

Hydrogeologie van het duingebied tussen Koksijde en Oostduinkerke

door

L. LEBBE (*) en W. DE BREUCK (**)

64553

SAMENVATTING

Uit boorprofielen werd de litologische bouw van het freatisch reservoir tussen Koksijde en Oostduinkerke afgeleid. Uit een pompproof werd een waarde van $340 \text{ m}^2/\text{d}$ voor de transmissiviteit en $3 \cdot 10^{-3}$ voor de elastische bergingscoëfficiënt berekend. Analyses van watermonsters hebben aangetoond dat het grondwater nabij de waterwinning zouter is dan ten noorden ervan. Geo-elektrische boorgatmetingen wijzen op de aanwezigheid van zoet water over de ganse dikte van het reservoir ter hoogte van de hoogwaterlijn. Met een matematisch model werden de grondwaterstromingen berekend voor twee gevallen van een waterwinning van 1,5 miljoen m^3 per jaar.

RESUME

La lithologie de la nappe phréatique entre Koksijde et Oostduinkerke a été déduite de coupes de forages. Par un essai de pompage on a calculé une valeur de $340 \text{ m}^2/\text{j}$ pour la transmissivité et $3 \cdot 10^{-3}$ pour le coefficient d'emmagasinement élastique. Des analyses d'échantillons d'eau ont démontré que l'eau souterraine est plus salée près du captage qu'au nord de celui-ci. Des diagraphies électriques indiquent la présence d'eau douce sur toute l'épaisseur de la nappe à l'endroit de la ligne de marée haute. Les courants souterrains ont été calculés à l'aide d'un modèle mathématique pour deux cas différents d'un captage de 1,5 million de m^3 par an.

SUMMARY

The lithology of the unconfined aquifer between

(*) L. LEBBE, dr. sc.; aangesteld navorser N.F.W.O., Leerstoel voor Toegepaste Geologie (Prof. dr. W. DE BREUCK), Rijksuniversiteit te Gent, Krijgslaan 271, 9000 - Gent.

(**) W. DE BREUCK, dr. sc.; gewoon hoogleraar, Leerstoel voor Toegepaste Geologie, Rijksuniversiteit te Gent, Krijgslaan 271, 9000 - Gent; hoogleraar, Laboratorium voor Delfstofkunde, Aardkunde en Fysische Aardrijkskunde, Rijksuniversitair Centrum Antwerpen, Groenenborgerlaan 171, 2020 - Antwerpen.

Koksijde and Oostduinkerke has been deduced from well logs. From a pumping test a value of $340 \text{ m}^2/\text{d}$ was obtained for the transmissivity and $3 \cdot 10^{-3}$ for the elastic storage coefficient. Analyses of water samples indicated that the groundwater contains more salt near the water catchment than to north of it. Geo-electric well logging has shown the presence of fresh water over the entire thickness of the aquifer at the high-tide line. The groundwater currents have been computed by means of a mathematical model for two cases of a groundwater extraction of 1,5 million m^3 per year.

1. INLEIDING

Het duingebied tussen Oostduinkerke en Koksijde is ongeveer 2 km breed. De Hoge Blekker, waarvan de top het peil + 29 m bereikt, is het hoogste punt. De Doornpanne op de grensscheiding tussen de beide deelgemeenten ligt op een hoogte van ongeveer + 6 m. Daarin bevindt zich het winningsgebied van de Interkommunale Waterleidingsmaatschappij van Veurne-Ambacht (I.W.V.A.).

In 1972 werd er een hydrogeologische studie over de freatische laag verricht (L. LEBBE, 1973). Het veldonderzoek omvatte boringen, pompproeven, geo-elektrische boorgatmetingen, metingen van de waterstanden en een bemonstering van het grondwater. In het laboratorium werden watermonsters geanalyseerd en grondmonsters granulometrisch onderzocht. Die resultaten samen met de debieten van de waterwinning werden verwerkt in een matematisch model, waarmee de hydrologische balans en de grondwaterstroming werden berekend.

2. GEOLOGIE

2.1. Boringen

In de zomer van 1972 heeft de I.W.V.A. 14 nieuwe pompputten in het zuidelijk gedeelte van het winningsgebied geboord. Ze liggen op een onderlinge afstand van 39,5 m en zijn aangesloten op de zuigput II (fig. 1).

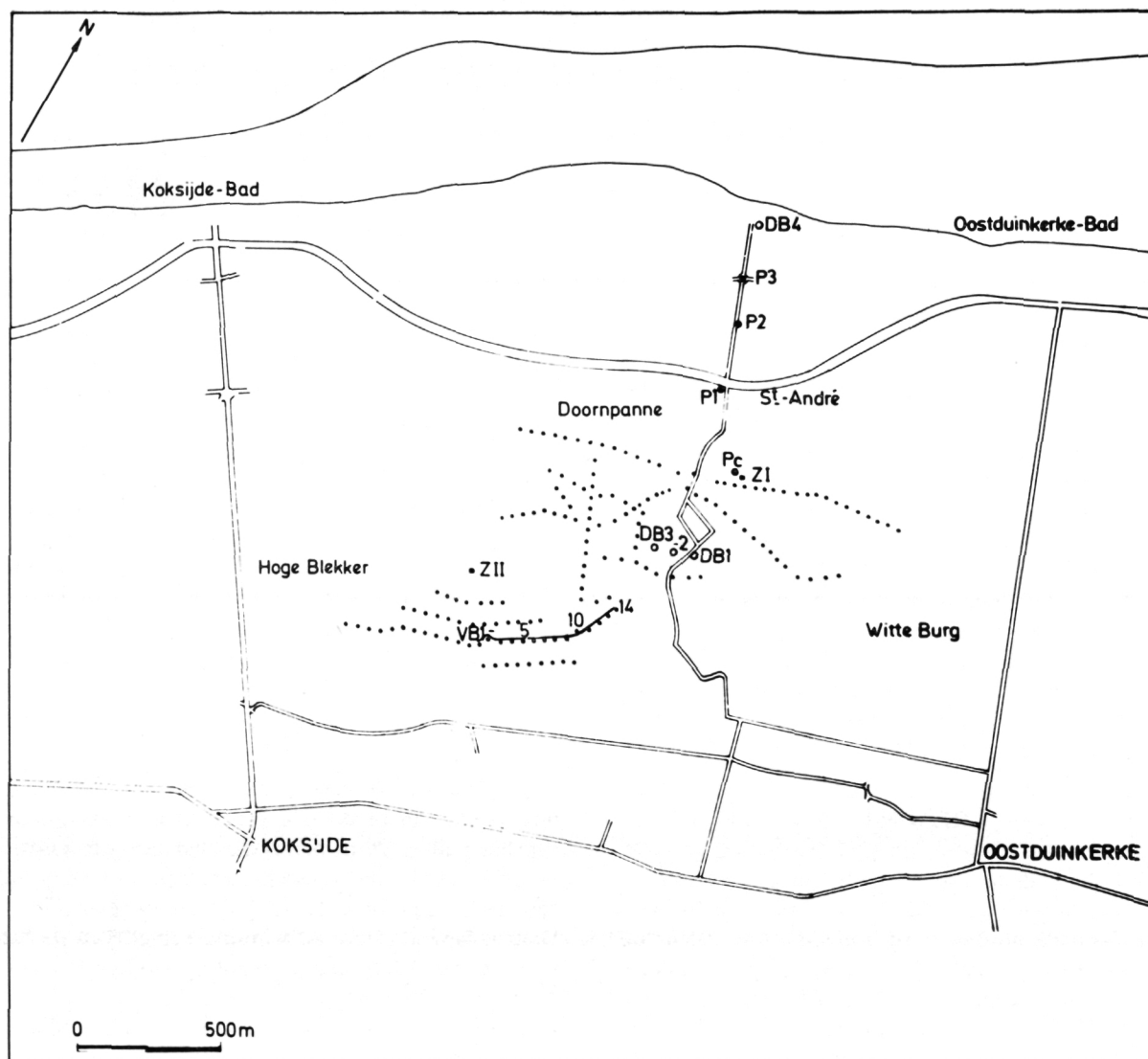


Fig. 1. — Het studiegebied met :

de boringen VB1 tot VB14 en DB1 tot DB4;
de peilputten P1 tot P3 en Pc;
de zuigputten ZI en ZII met hun winningsputten.

De wijze van boren liet toe een ongestoord profiel waar te nemen tot aan de watertafel. Tot een diepte van 1 à 2 m boven de watertafel werd een ronde put met een diameter van 3,5 m gegraven. Deze werd dan verder met een kleinere diameter tot aan de watertafel verdiept. Vanaf de watertafel, die zich op die plaats op 5 à 6 m diepte bevond, werden voerbuizen van 50 cm diameter aangebracht. Daarin werd met de pul de put tot het peil - 7⁽¹⁾ geboord.

Door het Geologisch Instituut van de R.U.G.

⁽¹⁾ Alle peilen zijn aangegeven in meters t.o.v. het nul-punt van de Tweede Algemene Waterpassing (T.A.W.).

werden in die periode vier putten geboord tot in het kleisubstraat (Klei van Ieper). Dat gebeurde met de spiraalboor en met de puls. De diameter van de voerbuizen bedroeg 127 mm. De bemonstering geschiedde om de 30 cm.

2.2. Litologische profielen

2.2.1. Zuidelijk gedeelte (fig. 2)

De bovenste laag, die reikte tot een peil van + 4 à + 4,5, werd gevormd door recent duinzand (5)⁽²⁾.

⁽²⁾ De nummers verwijzen naar de litologische eenheden.

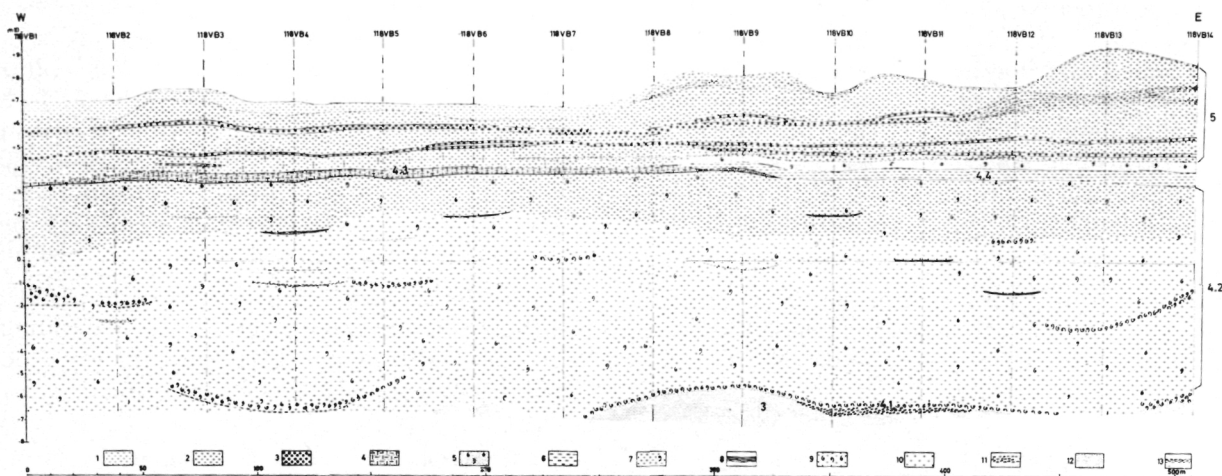


Fig. 2. — Litologisch profiel VB1 tot VB14 in het zuidelijke gedeelte van de duinen op de grensscheiding Koksijde-Oostduinkerke.

1. Geel duinzand met een lichte aanrijking aan humeuze deeltjes met wortelharen.
2. Bleekgeel duinzand, kruisgelaagd.
3. Donkerbruin humushoudend zand.
4. Groengeel lemig zand, leem en kleibandjes.
5. Grijsgroen kleilig zand met schelpgruis en gebleekte schelpen van *Cardium edule*.
6. Zwart-gespikkelde grijsblauwe klei.
7. Bleekgrijs, middelmatig zand met gebleekte schelpen van *Donax* en *Cardium*.
8. Veenlaagjes, gedeeltelijk verslagen.
9. Schelpen.
10. Grijs, middelmatig tot grof zand met een weinig schelpen, hout en kleibrokjes.
11. Ophoping van grote gerolde kleikeien.
12. Donkergrijs, fijn lemig zand.
13. Afwisseling van dunne, bruine, humeuze zandlaagjes met laagjes van bleekgeel duinzand.

Aan de basis of iets hoger lag een doorlopende humeuze laag, die naar het oosten toe in twee splitste.

In de boring 118VB9 is in de bovenste laag 3,69 % en in de bovenste 6,42 % organisch materiaal aangetroffen. Het kalkgehalte bedroeg slechts 0,64 % en 1,40 %. Op het peil + 6 trof men een andere humeuze laag aan. In de boring 118VB9 bedroeg in de laatstgenoemde laag het gehalte aan organisch materiaal 2,85 % en het kalkgehalte 0,63 %. Naar het oosten vertakte die laag zich in een complex van dunne humeuze bandjes.

Het duinzand tussen de twee humeuze lagen was duidelijk kruisgelaagd. Het was fijner van korrel (mediaan 2,28 Φ) en beter gesorteerd (globale standaardafwijking 0,35 Φ) dan het zand erboven (mediaan 2,20 Φ , globale standaardafwijking 0,43 Φ). In dat zand trof men humeuze horizonten aan, vooral in het oostelijk gedeelte van het profiel.

Er bestaat blijkbaar een verband tussen het aantal begroeiingshorizonten en de faciës van de Afzettingen van Duinkerke ⁽¹⁾.

De Afzettingen van Duinkerke bestonden bovenaan uit een afwisseling van zandige en zandlemige laminae, die dieper geleidelijk overgingen naar een laag lemig

zand (4.3) die op haar beurt rustte op een zandige laag met veel gebleekte schelpen van *Donax* en *Cardium*. In boring 118VB3 werd ter hoogte van de bovenste laminae een kleilens van 7 cm dikte waargenomen. De laag met een afwisseling van laminae nam naar het oosten in dikte toe en ging tenslotte over in een laag van kleilig zand met schelpgruis en gebleekte schelpen van *Cardium edule*. In de boringen 118VB7 en 118VB8 werden enkele geulvormige patronen erin opgemerkt.

De onderliggende lemige zandlaag ging oostwaarts over in een zwart gespikkelde kleilaag (4.4), die in boring 118VB14 een dikte van 0,65 cm bereikte.

Het onderste gedeelte van de afzetting bestond uit middelmatig zand (4.2), waarvan de mediaan begrepen was tussen 2,14 Φ en 2,40 Φ (227 en 189 μm) en waarin men schelpbanken aantrof. Onderaan kwam meestal een schelpbank voor (4.1). In de boringen 118VB10 en 118VB11 werd daaronder een ophoping van kleikeien aangetroffen.

Op sommige plaatsen werd dieper grijs fijn zand aangeboord (3). Het maakt waarschijnlijk deel uit van de Afzettingen van Calais.

Het oostelijk gedeelte van het profiel verschilde duidelijk van het westelijke. In het oosten vertoonde het oppervlak een golvend verloop en lag het hoger dan in het westen. Er kwamen meer begroeiingshorizonten voor in het oosten. De Afzettingen van

⁽¹⁾ De litologische termen zijn overgenomen uit „Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland” (W. H. ZAGWIJN en C. J. VAN STAALDUINEN, 1975).

Duinkerke waren kleiig en bijgevolg weinig doorlatend in tegenstelling tot de lemige faciës in het westen, die het water beter doorliet. Op de kleiige laag heeft zich waarschijnlijk regelmatig een stuwwaterlaag gevormd, waardoor het aangevoerde zand werd gefixeerd. Daar heeft zich herhaaldelijk een begroeiingshorizont ontwikkeld.

2.2.2. Centraal gedeelte (fig. 3)

Boven het peil + 4,5 trof men duinzand aan (5). De gemiddelde grafische mediaan van 6 monsters bedroeg 2,24 Φ (211 μm) en de gemiddelde globale standaardafwijking 0,45 Φ .

Van - 9 tot - 20 lag een laag leemhoudend fijn zand (3). De granulometrie van 7 monsters gaf een gemiddelde grafische mediaan van 2,99 Φ (126 μm) en een gemiddelde standaardafwijking van 0,52 Φ (4.2). Het onderste gedeelte van deze afzetting (2) bevatte tamelijk veel schelpen en bestond uit enigszins fijner en slechter gesorteerd materiaal. Opvallend was de aanwezigheid van kleine echinodermata, *Echinocyamus pullias*. Dit zand behoort tot de Afzettingen van Calais.

Daaronder lag een schelpklaag met slecht gesorteerd materiaal (1). Eén monster had een gemiddelde grafische mediaan van 2,48 Φ (169 μm) en een globale standaardafwijking van 0,78 Φ . Deze laag is een rest

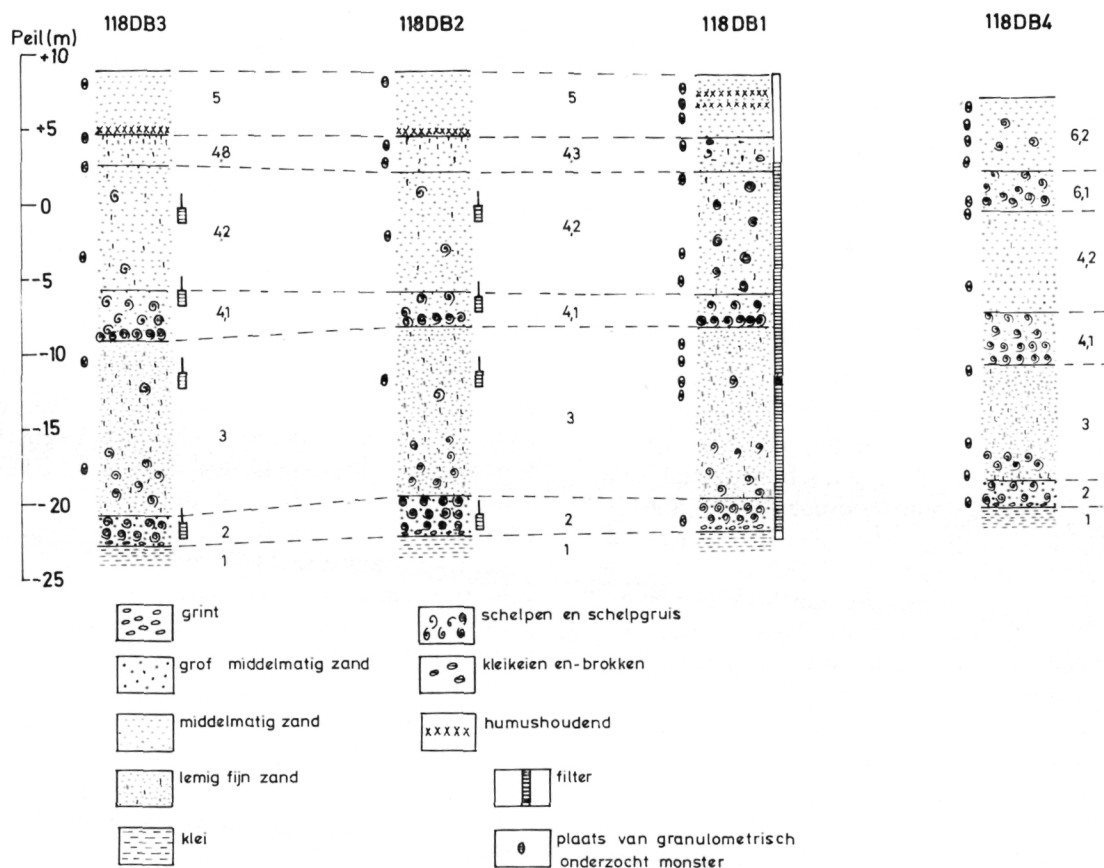


Fig. 3. — Litologische profielen van de boringen DB1, DB2, DB9 en DB4; plaatsen van de filters en de grondmonsters.

Tussen + 4,5 en + 2 kwam lemig en kleiig zand voor. De gemiddelde mediaan van 4 monsters was 3,28 Φ (103 μm) en de gemiddelde globale standaardafwijking 1,48 Φ (4.3). Van + 2 tot - 9 vond men fijn zand (4.2) met onderaan over een dikte van 2 m een schelpbank (4.1). Voor 5 monsters bedroeg de gemiddelde grafische mediaan 2,59 Φ (167 μm) en de gemiddelde globale standaardafwijking 0,46 Φ . Men kan deze laag rekenen tot de Afzettingen van Duinkerke.

van de Eem Formatie (Eemiaan) (J. SCHITTEKAT, 1972).

Op - 22 bereikte men de Klei van Ieper.

2.2.3. Profiel van boring 118DB4 op het strand (fig. 3)

Bovenaan lag strandzand met een gemiddelde grafische mediaan van 2,29 Φ (205 μm) en een globale standaardafwijking van 0,55 Φ (6.2). Tussen + 2 en

— 2 lag een bank met gebleekte schelpen (6.1). Daaronder, tot het peil — 11,5, trof men fijn zand van de Afzettingen van Duinkerke aan (4.2). Dieper werden dezelfde afzettingen als in het voorgaande profiel (4.1, 3, 2, 1) weergevonden.

3. HYDRAULISCHE KENMERKEN VAN DE FREATISCHE LAAG

3.1. Pompproef

Een pompproef werd uitgevoerd op de putten 118DB1, -DB2 en -DB3 (fig. 3). De pompput 118DB1 was uitgerust met een filter met een diameter van 80 mm. Het debiet bedroeg na 20 minuten 5,7 m³/u en na 2500 minuten 5,2 m³/u. Het opgepompte water werd op een afstand van ca. 90 m van de pompput in de duinen geloosd, waar het na een korte tijd infiltreerde. Wegens de aard van het terrein en het materieel was het niet mogelijk het water verder af te voeren.

De peilputten 118DB2 en 118DB3, respectievelijk op een afstand van 20 en 40 m van de pompput, waren ieder uitgerust met 4 piëzometers met een diameter van 40 mm. Ieder ervan was voorzien van een filterelement van 1 m lengte, dat op een verschillende diepte was aangebracht (tab. 1).

TABEL I

Diepten van de filterelementen van de piëzometers

Nr. piëzometer	Diepte onder maaiveld van — tot (m)
118DB2F1	29,5 - 30,5
118DB2F2	20,1 - 21,1
118DB2F3	15,0 - 16,0
118DB2F4	8,9 - 9,9
118DB3F1	30,0 - 31,0
118DB3F2	20,0 - 21,0
118DB3F3	14,5 - 15,5
118DB3F4	8,9 - 9,9

3.2. Hydraulische parameters

3.2.1. Tijd-dalingskurve

De tijd-dalingskurven werden geïnterpreteerd volgens de methode van BOULTON-WALTON (tab. 2) en volgens de eerste methode van HANTUSH (tab. 3). De volgende parameters werden bepaald: de transmissi-

viteit (kD), de elastische bergingscoëfficiënt (S) en de draineringsfaktor (B).

TABEL II

Resultaten van de pompproef volgens de methode van Boulton-Walton

Piëzometer	Afstand r (m)	kD (m ² /dag)	S	B (m)
DB2F1	20	349	3,6.10 ⁻³	100
DB3F1	40	337	1,9.10 ⁻³	133

TABEL III

Resultaten van de pompproef volgens de methode van Hantush

Piëzometer	Afstand r (m)	kD (m ² /dag)	S	B (m)
DB2F1	20	288	4,3.10 ⁻³	67
DB3F1	40	345	2,2.10 ⁻³	133

3.2.2. Restdalingskurve

De restdalingskurve van de piëzometers 117DB2F1 en 117DB3F1, geïnterpreteerd volgens de methode van JACOB, leverde voor de transmissiviteit een waarde van 391 m²/d.

4. HYDROCHEMIE

4.1. Wateranalyse

Acht watermonsters werden onderzocht (tab. 4). Vijf ervan waren genomen in de nabijheid van de waterwinning. Het gemiddelde zoutgehalte bedroeg er 650 mg/l.

Het waren matig zoete waters met meer aardalkaliën (Ca⁺⁺ en Mg⁺⁺) dan alkaliën (Na⁺ en K⁺). Uitzondering hierop was het water uit DB2F1 en DB3F1 in de schelplaat onderaan de freatische laag met meer alkaliën (45 en 61 %). Deze waters bevatten veel ijzer en sulfaat.

De drie overige monsters werden genomen in een gebied ten noorden van de waterwinning waar het grondwater nagenoeg alleen beweegt onder invloed van de infiltratie. Het water uit de putten P2 en P3 was zoet tot matig zoet met een zoutgehalte van ongeveer 400 mg/l. De kationen bestonden voor 85 % uit aard-

TABEL IV

Resultaten van grondwateranalyses
van het duingebied te Oostduinkerke-Koksijde

Plaats	Datum	Peil filter	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Tot. Fe mg/l	Cl ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CO ₃ ⁻ mg/l	Tot. min.* mg/l	Tot. min.* mél
DB1	28.01.73	+ 2/— 20	20,0	1,50	131	4,25	7,88	38	110	0	300,1	0	614	16,58
DB2F1	28.01.73	— 20,8/— 21,8	77,5	5,40	77,5	5,50	5,86	100	24,72	0,09	287,9	0	586	16,28
DB3F1	28.01.73	— 21,1/— 22,1	145	6,00	71,3	8,00	3,02	182	22,45	0,11	309,9	0	749	27,47
Pc	17.12.71	+ 4	47,2	10,7	115	7,24	2,05	96,0	29,1	0,14	347,7	0	657	17,86
P1	20.12.71	?/— 20	33,9	7,21	131	8,42	0,095	62,0	28,6	0,003	396,5	0	668	17,76
P2	21.12.71	?/— 17,5	15,1	3,64	88,2	5,80	0,15	34,0	26,4	0	244,0	0	417	11,16
P3	21.12.71	?/— 17	17,3	4,75	77,5	4,95	0,15	30,0	33,0	0	219,6	0	388	10,31
DB4	28.01.73	4,8/— 19	207	18,3	103	31,8	0	409	118	0,27	233,0	0	1138	35,97

Plaats	Datum	pH	TAC	SiO ₂ mg/l	Temp. water °C	Tot. Hd. °F	Blijv. Hd °F	Geleidb. μS/cm (bij 10° C)					
DB1	28.01.73	7,75	24,6	13,6	11,0	42,0	12,78	710					
DB2F1	28.01.73	7,80	23,6	24,1	11,1	23,0	12,78	685					
DB3F1	28.01.73	7,85	25,4	25,4	11,2	22,0	2,28	993					
Pc	17.12.71	7,40	28,5	4,05	9,8	33,8	8,04	745					
P1	20.12.71	7,60	32,5	24,9	14,2	38,6	6,30	678					
P2	21.12.71	7,80	20,0	11,0	15,4	26,1	7,70	444					
P3	21.12.71	7,60	18,0	13,7	10,8	22,9	7,64	415					
DB4	28.01.73	7,75	19,1	7,75	11,1	44,0	25,56	1622					

* Tot. min. = totale mineralisatie.

alkaliën. De anionen omvatten 70 % bikarbonaten. Deze watermonsters bevatten minder ijzer dan de voorgaande.

In de put DB4 op minder dan 100 m van de gemiddelde hoogwaterlijn, werd een filter over de ganse dikte van de watervoerende laag aangebracht. Het water was er zwak zoet tot matig brak met een zoutgehalte van 1138 mg/l. Het water bevatte opvallend veel chloor, natrium en kalium. Het was beter geleidend dan tijdens de elektrische boorgatmetingen. Dat is wellicht te verklaren door het feit dat het opgepompte water afkomstig was uit een goed doorlatende schelplaag die water met een groter zoutgehalte bevatte.

4.2. Elektrische boorgatmetingen

4.2.1. Veldwerk

In maart 1973 en in oktober 1977 werd in de put DB4 op verschillende diepten de resistiviteit van het water en het omgevende gesteente bepaald.

De elektrische weerstand van het water, ρ_w , in de put werd om de meter gemeten met platina-elektroden in vierpuntopstelling. Iedere meting geschiedde met tussenpozen van 10 minuten om het water opnieuw in de oorspronkelijke toestand te laten komen.

De resistiviteit van het gesteente werd bepaald met een sonde in WENNER-opstelling met een elektrodenafstand van 1 m. De sonde liet men na iedere meting telkens 1 m zakken. Om polarizatieverschijnselen te vermijden werd een laagfrequentie stroom gebruikt. De resistiviteit van het gesteente werd berekend uit de formule

$$\rho_t = 4\pi a \frac{\Delta V}{I}$$

waarin a = de afstand tussen de elektroden in m,

ΔV = potentiaalverschil in V,

I = de stroomsterkte in A.

4.2.2. Resultaten

De verandering van de resistiviteit van het gesteente (ρ_t) en van die van het water (ρ_w) met de diepte is semilogaritmisch voorgesteld (fig. 4).

Daaruit blijkt dat, zowel in maart 1973 als in oktober 1977, het water van onder tot boven zwak tot matig zoet was.

Uit de resistiviteit van het gesteente kan men afleiden dat het poriënwater eveneens zwak tot matig zoet was over de ganse dikte van de watervoerende laag met uitzondering van de bovenste schelpbank, die een kleinere resistiviteit vertoonde. Het poriënwater van deze schelpbank was blijkbaar zouter.

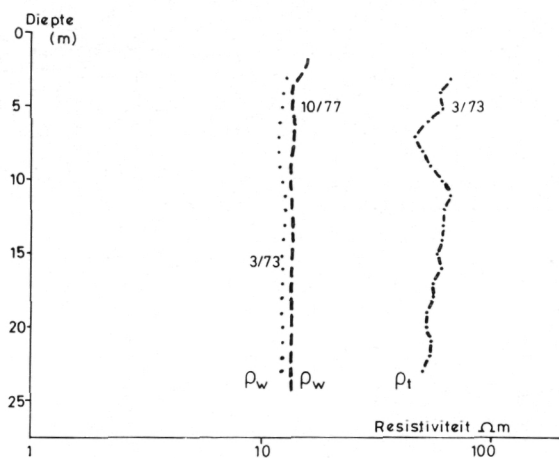


Fig. 4. — Elektrische boorgatmetingen in de put 118DB4 op een honderdtal meters van de hoogwaterlijn :

ρ_w : resistiviteit van het water in de filter (maart 1973, oktober 1977);
 ρ_t : resistiviteit van de omringende sedimenten (maart 1973).

5. GRONDWATERBEWEGING

5.1. Begrenzing van het reservoir

Het gebied waar de grondwaterstroming bestudeerd werd, heeft een lengte van 3,8 km, een breedte van 2,5 km en een oppervlakte van 9,5 km² (fig. 1). De noordwestelijke grens valt ongeveer samen met de hoogwaterlijn, de zuidoostelijke met de overgang van de duinen naar de polders. De zuidwestelijke en de noordoostelijke grens staan beide loodrecht op de as van het duingebied.

5.2. Basisgegevens

De inkomende hoeveelheid water wordt aangevoerd door infiltratie. De uitgaande hoeveelheid water wordt afgevoerd door pumping en door stroming naar de polders en naar de zee.

De hoeveelheid infiltratiewater werd berekend uit de waterbalans van de onverzadigde zone. Daarvoor werd een beroep gedaan op de meteorologische gegevens van de luchtmachtbasis te Koksijde (L. LEBBE, 1978). Voor de periode 1957-1976 bedroeg de gemiddelde jaarlijkse infiltratie 271,8 mm. Ook de gemiddelde tiendagelijkse infiltratie van die periode werd afgeleid (fig. 5).

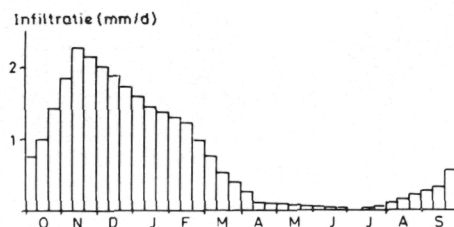


Fig. 5. — De gemiddelde tiendagelijkse infiltratie van de periode 1957-1976 afgeleid uit de meteorologische gegevens van de luchtmachtbasis van Koksijde.

Sinds 1947 wordt in het duingebied door de IWVA water gewonnen. Vanaf 1973 wordt jaarlijks 1.500.000 m³ water opgepompt. Dat gebeurt door middel van filterputten aangesloten op een hevelleiding. Het water wordt uit twee zuigputten opgepompt. De zuigput I is verbonden met een honderdtal putten in het noordelijk gedeelte. De zuigput II is verbonden met een vijftigtal putten in het zuidelijk gedeelte.

Voor de periode 1957-1972 werd de maandelijkse infiltratie berekend. De waarden zijn aangegeven in figuur 6. Hierop zijn ook de waarden van de maandelijkse neerslag, de stijghoogten in piëzometer Pc en de waarden van het maandelijkse winningsdebiet voor dezelfde periode aangegeven.

Om de hoeveelheid water, die jaarlijks gemiddeld wegvloeit in de richting van de zee en in de richting van de polders, te berekenen, moet men de gemiddelde stijghoogte kennen ter hoogte van de hoogwaterlijn en van de poldergrens. Beide lijnen kan men als vaste stijghoogtegrenzen beschouwen. Op grond van de hydrogeologische studie in het duingebied ten westen van De Panne (L. LEBBE, 1978) werd de gemiddelde stijghoogte op de hoogwaterlijn vastgesteld op + 4,3 en op de duin-poldergrens op + 2,5.

5.3. Gemiddelde grondwaterafvoer van het duingebied (Systeem I)

Om de gemiddelde grondwaterafvoer in de richting van de zee en de polders te berekenen, werd een tweedimensioneel model opgesteld. Daarvoor werd het freatisch reservoir in cellen onderverdeeld. Deze hadden een vierkante basis met een zijde van 100 m en een

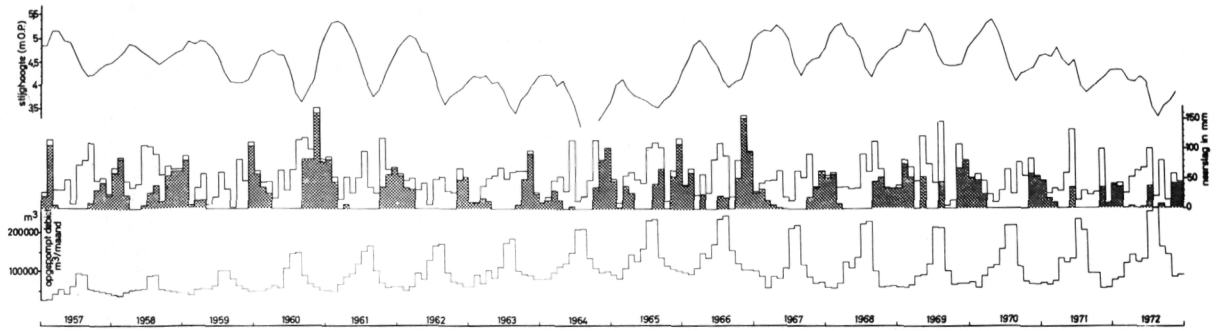


Fig. 6. — Verloop van de stijghoogte in de piëzometer Pc, van de maandelijkse neerslag, van de berekende maandelijkse infiltratie (gestippeld) en van het maandelijkse winningsdebiet in de periode 1957-1972.

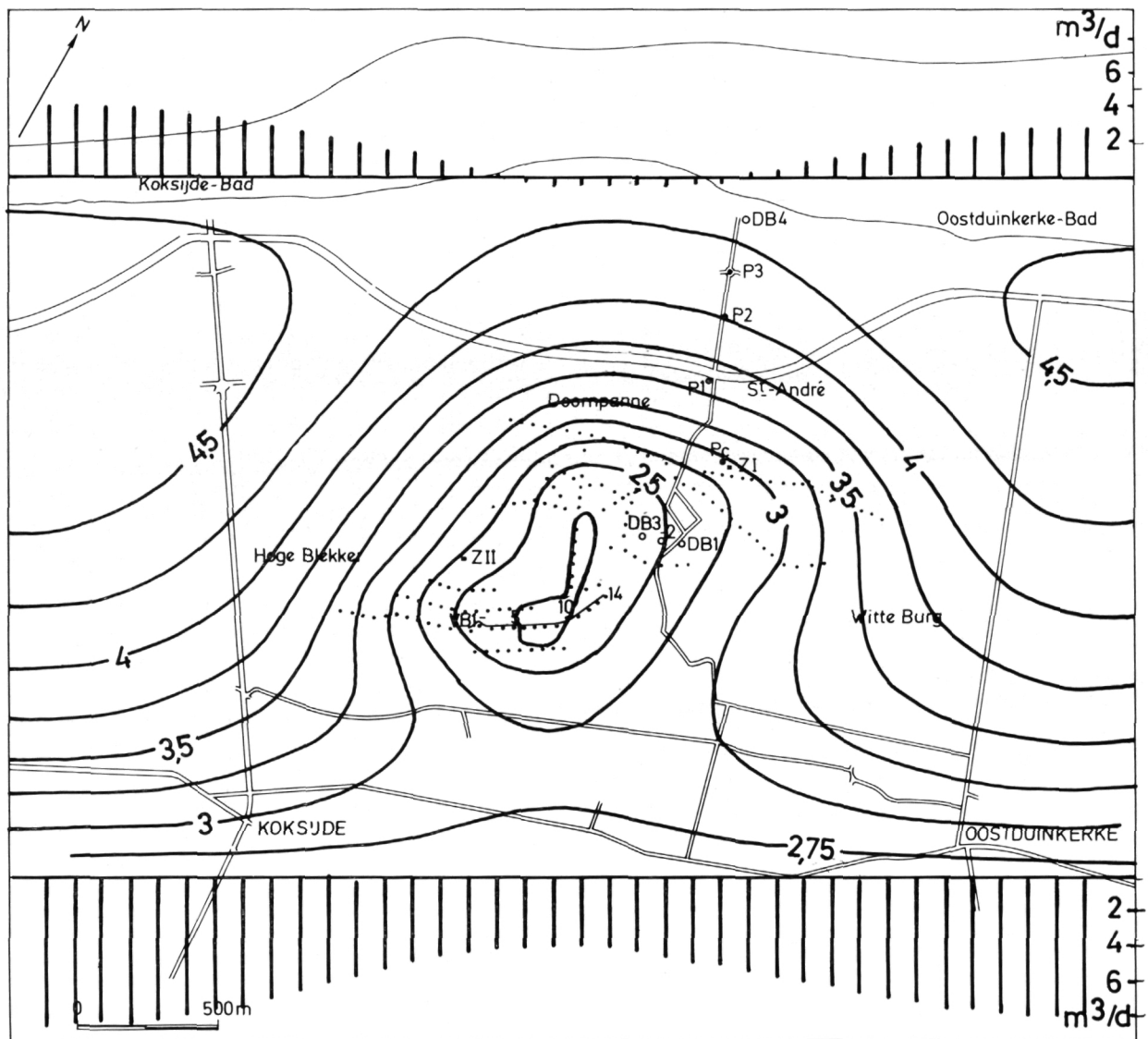


Fig. 7. — Systeem Ia. Stijghoogteverdeling bij permanente stroming. De afvoerdebieten over een lengte van 10 m aan de noordwestelijke en zuidoostelijke grens.

hoogte gelijk aan de dikte van de watervoerende laag. De stijghoogte van iedere cel werd berekend bij permanente stroming door de toepassing van de eindig verschilmetode (finite difference) op de wet van DARCY en de wet van de continuïteit met een iteratief proces.

Er werd verondersteld dat de freatische laag homogeen is. Voor de transmissiviteit werd een algemene waarde van $340 \text{ m}^2/\text{d}$ aangenomen. Er werd geen rekening gehouden met halfdoorlatende lagen. Zoals blijkt uit de hydrogeologische studie ten westen van De Panne (L. LEBBE, 1978) kunnen dergelijke lagen de grondwaterbeweging beïnvloeden.

De noordwestelijke en de zuidoostelijke grenzen werden als vaste stijghoogtegrenzen aangenomen. De zuidwestelijke en de noordoostelijke grens werden als

ondoorlatend aangezien. Men kan immers veronderstellen dat de grondwaterstroming ermee evenwijdig verliep.

Voor de infiltratie werd het jaarlijks gemiddelde van de periode 1957-1976 aangenomen, nl. $271,8 \text{ mm/j}$. Bij de eerste berekening (Systeem Ia) ging men ervan uit dat de hoeveelheid water gewonnen uit iedere zuigput evenredig was met het aantal winningsputten. De totale opgepompte hoeveelheid beliep $1,5$ miljoen m^3/j , hetzij $4107 \text{ m}^3/\text{d}$.

Het resultaat van de berekeningen gaf een beeld van de stijghoogten in het duingebied (fig.7). Daaruit kon men de grondwaterstroming afleiden. De plaats van de 10-, 25- en 50-jaarisokronen van de waterwinning werd berekend uit de stijghoogteverdeling, voor een porositeit van 30%

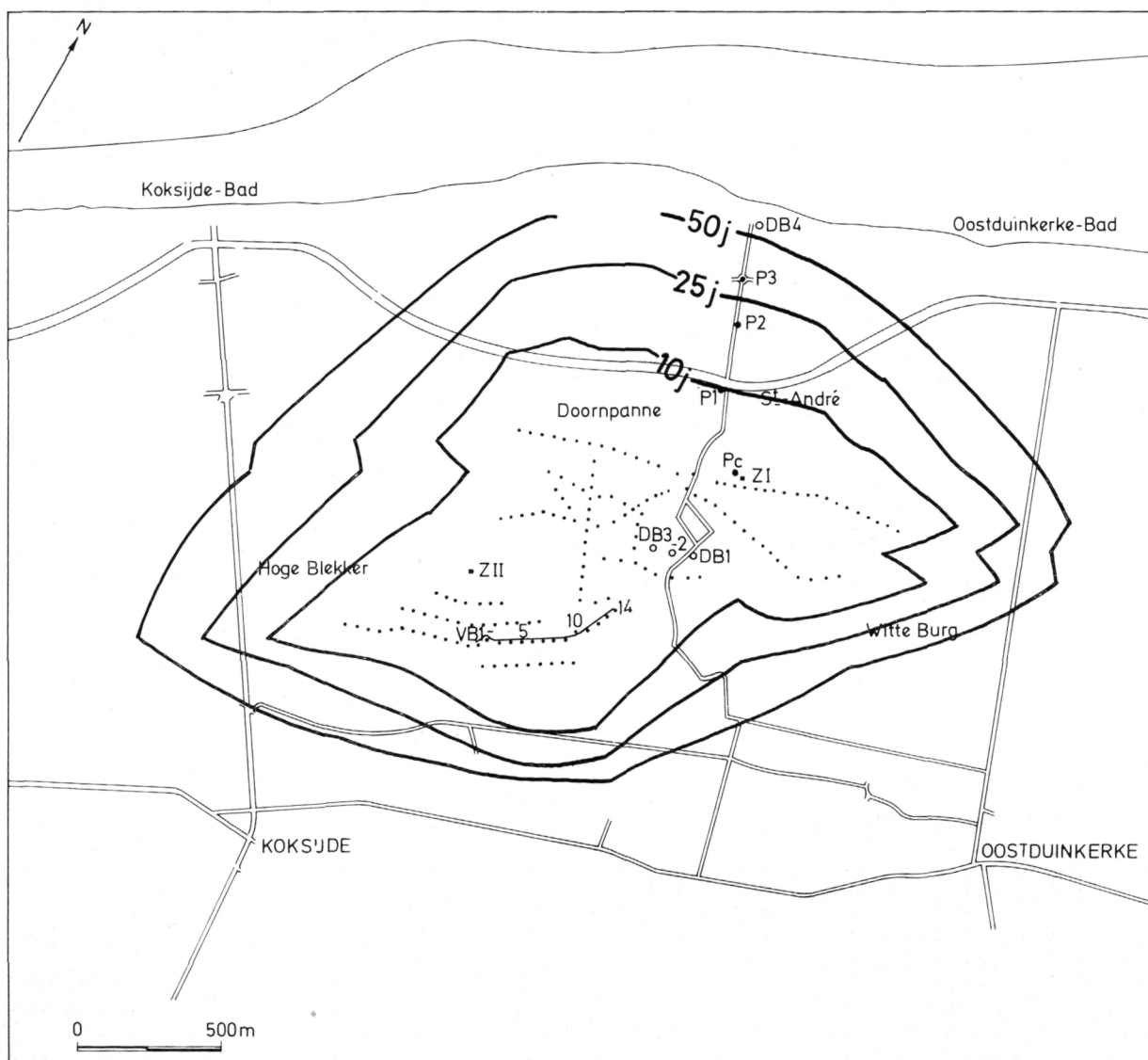


Fig. 8. — Systeem Ia. De 10-, 25- en 50-jaarisokronen afgeleid uit de permanente stroming.

Het totale debiet, dat zeewaarts stroomde, zou 660 m³/d bedragen, dit is 9,3 % van hetgeen in het gebied infiltreerde. Dat is tevens 26 % van de natuurlijke stroming die vanuit het duingebied naar de zee zou stromen indien de waterwinning er niet was. Ter hoogte van de waterwinning zou de zeewaartse stroming zeer klein zijn en op sommige plaatsen zou de stroming zelfs landwaarts gericht zijn. Het totale debiet in de richting van de polders zou 2320 m³/d zijn of 32,7 % van de infiltratie in het gebied. Dat is 52 % van de natuurlijke stroming die zou optreden in de richting van de polders vanuit het duingebied zonder waterwinning. De rest van het geïnfiltreerde water, 58 %, zou naar de waterwinning stromen.

Bij een tweede berekening (Systeem Ib) werd uit-

gegaan van de veronderstelling dat evenveel water gepompt werd uit de zuigput ZII als uit de zuigput ZI, d.w.z. dat uit iedere winningsput aangesloten op zuigput ZII ongeveer het dubbele van die aangesloten op zuigput ZI getrokken werd. De totale opgepompte hoeveelheid water was echter dezelfde als bij de eerste berekening. Men verkreeg een enigszins gewijzigde stijghoogteverdeling (fig. 9). Het debiet dat zeewaarts zou stromen was groter, nl. 771 m³/d. De stroming zou geschieden over de ganse noordwestelijke grens in de richting van de zee. De 10-, 25- en 50-jaariskronen zouden minder dicht bij de zee lopen dan bij de eerste berekening (fig. 10). In de richting van de polders zou in dat geval 2209 m³/d stromen.

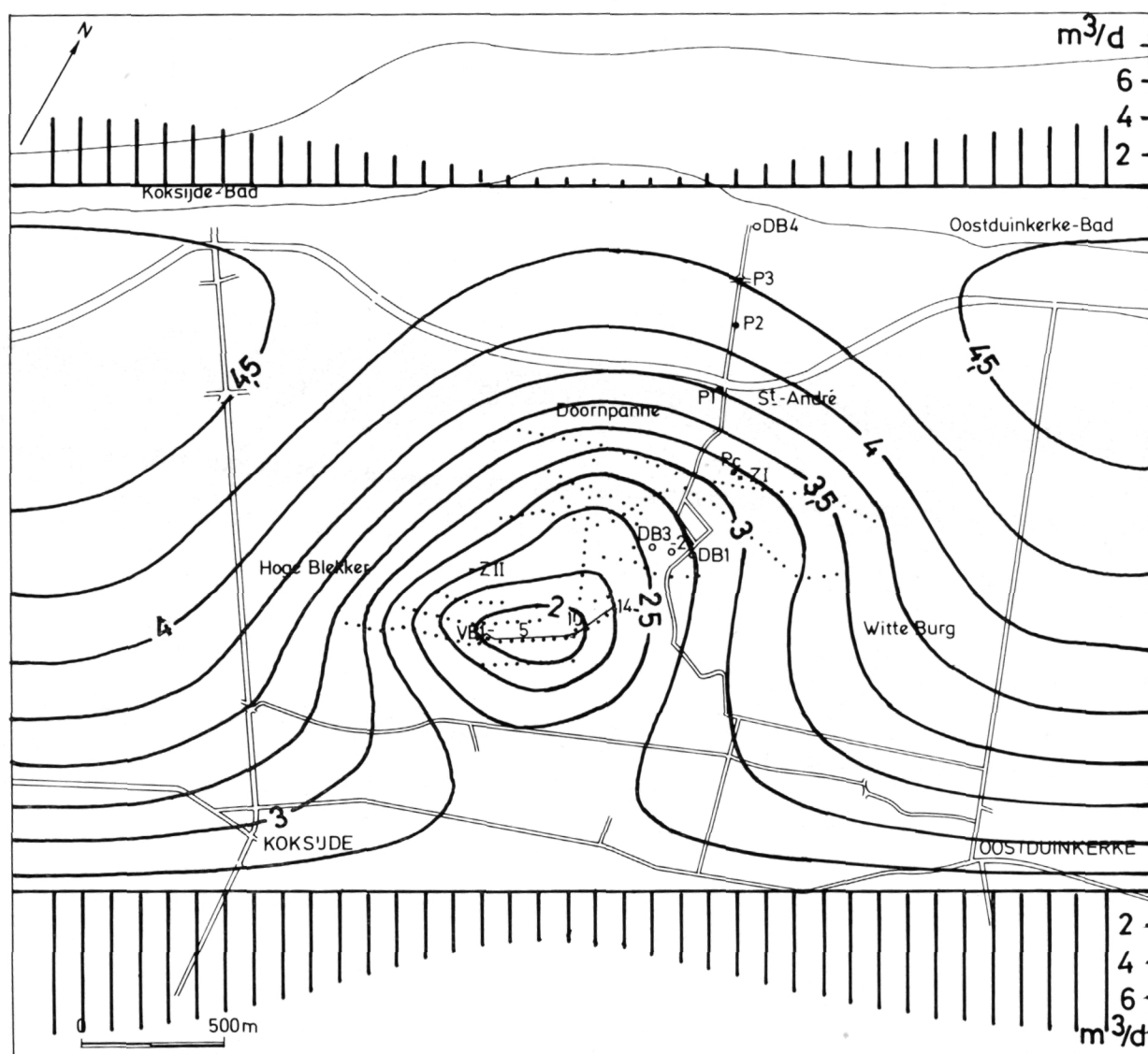


Fig. 9. — Systeem Ib. Stijghoogteverdeling bij permanente stroming. De afvoerdebieten over een lengte van 10 m aan de noordwestelijke en zuidoostelijke grens.

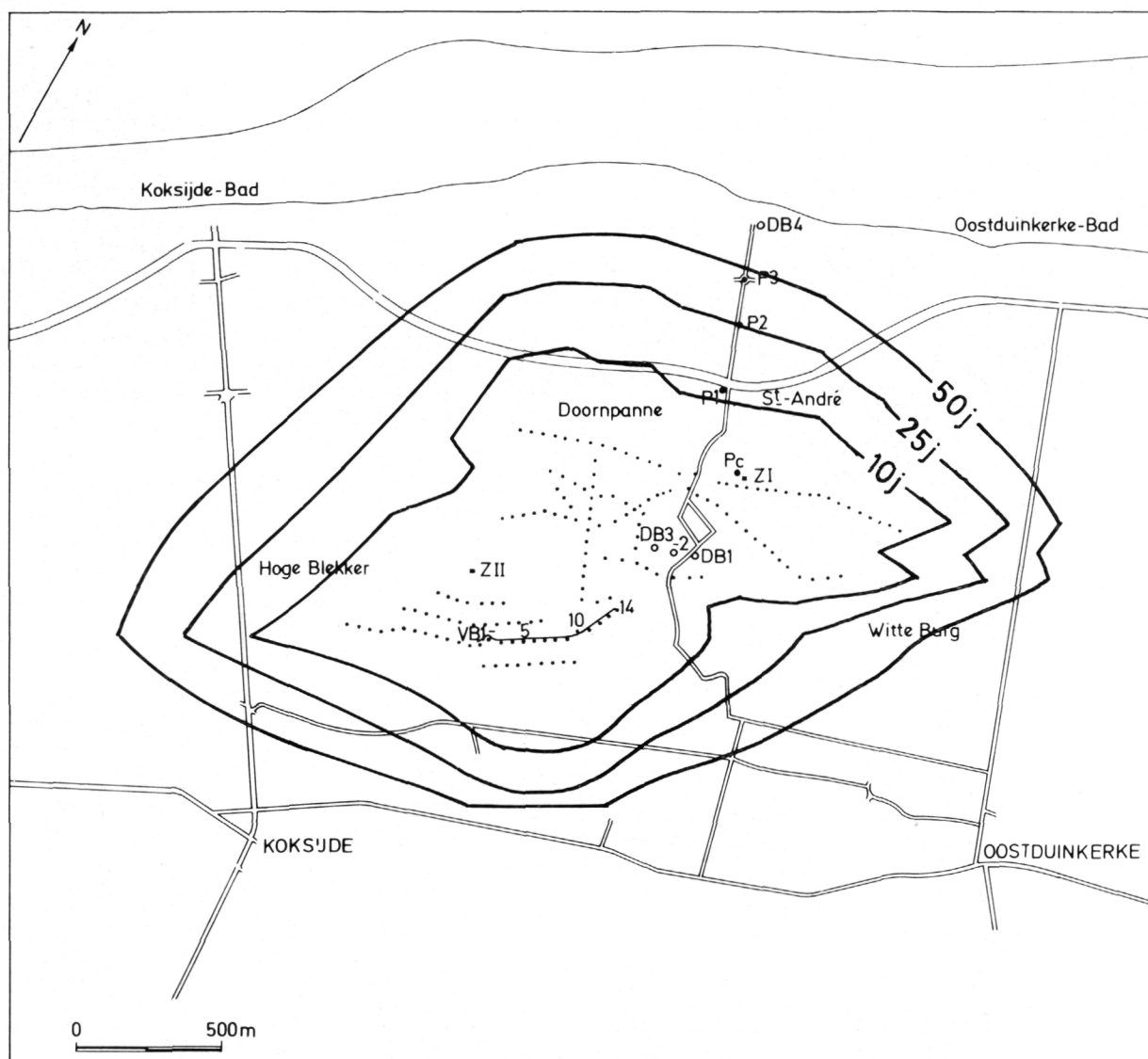


Fig. 10. — System Ib. De 10-, 25- en 50-jaar isokronen afgeleid uit de permanente stroming.

5.4. Bergingscoëfficiënt nabij de watertafel en de stijghoogteveranderingen (Systeem II)

Uit de maandelijkse gemiddelde infiltratie van de periode 1957-1976 kon een karakteristieke jaarlijkse verdeling van de infiltratie afgeleid worden (fig. 5). In figuur 11 is het verschil tussen die verdeling en de jaarlijkse gemiddelde infiltratie voorgesteld. Daaruit blijkt dat de infiltratie in de periode oktober tot februari groter was dan de gemiddelde jaarlijkse infiltratie.

Indien men aanneemt dat de stroming als gevolg van de infiltratie loodrecht op de as van het duingebied plaatsgrijpt, is het model te herleiden tot een één-dimensioneel model waarin een rij cellen beschouwd wordt.

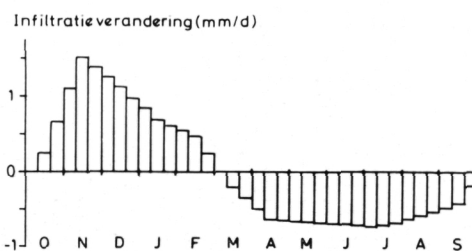


Fig. 11. — Verandering van de tiendagelijkse gemiddelde infiltratie t.o.v. de jaarlijkse gemiddelde infiltratie.

De stijghoogten ter hoogte van de duin-poldergrens en van de hoogwaterlijn werden als vaste stijghoogtegrenzen beschouwd. Als transmissiviteit nam men opnieuw de waarde $340 \text{ m}^2/\text{d}$ aan en als bergingscoëfficiënt nabij de watertafel 0,2.

De verandering van de stijghoogten werd berekend voor een periode van 10 jaar. Daarbij werd steeds dezelfde verandering van infiltratie t.o.v. het jaarlijks gemiddelde gebruikt. De stijghoogteverandering van het tiende jaar is in figuur 12 voorgesteld. Ze is nagenoeg dezelfde als die van het negende jaar, wat erop wijst dat men die stijghoogteverandering als karakteristiek kon beschouwen.

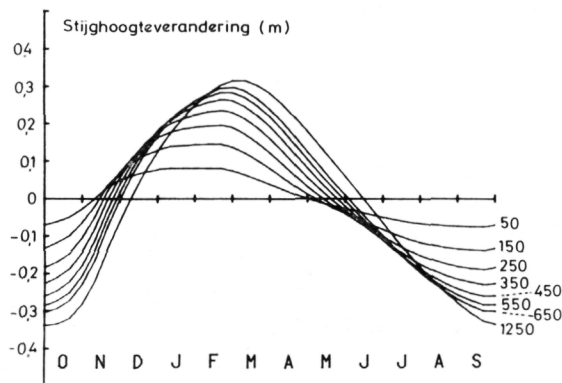


Fig. 12. — Karakteristieke stijghoogteverandering t.o.v. de jaarlijkse gemiddelde stijghoogte afgeleid met behulp van de karakteristieke infiltratieverandering en de bergingscoëfficiënt nabij de watertafel (Systeem II).

De berekende stijghoogteverandering stemt overeen met de gemeten waarde in de piëzometers P1, P2 en P3. Dat toont aan dat de waarde voor de bergingscoëfficiënt nabij de watertafel goed gekozen was.

Uit de stijghoogteverandering nabij de hoogwaterlijn bepaalde men hoe in de richting van de zee het debiet varieerde t.o.v. het gemiddelde dagelijkse debiet (fig. 13). Wegens symmetrie varieerde het debiet in de richting van de polders aan de duin-poldergrens op gelijkaardige wijze.

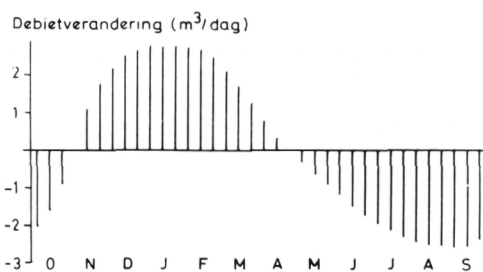


Fig. 13. — Verandering van het afvoerdebiet t.o.v. de jaarlijkse gemiddelde afvloeiing per 10 m aan de noordwestelijke of zuidoostelijke grens.

Men merkt een vertraging van ongeveer twee maand tussen de maximale infiltratie (fig. 11) en het maximale afvloeiende debiet (fig. 13).

5.5. Seizoenverandering van de stijghoogten en van de debieten

Door de superpositie van de systemen Ia of Ib en systeem II kwam men systeem III (J. H. EDELMAN, 1972). Hierin werd verondersteld dat de stijghoogte op de hoogwaterlijn konstant op + 4,3 bleef en op de duin-poldergrens op + 2,5 m. Men veronderstelde verder dat de infiltratie veranderde volgens de karakteristieke jaarlijkse verdeling (fig. 5). Men nam aan dat jaarlijks 1,5 miljoen m³ water werd opgepompt.

Met systeem III bepaalde men de maandelijkse stijghoogteconfiguratie van het gebied door combinatie van de stijghoogteverdeling van de systemen Ia (fig. 7) of Ib (fig. 9) en de stijghoogteverandering van systeem II (fig. 12).

Men kan ook met systeem III de debieten berekenen die naar de zee of naar de polders vloeien. Dat gebeurt door bij de gemiddelde debieten van systeem Ia (fig. 7) of Ib (fig. 9) de debietsverandering van systeem II (fig. 13) op te tellen.

BESLUIT

Uit de studie van boorprofielen in het duingebied tussen Koksijde en Oostduinkerke krijgt men het volgende beeld van de bouw van het freatisch reservoir. Onder het duinzand, waarin humeuze horizonten voorkomen, treft men vanaf het peil + 4,5 tot - 9 van boven naar onder lemig en/of kleilig zand tot klei, fijn middelmatig zand en schelpen aan. Tussen - 9 en - 20 ligt lemig fijn zand, daaronder een schelp-laag met slecht gesorteerd materiaal. Het kleisubstraat treft men aan op - 22.

Door middel van een pompproof werd berekend dat de transmissiviteit van de freatische laag 340 m²/d en de elastische bergingscoëfficiënt ca. 3.10⁻³ bedraagt.

Het grondwater in de nabijheid van de waterwinning had een gemiddeld zoutgehalte van 650 mg/l en was ijzerrijk. Ten noorden van de winning bevatte het water slechts 400 mg/l zout en ook minder ijzer. Het gehalte aan aardalkaliën (Ca⁺⁺ en Mg⁺⁺) is steeds belangrijker dan het gehalte aan alkaliën (Na⁺ en K⁺) met uitzondering van het water in de onderste schelp-laag die op het kleisubstraat rust.

Uit een elektrische boorgatmeting is gebleken dat op een honderdtal meters van de hoogwaterlijn het water zwak tot matig zoet was over de ganse dikte van de waterlaag, met uitzondering van de bovenste schelp-laag, die water bevat met een kleinere resistiviteit.

De permanente grondwaterstromingen, die in het studiegebied zouden ontstaan indien men 1,5 mil-

joen m³/j zou onttrekken, werden berekend voor twee gevallen. In het eerste geval zou aan iedere winningsput hetzelfde debiet onttrokken worden. In het tweede zou aan de winningsputten, aangesloten op de zuidelijke zuigput, tweemaal zoveel onttrokken worden als op die aangesloten op de noordelijke zuigput. In beide gevallen zou de stroming zeewaarts meer afnemen dan polderwaarts. In het eerste geval zou men tot een toestand komen waarbij de stroming op de hoogwaterlijn niet langer zeewaarts maar landwaarts zou verlopen. De 50-jaarisokroon zou de hoogwaterlijn bereiken. Deze zou meer landwaarts liggen in het tweede geval. Daarom verdient een waterwinning zoals verondersteld in het tweede geval de voorkeur. Aldus zou men vermijden zout water van onder het strand aan te trekken.

Uit de verandering van de infiltratie en van de

stijghoogte werd de waarde van de bergingscoëfficiënt nabij de watertafel benaderd. Hieruit werd de verandering van de afvoerdebieten afgeleid.

REFERENTIES

- EDELMAN, J. H. (1972). *Groundwater hydraulics of extensive aquifers*, 216 p. Wageningen : ILRI (Bull. 13).
- LEBBE, L. C. (1973). *Hydrogeologisch onderzoek van het duingebied te Oostduinkerke*, 105 p., Gent : Geologisch Instituut, Rijksuniversiteit (Verh. Lic. Aard- en Delfstofk.).
- LEBBE, L. C. (1978). *Hydrogeologie van het duingebied ten westen van De Panne*, 164 p., Gent : Geologisch Instituut (Verh. Dr. Aard- en Delfstofk.).
- SCHITTEKAT, J. (1972). *Étude sédimentaire et hydrogéologie à Oostduinkerke*, 83 p., Liège : Université de l'État (Travail de Fin d'Études).