

(19)



Octrooi Centrum
Nederland

(11)

2011643

(12) **C OCTROOI**

(21) Aanvraagnummer: **2011643**

(51) Int.Cl.:

G01N 15/08 (2006.01)

G01N 33/24 (2006.01)

(22) Aanvraag ingediend: **18.10.2013**

(30) Voorrang:
19.10.2012 BE 2012/0709

(43) Aanvraag gepubliceerd:
-

(47) Octrooi verleend:
23.04.2014

(45) Octrooischrift uitgegeven:
30.04.2014

(73) Octrooihouder(s):
**Herman Hugo Jan Peiffer
te Schoten, België (BE).**

(72) Uitvinder(s):
**Herman Hugo Jan Peiffer te Schoten (BE).
Benny Gaby Corneel Malengier
te Drongen (BE).**

(74) Gemachtigde:
Ir. A.A.G. Land c.s. te DEN HAAG.

(54) **Inrichting voor het analyseren van bodemonsters.**

(57) Analyse-inrichting voor bodemonsters, omvattende een houder voor opname van een monster; een aandrijfmechanisme om de houder te laten roteren aan een bepaalde omwentelingssnelheid; meetmiddelen; en met de meetmiddelen verbonden verwerkingsmiddelen; waarbij de meetmiddelen zijn ingericht om een hoeveelheid door het monster opgenomen/afgegeven fluïdum te meten; waarbij de meetmiddelen zijn ingericht om een door het aandrijfmechanisme uitgeoefend draaimoment en/of een centrifugale kracht te bepalen; waarbij de verwerkingsmiddelen zijn ingericht om een permeabiliteit te bepalen aan de hand van de omwentelingssnelheid, de hoeveelheid door het monster opgenomen/afgegeven fluïdum, en/of het door het aandrijfmechanisme uitgeoefend draaimoment en/of de centrifugale kracht.

NL C 2011643

Dit octrooi is verleend ongeacht het bijgevoegde resultaat van het onderzoek naar de stand van de techniek en schriftelijke opinie. Het octrooischrift wijkt af van de oorspronkelijk ingediende stukken. Alle ingediende stukken kunnen bij Octrooi Centrum Nederland worden gezien.

Inrichting voor het analyseren van bodemmonsters

De onderhavige uitvinding heeft betrekking op een inrichting voor het analyseren van bodemmonsters.

5

In het vakgebied van de grondmechanica is het nuttig over een empirisch gevalideerd model van de permeabiliteit van bodemlagen te beschikken, in het bijzonder van de permeabiliteit in functie van bodemverzadiging. De permeabiliteit speelt onder andere een rol bij de bepaling van de diepte van de grondwatertafel en bij de beoordeling van de haalbaarheid van de ontginning van fossiele koolwaterstoffen (aardolie, aardgas) uit bepaalde bodemlagen.

15

De fysische grootheid permeabiliteit drukt uit in welke mate de onderzochte bodemlaag doorsijpeling van een fluïdum (bijvoorbeeld water, aardolie of aardgas) toelaat. De permeabiliteit κ (in m^2) wordt doorgaans gedefinieerd aan de hand van de volgende formule:

$$\kappa = v \frac{\mu \Delta x}{\Delta P}$$

waarin v (m/s) de gemiddelde stromingssnelheid is van het fluïdum doorheen het medium, μ (Pa s) de dynamische viscositeit van het fluïdum is, ΔP (Pa) het aangebrachte drukverschil is, en Δx (m) de dikte van het te doorkruisen medium is.

Uit de literatuur zijn technieken bekend ter bepaling van de permeabiliteit van onverzadigde, weinig doorlatende gronden. Om de duur van de opmeting te beperken, wordt gebruik gemaakt van centrifuges, die het monster onderwerpen aan een centrifugaalkracht (dit is als het ware een kunstmatige

30

versnelling, vele male sterker dan de door de Aarde veroorzaakte zwaartekracht, die aanleiding geeft tot een bijkomende gradiënt of die als zuigspanning inwerkt op het monster), welke een functie is van de omwentelingssnelheid van de centrifuge en dus gemakkelijk te bepalen is.

US 4,679,422 beschrijft een werkwijze en inrichting voor het uitvoeren van een steady state meting van de permeabiliteit in poreuze media.

10

In de bestaande technieken wordt het fluïdum door de centrifugaalkracht uit het monster gezogen. Dit gebeurt hetzij onder continue toevoer van een fluïdum (waarbij een "steady state" wordt bereikt wanneer het toevoerdebiet gelijk is aan het aan de andere zijde afgescheiden afvoerdebiet), hetzij onder loutere drainage van het monster (waarbij uiteindelijk een evenwicht wordt bereikt tussen de zuigspanning en de capillaire kracht).

20 De gekende steady-state centrifugeerinrichtingen zijn voorzien van middelen om de omwentelingssnelheid te bepalen of af te lezen, en aldus de centrifugaalkracht te bepalen, middelen om een fluïdum gedoseerd toe te voeren aan het monster, en middelen om het effluent op te vangen en er het volume van te bepalen.

Deze inrichtingen hebben als nadeel dat ze relatief duur zijn, en per steady state slechts één watergehalte opleveren over het ganse grondmonster, hetgeen dus ook slechts één punt vertegenwoordigt op de retentiecurve. Bijgevolg zijn voor het verkrijgen van de volledige retentiecurve meerdere metingen nodig, waardoor de duur van de proef toeneemt. Bovendien zijn de uitersten van de retentiecurve moeilijk te

bereiken. Bovendien dient een meting te geschieden van het instromend debiet en van het uitstromend debiet.

Het is een doel van de onderhavige uitvinding een inrichting
5 voor het analyseren van bodemonsters te voorzien, die deze nadelen niet vertoont.

Dit doel wordt bereikt door een inrichting, omvattende een houder voor het opnemen van een monster; een
10 aandrijfmechanisme, ingericht om de houder om een as te laten roteren aan een door de inrichting bepaalde omwentelingssnelheid; meetmiddelen; en met de meetmiddelen verbonden verwerkingsmiddelen; waarbij de meetmiddelen zijn ingericht om een hoeveelheid door het monster opgenomen
15 en/of afgegeven fluïdum te meten; waarbij de meetmiddelen verder zijn ingericht om ten minste één van een door het aandrijfmechanisme uitgeoefend draaimoment en een centrifugale kracht te bepalen; en waarbij de verwerkingsmiddelen zijn ingericht om een permeabiliteit van
20 het monster te bepalen aan de hand van één of meer van de omwentelingssnelheid, de hoeveelheid van het door het monster opgenomen en/of afgegeven fluïdum, en het ten minste ene van het door het aandrijfmechanisme uitgeoefend draaimoment en de centrifugale kracht.

25

Onder het bepalen van een permeabiliteit van het monster wordt naargelang van de uitvoeringsvorm begrepen: het bepalen van één punt van een permeabiliteitscurve, of, bij voorkeur, het bepalen van meerdere punten van een
30 permeabiliteitscurve.

De onderhavige uitvinding is onder meer gebaseerd op het inzicht dat, mits gebruik van een geschikte mathematische

modellering van het constitutief gedrag in de vorm van een "invers algoritme", verscheidene punten van de permeabiliteitsfunctie kunnen worden bepaald aan de hand van een enkel centrifuge-experiment. Hiertoe is echter vereist
5 dat de centrifuge-inrichting ook grootheden kan meten die tot dusver niet rechtstreeks meetbaar waren in gekende inrichtingen. Aldus voorziet de inrichting volgens de uitvinding de noodzakelijke bijkomende meting van draaimoment en/of centrifugale kracht.

10

Aangezien de structuur van de inrichting zonder monster en zonder fluïdum gekend is, en aangezien de aanwezigheid van het fluïdum buiten het monster kan gemeten worden, zijn de bijdragen van deze elementen aan het traagheidsmoment van de
15 inrichting en/of de centrifugale kracht gekend. Variaties in deze grootheden kunnen dus, na correctie voor de gekende bijdragen, gecorreleerd worden aan de massaverdeling van de inhoud van de recipiënt, en dus aan de verdeling van het fluïdum doorheen het monster.

20

In het mathematische model wordt bij voorkeur ook rekening gehouden met de mogelijke samendrukking van het grondmonster in de centrifuge, alsook de mogelijke expansie van kleimineralen.

25

Onder "verwerkingsmiddelen" worden middelen begrepen die het bedoelde mathematische model implementeren, en aldus de verkregen meetwaarden omzetten naar één of meer punten op de permeabiliteitscurve. Deze middelen kunnen bestaan uit elke
30 geschikte combinatie van hardware en software, en kunnen eventueel de vorm aannemen van een met de rest van de inrichting verbonden computer, bijvoorbeeld een draagbare computer.

In een uitvoeringsvorm wordt bij het bepalen van de permeabiliteit van het monster gebruik gemaakt van een kleinste-kwadratenmethode.

5

In een uitvoeringsvorm van de inrichting volgens de onderhavige uitvinding, zijn de meetmiddelen verder ingericht om een druk te meten ter hoogte van een dichtst bij de as gelegen zone van het monster en/of ter hoogte van een verst van de as gelegen zone van het monster.

10

Deze drukmetingen laten toe de randvoorwaarden van het centrifuge-experiment nauwkeurig te controleren.

15

In een uitvoeringsvorm is de inrichting volgens de onderhavige uitvinding ter hoogte van een dichtst bij de as gelegen zone van het monster voorzien van een eerste reservoir voor het op te nemen fluïdum.

20

Deze uitvoeringsvorm laat toe experimenten uit te voeren waarbij een vloeistofkolom boven het monster wordt voorzien.

In een uitvoeringsvorm is de inrichting volgens de onderhavige uitvinding ter hoogte van een verst van de as gelegen zone van het monster voorzien van een tweede reservoir voor het afgegeven fluïdum.

25

Deze uitvoeringsvorm laat onder meer toe experimenten uit te voeren waarbij de afvoerzijde in een toestand van verzadiging wordt gehouden.

30

In een bijzondere uitvoeringsvorm, is het tweede reservoir voorzien van een uitloopopening welke afsluitbaar is met behulp van een verwijderbare dop.

- 5 Deze uitvoeringsvorm laat toe om, naargelang het gewenste experiment, vrij uitstroom of verzadiging op te leggen aan de afvoerzijde van het monster.

- 10 In een uitvoeringsvorm van de inrichting volgens de onderhavige uitvinding zijn de meetmiddelen voorzien van een zender voor het uitzenden van elektromagnetische golven en een ontvanger voor het opvangen van elektromagnetische golven, en waarbij de meetmiddelen zijn ingericht om de hoeveelheid door het monster opgenomen fluïdum te bepalen
15 door detectie van door nog niet opgenomen fluïdum gereflecteerde elektromagnetische golven.

- Deze uitvoeringsvorm laat een zeer nauwkeurige bepaling van de hoogte van de fluïdumkolom aan de toevoerzijde van het
20 monster toe.

- In een bijzondere uitvoeringsvorm zijn de elektromagnetische golven lichtgolven of infraroodgolven. In een andere bijzondere uitvoeringsvorm zijn de elektromagnetische golven
25 microgolven. In nog een andere bijzondere uitvoeringsvorm zijn de elektromagnetische golven radargolven.

- In een uitvoeringsvorm van de inrichting volgens de onderhavige uitvinding zijn de verwerkingsmiddelen ingericht
30 om permeabiliteitswaarden van het monster te bepalen voor meerdere verzadigingsgraden.

Al naargelang van het gebruikte mathematische model, kunnen uit de verkregen meetwaarden, functiewaarden voor diverse domeinen van de permeabiliteitsfunctie worden gegenereerd.

- 5 In een bijzondere uitvoeringsvorm is de inrichting verder voorzien van een weergavemiddel voor het grafisch weergeven van de permeabiliteitswaarden van het monster te bepalen voor de meerdere verzadigingsgraden.
- 10 Deze uitvoeringsvorm is bijzonder geschikt voor gebruik op het terrein, wanneer het niet (alleen) wenselijk is de meetgegevens op te slaan of door te sturen voor verdere verwerking, maar vooral een onmiddellijke indruk van de voorliggende permeabiliteitsfunctie moet worden verkregen.
- 15 In een bijzondere uitvoeringsvorm, omvat het weergavemiddel een scherm. In nog een bijzondere uitvoeringsvorm, omvat het weergavemiddel een afdrukeenheid.
- 20 In een uitvoeringsvorm van de inrichting volgens de onderhavige uitvinding omvatten de verwerkingsmiddelen verder een gegevensinterface voor het uitlezen van één of meer van de permeabiliteit, de omwentelingssnelheid, de hoeveelheid van het door het monster opgenomen en/of
- 25 afgegeven fluïdum, en het ten minste ene van het door het aandrijfmechanisme uitgeoefend draaimoment en de centrifugale kracht.

- Deze uitvoeringsvorm maakt het delen van de meetgegevens met
- 30 andere elektronische apparatuur of opslagmedia mogelijk; eventueel via een netwerk.

De uitvinding heeft ook betrekking op een meetinrichting voor gebruik in de bovengenoemde inrichting, omvattende een houder voor het opnemen van een monster; een aandrijfmechanisme, ingericht om de houder om een as te laten roteren aan een door de inrichting bepaalde omwentelingssnelheid; en meetmiddelen; waarbij de meetmiddelen zijn ingericht om een hoeveelheid door het monster opgenomen en/of afgegeven fluïdum te meten; waarbij de meetmiddelen verder zijn ingericht om ten minste één van een door het aandrijfmechanisme uitgeoefend draaimoment en een centrifugale kracht te bepalen; en waarbij de meetinrichting verder is ingericht om gekoppeld te worden met verwerkingsmiddelen.

De uitvinding heeft ook betrekking op een computerprogramma, ingericht om bij uitvoering door verwerkingsmiddelen van een inrichting zoals hierboven beschreven, een permeabiliteit van het monster te bepalen aan de hand van één of meer van de omwentelingssnelheid, de hoeveelheid van het door het monster opgenomen en/of afgegeven fluïdum, en het ten minste ene van het door het aandrijfmechanisme uitgeoefend draaimoment en de centrifugale kracht.

Deze en andere aspecten en voordelen van de onderhavige uitvindingen zullen hierna nader beschreven worden aan de hand van de bijgevoegde tekeningen, waarin

Figuur 1 een schematische overzichtstekening is van een inrichting volgens een uitvoeringsvorm van de onderhavige uitvinding; en

Figuur 2 een meer gedetailleerde schematische tekening is van een onderdeel van de in Figuur 1 weergegeven inrichting.

5 Figuur 1 is een overzichtstekening van een inrichting volgens een uitvoeringsvorm van de onderhavige uitvinding. De inrichting **100** is opgebouwd als een centrifuge bestaande uit een sokkel **131** waarop een draaipunt **132** is bevestigd, dat via een draaiarm **134** de behuizing **201** van het
10 meetgedeelte **200** van de inrichting **100** kan doen roteren rond een as **140**. Hier wordt bij voorkeur ook het draaimoment gemeten, bij voorbeeld via een op de as aangebracht meetmiddel **160**. De stabiele rotatie bij de optredende centrifugaalkracht wordt bewerkstelligd door verplaatsbaar
15 en variabel tegengewicht **133** en een voldoende stijve draaias en draaiarm **134**.

De recipiënt **110** en de diverse meetsensoren worden afgeschermd van aerodynamische verstoringen door een globale
20 behuizing **201**. De recipiënt **110** wordt bij voorkeur afzonderlijk ingebouwd in een behuizing (niet weergegeven) voor een solide bevestiging.

Een grondmonster wordt in de inrichting **100** ingebracht,
25 hetzij rechtstreeks in een dikwandige glazen recipiënt, hetzij na ontnaam door middel van een dunwandige stalen cilinder uit een op het terrein ontnomen grondmonster. Op Figuur 1 is schematisch weergegeven waar grondmonster **120** zich bevindt in de recipiënt **110**. Dit wordt nader
30 verduidelijkt in de hierna volgende beschrijving van Figuur 2.

Figuur 1 toont voorts het scharnierpunt **135**. Op de draaiarm **134** van de inrichting **100** wordt voorts een krachtopnemer **170** voorzien, bijvoorbeeld onder de vorm van rekstroken, welke toelaten de heersende centrifugaalkracht nauwkeurig te
5 bepalen. Dit levert aldus nuttige informatie over de massaverdeling van het in recipiënt **110** opgenomen monster **120**. Deze meting is in het bijzonder van betekenis bij variaties in de omwentelingssnelheid van de centrifuge **100**, zoals bij het opstarten en bij het abrupt stopzetten van de
10 centrifuge.

Dankzij de aanwezigheid van de genoemde sensoren **160**, **170** biedt de inrichting **100** volgens de onderhavige uitvinding meer informatie over de verzadiging in verschillende lagen
15 van het monster **120**. Dit in tegenstelling tot wat het geval was bij de bekende inrichtingen, welke steeds een aparte versnijding en/of weging van het monster vereisten.

Verwijzend naar Figuur 2 wordt nu het meetgedeelte **200** van
20 de inrichting **100** volgens de uitvinding nader beschreven. Het meetgedeelte bestaat uit een behuizing **201** waarbinnen zich de recipiënt **110** voor het monster **120** bevindt. Het meetgedeelte **200** van de inrichting **100** is in Figuur 2 weergegeven onder dezelfde oriëntatie zoals in Figuur 1,
25 zodat de linkerzijde van Figuur 2 de dichtst bij de as **140** gelegen zijde vertegenwoordigt en de rechterzijde van Figuur 2 de verst van de as **140** gelegen zijde vertegenwoordigt. Aldus is de linkerzijde van het monster **120** de zijde langs welke onder invloed van de centrifugaalkracht het fluïdum
30 **215** vanuit een aldaar voorzien eerste reservoir **210** in het monster **120** zal sijpelen (de gravitationele "bovenkant"). De rechterzijde van Figuur 2 is de zijde langs welke het fluïdum **225** onder invloed van diezelfde centrifugaalkracht

en tegen de werking van de capillaire kracht in het monster **120** zal verlaten om in het reservoir **220** te worden opgevangen (de gravitationele "onderkant").

- 5 Het tweede reservoir **220** is voorzien van een uitstroomopening (niet afzonderlijk weergegeven) die kan worden afgesloten door middel van een dop **221**. Zonder verlies van algemeenheid is dop **221** weergegeven als een schroefdop. De dop **221** is bij voorkeur uitgerust met een
10 uitloopopening **222**, welke bij voorkeur met een regelbare drukklep (niet weergegeven) en/of een afsluitkraan is uitgerust.

- Al naargelang het type experiment kan de dop **221** al dan niet
15 worden aangebracht op het reservoir **220**, zodat, indien nodig, het volume van het effluent bij het einde van het experiment nauwkeurig kan bepaald worden. Indien voldoende fluïdum wordt voorzien in het adequaat afgesloten (of op een gekozen druk gehouden) tweede reservoir **220**, kan de
20 onderzijde van het monster **120** gedurende de meting in verzadiging worden gehouden.

- Aan het rechts weergegeven gedeelte van de behuizing **201** wordt binnenin bij voorkeur een steun **230** voorzien, die het
25 geheel van recipiënt **110** en de aangrenzende reservoirs bij de inwerkingstelling van de centrifuge **100** stevig op zijn plaats houdt.

- In het meetgedeelte **200** wordt een sensor **150** voorzien die is
30 ingericht om de hoogte van de fluïdumkolom **215** nauwkeurig te bepalen. Sensor **150** omvat bij voorkeur een zender en een ontvanger die geschikt zijn om elektromagnetische golven naar het fluïdum **215** te sturen en de reflectie van deze

golven op te vangen. Door vergelijking van het uitgestuurde signaal en het opgevangen signaal, kan sensor **150** de hoogte van de fluïdumkolom **215** bepalen en hiervan het infiltratiedebiet van het fluïdum **215** afleiden. Sensor 250
5 maakt hiervan bij voorkeur gebruik van lichtgolven, in het bijzonder infraroodgolven, of alternatief radargolven of microgolven.

Het meetgedeelte **200** is verder voorzien van druksensoren
10 **181, 182, 183** waarmee de druk aan weerszijden van het monster **120** kan worden gecontroleerd.

Ten slotte wordt op Figuur 2 ook getoond dat het monster **120** aan weerszijden begrensd is door poreuze stenen **240**, die een
15 homogene verdeling van het insijpelende en uitsijpelende fluïdum over het dwarsoppervlak van het monster **120** verzekeren en grondtransport voorkomen.

Al naargelang van het type experiment, kan het hoger
20 genoemde fluïdum **215, 225** water zijn, alsook aardolie, aardgas of een andere vloeistof of gas met relevantie voor de bodemgesteldheid. De inrichting volgens de uitvinding is bijzonder geschikt voor gebruik met vloeistoffen als fluïdum **215, 225**; meer in het bijzonder voor gebruik met water,
25 waterige oplossingen, aardolie, en afgeleide olieproducten.

Het geheel van de door de sensoren **150, 160, 170, 181-183** verkregen meetwaarden wordt toegevoerd aan een verwerkingsmiddel **190**, enkel schematisch weergegeven op
30 Figuur 1, dat kan bestaan uit toegewijde hardwarecomponenten of uit een configureerbare component met aangepaste programmatuur. In een voorkeursuitvoeringsvorm van de onderhavige uitvinding is de verwerkingseenheid **190** een

geprogrammeerde microprocessor. De verwerkingseenheid **190** hoeft niet ingebouwd te zijn, maar kan bestaan uit een via een data-acquisitiekaart met de rest van de inrichting verbonden computer, bijvoorbeeld een laptop- of
 5 tabletcomputer.

De verwerkingseenheid **190** past een mathematisch model van de permeabiliteitsfunctie toe op de verkregen meetgegevens om een beste schatting van deze permeabiliteitsfunctie over een
 10 ruim gebied van verzadigingspunten te genereren.

Het grondmechanisch model beschrijft het transport van grondwater (en vloeistoffen in het algemeen) in verzadigde en onverzadigde gronden, alsook de samendrukking van de
 15 grond onder de centrifugaalkracht en de expansie van kleimineralen. Een wiskundig algoritme berekent op basis van de metingen de permeabiliteitsfunctie door middel van een invers algoritme. De simulaties van het vloeistoftransport in de centrifuge bij verschillende randvoorwaarden worden
 20 beschreven in geëigende wiskundige deelmodellen. Deze techniek wordt hieronder in meer detail beschreven.

Om het concept te verduidelijken, beschouwen we een 1-dimensionale vereenvoudiging van het monster, dat loopt
 25 (linker grens) van de afstand $r = r_0$ vanaf het middelpunt van de centrifuge tot de afstand $r = r_0 + L$. Een waterkamer wordt geplaatst in het punt $r \in (r_0 - \ell_0, r_0)$ van de centrifuge. Een tweede waterkamer wordt geplaatst aan de uitstroomzijde, in $r \in (r_0 + L, r_0 + L + T)$. We noteren de waterhoogte in de
 30 instroomkamer als $\ell(t)$, en de waterhoogte in de uitstroomkamer als $l(t)$. De rotationele snelheid van de centrifuge, gemeten in radialen per seconde, wordt genoteerd als $\omega(t)$.

Gemakshalve wordt hierna aangenomen dat het monster niet volledig droog is. Een doorsnede van het monster kan zich bijgevolg in de volgende toestanden bevinden: gedeeltelijk verzadigd, gekenmerkt door capillaire stroming; en volledig verzadigd, gekenmerkt door poriën die volledig gevuld zijn met water. De piëzometrische stijghoogte h wordt gedefinieerd in termen van de druk p door $\rho_w g h(r) = p(r)$, hierin is ρ_w de dichtheid van water, en g de gravitatieconstante. In een gravitatieveld komt de stijghoogte overeen met de waterhoogte in een kolom in punt r , leidend tot de gegeven druk. In een centrifuge is de situatie niet analoog, maar het is toch gebruikelijk om $h(r)$ te gebruiken. In een centrifuge zal een waterniveau van $\ell(t)$ in de instroomkamer aanleiding geven tot een druk aan de bovenkant van het monster gegeven door

$$p(r_0) = \int_{r_0 - \ell(t)}^{r_0} \rho_w \omega^2 r dr = \frac{\rho_w \omega^2}{2} \ell(t) (2r_0 - \ell(t)).$$

We beschouwen eerst het geval van volledig verzadigde stroming. Verzadigde stroming ($h > 0$) in een monster met vaste lengte L wordt bepaald door de wet van Darcy, wat leidt tot

$$K_s \partial_r \left[\partial_r h - \frac{\omega(t)^2}{g} r \right] = 0, \quad r_0 < r < r_0 + L, \quad (1)$$

waar K_s de verzadigde hydraulische geleidbaarheid is. Dit dient aangevuld met begincondities

$$h(r, 0) = 0, \quad \omega(0) = 0,$$

en met randcondities aan de linkerzijde,

$$h(r_0, t) = \frac{\omega^2}{2g} \ell(t) (2r_0 - \ell(t)),$$

terwijl voor de uitstroom een constante watertafelhoogte H_B aan de onderzijde kan beschouwd worden:

$$h(r_0 + L, t) = h_B = \frac{\omega^2}{2g} H_B (2(r_0 + L) - H_B),$$

Alternatief kan vrije uitstroming beschouwd worden, leidend tot

$$h(r_0 + L, t) = 0.$$

- 5 Dit is te wijten aan het feit dat overvloedig water aanwezig moet zijn aan de uitstroomgrens vooraleer er druppels kunnen gevormd worden aan de onderzijde en kunnen loskomen.

In theorie zou vrije uitstroom volstaan, maar soms zijn er
 10 in de experimenten moeilijkheden bij het gebruiken van vrije uitstroom. Dit komt doordat de gebruikte filter instroom van lucht toelaat en hierdoor luchtpenetratie aan de onderkant van het monster mogelijk is, waardoor de effectieve spanning sterk toeneemt aan de onderkant van het monster en er
 15 compressie ontstaat aan de basis en de stroming gereduceerd wordt. Anderzijds laat het gebruik van een opgelegde watertafel aan de onderzijde toe om op te leggen dat $h_B \approx 0$, en te verzekeren dat luchtpenetratie onmogelijk is vanaf de basis.

20

Wanneer een uitstroomconditie $h(r_0 + L, t) = h_B$ gebruikt wordt, kunnen twee uitstroomkamers gebruikt worden: een kleine met overvloeiing om de randconditie op te leggen, een grotere om het water op te vangen afkomstig van de overvloeiing. De
 25 vakman kan vergelijking (1) onder gegeven begin- en randcondities voor de onbekende flux en $\ell(t)$ oplossen met gekende technieken. Met een inverse methode laat dit toe om de metingen te optimaliseren van de wateruitstroom in termen van de verzadigingsconductiviteit K_s , die de enige
 30 grondparameter is in het huidige model.

Het resultaat kan vergeleken worden met de klassieke formule voor de hydraulische conductiviteit via 2

uitstromingsmetingen, zoals gekend uit J.S. Sharma and L. Samarasekera, "Effect of centrifuge radius on hydraulic conductivity measured in a falling-head test", in: *Can. Geotech. J.*, 44:96-102, 2007.

5

$$K_s = \frac{L}{(r_0 + L) \frac{\omega^2}{g} (t_2 - t_1)} \ln \frac{(H_1 + L)(2r_0 + L - H_2)}{(H_2 + L)(2r_0 + L - H_1)}. \quad (2)$$

In het geval van een watertafelhoogte H_B aan de basis, bekomen we daarentegen

10

$$K_s = \frac{L}{(r_0 + L - H_B) \frac{\omega^2}{g} (t_2 - t_1)} \ln \frac{(H_1 + L - H_B)(2r_0 + L - H_2 - H_B)}{(H_2 + L - H_B)(2r_0 + L - H_1 - H_B)}. \quad (3)$$

In elk geval is het duidelijk dat metingen van H gedurende centrifuge volstaan om K_s te bepalen. Om een meer accurate oplossing te bekomen, kan vergelijking (1) opgelost worden met behulp van een algoritme, gesteld dat K_s gekend is. De uitvoering van een experiment gedurende een centrifugebewerking verschaft data als:

15

tijd	Waterhoogte ℓ	Waterhoogte l	Monsterhoogte L
0 s	4 cm	0 cm	5 cm
10 s	3,5 cm	0,5 cm	5 cm
$\vdots$	$\vdots$		
200 s	0,4 cm	3,7 cm	4,9 cm

20

Deze data laten dan toe om K_s te bepalen op de volgende manier:

- Stel $K_s = K_{\text{start}}$, bepaal model l en ℓ op de meettijdstippen t_i , noteer de fout op de waarde van K_s als

25

$$E(K_s) = w_1 \sum_i (l(t_i) - l_m(t_i))^2 + w_2 \sum_i (\ell(t_i) - \ell_m(t_i))^2, \quad (4)$$

waar l_m en ℓ_m de meetwaarden voorstellen, en w_1, w_2 gewichten zijn gegeven aan de metingen.

- Gebruik niet-lineaire kleinste kwadraten-optimalisatie om de optimale K_s te bepalen die overeenkomt met de metingen. Deze methode minimaliseert de functie E . We noemen dit de inverse bepaling van de parameter.

Het vergelijken van ℓ en l over de tijd laat toe om K_s te bepalen in termen van de ledigheidsverhouding e , omdat een reductie van L die van e impliceert. In dit geval wordt enkel l gebruikt in de inverse bepaling. Dit laat toe om in formule (1), K_s als een functie van e te nemen, bijvoorbeeld als een stuksgewijze constante functie:

$$K_s = \begin{cases} K_{s,1} & e_1 < e < e_2 \\ \vdots & \\ K_{s,m} & e_m < e < e_{m+1} \end{cases}$$

In dit geval kunnen de optimale waarden $K_{s,i}, i = 1, \dots, m$ bepaald worden via een enkel centrifuge-experiment.

We beschouwen vervolgens het geval van verzadigde-onverzadigde stroming of puur onverzadigde stroming, waarvoor de uitvinding bijzonder interessant is. Voor onverzadigde stroming wordt Richards model geldig ondersteld:

$$\begin{cases} \partial_r q = 0, & q = -K_s \left[\partial_r h - \frac{\omega(t)^2}{g} r \right], & h \geq 0, \\ \partial_t \theta = -\partial_r q, & q = -K_s k(\theta) \left[\partial_r h - \frac{\omega(t)^2}{g} r \right], & h < 0, \end{cases} \quad (5)$$

Hierin is q de stroomflux, θ de verzadigingsgraad van het poreuze midden, $\omega(t)$ de hoeksnelheid van de rotatie (in

radialen per seconde), K_s de verzadigde hydraulische
 conductiviteit, g de aardversnelling, en functie $K_s k(\theta)$ de
 hydraulische conductiviteit in de onverzadigde zone. De
 beginconditie is de aanvankelijke verzadiging θ van het
 5 monster, waar dit onverzadigd is, en in het andere geval
 $h(r, 0) = 0$.

De randconditie bovenaan is zoals bij verzadigde stroming
 wanneer water aanwezig is in de instroomkamer en in het
 10 andere geval is het een "zero flux" conditie.

Aan de basis kunnen we een vrije-uitstroomrandconditie
 gebruiken, gegeven door een "zero flux" conditie wanneer
 $h(r_0 + L) < 0$, en anders $h(r_0 + L) = 0$, of opnieuw een gekend
 15 waterniveau aan de basis $h(r_0 + L) = h_B$, zoals in de situatie
 van verzadiging. Merk op dat voor het bevochtigen van een
 droog staal vanaf de basis, de centrifuge een beweegbare
 waterkamer onderaan moet hebben, die kan bewegen naar het
 staal, zodat h_B kan behouden worden. In het andere geval
 20 dient $h_B(t)$ beschouwd te worden en zijn er metingen van h_B
 vereist.

We noteren door $u = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$ de effectieve verzadigingsgraad,
 waar θ_s de volumetrische waterinhoud is bij verzadiging en θ_r
 25 de residuele volumetrische waterinhoud is. We hebben $u \in (0, 1)$
 , daar $\theta \in (\theta_r, \theta_s)$. Bijgevolg kan stroming in een onverzadigde
 zone geschreven worden in termen van de verzadiging als

$$(\theta_s - \theta_r)(\partial_h u) \partial_t h = \partial_r \left[K_s k(h) \left(\partial_r h - \frac{\omega^2}{g} r \right) \right] \quad (6)$$

30 waar $k(h)$ de relatieve hydraulische conductiviteit is, en
 bepaald moet worden.

In deze vergelijking dienen er twee functies bepaald te worden - geschreven in termen van de onbekende parameters $p = (p_1, \dots, p_n)$:

$$f_1(p, h) = u(h), \quad f_2(p, h) = k(h).$$

Veelal gebruikte hydraulische eigenschappen van de grond werden voorgesteld in M. Th. van Genuchten, A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Sci.Soc.Am. J.*, 44:892-898, 1980:

10

$$\begin{aligned} u(p, h) &= \frac{1}{(1+(\gamma h)^n)^m}, \quad h \in (-\infty, 0) \\ k(p, u(h)) &= u^{1/2} \left[1 - (1 - u^{1/m})^m \right]^2 \end{aligned} \quad (7)$$

waar $m = 1 - 1/n$, $n > 1$, en γ empirische grondparameters zijn.

De parameter γ kan hier worden geschreven als

$\gamma = -(2^{1/m} - 1)^{1-m}/h_b$, met h_b de 'bubbling' druk. We kunnen

15 echter andere functies f_1 en f_2 beschouwen, die afhangen van andere grondparameters, bv. f_2 als een bspline- functie met voorafgekozen splineknopen en met de controlepunten als parameters.

20 In het algemeen zijn de onbekende parameters de parameters voorkomend in f_1 en f_2 , vermeerderd met K_s , θ_s en θ_r . We noteren deze als φ . In het licht van de hysteresis tussen bevochtiging en drainage, zullen de parameters in f_1 and f_2 voor een drainagecurve verschillen van deze van de
25 bevochtigingscurve.

De vraag die moet beantwoord worden, is hoe de parameters φ dienen bepaald te worden via metingen. Traditionele technieken zijn gebaseerd op:

30 • Evenwichtsprofielen - Een voorbeeld is de UFA-techniek. Hierbij wordt de centrifuge uitgevoerd tot een evenwichtstoestand, wat toelaat de tijdsafgeleide in

vergelijking (5) te verdrijven. In dit geval zal de instroom/uitstroom toelaten om $k(\theta)$ te schatten, waarbij θ het gemiddelde is voor de evenwichtstoestand.

- Transiënte stroming met interne metingen – Hierbij wordt θ gemeten **in** het monster in discrete punten. Instroom/uitstroom worden gemeten en gerelateerd met deze interne metingen om de conductiviteit te bekomen in die punten via transiënte metingen door gebruik van een numeriek model om (5) op te lossen.

10

De eerste techniek is zeer traag, daar er vele equilibria moeten bekomen worden, welke elk één punt van de grondretentiecurve geven (en hieruit volgen de parameters uiteindelijk door interpolatie van de bekomen kromme). De tweede techniek is sneller, maar omslachtig in de uitvoering, omdat de voorbereiding van het monster omslachtig is. Bovendien is het modelleren van (5) complex, waardoor deze techniek enkel bruikbaar blijkt voor monsters zonder verzadigd deel.

20

Volgens uitvoeringsvormen van de uitvinding worden niet enkel de instroom/uitstroom gemeten, maar ook het zwaartepunt van het monster en/of het rotationeel moment. Dit betekent dat er geen intern meetpunt vereist is en dat het monster een verzadigd gedeelte mag bevatten. Op theoretische wijze werd aangetoond dat die werkwijze volstaat om de grondparameters te bepalen, gesteld dat de metingen een voldoende hoge nauwkeurigheid hebben en dat het gebruikte numerieke model voldoende accuraat is om een goede massabalans te verzekeren, alsook een correcte bepaling van de scheidingsgrens tussen verzadigd en onverzadigd gedeelte.

30

De vereiste nauwkeurige meetresultaten kunnen bekomen worden met de inrichting volgens de onderhavige uitvinding. Een numeriek model met accurate massabalans en interfaceprecisie kan bijvoorbeeld geconstrueerd worden door toepassing van de

5 'methode der lijnen' op vergelijking (6). Hierbij wordt een eindige volumediscretisatie, gebaseerd op de flux q , doorgevoerd in de ruimte op een discreet rooster over het domein $r \in (r_0, r_0 + L)$. Dit leidt tot een systeem van ODE's, dat wordt opgelost met een stijf BDF ODE-oplossingsalgoritme.

10 Het probleem is singulier ter hoogte van de overgang tussen het verzadigde en het onverzadigde deel (dus aan de scheidingsgrens). Om moeilijkheden te vermijden wordt de scheidingsgrens gemodelleerd, wat betekent dat het domein gesplitst wordt in twee delen die verbonden worden aan de

15 scheidingsgrens. Om een correcte massabalans te bekomen, wordt de scheidingsgrens niet gemodelleerd met het daar optredende systeem van ODE's (dat onstabiel is wegens de optredende niet-lineariteiten), maar integendeel met een algebraïsche vergelijking die massabehoud uitdrukt.

20 Op deze wijze bekomen we een methode met massabalans (wat vereist is daar het zwaartepunt of het rotationeel moment van de watermassa dienen gekend te zijn met hoge nauwkeurigheid), en met accuraatheid van de oplossing

25 (uitgerukt o.a. in de positie van de scheidingsgrens, wordt deze accuraatheid bepaald door het aantal van ruimtelijke roosterpunten in de methode der lijnen, en de relatieve en absolute toleranties opgelegd in het stijf BDF ODE-oplossingsalgoritme).

30 Hieruit volgt enerzijds dat het mogelijk is om accuraat het probleem (6) op te lossen, gesteld dat de parameters φ bekend zijn, én anderzijds dat, theoretisch, metingen van

instroom/uitstroom van water en zwaartepunt of rotationeel moment van de watermassa volstaan om deze parameters te bepalen.

- 5 De numerieke oplossingsmethode voor de onverzadigde stroming geeft de berekende waarde van de effectieve verzadiging in termen van de opgelegde parameters φ , i.e. $u(r, t, \varphi)$. Ook de instroomflux en de uitstroomflux worden verkregen, door de randcondities numeriek te integreren. Met behulp van de
- 10 berekende u , kan het zwaartepunt van het water bepaald worden, genoteerd $G_w(t, \varphi)$. Uit de randcondities kan de hoeveelheid instromend en uitstromend water worden berekend, welke respectievelijk gerelateerd zijn aan de waterhoogten $\ell(t, \varphi)$ en $l(t, \varphi)$. Al deze metingen zijn globaal, dus
- 15 onafhankelijk van de plaats r .

- De berekende waarden dienen zo dicht mogelijk de gemeten waarden te benaderen in de discrete tijdstippen $t_1, \dots, t_m$. We noteren de gemeten waarden met een horizontale streep, zoals
- 20 $\bar{G}_w(t_1)$. De kostfunctionaal die moet geminimaliseerd worden in termen van de parameters is dan

$$E(\varphi) = w_1 \sum_{i=1}^m (G_w(t_i, \varphi) - \bar{G}_w(t_i))^2 + w_2 \sum_{i=1}^m (\ell(t, \varphi) - \bar{\ell}(t_i))^2 + w_3 \sum_{i=1}^m (l(t, \varphi) - \bar{l}(t_i))^2, \quad (8)$$

- 25 waar w_1, w_2, w_3 de gewichten zijn gegeven aan de verschillende types van metingen. Dit leidt tot de analoge fout als deze gegeven door vergelijking (4). In geval het rotationeel moment gemeten wordt, wordt dit gebruikt in plaats van G_w . Voor de minimalisering van de kostfunctionaal gebruiken we
- 30 dan dezelfde techniek: niet-lineaire kleinste kwadratenmethode (bv. de Levenberg-Marquardt methode), wat een oplossing φ^* geeft. Indien de waarde van de

kostfunctionaal voor deze oplossing voldoende klein is, nemen we aan dat een globaal minimum gevonden is, dat als de juiste waarde kan worden beschouwd.

5 De inrichting **100** is bij voorkeur voorzien van een weergavemiddel **195** zoals een grafische display, teneinde de verkregen permeabiliteitsfunctie grafisch weer te geven aan de gebruiker. Voorts is de inrichting **100** bij voorkeur
10 voorzien van een gegevensinterface om de verkregen meetgegevens, en optioneel de gegenereerde modelgegevens, in digitale vorm door te sturen naar een externe computer. Voorts is het ook mogelijk de inrichting **100** uit te rusten met een afdrukeenheid die de permeabiliteitsfunctie bij voorkeur grafisch afdruckt op papier.

15

In een voorkeursuitvoeringsvorm van de inrichting **100** volgens de onderhavige uitvinding is het rotatiesnelheid van de centrifuge regelbaar tussen 0 en 2000 omwentelingen per minuut, met een regelnauwkeurigheid van ongeveer één
20 omwenteling per minuut.

Om de reproduceerbaarheid van de metingen te garanderen en de duur van een meetsessie te beperken is het aangewezen de inrichting **100** uit te rusten met een controle-eenheid (deze
25 kan samen geïmplementeerd worden met de verwerkingseenheid **190**), welke de aandrijving van de inrichting **100** stuurt. Tijdens de verschillende onderdelen van een dergelijke meetsessie worden de hoger beschreven sensoren **160** en **170** ingezet om de centrifugaalkracht en het draaimoment te
30 meten. Ondertussen worden de randvoorwaarden van de doorstroming aan de bovenzijde en de onderzijde van het monster **120** nauwkeurig gemonitord, door middel van de druksensoren (transducers) **181** en **182** boven het monster **120**

en een bijkomende druksensor (transducer **183**) onder het monster **120**.

5 Aldus kunnen, bij voorkeur onder sturing door de controle-eenheid, diverse standaardscenario's worden uitgevoerd, waarvan hieronder zonder beperking enkele voorbeelden worden genoemd. De genoemde voorbeelden kunnen betrekking hebben op water en/of andere vloeistoffen.

10 Voorbeeld A. Een initieel verzadigd grondmonster wordt door middel van centrifugering met vrije uitstroom volledig gedraineerd.

15 Voorbeeld B. Een verzadigd grondmonster wordt aangebracht met een bepaalde initiële vloeistofhoogte bovenaan, en wordt gecentrifugeerd tot op het ogenblik dat de vloeistof in het grondmonster is ingedrongen (imbibitie).

20 Voorbeeld C. Een grondmonster met een bepaalde verzadigingsgraad wordt gecentrifugeerd

- met vrije uitloop;
- met gecontroleerde vloeistofspanning in het uitloopreservoir **220** (via een dop **221** met drukklep

25 **222**); of

- met afgesloten uitloopreservoir **220**.

30 Voorbeeld D. Een in hoofdzaak droog grondmonster (i.e., met een zeer lage verzadigingsgraad) wordt aangebracht met een bepaalde initiële vloeistofhoogte bovenaan, en wordt gecentrifugeerd tot imbibitie van de vloeistofkolom.

Deze experimenten worden uitgevoerd met constante of variabele omwentelingssnelheid.

Sensor **150** meet ondertussen het niveau van het oppervlak van
5 het fluïdum **215** boven de poreuze steen **240** boven monster **120**.

Alle meetsignalen van het fluïdumniveau en de drukcellen worden bij voorkeur door middel van een sleepkoppeling
10 overgebracht naar het statische gedeelte van de centrifuge **100**, en zo naar de interne of externe verwerkingseenheid **190** en via een gegevensinterface naar een eventuele datalogger of computer.

15 De inrichting volgens de onderhavige uitvinding heeft bij voorkeur een totale diameter van maximaal ongeveer 80 cm, waarbij de behuizing **201** van het meetgedeelte bij voorkeur een hoogte heeft van ongeveer 10 cm. De inrichting heeft bij voorkeur een totaal gewicht van niet meer dan ongeveer 25
20 kg.

Het gebruik van de inrichting volgens de onderhavige uitvinding wordt ten slotte geïllustreerd aan de hand van een concreet experiment. Met de inrichting volgens de
25 onderhavige uitvinding werd een drainage-experiment uitgevoerd op een vooraf belaste mengeling (droog, 100 kPa) van 90% zand-10% kaolien. Hetzelfde staal werd onderworpen aan een verzadigde conductiviteitstest. Het monster heeft een ledigheidsratio $e = 0.538$, wat correspondeert met een
30 porositeit $\theta_s = 0.3498$. Typische gemeten waarden zijn gegeven in Tabel 1. Hier correspondeert elke lijn met een nieuw experiment, na de gespecificeerde tijd.

Tabel 1: Drainage-experiment op een mengeling van 90% zand-10% kaolien. Elke lijn geeft een nieuwe meting aan, na de aangeduide tijd in seconden.

Tijd centrifugering [s]	rpm	Grondhoogte bij het begin [cm]	Hoogte uitgedreven water [cm]	Cumulatieve hoogte Zwaartepunt [cm]
60	600	5.731	0.03896	0.03896
120	600	5.701	0.04174	0.08070
240	600	5.701	0.09461	0.17532
480	600	5.701	0.06679	0.24211
960	600	5.701	0.03896	0.28107
1920	600	5.701	0.03061	0.31168
3840	600	5.701	0.00278	0.31446
60	1200	5.701	0.07514	0.38960
120	1200	5.676	0.05566	0.44525
240	1200	5.676	0.05566	0.50091
480	1200	5.676	0.03896	0.53987
960	1200	5.676	0.05009	0.58996
1920	1200	5.676	0.01113	0.60109
60	2400	5.676	0.00557	0.60666
120	2400	5.456	0.01391	0.62057
240	2400	5.646	0.02505	0.64562
480	2400	5.646	0.02226	0.66788
960	2400	5.646	0.00835	0.67623
1920	2400	5.646	0	0.67623

De aldus verkregen gegevens werden gebruikt om het inverse vraagstuk om de verzadigde conductiviteit te bepalen, alsook de van Genuchten-parameters γ en n , zoals hoger beschreven. Hoewel de watertafel voor dit monster op ongeveer 2.19 cm

5 boven de basis werd gehouden, kan de berekening vereenvoudigd worden door de veronderstelling van een stijghoogte gelijk aan nul aan de basis; dit levert voor bepaalde toepassingen voldoende nauwkeurige resultaten op. We berekenden op die manier $K_S = 1.09 \cdot 10^{-7}$ m/s, $\gamma = -0.0095$ cm⁻¹

10 en $n = 1.498$. Het verschil tussen deze waarden en overeenkomstige waarden die gekend zijn uit de literatuur, kan worden toegeschreven aan de toegepaste vereenvoudigingen. Het resultaat toont echter aan dat de methodologie werkt, en dat de inrichting volgens de

15 uitvinding praktisch bruikbare resultaten oplevert.

Hoewel de uitvinding in het voorgaande werd beschreven aan de hand van specifieke uitvoeringsvormen en voorbeelden, gebeurde dit enkel ter illustratie, en niet ter beperking

20 van de omvang van de uitvinding.

Conclusies

1. Inrichting (100) voor het analyseren van bodemonsters, omvattende:

- 5 - een houder (110) voor het opnemen van een monster (120);
- een aandrijfmechanisme (130), ingericht om de houder (110) om een as (140) te laten roteren aan een door de inrichting (100) bepaalde omwentelingssnelheid;
- 10 - meetmiddelen (150, 160, 170, 181-183); en
- met de meetmiddelen (150, 160, 170, 181-183) verbonden verwerkingsmiddelen (190);
- waarbij de meetmiddelen (150) zijn ingericht om een hoeveelheid door het monster (120) opgenomen en/of afgegeven
- 15 fluïdum (215, 225) te meten;
- waarbij de meetmiddelen (160, 170) verder zijn ingericht om ten minste één van een door het aandrijfmechanisme (130) uitgeoefend draaimoment en een centrifugale kracht te bepalen;
- 20 en waarbij de verwerkingsmiddelen (190) zijn ingericht om een permeabiliteit van het monster (120) te bepalen aan de hand van één of meer van de omwentelingssnelheid, de hoeveelheid van het door het monster (120) opgenomen en/of afgegeven fluïdum (215, 225), en het ten minste ene van het
- 25 door het aandrijfmechanisme (130) uitgeoefend draaimoment en de centrifugale kracht.

2. Inrichting (100) volgens conclusie 1, waarbij de verwerkingsmiddelen ingericht zijn om verscheidene punten
- 30 van een permeabiliteitscurve te bepalen aan de hand van een enkel centrifuge-experiment.

3. Inrichting (100) volgens conclusie 1 of 2, waarbij de verwerkingsmiddelen (190) zijn ingericht om de permeabiliteit van het monster (120) te bepalen aan de hand van de omwentelingssnelheid, de hoeveelheid van het door het monster opgenomen en of afgegeven fluïdum, en het ten minste ene van het door het aandrijfmechanisme (130) uitgeoefend draaimoment en de centrifugale kracht.
4. Inrichting (100) volgens één der voorgaande conclusies, waarbij bij het bepalen van de permeabiliteit van het monster gebruik wordt gemaakt van een kleinste-kwadratenmethode.
5. Inrichting (100) volgens één der voorgaande conclusies, waarbij de meetmiddelen (181-183) verder zijn ingericht om een druk te meten ter hoogte van een dichtst bij de as (140) gelegen zone van het monster (120) en/of ter hoogte van een verst van de as (140) gelegen zone van het monster (120).
6. Inrichting (100) volgens één van de voorgaande conclusies, ter hoogte van een dichtst bij de as (140) gelegen zone van het monster (120) voorzien van een eerste reservoir (210) voor het op te nemen fluïdum (215).
7. Inrichting (100) volgens één van de voorgaande conclusies, ter hoogte van een verst van de as (140) gelegen zone van het monster (120) voorzien van een tweede reservoir (220) voor het afgegeven fluïdum (225).
8. Inrichting (100) volgens conclusie 7, waarbij het tweede reservoir (220) is voorzien van een uitloopopening welke afsluitbaar is met behulp van een verwijderbare dop (221).

9. Inrichting (100) volgens één van de voorgaande conclusies, waarbij de meetmiddelen (150) zijn voorzien van een zender voor het uitzenden van elektromagnetische golven
5 en een ontvanger voor het opvangen van elektromagnetische golven, en waarbij de meetmiddelen (150) zijn ingericht om de hoeveelheid door het monster (120) opgenomen fluïdum te bepalen door detectie van door nog niet opgenomen fluïdum (215) gereflecteerde elektromagnetische golven.
- 10
10. Inrichting (100) volgens conclusie 9, waarbij de elektromagnetische golven lichtgolven of infraroodgolven zijn.
- 15
11. Inrichting (100) volgens conclusie 9, waarbij de elektromagnetische golven microgolven zijn.
12. Inrichting (100) volgens conclusie 9, waarbij de elektromagnetische golven radargolven zijn.
- 20
13. Inrichting (100) volgens één van de voorgaande conclusies, waarbij de verwerkingsmiddelen zijn ingericht om permeabiliteitswaarden van het monster te bepalen voor meerdere verzadigingsgraden.
- 25
14. Inrichting (100) volgens conclusie 13, verder voorzien van een weergavemiddel (195) voor het grafisch weergeven van de permeabiliteitswaarden van het monster (120) te bepalen voor de meerdere verzadigingsgraden.
- 30
15. Inrichting (100) volgens conclusie 14, waarbij het weergavemiddel (195) een scherm omvat.

16. Inrichting (100) volgens conclusie 14 of 15, waarbij het weergavemiddel (195) een afdrukeenheid omvat.

17. Inrichting (100) volgens één van de voorgaande
5 conclusies, waarbij de verwerkingsmiddelen (190) verder een gegevensinterface omvatten voor het uitlezen van één of meer van de permeabiliteit, de omwentelingssnelheid, de hoeveelheid van het door het monster (120) opgenomen en/of afgegeven fluïdum (215, 225), en het ten minste ene van het
10 door het aandrijfmechanisme (130) uitgeoefend draaimoment en de centrifugale kracht.

18. Meetinrichting voor gebruik in de inrichting van een van de voorgaande conclusies, de meetinrichting omvattende:

15 - een houder (110) voor het opnemen van een monster (120);

- een aandrijfmechanisme (130), ingericht om de houder (110) om een as (140) te laten roteren aan een door de inrichting (100) bepaalde omwentelingssnelheid; en

20 - meetmiddelen (150, 160, 170, 181-183);

waarbij de meetmiddelen (150) zijn ingericht om een hoeveelheid door het monster (120) opgenomen en/of afgegeven fluïdum (215, 225) te meten;

25 waarbij de meetmiddelen (160, 170) verder zijn ingericht om ten minste één van een door het aandrijfmechanisme (130) uitgeoefend draaimoment en een centrifugale kracht te bepalen;

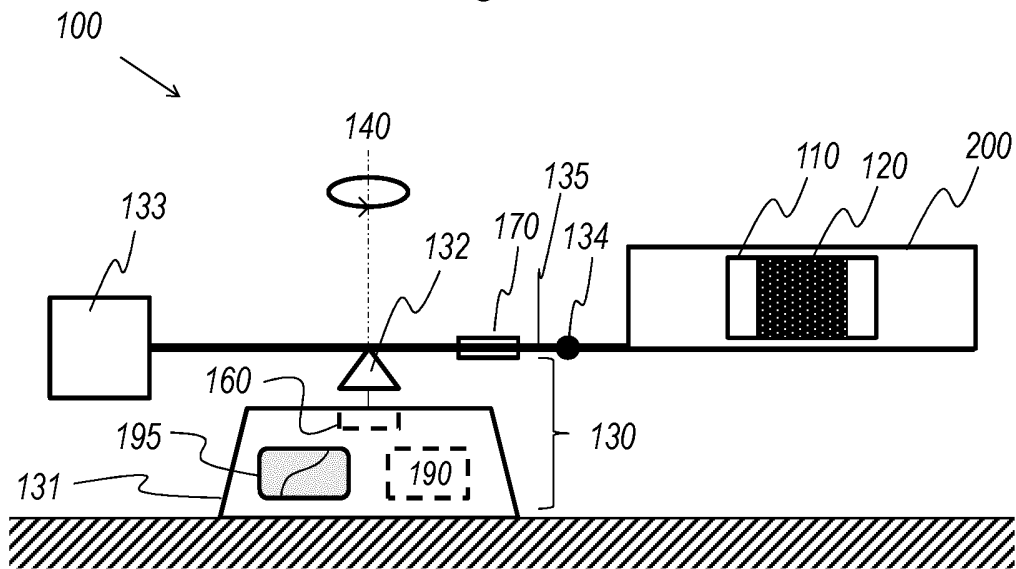
en waarbij de meetinrichting verder is ingericht om gekoppeld te worden met verwerkingsmiddelen (190).

30

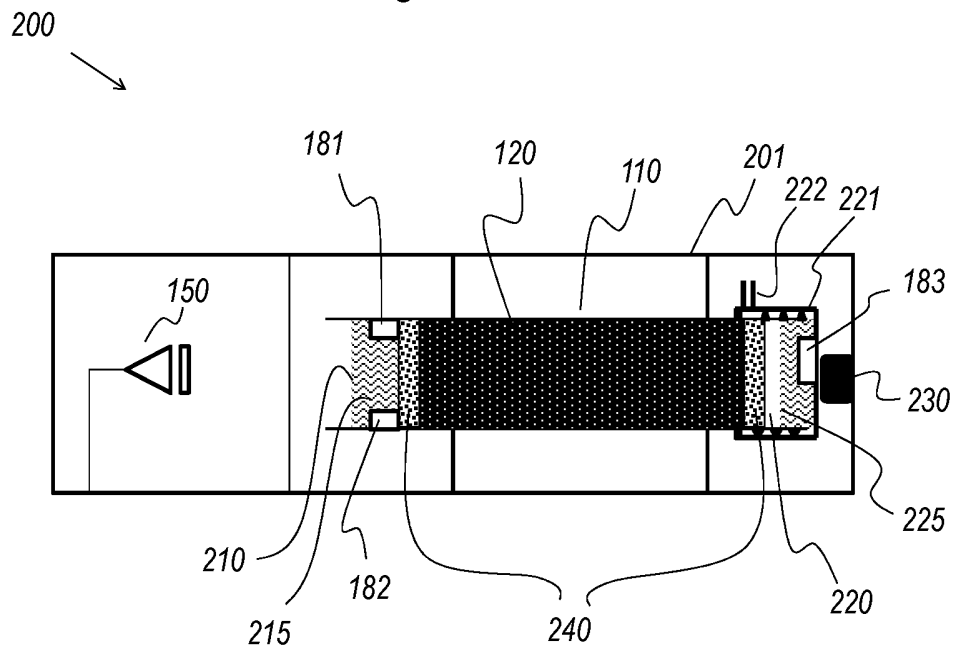
19. Computerprogramma, ingericht om bij uitvoering door verwerkingsmiddelen van een inrichting volgens één van de voorgaande conclusies, een permeabiliteit van het monster

(120) te bepalen aan de hand van één of meer van de
omwentelingssnelheid, de hoeveelheid van het door het
monster (120) opgenomen en/of afgegeven fluïdum (215, 225),
en het ten minste ene van het door het aandrijfmechanisme
5 (130) uitgeoefend draaimoment en de centrifugale kracht.

Figuur 1



Figuur 2





Agentschap NL
*Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie*

Octrooiaanvraag 2011643

RAPPORT BETREFFENDE HET ONDERZOEK NAAR DE STAND VAN DE TECHNIEK

Voor octrooiaanvraag 2011643 is geen onderzoek naar de stand van de techniek uitgevoerd. Het resultaat van het eerdere onderzoek naar de stand van de techniek dat door het Europees Octrooibureau is uitgevoerd voor de Belgische octrooiaanvraag 2012/0709 is namelijk mede van toepassing verklaard op octrooiaanvraag 2011643. Het eerdere onderzoeksresultaat is in zijn oorspronkelijke vorm bijgevoegd.

SAMENWERKINGSVERDRAG INZAKE OCTROOIEN

VERSLAG BETREFFENDE HET ONDERZOEK VAN HET INTERNATIONALE TYPE OPGESTELD KRACHTENS ARTIKEL 21 § 9 VAN DE BELGISCHE WET OP DE UITVINDINGSOCTROOIEN VAN 28 MAART 1984

IDENTIFICATIE VAN DE NATIONALE AANVRAGE	KENMERK VAN DE AANVRAGER OF GEMACHTIGDE 3X/2MT27/KM/2
Belgische nationale aanvraag nr. 2012/0709	Datum van indiening 19-10-2012
	Ingeroepen voorrangsdatum
Aanvrager (Naam) Peiffer, Herman Hugo Jan	
Datum van het verzoek voor een onderzoek van internationaal type 12-12-2012	Door de Instantie voor Internationaal Onderzoek aan het verzoek voor een onderzoek van internationaal type toegekend nr. SN 59258
I. CLASSIFICATIE VAN HET ONDERWERP (bij toepassing van verschillende classificaties, alle classificatiesymbolen opgeven)	
Volgens de internationale octrooi classificatie (CIB), of tezelfdertijd volgens de nationale classificatie en de CIB G01N15/08 G01N33/24	
II. ONDERZOCHE GEBIEDEN VAN DE TECHNIEK	
Onderzochte minimum documentatie	
Classificatiesysteem	Classificatiesymbolen
IPC	G01N E02D
Onderzochte andere documentatie dan de minimum documentatie, voor zover dergelijke documenten in de onderzochte gebieden zijn opgenomen	
III. ☐ MEN IS VAN OORDEEL DAT BEPAALDE CONCLUSIES NIET HET ONDERWERP KONDEN UITMAKEN VAN EEN ONDERZOEK (opmerkingen op aanvullingsblad)	
IV. ☐ GEBREK AAN EENHEID VAN UITVINDING EN/OF VASTSTELLING BETREFFENDE DE OMVANG VAN HET ONDERZOEK (opmerkingen op aanvullingsblad)	

**ONDERZOEKSRAPPORT BETREFFENDE HET
RESULTAAT VAN HET ONDERZOEK NAAR DE STAND
VAN DE TECHNIEK VAN HET INTERNATIONALE TYPE**

Nummer van het verzoek om een onderzoek naar
de stand van de techniek
BE 201200709

A. CLASSIFICATIE VAN HET ONDERWERP
INV. G01N15/08 G01N33/24
ADD.

Volgens de Internationale Classificatie van octrooien (IPC) of zowel volgens de nationale classificatie als volgens de IPC.

B. ONDERZOCHE GEBIEDEN VAN DE TECHNIEK

Onderzochte minimum documentatie (classificatie gevolgd door classificatiesymbolen)
G01N E02D

Onderzochte andere documentatie dan de minimum documentatie, voor dergelijke documenten, voor zover dergelijke documenten in de onderzochte gebieden zijn opgenomen

Tijdens het onderzoek geraadpleegde elektronische gegevensbestanden (naam van de gegevensbestanden en, waar uitvoerbaar, gebruikte trefwoorden)

EPO-Internal, WPI Data

C. VAN BELANG GEACHTE DOCUMENTEN

Categorie °	Geciteerde documenten, eventueel met aanduiding van speciaal van belang zijnde passages	Van belang voor conclusie nr.
D1 X	US 4 679 422 A (RUBIN JACOB [US] ET AL) 14 juli 1987 (1987-07-14) * samenvatting * * figuren 1-4,6 * * kolom 3, regels 40-53 * * kolom 4, regels 13-27 * * kolom 5, regels 16-22 * * kolom 6, regels 43-46 * * kolom 7, regels 54-65 * -----	1-17 <i>A doc in vorig N.R. (D7)</i>
D2 X	US 6 490 531 B1 (GOGLIN ELODIE [FR] ET AL) 3 december 2002 (2002-12-03) * samenvatting * * figuur 1 * * kolommen 1-6 * ----- -/-	1,16,17 <i>D2 in vorig N.R.</i>

☒ Verdere documenten worden vermeld in het vervolg van vak C.

☒ Leden van dezelfde octrooifamilie zijn vermeld in een bijlage

° Speciale categorieën van aangehaalde documenten

"A" niet tot de categorie X of Y behorende literatuur die de stand van de techniek beschrijft

"D" in de octrooiaanvraag vermeld

"E" eerdere octrooi(aanvraag), gepubliceerd op of na de indieningsdatum, waarin dezelfde uitvinding wordt beschreven

"L" om andere redenen vermelde literatuur

"O" niet-schriftelijke stand van de techniek

"P" tussen de voorrangsdatum en de indieningsdatum gepubliceerde literatuur

"T" na de indieningsdatum of de voorrangsdatum gepubliceerde literatuur die niet bezwarend is voor de octrooiaanvraag, maar wordt vermeld ter verheldering van de theorie of het principe dat ten grondslag ligt aan de uitvinding

"X" de conclusie wordt als niet nieuw of niet inventief beschouwd ten opzichte van deze literatuur

"Y" de conclusie wordt als niet inventief beschouwd ten opzichte van de combinatie van deze literatuur met andere geciteerde literatuur van dezelfde categorie, waarbij de combinatie voor de vakman voor de hand liggend wordt geacht

"&" lid van dezelfde octrooifamilie of overeenkomstige octrooipublicatie

Datum waarop het onderzoek naar de stand van de techniek van internationaal type werd voltooid

29 juli 2013

Verzenddatum van het rapport van het onderzoek naar de stand van de techniek van internationaal type

Naam en adres van de instantie

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

De bevoegde ambtenaar

Seifter, Achim

**ONDERZOEKSRAPPORT BETREFFENDE HET
RESULTAAT VAN HET ONDERZOEK NAAR DE STAND
VAN DE TECHNIEK VAN HET INTERNATIONALE TYPE**

Nummer van het verzoek om een onderzoek naar
de stand van de techniek

BE 201200709

C.(Vervolg). VAN BELANG GEACHTE DOCUMENTEN

Categorie °	Geoteerde documenten, eventueel met aanduiding van speciaal van belang zijnde passages	Van belang voor conclusie nr.
D3 X	GB 2 325 526 A (INST FRANCAIS DU PETROLE [FR]) 25 november 1998 (1998-11-25) * samenvatting * * figuren 2,4 * * bladzijden 1-6 * <i>D1 in orig NR</i>	1,16,17
D4 A	JITENDRA S SHARMA ET AL: "Effect of centrifuge radius on hydraulic conductivity measured in a falling-head test", CANADIAN GEOTECHNICAL JOURNAL -REVUE CANADIENNE DE GEOTECHNIQUE, NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA, OTTAWA, CA, deel 44, nr. 1, 1 januari 2007 (2007-01-01), bladzijden 96-102, XP008163791, <i>new.</i> ISSN: 0008-3674, DOI: 10.1139/T06-092#.UE-HUAW4KDA * het gehele document *	1-17

**ONDERZOEKSRAPPORT BETREFFENDE HET
RESULTAAT VAN HET ONDERZOEK NAAR DE STAND
VAN DE TECHNIEK VAN HET INTERNATIONALE TYPE**

Informatie over leden van dezelfde octrooifamilie

Nummer van het verzoek om een onderzoek naar
de stand van de techniek

BE 201200709

In het rapport genoemd octrooigeschrift	Datum van publicatie	Overeenkomend(e) geschrift(en)	Datum van publicatie
US 4679422	A	14-07-1987	GEEN
US 6490531	B1	03-12-2002	BR 0004842 A 12-06-2001 CA 2319962 A1 21-03-2001 FR 2798734 A1 23-03-2001 GB 2354590 A 28-03-2001 NL 1016223 C2 23-03-2001 NO 20004699 A 22-03-2001 US 6490531 B1 03-12-2002
GB 2325526	A	25-11-1998	FR 2763690 A1 27-11-1998 GB 2325526 A 25-11-1998 NO 982334 A 24-11-1998 US 8042382 B1 25-10-2011



SCHRIFTELIJKE OPINIE

Dossier Nummer SN59258	Indieningsdatum (dag/maand/jaar) 19.10.2012	Vorrangsdatum (dag/maand/jaar)	Aanvraagnummer BE201200709
Classificatie (IPC) INV. G01N15/08 G01N33/24			
Aanvrager Peiffer Herman Hugo Jan			

Deze schriftelijke opinie bevat een toelichting en de corresponderende pagina's met betrekking tot de volgende onderdelen:

- ☒ Onderdeel I Basis van schriftelijke opinie
- ☐ Onderdeel II Voorrang
- ☐ Onderdeel III Formulering van een opinie inzake nieuwheid, inventiviteit en industriële toepasbaarheid niet mogelijk
- ☐ Onderdeel IV De aanvraag heeft betrekking op meer dan één uitvinding
- ☒ Onderdeel V Gemotiveerde verklaring ten aanzien van nieuwheid, inventiviteit en industriële toepasbaarheid; citaten en explicaties ter ondersteuning van deze verklaring
- ☐ Onderdeel VI Bepaalde geciteerde documenten
- ☐ Onderdeel VII Gebreken in de aanvraag
- ☐ Onderdeel VIII Opmerkingen betreffende de aanvraag

Form BE237A (Dekblad) (Januari 2007)	De Examiner Seifter, Achim
--------------------------------------	-------------------------------

SCHRIFTELIJKE OPINIE

Aanvraagnummer
BE201200709

Onderdeel I Basis van de opinie

1. Deze opinie is opgesteld op basis van de conclusies ingediend voor aanvang van het onderzoek.
2. Met betrekking tot **nucleotide en/of aminozuur sequenties** die, in voorkomend geval, genoemd worden in de aanvraag, is deze opinie opgesteld op basis van de volgende elementen:
 - a. Aard van het element:
 - ☐ een lijst van de sequentie(s)
 - ☐ tabel(len) met betrekking tot de lijst van de sequentie(s)
 - b. Type drager:
 - ☐ op papier
 - ☐ in elektronische vorm
 - c. Moment van indiening of levering:
 - ☐ opgenomen in de aanvraag zoals ingediend
 - ☐ samen met de aanvraag elektronisch ingediend
 - ☐ later geleverd
3. ☐ Bovendien, wanneer er mer dan één versie of kopie van een sequentielijst of van één of meerdere tabellen die er betrekking op hebben, werd ingediend, zijn de benodigde verklaringen ingediend, dat de informatie, die later of bij wijze van aanvullende kopieën werd geleverd naar gelang het geval, identiek is aan diegene die oorspronkelijk werd geleverd en niet verder gaat dan de openbaarmaking in de internationale aanvraag zoals oorspronkelijk ingediend.
4. Aanvullende opmerkingen:

SCHRIFTELIJKE OPINIE

Aanvraagnummer
BE201200709

Onderdeel V Gemotiveerde verklaring ten aanzien van nieuwheid, inventiviteit en industriële toepasbaarheid; citaten en explicaties ter ondersteuning van deze verklaring

1. Verklaring

Nieuwheid	Ja: Conclusies 2, 7-10, 12-15, 17 Nee: Conclusies 1, 3-6, 11, 16
Inventiviteit	Ja: Conclusies Nee: Conclusies 1-17
Industriële toepasbaarheid	Ja: Conclusies 1-17 Nee: Conclusies

2. Citaten en explicaties:

Zie apart blad

- 2.1 The same arguments against the novelty of independent claim 1 are brought forward by the content of D2 (abstract; figure 1; columns 1-6) and D3 (abstract; figure 2, 4; page 1-6).
- 2.2 The same reasoning applies, mutatis mutandis, to the subject-matter of the corresponding independent claim 16, which therefore is also considered not new.
- 3 The present application does not meet the criteria of patentability, because the subject-matter of claim 17 does not involve an inventive step.
- 3.1 D1 is regarded as being the prior art closest to the subject-matter of claim 17, and discloses (the references in parentheses are referring to this document):
A device according to claims 1 and 16 (see paragraph 2 above).
- 3.2 The subject-matter of claim 17 therefore differs from the device known from D1 in that a computer program is used to perform the necessary calculations to obtain the permeability from the determined values and is therefore new.
- 3.3 The problem to be solved by the present invention may therefore be regarded as how to modify the device known from D1 in order to computerize the calculation of the permeability.
- 3.4 The solution proposed in claim 17 of the present application cannot be considered as involving an inventive step for the following reasons:

It is state of the art to use computer programs to calculate the desired values from measured data. Therefore the person skilled in the art would solve the above stated problem without practising inventive skills.
- 4 Dependent claims 2-15 do not contain any features which, in combination with the features of any claim to which they refer, meet the requirements of novelty and/or inventive step, see documents cited below and in the search report.

Claims 2, 7-10, 12-15: obvious, non-inventive, design option

Claims 3, 4: D1 (column 4)

Claim 5: D1 (columns 4-7)

Claim 6: D1 (column 7, lines 19-24)

Claim 11: D1 (column 2, lines 24-31)

Re Item V

Reasoned statement with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

1 Reference is made to the following documents:

- D1 US 4 679 422 A (RUBIN JACOB [US] ET AL) 14 juli 1987 (1987-07-14)
- D2 US 6 490 531 B1 (GOGLIN ELODIE [FR] ET AL) 3 december 2002 (2002-12-03)
- D3 GB 2 325 526 A (INST FRANCAIS DU PETROLE [FR]) 25 november 1998 (1998-11-25)

2 The present application does not meet the criteria of patentability, because the subject-matter of claims 1 and 16 is not new.

D1 discloses (the references in parentheses are referring to this document):

Inrichting voor het analyseren van bodemonsters (abstract), omvattende:

- een houder voor het opnemen van een monster (figures 1-4; column 5, lines 16-22);
- een aandrijfmechanisme, ingericht om de houder om een as te laten roteren aan een door de inrichting bepaalde omwentelingssnelheid (figure 1; column 4, lines 13-27);
- meetmiddelen (column 6, lines 43-46); en
- met de meetmiddelen verbonden verwerkingsmiddelen (figure 6; column 6, lines 43-65);

waarbij de meetmiddelen zijn ingericht om een hoeveelheid door het monster opgenomen en/of afgegeven fluïdum te meten (column 7, lines 54-65); waarbij de meetmiddelen verder zijn ingericht om ten minste één van een door het aandrijfmechanisme uitgeoefend draaimoment en een centrifugale kracht te bepalen (directly and unambiguously derivable from column 2, lines 4-7); en waarbij de verwerkingsmiddelen zijn ingericht om een permeabiliteit van het monster te bepalen aan de hand van één of meer van de omwentelingssnelheid, de hoeveelheid van het door het monster opgenomen en/of afgegeven fluïdum, en het ten minste ene van het door het aandrijfmechanisme uitgeoefend draaimoment en de centrifugale kracht (column 3, lines 40-53).