

SUMMARY

Laboratory between theory and practice

From laboratory investigations it appeared that the permeability of dune sand to petrol is greater than to water. The difference could not be definitely described quantitatively, as there were very great deviations from the linear relationship between pressure gradients and filtering rates at very low flow velocities — usual for Dutch conditions.

Petrol dissolves very quickly in water during its flow through dune sand with rests of petrol.

The alkanes in the petrol dissolve very badly, benzene, toluene and xylene, on the contrary, very well; the composition of the dissolved petrol will, as a consequence, be different from that of the original petrol.

Probably because of the limited filter length and the presence of the strongly polar water, no chromatographic separation of the petrol fractions could be observed.

Nuisance from a pollution of the groundwater with dissolved mineral oils in a water catchment area can be predicted with the aid of a simple electrical analogue.

III. Laboratorium tussen theorie en praktijk *)

1. Motivering van het onderzoek

Verontreiniging van het grondwater met aardolieproducten kan tot gevolg hebben dat het uit dit grondwater geproduceerde drinkwater een zeer onaangename geur en smaak bezit.

Zolang van medische zijde geen duidelijke bezwaren tegen een dergelijke verontreiniging zijn gerezen, hebben wij alleen te maken met de esthetische beoordeling van de waterkwaliteit. Daar het drinkwater, gezien als menselijke mileufactor, ook drinkbaar moet zijn, is het van belang dat op het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO kennis aanwezig is omtrent de mogelijke gevolgen van de genoemde verontreiniging. Het „olie-onderzoek” op ons instituut is voornamelijk gericht op het grondwater, vanwege de kennis betreffende dit water die reeds aanwezig was, vanwege de belangrijkheid van het grondwater voor de drinkwatervoorziening en vanwege het feit dat nazuivering van het gewonnen grondwater vaak summier is, terwijl een dergelijke verontreiniging in de bodem moeilijk uit de weg is te ruimen. Grondwater behoeft vaak slechts te worden ontzuurd of ontzuurd en een dergelijke „zuivering” is niet in staat een olieverontreiniging op te heffen.

2. Omvang en opzet van het onderzoek

Vanwege het ontbreken van voldoende mankracht werd besloten het werk te beperken tot een laboratoriumonderzoek. Wordt er enerzijds wel getracht m.b.v. documentatie en persoonlijke contacten het gezichtsveld ruim te houden, anderzijds onderkennen wij het gevaar dat bij een tijdrovend, diepgaand onderzoek in smalle gebieden de resultaten pas na lange tijd toepasbaar zouden kunnen worden. Wij menen echter ook dat een dergelijk onderzoek de basis kan vormen voor een betere kennis van het verschijnsel grondwater in het algemeen. Door zich te distantiëren van de olie als „boosdoener”, ziet men de olie slechts als een vloeistof met bepaalde van water verschillende, interessante eigenschappen. Voorlopig is het onderzoek toegespitst op met vloeistof verzadigde, gehomogeniseerde natuurlijke en kunstmatige bodems. Er wordt getracht om enerzijds gedeelten van theoretische afleidingen in het experiment te verwezenlijken met als doel de numerieke waarde van constanten te bepalen en anderzijds nog niet onderkende verschijnselen en afwijkingen van theoretische afleidingen te verklaren.

In de eerste fase van het onderzoek, waarover hier wordt gerapporteerd, ligt het zwaartepunt bij vloeistofstromingen

door zand en bij het in waterige oplossing gaan van minerale oliën.

Laboratoriumonderzoek naar bacteriologische omzettingen in de bodem komt in een later stadium aan bod, daar eerst moet worden vastgesteld om welke koolwaterstoffen het gaat, hoe het olie-watermengsel zich in de poriën gedraagt en wat de invloed is van verdamping op de „zuivering”. Onderzoek naar reuk- en smaakverschijnselen is ook naar een later stadium verschoven, daar het ook hierbij gaat om de vaststelling van de in het geding zijnde koolwaterstoffen en mogelijke verontreinigingen van de olie. Hiernaast dient nu ook veel voorbereidend werk te worden verricht om te komen tot een verantwoordde „ijking” van de organoleptische „meetinstrumenten”.

Het olieonderzoek dat bij ons instituut wordt verricht, zal enige jaren in beslag nemen. Deze publicatie heeft daarom het karakter van een interimrapport en de conclusies zijn dan ook voorlopig.

3. Het mathematisch model van de grondwaterstroming

In de literatuur wordt meermalen gewezen op waarnemingen dat minerale oliën, en in het algemeen de niet-polaire koolwaterstoffen, sneller door de bodem zouden stromen dan water (literatuuroverzicht [1]). Om dit verschil te kunnen meten zijn betrouwbare formules voor de stroming van een vloeistof door een korrelig medium noodzakelijk.

De wet van Darcy heeft, in oorspronkelijke vorm, een evenredigheidsconstante k die zowel de vloeistof als het filter karakteriseert. Daar het bij het laboratoriumonderzoek gaat om vergelijkende proeven met diverse vloeistoffen en steeds nieuwe filtervullingen, dient deze doorlatendheidsconstante k gesplitst te worden in al zijn samenstellende factoren.

Als eerste poging hiertoe is de wet van Poiseuille te noemen. Voor een permanente en eenparige beweging in een buis verloopt de afleiding zuiver mathematisch vanaf het viscositeitsbeginsel $\tau = \eta \frac{dv}{dy}$ (Newton) tot aan de eigenlijke wet:

$$\bar{v} = \frac{\rho \cdot g I \cdot D^2}{32\eta} \quad (**)$$

*) Publikatie nr. 287 van het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO.

**) De lijst van de gebruikte symbolen is aan het einde van dit artikel opgenomen.

Zonder meer is deze formule onbruikbaar, daar de bepaling van een specifieke poriëdiameter en poriënlengte ons in de weg staat.

In de oorspronkelijke afleiding van de grondwaterformule van Kozeny [2] wordt gesteld dat de grootte van de weerstand per eenheid van volume (W) afhankelijk is van het korreloppervlak per eenheid van vloeistofvolume $0_1 = \frac{0}{\varepsilon V}$ waarin 0 het oppervlak van de bodemdeeltjes is en V het totale filtervolume. Verder geldt $v_p = \frac{v_f}{\varepsilon}$ en de weerstand W is ook afhankelijk van v_p en van de viscositeit (zie (1)). Het verband $W = f(0_1, v_p, \eta)$ moet de dimensie van een kracht per eenheid van volume hebben (M, L^{-2}, T^{-2}), hetgeen slechts mogelijk is voor:

$$W = C \cdot 0_1^2 \cdot v_p \cdot \eta \quad (2)$$

waarin C een dimensieloze constante is. Eenvoudig rekenen, voor uniforme bollen met diameter d in een „stroombuis” levert:

$$0_1 = \frac{0}{\varepsilon \cdot V} = \frac{6(1-\varepsilon)}{\varepsilon \cdot d}$$

waarna (2) overgaat in

$$W = C \frac{36(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^2 \cdot d^2} \cdot \frac{v_f}{\varepsilon} \cdot \eta \quad (3)$$

De weerstand W wordt door het filterverhang I gemeten:

$$W = \rho \cdot g \cdot I \quad (4)$$

Combinatie van (3) en (4) levert dan de formule van Kozeny:

$$v_f = \frac{\rho \cdot g}{\eta} \cdot \frac{\varepsilon^3}{36(1-\varepsilon)^2} \cdot d^2 \cdot \frac{1}{C} \cdot I \quad (5)$$

Het is eleganter om deze formule rechtstreeks uit (1) af te leiden door te schrijven $D = 4R_h$, waarbij voor buisvormige kanalen geldt:

$$R_h = \frac{\pi R^2}{2\pi R} = \frac{\pi R^2 \cdot L}{2\pi R \cdot L} = \frac{\text{volume}}{\text{oppervlak}}$$

Voor de grillig gevormde poriën zijn de geïntroduceerde lengtematen in teller en noemer niet gelijk en zal moeten worden geschreven:

$$R_h = C \frac{\text{volume}}{\text{oppervlak}}$$

$$\text{ofwel } R_h = C \cdot \frac{1}{0_1} = (\text{zie Kozeny}) = C \cdot \frac{\varepsilon \cdot V}{0} =$$

$$C \frac{\varepsilon \cdot d}{6(1-\varepsilon)}$$

Invoeren van R_h in (1) levert dan een aan (5) gelijkvormige formule.

Afleiding van de Kozeny-formule uit de wet van Poiseuille heeft tevens het voordeel dat de bovengrens van de geldigheid is vastgelegd, namelijk de stromingstoestand in de poriën bij de omslag van laminaire stroming naar turbulente stroming.

4. De Kozeny-formule als basis voor het experiment

a. De term $\frac{\rho \cdot g}{\eta}$: meting van de viscositeit en de dichtheid is mogelijk.

b. De term $\frac{\varepsilon^3}{36(1-\varepsilon)^2}$: uit het volumegewicht en de soortelijke dichtheid van het korrelmateriaal kan het poriëngehalte ε worden berekend. Wel zal een fout in de bepaling zeer zwaar worden gestraft door het voorkomen van hogere machten.

c. De term d^2 : bij natuurlijke bodems hebben wij te maken met een korrelgradatie en niet met uniforme bollen. De in de literatuur aangegeven bepalingen van een specifieke korreldiameter zijn meestal experimenteel gevonden en op z'n minst verdacht. Deze moeilijkheid wordt door ons geëlimineerd door voor de diverse filtervullingen uit te gaan van een behoorlijke voorraad zand; de hypothetische diameter d is dan een (onbekende) constante.

d. De term C : deze „constante” moet worden beschouwd als een dimensieloze verzameling factoren die de kloof tussen het ideale filter en het natuurlijk gegeven homogeen bodemelementje moet overbruggen. Het is een moeilijke term, waarvan voorlopig slechts kan worden aangenomen dat deze een functie is van de „onrondheid” van de korrels, de ruwheid van het korreloppervlak en de gradatie. Ook zal deze term afhankelijk zijn van de ingewikkelde weg die de vloeistof moet afleggen: het gebruik van v_p is gebaseerd op een gemiddelde v_p , de arbeid verricht door v_p kan afwijken van de arbeid verricht door \bar{v}_p , waarin voortdurende versnellingen, vertragingen, contracties, divergenties en centrifugaalkrachten werkzaam zijn. Verder is in deze term verdisconteerd dat er een wisselwerking tussen vloeistof en korrels mogelijk is, adsorptie, zwellings.

e. De term I : het drukverval bij de proeven wordt niet gemeten over bovenwater en onderwater, maar over 1 m filtervulling en wel om de volgende redenen:

e. 1. Het drukverlies bij de passage van de vloeistof door de bovenzijde en onderzijde van de filtervulling wordt geëlimineerd.

e. 2. Een eventueel lossere pakking bovenin en een dichtere pakking onderin de filtervulling, alsmede verstopping van de bovenste filterlaag zijn enigszins van de drukmeting buitengesloten.

e. 3. Berekening van het verhang over 1 m is eenvoudiger dan over een willekeurig andere filterlengte.

e. 4. Passage van een filterlaag alvorens de meting begint heeft een acclimatiserende invloed op de gebruikte vloeistof.

f. Kleiachtige bodems: De toepassing van de formule van Kozeny stuit bij klei op praktische moeilijkheden voor wat betreft de bepaling van het effectieve poriënvolume en de effectieve korreldiameter [5]. Klei bezit een zeer groot poriënvolume (80 % of meer) en zou dus sterker doorlatend behoren te zijn dan zand (35-45 %).

De kleimineralen, voornamelijk montmorilloniet en illiet, zijn opgebouwd uit platen $\text{Si}_2\text{O}_3(\text{OH})_2$ en $\text{Al}_2(\text{OH})_6$. Er is een zwakke binding *tussen* de lagen, waardoor bij verwerking deze mineralen gemakkelijk splijtbaar zijn. Bij transport worden de schilfers gebroken, de sterke bindingskrachten *in* de lagen komen beschikbaar voor adsorptieverschijnselen, zoals waterbinding, ionenbinding. In het gebonden water hebben de moleculen een vaste plaats, dit water gedraagt zich als een vaste stof die een groot deel van het poriënvolume inneemt. De korrelverdeling van klei, met korrels kleiner dan 50μ , wordt met de een of andere bezinkmethode bepaald. Men verkrijgt dan een equivalente korreldiameter, waarbij de voorbehandeling van het monster en de meetmethode grote invloed uitoefenen op het resultaat. Overigens zijn deze meetresultaten slecht bruikbaar, daar bijv. montmorilloniet tussen de platen water kan opnemen, hetgeen interkristallijne zwellings met zich meebrengt, waardoor de „diameter” (kwadratische invloed) groter wordt. Nog belangrijker is de structuur van klei: bezinkende deeltjes met een primaire structuur kunnen coaguleren en daarbij een structuur van de tweede orde aannemen. Door drukverhogingen in het sediment of door ionenwisseling kan later weer een structuurwijziging optreden.

Het is wel waarschijnlijk dat de structuur van klei, als schijnbare korreldiameter, belangrijker is dan de gemeten equivalente korreldiameter, waarbij dan nog komt dat deze structuur geen onveranderlijke bodemconstante is en momenteel ook nog niet eenduidig is te beschrijven.

Uit de voorgaande beschouwingen blijkt dat het gebruik van een specifieke doorlatendheid $K' = \frac{d^2}{C} \text{ m}^2$ een mogelijkheid kan bieden om gegevens van diverse vloeistoffen en filtervullingen met elkaar te vergelijken. Voor alle zekerheid

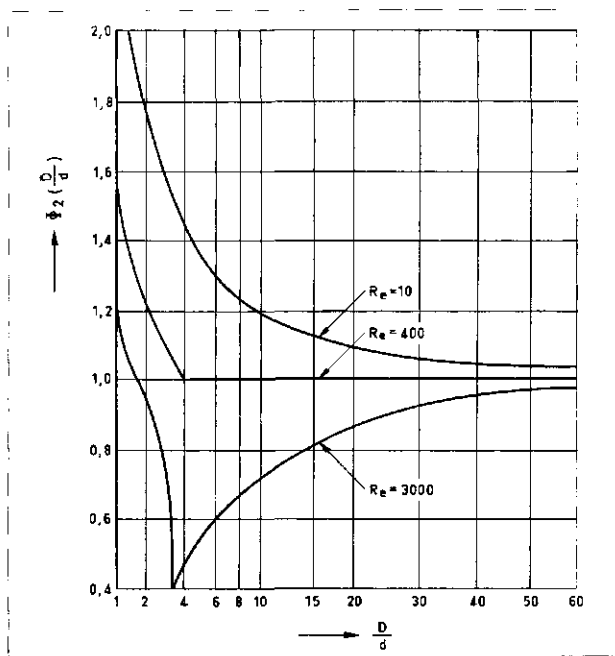


Fig. 1 - De invloed van filterdiameter op een filterstroming.

is bij dit onderzoek ook gebruik gemaakt van een specifieke doorlatendheid.

$$K = \frac{\varepsilon^3}{36(1-\varepsilon)^2} \cdot C \cdot d^2 \cdot \text{m}^2.$$

5. De filterkolom

Gebruik van plexiglas maakt het mogelijk de toestand van de filtervulling oppervlakkig te beoordelen.

De gekozen inwendige diameter van 9,47 cm (handelsmaat) was een compromis tussen de ene eis dat randeffecten een zo klein mogelijke invloed zouden uitoefenen en de andere eis dat de filterdebieten klein moesten blijven.

Uit fig. 1 [8] blijkt dat voor het te gebruiken zand met een maximale korreldiameter van ca. 0,5 mm (duinzand) en ca.

2 mm (rivierzand) de invloedsfactor ($\frac{D}{d}$) uit de filterformule van Rose c.s. voldoende tot 1,0 nadert (D = filterdiameter). Of dit ook geldig is voor de toe te passen zeer lage Reynolds-getallen is overigens nog de vraag.

De hoogte van de filtervulling tijdens de proeven bedraagt 135 à 140 cm, om de 25 cm zijn aansluitingen aanwezig voor drukmetingen en voor monsternamen (fig. 2). Ieder gewenst temperatuurregime kan in het zand worden gehandhaafd met een nauwkeurigheid van $\pm 0,1^\circ \text{C}$.

6. Het gebruikte zand

Het duinzand was afkomstig uit de jonge duinen bij Scheveningen, ongeveer 2 m beneden het maaiveld onttrokken. Na enige keren grof wassen werd het zand voor gebruik gereed geacht en werden enige zeefdiagrammen bepaald (fig. 3). (Het in de figuur weergegeven rivierzand is bij deze metingen niet gebruikt).

Schelpresten zijn niet vertegenwoordigd in het zeefdiagram vanwege de voorbehandeling van de monsters. Bij het vullen van de kolom werden kalkschilfers groter dan ca 1 mm afgezeefd, de kleinere zullen praktisch geen invloed hebben op de stroming, daar zij door een willekeurige oriëntatie ook gedeeltelijk met hun platte zijde evenwijdig aan de stroomrichting zullen liggen.

7. Het gebruikte water

Om een stabiel ionenevenwicht te verkrijgen tussen het water

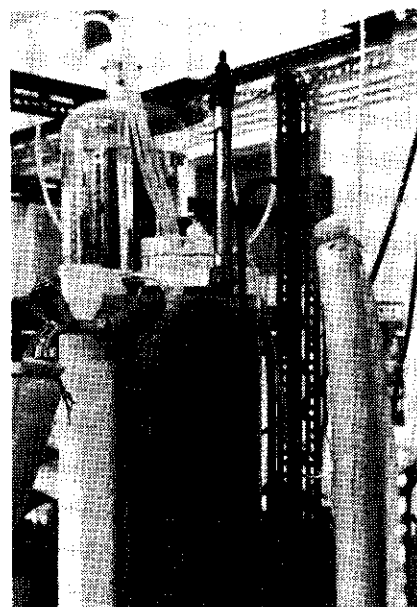


Fig. 2 - De filterkolom.

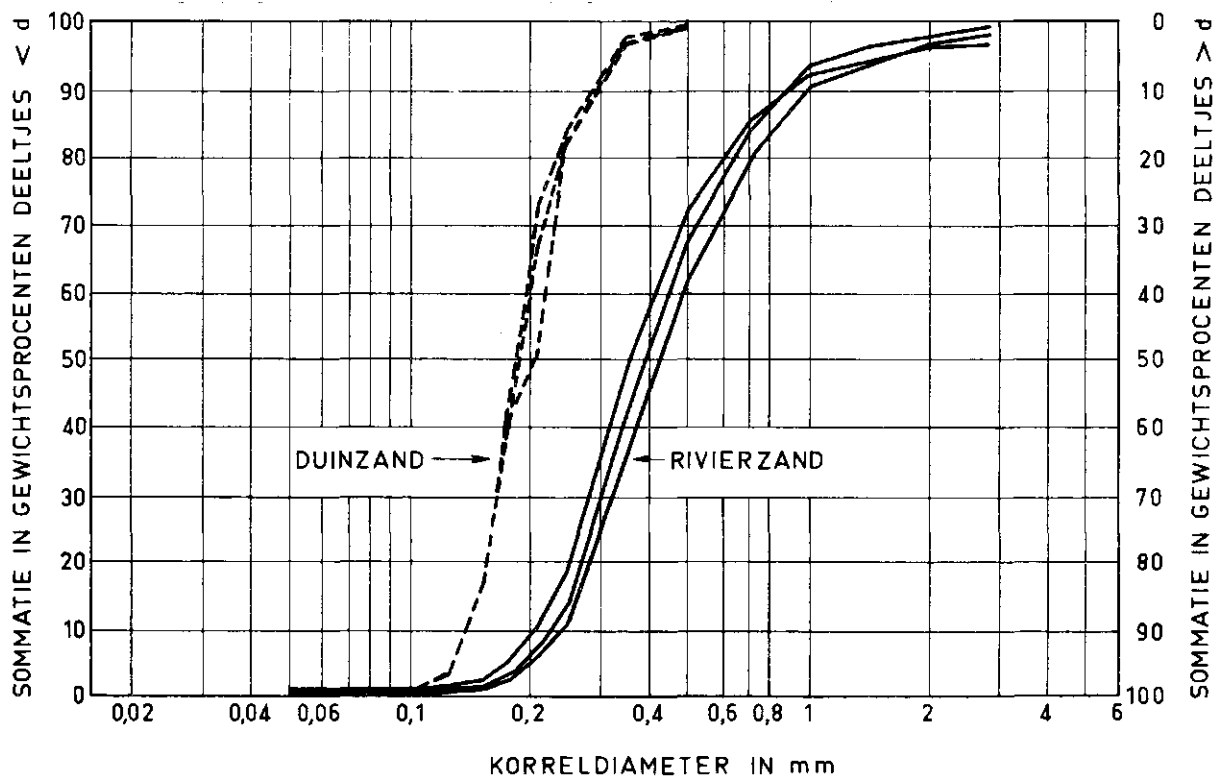


Fig. 3 - Korrelverdelingsdiagrammen duinzand en rivierzand.

en de filtervulling werd tijdens de proeven gebruik gemaakt van gedemineraliseerd water dat reeds door het filter had gestroomd en continu werd gerecirculeerd.

Het uittreden van gassen uit de vloeistof tijdens de filterpassage is niet waarschijnlijk te achten. De voedingsfles is op kamertemperatuur, ca 23° C, terwijl de hoogste werkteperatuur in het filter 20° C bedraagt.

Bacteriëngroei proberen wij te onderdrukken door continue desinfectie van het water. Bij inleidende proeven werd chloor gebruikt, dat echter via een pH-verlaging storend kan werken op het ionenevenwicht en dat onbruikbaar is in combinatie met koolwaterstoffen. Een zeer lage concentratie sublimaat leek aanvankelijk bruikbaar, maar kon op den duur slijmvorming niet tegenhouden; adsorptie van het kwik aan organisch vezelmateriaal (veenresten) is bekend [3] en ook bestaat de mogelijkheid dat door complexvorming het kwik onwerkzaam wordt. Andere, organische middelen zijn niet altijd toepasbaar t.g.v. hun storende invloed bij de bepaling van koolwaterstoffen.

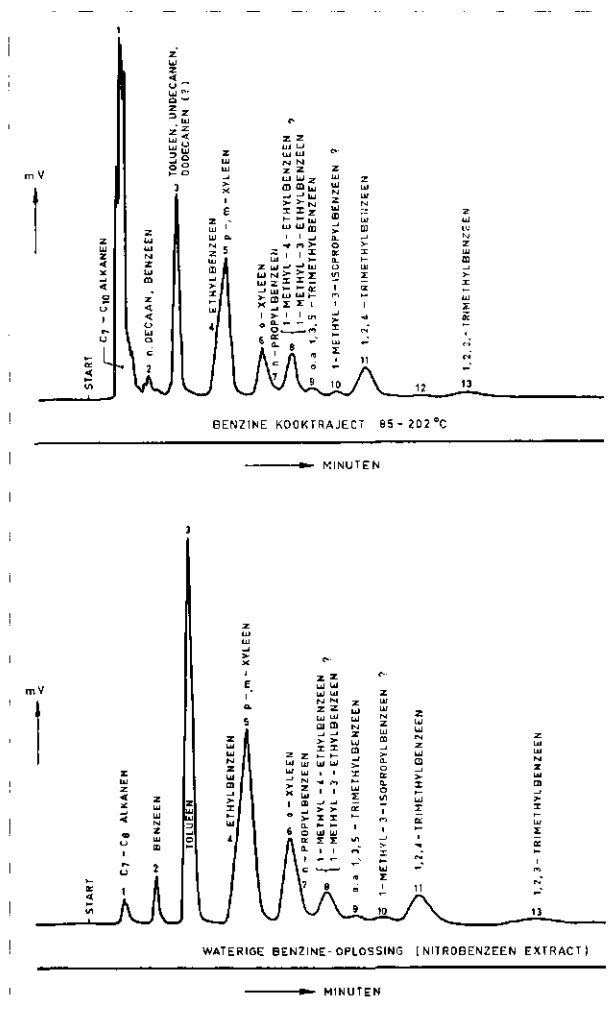
8. De gebruikte olie

Daar volgens de literatuur benzine vrij goed in water oplost en onze analysemethode nog ontwikkeld moest worden, bleek benzine voor de hierna beschreven proeven de meest aangewezen proefvloeistof. In een later stadium kan dan ook lichte gasolie worden gebruikt, die slechter oplosbaar is, maar waarvan relatief grotere hoeveelheden in omloop zijn. De (ongedoopte) benzine werd ons verstrekt door het Kon/Shell-laboratorium te Amsterdam met de volgende gegevens:

Kooktraject ASTM, D 86	: 42-202° C
Soortelijk gewicht 20/4° C	: 0,760
Viscositeit ASTM, D 445 20° C, cS	: 0,64
FIA (ASTM, D 1319) aromaten vol. %	: 29
verzadigden vol. %	: 71

In verband met de te verwachten verdampingsverliezen werd getracht de fracties met een kookpunt lager dan 85° C af te destilleren. Mogelijk t.g.v. het ontbreken van geschikte destillatie-apparatuur en het optreden van azeotropie waren

Fig. 4 - Gaschromatogrammen van de gebruikte benzine.



de resultaten slecht: wat laagkokende alifaten waren verdwenen, maar het effect was niet reproduceerbaar; verder bleek benzeen (kookpunt ca 80° C) ook nog aanwezig te zijn.

Bij de gaschromatografische analyse is gebruik gemaakt van een polaire kolom, de in water opgeloste benzine werd vooraf geëxtraheerd met nitrobenzeen [4]. Typische gaschromatogrammen van de gebruikte benzine en de in water opgeloste benzine zijn weergegeven in fig. 4. De scheiding van de alifaten is slecht te noemen, maar hier van weinig belang daar zij zeer slecht in het water oplossen.

9. Meetresultaten vloeistofstroming

De eerste metingen van doorlatendheidscoëfficiënten van duinzand voor water gaven een behoorlijke spreiding rond het gemiddelde te zien.

Ondanks het niet aantoonbaar zijn van een normale verdeling werd toch een standaardafwijking berekend om tot een eerste ordening van het cijfermateriaal te komen. Deze standaardafwijking bleek bij een aantal series metingen ± 3-12 % te bedragen.

Ten aanzien van enkele in de literatuur gevonden gegevens (veldonderzoek: ± 26-78 % [6]; laboratoriumonderzoek ± 25-110 % [7]) was dit een mooi resultaat, anderzijds is het te betreuren dat het niet mogelijk bleek voor een goed meetbaar fysisch gebeuren deze spreiding te verminderen. Werden de doorlatendheidscoëfficiënten grafisch uitgezet tegen de toegepaste drukgradiënten, dan bleek dat een groot deel van de spreiding kon worden toegeschreven aan een met deze gradiënt variabele doorlatendheid (fig. 5).

Dat de curven voor water met daarin opgeloste benzine lager liggen dan de curven behorende bij zuiver water (in dezelfde filtervulling) is niet te wijten aan de opgeloste benzine; het gehalte was laag, 10-20 mg/l, en de viscositeit was ongeveer gelijk gebleven. Wel was hier een sterke bacteriëngroei waargenomen, het water bevatte 400-98.000 bacteriën per ml (agar, 37° C); over de eerste 14 cm filterkolom daalde het zuurstofgehalte van 6,7 mg O₂/l tot 1,6 mg O₂/l, met een verdere daling tot 0,15 mg O₂/l na 85 cm filterpassage. Voor het eerst werd nu sublimaat toegepast met gunstig resultaat. Het reeds aanwezige slijm zal echter wel blijvend verstoppend hebben gewerkt.

De specifieke doorlatendheid van deze filtervulling voor water is bepaald bij een drukgradiënt van 0,02 m/m en voor de opgeloste benzine bij een gradiënt van 0,025 m/m; beide zijn vermeld in tabel I.

Afgezien van de mogelijke invloed van de bacteriën lijkt de viscositeit wel op juiste wijze in de formulering te zijn verwerkt.

Voor een tweede serie metingen werd het zand direct na het drogen verzadigd met benzine. De doorlatendheidscurven zijn gegeven in fig. 6.

Weliswaar is het beeld niet volledig door het ontbreken van gegevens over de hogere drukgradiënten, maar de tendens valt duidelijk op.

Extrapolatie naar een mogelijke toestand bij een verhang van 0,03 à 0,04 m/m leverde de waarden k, K en K' in tabel I, die, waarschijnlijk door de grove extrapolatie, niet zo mooi met elkaar overeenstemmen (K), maar die kwalitatief toch een belangrijk grotere doorlatendheid K' tonen.

Na de proeven met benzine werd deze met water uitgedreven (zie par. 10) en werden de metingen voortgezet met water waarin zich benzineresten uit de filtervulling oplossen.

Uit fig. 7 blijkt dat de curven wederom de tendens van de eerdere metingen met water vertonen. Extrapolatie naar een mogelijke toestand bij een verhang van 0,03 à 0,04 m/m leverde de waarden k, K en K', die weer in tabel I zijn verwerkt. Opvallend is dat de nu gevonden waarde voor K' prachtig overeenkomt met de in een vroegere filtervulling reeds eerder gevonden waarden voor water.

Bij de derde serie metingen wilden wij een voldoende aantal gegevens verzamelen over de wat grotere verhangen (0,02-

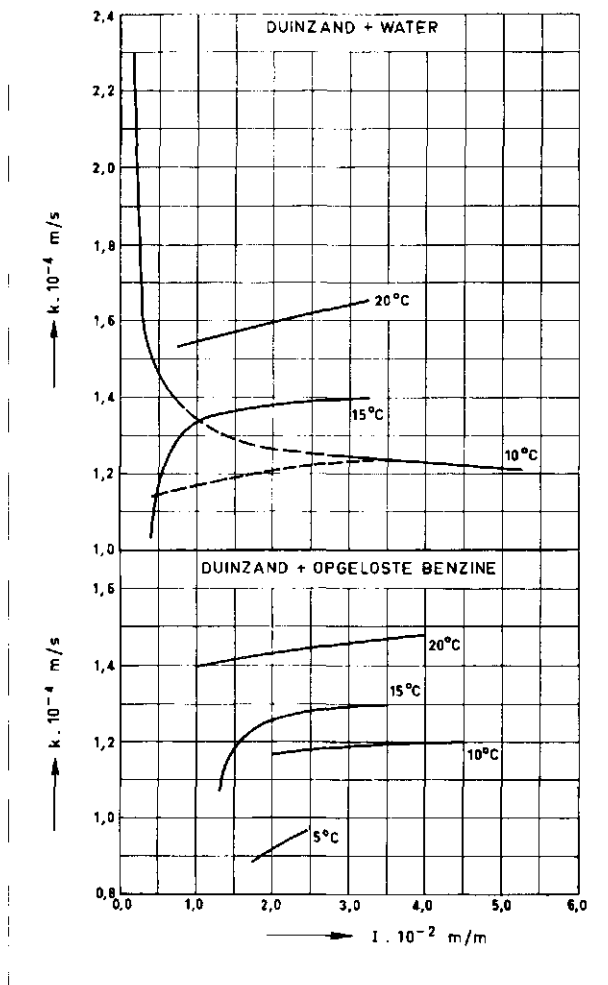


Fig. 5 - Verband tussen doorlatendheid, verhang en temperatuur.

TABEL I - Doorlatendheden van duinzand.

Vloeistof	temp. °C	Permeabiliteit k · 10 ⁻⁴ m/s	Kinematische viscositeit ν · 10 ⁻⁶ m ² /s	Spec. permeabiliteit K · 10 ⁻¹¹ m ²	Spec. permeabiliteit K' · 10 ⁻⁹ m ²
eerste proevenserie, poriëngehalte = 0,371					
water	10	1,19	1,36	1,65	4,65
water	15	1,38	1,18	1,66	
water	20	1,60	1,04	1,69	
opgel. benz.	10	1,17	1,31	1,56	4,21
opgel. benz.	15	1,30	1,13	1,50	
opgel. benz.	20	1,44	1,00	1,47	
tweede proevenserie, poriëngehalte = 0,407					
benzine	5	2,77	1,13	3,19	6,83
benzine	10	3,29	1,06	3,55	
benzine	15	3,98	1,02	4,14	
benzine	20	—	0,99	—	
opgel. benz.	5	1,62	1,58	2,61	4,62
opgel. benz.	10	1,83	1,31	2,45	
opgel. benz.	15	2,01	1,13	2,32	
opgel. benz.	20	2,42	1,00	2,46	
derde proevenserie, poriëngehalte = 0,385					
water	5	1,33	1,57	2,12	5,16
water	10	1,57	1,35	2,16	
water	15	1,78	1,19	2,16	
water	20	2,03	1,08	2,23	

0,05 m/m), daar wij hier een goede overeenstemming mochten verwachten met de theorie en verder een groot aantal gegevens bij de zeer kleine verhangen, het gebied dat voor de praktijk van het grondwater van groot belang is en waar wij de meeste afwijkingen hadden gevonden. De meetresultaten voor water zijn in beeld gebracht in fig. 8 en verder uitgewerkt in tabel I.

Inderdaad werd voor drukgradiënten groter dan ca 0,015 m/m een constante doorlatendheid gevonden. Bij de zeer lage verhangen werden weer grote afwijkingen gevonden: er waren twee mogelijkheden voor het curveverloop, tussen de groepen waarnemingen waarvoor beide curven zijn getekend lagen zeer weinig waarnemingen die zouden kunnen leiden tot de conclusie dat de spreiding willekeurig was en regelmatig verdeeld om een gemiddelde.

Een horizontaal deel van een curve werd bepaald uit ca 25 waarnemingen met een maximale afwijking t.o.v. de curve van ca $\pm 2\%$. De afwijkende takken zijn ieder bepaald uit ca 12 waarnemingen met een maximale afwijking t.o.v. de tak van ca $\pm 4\%$. (Bij de metingen bij 20° C werd alleen de hoge tak waargenomen, gevormd uit 26 metingen).

Het gebruiken van een te klein aantal metingen, niet goed verspreid over het beschouwde gebied en het optreden van meetfouten mag natuurlijk niet worden uitgesloten. Vergelijk hiervoor fig. 8, waarin zeer nauwgezet uitgevoerde metingenseries zijn verwerkt, met de figuren 5, 6 en 7.

Een literatuuronderzoek met betrekking tot het waargenomen verschijnsel leverde weinig resultaat op.

Er is vrij veel onderzoek verricht naar algemene afwijkingen van de wet van Darcy, die meestal bleken voort te vloeien uit de proefomstandigheden.

Sillanpää [9] meldt een met de tijd afnemende doorlatendheid, te wijten aan micro-erosie, met een snelle heroriëntatie van losliggende korrels bij stroomomkering. Verder een belangrijke invloed van het ionenevenwicht in het filter [11]. Dit laatste is nauw verwant aan waarnemingen bij kleigebieden die met zeewater overstroomd zijn geweest. De ondoorlatende natriumklei krijgt zijn betere structuur terug nadat de natriumionen zijn uitgewisseld tegen calciumionen. Teruglopende doorlatendheden door bacteriegroei worden meermalen genoemd en Bettaque [10] maakt melding van „Intermediärkörper”.

Bepaling van de bovenste grenzen van geldigheid van de wet van Darcy is onderwerp geweest van zeer veel onderzoeken, die echter voor normaal stromend grondwater en voor onze proeven van geen belang zijn.

Het is opvallend dat het meeste laboratoriumonderzoek plaats vindt bij grote drukgradiënten, die in het grondwater nauwelijks voorkomen. Massing [7] vindt op deze wijze een toenemende doorlatendheid bij toenemende verhangen. Het is overigens niet alleen vreemd dat met zulke hoge drukgradiënten wordt gewerkt, ook past men tijdens de meting afnemende drukgradiënten toe, hetgeen niet in overeenstemming is met de vooropstelling dat de stroming permanent en eenparig dient te zijn en men aanvaardt rustig afwijkingen van 50 % of meer met de gedachte dat de veiligheidscoëfficiënt de rest zal doen. Overigens worden spreidingen meestal niet vermeld in de literatuur en de indruk bestaat dat „mislukte” proeven niet worden gepubliceerd.

Over het gebied van de zeer kleine drukgradiënten is praktisch niets gepubliceerd. Wenzel [12] meldt dat de lineariteit uit de wet van Darcy ook voor kleine verhangen geldt, maar Silberberg [13] spreekt over een drempelwaarde van het verhang, waar beneden geen stroming optreedt, hetgeen wordt toegeschreven aan de elasticiteit van het water. Verder beschrijft Dudgeon [14] proeven waarbij in grof materiaal ook lagere doorlatendheden worden gemeten bij zeer kleine verhangen. Enkele malen wordt melding gemaakt van het abnormale gedrag van water bij zeer lage stroomsnelheden, semi-kristallijn, polymeer-achtig.

Dorsey [15] beschrijft afwijkende meetresultaten bij zeer korte capillairen (1 mm); de vorm van het ontvangend reser-

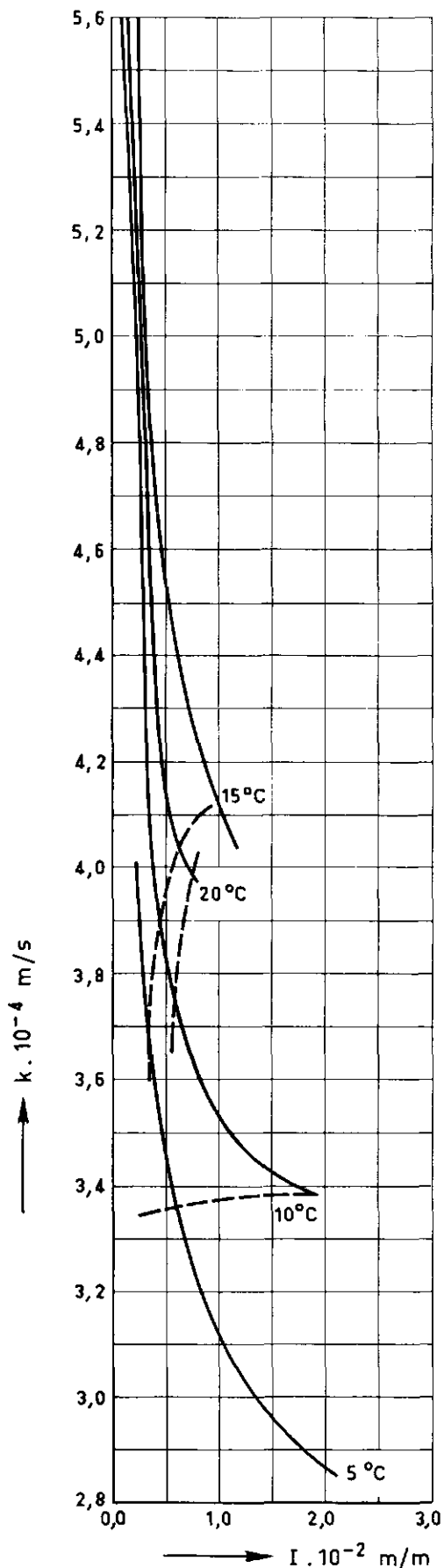


Fig. 6 - Verband tussen doorlatendheid, verhang en temperatuur. Duinzand + benzine.

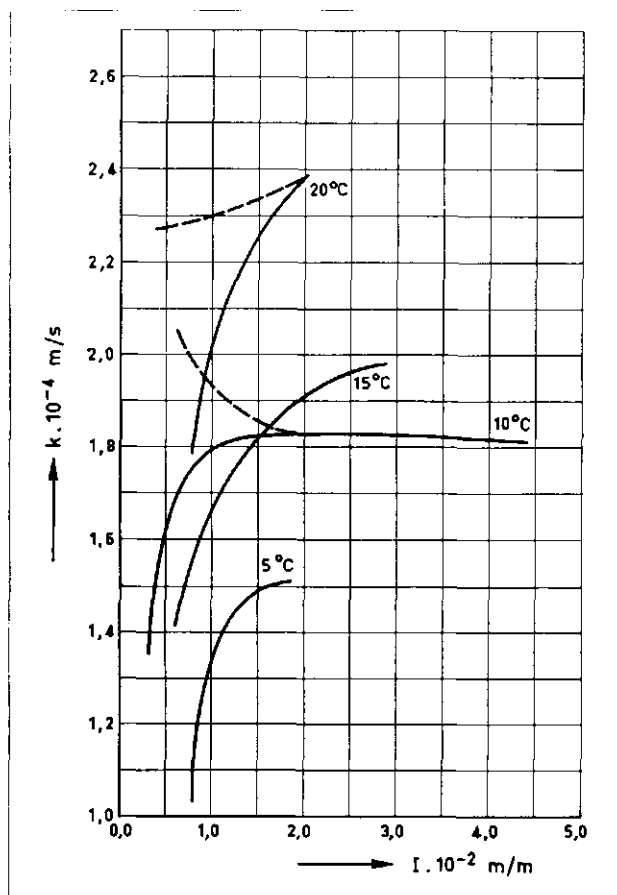


Fig. 7 - Verband tussen doorlatendheid, verhang en temperatuur. Duinzand + water na benzineproef.

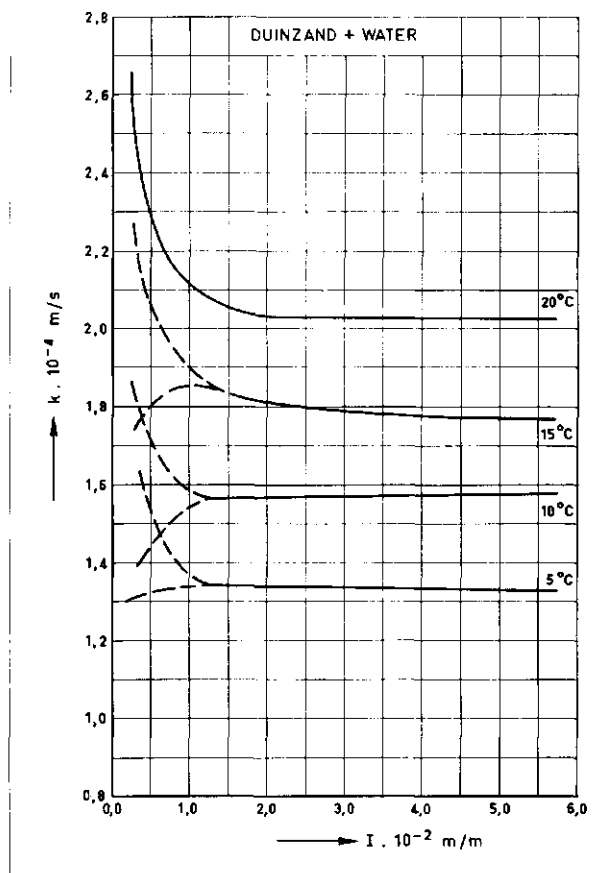


Fig. 8 - Verband tussen doorlatendheid, verhang en temperatuur.

voir heeft een belangrijke invloed (traagheid), de snelheidsverdeling over de dwarsdoorsnede van de buis is nabij de einden niet ideaal meer en de afmetingen van deze gebieden nemen toe bij toenemende stroomsnelheden. Dit verschijnsel kan van belang zijn voor het grondwater, waar we eigenlijk niet eens mogen spreken van capillaire buizen. In dit verband kan het wel eens zo zijn dat wij met ons grondwatermodel op verkeerd spoor zitten: de stroombuis, die wordt gebruikt voor de vergelijkingen van Bernoulli en Euler is toegepast voor grondwater, waar de stroomlijnen fictief zijn in een heterogeen milieu. Wij zoeken zelfs naar een „getal van Reynolds” als indicatie voor de omslag van laminaire naar turbulente stroming, waarbij wordt vergeten dat in de ene porie de toestand geheel anders kan zijn dan in de andere porie, nog afgezien van het gebruik van de uitdrukking „laminair”.

Voor de praktijk zijn deze beschouwingen van weinig belang; men rekent nu eenmaal plezierig met potentiaalstromingen waarin „doorlatendheden” zijn verwerkt, maar al met al weten wij nog steeds niet hoe het water door de poriën stroomt.

Dat minerale oliën relatief sneller door de bodem stromen dan water is reeds langer bekend. De meeste waarnemingen hiervan zijn gedaan in nogal fijnkorrelig materiaal, maar nu is dit ook gebleken voor de combinatie duinzand-benzine. Het kan niet alleen de adsorptie van water aan het korreloppervlak zijn die voor dit verschijnsel verantwoordelijk moet worden gesteld, als wij althans slechts kijken naar de afmetingen van de dipolen. Houden wij echter rekening met geadsorbeerde samenballingen van water („clusters”), dan komen wij al wat meer in deze richting: De poriën zelf hoeven niet veel kleiner te worden, maar wel de vernauwingen tussen de verschillende poriën.

Ook het verschijnsel dat de bodem voor koolwaterstoffen een grotere doorlatendheid vertoont dan voor water, is voor

de praktijk van weinig belang; de omstandigheden van de laboratoriumproeven zijn eigenlijk alleen geldig voor uitgestrekte olievelden met een verzadigde bodem. Bij ongelukken is de hoeveelheid olie relatief gering, zodat zeer snel grensvlakverschijnselen de overhand zullen gaan voeren. Zoals reeds eerder is gezegd kan de bestudering van het verschijnsel echter wel groot nut opleveren bij het onderzoek naar de factoren die van belang zijn bij grondwaterstromingen. Wij zijn er ons van bewust geworden dat er een wisselwerking bestaat tussen water en bodem, een wisselwerking die niet alleen van belang is voor stromingstoestanden, maar ook voor andere processen in de bodem.

Als voorbeeld kunnen hier worden genoemd de bacteriologische omzettingen, die meestal worden voorafgegaan door adsorptieprocessen waardoor een verrijkt en/of geselecteerd substraat ontstaat, adsorptieprocessen die afhankelijk kunnen zijn van de stromingstoestand.

10. De verdringing van benzine met water

Gedurende de tweede serie metingen werd getracht de in het filter aanwezige benzine te verdringen met water, van boven naar beneden. Een vlak scheidingsfront kon niet worden gerealiseerd; door de dichtheidsverschillen baande het water zich een weg door de benzine heen naar beneden, terwijl zeer veel benzine naar boven dreef en daar afgetapt werd.

Tijdens de hierna volgende stromingsproeven met water werd het benzinegehalte van dit water regelmatig bepaald; de gemiddelden zijn vermeld in tabel nr. II. Het verdringende water bevatte boven het filter al opgeloste benzine vanwege het contact van dit water met het benzinehoudende filteroppervlak. Opvallend is de waarneming dat het benzinegehalte van het doorstromende water reeds hoog was na passage van een kleine filterlengte, een gehalte dat verder in het filter niet sterk meer toenam.

BEMONSTERDE VLOEISTOF EN PLAATS VAN BEMONSTERING	TOTAAL GEHALTE OPGELOSTE BENZINE IN mg/l	ALKANEN	BENZEEN (DEKAAN)	TOLUEEN (UNDEKAAN)	ETHYLBENZEEN P-, m -XYLEEN (ISOPROPYLBENZEEN)	o -XYLEEN	n - PROPYLBENZEEN	1 METHYL - 4 ETHYLBENZEEN 1 METHYL - 3 ETHYLBENZEEN	1,3,5 - TRIMETHYLBENZEEN	1 - METHYL - 3 ISO - PROPYLBENZEEN	1,2,4 - TRIMETHYLBENZEEN	1,2,3 - TRIMETHYLBENZEEN	
		1	2	3	4/5	6	7	8	9	10	11	12	13
		(GEWICHTS) PERCENTAGE VAN DE TOTALE HOEVEELHEID OPGELOSTE BENZINE											
OORSPRONKELIJKE BENZINE	-	45	1(0,5)	12(0,5)	19(0,5)	5,5	1	5,5	1,5	1,5	5,5	1	
WATER OP FILTER	8,56	5,19	3,25	34,63	31,50	11,44	-	4,63	1,75	1,31	5,13	1,06	
NA 13 cm	68,13	3,63	5,94	48,50	25,25	9,50	-	2,25	0,88	0,75	2,94	0,63	
NA 63 cm													
NA 113 cm													
REST BENZINE IN FILTER	-	39,2	0,2	13,0	22,5	6,0	-	6,7	3,2	1,8	6,7	0,8	
		GEHALTE VAN DE OPGELOSTE BENZINE COMPONENTEN IN mg/l											
WATER OP FILTER	8,56	0,44	0,28	2,96	2,70	0,98	-	0,40	0,15	0,11	0,44	0,09	
NA 13 cm	68,13	2,48	4,05	33,05	17,21	6,47	-	1,53	0,60	0,51	2,00	0,43	
NA 63 cm													
NA 113 cm													
REST BENZINE IN FILTER	-	39,2	0,2	13,0	22,5	6,0	-	6,7	3,2	1,8	6,7	0,8	
		1	2	3	4/5	6	7	8	9	10	11	12	13

TABEL II - Gemiddelde samenstelling van de oorspronkelijke benzine (4 monsters), de in water opgeloste benzine (32 monsters) en de rest benzine in het filterzand (3 monsters).

Zoals reeds eerder was waargenomen gingen de alifaten slecht in oplossing, in tegenstelling tot de overige componenten. Er kan niet worden gesproken van het oplossen van een minerale olie in zijn totaliteit, het is in feite het oplossen van oliecomponenten, ieder voor zich en waarschijnlijk met onderlinge beïnvloeding. Uit de proeven is niets komen vast te staan van de snelheid van oplossen van diverse fracties.

Opvallend was dat in de restbenzine in het zand het alifaatgehalte lager was dan in de oorspronkelijke benzine, ondanks het feit dat relatief zeer weinig alifaten in oplossing waren gegaan. Het betreft hier zeer vluchtige stoffen, die tijdens de zeer primitieve monsternamen van het zand kunnen zijn verdamppt.

Aan deze onbevredigende monsternamen wijten wij het ook dat er bij analysering van het zand slechts ca 100 ml benzine werd teruggevonden, terwijl volgens berekening nog 300 à 400 ml aanwezig moest zijn, overeenkomend met 30 à 40 ml benzine per liter zand ofwel 7 à 10 % van het poriënvolume.

Gedurende het begin van de uitlogingsperiode kreeg het door het filter stromende water een geelbruine kleur (troebeling?), die ook was waargenomen wanneer een verse zandvulling voor het eerst met water werd doorstroomd, een kleur die ook leek op die van de benzine. Uit tabel III blijkt dat het permanganaatverbruik (refluxkoeling tijdens het koken) en de extinctie ongeveer gelijkvormig stijgen naarmate de afgelegde filterweg toeneemt, dat er geen verband is tussen het benzinegehalte en het permanganaatverbruik en dat het een aflopend verschijnsel is. De vorm van de spectrofotogrammen wees op een troebeling.

Waarschijnlijk is bij de overgang van benzinstroming naar waterstroming het ionenevenwicht in het filter verstoord

TABEL III - Uitspoeling van met benzine verzadigd duinzand.

monster nr.	monsterplaats	benzinegehalte mg/l	KMnO ₄ verbruik mg/l	extinctie bij 350 nm	extinctie bij 400 nm
6	na 13 cm	69	123		
7	na 63 cm	67	322	0,070	0,018
8	na 113 cm	68	626	0,122	0,029
9	op filter	4	4		
10	na 13 cm	68	34	0,006	0,002
11	na 63 cm	65	70	0,020	0,005
12	na 113 cm	69	221	0,070	0,018
13	op filter	6	5		
14	na 13 cm	64	30	0,005	0,002
15	na 63 cm	63	38	0,016	0,005
16	na 113 cm	70	52	0,033	0,010
17	op filter	1	3		
18	na 13 cm	64	18		
19	na 63 cm	61	29		
20	na 113 cm	72	37		
21	op filter	2,5	4		
22	na 13 cm	58	18		
23	na 63 cm	58	23		
24	na 113 cm	66	29		
25	op filter	1,5	4		
26	na 13 cm	88	19		
27	na 63 cm	84	22		
28	na 113 cm	100	24		
oorspronkelijke benzine, kookp. > 85° C				0,920	0,121

geraakt, waardoor humuszuren en/of kleideeltjes in (colloïdale) oplossing konden gaan. Het konden echter ook geoxydeerde koolwaterstoffen zijn, die uit de benzine graag geadsorbeerd worden door de korreloppervlakken en ook goed in water oplosbaar zijn [16]. Deze verbindingen kunnen door permanganaat vaak beter worden geoxydeerd dan de koolwaterstoffen waaruit zij zijn ontstaan.

11. Overige verdringingsproeven

Na de derde serie metingen met water werden in dezelfde filtervulling diverse verdringingsproeven uitgevoerd. In tabel nr. IV is de volgorde van deze proeven vermeld alsmede een greep uit de analyse-gegevens die bij deze proeven zijn verzameld. Voor alle proeven is een temperatuur van 10° C en een filtersnelheid van 2,25.10⁻⁶ m/s aangehouden.

A. De benzine is door schudden in het water gebracht, de later opdrijvende overmaat benzine is vóór de proef verwijderd. Bij het regelmatig bemonsteren van het front kan het voorgaande water mede zijn aangezogen waardoor de gehalten in de monsters lager konden zijn dan in de oorspronkelijke vloeistof boven op het filter.

B. In de hier weergegeven „stationnaire toestand” en gedurende de hieropvolgende dagen bleef de afname van het benzinegehalte in het filter voortduren hetgeen nu niet kon worden toegeschreven aan het aanzuigen van het oorspronkelijke water.

Het enige verschil met de voorgaande toestand (A) was dat alle componenten nu evenredig in gehalte achteruitgingen terwijl in het front voor de componenten 3 en 4/5 een verschuiving werd waargenomen.

C. Bij het uitspoelen van de opgeloste benzine met schoon water werd snel een benzinegehalte van 4 à 5 mg/l bereikt. Aanzuigen van de voorgaande vloeistof bij de monstername is niet waarschijnlijk daar het benzinegehalte tamelijk constant bleef.

D. In de „stationnaire toestand” bleef het verdringingswater lange tijd benzine bevatten, het gehalte daalde zeer langzaam tot ca. 0,75 mg/l (monster nr. 27, onder F). Ook het boven op het filter aanwezige water werd verontreinigd met opgeloste benzine uit het filter. De onderlinge verhoudingen van de componenten tijdens de stromingstoestanden C en D bleven nagenoeg onveranderd.

E. Tijdens het doordringen van een front zuivere benzine en de daarop volgende „stationnaire toestand” konden ook geen verschuivingen in de onderlinge verhoudingen van de componenten worden aangetoond.

F. Vóór het benzinefront (E) uit werden regelmatig monsters water genomen, gelijktijdig, op twee afstanden van het front verwijderd. In deze monsters kon wat meer benzine worden aangetoond dan in het monster dat representatief was voor de uitgangstoestand (nr. 27). Opmerkelijk is dat de onderlinge verhoudingen tussen de diverse componenten in deze monsters anders is dan tijdens de bepaling van de uitgangstoestand en ook verschillen toont met de onderlinge verhoudingen in de voorgaande stromingstoestand A t/m D. Een „diffusiegradiënt” kon op deze wijze niet worden aangetoond.

De verdringingsproeven zijn opgezet om de in de literatuur vermelde chromatografische scheiding in de bodem [16] op het laboratorium te verwezenlijken; in theorie moet deze

TABEL IV - Analyseresultaten verdringingsproeven in duinzand.

Omstandigheden van monsternamen	monster nr.	percentage v. d. benz. komp. (nummering als in tabel II)						totaal mg/l
		1	2	3	4/5	6	8 t/m 13	
A. Voortschrijdend front van in water opgeloste benzine								
boven op filter	1	5	5,5	49	24	8,5	8	53
na 11 cm filterpassage	2	1,5	7	54	23	9	5,5	27
na 61 cm filterpassage	5	0,5	8,5	60,5	19,5	8,5	3,5	10
na 111 cm filterpassage	9	0,5	9	71	16	3,5	—	3
B. „Stationnaire toestand”, 50 cm achter front (A)								
boven op filter	3	2,5	8	49,5	22,5	9	8,5	25
na 11 cm filterpassage	4	2	8	51	23	9,5	6,5	17
na 61 cm filterpassage	8	2	8	48,5	22,5	11	8	15
na 111 cm filterpassage	13	1,5	7,5	46	23	10	12	8,5
C. Voortschrijdend front van water (verdringing opgeloste benzine)								
boven op filter	15	1	2	55,5	27,5	14	—	0,2
na 11 cm filterpassage	16	0,5	6,5	51,5	20	11	10,5	4,5
na 61 cm filterpassage	19	1	7,5	49	23,5	10,5	8,5	5
na 111 cm filterpassage	22	1	7	48,5	22	10	11,5	4
D. „Stationnaire toestand”, 50 cm achter front (C)								
boven op filter	17	1	5	59,5	21,5	9	4	3,5
na 11 cm filterpassage	18	1	5	63	19	8	4	3
na 61 cm filterpassage	21	1	5	58,5	19,5	9,5	6,5	2,5
na 111 cm filterpassage	26	1,5	5,5	57,5	19	9,5	7	2,5
E. Voortschrijdend front benzine Δ Stationnaire toestand benzine								
boven op filter	28	44	1	12	19	6	18	} pure benzine
na 11 cm filterpassage	29	45	1,5	12,5	16	6,5	18,5	
na 36 cm filterpassage	32	43,5	1,5	12	19	6	18	
na 61 cm filterpassage	38	46	1,5	11,5	18	6	17	
na 86 cm filterpassage	42	42	1,5	11,5	20,5	5,5	19	
F. In water opgeloste benzine vóór benzinefront (E)								
water vóór start benzinefront (E)	27	1,5	1,5	61,5	20	12	3,5	0,8
15 cm vóór benzinefront	36	1,5	3	46	24,5	12,5	12,5	2
40 cm vóór benzinefront	37	4,5	2,5	45,5	23	11,5	13	2
15 cm vóór benzinefront	43	1,5	2,5	50,5	27	9,5	9	2
40 cm vóór benzinefront	44	1,5	2	55,5	25,5	9	6,5	2,5

scheiding optreden tengevolge van de verschillen in polariteit van de in de olie aanwezige componenten. Het niet voorkomen van deze scheiding kan worden geweten aan de storende invloed van de grote massa sterk polair water, aan het op dat moment aanwezige ionen-evenwicht bij de korreloppervlakken en aan de geringe lengte van de zandkolom.

De laatst genoemde invloed kan als volgt kwalitatief worden verduidelijkt: In voorgaande proeven met een zoutfront is gebleken dat een dergelijk front met een „dikte” van 30 minuten na 135 cm filterpassage was gekomen op een „dikte” van 8 à 10 uur, een vrij bekend verschijnsel overigens. In een bodempakket kunnen doorgaande poriën voorkomen met lage stroomsnelheden en poriën met hogere stroomsnelheden; hierdoor neemt de frontdikte reeds toe, met uiteraard lager wordende gehalten van de opgeloste stof. Dit verschijnsel wordt nog versterkt door de snelheidsgradiënten in de afzonderlijke poriën.

Gaan hierdoor de adsorptie-processen al verdeeld worden over een steeds toenemende filterlengte, het optreden van de adsorptie wordt nog sterker verspreid doordat de deeltjes die zich in het midden van de laminaire stroombuis bevinden er langer over zullen doen om bij de wand te komen dan de deeltjes die zich van het begin af aan al dichter bij de wand bevonden.

Een scheiding door adsorptie is voor de praktijk wel van belang. Bacteriën krijgen een geselecteerde voedingsbodem toegewezen, verandering van de samenstelling van de olie heeft invloed op de reuk- en smaakindruk van het water, en analysemethoden die zijn gebaseerd op de bepaling van een beperkte groep componenten kunnen de oorzaak zijn van verkeerde interpretaties.

12. Voorspelling van de invloed van een olieverontreiniging op de kwaliteit van uit grondwater gewonnen drinkwater

Uit praktijkonderzoek en uit theoretische overwegingen is gebleken dat een olieverontreiniging van niet te grote omvang vrij snel tot stilstand komt of door afpompen tot stilstand wordt gedwongen. In het waterwingebied heeft men dan uitsluitend te maken met in het water opgeloste olie; dit verontreinigd water gedraagt zich als al het andere water in het beschouwde gebied.

Men zal dus een kwantitatief beeld moeten hebben van de grondwaterstromingen in het waterwingebied en dit beeld zal in korte tijd, een à twee weken, gevormd moeten zijn. De Jong [17] heeft gepubliceerd over het nabootsen van een oneindig potentiaalveld door middel van een elektrisch analogiemodel op teledeltoespapier waarbij de moeilijkheden met de randvoorwaarden worden opgelost met behulp van conforme transformatie; een elegante werkwijze, die echter nog veel voorbereidend werk eist.

De werkwijze kan worden versneld door uit te gaan van sterk geschematiseerde en vereenvoudigde randvoorwaarden. Men moet zich er van bewust zijn fouten te maken met deze methode, maar het voordeel van de tijdwinst is ook niet weg te denken.

Een eigen onderzoek uit vroegere jaren, zeer beperkt van omvang, bood aanlokkelijke perspectieven; fig. 9 toont de eenvoud van de opstelling.

Er zal echter nog veel onderzoek nodig zijn om de bruikbaarheid van het vereenvoudigd model op al zijn merites te toetsen. Hierbij moet niet worden gestreefd naar perfectie, maar naar een werkwijze die met aanvaardbare fouten zeer snel een globaal overzicht geeft van de situatie.

13. Samenvatting en conclusies

a. Het is gebleken dat zowel de absolute doorlatendheid k m/s (Darcy) als de specifieke doorlatendheid d^2/C m² (Kozeny) van duinzand voor benzine groter is dan voor water.

b. Bij drukgradiënten kleiner dan 0,02 m/m, normaal voor Nederlandse omstandigheden, bleek er bij deze proeven

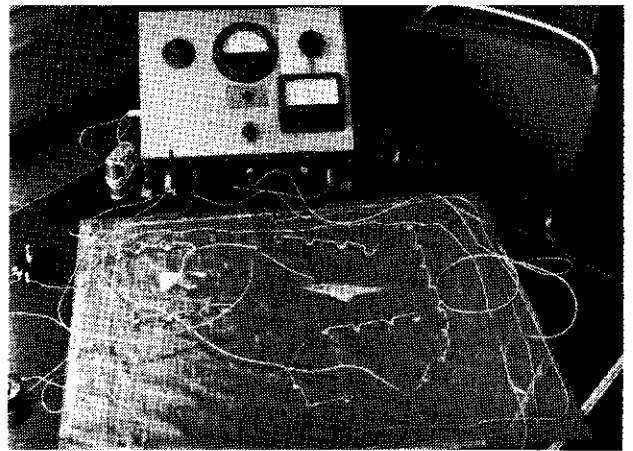


Fig. 9 - Elektrisch analogon waterwingebied (met infiltratievijvers).

geen lineair verband te bestaan tussen drukgradiënt en filtersnelheid. Het onder (a) genoemde verschijnsel kon hierdoor nog niet éénduidig worden gekwalificeerd.

c. De componenten van benzine lossen ieder voor zich op in water, ook onder de omstandigheden die voor grondwater gelden.

De alifaten lossen zeer slecht op, enkele in het geheel niet; benzeen en toluen lossen zeer goed op, de xylenen goed en de overige polaire componenten matig. Tengevolge van dit selectief oplossen is de samenstelling van de opgeloste benzine geheel anders dan van de oorspronkelijke benzine.

d. Het oplossen van benzine in water tijdens filterpassage gaat zeer snel: praktisch na het eerste contact met benzinehoudend zand was het benzinegehalte in het water hoog en na passage van 1 m benzinehoudend zand nog maar met ca. 7 % gestegen. Het zag er naar uit dat de stijging voornamelijk toegerekend kon worden aan benzeen, zeer goed oplosbaar maar zeer slecht vertegenwoordigd in de gebruikte benzine, en aan het goed oplosbare toluen dat matig aanwezig was in de oorspronkelijke benzine.

e. Bij passage van benzine door 1 m met water verzadigd duinzand kon geen „chromatografische” scheiding worden waargenomen.

f. Indien overlast wordt gevreesd van in water opgeloste minerale olie, zou een vereenvoudigd elektrisch analogon kunnen worden gebruikt om in korte tijd een globaal maar volledig overzicht te krijgen van de waterhuishouding in het betrokken gebied en van de grootte van de te verwachten overlast.

Notaties

v_p	: poriënsnelheid	m/s
v	: stroomsnelheid in het algemeen	m/s
v_f	: filtersnelheid	m/s
t	: tijd	s
s	: afgelegde weg op de stroomlijn	m
ρ	: soortelijke dichtheid	kg/m ³
g	: versnelling van de zwaartekracht	9,81 m/s ²
I	: verhang = drukverlies over s	m/m
D	: inwendige diameter	m
μ	: dynamische viscositeit	Ns/m ²
ν	: kinematische viscositeit	m ² /s
ϵ	: poriëngehalte	
d	: korreldiameter	m
R_h	: hydraulische straal	m

● Slot op pag. 408

LABORATORIUM TUSSEN THEORIE EN PRAKTIJK

Discussie

● Slot van pag. 418.

Dr. R. Schilt aan ir. Somers:

In de voordrachten werden als voorbeeld van olieverontreiniging van de bodem alleen omgevallen tankwagens genoemd. M.i. is de kans op lekkages van ondergrondse huisbrandolietanks, welke onder geen enkele controle staan, waarschijnlijk veel groter. De deugdelijkheid van deze vaak in het grondwater liggende tanks en hun bekleding laat dikwijls veel te wensen over.

Antwoord:

Voor het onderzoek bij TNO wordt uitgegaan van de aanwezigheid van olie in de een of andere vorm in de bodem, zonder aandacht te schenken aan de oorzaak van deze aanwezigheid.

De kans op ongelukken is bij kleine tanks voor huisbrandolie, waarvoor nog geen controlemogelijkheden bestaan, zeer groot. Overigens moet dit gevaar niet worden overschat daar de meeste van deze tanks niet zijn gelegen in of nabij drinkwaterwingebieden en dus geen ongerief kunnen veroorzaken voor de *gemeenschap*.

Over individueel ondervonden schade aan bouwwerken, isolatiematerialen, veldgewassen enz., en stankbezwaren in woonruimten zijn weinig gegevens aanwezig.

Tankwagens zijn vaak eigendom van kleine ondernemers waardoor de mogelijkheden van controle en aansprakelijkheid niet altijd groot zijn.

Literatuur

1. Somers, J. A., *Verontreiniging van de bodem en het grondwater door minerale oliën*. TNO-nieuws, 21 (1966) 7, 246-251.
2. Kozeny, J., *Hydraulik*, Wien 1953.
3. Rathman, H., *Slime formation and slime control in paper mills*. Dissertatie Universiteit Amsterdam, 1962.
4. Jettes, R. and Veldink, R., *The gas chromatographic determination of petrol in water*. Journal of Chromatography, 27 (1967) 1, 242-245.
5. Slater, C. S. and Byers, H. G., *A laboratory study of the field percolation rates of soils*. Techn. Bull. U.S. Dep. of agriculture, (1932) 232, 1-23.
6. Evans, D. D., Kirkham, D., Frevett, R. K., *Infiltration and permeability in soil overlying an impermeable layer*. Soil Science Soc. of Am., Proc. 1950, Vol. 15, 50-54.
7. Massing, H., *Heizöl EL und Benzin in Lössböden*. Mitt. Inst. Wasserwirtschaft, Techn. Hochschule Hannover, H 5, 1964.
8. Tison, L. J., *Cours d'hydraulique*, Gand, 1953.
9. Sillanpää, M., *Studies on the hydraulic conductivity of soils and its measurement*. Acta agraria Fennica, 1956, nr. 87.
10. Bettaque, R. H. G., *Studien zur Künstlichen Grundwasseranreicherung*. Veröff. Inst. Siedlungswasserwirtschaft, Techn. Hochschule Hannover, H 2, 1958.
11. Robinson, D. O. and Page, J. B., *Soil aggregate stability*. Soil Science Soc. of Am., Proc. 1950, Vol. 15, 25-29.
12. Wenzel, L. K., *Methods for determining permeability of water-bearing materials*. U.S. Geological survey water-supply, 1942, paper 887.
13. Silberberg, L., *Några jordartfysikaliska problem*. Stat. Geot. Inst. medd. 2 (1949) 75-111.
14. Dudgeon, C. R., *An experimental study of the flow of water through coarse granular media*. La Houille Blanche, 1966, nr. 7, 785-800.
15. Dorsey, N. E., *The flow of liquids through capillaries*. The Physical review, 1926, Vol. 28, 2nd series.
16. Silverman, S. R., *Migration and segregation of oil and gas*. Symposium: „Fluids in subsurface environments”, The Am. Ass. of Petroleum Geologists, 1965.
17. De Jong, J., *Een eenvoudige methode voor het nabootsen van een oneindig potentiaalveld*. Water, 46 (1962) 12, 185-186.