5	57,8	23,1	87,6	109,6	107,1	27,9	118,2	29
10	7L											
11	8	1,9	4	11,6	10,9	3,8	19,1	26,3	24,2	5	29,6	5,5
19	12	1,3	7,6	28,6	26,5	8,6	42	53,1	49,4	10,3	56,1	11,1
20	11	-1,1	-14,9	-39,1	-25,2	-2,5	-57,3	-70,1	-50,8	-2,3	-72,5	-2,3
21	10L	1,5	1,5	3,2	-0,2	-0,4	1,7	4	2,1	0,2	2,9	0,2
22	10	0,6	-0,6	-36,8	-37,4	-10,7	-59,6	-73,3	-72,7	-12,2	-93,2	-12,8
23	9	1,5	-5	-24,4	-28,1	-9,5	-39,9	-49,1	-51,2	-10,1	-55,7	-10,5
B1	1	-6,3	-25,8	-69,5	-54	-13	-106,3	-128,3	-104,2	-14,1	-134,6	-14,7
2	1L	-2,5	-2,5	-3,8	-1,3	-0,2	-4,8	-6,1	-2,3	+1,9	-4,6	-0,6
3	2	-1,9	-1,1	-5,7	-11,3	-9	-15,5	-19,3	-25,2	-16,2	-195,7	-16,4
4	3	0,2	12	39,3	27,9	5,9	47,3	61,7	44,5	6,5	—	-13,9
5	4	3,4	11,3	37	37,6	15,3	58,2	70,8	71,2	17,6	79,4	18,1
6	4L											
7	5	-1,1	+1,7	11,6	14,5	6,3	20,4	21,8	27,9	-8,4	29,4	3,6
8	6	-2,9	-6,9	-21,6	-20	-6,3	-33,4	-41	-37,6	-6,7	-45,4	-6,3
9	7	-3,8	-20,4	-43,5	-41,6	-12	-13,2	-30,7	-31,7	-4	-40,5	-1,7
10	7L	-1,9	-5,3	-11,8	-17,6	-15,5	-126,6	-137,8	-141,5	-126,2	-151,6	-135,5
11	8	-2,3	-3,8	-10,9	-10,5	-3,8	-18,1	-22,5	-21,2	-4,2	-25,8	-4,2
19	12	-1,9	-8,6	-31,3	-27,7	-9,2	-44,5	-53,3	-49,1	-9,9	-58	-10,3
20	11	3,6	14,1	37,4	21,8	2,5	51,9	64,3	46,6	-2,7	—	—
21	10L	-1,5	-0,2	1,9	-0,8	-1,3	-41,8	-43,9	-83,4	-46,2	-102,3	-85,9
22	10				NIET	MEER	AFLEESBAAR.					
23	9	-0,4	6,9	19,1	19,7	6,7	4	8,2	13,4	-13,9	13,4	-16,6

ed 962 / 518-'82

BELIPOPROEF METING D.D. 1983-08-30.

SPANNINGEN IN PIJP IN N/mm². BIJ EEN BELASTING IN KGF VAN.

PUNT	200	500	1000	500	0	1250	1500	1000	0	1500	0.
1	7,7.	28	73,6	54.	12,4.	110,9	136	107,7	14,2	141,2	14,7.
2	1,4	0,7	5,2	10,8	0,1	12,8	17,2	23,1	12,7	18,5	13,2
3	-0,8	- 13	- 40,3	-28,8	- 5,7	-55,2	-69,3	-51,8	- 5,9	- 80,2	- 9,5
4	- 2,1	-5,7	-35,1	- 36,7	-13,6	- 57,1	- 70	-70,5	-14,9	-78,8	- 15,4
5	1,5	-1,9	-12,3	-15,8	-7,6	-22,3	-24,9	-30,7	- 7,4	-31,9	-5,2
6	2,8	6,4	19,8	18,1	5,8	30,6	39	35,7	6,5	42,5	6,4
7	3,7	19	50,5	49,7	17,6	50,4 ?	70,2 ?	69,4 ?	16 ?	79,4 ?	15,4 ?
8	2,1	3,9	11,3	10,7	3,8	10,6	24,4	22,7	4,6	27,7	4,9.
9	0,9	- 6	-21,8	- 23,9	- 8,1	- 22 ?	-28,7 ?	- 32,3 ?	- 12	- 34,6 ?	-13,6
10	0,6	- 8,6	- 36,8	- 37,4	-10,7	- 52,6	- 73,3	- 72,7	-12,2	- 83,2	- 12,8
11	-2,4	- 14,5	-38,3	- 23,5	- 2,5	- 54,6	-67,2	-48,7	- 2,5	- 72,5	- 2,3
12	1,6	8,1	30	27,1	8,9	43,3	53,2	49,3	10,1	57,1	10,7

ed 962 / 518 '82

GEMEENTEWERKEN
ROTTERDAM

ING. BUR. STAAL- EN WERKTUIGBOUW

BELIPOPROEF METING D.D. 30-8-1983

VERVORMINGEN BUIS IN mm. BIJ EEN BELASTING IN KGF VAN.

PUNT	200	500	1000	600	0	1250	1500	1000	0	1500	0
V 1	-0,08	-0,34	-1	-0,82	-0,2	-1,42	-1,84	-1,55	-0,22	-1,99	-0,24
2	0,01	0,08	0,16	0,13	0,11	0,27	0,31	0,28	0,08	0,18	0,09
3	0,02	0,2	0,64	0,65	0,28	1,05	1,36	1,32	0,3	1,48	0,3
4	0,02	0,03	0,19	0,14	0	0,3	0,32	0,27	0,01	0,32	0,01
5	-0,01	-0,2	-0,74	-0,73	-0,25	-1,22	-1,5	-1,45	-0,29	-1,6	-0,29
6	0	0,04	0,16	0,16	0,03	0,2	0,24	0,2	0,02	0,28	0,02
7	0,04	0,26	0,86	0,78	0,18	1,28	1,55	1,39	0,2	1,64	0,21
8	0	0,2	0,1	0,14	0,1	0,85	0,76	0,73	0,1	0,7	0,1
9	-0,12	-0,51	-0,52	-0,56	-0,88	-2,51	-3,16	-3,12	-1,58	-3,34	-1,12
A 1	-0,06	-0,39	-1,03	-0,83	-0,19	-1,53	-0,91	-1,63	-0,24	-2,08	-0,28
2	0,01	0,03	0,06	0,04	0,1	0,1	0,06	0	0,07	0	0,08
3	0,06	0,3	0,88	0,26	0,1	1,31	1,58	1,4	0,14	1,7	0,16
4	0,01	0,08	0,06	0	0,11	0,01	0,02	0,07	0,1	0,04	0,1
5	-0,01	-0,14	-0,69	-0,97	-0,24	-1,18	-1,42	-1,4	-0,29	-1,52	-0,3
6	0,01	0	0,06	0,02	0,07	0,1	0,09	0,02	0,07	0,05	0,07
7	0,01	0,17	0,67	0,67	0,36	0,11	1,41	1,4	0,39	1,54	0,41
8	0,01	0,07	0,02	0	0,1	0,01	0,01	0,04	0,1	0,04	0,1
9	- 0	- 0,08	- 0,78	-0,87	- 0,5	- 1,38	- 1,66	- 1,29	- 0,31	- 1,18	- 0,23

ed 962 / 518-82

...CNTEWERKEN
...OTTERDAM

AFD. GEOTECHNIEK

...S 50 - ed 1047 / 2464-'82

werk: Belproef
Rekstrookjes Rehmeter 6g11
waarnemingen door: Slegtenhorst
op 25-8 1983

NUL METING		25/8 NUL	26/8 AANGEV. MET ZAND	30/8 AANGEV MET ZAND	200kg	500kg	1000kg	500kg	0	1250
U1	1	56955	56912	56894	56927	57038	57264	57151	56950	57444
U2		50289	50396	50371	50370	50356	50347	50366	50376	50333
U3	2	51914	51507	51494	51498	51495	51516	51543	51528	51542
U4	3	50433	50457	50445	50439	50379	50249	50304	50419	50145
U5	4	52965	53004	52993	52997	52955	52835	52823	52937	52727
U16		53958	53962	53932	53943	53943	53947	53938	53936	53948
U7	5	51145	51165	51181	51190	51171	51119	51100	51139	51066
U8	6	51530	51516	51516	51529	51544	51601	51593	51541	51648
U9	7	50310	50276	50277	50294	50261	50551	50552	50387	50694
U10										
U11	8	50290	50288	50278	50287	50297	50333	50330	50296	50369
U15	12	52549	52525	52513	52519	52549	52649	52639	52554	52713
U20	11	54717	54731	54727	54722	54666	54541	54607	54715	54454
U21		53542	53537	53540	53547	53647	53555	53539	53538	53548
U22	10	53120	53154	53163	53166	53122	52988	52985	53112	52879
U23	9	51683	51707	51705	51712	51681	51589	51571	51660	51515
B1	1	49770	49820	49834	49804	49711	49503	49577	49772	49328
B2		52930	52932	52940	52928	52928	52922	52934	52939	52917
B3	2	51241	51204	50681	50672	50676	50654	50627	50638	50607
B4	3	56077	56079	56090	56091	56147	56277	56223	56118	56315
B5	4	49682	49649	49636	49652	49690	49812	49815	49709	49913
B6										
B7	5	55289	55548	54707	54702	54715	54762	54776	54727	54804
B8	6	56171	56202	56181	56167	56148	56078	56086	56151	56022
B9	7	48879	48908	48616	48598	48519	48409	48418	48559	48553
B10		70036	69793	68813	68804	68788	68757	68729	68739	68210
B11	8	51531	51543	51558	51547	51540	51506	51508	51540	51472
B19	12	52150	52174	52187	52178	52146	52038	52055	52143	51975
B20	11	52412	52405	52416	52423	52483	52594	52620	52428	52663
B21		52559	52414	51452	51445	51451	51461	51448	51446	51253
B22	10	51740	50433	50555	50592	50654	48800?	48800?	48692?	47907?
B23	9	48108	47853	47718	47716	47751	47809	47812	47750	47737

...GENTEWERKEN
ROTTERDAM

AFD. GEOTECHNIEK

G.S 50 - ed 1047 / 2464- 82

werk: .....

waarnemingen door: .....

op 30-9 1983

	1500	1000	0	1500	0					
1	57578	57423	56961	57598	56964	1				
2	50332	50356	50305	50336	50387					
3	51566	51594	51538	51582	51541	2				
4	50079	50164	50420	50063	50421	3				
5	52664	52661	52935	52621	52933	4				
6	53963	53951	53946	53955	53943					
7	51045	51022	51151	51017	51149	5				
8	51692	51677	51546	51704	51547	6				
9	50799	50787	50810	50840	50415	7				925
10	—	—	—	—	—					
1	50403	50393	50302	50414	50304	8				
2	52766	52748	52562	52780	52566	12				
3	454393	54485	54716	54382	54716	11				
4	53559	53550	53541	53554	53541					
5	52814	52817	53105	52767	53102	10				
6	51471	51461	51657	51440	51655	9				
7	49223	49338	49767	49193	49764	1				
8	52911	52929	52942	52918	52937					
9	50589	50561	50604	49749?	50603	2				
10	56304	56302	50121	?	56024	3				
11	49973	49975	49720	50014	49722	4				
12	—	—	—	—	—					
1	54011	54040	54667	54047	54724	5				
2	55986	56002	56149	55965	56151	6				
3	48470	48465	48597	48423	48600	7				
4	60157	60139	60212	60091	60160					
5	51451	51457	51538	51435	51538	8				
6	51933	51953	52140	51911	52138	12				
7	52722	52638	52403	5 ?	?	11				
8	51243	51055	51232	50965	51043					
9	79 ?					10				
10	47757	47782	47652	47782	47595 47639	3				

GEMEENTEWERKEN
ROTTERDAM

AFD. GEOTECHNIEK

G.S 50 - ed 1047 / 2464-'82

werk: Belipo proef
Buisbelasting

waarnemingen door: Slegtenhorst

op 30-9 1983

	0	500	1250	0	4 Slagen met de hamer X 0	1850	0		
U1	56957	57155	57499	56959	56926	57469	56964		
U2	50383	50373	50343	50379	50379	50350	50386		
U3	51537	51571	51592	51535	51528	51586	51542		
U4	50421	50306	50115	50412	50428	50126	50418		
U5	52934	52701	52733	52922	52942	52668	52924		
U6	53942	53938	53948	53938	53940	53951	53943		
U7	51146	51054	51005	51134	51145	51020	51137		
U8	51546	51597	51684	51539	51534	51672	51544		
U9	50393	50597	50795	50410	50374	50758	50423		
U10	–	–	–	–		–	–		
U11	50302	50345	50403	50294	50291	50393	50298		
U19	52563	52648	52747	52560	55521	52728	52566		
U20	54716	54620	54437	54708	54783	54455	54715		
U21	53539	53532	53545	53534	53536	53549	53539		
U22	53102	52939	52784	53087	53011	52824	53091		
U23	51637	51533	51441	51647	51659	51466	51649		
B1	49765	49567	49269	49758	49783	49296	49764		
B2	52939	52842	52928	52936	52938	52927	52944		
B3	50539	49382	49592	50519	50634	49655	50549700		
B4	– ?	–	–	–	–	–	–		
B5	49711	49847	49995	49720	49706	49960	49729		
B6	–	–	–	–	–	–	–		5
B7	54705	54781	54851	54732	54731	54836	54741		
B8	56141	56074	55981	56144	56155	55993	56149		6
B9	48679	48651	48457	48595	48620	48489	48562		7
B10	68055	68023	67949	68050	68046	67943	68016		
B11	51578	51484	51438	51531	51538	51444	51536		8
B19	52132	52046	51943	52133	52149	51961	52136		
B20	–	–	–	–	–	–	–		
B21	51049	51215	–	–	–	–	–		
B22	–	–	–	–	–	–	–		
B23	47675	47782	47655	47766	47670	47873	47683		9

GEMEENTEWERKEN
ROTTERDAM

AFD. GEOTECHNIEK

G S 50 - ed 1047 / 2464- 82

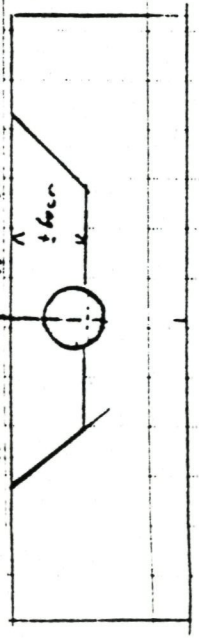
werk: DEL. HOPROEK LIFTHAVEN

waarnemingen door: L.J. HOLLAND

op DONDERDAG 25/8/83 19

LIFT Meetpunt nr	Vgl: Stelling 1435 NAP		Vrijdag 26/8/83 8 u		Dinsdag 30/8/83 8.00 u	2 uur NG 8,35	3 uur NG 8,45	4 uur NG 8,52	5 uur NG 9,00
Uitgangspunten									
1	2,35		2,38		1,88	1,96	2,22	2,30	2,20
2	2,21		2,28		2,26	2,25	2,18	2,10	2,13
3	2,35		2,38		2,38	2,36	2,28	2,24	2,23
4	8,17		8,14		8,18	8,16	8,21	8,37	8,32
5	3,31		3,25		3,28	3,29	3,48	4,02	4,01
6	4,65		4,64		4,68	4,68	4,64	4,52	4,52
7	4,35		4,94		4,96	4,92	4,70	4,10	4,18
8	8,45		8,42		8,36	8,38	8,58	8,48	8,52
					0,00	0,12	0,51	0,52	0,56
1	5,21		5,17		5,09	5,15	5,28	6,12	5,92
2	3,84		3,83		3,78	3,77	3,75	3,72	3,74
3	4,1		4,17		4,18	4,12	3,88	3,30	3,42
4	6,1		6,24		6,28	6,27	6,20	6,22	6,28
5	8,24		8,20		8,28	8,29	8,42	8,97	8,98
6			7,15		7,19	7,20	7,19	7,25	7,21
7	6,13		7,07		7,09	7,08	6,92	6,42	6,42
8	2,77		2,83		2,75	2,79	2,85	2,80	2,78
					0,00	0,00	0,08	0,78	0,87

DE AANSLUITING VAN DE
STELLING AAN DE
LIFTHAVEN MOET
NOG GEMETEN WORDEN.



DRAAIA ZAND TOEVOEREN
GELIJK AANSLUITEN
MET DE VORIGE.

GEMEENTEWERKEN
ROTTERDAM

FD. GEOTECHNIEK

G S 50 - ed 1047 / 2464- 82

werk: BELIJU PROEF MEETHUISJES

waarnemingen door: L.J. VERHAAR

op V.A. 25/8/82 19

OWS	1250	1500	1000	0	1500	0	~~0~~	~~500~~	~~1250~~	
9,10	9,55	10,03	10,08	10,12	10,20	10,32	1400	1410	14,40	
4,08	3,30	3,72	3,43	2,10	3,87	2,12	2,10	2,73	3,62	20
2,15	1,99	1,95	1,98	2,18	2,08	2,17	2,18	2,10	1,98	2,1
2,10	1,83	1,52	1,56	2,58	1,40	2,58	2,58	2,10	1,50	1,5
8,18	8,48	8,50	8,45	8,17	8,50	8,17	8,17	8,34	8,50	8,1
3,53	4,20	4,28	4,23	3,57	4,88	3,57	3,55	4,19	4,84	3,5
4,71	4,48	4,44	4,48	4,20	4,40	4,70	4,70	4,58	4,46	4,7
4,28	3,68	3,41	3,57	4,76	3,32	4,75	4,77	4,10	3,40	4,7
8,45	7,53	7,62	7,65	8,48	7,68	8,48	8,44	8,52	8,60	8,5
						0,04				
0,88	2,51	3,16	3,12	1,58	3,34	1,12	1,17	2,22	3,26	2,0
5,28	6,62	6,00	6,72	5,33	7,17	5,37	5,33	6,01	6,90	5,2
3,88	3,68	3,72	3,78	3,85	3,78	3,86	3,86	3,73	3,72	3,8
4,08	3,87	3,60	3,78	4,04	3,48	4,02	4,04	3,28	3,62	4,0
6,34	6,27	6,26	6,35	6,38	6,24	6,38	6,38	6,30	5,78	6,4
8,52	9,46	9,70	9,68	8,57	9,80	8,58	8,56	9,15	9,76	8,5
7,12	7,29	7,28	7,21	7,12	7,24	7,12	7,11	7,20	7,25	7,1
6,73	6,98	5,68	5,64	6,70	5,55	6,68	6,70	6,32	5,80	6,6
3,60	3,77	3,77	3,74	3,68	3,82	3,68	3,68	3,83	3,80	3,6
						0,22				
0,50	1,38	1,66	1,29	0,31	1,18	0,23	0,24	1,20	1,12	0,4

...KEN

werk: .....

AFD. GEOTECHNIEK

waarnemingen door: .....

GS 50 - ed 1047 / 2464-82

op ..... 19 .....

+/- NAP MAT DIK HAM		
0	1250	0
2,07	3,48	2,16
2,24	1,98	2,18
3,68	4,62	3,53
8,18	8,48	8,15
3,48	4,78	3,58
4,75	4,50	4,68
4,78	8,58	4,73
8,25	8,58	8,51
—		
4,30	6,78	4,39
3,82	3,72	3,88
3,98	3,75	4,02
6,28	6,32	6,37
8,48	8,68	8,56
7,17	7,25	7,08
6,88	5,75	6,68
3,28	3,78	2,72
—		

DOOR DE HAMERSLAGEN
VOOR EN ACHTERKANT
NIET MEER AF TE LEZEN.

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM

AFD. GEOTECHNIEK

G.S. 50 - ed 1047 / 2464-'82

werk: BELIPO PROEF MEETHUIS 2

waarnemingen door: L.J. HOEKMAN

op DONDERDAG 26 JAN 1984

ONG Nop.	Vrijval 2 DAGEN ONG Nop	200KG	0	200KG	0	200KG	500KG	1000KG	800KG
2,07	2,98	2,43	2,06	2,42	2,06	2,43	3,06	9,09	4,42
2,43	2,36	2,34	2,29	2,33	2,28	2,33	2,28	2,36	2,46
3,04	3,03	2,63	2,88	2,65	2,88	2,63	2,06	1,11	0,32
8,07	8,11	8,13	8,03	8,16	8,04	8,16	8,18	8,43	8,08
3,03	3,12	3,58	3,15	3,62	3,20	3,63	4,26	5,38	5,79
4,48	4,64	4,53	4,62	4,54	4,62	4,54	4,51	4,48	5,12
4,93	4,94	4,49	4,99	4,48	4,96	4,46	3,88	3,88	2,90
7,52	8,46	8,51	8,54	8,48	8,53	8,48	8,58	8,70	8,78
0,00	0,00	1,02	0,41	1,12	0,52	1,17	2,52	5,57	10,00
5,17	5,21	5,62	5,26	5,63	5,28	5,65	6,26	7,21	7,50
4,91	4,88	3,88	3,98	3,82	3,96	3,82	3,86	3,85	3,82
4,15	4,15	3,71	4,25	3,70	4,23	3,68	3,10	2,18	2,12
6,12	6,26	6,13	6,28	6,13	6,28	6,13	6,15	6,33	6,87
8,03	8,05	8,48	8,15	8,48	8,18	8,51	9,11	10,15	10,62
7,08	7,11	7,10	7,00	7,12	7,02	7,13	7,09	7,11	6,86
7,12	7,12	6,81	6,92	6,82	6,82	6,82	6,27	5,36	4,62
2,93	3,85	2,96	2,78	2,96	2,78	2,96	2,95	2,92	2,73
0,00	0,00	0,41	0,16	0,44	0,20	0,52	1,78	4,66	11,29

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM

AFD. GEOTECHNIEK

G.S. 50 - ed 1047 / 2464-'82

werk:

waarnemingen door:

op 19

ONG ~~SCHOOF~~	Vrijval 2 DAGEN OPNIEUW 800KG	ONG.	800KG	ONG	1500KG	ONG			
~~1,05~~									
1,96	3,62	2,02	3,56	2,02		2,01			
2,22	2,38	2,23	2,35	2,23		2,23			
2,88	1,38	2,82	1,48	2,82		3,82			
8,00	8,07	7,99	8,60	7,98		7,99			
3,11	4,82	3,16	4,81	3,16		3,15			
4,69	4,86	4,71	4,86	4,72		4,72			
5,10	3,46	5,08	3,47	5,07		5,09			
8,56	8,39	8,57	8,36	8,57		8,58			
10,35	13,90	10,76	13,02	10,88	25,20	11,46			
5,20	6,78	5,23	6,76	5,23		5,21			
3,98	3,62	4,00	3,60	4,00		4,00			
4,33	3,78	4,35	3,75	4,34		4,36			
6,30	6,62	6,35	6,58	6,35		6,35			
8,08	9,72	8,15	9,70	8,13		8,13			
6,98	6,88	6,96	6,93	6,96		6,96			
6,94	5,56	6,87	5,63	6,87		6,87			
2,96	3,00	2,92	3,05	2,93		2,92			
8,48	11,02	9,22	11,01	10,28	22,26	9,46			

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM

AFD. GRONDMECHANICA

G.S. 50 - ed 1047

werk: Belipapraef Rek 6911

waarnemingen door: Moerman - Sleffenkuist

op Vrijdag 27-1 19 84

	nulpunt 26-1-84	27/1/84 nulpunt	0,15	2	0,10	2	0,15	2	5
1 (1)	56907	56908	56922	57012	56907	57010	56917	57016	57200
2	50442	50425	50443	50426	50415	50425	50408	50414	50411
3 (2)	51537	51536	51544	51573	51529	51569	51520	51569	51621
4 (3)	50430	50432	50475	50401	50452	50398	50447	50393	50294
5 (4)	53364	53362	53345	53223	53306	53187	53295	53284	53089
6	55290	56680	55917	56001	55370	?	55887	56094	55320
7 (5)	51241	51247	51259	51171	51226	51171	51220	51165	51075
8 (6)	52256	51546	51547	51548	51530	51544	51527	51547	51587
9 (7)	50264	50270	50285	50429	50279	50431	50288	50439	50674
10									
11 (8)	50293	50300	50316	50304	50294	50323	50291	50322	50385
19 (9)	52521	52526	52537	52574	52521	52574	52522	52575	52665
20 (11)	54878	54879	54883	54820	54860	54821	54856	54815	54730
21	53542	53556	53561	53541	53541	53540	53538	53538	53538
22 (10)	53205	53217	53216	53093	53188	53091	53180	53084	52923
23 (9)	51720	51728	51726	51630	51701	51628	51693	51682	51504
B 1 1	49858	49870	49861	49737	49843	49724	49828	49725	49540
2	52930	52983	52984	52985	52979	52987	52970	52985	52990
3 2									
4 3	56132	56140	56143	56189	56140	56187	56134	56189	56284
5 4	49670	49681	49687	49763	49684	49765	49681	49766	49902
6									
7 5	54787	54798	54802	54840	54794	54840	54789	54840	54919
8 6	56199	56214	56215	56174	56203	56173	56190	56167	56117
9 7	49164	49163	49152	48981	49128	48979	49111	48963	48727
10									
11 8	51632	51642	51637	51589	51629	51590	51617	51585	51537
19 12	52266	52279	52277	52206	52265	52207	52251	52195	52104
20 11									
21									
22 15	50164	50136	50080	50031	50021	50014	50001	50000	50021
23 9	47670	47847	47830	47873	47812	47864	47794	47865	47955

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM

AFD. GRONDMECHANICA

G.S. 50 - ed 1047

werk:

waarnemingen door:

op 19

	10	8	zonder U bintjes	nul meetopstelling	8	0,15	8	0,15	na 15 u/m	0
41	53539	53700	56894	56903	57425	56906	57420	56908	56912	
2	50394	50384	50403	50406	50397	50408	50410	50407	50410	
3	51702	51789	51514	51527	51760	51527	51760	51522	51524	
4	50133	50085	50458	50466	50241	50456	50282	50455	50462	
5	52845	52725	53307	53218	52937	53243	52961	53245	53253	
6	55555	57127	58949	57792	57561	56242	57565	56417	56235	
7	50937	50884	51231	51225	50975	51225	50987	51226	51230	
8	51663	51701	51527	51531	51687	51531	51633	51531	51535	
9	51026	50995	50237	50248	50755	50251	50753	50256	50251	
10										
11	50510	50694	50288	50298	50557	50298	50560	50300	50303	
19	52820	52837	52512	52516	52654	52517	52659	52518	52521	
20	54572	54453	54863	54858	54589	54859	54602	54860	54865	
21	53545	53538	53538	53540	53546	53541	53554	53542	53546	
22	52655	52616	53195	53187	52788	53186	52802	53186	53192	
23	51323	51328	51713	51709	51490	51707	51501	51711	51715	
31	49285	49083	49853	49842	49360	49845	49369	49841	49845	
2	52984	52973	52971	52972	52982	52978	52986	52973	52972	
3										
4	56438	56475	56126	56189	56327	56134	56327	56130	56130	
5	50126	50230	49867	49872	50048	49880	50045	49878	49873	
6										
7	55044	55115	54782	54787	55028	54791	55026	54790	54786	
8	56030	56001	56195	56192	56086	56196	56089	56192	56192	
9	48394	48376	49129	49127	48630	49130	48638	49123	49129	
10										
11	51537	51281	51646	51637	51408	51633	51410	51626	51641	
19	51953	51931	52265	52258	52118	52259	52120	52255	52256	
20										
21										
22	50128	50185	49823	49863	50025	49879	50032	49891	49883	
23	48117	48183	43758	47749	47951	47750	47949	47752	47745	

Bijlage IV

Gemeten Spanningen

TABEL UU12/7: UITWENDIGE SPANNINGEN

BELAST.	2.	5.	10.	5.	0.	12.5	15.	10.	0.	15.	0.
NR	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2
1	19.005	48.405	93.765	68.250	29.295	163.905	199.605	135.555	11.235	208.005	7.056
2	8.925	20.895	28.245	27.405	15.435	28.035	66.780	49.350	6.720	66.570	2.415
3	-7.665	-22.155	-46.935	-34.125	-14.385	-77.385	-96.915	-82.005	1.575	-107.625	-.735
4	-15.750	-38.850	-64.890	-56.070	-27.930	-113.505	-141.120	-96.600	-4.935	-152.145	-3.570
5	33.600	20.265	5.670	13.755	29.295	-16.380	-28.560	-9.450	38.850	-30.870	39.375
6	7.560	5.120	29.400	24.780	11.340	50.295	67.725	42.420	.105	78.120	-1.680
7	18.795	49.350	85.680	68.460	28.455	130.200	159.180	118.440	8.295	169.260	4.095
8	9.030	16.585	23.730	20.265	8.925	42.735	57.960	35.385	-.210	68.565	-1.575
9	-9.240	-23.310	-45.570	-36.540	-19.320	-69.510	-82.845	-58.170	-3.255	-93.555	-2.520
10	-16.170	-37.800	-63.840	-53.235	-28.140	-102.690	-127.890	-86.940	-4.515	-147.420	-2.625
11	-7.245	-19.530	-36.120	-22.470	-8.820	-56.805	-74.025	-45.465	2.205	-87.465	.630
12	9.135	19.740	-111.195	33.495	18.585	55.650	64.470	47.460	7.350	71.820	2.940

TABEL UB12/7: INWENDIGE SPANNINGEN

BELAST.	2.	5.	10.	5.	0.	12.5	15.	10.	0.	15.	0.
NR	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2
1	-17.535	-42.000	-79.905	-59.010	-28.140	-124.530	-156.870	-106.785	-7.245	-187.950	-4.830
2	-10.290	-20.265	-32.865	-35.175	-30.345	-49.665	-61.425	-48.825	-16.695	-64.260	.735
3	8.505	21.210	43.890	31.920	15.330	64.680	81.270	54.810	2.310	101.325	1.470
4	15.750	35.490	60.690	49.560	27.930	94.290	119.910	83.895	5.040	143.955	2.205
5	7.980	19.110	30.870	21.420	8.925	46.935	59.430	43.680	2.100	67.095	.420
6	-7.140	-15.750	-33.180	-29.610	-18.060	-53.130	-65.835	-43.260	-3.570	-82.950	-1.260
7	-17.535	-36.855	-66.255	-49.875	-17.745	-103.845	-126.420	-89.355	8.505	-146.580	14.070
8	-7.140	-15.330	-22.260	-19.110	-12.705	-33.600	-42.000	-26.670	.105	-61.215	1.470
9	4.200	15.330	32.340	11.760	-28.560	13.650	32.970	14.385	-40.320	31.710	-20.160
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	7.560	18.690	35.595	22.995	1.680	53.970	67.830	47.355	7.140	86.100	6.090
12	-7.980	-18.060	-33.180	-29.190	.840	-48.825	-54.495	-38.955	-1.260	-69.615	.210

TABEL UU10/8: UITWENDIGE SPANNINGEN

BELAST. NR	2. N/MM2	5. N/MM2	10. N/MM2	15. N/MM2	0. N/MM2
1	12.390	34.650	96.180	174.300	-.630
2	6.300	19.110	39.900	61.740	-1.260
3	-11.130	-15.120	-52.290	-93.660	3.780
4	-14.280	-40.320	-83.790	-131.670	-.210
5	-3.780	-14.280	-31.710	-49.140	0.000
6	5.040	16.590	38.010	63.000	0.000
7	13.650	43.050	91.560	139.230	.210
8	5.250	14.910	31.920	52.080	-.630
9	-4.620	-17.010	-38.640	-61.110	-.630
10	-14.700	-40.320	-81.690	-127.470	-.210
11	-8.820	-25.410	-53.550	-86.100	-.210
12	6.720	17.430	34.020	51.240	-.210

TABEL UB10/8: INWENDIGE SPANNINGEN

BELAST. NR	2. N/MM2	5. N/MM2	10. N/MM2	15. N/MM2	0. N/MM2
1	-17.430	-49.770	-105.630	-167.790	-.420
2	-6.720	-18.270	-35.910	-53.970	.210
3	9.450	27.930	59.010	95.550	.420
4	12.600	37.170	78.120	124.320	.210
5	3.150	12.600	43.050	58.590	13.650
6	-6.510	-18.690	-40.530	-65.730	-.210
7	-15.750	-44.940	-90.720	-136.920	-.210
8	-6.510	-16.170	-31.290	-49.350	-1.890
9	-.840	2.730	19.530	38.640	-7.980
10	15.960	40.320	79.170	123.270	3.780
11	7.560	22.890	47.460	77.490	-1.050
12	-7.980	-18.690	-36.750	-55.020	0.000

TABEL UU16/8: UITWENDIGE SPANNINGEN

BELAST.	2.	5.	10.	5.	0.	12.5	15.	10.	0.	15.	0.
NR	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2
1	14.490	39.900	98.490	50.190	-3.570	136.500	169.470	108.990	-2.100	169.890	-2.310
2	6.300	17.220	34.860	23.100	-.210	49.770	58.800	41.580	.420	62.790	0.000
3	-9.240	-49.770	-79.170	-51.240	-26.250	-98.280	-116.130	-82.110	-29.820	-120.330	-26.250
4	-11.550	-40.320	-80.220	-50.610	-5.880	-103.740	-124.740	-87.990	-5.250	-127.050	-5.250
5	-4.200	-16.590	-36.120	-31.290	-1.890	-46.200	-53.760	-48.090	-1.680	-49.560	-2.310
6	1.260	6.090	20.580	9.240	.210	31.290	42.210	24.780	.630	53.550	.420
7	17.430	48.930	93.660	78.330	4.410	109.830	124.530	105.840	5.670	121.170	4.830
8	4.620	14.070	33.810	17.010	-.420	48.930	61.320	40.950	.210	57.750	-.420
9	-5.670	-19.530	-39.060	-33.600	-.630	-46.200	-54.180	-46.830	-.420	-55.650	-1.260
10	-12.600	-39.690	-79.170	-47.670	-.630	-102.690	-124.950	-88.620	0.000	-122.430	-.840
11	-7.140	-23.520	-54.390	-25.830	.420	-75.180	-93.030	-60.060	1.050	-85.680	.630
12	5.250	16.590	35.070	24.780	.630	20.160	48.510	38.430	1.470	46.830	.840

TABEL UB16/8: INWENDIGE SPANNINGEN

BELAST.	2.	5.	10.	5.	0.	12.5	15.	10.	0.	15.	0.
NR	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2
1	-15.120	-49.770	-99.540	-56.700	-1.050	-132.930	-163.800	-112.560	-1.890	-165.690	-1.470
2	-6.090	-18.060	-32.550	-21.840	-.630	-45.150	-54.600	-41.160	-2.310	-56.280	-1.890
3	8.400	26.880	52.080	27.510	.630	70.350	84.630	53.130	.630	93.870	.840
4	11.340	36.750	72.660	45.150	1.890	96.390	115.080	80.010	1.470	121.380	2.310
5	4.620	19.320	27.510	31.710	1.470	32.550	31.290	30.660	2.310	23.520	1.680
6	-2.940	-11.550	-27.720	-15.120	-.420	-40.530	-55.440	-35.070	-.840	-64.260	-.420
7	-19.530	-56.490	-97.650	-16.590	14.490	-119.280	-150.360	-133.770	-24.360	-152.880	-27.930
8	-14.280	-23.730	-42.420	-24.570	-8.610	-55.440	-67.830	-48.300	-6.720	-62.580	-5.040
9	-7.560	6.510	19.740	15.750	-18.480	2.940	1.050	-5.040	-38.640	-9.030	-42.000
10	17.850	50.190	93.450	59.220	-32.970	126.000	145.320	96.390	-101.010	132.300	-92.400
11	7.560	25.410	54.180	27.090	.210	71.610	87.570	56.700	-.420	83.790	1.260
12	-5.670	-18.690	-36.330	-24.360	-.420	-42.210	-52.080	-40.320	-2.100	-49.350	-.210

TABEL UU31/8: UITWENDIGE SPANNINGEN

BELAST.	2.	5.	10.	5.	0.	12.5	15.	10.	0.	15.	0.
NR	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2
1	9.030	30.240	77.700	53.970	11.760	115.500	143.640	111.090	14.070	147.840	14.700
2	.840	.210	4.620	10.290	7.140	10.080	15.120	21.000	9.240	18.480	9.870
3	-1.260	-13.860	-41.160	-29.610	-5.460	-63.000	-76.860	-59.010	-5.250	-80.220	-5.040
4	.840	-7.980	-33.180	-35.700	-11.760	-55.860	-69.090	-69.720	-12.180	-78.120	-12.600
5	1.890	-2.100	-13.020	-17.010	-8.820	-24.150	-28.560	-33.390	-6.300	-34.440	-6.720
6	2.730	5.880	17.850	16.170	5.250	27.720	36.960	33.810	6.300	39.480	6.510
7	3.570	17.640	57.540	57.750	23.100	87.570	109.620	107.100	27.930	118.230	28.980
8	1.890	3.990	11.550	10.920	3.780	19.110	26.250	24.150	5.040	28.560	5.460
9	1.470	-5.040	-24.360	-28.140	-9.450	-39.900	-49.140	-51.240	-10.080	-55.650	-10.500
10	.630	-8.610	-36.750	-37.380	-10.710	-59.640	-73.290	-72.660	-12.180	-83.160	-12.810
11	-1.050	-14.910	-39.060	-25.200	-2.520	-57.330	-70.140	-50.820	-2.310	-72.450	-2.310
12	1.260	7.560	28.560	26.460	8.610	42.000	53.130	49.350	10.290	56.070	11.130

TABEL UB31/8: INWENDIGE SPANNINGEN

BELAST.	2.	5.	10.	5.	0.	12.5	15.	10.	0.	15.	0.
NR	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2
1	-6.300	-25.830	-69.510	-53.970	-13.020	-106.260	-128.310	-104.160	-14.070	-134.610	-14.700
2	-1.890	-1.050	-5.670	-11.340	-9.030	-15.540	-19.320	-25.200	-16.170	-195.720	-16.380
3	.210	11.970	39.270	27.930	5.880	47.250	61.740	44.520	6.510*********		-13.860
4	3.360	11.340	36.960	37.590	15.330	58.170	70.770	71.190	17.640	79.380	18.060
5	-1.050	1.680	11.550	14.490	6.300	20.370	21.840	27.930	-8.400	29.400	3.570
6	-2.940	-6.930	-21.630	-19.950	-6.300	-33.390	-40.950	-37.590	-6.720	-45.360	-6.300
7	-3.780	-20.370	-43.470	-41.580	-11.970	-13.230	-30.660	-31.710	-3.990	-40.530	-1.680
8	-2.310	-3.780	-10.920	-10.500	-3.780	-18.060	-22.470	-21.210	-4.200	-25.830	-4.200
9	-.420	6.930	19.110	19.740	6.720	3.990	8.190	13.440	-13.860	13.440	-16.590
10	7.770	20.790	-368.550	-368.550	-391.230	-539.280**********					
11	1.470	14.070	37.380	21.840	2.520	51.870	64.260	46.620	-2.730**********		
12	-1.890	-8.610	-31.290	-27.720	-9.240	-44.520	-53.340	-49.140	-9.870	-57.960	-10.290

TABEL UU27/1: SPANNINGEN UITWENDIG

BELAST.	0.15	2.	0.15	2.	0.15	2.	5.	10.
NR	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2
1	2.940	21.840	-.210	21.420	1.890	22.680	61.320	132.510
2	1.680	7.770	-1.470	6.930	-1.680	6.930	17.850	34.860
3	.630	-14.910	-4.200	-15.540	-5.250	-16.590	-37.380	-71.190
4	-3.570	-29.190	-11.760	-36.750	-14.070	-28.980	-57.330	-108.570
5	2.520	-15.960	-4.410	-15.960	-5.670	-17.220	-36.120	-65.100
6	.210	.420	-3.360	.630	-3.990	.210	8.610	24.570
7	3.150	33.390	1.890	33.810	3.780	35.490	84.840	158.760
8	3.360	7.140	-1.260	6.930	-1.890	6.720	17.850	44.100
9	-.420	-20.580	-5.670	-21.000	-7.350	-22.260	-47.040	-85.050
10	-.210	-26.040	-6.090	-26.460	-7.770	-27.930	-61.740	-118.020
11	.840	-12.390	-3.990	-12.180	-4.830	-13.440	-31.290	-64.470
12	2.310	10.080	-1.050	10.080	-.840	10.290	29.190	61.740

TABEL UB27/1: SPANNINGEN INWENDIG

BELAST.	0.15	2.	0.15	2.	0.15	2.	5.	10.
NR	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2
1	-1.890	-27.930	-5.670	-28.560	-8.820	-30.450	-69.300	-135.450
2	-.420	-15.330	-2.940	-15.120	-5.880	-17.640	-36.750	-68.460
3	.630	10.290	0.000	9.870	-1.260	10.290	30.240	62.580
4	1.260	17.220	.630	17.640	0.000	17.850	46.620	93.450
5	.840	8.820	-.840	8.820	-1.890	8.820	25.410	52.710
6	.210	-8.400	-2.310	-8.610	-5.040	-9.870	-20.370	-38.640
7	-2.310	-38.220	-7.350	-38.640	-10.920	-42.000	-91.560	-161.490
8	-1.050	-11.130	-2.730	-10.920	-5.250	-11.970	-22.050	-22.050
9	-3.570	5.460	-7.350	3.570	-11.130	1.680	22.680	56.700
10	-11.760	-22.050	-22.050	-25.620	-28.350	-28.560	-24.150	-1.680
11	.630	10.290	0.000	9.870	-1.260	10.290	30.240	62.580
12	-.420	-15.330	-2.940	-15.120	-5.880	-17.640	-36.750	-68.460

TABEL UU28/1: SPANNINGEN UITWENDIG

BELAST. NR	8. N/MM2	0.15 N/MM2	8. N/MM2	0.15 N/MM2	0.15 N/MM2
1	109.620	.630	108.570	1.050	1.890
2	48.930	0.000	48.930	-1.050	-.630
3	-45.150	0.000	-42.840	-.210	1.260
4	-80.010	5.250	-74.970	5.670	7.350
5	-52.500	0.000	-49.980	.210	1.050
6	20.160	0.000	21.420	0.000	.840
7	106.470	.630	106.050	1.680	.630
8	54.390	0.000	55.020	.420	1.050
9	-45.990	-.420	-43.680	.420	1.260
10	-83.790	-.210	-80.850	-.210	1.050
11	-56.490	.210	-53.760	.420	1.470
12	28.980	.210	30.030	.420	1.050

TABEL UB28/1: SPANNINGEN INWENDIG

BELAST. NR	8. N/MM2	0.15 N/MM2	8. N/MM2	0.15 N/MM2	0.15 N/MM2
1	-101.220	.630	-100.380	-.210	.630
2	-29.400	.210	-28.980	-.630	-.420
3	43.680	1.050	47.880	.210	.210
4	78.750	1.470	78.120	1.050	0.000
5	50.610	.840	50.190	.630	-.210
6	-22.260	.840	-21.630	0.000	0.000
7	-104.370	.630	-102.690	-1.050	.420
8	-48.090	-.840	-47.670	-2.310	.840
9	42.420	.210	42.000	.630	-.840
10	34.020	2.310	35.490	5.880	4.200
11	43.680	1.050	47.880	.210	.210
12	-29.400	.210	-28.980	-.630	-.420

TABEL 19/6: UU19/6, UU20/6, UB19/6, UB20,6

SPANNINGEN							
UITWENDIG				INWENDIG			
NR	N/MM2	NR	N/MM2	NR	N/MM2	NR	N/MM2
1	149.730	7	148.680	1	-134.190	7	-126.630
2	40.950	8	68.670	2	0.000	8	-40.350
3	-69.720	9	-81.270	3	62.580	9	0.000
4	-94.920	10	-108.570	4	91.350	10	64.050
5	-56.280	11	-57.960	5	53.130	11	0.000
6	37.800	12	46.830	6	-42.210	12	-49.980
7	126.630	1	126.000	7	-118.860	1	-124.950
8	60.480	2	50.400	8	-47.880	2	0.000
9	-66.990	3	-59.640	9	0.000	3	55.860
10	-99.540	4	-97.440	10	12.810	4	92.820
11	-70.560	5	-67.620	11	0.000	5	57.750
12	38.430	6	24.570	12	-41.370	6	-27.510

Rapport 5/077/117 December 1988

De invloed van de inwendige druk en andere stijfheidsbepalende parameters voor de grond/buis doorsnede op de grootte van de opleghoek van pijpleidingen.

Opdrachtgevers: DWL Rotterdam.
Gemeentewerken Rotterdam.
r+k raadgevend ingenieurs- en konstruktieadviesbureau b.v.

Inhoud.

1. Inleiding.

2. Conclusies en aanbevelingen.
   2.1 Rerounding effect.
   2.2 Andere grond- en buisstijfheden.

3. Probleemstelling en uitgangspunten.

4. Het rerounding effect.

5. Andere grond- en buisstijfheden.
   5.1 Algemeen.
   5.2 Benadering van de proefresultaten.
   5.3 Andere grondstijfheden.
   5.4 Andere buisstijfheden.

6. Grondreactie verdeling

Literatuur.

Figuren.

Bijlage I.

Grondgegevens van de proef.

1. Inleiding.

Om een beter inzicht in het verschijnsel opleghoek van buisleidingen in de grond te verkrijgen zijn een aantal rekmetingen verricht op een drukloze stalen buis, opgelegd op een met zand gevulde bak in het laboratorium voor grondmechanica van de gemeente Rotterdam.
De resultaten van de metingen en de uitwerking ervan zijn weergegeven in het rapport: "Onderzoek naar de Opleghoek van Pijpleidingen"(1), uitgebracht in december 1987.
Kort samengevat kunnen de volgende ongunstige randcondities voor de buis tijdens de metingen ten opzichte van in de praktijk gelegde buizen worden genoemd. Tevens worden de conclusies uit het voornoemde rapport over de vergelijking van de resultaten van de metingen met de berekende resultaten hier kort weergegeven:

- Een harde "sleufbodem" met een sondeerwaarde van 5 - 7 N/mm^2, die als simulatie van een in de praktijk voorkomende ongeroerde sleuf kan gelden. Voor dijk- en wegkruisingen is meestal sprake van een op hoogte gestelde buis in geroerde grond, waarvan de sondeerwaarden meestal lager zijn.

- De resultaten van de metingen, waarmee de berekende resultaten zijn vergeleken, zijn verkregen uit de proefopstelling, waarbij de buis op de grond lag en slechts ingebed was over ca 9.00 cm. In deze situatie kon geen enkele horizontale steundruk worden ontwikkeld. In vergelijking met normaal gelegde buizen kan dit als een extreem ongunstige benadering van de werkelijkheid worden beschouwd.

- De resultaten van de metingen, waarbij de buis in een aangevulde, niet extra verdichte, sleuf was gelegd, zijn vergeleken met de resultaten van de eerste serie metingen en de daarbij behorende berekeningen. Ook deze situatie kan als zeer ongunstig ten opzichte van in de praktijk aangelegde buizen worden beschouwd. In de praktijk zal de verdichting in de sleuf beter zijn en tevens zal in de praktijk de bovenbelasting, die in de proef direct werd overgebracht op de buis via een U profiel, zorgen voor het ontwikkelen van een horizontale steundruk.

Uit het vergelijken van de resultaten van de metingen van de niet-begraven buis met de resultaten van berekeningen met een computermodel, waarin dezelfde situatie is weergegeven, zijn in het voornoemde rapport de volgende conclusies getrokken:

- De minimale ondersteuningshoek van 75° is gevonden voor de belastingsituaties, waarbij direct voor het optreden van de beschouwde belastinggevallen belastingen waren aangebracht, die 2 en 1.5 keer zo groot waren als de beschouwde belastingen van 5 en 10 kN.

- De ondersteuningshoek van 75° kan als gevolg van de zeer conservatieve benadering van het probleem , niet begraven buis en harde ondergrond en gevonden nadat eerder grotere belastingen zijn aangebracht, als absoluut minimum worden beschouwd voor in de praktijk gelegde en te leggen buizen.
  In de praktijk zal de in de grond gelegde buis altijd worden aangevuld en worden verdicht, waardoor de horizontale steundruk zich zal ontwikkelen en de opleghoek groter zal zijn dan in de onderzochte onbegraven situatie.
  Tevens zal in veel gevallen geen ontlasting van de grondreactie onder de buis met een factor 1.5 tot 2 optreden, omdat één van de belangrijkste belastingcomponenten voor een pijpleiding, de zettingsverschillen, in de tijd alleen maar groter zullen worden.
  De als gevolg van de zettingsverschillen resulterende, steeds toenemende, grondreacties moeten eigenlijk vergeleken worden met de opleghoeken, die gevonden worden voordat er eerst een grotere belasting is aangebracht. Deze opleghoeken zijn veel groter dan de bovengenoemde 75° en lopen voor de onbegraven situatie rekenkundig zelfs op tot boven de 120° (zie 1.).

Uit de discussie met de vertegenwoordigers van de Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland kwamen, kort samengevat, de volgende punten naar voren:

- Geconcludeerd is, dat de opleghoek voor pijpleidingen, die in sterkteberekeningen als veilig kan worden gehanteerd, minimaal 75° bedraagt, voor in zand opgelegde drukloze pijpleidingen.

- Onderzoek naar de invloeden van het z.g.n. rerounding effect, andere diameter-wanddikte verhoudingen en andere grondstijfheden zal worden uitgediept, om bovengenoemde minimale opleghoek van 75^{o} in berekeningen te kunnen invoeren voor vergunningsaanvragen voor weg- en dijkkruisingen.
- Bovengenoemde minimale opleghoek van 75^{o} zal dan ook in de volgende revisie van de Pijpleidingcode 1972 van de Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland worden opgenomen zodra de bovengenoemde invloeden nader zijn onderzocht.

In dit rapport zijn de resultaten van het onderzoek naar de voornoemde invloeden weergegeven.

2. Conclusies en aanbevelingen.

2.1 Rerounding effect.

Als gevolg van de inwendige druk wordt de buisdoorsnede stijver tegen buiging en zal dus onder invloed van een bepaalde bovenbelasting minder buigingsvervorming (ovalisatie) optreden als in het geval van de drukloze buis. Deze verminderde vervorming kan ook worden vertaald in een afname van de bovenbelasting. Met het aanbrengen van een inwendige druk in de proefbuis van 1.56 N/mm^2 en een boven belasting van 10 KN werden dezelfde buigspanningen berekend als gevonden in de metingen voor alleen 5 kN bovenbelasting bij dezelfde opleghoek (75^o)
Uit bovenstaande kan voorts geconcludeerd worden, dat de inwendige druk een gunstige invloed heeft op de ontwikkeling van de buigspanningen. In het geval van lage druk leidingen, waarin de druk beperkt blijft tot 1.0 N/mm^2 kan dus zonder meer uitgegaan worden van de hoeken, die in het onderzoek zijn gevonden. Hierbij moet worden aangetekend, dat bovenstaande hoek onder de meest ongunstige, niet in de praktijk voorkomende situatie, is gevonden.

2.2 Andere grond- en buisstijfheden.

Uit het parameter onderzoek op de variatie van de grondstijfheden, waarin de niet-begraven situatie is gesimuleerd, is gebleken, dat de reactieverdeling voor de grond, die in de proef is gebruikt, nagenoeg gelijkmatig over de oplegzone is verdeeld (zie fig.4).
Bij gronden met een stijfheid in de orde van 10 keer de stijfheid in de niet-begraven proef en in de orde van de stijfheid van begraven buizen met een normale dekking, zal zich een reactieverloop voordoen, waarbij de grootste reacties aan de randen van de oplegzone optreden. Het buigend moment en dus de buigspanningen onder in de buis nemen hierdoor af. In de berekeningen, waarin de grondstijfheid een factor 16 keer de waarde in de niet-begraven proef bedroeg, blijkt het buigend moment onder in de buis met 15% af te nemen (zie fig. 2).

Grondstijfheidsvariaties in de orde van 4 keer groter tot 16 keer kleiner dan de grondstijfheid in de niet-begraven situatie in de proefbak laten nauwelijks verschillen zien in de verdeling van de grondreactie (zie fig. 4 en 5) en het verloop van het buigend moment in de doorsnede (zie fig. 2).

Het blijkt uit de parameterstudie, dat de variatie in grondstijfheid, berekend voor de niet-begraven situatie, een verschil in gedrag van de doorsnede van de buis laat zien, tot een reductie van 15% in de omtrekspanningen, bij toenemende grondstijfheden.

In het geval van andere buisstijfheden blijkt, dat in een range van 4 keer groter tot 4 keer kleiner de wandstijfheid van de proefbuis er, eveneens in de niet-begraven situatie, nauwelijks verschil in de reactieverdeling en dus in de buigende momenten onder in de buis optreden. De onderzochte range van buiswand-stijfheden gelden voor de D/t verhoudingen van D/t = 270 tot D/t = 17 hetgeen meer dan de range van gangbare buizen dekt.

Uit de parameterstudie blijkt dus, dat de variatie in grond- en buisstijfheden geen of nauwelijks verschil in reactieverdeling onder de buis en in de tangentiële buigspanningen in de buiswand teweegbrengt. Deze conclusie geldt alleen voor de niet-begraven situatie, waarin geen rekening is gehouden met de grotere grondstijfheden, die zich voor kunnen doen bij begraven buizen (zie hoofdstuk 3). De grondstijfheden, die zich bij de begraven buizen kunnen voordoen zullen minstens 6 keer zo groot zijn als voor de niet-begraven situatie uit de proef. In de begraven situatie kan zich de verschuiving van de reactie verdeling, zoals die is verondersteld in het voornoemde rapport, wel voordoen gezien de resultaten van berekening GKL5. De invloed hiervan alleen al kan een verlaging van de buigspanningen onder in de buis veroorzaken van 15% afgezien nog van de invloed van de ontwikkeling van de zogenaamde horizontale steundruk.

Uit het onderzoek naar de variatie in grondstijfheden is voorts gebleken, dat voor minder stijve gronden het gedrag van de buis nauwelijks anders is dan in de gemeten, niet-begraven, situatie. Tot de minder stijve gronden kunnen ook de cohesieve gronden zoals klei en veen worden gerekend. Omdat voor de gevonden opleghoek van 75^{o} is uitgegaan van de niet-begraven situatie, zonder horizontale steundruk, met een relatief lage grondstijfheid kan worden gesteld, dat voor bovengenoemde gronden eveneens de opleghoek van 75^{o} als minimaal kan worden aangenomen. Als bijkomend punt kan worden vermeld, dat de tangentieële reactie, die samen met de radiale reactie een nagenoeg vertikale reactie veroorzaakt, in het geval van de cohesieve gronden veroorzaakt wordt door de cohesie, zodat er niet veel verschil zal zijn met de beschouwde situatie.

3. Probleemstelling en uitgangspunten.

De proeven, die besproken zijn in het rapport 'Onderzoek naar de Opleghoek van Pijpleidingen' (1) zijn gedaan in een bak met zand. Er zijn geen metingen gedaan met grond met andere stijfheidsbepalende karakteristieken.
In dit rapport zal een extrapolatie worden gemaakt van de resultaten uit eerder genoemd rapport naar andere stijfheidsbepalende karakteristieken voor zowel de buis als voor de grond. Hiertoe worden berekeningen gemaakt, waarin deze karakteristieken als parameters worden gevarieerd, om aldus de invloed ervan te kunnen afleiden.

De grootte van de opleghoek van pijpleidingen is onder meer afhankelijk van:

a: de mate, waarin de buis in de grond wordt gedrukt en dus van de stijfheid en het draagvermogen van de grond onder en naast de buis.
b: de vervorming van de buisdoorsnede als gevolg van in- en uitwendige belastingen en de stijfheid van de grond.

ad a: De mate waarin de buis in de grond wordt gedrukt is afhankelijk van de grootte van de belasting, de stijfheid en het draagvermogen van de grond.
In de proeven, die zijn gedaan op de onbegraven buis is gewerkt met een maximale belasting op de buis van 15 kN.
De hoek van inwendige wrijving (PHIE) bedraagt voor het zand in de bak 35^{o} (zie bijlage I).
De initiële inbedding van de proefbuis in de niet-begraven situatie bedraagt: 0.09 m
De aanlegbreedte B voor de berekening van het evenwichtsdraagvermogen in de niet-begraven siituatie is dan: B = 0.290 m

Het evenwichtsdraagvermogen bedraagt voor de niet-begraven situatie:

$$q_{o.nb} = N \times GAMMA \times (0.5B + D) \quad \text{(zie (1))}$$

$N = 41 \pm 6$ (1)
$GAMMA = 16.3\ kN/m^3$ (zie bijlage I)
$B = 0.3239 \times \sin 60^{o} = 0.290\ m$
$D = 0.09\ m$
$q_{o.nb} = 157\ kN/m^2$

Het totale draagvermogen bedraagt:

$$Q_{tot.nb} = l_b \times B \times q_o$$
$$= 0.76 \times 0.290 \times 157 = 35 \text{ kN}$$

Hieruit blijkt, dat de opgebrachte belastingen ruimschoots beneden het draagvermogen van de grond in de bak liggen en dat de optredende opleghoek slechts voor een gedeelte wordt veroorzaakt door de indrukking van de buis in de grond. De grootte van de opleghoek moet dus grotendeels veroorzaakt worden door de interactie tussen de vervorming van de buisdoorsnede en de grond. Tevens is voor de bepaling van de minimum opleghoek uit de proeven uitgegaan van de situatie, waarin eerst een grotere belasting op de buis aanwezig is geweest, waardoor een nog grotere verdichting onder de buis is opgetreden.

In de begraven situatie wordt het evenwichtsdraagvermogen berekend met dezelfde formule:

$D = 2 \times 323.9 = 647.8$ mm
$B = 323.9$ mm:
$q_{o.b} = 541$ kN/m^2

De grondstijfheid wordt in de begraven situatie dan ook evenredig met het evenwichtsdraagvermogen groter en zal dan (541/157) = 3.4 keer zo groot worden. De dekking op de buis was in de begraven situatie slechts 1 keer de diameter van de buis, zodat zowel het evenwichtsdraagvermogen als de verticale grondstijfheid in vergelijking met praktijksituaties erg laag zijn. Voor deze buis zal de dekking in de praktijk normaal minstens 3 keer de diameter bedragen. het evenwichtsdraagvermogen zal dan bij deze grondsoort bedragen:

$$q_{o.p} = 974 \text{ kN/m}^2$$

De grondstijfheid zal dan (974/157) = 6 keer de waarde zijn, die in de proef is gebruikt.

ad b: Onder de inwendige belasting, die een verstijvende invloed heeft op de buisdoorsnede, wordt verstaan de invloed van de inwendige druk, het zogenaamde rerounding effect. Dit fenomeen zal worden besproken in hoofdstuk 4 van dit rapport. In hoofdstuk 5 zal de invloed van andere grondstijfheden en andere ringstijfheden van de buis worden behandeld.

4. Het rerounding effect.

Daar de metingen aan de buis in een drukloze situatie hebben plaatsgevonden, kan uit de resultaten van de metingen niet direct de invloed van de inwendige druk op de grootte van de opleghoek worden afgeleid.
De invloed kan echter wel rekenkundig onderzocht worden met behulp van parameterstudies, waarbij dezelfde rekenmethodiek wordt gevolgd als in het oorspronkelijke onderzoek voor de drukloze situatie.
Een aantal onderzoekers hebben theoretische benaderingen voor het z.g.n. rerounding effect uitgewerkt.
Eén van deze uitwerkingen is weergegeven in rapport H34-W3 van r+k. De resultaten van deze uitwerking zijn opgenomen in de computerprogrammas van r+k.
Een andere benadering is uitgewerkt door Spangler. De vermenigvuldigingsfactor voor de spanningen, waardoor het reroundingeffect kan worden verdisconteerd is weergegeven in de "Pijpleidingcode 1972 rev.1984" (3) van de Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland.
Tussen de door Spangler afgeleide factor en de door r+k afgeleide invloed is een gering verschil, omdat er hogere orde effecten worden meegenomen in de r+k benadering en tevens doordat in de berekeningen met de Spangler factoren een iets andere belastingshoek is verdisconteerd. In dit geval blijft het verschil beperkt tot 8%.

Om de invloed van het reroundings effect aan te tonen zijn met behulp van het computerprogramma GERING/1 twee parameterstudies gemaakt met de volgende uitgangspunten:

- Dezelfde buis in het rekenmodel als in het oorspronkelijke onderzoek, waarbij de buis niet begraven was.

- De opleghoek is 75^{o}, dit is de minimale hoek gevonden in het oorspronkelijke onderzoek voor de teruggaande belastingen van 5 KN en 10 kN in de niet-begraven situatie.

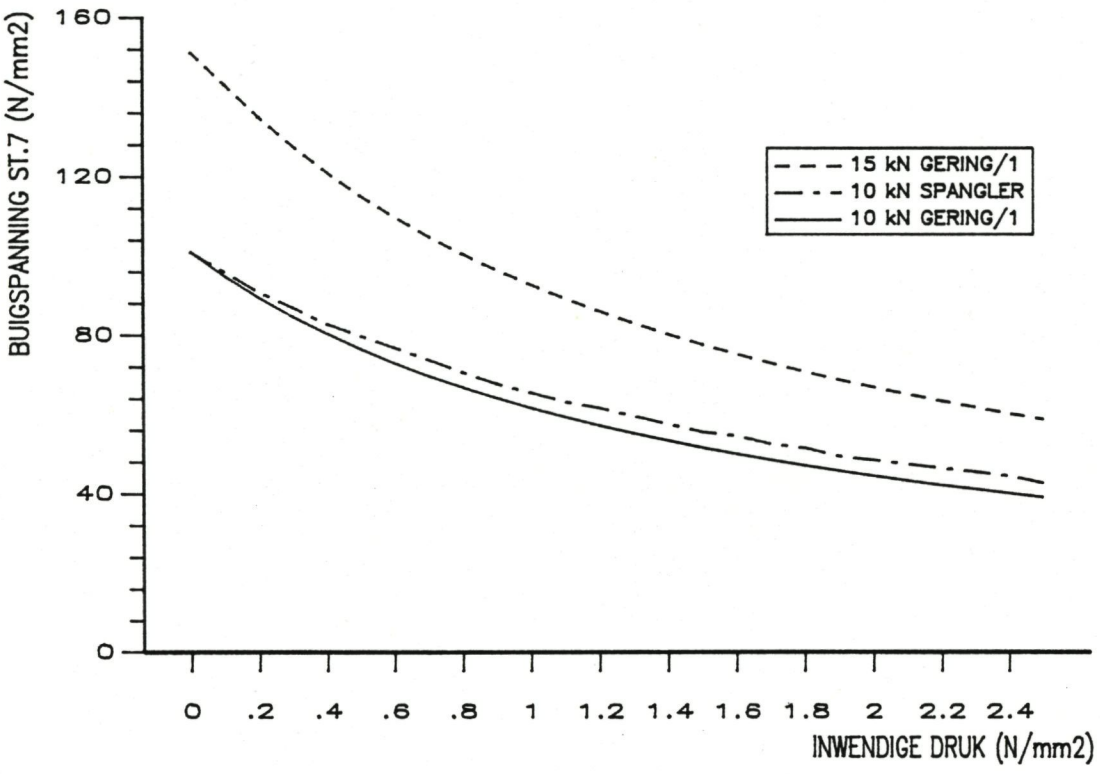
- De bovenbelasting is 10 KN en 15 KN.

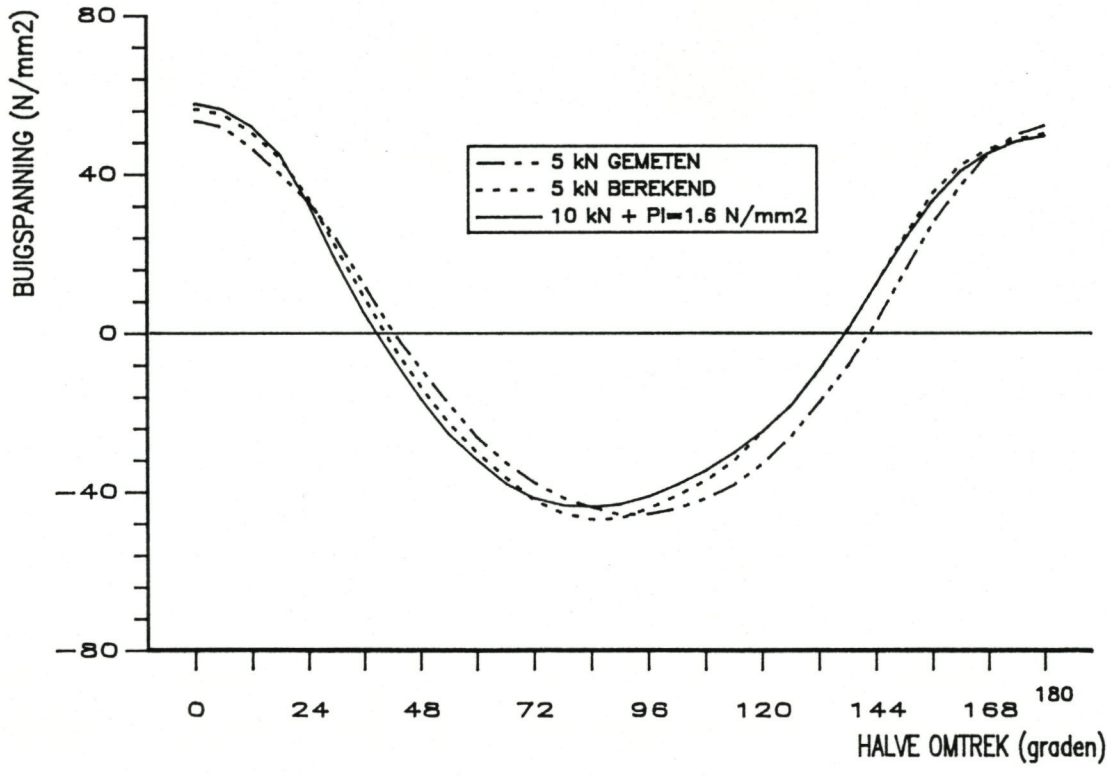
- De inwendige overdruk wordt zodanig gevarieerd, dat dezelfde buigspanningen onder in de buis ontstaan als in de drukloze situatie bij een bovenbelasting van 5 KN, respectievelijk 10 KN.

De resulterende spanningen onder in de buis zijn weergegeven in grafiek GR.1. In de grafiek zijn tevens voor één van de bovenbelastingen de resultaten weergegeven, die kunnen worden gevonden met behulp van de formule van Spangler.
Uit de grafiek GR.1 blijkt dat de factor, waarmee de spanningen afnemen in beide gevallen gelijk is bij dezelfde druk.
Er blijkt tevens, dat een bovenbelasting van 10 KN en een inwendige druk van 1.56 N/mm^2 dezelfde buigspanningen oplevert als het geval met een bovenbelasting van 5 KN en geen inwendige druk. Het verloop van de spanningen over de omtrek van de buis voor voornoemde belastinggevallen is weergegeven in grafiek GR.2. Hieruit blijkt, dat de berekende verlopen van de buigspanningen vrijwel identiek zijn voor de beide belastinggevallen en dat ze redelijk overeenkomen met de gemeten drukloze situatie.

ONDERZOEK REROUNDING EFFECT

Vergelijk GERING/1 met SPANGLER





5. Andere grond- en buisstijfheden.

5.1 Algemeen.

De proeven zijn uitgevoerd met één buis en één grondsoort, die slechts op een bepaalde manier is verdicht. Extrapolatie naar andere buis- en andere grondstijfheden kunnen dan ook alleen rekenenderwijs en beschouwend worden gemaakt.

Om de invloed van verschillende grondsoorten, dus verschillende grondstijfheden, en verschillende buisstijfheden te onderzoeken is een rekenmodel gemaakt voor het computerprogramma PLE-micro-CAD, waarin voor de symmetrisch belaste en symmetrisch opgelegde niet-begraven buis een vervangende zogenaamde liggerberekening is gemaakt. De grond wordt hierbij ingevoerd als alzijdige ondersteuning van die ligger (zie fig 1.).

5.2 Benadering van de proefresultaten.

Uitgangspunt voor het onderzoek is de gevonden opleghoek van 75^{o} uit het voornoemde rapport (1). De ingevoerde ligger heeft dezelfde buigstijfheid en geometrie als de halve buisdoorsnede in de proef. In fig.1 is de geometrie van de halve buis weergegeven. De diameter en de wanddikte in het model, die de vergelijkbare buigstijfheid moeten leveren zijn:

D_u = 4.2 mm
t = 0.5 mm

De maximale mogelijke grondreactie onder de buis in de niet-begraven situatie is berekend met dezelfde formule als in hoofdstuk 3.

RVS = N x GAMMA x (0.5B + D)
B = 323.9 x sin 37.5^{o} = 197 mm
D = 90 mm
N = 41
GAMMA = 16.3 x 10^{-6} N/mm^3

RVS = 0.126 N/mm^2

De grondveer KLV wordt afgeleid met de formule:

KLV = (0.5 x RVS)/ 10 = 0.0063 N/mm^3

Bovengenoemde afgeleide grootheden gelden voor de proefbuis. Voor het PLE-micro-CAD model moeten deze grootheden worden omgewerkt tot vergelijkbare waarden in verband met de afmetingen van de buis in het computermodel.
De totale maximale grondreactie per mm van de proefbuis bedraagt:

$$R_{tot} = B \times RVS$$
$$= 197 \times 0.126$$
$$= 24.822 \text{ N/mm}$$

De grondveer per mm proefbuis bedraagt:

$$K_{tot} = B \times KLV$$
$$= 197 \times 0.0063$$
$$= 1.241 \text{ N/mm/mm}$$

De in te voeren waarden bedragen:

Reactie:

$$R = 24.822 / ((2 \times 37.5 / 360) \times PIE \times 319.1 \times 4.2)$$
$$= 0.028 \text{ N/mm}^2$$

Grondstijfheid:

$$KL = 1.241 / ((2 \times 37.5 / 360) \times PIE \times 319.1 \times 4.2)$$
$$= 0.0014 \text{ N/mm}^3$$

Met behulp van deze gegevens is een liggerberekening gemaakt en uit de resulterende buigende momenten zijn de buigspanningen onder in de proefbuis berekend.
De buigspanning onder in de buis bedraagt:

$$SF = 98.5 \text{ N/mm}^2$$

Deze waarde komt overeen met de resultaten uit de metingen.
De grondreactieverdeling is nagenoeg gelijkmatig verdeeld over het opleggebied en bijna vertikaal gericht.

5.3 Andere grondstijfheden.

Om de invloed van andere grondstijfheden te onderzoeken zijn een viertal berekeningen gemaakt, waarin de KL waarde en de wrijvingsstijfheid zijn gevarieerd.

Berekening	KL N/mm^2	UF mm
GKL0	0.0000875	160.0
GKL1	0.00035	40.0
PROEF	0.0014	10.0
GKL4	0.0056	2.5
GKL5	0.0224	0.625

De resulterende verlopen voor de radiale reactie, de tangentiële reactie, het buigendmoment en de radiale vervormingen zijn weergegeven in de figuren 2 t/m 5, waarin de waarden voor de halve ontwikkelde buisomtrek zijn geplot.

Onder in de buis treden de volgende buigende momenten en buigspanningen op:

Berekening	Buigend Moment Nmm	Buigspanning N/mm^2
GKL0	381.93	99.5
GKL1	381.15	99.3
PROEF	378.05	98.5
GKL4	366.03	95.3
GKL5	323.26	84.2

Uit deze resultaten blijkt, dat bij een stijvere grond het buigend moment onder in de buis afneemt en de reactie verdeling niet meer nagenoeg gelijkmatig is doch, dat de reacties meer naar de randen van de oplegging verschuiven (zie fig. 4 en 5).
Voorts blijkt, dat bij minder stijve gronden dan in de proef de momenten weliswaar toenemen, doch veel minder progressief als de afname bij het stijver worden van de grond (zie fig. 2).

De grondstijfheid in de berekening GKL5 is 16 keer de stijfheid berekend voor de proefbuis en dientengevolge zeer hoog, zodat gesteld kan worden, dat hoewel de grondreactieverdeling wel enigzins wijzigt, de grondreactieverdelingen voor de hier ten lande voorkomende grondsoorten zich binnen de verdelingen resulterend uit de berekeningen GKL0, GKL1, PROEF, GKL4 en GKL5 zullen voordoen.

5.4 Andere buisstijfheden.

Om de invloed van de buigstijfheid van de buis te onderzoeken zijn als variatie op de berekening van de proefbuis situatie een viertal berekeningen gemaakt, waarin de buigstijfheid is gevarieerd door in het rekenmodel de wanddikte te varieren.

Berekening	Wanddikte mm
BT1	2.0
BT2	1.0
PROEF	0.5
BT3	0.25
BT4	0.125

De resulterende verlopen voor de radiale grondreactie, de tangentiële grondreactie, het buigend moment en de radiale vervormingen zijn weergegeven in de figuren 6 t/m 9, waarin de waarden voor de halve ontwikkelde buisomtrek zijn geplot.

Onder in de buis treden de volgende buigende momenten en buigspanningen op:

Berekening	Buigend Moment Nmm	Buigspanning N/mm^2
BT1	379.44	98.8
BT2	379.22	98.8
PROEF	378.05	98.5
BT3	375.29	97.7
BT4	369.44	96.2

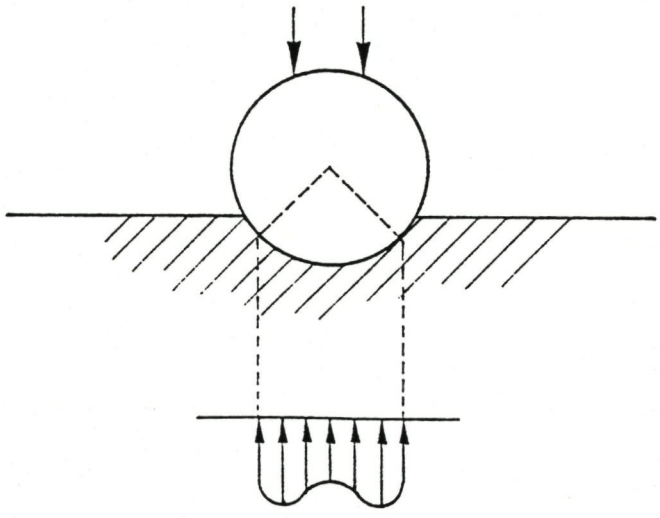
In het geval, dat de buis stijver wordt ten opzichte van de grond blijkt, dat bij een toename van de wandbuigstijfheid het buigend moment onder in de buis groter wordt en dientengevolge ook de buigspanning.

De reactieverdeling blijkt bij de stijvere buizen meer gelijkmatig over de oplegzone te zijn dan bij de minder stijve buizen. Bij dikwandige buizen (D/t kleiner dan 10) zal dan ook een concentratie van de oplegreactie naar het midden toe optreden, waarbij dan een sinusvormige verdeling kan worden benaderd (zie fig.8 en fig. 9).

6. Grondreactie verdeling.

De veronderstelling, die in het rapport 'Onderzoek naar de Opleghoek van Pijpleidingen' wordt weergegeven speelt bij beschouwingen over andere combinaties van grond- en buisstijfheden een rol.
De veronderstelling luidt:

> Het grondreactieverloop onder de buis heeft een ander, meer gunstig verloop, dan tot dusver werd aangenomen.
> Vermoed wordt, dat de tegendruk van de grond het volgende schematische verloop zal hebben:



> De verhouding tussen de stijfheid van de buis en de stijfheid van de grond onder en naast de buis zal op de reactieverdeling een behoorlijke invloed hebben.

Naarmate de ringstijfheid van de buis groter wordt ten opzichte van de stijfheid van de grond zal een meer gelijkmatige reactieverdeling onder de buis ontstaan. Bij een relatief grote ringstijfheid van de buis ten op zichte van de grondstijfheid zal de verticale reactieverdeling zelfs een sinusvormige verdeling kunnen worden (zie fig. 8).

Uit de parameterstudies besproken in de vorige twee paragrafen blijkt, dat de veronderstellingen juist zijn. Uit de plots van de radiale en tangentiale grondreactieverdelingen onder de buis (fig. 4, 5, 8 en 9) blijkt, bij relatief stijve gronden of buizen met een relatief lage wandbuigstijfheid, de reactie verdeling zodanig te zijn, dat de grootste reactie op de rand van de oplegzones optreedt. Tevens worden dan de buigspanningen midden onder in de buis lager (fig. 2 en 6).
Uit de parameterstudie blijkt voorts, dat de tangentiële grondreactie de bovengenoemde verschijnselen nog versterkt. In de parameterstudie is ervan uitgegaan, dat de grond cohesieloos is en dat de tangentiële wrijving tussen buis en grond een factor f keer de radiale reactie is. In de parameter studie is voor f devolgende waarde verdisconteerd:

$$f = \text{tg}\ (2/3\ \text{PHIE})$$
$$= \text{tg}\ 23.3^{o}$$
$$= 0.43$$

In de simulatie van de proefbuis is deze waarde verdisconteerd in de axiale wrijvingswaarde F.
In cohesieve gronden is de PHIE waarde over het algemeen wel lager, doch de cohesie zal de buis-grond wrijving in stand houden, zodat het bovengenoemde effect zich ook voor die grondsoorten zal voordoen. De totale grondstijfheid zal in het geval van cohesieve gronden echter lager zijn dan in het proefbuis geval en er moet dan ook op grond van de berekeningsresultaten uit de parameterstudie vooralsnog worden geconcludeerd, dat een gelijkmatige verdeling van de verticale grondreactie een juiste benadering is.
Voor niet-cohesieve gronden kan echter op grond van de resultaten van de parameterstudie worden geconcludeerd, dat het gebruik van de gelijkmatige grondreactieverdeling onder de buis in doorsnede-berekeningen resulteert in hogere spanningen dan in werkelijkheid zullen optreden. De mate van conservatisme in de benadering met de gelijkmatige grondreactieverdeling wordt groter naarmate de grondstijfheid ten opzichte van de buiswandstijfheid groter wordt.

Literatuur.

(1) Overleggroep BELIPO
Onderzoek naar de Opleghoek van Pijpleidingen.

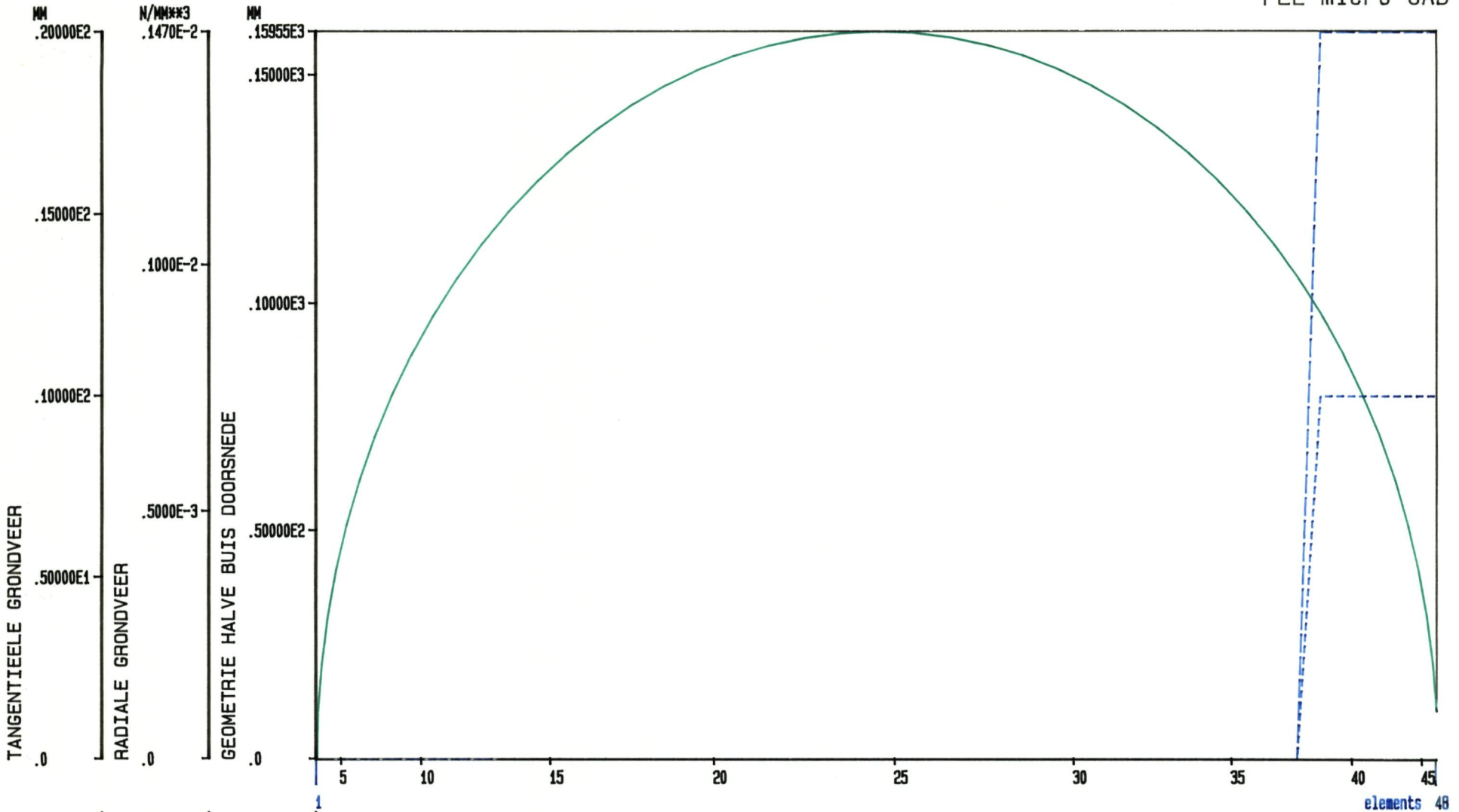
(2) M.G. Spangler en R.L. Handy
Soil Engineering. (1982)

(3) Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland
Pijpleidingcode 1972 rev. 1984.

Figuren.

Fig.1 t/m fig.9

PLE-micro-CAD

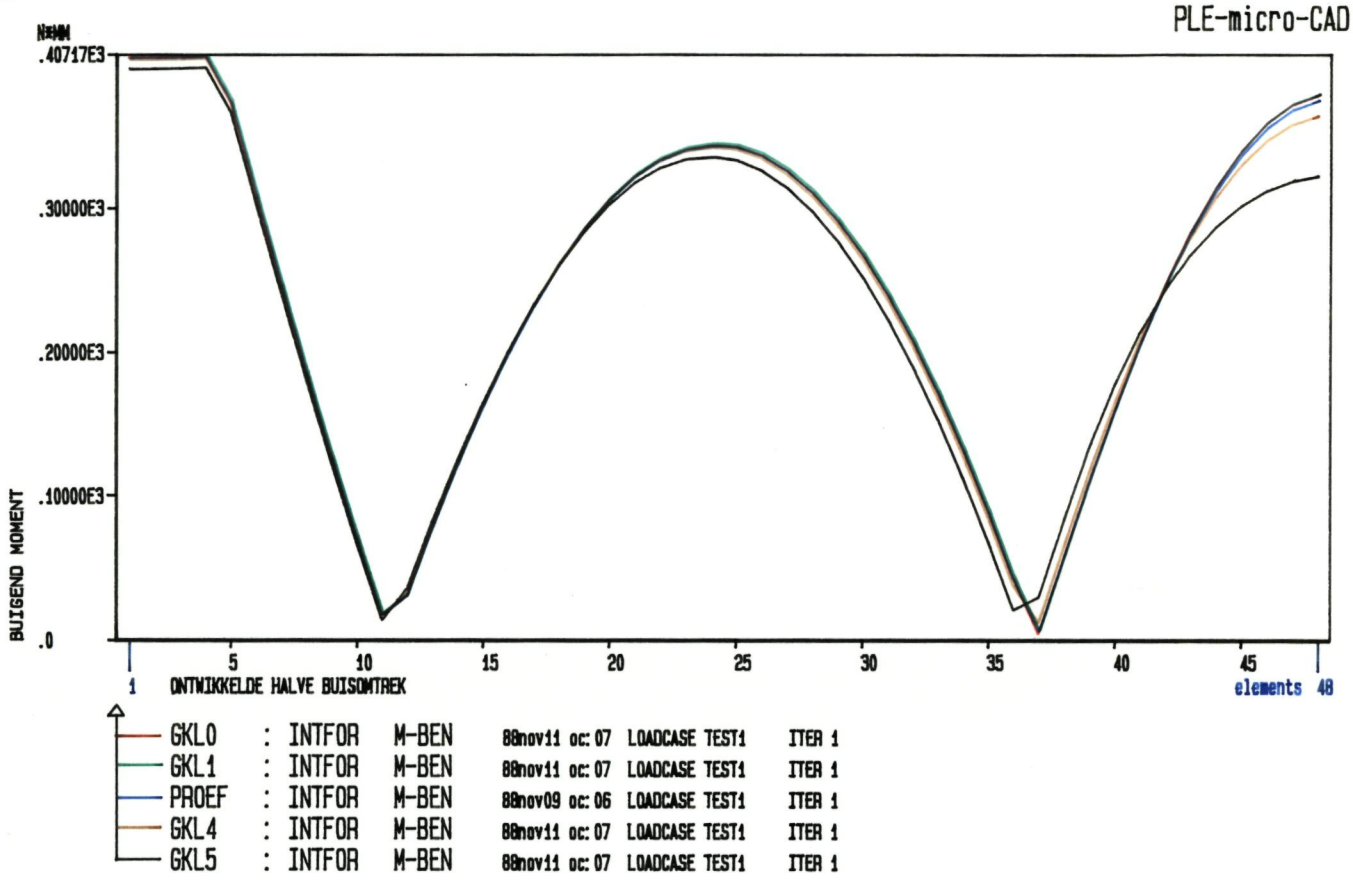


PROEF : NODES Y 88nov02 oc: 01
SOILSPR KLH+ 88nov09 oc: 05
SOILFR UF 88nov09 oc: 05

PROJECT : ONDERZOEK OPLEGHOEK PIJPLEIDINGEN
OPDR.GEVER: GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM EN D.W.L. ROTTERDAM
ONTW.GEG. : BUIS- EN GRONDSTIJFHEDEN VARIATIE.

ONDERZOEK OPLEGHOEK

FIG: 1

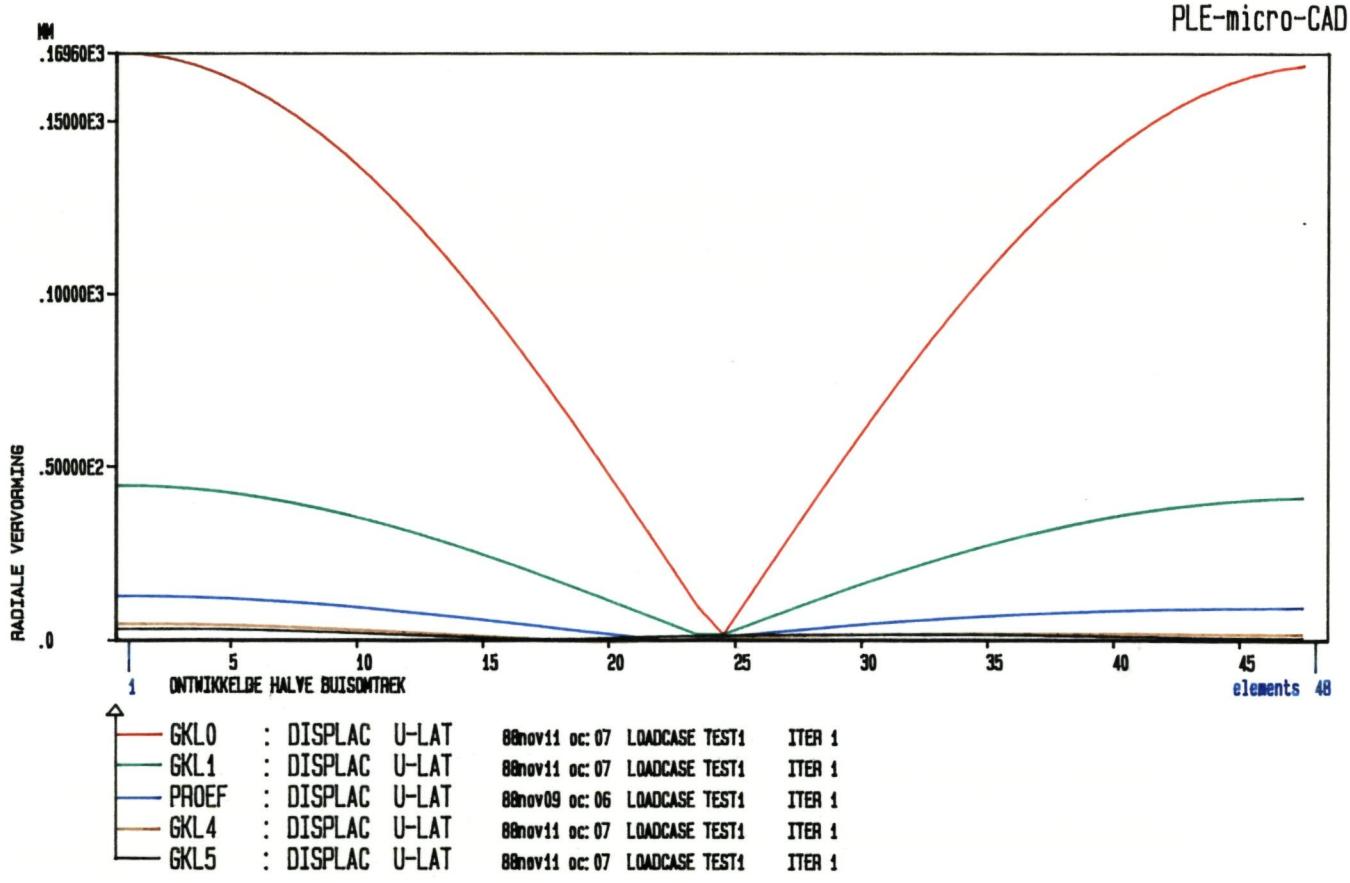


PROJECT : ONDERZOEK OPLEGHOEK PIJPLEIDINGEN
OPDR.GEVER: GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM EN D.W.L. ROTTERDAM
ONTW.GEG. : BUIS- EN GRONDSTIJFHEDEN VARIATIE.

fig 2

GRONDSTIJFHEIDS VARIATIES

PLE-micro-CAD

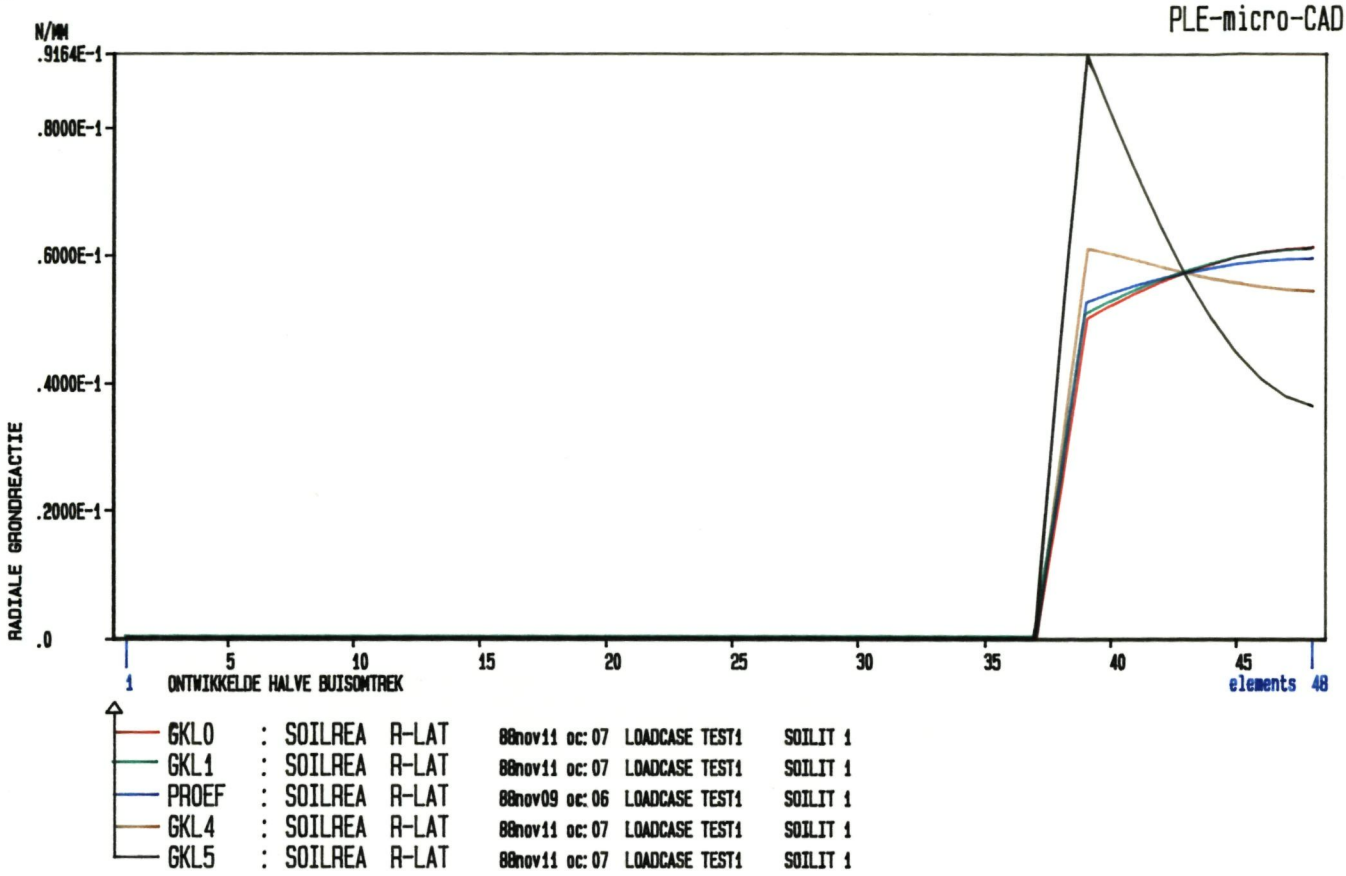


PROJECT : ONDERZOEK OPLEGHOEK PIJPLEIDINGEN
OPDR.GEVER: GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM EN D.W.L. ROTTERDAM
ONTW.GEG. : BUIS- EN GRONDSTIJFHEDEN VARIATIE.

fig 3

GRONDSTIJFHEIDS VARIATIES

PLE-micro-CAD

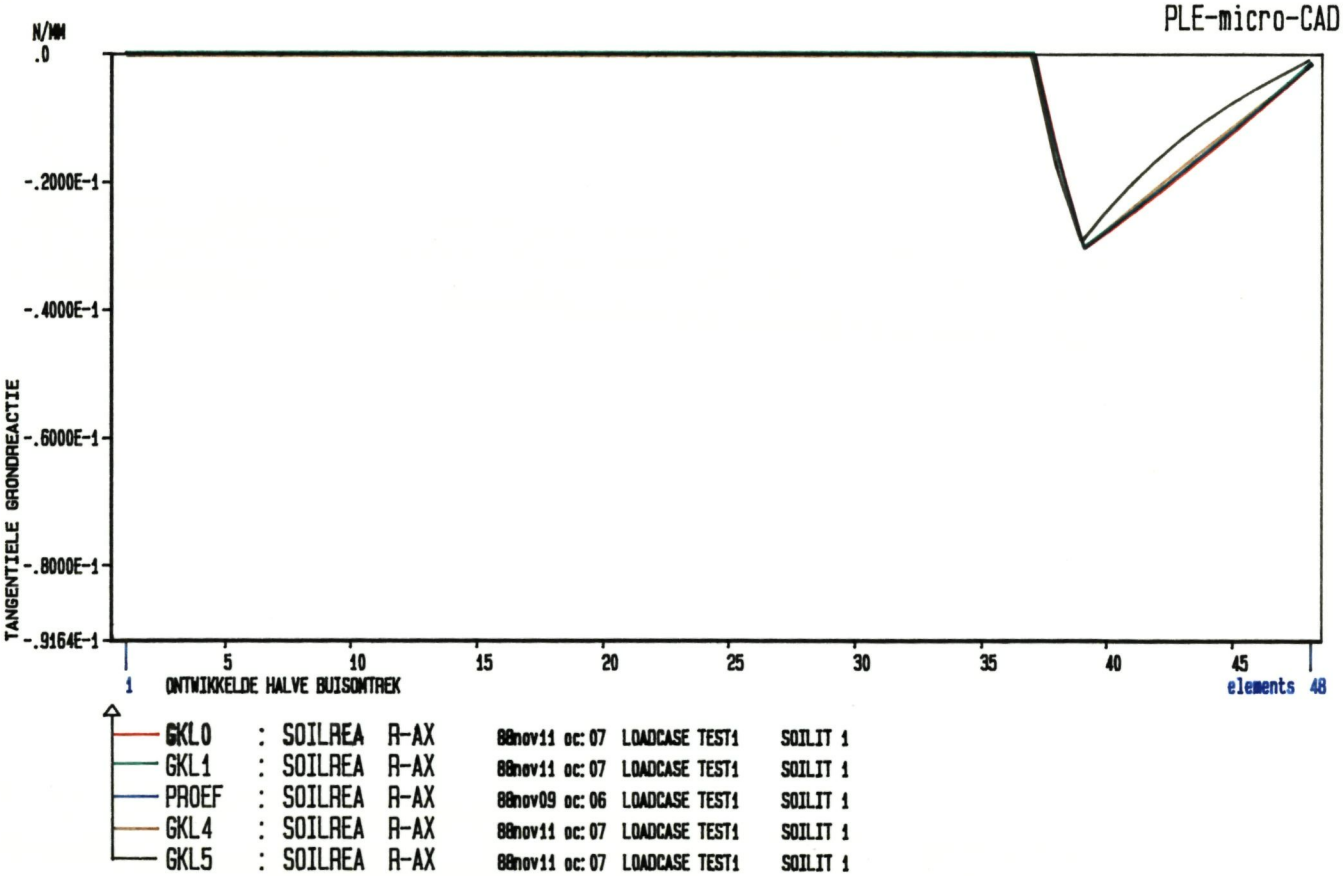


PROJECT : ONDERZOEK OPLEGHOEK PIJPLEIDINGEN
OPDR.GEVER: GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM EN D.W.L. ROTTERDAM
ONTW.GEG. : BUIS- EN GRONDSTIJFHEDEN VARIATIE.

GRONDSTIJFHEIDS VARIATIES

fig 4

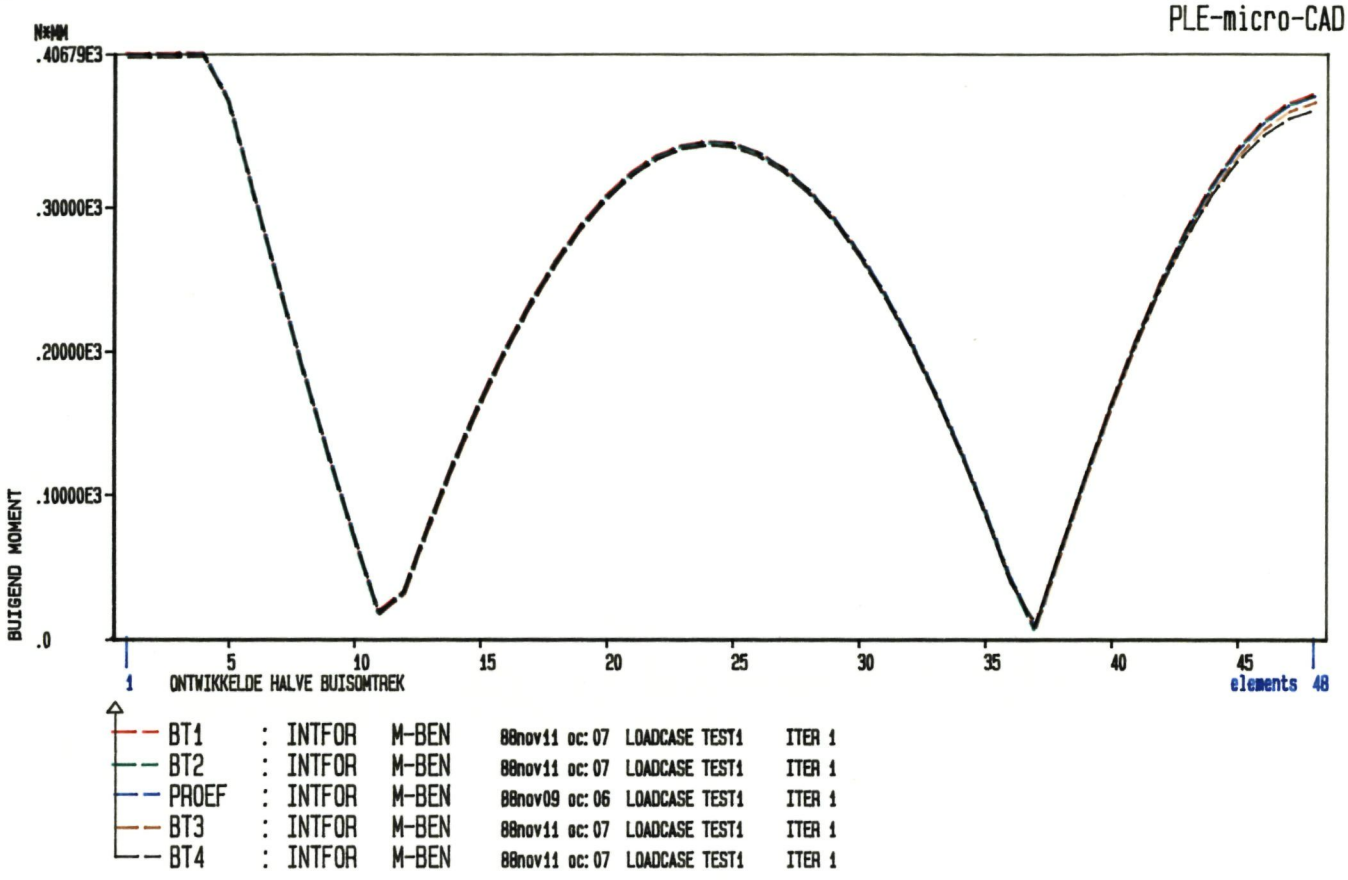
PLE-micro-CAD



PROJECT : ONDERZOEK OPLEGHOEK PIJPLEIDINGEN
OPDR.GEVER: GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM EN D.W.L. ROTTERDAM
ONTW.GEG. : BUIS- EN GRONDSTIJFHEDEN VARIATIE.

GRONDSTIJFHEIDS VARIATIES

fig 5

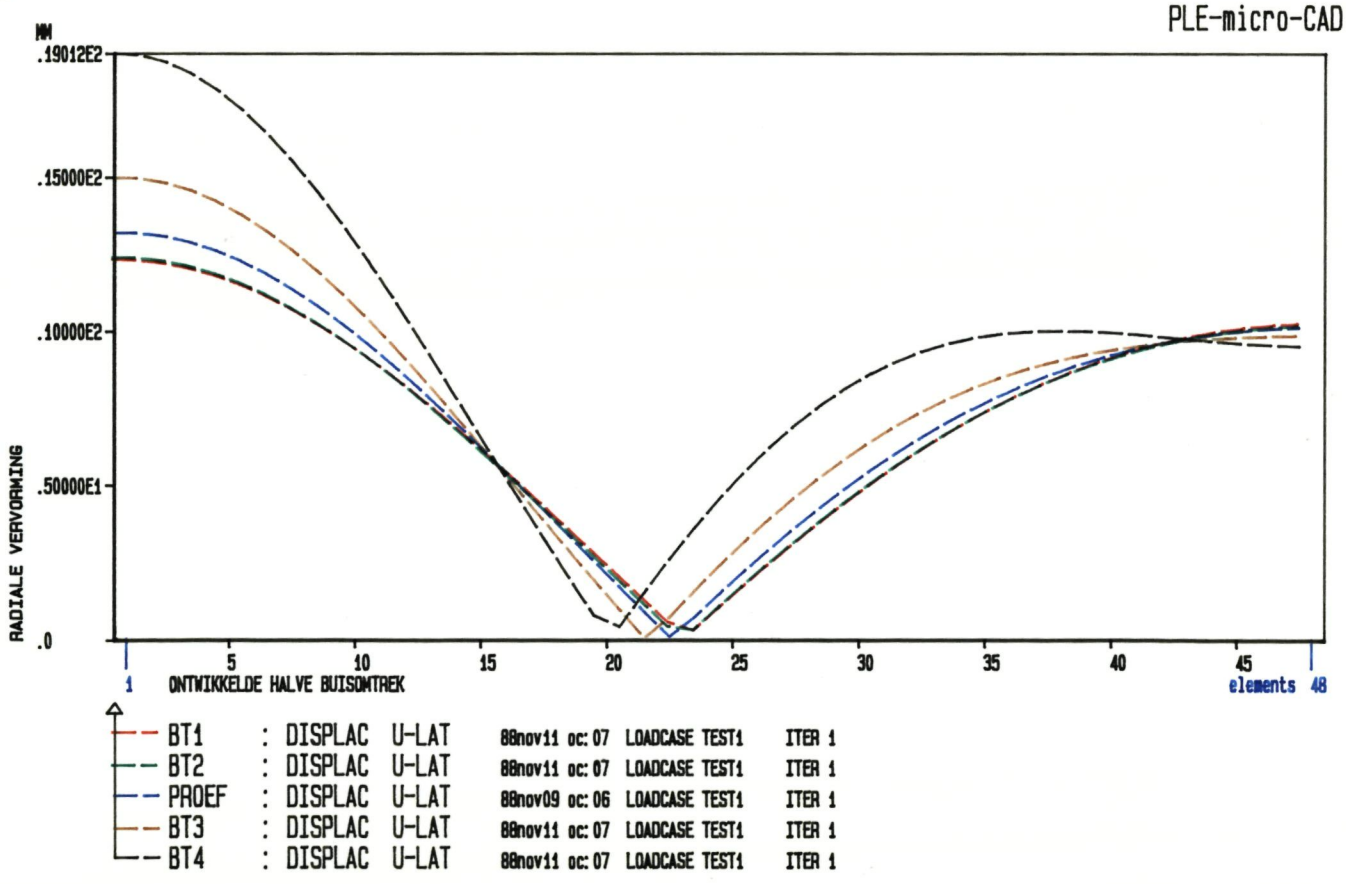


PROJECT : ONDERZOEK OPLEGHOEK PIJPLEIDINGEN
OPDR.GEVER: GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM EN D.W.L. ROTTERDAM
ONTW.GEG. : BUIS- EN GRONDSTIJFHEDEN VARIATIE.

fig 6

BUISSTIJFHEID VARIATIES

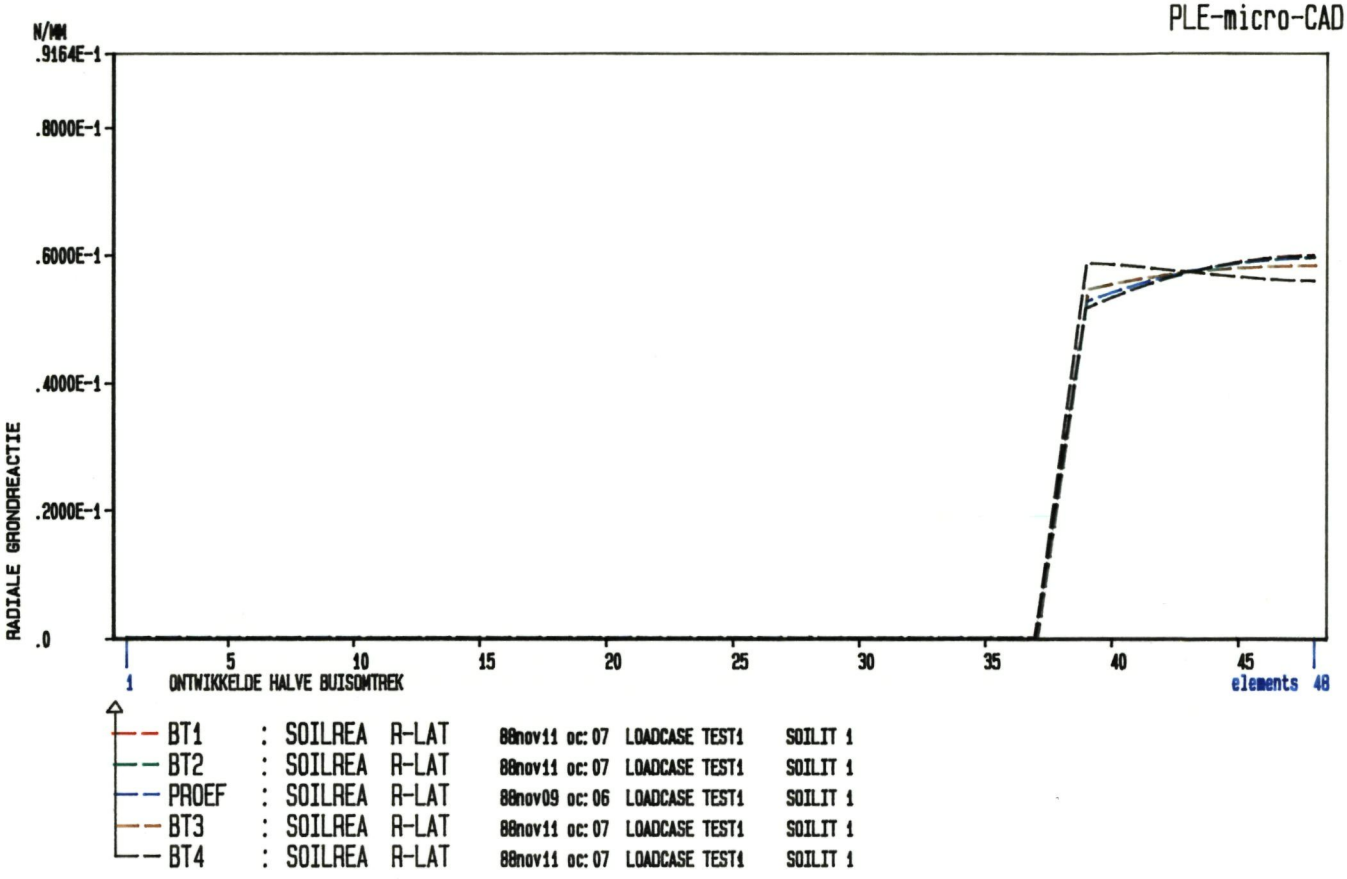
PLE-micro-CAD



PROJECT : ONDERZOEK OPLEGHOEK PIJPLEIDINGEN
OPDR.GEVER: GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM EN D.W.L. ROTTERDAM
ONTW.GEG. : BUIS- EN GRONDSTIJFHEDEN VARIATIE.

fig 7

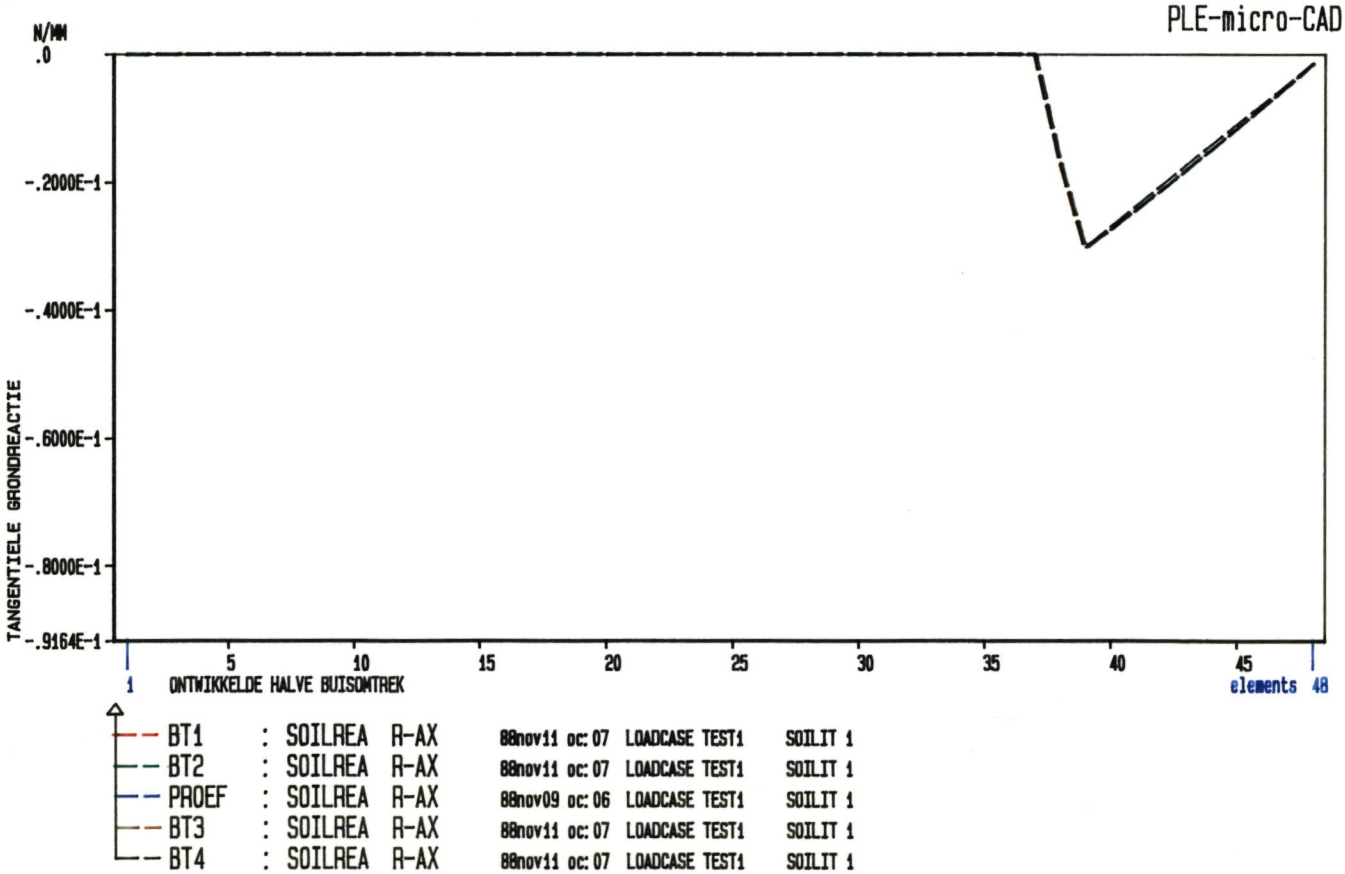
BUISSTIJFHEID VARIATIES



PROJECT : ONDERZOEK OPLEGHOEK PIJPLEIDINGEN
OPDR.GEVER: GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM EN D.W.L. ROTTERDAM
ONTW.GEG. : BUIS- EN GRONDSTIJFHEDEN VARIATIE.

BUISSTIJFHEID VARIATIES

fig 8



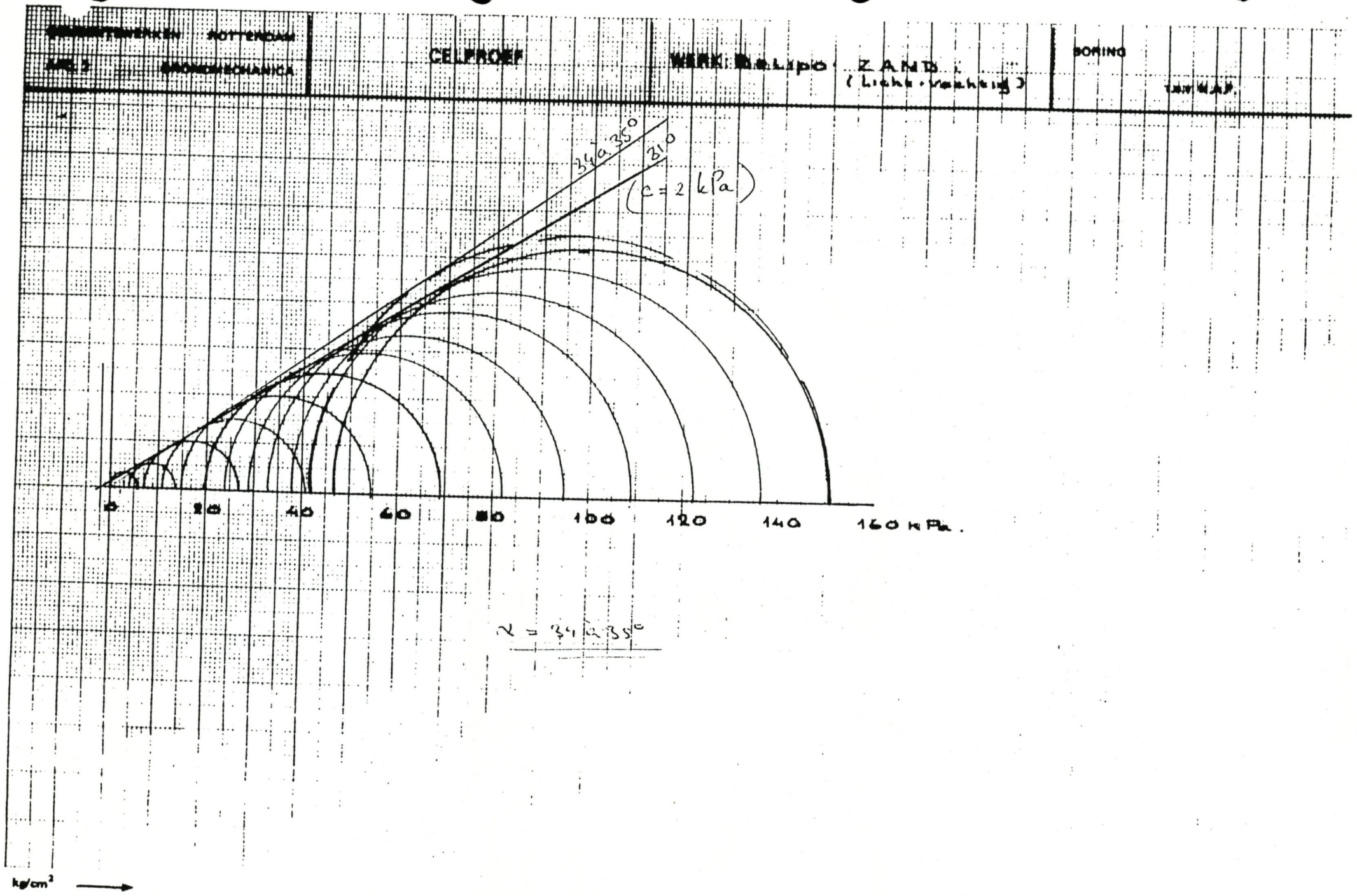
PROJECT : ONDERZOEK OPLEGHOEK PIJPLEIDINGEN
OPDR.GEVER: GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM EN D.W.L. ROTTERDAM
ONTW.GEG. : BUIS- EN GRONDSTIJFHEDEN VARIATIE.

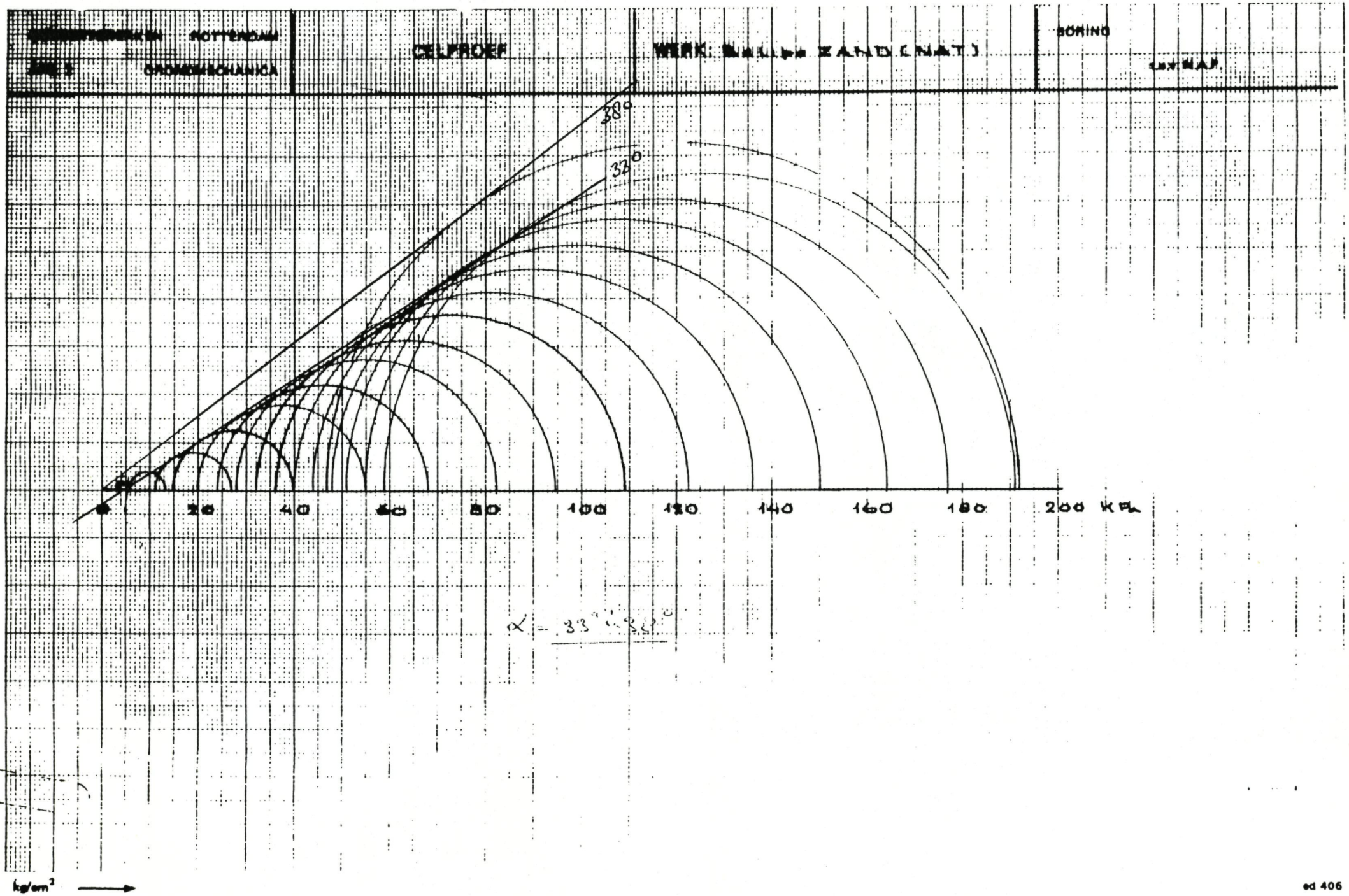
BUISSTIJFHEID VARIATIES

fig 9

Bijlage I

Grondgegevens van de proef


GEOTECHNIEK ROTTERDAM
GEOMECHANICA
CELPROEF
WERK: Delipo ZAND
(Licht-weging)
BORING
34a 35°
31°
(c = 2 kPa)
0
20
40
60
80
100
120
140
160 kPa.
φ = 34 à 35°
kg/cm²


GEOTECHNISCH LABORATORIUM ROTTERDAM
GRONDMECHANICA
CELPROEF
WERK:
BORING
38°
32°
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200 KPa
kg/cm²
od 406

30-8-'93

nr 1

natte dichtheid	1171	kg/m³
droog	1591	"
vochtgeh.	5%	

nr 2.

nat	1713	kg/m³
droog	1651	"
vocht	3,8%	

— : kwartsverdeling

proctor 11 - 13%

r+k raadgevend ingenieurs- en konstruktieadviesbureau bv

consulting engineers

PROVINCIAAL BESTUUR VAN ZUID-HOLLAND
DIENST WATER EN MILIEU
INGEK. 21 JUNI 1989
REG. NR.

Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland
t.a.v. Ing. W.J. van de Geest
Koningskade 1
2596 AA 's-Gravenhage

d.d. 1989-06-20 onze ref.: UC89-157

betreft: Besprekingsverslag en aanvullende berekeningen.

Mijne heren,

Naar aanleiding van het overleg gevoerd op 22 mei 1989 doe ik u hierbij een samenvattend verslag toekomen.

Na de bespreking heb ik nog aan een drietal leidingmodellen aanvullende berekeningen gemaakt met het programma PLE-micro-CAD nl.:

a. Berekeningen aan een model, waarin een enkelvoudige sprongzakking van 100 mm is aangebracht en voorts dezelfde belasting en diameters als in het model, besproken in het overleg.
b. Hetzelfde model als onder a, doch geen bovenbelasting op de leiding, dus alleen eigengewicht als belasting op de leiding. In dit model is alleen de diameter van 219 mm beschouwd. Tevens is een parameterstudie naar de invloed van de grondstijfheid gedaan om de invloed op de verdeling van het buigend moment aan te tonen.
c. Hetzelfde model als onder b, doch nu geen enkelvoudige sprongzakking maar een bult op de sleufbodem van 100 mm hoogte een lengte van 1.00 m. Ook voor dit model zijn verschillende grondstijfheden in beschouwing genomen.

Uit de berekeningen onder a blijkt, dat alleen voor de grotere diameters geldt, dat de buigende momenten in de oplegzone nagenoeg gelijk zijn aan de momenten in het zakkingsgebied, en dat er dus geen sprake is van het gelijk zijn van deze momenten. De passieve bovenreactie is in dit geval de mede veroorzaker van het verschil in buigend moment, omdat er over een deel van de leiding grondbreuk optreedt. Om deze invloed op het verloop van het buigend moment kwijt te raken zijn de berekeningen onder b en c gemaakt, waarin geen bovenreactie in de berekeningen is verdisconteerd. Uit deze modellen blijkt, dat de momenten ter plaatse van het opleggebied in verhouding nog groter zijn dan ter

handelsregister
trade register
nr. 106686, den haag

geestbrugweg 44, 2281, CM rijswijk nederland
telefoon (070) 90 68 90
telefax (070) 98 94 75

banknummer: 51.92.69.985
Algemene Bank Nederland
gironummer: 5 51 41 29

plaatse van het zakkingsgebied als in de berekeningen onder a. Het is dus geenzins het geval, dat de momenten verdeling onder invloed van het zich natuurlijk voegen van de buis naar de sleufbodem resulteerd in gelijke momenten ter plaatse van de toppen en ter plaatse van de overspanningen. Tevens blijken verschillende grondstijfheden nauwelijks invloed te hebben op de verhouding van de buigende momenten.

Hopende u hiermee van dienst te zijn geweest verblijf ik,

Hoogachtend,

ir H.M. Ufkes

Bijlage: 3 x Rapport 5/001/088 juni 1989
Samenvattend verslag van overleg met Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland.

blz. 324

XI.7.H.1. Starre buizen.

XI.7.H.2. Tangentieel flexibele buizen.

In rapport Opleghoek wordt voor (tangentieel) flexibele buizen een minimale waarde voor BETA van 72° afgeleid uit laboratorium proeven met een buis zonder overdruk. De buis was bij de proeven gelegen op de grond (zand) in een stalen bak, waarin geen grondwater aanwezig was. De inbedding van de Ø 323.9 mm buis bedroeg 90 mm.

Door toetsing van de gemeten tangentiële buigspanningen (er was geen ringspanning als gevolg van de drukloze situatie tijdens de proef) aan berekende spanningswaarden bij diverse ondersteuningshoeken, werden de bijbehorende BETA waarden gevonden.

Er is eveneens een proef uitgevoerd, waarbij de buis geheel was begraven met een dekking op de kruin gelijk aan de diameter van de buis. De belasting werd ook in het begraven geval grotendeels overgebracht via een vijzel rechtstreeks op de buis. De aanvullingen naast en boven de buis waren niet extra verdicht om beschadiging van de meetapparatuur te voorkomen.

In de proef is de volgende serie belastingen aangebracht:

2 - 5 - 10 - 5* - 0 - 12.5 - 15 - 10* - 0 - 15 - 0 kN

De resulterende buigspanningen van de met * gemerkte belastingstappen zij gebruikt voor de bepaling van de minimale BETA waarden. Deze twee belastingstappen treden op, wanneer de belasting op de buis weer afneemt, nadat daarvoor een hogere belasting aangebracht is geweest.
Voor extrapolatie van de onderzoekresultaten naar praktijk gevallen is dit een ongunstige benadering nl.:

a. de buis is niet begraven.
b. de belasting wordt via een vijzel en een omgekeerd U-profiel van 90 mm overgebracht op de buis en niet via de grond, waarbij een grotere spreiding van de belasting is te verwachten.
c. de beschouwde belastinggevallen treden op nadat daarvoor een grotere belasting is aangebracht geweest, waardoor de grond onder de buis extra verdicht is.

Doordat de belastingrange opgesplitst kan worden in twee series met zowel toenemende als afnemende belastingen, kan worden afgeleid, welke invloed de afnemende belasting op de grootte van de opleghoek (BETA) heeft.
De belasting afname is respectievelijk tot 0.5 en 0.67 van de grootste belasting in de serie.
Door de belasting afname zal een reductie van de 'ovalisatie' van de buis optreden. Deze reductie is te vergelijken met het zogenaamde rerounding effect, dat optreedt als gevolg van het aanbrengen van een inwendige overdruk in de buis. Naast vermindering van de 'ovalisatie' van de buis door inwendige druk zal er ook radiale vervorming van de buis optreden, zodat de invloeden niet in totaliteit zijn te vergelijken.
In rapport 5/077/117 is geprobeerd om een relatie tussen beide verschijnselen af te leiden op grond van de resultaten van rapport Opleghoek, waarbij alleen de invloed van de inwendige druk op de 'ovalisatie' van de buis is beschouwd.
De reductie in spanningen door de kleinere belastingen was niet-lineair evenredig met de grootte van de belastingen. De reductie in spanningen bij de belastingverandering van 10 kN naar 5 kN bedroeg 0.58 en bij de belastingverandering van 15 kN naar 10 kN was dit 0.85.
Deze waarden komen overeen met reroundingsfactoren, berekend met de formule van Spangler met een k_y waarde van 0.133, als gevolg van inwendige drukken van respectievelijk 1.2 N/mm^2 en 0.3 N/mm^2.

De belasting verlaging resulteert in BETA-waarde verschuiving van respectievelijk 110^o naar 72^o en van 145^o naar 75^o.
De grootte van de opleghoek is echter niet alleen afhankelijk van de grootte van de vervormingsverandering van de buis, doch ook van de verhouding tussen de totale belasting op de doorsnede en het evenwichtsdraagvermogen.

In de begraven situatie zijn de BETA-waarden resulterend uit het vergelijk van de berekeningen met de gemeten waarden groter dan 210^o (~~210~~). In deze waarde ligt impliciet het effect van de horizontale steundruk besloten.

In de proef was de horizontale steundruk minimaal, en niet in verhouding tot de op de buis aangebrachte belastingen, als gevolg van:

- De sleufaanvulling is niet verdicht om mogelijke beschadiging van de meetapparatuur te voorkomen.
- De dekking op de buis is gelijk aan de diameter van de buis (323.9 mm)
- Afgezien van het gewicht van de losgepakte grond op en naast de buis, wordt het grootste deel van de belasting op de buis overgebracht via de vijzel.
  Belasting door grond op de buis bedraagt: 1.2 kN
  Belasting door de vijzel is groter of gelijk aan: 2.0 kN
  De belasting opgebracht door de vijzel is veel groter dan de belasting door de grond.
- Door de geringe bovenbelasting ontstaat er slechts een geringe horizontale steundruk en ook de vijzelbelasting voegt geen extra horizontale steundruk toe.

Rapport 5/001/088 juni 1989

Samenvattend verslag van overleg met Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland

r+k raadgevend ingenieurs- en konstruktieadviesbureau bv

consulting engineers

geestbrugweg 44, 2281 CM rijswijk nederland telefoon (070) 906890

Samenvattend verslag van overleg met Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland.

Datum: 22 mei 1989
Plaats: Kantoor Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland (P.W.)
Aanwezigen: ir R.A.J. de Kock (P.W.)
ing. W.J. van de Geest (P.W.)
ing. M. Hollebek (P.W.)
ir W. de Groot (Gemeentewerken Rotterdam) (GWR)
ir H.M. Ufkes (r+k)

---

1. Aanleiding voor het overleg.

De 'BELIPO gebruikersgroep' heeft onderzoek gedaan naar en een rapport opgesteld over de opleghoek van pijpleidingen. Na overleg met de Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland (P.W.) over voornoemd rapport, is nog het aanvullende rapport (5/077/117) uitgebracht. De resultaten van het onderzoek, weergegeven in bovengenoemde twee rapporten worden verwerkt in de nieuw te publiceren Pijpleiding Code (PC) van de P.W. Naar aanleiding daarvan is door P.W. een copy van het concept van de PC toegestuurd met het verzoek om de in verband met het onderzoek relevante delen te controleren en eventueel van commentaar te voorzien.
Het overleg is bedoeld om het bovengenoemde commentaar toe te lichten.
Tevens is gesproken over een tweetal andere onderdelen van de nieuwe PC nl.:

- De stootcoëfficient voor verkeersbelastigen
- De zogenoemde 'tentatieve' formules voor de vereenvoudigde berekening.

2. Opleghoeken.

Naar aanleiding van het vermelde in hoofdstuk XI.7.H wordt door r+k voorgesteld om het hoofdstuk te splitsen in twee delen nl.:

XI.7.H.1 voor tangentieel starre buizen .
XI.7.H.2 voor tangentieel flexibele buizen.

Voor het betreffende hoofdstuk XI.7.H.2 wordt door r+k een tekstvoorstel gedaan (zie bijlage 1), waarin een algemene omschrijving van de proef en de conclusies wordt weergegeven.
Er wordt besloten om het tekstvoorstel over te nemen ter vervanging van een deel van de oorspronkelijke tekst.

3. Stootcoëfficienten voor de verkeersbelastingen.

In de nieuwe PC worden de stootcoëfficienten ingevoerd conform DIN 4033. Hierbij wordt ervan uitgegaan, dat de verkeersbelasting, volgens een bepaalde verkeersklasse, wordt vermenigvuldigd met een voor die klasse constante coëfficient, die onafhankelijk is van de dekking op de leiding. De aldus gevonden verkeersbelasting wordt daarna ingevoerd, rekening houdend met de dekking op de leiding.

4. 'Tentatieve' formules.

4.1 Invloed van de geometrie op de resultaten van de berekening.

Om een vergelijk tussen computerberekeningen en de in de nieuwe PC vermelde 'tentatieve' formules voor de vereenvoudigde berekeningen van zowel leidingen in het veld als in kruisingen te krijgen, zijn door r+k een aantal berekeningen gemaakt met het programma PLE-micro-CAD.

In de berekeningen is de geometrie gevarieerd om te kijken welke invloed dit heeft op het resulterende maximale buigend moment en de buigspanningen. In de 'tentatieve' formules wordt geen rekening gehouden met de invloed, die de geometrie kan hebben op de interne krachten verdeling. Uit de resultaten blijkt (zie bijlage 2), dat de geometrie nogal wat invloed heeft op het gedrag van de leiding en dus ook op de interne krachten verdeling.

Voor het oorspronkelijke model (H = 3,00 m) komen de axiale buigspanningen in de bovenbochten redelijk overeen met de buigspanningen uit de berekening met de 'tentatieve' formule. Uit de vergelijking van de resulterende axiale buigspanningen uit de andere modellen met het resultaat van de 'tentatieve' formule blijkt echter, dat er nogal wat afwijking ontstaat tot bijna 200 % toe. (De resultaten van de spanningsberekeningen zijn na het overleg met P.W. toegevoegd).

4.2 Invloed van verschillende buizen.

Om de resulterende spanningen in verschillende buizen te vergelijken met resultaten uit berekeningen met de 'tentatieve' formule is een tweede serie berekeningen gemaakt, waarin is getracht dezelfde modellering te maken als is gebruikt voor de afleiding van de 'tentatieve' formules, rechte veldleiding onder invloed van een zakkingsverschil.

Voor veschillende diameters is het gedrag van de leiding onder invloed van een sprongzakking van 100 mm over 9.00 m bepaald. Uit de resultaten (zie bijlage 3) blijkt, dat de invloed van de diameter op het gedrag van de leiding aanmerkelijk is. In alle gevallen bleken de spanningen berekend met PLE-micro-CAD lager te zijn dan de resulterende spanningen uit de tentatieve formule.

In de 'tentatieve' formule komt de lengte, waarover de zakking van de buis optreedt, niet voor. De zakking wordt echter als opgedrongen vervorming meegenomen, waarbij de leiding zelf de bijbehorende lengte, waarover deze zakking kan optreden, bepaald. In deze zin zijn alleen de modellen, waarbij de zakking van 100 mm gevolgd worden, te vergelijken (berekeningen EENV114; EENV168; EENV219). Een betere modellering zou zijn geweest: een éénmalige sprongzakking van 100 mm.

In aanvullend onderzoek na het overleg van 22 mei 1989 zijn een aantal modellen met o.a. de éénmalige sprongzakking berekend. De resultaten hiervan zijn opgenomen in bijlagen 4, 5 en 6.

BIJLAGE 1.

XI.7.H.2. Tangentieel flexibele buizen.

In rapport Opleghoek wordt voor (tangentieel) flexibele buizen een minimale waarde voor BETA van 72^{o} afgeleid uit laboratorium proeven met een buis zonder overdruk. De buis was bij de proeven gelegen op de grond (zand) in een stalen bak, waarin geen grondwater aanwezig was. De inbedding van de Ø 323.9 mm buis bedroeg 90 mm.

Door toetsing van de gemeten tangentiële buigspanningen (er was geen ringspanning als gevolg van de drukloze situatie tijdens de proef) aan berekende spanningswaarden bij diverse ondersteuningshoeken, werden de bijbehorende BETA waarden gevonden.

Er is eveneens een proef uitgevoerd, waarbij de buis geheel was begraven met een dekking op de kruin gelijk aan de diameter van de buis. De belasting werd ook in het begraven geval grotendeels overgebracht via een vijzel rechtstreeks op de buis. De aanvullingen naast en boven de buis waren niet extra verdicht om beschadiging van de meetapparatuur te voorkomen.

In de proef is de volgende serie belastingen aangebracht:

2 - 5 - 10 - 5* - 0 - 12.5 - 15 - 10* - 0 - 15 - 0 kN

De resulterende buigspanningen van de met * gemerkte belastingstappen zijn gebruikt voor de bepaling van de minimale BETA waarden. Deze twee belastingstappen treden op, wanneer de belasting op de buis weer afneemt, nadat daarvoor een hogere belasting aangebracht is geweest.
Voor extrapolatie van de onderzoekresultaten naar praktijk gevallen is dit een ongunstige benadering nl.:

a. de buis is niet begraven.
b. de belasting wordt via een vijzel en een omgekeerd U-profiel van 90 mm overgebracht op de buis en niet via de grond, waarbij een grotere spreiding van de belasting is te verwachten.
c. de beschouwde belastinggevallen treden op nadat daarvoor een grotere belasting is aangebracht geweest, waardoor de grond onder de buis extra verdicht is.

Doordat de belastingrange opgesplitst kan worden in twee series met zowel toenemende als afnemende belastingen, kan worden afgeleid, welke invloed de afnemende belasting op de grootte van de opleghoek (BETA) heeft.
De belasting afname is respectievelijk tot 0.5 en 0.67 van de grootste belasting in de serie.
Door de belasting afname zal een reductie van de 'ovalisatie' van de buis optreden. Deze reductie is te vergelijken met het zogenaamde rerounding effect, dat optreedt als gevolg van het aanbrengen van een inwendige overdruk in de buis. Naast vermindering van de 'ovalisatie' van de buis door inwendige druk zal er ook radiale vervorming van de buis optreden, zodat de invloeden niet in totaliteit zijn te vergelijken.
In rapport 5/077/117 is geprobeerd om een relatie tussen beide verschijnselen af te leiden op grond van de resultaten van rapport Opleghoek, waarbij alleen de invloed van de inwendige druk op de 'ovalisatie' van de buis is beschouwd.
De reductie in spanningen door de kleinere belastingen was niet-lineair evenredig met de grootte van de belastingen. De reductie in spanningen bij de belastingverandering van 10 kN naar 5 kN bedroeg 0.58 en bij de belastingverandering van 15 kN naar 10 kN was dit 0.85.
Deze waarden komen overeen met reroundingsfactoren, berekend met de formule van Spangler met een k_y waarde van 0.133, als gevolg van inwendige drukken van respectievelijk 1.2 N/mm^2 en 0.3 N/mm^2.

De belasting verlaging resulteert in BETA-waarde verschuiving van respectievelijk 110^o naar 72^o en van 145^o naar 75^o.
De grootte van de opleghoek is echter niet alleen afhankelijk van de grootte van de vervormingsverandering van de buis, doch ook van de verhouding tussen de totale belasting op de doorsnede en het evenwichtsdraagvermogen.

In de begraven situatie zijn de BETA-waarden resulterend uit het vergelijk van de berekeningen met de gemeten waarden groter dan 110^o. In deze waarde ligt impliciet het effect van de horizontale steundruk besloten.

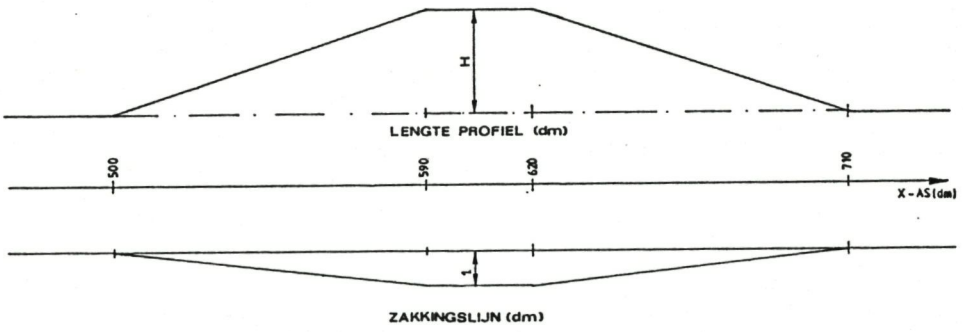
In de proef was de horizontale steundruk minimaal, en niet in verhouding tot de op de buis aangebrachte belastingen, als gevolg van:

- De sleufaanvulling is niet verdicht om mogelijke beschadiging van de meetapparatuur te voorkomen.
- De dekking op de buis is gelijk aan de diameter van de buis (323.9 mm)
- Afgezien van het gewicht van de losgepakte grond op en naast de buis, wordt het grootste deel van de belasting op de buis overgebracht via de vijzel.
  Belasting door grond op de buis bedraagt: 1.2 kN
  Belasting door de vijzel is groter of gelijk aan: 2.0 kN
  De belasting opgebracht door de vijzel is veel groter dan de belasting door de grond.
- Door de geringe bovenbelasting ontstaat er slechts een geringe horizontale steundruk en ook de vijzelbelasting voegt geen extra horizontale steundruk toe.

BIJLAGE 2.

Onderzoek vereenvoudigde berekening, invloed van de geometrie.
De geometrie bestaat uit een 'standaard' kruising (zgn. staande boog).
Uitgangspunten:

Ø = 114.3 mm
t = 4.5 mm
KLV = 0.01 N/mm^3
R = 5 x Ø
ZZ = 100 mm t.p.v. kruin verlopend naar de teen.
NB = 19 kN/m^2 (1. m dekking)
RVT = 0.0546 N/mm^2



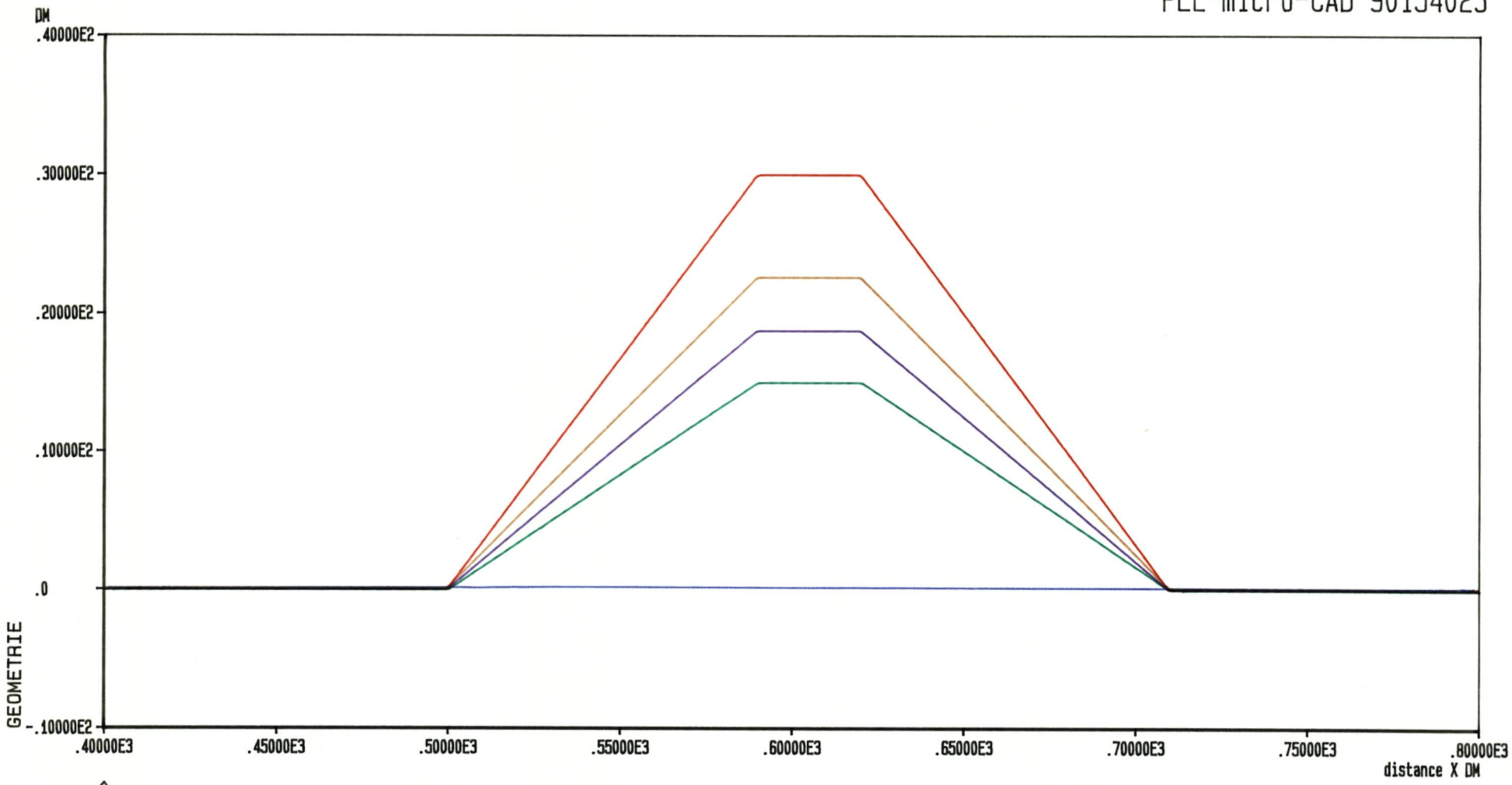
Resultaten:

Berekenning	H	M_{max}	DELTA	$STR_{buig.}$ teen bocht	recht	kruin bocht
	(m)	(kNm)	(mm)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)
DWL114A	3.000	7.703	66.35	88	156	180
DWL114B	1.500	3.817	87.76	42	71	89
DWL114C	0.000	2.544	101.17		60	
DWL114D	2.250	6.768	69.8	74	136	159
DWL114E	1.875	5.706	73.3	62	112	134

Met behulp van de 'tentatieve' formule voor de vereenvoudigde berekening van een kruising (pag. 184 PC 88) wordt de volgende spanning berekend:

$STR_{tent.}$ = 166.4 N/mm^2

PLE-micro-CAD 90154023

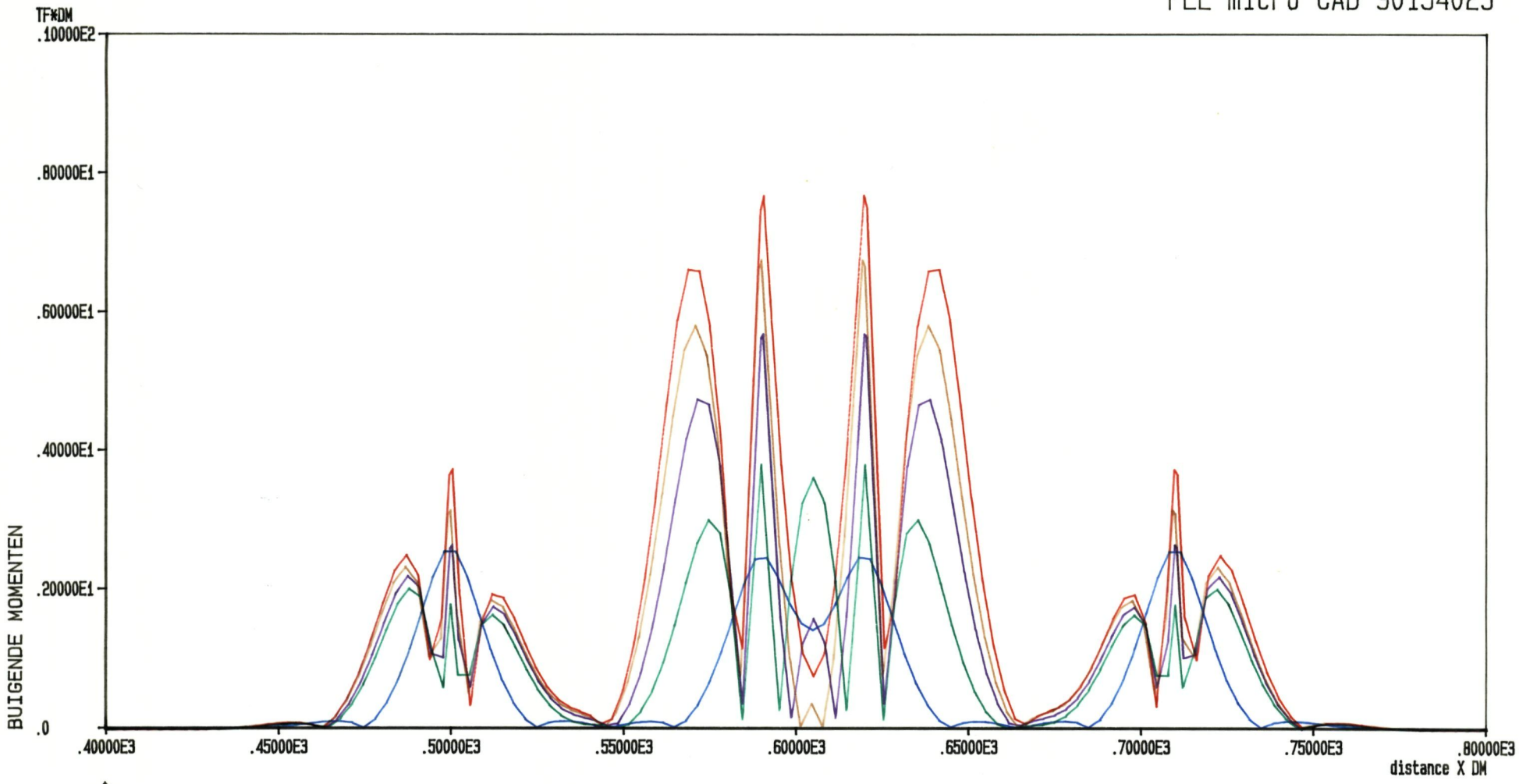


DWL114A : NODES Z 88sep26 oc: 02
DWL114B : NODES Z 88oct12 oc: 03
DWL114C : NODES Z 88oct12 oc: 03
DWL114D : NODES Z 88sep26 oc: 02
DWL114E : NODES Z 88oct13 oc: 03

ONDERZOEK DWL-ROTTERDAM
VERGELIJKING VEREENVOUDIGD/UITGEBREID I.V.M. WIJZ. PLC
STANDAARD CONF. RANDVOORWAARDEN INGESCHAT AHV VUB-300 114.3X4.5

G3*.PLT

PLE-micro-CAD 90154023

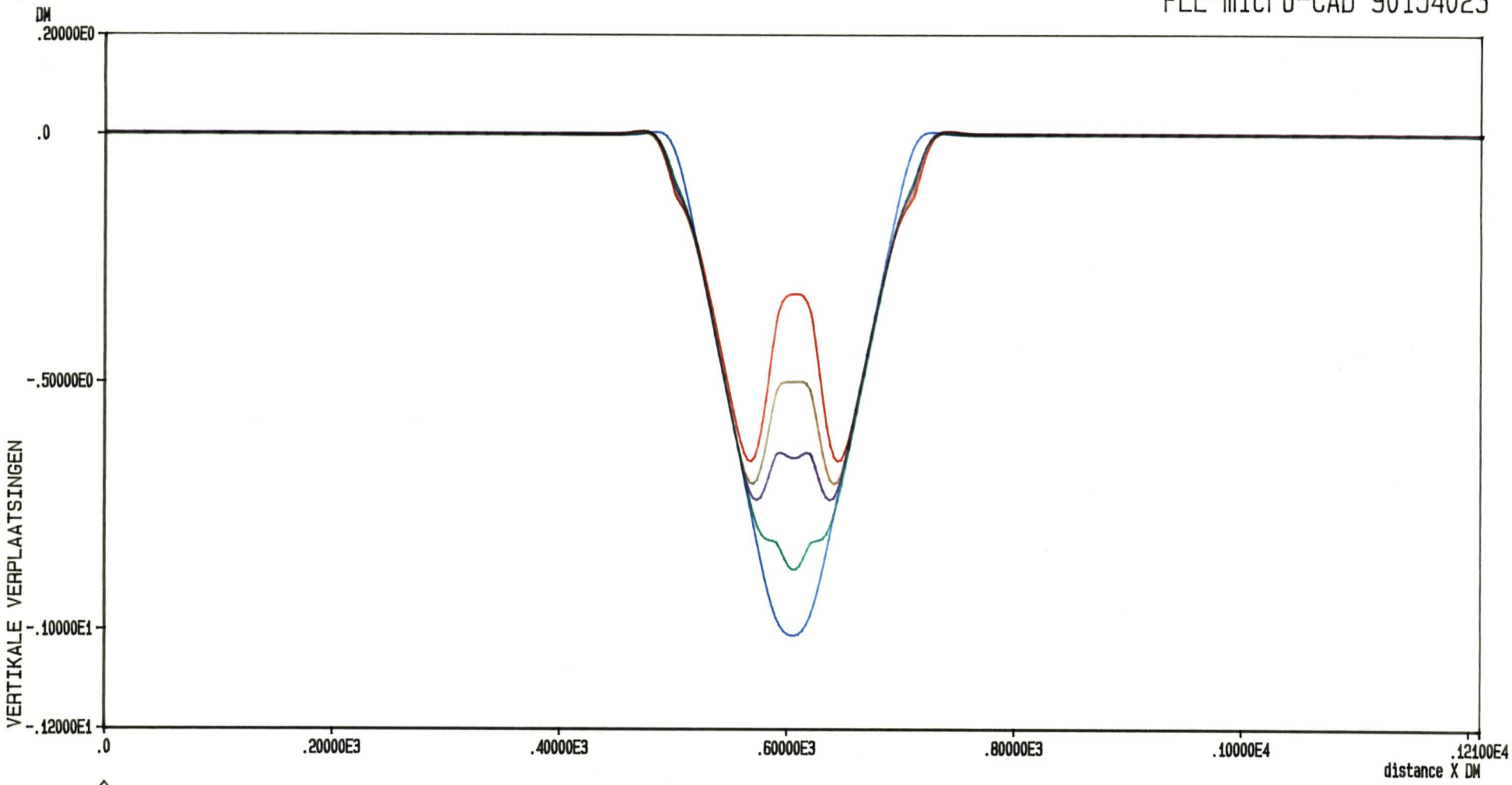


DWL114A :	INTFOR	M-BEN	88sep26 oc: 01	LOADCASE DWL1141	ITER 9
DWL114B :	INTFOR	M-BEN	88oct12 oc: 02	LOADCASE DWL1141	ITER 9
DWL114C :	INTFOR	M-BEN	88oct12 oc: 02	LOADCASE DWL1141	ITER 1
DWL114D :	INTFOR	M-BEN	88sep26 oc: 01	LOADCASE DWL1141	ITER 9
DWL114E :	INTFOR	M-BEN	88oct13 oc: 02	LOADCASE DWL1141	ITER 10

ONDERZOEK DWL-ROTTERDAM
VERGELIJKING VEREENVOUDIGD/UITGEBREID I.V.M. WIJZ. PLC
STANDAARD CONF. RANDVOORWAARDEN INGESCHAT AHV VUB-300 114.3X4.5

G2x.PLT

PLE-micro-CAD 90154023



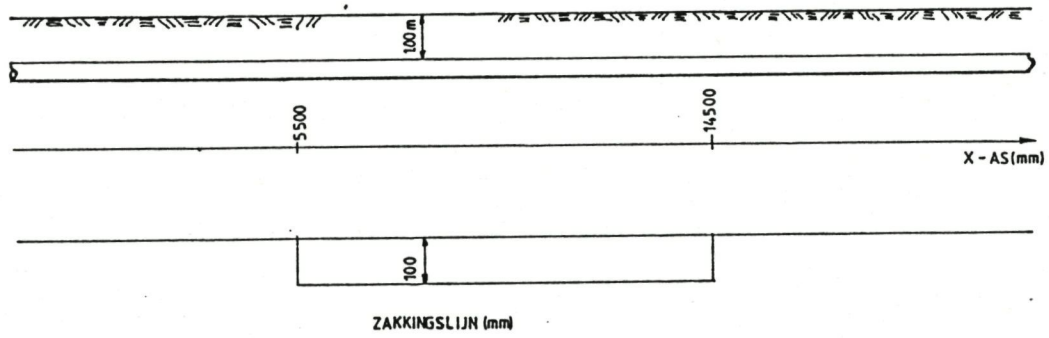
DWL114A : DISPLAC U-Z 88sep26 oc: 01 LOADCASE DWL1141 ITER 9
DWL114B : DISPLAC U-Z 88oct12 oc: 02 LOADCASE DWL1141 ITER 9
DWL114C : DISPLAC U-Z 88oct12 oc: 02 LOADCASE DWL1141 ITER 1
DWL114D : DISPLAC U-Z 88sep26 oc: 01 LOADCASE DWL1141 ITER 9
DWL114E : DISPLAC U-Z 88oct13 oc: 02 LOADCASE DWL1141 ITER 10

ONDERZOEK DWL-ROTTERDAM
VERGELIJKING VEREENVOUDIGD/UITGEBREID I.V.M. WIJZ. PLC
STANDAARD CONF. RANDVOORWAARDEN INGESCHAT AHV VUB-300 114.3X4.5

BIJLAGE 3.

Onderzoek vereenvoudigde berekening PC 88, model afleiding 'tentavieve' vergelijking,

Uitgangspunten:
Het leidingmodel bestaat uit een rechte leiding, waarop een sprongzakkingsbelasting van 100 mm is aangebracht over een lengte van 9.00 m. Met dit model zijn vijf verschillende buizen doorgerekend qua diameter en wanddikte. De grondwaarden zijn in overeenstemming met de diameter ingevoerd. Voor de dekking op de buis is uitgegaan van 1.00 m.

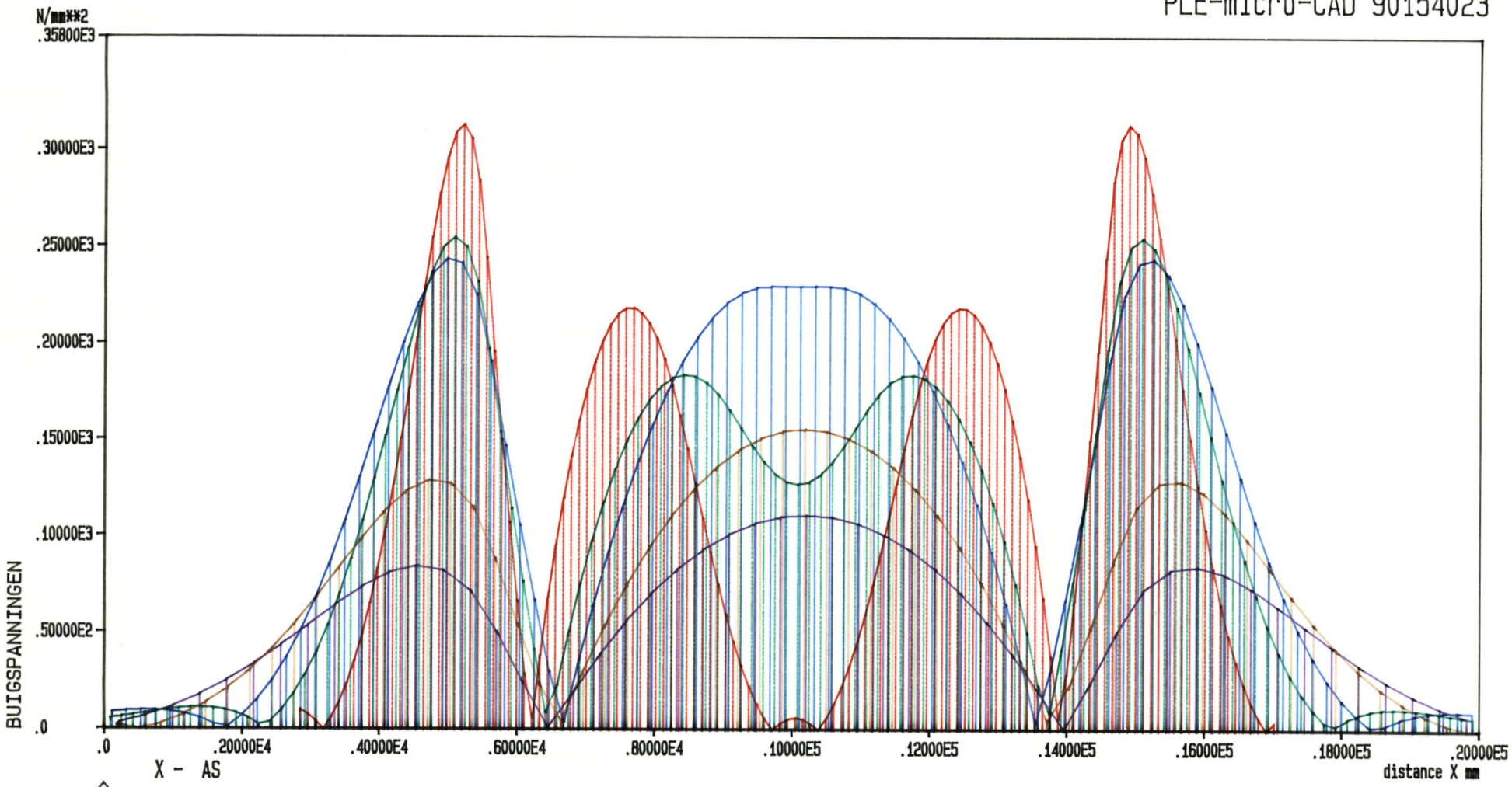


Resultaten:
(zie ook grafieken op de volgende bladzijden.)
(STR = buigspanning)

ber. en Ø	t (mm)	KLV (N/mm^3)	DELTA (mm)	STR_{iPLE} (N/mm^2)	STR_{vPLE} (N/mm^2)	$STR_{ten.}$ (N/mm^2)	A %
EENV114	4.0	0.0300	101.5	313.4	218.7	396.9	79.0
EENV168	4.8	0.0218	102.8	254.0	183.1	308.8	82.3
EENV219	5.6	0.0220	100.3	244.0	229.8	287.2	85.0
EENV323	7.1	0.0225	49.4	129.0	156.0	257.9	60.5
EENV406	7.9	0.0229	31.1	84.7	111.3	246.7	45.1

t = wanddikte.
KLV = vertikale beddingsconstante.
DELTA = max. laterale vervorming (U-Z in de grafiek).
STR_{iPLE} = max. buigspanning t.p.v. opleggingsgebied.
STR_{vPLE} = max. buigspanning t.p.v. zakkingsgebied.
$STR_{ten.}$ = buigspanning volgens 'tentatieve' formule (PC88 pag 32)
A = $(STR_{xPLE\ max}) \times 100 / (STR_{ten.})$

PLE-micro-CAD 90154023

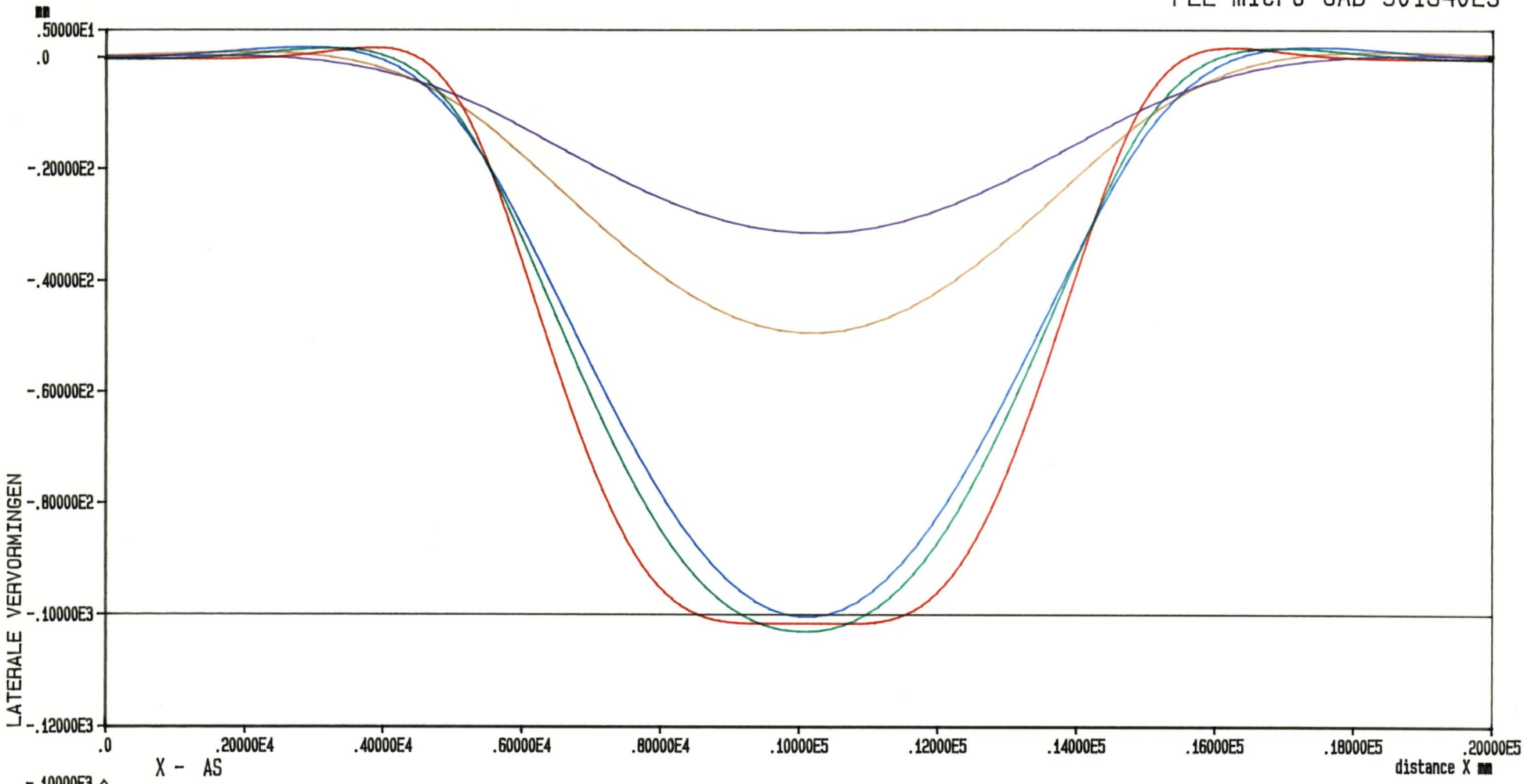


EENV114 : CSTRMAX MISES-M 89apr09 oc: 01 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS USED
EENV168 : CSTRMAX MISES-M 89apr10 oc: 01 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS USED
EENV219 : CSTRMAX MISES-M 89apr10 oc: 01 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS USED
EENV323 : CSTRMAX MISES-M 89apr10 oc: 01 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS USED
EENV406 : CSTRMAX MISES-M 89apr10 oc: 01 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS USED

PROJECT : PARAMETER ONDERZOEK VEREENVOUDIGDE BEREKENING IN DE
REVISIE VAN DE PIJPLEIDINGCODE.
ZZ = 100 mm over 9.00 m

CSTR01

PLE-micro-CAD 90154023



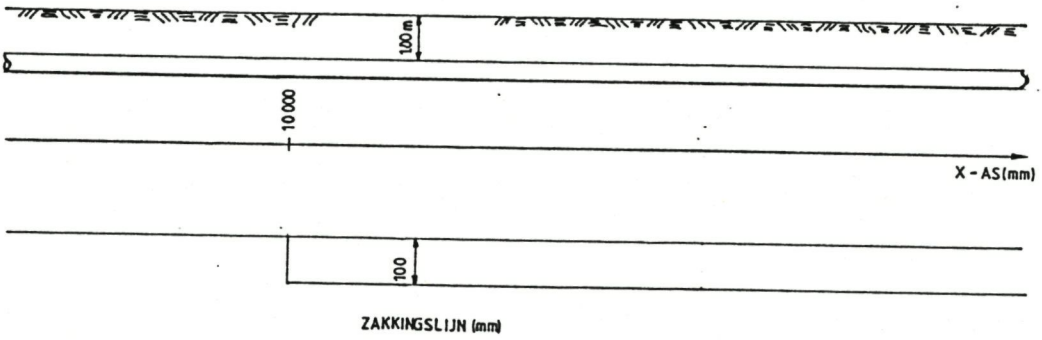
PROJECT : PARAMETER ONDERZOEK VEREENVOUDIGDE BEREKENING IN DE
REVISIE VAN DE PIJPLEIDINGCODE.
ZZ = 100 mm over 9.00 m

4-201

BIJLAGE 4.

Aanvullend onderzoek vereenvoudigde berekening PC 88.
Sprongzakking met gronddekking op de buizen.

Voor het in deze bijlage besproken onderzoek is uitgegaan van hetzelfde model als in BIJLAGE 3, met dien verstande, dat hier is aangenomen, dat de sprongzakking van 100 mm slechts één keer optreedt. Onder invloed van de sprongzakking en het eigengewicht, waarbij dezelfde maximale passieve grondreactie is ingevoerd als in BIJLAGE 3, worden vervormingen en buigspanningen gevonden, die weergegeven zijn op de volgende twee bladzijden.

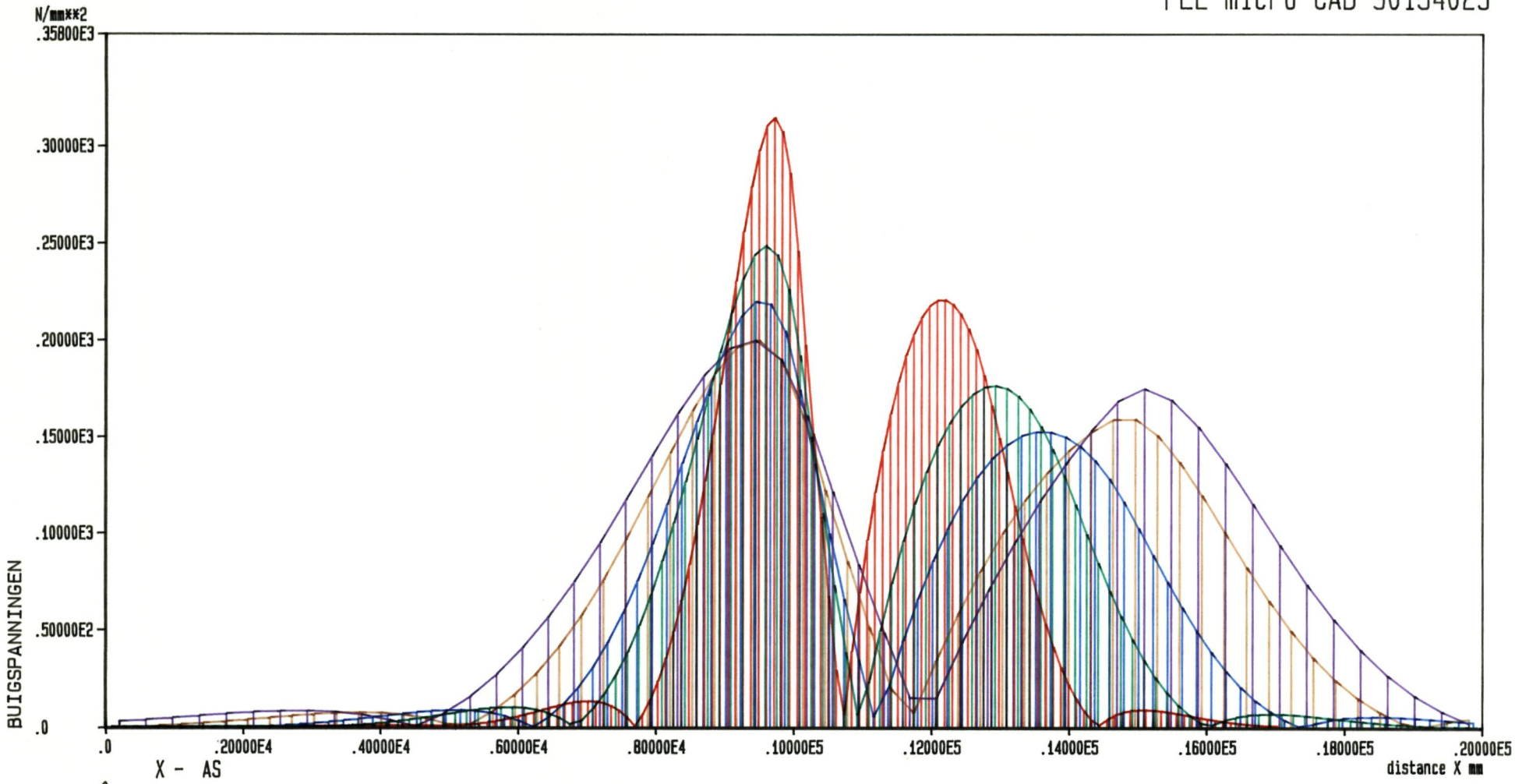


Resultaten:
(STR = buigspanning)

ber. en Ø	t (mm)	KLV (N/mm^3)	L (mm)	STR_{iPLE} (N/mm^2)	STR_{vPLE} (N/mm^2)	$STR_{ten.}$ (N/mm^2)	A %
EENV114S	4.0	0.0300	3038	314.1	220.3	396.9	79.1
EENV168S	4.8	0.0218	4167	248.6	176.5	308.8	80.5
EENV219S	5.6	0.0220	5135	220.1	152.8	287.2	76.6
EENV323S	7.1	0.0225	6118	200.6	160.0	257.9	77.8
EENV406S	7.9	0.0229	6464	199.8	175.1	246.7	81.0

t = wanddikte.
KLV = vertikale beddingsconstante.
L = max. overspanning in het sprongzakkingsgebied
STR_{iPLE} = max. buigspanning t.p.v. opleggingsgebied.
STR_{vPLE} = max. buigspanning t.p.v. zakkingsgebied.
$STR_{ten.}$ = buigspanning volgens 'tentatieve' formule (PC88 pag 32)
A = $(STR_{xPLE\ max}) \times 100 / (STR_{ten.})$

PLE-micro-CAD 90154023

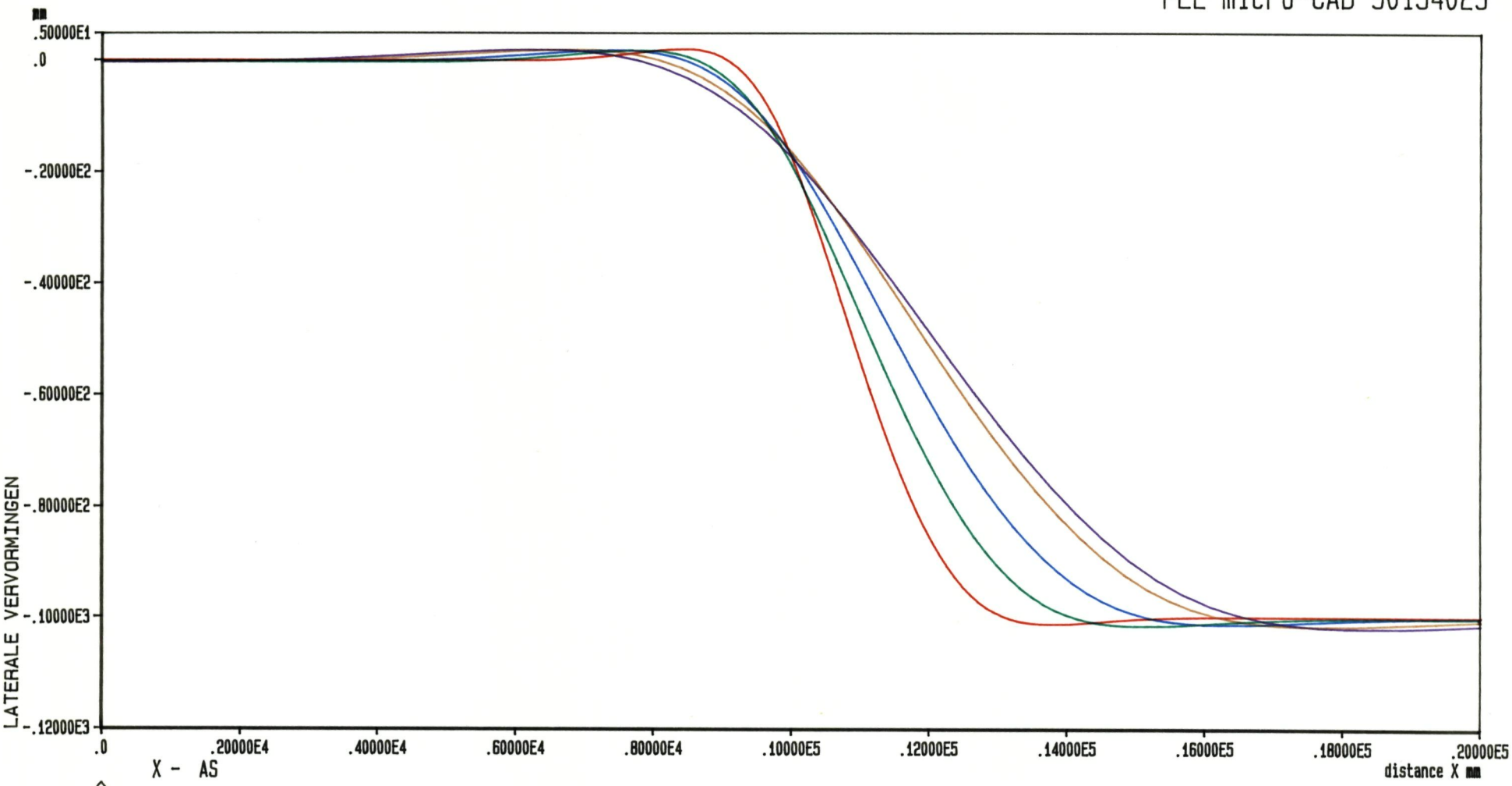


EENV114S: CSTRMAX MISES-M 89may31 oc: 02 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS USED
EENV168S: CSTRMAX MISES-M 89may31 oc: 02 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS USED
EENV219S: CSTRMAX MISES-M 89may31 oc: 02 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS USED
EENV323S: CSTRMAX MISES-M 89may31 oc: 02 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS USED
EENV406S: CSTRMAX MISES-M 89may31 oc: 02 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS USED

PROJECT : PARAMETER ONDERZOEK VEREENVOUDIGDE BEREKENING IN DE
REVISIE VAN DE PIJPLEIDINGCODE.

ZZ = 100 mm

PLE-micro-CAD 90154023



EENV114S: DISPLAC U-Z 89may31 oc: 02 LOADCASE VEREEN1 ITER 9
EENV168S: DISPLAC U-Z 89may31 oc: 02 LOADCASE VEREEN1 ITER 9
EENV219S: DISPLAC U-Z 89may31 oc: 02 LOADCASE VEREEN1 ITER 9
EENV323S: DISPLAC U-Z 89may31 oc: 02 LOADCASE VEREEN1 ITER 6
EENV406S: DISPLAC U-Z 89may31 oc: 02 LOADCASE VEREEN1 ITER 5

PROJECT : PARAMETER ONDERZOEK VEREENVOUDIGDE BEREKENING IN DE REVISIE VAN DE PIJPLEIDINGCODE.

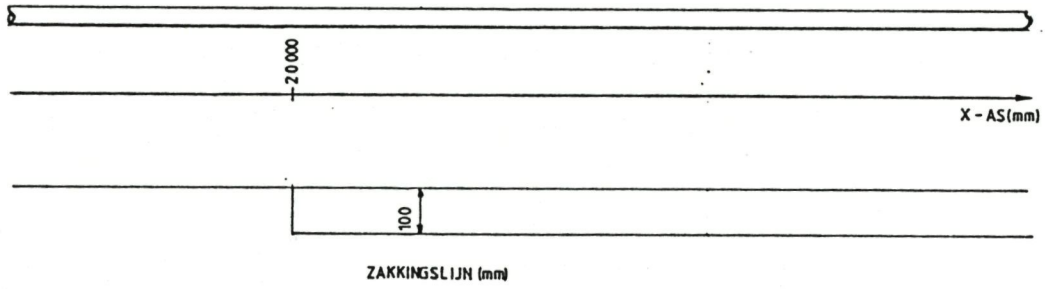
ZZ = 100 mm

S104011.PLT

BIJLAGE 5.

Onderzoek naar het gedrag van een leiding onder invloed van een eenmalige sprongzakking en eigengewicht zonder bovenbelasting, waarbij de beddingconstante is gevarieerd.

Voor het model is uitgegaan van de Ø 219 mm buis uit de vorige bijlagen 3 en 4. De boven belasting is echter verwijderd uit de invoer van het model. De vervorming zal op deze manier op 'natuurlijke' wijze ontstaan voor de buis. Met name de verhouding tussen de zo genaamde opleg- en veldmomenten c.q. de bijbehorende buigspanningen is voor dit onderzoek van belang. Ook de lengte (L) van de overspanning in relatie tot de L uit bijlage 4 is interessant. Door het ontbreken van de bovenbelasting zal deze L toenemen.

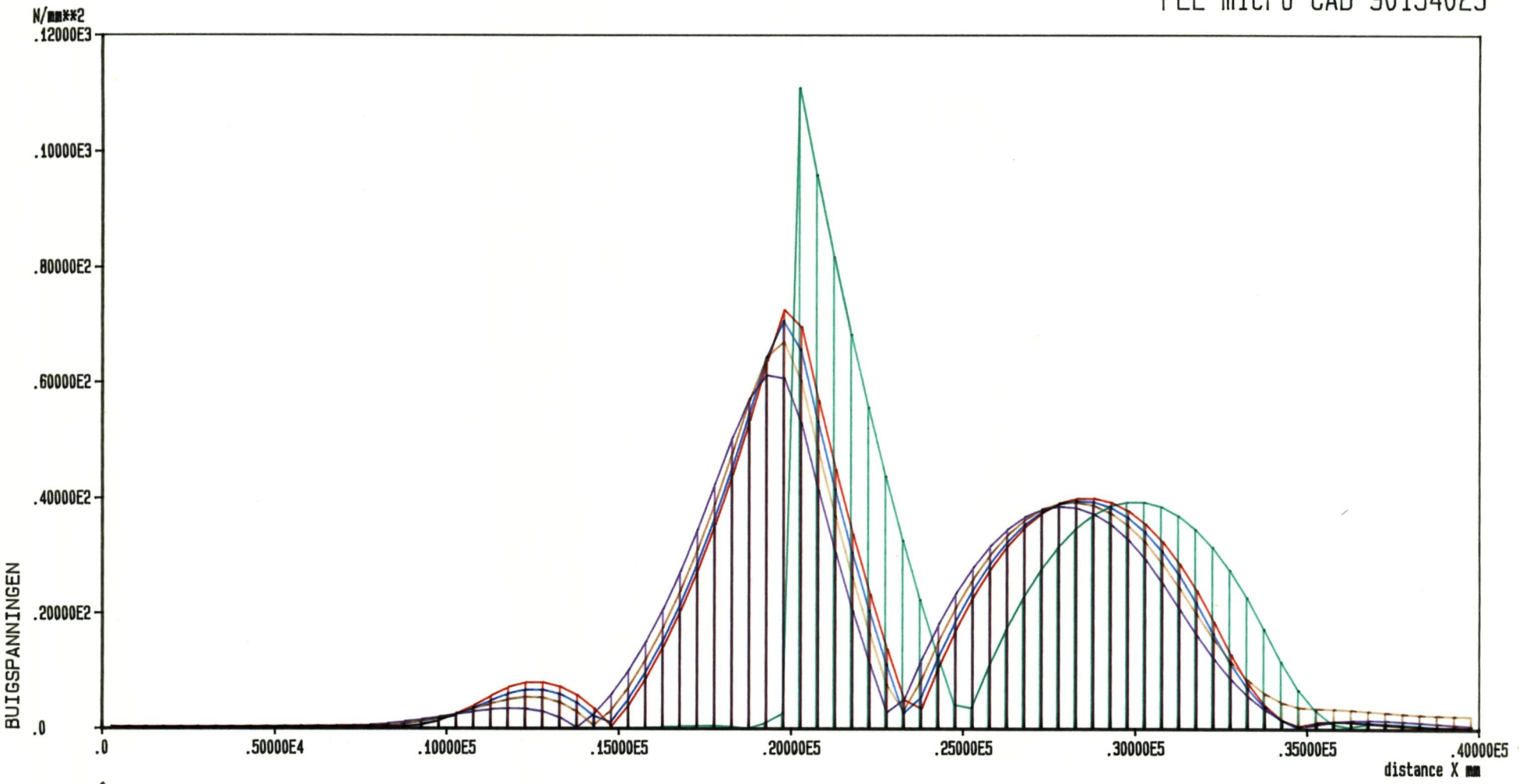


Resultaten:
(STR = buigspanning)

ber. en Ø	t (mm)	KLV (N/mm^3)	L (mm)	STR_{iPLE} (N/mm^2)	STR_{vPLE} (N/mm^2)	A %
EENV219A	5.6	0.0220	12000	72.3	39.8	181.7
EENV219B	5.6	INKL.	13500	111.1	39.4	282.0
EENV219C	5.6	0.0110	11500	70.5	39.5	178.5
EENV219D	5.6	0.0055	11000	66.8	39.1	170.8
EENV219E	5.6	0.00275	10000	61.2	38.5	159.0

t = wanddikte.
KLV = vertikale beddingsconstante.
L = max. overspanning in het sprongzakkingsgebied
STR_{iPLE} = max. buigspanning t.p.v. opleggingsgebied.
STR_{vPLE} = max. buigspanning t.p.v. zakkingsgebied.
A = (STR_{iPLE}) x 100 / (STR_{vPLE})

PLE-micro-CAD 90154023



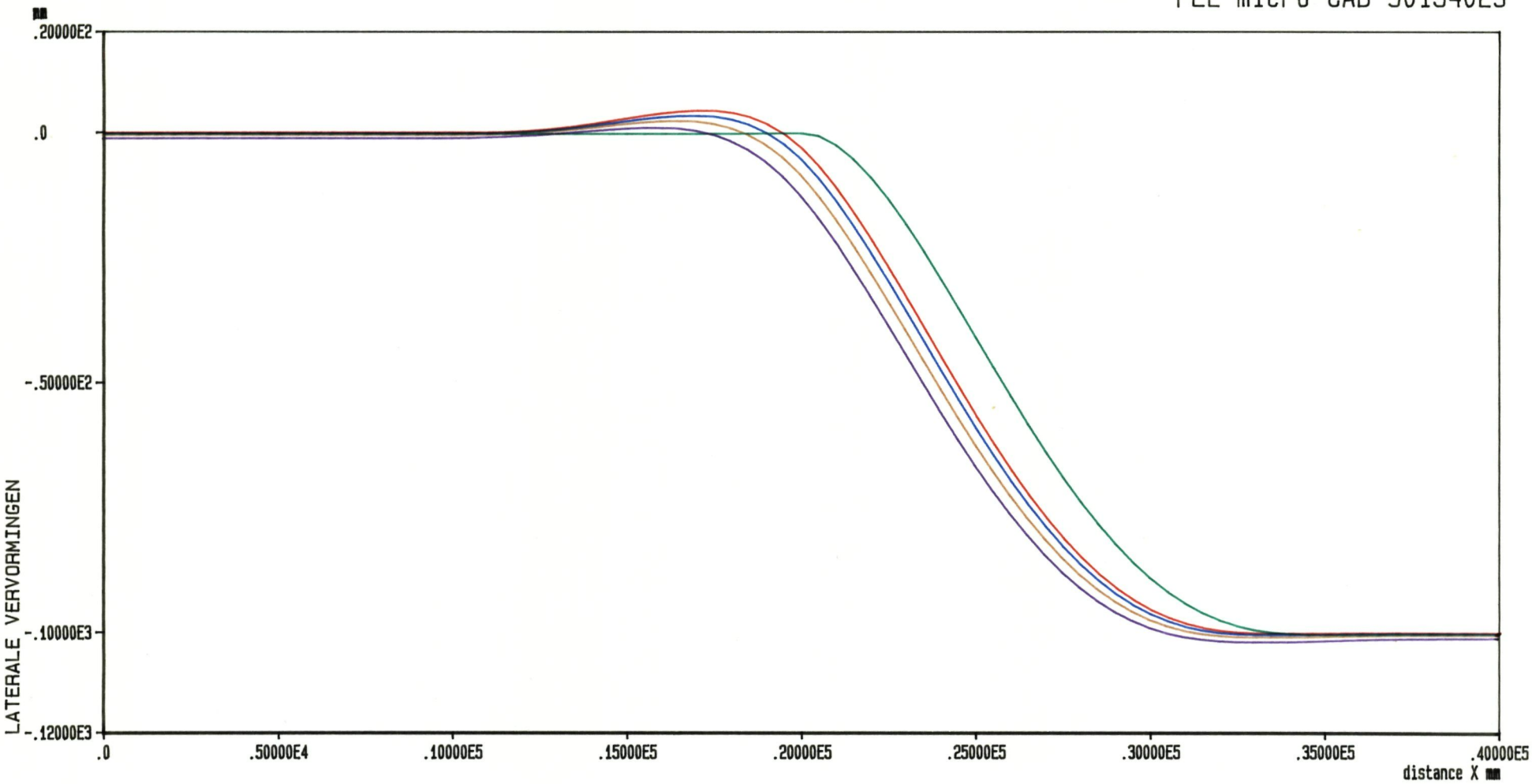
EENV219A: CSTRMAX MISES-M 89may26 oc: 01 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS USED
EENV219B: CSTRMAX MISES-M 89may26 oc: 01 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS USED
EENV219C: CSTRMAX MISES-M 89may26 oc: 01 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS USED
EENV219D: CSTRMAX MISES-M 89may26 oc: 01 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS UNUSED
EENV219E: CSTRMAX MISES-M 89may26 oc: 01 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS USED

PROJECT : PARAMETER ONDERZOEK VEREENVOUDIGDE BEREKENING IN DE
REVISIE VAN DE PIJPLEIDINGCODE.

ZZ = 100 mm

Elx.PLT

PLE-micro-CAD 90154023



EENV219A:	DISPLAC	U-Z	89may24 oc: 01	LOADCASE VEREEN1	ITER 12
EENV219B:	DISPLAC	U-Z	89may24 oc: 02	LOADCASE VEREEN1	ITER 12
EENV219C:	DISPLAC	U-Z	89may24 oc: 02	LOADCASE VEREEN1	ITER 9
EENV219D:	DISPLAC	U-Z	89may24 oc: 03	LOADCASE VEREEN1	ITER 8
EENV219E:	DISPLAC	U-Z	89may25 oc: 04	LOADCASE VEREEN1	ITER 6

PROJECT : PARAMETER ONDERZOEK VEREENVOUDIGDE BEREKENING IN DE
REVISIE VAN DE PIJPLEIDINGCODE.

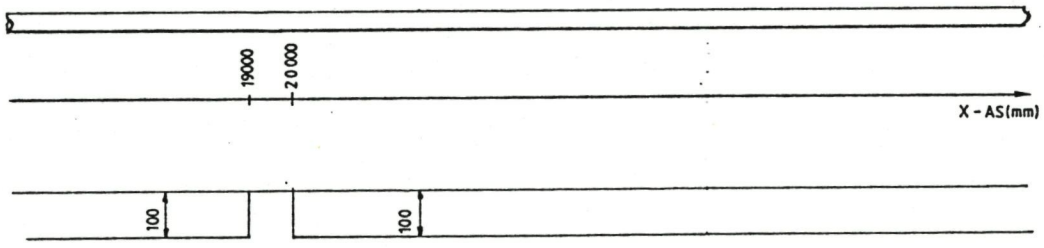
ZZ = 100 mm

E2*.PLT

BIJLAGE 6.

Onderzoek naar het gedrag van een leiding onder invloed van sprongzakkingen ter weerszijden van een gebied van 100 m, dat niet zakt, en eigengewicht zonder bovenbelasting, waarbij de beddingconstante is gevarieerd.

Voor het model is uitgegaan van de Ø 219 mm buis uit de vorige bijlagen 3, 4 en 5. De boven belasting is echter verwijderd uit de invoer van het model. De vervorming zal op deze manier op 'natuurlijke' wijze ontstaan voor de buis. Met name de verhouding tussen de zo genaamde opleg- en veldmomenten c.q. de bijbehorende buigspanningen is voor dit onderzoek van belang. Ook de lengte (L) van de overspanning in relatie tot de L uit bijlage 4 is interessant. Door het ontbreken van de bovenbelasting zal deze L toenemen.

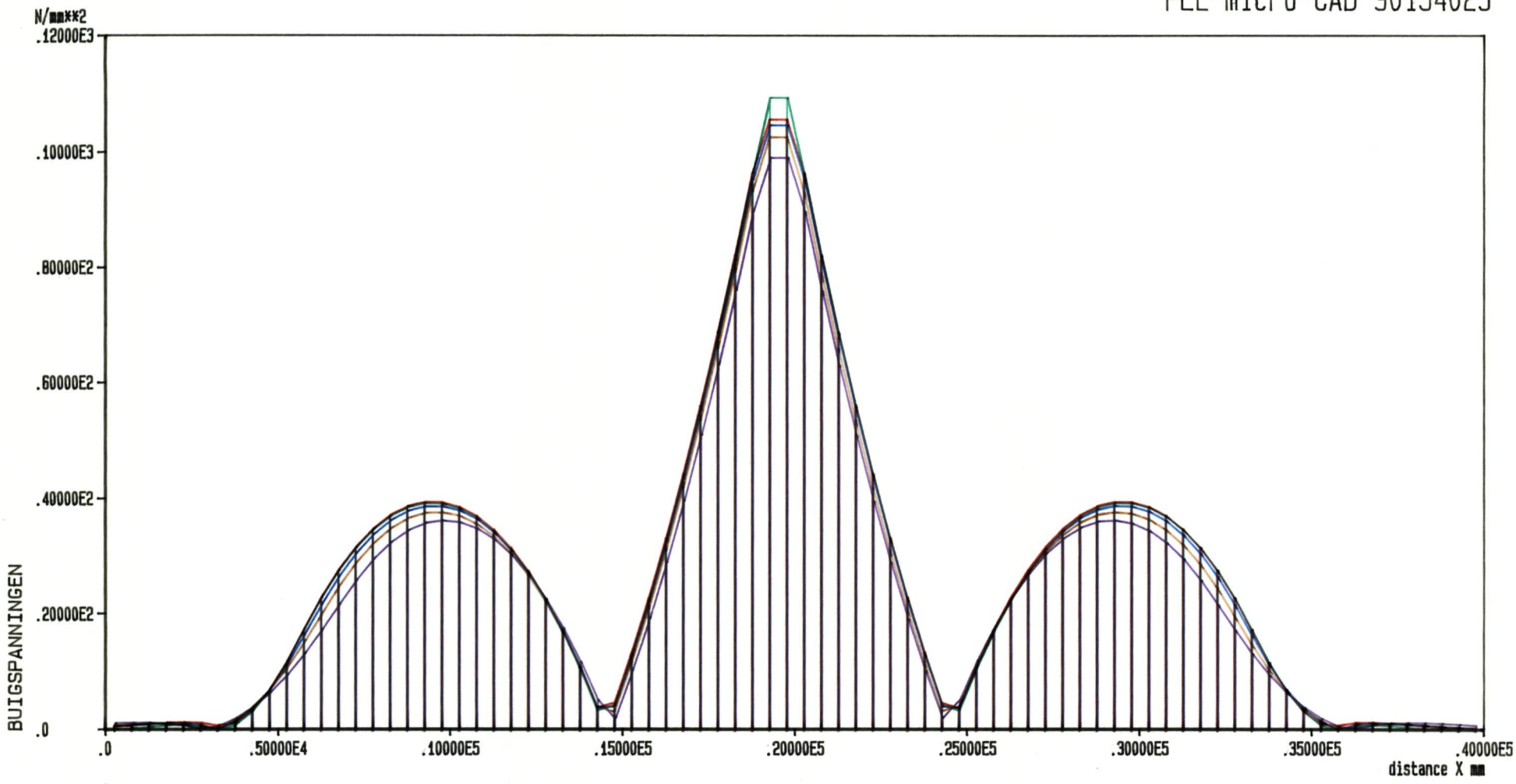


Resultaten:
(STR = buigspanning)

ber. en Ø	t (mm)	KLV (N/mm^3)	L (mm)	STR_{iPLE} (N/mm^2)	STR_{vPLE} (N/mm^2)	A %
EENV219V	5.6	0.0220	13000	105.3	39.1	269.3
EENV219W	5.6	INKL.	13000	109.5	39.4	277.9
EENV219X	5.6	0.0110	12500	104.6	38.7	270.3
EENV219Y	5.6	0.0055	12000	102.8	37.9	271.2
EENV219Z	5.6	0.00275	11500	99.1	36.4	272.3

t = wanddikte.
KLV = vertikale beddingsconstante.
L = max. overspanning in het sprongzakkingsgebied
STR_{iPLE} = max. buigspanning t.p.v. opleggingsgebied.
STR_{vPLE} = max. buigspanning t.p.v. zakkingsgebied.
A = (STR_{iPLE}) x 100 / (STR_{vPLE})

PLE-micro-CAD 90154023



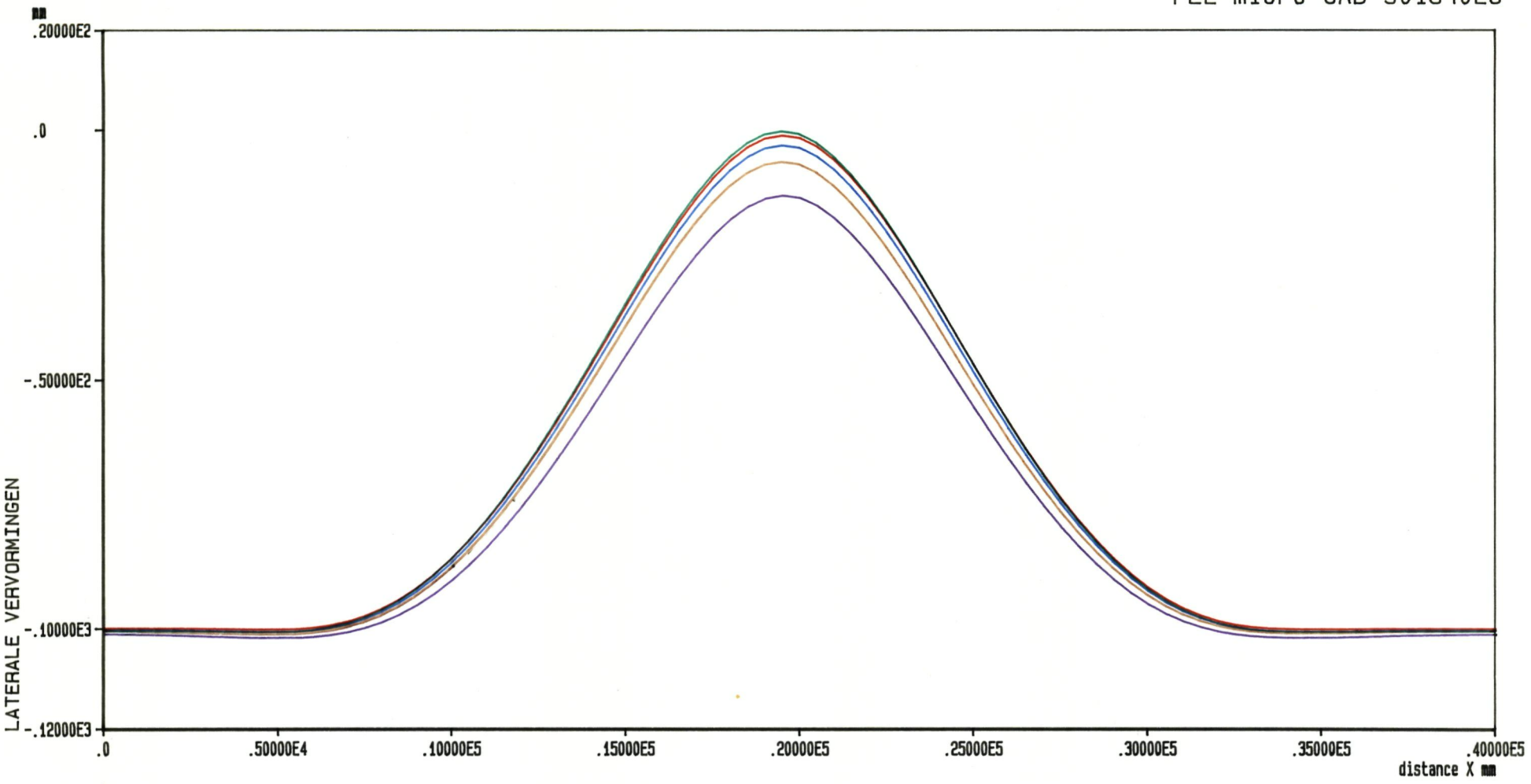
EENV219V: CSTRMAX MISES-M 89may26 oc: 01 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS USED
EENV219W: CSTRMAX MISES-M 89may26 oc: 01 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS USED
EENV219X: CSTRMAX MISES-M 89may26 oc: 01 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS USED
EENV219Y: CSTRMAX MISES-M 89may26 oc: 01 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS USED
EENV219Z: CSTRMAX MISES-M 89may26 oc: 01 LOADCASE VEREEN1 WEIGHING FACTORS USED

PROJECT : PARAMETER ONDERZOEK VEREENVOUDIGDE BEREKENING IN DE
REVISIE VAN DE PIJPLEIDINGCODE.

ZZ = 100 mm

F1*.PLT

PLE-micro-CAD 90154023



EENV219V:	DISPLAC	U-Z	89may25 oc: 02	LOADCASE VEREEN1	ITER 12
EENV219W:	DISPLAC	U-Z	89may25 oc: 03	LOADCASE VEREEN1	ITER 12
EENV219X:	DISPLAC	U-Z	89may25 oc: 03	LOADCASE VEREEN1	ITER 10
EENV219Y:	DISPLAC	U-Z	89may26 oc: 04	LOADCASE VEREEN1	ITER 8
EENV219Z:	DISPLAC	U-Z	89may26 oc: 05	LOADCASE VEREEN1	ITER 7

PROJECT : PARAMETER ONDERZOEK VEREENVOUDIGDE BEREKENING IN DE REVISIE VAN DE PIJPLEIDINGCODE.

ZZ = 100 mm

F20401.PLT