

Onderzoek met behulp van een netwerkanalogon naar
het patroon van afstroming van grondwater in een
rechthoekige, door sloten omgeven kavel.

Nota Nr. 5.

Hydraulica Laboratorium Landbouwhogeschool
(in samenwerking met de Afdeling Cultuurtechniek).

1966.

(65-2)

Inleiding.

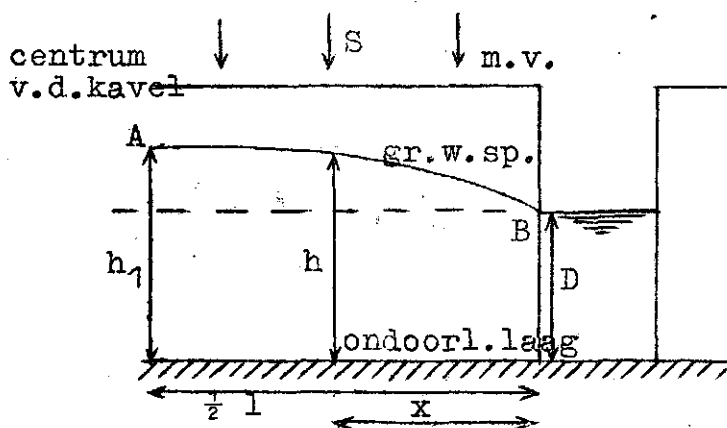
Bij bemestingsproeven op proefvelden kan het wenselijk zijn een idee te hebben over het patroon van afstroming van overtollige neerslag via het grondwater naar de sloten. Indien namelijk bemeste- en onbemeste veldjes naast elkaar liggen, dan moet voorkomen worden, dat de meststoffen via het grondwater van de bemeste veldjes naar de onbemeste veldjes kunnen overgaan.

Met behulp van een elektrisch analogon, een weerstandsnetwerk, is de vorm van de grondwaterspiegel bepaald, die ontstaat, wanneer een bepaalde neerslagintensiteit gedurende lange tijd aanhoudt. Hiertoe werden in het elektrisch model lijnen met gelijke potentiaal opgespoord, die de hoogtelijnen van de gewelfde grondwaterspiegel voorstellen. Daar het direct bepalen van de stroomlijnen technisch moeilijk uitvoerbaar is, is deze indirecte methode gekozen. Het grondwater stroomt loodrecht op deze hoogtelijnen.

Het onderzoek werd verricht door Ir. S.A. de Boer van de Afdeling Cultuurtechniek en G.H. Gaasbeek.

Schematisering.

Bij het verrichte onderzoek viel aan schematiseren niet te ontkomen. Voor de rechthoekige, door sloten omgeven kavel is een lengte-breedteverhouding 2 aangehouden. De voor de grondwaterstroming van belang zijnde laag van de grond wordt homogeen, isotroop en overal even dik verondersteld. Door het verwaarlozen van de radiale weerstand wordt gesuggereerd, dat de sloten de watervoerende laag geheel doorsnijden. Aangenomen is, dat de waterstand in de omringende sloten overal even hoog is en dat de kavel niet gedraineerd of begreppeld is.



figuur 1.

Er is van uitgegaan, dat de wet van Dupuit-Darcy toegepast mag worden: $(\frac{1}{2}l-x)s = k \frac{dh}{dx} h$ waarin:
l = slootafstand
s = neerslagintensiteit
k = doorlaatfactor
h = hoogte van de grondwaterspiegel boven de ondoorlatende laag ter plaatse x.
(zie figuur 1).

$$\int_0^x \frac{s}{k} (1-x) dx = h dh$$

$$\int_0^x \frac{s}{k} (1-x - \frac{1}{2}x^2) dx = \int_D^h \frac{1}{2} h^2$$

$$\frac{s}{k} (1-x - \frac{1}{2}x^2) = (h-D) (\frac{h+D}{2})$$

Stel $h_1 - D = m_0$; de aanname dat de doorstroomde laag overal even dik is houdt in, dat $\frac{h+D}{2} \approx \frac{h_1+D}{2} \approx D$.

De vergelijking gaat over in

$$\frac{s}{2k} (1-x-x^2) = (h-D)D \rightarrow \frac{h-D}{s} = \frac{1-x-x^2}{2kD} = \text{constant voor een waarde van } x.$$

Wordt het hoogteverschil m_0 tussen A en B op 100% gesteld, waarbij de hoogte in B = 0%, dan is, vanwege het lineaire verband tussen $(h-D)$ en s , de hoogtelijnenfiguur van de grondwaterspiegel onafhankelijk geworden van de constante neerslagintensiteit.

Het is duidelijk dat het onderzoek tot een kwart van de kavel beperkt kan worden, waarbij de kwartkavel twee halve kavelsloten en twee halve symmetrielijnen als grenzen heeft.

Ten aanzien van de aannamen kan opgemerkt worden, dat deze de uitkomsten in algemene zin niet beïnvloeden.

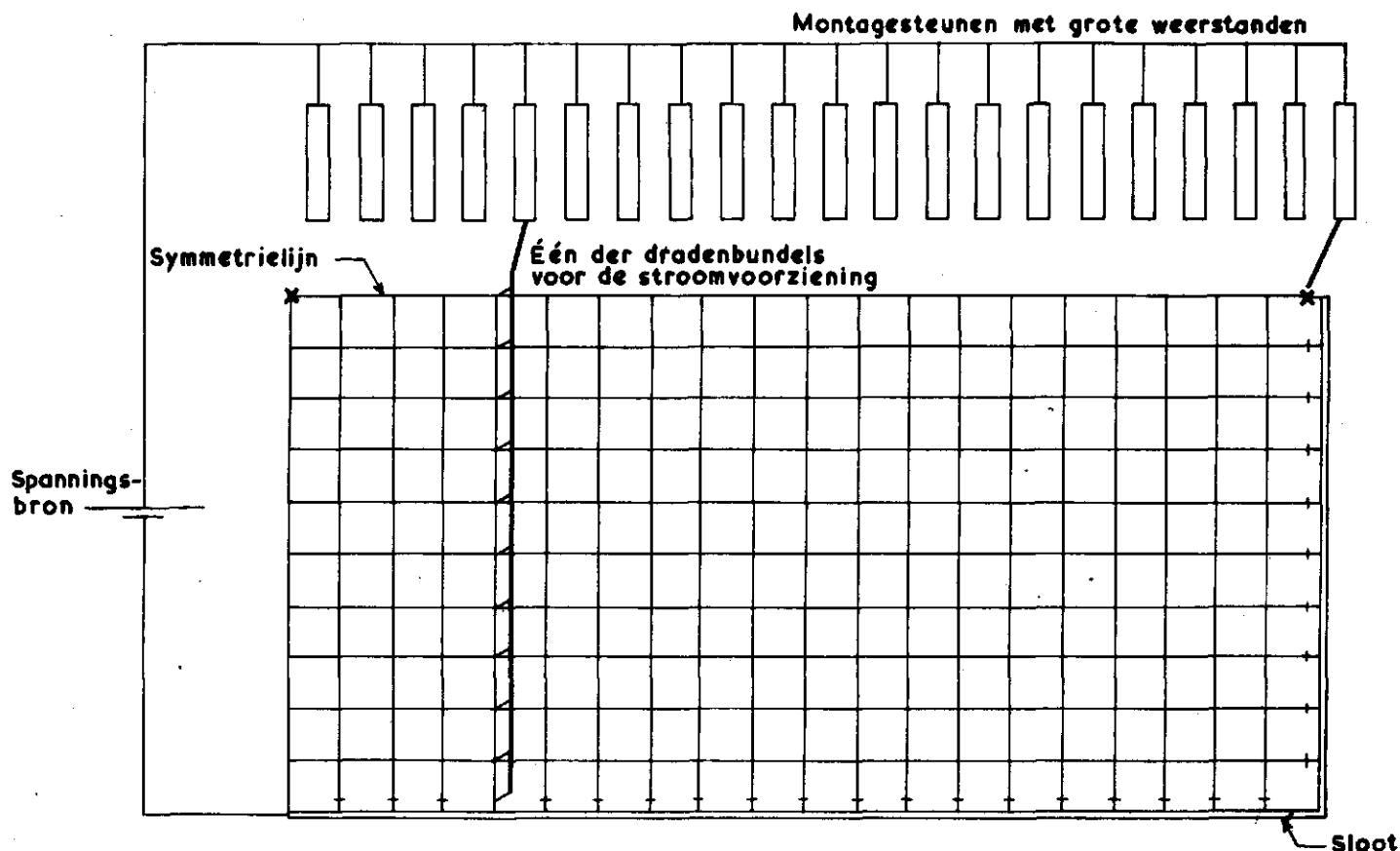
Model.

Het aannemen van een constante KD-waarde scheidt de mogelijkheid een 2-dimensionaal weerstandsnetwerk te gebruiken. In figuur 2 is een afbeelding van het netwerk met toebehoren gegeven.

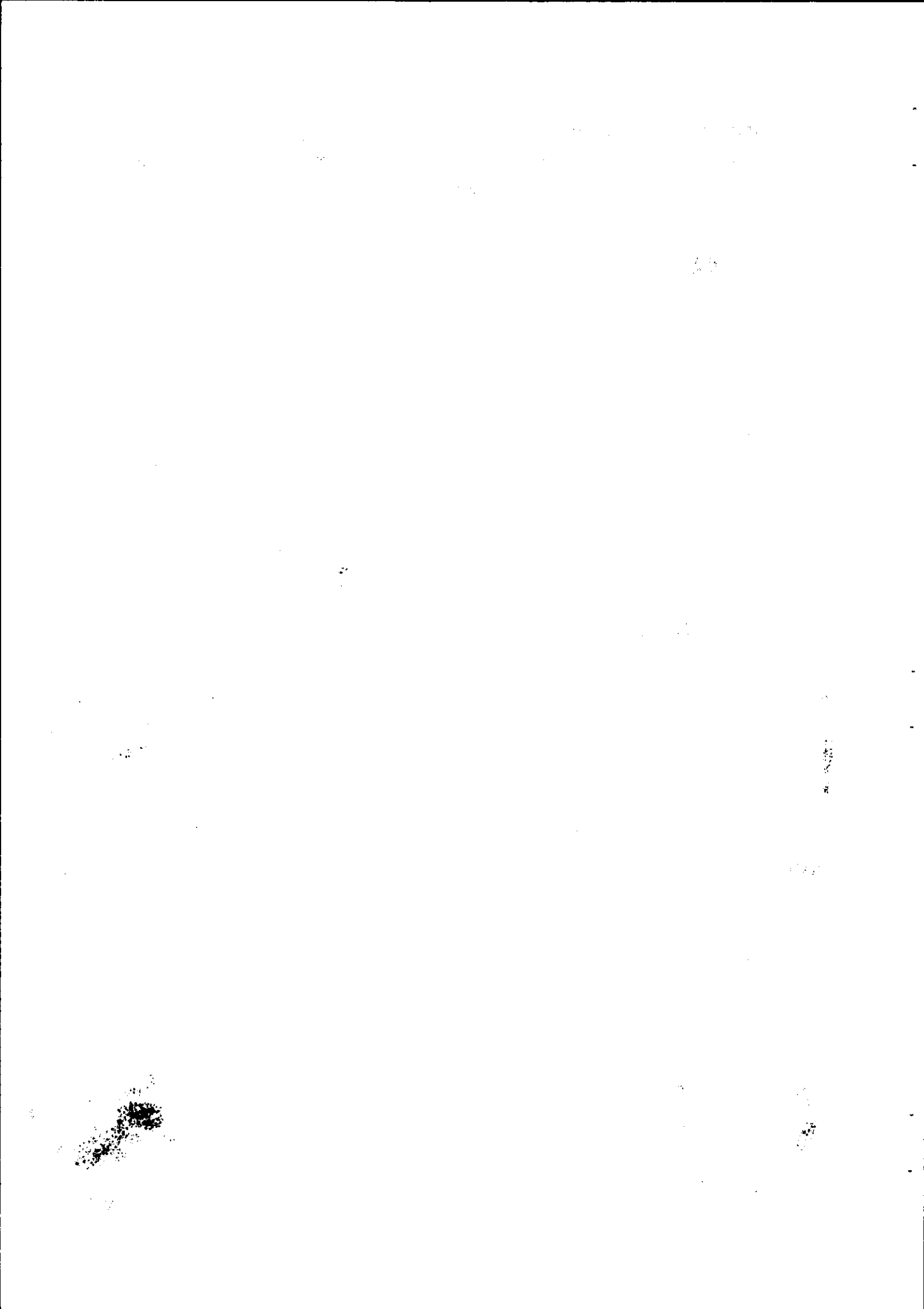


Figuur 2.

In figuur 3 is het netwerk schematisch weergegeven.

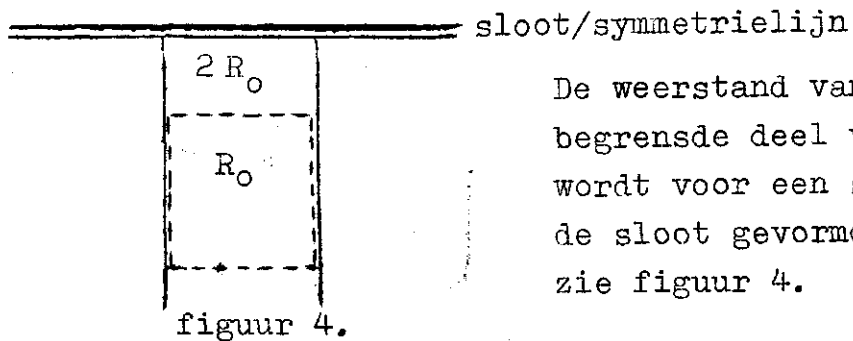


FIGUUR 3



Het netwerk is opgebouwd uit koolweerstanden van 4700Ω (tolerantie $\pm 5\%$).

De weerstanden langs de randen van het model hebben een waarde van 9400Ω (2 weerstanden van 4700Ω in serie).

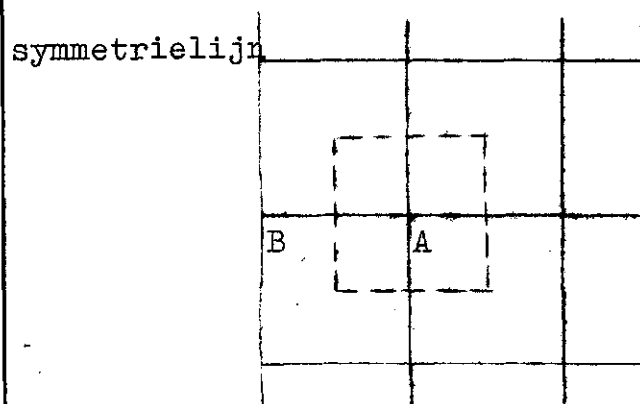


De weerstand van het door streeplijnen begrensde deel van het stromingsveld wordt voor een stroming evenwijdig aan de sloot gevormd door de weerstand R_0 , zie figuur 4.

Omdat de breedte van de rechthoek tussen het door streeplijnen begrensde vierkant en de sloot de helft bedraagt van de breedte van een vierkant en de lengte in beide gevallen gelijk is, is de weerstand van de rechthoek voor een stroming evenwijdig aan de sloot tweemaal zo groot, dus $2R_0$.

Aangenomen is, dat de waterstand in de omringende sloten overal even hoog is. Dit betekent, dat de sloten in het model aequipotentiaallijnen zijn; ze bestaan uit een metaaldraad. De weerstanden langs de sloten zouden door deze metaaldraad kortgesloten worden en daarom zijn ze weggelaten.

Door het weglaten van de weerstanden van 9400Ω langs de sloten, is op die plaatsen langs de sloten, waar de grondwaterstroming niet loodrecht op de sloot gericht is, een kleine fout geïntroduceerd. De regen wordt nagebootst door in elk knooppunt van het netwerk een elektrische stroom in te voeren. De sterkte van de stroom, welke in een knooppunt wordt ingevoerd, moet evenredig zijn met het oppervlak van het netwerkgedeelte, dat in dat knooppunt gevoed wordt.



figuur 5.

Als I de sterkte is van de stroom, die in knooppunt A wordt ingevoerd, dan wordt hiermee het door streeplijnen begrensde netwerkgedeelte gevoed, zie figuur 5. De sterkte van de stroom, die in knooppunt B wordt ingevoerd, zal dan $\frac{1}{2}I$ moeten zijn.

De knooppunten, die op de symmetrielijijn liggen, worden gevoed met $\frac{1}{2}I$. Langs de

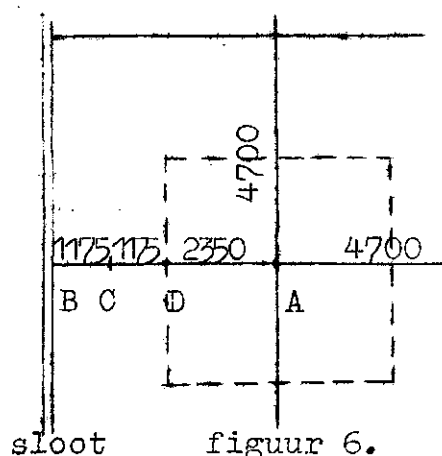
sloten moesten extra voorzieningen worden getroffen. Hier is de weerstand van 4700Ω tussen de punten A en B in figuur 5 vervangen door

11
12
13

14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200

3 in serie geschakelde weerstanden van respectievelijk 2350Ω , 1175Ω en 1175Ω , zie figuur 6. De stroom die normaliter in punt B ingevoerd zou worden, wordt in het model in punt C ingevoerd.



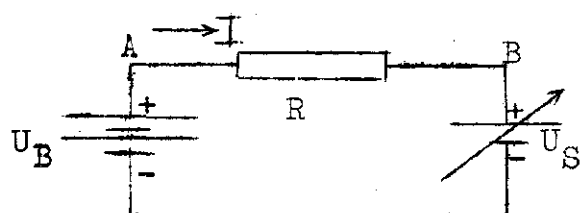
Door deze constructie zijn de mazen van het netwerk langs de sloten in de richting op de sloot wat uitgerekt, zie figuur 2. De weerstand van 2350Ω wordt verkregen door twee weerstanden van 4700Ω parallel te schakelen. De weerstanden van 1175Ω worden verkregen door het parallel schakelen van twee weerstanden van resp. 1200Ω en 56000Ω .

Dit resulteert in een weerstand van $\frac{56000 \times 1200}{56000 + 1200} = 1174,8 \Omega$.

De knooppunten in drie hoeken van het netwerk, welke in figuur 3 aangeduid zijn met een kruisje, moeten met $\frac{1}{4} I$ gevoed worden. De fout, die gemaakt wordt door het niet voeden van een oppervlak in de hoek bij het snijpunt van de sloten, welk oppervlak overeenkomt met $\frac{1}{4} I$, is te verwaarlozen.

Voeding.

Gelijkmatig verdeeld over het gehele model moet per eenheid van oppervlakte een bepaalde elektrische stroom via de knooppunten worden ingevoerd, welke in sterkte onafhankelijk moet zijn van de elektrische potentiaal in het betrokken knooppunt.



figuur 7.

De spanning in het knooppunt B is U_S . De stroom door R

is nu: $I = \frac{U_B - U_S}{R} = \frac{U_B}{R} \left(1 - \frac{U_S}{U_B}\right)$. Indien $\frac{U_S}{U_B} \ll 1$ dan is $I \approx \frac{U_B}{R}$.

De constante stroom kan worden verkregen door elk knooppunt (voedingspunt) via een grote voorschakelweerstand R op een spanningsbron aan te sluiten, welke spanningsbron een hoge constante gelijkspanning U_B levert, zie

The first part of the report deals with the general situation in the country. It is noted that the economy is still in a state of depression, and that the government has taken various measures to stimulate it. The report also discusses the progress of the reconstruction program, and the need for further action to be taken.

In the second part, the report deals with the specific measures that have been taken by the government. These include the establishment of a central bank, the introduction of a new currency, and the implementation of various economic reforms. The report also discusses the progress of the reconstruction program, and the need for further action to be taken.

The third part of the report deals with the social and cultural situation in the country. It is noted that the population is still suffering from the effects of the war, and that there is a need for social and cultural reforms. The report also discusses the progress of the reconstruction program, and the need for further action to be taken.

The fourth part of the report deals with the international situation. It is noted that the country is still in a state of isolation, and that there is a need for international cooperation. The report also discusses the progress of the reconstruction program, and the need for further action to be taken.

1950-1951
 10

The report also discusses the progress of the reconstruction program, and the need for further action to be taken. It is noted that the government has taken various measures to stimulate the economy, and that the reconstruction program is well advanced. The report also discusses the social and cultural situation in the country, and the need for further reforms.

In het model is voor R een weerstand van 5M6 ($5,6 \cdot 10^6 \Omega$) gekozen, met een tolerantie van $\pm 10\%$.

Alle weerstanden 5M6 zijn rechtstreeks met de spanningsbron verbonden. Voor de knooppunten die met $\frac{1}{2}$ I respectievelijk $\frac{1}{4}$ I gevoed worden moet een weerstand van 11M2 respectievelijk 22M4 worden geschakeld. Dit zijn echter geen handelswaarden. Voor ieder knooppunt, dat gevoed wordt met $\frac{1}{2}$ I, is een weerstand van 10M (tolerantie $\pm 10\%$) geschakeld. Al deze 10M-weerstanden hebben een gemeenschappelijke voorschakelweerstand R_V , om de stroomsterkte op de juiste waarde te brengen. Ieder knooppunt dat gevoed wordt met $\frac{1}{4}$ I, is via een weerstand van 20M (twee weerstanden van 10M in serie) met dezelfde voorschakelweerstand R_V verbonden.

In het model worden 56 punten gevoed met $\frac{1}{2}$ I en 3 punten met $\frac{1}{4}$ I. Totaal wordt in deze 59 punten 28,75 I ingevoerd.

De stroom I wordt bereikt door over de weerstand R (= 5M6) een spanning U_B aan te leggen waardoor $I = \frac{U_B}{5,6 \cdot 10^6}$. Voor het verkrijgen van een stroom van 28,75 I is een weerstand van $\frac{5,6 \cdot 10^6}{28,75} = 194782 \Omega$ nodig.

De totale vervangingsweerstand van de 56 weerstanden van 10M en de 3 weerstanden van 20M is $R_T = 173912 \Omega$ ($\frac{1}{R_T} = \frac{56}{10 \cdot 10^6} + \frac{3}{20 \cdot 10^6}$).

De grootte van de gemeenschappelijke voorschakelweerstand R_V moet zijn: $R_V = 194782 - 173912 = 20870 \Omega$.

De grootte van de weerstand R_V in het model, bestaande uit twee parallel geschakelde weerstanden van 390 K en 22 K (tolerantie $\pm 5\%$), bedraagt 20825Ω . Het verschil van 45Ω ligt binnen de tolerantie van de gebruikte weerstanden.

Metingen.

Ter controle van de homogeniteit van het netwerk is het netwerk vooraf in twee loodrecht op elkaar staande richtingen doorgemeten. Hierbij waren langs twee tegenover elkaar liggende zijden van het netwerk elektroden aangebracht, waartussen een spanning werd aangelegd.

De potentiaalsprongen over iedere weerstand in de richting loodrecht op de elektroden moesten constant zijn, terwijl in de richting evenwijdig aan de elektroden geen spanningsverschillen mochten optreden. De geconstateerde afwijkingen waren van geen betekenis.

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

1942

Ter controle van de uniformiteit van de stroomverdeling werd de kopsloot in het model vervangen door een keten van $2 R_0$ weerstanden, waarna in het aldus gewijzigde netwerk de potentialen in de knooppunten werden gemeten. Tevens werd de verdeling van de naar de langssloot afstromende hoeveelheden grondwater bepaald, zie bijlage 1. De oorzaak van het systematisch oplopen van de potentiaal van links naar rechts is onbekend. Kleine verschillen waren te verwachten, daar de grote voorgeschakelde weerstanden een tolerantie hebben van $\pm 10\%$. Het niet voeden van een kwart vierkant in de rechterbeneden hoek komt op bijlage 1 tot uiting in de waarde 48.

In bijlage 2 is een overzicht gegeven van het verloop van een aantal hoogtelijnen. Het patroon van de hoogtelijnen geeft een indruk van de vorm van de grondwaterspiegel. De getallen langs de sloten geven de relatieve verdeling weer van de uit de kavel in de sloten stromende hoeveelheid water per strekkende meter slootwand. Deze getallen zijn verkregen door het meten van stroomsterkten in het analogon.

Bij een kavel met alleen sloten langs de lange zijden lopen de equipotentiaallijnen evenwijdig aan deze sloten. Deze situatie wordt benaderd door een met sloten omgeven kavel met een lengte-breedte verhouding = oneindig. Naarmate de lengte-breedte verhouding van de kavel kleiner is, lopen de equipotentiaallijnen over een kleiner traject evenwijdig aan de sloten. In bijlage 3 is het verloop van de equipotentiaallijnen weergegeven bij een lengte-breedte verhouding $1\frac{1}{2}$.

Indien de invloed van de kopsloot zich niet meer doet gevoelen, moet de neerslag, die valt op een strook ter breedte van $\frac{1}{20}$ van de halve kavellengte over $\frac{1}{20}$ van de halve langssloot tot afstroming komen. De op bijlage 2 vermelde getallen geven echter aan dat van de op de strook, grenzend aan de korte symmetrielij, vallende neerslag, slechts 92% binnen deze strook naar de langssloot afstroomt en dat de resterende 8% de naastgelegen strook binnendringt; in de richting van de kopsloot gaande, zal een steeds groter percentage van de op een strook evenwijdig aan de korte symmetrielij vallende neerslag de naastgelegen strook binnendringen.

Afhankelijk van het te stellen criterium ten aanzien van de nauwkeurigheid kan men beslissen of er op de kavel met lengte-breedte verhouding 2 bemestingsproefveldjes kunnen worden aangelegd.

[The page contains extremely faint and illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the document. The text is too light to transcribe accurately.]

De aanname, dat de kavel homogeen is, betekent dat de afwijking van de stroming naar de langssloot min of meer systematisch verloopt. In de praktijk komen hier nog plaatselijke afwijkingen bij tengevolge van inhomogeniteiten in de doorstroomde bodemlaag.

De systematische afwijking kan worden uitgeschakeld door de afstroming naar de kopsloot te stagneren, bij voorbeeld door het ingraven van een plastic folie over de dikte van de watervoerende laag. De plaatselijke afwijkingen kunnen slechts worden onderdrukt door de proefstroken aan weerskanten af te schermen.

Om een uitspraak te kunnen doen omtrent de invloed van drainage zou het onderzoek aanzienlijk moeten worden uitgebreid.

No. 65-4-23	
D.D.	1965
Project	65-2
Gez.	
Schaal	
File	K.

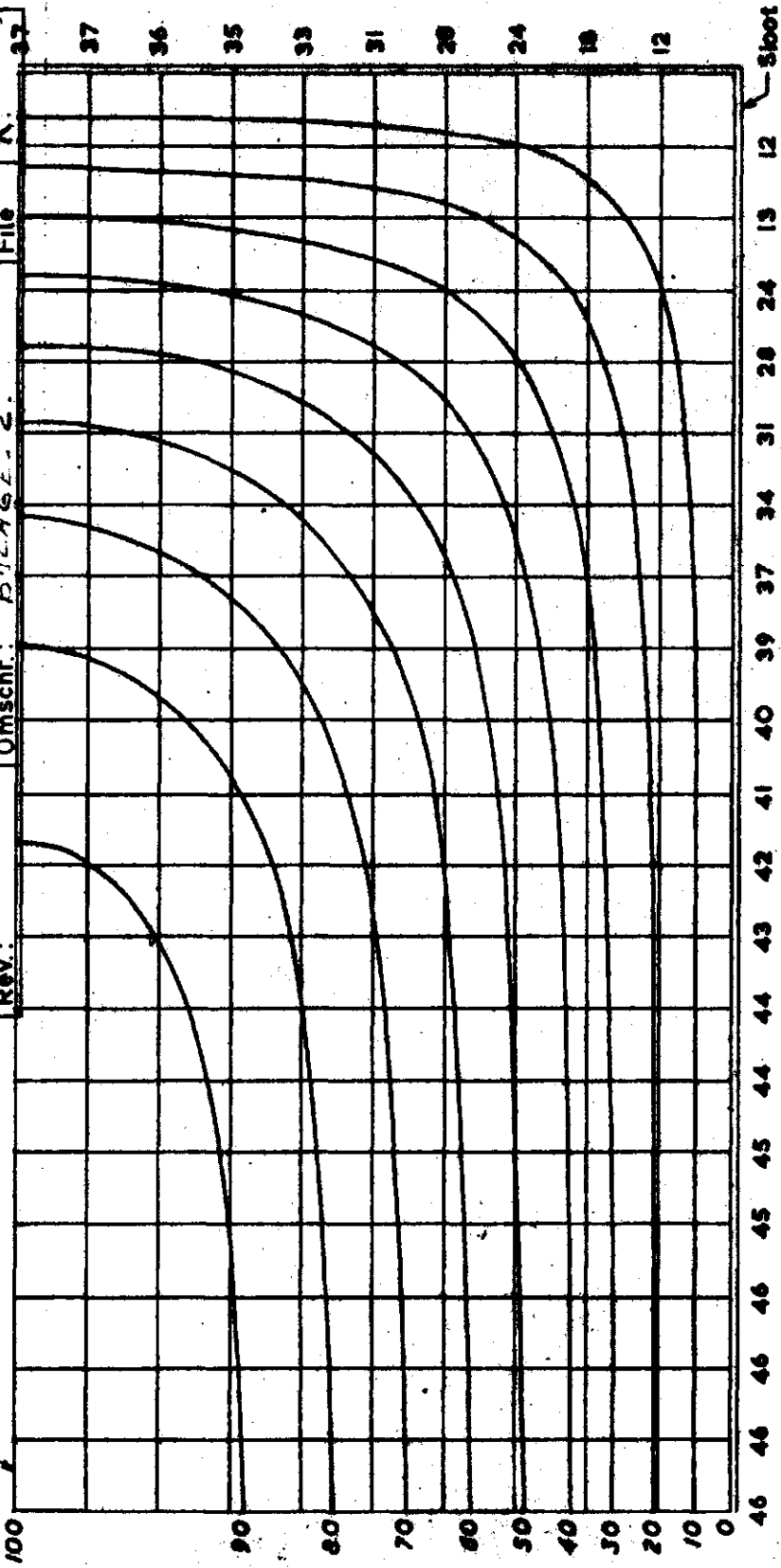
Blad - van.	Maten:
Rev.:	Omschr.: BILANSE-2.

Nota - Nr. 5

LANDBOUWHOGESCHOOL

HYDRAULICA LABORATORIUM

Symmetrieliijn

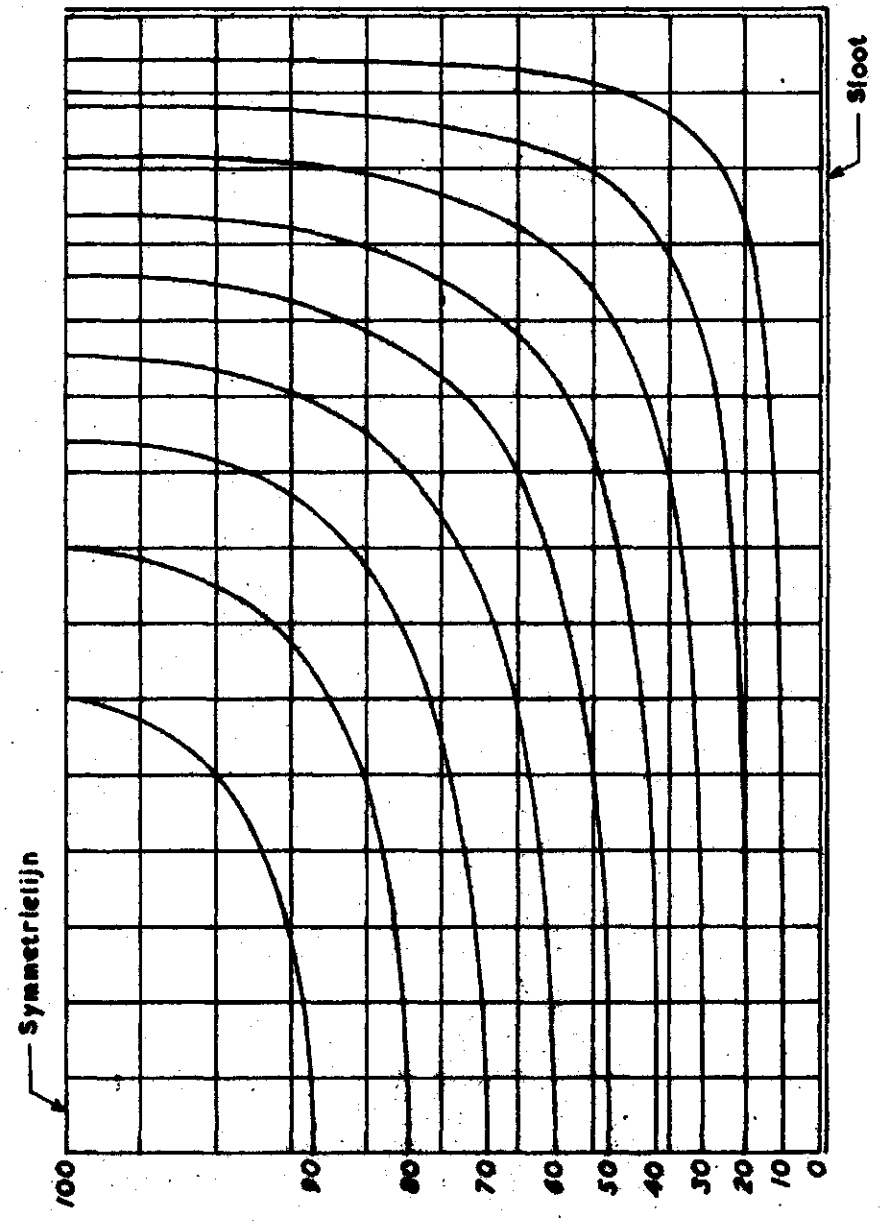


90 RELATIEVE HOOGTE VAN DE GRONDWATERSPIEGEL TER PLAATSE BOVEN DE WATERSPIEGEL IN DE SLOTEN.

46 RELATIEVE HOEVEELHEID WATER DIE PER STREKENDE METER SLOOTWAND UIT DE KAVEL IN DE SLOOT STROOMT.

No. 65-4-24		D.D. 1965		Project 65-2		Gez.		Maten:		Omschr.: BULAGE 3		Rev:
No. 65-4-24		D.D. 1965		Project 65-2		Gez.		Maten:		Omschr.: BULAGE 3		Bid - van:
No. 65-4-24		D.D. 1965		Project 65-2		Gez.		Maten:		Omschr.: BULAGE 3		Schaal
No. 65-4-24		D.D. 1965		Project 65-2		Gez.		Maten:		Omschr.: BULAGE 3		File K

BULAGE 3



100 RELATIEVE HOOGTE VAN DE GRONDWATERSPIEGEL TER PLAATSE BOVEN DE WATERSPIEGEL IN DE SLOTEN.