



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 49 109 A1** 2005.06.02

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 49 109.0**  
(22) Anmeldetag: **17.10.2003**  
(43) Offenlegungstag: **02.06.2005**

(51) Int Cl.7: **E02B 17/02**

(71) Anmelder:  
**aerodyn Engineering GmbH, 24768 Rendsburg,  
DE**

(72) Erfinder:  
**Siegfriedsen, Sönke, 25878 Drage, DE**

(74) Vertreter:  
**BOEHMERT & BOEHMERT, 24105 Kiel**

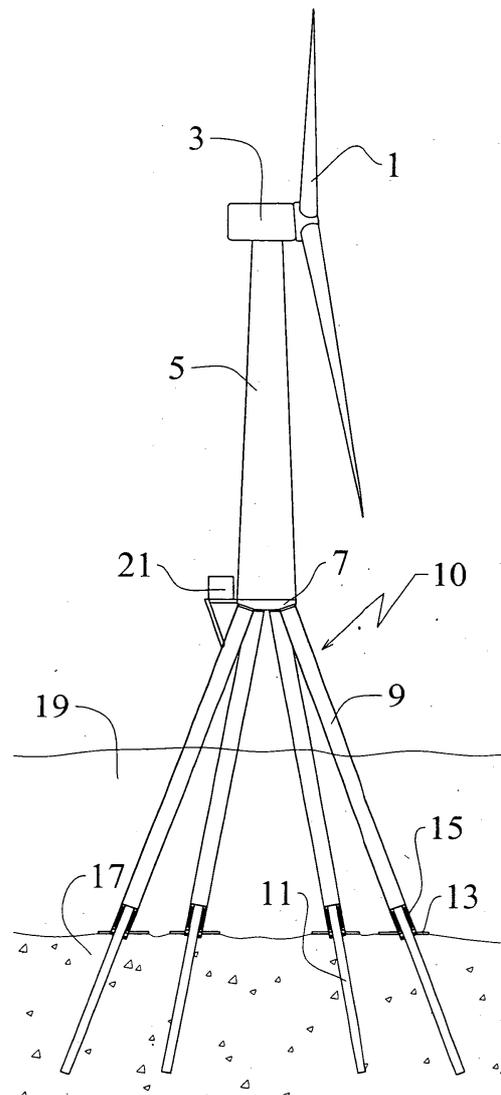
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
**DE 26 44 725 A1**  
**DE 24 39 576 A1**  
**DE 24 21 147 A1**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Gründung für eine Offshore-Windenergieanlage**

(57) Zusammenfassung: Gründung für eine Offshore-Windenergieanlage (WEA), mit einem den Turm (5) der WEA mit Gondel (3) und Rotor (1) tragenden Lastverteilungselement (7) und einer Mehrzahl von das Lastverteilungselement (7) tragenden, gegenüber der Vertikalen schräg nach außen verlaufenden Gründungsbeinen (9), bei der die Mittelachsen (M) der Gründungsbeine (9) die von dem Außendurchmesser des Turms (5) in der Verbindungsebene (V) des Lastverteilungselements (7) mit dem Turm (5) beschriebene Kreisfläche (K) schneiden.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Gründung für eine Offshore-Windenergieanlage (WEA) mit einem den Turm der WEA mit Gondel und Rotor tragenden Lastverteilungselement und einer Mehrzahl von das Lastverteilungselement tragenden, gegenüber der Vertikalen schräg nach außen verlaufenden Gründungsbeinen.

**[0002]** Die Entwicklung von offshoretauglichen Windenergieanlagen hat mit dem Beginn des 21. Jahrhunderts einen starken Aufschwung genommen. Die Anlagen werden dabei für die speziellen Offshore-Bedingungen umkonstruiert und teilweise vollständig neue Lösungen für Teilaufgaben entwickelt. Eines der größten Probleme bei dem Ausbau der Offshore-Windenergienutzung sind die hohen Kosten hauptsächlich für die Gründung der Anlagen und die Netzanbindung an das Land.

**[0003]** Als Gründung kommen verschiedene Konstruktionen zum Einsatz. Im Flachwasserbereich bis ca. 5–7 m ist die Verwendung von Senkkastenfundamenten in Betonbaubauweise vorteilhaft. Dabei wird ein im Trockendock vorgefertigter schwimmfähiger Betonhohlkörper an den Standort geschleppt und dann durch eingebrachten Ballast versenkt. Dabei muss der Meeresboden eingeebnet und vorbereitet werden. Die Standfestigkeit dieser Gründungsform wird durch die Schwerkraft des Bauteils erreicht.

**[0004]** Für Wassertiefen zwischen ca. 7 bis 20 m ist der sogenannte Monopile eine kostengünstige Gründungsvariante. Dieser Monopile wird mit einer Ramme am vorgesehenen Standort in den Meeresboden eingetrieben. Die Einbindelängen sind dabei je nach Bodenbeschaffenheit und Anlagengröße bis zu ca. 30 m. Der Monopile besteht aus einem einfachen zylindrischen Rohr, das in den Wandstärken den örtlichen Festigkeitsanforderungen angepasst ist. Diese Standfestigkeit wird bei dieser Gründung durch die Einleitung von Querkräften und Biegemomenten in den Meeresboden erreicht. Die Monopile-Konstruktion ist eine Gründungslösung mit sehr hohem Gewicht, wobei die spezifischen Kosten pro Masse durch die Einfachheit der Konstruktion allerdings gering sind. Bei größerer Wassertiefe und großen Anlagen (z. B. 5 MW) werden die erforderlichen Durchmesser, Blattstärken, Längen und damit das Gesamtgewicht so hoch, dass die Kosten allerdings wieder sehr stark ansteigen. Ein Monopile mit Durchmesser von 5 bis 7 m und Wandstärken bis zu 50–70 mm wird dann aus einzelnen vorgebogenen Blechelementen zusammen geschweißt, was einen großen Fertigungsaufwand bedeutet. Die Preise pro Tonne Rohr bewegen sich dann über 1000 EUR/t. Ferner sind die Rammmöglichkeiten stark eingeschränkt.

**[0005]** Für größere Wassertiefen jenseits der 20 m

sind daher Tripod- oder Jacket-Fundamente vorgeschlagen worden. Tripod-Fundamente bestehen aus einer aufgelösten Struktur mit drei Beinen, wobei die Lasten aus der Windenergieanlage über jeweils zwei Tragbalken zwischen dem Zentralrohr und dem Beinanschlusssteil übertragen werden. Die Beinanschlusssteile werden durch je einen Ramppfahl mit dem Meeresboden verbunden, wobei zwischen Ramppfahl und Beinanschlusssteilen ein Vergrouten (Verkleben) durchgeführt wird. Der Lasteintrag in den Meeresboden wird dabei auf die drei Ramppfähle verteilt, die im wesentlichen Quer- und Längskräfte aufnehmen müssen.

**[0006]** Diese Konstruktionslösung ist dadurch charakterisiert, dass relativ große Rohrdurchmesser miteinander verschnitten und verschweißt werden müssen. Dieses ist nicht nur sehr kostenintensiv, sondern auch sehr fehleranfällig und damit sehr ungeeignet für hohe dynamische Belastungen, da die Kerbeinwirkungen sehr hoch sind. Da Windenergieanlagen Maschinen mit sehr hohen dynamischen Lasten bei gleichzeitig hohen Lastwechselzahlen darstellen, müssen die Knotenpunkte mit deren Verschweißungen extrem stark dimensioniert werden und mit hohem Aufwand auf die Schweißgüte hin geprüft werden. Ferner sind auch laufend wiederkehrende Prüfungen an den Knoten vorzunehmen. Der Ersatz der Schweißverbindungen durch Gussteile ist auch untersucht worden. Dabei müssen dann bei einem Tripod fünf Knotenpunkte mit zehn Rohren verbunden werden. Die Tripodlösung mit drei Beinen kann bei größeren Anlagen mit höheren Lasten auch auf eine Ausführung mit mehr als drei Beinen übertragen werden. Der Aufwand für die weiteren Knotenverbindungen steigt dabei entsprechend an.

**[0007]** Bei dem Jacket-Fundament wird das Gründungsteil quasi als Gitterstruktur aus Rohren mit relativ geringen Abmessungen aufgebaut. Diese Rohre sind auf Grund der Durchmesser relativ kostengünstig, da diese industriell und fast vollautomatisch produziert werden können. Die Rohrpreise für Durchmesser unterhalb von ca. 2,0–2,2 m sind unter 800 EUR/t. Doch die Vielzahl der Verschweißungen macht die Fertigung sehr teuer und erhöht den Aufwand für diese Qualitätssicherung gegenüber der Tripodlösung noch weiter. Ein Jacket-Fundament wird üblicher Weise mit vier annähernd senkrechten Tragrohren ausgeführt, die mit dem Meeresboden über Ramppfähle verbunden werden. Auf Grund der vielen Rohrverschneidungen, die wieder verschweißt werden müssen, ergeben sich bezüglich der dynamischen Belastungen sehr hohe Kerbfaktoren, die bei der Auslegung berücksichtigt werden müssen. Dieses führt zu einer schlechten Materialausnutzung und damit zu schweren und kostenintensiven Bauteilen.

**[0008]** Alternativ zu den Ramppfählen können auch

sogenannte suction buckets (Saugnäpfe) zur Befestigung am Meeresboden verwendet werden. Dabei wird in einem nach unten offenen Hohlkörper ein Unterdruck erzeugt, der die Gründung am Boden festsaugt und damit die Standfestigkeit erzeugt.

**[0009]** Alle diese Konstruktionen sind aus der Offshore-Ölindustrie abgeleitet worden, wo die Kostensituation nicht im Vordergrund steht, die Gründung keine hohen dynamischen Belastungen ertragen müssen und keine Serienproduktionsanforderungen gestellt werden. Die Situation bei der Offshore-Windenergienutzung ist in allen drei Punkten konträr. Die Kostensituation ist für die Auslegung der Designdriver, die dynamischen Belastungen sind extrem hoch und die Konstruktion ist in serientauglicher Ausführung zu gestalten.

**[0010]** Ziel der Erfindung ist es daher, eine Gründung für Offshore-Windenergieanlagen zu schaffen, die aus kostengünstig zu fertigenden Rohren mit relativ kleinem Durchmesser aufgebaut ist, über eine möglichst kleine Anzahl von Knotenelementen (vorzugsweise ein Knotenelement) verfügt und konstruktions- und ausführungsbedingt nur geringe Kerbfaktoren mit einer guten Materialausnutzung aufweist.

**[0011]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst, die Unteransprüche geben vorteilhafte Ausgestaltungen an.

**[0012]** Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltungen wird sichergestellt, dass die Last des Turms im wesentlichen vertikal durch das Lastverteilungselement hindurch in die Gründungsbeine eingeleitet wird.

**[0013]** Die o. g. Auslegungskriterien werden optimal dadurch erreicht, dass der Turm der Windenergieanlage, der die Lasten der den Rotor tragenden Gondel aufnimmt, von einem Lastverteilungselement getragen wird, an das eine Vielzahl (mindestens drei) von vorzugsweise zylindrischen Gründungsbeinen angeschlossen wird. Das Lastverteilungselement verteilt die Lasten auf die einzelnen Gründungsbeine, die in einen gegenüber der Vertikalen nach außen geneigten Winkel angeordnet sind. Das Lastverteilungselement ist dabei als möglichst biegesteife Struktur auszubilden, damit die Gründungsbeine weitestgehend nur Druck- oder Zugkräfte aufnehmen müssen. Dieses Lastverteilungselement kann dabei als geometrisch optimiertes Gussbauteil mit geringen Kerbfaktoren ausgelegt werden. Die Gründungsbeine können aus Rohren mit kleinem Durchmesser industriell und kostengünstig hergestellt werden. Die Verbindung zwischen dem Lastverteilungselement und den Gründungsbeinen ist vorzugsweise durch Schraubverbindungen hergestellt. Eine Schweißausführung mit einer entsprechenden Anschlussausbildung ist aber ebenfalls denkbar.

**[0014]** Der Spreizungswinkel in dem die Gründungsbeine gegenüber der Senkrechten angebracht werden, beträgt sinnvoller Weise zwischen  $10^\circ$  bis zu  $30^\circ$ . Damit kann die Gründung auch hohe Horizontallasten in den Meeresboden abtragen. Die Anzahl der Gründungsbeine können je nach Belastung und Wassertiefe gewählt werden, wobei drei Beine ein Minimum darstellen. Auf Grund der geometrischen Verhältnisse zwischen erforderlichem Turmdurchmesser und kostengünstigem Rohrdurchmesser für die Gründungsbeine ist eine Gründungsbeinanzahl von fünf bis acht besonders sinnvoll. Das untere Ende der Gründungsbeine steht auf dem Meeresboden, wobei über die Anbringung von entsprechend dimensionierten Gründungsplatten ein Absinken in den Meeresboden weitestgehend vermieden wird. In den Gründungsrohren können als eine Variante die Rammrohre für den Transport untergebracht werden. Die gesamte Gründung wird im Herstellungshafen zusammengebaut und in einem Stück an den Standort verbracht.

**[0015]** Nach dem Absetzen der Gründung am vorgesehenen Standort können die Rammrohre mit der in den Gründungsbeinen geführten Ramme so tief in den Meeresboden verbracht werden, dass die erforderliche Einrammlänge erreicht wird. Dadurch wird die Einbindung der Gründung in den Meeresboden erreicht.

**[0016]** Bevor die dauerhafte Verbindung zwischen den Gründungsbeinen und den Rammrohren hergestellt wird, kann die gesamte Struktur mit ihrem Befestigungsflansch an der Oberseite des Lastverteilungselements horizontal ausgerichtet werden, damit der später aufgesetzte Turm annähernd senkrecht stehen wird. Dieses Ausrichten kann durch geeignete Verstellelemente zwischen den Gründungsbeinen und den Rammrohren bewerkstelligt werden.

**[0017]** Die Lasten der WEA werden über die schrägestellten Gründungsbeine und die in dieser Verlängerung stehenden Rammrohre in den Meeresboden im wesentlichen als Zug/Druck-Kräfte in den Meeresboden eingeleitet.

**[0018]** Die hier vorgeschlagene Ausbildung der Gründung hat die erheblichen Vorteile, dass zum einen nur ein Knotenelement zur Lastverteilung vorhanden ist, das als Gussteil dem Kräftefluss entsprechend und gewichtsoptimal aufgeführt werden kann und zum anderen handelsübliche und damit kostengünstige zylindrische Rohre mit relativ geringen Durchmesser als Gründungsbeine eingesetzt werden können, die über ihre ganze Länge strukturell nicht gestört sind.

**[0019]** Das Lastverteilungselement wird sinnvoller Weise oberhalb der Wasseroberfläche höher als die maximale Wellenhöhe angeordnet. Damit können an

dieser Struktur auch evtl. erforderliche Container zur Aufnahme von Subsystemen der Windenergieanlage angebracht werden. Ferner können auch die Rammarbeiten für die Ramppfähle von dieser Struktur aus durchgeführt werden, ohne dass ein Versorgungs- oder Begleitschiff erforderlich ist. Alle notwendigen Werkzeuge und Hilfsmittel können auf oder an dem Lastverteilungselement aufbewahrt oder befestigt werden. Für die Zeit der Durchführung der Rammarbeiten kann das Lastverteilungselement mit einem Abdeckelement vor Witterungseinflüssen geschützt werden.

**[0020]** Zur Durchführung der Rammarbeiten ist die Ramme mit Führungselementen auszurüsten, die die Ramme innen im Gründungsbein sicher führt und ein ausgerichtetes Herablassen im Gründungsbein bis zum Rammpfahl ermöglicht. Während des Rammvorganges wird die Ramme ebenfalls über ihre Führungselemente im Gründungsbein geführt. Auch die Rammrohre werden über Führungselemente weitestgehend in der Achse der Gründungsbeine geführt. Dabei sind Führungselemente am unteren Ende der Gründungsbeine und am oberen Ende der Rammrohre besonders vorteilhaft. Nach dem Rammen der Rohre wird mit Hilfe geeigneter Verklebemasse eine feste Verbindung zwischen Rammrohr und Gründungsbein hergestellt. Dabei wird der Verkleberaum nach unten hin mit einer aufblasbaren Gummimanschette gegenüber dem Meerwasser abgedichtet und über ein Rohr die Verklebemasse von unten dem Verkleberegion zugeführt. Dieser härtet dort aus und ergibt eine feste Verbindung der beiden Elemente.

**[0021]** Nach dem Aushärten der Verklebung (Vergroutung) zwischen den Gründungsbeinen und den jeweiligen Rammrohren wird die WEA durch ein geeignetes Montageschiff angeliefert. Dieses Schiff übernimmt zunächst die auf dem Lastverteilungselement angebrachte Rammvorrichtung und stellt danach die WEA mit Turm auf dem Lastverteilungselement ab, mit der der Turm verschraubt wird.

**[0022]** Sollte die Wassertiefe so groß werden, dass die Gründungsbeine knick- oder beulgefährdet werden, können horizontale Verbindungsrohre, die mit den Gründungsbeinen verbunden sind, die Knicklängen erheblich reduzieren. Diese Verbindungsrohre müssen nicht mit aufwendigen Knotenelementen eingebunden werden, sondern können über Klemmelemente von außen mit den Gründungsbeinen verbunden werden.

**[0023]** Alternativ zu der Befestigung der Gründung mit Hilfe der Rammrohre kann dies bei geeigneten Bodenverhältnissen auch mit sogenannte suction buckets geschehen. Dafür werden an den unteren Enden der Gründungsbeine nach unten offene Hohlkörper angebracht. Nach dem Absetzen der Gründung

auf den Meeresgrund wird der Hohlraum mit einem Unterdruck beaufschlagt, so dass sich der Hohlkörper in den Meeresboden hineindrückt. Durch die Druckdifferenz zwischen dem Wasserdruck in Meeresgrundhöhe und dem Innendruck in dem Hohlkörper wird eine Haltekraft an jedem Hohlkörper erreicht, wodurch die Standfestigkeit des Bauwerkes erreicht wird.

**[0024]** Bei entsprechender Dimensionierung der Hohlkörper kann durch das Ausblasen des Wassers aus den Hohlkörper durch Druckluft die Schwimmfähigkeit der gesamten Gründungs erreicht werden. Dieses kann für den einfachen Transport vom Herstellungshafen an den Standort mit Hilfe eines Schleppers genutzt werden. Auf dem Lastverteilungselement ist dafür eine geeignete Druckluftpumpe mit einem Verteilerblock mit Ventilen vorhanden. Für das spätere Festsaugen am Standort befindet sich auf dem Lastverteilungselement ebenfalls eine Vakuumpumpe, die über das gleiche Verteilersystem arbeiten kann. Über die Steuerung der Unterdrücke in den Hohlkörper einzelner Gründungsbeine kann die gesamte Gründung ausgerichtet werden, so dass der Befestigungsflansch des Lastverteilungselements für den Turm in eine annähernd horizontale Position gebracht wird.

**[0025]** Ein großer Vorteil dieses Befestigungsverfahrens ergibt sich daraus, dass die Gründung nach dem Erreichen der Lebensdauer bzw. dem Erlöschen der Betriebsgenehmigung leicht wieder zu entfernen ist, indem die Hohlkörper mit Druckluft beaufschlagt werden, wodurch die gesamte Gründung sich wieder aus dem Meeresboden löst und zur Entsorgung wieder schwimmfähig wird.

**[0026]** Ein weiterer Vorteil der suction buckets gegenüber der Befestigung mit Rammfählen ist die geringe Geräuschbelastung für die Meeresbewohner während des Befestigungsvorgangs.

**[0027]** Der Zugang für die Offshore-WEA ist von unten durch eine Durchstiegsöffnung in dem Lastverteilungselement vorgesehen. Mit einem kleinen Wartungsschiff ist es möglich zwischen den Gründungsbeinen hindurch in den Innenteil der Gründung zu kommen. Zwischen diesen Rohren kann das Wartungsschiff eine sichere Position einnehmen, um von dort das Wartungspersonal auf die Windenergieanlage übersteigen zu lassen. Als weitere Variante besteht die Möglichkeit in die Gründung einen Hebemechanismus zu integrieren, der das innerhalb der Gründungsbeine befindliche Wartungsschiff anhebt und damit aus dem Bereich der Wellen heraushebt. Diese Vorrichtung ermöglicht einen gefahrlosen Zugang zur WEA durch den Einstieg von unten in das Lastverteilungselement.

**[0028]** Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung

werden im folgenden anhand der beigefügten Zeichnung erläutert. Dabei zeigt

[0029] [Fig. 1](#) die fertig installiert Windenergieanlage am Offshore-Standort,

[0030] [Fig. 2](#) die schwimmende Gründung gezogen von einem Schlepper,

[0031] [Fig. 3](#) den Rammvorgang am Offshore-Standort,

[0032] [Fig. 4](#) die Verbindung der Gründungsbeine untereinander,

[0033] [Fig. 5](#) das Gründung mit suction buckets,

[0034] [Fig. 6](#) die Errichtung der WEA auf der Gründung,

[0035] [Fig. 7](#) das Wartungsschiff zwischen den Gründungsbeinen und

[0036] [Fig. 8](#) den Hubvorgang für das Wartungsschiff

[0037] [Fig. 9](#) das Lastverteilungselement in einer perspektivischen Ansicht, und

[0038] [Fig. 10](#) eine die Verschraubung zwischen Turm, Lastverteilungselement und Gründungsbeinen zeigende Schnittansicht.

[0039] Die in der [Fig. 1](#) dargestellte, fertig installierte Offshore-Windenergieanlage besteht aus einem Rotor 1, der die Energie des Windes in einer nutzbare Energieform umwandelt. In der Gondel 3 der Anlage sind die dafür erforderlichen Elemente und Bauteile untergebracht. Diese Gondel 3 ist über eine Drehverbindung mit dem Turm 5 verbunden. Der Turm 5 hat an seinem unteren Ende einen Flansch. Über geeignete Verbindungselemente ist der Turm 5 mit dem Lastverteilungselement 7 verbunden. Mit dem Lastverteilungselement 7 sind eine Vielzahl von Gründungsbeinen 9 in einem flachen Winkel von 10° bis 30° gegenüber der Senkrechten verbunden. Die Gründungsbeine 9 werden über Rammrohre 11, die in den Meeresboden 17 eingebracht worden sind, verbunden. An den unteren Enden der Gründungsbeine sind Fußplatten 13 angebracht, um ein Einsinken der Struktur in den Meeresboden 17 zu vermindern. Zwischen den Gründungsbeinen 9 und den Rammrohren 11 ist eine Verklebung 15 mit einem geeigneten Material, beispielsweise Beton, vorgesehen. Die Gründung 10 mit seinen Gründungsbeinen 9 ist von der Bauhöhe so dimensioniert, dass die größte anzunehmende Welle 19 das Lastverteilungselement 7 nicht erreicht. An das Lastverteilungselement 7 können weiterhin Container 21 zur Aufnahme von Subsystemen wie Schaltanlage, Wechselrichter

usw. befestigt werden.

[0040] [Fig. 2](#) zeigt den Schleppvorgang einer schwimmenden Gründung 10. In diesem Zustand sind die Rammpfähle 11 in den Gründungsbeinen 9 noch eingefahren und werden über die Führungselemente 25 und 27 fixiert. Am unteren Ende der Gründungsbeine befinden sich Auftriebstanks 23, die mit Luft gefüllt sind und damit die Schwimmfähigkeit der gesamten Struktur bewirken. Der Schlepper 29 ist über das Schleppseil 31 mit der Gründung 10 verbunden und schleppt das Teil an den vorgesehen Standort. Dabei ist über dem Lastverteilungselement 7 ein Schutzhaus 33 angebracht, in dem die Ramme 35 und die erforderlichen Hilfsaggregate 39 untergebracht sind. Die Ramme 35 ist beweglich an der Rammenführung 37 befestigt, um den späteren Rammvorgang zu ermöglichen.

[0041] [Fig. 3](#) zeigt den Rammvorgang am Offshore-Standort. Dort werden zunächst die Auftriebstanks 23 geflutet und die Gründung 10 auf den vorgesehenen Standort auf dem Meeresboden 17 abgeseht. Danach werden die Rammpfähle 11 nacheinander mit der Ramme 35 in den Meeresboden 17 getrieben. Das Rammrohr 11 wird dabei über die obere Führung 27, die am Rammrohr 11 befestigt ist, und die untere Führung 25, die im Gründungsbein 9 befestigt ist, im Gründungsbein 9 geführt. Die Ramme 35 selbst ist ebenfalls über Führungselemente 36 in den Gründungsbeinen 9 zentrisch geführt. Am unteren Ende des Gründungsbeines 9 ist eine aufblasbare Manschette 41 vorhanden, die den Hohlraum im Gründungsbein gegenüber dem Meerwasser 19 abschließt. Mit Hilfe der Rammenführung 37 kann die Ramme 35 nach einer Rammung wieder aus dem jeweiligen Gründungsbein 9 nach oben gezogen werden und in das nächste Gründungsbein 9 bis zum Rammpfahl 11 herabgelassen werden.

[0042] [Fig. 4](#) zeigt eine Gründung für sehr große Wassertiefen 19, wo sich große Knicklängen für die Gründungsbeine 9 ergeben. Über die Einspannung der Gründungsbeine 9 an dem Lastverteilungselement 7 und den Rammpfählen 11, die über die Verklebung 15 mit dem Meeresboden 17 verbunden sind, ergibt sich die Knicklänge der Gründungsbeine 9. Sollte es mit den preisgünstigen Rohren bis ca. 2,2 m Durchmesser nicht mehr möglich sein, diese Bauelemente knicksicher nachweisen zu können, ist es möglich, zwischen dem Lastverteilungselement 7 und dem Meeresboden 17 sich zwischen den Gründungsbeinen 9 horizontal erstreckende Versteifungsrohre 43 einzubauen. Diese Versteifungsrohre 43 werden dabei vorzugsweise über Klemmelemente 45 mit den Gründungsbeinen 9 kraftschlüssig von außen verbunden. Diese horizontale Verbindung der Gründungsbeine 9 untereinander vermindert die Knicklänge deutlich.

[0043] **Fig. 5** zeigt eine Variante mit sogenannten suction buckets. Dabei sind an den Enden der Gründungsbeine **9** nach unten offene Hohlkörper oder Saugnäpfe **47** angebracht oder sind integraler Bestandteil der Gründungsbeine **9**. Diese Saugnäpfe **47** können für den Schwimmvorgang vom Wasser befreit und mit Luft gefüllt werden. Dies geschieht über eine Druckluftpumpe **51**, die die Luft über die Verbindungsleitung **49** in die Saugnäpfe **47** befördert. Ein Auftreiben entsteht, die Gründung **10** ist schwimmfähig. Am Offshore-Standort wird die Luft über dem Verteilerblock **55** abgelassen und das Bauteil abgesenkt. Danach wird über die Vakuumpumpe **53** ein Unterdruck in den Saugnäpfen **47** erzeugt, der die Saugnäpfe **47** in den Meeresboden **17** einbringt und für die Standfestigkeit der Gründung **10** sorgt. Der Druckraum kann dabei durch die Schottwand **57** begrenzt sein oder auch vollständig die Gründungsbeine **9** mit einbeziehen.

[0044] **Fig. 6** zeigt die Errichtung der WEA bestehend aus Turm **5**, Gondel **3** und Rotor **1** auf der Gründung **10**. Dabei hebt eine Jack-up-barge **59** die über ihre Standpfähle **61** auf dem Meeresboden steht die WEA auf der Gründung **10**. Der Turm **5** wird dann durch geeignete Verbindungselemente mit der Gründung **10** verbunden. Vorzugsweise werden dafür Schrauben mit dazugehörigen Muttern und Unterlegscheiben verwendet.

[0045] **Fig. 7** zeigt ein kleines Wartungsschiff **63**, das Personal für Wartungs- oder Instandhaltungsarbeiten auf die Anlage absetzen soll. Dafür fährt das Wartungsschiff **63** zwischen die Gründungsbeine **9** der Gründung **10**. Bei genügend ruhiger See kann das Personal über die Einstiegsleiter **65** und das Durchstiegsloch **67** des Lastverteilungselements **7** den Turm **5** der WEA erreichen, um die erforderlichen Arbeiten durchführen zu können.

[0046] **Fig. 8** zeigt, wie das Wartungsschiff **63** über eine Hubplattform **69** bei stärkerem Seegang oder für längere Aufenthalte aus dem Wasser gehoben wird. Dabei wird die Hubplattform **69** über Hubelemente **71** an den Gründungsbeinen **9** oder dem Lastverteilungselement **7** oberhalb der Wasseroberfläche **73** bewegt. Dadurch kommt das Wartungsschiff **63** in eine feste Position, so dass das Wartungspersonal gefahrlos über die Einstiegsleiter **65** und das Durchstiegsloch **67** in die WEA gelangen kann. Nach Beendigung der Wartungs- oder Instandhaltungsarbeiten kann die Hubplattform **69** wieder abgesenkt werden bis das Wartungsschiff **63** wieder schwimmt und sich von der WEA wegbewegen kann.

[0047] **Fig. 9** zeigt das Lastverteilungselement **7**, das als Gussteil hergestellt werden kann. Dabei wird der obere Flansch **75** mit dem oberen Turmflansch verbunden. In der Mitte des Lastverteilungselementes **7** ist das Durchstiegsloch **67** vorgesehen. Um die-

ses Durchstiegsloch **67** herum sind kreisförmig die Gründungsbeinöffnungen **79** angeordnet. Durch diese Öffnungen kann die Ramme für das Eintreiben der Rammrohre in die Gründungsbeine eingeführt werden. Zur Versteifung des Bauteils sind zwischen den Gründungsbeinöffnungen **79** Stege **77** vorgesehen. Zur Herstellung der Schraubverbindungen zwischen dem Lastübertragungselement **7** und den Gründungsbeinen sind Bohrungen **81** kreisförmig um die Gründungsbeinöffnungen **79** in dem Lastübertragungselement **7** angeordnet.

[0048] **Fig. 10** zeigt die Verbindung der Bauteile Turm **5**, Lastverteilungselement **7** und den Gründungsbeinen **9** miteinander. Dabei wird der untere Turmflansch **83** mit dem oberen Flansch **75** des Lastverteilungselementes **7** mit Hilfe einer Vielzahl von Schrauben **85** verbunden. Die Gründungsbeine **9** weisen an ihrem oberen Ende einen Flansch **89** auf, der mit Sacklochinnengewinden versehen ist. Mit Hilfe einer Vielzahl von Befestigungsschrauben **87**, die durch die Bohrungen **81** geführt werden, werden die Gründungsbeine **9** mit dem Lastverteilungselement **7** verschraubt. Die Innendurchmesser der Flansche **89** sind bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel in der gleichen Abmessung ausgeführt wie der Innendurchmesser der Gründungsbeine. Wenn auch noch der Rohrdurchmesser der Gründungsbeinöffnungen **79** in der gleichen Abmessung ausgeführt wird, erhält man eine glatte Innenfläche ohne Absätze. Die Ramme kann dann einfach in die Gründungsbeine eingeführt werden.

[0049] In **Fig. 10** ist weiter die Lage der Mittelachsen **M** der Gründungsbeine **9** zu erkennen, die die umschriebene Kreisfläche **K** des Außendurchmessers des Turmes **5** in der Verbindungsebene **V** zwischen Turm **5** und Lastverteilungselement **7** schneiden.

### Patentansprüche

1. Gründung für eine Offshore-Windenergieanlage (WEA), mit einem den Turm (**5**) der WEA mit Gondel (**3**) und Rotor (**1**) tragenden Lastverteilungselement (**7**) und einer Mehrzahl von das Lastverteilungselement (**7**) tragenden, gegenüber der Vertikalen schräg nach außen verlaufenden Gründungsbeinen (**9**), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mittelachsen (**M**) der Gründungsbeine (**9**) die von dem Außendurchmesser des Turms (**5**) in der Verbindungsebene (**V**) des Lastverteilungselementes (**7**) mit dem Turm (**5**) umschriebene Kreisfläche (**K**) schneiden.

2. Gründung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass fünf bis acht Gründungsbeine (**9**) vorgesehen sind.

3. Gründung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass sechs Gründungsbeine (**9**) vorgese-

hen sind.

form (69) wirkende Hubeinrichtung (71).

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

4. Gründung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Lastverteilungselement (7) als Gussteil ausgebildet ist.

5. Gründung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gründungsbeine (9) in einem Winkel zwischen 5° und 30° zur Senkrechten nach außen verlaufen.

6. Gründung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Turm (5) und die Gründungsbeine (9) mit zur Verschraubung mit dem Lastverteilungselement (7) dienenden Befestigungsflanschen versehen sind.

7. Gründung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gründungsbeine (9) miteinander durch sich horizontal erstreckende Versteifungsrohre (43) verbunden sind.

8. Gründung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gründungsbeine (9) als Führung für in den Meeresboden (17) einzurammende Rammrohre (11) ausgebildet sind.

9. Gründung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Gründungsbeine (9) mit auf dem Meeresboden aufliegenden Fußplatten (13) versehen sind.

10. Gründung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Gründungsbeine (9) mit auf den Meeresboden wirkenden Saugnäpfen (47) versehen ist.

11. Gründung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass den schwimmenden Transport der vormontierten Gründung (10) erlaubende Schwimmkörper vorgesehen sind.

12. Gründung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Lastverteilungselement (7) mit einem einen Zugang zu dem Inneren des Turms (5) erlaubenden Durchstiegsloch (67) versehen ist.

13. Gründung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Lastverteilungselement (7) oberhalb der höchsten anzunehmenden Welle angeordnet ist.

14. Gründung nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine an dem Lastverteilungselement (7) oder im oberen Bereich der Gründungsbeine (9) angebrachte, auf eine Hubplatt-

Anhängende Zeichnungen

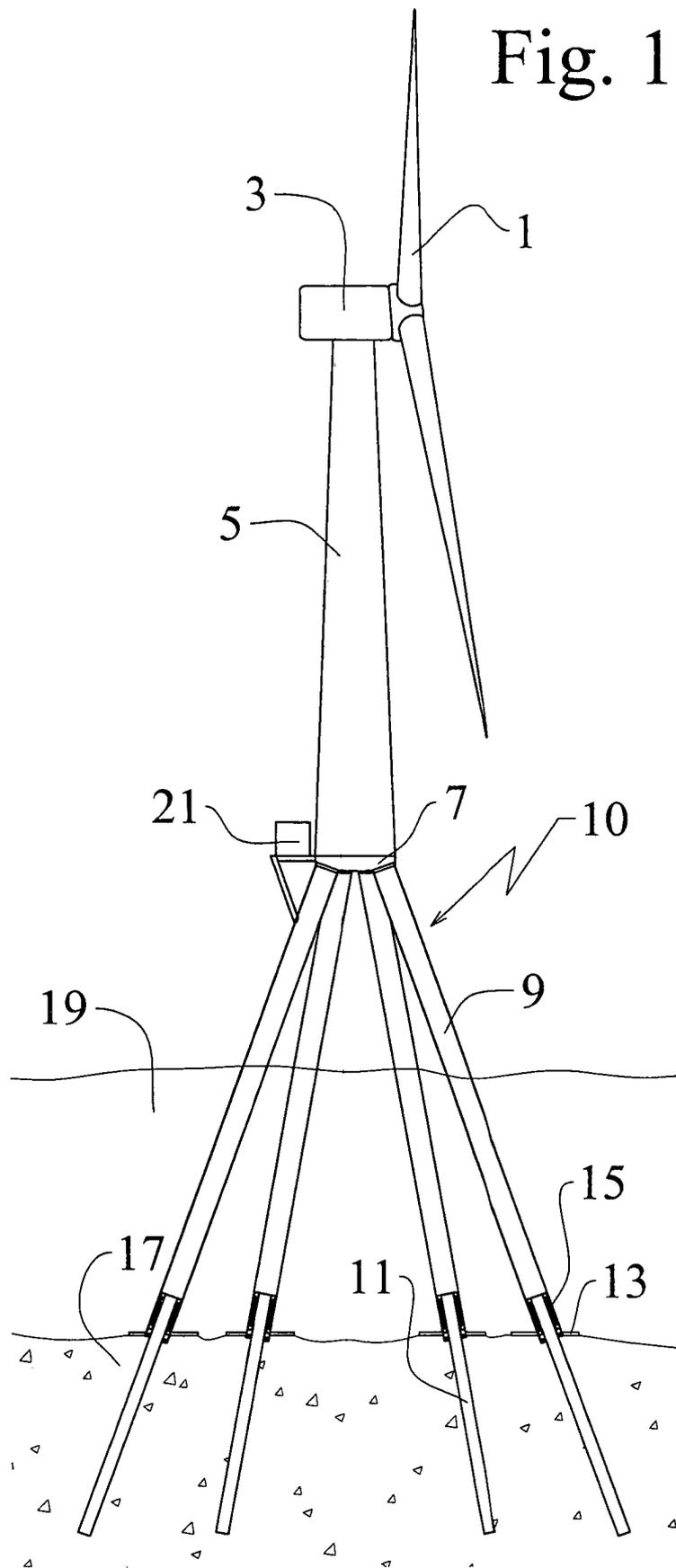


Fig. 2

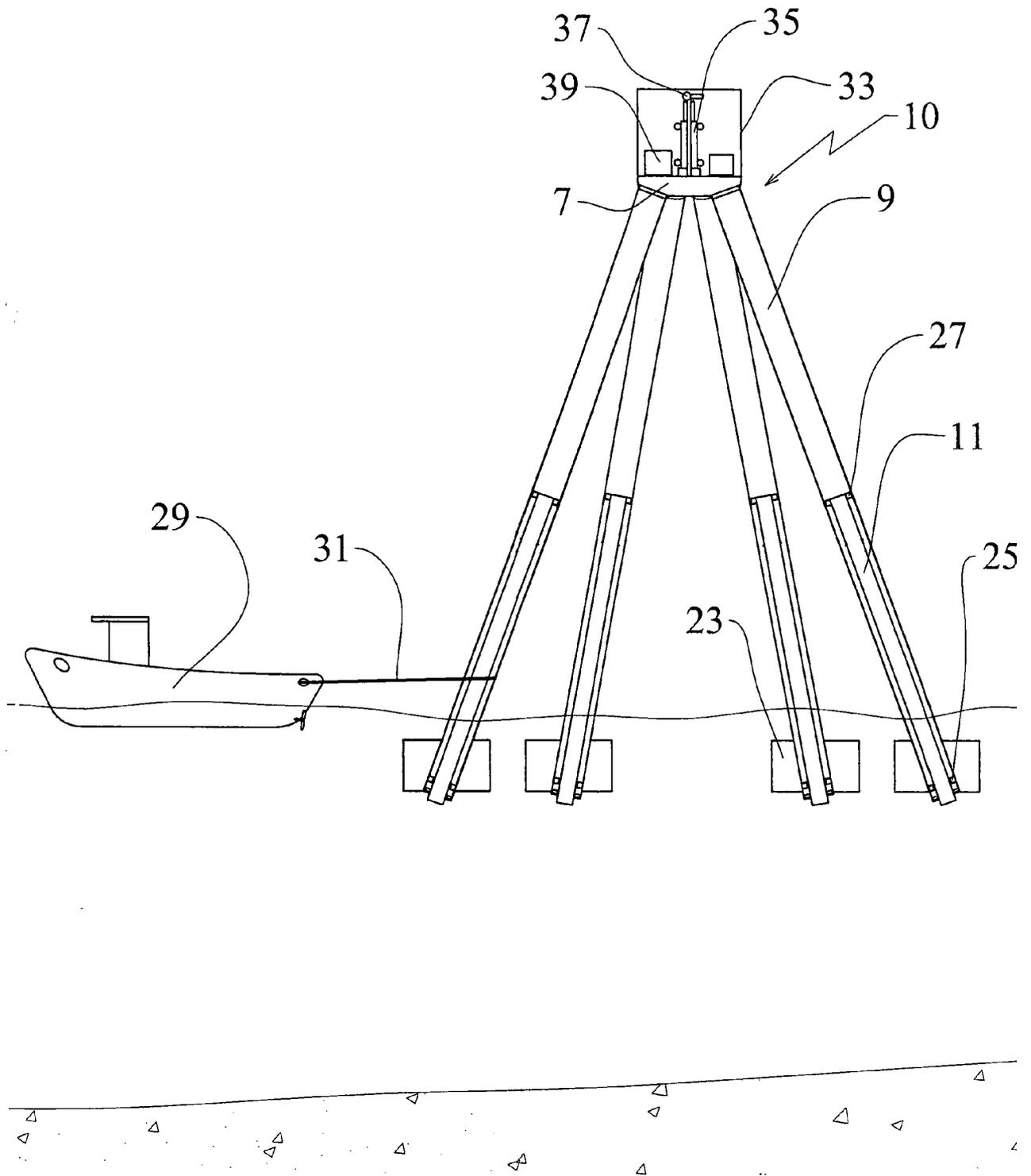


Fig. 3

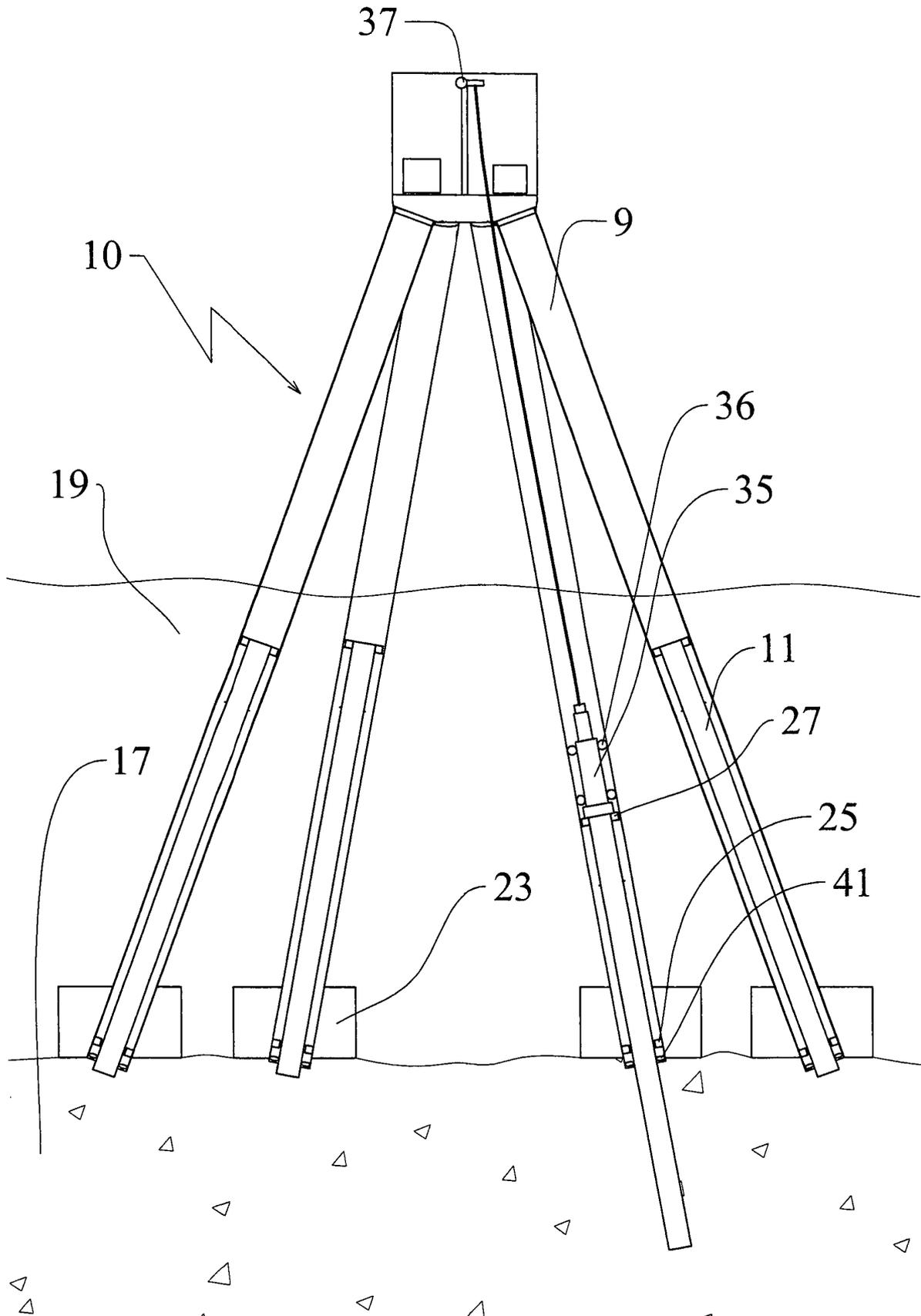


Fig. 4

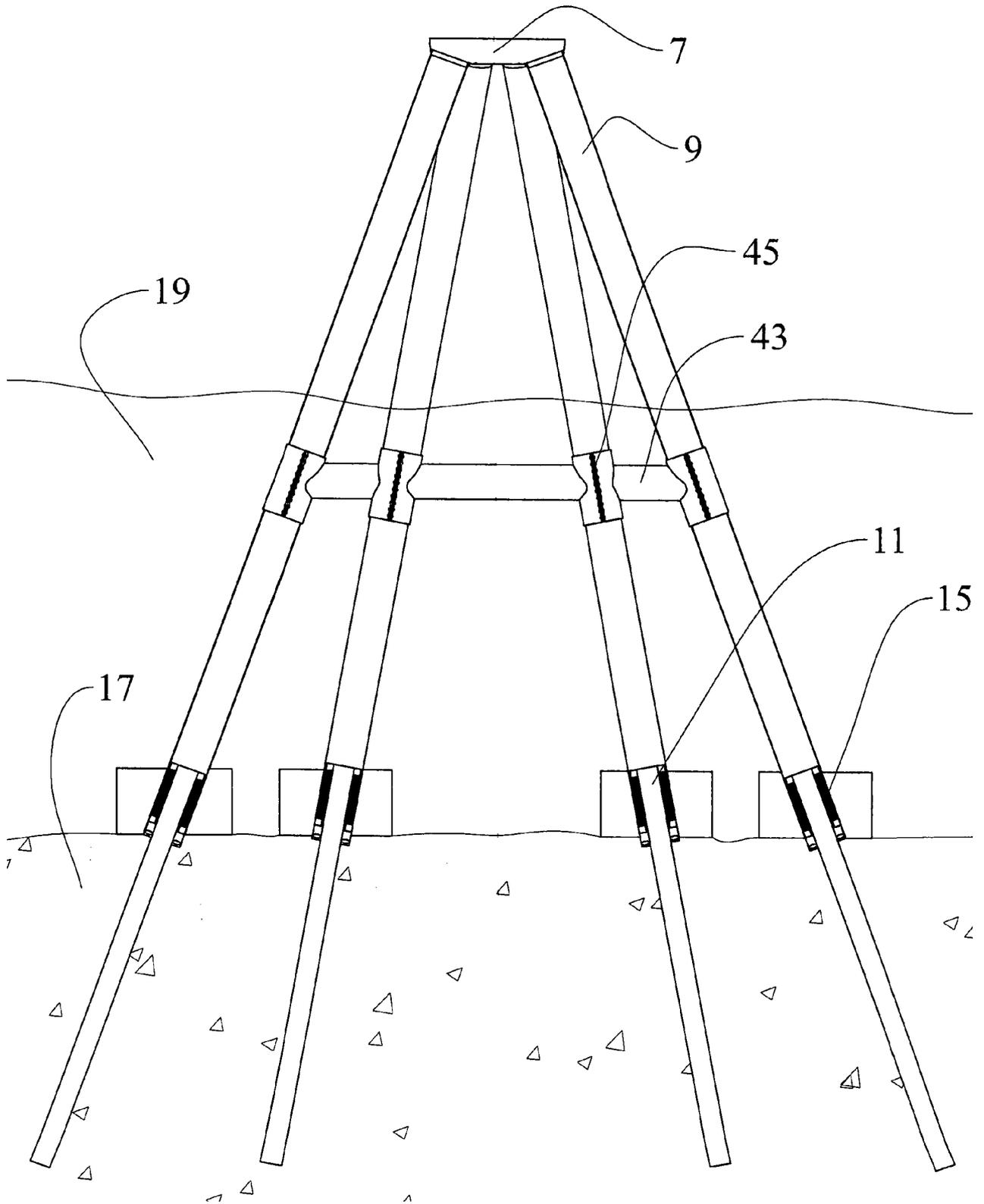


Fig. 5

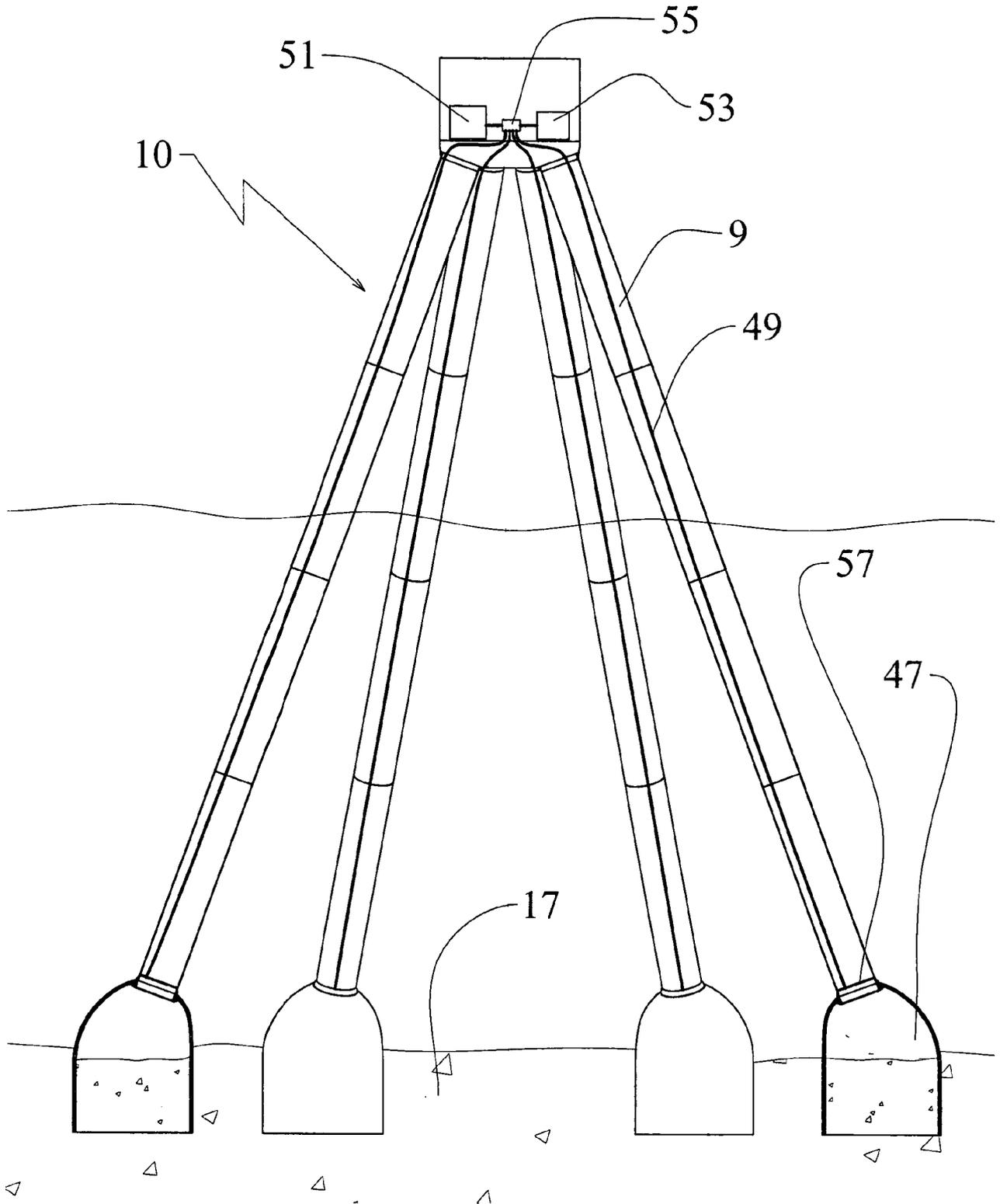


Fig. 6

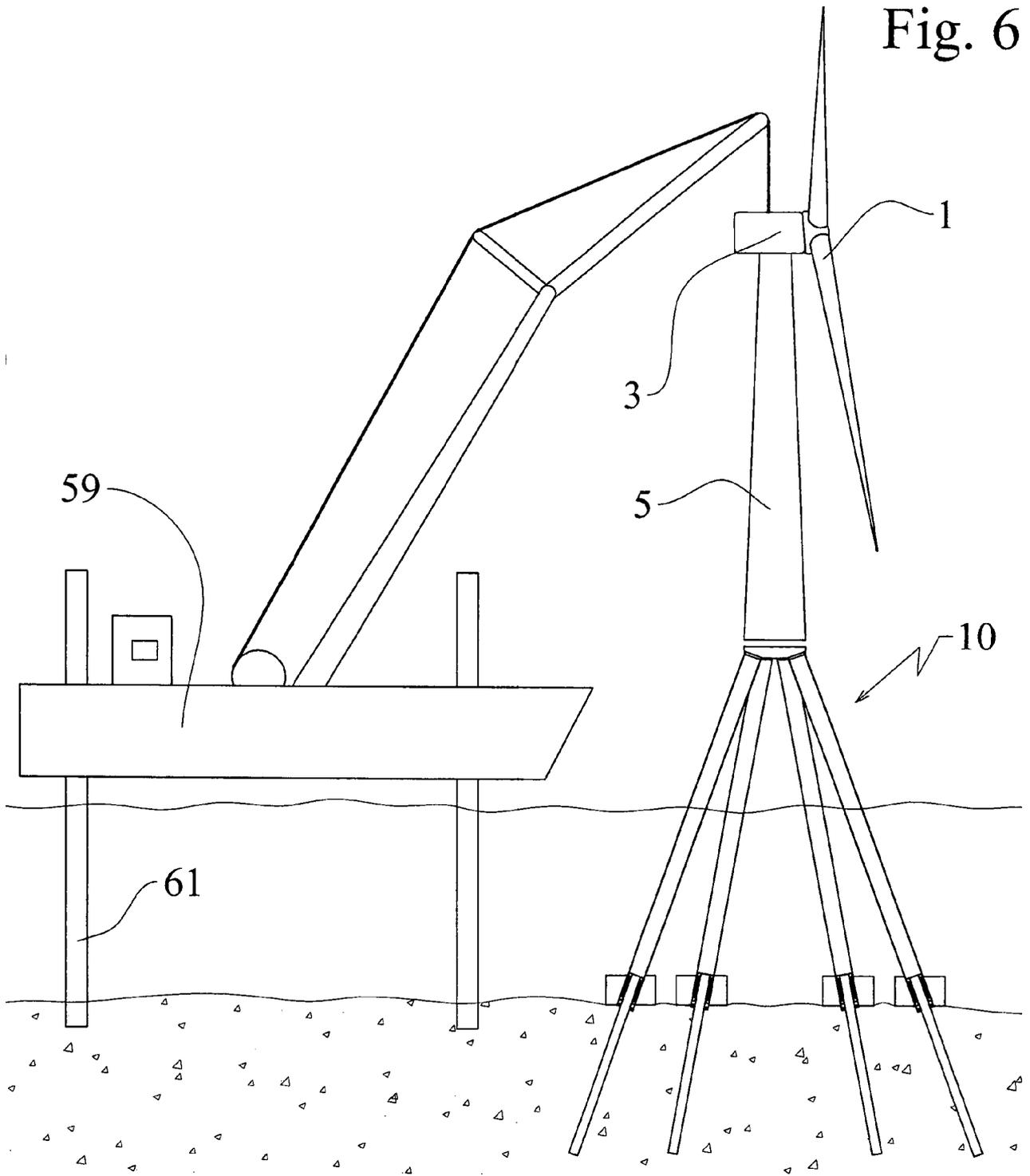


Fig. 7

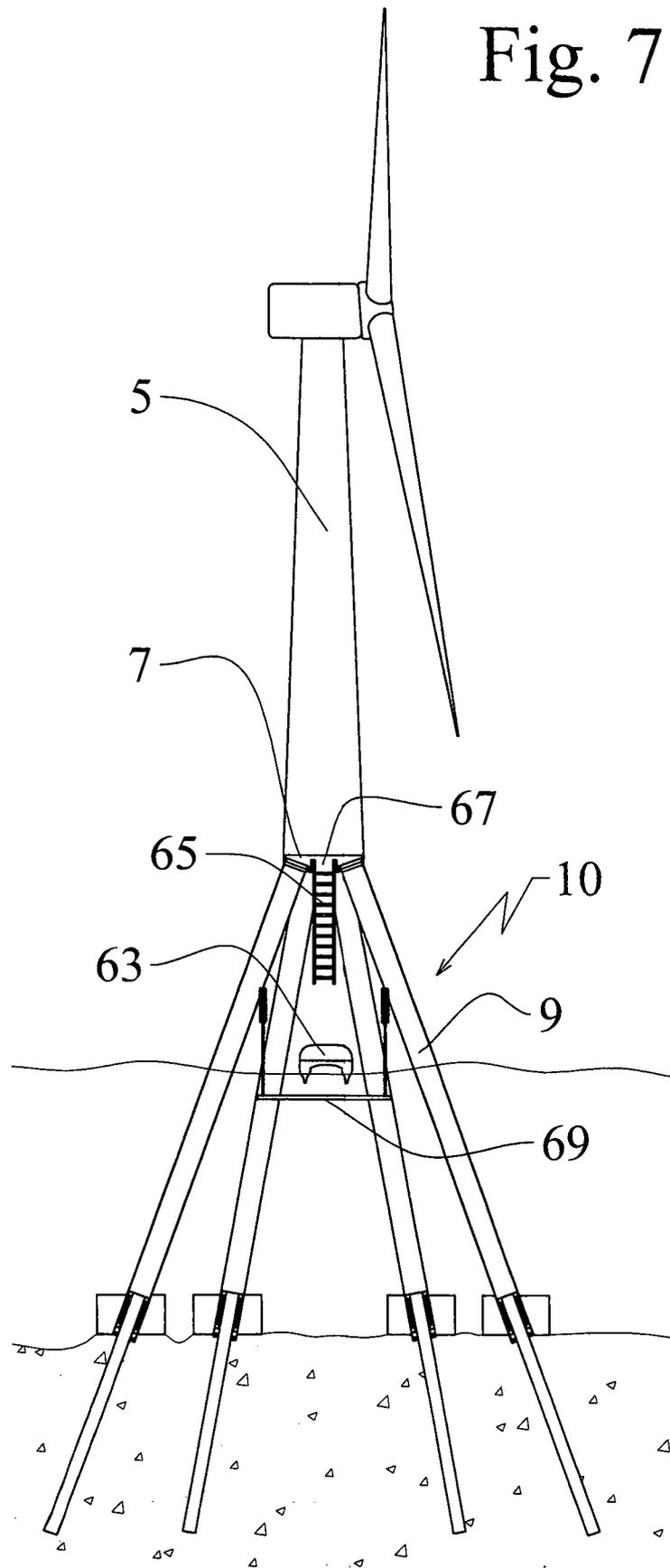


Fig. 8

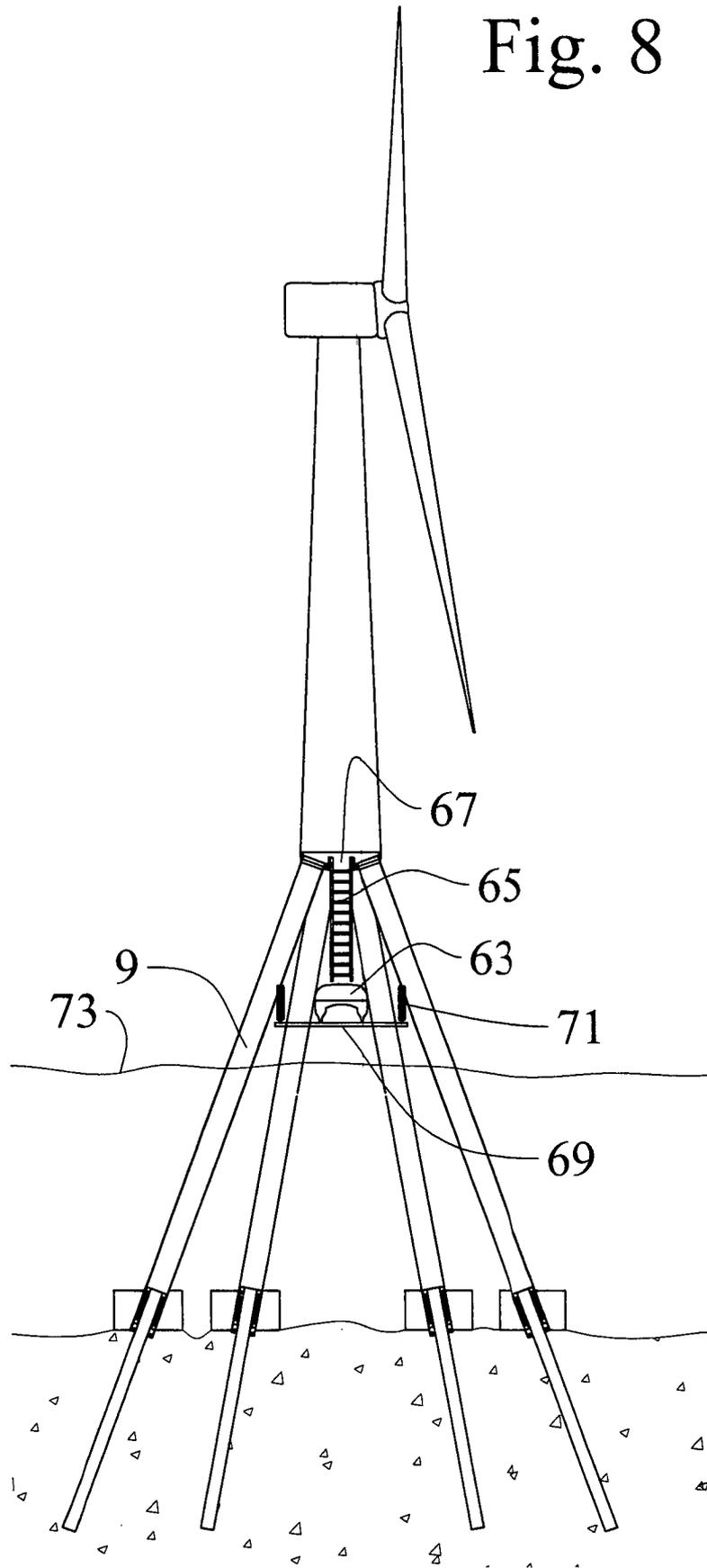


Fig. 9

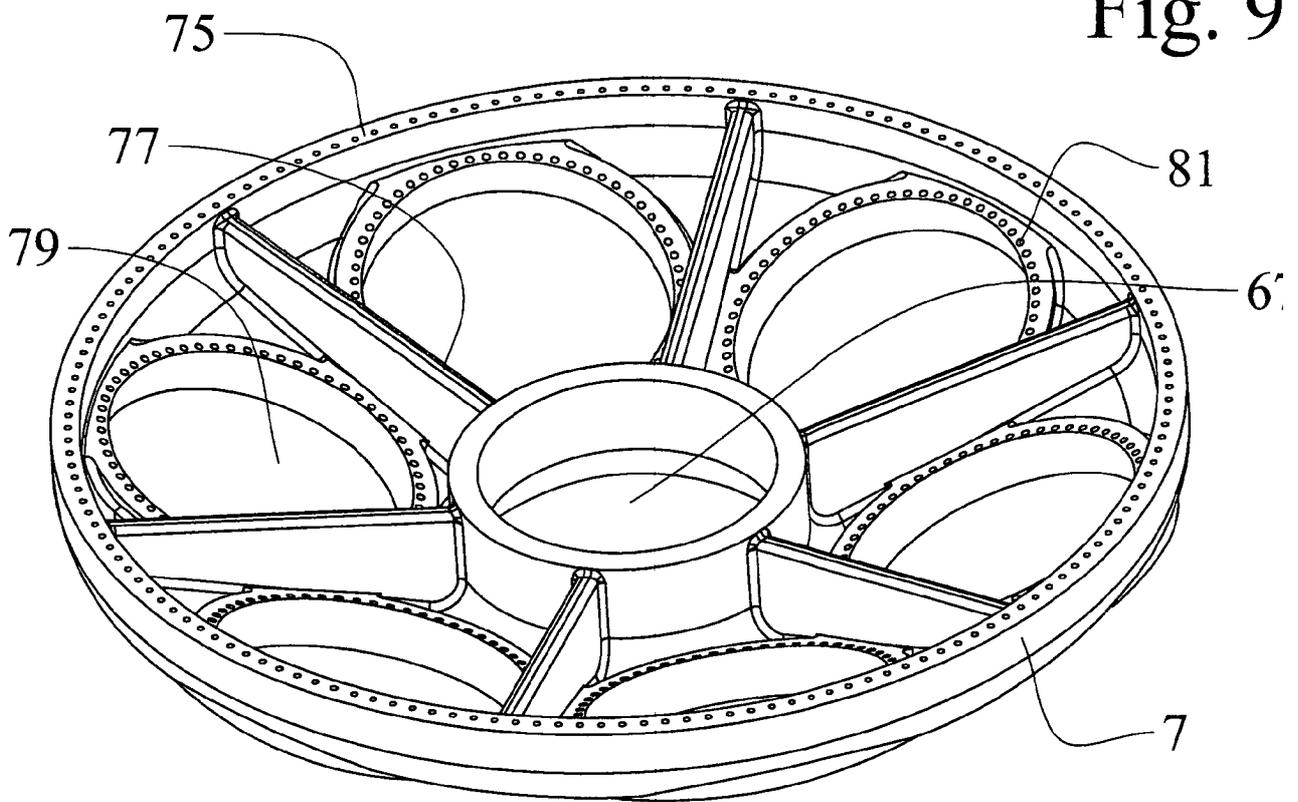


Fig. 10

