

# EEN MATEMATISCH MODEL VAN DE GRONDWATERSTROMINGEN IN HET KWARTAIRE RESERVOIR TEN OOSTEN VAN DE HAAN

door  
J. DEVOS\*, L. LEBBE\*\* en B. RAMAN\*\*\*

64228

VLIZ (vzw)  
VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEE  
FLANDERS MARINE INSTITUTE  
Oostende - Belgium

## SAMENVATTING

De grondwaterstromingen in het kwartaire reservoir van het duingebied ten oosten van De Haan werden nagebootst met een mathematisch model. Door toetsing van de berekende aan de waargenomen stijghoogteconfiguratie werden de geschatte laterale variaties van de hydraulische parameters herhaaldelijk aangepast. Nadat op die wijze het model was geijkt, werd de invloed nagegaan van een eventuele grondwaterwinning. Voorspeld kan worden dat zelfs bij een beperkte winning van 250.000 m<sup>3</sup>/jaar het grondwaterreservoir kunstmatig moet worden aangevuld, om op de duur geen zout water aan te trekken.

## ABSTRACT

A mathematical model has been developed to simulate groundwater flow in the Quaternary aquifer system east of De Haan (Belgium). The estimated lateral variations of the hydraulic parameters have repeatedly been adjusted by comparing the calculated hydraulic-head configuration to the observed one. After this calibration of the model was achieved, the influence of groundwater extraction has been examined. Even at pumping rates as low as 250.000 m<sup>3</sup>/year, artificial replenishment of the aquifer system will be necessary in order to avoid flow of salt water towards the wells.

## RESUME

L'écoulement des eaux souterraines dans la nappe aquifère quaternaire des dunes à l'est de De Haan a été simulé à l'aide d'un modèle mathématique. Tenant compte des déviations entre les niveaux piézométriques calculés et ceux observés, les variations latérales des paramètres hydrauliques ont été ajustées à plusieurs reprises. Lorsque le modèle fut ainsi suffisamment calibré, l'influence d'une exploitation d'eau souterraine a été examinée. Même à un débit de pompage limité à 250.000 m<sup>3</sup>/an, l'alimentation artificielle de la nappe sera nécessaire pour éviter le mouvement de l'eau salée vers les puits de captage.

## 1. INLEIDING

Het duingebied tussen De Haan en Wenduine varieert in breedte tussen 700 m en ruim 1 km (fig. 1). In de periode 1980-1984 werd er een hydrogeologische studie uitgevoerd (J. DEVOS, 1984). De kwalitatieve en kwantitatieve aspecten van het grondwater en van het reservoir werden onderzocht. Daarnaast werden aan de hand van een infiltratieproef de mogelijkheden tot kunstmatige voeding aangewend in een mathematisch model, waarmee vooreerst de natuurlijke grondwaterstroming werd nagebootst. Vervolgens werd de invloed van een beperkte grondwaterwinning, al of niet gekombineerd met infiltratie, berekend.

## 2. HYDROGEOLOGISCHE BOUW VAN HET GRONDWATERRESERVOIR

Talrijke boringen hebben aangetoond dat de kwartaire ondergrond tussen De Haan en Wenduine een laagde grondwaterreservoir vormt. Meestal bestaat het uit drie goed doorlatende, zandige afzettingen (watervoerende lagen), gescheiden door twee slecht doorlatende, kleiige, lemige of venige afzettingen (halfdoorlatende lagen). Onderaan wordt het reservoir afgesloten door tertiaire klei (fig. 2).

De onderste watervoerende laag (A) bestaat uit pleistoceen zand, eventueel bedekt met zand behorende tot de afzetting van Calais. De dikte van deze halfartesisische laag bedraagt 25 m in het westen van het gebied, doch is in het centrum en het noordoosten afgenomen tot 15 m, als gevolg van het oprijzen van het tertiaire substraat.

\* J. DEVOS, dr. sc., aspirant N.F.W.O., Leerstoel voor Toegepaste Geologie (Prof. dr. W. DE BREUCK), Rijksuniversiteit Gent, Krijgslaan 281, 9000-GENT.  
\*\* L. LEBBE, dr. sc., bevoegdverklaard navorsers N.F.W.O., Leerstoel voor Toegepaste Geologie (Prof. dr. W. DE BREUCK), Rijksuniversiteit Gent, Krijgslaan 281, 9000-GENT.  
\*\*\* B. RAMAN, lic. inform., wet. medew., Leerstoel voor Toegepaste Geologie (Prof. dr. W. DE BREUCK), Rijksuniversiteit Gent, Krijgslaan 281, 9000-GENT.

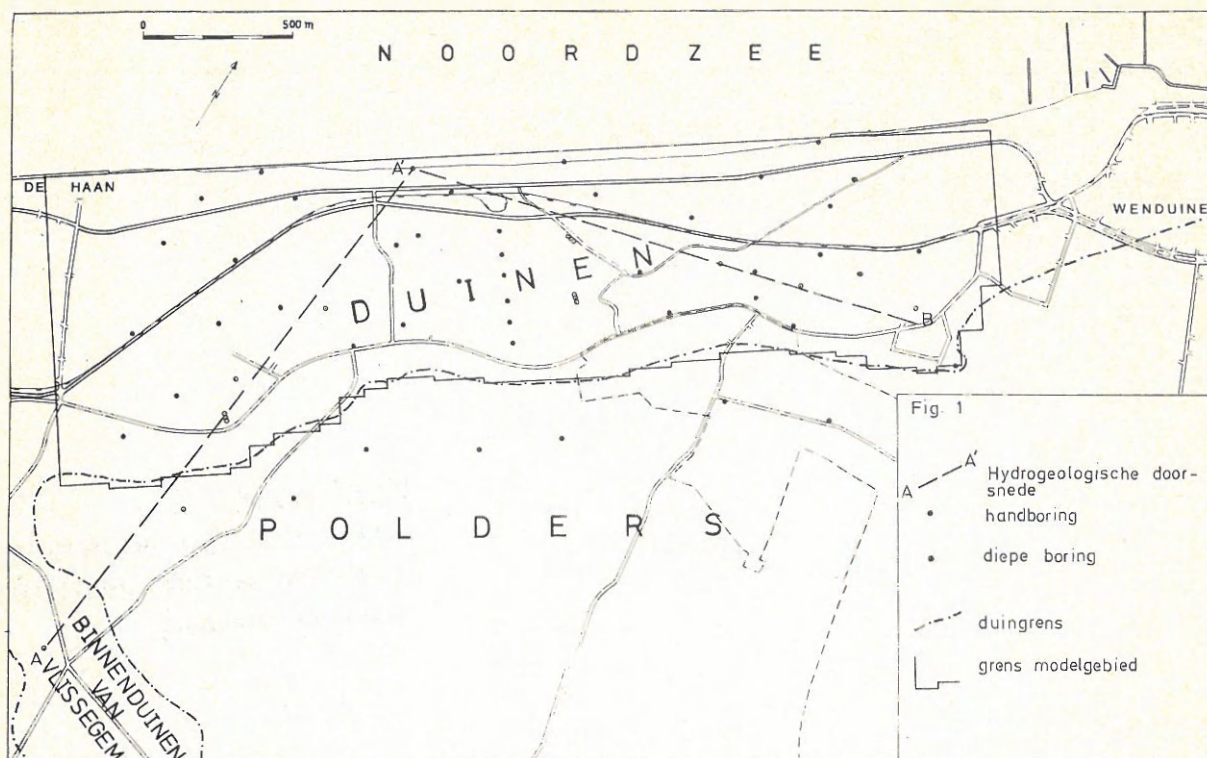


Fig. 1 – Situering van het onderzochte gebied.

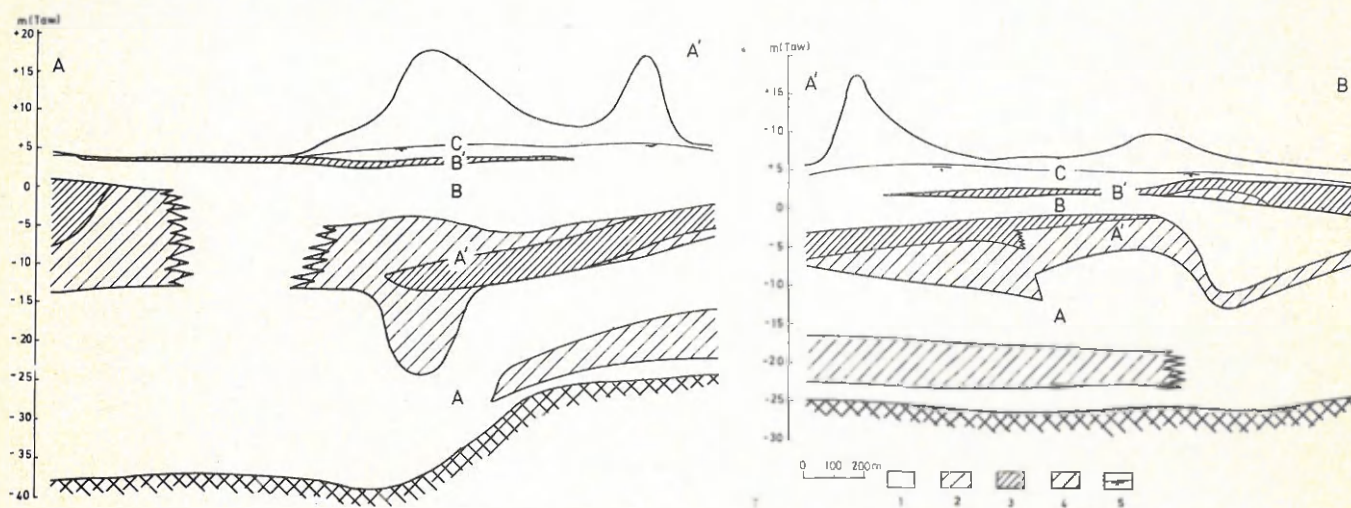


Fig. 2 – Hydrogeologische doorsneden door het kwartaire grondwaterreservoir.

De onderste halfdoorlatende laag (A') bevat klei en leemhoudend fijn zand met kleilaagjes van de afzetting van Calais, en plaatselijk ook het oppervlakteveen.

De halfartesische laag B en de halfdoorlatende laag B' worden steeds gevormd door respectievelijk zand en klei van de afzetting van Duinkerken.

Het goed doorlatende duinzand bevat de watertafel, zodat er een dunne freatische laag (C) in voorkomt.

### 3. HYDROLOGISCHE WAARNEMINGEN

De boringen werden voorzien van peilbuizen waarin vanaf maart 1980 de stijghoogte maandelijks werd opgemeten. Dit liet toe om per maand de stijghoogteverdeling in de verschillende watervoerende lagen op kaart weer te geven. Daaruit leidt men het regionale grondwaterstromingspatroon af (fig. 3).

Bovendien werd vastgesteld dat de stijghoogte ritmische schommelingen o.i.v. de getijden vertoont. De interpretatie van deze getijdenschommelingen bood, in combinatie met andere methodes (pompproeven, waarnemingen in boringen,...), een mogelijkheid tot schatting van de laterale variaties in de waarden van de hydraulische parameters.

### 4. GRONDWATERKWALITEIT

Analyses van grondwaterstalen, aangevuld met elektrische boorgatmetingen, hebben aangetoond dat de grondwaterkwaliteitsverdeling in het reservoir zeer complex is. Het voorkomen van zoet, brak en zout water in de ondergrond hangt nauw samen met de hydrogeologische bouw van het reservoir. Van groot belang hierbij zijn de laterale variaties in hydraulische weerstand van de halfdoorlatende lagen. De aanwezigheid van konnaat, brak water beperkt de mogelijkheid tot grondwaterwinning.

### 5. MATEMATISCH MODEL

#### 5.1. Algemeen

Een mathematisch model voor een grondwaterstromingsprobleem berust op de numerieke oplossing van het stelsel van vergelijkingen, gevormd door de wet van Darcy en de continuïteitswet. Daartoe wordt hier de eindigverschilmethode aangewend. Met een iteratief proces wordt de oplossing progressief benaderd (G. PINDER & J. BREDEHOEFT, 1968).

Wegens de gelaagdheid van het reservoir treden niet-verwaarloosbare verticale stijghoogtegradiënten op, zodat de stijghoogteverdeling volgens drie dimensies dient te worden berekend (L. LEBBE, 1978). De verticale stroming in de watervoerende lagen en de horizontale stroming in de halfdoorlatende lagen zijn evenwel onbeduidend. De driedimensionele stroming kan dan ook worden herleid tot een kwasi-driedimensioneel stromingspatroon: zuiver horizontaal in de watervoerende, zuiver vertikaal in de halfdoorlatende lagen.

Verder wordt hier alleen stationaire grondwaterstroming beschouwd, d.w.z. bij volledig evenwicht tussen aanvulling, afvloeien en eventueel ook onttrekking van grondwater zodat geen bergingsveranderingen meer optreden.

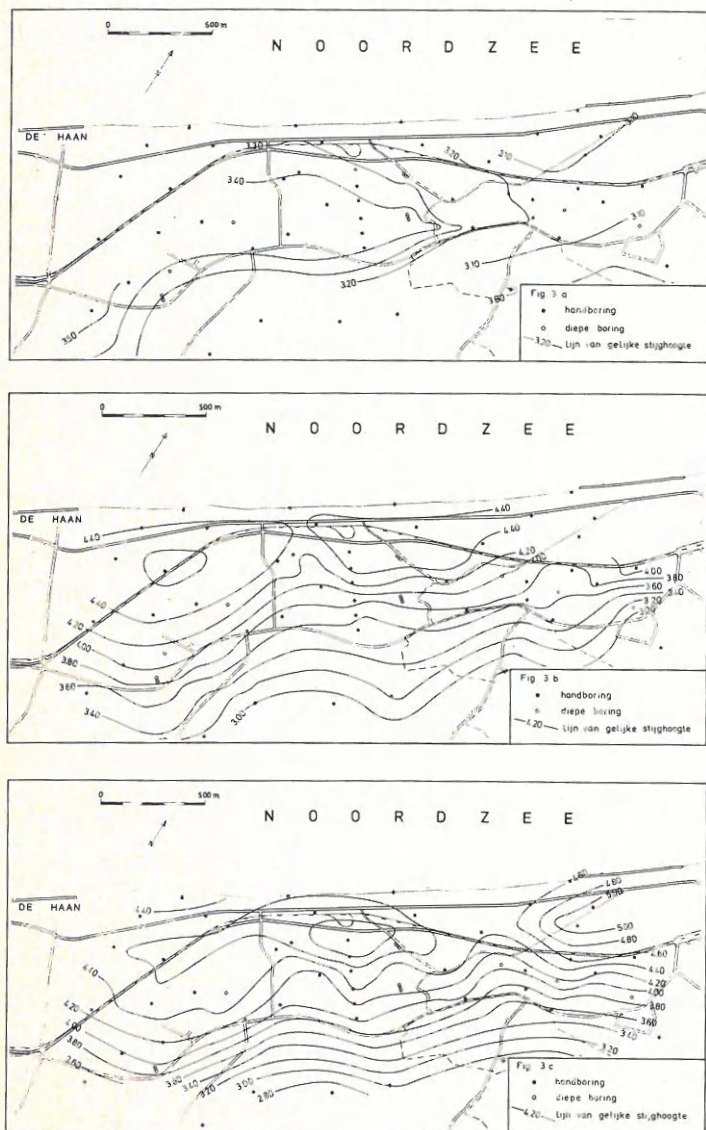


Fig. 3 – Waargenomen gemiddelde stijghoogte-konfiguratie (1980-1983) in de halfartesische laag A (3a), in de halfartesische laag B (3b) en in de freatische laag C (3c).

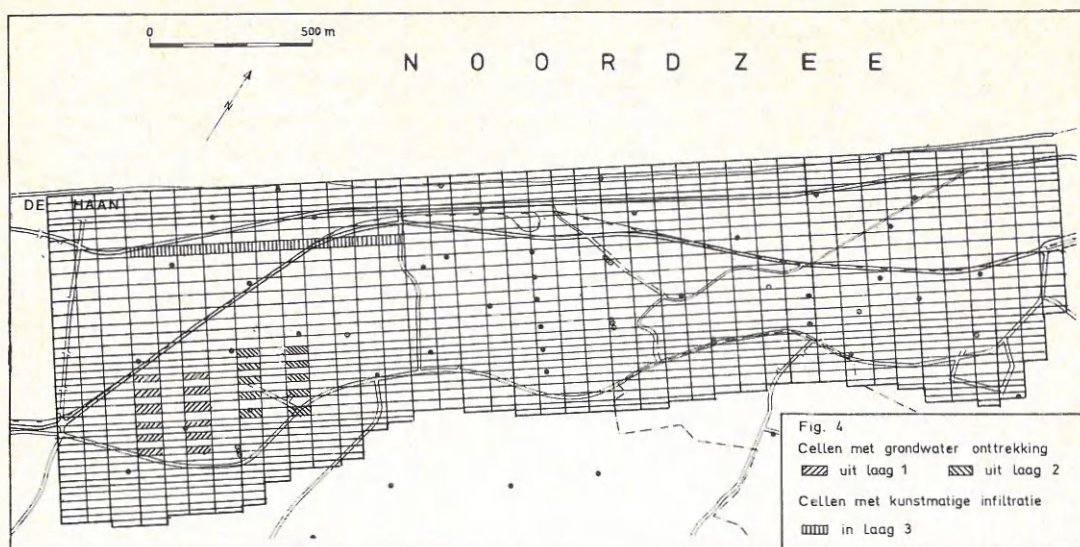


Fig. 4 – Indeling van het modelgebied in rijen en kolommen en lokalizatie van grondwateronttrekking en kunstmatige infiltratie.

## 5.2. Ingevoerde gegevens

### 5.2.1. Vorm en begrenzing van het reservoir

De eindigverschilmethode noodzaakt de diskretisatie van het grondwaterreservoir tot een ruimterooster van elementaire cellen. Daartoe worden rijen, kolommen en lagen ingevoerd (fig. 4). De rijen hebben dezelfde richting als de kustlijn, de kolommen staan loodrecht hierop. Wegens de in 5.1. gemaakte veronderstelling, kan het aantal lagen beperkt blijven tot drie.

De noord- en de zuidgrens worden gevormd door respectievelijk de rechtlijnige hoogwaterlijn en de min of meer onregelmatig verlopende poldergrens. Aan deze beide grenzen heerst een vaste stijghoogte, die evenwel per cel een andere waarde kan aannemen, doch doorheen het berekeningsproces konstant wordt gehouden.

De west- en de oostgrens vallen nagenoeg samen met stroomlijnen en worden daarom ondoorlatend ondersteld.

De bovengrens wordt gevormd door de watertafel en ontvangt een konstante voeding, nl. het gemiddelde tempo van de natuurlijke infiltratie. De ondergrens is het ondoorlatende tertiaire substraat.

De breedte van de kolommen (75 m) en het aantal cellen per rij (40) blijven steeds gelijk. De breedte van de rijen daarentegen varieert tussen 20 en 60 m. De rijen met geringste breedte worden ingebouwd nabij de hoogwaterlijn en de poldergrens, waar een relatief sterk stijghoogteverhang heerst. Wegens het

onregelmatig verloop van de zuidgrens is het aantal cellen per kolom niet konstant.

Aan elke laag wordt een bepaalde dikte toegekend: van onder naar boven 22, 6 en 8 m. De totale dikte van 36 m stemt overeen met deze van het kwartaire grondwaterreservoir. De hydrogeologische eenheden A en A' worden in de onderste laag (1) van het model ondergebracht, B en B' in de middelste (2) en C in de bovenste laag (3).

### 5.2.2. Hydraulische parameters

De ingevoerde hydraulische parameters zijn in de eerste plaats bepaald aan de hand van pompproeven, die op een drietal plaatsen in het gebied werden uitgevoerd. Deze waarden werden geëxtrapoleerd rekening houdend met allerlei gegevens: waarnemingen in boringen, schatting van de doorlatendheid uit granulometrisch onderzoek, interpretatie van de regionale stijghoogteverdeling en van de getijden-schommelingen.

#### 5.2.2.1. Horizontale doorlatendheid

Per cel wordt de horizontale doorlatendheid ingevoerd. Daar in het model de lagen lateraal niet in dikte variëren, is de ingevoerde horizontale doorlatendheid een schijnbare waarde. Zij wordt zodanig gekozen dat onder een bepaald stijghoogteverhang evenveel water een cel zal binnen- of buitenstromen als bij de werkelijke dikte en doorlatendheid van de watervoerende laag.

De aan laag 1 toegekende horizontale doorlatendheid varieert van 4 tot 10 m/d, deze van de laag 2 tussen 2 en 6 m/d. Voor deze laatste laag werd evenwel een zeer kleine waarde ingevoerd (0,1 m/d) in de zone waar de halfartesische laag B ontbreekt. De horizontale doorlatendheid van laag 3 bedraagt steeds 10 m/d.

#### 5.2.2.2. Hydraulische weerstand

Aan de lagen 1 en 2 van het model wordt een hydraulische weerstand toegekend, overeenstemmend met de hydraulische weerstand van respectievelijk de halfdoorlatende lagen A' en B'. De ingevoerde waarden kunnen zeer ruim variëren: van 200 tot 17.500 d voor de onderste, van 10 tot 2.500 d voor de middelste laag.

#### 5.2.2.3. Toppeil van de bovenste halfdoorlatende laag

De grondwaterstroming in de bovenste laag is beperkt tot het dunne verzadigde gedeelte van het duinzand. Zijn basis vertoont een zeker reliëf. De hiermee samenhangende diktewisselingen van de freatische laag kunnen in het model niet worden nabootst door de werkelijke horizontale doorlatendheid met een evenredig bedrag aan te passen, zoals bij de onderliggende lagen. De bovengrens van laag 3 wordt immers gevormd door het freatisch oppervlak, dat bij de berekeningen een onbekende is, waarnaar het stelsel wordt opgelost.

Daarom wordt aan de bovenste laag de ware horizontale doorlatendheid van de freatische duinzandlaag toegekend. De diktewisselingen worden rechtstreeks in de berekeningen gebracht door per cel het toppeil van de onderliggende halfdoorlatende laag in te voeren. Dit is begrepen tussen +2,20 en +3,80 m O.P.

#### 5.2.3. Natuurlijke voeding

De cellen van de bovenste laag ontvangen een bepaalde hoeveelheid water door de natuurlijke infiltratie. Over het gehele duingebied wordt hiervoor een waarde van 280 mm/j toegekend. Dit stemt overeen met de natuurlijke voeding in de duinen van De Panne. (I. LEBBE, 1978).

#### 5.2.4. Winning van grondwater, kunstmatige voeding

Het model voorziet in de mogelijkheid om aan iedere cel een hoeveelheid water te onttrekken of toe te voegen. Dit komt overeen met de lokalizatie van een pompput of infiltratieput in het celmiddenpunt.

### 5.3. Resultaten

Na herhaalde aanpassingen van de ingevoerde hydraulische parameters en randvoorwaarden, berekende het model voor de rusttoestand een stijghoogtekongfiguratie, die voldoende overeenkwam met de waargenomen gemiddelde stijghoogtekongfiguratie. Vervolgens werd de invloed berekend van een winning van 250.000 m<sup>3</sup>/j, achtereenvolgens in de halfartesische laag A en in de halfartesische laag B. Laatstgenoemde winning werd al of niet gekombineerd met kunstmatige infiltratie.

In de drie gevallen wordt water onttrokken aan 12 pompputten, elk met een debiet van 57,6 m<sup>3</sup>/d, gelegen in het westen van het duingebied (fig. 4). Op die plaats is de zoetwatervoorraad immers het grootst en zijn de voorwaarden voor grondwataaanvulling (natuurlijk of kunstmatig) het gunstigst.

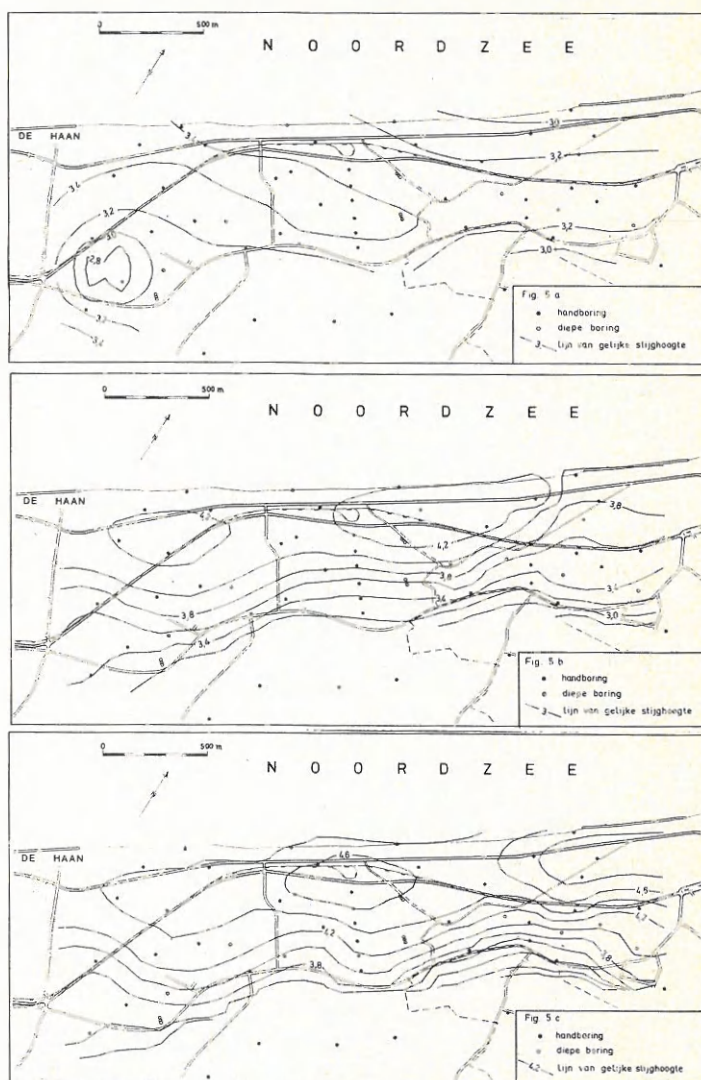


Fig. 5 – Berekende stijghoogtekongfiguratie in de halfartesische laag A (5a), in de halfartesische laag B (5b) en in de freatische laag C (5c) bij winning van 250.000 m<sup>3</sup>/jaar uit laag A.

### 5.3.1. Winning van 250.000 m<sup>3</sup>/j uit de onderste laag

De berekende stijghoogteverdeling bij dergelijke winning is weergegeven in fig. 5.

In de aangepompte laag (fig. 5a) wordt een vlakke depressiekegel gevormd. De stijghoogtevermindering van 0,85 m die in de winning optreedt, zal echter het brak water, onderaan in de laag aanwezig, voldoende doen oprijzen om de winningsputten te bedreigen.

Bovendien ontstaat in de aangepompte laag zowel onder de hoogwaterlijn als onder de poldergrens een naar de winning gericht stijghoogteverhang. Vanaf de hoogwaterlijn zal na ca. 70 jaar het eerste zoutwaterdeeltje de winning bereiken. De polders nabij de winning bevatten een aanzienlijke zoetwatervoorraad, die tot nabij het tertiaire substraat reikt. Aanvloeit van polderwater naar de winning zal dan ook enkel na uitputting van deze zoetwatervoorraad het opgepompte water kwalijk beïnvloeden.

De hydraulische weerstand van de halfdoorlatende laag A' blijkt voldoende opdat de bovenliggende lagen B en C weinig zouden worden beïnvloed door de winning in laag A (fig. 5b en c).

### 5.3.2. Winning van 250.000 m<sup>3</sup>/j uit de middelste laag

Fig. 6 geeft de berekende stijghoogteverdeling bij dergelijke winning weer. In de middelste en bovenste laag wordt een diepe depressiekegel gevormd (fig. 6b en c). Deze veroorzaakt vanaf de hoogwaterlijn en vanaf de poldergrens een sterke grondwaterstroming naar de winning toe. Het duurt dan ook slechts 12 jaar vooraleer het eerste zoutwaterdeeltje, vertrokken vanaf de hoogwaterlijn, de winplaats bereikt. Instroming vanuit de polders is ook hier minder gevaarlijk, wegens de aanzienlijke zoetwaterhoeveelheden die er ter beschikking staan.

De stijghoogtedaling in de onderste, deels met brak water gevulde laag blijft voldoende beperkt om oprijzing van brak water naar de winningsputten te verhinderen.

De beperkte hydraulische weerstand van de halfdoorlatende laag B' kan niet beletten dat de grondwatertafel sterk wordt beïnvloed (fig. 6c). In de winning zelf is de verlaging maximaal 3,5 m, terwijl over een gebied van 21 ha de watertafel met minstens 1 m zal dalen. Daarom werd deze winning gesitueerd in een hooggelegen duingebied, waar van nature uit reeds een diepe grondwatertafel voorkomt.

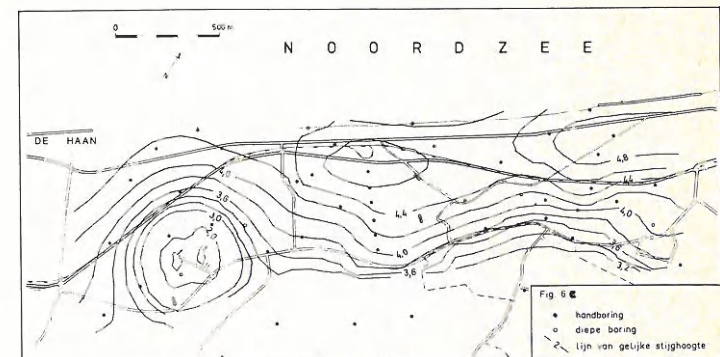
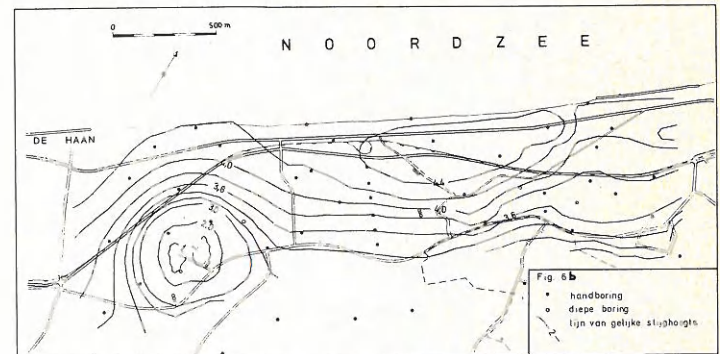
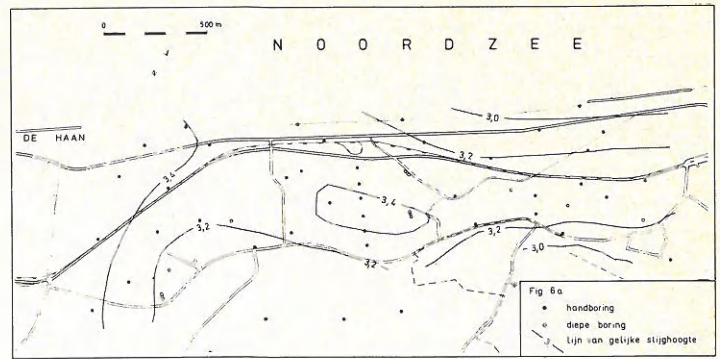


Fig. 6 – Berekende stijghoogteconfiguratie in de halfartesische laag A (6a), in de halfartesische laag B (6b) en in de freatische laag C (6c) bij winning van 250.000 m<sup>3</sup>/jaar uit laag B.

### 5.3.3. Gelijktijdige winning van 250.000 m<sup>3</sup>/j uit de middelste laag en kunstmatige infiltratie van 240.000 m<sup>3</sup>/j in de bovenste laag

Om bij aanpompeling van de middelste laag het onder de hoogwaterlijn landwaarts gerichte stijghoogteverhang te keren, kan kunstmatige infiltratie worden aangewend.

In het model werd een infiltratiesleuf ingebouwd 450 m zeewaarts van de winning (fig. 4). In die zone is de hydraulische weerstand van de bovenste halfdoorlatende laag beperkt. Kunstmatige voeding van de bovenste laag zal ook in de onderliggende aangepompte laag een aanzienlijke stijghoogtetoenamen veroorzaken.

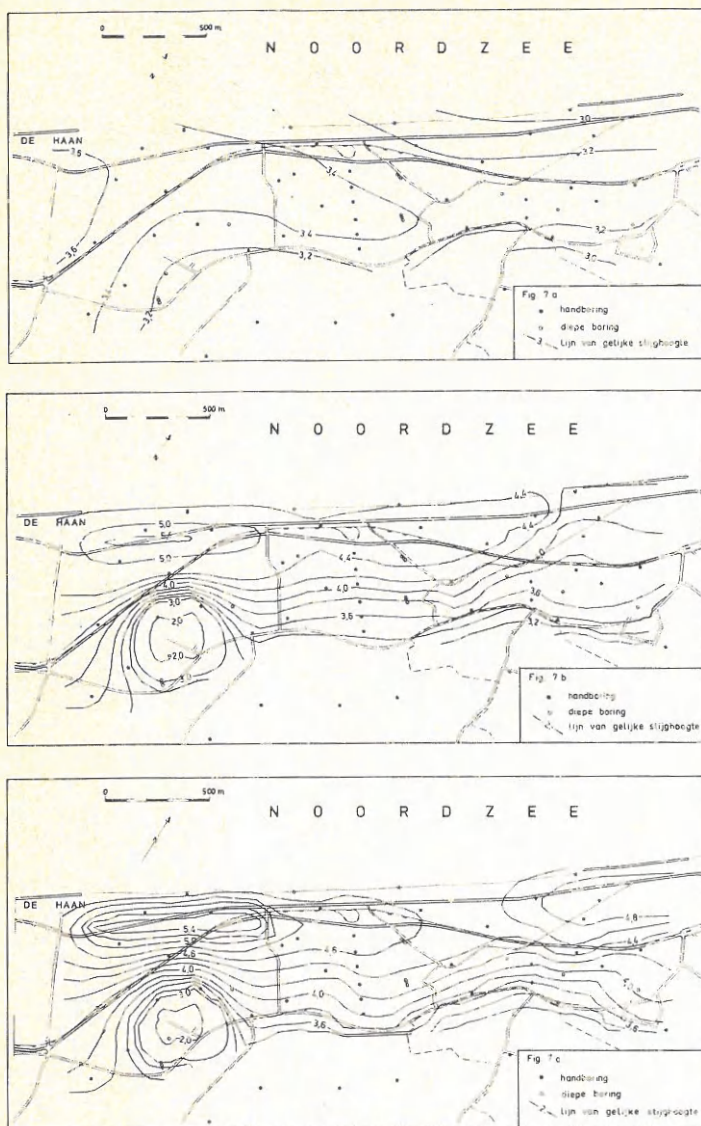


Fig. 7 – Berekende stijghoogteconfiguratie in de halfarteresische laag A (7a), in de halfarteresische laag B (7b) en in de freatische laag C (7c) bij gelijktijdige winning van 250.000 m<sup>3</sup>/jaar uit de laag B en kunstmatige infiltratie van 240.000 m<sup>3</sup>/jaar in laag C.

Is de sleuf 825 m lang en 10 m breed, dan wordt bij een gemiddelde infiltratiesnelheid van 0,08 m/d 240.000 m<sup>3</sup>/j aan de freatische laag toegevoegd.

Zowel in de bovenste als in de middelste laag (fig. 7b en c) wordt een hydraulische barrière gevormd, die

landwaartse stroming van zeewater belet. Meer dan de helft van het infiltratiewater vloeit zeewaarts af. Het duurt ongeveer 4 jaar vooraleer een eerste waterdeeltje vanaf de sleuf de winning bereikt. Dergelijke lange verblijfstijd zorgt ervoor dat kwaliteitspieken in het infiltratiewater sterk afgezwakt de winning bereiken.

De grondwatertafeldaling wordt door de kunstmatige voeding enigszins beperkt, hoewel in de winning zelf nog steeds een verlaging tot ongeveer 3 m optreedt. De zone met meer dan 1 m watertafeldaling wordt gereduceerd tot 11 ha en strekt zich volledig onder het hooggelegen duingebied uit.

## 6. BESLUIT

Door herhaalde aanpassing van de ingevoerde gegevens en toetsing van de berekende met de waargenomen stijghoogteconfiguratie werd met het model een nauwkeuriger beeld verkregen van de ruimtelijke spreiding der hydraulische parameters.

Door simulatie werd verder aangetoond dat zelfs bij een beperkte winning van grondwater de pompputten op de duur zullen worden bedreigd met brak of zout water. Winning in de onderste laag zal vooral het diep, brak grondwater doen oprijzen, terwijl aanpomp van de middelste laag spoedig zeewater vanaf de hoogwaterlijn zal aantrekken.

Tegen dergelijke laterale aanvloei van zeewater kunnen de pompputten worden beschermd door zeewaarts van de winning kunstmatige infiltratie toe te passen. Houdt men de afstand tussen infiltratie- en winplaats relatief groot, dan blijft het infiltratiewater lang onderweg en wordt het sterk verdund met op natuurlijke wijze infiltrerend water, alvorens het de pompputten bereikt. Kwaliteitspieken in het infiltratiewater zullen dan ook sterk worden afgezwakt.

## REFERENTIES

- DEVOS, J. (1984). *Hydrogeologie van het duingebied ten oosten van De Haan*, 219 p. Gent: Geologisch Instituut, Rijksuniversiteit (Verh. Dr. Sc.).
- LEBRE, L. (1978). *Hydrogeologie van het duingebied ten westen van De Panne*, 164 p. Gent: Geologisch Instituut, Rijksuniversiteit (Verh. Dr. Sc.).
- PINDER, G. & BREDEHOEFT, J. (1968). Application of digital computer for aquifer evaluation. *Water Res. Research* 4, 1060-1093.

**VLIZ (vzw)**  
**VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEE**  
**FLANDERS MARINE INSTITUTE**  
**Oostende - Belgium**