

NN31545.1466

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

HYDROLOGISCHE EN GRONDMECHANISCHE GEVOLGEN
VAN POLDERPEILVERLAGING
(TOEPASSING VAN DE PROGRAMMA'S STAT,
(TDSATU EN ZETTING)

ir. D. Boels

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een
eenvoudige weergave van cijferreelsen, 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

19 DEC. 1983



1. INLEIDING

In opdracht van de Landinrichtingsdienst te Utrecht en de Provincie Noord-Holland heeft het ICW een onderzoek ingesteld naar de gevolgen van polderpeilverlagingen.

De strekking van de opdracht is een methode te ontwikkelen met behulp waarvan eventuele schadelijke gevolgen van polderpeilverlaging voor gebouwen kunnen worden gekwantificeerd. Effecten van tegenmaatregelen, die liggen in de waterhuishoudkundige sfeer, moeten op hun effect en doelmatigheid kunnen worden getoetst.

De opdracht is geplitst in twee onderdelen. Het ene behelst het ontwikkelen van modellen waarmee a) de verandering kan worden berekend van de drukhoogteverdeling in de diepgelegen watervoerende laag onder het pakket met samendrukbare lagen en b) de verandering kan worden berekend in het verloop van de grondwaterspiegel in stedelijke gebieden. Dit onderdeel is uitgevoerd door het ICW te Wageningen. Het tweede deel van de opdracht houdt in het ontwikkelen van een methode om schade aan gebouwen te kwantificeren, die ontstaat door veranderingen in de hydrologische situatie. Dit deel, is uitgevoerd door het ABT te Velp. De modellen die door het ICW zijn ontwikkeld zijn beschreven door STEENBRUGGEN (1983) en BOELS (1983). De bedoeling van deze nota is de toepassing van deze modellen te illustreren aan het studie-object Broek in Waterland.

2. OPZET

Schade aan gebouwen kan ontstaan door zakking van gebouwen. Zakking kan twee oorzaken hebben. De ene is dat door het samendrukken van bodemlagen funderingen zakken. Ongelijkmatige zakking veroorzaakt dan schade aan het gebouw. Nodig voor de berekening van deze zakking is kennis van de huidige hydrologische situatie (gemiddelde grondwaterstand, waterspanning onder het pakket met samendrukbare bodemlagen) en de veranderingen daarin door polderpeilverlaging.

Een tweede oorzaak van schade is (ongelijkmatige) gebouwzakking door draagkrachtsverlies van houten funderingselementen, die is veroorzaakt door houtrot. Houtrot ontstaat wanneer houten funderingselementen boven de grondwaterspiegel komen te liggen. Al aanwezige houtrot wordt versneld wanneer de houten funderingselementen gedurende relatief langere tijd boven de grondwaterspiegel komen te liggen.

Het voorspellen van veranderingen in de houtrotcondities vereist kennis van het verloop van de grondwaterspiegel in de huidige situatie en na polderpeilverlaging.

Gebruik van modellen om de hiervoor omschreven hydrologische veranderingen te benaderen, is alleen gerechtvaardigd wanneer het model waar is. Dit houdt in dat berekende veranderingen ook in werkelijkheid zouden moeten optreden. Zekerheid hierover kan slechts worden verkregen wanneer modeluitkomsten getoetst kunnen worden aan veldmetingen.

Aangenomen mag worden dat een model voldoende waar is wanneer de huidige waterspanningsverdeling in het diepgelegen watervoerend pakket op grond van de heersende randvoorwaarden en geohydrologische eigenschappen van de bodem, voldoende nauwkeurig wordt berekend (model Steenbruggen) of dat het huidig verloop van de grondwaterstand voldoende nauwkeurig wordt berekend (model Boels).

De noodzakelijke gegevens voor het gebruik van de model zijn weergegeven in tabel 1.

De benodigde informatie over de geologische opbouw etc. van het studiegebied is in voldoende mate aanwezig. Deze kwamen beschikbaar in het onderzoek naar kwaliteit en kwantiteit van grond en oppervlaktewater in Noord-Holland en het Markerwaard onderzoek.

Tabel 1. Gegevens voor gebruik van modellen

Berekening	Benodigde gegevens	Bron
Verandering stijghoogte v.h. diepte grondwater (model Steenbruggen)	- geologische opbouw	Rijks Geologische Dienst, ICW
	- hydrologische eigenschappen	Rijkswaterstaat, Lelystad
	- stijghoogteverdeling in diepe pakketten	ICW
	- kwel/wegzijgingssituatie	
	- huidige/toekomstige polderpeilen	Waterschap De Waterlanden
Verandering grondwaterregime in stedelijk en landelijk gebied (model Boels)	- hoogte (punten) kaart	ICW
	- bodemopbouw, diep en ondiep	ICW/Heidemij
	- hydrologische eigenschappen + vochtretentiecurven en capillair geleidingsvermogen	ICW
	- grondwaterstandsverloop	ICW
	- slotenkaart + peilen	Techn. Dienst Kring Monnickendam, Watersch. De Waterlanden, ICW
	- huisnummerkaart + wegenplan	Techn. Dienst Kring Monnickendam
	- neerslag + open panverdamping per decade	KNMI, ICW
	- bewortelingsdiepte van de begroeiing	ICW

Informatie over locale hydrologische omstandigheden in Broek in Waterland, bodemopbouw en hoogteligging etc. was niet aanwezig. Deze is verkregen door het opnemen van grondwaterstanden in een groot aantal peilbuizen, hoogtemeting en boorbeschrijvingen ter plaatse van de peilbuizen. De modellen worden getoetst aan de metingen.

3. RESULTATEN VELDONDERZOEK BROEK IN WATERLAND

3.1. Bodemgesteldheid

De situering van de peilbuizen en de ter plaatse gemeten maaiveldhoogte is in fig. 1 weergegeven. Eveneens is in deze figuur het peil in de open waterlopen rond Broek in Waterland weergegeven.

Van een aantal raaien is de bodemopbouw schematisch weergegeven in de fig. 2A tot en met D. Het profiel lijkt oorspronkelijk te zijn opgebouwd uit veen aan het maaiveld, liggend op een kleiïge laag van ca. 0,3-0,5 m. Onder deze kleiïge laag wordt veen aangetroffen.

De veenlaag aan het maaiveld is verdwenen in het onderbemalingsgebied ten noorden van Broek (meetpunten 41 t/m 43).

In de droogmakerij Broekmeer (meetpunt 31, 32) is ook het veen onder de kleilaag verdwenen. Ter plaatse van de bebouwing is het veen vergraven, afgevoerd of gemengd met aangevoerde grond en puin. Zandophogingen voor dorpsuitbreiding komt voor ten noorden van de oude bebouwingen (meetpunten 22, 23, 27, 28, 38, 36 t/m 40, 67 t/m 69).

3.2. Freatisch grondwaterregime

Uit het gemeten verloop van de grondwaterstanden is de gemiddeld grondwaterstanden berekend. In fig. 3 zijn deze weergegeven. De invloed van de diepere peilen op de gemiddelde grondwaterstand is hieruit duidelijk af te leiden: gemiddeld relatief hoge grondwaterstanden langs de waterlopen met Waterlandspeil (-1,49 m NAP), diepere grondwaterstanden naarmate de afstand tot de waterlopen met hoog peil toeneemt en die tot waterlopen met lager peil kleiner wordt.

De grondwaterstand op 31 maart 1982 is in fig. 4 weergegeven. Uit het verloop van de lijnen van gelijke grondwaterstand blijkt duidelijk het effect van de drainerende werking van de sloten met dieper

I N H O U D

	Blz.
1. INLEIDING	1
2. OPZET	2
3. RESULTATEN VELDONDERZOEK BROEK IN WATERLAND	4
3.1. Bodemgesteldheid	4
3.2. Freatisch grondwaterregime	4
4. TOEPASSING VAN HET PROGRAMMA TDSATU	11
4.1. Keuze van het representatief dwarsprofiel	11
4.2. Invoergegevens	13
4.2.1. Schematisering van het diepe profiel	13
4.2.2. Slootweerstand	13
4.2.3. Opdeling in knooppunten, verharde oppervlakten stijghoogten diepe grondwater	14
4.2.4. Eigenschappen bodemlagen	14
4.3. Gebruik programma's, ijkresultaten	16
4.3.1. Beschrijving profielen	16
4.3.2. Het aanmaken van files met verdampingsgegevens	16
4.3.3. Invoeren gegevens dwarsdoorsnede	16
4.3.4. Het werken met het programma TDSATU	18
4.3.5. Opmerking met betrekking tot gebruik TDSATU	20
5. EFFECT VAN POLDERPEILVERLAGING OP HET GRONDWATERREGIME	23
6. HET EFFECT VAN POLDERPEILVERLAGING OP DE STIJGHOOGTE VAN HET DIEPE GRONDWATER	27
6.1. Geologische opbouw	27
6.2. Schematisering gebied	32
6.3. De hydrologische eigenschappen	34
6.4. De huidige hydrologische gesteldheid	34
6.5. Daling waterspanning onder afdekkend pakket	36

	Blz.
7. BEREKENING ZAKKINGSSNELHEID	40
7.1. Inleiding	40
7.2. Methode	40
7.3. Programma ZETTING	42
7.4. Resultaten	44
8. SAMENVATTENDE CONCLUSIES	47
8.1. Ten aanzien van de daling van de stijghoogte van het diepe grondwater	47
8.2. Ten aanzien van de kans op houtrot	47
8.3. Ten aanzien van zettingssnelheden	47
LITERATUUR	49

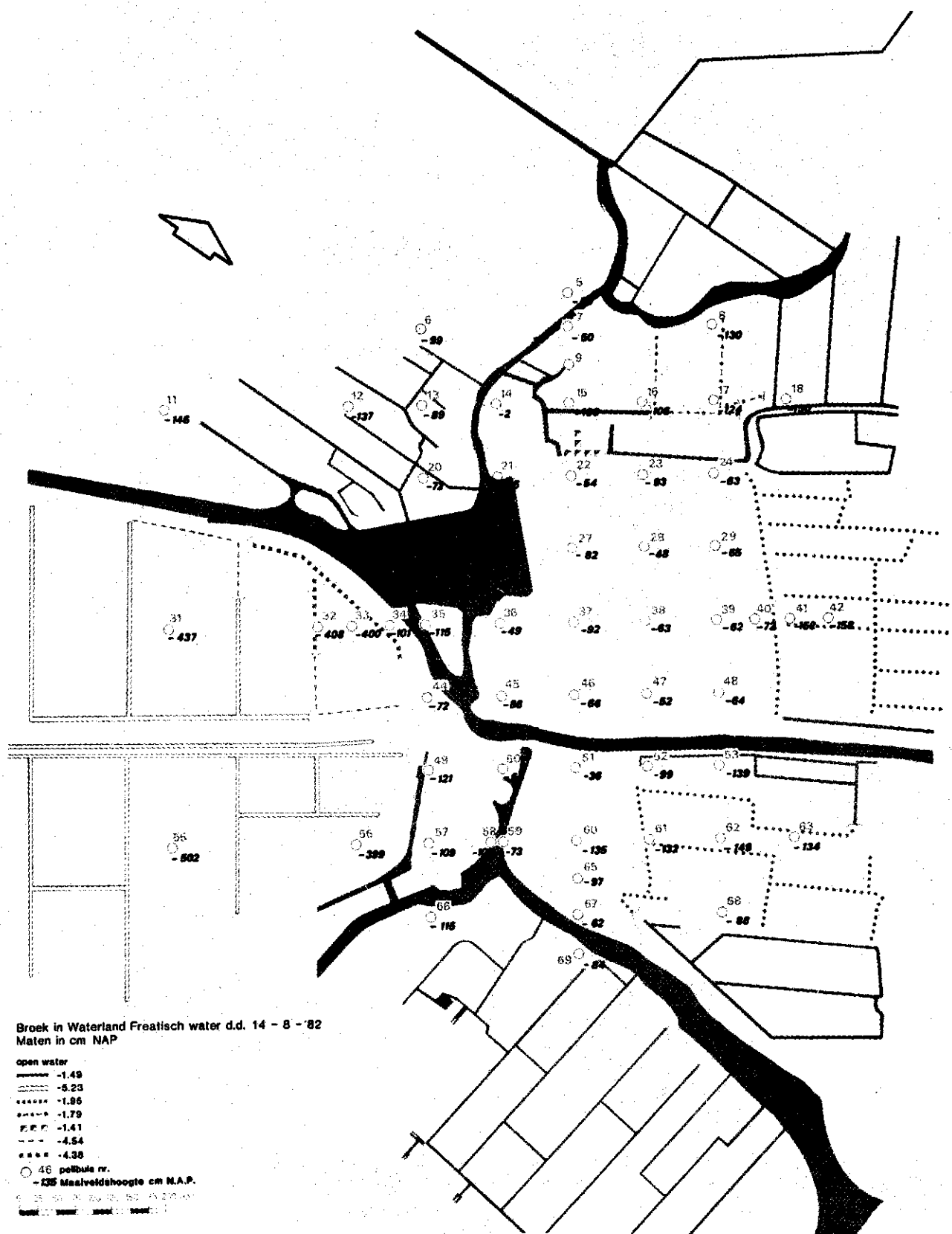


Fig. 1. Situering peilbuizen, maaiveldhoogte, slootpeilen

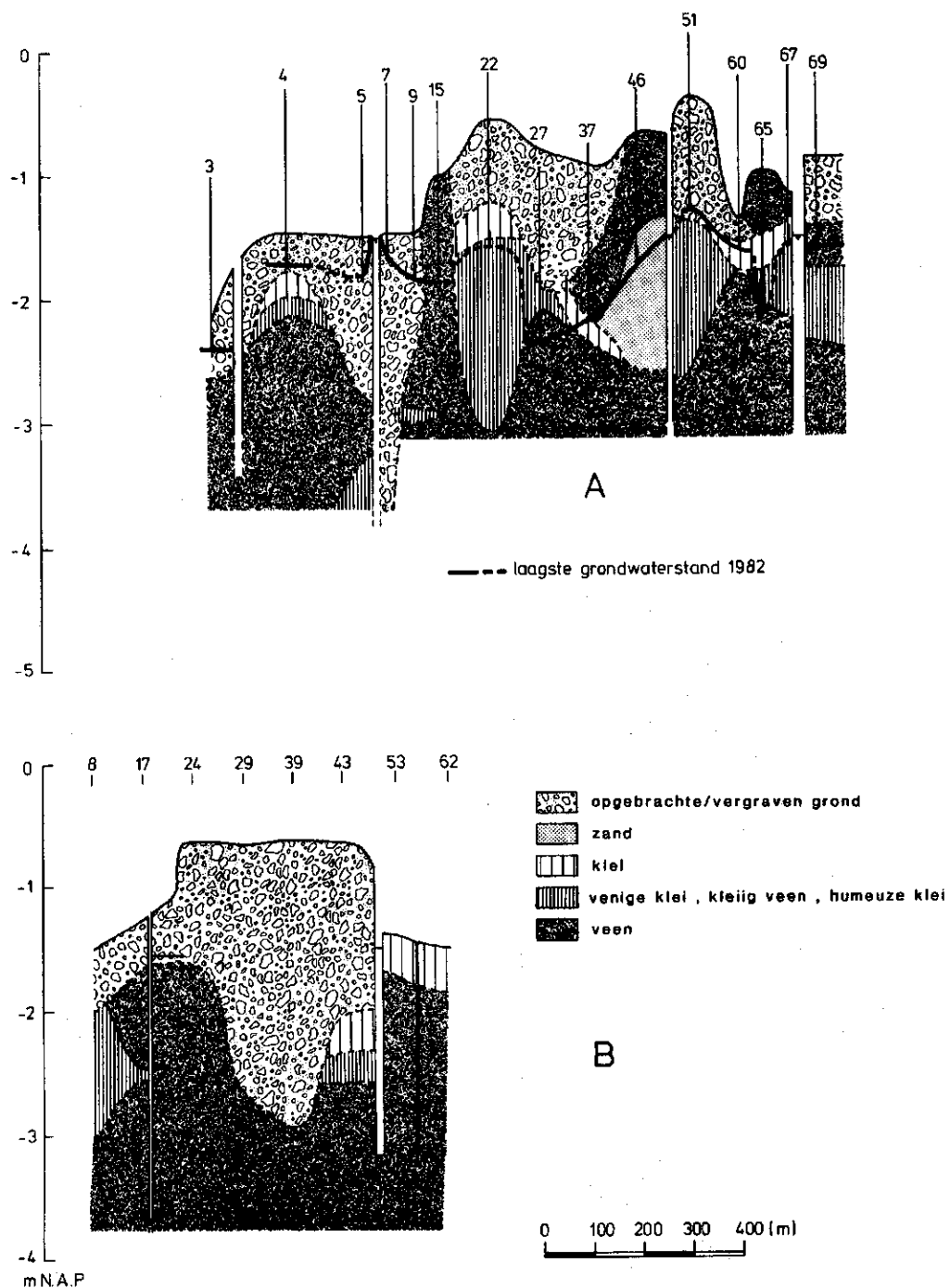
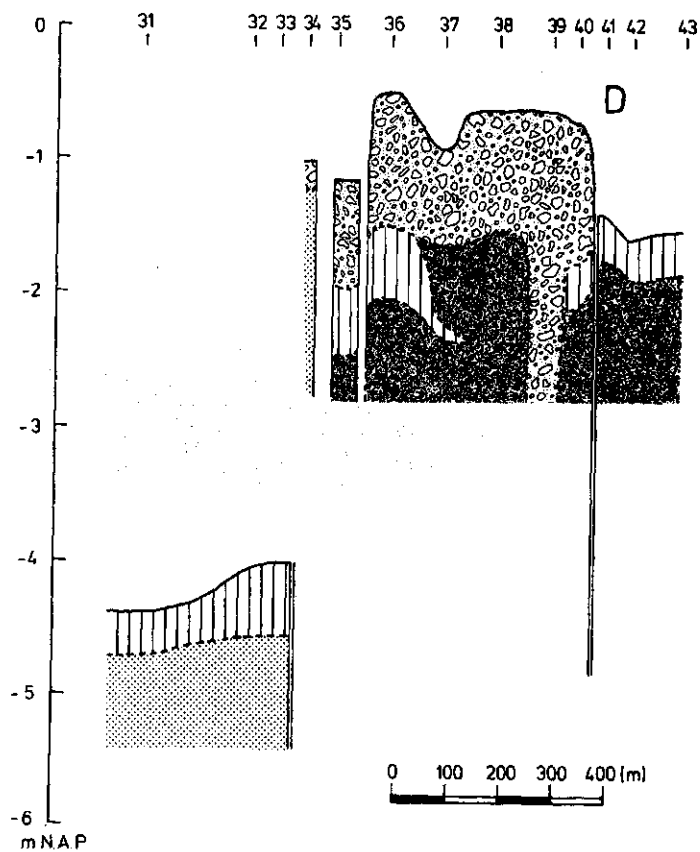
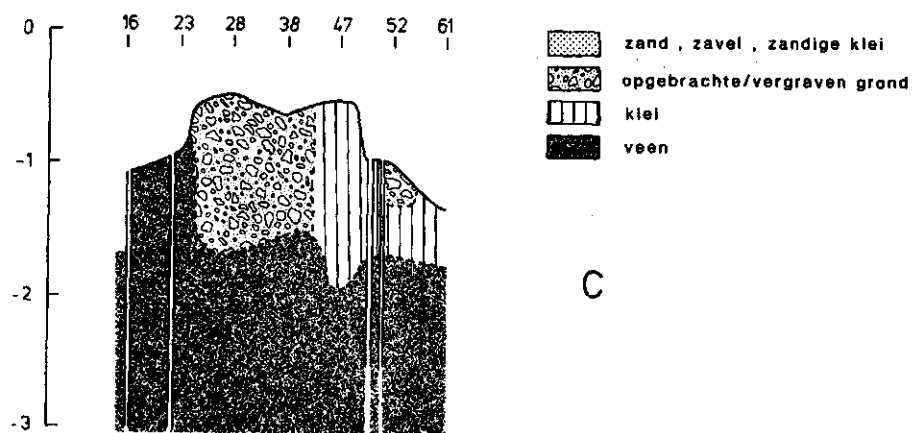


Fig. 2. Bodemopbouw in Broek in Waterland

A- meetpunt 3-69

B- meetpunt 8-62



C- meetpunt 16-61

D- meetpunt 31-43

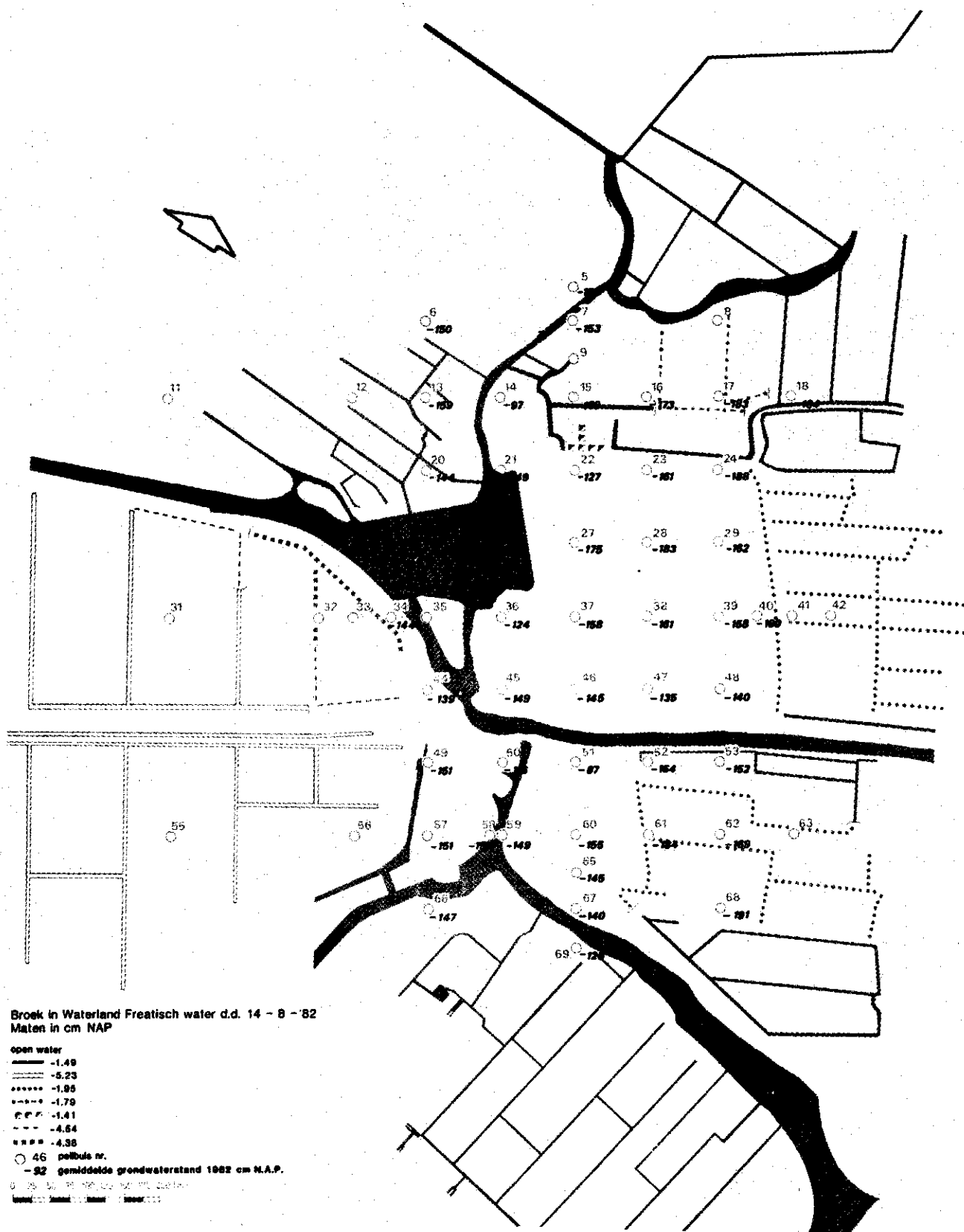


Fig. 3. Gemiddelde grondwaterstanden 1982

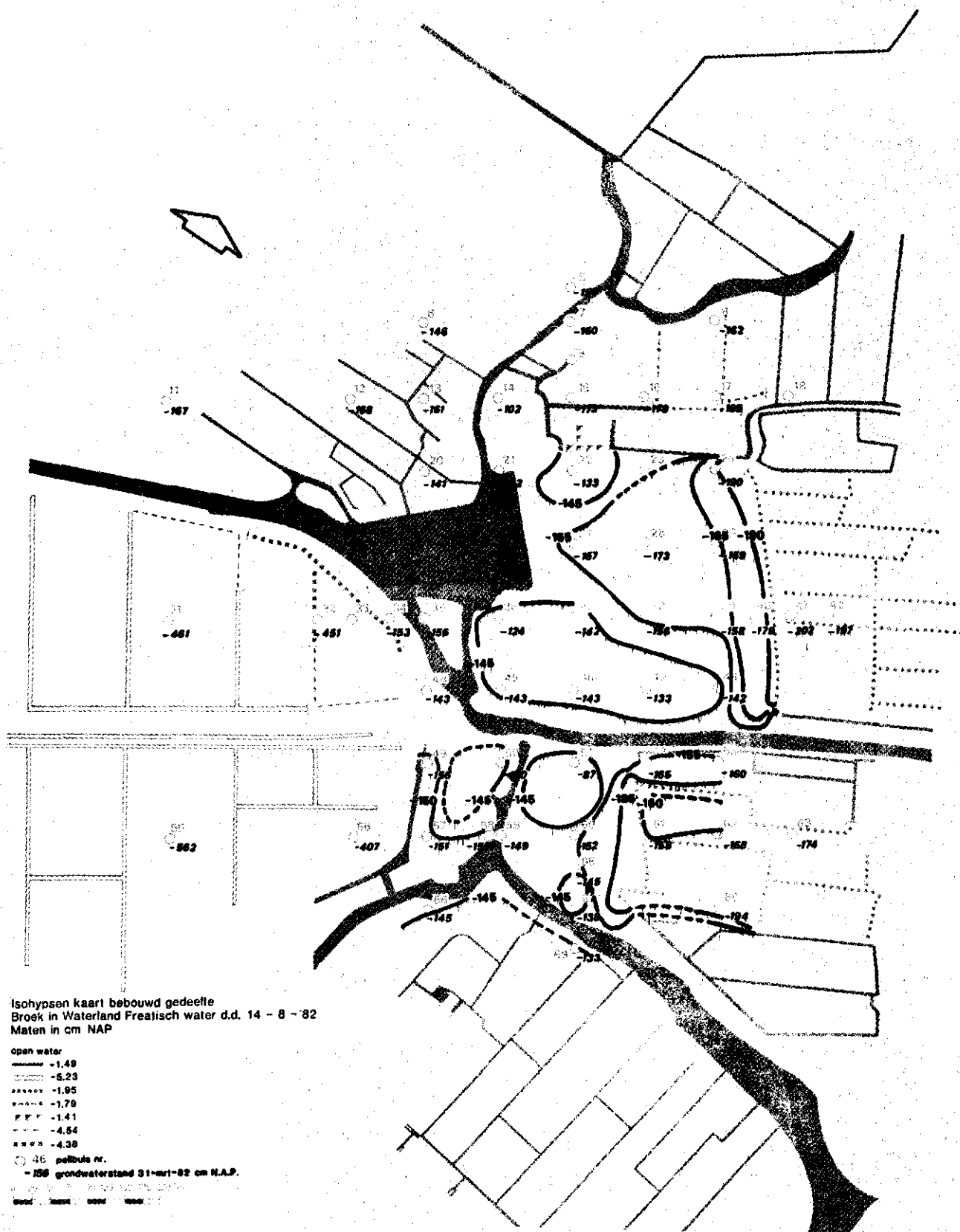


Fig. 4, Grondwaterstand op 31 maart 1982

peil dan -1,49 m NAP. De gradiënt in de richting van die sloten duidt hier op. In de dorpskern en in de bebouwing ten oosten van deze kern is de hier gesignaleerde drainerende werking duidelijk.

De diepste grondwaterstanden in 1982 (fig. 5) duiden eveneens op de invloed van slootpeilen. De invloed van de iets hogere bebouwingsdichtheid in het oostelijk dorpsgedeelte verklaart hier waarschijnlijk de geringere grondwaterdiepte dan in de dorpskern. Immers grondwaterstands-daling treedt op wanneer de verdamping de neerslag overtreft. Maximale verdamping treedt op indien de bodem volledig is begroeid. Bebouwing en verharde oppervlakten verminderen de verdampingssom. Derhalve is de vochtonttrekking geringer en daardoor de grondwaterstands-daling geringer.

4. TOEPASSING VAN HET PROGRAMMA TDSATU

4.1. Keuze van het representatief dwarsprofiel

Gezocht is naar een dwarsdoorsnede over de dorpskern van Broek in Waterland, waar effecten van peilverlagingen het grootst kunnen zijn. Verwacht mag worden dat daar de grootste effecten zullen optreden waar nu al een duidelijke invloed is van een sloot met diep peil, waar het verhard oppervlak niet al te groot is, er nu al diepe grondwaterstanden voorkomen en waar in de ondergrond grote doorlatendheden mogen worden verwacht (in ophoogmateriaal). Tevens moeten er op de raai meerdere meetpunten liggen, waaraan de betrouwbaarheid van het model kan worden getoetst. De raai moet tevens samenvallen met een stroomlijn. De raai van of de haven over de dorpskern voldoet aan deze criteria (zie fig. 4).

In hoofdlijnen is de bodemopbouw gelijk aan die in de raai 31-43 (zie fig. 2D). Het ophoog/vergraven bodemmateriaal vlak bij de haven bevat wat puin, zand en veenachtige materiaal. Het wordt geïnterpreteerd als humeus zand. Het ophoogmateriaal onder de noordelijke nieuwbouw is spuitzand en wordt als humusarm zand geïnterpreteerd. Kleilagen onder het ophoogmateriaal komt plaatselijk voor (zie fig. 6).

De bodemopbouw onder de ophoging is in tabel 2 weergegeven.

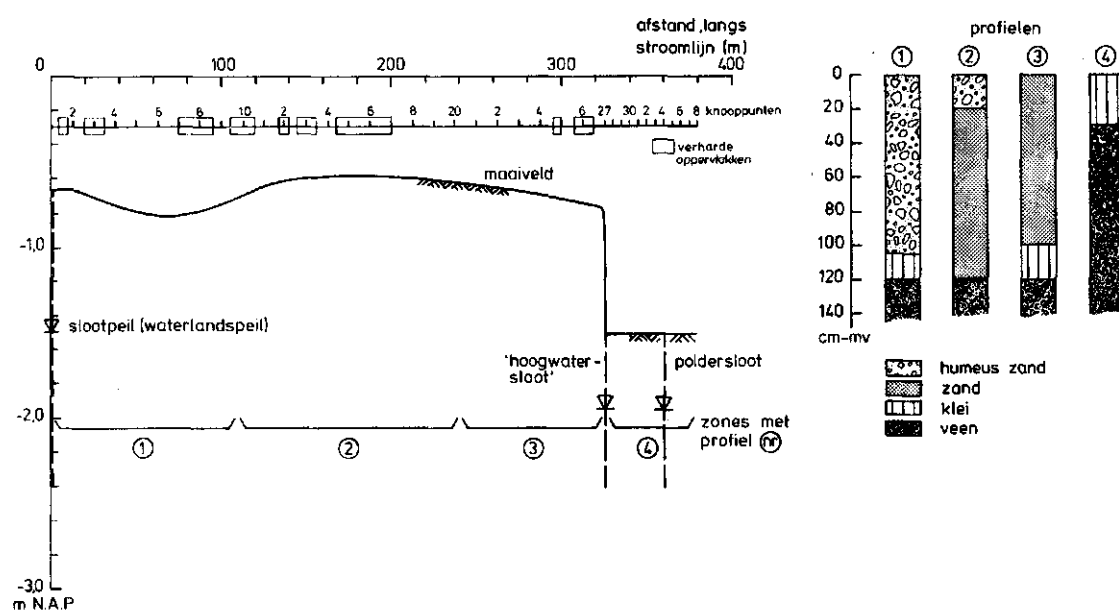


Fig. 6. Dwarsdoorsnede representatieve raai, maaiveldhoogte, bodemopbouw, knooppunten en verharde oppervlakten

Tabel 2. Bodemopbouw onder ophoging (bron: Heidemij)

Grondsoort	Dikte (m)	Doorlatendheid (m/d)	
		verticaal	horizontaal
Veen (opp)	3,0	0,087	0,06-2,0
Klei	2,7	0,0007	-
Lichte zavel	1,3	0,0035	-
Holocene zand	5,0	0,035	-
Klei (laag v. Velsen)	1,5	0,00035	-
Basis veen	0,25	0,0007	-
Pleistoceen zand			

4.2. Invoergegevens

4.2.1. Schematisering van het diepe profiel

Het diepe profiel zoals in tabel 1 is beschreven moet worden opgedeeld in een drietal lagen:

- een afdekkende weerstandslaag waarin de stroming verticaal is;
- een watervoerende laag met horizontale stroming;
- een tweede weerstandslaag met verticale stroming.

Verwacht mag worden dat de horizontale stroming zich zeker boven de eerste kleilaag zal manifesteren. De weerstand van de onderste weerstandslaag, C_2 , is dan:

$$C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{d_i}{K_i} \approx 9000 \text{ etm, zie tabel 2}$$

Het doorlaatvermogen van de bovenste veenlaag met daarop het ophoogmateriaal kan nogal uiteenlopen. Is de verticale weerstand van dit veen $0,087 \text{ m.d}^{-1}$, de horizontale doorlatendheid fluctueert volgens VOS (1983) van $0,06$ - $0,98$ ($\pm 0,96$) m.d^{-1} .

Ophoog zand kan een grote doorlatendheid hebben. Waar geen ophoging is, wordt een doorlaatvermogen aangehouden van ca. $1,5 \text{ m}^2 \cdot \text{etm}^{-1}$. Is er wel ophoogmateriaal of vergraven grond aanwezig, wordt een doorlaatvermogen van $6,0 \text{ m}^2 \cdot \text{etm}^{-1}$ aangehouden.

De weerstand van de bovenste afdeklaag varieert in werkelijkheid en is afhankelijk van de grondwaterstand. In het model wordt een waarde aangehouden: 35 etm in het bebouwde gebied en 350 etm waar een kleilaag op het oppervlakte-veen ligt en in de onderbemaling.

4.2.2. Slootweerstand

Hoewel schattingen van slootweerstand kunnen worden gemaakt (zie BOELS, 1983), zijn deze door een proces van trial and error benaderd. Gebleken is dat de weerstand van de bodem van de haven groot is, die van de sloot ten noorden van de dorpskern relatief gering en die van de overige poldersloten weer hoog: 20,0; 6,5 en 65 etm.m^{-1} respectievelijk.

4.2.3. Opdeling in knooppunten, verharde oppervlakte stijghoogten diepe grondwater

Broek in Waterland ligt aan de rand van de Broekerveer, met een polderpeil van ca. -5,4 m-NAP. Vanuit de omgeving stroomt water naar die polder, wat duidelijk is af te leiden uit de isohypsen (fig. 13). Een grote gradiënt in de stijghoogte van het diepe grondwater wordt onder Broek in Waterland aangetroffen. De stijghoogte varieert van ca. -2,60 m-NAP tot ca. 3,0 m-NAP. Hiermee is rekening gehouden in de invoergegevens.

De verharde oppervlakten in Broek in Waterland zijn ontleend aan huisnummerkaarten en plaatselijk aan een verticaal genomen luchtfoto van Broek. Het aantal knooppunten is zodanig gekozen, dat de afstand tussen de knooppunten ongeveer gelijk is aan de lengte van de gemiddelde bebouwing op en langs de raai (zie fig. 6).

4.2.4. Eigenschappen bodemlagen

Van de onderscheiden bodemlagen in het ondiepe profiel dienen bekend te zijn: de relaties tussen vochtspanning en luchtgehalte en vochtspanning en onverzadigde doorlatendheid. Van de onderscheiden bodemlagen zijn deze gegevens verstrekt door BEUVING (1983).

In tabel 3 tot en met 8 staan de gegevens vermeld.

Tabel 3. Grondsoort: humeus zand

Code : 6

ψ	θ	θ_L	$K(\text{cm.d}^{-1})$
3,6	0,451	0,075	18,0
22,8	0,421	0,105	12,2
37,0	0,381	0,145	8,2
60,0	0,361	0,165	4,95
82,8	0,341	0,185	3,01
107,0	0,323	0,203	2,23
132,5	0,303	0,223	1,49
190,0	0,283	0,245	0,576
287,5	0,265	0,261	0,188
469,0	0,249	0,277	0,047
745,5	0,232	0,294	0,015
1 000,0		0,30	0,0089
5 000,0		0,34	0,0011
10 000,0		0,355	0,000562
16 000,0		0,357	0,000556

Tabel 4. Grondsoort: humus zand

Code : 1

ψ	θ	θ_L	$K(\text{cm.d}^{-1})$
8,8	0,311	0,029	49,0
63,8	0,287	0,053	4,95
78,8	0,259	0,081	3,02
88,8	0,237	0,103	2,02
97,5	0,214	0,126	1,82
112,5	0,193	0,147	1,0
132,0	0,168	0,172	0,549
151,5	0,147	0,193	0,342
177,5	0,114	0,226	0,122
232,5	0,083	0,257	0,0473
892,5	0,071	0,269	0,0050
1 000,0		0,272	0,0048
5 623		0,285	0,00158
10 000		0,290	0,00112
16 000		0,295	0,00079

Tabel 5. Grondsoort: klei, humeus

Code : 38

ψ	θ	θ_L	$K(\text{cm.d}^{-1})$
3,16	0,645	0,005	1,028
10	0,635	0,0150	0,933
31,6	0,625	0,025	0,087
56,2	0,610	0,040	0,018
100,0	0,600	0,050	0,005
177,0	0,58	0,070	0,0015
316,0	0,56	0,090	0,00074
562,3	0,54	0,1100	0,00040
794	0,525	0,125	0,00028
1 000	0,518	0,132	0,00022
1 778	0,490	0,160	0,00012
3 162	0,465	0,185	0,00007
5 623	0,435	0,215	0,000035
7 943	0,425	0,225	0,000025
10 000	0,41	0,240	0,000020
15 849	0,39	0,260	0,000013

Tabel 6. Grondsoort: veraard veen

Code : 41

ψ	θ	θ_L	$K(\text{cm.d}^{-1})$
3,2	0,82	0,02	2,5
10,0	0,805	0,035	1,0
31,6	0,785	0,055	0,288
56,2	0,765	0,075	0,100
100,0	0,737	0,103	0,027
177,0	0,700	0,140	0,0081
316,0	0,66	0,180	0,0030
562	0,60	0,240	0,0014
794	0,525	0,315	0,0012
1 000	0,480	0,360	0,0010
1 778	0,400	0,440	0,00079
3 162	0,350	0,490	0,00060
5 623	0,315	0,525	0,00047
7 943	0,30	0,540	0,00040
10 000	0,285	0,555	0,00042
15 849	0,267	0,573	0,00035

Tabel 7. Grondsoort: veen

Code : 42

ψ	θ	θ_L	$K(\text{cm.d}^{-1})$
1	0,88	0,0	31,6
3,16	0,86	0,02	6,3
10	0,83	0,05	1,82
31,6	0,775	0,105	0,27
56	0,75	0,130	0,072
100	0,71	0,170	0,022
177	0,66	0,220	0,0063
316	0,60	0,280	0,0017
562	0,535	0,345	0,00017
794	0,495	0,385	0,000017
1 000	0,465	0,415	0,000002
1 778	0,40	0,480	0,000001
3 162	0,335	0,545	0,000001
5 623	0,290	0,59	0,000001
7 943	0,275	0,605	0,000001
10 000	0,257	0,623	0,000001
15 849	0,238	0,642	0,000001

Tabel 8. Grondsoort: zeer lichte zavel

Code : 9

ψ	θ	θ_L	$K(\text{cm.d}^{-1})$
1	0,435	0,005	3,50
3,16	0,43	0,01	3,146
10	0,42	0,02	2,59
32	0,41	0,03	1,262
56	0,40	0,04	0,3565
100	0,38	0,06	0,0937
177	0,31	0,13	0,00614
316	0,26	0,18	0,00085
562	0,22	0,22	0,00039
794	0,205	0,235	0,00030
1 000	0,19	0,25	0,00022
1 778	0,17	0,27	0,00014
3 162	0,145	0,295	0,000078
5 623	0,125	0,315	0,000045
7 943	0,114	0,326	0,000032
10 000	0,110	0,330	0,000027
15 849	0,100	0,340	0,000019

ψ - vochtspanning mbar_{-3}
 θ - vochtgehalte $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$
 θ_L - luchtgehalte $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$
 K - onverzadigde doorlatendheid cm.d^{-1}

4.3. Gebruik programma's, ijkresultaten

4.3.1. Beschrijving profielen

In de dwarsdoorsnede worden een aantal profielen onderscheiden.
Met het programma RYTTAB worden de gegeven ingevoerd:

AANTAL PROFIEL TYPEN 4

Tabel 9. Omschrijving standaardprofielen

Profiel nr	Bew. diepte (cm-mv)	Dikte		Grondsoort		
		laag 1 (cm)	laag 2 (cm)	laag 1 (cm)	laag 2 (cm)	ondergrond
1	30.	105.	15.	6	38	42
2	30.	20.	100.	6	1	42
3	30.	100.	20.	1	38	42
4	30.	30.	0	38	0	42

4.3.2. Het aanmaken van files met verdampingsgegevens

Deze files worden gemaakt door het simpel runnen van het programma EVAPTAB.

4.3.3. Invoeren gegevens dwarsdoorsnede

Gegevens betreffende de dwarsdoorsnede worden met het programma JNPTDS ingevoerd:

- NEERSLAGOVERSCHOT BIJ START, cm/etm: 0,1
- NAAM FILE MET VERDAMPINGSOVERSCHOT : EVAP1.982
- AANTAL SLOTEN: 3

SLOOTNR	SLOOTPEIL m t.o. ref	WEERSTAND etm/m	AFSTAND m	AANTAL INTERVALLEN.
1	-1,49	20,0	0	0
2	-1,95	6,5	325	26
3	-1,95	65,0	360	7

- In tabel 10 staan de gegevens vermeld die nu worden ingevoerd

two-dimensional model -> Raai - invoeren

Tabel 10. Locatie: Broek in Waterland

Knooppunt		Profiel nr	Hoogte mv (m-NAP)	Fractie verh. opp.	Weerstand (etm)		$m^2 kD$ (m ² /etm)	Stijgh. diepe grondw. (m NAP)
van	tot				laag 1	laag 2		
1	1	1	-0,65	0	35	4000	6,0	-3,0
2	2	1	-0,66	0,4	35	4000	6,0	-3,0
3	3	1	-0,70	1,0	35	4000	6,0	-3,0
4	5	1	-0,78	0	35	4000	6,0	-3,0
6	6	1	-0,82	0	35	4000	6,0	-3,0
7	7	1	-0,80	0,5	35	4000	6,0	-3,0
8	8	1	-0,78	1,0	35	4000	6,0	-3,0
9	9	1	-0,75	0,1	35	4000	6,0	-3,0
10	10	2	-0,70	1,0	35	4000	6,0	-3,0
11	11	2	-0,64	0	35	8500	6,0	-2,50
12	12	2	-0,60	0,5	35	8500	6,0	-2,50
13	13	2	-0,60	1,0	35	8500	6,0	-2,50
14	14	2	-0,58	0,3	35	8500	6,0	-2,50
15	16	2	-0,58	1,0	35	8500	6,0	-2,50
17	17	2	-0,58	0,5	35	8500	6,0	-2,50
18	19	2	-0,60	0	35	8500	6,0	-2,50
20	22	3	-0,64	0	350	8500	6,0	-2,50
23	24	3	-0,68	0	350	8500	1,5	-2,50
25	25	3	-0,72	0,3	350	8500	1,5	-2,50
26	26	3	-0,75	1,0	350	8500	1,5	-2,50
27	28	4	-1,52	0,0	350	8500	1,5	-2,50

- NAAM FILE MET INVOERGEGEVENS: BROEK2.82

Deze naam kan vrij worden gekozen. Hier duidt de naam op:

- a. het dorp Broek in Waterland;
- b. op raainummer 2 en;
- c. het jaar 1982.

Er zijn nu voldoende invoergegevens. Nadat het programma stopt, wordt een file aangemaakt van de naam NAMEIN.PUT waarop de naam (of namen) van de files worden geschreven die de invoergegevens bevatten, zoals zojuist zijn omschreven. In dit geval bevat de file NAMEIN.PUT de naam BROEK2.82

4.3.4. Het werken met het programma TDSATU

Zonder verdere handelingen kan het programma TDSATU worden gerund. De berekende grondwaterstanden in elk knooppunt op elk tijdstip, worden geschreven op de file GRWTAB. ext. (b.v. extis 82).

Van deze file wordt het verloop van de grondwaterstand in de controlepunten gelezen.

In de fig. 7A tot en met C is het gemeten en berekend verloop weergegeven. De overeenstemming is redelijk. Gebleken is, de weerstand van de tweede weerstandslaag langs de haven verlaagd moest worden tot 4000 etm om een acceptabel verloop van de grondwaterstand daar te simuleren.

In het controle punt C (fig. 7C) blijken de berekende grondwaterstanden dieper te gaan dan de gemeten. Mogelijk is de schematisering van het bodemprofiel daar niet geheel juist of bevat het ophoog zand meer slib dan is aangenomen. Ook kan het gesignaleerd besproeien van tuinen effect hebben op het verloop.

Ondanks enige afwijkingen lijken de gegevens voldoende betrouwbaar voor verder gebruik.

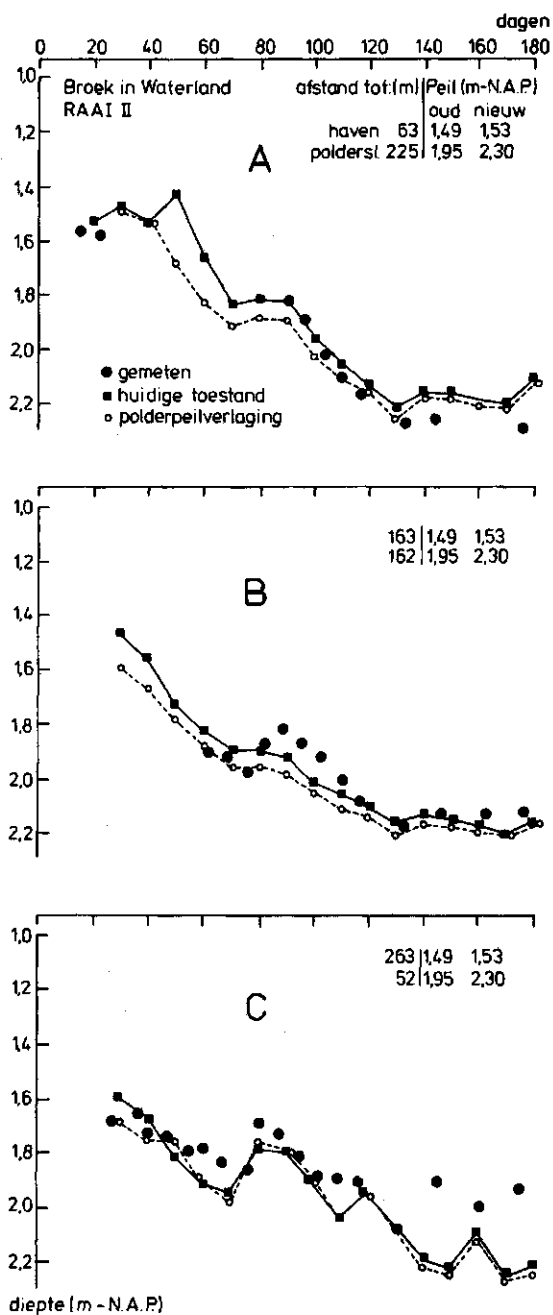


Fig. 7. Gemeten en berekend verloop van de grondwaterspiegel in 1982

A = afstand tot haven 63 m; B = afstand tot haven 163 m;

C = afstand tot haven 263 m

. berekend, bestaande toestand, 1982

o gemeten , 1982

x berekend, na polderpeilverlaging (voorstel)

Tabel 11. Programma's en hun subroutines

Naam programma	Subroutines	Bijzonderheden
RYTTAB	INPUT RIJTEMA UPDAT TABEL	hoofd programma en subroutines op file RYTTAB.FOR
EVAPTAB		Progr. op file EVAPTAB.FOR
JNPTDS	INPUT	hoofd prog. + subr. op file JNPTOS.FOR
TDSATU	INPTAB LEES INIT PRTHWS RDEPOT PREWET UNSAT DETERM SOLVE GRWTAB SEPAGE REWET PARTRD REDEVP MSTRTZ PSIRTZ CAPOPS MSTBAL WATTAB	hoofdprog. op file TDSATU.FOR voor maken van leesbare tabel- len: gebruik file PRTHWS.FOR voor gebruik van prog. FREQNT, moet hier file WRTHWS.FOR worden gebruikt de overige subroutines staan op de gelijknamige files *.FOR
FREQNT		progr. op file FREQNT.FOR

4.3.5. Opmerking met betrekking tot gebruik TDSATU

4.3.5.1. Compileren en linken van de programma's. De noodzakelijk te gebruiken programma's voor de berekening van de daling van de diepste grondwaterstanden en de relatie tussen relatieve aantasting en diepte onder maaiveld zijn vermeld in tabel 11. Gegevens betreffende stijghoogten van het diepe grondwater onder het holocene pakket worden berekend met het programma STAT.

De programma's en hun eventuele subroutines: RYTTAB, EVAPTAB, INPTDS en FREQNT staan alle op een file met de naam gelijk aan die van het hoofdprogramma met de extension .FOR. Het compileren en linken van deze programma's op een VAX/VMS computer gebeurt met de commando's:

FORTRA/NOF77 filenaam (b.v. RYTTAB) LINK filenaam (b.v. RYTTAB).

Van het programma TDSATU staan alle subroutines op aparte files. Deze dienen alle apart te worden vertaald. Om typewerk te besparen zijn hiervoor indirect command files aangemaakt. In de tabellen 12 en 13 staan deze vermeld.

De link commando's zijn eveneens ondergebracht in indirect command files. Deze staan in de tabellen 14 en 15.

Tabel 12. Indirect command
file COMPIL.COM

```
FORTR/NOF77 MSTRTZ
$FORTRA/NOF77 RDEPOT
$FORTRA/NOF77 PREWET
$FORTRA/NOF77 GWTAB
$FORTRA/NOF77 WRTHWS
$FORTRA/NOF77 INPTAB
$FORTRA/NOF77 PSIRTZ
$FORTRA/NOF77 MSTBAL
$FORTRA/NOF77 UNSAT
$FORTRA/NOF77 PARTRD
$FORTRA/NOF77 DETERM
$FORTR/NOF77 INIT
$FORTR/NOF77 SEPAGE
$FORTR/NOF77 LEES
$FORTR/NOF77 WATTAB
$FORTR/NOF77 TDSATU
$FORTR/NOF77 CAPOPS
$FORTR/NOF77 REDEVP
$FORTR/NOF77 REWET
$FORTR/NOF77 SOLVE
```

Tabel 13. Indirect command
FILE COMPIL1.COM

```
FORTR/NOF77 MSTRTZ
$FORTRA/NOF77 RDEPOT
$FORTRA/NOF77 PREWET
$FORTRA/NOF77 GWTAB
$FORTRA/NOF77 PRTHWS
$FORTRA/NOF77 INPTAB
$FORTRA/NOF77 PSIRTZ
$FORTRA/NOF77 MSTBAL
$FORTRA/NOF77 UNSAT
$FORTRA/NOF77 PARTRD
$FORTRA/NOF77 DETERM
$FORTR/NOF77 INIT
$FORTR/NOF77 SEPAGE
$FORTR/NOF77 LEES
$FORTR/NOF77 WATTAB
$FORTR/NOF77 TDSATU
$FORTR/NOF77 CAPOPS
$FORTR/NOF77 REDEVP
$FORTR/NOF77 REWET
$FORTR/NOF77 SOLVE
```

Tabel 14. Indirect command file LNKBLS.COM

```
$LINK TDSATU,MSTRTZ,GWTAB,PRTHWS,INPTAB,PSIRTZ,MSTBAL,UNSAT,RDEPOT-
,PREWET,PARTRD,DETERM,INIT,SEPAGE,LEES,WATTAB,CAPOPS,REDEVP,REWET,SOLVE
```

Tabel 15. Indirect command file LNKBLS1.COM

```
$LINK TDSATU,MSTRTZ,GWTAB,WRTHWS,INPTAB,PSIRTZ,MSTBAL,RDEPOT,UNSAT,-
PREWET,PARTRD,DETERM,INIT,SEPAGE,LEES,WATTAB,CAPOPS,REDEVP,REWET,SOLVE
```

Nu zijn er van het programma TDSATU twee uitvoermogelijkheden. De grondwaterstanden in elk knooppunt kan in een leesbare tabel worden geschreven, of in een minder leesbare vorm. De eerste mogelijkheid wordt gebruikt bij het testen van het model. Eenvoudig is dan de positie van elk knooppunt te vinden, daar van deze de afstand tot het 0-punt is vermeld. Zodra echter het verloop gedurende een reeks van jaren wordt berekend, terwijl voor de interpretatie van dat verloop het programma FREQNT wordt gebruikt, mag de gemakkelijk leesbare vorm niet worden gebruikt.

In het eerste geval wordt een versie van de subroutine PRTHWS gelezen van de file PRTHWS.FOR in het tweede van de file WRTHWS.FOR. Een leesbare uitvoer wordt verkregen met het gebruik van de commando's:

```
COMPIL  
LNKBLS1
```

Een uitvoer, geschikt voor verdere bewerkingen met de commando's:

```
COMPIL  
LNKBLS
```

De uitvoer staat op files met als naam GRWTAB.ext

4.3.5.2. Foutmeldingen, afwijkende procedure. In bepaalde gevallen kan een foutmelding volgen, waarna het programma stopt. Deze meldingen kunnen zijn:

Geen oplossing in DO LOOP 675 subr. UNSAT of een 'floating divide zero' in de subroutine REWET

De oorzaak van de fout is dat tijdens het rekenproces enige instabiliteit optreedt waardoor een zeer grote kwel wordt berekend. Dit euvel kan zich alleen voordoen in knooppunten die grenzen aan een sloot, wanneer de kD-waarde groot is en de weerstand van de eerste weerstandslaag klein.

Vergroting van de weerstand van de eerste weerstandslaag kan het geheel verhelpen.

Wanneer het programma stopt door een foutmelding, moet de laatst aangemaakte file GRWTAB.ext worden geveegd. Immers van niet alle perioden in dat jaar is het grondwaterstandsverloop berekend. De file NAMEOU.TPU wordt eveneens afgesloten.

Na aanpassing van gegevens moet de file NAMEIN.PUT worden aangepast. De namen van input files waarvoor geen volledige tijdreeksen zijn berekend, moet hieruit worden verwijderd. N opnieuw starten van het programma wordt een nieuwe file NAMEOU.TPU aangemaakt met een hogere versienummer.

De namen van de daarna berekende outputfiles worden hierop geschreven.

Voor nu met het programma TREQNT wordt gestart moeten op de laatste versie van NAMEOU.TPU de namen van de outputfiles worden geschreven die voor een foutmelding al waren geschreven op een vorige versie van de file NAMEOU.TPU.

De bewerking van de files gebeurt met de systeem editor.

5. EFFECT VAN POLDERPEILVERLAGING OP HET GRONDWATERREGIME

Het effect van polderpeilverlaging zal in dit verband worden uitgedrukt in:

- a. de verlaging van de diepst voorkomende grondwaterstand
- b. de relatieve tijdsduur dat een grondwaterstand dieper is dan een zekere waarde. Deze tijdsduur is evenredig met de relatieve potentiële aantastingssnelheid van houten funderingselementen.

De indringingssnelheid van de aantasting in hout wordt op 100% gesteld wanneer dit hout nooit onder de grondwaterspiegel staat. Er wordt aangenomen dat het rottingsproces stop zodra hout onder water staat en doorgaat zodra het weer boven de grondwaterspiegel komt. Verder wordt aangenomen dat het rottingsproces zich in een beperkte periode van het jaar manifesteert.

De hierboven omschreven relatie tussen relatieve aantastingssnelheid en diepte onder maaiveld, wordt als gemiddelde relatie voor een reeks van jaren (12 jaren) berekend met het programma FREQNT.

Op elke diepte wordt de tijd gesommeerd dat de grondwaterstand dieper stond dan de beschouwde diepte. Deze som wordt gedeeld door de totale tijd waarover de simulatie heeft plaatsgevonden. Het aldus verkregen quotiënt is de gezochte relatieve aantastingssnelheid.

Voor enkele varianten in de waterhuishouding is deze relatie bepaald (zie tabel 16).

Tabel 16. Varianten waarvoor effect van polderpeilverlaging is berekend

Variant I	Waterlandspeil (m NAP)	Peil hoogwst. (m NAP)	Peil poldersl. (m NAP)
I	-1,49	-1,95	-1,95
II	-1,53	-1,95	-2,30
III	-1,53	-2,30	-2,30
IV	-1,60	-1,95	-2,40
V	-1,70	-1,95	-2,50

Variant I is de huidige situatie, variant II is de toestand over 10 jaar wanneer het waterlandspeil ca. 4 mm per jaar is gedaald, terwijl het peil in de onderbemaling ten noorden van Broek in Waterland met 0,35 m is gedaald, terwijl het peil in de hoogwatersloot (zie fig. 6) is gehandhaafd op het oorspronkelijk peil.

Variant III kent geen maatregelen om eventuele nadelige effecten van verlagingen te compenseren.

Bij de varianten IV en V zijn de peilen in Waterland verlaagd tot respectievelijk -1,60 en -1,70 m NAP, terwijl het peil van de hoogwatersloot is gehandhaafd op -1,95 m NAP. De berekende diepste grondwaterstanden in enkele punten bij de verschillende varianten staan in tabel 17 weergegeven.

Tabel 17. Diepste (berekende) grondwaterstanden onder gebouwen, Broek in Waterland (m NAP)

Afstand tot hoogw.sl. (m)	Variant I	Variant II	Variant III	IV	V
300	-2,17	-2,17	-2,19	2,20	-2,25
215	-2,24 (2,25)*	-2,25	-2,26	-	-
175	-2,26	-2,27	-2,32	-	-
135	-2,23 (2,20)*	-2,24	-2,24	-	-
13	-2,10 (2,10)*	-2,12	-2,32	-2,13	-2,13

*() gemeten waarden

Uit tabel 17 valt af te leiden dat een verlaging van polderpeilen (variant III) zonder compenserende maatregelen weinig effect heeft op niet al te kleine afstand tot de sloot met een verlaagd peil. Een merkbare verlaging treedt daar alleen op wanneer de stromingsweerstand door de eerste weerstandslaag gering is (afstand 175 m).

Op geringe afstand van de sloot is het effect aanzienlijk: ca. 0,20 m verlaging van de diepste grondwaterstand bij een polderpeilverlaging van 0,35 m.

Wel blijkt dat het handhaven van het pprspronkelijk peil in de 'hoogwatersloot' (variant II) het effect van de polderpeilverlaging elimineert. Verlaging van het Waterlandspeil heeft nagenoeg geen effect bij variant III.

Rigoreuze verlagingen van het Waterlandspeil leidt tot enige verlaging van de diepste grondwaterstand vlak bij de haven. Geen invloed daarvan wordt nog ondervonden op grotere afstand. De diepste grondwaterstand vlak bij de hoogwatersloot ondergaat geen verlaging door rigoreuze verlaging van het polderpeil.

Geconcludeerd mag derhalve worden dat een significante verlaging van de diepste grondwaterstand pas optreedt bij aanzienlijke verlaging van het Waterlandspeil met minstens 0,10 m. De verlaging van de diepste grondwaterstand is dan hooguit 0,03 m. Deze waarde is ca. 0,08 m bij verlaging van het Waterlandspeil met 0,20 m. Voorwaarde hierbij is dat het peil in de hoogwatersloot aan de noordzijde gehandhaafd blijft op het huidig niveau: -1,95 m-NAP.

Eenzelfde beeld als de diepst voorkomende grondwaterstanden geeft bij verschillende varianten voor de peilverlaging, wordt ook verkregen van de relatie tussen relatieve aantastingssnelheid en diepte onder maaiveld (fig. 8A t/m D).

Slechts op geringe afstand tot een sloot met aanzienlijke peilverlaging neemt de kans op houtrot aanmerkelijk toe (fig. 8d). In Broek in Waterland komen daar nu juist veel gebouwen van recente datum voor, zodat er nauwelijks sprake kan zijn van het vergroten van de risico's van houtrot. Immers de houten palen hebben daar alle betonopzetters.

Zonder verdere voorzieningen neemt de kans op extra houtrot op grotere afstand van sloten met verlaagd peil niet noemenswaard toe

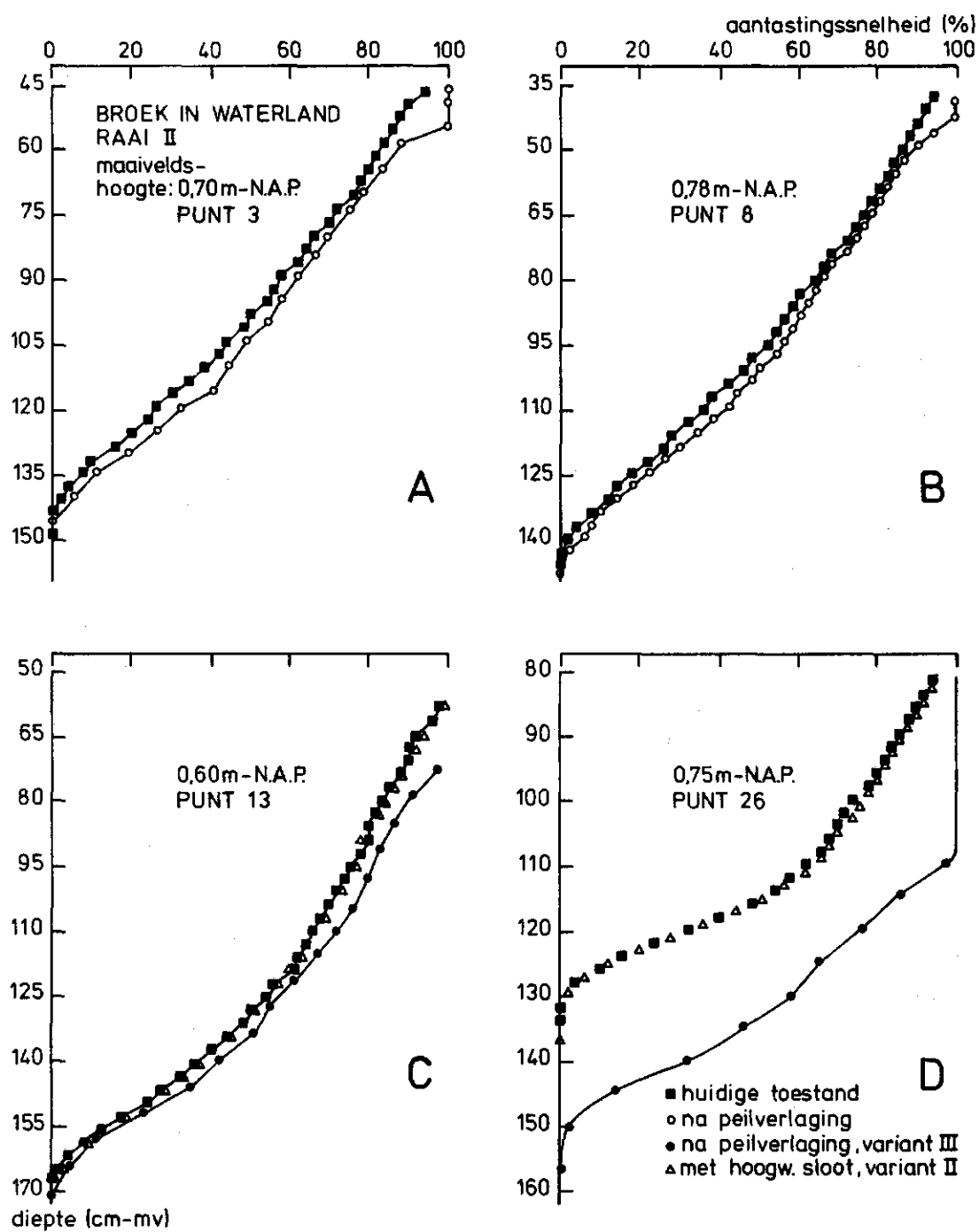


Fig. 8. Samenhang tussen relatieve, potentiële aantastingsnelheid van funderingselementen en de diepte onder maaiveld
A = in het knooppunt 3 (zie fig. 6); B = in het knooppunt 8;
C = in het knooppunt 13; D = in het knooppunt 26

(fig. 8A t/m C). Wordt echter het huidige peil gehandhaafd, dan zijn de toegenomen houtrotkansen vrijwel geheel geëlimineerd (zie fig. 8D).

6. HET EFFECT VAN POLDERPEILVERLAGING OP DE STIJGHOOGTE VAN HET DIEPE GRONDWATER

6.1. Geologische opbouw

De geschematiseerde geo-hydrologische opbouw van Noord-Holland is in fig. 9 weergegeven. Lagen met slechte doorlatendheid zijn de formatie van Twente (Holoceen), de Eem en de formatie van Drenthe, Enschede en Harderwijk. De formatie van Oosterhout (Pliocene) is zeer slecht doorlatend en mag gelden als de hydrologische basis (VAN REES VELLING et al., 1977; POMPER, 1979).

Onder grote delen van Waterland komen de formatie van Drenthe en de Eemformaties beide voor. In de dwarsdoorsneden LL' en MM' (fig. 11), waarvan de ligging in fig. 10 is weergegeven komt dit duidelijk tot uitdrukking.

De dikte ervan varieert en neemt af, gerekend vanaf het centrum van het studiegebied, waar Broek in Waterland ligt.

Een dichte classificatie van deze laag is in fig. 12 in kaart gebracht.

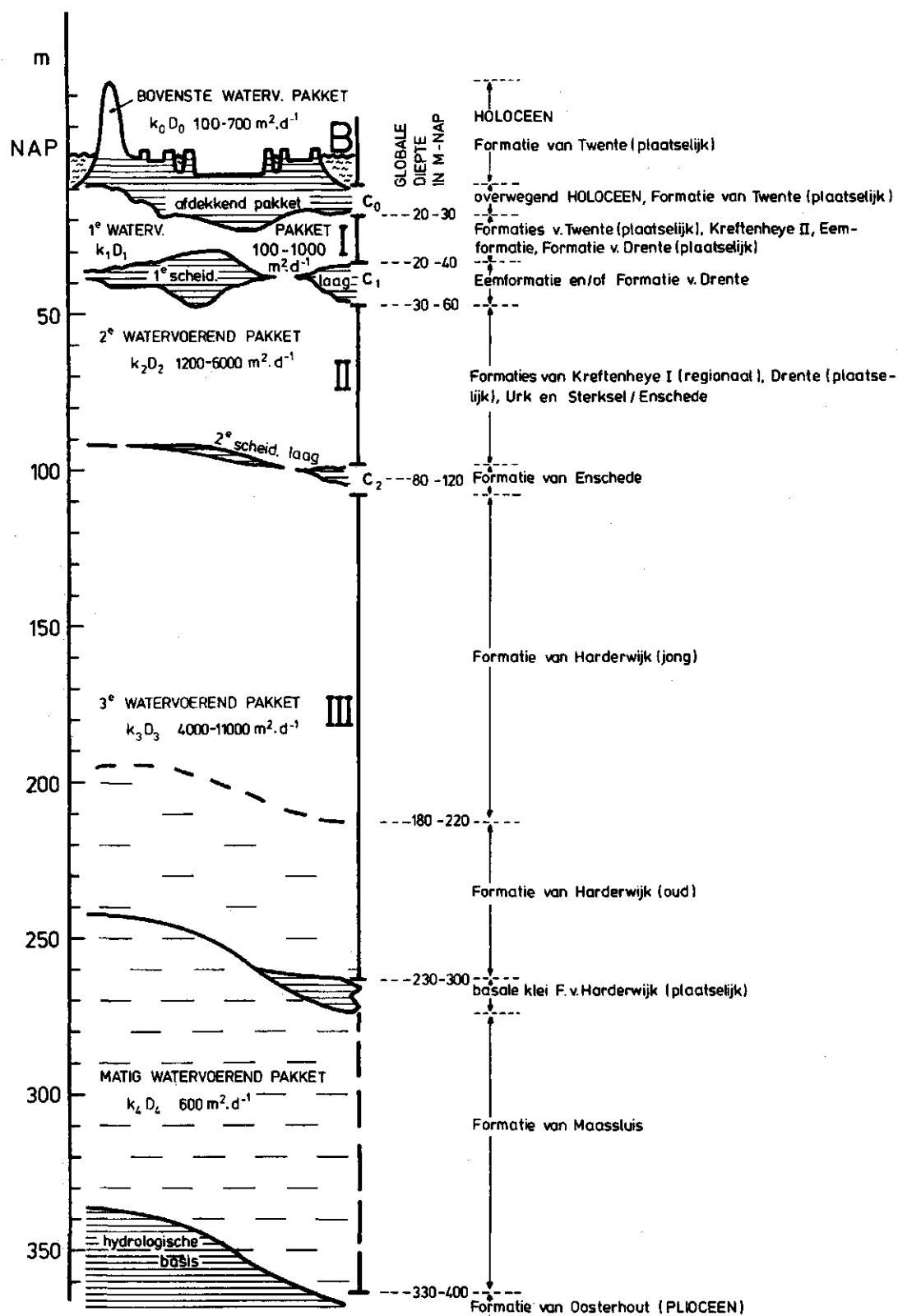


Fig. 9. Geohydrologisch schema van Noord-Holland ten noorden van het IJ

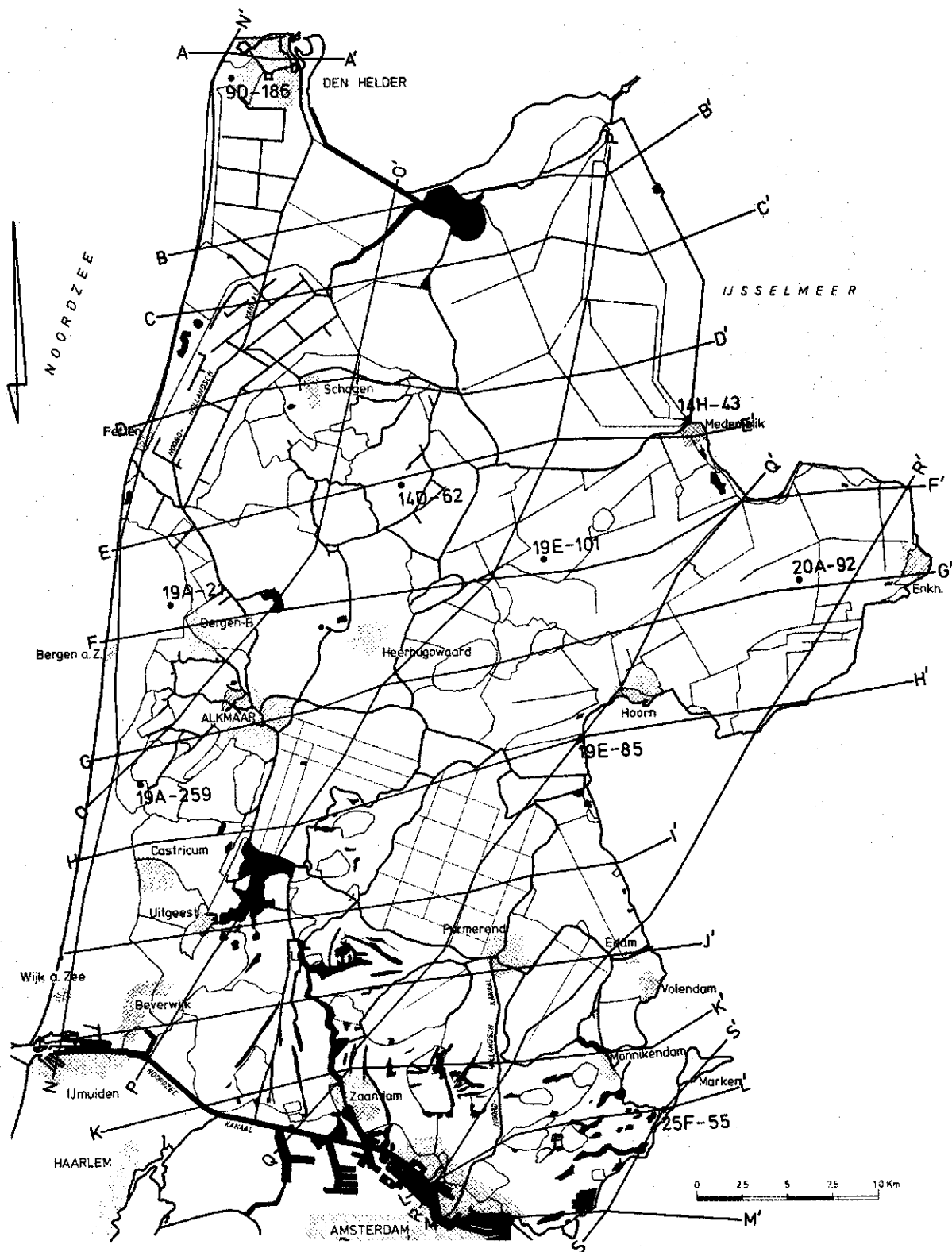


Fig. 10. Locatie van geologische profielen

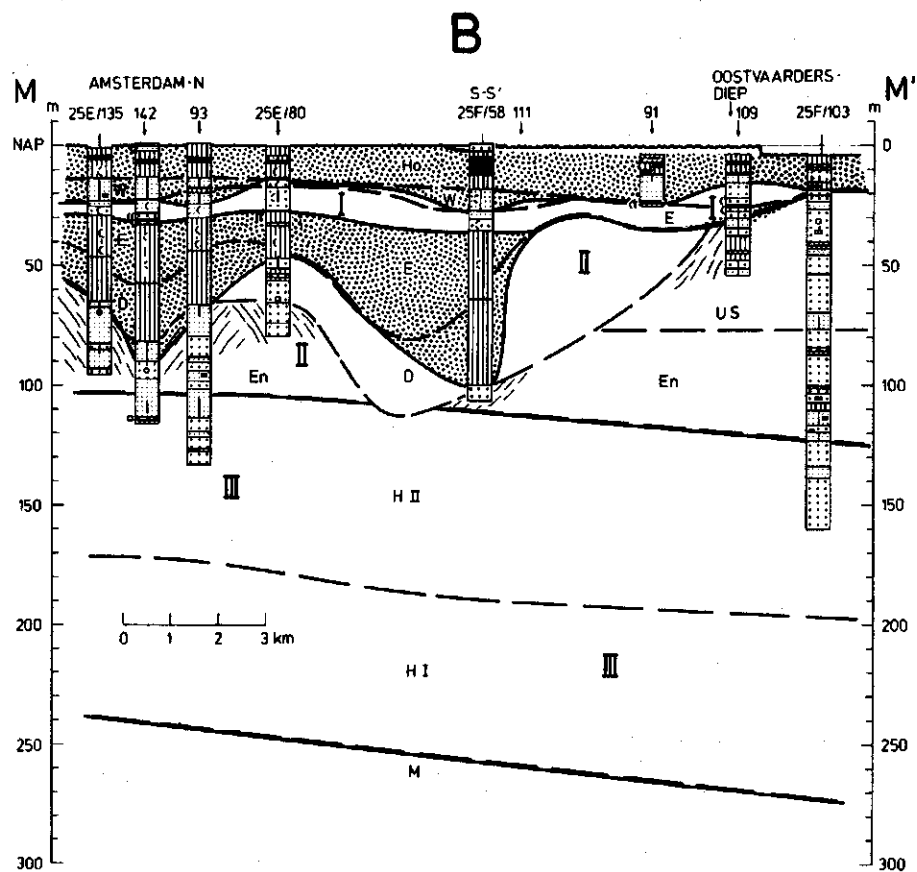
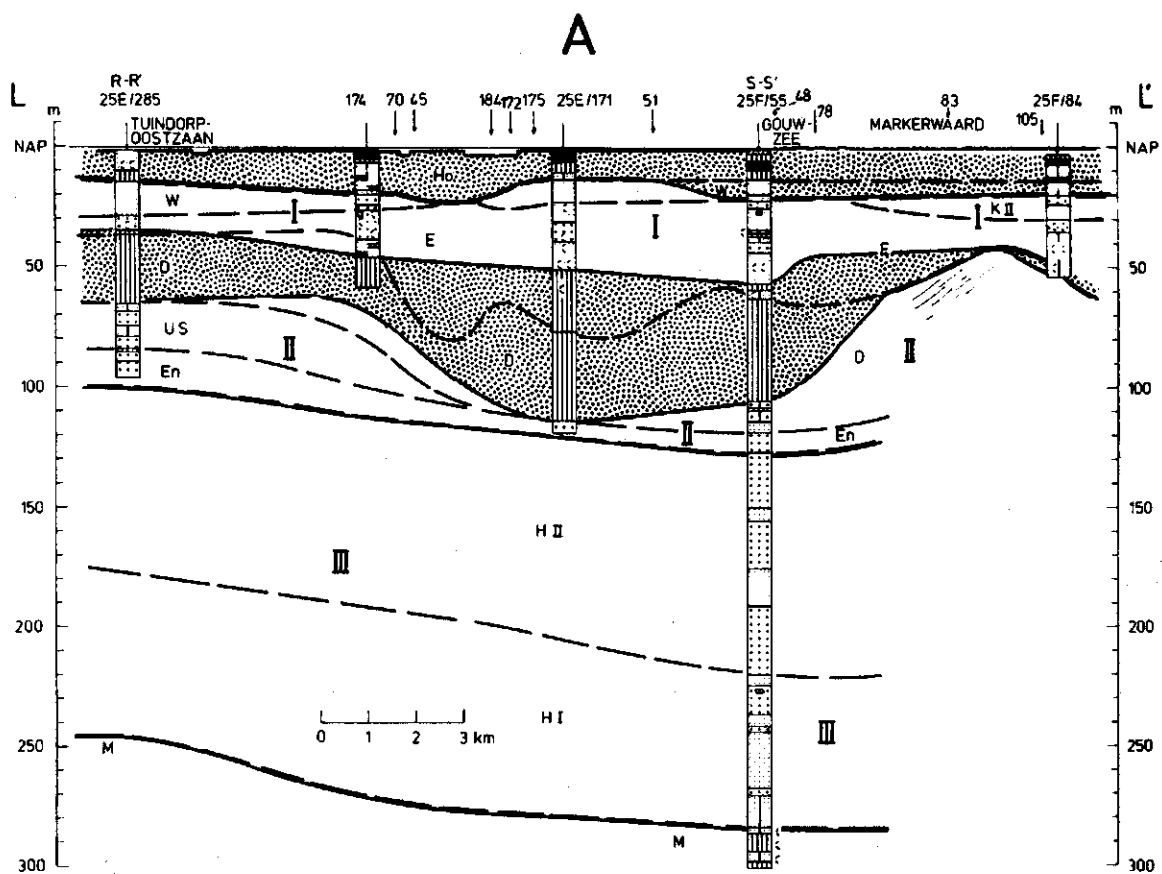


Fig. 11. Dwarsdoorsnede door Waterland
A = de raai LL'; B = de raai MM'

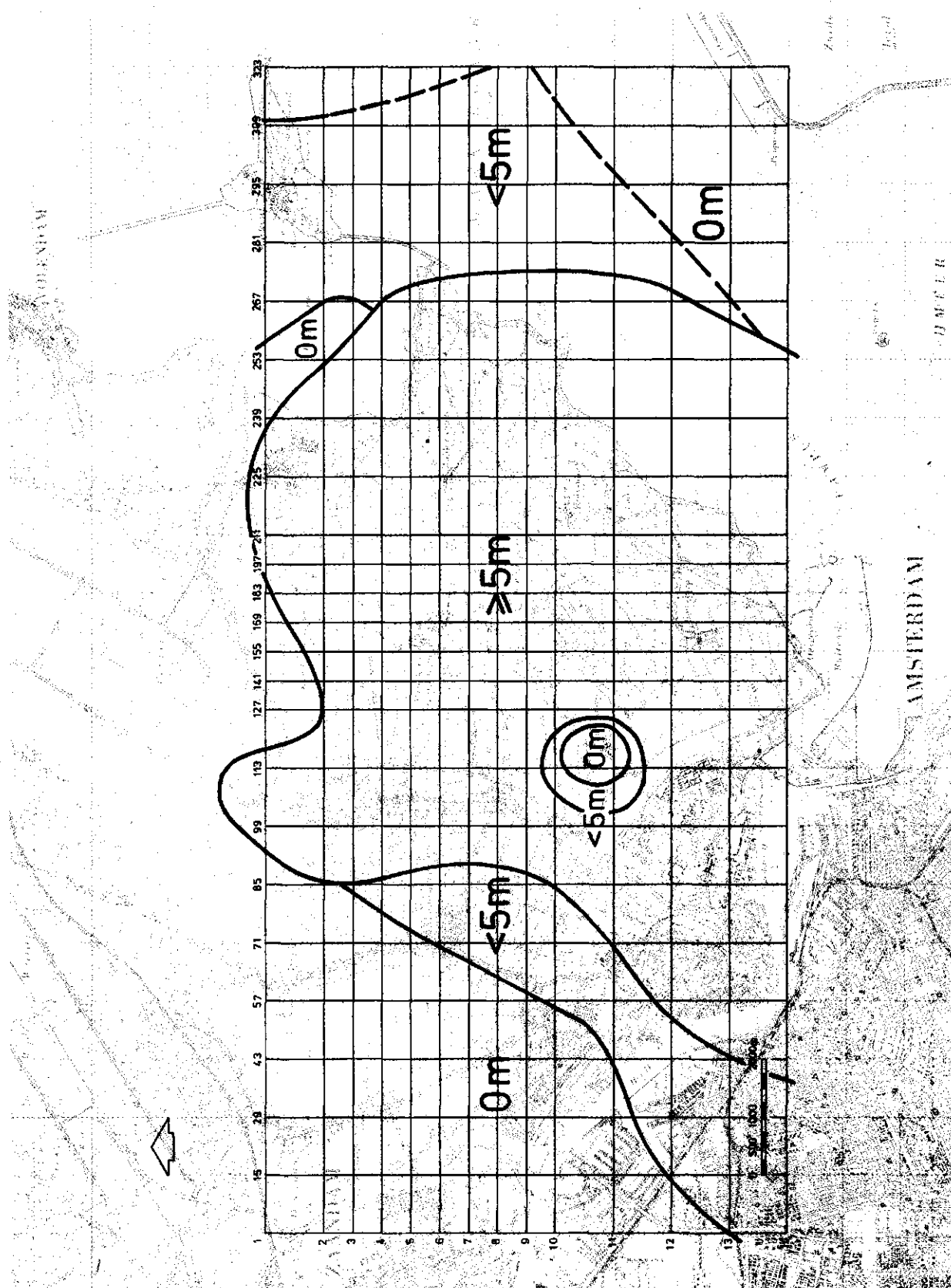


Fig. 12. Dikte van de glaciale afzetting

6.2. Schematisering gebied

Het studiegebied is zodanig gekozen, dat de grenzen stroomlijnen zijn, of dat er door deze grenzen geen water het gebied binnenstroomt. Tevens dient het een rechthoekig gebied te zijn. Dit betekent echter nog niet dat de randcondities persé op deze grenzen gedefinieerd moeten zijn. Binnen het rechthoekig gebied kunnen randcondities nog vrijelijk worden gekozen (STEENBRUGGEN, 1983).

Daar de eerste scheidende laag onder Broek in Waterland vrijwel ondoorlatend is, ontstaat een hydrologisch systeem waarbij:

- de stijghoogte in het tweede watervoerend pakket nauwelijks wordt beïnvloed door die in het eerste watervoerend pakket;
- de stijghoogte van het diepe grondwater in het eerste watervoerend pakket vrijwel gelijk aan die in het tweede watervoerend pakket waar de eerste scheidende laag ontbreekt;
- een soort waterscheiding valt globaal samen met het IJ (een stroomlijn dus);
- een oost-west stroomlijn loopt globaal over Marken, Monnickendam naar de Purmer (af te leiden uit fig. 13).

De volgende randcondities zijn gekozen:

- onderkant: huidige stijghoogteverdeling in het tweede watervoerend pakket;
- noordkant: stroomlijn over Marken, Monnickendam;
- zuidkant: een stroomlijn oost-west;
- west en oostzijde: daar waar de 1e scheidende laag ontbreekt wordt de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket gelijk aan dat in het tweede watervoerend pakket en verandert niet;
- de bovenkant: de voorkomende gemiddelde grondwaterstanden.

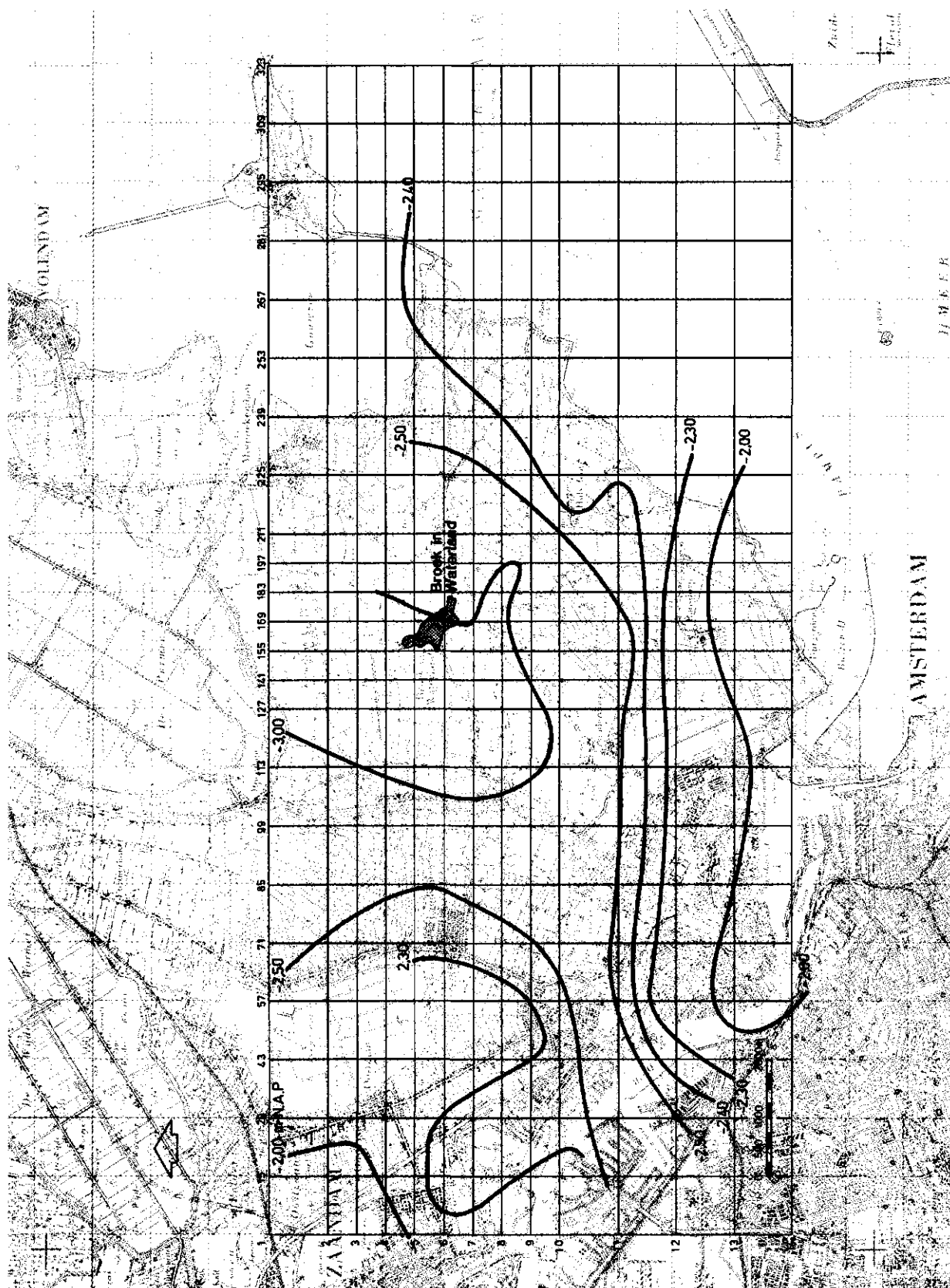


Fig. 13. Lijnen van gelijke stijghoogte in het eerste watervoerend pakket

6.3. De hydrologische eigenschappen

Het doorlaatvermogen en de weerstand van respectievelijk de watervoerende lagen en scheidende lagen zijn ontleend aan POMPER (1979), VAN REES VELLINGA et al (1977), IWACO Rapport nr 420, 430-E en 430-E2. De weerstand van het afdekkend holoceen pakket is ontleend aan WIJNSMA (1979).

6.4. De huidige hydrologische gesteldheid

De huidige polderpeilen of door particuliere onderbemaling onderhouden peilen zijn verstrekt door het Waterschap de Waterlanden en aangevuld met verzamelde gegevens dienaangaande door DE WILDE (1979).

In fig. 14 zijn deze peilen in kaart gebracht.

De voorgestelde peilaanpassingen behelzen twee aspecten. Het eerste is het handhaven en onderhouden van de huidige gebruiksmogelijkheden van de gronden. Dit aspect geldt voor het algemeen Waterlandspeil, waar peilaanpassingen uitsluitend bedoeld zijn om de huidige drooglegging te handhaven.

Door oxydatie van veen, waardoor jaarlijks het maaiveld 0,3-0,4 mm daalt, zou bij ongewijzigd peilbeheer de drooglegging verminderen en de toch al beperkte gebruiksmogelijkheden nog verder doen afnemen.

In de reeds bestaande droogmakerijen en onderbemalingen wordt er globaal naar gestreefd een drooglegging van ca. 0,7 m te realiseren.

Peilaanpassing zal derhalve plaatselijk abrupt en voorts in Waterland geleidelijk plaatsvinden. Bebouwingskernen, zo is in de voorlopige plannen voorzien, zullen waterhuishoudkundig gescheiden worden van de niet bebouwde gebieden.

Wanneer wordt aangenomen dat de gemiddelde grondwaterstand gelijk is aan het polderpeil, dan vormt deze laatste de randconditie voor het model aan de bovenkant. Voor de huidige situatie en met de ingevoerde gegevens wordt de drukhoogteverdeling berekend in het eerste watervoerend pakket onder Broek in Waterland.

De invoergegevens worden bijgesteld tot een redelijke overeenstemming bestaat tussen de berekende en gemeten kwel en de gemeten en berekende drukhoogteverdeling.

6.5. Daling waterspanning onder afdekkend pakket

Het effect van polderpeilverlaging op de verdeling van de waterspanning onder het afdekkend holocene pakket is berekend over een drietal varianten. Steeds is aangenomen dat de gemiddelde grondwaterstand gelijk is aan het peil in de open waterlopen.

De varianten staan vermeld in tabel 18.

Tabel 18. Varianten in polderpeilverlagingen waarvoor de daling van de waterspanning onder het afdekkend pakket is bepaald

Variant	Omschrijving
1	polderpeilverlaging conform het voorstel van het Waterschap de Waterlanden
2*	idem 1, echter met een additionele peilverlaging van 0,1 m in het gehele gebied
3*	idem 1, additionele peilverlaging 0,2 m in het gehele gebied

*Geen additionele verlaging in het gebied waar het nieuw voorgesteld peil -1,42 m-NAP is

De resultaten zijn weergegeven in de fig. 15A tot en met C, waar de verwachte daling van de waterspanning in beeld is gebracht.

Voor variant 1 (fig. 15A) blijkt dat de grootste dalingen zich concentreren rond de Broekerveer en de daarvan zuid-westelijk gelegen onderbemalingen.

Bebouwingskernen liggen op redelijke afstand van het zwaartepunt van de verlaging. Een additionele polderpeilverlaging, integraal doorgevoerd over het gehele gebied Waterland, doet het oppervlak met een aanmerkelijke daling (10-15 cm) toenemen. De gemiddelde additionele waterspanningsdaling is ca. 5 cm tengevolge van een additionele polderpeilverlaging van 10 cm (zie fig. 15B).

De gemiddelde additionele waterspanningsdaling is ca. 8 cm bij een additionele verlaging van 20 cm (fig. 15C). Het effect van extra polderpeilverlaging blijkt derhalve af te nemen.

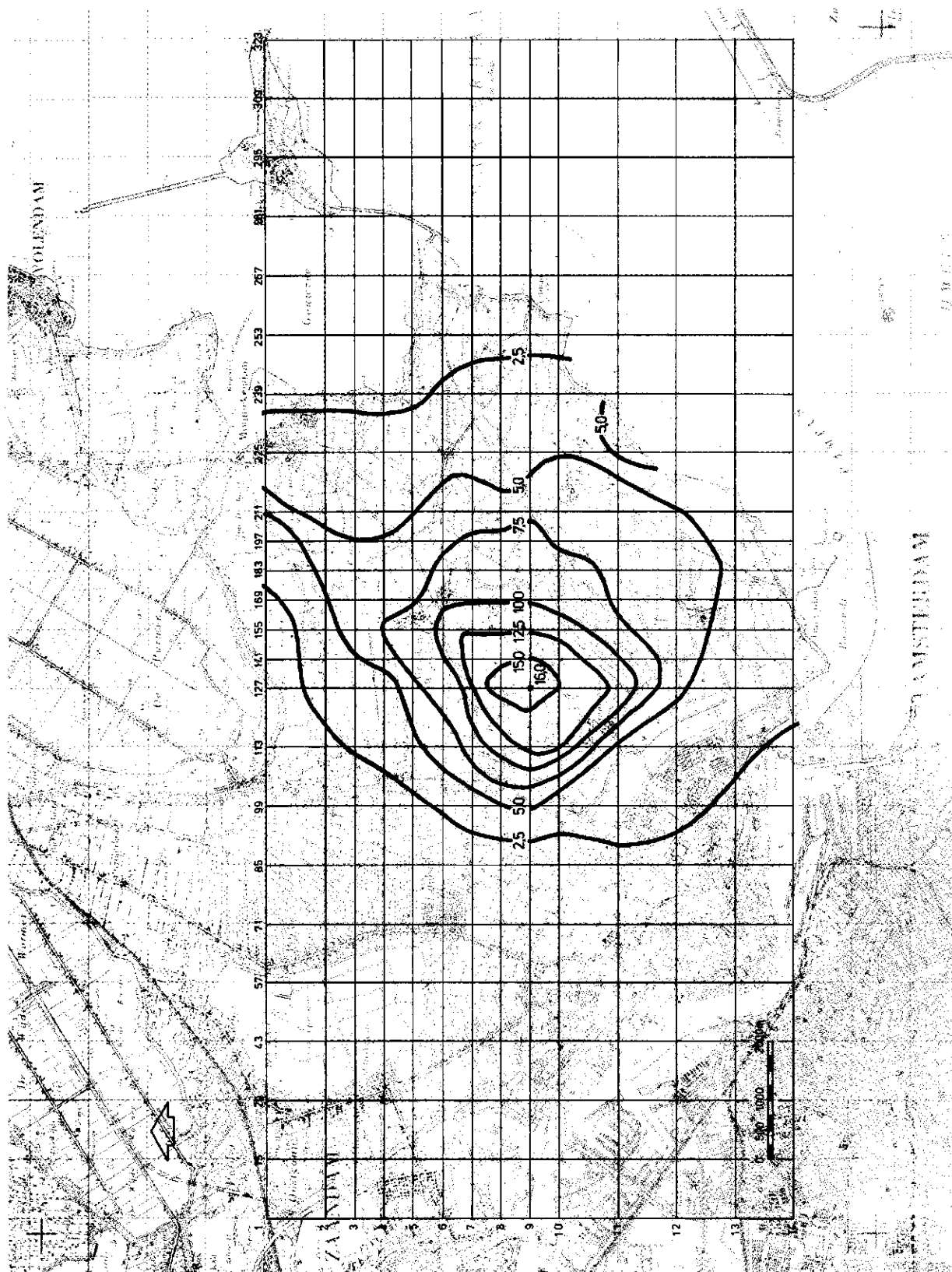


Fig. 15. Verwachte daling van de stijghoogte in het 1e watervoerend pakket

A - bij voorgestelde polderpeilverlaging

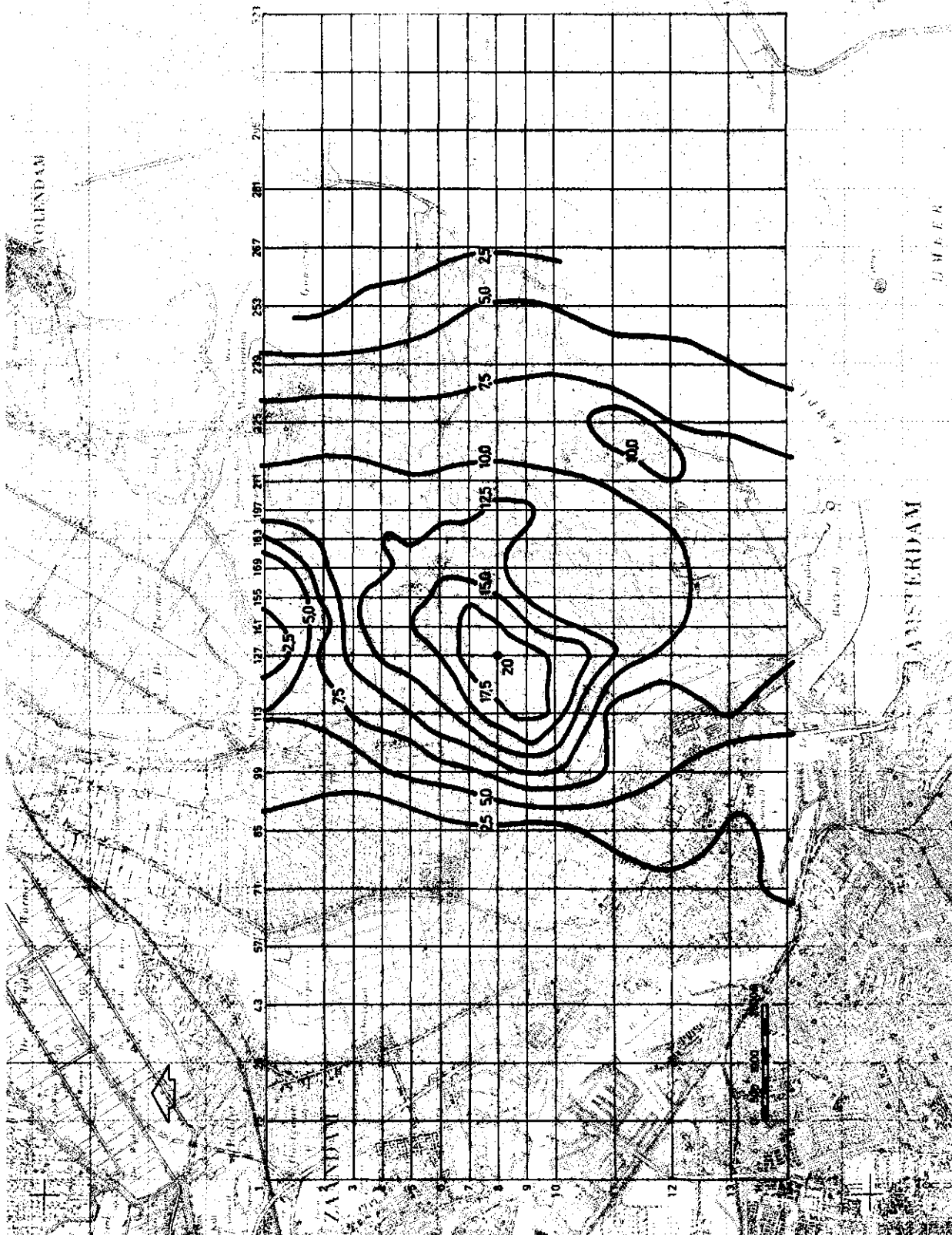


Fig. 15. B - voorgestelde peilverlaging en additioneel integrale verlaging van 0,1 m

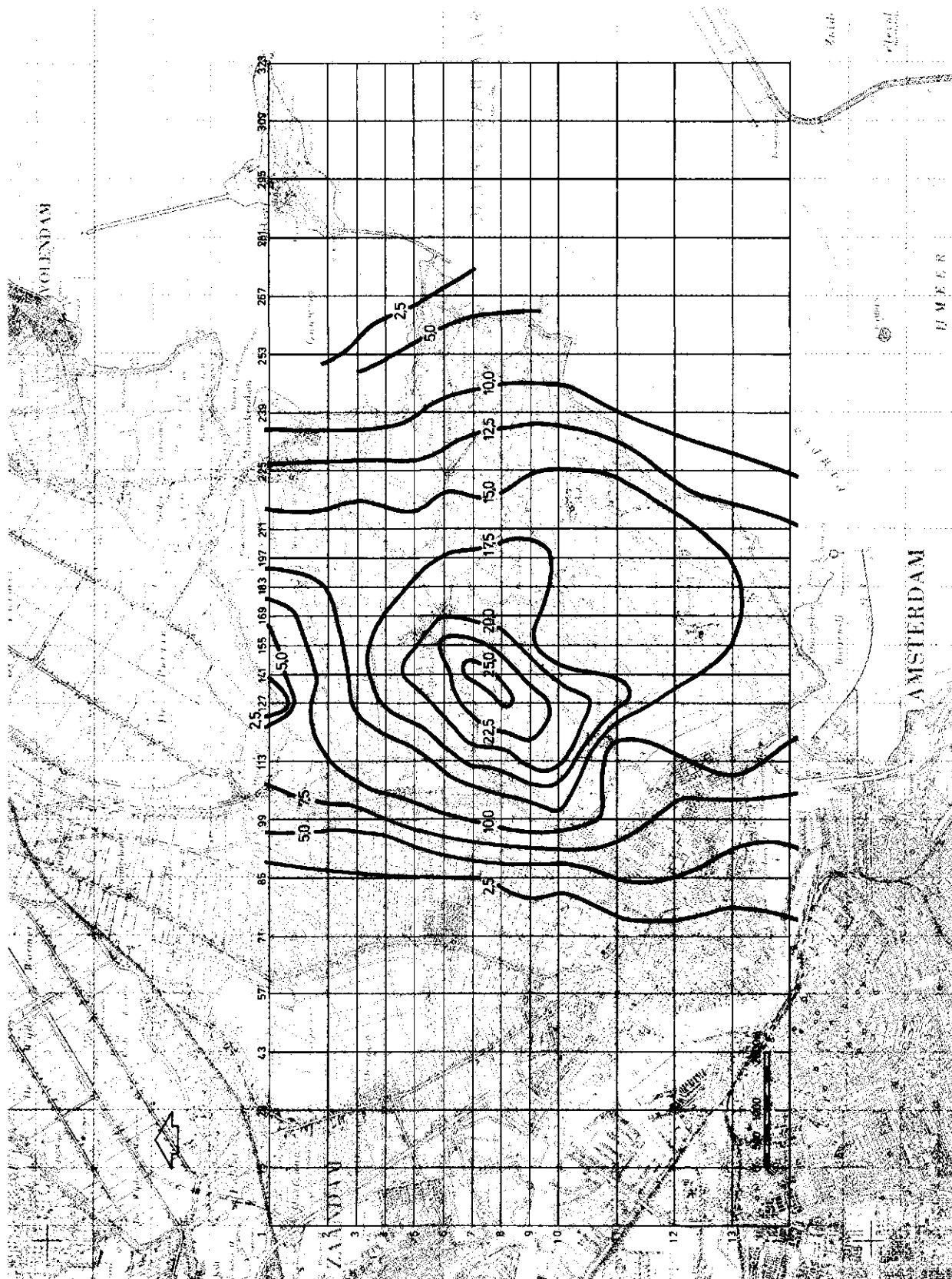


Fig. 15. C - voorgestelde peilverlaging met additionele integrale verlaging van 0,2 m

7. BEREKENING ZAKKINGSSNELHEID

7.1. Inleiding

De snelheid van zakking bepaalt in overwegende mate de omvang van de schade. Bij een geleidelijke zakking verloopt de aanpassing van gebouwen beter dan bij abrupte zakking. De snelheid moet derhalve bekend zijn.

In Waterland komt de situatie voor waarin naast zeer geleidelijke polderpeilverlagingen ook plotselinge verlagingen voorkomen. Deze laatste zijn in het algemeen groter dan de eerste en hebben een overwegende invloed op de verandering van de stijghoogte van het diepe grondwater onder het bodempakket met samendrukbare lagen.

7.2. Methode

Terzaghi geeft een relatie tussen verandering van de korrelspanning en de relatieve dikte verandering van een samendrukbare laag volgens:

$$\frac{z}{H} = - \frac{1}{C} \ln \frac{\sigma_k + \Delta\sigma_k}{\sigma_k} \quad (1)$$

hierin is:

- z - de hoogste verandering van een bodemlaag
- H - de oorspronkelijke dichtheid van de bodemlaag
- σ_k - de oorspronkelijke korrelspanning
- $\Delta\sigma_k$ - de verandering van de korrelspanning
- C - zettingsconstante

De korrelspanning op een diepte y onder maaiveld is:

$$\sigma_{k,y} = \int_0^y \rho_y dy - \sigma_{w,y} \quad (2)$$

hierin is:

$\sigma_{k,y}$ - korrelspanning op diepte y
 $\sigma_{w,y}$ - waterspanning op diepte y
 ρ_y - nat volumegewicht op diepte y

De waterspanning op diepte y is:

$$\sigma_{w,y} = H_y^* - \int_0^y \rho_{w,y} g dy$$

met H_y^* - de potentiaal van het grondwater op diepte y
 $\rho_{w,y}$ - volumieke massa van water op diepte y
 g - versnelling van de zwaartekracht

Door vochtinhoudsverandering in een bodemlaag is pas een dikte verandering mogelijk.

Noemen we de oorspronkelijke specifieke vochtinhoud van een bodemlaag θ , dan geldt:

$$\frac{dz}{dt} = H \frac{d\theta}{dt} \quad (4)$$

hierin is: t - tijd

Voorts geldt ook:

$$\frac{d\theta}{dt} = - \frac{\partial v}{\partial t} \quad (5)$$

met v - stroomsnelheid

Nu is:

$$v = -K \left(1 + \frac{1}{\rho_w g} \cdot \frac{d\sigma_w}{dy} \right) \quad (6)$$

hierin is: K - doorlatendheid van de grond

Derhalve is ook:

$$\frac{d\theta}{dt} = - \frac{\partial v}{\partial y} = + \frac{K}{\rho_w g} \frac{\partial^2 \sigma_w}{\partial y^2} \quad (7)$$

De verandering van de korrelspanning wordt in het onderhavige geval uitsluitend bepaald door een verandering in de waterspanning.

Er geldt:

$$\Delta\sigma_k = - \int_0^t \frac{\partial\sigma_w}{\partial t} dt \quad (8)$$

Differentiatie van vergelijking 1 en vergelijking 8 naar de tijd levert na substitutie

$$\frac{dz}{dt} = \frac{H.K}{\rho_w g} \cdot \frac{\partial^2 \sigma_w}{\partial y^2} \quad (9)$$

maar ook:

$$\frac{\partial\sigma_w}{\partial t} = \frac{C}{H} (\sigma_k + \Delta\sigma_k) \frac{dz}{dt} \quad (10)$$

Met behulp van de differentiaalvergelijkingen 9 en 10 is het verloop van de zakking van onderscheiden bodemlagen te berekenen.

Als randvoorwaarden gelden het verloop van de waterspanning in het punt $y = 0$ en $y = Y$.

Met behulp van numerieke methoden zijn de vergelijkingen 9 en 10 voor niet-uniforme bodemopbouw en veranderende randcondities op te lossen.

Gekozen is voor een expliciete methode, die eenvoudig is echter korte tijdstappen vereist vooral wanneer plotselingen en grote veranderingen optreden in de randcondities.

7.3. Programma ZETTING

Met het programma ZETTING wordt het zettingsverloop berekend. Het programma bestaat uit het hoofdprogramma ZETTING en de subroutines INIT (of file INIZET.FOR) en ITER.

Gegevens betreffende laag opbouw, samendrukkingsconstanten, doorlatendheid, nat volumegewicht, grondwaterstand en stijghoogte diepe grondwater ten opzichte van de onderzijde van het pakket, op

tijdstip $t = 0$, worden gelezen in free format van de file INPZET.TIM.
De structuur van deze file is in tabel 19 vermeld.

Tabel 19. Structuur file INPZET.TIM

Record	Variabele	Fortran naam	Variabele	Fortran naam
1	aantal lagen	NUMLAY	laagdikten (m)	RAYDEP(I), I=2, NUMLAY
2	samendrukkings- constante	COMPR(I) I=2, NUMLAY		
3	doorlatendheid (m.etm)	COND(I), I=2, NUMLAY		
4	nat volume gew. (kg.m ⁻³)	RHONAT(I), I=2, NUMLAY		
5	hoogte grondwater- spiegel (m t.o. ref)	GRWLEV	stijgh. diepe grondwater (m to (m t.o. ref)	STYSH

Opgemerkt zij, dat de eerste laag een dummy laag is. Voor het aantal lagen telt deze wel mee. De laatste laag is eveneens een dummy laag. Zettingen worden berekend voor de tussen liggende lagen, de grondwaterstand en de stijghoogte van het diepe grondwater worden opgegeven ten aanzien van het midden van de onderste dummylaag.

Het verloop van de grondwaterstand en de stijghoogte van het diepe grondwater wordt gelezen van de file VERLWT.SP. De structuur van deze file, die in free format wordt gelezen staat in tabel 20.

Tabel 20. Structuur van de file VERLWT.SP

Record	Tijdstip (jaar)	Hoogte grondwaterstand	Stijghoogte diepe grondw.
	TIME1	GRWLEV	STYGH
⋮	"	⋮	⋮
	"	"	"

De tijd wordt in jaren opgegeven. De vermelde waterstanden worden opgegeven in m ten opzichte van het midden van de onderste dummylaag. Deze gelden dan vanaf het vorig vermeld tijdstip.

De output bestaat uit het tijdstip en de zakking van de bovenkant van elke laag vanaf tijdstip $t = 0$.

Deze zakking wordt in mm opgegeven. Verder wordt per tijdstip de grondwaterstand en stijghoogte van het diepe grondwater vermeld in m ten opzichte van het midden van de onderste dummylaag.

7.4. Resultaten

Voor enkele profielen is het zettingsverloop berekend. De gebruikte gegevens staan vermeld in tabel 21.

Tabel 21. Gegevens ten behoeve van zettingsberekeningen

Laag- nr	Dikte (m)	Samendrukkings- constante	Doorlatend- heid (m/etm)	Nat volume- gewicht (kg.m^{-3})	Grondsoort
2	0,25	35	0,0007	1520	klei
3	3,10	13	0,014	1050	veen
4	2,10	23	0,0007	1370	klei
5	2,10	26	0,0014	1650	zavel
6	3,10	45	0,035	1850	holoceen zand
7	1,00	22	0,0035	1750	lichte zavel
8	1,50	45	0,035	1900	holoceen zand
9	0,70	8	0,00015	1370	klei (laag v. Velsen)
10	0,30	5	0,0007	1100	basis veen

Voor de verandering in de waterhuishouding zijn enkele varianten door-
gerekend. Ze staan genoemd in tabel 22.

Tabel 22. Varianten in grondwaterstands daling, en verandering van de stijghoogte van het diepe grondwater

Variant	Daling gem. grondw. st. mm/jr	Momentane daling stijghoogte (mm)
1	3	100
2	10	0
3	10	100

De resultaten van de berekeningen zijn in de fig. 16A tot en met C weergegeven.

Het zettingsverloop is in alle gevallen zeer geleidelijk. Duidelijk komt echter tot uitdrukking dat de invloed van een daling van het diepe grondwater op het zettingsverloop en zettingsgrootte beperkt is. De oorzaak hiervan is dan tengevolge van de zeer geringe doorlatendheid van de laag van Velsen en die van het daaronder liggende basisveen al een groot drukverval optreedt waardoor de waterspanningsverandering in de daarboven gelegen veenlaag beperkt blijkt en derhalve ook geen al te grote zetting ten gevolge heeft.

Veel grotere zakkingen treden echter op wanneer de grondwaterspiegel aanmerkelijk daalt. De slechte doorlatendheid van de reeds genoemde laag van Velsen en de relatief goede doorlatendheid van het basisveen en holocene zandlagen, veroorzaakt dat het drukverval in de relatief goed doorlatende lagen gering is. Een relatief grote waterspanningsverandering daar veroorzaakt dan ook een grote zakking.

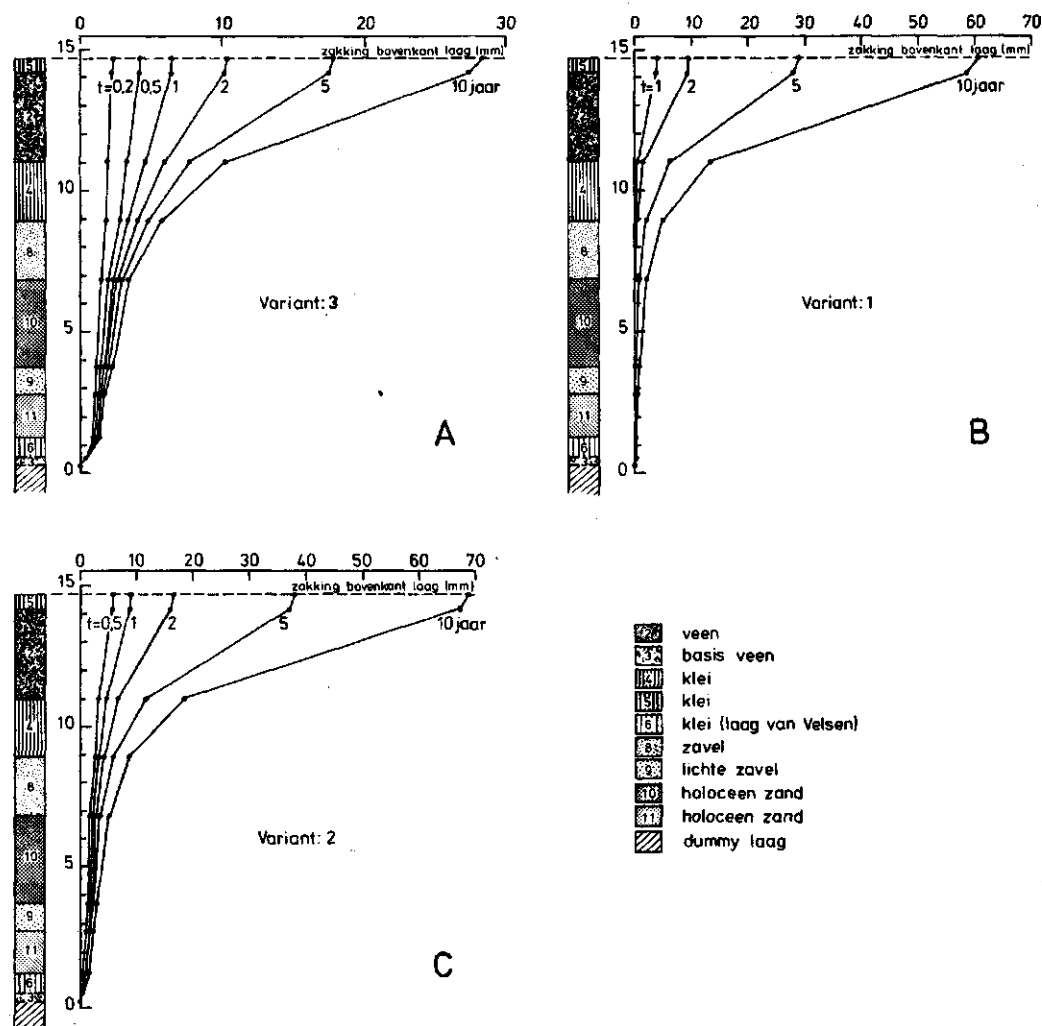


Fig. 16. Zakkingsverloop van de bovenkant van de onderscheiden lagen voor A - daling stijghoogte diepe grondwater 100 mm grondwater daling 3 mm per jaar; B - daling stijghoogte diepe grondwater 0 mm grondwaterstands daling 10 mm per jaar; C - daling stijghoogte diepe grondwater 100 mm grondwaterstands daling 10 mm per jaar

8. SAMENVATTENDE CONCLUSIES

8.1. Ten aanzien van de daling van de stijghoogte van het diepe grondwater

Gebleken is dat de daling van de stijghoogte van het diepe grondwater tengevolge van de voorgestelde polderpeilverlagingen niet groot zijn. Bovendien ligt het zwaartepunt van de verlaging in de Broekmeer. Bebouwingskernen liggen op redelijke afstand van het zwaartepunt en ondergaan betrekkelijk weinig invloed.

Een extra polderpeilverlaging over het gehele gebied met 0,1 m doet de stijghoogte van het diepe grondwater additioneel met ca. 0,05 m dalen.

Een extra polderpeilverlaging van 0,2 m resulteert in een additionele verlaging van de stijghoogte van het diepe grondwater met ca. 0,08 m. De effecten nemen derhalve af bij voortschrijdende peilverlaging.

8.2. Ten aanzien van de kans op houtrot

Alleen bij gebouwen op een kleinere afstand dan ca. 20 m van waterlopen waarin het peil wordt verlaagd is sprake van toename van de kans op houtrot indien het peil rigoreus (0,3-0,4) wordt verlaagd. De diepst voorkomende grondwaterstand op 10 m afstand van de sloot is dan 0,2 m gedaald. Deze daling wordt echter geheel teniet gedaan wanneer een hoog watersloot wordt gehandhaafd. Ook bij nog rigoreuze peilverlagingen blijkt deze maatregel effectief.

Een hoog watersloot is echter overbodig indien de bebouwing op een groter afstand dan 25 m is verwijderd van waterlopen waarin het peil wordt verlaagd.

8.3. Ten aanzien van zettingssnelheden

Bij een geleidelijke grondwaterstands daling van 3 mm per jaar en een daling van de stijghoogte van het diepe grondwater met 100 mm in eens, is de daling van het maaiveld in het eerste jaar ca. 20% van de zakking na 10 jaar. In het tweede jaar is dit percentage 35% en in het

vijfde jaar 65%.

Deze langzame aanpassing wordt vooral veroorzaakt door de zeer geringe doorlatendheid van bodemlagen onder de veenlaag.

In Waterland is de profielopbouw van het holocene pakket vrij uniform met bovenin veenlagen en onder in het pakket slecht doorlatende lagen. Gelet op de voorgestelde geleidelijke aanpassing van het waterlandspeil, mag worden uitgegaan van heel geleidelijke zakking van verschillende bodemlagen.

LITERATUUR

- BOELS, D., 1983. Simulatie van het grondwaterstandsverloop in bebouwde en aangrenzende gebieden. Nota ICW.
- POMPER, A.B., 1979. De geologische en geohydrologische opbouw van Noord-Holland benoorden het Noordzeekanaal. Nota 1135 ICW.
- REES VELLINGA, E. VAN, C.G. TOUSSAINT, H. WITT en K.E. WIT, 1977. De geohydrologische gesteldheid in Waterland, Nota 963. ICW.
- STEENBRUGGEN, G.J.M., 1983. Funderingsonderzoek Noord-Holland. STAT, een model voor quasi 3-dimensionale stationaire verzadigde grondwaterstroming (Handleiding). Nota 1433 ICW.
- VOS, G.A., 1983. De doorlatendheid van veen en de interpretatie van bodemkaarten. Cultuurtechn. Tijdschr. 22,4: 243-254.
- WILDE, J.G.S., DE, 1979. Begrenzing, oppervlakte, afvoer en peilen van de polders in Noord-Holland ten noorden van het IJ en het Noordzeekanaal. Nota 1160. ICW.
- WIJNSMA, M., 1979. Verticale weerstand van het afdekkend pakket in Noord-Holland 'Werkgroep Noord-Holland VII'. Nota 1162 ICW.
- , K.E. WIT en E. VAN REES VELLINGA, 1981. Isohypsen- en drukverschillenkaarten van het grondwater in Noord-Holland benoorden het IJ. Werkgroep Noord-Holland XI. Nota ICW 1245.