77.037

TOEPASSING VAN HET MODEL GEO-PRO: HYDROGEOLOGISCHE KARAKTERISATIE VAN HET ANTWERPS HAVENGEBIED

J. BRONDERS, W. MONDT
E.R.M. nv

APPLICATION OF THE MODEL GEO-PRO: A HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISATION OF THE ANTWERP PORT AREA

A hydrogeological characterisation of the Antwerp port area has been carried out using the groundwater flow model GEO-PRO. In order to run the model, various data on the geological and hydrogeological characteristics of the area have been collected and processed. The results of the study provide a basic document for risk evaluation of groundwater and soil pollution and for groundwater studies in general, as foreseen in the actual legislation concerning soil contamination in Flanders (VLAREBO).

The model covers an area of 21 x 22 km and consists of 5 layers, corresponding to the Neogene Berchem, Kattendijk and Lillo sand Formations, the Quaternary deposits and sands of filling-up material in the port area. Within the Quaternary difference was made between the alluvial deposits ("polder" clay) and the cover sands outside the polder area. The grid used in the model allows a degree of accuracy of 50 m by 50 m.
The results of the modelling have been presented in the form of tables and maps : Maps on different scales (1/50.000, 1/25.000 and 1/5.000) have been produced showing calculated groundwater potentials and flow vectors in horizontal direction for each considered geological layer. In addition geological cross-sections with flow vectors and maps showing vertical flow components are given.

In general the result of the study is a unique compilation of existing and calculated information on the geology and hydrogeology of the Port area of Antwerp. The in- and output data of the model were processed in such a way that linking to a GIS is possible. Using a GIS, the results will be more applicable for the purposes of specific users of the study.

1. INLEIDING

Het studiebureau ERM N.V. kreeg vanwege de Technische Dienst van de Haven van Antwerpen de opdracht voor het uitvoeren van een hydrogeologische karakterisatie van het havengebied. Deze karakterisatie kadert in het Bodemsaneringsdecreet (VLAREBO), waarin het uitvoeren van een risico-analyse om de impact van een bepaalde bodemverontreiniging op het milieu in te schatten, voorzien wordt.

Het algemeen doel van de studie bestaat erin om op een wetenschappelijk verantwoorde wijze tegemoet te komen aan de verplichtingen die worden opgelegd aan alle concessionarissen van het Antwerps havengebied en dit in het kader van het Bodemsaneringsdecreet en het VLAREBO, met de OVAM als toezichthoudende overheid. De in deze studie bekomen informatie is eveneens van belang voor de Technische Dienst van het Havenbedrijf (Antwerpen), daar hij de uiteindelijke beheerder is van een groot deel van de terreinen gelegen in het havengebied, en voor andere industrieën die eigenaar zijn van het terrein waarop zij gelegen zijn.

Een belangrijke stap in het uitvoeren van bodemonderzoeken die kaderen in de VLAREBO is de risico-evaluatie. Door middel van een dergelijke evaluatie dient men na te gaan of een bepaalde bodemverontreiniging al dan niet een ernstige bedreiging vormt voor de mens en de omgeving.

Dit gegeven is van belang bij de bepaling van de noodzaak tot sanering (ingeval van historische verontreinigingen) of bij de bepaling van eventueel te voorziene saneringsmaatregelen (voor de nieuwe verontreinigingen).

Daar de hydrogeologische karakteristieken in belangrijke mate de verspreiding van polluenten zullen bepalen, dienen zij in het kader van bovenvermelde risico-evaluatie geëvalueerd te worden en op een aanschouwelijke wijze voorgesteld.

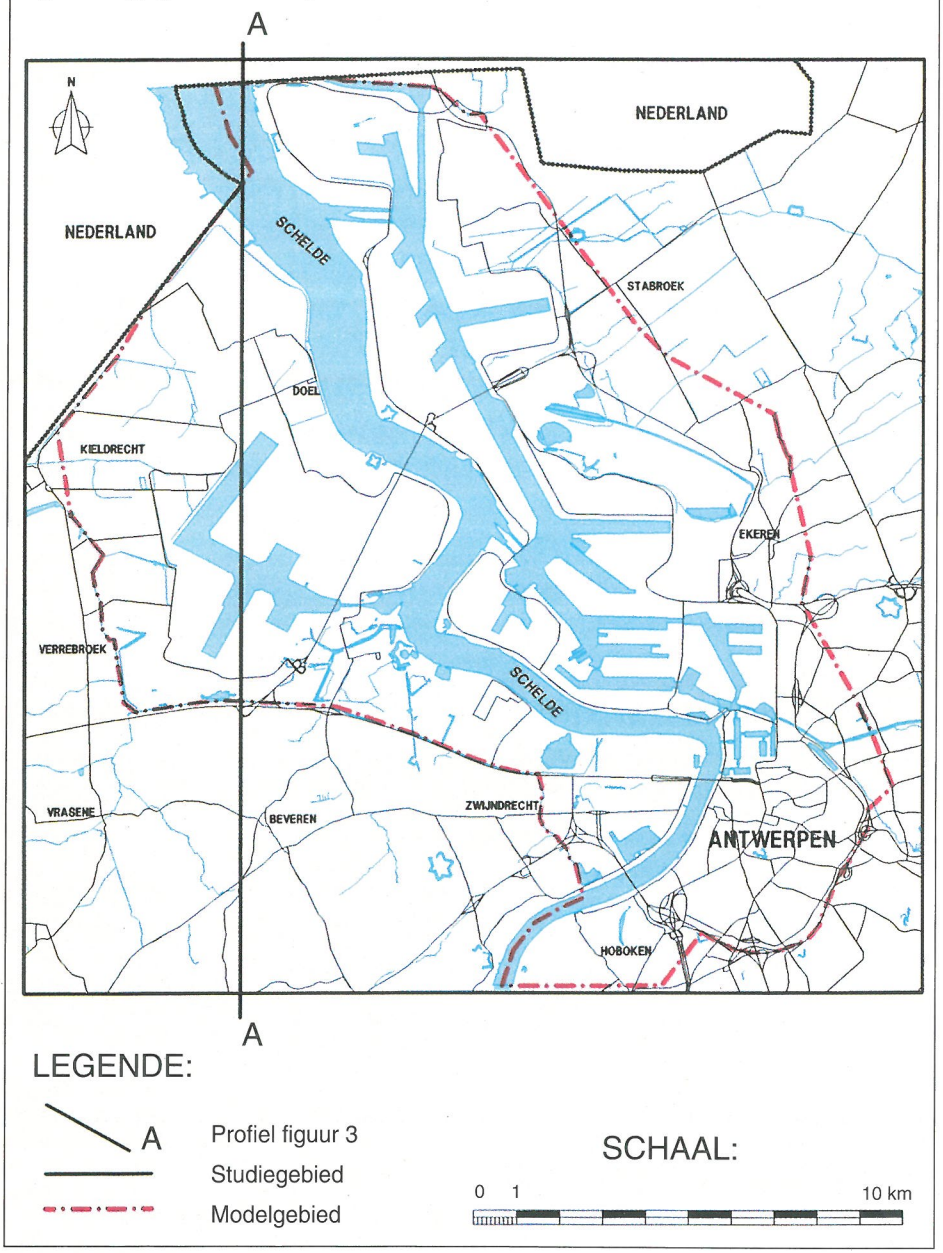
Om deze hydrogeologische karakteristieken van het havengebied op een grootschalige wijze eenduidig te bepalen, werd op de eerste plaats een grondige inventarisatie van de geologische en hydrogeologische gegevens uitgevoerd. Met een berekening met behulp van het grondwaterstromingsmodel GEO-PRO (E.R.M. nv) werden in een tweede fase de dynamische grondwaterkarakteristieken (grondwaterpotentialen, -snelheden en stromingsrichtingen) bepaald. Het model GEO-PRO is een krachtig eindig elementen computermodel dat toelaat om de grondwaterkarakteristieken te berekenen voor een studiegebied dat opgedeeld wordt in een zeer groot aantal elementen. Hierdoor kan een zeer goede resolutie bekomen worden en worden voor elk element van het studiegebied de grondwaterstromingsgegevens berekend. Voor de haven werd de resolutie bepaald op 50 x 50 m, waardoor in totaal ± 1.000.000 knooppunten in rekening werden gebracht.

Het studiegebied omvat het hele havengebied dat door de stad Antwerpen wordt beheerd, d.w.z. de industrieterreinen gelegen aan de dokken, zowel op linker- als rechteroever, de terreinen gelegen langsheen de Scheldekaaien op het grondgebied van de Stad Antwerpen en de industriezone gelegen in Antwerpen-Zuid (Kiel). Dit omvat niet alleen het patrimonium van de Stad Antwerpen doch ook andere industriezones zoals deze gelegen op de Linker Oever. Een situering van het beschouwde studiegebied wordt gegeven op fig. 1.

2. METHODOLOGIE

Om de modellering zo nauwkeurig mogelijk uit te voeren, is de kennis van de geologi-

Figuur 1: Ligging van het studiegebied.



sche en hydrogeologische karakteristieken van de bodem in het studiegebied uitermate belangrijk. Er werden dan ook zoveel mogelijk hydrogeologische gegevens verzameld van het studiegebied. Dit gebeurde door het raadplegen van bevoegde instanties en opvragen van de nodige gegevens en door het opzoeken en raadplegen van rapporten betreffende het studiegebied.

De verzamelde gegevens werden verwerkt om tot een overzichtelijk geheel te komen, bruikbaar voor de modelstudie. Daarbij werd volgende verwerking van de gegevens uitgevoerd. Het cijfermateriaal werd samengebracht in eenvormige bestanden. Deze bestanden werden gebruikt voor het opmaken van input-files voor het grondwaterstromingsmodel. De tabellen in deze bestanden bevatten gegevens in verband met oppervlaktewaters (ligging, peilen, diepte), grondwater (ligging, watervoerende laag en peilresultaten van peilputten), geologie, neerslag, bemalingen.

De verzamelde geologische gegevens en de berekeningsresultaten werden in het kader van de hydrogeologische studie verwerkt in de vorm van kaarten die de volgende informatie omvatten :

- de geologie van het havengebied: geologische kaart van de in het gebied dagzomende lagen, weergave van de top en de diktes van de verschillende geologische lagen
- weergave van geologische profielen (vijf) opgesteld op basis van de boringen van de Belgische Geologische Dienst; weergave van de grondwaterstroming in de verticale richting op de profielen
- plannen met isolijnen van de berekende grondwaterstanden en horizontale en verticale grondwaterstromingsvectoren in de verschillende geologische lagen, op verschillende schalen (tussen 1/5.000 en 1/50.000)

De verzamelde geologische informatie liet toe om onderscheid te maken tussen verschillende watervoerende lagen waaronder :

Opgehoogde gebieden:
In het kader van de aanleg van de haveninfrastructuur werden in het verleden uitgestrekte terreinen opgehoogd met zand. De ophogingen vonden uitsluitend plaats in poldergebied. In de ophoogzanden ontstond een nieuwe watervoerende laag.

Kwartaire deklaag:
Aan de hand van de bodemkundige gegevens werd afgeleid dat er een duidelijk onderscheid kan gemaakt worden tussen zandige deklagen en kleiige polderafzettingen. Deze laatste kunnen zeer slecht doorlatende eigenschappen bezitten en op die wijze een belangrijke invloed hebben op het grondwaterstromingpatroon. Op de plaatsen waar een kleilaag onder de opgehoogde lagen aanwezig is, vormt deze de scheiding tussen twee watervoerende pakketten namelijk de waterlaag gevormd door de opgehoogde zanden en deze gevormd door de onderliggende Neogene zandlagen.

Neogene zandlagen:
Deze zanden (bestaande uit de afzettingen van de Formaties van Lillo, Kattendijk en Berchem), die zich in het modelgebied onder de Kwartaire deklagen bevinden, werden, hoewel zij samen één watervoerend pakket vormen, als drie afzonderlijke eenheden beschouwd in het model.

Klei van Boom:
Deze kleilaag kan beschouwd worden als een zeer slecht doorlatende laag en bijgevolg wordt deze laag gedefinieerd als de ondergrens van het model.

Aan de hand van de hydrogeologische opbouw van het gebied kan een vereenvoudigde opbouw van het gebied als volgt gegeven worden:
De freatische waterlaag bestaat afhankelijk van de locatie uit opgehoogde zanden, uit kwartaire deklagen of uit Tertiaire dagzomende zandlagen. In de zones waar een polderklei aanwezig is, worden de onderliggende zandlagen gedeeltelijk afgesloten. De onderliggende (semi-)artesische zandlagen vormen als het ware een groot watervoerend pakket dat op de Klei van Boom gelegen is.

3. TOEPASSING VAN HET MODEL GEO-PRO

Het studiegebied wordt ingedeeld in een regelmatig rooster van vierkanten. Het stromingsgebied wordt verdeeld in vierkantige rekencellen met zijde Dx, zoals weergegeven in fig. 2. Een typische rekencel heeft vier buren. Het volstaat nu om een waterbalans op te stellen voor elke cel met daarin de grondwaterstromingen die plaatsvinden tussen de cellen onderling. Zij h_0 de grondwaterpotentiaal in een cel, en h_i, i=1..4, de potentialen in de omliggende cellen, dan wordt de instroming Qi langs een zijde i, gegeven door:

$$Q_i = KD\Delta x \frac{h_i - h_0}{\Delta x} = KD(h_i - h_0)$$

met :
D de dikte van de beschouwde laag
K de doorlatendheid

Als al de in- en uitstromingen begroot worden, dan geeft dit:

$$\Sigma_i Q_i + Q_0 = \Sigma_i KD(h_i - h_0) + Q_0 = 0$$

waar Q_0 gelijk is aan andere inputs, bijvoorbeeld vanuit een bovenliggende laag

De grondwaterpotentiaal h_0 kan nu berekend worden als:

$$h_0 = \frac{\Sigma K_i D h_i + Q_0}{\Sigma K_i D}$$

Uitgaande van geschatte waarden van de h_i's, kan men nu berekenen wat de grondpotentiaal h_0 zou moeten zijn, en dit voor elke rekencel, zodat men over de mogelijkheid beschikt om de grondwaterpotentialen te berekenen op een iteratieve wijze. Uiteraard is er nog bijkomende informatie nodig, zoals randvoorwaarden, invloeden van buitenaf, enz. Het principe is echter duidelijk: er wordt beschikt over algebraïsche vergelijkingen die oplosbaar zijn, doch omdat er een groot aantal cellen zijn en de berekening een zeer groot aantal keren achter elkaar moet worden uitgevoerd, kan dit alleen maar door een computer worden verricht. Eenmaal de juiste grondwaterpotentialen bekomen werden, kunnen hiermee de grondwaterstromingen worden berekend.

Indeling van het modelgebied

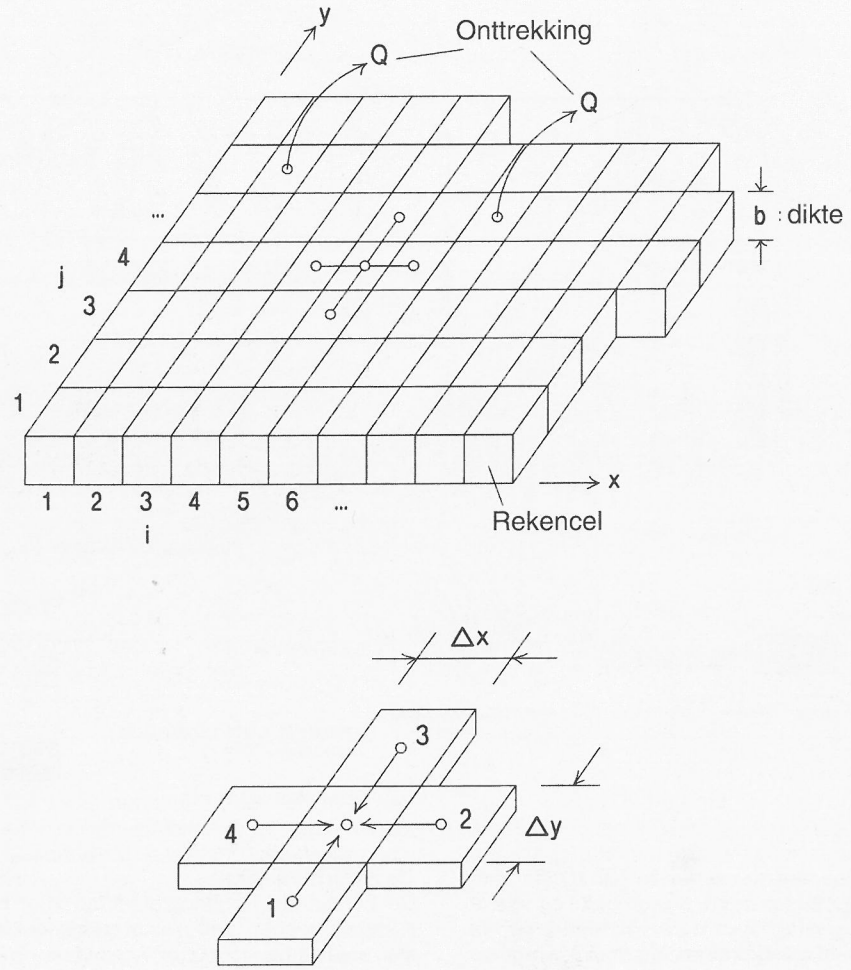
Voor de horizontale indeling van het gebied werden rekencellen gekozen met afmetingen 50 m bij 50 m; dit geeft voor het ganse gebied 420 maal 440, ofwel 184.800 rekencellen. Voor de verticale verdeling van de rekencellen werden de diktes van de cellen zodanig gekozen dat ze overeenkomen met de verschillende geologische formaties. Er zijn dus 5 lagen van rekencellen, respectievelijk overeenkomend met de opgehoogde terreinen, het Kwartair en de Formaties van Lillo, Kattendijk en Berchem. Dit geeft 5 maal 184.800 rekencellen per laag, ofwel 924.000 rekencellen in het totaal. Het aantal actieve cellen, die in aanmerking worden genomen in het model is kleiner, omdat er cellen buiten het eigenlijke modelgebied vallen (afhankelijk van de grensvoorwaarden), maar ook omdat er op bepaalde plaatsen sommige lagen niet voorkomen, zoals bijvoorbeeld de opgehoogde terreinen.

Ingave van numerieke gegevens

Bij de modellering is het nodig dat er een grenslijn gedefinieerd wordt, waarvoor er voldoende hydrologische gegevens gekend zijn (randvoorwaarden).

Er zijn twee soorten randvoorwaarden gebruikt : vaste potentialen en vaste in- of uitstroomdebieten. De vaste potentialen worden opgelegd in al de rekencellen waar het waterpeil bepaald wordt door een externe invloed. Deze randvoorwaarden bepalen het eigenlijke modelgebied zoals weergegeven op fig. 1.

Figuur 2: Indeling van het studiegebied in rekencellen.



Typische rekencel met 4 buren

Voor rekencellen die gelegen zijn op plaatsen waar er oppervlaktewater voorkomt, (vb. al de rekencellen die in de Schelde gelegen zijn) werd het grondwaterpeil gelijk gesteld aan het oppervlaktewaterpeil en werd dus niet meer geïtereerd.

In cellen in het Antwerpse stadscentrum, waar er onnatuurlijke lage grondwaterpeilen blijken voor te komen, werd een vast grondwaterpeil opgelegd van - 3 m TAW.

Een tweede soort randvoorwaarden zijn gekende input- of outputdebieten die hetzij ingebracht worden in de grondwaterlagen ofwel onttrokken worden aan deze lagen. Een eerste groep omvat alle bovenste cellen, die een input krijgen te wijten aan infiltrerend regenwater. Deze hoeveelheid is afhankelijk van de klimatologische omstandigheden en de doorlaateigenschappen van het grondwateroppervlak en de bodem. Er werd uitgegaan van de veronderstelling dat de nuttige neerslag 260 mm/jaar bedraagt en dat, afhankelijk van het grondgebruik 25% (stedelijke gebieden), 37,5% (industriezones) of 50% (landelijke gebieden) daarvan infiltreert. De belangrijkste outputdebieten zijn grondwaterbemalingen met gekend debiet en gekende filterdiepte.

Tenslotte werd voor elke laag een doorlatendheid en een porositeit opgegeven.

4. RESULTATEN VAN DE STUDIE

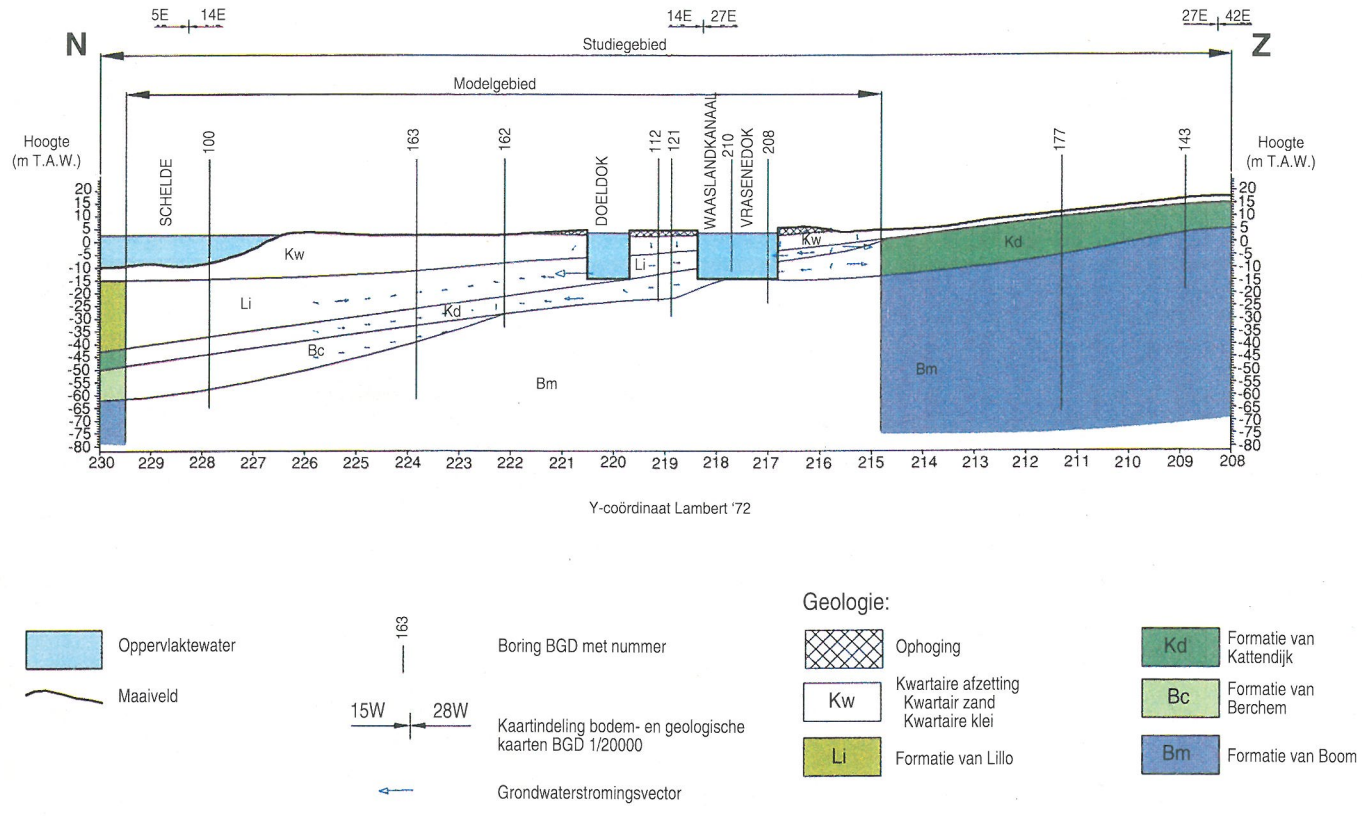
De numerieke resultaten zijn beschikbaar in de vorm van matrices doch om de gegevens voor te stellen, werd geopteerd om de modelberekeningen voor te stellen op verschillende stijghoogte- en grondwaterstromingskaarten, waaronder :

- op schaal 1/50.000, telkens voor het totale modelgebied de berekende grondwaterstanden (isolijnen per 25 cm) voor elk van de vijf beschouwde watervoerende lagen.

- op schaal 1/25.000, de berekende grondwaterstanden (isolijnen per 10 cm) en de grondwaterstroming voor elk van de vijf beschouwde watervoerende lagen. Stromingsvectoren duiden de richting en de grootte aan van de horizontale grondwaterstroming.

- de berekende grondwater-stromingsvectoren in het verticale vlak werden aangeduid op geologische profielen. Een voorbeeld wordt gegeven in figuur 3.

Figuur 3: Schematische voorstelling van de geologische opbouw en de grondwaterstromingsvectoren in een vertikale doorsnede (snede A).



- de berekende verticale grondwaterstromings-component werd ook op kaart voorgesteld voor de verschillende in het gebied aangetroffen lagen. Er wordt op deze plannen onderscheid gemaakt tussen de grootte van de stromingscomponent en richting (opwaarts of neerwaarts).

- eveneens is het mogelijk om de stijghoogtelijnen en de horizontale stromingscomponenten in detail (schaal 1/5.000) voor te stellen zodat bruikbare informatie op schaal van de industrieterreinen beschikbaar is. Een voorbeeld wordt gegeven op fig. 4.

De grondwaterstromingskarakteristieken kunnen per beschouwde geologische laag als volgt samengevat worden :

Opgehoogde terreinen

Het grondwater in de opgehoogde gebieden stroomt naar drainagegrachten aan de rand van de opgehoogde terreinen of naar de dokken.

In zones die voldoende uitgestrekt zijn om relevante neerslagberging toe te laten, ontstaat een concentrisch patroon van grondwaterstijghoogtelijnen.

Op de rechteroever vindt er tussen de dokken en de Schelde, bij een veronderstelde afwezigheid van laterale barrières zoals oude binnendijken en kaaimuren, vooral een infiltratie plaats vanuit de dokken (vast peil +4,25 m TAW) naar het grondwater.

De Kwartaire lagen

De berekende stijghoogtekaarten voor het Kwartair hebben betrekking op de polderklei, waar deze voorkomt, en anders op de zandige deklaag. In gebieden waar de polderklei bedekt is door opgehoogde zanden, wordt het stijghoogtepatroon grotendeels bepaald door het patroon in de ophoging, dit wegens de sterke infiltratie vanuit die zanden.

Buiten de polders vormt de kwartaire zandige deklaag de bovenste watervoerende laag. Het peil wordt er bepaald door de verspreiding van infiltratiezones (natuurlijke hoogten en kwelzones (valleitjes en drainagegrachten) en controleert zelf het stijghoogtepatroon in de onderliggende Neogene afzettingen.

De Neogene lagen

Zowel de bedding van de Schelde als de dokken zijn uitgegraven in Neogene formaties. Bijgevolg werkt de Schelde, als grootste waterloop met het laagste peil, sterk drainerend. De dokken met hun vast peil werken, afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden, voedend (rechteroever) of drainerend (linkeroever), maar vormen hoe dan ook in deze lagen een belangrijke verstoring van de natuurlijke grondwaterstroming.

Verder is er ook een belangrijke verstoring ten oosten van de Kanaaldokken vanwege het (kunstmatig) lage peil van de Verlegde Schijns.

Andere kunstmatige verstoringen, die vooral van invloed zijn op de peilen in de Neogene watervoerende laag, zijn grondwaterwinningen en bemalingen. Deze veroorzaken lokale maar diepe afpompingskegels in het patroon van de stijghoogtelijnen. De belangrijkste afpompingen zijn gelegen nabij Stabroek, te Merksem langs het Albertkanaal, nabij de Kennedytunnel (drainage van de Ring), langs de Schijns en vooral in de Antwerpse stadskern (premetro), waar hun dichtheid het natuurlijke grondwaterstromingspatroon volledig verstoord heeft, omdat de afpompingskegels er elkaar overlappen.

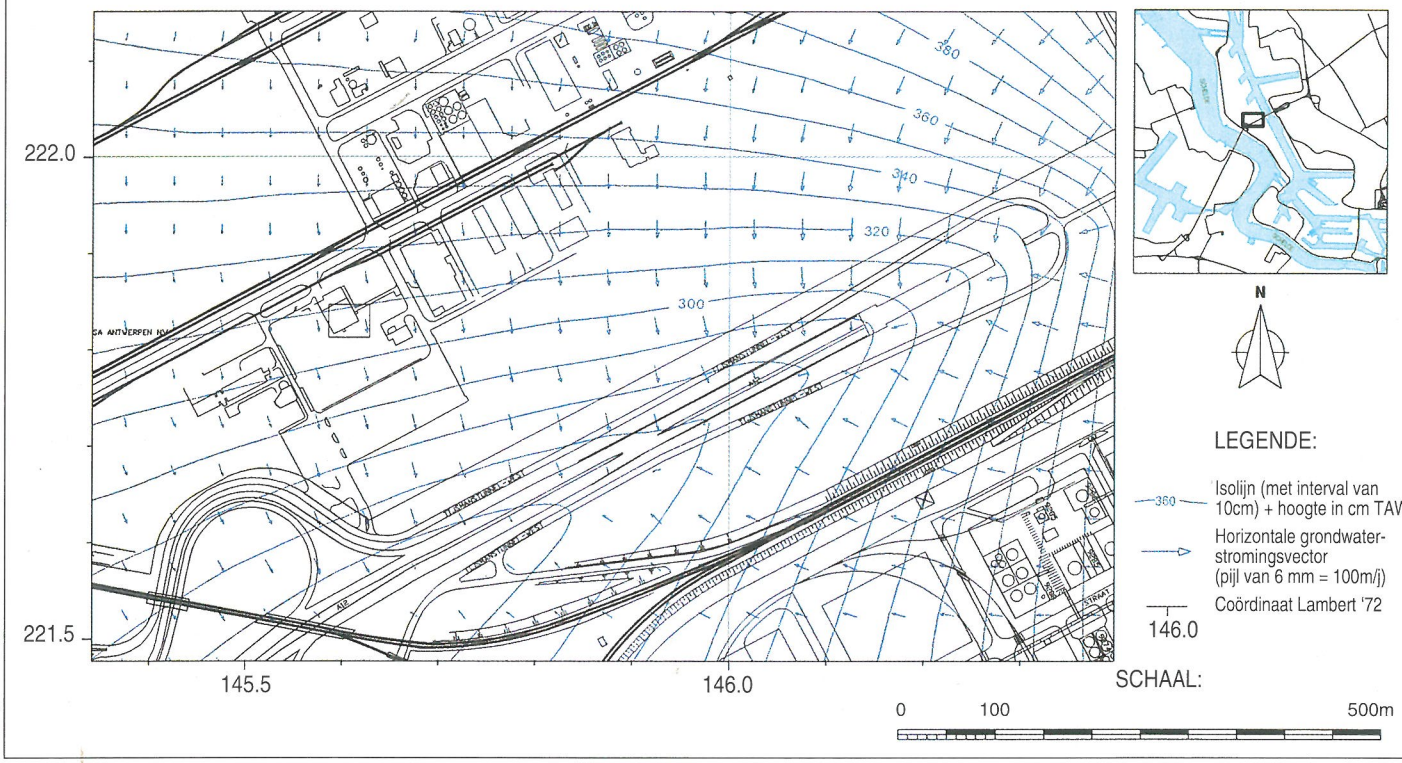
In het poldergebied tussen het Doeldok en de Nederlandse grens wordt de stijghoogte in de Neogene laag beïnvloed door de drainage van de polder.

Voorstelling in verticale doorsneden

De verticale stromingscomponenten tonen de circulatie van het grondwater in de ondergrond, tussen voedings- of infiltratiegebieden en kwelgebieden (zoals waterlopen). Voedingsgebieden worden gekenmerkt door een neerwaartse stroming en dus neerwaarts gerichte pijlen. Bovendien zijn de pijlen divergerend. In kwelgebieden komen peilen uit twee richtingen samen en zijn zij opwaarts gericht. Daartussen is de stroming overwegend horizontaal. De grootte van de pijlen is ook hier een maat voor de stromingssnelheid. Deze wordt o.m. bepaald door de doorlatendheid van de laag en door de eventuele aanwezigheid van bemalingen.

Op de doorsneden (fig. 3) kan men vaststellen dat de belangrijkste voedingsgebie-

Figuur 4: Berekende grondwaterpotentialen en grondwaterstromingsvectoren in de neogene zanden in een detailzone van het modelgebied.



den overeenstemmen met hoogten (bv. opgehoogde zones). De infiltratie van water uit de dokken (rechteroever) naar de Schelde wordt ook duidelijk voorgesteld. Kwelgebieden stemmen meestal overeen met waterlopen (die soms te klein zijn om op de gebruikte schaal te worden voorgesteld).

Waar de polders bedekt zijn door ophoogzanden, is de verticale stroming in de kleilaag neerwaarts. Dit wijst op een voeding van de onderliggende Neogene lagen vanuit de ophoogzanden.

5. TOEPASSINGEN EN VERWERKING VAN DE GEGEVENS

De resultaten van het model en de verzamelde geologische en hydrogeologische gegevens, zoals besproken in het kader van deze studie, kunnen toegepast worden:

- in het kader van de risico-analyse m.b.t. bodem en grondwaterverontreinigingen (VLAREBO)
- als databank van geologische en hydrogeologische gegevens die dienst kunnen doen als basis voor detailstudies
- in een GIS dat opgesteld wordt op basis van Lambert coördinaten en waardoor de gegevens op een eenvoudige wijze beschikbaar zijn voor de gebruiker

De gebruikers van deze gegevens moeten op de eerste plaats gezocht worden bij concessionarissen in het havengebied en de diensten van het havenbedrijf. Anderzijds zijn de andere gebruikers de eigenaars van gronden in het havengebied, alsook overheidsdiensten of privé personen die hydrogeologische gegevens nodig hebben.

Risico-analyse

De hydrogeologische kenmerken van het studiegebied zijn onontbeerlijk in het kader van de risicobepaling van een verontreiniging. Aan de hand van deze informatie is het mogelijk om in een eerste fase in te schatten in welke richting een verontreiniging zich verplaatst, en dit zowel in het horizontaal als het verticaal vlak, en eveneens met welke snelheid dit gebeurt. Ook kunnen de hydrogeologische gegevens aantonen welk de invloed is van verschillende langs elkaar gelegen terreinen. Deze laatste informatie kan van belang zijn in het kader van de aansprakelijkheid voor het uitvoeren van saneringS- en/of beheersmaatregelen.

De modelresultaten laten toe om de effecten van een in de bodem aanwezige verontreiniging in te schatten. De x- en y-componenten van de berekende stromingsvectoren geven het stromingspatroon in het horizontaal vlak, terwijl de z-component een beeld geeft in het verticaal vlak zodat kan bepaald worden of de stroming opwaarts of neerwaarts is. Dit gegeven is van belang bij de risico-analyse aangezien een polluent minder schadelijk is voor het grondwater bij een opwaartse grondwaterstroming (of kwel) in de zone waar de pollutie aangetroffen wordt.

Databank voor gegevens en detailstudies

De gegevens verwerkt in het rapport zijn afkomstig van verschillende bronnen. Meer bepaald betreft het hier geologische kaarten, bodemkaarten, hydrogeologische gegevens afkomstig uit verschillende studies en uit archieven van een aantal instanties. Het rapport is vermoedelijk het eerste document waarin dergelijke gegevens over het studiegebied werden samengebracht.

De verzamelde gegevens kunnen geraadpleegd worden in het kader van verschillende types onderzoek of studie, zowel voor bodemonderzoeken zoals gedefinieerd in het bodemsaneringsdecreet (VLAREBO) als voor algemene studies (vergunningsdossiers, de studie van grondwaterwinningen en bemalingen, MER-studies, grotere nieuwe infrastructuurwerken en algemene geologische of hydrogeologische studies).

Koppeling aan een GIS

Koppeling van de gegevens uit het rapport (geologie, grondwaterpeilen, grondwaterstroming, boorprofielen, laagdiktes,...) aan een databank en een GIS-systeem laat toe om, uit de veelheid van informatie die de resultaten van de studie bieden, op een snelle manier de gegevens te reproduceren die een specifieke gebruiker voor een welomschreven site nodig heeft. Aldus wordt vermeden dat de gebruiker zelf zijn weg moet vinden in de vele technisch-wetenschappelijke gegevens noodzakelijk voor het opmaken van het eindrapport.

De gegevens verzameld in het rapport, de inputgegevens voor het computermodel en de berekeningsresultaten zijn allen in een dergelijke vorm opgeslagen dat de invoer naar een aangepast GIS geen probleem vormt.

6. BESLUIT

De resultaten van de hydrogeologische karakterisatie van de Antwerpse haven passen in het kader van het Bodemsaneringsdecreet en het VLAREBO en dit meer bepaald in de hierin opgelegde risico-analyse. Dergelijke analyse is noodzakelijk bij het inschatten van de effecten op het milieu van zowel een historische als een nieuwe verontreiniging. Voor de historische verontreiniging wordt de risico-evaluatie uitgevoerd om na te gaan of er al dan niet sprake is van een ernstige bedreiging waaruit de noodzaak tot al dan niet saneren bepaald wordt. Voor de nieuwe verontreiniging wordt de saneringsnoodzaak niet door het risico bepaald doch door het al dan niet overschrijden van referentieconcentraties van bepaalde parameters. De risico-analyse is er wel bepalend voor het type sanering of beheersing dat uitgevoerd dient te worden.

Voor de verzameling van de basisgegevens werd overigens een nog groter gebied bekeken waarin het havengebied en het modelgebied gelegen zijn. De verzamelde gegevens omvatten informatie over de geologische en bodemkundige kenmerken van het studiegebied, hydrogeologische parameters (zoals doorlatendheid, porositeit, ...), topografische en landschappelijke kenmerken (industrie, velden, ...), geografische kenmerken (wegen, steden,...), en hydrologische gegevens (waterlopen, waterpeilen, ...). Deze gegevens werden verwerkt tot een bruikbare input voor het model waarmee de dynamische grondwaterstromingskarakteristieken werden berekend.

Het model dat voor het berekenen van de grondwaterstromingskarakteristieken gebruikt werd, is GEO-PRO. Met dit model werden grondwaterstanden, stromingssnelheden en stromingscomponenten in het horizontaal en het verticaal vlak berekend.

De combinatie van de berekende en verzamelde gegevens biedt de mogelijkheid om voor het studiegebied een vrij gedetailleerde hydrogeologische karakterisatie te bekomen. De verzamelde en berekende gegevens kunnen niet enkel toegepast worden in het kader van het Bodemsaneringsdecreet, meer bepaald de risico-evaluatie, doch ook voor hydrogeologische detailstudies en als databank die geraadpleegd kan worden door concessionarissen, eigenaars van gronden in het havengebied, technische diensten, overheidsinstanties of privépersonen. Om dit doel echter te bereiken dienen de verzamelde en berekende gegevens in een GIS ingebracht te worden. Door toepassing van een dergelijk GIS kunnen zowel de geologische en hydrogeologische gegevens als al de in het kader van deze studie verzamelde informatie op een relatief eenvoudige en eenduidige wijze geraadpleegd of overgedragen worden.

Algemeen kan besloten worden dat de resultaten, bekomen door het uitvoeren van deze studie toelaten om op een wetenschappelijk verantwoorde wijze tegemoet te komen aan de verplichtingen, die worden opgelegd aan de concessionarissen en industrieën van het Antwerps havengebied en dit in het kader van het Bodemsaneringsdecreet en het daarbij aansluitende VLAREBO, met de OVAM als bevoegde overheid. Meer bepaald kunnen deze gegevens nuttig zijn voor het bepalen van de risico-analyse. Anderzijds werd door de uitvoering van deze studie een belangrijke poging ondernomen om gegevens betreffende geologische, hydrogeologische en hydrologische karakteristieken van het studiegebied samen te brengen. Deze informatie kan eveneens gezien worden als bron voor het uitvoeren van detailstudies en als basis voor eventuele infrastructurele werken die in de toekomst in het havengebied zullen uitgevoerd worden. Het hanteren van een GIS is voor de bruikbaarheid van deze verzamelde en berekende informatie onontbeerlijk.

J. BRONDERS, Projectleider
W. MONDT, Algemeen directeur
E.R.M. nv
Zwartzustersvest 22
2800 Mechelen

Environmental Remediation and -Management

E.R.M. n.v.

Milieusanering, -advies en -beheer

Zwartzustersvest 20/2, 2800 Mechelen
Tel. 015/21.17.35 - Fax 015/21.65.98

Een interdisciplinaire know-how wordt ter beschikking gesteld voor overheid en private sector inzake :

onderzoeksopdrachten milieusanering
- bodemsanering
- grondwaterzuivering; grondwaterbeheer
- behandeling van verontreinigd slib en baggerspecie
- afvalverwerking en/of berging
- tankparken bovengrondse opslagtanks

ontwerp en dimensionering van
- (bodem)saneringsmaatregelen
- inrichting, exploitatie en afwerking van gecontroleerde stortplaatsen
- inrichting tankparken (boven- en ondergronds)

milieu-audit voor bedrijven

opmaken van Milieu-Effect-Rapporten

algemeen milieu-technisch en juridisch advies

**Als de mens goed is voor het milieu,
is het milieu goed voor de mens !**