

NN31545.1894

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

ICW nota 1894

augustus 1988



nota

—instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding. wageningen—

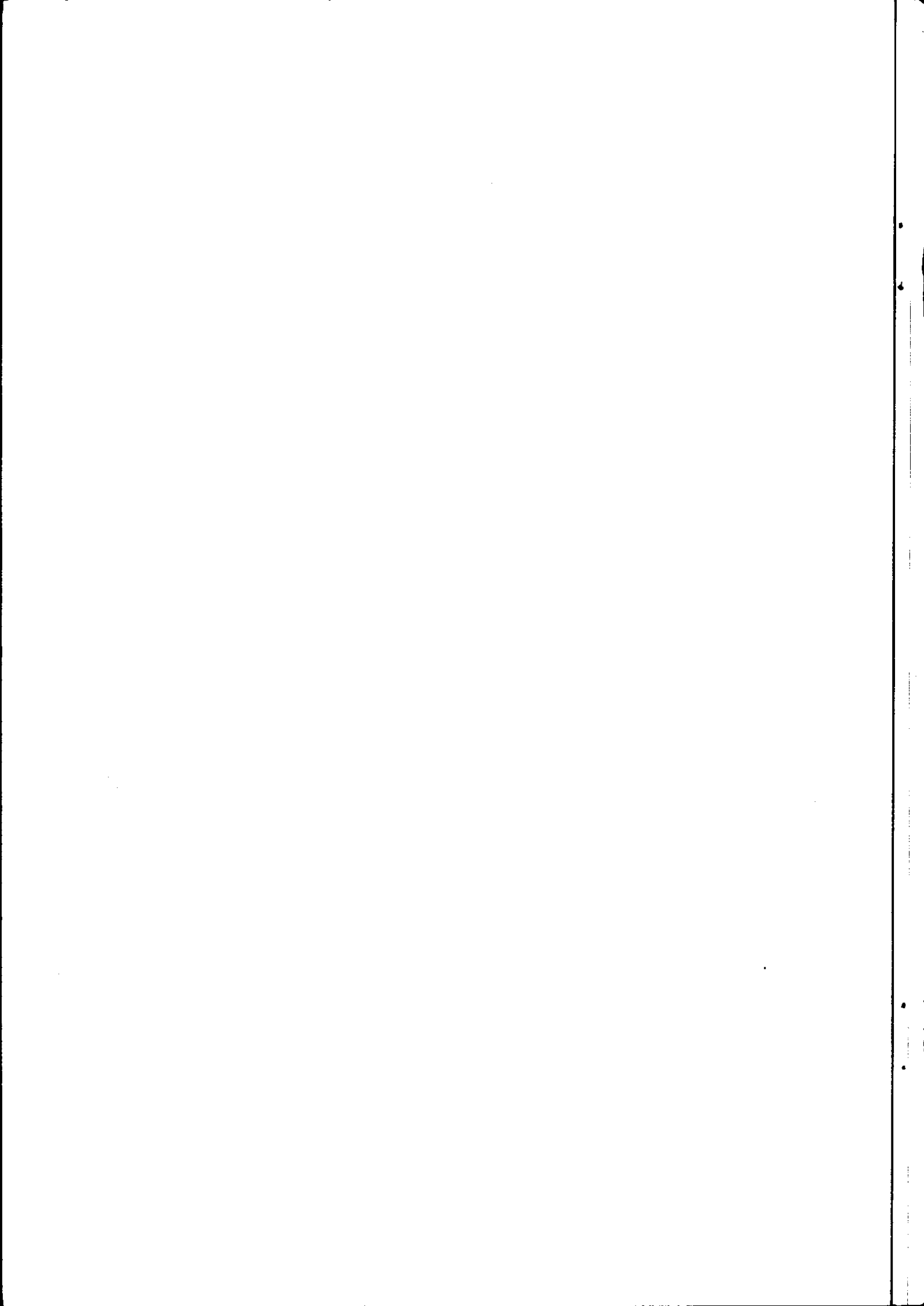
ONDERZOEK NAAR DE BETROUWBAARHEID VAN HET METEN VAN
GRONDDRUKKEN MET DRUKCELLEN

Gerrit Jan Carsjens

Nota's van het instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, dus geen officiële publicaties.
Hun inhoud varieert sterk, en kan zowel betrekking hebben op een
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek
nog niet is afgesloten.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut
in aanmerking.

8 SEP 1988

JSN 291030*

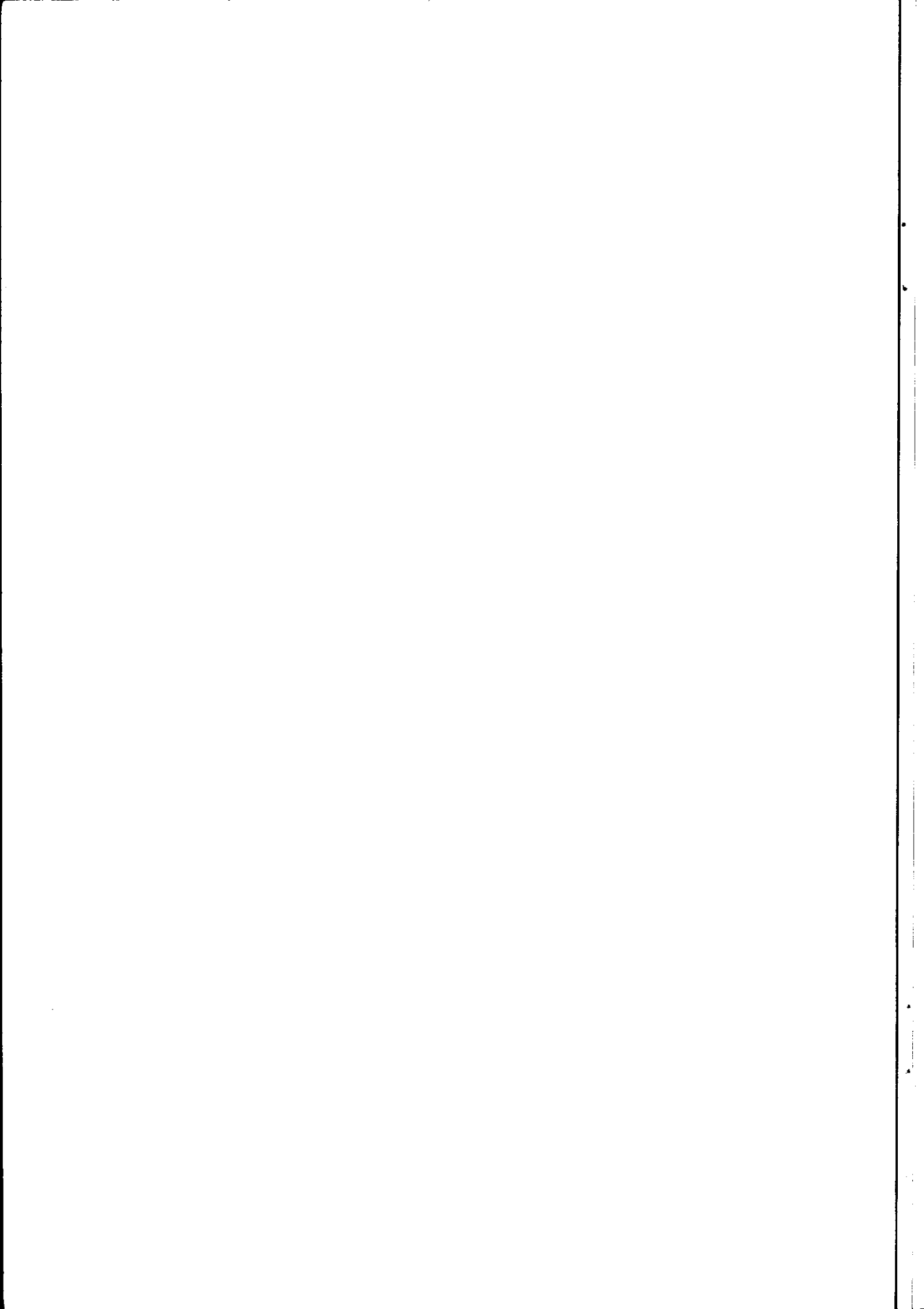


VOORWOORD

Dit verslag is het resultaat van een driemaands leeronderzoek in het kader van de praktijktijd voor de vakgroep Cultuurtechniek aan de Landbouwniversiteit in Wageningen. De praktijktijd heb ik doorgebracht bij het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding in Wageningen. Bij het onderzoek dat ik voor het I.C.W. heb uitgevoerd, zijn tevens het Instituut voor Mechanisatie van Arbeid en Gebouwen in Wageningen en de vakgroep Grondbewerking van de L.U. betrokken geweest. Ik wil graag iedereen van de genoemde instellingen bedanken die mij bij dit onderzoek behulpzaam zijn geweest. Ook gaat mijn dank uit naar de mensen van de proefboerderij "Oostwaardhoeve" in de Wieringermeer, waar ik mijn veldproeven heb mogen uitvoeren.

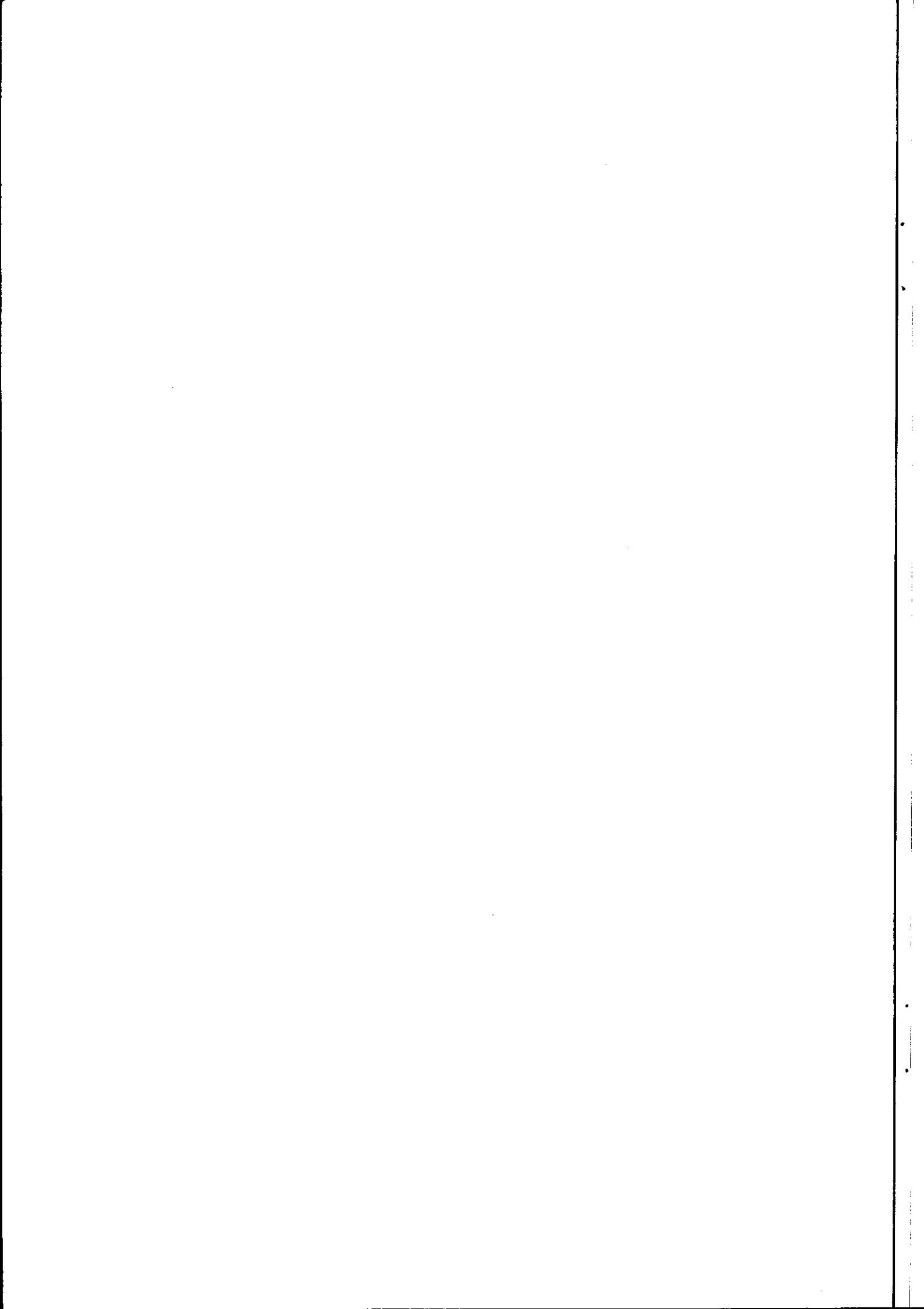
Gerrit Jan Carsjens

8 juli 1988



INHOUD

VOORWOORD	
1 INLEIDING	1
1.1 Algemeen	1
1.2 Meten met drukcellen	1
1.3 Doel van het onderzoek	2
2 VOORBEREIDING EN UITVOERING VAN DE VELDPROEVEN	4
2.1 Algemeen	4
2.2 De berijdingsproeven	5
2.2.1 Het meten met drukcellen	5
2.2.2 Het ijken van de drukcellen	6
2.2.3 Opzet van de metingen	7
2.2.4 De berijding met de enkelwieltester	11
2.2.5 Hoogtemetingen	12
2.3 De penetrometerwaarnemingen	12
2.4 De bodembemonstering	13
3 VERWERKING VAN DE VELDMETINGEN	15
3.1 Verwerking van de penetrometerwaarnemingen	15
3.2 Verwerking van de drukcelmetingen	16
4 RESULTATEN VAN DE VELDMETINGEN	18
4.1 Resultaten van de penetrometerwaarnemingen	18
4.2 Resultaten van de drukcelmetingen	19
4.3 Resultaten van de bodembemonstering	25
5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN VOOR NADER ONDERZOEK	28
6 SAMENVATTING	31
LITERATUUR	34
BIJLAGEN	36



1 INLEIDING

1.1 Algemeen

In de afgelopen decennia heeft men in de landbouw te maken gekregen met steeds groter en zwaarder materieel, wat grote verdichting van de grond tot gevolg heeft gehad. Een verdichte grond kent in het algemeen problemen met de doorlatendheid en de wortelgroei. Naar de oorzaken en gevolgen van verdichting wordt al enkele jaren onderzoek gedaan. Kennis van de drukken die optreden in de grond onder wielen van voertuigen is van groot belang, omdat deze drukken samenhangen met het gedrag van het voertuig, en veranderingen teweeg kunnen brengen in de fysische en mechanische eigenschappen van de grond. Voor het meten van gronddrukken maakt men gebruik van platte, ronde cellen met een drukgevoelig bovenvlak. Een druk op het bovenvlak van de cel wordt door middel van rekstrookjes omgezet in een elektrisch signaal, dat via een kabel naar registratie-apparatuur wordt doorgegeven, en wordt opgeslagen als een functie van de tijd.

1.2 Meten met drukcellen

Het meten van gronddrukken met drukcellen geeft in het algemeen resultaten met een lage betrouwbaarheid. Veelal komt dit omdat aan het inbrengen van de drukcellen niet voldoende aandacht wordt besteed. In veel gevallen wordt voor het plaatsen van de cellen de grond tot een bepaalde diepte verwijderd. Dit gebeurt met cilinders, waarmee een kolom grond wordt gestoken, die na plaatsen van de drukcellen weer wordt teruggezet. Het komt echter ook voor dat de grond gewoon wordt weggegraven, en na plaatsing van de drukcellen in het gat wordt teruggebracht. Het resultaat van deze methoden is dat de grond boven de drukcellen praktische altijd anders is dan de naastliggende grond. Meestal is de

verstoorde grond veel gemakkelijker samendrukbaar. Een goede meting wordt dan onmogelijk.

Een andere foutenbron is het verschil in samendrukbaarheid tussen de drukcel en de omringende grond. Bij plaatsing van de drukcel in losse grond, heeft het grote verschil in samendrukbaarheid tussen de drukcel en de grond tot gevolg dat een groot deel van de belasting waaraan de grond bloot staat, wordt geconcentreerd op de drukcel. Dit heeft tot gevolg dat te hoge waarden worden gemeten. Schoenmakers et al. (1987) kreeg goede meetresultaten met een proefopstelling waarin de drukcellen in een houten vloer waren aangebracht. De vervorming van zowel de houten vloer als de drukcel is zeer gering, waardoor de vervorming van de grond boven de houten vloer en de drukcel gelijk is, en ook de gronddrukken niet zullen verschillen.

Van den Akker heeft van de resultaten van Schoenmakers gebruik gemaakt bij berijdingsproeven in Westerhoven (1987). De drukcellen zijn bij deze veldproeven precies passend in een matig tot zeer harde ploegzool aangebracht. Om de drukcellen aan te brengen is de bouwvoor over breedte van 1 meter verwijderd. Na aanbrengen van de drukcellen werd de grond teruggebracht en matig verdicht met een rol. Door deze werkwijze bevindt de drukcel zich in een laag die bijna even weinig vervormt als de drukcel zelf, en is de grondconditie boven de ploegzool hetzelfde als boven de drukcel. De "ideale" laboratoriumsituatie van Schoenmakers wordt hiermee benaderd. Door het aanbrengen van de drukcel in een verdichte ondergrond, is de kans dat de drukcel scheef wordt gedrukt ook verkleind. De resultaten van deze werkwijze waren zeer bemoedigend.

1.3 Doel en opzet van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is met een serie berijdingsproeven de betrouwbaarheid van drukcellen als meetapparatuur te testen. Bij deze proeven wordt van dezelfde methodes gebruik gemaakt als bij de veldproeven in Westerhoven (Van den Akker, 1987). Er wordt

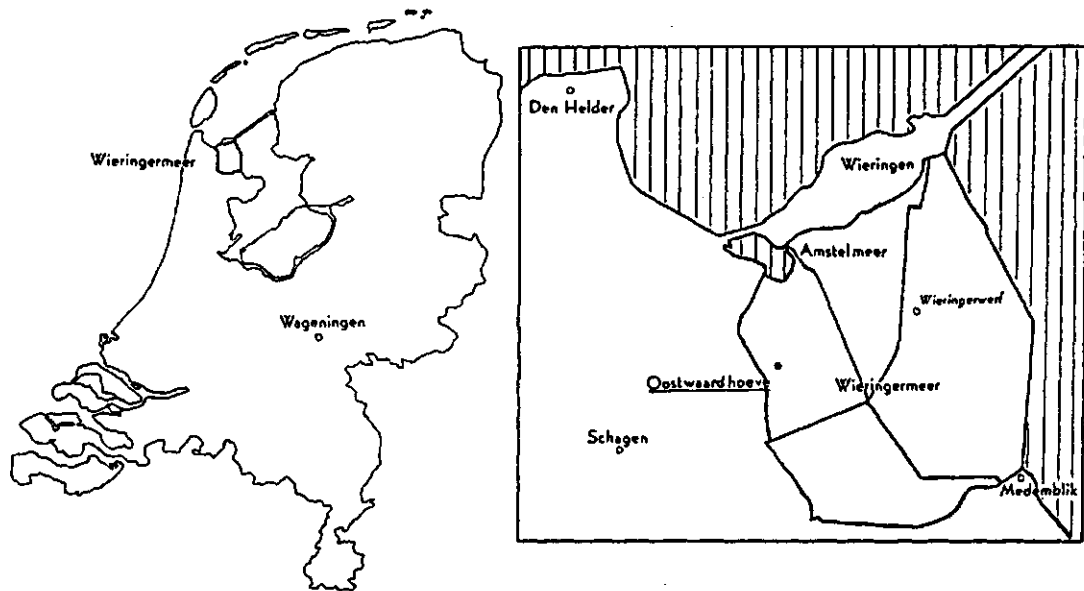
gelijktijdig gemeten met vier drukcellen. De reproduceerbaarheid van de drukmetingen zal worden getest door vergelijking van de resultaten van de afzonderlijke cellen bij een berijding, waarbij de drukcellen in het hart van het spoor zijn geplaatst. De vorm en de piekspanning van de vier verkregen meetcurven moeten dan gelijk zijn. Bij een tweede test is de rij drukcellen dwars op het spoor geplaatst. Dit geeft, behalve de verdeling van de verticale grondspanning in de rijrichting, ook de spreiding van de verticale grondspanning in de dwarsrichting. De som van de verticale drukken moet dan gelijk zijn aan de verticale wiellast. Daaruit moet de betrouwbaarheid van de gemeten absolute waarden volgen.

Er worden twee methoden voor aanbrengen van de drukcellen toegepast. In de eerste plaats de hierboven beschreven methode die is gebruikt in Westerhoven. Bij de tweede methode worden de drukcellen vanaf de zijkant van het profiel aangebracht in een door een grondfrees horizontaal geboord gat, dat na plaatsen van de drukcellen weer wordt dichtgeschoven. Bij deze laatste methode wordt de bouwvoor dus niet beroerd, maar zal het nauwkeurig plaatsen van de drukcellen veel moeilijker zijn dan bij de eerste methode. Uit de resultaten van de metingen zal moeten blijken welke van de twee gebruikte methoden de beste resultaten geeft.

2 VOORBEREIDING EN UITVOERING VAN DE VELDPROEVEN

2.1 Algemeen

De berijdingsproeven hebben plaatsgevonden op de Oostwardhoeve in de Wieringermeer, een proefboerderij van het I.M.A.G. De locatie van de proefboerderij is in figuur 2.1 weergegeven. Het perceel waarop de proeven hebben plaatsgevonden is een lemige zandgrond, en heeft voorafgaand aan de berijdingsproeven een aantal bewerkingen ondergaan. Om een harde ploegzool te creëren is het perceel met een twee meter brede rol verdicht. Het perceel is eenmaal met de lege rol bereden (leeg gewicht ca. 4 ton), waarna de rol met betonblokken werd verzwaard tot 8.5 ton, waarmee het perceel tweemaal is bereden. Hierna zijn eveneens tweetallen berijdingen uitgevoerd bij een totaalgewicht van 12.5 en 16.5 ton. Na de verdichting met de rol is het perceel tot 30 cm. diepte losgemaakt met een spitmachine, wat achteraf geen goede keus bleek te zijn, omdat deze bewerkingsmethode een zeer onregelmatig oppervlak van de ploegzool tot gevolg had. Dit betekende een probleem voor de metingen, omdat het vrijwel onmogelijk werd de drukcellen in een vlak stuk ploegzool aan te brengen. Er is toen besloten de ploegzool voor de metingen af te vlakken, door de bouwvoor weg te graven, en de ploegzool met een schop glad te steken. Bij de berijdingsproeven met methode A (waarbij de bouwvoor voor het inbrengen van de drukcellen verwijderd moet worden) is dit tijdens het inbrengen van de drukcellen gebeurd. Bij methode B (waarbij de drukcellen met een grondfrees worden aangebracht) is het afvlakken van de ploegzool twee weken voor de metingen gebeurd, om te voorkomen dat de bouwvoor vlak voor de metingen zou moeten worden verstoord. Het afvlakken van de ploegzool is geen irreele keus geweest, omdat de meeste gronden in Nederland worden geploegd, waarbij een veel vlakkere scheiding tussen bouwvoor en ondergrond wordt verkregen. In de volgende paragrafen worden de metingen voor en tijdens de berijdingsproeven besproken.



Figuur 2.1. Locatie van proefboerderij de Oostwaardhoeve.

2.2 De berijdingsproeven

In deze paragraaf zal als eerste een beschrijving van de meetapparatuur worden gegeven. Hierna worden achtereenvolgens de ijking van de drukcellen en de opzet en uitvoering van de berijdingsproeven besproken.

2.2.1 Het meten met drukcellen -

De vier drukcellen die gebruikt zijn voor het meten van de gronddrukken zijn metalen cilinders met een doorsnede van ongeveer 7.6 cm. en een hoogte van 1.7 cm. Het bovenzvlak van de cilinders bestaat uit een soepel membraam, waaronder de drukgevoelige onderdelen, de rekstrookjes, zich bevinden. De drukcel geeft een uitgangssignaal in millivolts af, dat via een kabel naar een Hottinger versterker wordt geleid. Via een aan de versterker gekoppelde tweede versterker komt het signaal uiteindelijk terecht

bij een UV-recorder, die het signaal op UV-gevoelig papier afdrukt. De technische gegevens van de gebruikte apparatuur staan vermeld in bijlage A. Om de drukcellen te kunnen onderscheiden heeft iedere drukcel een kleurcode gekregen.

2.2.2 Het ijken van de drukcellen -

De drukcellen geven een signaal in millivolts. Om de meetgegevens om te rekenen van millivolts naar druk (kN/m²) zijn ijkcurven nodig. Er zijn van de drukcellen voor en na de berijdingsproeven ijkcurven bepaald (in het laboratorium van de vakgroep Grondbewerking). De cellen zijn aan een met water gevulde kolom bevestigd, die onder druk werd gezet. De druk werd op een manometer afgelezen. De cellen zijn over een traject van 0 tot 350 kN/m² doorgemeten. Een op de UV-recorder geregistreeerde uitslag in centimeters werd vervolgens gekoppeld aan de bijbehorende manometerdruk, waardoor voor iedere drukcel een ijkcurve kon worden vastgelegd. De resultaten van deze metingen zijn in tabel 2.1 weergegeven, waarbij een lineaire ijkcurve een goede benadering bleek te zijn.

Tabel 2.1. IJkwaarden van de drukcellen

kleurcode drukcel	versterker meetbereik	verzwakker kanaal +/- meetbereik	omrekeningsfactor (kN/cm uitslag)
rood	5000	3 - 10	20.1
geel	5000	2 + 10	20.0
blauw	5000	6 + 20	22.0
groen	2000	4 - 10	20.0

2.2.3 Opzet van de metingen -

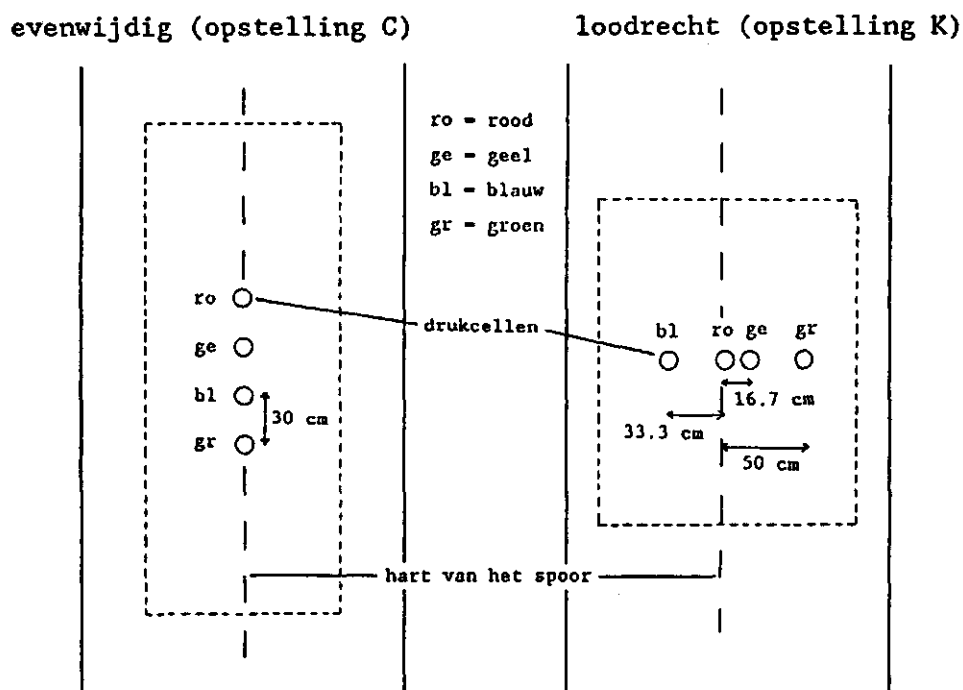
In het inleidende hoofdstuk is reeds beschreven dat dit onderzoek een tweeledig doel heeft; in de eerste plaats het testen van de betrouwbaarheid van drukcellen om gronddrukken te meten (a), en in de tweede plaats het vergelijken van twee methodes van plaatsen van de drukcellen (b).

a. In het onderzoek naar de betrouwbaarheid van het meten met drukcellen wordt in de eerste plaats gekeken naar de reproduceerbaarheid van de metingen. Er worden in dit kader drie metingen verricht waarbij de drukcellen in het hart van het spoor zijn geplaatst, met een tussen-afstand van 30 cm. (hart op hart). Bij elk van de drie metingen zullen de resultaten van de vier drukcellen onderling vergelijkbaar moeten zijn.

Als blijkt dat de metingen reproduceerbaar zijn, kan worden bepaald of de absolute waarden van de meetresultaten reeel zijn; de som van de verticale drukken moet dan gelijk zijn aan de verticale wiellast. Om de som van de verticale drukken te kunnen bepalen, moeten loodrecht op de rijrichting drukcellen worden geplaatst, die de spreiding van de druk in de dwarsrichting meten. De spreiding van de druk loodrecht op de rijrichting blijkt uit vergelijkbare metingen niet groter te zijn dan 60 cm, gerekend vanaf het hart van het spoor. De vier drukcellen zijn aan de hand hiervan geplaatst om de 20 cm, gerekend vanaf het hart van het spoor. Om de afstand tussen de cellen te vergroten worden de cellen verdeeld over twee kanten van het hart van het spoor. De cellen zijn na de eerste dwarsmeting (I) echter over 50 cm verdeeld, omdat de buitenste cel totaal geen uitslag en de op een na buitenste cel slechts een minieme uitslag vertoonde.

In figuur 2.2 is van beide opstellingen een voorbeeld gegeven.

Omdat niet bekend is of de drukcellen elkaar op korte afstand beïnvloeden, zijn twee extra metingen toegevoegd, waarbij de cellen in het hart van het spoor op respectievelijk 10 en 50 cm afstand van elkaar zijn geplaatst (hart op hart).



Figuur 2.2. Schematisch overzicht van de plaatsing van de drukcellen bij de metingen evenwijdig en loodrecht op de rijrichting : opstellingen C en K (zie ook figuur 2.4).

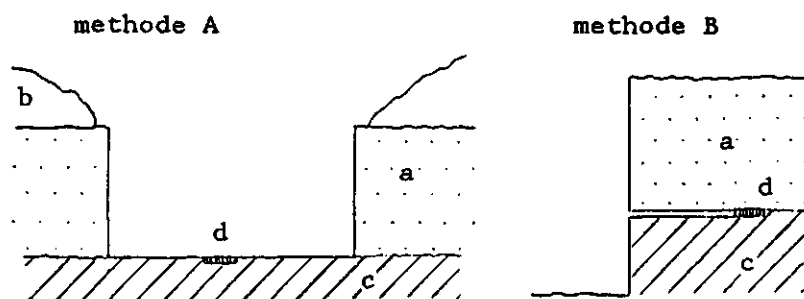
b. Er worden twee methoden van inbrengen van de drukcellen met elkaar vergeleken. De metingen die onder punt (a) staan vermeld zullen voor beide methoden worden toegepast. De beide methoden zijn :

1. methode A : bij deze methode wordt de bouwvoor over een breedte van 1.40 m. weggehaald. De ploegzool wordt afgevlakt, en de drukcellen worden met behulp van een speciale boor precies passend in de ploegzool aangebracht. Hierna wordt de grond weer teruggebracht, en enigszins verdicht met de 4.5 ton wegende rol. Het is de bedoeling dat de grond hiermee in dezelfde conditie gebracht wordt als de omringende ongeroerde grond.
2. methode B : bij deze methode worden de drukcellen met behulp van een grondfrees vanaf de zijkant van het profiel in de ploegzool aangebracht. De losse bouwvoor is voorafgaand aan de metingen al enigszins verdicht door berijding met de 4.5 ton wegende rol. Het aanbrengen van de drukcellen gebeurt

door het graven van een gat naast het te berijden stuk grond. In het gat wordt de grondfrees geplaatst, waarbij de ketting van de frees op de hoogte van de ploegzool wordt ingesteld. De frees moet precies horizontaal worden geplaatst. Nadat de frees is geplaatst wordt een gat in het profiel uitgeboord, ter grootte van een drukcel. De lengte van het gat kan maximaal 80 cm. bedragen. Nadat het gat is uitgeboord, en de frees is verwijderd, kan de drukcel met behulp van een speciale stang in het gat worden geschoven. Hierna moet het gat weer worden gevuld en verdicht. Nadat alle drukcellen op deze wijze zijn aangebracht (waarbij ook meerdere cellen in een gat kunnen worden geplaatst) wordt het gat waarin de grondfrees heeft gestaan weer dichtgegooid.

Bij deze methode wordt de bouwvoor boven de drukcellen niet beroerd, maar valt de exacte plaats van de drukcellen in de ploegzool niet te controleren.

In figuur 2.3 is een schematische voorstelling van beide methoden weergegeven.



a = losse bovengrond

b = afgegraven grond

c = ploegzool

d = drukcel

Figuur 2.3. Schematische voorstelling van het aanbrengen van de drukcellen met methode A en B (zie onder punt 1 en 2 van paragraaf 2.2.3 b).

Bij een aantal opstellingen zal herhaald bereiden gaan worden. Dit geeft veel extra informatie, en kost relatief weinig tijd omdat de drukcellen niet opnieuw ingegraven hoeven te worden. Bij de metingen met methode A, zijn ook de gronddrukken die optraden bij de berijding met de rol gemeten.

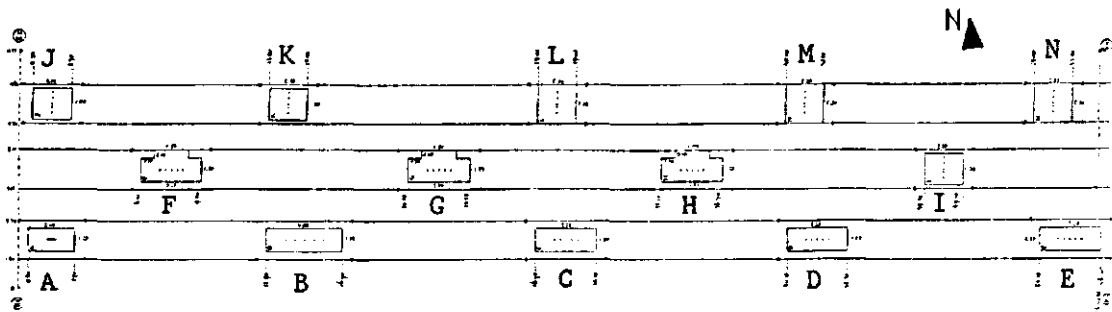
In tabel 2.2 zijn alle opstellingen schematisch weergegeven. In figuur 2.4 is een overzicht van het proefperceel weergegeven.

Tabel 2.2. Overzicht van de opstellingen van de berijdingsproef.

opstelling	methode	orientatie (t.o.v. rijrichting)	celafstand (in cm)	aantal berijdingen
A	A	evenwijdig	10.0	1
B	A	evenwijdig	50.0	1
C	A	evenwijdig	30.0	1
D	A	evenwijdig	30.0	2
E	A	evenwijdig	30.0	10
F	B	evenwijdig	30.0	2
G	B	evenwijdig	30.0	10
H	B	evenwijdig	30.0	1
I	A	loodrecht	n.v.t	1
J	A	loodrecht	n.v.t	2
K	A	loodrecht	n.v.t	10
L	B	loodrecht	n.v.t	2
M	B	loodrecht	n.v.t	1
N	B	loodrecht	n.v.t	10

Tijdens de uitvoering van opstelling B zijn een aantal problemen opgetreden met de aansluitingen van de drukcellen. Hierdoor zijn de resultaten van deze opstelling niet meer te gebruiken voor het onderzoek. Uit de resultaten van proef A is echter gebleken dat de onderlinge beïnvloeding van de cellen op

korte afstand vrijwel nihil is, en op 30 cm afstand zeker geen rol speelt. Hierop zal in hoofdstuk 4 nog worden teruggekomen.



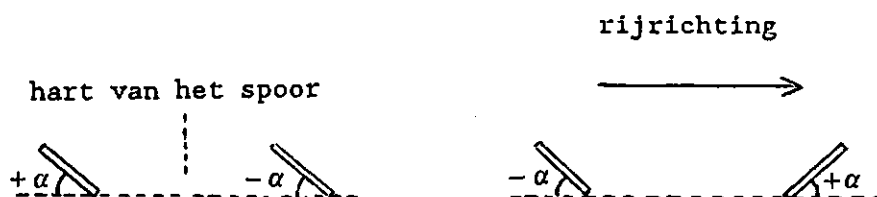
Figuur 2.4. Overzicht van het proefperceel op de Oostwaardhoeve; A t/m N geven de plaatsen van de berijdingsproeven aan.

2.2.4 De berijding met de enkelwieltester -

De berijding van de drukcellen heeft plaatsgevonden met een door het I.M.A.G., voor onderzoeksdoeleinden, ontwikkelde machine, de enkelwieltester. Bij deze machine heeft men de mogelijkheid tussen de voorwielen een extra, al dan niet aangedreven wiel te plaatsen. Op dit wiel kan een belasting worden aangebracht, die bij dit onderzoek 3200 kg. bedroeg. De band die voor de berijdingen is gebruikt is een Vredestein Special Ribbed (S.R.), 16.0/70-20 10 P.R., bij een bandspanning van 2.4 bar. De rijsnelheid bedroeg gemiddeld 0.73 m/s. Tijdens de berijdingen door de enkelwieltester zijn de belasting en de rolweerstand op grafische wijze vastgelegd. Van iedere berijding is hierdoor de exacte grootte van de belasting en de rolweerstand bekend (zie bijlage B).

2.2.5 Hoogtemetingen -

Van iedere opstelling zijn, met behulp van een waterpasinstrument, de hoogtes van maaiveld en insporing en de hoogtes van de drukcellen (voor en na de berijding) opgemeten. Bij de methode met de grondfrees (methode B) is voor de berijding de hoogte van de grondfrees opgemeten, als zijnde de hoogte van de drukcellen. Uit de hoogtemetingen is de laagdikte boven de drukcellen berekend, en de diepte van de insporing. In bijlage E zijn hiervan de resultaten weergegeven. De scheefligging van de cellen na de berijding is uitgedrukt in twee hoeken ten opzichte van de rijrichting. In figuur 2.5 is hiervan een schematische voorstelling gegeven. De resultaten van de hoekberekeningen zijn eveneens in bijlage E weergegeven.



Figuur 2.5. Berekening van de scheefligging van de drukcellen.

2.3 De penetrometerwaarnemingen

Om een indruk te krijgen van de dichtheden op het proefperceel, zijn voor en na de verdichting met de rol, en tijdens de berijdingsproeven penetrometerwaarnemingen verricht. Een penetrometer meet de indringingsweerstand van een aan een metalen stang bevestigde conus die in de grond wordt gestoken. De bij dit onderzoek gebruikte conus is een zogenaamde Amerikaanse

conus, met een oppervlak van 1.3 cm^2 , en een tophoek van 30° . De gemeten indringingsweerstand worden door een aan de penetrometer gekoppelde Epson HX-20 computer op tape opgeslagen. De Epson geeft tevens een uitvoer op papier, waarop de gemeten waarden in grafische en tabelvorm zijn weergegeven. Hiermee kunnen de resultaten van de penetraties direct worden gecontroleerd.

De gemeten indringingsweerstand zijn een maat voor de dichtheid van de grond. Hoe dichter de grond is gepakt, des te groter zal de indringingsweerstand zijn. De indringingsweerstand zal ter hoogte van een ploegzool dus duidelijk in grootte moeten toenemen.

De verwerking van de op tape opgeslagen gegevens, en de resultaten van de penetrometerwaarnemingen zullen in de volgende twee hoofdstukken behandeld worden.

2.4 De bodembemonstering

Voor en tijdens de berijdingsproeven zijn van de boven- en ondergrond bodem monsters genomen, te weten :

- a. Voor de verdichting met de rol zijn vochtmonsters genomen tot een diepte van 50 cm. Van een drietal vochtmonsters is het organisch stofgehalte bepaald door verbranding van de organische stof in een oven op 500°C .
- b. Na de verdichting van de grond met de rol en het spitten van de bovengrond, zijn van de ploegzool een viertal dichtheidsmonsters genomen. Deze monsternamen zijn voorafgaand aan de berijdingsproeven uitgevoerd.
- c. Tijdens de berijdingsproeven zijn enkele vochtmonsters genomen van de bovengrond en de ploegzool. Van een aantal vochtmonsters die tijdens de berijdingsproeven zijn verzameld, zijn het kalkgehalte en de granulaire samenstelling bepaald. De bepalingen zijn uitgevoerd op het fysisch laboratorium van het I.C.W. De bepaling van de granulaire samenstelling is gebeurd volgens de methode beschreven door Vermeer (1986). De bepaling van het kalkgehalte is gebeurd met de maatkolffjesmethode (Valk

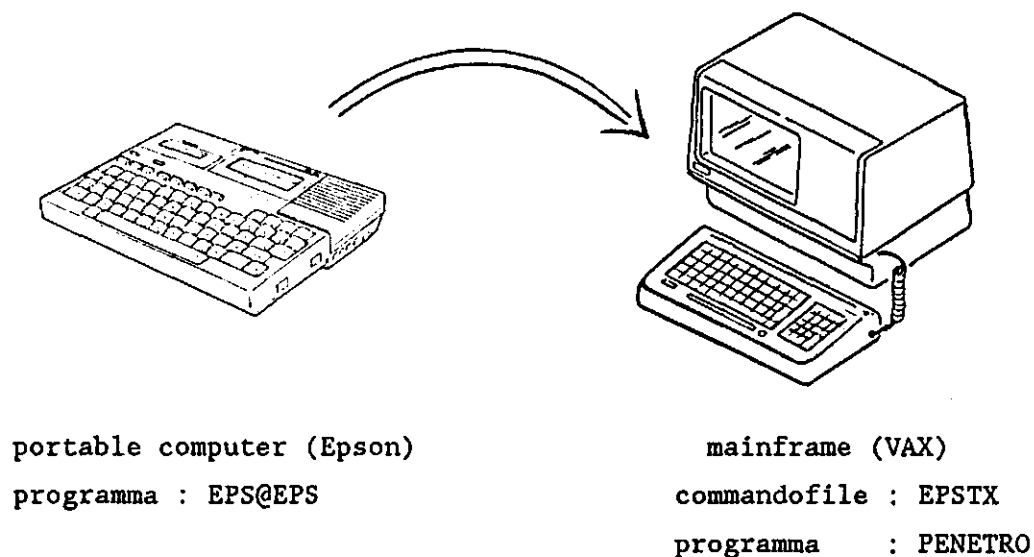
en Vermeer, 1986). Deze laatste methode berust op het principe dat de reactie van zoutzuur met de aanwezige kalk een gewichtsverlies door ontwijkend CO_2 tot gevolg heeft.

De resultaten van de bepalingen zijn in paragraaf 4.3 weergegeven.

3 VERWERKING VAN DE VELDMETINGEN

3.1 Verwerking van de penetrometerwaarnemingen

De op tape opgeslagen penetrometerwaarnemingen zijn van de Epson HX-20 overgezonden naar de VAX van het I.C.W. Hiervoor is het programma EPS@EPS op de Epson en het programma EPSTX.COM op de VAX beschikbaar. Als de files met gegevens zijn overgezonden kunnen deze verwerkt worden met het programma PENETRO, dat een tabeluitvoer per penetrometerwaarneming verzorgt, en een plot maakt van de indringingsweerstand in kgf. tegen de diepte in cm. Een en ander is nog eens schematisch weergegeven in figuur 3.1.



Figuur 3.1. Verwerking van de penetrometer-gegevens.

Een aantal penetrometerwaarnemingen bleek een zeer grote spreiding te vertonen. Dit bleek het gevolg te zijn van een klein aantal foute metingen binnen een reeks van 8 tot 12 metingen. Deze foute metingen bleken het gemiddelde dermate te beïnvloeden, dat ze uit de betreffende files zijn verwijderd. De overblijvende metingen zijn vervolgens opnieuw met het programma PENETRO

verwerkt. De afwijkingen zijn vermoedelijk ontstaan ten gevolge van het slechte weer (veel regen, en daar kan de penetrometer slecht tegen). Van opstelling N zijn ten gevolge van storingen geen penetrometergegevens bekend.

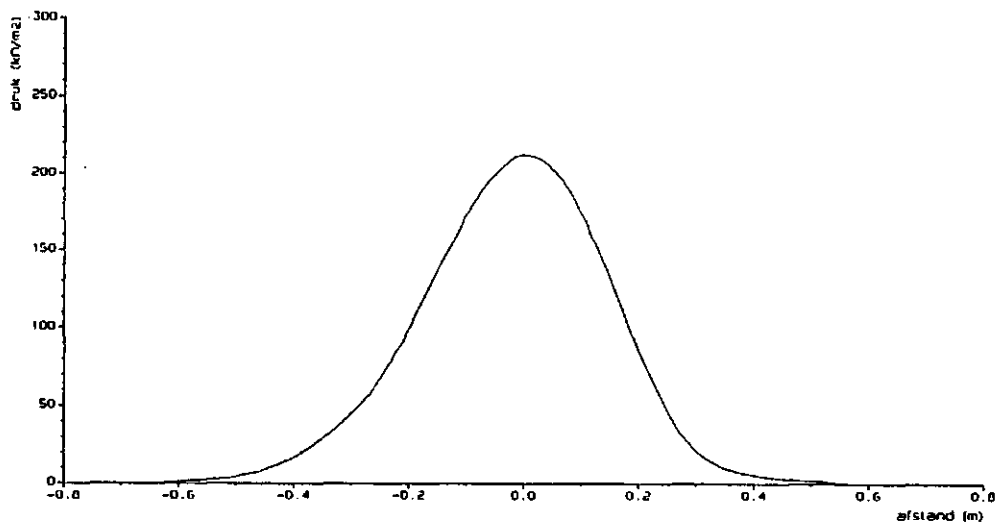
3.2 Verwerking van de drukcelmetingen

De drukcelmetingen zijn allen vastgelegd op UV-gevoelig papier. Voor het verwerken op de computer van het grote aantal metingen (144 stuks) was het noodzakelijk de curven te digitaliseren. Dit is gebeurd op een digitizer, met hieraan gekoppeld een Hewlett Packard 150. Het inlezen van de curven op de H.P. gebeurde met het grafisch programma AUTOCAD. Na het inlezen werden de files met het programma LINMAN van besturingstekens ontdaan. De opgeschoonde files werden vervolgens overgezonden van de H.P. naar de VAX van het I.C.W.

De gegevens moeten vervolgens in twee opzichten gecorrigeerd worden. In de eerste plaats moet een hoekcorrectie worden uitgevoerd voor het inlezen met de digitizer (een plot is namelijk nooit geheel horizontaal ingelezen), en ten tweede moeten de gegevens met behulp van de ijkcurven omgerekend worden naar werkelijke drukken. Om deze correcties uit te voeren is het programma SCHAAL.FOR ontwikkeld (programma-listing is weergegeven in bijlage C1). Na de correcties van de ruwe gegevens is van iedere file een plot gemaakt met behulp van het programma PLDRUK (zie bijlage C2). In de plots is op de Y-as de druk (in kN/m²) en op de X-as de afstand ten opzichte van het hart van het spoor (in m) weergegeven. In figuur 3.2 is hiervan een voorbeeld gegeven.

Om de onderlinge verschillen tussen de grafieken te kunnen bepalen is het programma OPPER.FOR ontwikkeld, dat van iedere grafiek de piekwaarde en de oppervlakte onder de kromme berekent (zie bijlage C3). Het testen van de absolute gemeten waarden gebeurt met het programma INHOUD.FOR (bijlage C4). Dit programma berekent de som

van de verticale drukken, met behulp van de drukcelgegevens uit de opstellingen loodrecht op de rijrichting. Voor de resultaten van de berekeningen wordt verwezen naar hoofdstuk 4. Voor enkele andere plots wordt verwezen naar bijlage F.

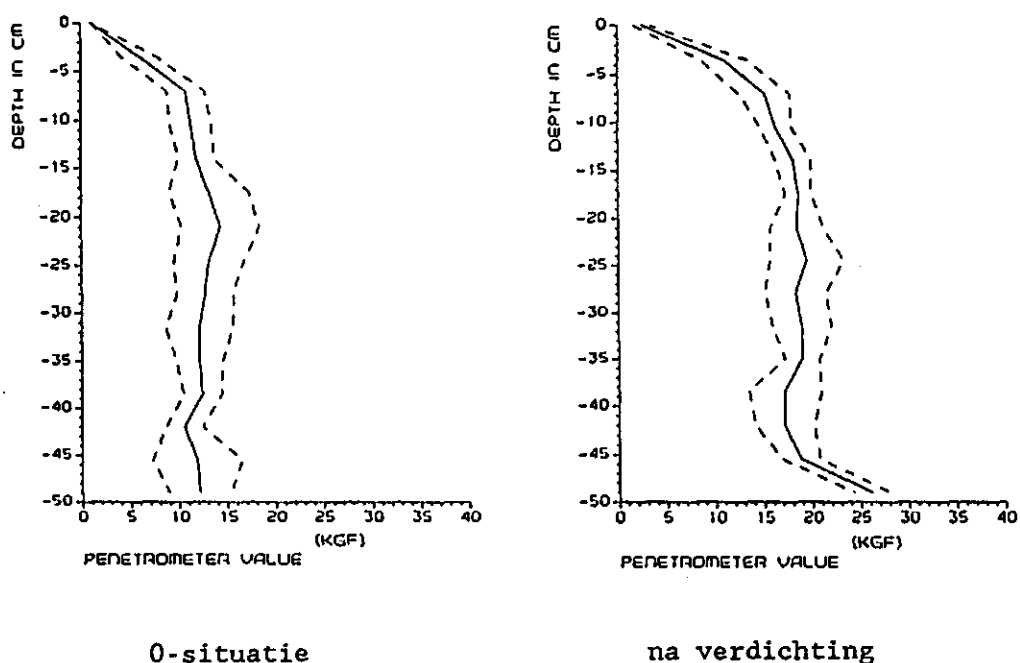


Figuur 3.2. Gemeten drukken met de rode drukcel in opstelling E, eerste berijding door de enkelwieltester.

4 RESULTATEN VAN DE VELDMETINGEN

4.1 Resultaten van de penetrometerwaarnemingen

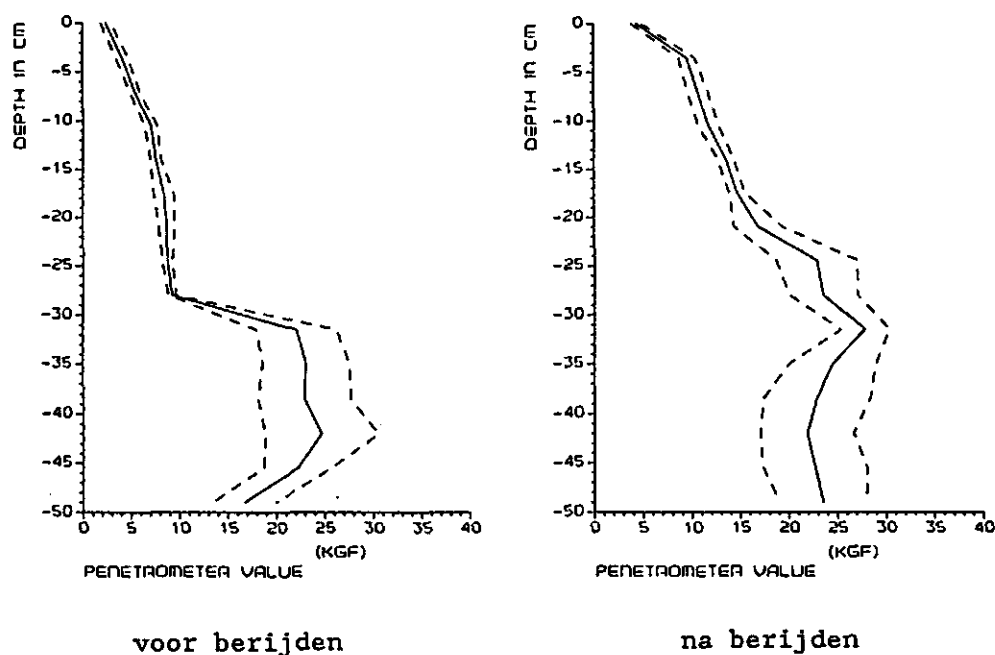
In figuur 4.1 zijn de resultaten van de penetrometerwaarnemingen voor en na het verdichten met de rol weergegeven. In de grafieken is de indringingsweerstand in kgf. tegen de diepte in cm. weergegeven. De getrokken lijnen geven respectievelijk het gemiddelde van 10 penetraties voor de verdichting (linkergrafiek), en het gemiddelde van 12 penetraties na de verdichting aan (rechtergrafiek). De gestippelde lijnen geven de spreiding binnen de gemeten waarden aan.



Figuur 4.1. Penetrometerwaarnemingen voor en na de verdichting met de rol.

In figuur 4.2 zijn de resultaten van de penetrometerwaarnemingen van opstelling D voor en na de berijding weergegeven. In de linkergrafiek, voor de berijding, is heel duidelijk de

ploegzool op 30 cm. diepte waar te nemen. Na de berijding valt op dat de bovengrond aanzienlijk verdicht is, en dat de overgang naar de ploegzool veel geleidelijker verloopt. De resultaten van de overige penetrometerwaarnemingen zijn in bijlage D weergegeven.



Figuur 4.2. Penetrometerwaarnemingen van opstelling D, voor en na de berijding met de enkelwieltester.

4.2 Resultaten van de drukcelmetingen

Met het programma `OPPER.FOR` (bijlage C3) zijn de resultaten van de opstellingen A t/m G (met uitzondering van opstelling B) doorgerekend; van elke drukcelmeting is het maximum bepaald, en het oppervlak onder de curve. Opstelling H is niet bij de resultaten vermeld; de reden hiervoor is dat bij opstelling H voor het eerst gebruik werd gemaakt van de grondfrees, en enkele problemen opgetreden zijn bij het plaatsen van de drukcellen. De resultaten van deze metingen zijn hierdoor niet meer betrouwbaar.

De bepaling van de piekspanningen is uitgevoerd om de reproduceerbaarheid van de drukcelmetingen te bepalen. Om een goede onderlinge vergelijking tussen de cellen mogelijk te maken, moet een correctie worden aangebracht voor de laagdikte boven de cellen.

Koolen en Kuipers (1983) vonden voor de spanning op diepte z (zie ook figuur 4.3) :

$$\sigma_z = q(1 - \cos^v \alpha) \quad (1)$$

met : σ_z = normaalspanning op diepte z .

q = uniforme belasting van cirkelvormig oppervlak met diameter D .

v = 3, 4 of 5 voor respectievelijk een harde, normale en zachte grond.

α = $\arctan(0.5D/z)$

In dit onderzoek wordt voor v de waarde 4 aangehouden. Het uniform cirkelvormig oppervlak wordt berekend uit de formule $A = F / \sigma_{gem}$, waarbij $\sigma_{gem} = 1.2 * \text{bandspanning}$ (de bandspanning is in dit onderzoek 2.4 bar). Voor alle drukcellen is de gemeten piekspanning omgerekend naar de diepte van de rode drukcel (van de betreffende opstelling). Vergelijking (1) kan voor drukcel i op diepte $z = z_i$ worden gespecificeerd als :

$$(\sigma_z)_i = q(1 - \cos^4(\arctan \frac{D}{2z_i})) \quad (2)$$

met : $(\sigma_z)_i$ = gemeten normaalspanning op diepte $z = z_i$.

Vergelijking (2) kan worden herschreven tot :

$$q = \frac{(\sigma_z)_i}{(1 - \cos^4(\arctan \frac{D}{2z_i}))} \quad (3)$$

Voor een drukcel i op diepte $z = z_{rood}$ geldt :

$$(\sigma_z)_i = q(1 - \cos^4(\arctan \frac{D}{2z_{rood}})) \quad (4)$$

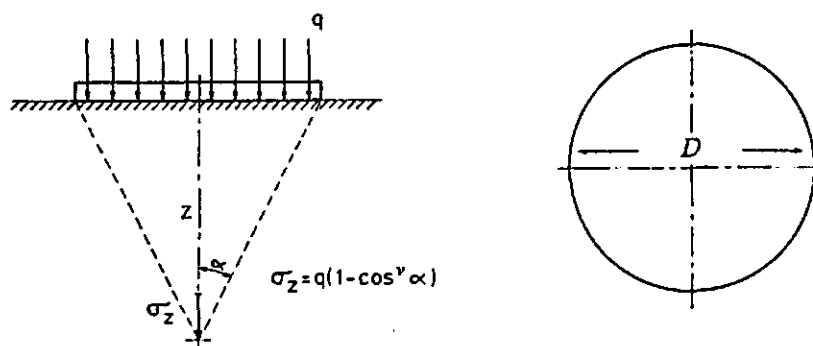
met : $(\sigma_z)_i$ = gemeten normaalspanning op diepte $z = z_{rood}$.

Substitueren we vergelijking (3) in vergelijking (4) dan volgt voor de spanning op drukcel i op diepte $z = z_{rood}$:

$$(\sigma_z)_i = (\sigma_z)_i \left(\frac{1 - \cos^4(\arctan \frac{D}{2z_{rood}})}{1 - \cos^4(\arctan \frac{D}{2z_i})} \right) \quad (5)$$

Bij de opstellingen die gebruik maken van methode, B (aanbrengen van de drukcellen met de grondfrees) zijn de drukcellen in een aantal gevallen niet op een lijn terecht gekomen, waarvoor een tweede correctie dient te worden uitgevoerd. De piekwaarden worden gecorrigeerd ten opzichte van de drukcel die het dichtst bij het hart van het spoor ligt.

De resultaten van de berekeningen van alle eerste berijdingen zijn weergegeven in tabel 4.2a. In tabel 4.2b zijn de resultaten van de overige berijdingen weergegeven.



Figuur 4.3. Spanning in de grond onder het midden van uniform belast cirkelvormig oppervlak.

Tabel 4.2a. Piekspanningen en oppervlaktes van de drukcellen van opstellingen A t/m G, na 1 berijding. De netto diepte is afgeleid uit bijlage E, door de diepte van de cel, de zakking en de insporing met elkaar te verwerken.

opstelling	drukcel	oppervlakte (kN/m)	σ_z (kN/m ²)	netto diepte	$(\sigma_z)_{cor}$ (kN/m ²)	$(\sigma_z)_{cor}$ relatief
A	rood	77.64	161.5	26.9	161.5	1.000
	geel	67.90	143.8	26.5	141.5	0.876
	blauw	80.91	173.0	27.1	174.4	1.080
	groen	81.80	165.6	27.8	171.7	1.063
C	rood	73.10	170.4	25.5	170.4	1.000
	geel	71.99	162.3	25.4	161.7	0.949
	blauw	76.76	180.2	25.9	183.1	1.075
	groen	79.67	178.4	26.0	182.0	1.068
D	rood	75.70	177.5	24.6	177.5	1.000
	geel	70.87	174.9	24.9	177.0	0.997
	blauw	67.60	183.1	24.1	179.5	1.011
	groen	79.18	192.4	23.8	186.4	1.050
E	rood	83.69	212.3	22.9	212.3	1.000
	geel	85.24	205.2	23.6	210.9	0.993
	blauw	87.28	223.2	23.6	229.4	1.081
	groen	84.51	215.4	24.6	230.3	1.085
F	rood	83.97	195.6	25.1	195.6	1.000
	geel	91.69	210.9	24.9	209.2	1.074
	blauw	75.58	174.9	24.9	173.5	0.891
	groen	73.93	178.5	25.0	177.8	0.944
G	rood	74.20	191.8	23.1	191.8	1.000
	geel	78.48	203.8	23.6	207.8	1.083
	blauw	81.69	198.5	24.6	210.6	1.098
	groen	84.45	197.9	24.1	205.8	1.073
					gemiddeld :	1.021
					spreiding :	0.062

Tabel 4.2b. Piekspanningen en oppervlaktes van de drukcelmetingen van de opstellingen D t/m G, na meerdere berijdingen.

opstelling	drukcel	oppervlakte (kN/m)	σ_z (kN/m ²)	netto diepte	$(\sigma_z)_{cor}$ (kN/m ²)	$(\sigma_z)_{cor}$ relatief
D2	rood	70.56	169.5	23.3	169.5	1.000
	geel	67.96	175.2	23.6	177.3	1.046
	blauw	74.33	199.6	22.8	195.7	1.155
	groen	77.71	192.4	22.5	186.5	1.100
E2	rood	79.68	215.3	21.2	215.3	1.000
	geel	81.16	210.7	21.9	216.4	1.005
	blauw	87.57	239.0	22.0	246.4	1.144
	groen	70.43	205.4	22.9	219.3	1.019
E5	rood	76.00	202.5	19.9	202.5	1.000
	geel	80.74	211.6	20.6	217.1	1.072
	blauw	88.86	235.7	20.7	242.8	1.199
	groen	76.54	200.4	21.6	213.6	1.055
E10	rood	71.18	183.8	18.9	183.8	1.000
	geel	77.86	200.3	19.5	204.7	1.114
	blauw	84.41	222.1	19.4	226.1	1.230
	groen	67.91	179.9	20.5	190.7	1.038
F2	rood	76.82	198.0	23.8	198.0	1.000
	geel	83.45	208.7	23.6	207.1	1.046
	blauw	74.02	188.4	23.6	186.9	0.944
	groen	74.18	193.7	23.6	192.2	0.971
G2	rood	81.66	207.4	21.3	207.4	1.000
	geel	79.26	198.7	21.7	201.8	0.973
	blauw	80.54	186.6	22.5	195.4	0.942
	groen	84.10	202.4	22.3	210.3	1.014
G5	rood	80.30	213.5	20.0	213.5	1.000
	geel	77.38	197.8	20.4	200.7	0.940
	blauw	73.50	181.0	21.2	189.3	0.887
	groen	81.35	208.7	20.9	215.8	1.011
G10	rood	76.62	209.7	19.0	209.7	1.000
	geel	70.86	192.7	19.6	196.9	0.939
	blauw	68.50	175.2	20.7	186.5	0.889
	groen	79.10	209.8	19.6	214.4	1.022
gemiddeld :					1.024	
spreiding :					0.080	

Uit de resultaten van tabellen 4.2a en 4.2b valt te concluderen dat de drukcelmetingen vrij goed reproduceerbaar zijn (hierop wordt in hoofdstuk 5 verder ingegaan). Deze eerste conclusie geeft voldoende ondergrond voor de tweede stap in de berekeningen; de bepaling van de som van de gemeten verticale drukken. Met behulp van het programma INHOUD.FOR (bijlage C4) is deze som voor de opstellingen I t/m N (waar de drukcellen loodrecht op de rijrichting waren opgesteld) berekend.

Van opstelling K zijn alleen de eerste drie metingen verwerkt ten gevolge van storingen in de apparatuur bij de berijdingen 4 t/m 10; van opstelling N zijn de berijdingen 1, 2, 5 en 10 verwerkt. In tabel 4.3 zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven.

Tabel 4.3. Som van de verticale gemeten drukken (berekende belasting) voor de opstellingen I t/m N.

opstelling	methode	berijding	piekspanningen (kN/m ²)				belasting (kN)
			rood	geel	blauw	groen	
I	A	1	198.3	74.6	0.0	0.0	27.9
J	A	1	148.1	75.8	17.9	0.0	26.0
J	A	2	153.8	86.2	21.1	3.5	26.8
K	A	1	177.6	68.7	22.3	3.4	27.9
K	A	2	177.3	94.3	12.4	6.1	27.2
K	A	3	182.8	97.9	13.6	0.0	27.7
L	B	1	208.8	63.3	17.7	0.0	29.1
L	B	2	210.1	101.7	13.6	0.0	31.3
M	B	1	217.3	48.6	0.0	0.0	24.5
N	B	1	236.2	75.6	9.6	0.0	22.7
N	B	2	254.3	26.4	9.4	0.0	25.7
N	B	5	255.6	48.7	9.8	0.0	26.8
N	B	10	246.4	74.6	6.5	0.0	27.5

De gemiddelde belasting bij methode A is 27.3 kN bij een standaardafwijking van 0.8 kN. Voor de opstellingen met methode B is dit respectievelijk 26.8 kN, en 2.8 kN. Uit deze getallen blijkt dat de gemiddelde belastingen voor beide methoden niet veel verschillen. De spreiding is bij methode B echter wel veel groter. De uit de drukcelgegevens berekende belastingen zijn echter lager dan de met de enkelwieltester opgelegde belasting (gemiddeld 32 kN, zie ook bijlage B). Het verschil bij methode A is gemiddeld -14.7 %, en bij methode B -16.3 %. Op deze verschillen wordt in hoofdstuk 5 nog terug gekomen.

4.3 Resultaten van de bodembemonstering

In tabel 4.4 zijn de vochtgehalten en de organische stofgehalten van de bovengrond voor de verdichting met de rol weergegeven.

Tabel 4.4. Vochtgehalten en organische stofgehalten van de bovengrond voor de verdichting met de rol.

diepte (in cm)	vochtgehalte (gew.%)	org. stofgehalte (gew.%)
0 - 5	17.6	-
5 - 10	22.1	5.7
10 - 15	22.3	-
15 - 20	23.7	-
20 - 25	24.2	5.7
25 - 30	24.6	-
30 - 35	23.8	-
35 - 40	23.6	-
40 - 45	24.9	5.6
45 - 50	27.2	-

Na de verdichting van de grond met de rol en het spitten van de bovengrond, zijn van de ploegzool een viertal dichtheidsmonsters genomen. In tabel 4.5 zijn de dichtheden en de vochtgehalten van de betreffende monsters weergegeven.

Tabel 4.5. Dichtheidsbemonstering van de ploegzool.

diepte (in cm)	vochtgehalte (gew.%)	dichtheid (g/cm ³)
30-35	23.9	1.28
30-35	21.7	1.38
30-35	22.0	1.33
30-35	22.8	1.31

Tabel 4.6. Vochtgehalten van bovengrond en ploegzool tijdens de berijdingsproeven.

diepte (in cm)	bodemdeel	opstelling	vochtgehalte (gew.%)
15 - 25	bovengrond	A,C	22.2
15 - 25	bovengrond	G	23.0
35 - 45	ploegzool	G	24.2
15 - 25	bovengrond	J,K	21.9
35 - 45	ploegzool	J,K	29.5
15 - 25	bovengrond	F,L	22.9
15 - 25	bovengrond	F,L	22.8
15 - 25	bovengrond	M,N	21.6
15 - 25	bovengrond	M,N	19.6
15 - 25	bovengrond	M,N	21.3

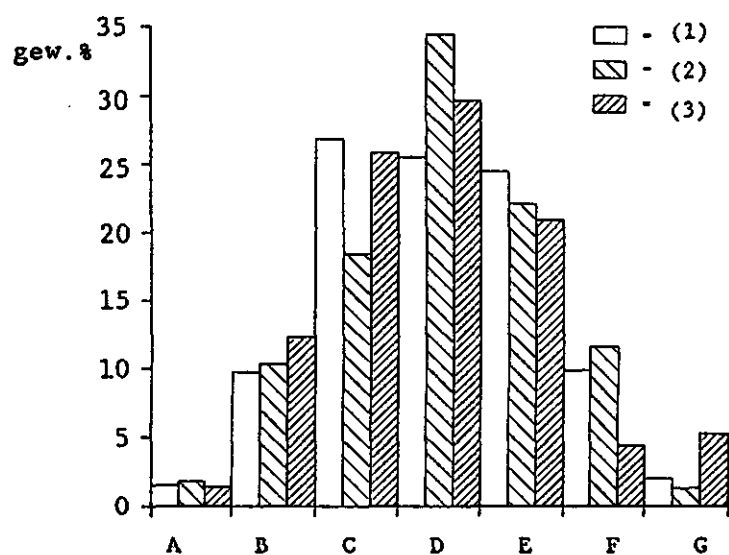
Tijdens de berijdingsproeven zijn vochtmonsters genomen van de bovengrond en de ploegzool. De resultaten hiervan staan in tabel 4.6.

De monsters uit tabel 4.6 zijn in drie groepen ingedeeld, waarna van elke groep het kalkgehalte en de granulaire samenstelling werd bepaald. In tabel 4.7 zijn de resultaten van de bepalingen van het kalkgehalte en de granulaire samenstelling weergegeven. In figuur 4.4 zijn de granulaire samenstellingen in staafdiagrammen weergegeven.

Tabel 4.7. Kalkgehaltenes en granulaire samenstelling.

A - >150 μm	D - 50- 75 μm	G - <2 μm
B - 105-150 μm	E - 16- 50 μm	
C - 75-105 μm	F - 2- 16 μm	

opstellingen	kalkgehalte (gew.%)	granulaire samenstelling (gew.%)						
		A	B	C	D	E	F	G
(1) A,C,G	6.4	1.5	9.9	26.8	25.5	24.4	9.8	2.1
(2) F,L,J,K	7.1	1.8	10.4	18.4	34.5	22.0	11.6	1.3
(3) M,N	6.2	1.4	12.4	25.8	29.7	21.0	4.4	5.3



Figuur 4.4. Granulaire samenstellingen (zie ook tabel 4.7).

5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN VOOR NADER ONDERZOEK

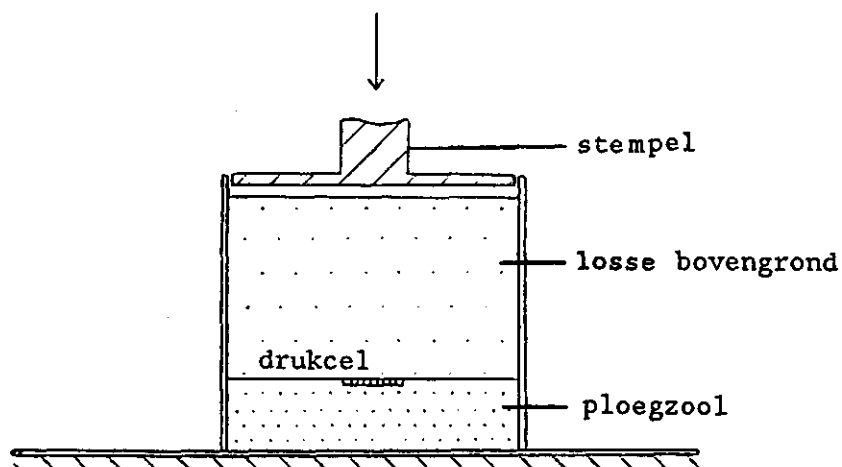
Uit de resultaten van de berekeningen met betrekking tot de reproduceerbaarheid van de drukcelmetingen (zie tabellen 4.2a en 4.2b) blijkt dat de onderlinge verschillen tussen de piekwaarden relatief erg klein zijn. De spreidingen bij de resultaten van methode A (opstellingen C, D en E) lijken iets kleiner te zijn dan bij methode B (opstellingen F en G). Dit kan een gevolg zijn van de minder nauwkeurige plaatsing van de drukcellen met methode B. De apparatuur waarmee de drukcellen in de grond worden aangebracht, bleek ook een aantal gebreken te vertonen, die gedeeltelijk tijdens de experimenten verholpen konden worden (met name de vervanging van de aandrijfjas van de grondfrees). De apparatuur zeker nog voor verbetering vatbaar.

De som van de verticale drukken is onafhankelijk van de bodemfysische omstandigheden en moet altijd weer de belasting opleveren. Uit de resultaten van deze berekeningen (tabel 4.3) valt af te leiden dat de onderlinge verschillen bij methode A erg klein zijn (standaardafwijking van 0.8 kN). Bij methode B zijn de verschillen groter, wat deels te wijten kan zijn aan de niet optimale apparatuur. De gemiddelde belasting bij methode B wijkt echter niet veel af van het gemiddelde bij methode A (respectievelijk 26.8 kN en 27.3 kN). Uit deze resultaten blijkt opnieuw dat de drukcelmetingen goed reproduceerbaar zijn.

Worden de absolute waarden van de resultaten echter bekeken, dan blijken de resultaten allemaal te laag uit te vallen. Het gemiddelde van alle resultaten is 27.0 kN, bij een standaardafwijking van 2.1 kN. Dit betekent dat de afwijking ten opzichte van de opgebrachte belasting van 32.0 kN gemiddeld -15.6% blijkt te bedragen. Een verklaring voor deze afwijking is niet gemakkelijk te vinden. Het is misschien mogelijk dat de ijking van de drukcellen met een met water gevulde kolom niet goed genoeg overeenstemt met de praktijkomstandigheden. De metalen rand van de drukcel, rondom het gevoelige oppervlak, heeft een grotere

hardheid dan het gevoelig oppervlak, dat bij belasting wordt ingedrukt. De metalen rand kan bij belasting van de grond een deel van de druk op het gevoelig oppervlak wegnemen (door boogvorming van de grond boven de cel), waardoor de cel een te lage waarde meet.

Schoenmakers (1985) heeft bij laboratoriumproeven gebruik gemaakt van onderstaande opstelling (figuur 5.1) om het verschil te meten tussen een opgebrachte belasting en de door een drukcel gemeten belasting. Hierbij is echter geen rekening gehouden met randeffecten (wrijving tussen de wand en de grond). Uit de resultaten van deze proeven bleek dat de drukcel gemiddeld 15.5% te lage waarden aangaf. Dit is in perfecte overeenstemming met de resultaten van dit onderzoek (als de afwijkingen bij Schoenmakers niet het gevolg zouden blijken te zijn van randeffecten).



Figuur 5.1. Laboratoriumopstelling van Schoenmakers (1985).

Ter aanbeveling voor nader onderzoek kan ik opmerken dat er gericht gezocht kan worden naar een verklaring voor de afwijking van ca. 15% tussen de gemeten en berekende belastingen. Hierbij kan gedacht worden aan een soortgelijke opzet als de proeven van Schoenmakers (1985), maar waarbij wrijving met de cilinderwand zo

veel mogelijk moet worden voorkomen. Hierbij kan gedacht worden aan een laag vet tegen de cilinderwand, die afgedekt wordt met plastic folie. Uit dit soort proeven zal moeten blijken of de gevonden afwijkingen wel of niet structureel van aard zijn, met andere woorden : of de gevonden afwijkingen wel of niet het gevolg zijn van de methode van meten.

Als mocht blijken dat de afwijkingen het gevolg zijn van de methode van meten, kan een geschikte correctie-factor gezocht worden, die de afwijkingen opheft. Met de opstelling van Schoenmakers (1985) kunnen diverse gronden onder verschillende vochtspanningen worden beproeft, waarmee naar minimale en maximale afwijkingen gezocht kan worden. Als deze resultaten bekend zijn, kan een gemiddelde correctie-factor worden bepaald, of een reeks van correctie-factoren bij kenmerkende bodemfysische omstandigheden.

6 SAMENVATTING

De laatste jaren wordt veel onderzoek gedaan naar de drukken die optreden in de grond onder voertuigen, omdat deze drukken veranderingen teweeg kunnen brengen in de fysische en mechanische eigenschappen van de grond (en met name verdichting van de grond tot gevolg hebben). Voor het meten van gronddrukken maakt men gebruik van drukcellen.

Het meten van gronddrukken met drukcellen geeft in het algemeen resultaten met een lage betrouwbaarheid. Bij plaatsing van de drukcel in losse grond, heeft het grote verschil in dichtheid tussen de drukcel en de grond tot gevolg dat een groot deel van de belasting waaraan de grond bloot staat, wordt geconcentreerd op de drukcel. Dit heeft tot gevolg dat te hoge waarden worden gemeten. Uit proeven van Schoenmakers (1987) en Van den Akker (1987) blijkt dat betere resultaten worden verkregen als de drukcellen worden ingebouwd in een harde ploegzool. De drukcel bevindt zich dan in een laag die bijna even weinig vervormt als de drukcel zelf.

Het doel van het onderzoek is met een serie berijdingsproeven de betrouwbaarheid van drukcellen als meetapparatuur te testen. De reproduceerbaarheid van de drukmetingen wordt getest door vergelijking van de resultaten van de afzonderlijke cellen bij een berijding. Hiervoor zijn een aantal metingen uitgevoerd waarbij de drukcellen in het hart van het spoor waren aangebracht.

De som van de verticale drukken moet in theorie gelijk zijn aan de verticale wiellast. Uit de vergelijking van deze twee grootheden moet de betrouwbaarheid van de gemeten absolute waarden volgen. Om de som van de verticale drukken te kunnen bepalen zijn een aantal metingen verricht waarbij de drukcellen loodrecht op de rijrichting waren geplaatst.

Er zijn twee methoden voor aanbrengen van de drukcellen toegepast :

a. in de eerste plaats een methode (A) waarbij de bouwvoor wordt

afgegraven, en de drukcellen in de ploegzool worden ingebracht. De uitgegraven grond wordt vervolgens teruggebracht, en matig verdicht met een rol.

- b. bij de tweede methode (B) worden de drukcellen vanaf de zijkant van het profiel aangebracht in een door een grondfrees horizontaal geboord gat, dat na plaatsen van de drukcellen weer wordt dichtgeschoven. Bij deze laatste methode wordt de bouwvoor dus niet beroerd, maar zal het nauwkeurig plaatsen van de drukcellen veel moeilijker zijn dan bij de eerste methode.

Als voorbereiding op de berijdingsproeven zijn de drukcellen allereerst geijkt. Dit is gebeurt met een cilinder, gevuld met water, waarop de drukcellen zijn aangebracht. De waterkolom is onder een oplopende reeks drukken gezet, waarbij de opgelegde druk is gekoppeld aan de uitslag (in cm) van een aan de drukcellen gekoppelde UV-recorder.

De berijdingsproeven zijn uitgevoerd op de proefboerderij "Oostwaardhoeve" in de Wieringermeer. Het perceel waarop de proeven zijn uitgevoerd is vooafgaand aan de metingen verdicht met een rol (tot 16.5 ton), waarna de bovengrond is losgemaakt met een spitmachine. Op deze manier is een ploegzool ontstaan. De berijdingsproeven zijn uitgevoerd bij een wielbelasting van 3200 kg. Tijdens de berijdingsproeven zijn bodemonsters genomen, en is de dichtheid gecontroleerd met behulp van penetrometer-waarnemingen. De drukcelgegevens zijn met behulp van een UV-recorder opgeslagen op papier.

De curven zijn na de metingen gedigitaliseerd en bewerkt met een computerprogramma dat correcties uitvoerde m.b.t. het inlezen met de Digitizer, en m.b.t. de ijkwaarden. De gecorrigeerde gegevens zijn vervolgens bewerkt met een programma dat de piekwaarde van elke curve bepaalde, en het oppervlak onder de curve. Uit de resultaten van deze berekeningen blijkt dat de drukcelgegevens van de verschillende drukcellen vrij goed met elkaar overeenstemmen, en dat dientengevolge de conclusie kan worden getrokken dat de metingen goed reproduceerbaar zijn.

Een tweede bewerking heeft plaatsgevonden met een programma dat de som van de gemeten drukken bepaalde (inhoudsbepaling onder de

curven). Het blijkt dat de resultaten van de verschillende metingen zeer goed overeenstemmen, en dat hier de reproduceerbaarheid van de metingen nog eens duidelijk uit blijkt. De absolute waarden van de gemeten belastingen blijken echter allemaal te laag uit te vallen (gemiddeld 15.6% te laag ten opzichte van de opgebrachte belasting van 32 kN). Een mogelijke verklaring voor deze afwijking is dat de grond zich anders gedraagt dan de waterkolom waarmee de drukcellen zijn geijkt, en dat hierom een correctie-factor zou moeten worden ingevoerd. Voordat hierover een uitspraak kan worden gedaan is echter eerst nader onderzoek vereist.

LITERATUUR

- AKKER, J.H. van den, 1987. Effecten van belasting op de dichtheid van de grond. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen. Project 171.6. Niet gepubliceerd.
- BURT, E.C., R.K. Wood and A.C. Bailey, 1987. A three-dimensional system for measuring tire deformation and contact stresses. Transactions of the ASAE, vol 30, no 2, pp. 324-327.
- BURT, E.C., A.C. Bailey and R.K. Wood, 1987. Effects of soil and operational parameters on soil-tire interface stress vectors. Journal of Terramechanics, vol 24, no 3, pp. 235-246.
- BURT, E.C., R.K. Wood and A.C. Bailey, 1987. Tangential-to-normal stress ratios for pneumatic tires. Transactions of the ASAE, vol 30, no 6, pp. 1591-1594.
- KOOLEN, A.J. and H. Kuipers, 1983. Agricultural soil mechanics.
- RAM, R.B., 1984. Pressure measurement in the soil under the load. Soil & Tillage Research, 4, pp. 137-145.
- SCHOENMAKERS, A.J.J.M., 1985. Drukcellenonderzoek. Niet gepubliceerd. Landbouwniversiteit Wageningen, vakgroep Grondbewerking.
- SCHOENMAKERS, A.J.J.M., and A.J. Koolen, 1987. Measuring traffic-induced stresses at the interface of soil layers of contrasting stiffness. Paper presented at the 9th International Conference of the I.S.T.V.S., Barcelona.

- SOANE, B.D., P.S. Blackwell, J.W. Dickson and D.J. Painter, 1981. Compaction by agricultural vehicles : a review, II. Compaction under tyres and other running gear. Soil & Tillage Research, 1, pp. 373-400.
- SMITH, D.L.O., 1985. Compaction by wheels : a numerical model for agricultural soils. Journal of Soil Science, 36, pp. 621-632.
- SMITH, D.L.O., 1987. Measurement, interpretation and modelling of soil compaction. Soil Use and Management, vol 3, no 3, pp. 87-93.
- TAYLOR, J.H., E.C. Burt and A.C. Bailey, 1980. Effect of total load on subsurface soil compaction. Transactions of teh ASAE, pp. 568-570.
- VALK, en J.J. Vermeer, 1986. Een verbeterde methode van de maatkolffjesmethode. I.C.W., Wageningen.
- VERMEER, J.J., 1986. Voorschrift voor bepaling van de granulairre samenstelling op de minerale delen van grond. I.C.W., Wageningen.
- VOGLER, R, 1983. Spannungsmessung im Boden unter einem armierten Modellfundament. Wissenschaftliche Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, 32. Jahrgang 1983, Naturwissenschaftliche reihe, Heft 4, pp. 96-99

BIJLAGEN

Bijlage A : Technische gegevens van de gebruikte apparatuur

Bijlage B : Rolweerstand en belastingen bij de berijdingsproeven

Bijlage C : Programmatuur

Bijlage D : Penetrometergegevens van opstellingen A t/m M

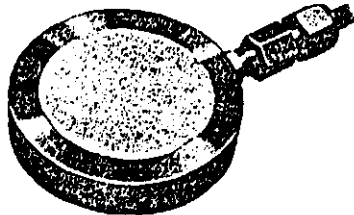
Bijlage E : Hoogtemetingen

Bijlage F : Drukcelmetingen

BIJLAGE A. Technische gegevens van de gebruikte apparatuur (*).

Van de vier drukcellen die bij het onderzoek zijn gebruikt, zijn er drie (te weten de rode, gele en blauwe drukcel) van het merk SENSOTEC, model SAE/1825-5 (zie figuur A1), met als specificaties :

- hoogte cel : 1.6 cm.
- doorsnede cel : 7.6 cm.
- input voltage : 10 V (DC)
- output : 2 mV/V
- volle schaal capaciteit : 50 psi. (~3.5 bar)



Figuur A1. SENSOTEC, SAE/1825-5 drukcel.

De vierde drukcel is een zelfgemaakt exemplaar (groene drukcel), met een volle schaal capaciteit van 20 bar. De hoogte van deze cel is 2.0 cm., en de diameter 8.0 cm.

De eerste versterker die is gebruikt is van het merk Hottinger, type KWS/6T-5, de tweede versterker (als verzwakker gebruikt) is van het merk SE-laboratories, type SE993. De UV-recorder is een UV-galvanometer van het merk SE-laboratories, type 3006 DL.

Tijdens het instellen van de Hottinger versterker is gebruik gemaakt van een digitale voltmeter (Philips).

(*). Het gebruik van een merknaam houdt geen goedkeuring of aanbeveling van het I.C.W. in, ten nadele van andere merken die ook bruikbaar kunnen zijn.

BIJLAGE B. Rolweerstanden en belastingen bij de berijdingsproeven.

opstelling	berijding	rolweerstand (kg)	belasting (kg)
A	1	390	3200
C	1	420	3200
D	1	510	3250
D	2	310	3210
E	1	500	3160
E	2	290	3220
E	5	225	3200
E	10	210	3200
F	1	490	3230
F	2	290	3200
G	1	440	3200
G	2	310	3250
G	5	250	3200
G	10	250	3250
H	1	410	3240
I	1	-	3200
J	1	440	3250
J	2	340	3200
K	1	500	3225
K	2	310	3225
K	5	250	3220
K	10	250	3200
L	1	475	3250
L	2	250	3220
M	1	475	3275
N	1	440	3275
N	2	290	3275
N	5	190	3275
N	10	175	3275

BIJLAGE C. Programmatuur.

C1. Het programma SCHAAL.FOR.

```
C*****
C* Programma          SCHAAL
C*
C* Doel              : Het doel van het programma SCHAAL is het omzet-
C*                   : ten van de drukcel-curven in werkelijke drukken
C*                   : door verwerking van de ijk-curven, en aanbren-
C*                   : gen van correcties t.a.v. het inlezen met de
C*                   : DIGITIZER. De curven moeten omgekeerd zijn
C*                   : ingelezen!
C*
C* Auteur            : Gerrit Jan Carsjens, 20 mei 1988
C*****
```

PROGRAM SCHAAL

```
INTEGER          GELNR, NR, TELLER
INTEGER          I, J, IHULP, V_PAP, POS
INTEGER          EERSTE, LAATSTE, BEGIN, WAARDE

REAL             DRUKCEL(1:4), X(1:1000), Y(1:1000)
REAL             AFSTAND, REST, REF, V_VOER, SNELFACT
REAL             GEM, VERSTERK, RDUMMY, RHULP1, RHULP2
REAL             ALFA, TANALFA, REFX(1:3), REFY(1:3)
REAL             XX(1:1000), YY(1:1000), GRENS
REAL             XLENGTE, YLENGTE, XFACTOR, YFACTOR

CHARACTER*13     FILENAAM
CHARACTER*9      CHULP
CHARACTER*1      DOORGAAN
CHARACTER*1      DUMMY

LOGICAL          GEVONDEN
```

```
C*****1. Inlezen van de ijk-curven
OPEN (UNIT=10, FILE='IJKCEL.DAT', STATUS='OLD')
READ (10, '(A1)') DUMMY
DO I = 1, 4
  READ (10, '(F6.3)') DRUKCEL(I)
END DO
CLOSE (UNIT=10)
```

```
C*****2. Opvragen van de te verwerken cellen
100  WRITE (*, '(2A)') '$Welke file moet verwerkt worden',
      1      '(RETURN-STOPPEN) : '
      READ (*, '(A9)') CHULP
      IF (CHULP(1:3) .EQ. ' ') THEN
        GOTO 2000
      END IF
      WRITE (FILENAAM(1:13), '(13X)')
      IF (CHULP(7:7) .EQ. ' ') THEN
        FILENAAM(1:6) = CHULP(1:6)
```

```

        FILENAAM(7:10) = '.DAT'
        POS = 5
    ELSE IF (CHULP(8:8) .EQ. ' ') THEN
        FILENAAM(1:7) = CHULP(1:7)
        FILENAAM(8:11) = '.DAT'
        POS = 6
    ELSE
        FILENAAM(1:8) = CHULP(1:8)
        FILENAAM(9:12) = '.DAT'
        POS = 7
    END IF
    OPEN (UNIT=20, FILE=FILENAAM, STATUS='OLD', ERR=1000)

    IF (FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'RO' .OR.
1   FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'ro') THEN
        CELNR = 1
        WAARDE = 5000
    ELSE IF (FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'GE' .OR.
1   FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'ge') THEN
        CELNR = 2
        WAARDE = 5000
    ELSE IF (FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'BL' .OR.
1   FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'bl') THEN
        CELNR = 3
        WAARDE = 5000
    ELSE IF (FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'GR' .OR.
1   FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'gr') THEN
        CELNR = 4
        WAARDE = 2000
    END IF
    VERSTERK = 1.0
    WRITE (*, '(A,I4,A)') '$Versterkingsfactor = ', WAARDE,
1   ' ; is dit correct (Y/N) : '
    READ (*, '(A1)') DUMMY
    IF (DUMMY .NE. 'Y' .AND. DUMMY .NE. 'y') THEN
        WRITE (*, '(A)') '$ Geef de versterkingsfactor op : '
        READ (*, '(I5)') IHULP
        VERSTERK = REAL(IHULP)/WAARDE
    END IF

    WRITE (*, '(2A)') '$Was de papiersnelheid 100 mm/sec',
1   ' (Y/N) : '
    READ (*, '(A1)') DUMMY
    IF (DUMMY .EQ. 'Y' .OR. DUMMY .EQ. 'y') THEN
        V_PAP = 100
    ELSE
        WRITE (*, '(2A)') '$ Geef de papiersnelheid op ',
1   '(MM/SEC) : '
        READ (*, '(I3)') V_PAP
    END IF
    WRITE (*, '(A)') '$Geef de voertuigsnelheid op (SEC/M) : '
    READ (*, '(F7.4)') V_VOER
    WRITE (*, '(A)') '$Geef de X-lengte in centimeters : '
    READ (*, '(F5.2)') XLENGTE
    WRITE (*, '(A)') '$Geef de Y-lengte in centimeters : '
    READ (*, '(F5.2)') YLENGTE

```

```

C*****3. Inlezen van de drukcel-metingen.
  READ (20,*) REFX(1), REFY(1)
  READ (20,*) REFX(2), REFY(2), REFX(3), REFY(3)
  READ (20,*, END=150) X(1), Y(1), X(2), Y(2)
  TELLER = 2
  DO I = 3, 1000
    READ (20,*, END=150) RDUMMY, RDUMMY, X(I), Y(I)
    TELLER = TELLER + 1
  END DO
150  CONTINUE
     CLOSE (UNIT=20)

C*****4.1 Eerste bewerking van de gegevens : correctie t.a.v.
C*   de DIGITIZER.
     TANALFA = (REFY(3)-REFY(2)) / (REFX(2)-REFX(3))
     ALFA = ATAN(TANALFA)
     XFACTOR = (XLENGTE / (REFX(3)-REFX(2))) * COS(ALFA)
     YFACTOR = (YLENGTE / (REFY(1)-REFY(2))) * COS(ALFA)

     DO I = 1, TELLER
       XX(I) = (X(I)-REFX(2))*COS(ALFA) -
1         (Y(I)-REFY(2))*SIN(ALFA)
       YY(I) = (X(I)-REFX(2))*SIN(ALFA) +
1         (Y(I)-REFY(2))*COS(ALFA)
       XX(I) = XX(I)*XFACTOR
       YY(I) = YY(I)*YFACTOR
     END DO

C*****4.2 Tweede bewerking van de gegevens : correctie van de
C*   drukgegevens met de IJKCURVEN
     SNELFACT = (1/V_VOER) / (V_PAP/1000.0)
     DO I = 1, TELLER
       YY(I) = YY(I) * DRUKCEL(CELNR) * VERSTERK
       XX(I) = XX(I) * SNELFACT * 0.01
     END DO

     DO I = 1, (TELLER-1)
       GEM = 0.0
       DO J = (TELLER-I), TELLER
         GEM = GEM + YY(J)
       END DO
       GEM = GEM / REAL(I+1)
       IF (YY(TELLER-I-1) .GT. GEM) THEN
         DO J = 1, 10
           IF (YY(TELLER-I-J) .LT. GEM .OR.
1             YY(TELLER-I-J) .LT. YY(TELLER-I-J+1)) THEN
             GOTO 200
           END IF
         END DO
         GOTO 300
       END IF
     END DO
200  CONTINUE
     END DO
300  CONTINUE

```

```

LAATSTE = TELLER - I
YY(LAATSTE) = GEM
GRENS = YY(LAATSTE-10)
GEVONDEN = (.FALSE.)

DO I = 1, (LAATSTE-12)
  J = (LAATSTE-11) - I
  IF (YY(J) .LT. GRENS) THEN
    IF (YY(J) .GT. YY(J+1)) THEN
      GOTO 400
    ELSE IF (YY(J) .LT. YY(LAATSTE)) THEN
      EERSTE = J
      YY(EERSTE) = YY(LAATSTE)
      GEVONDEN = (.TRUE.)
      GOTO 400
    END IF
  END IF
END DO
400 CONTINUE

IF (.NOT. (GEVONDEN)) THEN
  DO I = 2, LAATSTE
    GEM = 0.0
    DO J = 1, I
      GEM = GEM + YY(J)
    END DO
    GEM = GEM /REAL(J)
    IF (YY(I+1) .GT. GEM) THEN
      DO J = (I+2), (I+12)
        IF (YY(J) .LT. GEM .OR.
1         YY(J) .LT. YY(J-1)) THEN
          GOTO 500
        END IF
      END DO
      GOTO 600
    END IF
  END DO
500 CONTINUE
  END DO
600 CONTINUE
  EERSTE = I
  YY(EERSTE) = YY(LAATSTE)
END IF

C*****XX(I) IN METERS, YY(I) IN KN/M**2
RHULP1 = YY(EERSTE)
RHULP2 = XX(LAATSTE)
DO I = EERSTE, LAATSTE
  X(I) = XX(LAATSTE) - XX(I)
  Y(I) = (YY(I)-RHULP1) * 100
END DO
DO I = EERSTE, LAATSTE
  XX(LAATSTE-I+EERSTE) = X(I)
  YY(LAATSTE-I+EERSTE) = Y(I)
END DO

```



```
C*****5. Uitvoeren van de bewerkte gegevens
FILENAAM((POS+2):(POS+5)) = '.COR'
OPEN (UNIT=30, FILE=FILENAAM, STATUS='NEW')
WRITE (30, '(A,F9.5)') ' X(1) begint op : ', RHULP2
DO I = EERSTE, LAATSTE
    WRITE (30, '(2F10.5)') XX(I), YY(I)
END DO
CLOSE (UNIT=30)

C*****6. Opvragen of meer files verwerkt moeten worden
WRITE (*, '(2A)') '$Moet er nog een file verwerkt ',
1 ' worden (Y/N) : '
READ (*, '(A1)') DOORGAAN
IF (DOORGAAN .EQ. 'Y' .OR. DOORGAAN .EQ. 'y') THEN
    GOTO 100
END IF

GOTO 2000

C*****FOUTMELDING BIJ VERKEERDE FILENAAM
1000 WRITE (*, '(2A)') ' DE OPGEGEVEN FILE IS NIET OP DE',
1 ' DIRECTORY AANWEZIG.'
WRITE (*, '(2A)') ' GEEF DE JUISTE FILENAAM OP',
1 ' (RETURN=STOPPEN).'
GOTO 100

2000 CONTINUE

END
```

C2. Het programma PLDRUK.FOR.

```

C*****
C* Programma      PLDRUK
C*
C* Doel           : Het doel van dit programma is een plot te maken
C*                 van de gecorrigeerde drukcelgegevens.
C*                 Op de X-as komt de afstand in meters te staan,
C*                 en op de Y-as de druk in kN per m2.
C*
C* Auteur         : Gerrit Jan Carsjens, 16 Juni 1988
C*****

```

PROGRAM PLDRUK

```

INTEGER          I, J, IHULP, TELLER

REAL             X(1:1000), Y(1:1000), MAX, MAY

CHARACTER*50     TEXT
CHARACTER*14     CEL
CHARACTER*13     FILENAAM
CHARACTER*9      CHULP
CHARACTER*1      DOORGAAN, DUMMY

```

C*****0. Initialisatie van de plotter

```

CALL PLINIT(1)
CALL PLNEW('BOLD',0.1)

```

C*****1. Opvragen van de te verwerken file

```

100 WRITE (*,'(2A)') '$Welke file moet verwerkt worden',
1     ' (RETURN=STOPPEN) : '
READ (*,'(A9)') CHULP
IF (CHULP(1:3) .EQ. ' ') THEN
    GOTO 2000
END IF
WRITE (FILENAAM(1:13), '(13X)')
IF (CHULP(7:7) .EQ. ' ') THEN
    FILENAAM(1:6) = CHULP(1:6)
    FILENAAM(7:10) = '.COR'
    POS = 5
ELSE IF (CHULP(8:8) .EQ. ' ') THEN
    FILENAAM(1:7) = CHULP(1:7)
    FILENAAM(8:11) = '.COR'
    POS = 6
ELSE
    FILENAAM(1:8) = CHULP(1:8)
    FILENAAM(9:12) = '.COR'
    POS = 7
END IF
OPEN (UNIT=20, FILE=FILENAAM, STATUS='OLD', ERR=1000)

IF (FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'RO' .OR.
1  FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'ro') THEN
    CEL = 'rode drukcel'
ELSE IF (FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'GE' .OR.
1  FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'ge') THEN

```

```

      CEL = 'gele drukcel '
    ELSE IF (FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'BL' .OR.
    1 FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'bl') THEN
      CEL = 'blauwe drukcel'
    ELSE IF (FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'GR' .OR.
    1 FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'gr') THEN
      CEL = 'groene drukcel'
    END IF

```

C*****2. Inlezen van de gegevens.

```

      TELLER = 0
      READ (20, '(A1)') DUMMY
      DO I = 1, 1000
        READ (20, '(2F10.5)', END=150) X(I), Y(I)
        TELLER = TELLER + 1
      END DO
150  CONTINUE
      CLOSE (UNIT=20)

```

C*****3. Bepalen van de top van de grafiek (nulwaarde voor
C* X-as).

```

      MAY = 0.0
      DO I = 1, TELLER
        IF (Y(I) .GT. MAY) THEN
          MAY = Y(I)
          MAX = X(I)
        END IF
      END DO
      DO I = 1, TELLER
        X(I) = X(I) - MAX
      END DO

```

C*****4. Plotten van de grafiek.

```

      CALL FLORIG (40., 0., 200.)
      CALL PLNEW ('XMARK', 0.10)
      CALL PLNEW ('XSKIP', 2.)
      CALL PLNEW ('YMARK', 10.0)
      CALL PLNEW ('YSKIP', 5.)
      CALL PLNEW ('HEIGHT', 2.)
      CALL PLAXES (-0.8, 0., 0.8, 300., 240., 120., 'afstand (m)',
    1 'druk (kN/m2)', ' ')
      CALL PLOTMM (10., 130., 3)
      WRITE (TEXT(1:50), '(50X)')
      TEXT(1:7) = 'Meting '
      WRITE (TEXT(8:8), '(A1)') FILENAAM(1:1)
      WRITE (TEXT(9:24), '(2A)') ' ', ' ', CEL(1:14)
      TEXT(25:41) = ': berijding door '
      WRITE (TEXT(42:(POS+41)), '(2A)') FILENAAM(2:(POS-1)), '.'
      CALL PLTEXT(TEXT)
      CALL PLOT(X(1), Y(1), 3)
      CALL PLCFIT (X, Y, TELLER, 0)

      GOTO 100

```

```
C*****FOUTMELDING BIJ VERKEERDE FILENAAM
1000  WRITE (*,'(2A)') '  DE OPGEGEVEN FILE IS NIET OP DE',
      1                ' DIRECTORY AANWEZIG.'
      WRITE (*,'(2A)') '  GEEF DE JUISTE FILENAAM OP',
      1                ' (RETURN-STOPPEN).'
      GOTO 100

2000  CONTINUE

      CALL PLEND

      END
```

C3. Het programma OPPER.FOR

```

C*****
C* Programma      OPPER
C*
C* Doel           : Het berekenen van de piekwaarden van de drukcel-
C*                krommen, en de oppervlakte onder deze krommen.
C*                De resultaten worden uitgevoerd naar de file
C*                OPPER.DAT
C* Auteur         : Gerrit Jan Carsjens, 30 juni 1988
C*****
PROGRAM OPPER

INTEGER          I, J, IHULP, TELLER, POS

REAL             X(1:1000), Y(1:1000), MAX, MAY
REAL             OPP_MAX, OPP_MIN, TOT_OPP, OPP, STAP

CHARACTER*13     FILENAAM
CHARACTER*14     CEL
CHARACTER*9      CHULP
CHARACTER*1      DUMMY

C*****1. Opvragen van de te verwerken file
OPEN (UNIT=30, FILE='OPPER.DAT', STATUS='NEW')
OPEN (UNIT=40, FILE='DRUKFILE.DAT', STATUS='OLD')
100 READ (40,'(A9)', END=2000) CHULP
IF (CHULP(1:4) .EQ. 'NEXT') THEN
    WRITE (30,'(A1)') '1'
    GOTO 100
END IF
WRITE (FILENAAM(1:13), '(13X)')
IF (CHULP(7:7) .EQ. ' ') THEN
    FILENAAM(1:6) = CHULP(1:6)
    FILENAAM(7:10) = '.COR'
    POS = 5
ELSE IF (CHULP(8:8) .EQ. ' ') THEN
    FILENAAM(1:7) = CHULP(1:7)
    FILENAAM(8:11) = '.COR'
    POS = 6
ELSE
    FILENAAM(1:8) = CHULP(1:8)
    FILENAAM(9:12) = '.COR'
    POS = 7
END IF
OPEN (UNIT=20, FILE=FILENAAM, STATUS='OLD', ERR=1000)

IF (FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'RO' .OR.
1 FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'ro') THEN
    CEL = 'rode drukcel'
ELSE IF (FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'GE' .OR.
1 FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'ge') THEN
    CEL = 'gele drukcel'
ELSE IF (FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'BL' .OR.
1 FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'bl') THEN
    CEL = 'blauwe drukcel'

```

```

ELSE IF (FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'GR' .OR.
1  FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'gr') THEN
    CEL = 'groene drukcel'
END IF

```

C*****2. Inlezen van de gegevens.

```

TELLER = 0
READ (20, '(A1)') DUMMY
DO I = 1, 1000
    READ (20, '(2F10.5)', END=150) X(I), Y(I)
    TELLER = TELLER + 1
END DO
150 CONTINUE
CLOSE (UNIT=20)

```

C*****3. Berekenen van de piekwaarden.

```

MAY = 0.0
DO I = 1, TELLER
    IF (Y(I) .GT. MAY) THEN
        MAY = Y(I)
        MAX = X(I)
    END IF
END DO

```

C*****4. Berekenen van het oppervlak onder de kromme.

```

TOT_OPP = 0.0
DO I = 1, (TELLER-1)
    STAP = X(I+1) - X(I)
    IF (Y(I+1) .GT. Y(I)) THEN
        OPP_MAX = Y(I+1)
        OPP_MIN = Y(I)
    ELSE
        OPP_MAX = Y(I)
        OPP_MIN = Y(I+1)
    END IF
    OPP = (OPP_MIN*STAP) + (0.5*(OPP_MAX-OPP_MIN)*STAP)
    TOT_OPP = TOT_OPP + OPP
END DO

```

C*****5. Uitvoeren van de resultaten.

```

IF (FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'RO' .OR.
1  FILENAAM(POS:(POS+1)) .EQ. 'ro') THEN
    WRITE (30, '(1X)')
END IF
WRITE (CHULP(1:9), '(9X)')
WRITE (30, '(5X,5A,F5.1,A,F5.2,A)') FILENAAM(1:(POS-1)),
1  CHULP(POS:8), ': ', CEL, ' maximum = ', MAY,
2  ' kN/m2, oppervlak = ', TOT_OPP, ' kN/m.'

```

GOTO 100

```
C*****FOUTMELDING BIJ VERKEERDE FILENAAM
1000  WRITE (*,'(2A)') '  DE OPGEGEVEN FILE IS NIET OP DE',
      1                ' DIRECTORY AANWEZIG.'
      WRITE (*,'(2A)') '  GEEF DE JUISTE FILENAAM OP',
      1                ' (RETURN-STOPPEN).'
```

2000 CONTINUE

CLOSE (UNIT-30)
 CLOSE (UNIT-40)

END

C4. Het programma INHOUD.FOR.

```

C*****
C* Programma      INHOUD
C*
C* Doel           : Het berekenen van de inhoud van de drukcel-
C*                krommen in de dwarsrichting, en uitvoeren naar
C*                de file INHOUD.DAT.
C* Auteur        : Gerrit Jan Carsjens, 30 juni 1988
C*****

```

PROGRAM INHOUD

```

INTEGER          I, J, IHULP, TELLER(1:4), POS, INT_STAP

REAL             X(1:4,1:1000), Y(1:4,1:1000)
REAL             MAX(1:4), MAY(1:4)
REAL             OPP_MAX, OPP_MIN, TOT_OPP(1:4), OPP, STAP
REAL             AFSTAND(1:4), INH(1:3), TOT_INH
REAL             A, C, INH1, INH2, XX, YY

CHARACTER*13     FILENAAM
CHARACTER*14     CEL
CHARACTER*9      CHULP
CHARACTER*1      DUMMY

```

C*****1. Opvragen van de te verwerken file

```

OPEN (UNIT=30, FILE='INHOUD.DAT', STATUS='NEW')
OPEN (UNIT=40, FILE='DWARSFILE.DAT', STATUS='OLD')
AFSTAND(1) = 0
100 READ (40, '(A9,3F6.3)', END=2000) CHULP, (AFSTAND(I), I=2,4)

WRITE (FILENAAM(1:13), '(13X)')
IF (CHULP(7:7) .EQ. ' ') THEN
    FILENAAM(1:6) = CHULP(1:6)
    FILENAAM(7:10) = '.COR'
    POS = 5
ELSE IF (CHULP(8:8) .EQ. ' ') THEN
    FILENAAM(1:7) = CHULP(1:7)
    FILENAAM(8:11) = '.COR'
    POS = 6
ELSE
    FILENAAM(1:8) = CHULP(1:8)
    FILENAAM(9:12) = '.COR'
    POS = 7
END IF

```

C*****2. Inlezen van de gegevens.

```

DO I = 1, 4
    TELLER(I) = 0
    OPEN (UNIT=20, FILE=FILENAAM, STATUS='OLD', ERR=1000)
    READ (20, '(A1)') DUMMY
    DO J = 1, 1000
        READ (20, '(2F10.5)', END=150) X(I,J), Y(I,J)
        TELLER(I) = TELLER(I) + 1
    END DO

```



```

150      CONTINUE
        CLOSE (UNIT=20)
        IF (I .EQ. 1) THEN
            FILENAAM(POS:(POS+1)) = 'GE'
        ELSE IF (I .EQ. 2) THEN
            FILENAAM(POS:(POS+1)) = 'BL'
        ELSE IF (I .EQ. 3) THEN
            FILENAAM(POS:(POS+1)) = 'GR'
        END IF
180      CONTINUE
    END DO

```

C*****3. Bepalen van de maxima van de vier curven.

```

DO I = 1, 4
    MAY(I) = 0.0
    DO J = 1, TELLER(I)
        IF (Y(I,J) .GT. MAY(I)) THEN
            MAY(I) = Y(I,J)
            MAX(I) = X(I,J)
        END IF
    END DO
END DO

```

C*****4. Berekenen van het oppervlak onder de vier curven.

```

DO I = 1, 4
    TOT_OPP(I) = 0.0
    DO J = 1, (TELLER(I)-1)
        STAP = X(I, (J+1)) - X(I, J)
        IF (Y(I, (J+1)) .GT. Y(I, J)) THEN
            OPP_MAX = Y(I, (J+1))
            OPP_MIN = Y(I, J)
        ELSE
            OPP_MAX = Y(I, J)
            OPP_MIN = Y(I, (J+1))
        END IF
        OPP = (OPP_MIN*STAP) + (0.5*(OPP_MAX-OPP_MIN)*STAP)
        TOT_OPP(I) = TOT_OPP(I) + OPP
    END DO
END DO

```

C*****5. Berekenen van de inhoud onder het stuk tussen de 1e en
 C* de 2e curve (rode en gele drukcel), d.m.v. een parabo-
 C* lische benadering.

```

INT_STAP = 1000
TOT_INH = (AFSTAND(2)/REAL(INT_STAP)) * 0.5 * MAY(1)
C = MAY(1)
A = (MAY(2) - C) / (AFSTAND(2)**2)
DO I = 1, (INT_STAP-1)
    XX = AFSTAND(2) / REAL(INT_STAP)
    YY = (A*((I*XX)**2)) + C
    INH1 = ((YY-MAY(2))/(C-MAY(2))) * SQRT(TOT_OPP(1))
    INH2 = ((C-YY)/(C-MAY(2))) * SQRT(TOT_OPP(2))
    TOT_INH = TOT_INH + (((INH1+INH2)**2)*XX)
END DO

```

```
TOT_INH = TOT_INH + ((AFSTAND(2)/REAL(INT_STAP)) * 0.5 *
1      MAY(2))
```

```
C*****6. Berekenen van de inhoud onder de stukken tussen de 2e
C*      en de 3e curve (gele en blauwe drukcel), en de 3e en de
C*      4e curve (blauwe en groene drukcel), d.m.v een lineaire
C*      benadering.
      DO I = 2, 3
          INH(I) = (SQRT(TOT_OPP(I)) + SQRT(TOT_OPP(I+1))) * 0.50
          INH(I) = (INH(I)**2) * (AFSTAND(I+1)-AFSTAND(I))
          TOT_INH = TOT_INH + INH(I)
      END DO
      TOT_INH = TOT_INH * 2
```

```
C*****7. Uitvoeren van de resultaten.
      WRITE (CHULP(1:9), '(9X)')
      WRITE (30, '(5X,3A,F5.1,A)') FILENAAM(1:(POS-1)), CHULP(POS:8),
1          ' Berekende belasting = ', TOT_INH,
2          ' kN.'

      GOTO 100
```

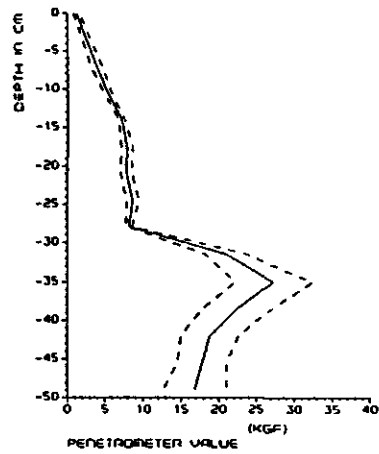
```
C*****FOUTMELDING BIJ VERKEERDE FILENAAM
1000  WRITE (30, '(3A)') ' DE OPgegeven FILE : ', FILENAAM,
1      ' IS NIET OP DE DIRECTORY AANWEZIG.'
      GOTO 180

2000  CONTINUE

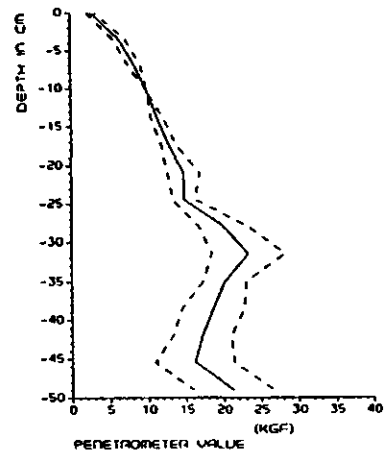
      CLOSE (UNIT=30)
      CLOSE (UNIT=40)

      END
```

BIJLAGE D. Penetrometergegevens van opstellingen A t/m M.

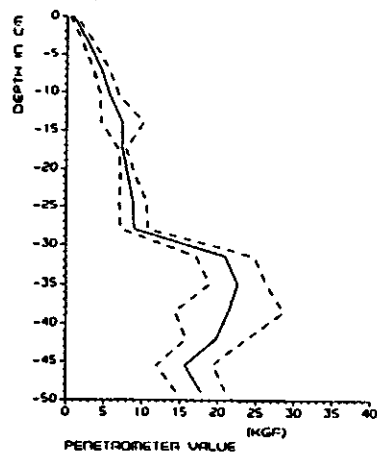


voor berijden

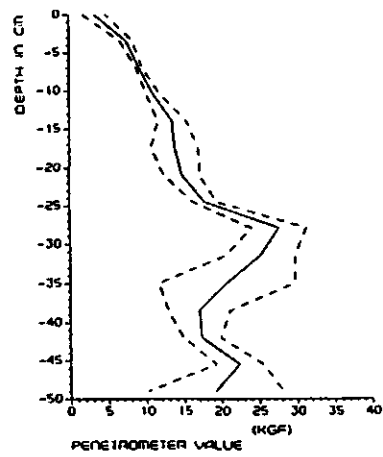


na berijden

Figuur D1. Penetrometerwaarnemingen van opstelling A, voor en na de eerste berijding met de enkelwieltester.

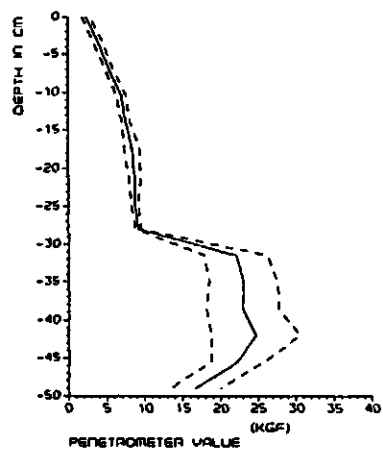


voor berijden

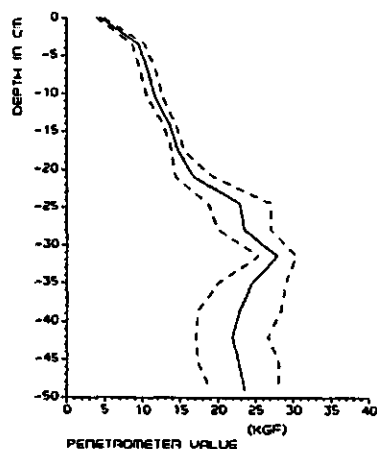


na berijden

Figuur D2. Penetrometerwaarnemingen van opstelling C, voor en na de eerste berijding met de enkelwieltester.

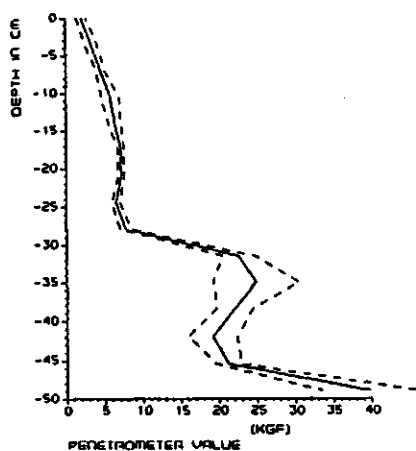


voor berijden

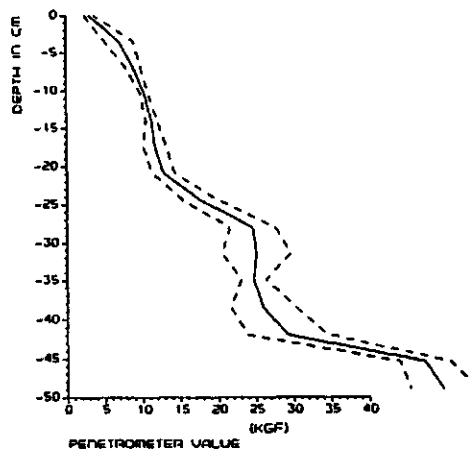


na berijden

Figuur D3. Penetrometerwaarnemingen van opstelling D, voor en na de eerste berijding met de enkelwieltester.

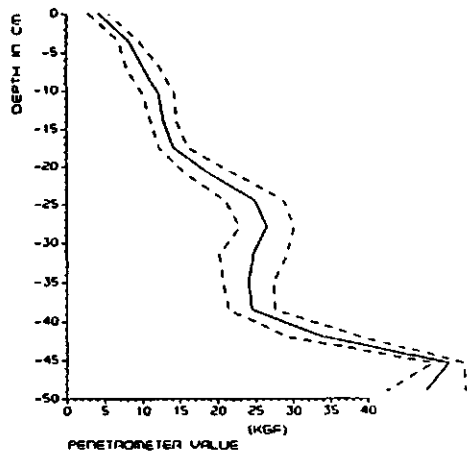


voor berijden

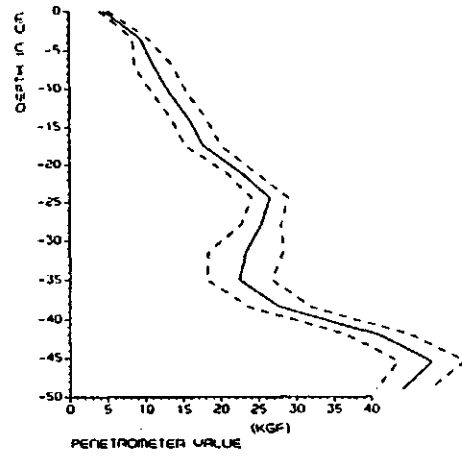


na berijden

Figuur D4. Penetrometerwaarnemingen van opstelling E, voor en na de eerste berijding met de enkelwieltester.

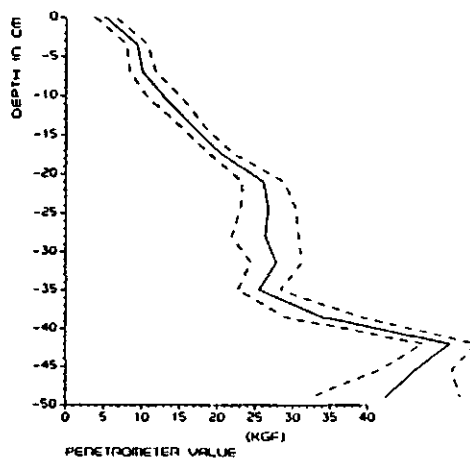


na 2* berijden



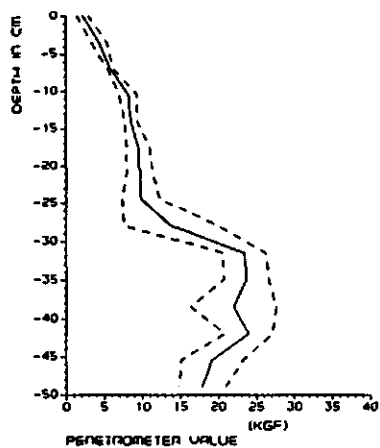
na 5* berijden

Figuur D5. Penetrometerwaarnemingen van opstelling E, na twee en vijf keer berijden met de enkelwieltester.

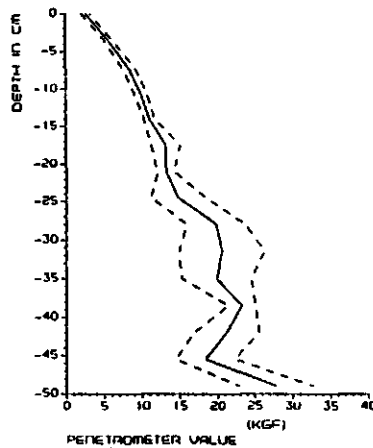


na 10* berijden

Figuur D6. Penetrometerwaarnemingen van opstelling E, na tien keer berijden met de enkelwieltester.

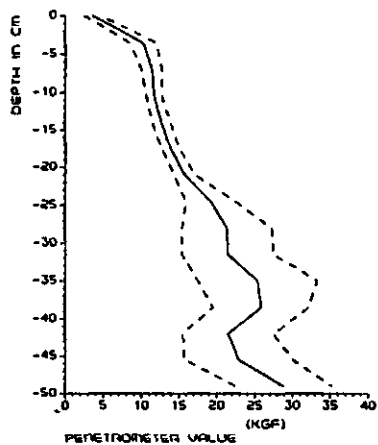


voor berijden



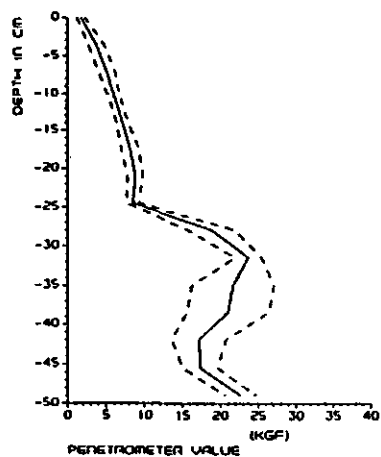
na berijden

Figuur D7. Penetrometerwaarnemingen van opstelling F, voor en na de eerste berijding met de enkelwieltester.

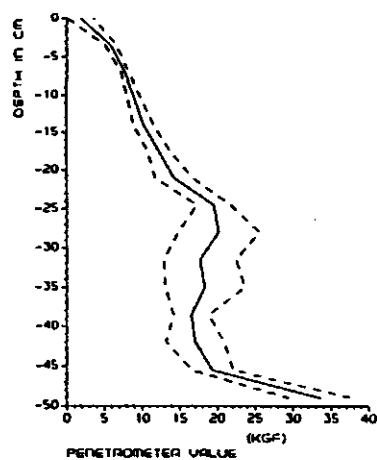


na 2* berijden

Figuur D8. Penetrometerwaarnemingen van opstelling F, na twee keer berijden met de enkelwieltester.

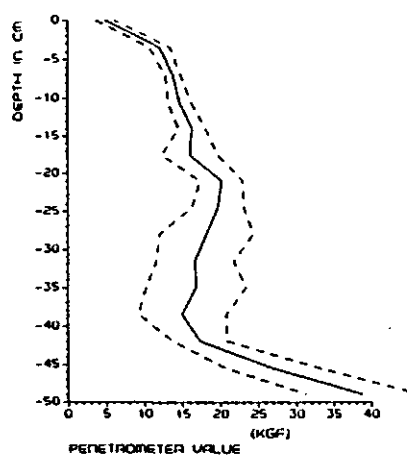


voor berijden

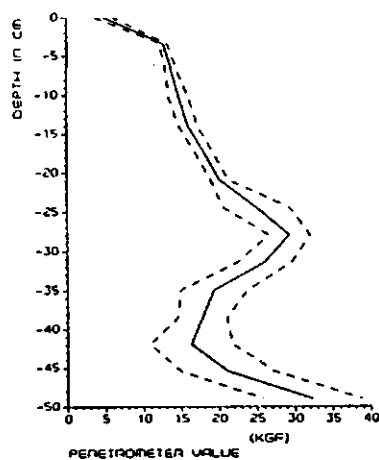


na berijden

Figuur D9. Penetrometerwaarnemingen van opstelling G, voor en na de eerste berijding met de enkelwieltester.

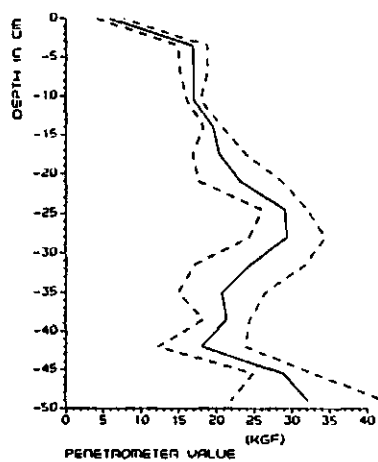


na 2* berijden



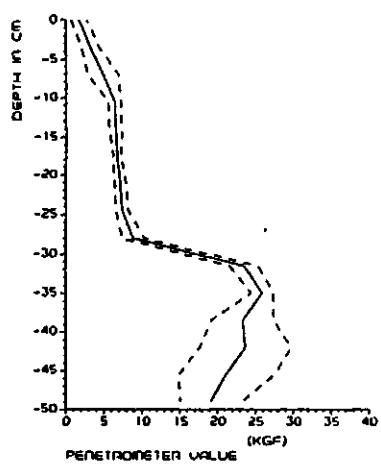
na 5* berijden

Figuur D10. Penetrometerwaarnemingen van opstelling G, na twee en vijf keer berijden met de enkelwieltester.

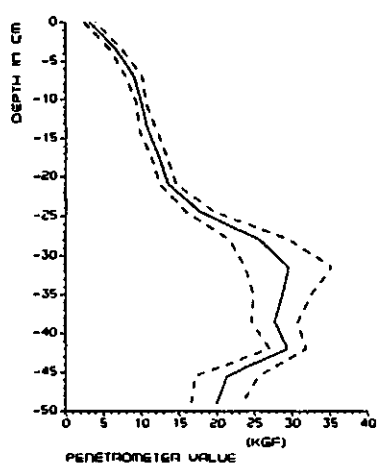


na 10* berijden

Figuur D11. Penetrometerwaarnemingen van opstelling G, na tien keer berijden met de enkelwieltester.

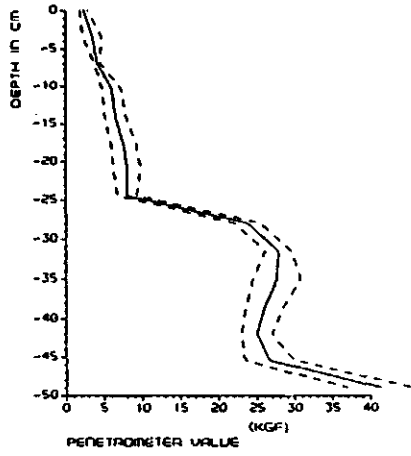


voor berijden

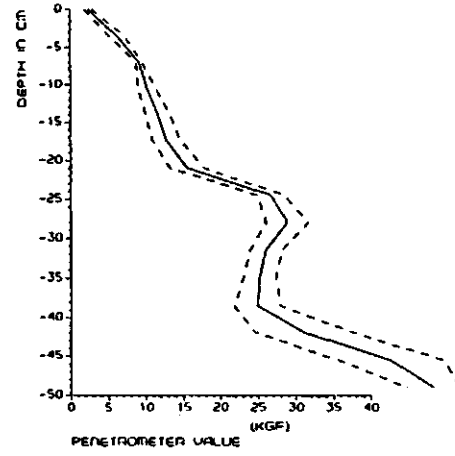


na berijden

Figuur D12. Penetrometerwaarnemingen van opstelling H, voor en na de eerste berijding met de enkelwieltester.

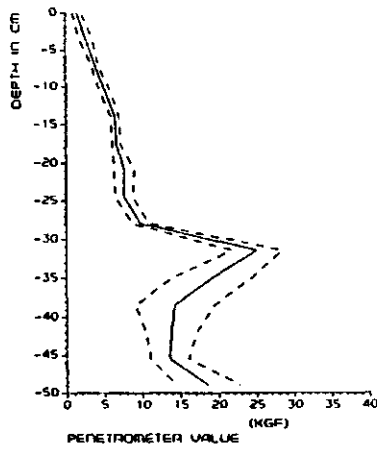


voor berijden

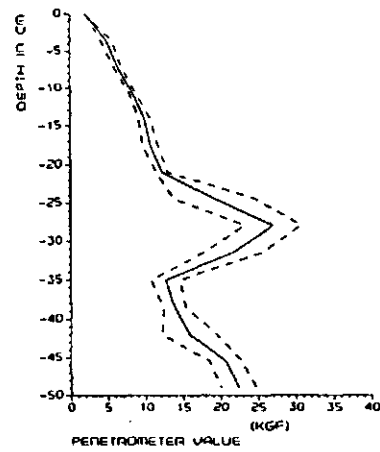


na berijden

Figuur D13. Penetrometerwaarnemingen van opstelling I, voor en na de eerste berijding met de enkelwieltester.

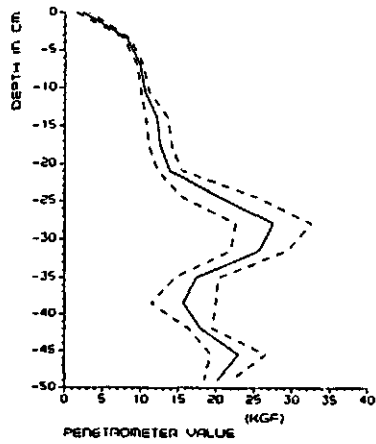


voor berijden



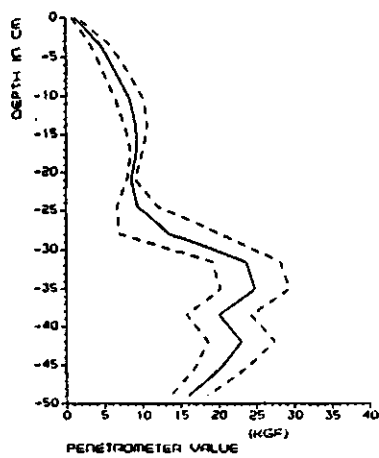
na berijden

Figuur D14. Penetrometerwaarnemingen van opstelling J, voor en na de eerste berijding met de enkelwieltester.

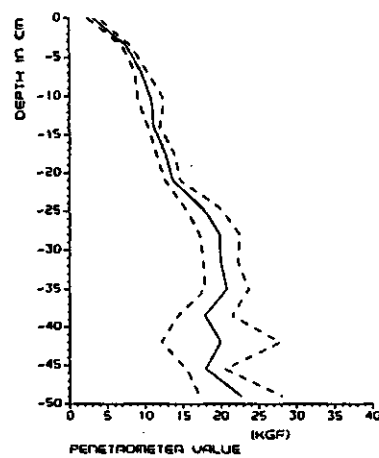


na 2* berijden

Figuur D15. Penetrometerwaarnemingen van opstelling J, na twee keer berijden met de enkelwieltester.

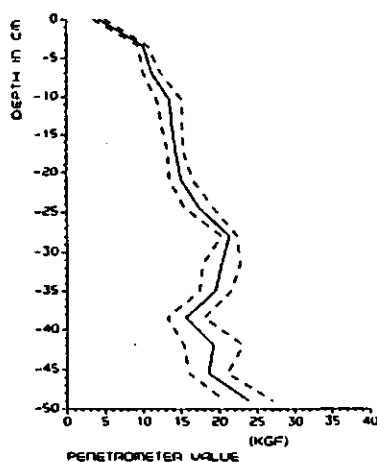


voor berijden

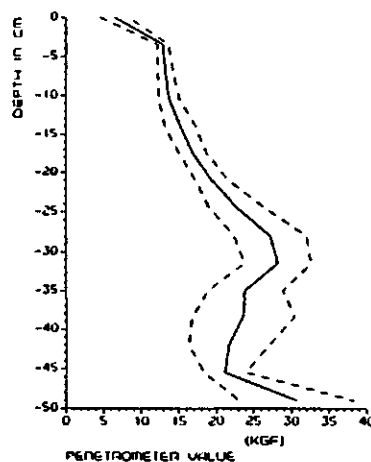


na berijden

Figuur D16. Penetrometerwaarnemingen van opstelling K, voor en na de eerste berijding met de enkelwieltester.

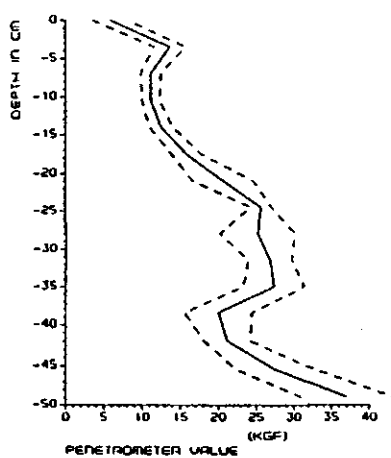


na 2* berijden



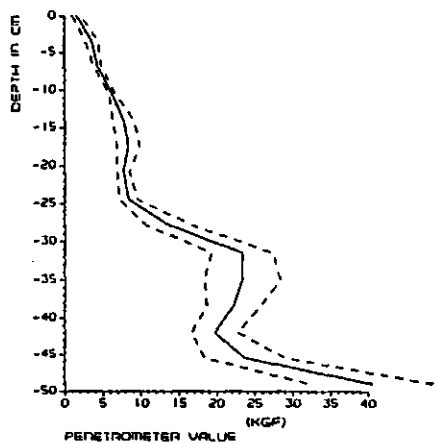
na 5* berijden

Figuur D17. Penetrometerwaarnemingen van opstelling K, na twee en vijf keer berijden met de enkelwieltester.

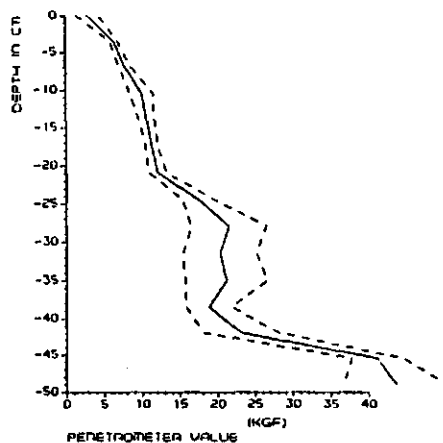


na 10* berijden

Figuur D18. Penetrometerwaarnemingen van opstelling K, na tien keer berijden met de enkelwieltester.

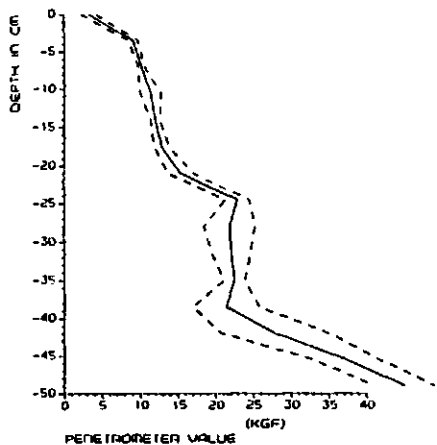


voor berijden



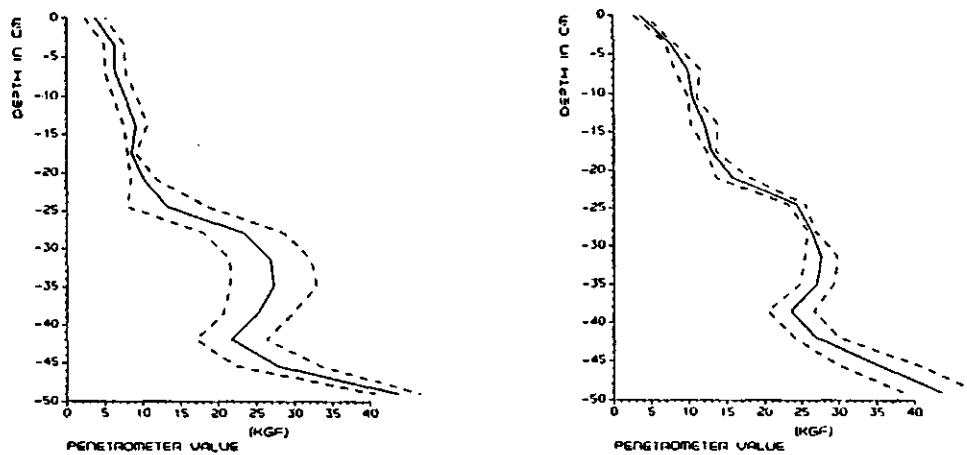
na berijden

Figuur D19. Penetrometerwaarnemingen van opstelling L, voor en na de eerste berijding met de enkelwieltester.



na 2* berijden

Figuur D20. Penetrometerwaarnemingen van opstelling L, na twee keer berijden met de enkelwieltester.



voor berijden

na berijden

Figuur D21. Penetrometerwaarnemingen van opstelling M, voor en na de eerste berijding met de enkelwieltester.

BIJLAGE E. Hoogtemetingen.

In de onderstaande tabel is per opstelling de diepte en de zakking van de drukcellen ten opzichte van het maaiveld, en de scheefligging van de drukcellen in graden ten opzichte van de rijrichting weergegeven (zie ook figuur 2.5). De waarden die voorafgegaan worden door een '#', zijn geschatte waarden (m.b.v. de hoogte van de grondfrees). Ook zijn de gemiddelde insporingen na 1, 2, 5 en 10 berijdingen weergegeven.

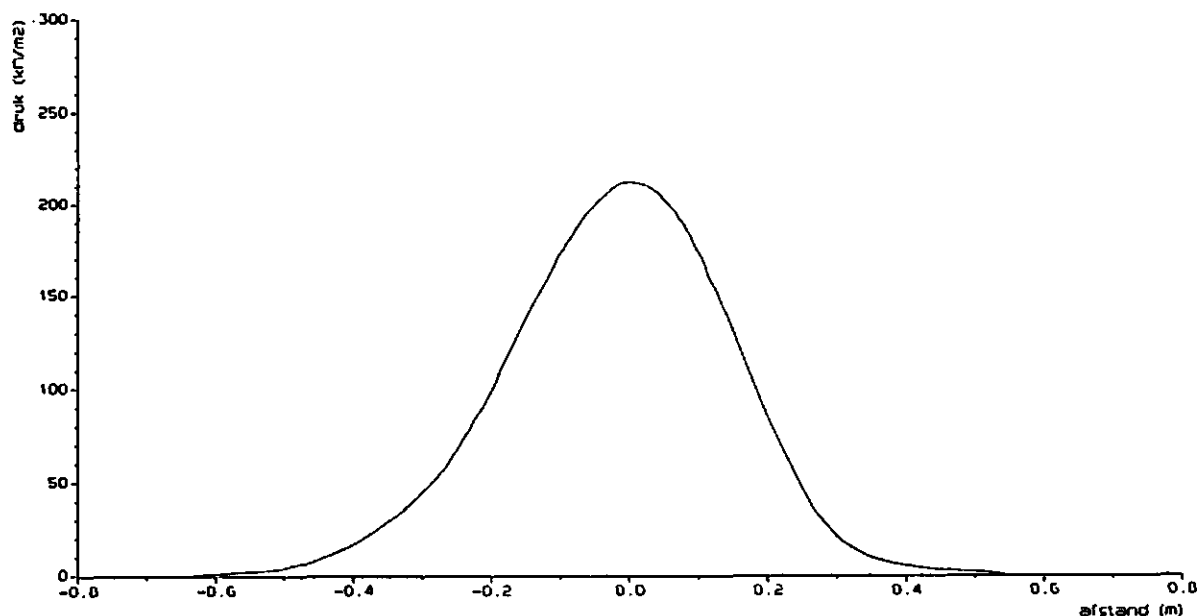
		diepte	zakking	scheefligging	insporing (in cm)				
		(in cm)	(in cm)	evenw. loodr.	1*	2*	5*	10*	
A	rood	31.0	1.0	0	-	5.1	-	-	-
	geel	30.8	0.8	0	-				
	blauw	31.4	0.8	0	-				
	groen	32.0	0.9	0	-				
C	rood	29.8	0.7	0	-	5.0	-	-	-
	geel	29.7	0.7	-2°	-				
	blauw	30.1	0.8	0	-				
	groen	30.2	0.8	0	-				
D	rood	29.8	1.0	2°	-	6.0	7.5	-	-
	geel	30.0	1.1	0	-				
	blauw	29.3	1.0	0	-				
	groen	29.1	0.9	1°	-				
E	rood	27.7	1.9	0	-	5.8	7.5	9.1	10.7
	geel	28.4	1.8	2°	-				
	blauw	28.5	1.6	0	-				
	groen	29.4	1.8	0	-				
F	rood	#30.5	0.5	0	-	5.8	7.2	-	-
	geel	#30.4	0.4	0	-				
	blauw	#30.4	0.4	-8°	-				
	groen	#30.8	0.0	0	-				

-----vervolg tabel

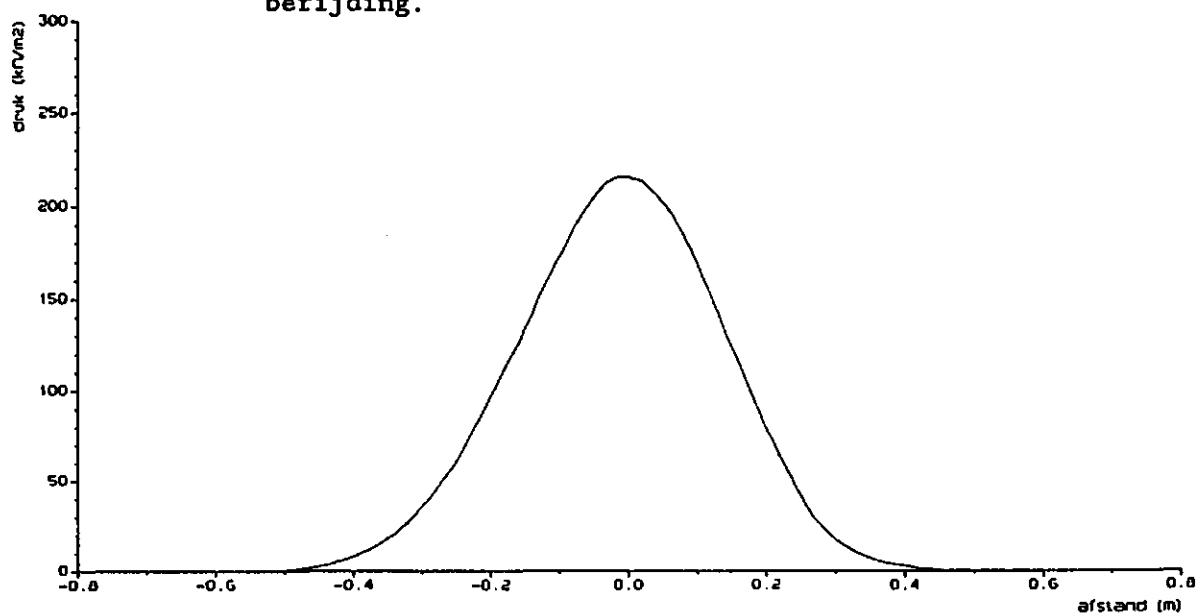
proef	drukcel	diepte (in cm)	zakking (in cm)	scheefligging		insporing (in cm)			
				evenw.	loodr.	1*	2*	5*	10*
G	rood	#28.4	2.2	0	-	6.5	8.1	9.9	11.6
	geel	#28.8	2.4	-3°	-				
	blauw	#29.6	2.7	-2°	-				
	groen	#29.8	1.4	0	-				
H	rood	#25.4	0.1	0	-	5.1	-	-	-
	geel	#25.9	0.1	0	-				
	blauw	#26.0	0.6	0	-				
	groen	#27.5	0.0	6°	-				
I	rood	29.2	0.7	-	0	5.2	-	-	-
	geel	29.5	0.2	-	0				
	blauw	28.9	0.2	-	0				
	groen	30.5	0.1	-	0				
J	rood	31.4	0.2	-	0	5.8	7.6	-	-
	geel	31.8	0.6	-	-2				
	blauw	32.6	0.8	-	0				
	groen	32.1	0.2	-	0				
K	rood	30.6	2.3	-	0	5.9	7.1	9.1	10.4
	geel	30.9	1.3	-	-5°				
	blauw	30.9	-0.2	-	0				
	groen	31.1	-0.1	-	0				
L	rood	#28.0	0.5	-	0	4.4	5.9	-	-
	geel	#28.0	0.1	-	-2°				
	blauw	#27.5	-0.4	-	0				
	groen	#27.9	-	-	-				
M	rood	#25.6	0.0	-7°	0	3.6	-	-	-
	geel	#25.6	0.1	5°	4°				
	blauw	#26.6	-0.4	0	0				
	groen	#25.1	-0.6	0	0				
N	rood	#26.5	0.7	0	0	4.0	5.1	6.3	7.3
	geel	#26.1	-0.1	0	2°				
	blauw	#26.7	-0.3	0	0				
	groen	#25.5	-1.0	0	2°				

BIJLAGE F. Drukcelmetingen

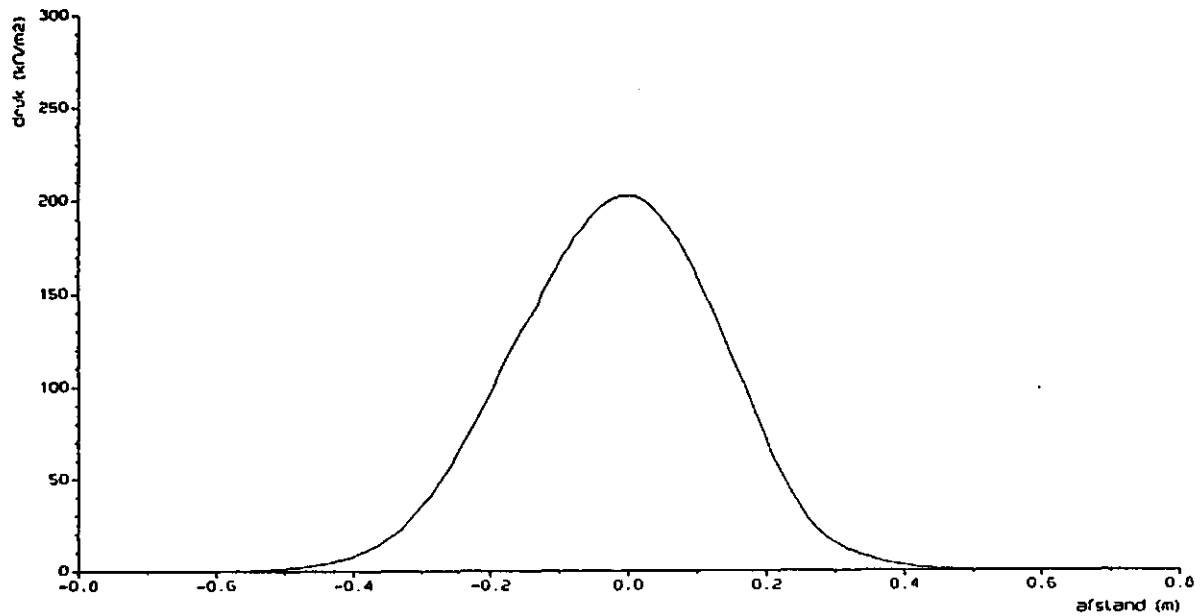
In deze bijlage zijn van enkele opstellingen bij meervoudige berijdingen de drukcelgegevens in grafische vorm weergegeven. De betreffende opstellingen zijn de opstellingen E, G, K, L en N.



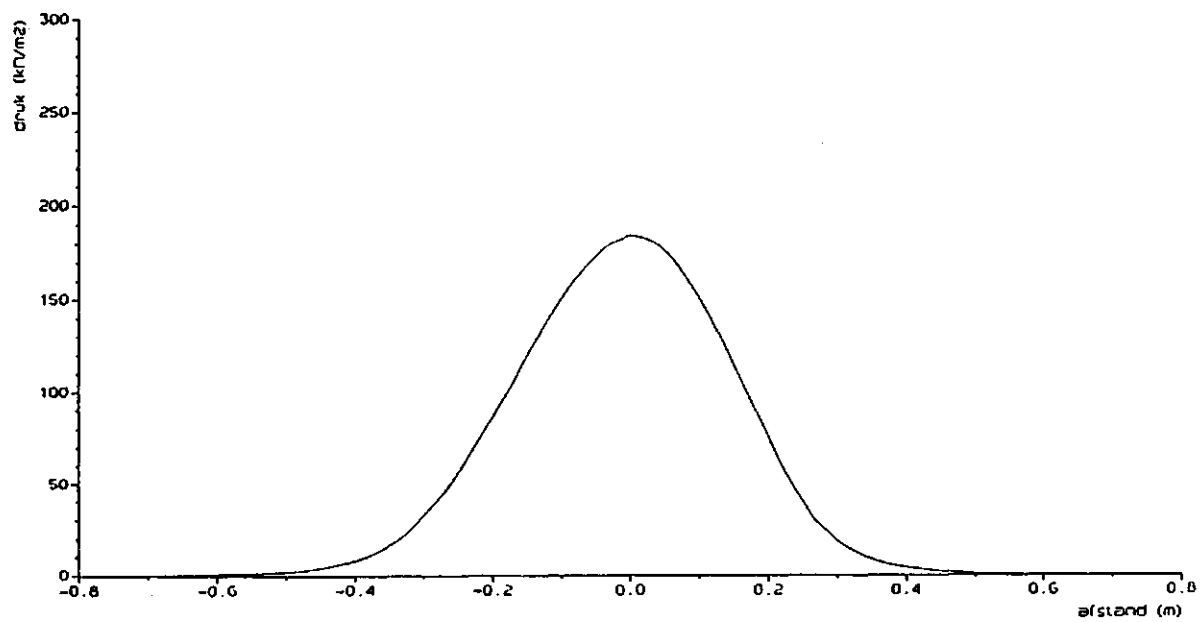
Figuur F1. Drukcelwaarnemingen opstelling E, rode drukcel, eerste berijding.



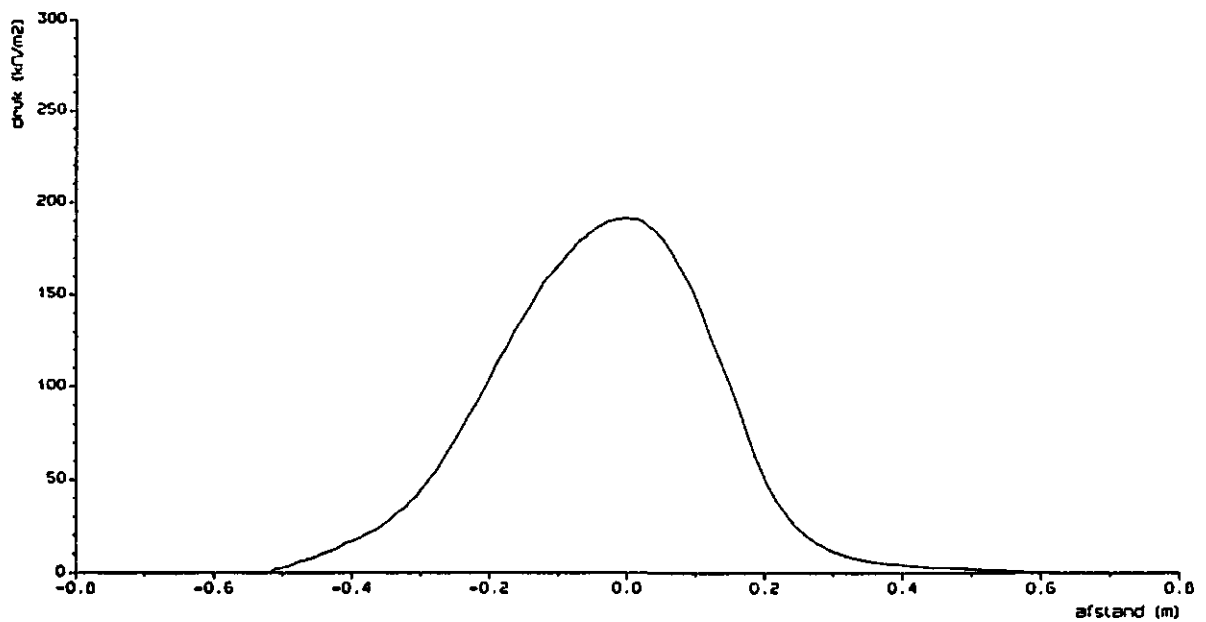
Figuur F2. Drukcelwaarnemingen opstelling E, rode drukcel, tweede berijding.



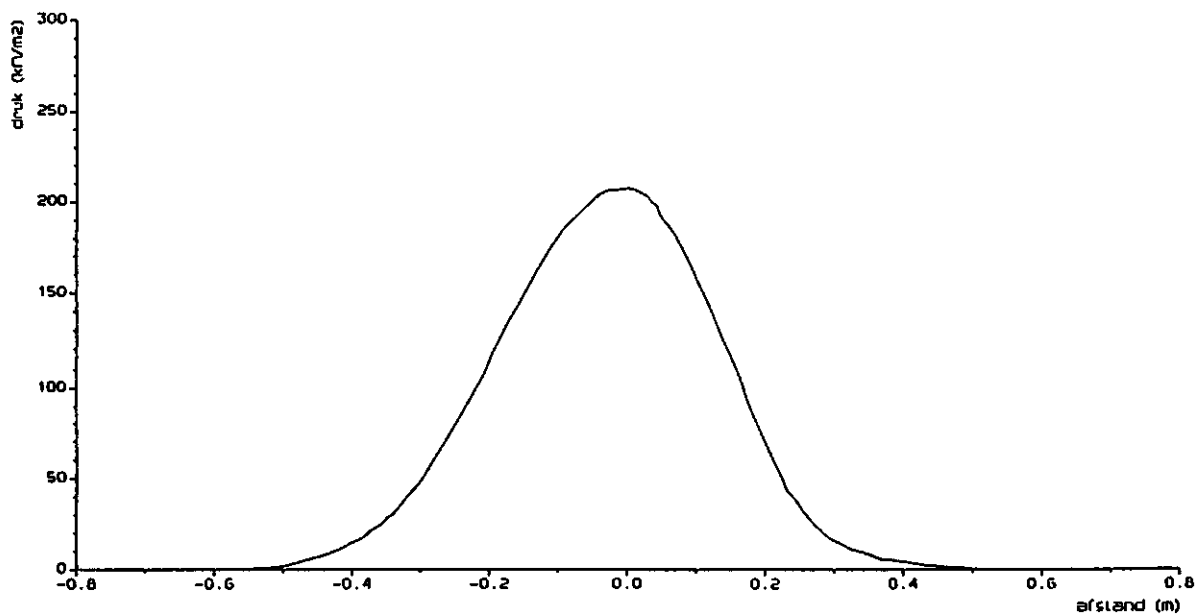
Figuur F3. Drukcelwaarnemingen opstelling E, rode drukcel, vijfde berijding.



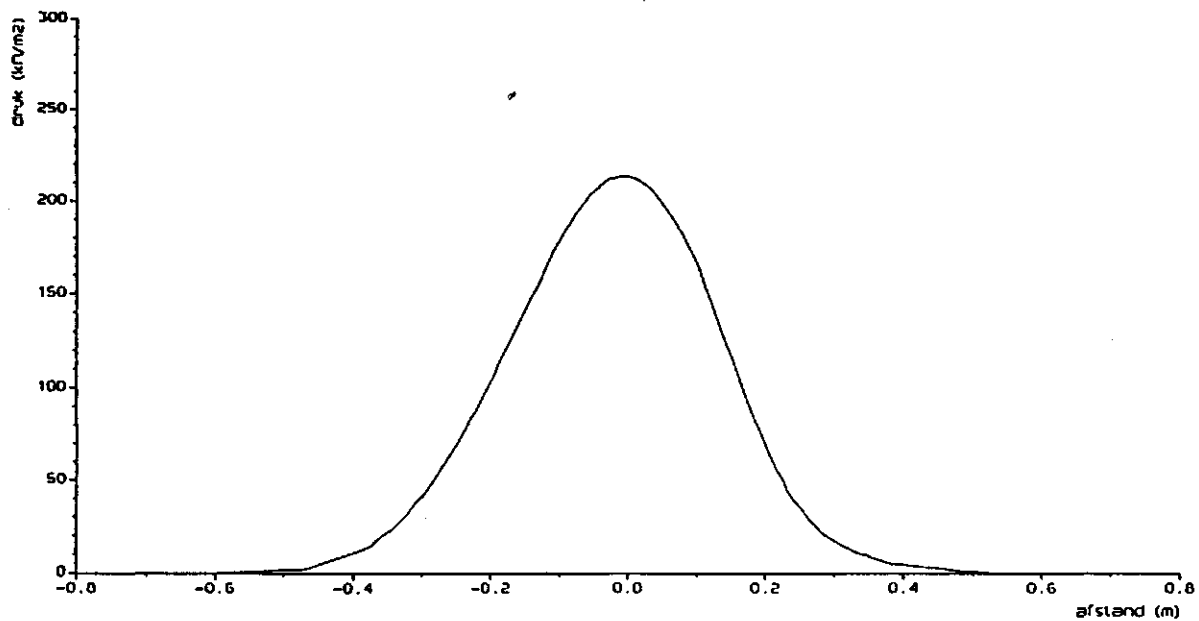
Figuur F4. Drukcelwaarnemingen opstelling E, rode drukcel, tiende berijding.



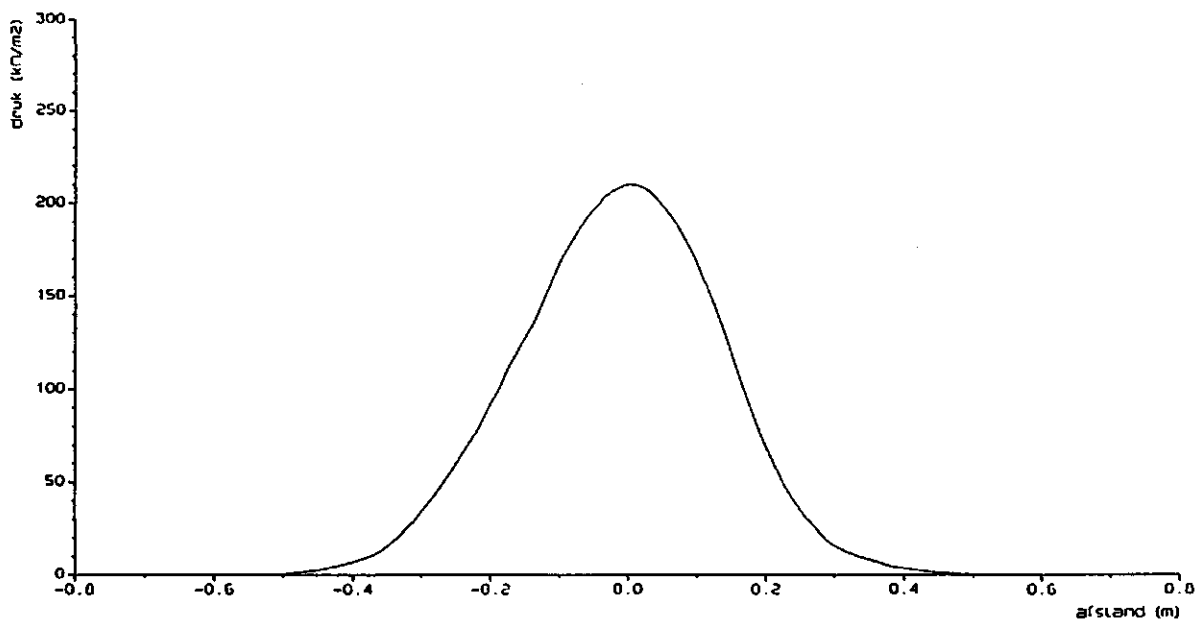
Figuur F5. Drukcelwaarnemingen opstelling G, rode drukcel, eerste berijding.



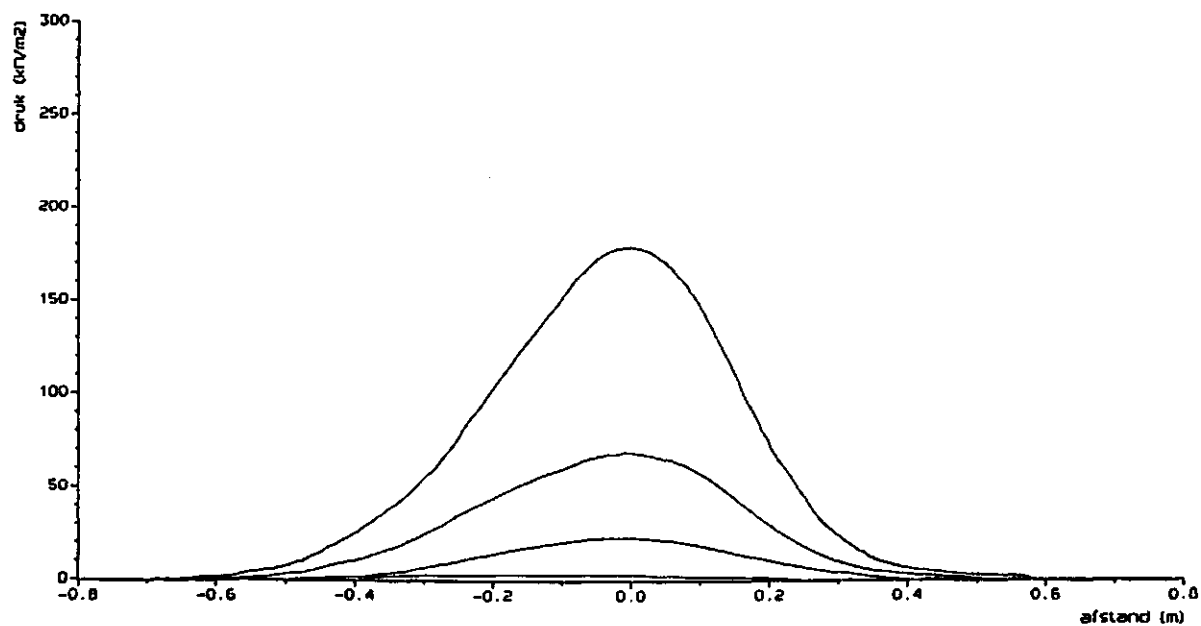
Figuur F6. Drukcelwaarnemingen opstelling G, rode drukcel, tweede berijding.



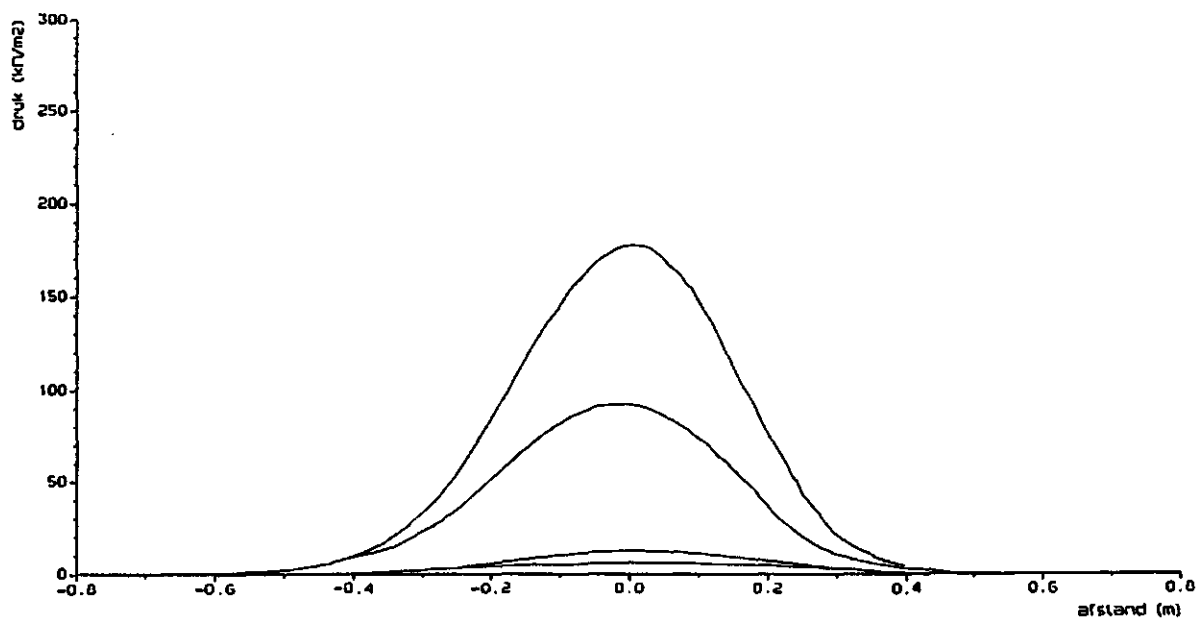
Figuur F7. Drukcelwaarnemingen opstelling G, rode drukcel, vijfde berijding.



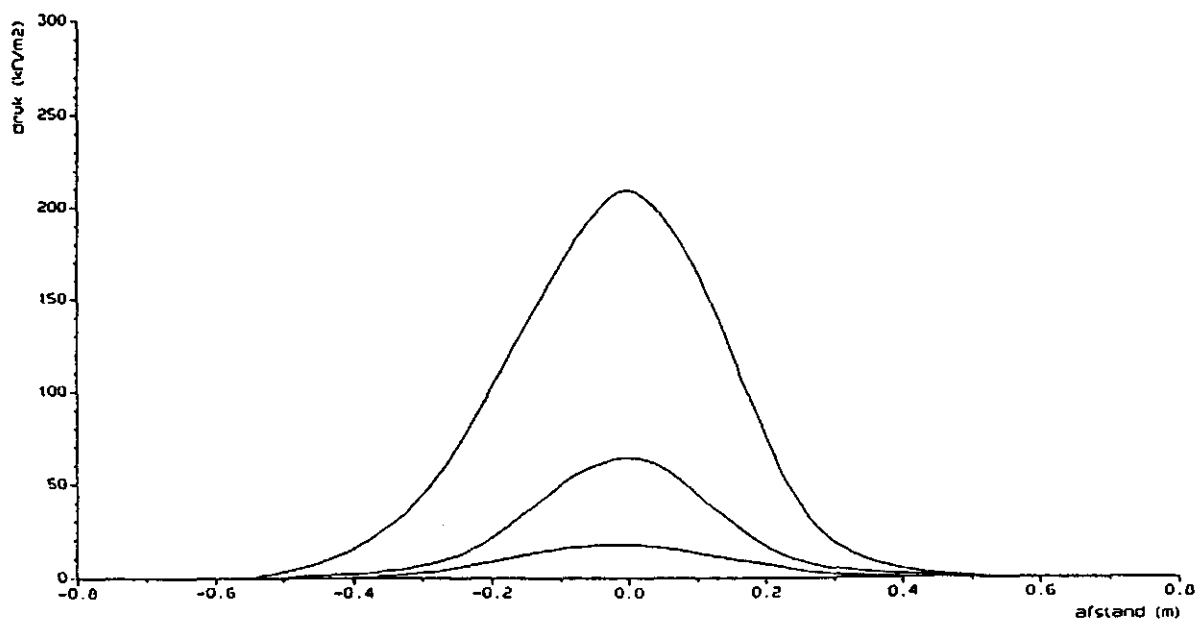
Figuur F8. Drukcelwaarnemingen opstelling G, rode drukcel, tiende berijding.



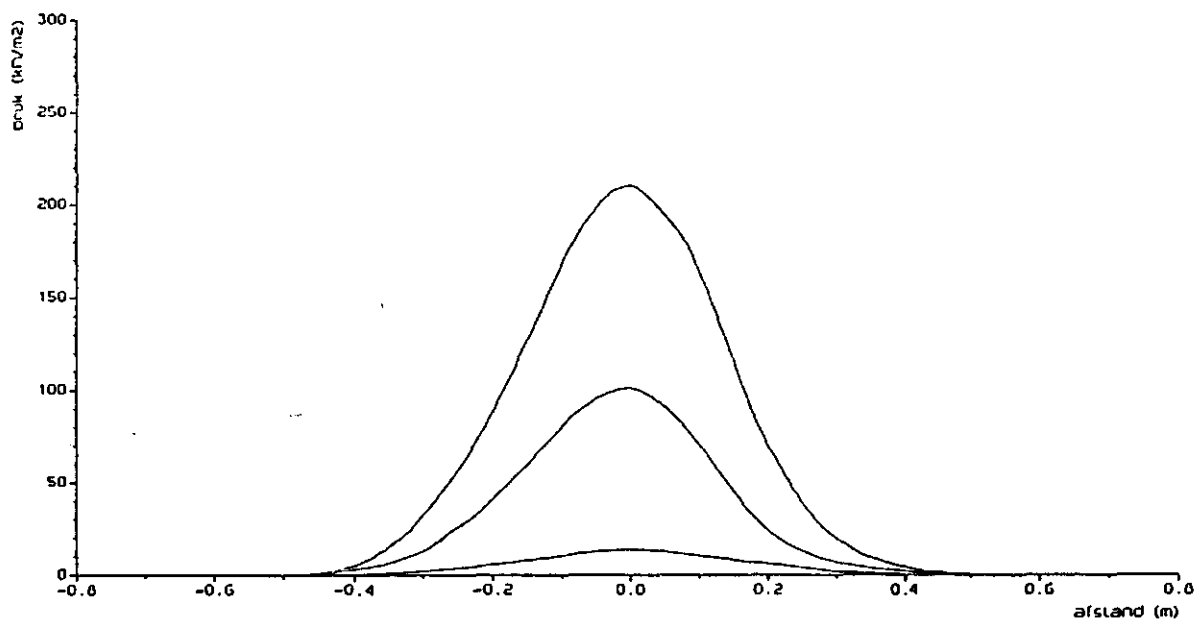
Figuur F9. Drukceldwaarnemingen opstelling K, alle drukkellen, eerste berijding.



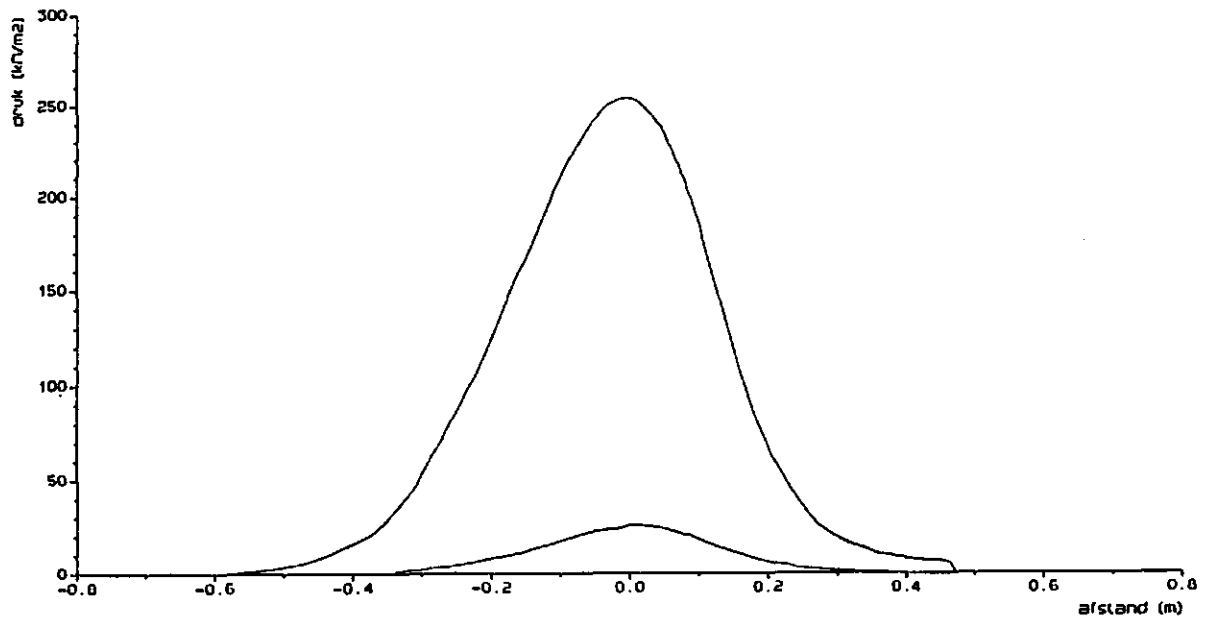
Figuur F10. Drukceldwaarnemingen opstelling K, alle drukkellen, tweede berijding.



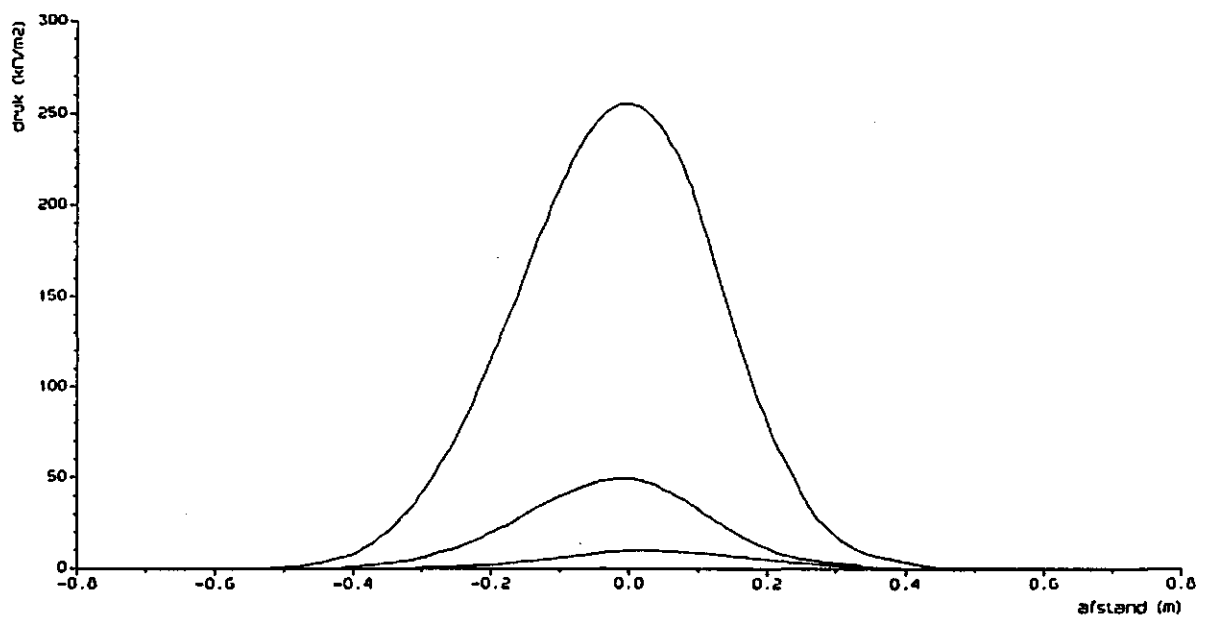
Figuur F11. Drukcelwaarnemingen opstelling L, rode, gele en blauwe drukcel, eerste berijding.



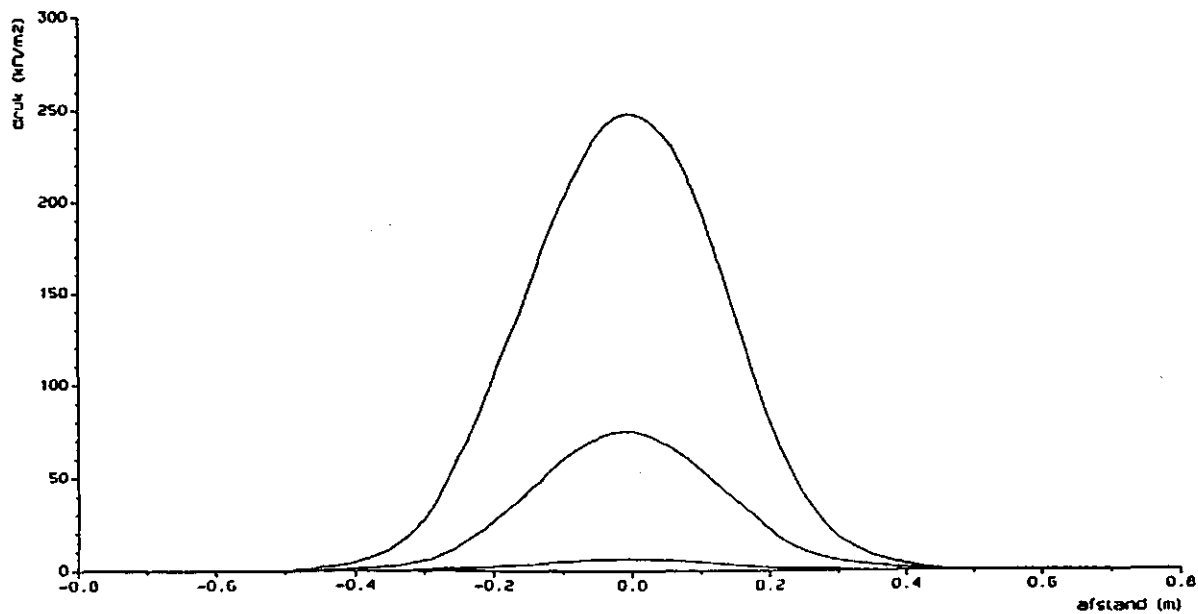
Figuur F12. Drukcelwaarnemingen opstelling L, rode, gele en blauwe drukcel, tweede berijding.



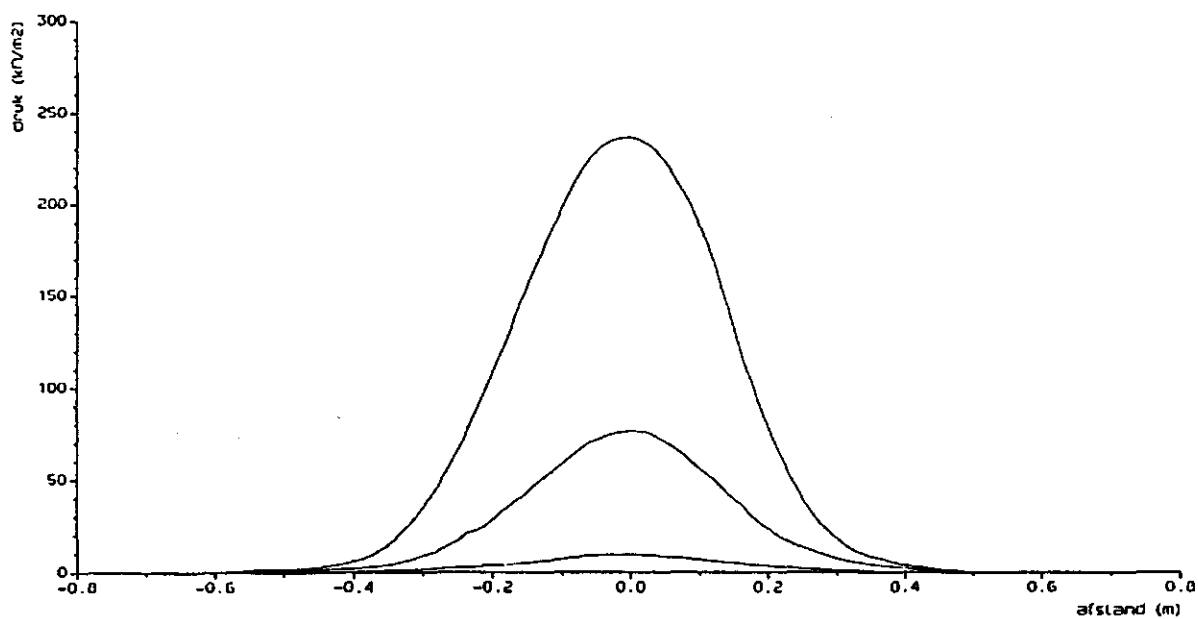
Figuur F13. Drukceldwaarnemingen opstelling N, rode en gele drukcel eerste berijding.



Figuur F14. Drukceldwaarnemingen opstelling N, rode, gele en blauwe drukcel, tweede berijding.



Figuur F15. Drukcelwaarnemingen opstelling N, rode, gele en blauwe drukcel, vijfde berijding.



Figuur F16. Drukcelwaarnemingen opstelling N, rode, gele en blauwe drukcel, tiende berijding.