



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 203 20 714 U1** 2005.02.17

(12)

Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: **203 20 714.9**

(22) Anmeldetag: **02.05.2003**

(67) aus Patentanmeldung: **P 103 92 111.7**

(47) Eintragungstag: **13.01.2005**

(43) Bekanntmachung im Patentblatt: **17.02.2005**

(51) Int Cl.7: **F03D 1/06**

(66) Innere Priorität:

202 06 942.7 02.05.2002

(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:

Patentanwälte Schaefer & Emmel, 22043 Hamburg

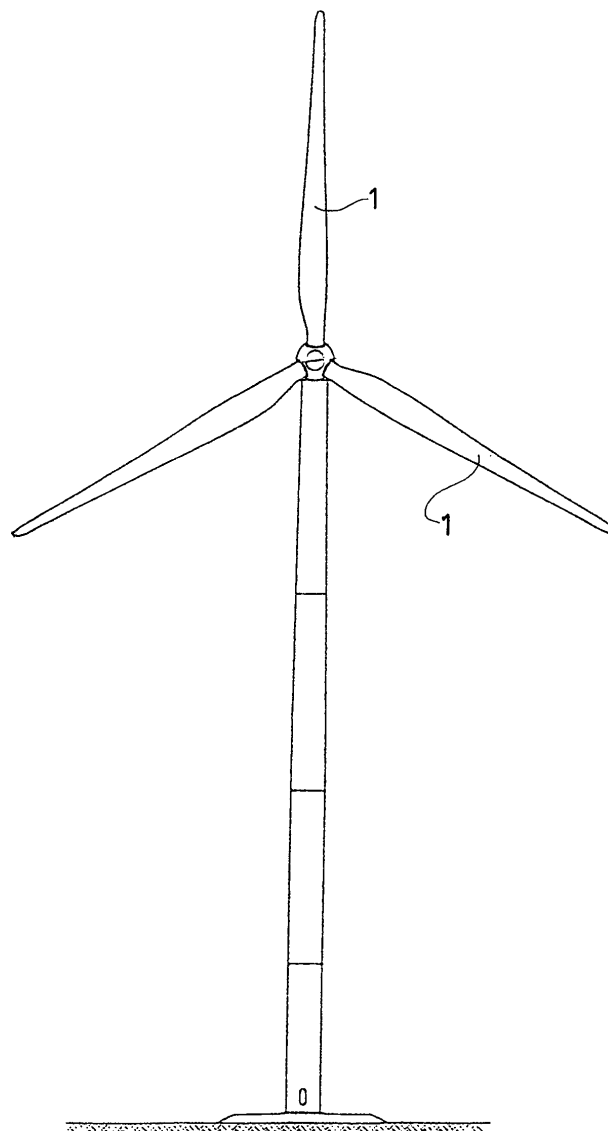
(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:

REpower Systems AG, 22335 Hamburg, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Rotorblatt für Windenergieanlagen**

(57) Hauptanspruch: Rotorblatt (1) für Windenergieanlagen, mit einer Schale (2), deren Profilquerschnitt gegen Biegung in Schlagrichtung durch sich in Bezug auf die Profilsehne (20) des Rotorblattes (1) paarweise gegenüberliegend vorgesehene Gurte (3a, 3b) und durch Stege (4) zwischen diesen versteift ist, wobei die Gurte (3a, 3b) aus in Längsrichtung faserverstärktem Kunststoff bestehen, dadurch gekennzeichnet, daß die Gurte (3a, 3b) in Längsrichtung einen glasfaser- und einen carbonfaserverstärkten Abschnitt (5, 6) aufweisen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Rotorblatt der im Oberbegriff des Anspruch 1 genannten Art.

[0002] Die gattungsgemäße Rotorblattkonstruktion entspricht dem Standard bei derzeit in Europa gebauten Windenergieanlagen. Die sehr leichte Schale solcher Rotorblätter weist nur eine geringe Eigensteifigkeit auf und ist daher mit an die Schale anlaminierten Gurten verstärkt, die über die wesentliche Länge des Rotorblattes laufen und mit in Längsrichtung laufenden Fasern für die Aufnahme hoher Zug- und Druckkräfte ausgebildet sind. Biegekräfte am Rotorblatt treten insbesondere durch Windbelastung in Schlagrichtung auf, also in Richtung senkrecht zur Umlaufebene des Blattes. Dabei verbiegt ein Rotorblatt an jeder Stelle bevorzugt in Richtung senkrecht zu seiner Profilversehnung, also der Linie, die in einer quer zur Längserstreckung des Blattes stehenden Querschnittsebene von der verrundeten Blatt Nase bis zum dünn auslaufenden hinteren Ende verläuft. Die Gurte sind symmetrisch zur Profilversehnung gegenüberliegend angeordnet und mit als längsverlaufende Wände ausgebildeten Stegen zwischen den Gurten gestützt. Sie bilden damit ein ausgesteiftes Tragprofil hoher Biegesteifigkeit in Richtung quer zur Profilversehnung des Blattes.

[0003] Biegesteifigkeit in Schlagrichtung ist für gattungsgemäße Rotorblätter von wesentlicher Bedeutung. Damit wird u.a. vermieden, daß ein Rotorblatt bei hoher Belastung gegen den Turm der Windenergieanlage schlagen kann. Ferner muß erreicht werden, daß die Biegesteifigkeit des Rotorblattes so hoch ist, daß die Eigenfrequenz des Rotorblattes, die im Wesentlichen proportional von der Steifigkeit und umgekehrt proportional von der Masse abhängt, bei im Betrieb auftretenden Drehzahlen des Rotors nicht angeregt wird.

[0004] Gattungsgemäße Rotorblätter weisen üblicherweise Gurte mit Glasfaserverstärkung auf. Diese ist kostengünstig, hat jedoch den Nachteil geringer Steifigkeit und hohen Gewichts. Es ist auch bereits vorgeschlagen worden, zur Verstärkung Carbonfasern zu verwenden. Carbonfaserverstärkte Kunststoffe sind erheblich leichter bei höherer Steifigkeit. Nachteilig dabei sind allerdings die wesentlich höheren Kosten.

[0005] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein gattungsgemäßes Rotorblatt bei geringen Kosten steifer auszubilden.

[0006] Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst.

[0007] Erfindungsgemäß weisen die Gurte, die in üblicher Ausbildung paarweise, also z.B. zu zweit

oder zu viert in einem Rotorblatt vorgesehen sein können, in Längsrichtung einen glasfaserverstärkten und einen carbonfaserverstärkten Abschnitt auf. Dadurch ergibt sich, da nur ein Teil der Länge des Rotorblattes mit Carbonfasern versehen ist, eine nur geringe Kostensteigerung, wobei sich allerdings eine erhebliche Gewichtsreduzierung ergibt. Dadurch kann auch an den anderen Teilen des Rotorblattes die Steifigkeit verringert und somit das Gewicht des Blattes insgesamt deutlich reduziert werden. Dadurch können die Mehrkosten, die durch den Einsatz von Carbonfasern entstehen, kompensiert werden. Darüber hinaus führt die Gewichtsreduzierung auch zu Kosteneinsparungen an der gesamten Windenergieanlage. Die abschnittsweise Anordnung reiner Glasfasern und Carbonfasern ist notwendig, da die beiden Faserarten wegen ihres unterschiedlichen Dehnverhaltens nicht gemischt verwendbar sind.

[0008] Vorteilhaft sind die Merkmale des Anspruches 2 vorgesehen. Wenn der carbonfaserverstärkte Abschnitt eines Gurtes radial außen liegt, kann der innenliegende glasfaserverstärkte Abschnitt durch die Gewichtsentslastung und Entlastung von dynamischen Kräften leichter und somit billiger gestaltet sein, so daß bei gleicher Steifigkeit, wie bei einem durchgehend glasfaserverstärkten Rotorblatt, die Gesamtkosten auch angesichts der erheblich höheren Kosten von carbonfaserverstärktem Kunststoff nicht höher liegen. Es ergibt sich eine hervorragende Biegesteifigkeit des Rotorblattes und insbesondere eine wesentliche Verringerung von Gefahren durch Schwingungen, da die außen liegenden Bereiche des Rotorblattes wesentlich leichter sind und sich dadurch die Eigenfrequenz des Rotorblattes soweit erhöht, daß sie auch bei den höchsten, im Betrieb vorkommenden Drehzahlen des Rotors nicht angeregt werden kann.

[0009] An der Verbindungsstelle der Gurtabschnitte sind diese zug- und druckfest miteinander zu verbinden. Es können beispielsweise vorgefertigte Abschnitte überlappend miteinander verschraubt oder über Flansche verbunden sein. Vorzugsweise sind jedoch die Merkmale des Anspruches 3 vorgesehen. Bei Aneinanderbefestigung der Abschnitte mit Bereichen sich jeweils aufeinander zu verjüngendem Querschnittes lassen sich besonders günstige Festigkeitseigenschaften der Verbindungsstelle erreichen.

[0010] Hat der Glasfaserabschnitt an der Stelle, an der die Verjüngung beginnt, den Querschnitt, den er bei durchgängiger Ausbildung des Gurtes mit Glasfasern an dieser Stelle haben müßte und geht sodann durch die wechselseitige Verjüngung der Querschnittsanteile allmählich von Glasfaser auf Carbonfaser über, so ergeben sich hier Probleme mit der unterschiedlichen Dehnbarkeit der verschiedenen Fasern. Glasfasern weisen wesentlich höhere Dehnbar-

keit und Bruchgrenze als Carbonfasern auf. An Bereichen der Verbindungsstelle mit großem Glasfaseranteil und kleinem Carbonfaseranteil kommt es somit zu einer Überdehnung der Carbonfasern bis über die Bruchgrenze. Vorteilhaft sind daher die Merkmale des Anspruchs 4 vorgesehen. Durch diese Verdickung des Glasfaseranteiles des Gurtes an der Verbindungsstelle läßt sich erreichen, daß die Dehnbarkeit des Glasfaseranteiles auf die des Carbonfaseranteiles reduziert wird, so daß die Überdehnung des Carbonfaseranteiles vermieden wird.

[0011] Die Gurte können hoch und schmal, vorzugsweise jedoch gemäß Anspruch 5 mit größerer Breite und geringerer Höhe ausgebildet werden. In diesem Fall genügt ein Gurt auf jeder Seite des Rotorblattes, der sich über einen größeren Teil der Breite des Rotorblattes erstrecken kann. Diese Ausbildung erleichtert auch bei der Herstellung die schichtweise Faseraufbringung.

[0012] Bei dem bevorzugten Gurtquerschnitt mit größerer Breite ist die Verbindungsstelle vorzugsweise gemäß Anspruch 6 ausgebildet, wobei also die Verjüngungen der Abschnitte als Höhenverjüngung ausgebildet ist. Dadurch ergibt sich eine sehr große Kontaktfläche zwischen den Abschnitten im Verjüngungsbereich und es wird auch die Herstellung durch schichtweise Aufbringung erleichtert.

[0013] Die Gurte könnten alternativ in der erforderlichen Form vorgefertigt und vorausgehärtet angeliefert und im Blatt, beispielsweise durch Verklebung mit der Schale, befestigt werden. Vorzugsweise sind jedoch die Merkmale des Anspruchs 7 vorgesehen. Hierbei wird in an sich üblicher Weise an Ort und Stelle der Gurt angefertigt und ausgehärtet. Es entfällt die nachträgliche Verklebung mit der Schale und insbesondere ergeben sich wesentliche Vorteile bei der Herstellung der Verbindungsstelle, die z.B. unter schichtweiser Verlegung von Fasern abgestufter Länge an der Verbindungsstelle mit Verjüngung und Verdickung des Glasfaserabschnittes an der Verbindungsstelle präzise eingebracht werden können.

[0014] Vorzugsweise sind die Merkmale des Anspruchs 8 vorgesehen, womit, insbesondere bei Ausbildung gemäß Anspruch 9 sich günstige Verhältnisse für Kosten, Steifigkeit, Gewicht und Schutz gegen Resonanzbruch ergeben.

[0015] In den Zeichnungen ist die Erfindung beispielsweise und schematisch dargestellt, es zeigen:

[0016] Fig. 1 eine Frontansicht auf eine Windenergieanlage,

[0017] Fig. 2 eine Seitenansicht der Windenergieanlage der Fig. 1,

[0018] Fig. 3 eine Schnittdarstellung eines Rotorblattes der Windenergieanlage der Fig. 1 und 2 im Schnitt der Linie 3-3 in Fig. 4,

[0019] Fig. 4 einen Schnitt nach Linie 4-4 in Fig. 3 und

[0020] Fig. 5 einen Schnitt nach Linie 5-5 in Fig. 3 durch die Verbindungsstelle zwischen den Abschnitten.

[0021] Die Fig. 1 und 2 zeigen in einer Ansicht in Richtung der Rotorachse bzw. quer dazu eine Windenergieanlage mit einem auf einem Boden aufgestellten Turm, an dessen Spitze eine drehbare Gondel einen um eine im Wesentlichen waagerechte Achse umlaufenden Rotor trägt, der aus drei Rotorblättern 1 besteht. Im dargestellten Ausführungsbeispiel einer Windenergieanlage im Leistungsbereich einiger MW liegt die Länge des Rotorblattes 1 bei etwa 40 m.

[0022] Die Schnittdarstellungen der Fig. 3 und 4 zeigen den inneren Aufbau eines Rotorblattes 1 mit einer relativ dünnen Schale 2, die üblicherweise aus glasfaserverstärktem Kunststoff besteht, jedoch auch als Sandwichkonstruktion ausgebildet sein kann, und die auf ihrer Innenseite, und zwar auf den in Richtung der Rotordrehachse vorn und hinten liegenden Flächen je einen anlamierten Gurt 3a, 3b trägt. Die Gurte 3a und 3b sind im Ausführungsbeispiel im wesentlichen identisch ausgebildet. Anstelle jedes der Gurte 3a, 3b, wie in der Ausführungsform dargestellt, können auch mehrere parallele Gurte in schmalere Ausbildung vorgesehen sein.

[0023] Wie Fig. 4 zeigt, sind zwischen den Gurten 3a und 3b Stege 4 vorgesehen, die als über die Länge des Gurtes durchgehende, ausgesteifte flächige Platten ausgebildet sind. Mit den Gurten 3a und 3b und den Stegen 4 ergibt sich ein in Richtung senkrecht zur Zeichnungsebene der Fig. 3, also senkrecht zu der in Fig. 4 dargestellten Profilsehne 20 biegesteifes Profil.

[0024] Wie Fig. 3 zeigt, weist jeder der Gurte 3a, 3b in Längsrichtung des Blattes zwei Abschnitte 5, 6 auf, die an einer Verbindungsstelle 7 in geeigneter Weise miteinander verbunden sind.

[0025] In ganzer Länge ist jeder der Gurte 3a, 3b aus faserverstärktem Kunststoff mit in Längsrichtung des Gurtes, also unidirektional verlaufenden Verstärkungsfasern ausgebildet. Bei den Abschnitten 5 und 6 werden jedoch unterschiedliche Fasermaterialien verwendet, und zwar in einem der Abschnitte Glasfasern und im anderen der Abschnitte Carbonfasern. Im Ausführungsbeispiel verlaufen beide Abschnitte 5, 6 über etwa die Hälfte der Länge des Rotorblattes 1.

[0026] Im bevorzugten Ausführungsbeispiel weist der radial außen liegende Abschnitt **6** eine Carbonfaserverstärkung und der radial innen liegende Abschnitt **5** eine Glasfaserverstärkung auf.

[0027] **Fig. 5** zeigt im Längsschnitt durch den Gurt im Bereich der Verbindungsstelle **7** einen bevorzugten Aufbau der Verbindungsstelle.

[0028] Der dargestellte Gurt hat, wie aus **Fig. 4** hervorgeht, eine wesentlich größere Breite als Höhe. Bei einem typischen Rotorblatt einer Länge von etwa 40 m weist der Gurt eine Breite von etwa 60 cm und eine Höhe im Bereich von etwa 5 cm auf. Der Gurt beginnt soweit wie möglich innen an der Nabe und verläuft zur Vereinfachung der Fertigung mit konstanter Breite bis in die Spitze des Rotorblattes. Die Anpassung des Gurtquerschnittes an die jeweils auftretenden, aufzunehmenden Kräfte erfolgt durch Höhenänderung. Im Allgemeinen kann dabei der Gurtquerschnitt, also die Höhe, von innen nach außen abnehmen.

[0029] In **Fig. 5** ist der Bereich der Verbindungsstelle **7** dargestellt, dessen Lage, etwa in Längsmittle des Blattes, in **Fig. 3** dargestellt ist. Wie **Fig. 5** zeigt, verläuft der Glasfaseranteil **5** bis zum Punkt **8** mit unveränderter Höhe und verjüngt dann in der Höhe bis zum Punkt **9** auf 0. Bei schichtweisem Faseraufbau kann dies erreicht werden durch entsprechende Verkürzung der Fasern.

[0030] Außerhalb der Verbindungsstelle **7** liegt auch der Carbonfaserabschnitt **6** auf der Schale **2** und ist über die Schräge zwischen den Punkten **9** und **8** verlaufend bis über den Punkt **8** hinweg zum Punkt **10** auf den Glasfaserabschnitt **5** verlegt. Zwischen den Punkten **8** und **10** hat der Carbonfaserabschnitt **6** eine sehr geringe Höhe mit wenigen Faserlagen und wächst vom Punkt **10** bis zum Punkt **11** in der Höhe kontinuierlich bis zum vollen Querschnitt, den er auch außerhalb der Verbindungsstelle **7** aufweist.

[0031] Es ergibt sich durch diese Anordnung ein allmählicher Übergang zwischen den vom Glasfaserabschnitt **5** und vom Carbonfaserabschnitt **6** aufnehmbaren Kräften mit großer Verbindungsfläche zwischen den Abschnitten. Der Querschnitt gemäß **Fig. 5** ist über die Breite des Gurtes konstant.

[0032] Innerhalb der Verbindungsstelle **7** werden bei Zug- oder Druckbelastung Teile beider Abschnitte **5, 6** belastet. Dabei ist jedoch zu beachten, daß Glasfasern etwa doppelte Bruchgrenze und doppelte Dehnbarkeit wie Carbonfasern aufweisen. Bei einer durch eine Kraft hervorgerufenen Dehnung beider Abschnitte kann also der zu Anfang noch geringe Carbonfaseranteil schon überlastet sein, wenn der Glasfaseranteil noch wenig gedehnt ist und wenig Kraft aufnimmt.

[0033] Um dies zu vermeiden, ist über die Verbindungsstelle **7** hinweg eine den Glasfaserabschnitt **5** verdickende Lage **12** mit Glasfaserverstärkung aufgebracht. Diese ist an der kritischen Stelle zwischen den Punkten **10** und **8** von der Dicke des Glasfaserabschnittes **5**, so daß an dieser Stelle der Glasfaserquerschnitt etwa verdoppelt wird. Damit wird erreicht, daß an dieser kritischen Stelle die Dehnbarkeit (in Zug- oder Druckrichtung) des Glasfaseranteiles des Gurtes soweit verringert wird, daß die Glasfasern nicht überdehnt werden.

[0034] Von der dicksten Stelle der zusätzlichen Lage **12** nimmt diese etwa ab den Punkten **13** und **14** in der Dicke ab und läuft, sich verjüngend, auf dem Glasfaserabschnitt **5** bei **15** und auf dem Carbonabschnitt **6** bei **16** aus. Dadurch werden allmählich übergehende Kraftverläufe erzielt.

[0035] Die in den Figuren dargestellten Gurte **3a** und **3b** sind hinsichtlich der Verbindungsstelle **7** identisch ausgebildet.

[0036] In alternativer Ausführung könnten die Gurte auch ausgehärtet vorgefertigt hergestellt und anschließend in die Schale **2** eingebracht und flächig aufgeklebt werden. An der Verbindungsstelle **7** könnten vorgefertigte Abschnitte **5, 6** zum Beispiel überlappend verschraubt oder sonstig verflanscht sein.

[0037] Vorzuziehen ist jedoch eine Herstellung an Ort und Stelle. Dabei könnten die Gurtabschnitte **5, 6** als im beabsichtigten Querschnitt vorgefertigte und mit Matrixmaterial vorgetränkte Stränge zugeschnitten und verlegt werden, um dann an Ort und Stelle auszuhärten. Auf diese Weise könnte auch eine Ausbildung der Verbindungsstelle **7** gemäß **Fig. 5** erreicht werden.

[0038] Vorzuziehen ist jedoch eine Verlegung, bei der die Gurte an Ort und Stelle durch übereinander Aufbringung von vorgetränkten Fasern, vorzugsweise bahweise, hergestellt werden. Hiermit läßt sich auch die in **Fig. 5** dargestellte Verbindungsstelle **7** einfach und in hoher Qualität herstellen.

Schutzansprüche

1. Rotorblatt **(1)** für Windenergieanlagen, mit einer Schale **(2)**, deren Profilquerschnitt gegen Biegung in Schlagrichtung durch sich in Bezug auf die Profillehne **(20)** des Rotorblattes **(1)** paarweise gegenüberliegend vorgesehene Gurte **(3a, 3b)** und durch Stege **(4)** zwischen diesen versteift ist, wobei die Gurte **(3a, 3b)** aus in Längsrichtung faserverstärktem Kunststoff bestehen, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Gurte **(3a, 3b)** in Längsrichtung einen glasfaser- und einen carbonfaserverstärkten Abschnitt **(5, 6)** aufweisen.

2. Rotorblatt nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die carbonfaserverstärkten Abschnitte (6) der Gurte (3a, 3b) radial außen angeordnet sind.

3. Rotorblatt nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Abschnitte (5, 6) an einer Verbindungsstelle (7) über deren Länge mit zu ihren Enden (9, 10) sich verjüngendem Querschnitt aneinander befestigt sind.

4. Rotorblatt nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Glasfaserabschnitt (5) in einem die Verbindungsstelle (7) übergreifenden Bereich (15, 16) um den Faktor verdickt (13) ist, um den seine Bruchdehnung höher ist als die des Carbonfaserabschnittes (6).

5. Rotorblatt nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gurte (3a, 3b) in ihrem Querschnitt größerer Breite als Höhe aufweisen.

6. Rotorblatt nach den Ansprüchen 3 und 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Abschnitte (5, 6) an der Verbindungsstelle (7) in ihrer Höhe verjüngt sind.

7. Rotorblatt nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gurte (3a, 3b) an Ort und Stelle geformt und ausgehärtet sind.

8. Rotorblatt nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge des Glasfaserabschnittes (5) wenigstens 30% der Länge des Rotorblattes (1) beträgt.

9. Rotorblatt nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge beider Abschnitte (5, 6) je etwa 50% der Länge des Rotorblattes (1) beträgt.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

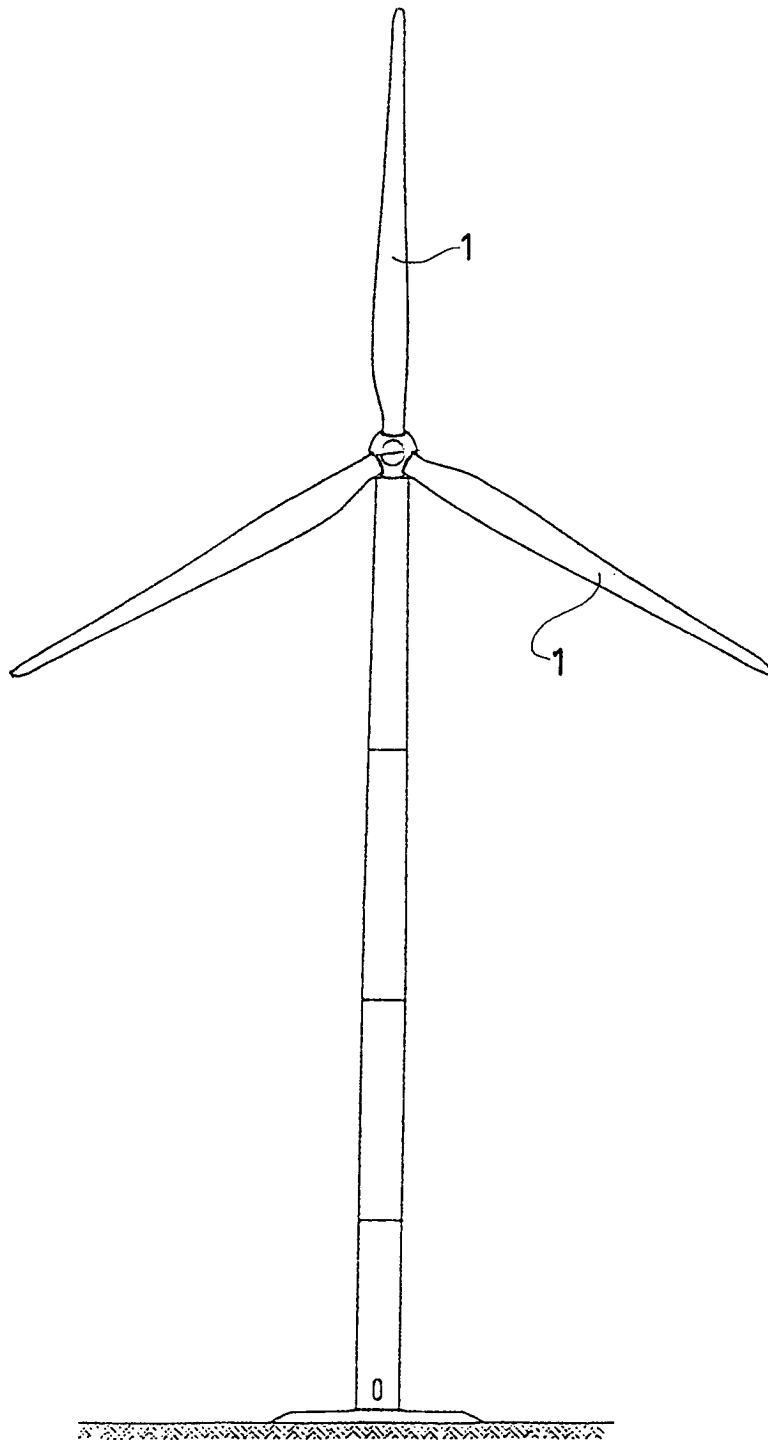


Fig. 1

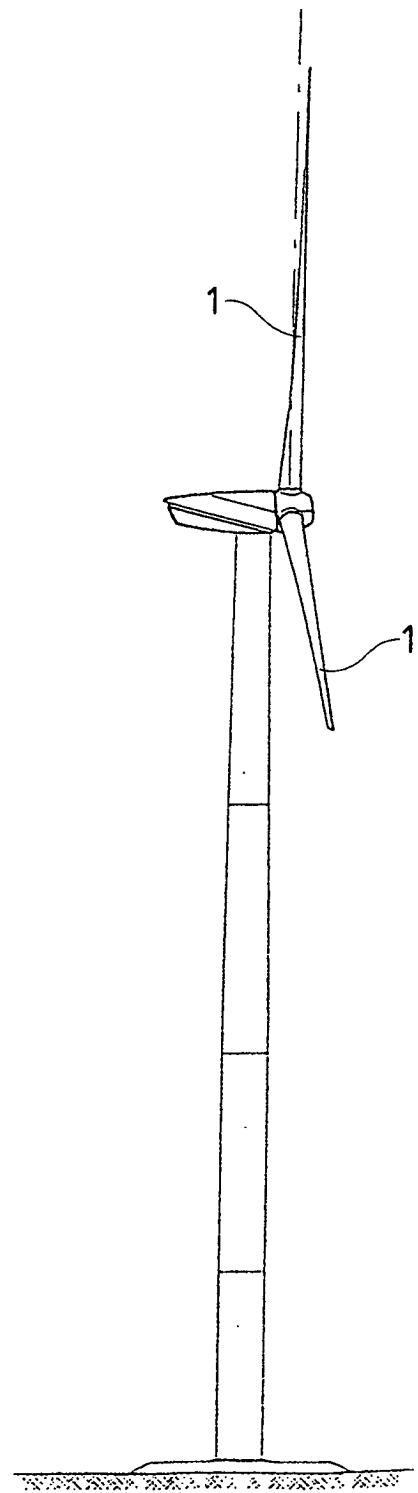


Fig. 2

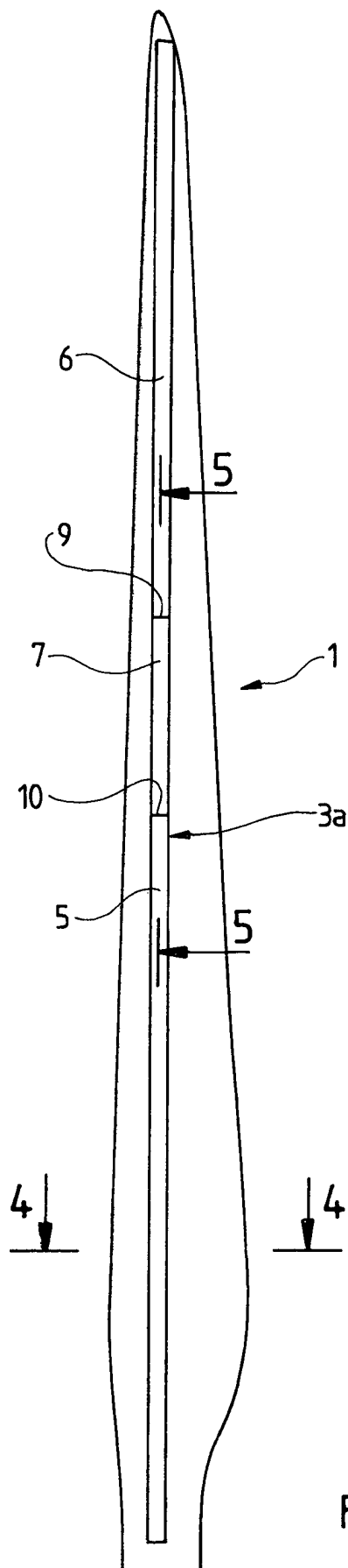


Fig. 3

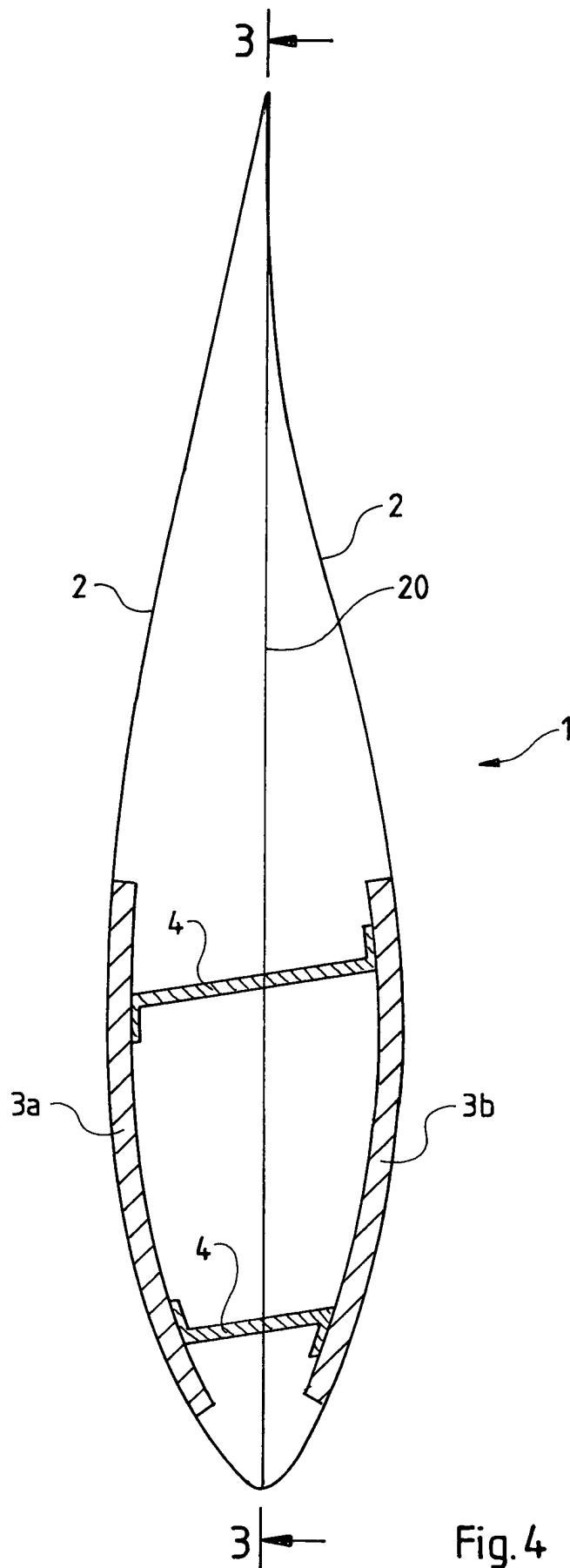


Fig. 4

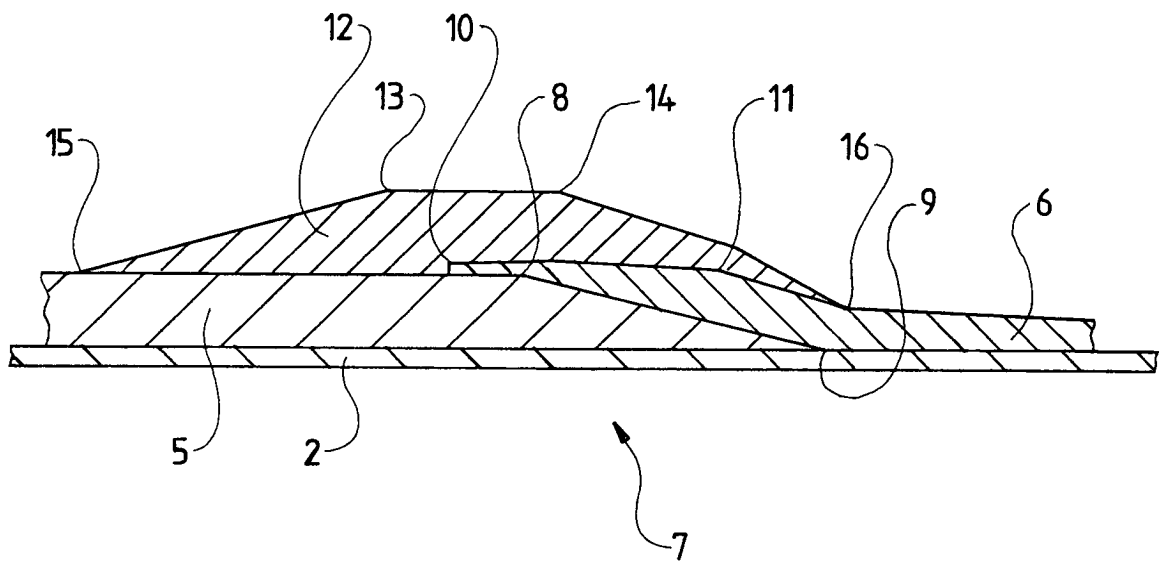


Fig. 5