



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 047 659 B4** 2007.09.20

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 047 659.7**  
 (22) Anmeldetag: **05.10.2005**  
 (43) Offenlegungstag: **12.04.2007**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **20.09.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01V 1/40** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

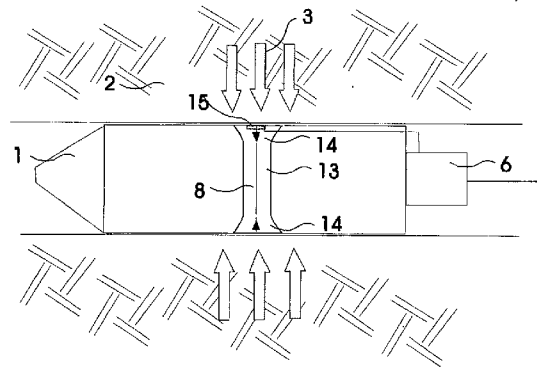
(73) Patentinhaber:  
**Jäger, Frank-Michael, 04416 Markkleeberg, DE**

(72) Erfinder:  
**gleich Patentinhaber**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:  
**DE 198 30 196 A1**  
**DE 34 03 521 A1**  
**DD 2 99 677 A**  
**US2006/00 05 965 A1**  
**HOLT, R.M., NES. O.M., FJAER, E. In-situ stress**  
**dependance of wave velocities in reservoir and**  
**overburden rocks. In: The leading edge, 2005,**  
**S. 1268-1274;**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Ermittlung der Gebirgsspannung in einem Bohrloch**

(57) Hauptanspruch: Bohrlochmesseinrichtung zur Ermittlung der Gebirgsspannung mit mindestens einer Bohrlochsonde in einem Bohrloch:  
 wobei die Bohrlochsonde  
 – einen Sondenkörper mit einem oder mehreren Ultraschallsensoren mit mindestens einem Ultraschallsender und mindestens einem Ultraschallempfänger innerhalb des Sondenkörpers  
 – und eine Elektroneinheit (6) aufweist, die über ein Kabel (7) mit einer Auswerteeinheit der Bohrlochmesseinrichtung verbunden ist,  
 – wobei Ultraschallsender und Ultraschallempfänger in ein elastisches, nicht komprimierbares, isotropes Messmedium innerhalb des die Gebirgsspannung aufnehmenden Sondenkörpers eingebettet sind, um die Ausbreitung von Ultraschall nicht direkt im Gebirge, sondern über Laufzeitmessungen im Messmedium innerhalb des Sondenkörpers zu messen.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Ermittlung der Gebirgsspannung im Gebirge, vorzugsweise in untertägigen Grubenbauen im elasto-plastischen Gebirge, zum Beispiel im Salinargestein.

**[0002]** Bekannte mechanische Verfahren werten Längenänderungen von Schwingseiten aus oder messen hydraulische Drücke von Kissen oder Kolbensystemen. Auch die bei den Überbohrverfahren eingesetzten Dehnmessstreifen messen nur Verformungen beziehungsweise Längenänderungen. Das Überbohrverfahren ist zur permanenten in-situ-Messung nicht geeignet.

**[0003]** Andere Verfahren zur Gebirgsspannungsmessung erfassen die Durchmesseränderung von Bohrlöchern beim Überbohren. Für die Gebirgsspannungsmessung im elasto-plastischen Gebirge ist diese Methode weniger gut geeignet, da diese Methode nur über Modellrechnungen aus der Konvergenz der Bohrlöcher auf die zur Zeit der Überbohrung herrschende Gebirgsspannung schließt. Eine Langzeitmessung zur Erfassung von Spannungsumlagerungen, wie sie beim fortschreitenden Abbau oder Versatz der Grubenbaue auftreten, ist damit nicht möglich.

**[0004]** Es gibt Messverfahren, die zur Spannungsbestimmung mit hydraulischen Druckaufnehmern arbeiten. Stellvertretend seien hier die aus der DE 34 03 521 genannten Druckkissen oder die in der DD 299 677 aufgeführten Hydraulikkolben genannt.

**[0005]** Diese Methoden besitzen mehrere wesentliche Nachteile. So muss die absolute Dichtheit zur Aufrechterhaltung des Druckes in dem System gewährleistet sein. Zur Druckbeaufschlagung mit Hydrauliköl sind aber Absperreinrichtungen notwendig, die potentielle Stellen für Undichtheiten sind.

**[0006]** Werden die druckführenden Hydraulikleitungen zu Druckmessenrichtungen oder zu Ventilen außerhalb des Bohrloches zur Pfeilerwand geführt, besteht die Gefahr der Beschädigung der Messeinrichtung bei Verformungen und Abschalungen an den Pfeilerwänden oder Firsten.

**[0007]** In der Patentschrift US 20060005965 A1 wird eine Sonde mit einem Drucksensor beschrieben. Dieser dient zur Messung des Drucks in einem Fluid. Da sich der Druck in einer Flüssigkeit gleichmäßig ausbreitet, ist damit keine Richtungsabhängigkeit der Gebirgsspannung messbar. Diese Vorrichtung gestattet weder die Ermittlung der Hauptspannung noch die getrennte Ermittlung der vertikalen und horizontalen Gebirgsspannung.

**[0008]** Modernere elektronische Verfahren messen

zum Beispiel mit Ultraschall.

**[0009]** Jedes Gestein hat eine spezifische Schallgeschwindigkeit, die abhängig ist von der Dichte und Elastizität des Gesteins ist. Mit dem bekannten Sonic-Log wird die Laufzeit des von einem Sender am unteren Ende einer Sonde erzeugten Schallimpulses durch das das senkrechte Bohrloch umgebende Gestein zu einem oder mehreren Empfängern am oberen Ende der Sonde gemessen.

**[0010]** Zur Ankopplung der Ultraschallsender und Ultraschallempfänger wird dabei ein Koppelmedium verwendet.

**[0011]** Diese Methode benötigt ein Koppelmedium, welches das umgebende Gestein nicht auflöst. Wasserhaltige Medien sind im Salinargestein ungeeignet. Die mögliche Klüftigkeit der Gesteine ist ein weiterer Grund für die nicht praktikable Anwendbarkeit dieser Methode.

**[0012]** Andere Verfahren zur Messung der Schallgeschwindigkeit mittels Durchschallung des Gebirges benötigen zwei Bohrlöcher zur Durchführung des Verfahrens.

**[0013]** Auch hier bestehen die oben genannten Nachteile der direkten Messung im Gebirge.

**[0014]** In der Patentschrift DE 198 30 196 wird ein Verfahren zur Bestimmung der räumlichen Gesteins- und Gebirgsanisotropie sowie des Gebirgsspannungszustandes an Probenkörpern beschrieben. Die darin beschriebene Methode zur Ermittlung des Gebirgsspannungszustandes erfordert Probenkörper der Gesteine mit gegenüberliegenden Endflächen zur Anbringung der Ultraschallwandler.

**[0015]** Die vorgenannte Methode ist nicht zur in-situ Messung von Spannungszuständen und Spannungsumlagerungen im Gebirge geeignet.

**[0016]** Weiterhin ist im Stand der Technik die Druckabhängigkeit der Eigenschaften der Wellenausbreitung bekannt. Mit der Messung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Kompressions- und/oder Scherwellen können richtungsabhängige Drücke und Spannungen gemessen werden. Gesteinsanisotropien, Risse etc. beeinflussen markant diese Messungen.

**[0017]** In der Druckschrift „In-situ stress dependence of wave velocities in servoir and overburden rocks“ (The Leading Edge, December 2005, S.1268-1274) beschreiben R.M. Holt u. a. die Abhängigkeit der Wellengeschwindigkeit von Ultraschall vom axialen Stress.

**[0018]** Durch unterschiedliche Porositäten und Klüf-

te sowie durch die Druckabhängigkeit der Ultraschallgeschwindigkeit im Porenwasser selbst ist eine aussagefähige und vergleichbare in-situ Messung der Gebirgsspannung im umgebenden Gebirge nicht möglich.

**[0019]** Der messtechnische Einfluss von wechselnden Porositäten oder Feuchtegehalten kann weit über dem spannungsabhängigen Anteil des Messwertes liegen.

**[0020]** Für die breite Anwendung der Messung von Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Ultraschallwellen muss daher der Einfluss wechselnder Gesteinsparameter möglichst ausgeschlossen werden.

**[0021]** Aufgabe der Erfindung ist es eine geeignete Bohrlochmesseinrichtung zu schaffen, die unabhängig von den Gesteinsanisotropien, über einen langen Zeitraum die Messung der Gebirgsspannung ermöglicht.

**[0022]** Die Lösung der gestellten Aufgabe ist in den gekennzeichneten Merkmalen des Anspruchs 1 beschrieben.

**[0023]** Die weiteren Ansprüche geben vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung wider.

**[0024]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Spannungsmessung mittels Ultraschall beruht auf dem akusto-elastischen Effekt. Die Laufzeit eines Ultraschallimpulses innerhalb des Messmediums wird gemessen. Die Schallgeschwindigkeit der Ultraschallwellen ist abhängig von den elastischen Spannungen innerhalb des Messmediums.

**[0025]** Verwendet man als Messmedium ein elastisches nicht komprimierbares Medium, zum Beispiel einen Festkörper bekannter Zusammensetzung und ohne Anisotropien im Schallweg, kann man durch die Ermittlung der Schallgeschwindigkeitsänderung, die Spannungen im umgebenden Gebirge ermitteln. Voraussetzung für diese Messung ist der form- und kraftschlüssige Schluss der Sonde mit dem Gebirge.

**[0026]** Die Verbindung der Bohrlochsonde kann durch einen speziellen Bohrlochzement, zum Beispiel Salzbeton, durch natürliche Konvergenz des Bohrloches oder durch Beides erfolgen.

**[0027]** Erfolgt die Krafteinleitung entsprechend den Spannungsrichtungen des Gebirges in die Bohrlochsonde, können bei entsprechender Anordnung der Ultraschallsensoren innerhalb der Bohrlochsonden auch entsprechend unterschiedliche Spannungen durch unterschiedliche Laufzeiten gemessen werden.

**[0028]** Das Medium zur Aufnahme der Gebirgs-

spannung soll inkompressibel und homogen sein. Das kann zum Beispiel ein Kunststoff mit geeigneter Festigkeit, ein Metall oder auch ein Kunststein (Beton) sein.

**[0029]** Die Änderung der Schallgeschwindigkeit ist neben der einwirkenden mechanischen Spannung auch von der Temperatur abhängig.

**[0030]** In der Praxis stellt sich der Temperatureausgleich zwischen Sonde und umgebendem Gebirge ausreichend schnell ein. Größere Temperaturschwankungen sind im Gebirge bei stationärem Einbau nicht zu erwarten.

**[0031]** Für kleine Spannungen im Bereich des Hookschen Gesetzes

$$\sigma(\text{Spannung}) = E(\text{E-Modul}) \cdot \varepsilon(\text{Dehnung}) \quad (E = \text{E-Modul})$$

gilt ein linearer Zusammenhang zwischen der Spannung  $\sigma$  und der Dehnung

$$\varepsilon = \Delta L/L,$$

wenn L die Dehnlänge (auch Stauchung als Spezialfall der Dehnung) des ultraschallführenden Körpers in der Sonde ist und  $\Delta L$  dessen Längenänderung. Oberhalb der Dehngrenze  $\sigma_b$  (analog dazu "Fließgrenze,") nimmt die Spannung nur noch wenig zu, und die elastische Verformung geht in eine plastische über, die bei der Entlastung der Sonde eine bleibende Längenänderung hinterlassen würde. Für die Anwendung zur mechanischen Spannungsmessung unterstellt man nur die elastische Verformung ohne Kriechen und Relaxation.

**[0032]** Verwendet man für den Schallweg in der Sonde Materialien, die unter den vorhandenen Gebirgsspannungen im elastischen Bereich bleiben, können somit die Gebirgsspannung und die Änderung dieser, wie sie bei Spannungsumlagerungen auftreten, in-situ gemessen werden.

**[0033]** Die Laufzeit nimmt im elastischen Bereich linear mit der Stauchung ab. Wobei zwei Anteile hierzu beitragen:

1. die direkte Verkürzung des Schallweges  $\Delta L$  und
2. der akusto-elastische Effekt, d.h. die Erhöhung  $\Delta v$  der Schallgeschwindigkeit  $v$  aufgrund der elastischen Druckspannung in dem Schallweg der Sonde. Als Proportionalitätsfaktor wird die Spannungskonstante  $K$  definiert mittels

$$\Delta v/v = K \cdot \sigma$$

**[0034]** Damit lassen sich aus der gemessenen Zunahme  $\Delta t$  der Laufzeit sowohl die Spannung

$$\sigma = (v/(K \cdot L)) \cdot \Delta t$$

als auch die Längenänderung

$$\Delta L = (v/(K \cdot E)) \cdot \Delta t$$

messen.

**[0035]** Durch das elastische Verhalten der Messstrecke zwischen den Ultraschallsensoren wird auch die Länge der Messstrecke verändert.

**[0036]** Da bekannt ist, dass zum Beispiel die Änderung der Schallgeschwindigkeit durch die Einwirkung einer mechanischen Spannung (Stauchung der Messstrecke) dreimal so groß ist, wie der Einfluss der reinen Längenänderung (die durch die Spannung oder Krafteinwirkung auf die Messstrecke entsteht) auf die Schallgeschwindigkeit, kann eine ausreichend genaue Ermittlung der Gebirgsspannung erfolgen.

**[0037]** Die Kalibrierung der Bohrlochsonden erfolgt an ein- oder triachsialen Versuchständen. Dazu wird die Kraft vertikal und horizontal in Prüfkörper aus dem Gebirgsmaterial eingeleitet. Die Bohrlochsonde ist in einem Bohrloch im Prüfkörper montiert. Je nach Anwendungsfall kann mit oder ohne Manteldruck gearbeitet werden.

**[0038]** Kostengünstige Messungen mit kleinen Bohrllochdurchmessern erfordern kleine Bohrlochsonden. Um eine messtechnisch besser verwertbare Auflösung zu bekommen, kann die Messstrecke in Richtung Bohrlochachse verlängert werden. Ein Weg dazu wäre die Durchmesserergrößerung der Sonde. In einer weiteren Ausführung erfolgt die Ein- und Ausleitung des Ultraschalls schräg zur Bohrlochachse. Durch Mehrfachreflexion an der Sondenoberfläche wird ein längerer Messweg erreicht. In diesem Fall erfolgt der Ultraschallweg nicht exakt längs des Spannungsweges. Die Kalibrierung der Sonde auf dem Prüfstand ist daher notwendig.

**[0039]** Auch mit elektronischen Maßnahmen kann die Messempfindlichkeit erhöht werden. So können die Ultraschallsensoren (Sendewandler und Empfangswandler) in einer Regelschleife (PLL-Oszillator) betrieben werden und der Messwerthub um den Faktor 100 oder 1000 erhöht werden.

**[0040]** Zur Erzielung einer ausreichenden Messdynamik muss mit entsprechend guter Zeitauflösung der Geschwindigkeitsmessung gearbeitet werden.

**[0041]** Eine vorteilhafte Weitergestaltung der Erfindung ist die Anordnung mehrerer um 90° versetzt angeordneter Ultraschallsensoren. Damit können mit einer Bohrlochsonde Spannungen in mehreren Richtungen gemessen werden.

**[0042]** Durch die in-situ-Messung soll damit eine permanente Gebirgsspannungsmessung ermöglicht werden. Diese Messung kann vorteilhaft beim Abbau von Rohstoffen, bei der Endlagerung von toxischen und radioaktiven Stoffen oder auch beim Tunnelbau angewendet werden.

**[0043]** Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Merkmalen des Unteranspruchs. Im Folgenden soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben werden. Es zeigen:

**[0044]** Fig. 1 eine Vorrichtung zur Spannungsüberwachung im Gebirge mit Mehrfachreflexion im Schallweg,

**[0045]** Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Erfassung der Horizontalspannung und der Vertikalspannung mit einer Bohrlochsonde,

**[0046]** Fig. 3 eine Vorrichtung zur Ermittlung der Spannung mit Stauchungszylinder.

**[0047]** In Fig. 1 ist eine Bohrlochsonde **1** zur Erfassung der Gebirgsspannung **3** im Gebirge **2** mit Mehrfachreflexion im Ultraschallweg **8** dargestellt. Die Gebirgsspannung **3** wirkt in dem gezeigten Ausführungsbeispiel (Schnittbild mit Blick von oben auf die Sonde) horizontal auf das elastische nicht komprimierbare Medium **4** ein.

**[0048]** Ein Ultraschallsensor **5** sendet Ultraschallwellen in Richtung Ultraschallempfänger **9** aus. In die Kerben **21** in Fig. 1 können herkömmliche Ultraschallsensoren, zum Beispiel aus PTZ-Keramik, eingebaut werden. Ein vorteilhafter Schutz vor mechanischer Belastung ist hier nicht dargestellt. Die Applikation mit Foliensensoren ist ebenfalls möglich. Auf die Darstellung der elektrischen Verbindung zwischen den Ultraschallsensoren **5** und **9** zu der Elektronikinheit **6** wird verzichtet. Von der Elektronikinheit **6** geht ein Kabel **7** zur Datenübertragung zur nicht dargestellten Auswerteeinheit.

**[0049]** In der Elektronikinheit **6** wird die Laufzeit bzw. die Schallgeschwindigkeit der Ultraschallwellen innerhalb des Schallweges **8** bestimmt. Das kann beispielsweise als reine Impulslaufzeit erfolgen. Ein anderer schon aufgezeigter Weg ist es, den Sendetakt laufzeitabhängig zu steuern. Mit einer bekannten PLL-Regelschaltung kann so eine Erhöhung der Messempfindlichkeit über einen Faktor von 100 oder 1000 erreicht werden.

**[0050]** Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung der Anordnung von mehreren Ultraschallsensoren **12a** bis **12d** zur Erfassung der Horizontalspannung **10** und Vertikalspannung **11** mit einer Bohrlochsonde. Die Schematische Darstellung zeigt die Schall-

wege **8**, die direkt zwischen den Ultraschallsensoren **12a** bis **12d** erfolgen können. Ein Schallweg mit Mehrfachreflexionen, wie in **Fig. 1** gezeigt, ist natürlich auch möglich.

**[0051]** **Fig. 3** zeigt eine Ausführungsform einer Bohrlochsonde **1** mit Stauchungszyylinder **13** für den Ultraschallweg. Innerhalb der Bohrlochsonde **1** sind einer oder mehrere Stauchungszyylinder **13** angeordnet. An den Enden der Stauchungszyylinder **13** mit den Endstücken **14** sind Ultraschallsensoren **15** angeordnet. Analog zur bekannten Schraubenspannungsmessung mit Ultraschall, sind die Stauchungszyylinder **13** aus Metall, zum Beispiel Eisen. Die Ultraschallsensoren sind gesputterte Dünnschichtsensoren, die direkt auf die Stauchungszyylinder **13** oder auf den Endstücken **14** aufgebracht sind. Über die Endstücke **14** zur Kraffteinleitung erfolgt die Einleitung der Gebirgsspannung in die Bohrlochsonde. Der Ultraschallweg **8** kann hier wie dargestellt, durch den gesamten Stauchungszyylinder **13** erfolgen.

**[0052]** In einer weiteren, hier nicht näher dargestellten Ausführungsform, wird der Ultraschallsensor **15** am Ende des konstanten Querschnittes des Stauchungszyinders **13** angeordnet. Die beiden Endstücke **14** des Stauchungszyinders **13** bestehen aus Einzelteilen mit kontinuierlicher Querschnittsveränderung, zum Beispiel Kegelstümpfen. Die Bohrlochsonde **1** und die Stauchungszyylinder **13** bestehen aus Materialien unterschiedlicher akustischer Impedanz.

**[0053]** Die aus dem akustisch härteren Material hergestellten Stauchungszyylinder **13** sind in die aus akustisch weicheren Material hergestellten Sondenkörpern eingebettet. Mit dem Spezialfall einer Deformation, der Stauchung eines schmalen Zylinders, lässt sich die Spannung eindimensional erfassen.

**[0054]** Natürlich sind Anordnungen mehrerer Stauchungszyylinder innerhalb einer Bohrlochsonde möglich. Werden diese um 90° verdreht angeordnet, können so die Vertikalspannung und die Horizontalspannung getrennt erfasst werden.

**[0055]** Das Anwendungsgebiet der Erfindung beschränkt sich nicht nur auf den Bergbau. Die Sonden können vorteilhaft in Pfeiler von Stahlbetonbauten eingesetzt werden.

**[0056]** Die Kombination mehrerer Sonden, mit der hier nicht weiter erläuterten Datenübertragung, gestattet auch den kostengünstigen Einsatz im Tunnelbau zur Dauerüberwachung solcher Bauwerke.

### Patentansprüche

1. Bohrlochmesseinrichtung zur Ermittlung der Gebirgsspannung mit mindestens einer Bohrloch-

sonde in einem Bohrloch:

wobei die Bohrlochsonde

- einen Sondenkörper mit einem oder mehreren Ultraschallsensoren mit mindestens einem Ultraschallsender und mindestens einem Ultraschallempfänger innerhalb des Sondenkörpers
- und eine Elektronikeinheit (**6**) aufweist, die über ein Kabel (**7**) mit einer Auswerteeinheit der Bohrlochmesseinrichtung verbunden ist,
- wobei Ultraschallsender und Ultraschallempfänger in ein elastisches, nicht komprimierbares, isotropes Messmedium innerhalb des die Gebirgsspannung aufnehmenden Sondenkörpers eingebettet sind, um die Ausbreitung von Ultraschall nicht direkt im Gebirge, sondern über Laufzeitmessungen im Messmedium innerhalb des Sondenkörpers zu messen.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensoren so angeordnet sind, dass sie die Messung der Laufzeit in wenigstens zwei unterschiedlichen Richtungen der Gebirgsspannung gestatten.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

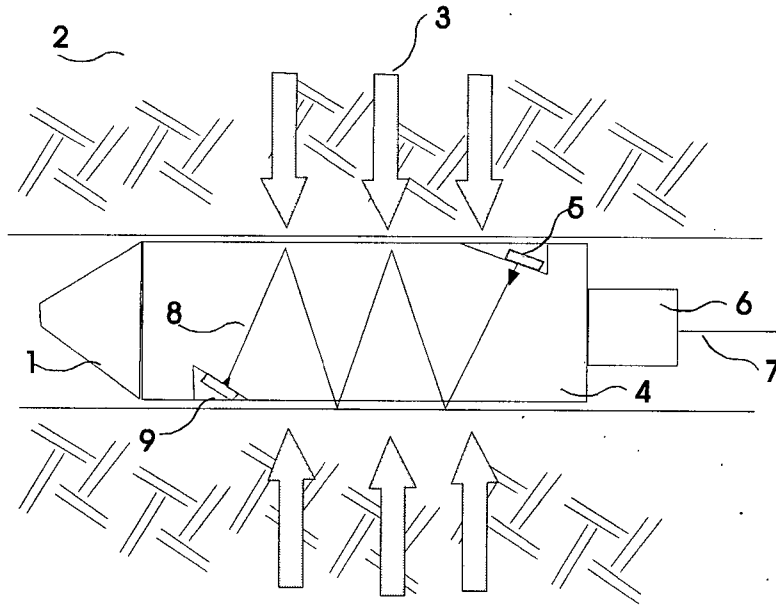


Fig. 1

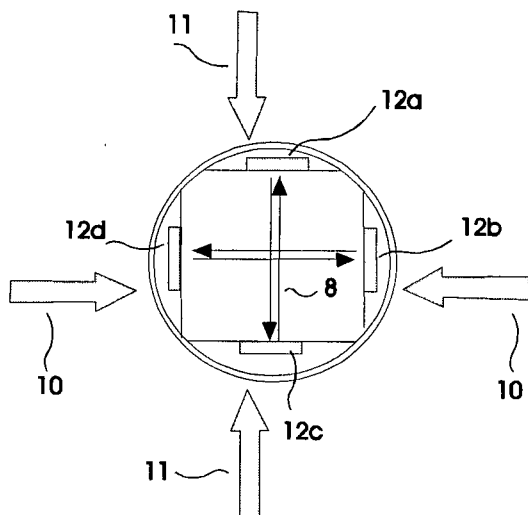


Fig. 2

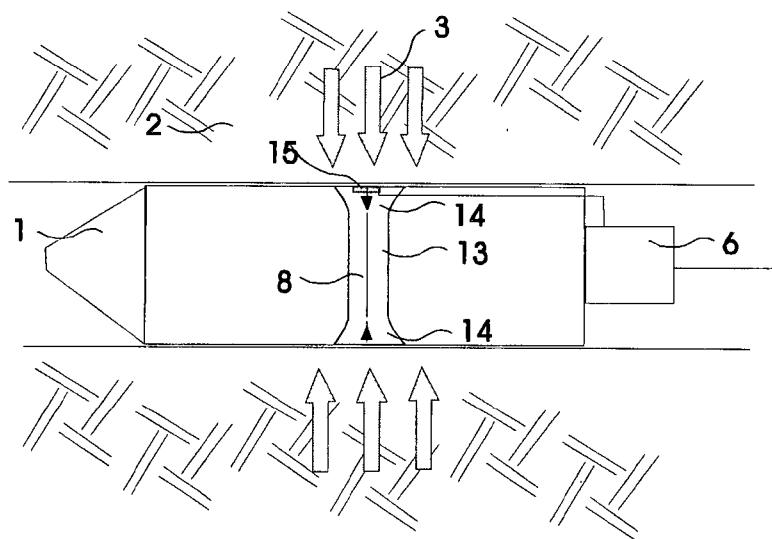


Fig. 3