

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 744 526 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
27.11.1996 Patentblatt 1996/48

(51) Int. Cl.⁶: **E21B 47/022**

(21) Anmeldenummer: 95107954.0

(22) Anmeldetag: 24.05.1995

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB NL

(71) Anmelder:
• **BAKER-HUGHES INCORPORATED**
Houston Texas 77210-4740 (US)
• **AGIP S.p.A.**
20121 Milano (IT)

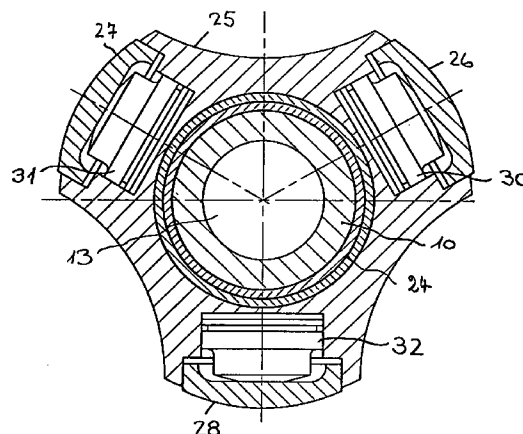
(72) Erfinder:
• **Oppelt, Joachim, Dr.-Ing.**
D-30659 Hannover (DE)
• **Heisig, Gerald, Dr.-Ing.**
D-38106 Braunschweig (DE)

(74) Vertreter: **Busse & Busse**
Patentanwälte
Postfach 12 26
49002 Osnabrück (DE)

(54) Verfahren zum Steuern eines Bohrwerkzeugs

(57) Zum Steuern eines Bohrwerkzeugs, das durch zumindest eine Gruppe von dem Werkzeug zugeordneten, über den Werkzeugumfang verteilt angeordneten, steuerbaren Stellgliedern richtbar ist, während des Bohrbetriebs in unterirdischen Formationen werden durch werkzeugseitige Meßwertaufnehmer die aktuelle Bohrrichtung und die aktuelle Einstellung der Stellglieder ermittelt, in einem werkzeuginternen, einen programmgesteuerten Rechner einschließenden Regelkreis ermittelte Istwerte mit vorgegebenen Sollwerten verglichen und auf dem Istwert/Sollwert-Vergleich beruhende Stellgrößen zur Stellgliedbetätigung erzeugt. Der werkzeuginterne Regelkreis steht mit einem externen Regelkreis in Datenaustausch, der nach Verarbeitung von untertage empfangener Daten in einem obertägigen, programmgesteuerten Rechner obertägig erarbeitete Steuerdaten an den werkzeuginternen Regelkreis übergibt. Vom externen Regelkreis werden dabei die vom werkzeuginternen Regelkreis gelieferten Istwerte für die aktuelle Bohrrichtung mit obertägig gespeicherten Richtungssollwerten verglichen und an den werkzeuginternen Regelkreis ein auf dem obertägigen Richtungsiswert/-sollwert-Vergleich sowie der obertägig ermittelten Werkzeugteufe beruhender Sollwert für einen Steuervektor für das Bohrwerkzeug übermittelt, der die Richtung und den Betrag der aus der Einwirkung der Stellglieder der Stellgliedgruppe auf die Bohrlochwandung resultierenden Kraft definiert.

FIG. 5



EP 0 744 526 A1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Steuern eines Bohrwerkzeugs, das zumindest durch eine Gruppe von dem Werkzeug zugeordneten, über den Werkzeugumfang verteilt angeordneten steuerbaren Stellgliedern richtbar ist, während des Bohrbetriebs in unterirdischen Formationen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Bei einem bekannten Verfahren dieser Art (US-A-5 341 886) werden dem werkzeuginternen Regelkreis die Sollwerte für den Kurs des Bohrwerkzeugs zwischen einem Startpunkt und einem Zielpunkt vorgegeben, die von dem werkzeuginternen Regelkreis mit Kurs-Istwerten verglichen werden, die durch werkzeuginterne Meßwertaufnehmer für die Richtung des Bohrwerkzeugs und dessen Teufe ermittelt werden. Bei Abweichungen vom Sollkurs errechnet der werkzeuginterne Regelkreis Korrekturdaten für die Bohrrichtung, die geeignet sind, das Bohrwerkzeug auf seinen Sollkurs zurückzuführen. Der werkzeuginterne Regelkreis steht in Datenaustausch mit einem externen Regelkreis, der die von untertage empfangenen Daten auswertet und es ermöglicht, dem werkzeuginternen Regelkreis Betriebsanweisungen oder neue Daten, beispielsweise für einen geänderten Kurs oder die obertägig gemessene Werkzeugteufe, vorzugeben. Bis zum Empfang neuer Betriebsanweisungen oder Kursdaten und im Anschluß daran bestimmt der werkzeuginterne Regelkreis den Kursverlauf für das Bohrwerkzeug bis zum Erreichen des vorgegebenen Ziels.

Die Erfindung befaßt sich mit dem Problem ein Verfahren der genannten Art zu schaffen, das eine präzise obertägige Werkzeugführung ermöglicht. Die Erfindung löst das Problem durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Hinsichtlich wesentlicher weiterer Ausgestaltungen wird auf die Ansprüche 2 bis 4 verwiesen.

Das erfindungsgemäße Verfahren weist dem externen Regelkreis die Hauptsteuerfunktion zu, die dieser nach Auswertung der untertägig empfangenen Daten automatisch ausüben kann. Statt dessen oder zusätzlich besteht die Möglichkeit der individuellen Einflußnahme auf den Werkzeugkurs durch eine das Geschehen untertage verfolgende Bedienungsperson, die ebenso wie bei automatischer Kursvorgabe die Werkzeugsteuerung allein durch Vorgabe eines einzigen Steuervektors vornehmen kann. Dies ermöglicht überaus behutsame, schnell korrigierbare Kursbestimmungen, die das Erbohren eines Bohrlochs mit einem glatten, von Knicken und Zacken weitgehend freien Kurvenverlauf ermöglicht. Dies ist insbesondere bei Bohrungen mit weitreichendem Horizontalverlauf von Bedeutung, deren Reichweite entscheidend durch die Bohrstrangreibung im Bohrloch beeinflußt wird, denn diese ist umso größer, je unsteter der Verlauf des Bohrloches ist. Das erfindungsgemäße Verfahren begünstigt daher das Anlegen von Horizontalbohrungen vergrößerter Reichweite.

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung des Verfahrens anhand einer in der Zeichnung näher veranschaulichten Bohranlage. In der Zeichnung zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung der Bohranlage und eines beispielhaften Anfangsverlaufs von Bohrloch und Bohrstrang mit Bohrwerkzeug,
- Fig. 2 eine schematisierte Darstellung ähnlich Fig. 1 zur Veranschaulichung benötigter Parameter für den Steuervorgang,
- Fig. 3 eine schematisierte Darstellung des Bohrwerkzeugs zur Veranschaulichung weiterer Parameter für den Steuervorgang,
- Fig. 4 eine vereinfachte Darstellung eines für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeigneten Bohrwerkzeugs,
- Fig. 5 einen schematischen Schnitt nach der Linie V-V durch das Bohrwerkzeug nach Fig. 4, und
- Fig. 6 eine Schemadarstellung des internen und des externen Regelkreises zur Veranschaulichung der beim Steuerungsvorgang ablaufenden Vorgänge.

Fig. 1 veranschaulicht schematisch eine Bohranlage 1 zum Abteufen von Bohrlöchern 2 in unterirdische Gesteinsformationen mit Hilfe eines Bohrwerkzeugs 3 am vorderen Ende eines Bohrstranges 4, dessen fortschreitender Aufbau und Antrieb allgemein bekannt ist und keiner näheren Erläuterung bedarf. Anstelle eines sich drehenden, das Bohrwerkzeug 3 antreibenden Bohrstrangs 4 kann auch ein nicht rotierender Bohrstang mit einem Bohrwerkzeug Anwendung finden, dessen Bohrmeißel von einem Untertagemotor angetrieben wird. Das obertägige Operationszentrum ist bei dem dargestellten Beispiel unmittelbar der Bohranlage 1 benachbart dargestellt und mit 5 bezeichnet, kann jedoch auch in beliebiger Entfernung zur Bohranlage 1 eingerichtet sein, sofern für eine geeignete Übermittlung von Bohrbetriebsdaten Sorge getragen ist, die bei dem dargestellten Beispiel durch eine elektrische Leitungsverbindung 6 erfolgt.

Das Werkzeug 3 umfaßt ein mit dem Bohrstrang 4 bei 7 verschraubtes Gehäuse 8, das bei 9 mit einem eingezogenen Fortsatz 10 verschraubt ist, der an seinem unteren Ende über eine Verschraubung 11 mit einem Bohrmeißel 12 verbunden ist. Das Gehäuse 8 und sein Fortsatz 9 weisen einen zentralen Strömungskanal 13 für die Durchführung eines Spülmittels auf, das den Bohrstrang 4 abwärts durchströmt, aus dem Bohrmeißel 12 in das Bohrloch 2 austritt und im Ringraum zwischen der Wandung des Bohrloches 2

und dem Werkzeug 3 bzw. dem Bohrstrang 4 zur Bohranlage 1 zurückströmt, wo es in einen nicht dargestellten Spülungstank gelangt, aus dem es mittels einer Spülpumpe in den Bohrstrang 4 gefördert wird.

Im Gehäuse 8 des Bohrwerkzeugs 3, das feststehende Rippen 14 eines oberen Stabilisators 15 trägt, befindet sich beispielsweise ein Generator 16 für die Stromversorgung der werkzeugseitigen elektrischen Verbraucher, der von einer nur schematisch angedeuteten, vom Spülmittelstrom beaufschlagten Turbine 17 angetrieben sein kann. Generator 16 und Turbine 17 können Bestandteil eines untertägigen Informationsempfängers bilden, dessen Empfangs- und Weiterverarbeitungsteil bei 18 schematisch angedeutet ist. Ferner ist im Gehäuse 8 ein bei 19 angedeuteter Informationsgeber, beispielsweise ein auf die Spülmittelströmung einwirkender Pulsgeber, vorgesehen, mit dessen Hilfe untertägig vorliegende, werkzeuginterne Daten an einen nur schematisch bei 20 veranschaulichten obertägigen Informationsempfänger übermittelt werden können. Der obertägige Informationsgeber für obertägig vorliegende und an das Steuersystem des Bohrwerkzeugs 3 zu übermittelnde Daten ist ebenfalls nur schematisch in Fig. 1 angedeutet und mit 21 bezeichnet.

Auf dem eingezogenen Bereich 22 des Fortsatzes 10 ist über Lager 23 ein hülsenförmiges Gehäuseteil 25 drehbar abgestützt, das im Betrieb eine nicht rotierende Stellung im Bohrloch 2 einnimmt, während Bohrstrang 4, Gehäuse 8, Fortsatz 10 und Bohrmeißel 12 um ihre Mittelachse infolge des obertägigen Antriebs des Bohrstranges 4 rotieren.

Das Gehäuseteil 25 ist mit drei Stellgliedern in Form von Rippen 26,27,28 versehen, die eine stabilisatorrippenähnliche Gestalt aufweisen und jeweils um eine Achse 29 klappbar am Gehäuseteil 25 abgestützt sind. Die Rippen 26,27,28 können einzeln und voneinander unabhängig mittels jeweils eines Druckmittelantriebs 30,31,32 aus der in Fig. 4 dargestellten eingeklappten Ausgangsstellung in eine mehr oder weniger weit ausgeklappte Betriebsstellung überführt werden, in der sie an der Wandung des Bohrlochs 2 anliegen und auf diese eine individuell vorgebbare Druckkraft ausüben.

Zur Betätigung der Druckmittelantriebe 30,31,32 ist im Gehäuseteil 25 eine Hydraulikpumpe 33 vorgesehen, die über Hydraulikleitungen 34 die Druckmittelantriebe 30,31,32 mit Druckmittel beaufschlagt. Die Hydraulikpumpe 33 kann mittels eines Elektromotors angetrieben werden, der vom Generator 16 bzw. aus einer von diesem versorgten Batterie gespeist wird. Anstelle von drei Stellgliedern, die zu einer genauen Ausrichtung des Bohrwerkzeugs 3 genügen, können auch mehr als drei, z.B. vier oder fünf, Stellglieder vorgesehen sein.

Im Gehäuseteil 25 ist bei dem dargestellten Beispiel ein elektronisches Steuersystem untergebracht, das bei 35 angedeutet ist und Sensoren 36 für die Aufnahme von benötigten Meßwerten und eine Auswerte-

und Recheneinheit 37 umfaßt, die Bestandteil eines werkzeuginternen Regelkreises bildet.

Zu den Meßwerten, die das erfindungsgemäße Verfahren zur Werkzeugsteuerung benötigt, gehört die aktuelle Bohrrichtung 45, die durch den Winkel 43 der Werkzeug der Werkzeugachse 58 zu einer Referenzrichtung, beispielsweise die Magnetisch-Nord-Richtung 40 (Fig. 2) (Azimuth) und den Winkel 44 der Werkzeugachse 58 zu einer weiteren Referenzrichtung, vorzugsweise die Richtung der Erdbeschleunigung 41, definiert werden kann. Diese Meßwerte werden durch werkzeugseitige Sensoren 36 festgestellt. Zu den benötigten Meßwerten gehört ferner die Drehwinkellage des Bohrwerkzeugs 3 im Bohrloch 2 in bezug auf eine Referenzebene, vorzugsweise eine den Nullpunkt 50 eines dem Bohrwerkzeug 3 fest zugeordneten ebenen Koordinatensystems 51 schneidende und mit der Richtung der Erdbeschleunigung zusammenfallende Ebene 53, welche die Oberseite des Werkzeugs 3 in einer oberen Kulminationslinie schneidet, die durch die Kulminationspunkte 52 definiert ist.

Aus den vorstehend ermittelten Daten ergibt sich die aktuelle Drehwinkellage des Bohrwerkzeugs 3 als der Winkel 54 zwischen der durch die Schwerkraftrichtung definierten Referenzebene 53 und der werkzeugfesten Referenzebene 55, die mit der Ordinate des werkzeugfesten Koordinatensystems zusammenfällt, so daß vollständige Informationen über die Ausrichtung und Orientierung des Bohrwerkzeugs 3 gegeben sind.

Ferner wird die Kraft ermittelt, mit der die Rippen 26,27,28 jeweils gegen die Wandung des Bohrlochs 2 drücken. Dies kann mittels Drucksensoren vorgenommen oder aus den Steuerventileinstellungen für die Druckmittelantriebe 30,31,32 abgeleitet werden. Aus den Einzelkräften wird eine resultierende Kraft ermittelt, die nach Betrag und Richtung definiert ist und einen Steuervektor 56 bildet. Die Richtung des den Nullpunkt des werkzeugfesten Koordinatensystems 51 und die Werkzeugachse 58 senkrecht schneidenden Steuervektors 56 ist als der Winkel 57 definiert, den der Steuervektor 56 mit der Referenzebene 53 einschließt.

Wie sich anhand der Darstellung in Fig. 6 verfolgen läßt, werden im Bohrbetrieb des Bohrwerkzeugs 3 von den zum werkzeuginternen Regelkreis 60 gehörenden Sensoren 36 die Meßwerte für die aktuelle Bohrrichtung des Bohrwerkzeugs 3, die aktuelle Einstellung der Stellglieder 26,27,28 und die Drehwinkelorientierung (Winkel 54) des Bohrwerkzeugs 3 ermittelt. Diese Daten werden an ein Rechenteil 61 des werkzeuginternen Regelkreises 60 übergeben, das Abweichungen der werkzeugfesten Referenzebene 55 zu der durch in die Erdbeschleunigungsrichtung vorgegebenen Referenzebene 53 kompensiert und Richtung (Winkel 57) und Betrag des aktuellen Steuervektors 56 ermittelt. Die gesamten und aufbereiteten Daten werden über ein Datenübermittlungssystem 62, das beispielsweise den Informationsgeber 19 und den Informationsempfänger 21 umfaßt, an einen externen Regelkreis 70 übergeben, in dem diese Daten in noch zu beschreibender Weise

verarbeitet werden. Während dieser Verarbeitung werden die vom Rechenglied 61 gelieferten, kompensierten Steuervektor-Istwerte im werkzeuginternen Regelkreis in einem Vergleichsteil 63 des Regelkreises 60 mit vorgegebenen, gespeicherten Steuervektor-Sollwerten verglichen und der Ergebniswert der Auswerte- und Recheneinheit 37 des werkzeuginternen Steuersystems 35 zugeführt, das, soweit erforderlich, die Einstellung der Stellglieder 26,27,28 korrigiert.

Im externen Regelkreis 70 werden die vom werkzeuginternen Regelkreis 60 gelieferten Istwerte der aktuellen Bohrrichtung des Bohrwerkzeugs 3 mit obertägig gespeicherten Richtungssollwerten in einem Rechner 72 verglichen, und unter Einbeziehung der obertägig von einem Meßgerät 71 ermittelten Werkzeugteufe wird die aktuelle geologische Position des Bohrwerkzeugs 3 bestimmt. Egeben sich dabei Abweichungen vom vorgegebenen Kurs, die eine Korrektur erforderlich machen, können automatisch geeignete neue Sollwerte für den Steuervektor 56 ermittelt und über eine Kontrolleinheit 73, in der die Daten z.B. als digitale Folge von Signalen kodiert werden, und über ein Datenübermittlungssystem 74 an den werkzeuginternen Regelkreis 60 übergeben werden. Statt dessen oder zusätzlich können die vom Rechner 72 an eine Überwachungseinheit 75 übermittelten Daten einer Bedienungsperson Anlaß geben, einen von ihr gewählten Steuervektor 56 zu realisieren, was durch eine entsprechende Eingabe bei 76 erfolgen kann. Durch eine solche persönliche Steuerung kann ein Kurs für das Bohrwerkzeug 3 vorgegeben werden, der sich außerhalb der programmgemäß vorgegebenen Möglichkeiten bewegt. Dies kann nicht nur zu Zwecken einer Optimierung einer Kurskorrektur sinnvoll sein, sondern auch dann, wenn aufgrund sonstiger untertägig ermittelten Daten beispielsweise über die Art der durchbohrten Formationen eine Kursveränderung angezeigt ist.

Durch eine individuelle Eingabe bei 76 oder durch eine automatische Vorgabe kann vom externen Regelkreis 70 an den werkzeuginternen Regelkreis 60 ein Richtungshaltebefehl übermittelt werden, in welchem Falle die aktuellen Richtungsisstwerte des Bohrwerkzeugs 3 in einem Datenspeicher des werkzeuginternen Regelkreises 60, der dem Vergleichsteil 63 zugeordnet sein kann, als Sollwert hinterlegt und anschließend fortlaufend mit weiterhin ermittelten Richtungsisstwerten verglichen werden. Aus einem derartigen Richtungsisstwert/-sollwert-Vergleich beruhende Stellgrößen werden nun für die Einstellung der Stellglieder 26,27,28 erzeugt, und zwar anstelle von Stellgrößen, die sich von einem vorgegebenen Steuervektor ableiten. Nach Aufhebung eines Richtungshaltebefehls geht dann der werkzeuginterne Regelkreis 60 wieder in den oben beschriebenen Betriebsmodus über.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern eines Bohrwerkzeugs, das durch zumindest eine Gruppe von dem Werkzeug

zugeordneten, über den Werkzeugumfang verteilt angeordneten, steuerbaren Stellgliedern richtbar ist, während des Bohrbetriebs in unterirdischen Formationen, bei dem durch werkzeugseitige Meßwertaufnehmer die aktuelle Bohrrichtung und die aktuelle Einstellung der Stellglieder ermittelt, in einem werkzeuginternen, einen programmgesteuerten Rechner einschließenden Regelkreis ermittelte Istwerte mit vorgegebenen Sollwerten verglichen und auf dem Istwert/Sollwert-Vergleich beruhende Stellgrößen zur Stellgliedbetätigung erzeugt werden, und bei dem der werkzeuginterne Regelkreis mit einem externen Regelkreis in Datenaustausch steht, der nach Verarbeitung von untertage empfangener Daten in einem obertägigen, programmgesteuerten Rechner obertägig erarbeitete Steuerdaten an den werkzeuginternen Regelkreis übergibt, dadurch gekennzeichnet, daß vom externen Regelkreis die vom werkzeuginternen Regelkreis gelieferten Istwerte für die aktuelle Bohrrichtung mit obertägig gespeicherten Richtungssollwerten verglichen und an den werkzeuginternen Regelkreis ein auf dem obertägigen Richtungsisstwert/-sollwert-Vergleich sowie der obertägig ermittelten Werkzeugteufe beruhender Sollwert für einen Steuervektor für das Bohrwerkzeug übermittelt wird, der die Richtung und den Betrag der aus der Einwirkung der Stellglieder der Stellgliedgruppe auf die Bohrlochwandung resultierenden Kraft definiert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Richtung des Steuervektors als den Nullpunkt eines dem Werkzeugquerschnitt des Bohrwerkzeugs fest zugeordneten rechtwinkligen Koordinatensystems schneidende Gerade definiert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß Meßwertaufnehmer des werkzeuginternen Regelkreises fortlaufend die Drehwinkelorientierung einer werkzeugfeten Referenzebene in dem dem Bohrwerkzeug zugeordneten Koordinatensystems zu einer in das Koordinatensystem projizierten, durch die Erdbeschleunigungsrichtung definierten Referenzebene ermitteln und durch den werkzeuginternen Regelkreis Winkelabweichungen zwischen den Referenzebenen bei der Ermittlung des aktuellen Istwertes des Steuervektors und bei der Vorgabe von Stellgrößen für die Stellglieder aufgrund eines Steuervektor-Istwert/-sollwert-Vergleichs kompensiert werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem vom externen Regelkreis an den werkzeuginternen Regelkreis übermittelten Richtungshaltebefehl die aktuellen Richtungsisstwerte des Bohrwerkzeugs im Datenspeicher des

werkzeuginternen Regelkreises als Sollwerte hinterlegt, mit fortlaufend weiterermittelten Richtungsistwerten verglichen und ausschließlich auf diesem Richtungsistwert/-sollwert-Vergleich beruhende Stellgrößen für die Stellglieder erzeugt werden.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

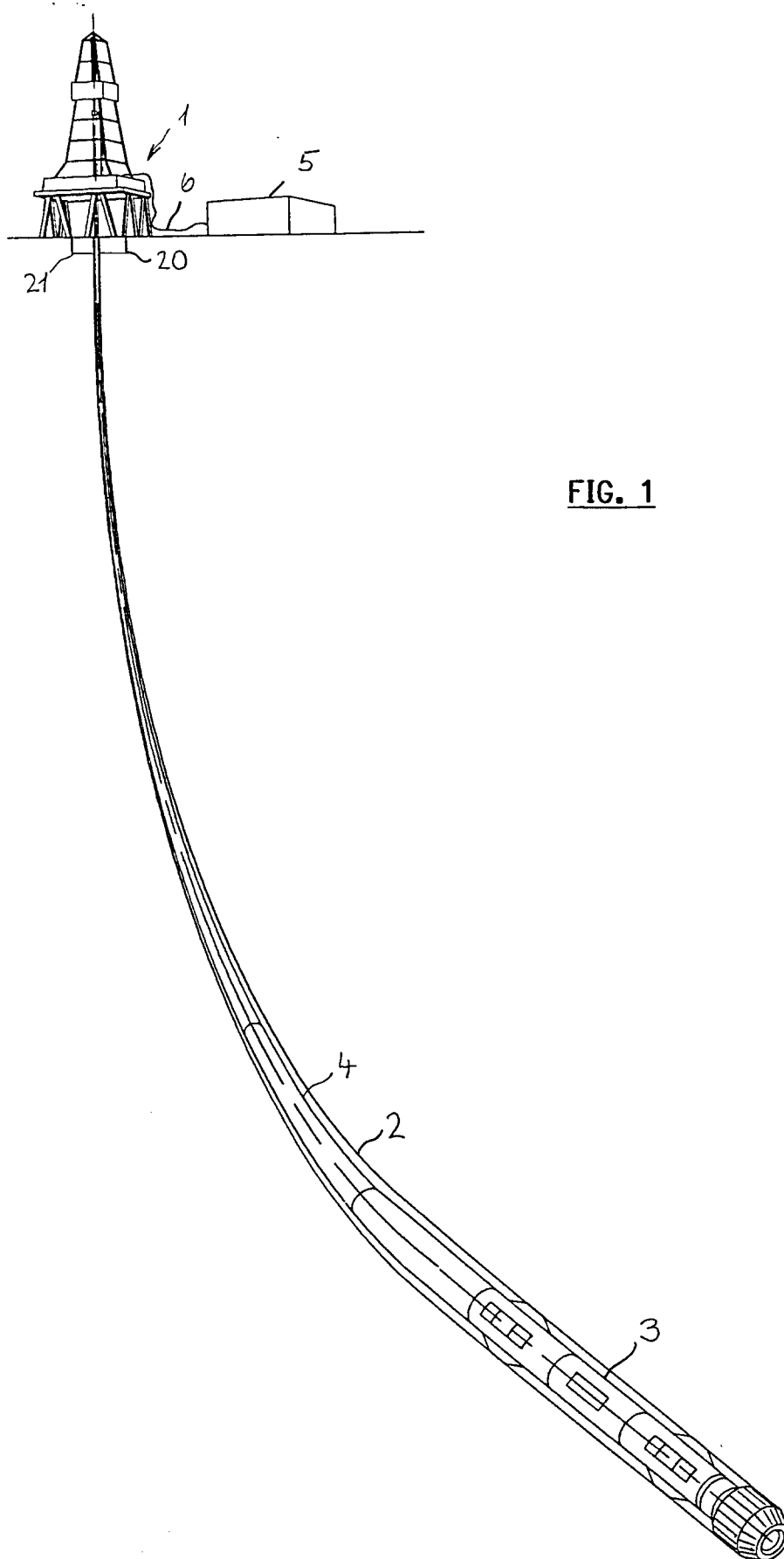


FIG. 2

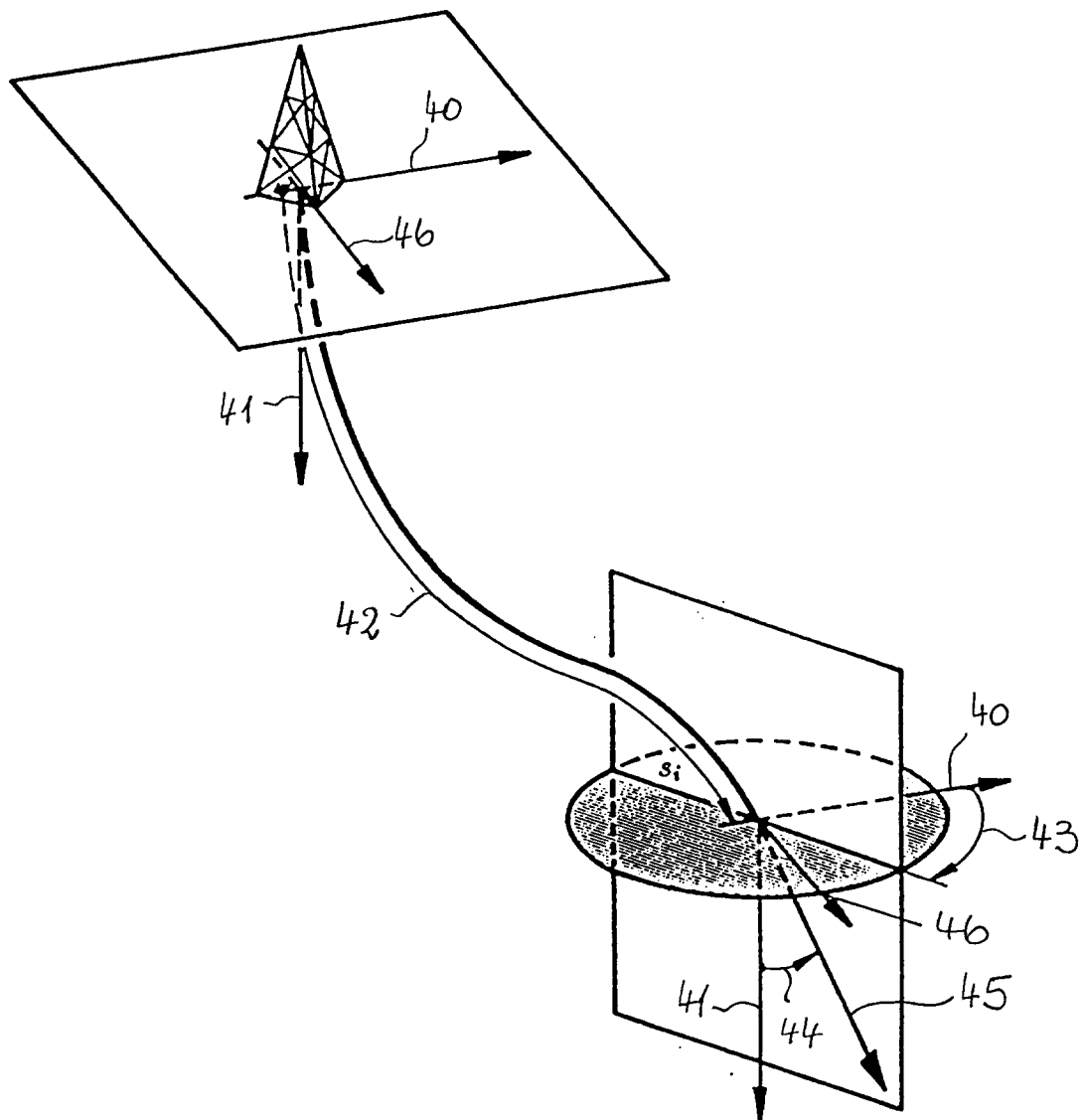
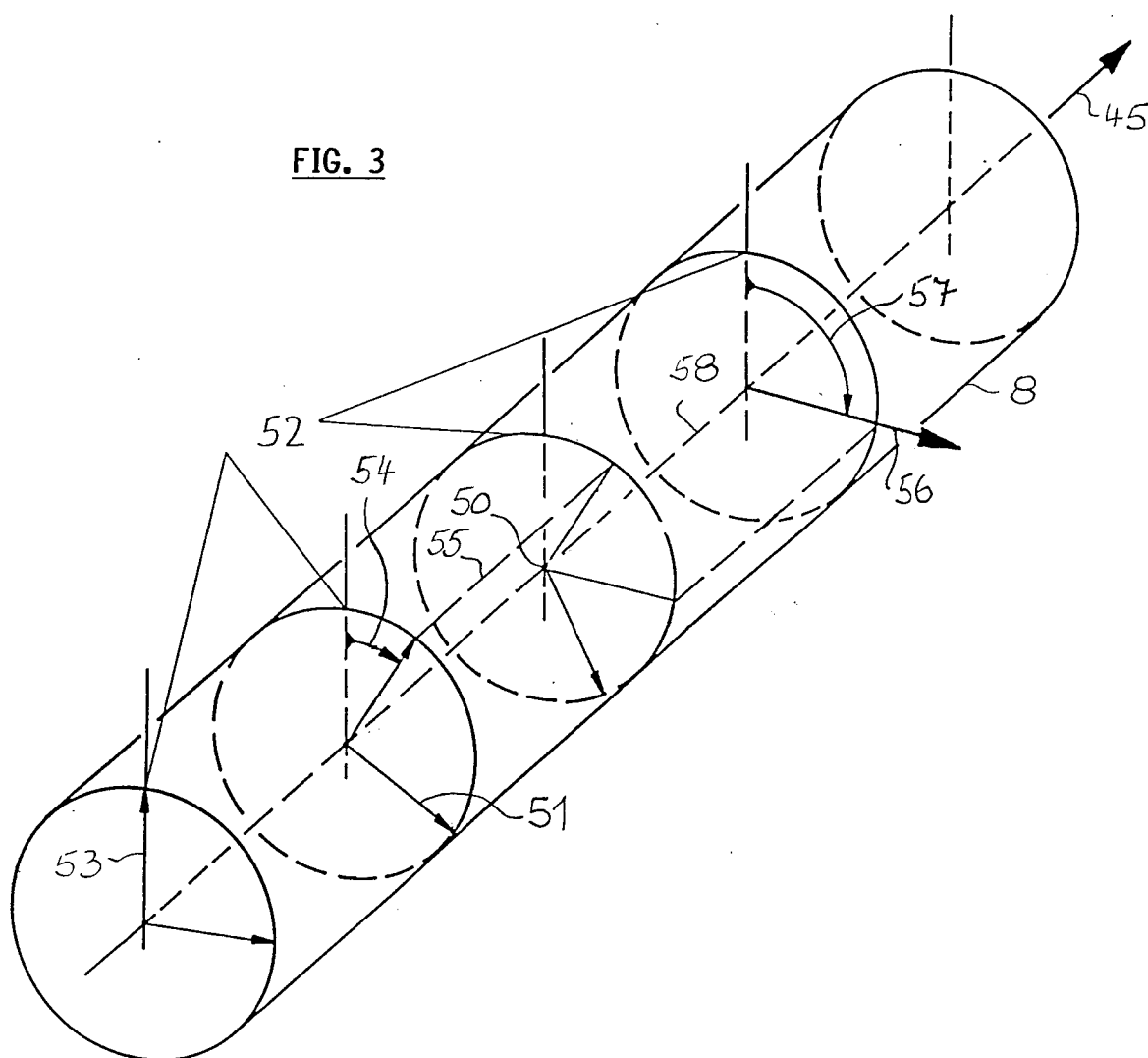


FIG. 3



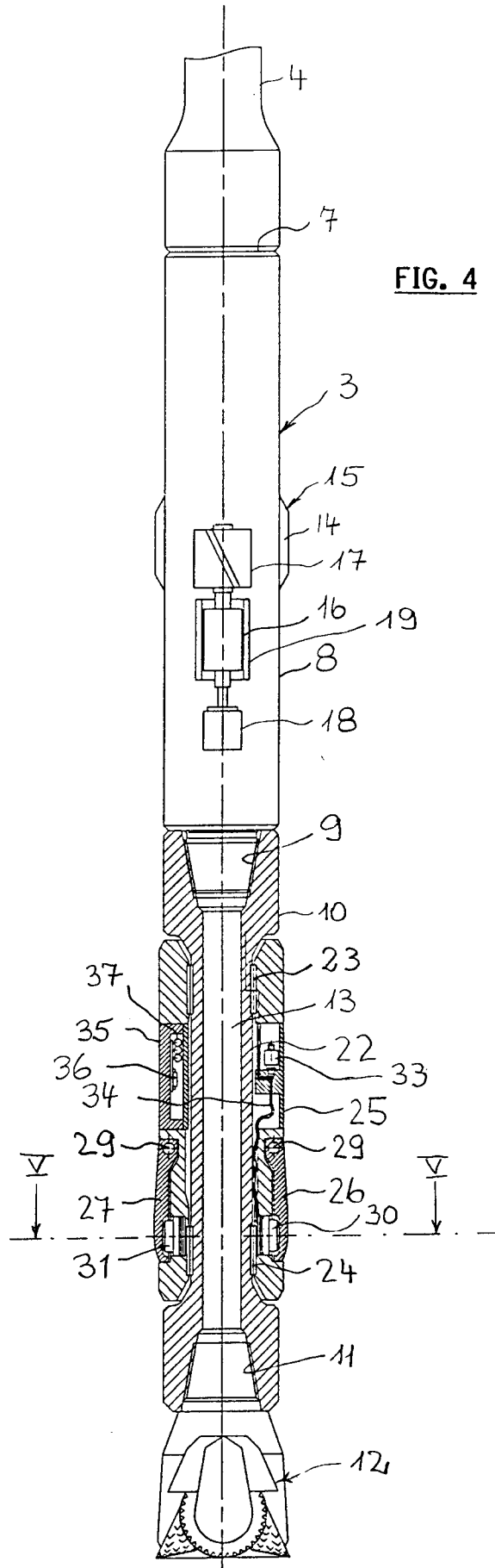


FIG. 5

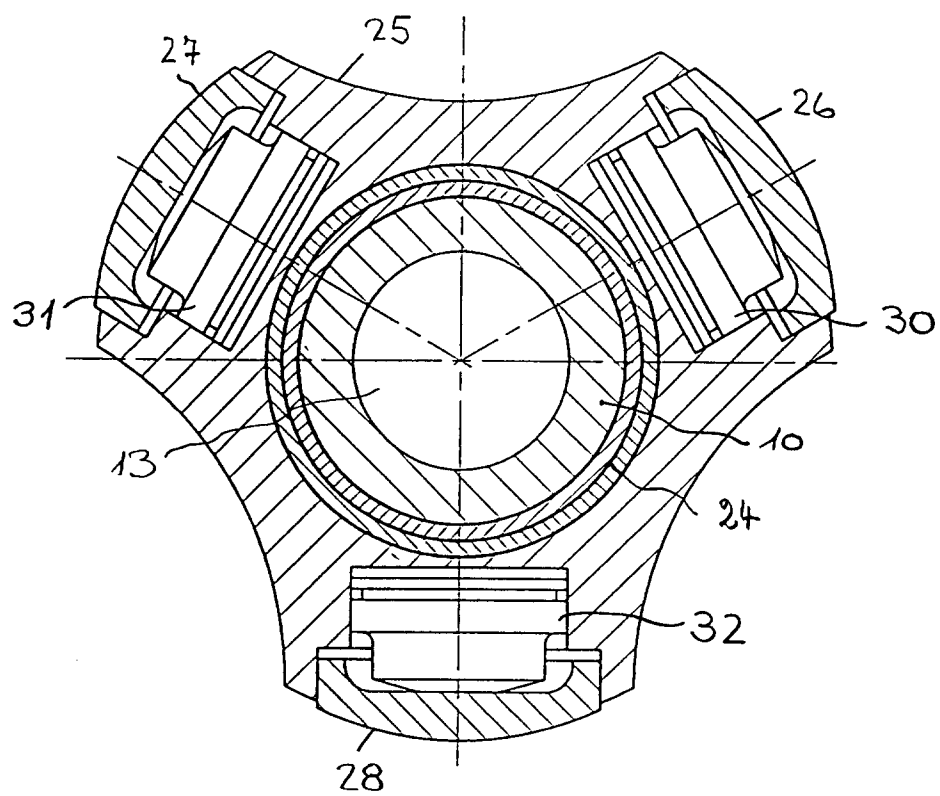
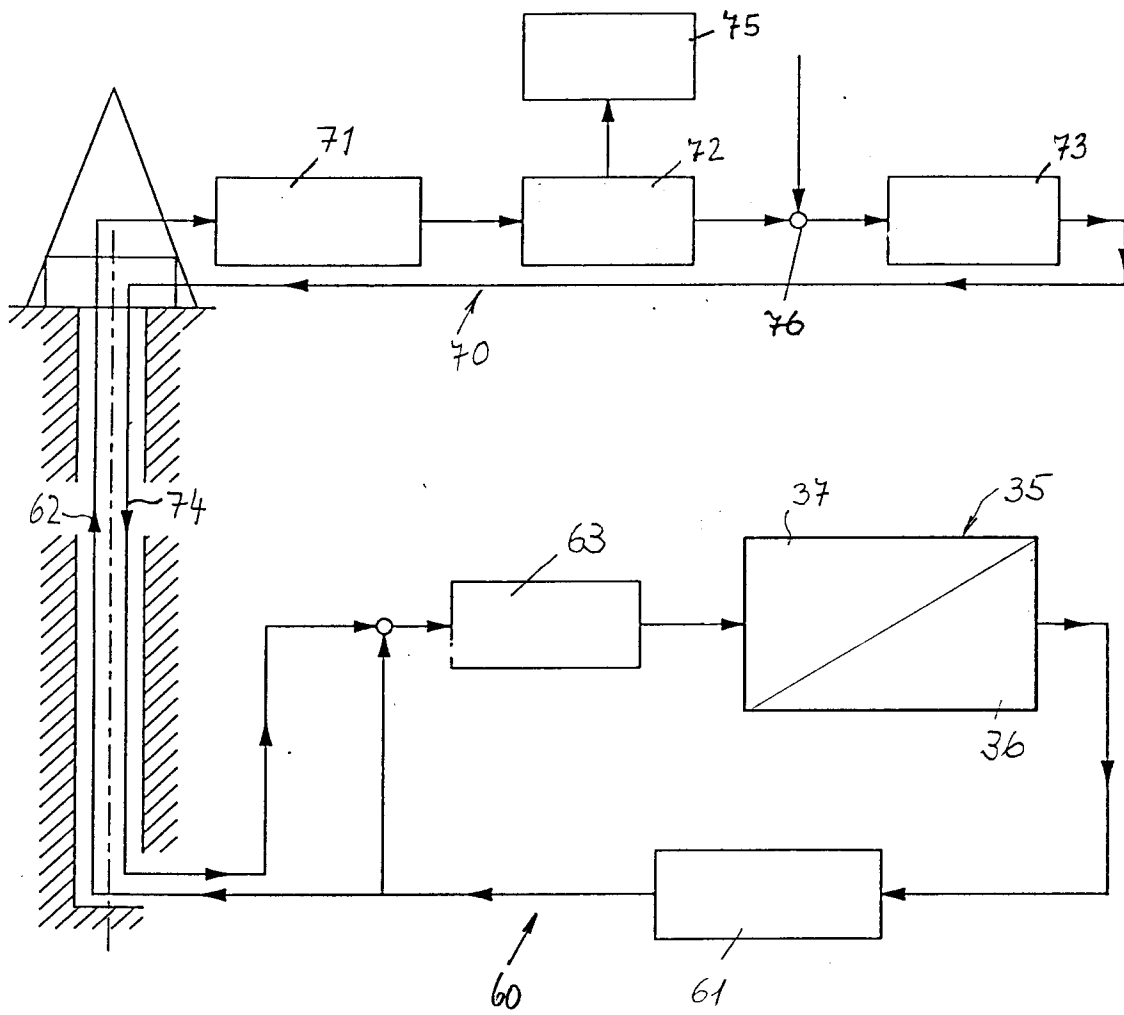


FIG. 6





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 95 10 7954

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
D,A	US-A-5 341 886 (PATTON BOB J) 30. August 1994 * das ganze Dokument * -----	1	E21B47/022
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
			E21B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
DEN HAAG	10. Oktober 1995	Hoekstra, F	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 (03.82) (P04C03)