



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 20 2009 000 125 U1** 2009.05.14

(12)

Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: **20 2009 000 125.3**

(22) Anmeldetag: **03.01.2009**

(47) Eintragungstag: **09.04.2009**

(43) Bekanntmachung im Patentblatt: **14.05.2009**

(51) Int Cl.⁸: **F03D 1/02** (2006.01)
F03D 9/00 (2006.01)

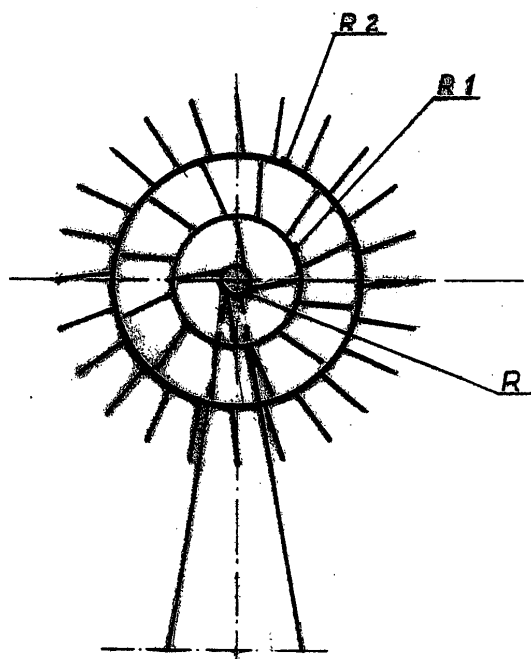
(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:
Smylla, Georg, 47877 Willich, DE

(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:
**DR. STARK & PARTNER PATENTANWÄLTE, 47803
Krefeld**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Windkraftanlage mit einem ersten Rotor**

(57) Hauptanspruch: Windkraftanlage mit einem ersten Rotor (R) der wenigstens zwei um eine annähernd horizontale Rotationsachse (7) drehbar gelagerte Rotorflügel (F) aufweist, und zumindest einem Generator (16) zur Erzeugung von Strom aus der Rotationsbewegung des Rotors (R), dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein weiterer Rotor (R_1 , R_2) mit wenigstens zwei, um eine annähernd horizontale Rotationsachse (7) drehbar gelagerten Rotorflügeln (F_1 , F_2) vorgesehen ist, wobei sämtliche Rotorflügel (F) des ersten Rotors (R) jeweils eine einheitliche erste Länge (L) aufweisen und sämtliche Rotorflügel (F_1 , F_2) wenigstens eines weiteren Rotors (R_1 , R_2) jeweils eine einheitliche zweite Länge ($L_{n=1,2,\dots}$) aufweisen, wobei der erste und zumindest ein weiterer Rotor (R und R_1 , R_2) koaxial mit einem allenfalls geringen Achsabstand angeordnet sind und eine einheitliche Rotationsachse (7) haben, wobei die Rotorflügel (F , F_1 , F_2) der verschiedenen Rotoren (R, R_1 , R_2) in axialer Betrachtung keine radiale Überlappung haben.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Windkraftanlage mit einem ersten Rotor, der wenigstens zwei um eine annähernd horizontale Rotationsachse drehbar gelagerte Rotorflügel aufweist, und zumindest einem Generator zur Erzeugung von Strom aus der Rotationsbewegung des Rotors.

[0002] Aus der Praxis sind beispielsweise Windkraftanlagen mit einem Rotor bekannt, der drei um 120° zueinander versetzt angeordnete Rotorflügel aufweist. Der Rotor selbst ist üblicherweise um eine vertikale Achse drehbar gegenüber einem Unterbau gelagert, so dass sich der Rotor der Windrichtung anpassen kann. Üblicherweise ist die Breite der Rotorflügel im Bereich des der Rotationsachse zugewandten Enden größer; allerdings kann dieser Bereich aufgrund des kürzeren Hebelarms nur bedingt ein Drehmoment ausüben.

[0003] Die Rotorflügel erzeugen eine Schubkraft, solange die aktuelle Windgeschwindigkeit über der Umlaufgeschwindigkeit der Rotorflügel liegt. Diese Schubkraft entsteht durch den auf die Vorderseite der Rotorflügel wirkenden Druckes des Windes sowie durch den Unterdruck, der aufgrund der Sogkraft auf der Rückseite der Rotorflügel herrscht.

[0004] Ist die Umlaufgeschwindigkeit größer als die Windgeschwindigkeit, wandeln sich die Schubkräfte in Bremskräfte um. Dies lässt sich damit begründen, dass auf der Vorderseite der Rotorflügel anstelle des Druckes nunmehr eine Sogwirkung herrscht, weil der Wind den Rotorflügel nicht mehr "erreichen" kann. Der Rotorflügel wird daher gebremst. Vereinfacht ausgedrückt kann der mit einer geringeren Geschwindigkeit strömende Wind nicht mehr an dem rotierenden Rotorflügel durchströmen, so dass der Wind von der Rückseite der Rotorflügel "zusammengedrückt" und insoweit eine bremsende Wirkung auf den Rotorflügel, wie in [Fig. 10](#) dargestellt, ausgeübt wird.

[0005] Nachteilig bei bestehenden Windkraftanlagen ist der verhältnismäßig geringe Wirkungsgrad. Denn so kommt es mit zunehmender Länge der Rotorflügel zu gegenseitigen Behinderungen, da die Umlaufgeschwindigkeit des Rotorflügels an dem inneren Ende, wie in [Fig. 10](#) dargestellt, um ein Vielfaches geringer als am äußeren Ende ist. Hinzu kommt, dass Rotoren mit Rotorflügeln großer Länge aufgrund der sehr hohen auftretenden Umlaufgeschwindigkeiten im Bereich der äußeren Enden der Rotorenflügel nur mit einer sehr geringen Umdrehungsanzahl betrieben werden können. Daher werden beispielsweise die Rotorflügel um 80° bis teilweise sogar 90° um ihre Längsachse verdreht, um die dem Wind entgegengebrachte Fläche der Rotorflügel zu reduzieren.

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Windkraftanlage dahingehend zu verbessern, dass ein höherer Wirkungsgrad erzielt wird.

[0007] Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, dass zumindest ein weiterer Rotor mit wenigstens zwei, um eine annähernd horizontale Rotationsachse drehbar gelagerten Rotorflügeln vorgesehen ist, wobei sämtliche Rotorflügel des ersten Rotors jeweils eine einheitliche erste Länge (L) aufweisen und sämtliche Rotorflügel wenigstens eines weiteren Rotors jeweils eine einheitliche zweite Länge ($L_{n=1,2,\dots}$) aufweisen, wobei der erste Rotor und zumindest ein weiterer Rotor, vorzugsweise alle Rotoren, koaxial mit einem allenfalls geringen Achsabstand angeordnet sind und eine einheitliche (virtuelle) Rotationsachse haben, wobei die Rotorflügel der verschiedenen Rotoren bei axialer Betrachtung, d. h. in Richtung der Rotationsachse gesehen, keine radiale Überlappung haben. Vorzugsweise ist die Drehzahl der Rotoren umgekehrt proportional zu dem Durchmesser des betreffenden Rotors.

[0008] Unter dem Rotorflügel wird dabei die Fläche verstanden, auf die der Wind wirkt und die bewirkt, dass der Rotor in eine Rotationsbewegung versetzt wird. Ist der Rotorflügel von der Rotationsachse beabstandet angeordnet, ist der Rotorflügel über ein geeignetes Halteelement mit der Rotationsachse verbunden. Dieses Halteelement kann beispielsweise als Stange oder als Zwischenelement ausgebildet sein, das mit seinem einen Ende an der Rotationsachse und mit seinem anderen mit dem Rotorflügel verbunden ist.

[0009] Die erfindungsgemäße Lösung ist auch bei bestehenden Windkraftanlagen nachrüstbar. So müssen zwei neue Rotoren und ein Generator mit zwei Wellenenden nachgerüstet werden, wobei die Rotorflügel des weiteren Rotors so anzuordnen ist, dass die Rotorflügel der verschiedenen Rotoren bei axialer Betrachtung, d. h. in Richtung der Rotationsachse gesehen keine radiale, zumindest keine große radiale, Überlappung haben.

[0010] Der maximale Abstand zwischen benachbarten Rotoren ist durch die Konstruktion und die Größe des

betreffenden Rotorkopfes, an dem die einzelnen Rotoren befestigt sind, vorgegeben bzw. beschränkt.

[0011] Die Anordnung der Rotoren kann auf der Lee- oder auf der Luvseite der Windkraftanlage sein, so dass die entsprechende Windkraftanlage als Leeläufer oder als Luvläufer ausgebildet ist. Selbstverständlich ist es auch möglich, dass sowohl auf der Lee- als auch auf der Luvseite, beispielsweise auf beiden Seiten eines Turms oder eines Mastes, ein Rotor montiert ist.

[0012] Der innere Anfang des weiteren Rotors, d. h. die der Rotationsachse zugewandten Enden der Rotorflügel des weiteren Rotors, können radial gesehen außerhalb des äußeren Endes des ersten Rotors, d. h. außerhalb der der Rotationsachse abgewandten Enden der Rotorflügel des ersten Rotors, vorgesehen sein, insbesondere außen an das äußere Ende des ersten Rotors anschließen. Diese Anordnung gilt selbstverständlich auch für jeden weiteren Rotor, beispielsweise zwischen dem zweiten und einem eventuellen dritten Rotor, einem dritten und einem eventuellen vierten Rotor usw..

[0013] Weist die Windkraftanlage beispielsweise nur zwei Rotoren auf, wobei die Rotorflügel des ersten Rotors direkt im Bereich der Rotationsachse befestigt sind und eine Länge L von 10 m aufweisen, sind die der Rotationsachse zugewandten Enden der Rotorflügel des zweiten Rotors zumindest im Abstand von 10 m von der Rotationsachse entfernt angeordnet. Weisen auch die Rotorflügel des zweiten Rotors eine Länge L_1 von 10 m auf, hat der zweite Rotor einen Außendurchmesser von 40 m. Die Rotorflügel des zweiten Rotors sind über geeignete Halteelemente, die bei dem beschriebenen Beispiel den "Freiraum" von 10 m zwischen der Rotationsachse und den Rotorflügel "überbrücken", verbunden.

[0014] Selbstverständlich ist es möglich, dass auch noch ein dritter, ein vierter Rotor oder noch weitere Rotoren vorgesehen sind. Sofern nur drei Rotoren vorgesehen sind, würden bei dem vorbeschriebenen Ausführungsbeispiel die der Rotationsachse zugewandten Enden der Rotorflügel des dritten Rotors in einem Abstand von 20 m zur Rotationsachse entfernt angeordnet sein, so dass bei einer Länge L_2 von 10 m der Rotorflügel der dritte Rotor einen Außendurchmesser von 60 m hätte.

[0015] Die erfindungsgemäße Lösung erlaubt einen höheren Wirkungsgrad, da alle Rotorflügel, wie in [Fig. 11](#) dargestellt, in etwa die gleiche Umlaufgeschwindigkeit aufweisen, jedoch die Drehzahl der Rotoren unterschiedlich ist.

[0016] Die Rotorflügel der Rotoren können in etwa die gleiche Länge aufweisen. Bei einem solchen Ausführungsbeispiel würde die Länge L der Rotorflügel des ersten Rotors in etwa der Länge L_1 der Rotorflügel des zweiten Rotors bedeuten.

[0017] Es bietet sich an, wenn die Rotorflügel, vorzugsweise in einem Winkel von etwa 10° bis 15° , angestellt zur Rotationsachse ausgerichtet sind. Damit sind die Rotorflügel nicht "streng radial" sondern in einem Winkel angeordnet.

[0018] Damit sich die Rotoren der jeweiligen herrschenden Windrichtung anpassen können, bietet sich an, wenn die Rotoren um eine vertikale Achse drehbar gelagert sind.

[0019] Um die Umdrehungsgeschwindigkeit eines Rotors beeinflussen zu können, bietet sich an, wenn die Rotorflügel zumindest dieses Rotors um ihre Längsachse drehbar gelagert und verstellbar sind.

[0020] Die Rotorflügel zumindest eines Rotors können in etwa im Winkel von 60° zueinander angeordnet sein. Bei einer solchen Ausgestaltung weist der betreffende Rotor insgesamt sechs Rotorflügel auf. Selbstverständlich sind auch Rotoren mit zwei oder auch mehr Rotorflügeln denkbar. In [Fig. 6](#) sind zwei Rotoren mit je drei Rotorflügeln dargestellt.

[0021] Jedem Rotor kann ein separater Generator zugeordnet sein.

[0022] Es ist aber durchaus möglich, dass alle Rotoren, vorzugsweise über zumindest ein geeignetes Getriebe, einem gemeinsamen Generator zugeordnet sind. Bei einer solchen Ausgestaltung ist beispielsweise der Generator am Ende eines Rotors angeordnet. Bei zwei Rotoren kann der Generator beispielsweise eine durchgehende Welle aufweisen, deren beiden Ende aus dem Generatorgehäuse hervorstehenden und auf denen jeweils ein Rotor angeordnet ist.

[0023] Vorzugsweise kann die Windkraftanlage auch zum Einsatz im Off-Shore-Betrieb, wie auf Fundamen-

ten, auf schwimmenden Plattformen, auf Schiffen oder dergleichen geeignet sein. Die Windkraftanlage kann dann nicht nur an Land, sondern auch Off-Shore, beispielsweise auf einer geeigneten auch schwimmenden Plattform installiert werden. Auch eine Montage auf ausgemusterten Ölplattformen oder ausgemusterten Schiffen, wie Öltankern, ist möglich. Auch kann die erfindungsgemäße Windkraftanlage auf Fundamenten montiert sein.

[0024] Im Folgenden werden in den Zeichnungen dargestellte Ausführungsbeispiele der Erfindung erläutert. Es zeigen:

[0025] [Fig. 1](#) eine Vorderansicht auf eine erfindungsgemäße Windkraftanlage mit drei Rotoren,

[0026] [Fig. 2](#) eine Seitenansicht auf den Gegenstand nach [Fig. 1](#),

[0027] [Fig. 3](#) eine vergrößerte Darstellung auf die Rotoren nach [Fig. 1](#),

[0028] [Fig. 4](#) den Gegenstand nach [Fig. 3](#) in der Seitenansicht einschließlich Detailansichten,

[0029] [Fig. 5](#) die Welle in vergrößerter Ansicht und

[0030] [Fig. 6](#) eine Draufsicht, eine Seitenansicht sowie eine Detailansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Windkraftanlage mit zwei Rotoren,

[0031] [Fig. 7](#) drei Ansichten von auf einer schwimmenden Plattform montierten Windkraftanlagen

[0032] [Fig. 8](#) eine Draufsicht auf einen Rotorflügel einer bekannten Windkraftanlage mit einem Rotor (Rotordurchmesser 60 m),

[0033] [Fig. 9](#) eine Draufsicht auf drei Rotorflügel einer erfindungsgemäßen Windkraftanlage mit drei Rotoren (Rotordurchmesser 60 m),

[0034] [Fig. 10](#) vier Schnittdarstellungen eines bekannten Rotorflügels (Rotordurchmesser 38 m) und

[0035] [Fig. 11](#) Diagramm (Rotordurchmesser über die Umlaufgeschwindigkeit).

[0036] In allen Figuren werden für gleiche bzw. gleichartige Bauteile übereinstimmende Bezugszeichen verwendet.

[0037] In den Figuren ist eine Windkraftanlage mit drei Rotoren R , R_1 , R_2 dargestellt. Die Rotoren R , R_1 , R_2 sind Teil eines Rotorkopfes **1**, der um eine vertikale ausgerichtete Achse **2** drehbar auf einem Turm **3** gelagert ist. Zur Verdrehung des Rotorkopfes **1** ist der Rotorkopf **1** auf einer drehbaren Plattform **4** angeordnet.

[0038] Hierzu sind unterseitig an dem Rotorkopf **1** Rollen **5** vorgesehen, die auf einer umlaufenden, kreisförmig ausgebildeten und auf der Oberseite des Turmes **3** vorgesehenen Schiene **6** laufen. Durch die Anordnung des Rotorkopfes **1** auf der drehbaren Plattform **4** kann die Windkraftanlage den jeweiligen Windrichtungen angepasst werden. Für die Einleitung der Drehbewegung kann beispielsweise ein nicht näher dargestelltes Schneckengetriebe vorgesehen sein.

[0039] Jeder Rotor R , R_1 , R_2 weist Rotorflügel F , F_1 , F_2 auf. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel weist der erste Rotor R mit dem kleinsten Außendurchmesser von 20 m insgesamt vier Rotorflügel F mit der Länge L von etwa 10 m auf, die an einer um eine Rotationsachse **7** drehenden Welle **8** befestigt sind.

[0040] Der zweite Rotor R_1 weist einen Außendurchmesser von etwa 40 m auf, wobei der Rotor R_1 insgesamt **12** Rotorflügel F_1 mit der Länge $L_{n=1}$ von 10 m umfasst. Die Rotorflügel F_1 des Rotors R_1 sind, wie beispielsweise aus [Fig. 3](#) ersichtlich, in ihrer Größe und Anordnung so ausgerichtet, dass sie sich in Richtung der Rotationsachse **7** gesehen nicht mit den Rotorflügeln F des Rotors R überlappen. So befinden sich die äußeren Enden der Rotorflügel F des Rotors R in etwa auf der Kreisumfangslinie der inneren Enden der Rotorflügel F_1 des Rotors R_1 .

[0041] Der Rotor R_1 weist ein Kranz **9** aus 12 Segmenten mit einem Durchmesser von etwa 20 m auf, der nach Art eines Speichenrades mittels Halteelementen **10** an der um die Rotationsachse **7** drehenden Welle **8**

befestigt ist. Auf der äußeren Umfangsfläche des Kranzes **9** sind die Rotorflügel F_1 befestigt.

[0042] Der dritte Rotor R_2 weist ebenfalls einen mittels speichenartig ausgebildeter Halteelemente **10** an der um die Rotationsachse **7** drehenden Welle **11** befestigten Kranz **9** aus 24 Segmenten auf, allerdings mit einem Durchmesser von etwa 40 m. An diesem Kranz **9** sind umfangsseitig 24 Rotorflügel F_2 vorgesehen, die eine Länge $L_{n=2}$ von etwa 10 m aufweisen. Damit hat der Rotor R_2 einen Außendurchmesser von etwa 60 m. Die Rotorflügel F_2 können im Bereich ihres der Rotationsachse abgewandten freien Endes untereinander durch geeignete Mittel (wie z. B. Streben) verbunden sein.

[0043] Jedes Segment der Kränze **9** kann beispielsweise aus drei Teilen bestehen, die miteinander verschweißt werden. Die Kränze **9** dienen als Montage für die zu befestigten Rotorflügel F_1, F_2 . In den Kränzen **9** können auch Kabelführungen vorgesehen sein. Diese dienen zur Aufnahme von Kabeln, beispielsweise für nicht dargestellte Einrichtungen zur Veränderung der Ausrichtung der Rotorflügel F, F_1, F_2 .

[0044] Wie in dem Ausschnitt in [Fig. 4](#) ersichtlich, weist jeder Rotorflügel F, F_1, F_2 der Rotoren R, R_1, R_2 an seinem der Rotationsachse **7** zugewandten Ende ein zylindrisch ausgebildetes Zwischenelement **12** (Halteelement) auf, das in einer entsprechenden Ausnehmung **13** beispielsweise in dem Kranz **9** gelagert ist. Damit sind die Rotorflügel F, F_1, F_2 um ihre Längsachse **14** verdrehbar.

[0045] In dem dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Rotorflügel F, F_1, F_2 nicht genau radial in Bezug auf die Rotationsachse **7** sondern in einem Winkel von 10 bis 15° entgegen der Drehrichtung **15** angestellt. Wie in [Fig. 3](#) angegeben, beträgt der Winkel bei diesem Ausführungsbeispiel 12° entgegen der Drehrichtung **15**.

[0046] Die Rotorflügel F, F_1, F_2 können eine Breite von bis zu 2,5 m aufweisen, wobei die Rotorflügel F, F_1, F_2 über ihre gesamte Länge eine gleiche Breite aufweisen.

[0047] Jeder Rotor R, R_1, R_2 ist frei drehbar, so dass alle Rotoren R, R_1, R_2 eine unterschiedliche Drehzahl aufweisen können. Die Rotoren R, R_1, R_2 treiben in dem dargestellten Ausführungsbeispiel einen seitlich angeordneten Generator **16** an, der aus der Rotationsbewegung Strom erzeugt. Wie [Fig. 5](#) zu entnehmen ist, sind insgesamt zwei Wellen **8, 11** vorgesehen. Die Wellen **8, 11** liegen insgesamt in drei Lagern **17**.

[0048] Wie in [Fig. 5](#) dargestellt, ist der Rotor R über ein Planetengetriebe **18** auf der Welle **8** gelagert. Die Wellen **8, 11** sind über ein herkömmliches Planetengetriebe **19** verbunden, so dass die unterschiedlichen Drehzahlen der Rotoren R, R_1, R_2 entsprechend übersetzt werden. An dem freien Ende der Welle **11** ist der Generator **16** vorgesehen. Alternativ kann statt der Planetengetriebe **18, 19** jedem Rotor R, R_1, R_2 ein eigener Generator **16** zugeordnet sein.

[0049] In [Fig. 6](#) ist ein anderes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Windkraftanlage dargestellt. Diese weist zwei Rotoren R und R_1 mit je drei Rotorflügeln F bzw. F_1 auf. Die Rotoren R und R_1 sind in einem horizontalen Abstand zueinander angeordnet und Teil des Rotorkopfes **1**, der um eine vertikale ausgerichtete Achse **2** drehbar auf dem Turm **3** gelagert ist. Beide Rotoren R und R_1 sind relativ zueinander nicht verdrehbar, so dass daher die Rotorflügel F des Rotors R in Bezug auf die Rotorflügel F_1 des Rotors R_1 immer die gleiche Position haben. Jeder Rotorflügel F bzw. F_1 ist über ein Zwischenelement **12** gelagert, so dass damit die Rotorflügel F und F_1 um ihre Längsachse **14** verdrehbar sind. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Rotoren R und R_1 beidseits des Generators **16** auf einer nicht näher dargestellten gemeinsamen Welle vorgesehen.

[0050] Diese Ausführung eignet sich insbesondere zur Nachrüstung von herkömmlichen Windkraftanlagen mit lediglich einem Rotor R . So müssen neue Rotoren R, R_1 und ein neuer Generator **16** mit zwei Wellenenden nachgerüstet werden. Die Montage des Rotors R_1 gegenüber dem Rotor R erfolgt so, dass sich die Rotorflügel F und F_1 der Rotoren R und R_1 in axialer Betrachtung radial nicht überlappen. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel wechseln sich die Rotorflügel F und F_1 in einem 60° Winkel zueinander ab.

[0051] Die erfindungsgemäße Windkraftanlage kann auf Unterbauten wie Betonpfeilern, Masten, Türmen oder dergleichen montiert sein. Sie eignet sich auch zu einem Off-Shore-Betrieb beispielsweise auf einer Plattform **20**, wie in [Fig. 7](#) dargestellt. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel sind auf der Plattform **20** vier Windkraftanlagen montiert, wobei die einzelnen Rotorflügel F, F_1, F_2 der drei Rotoren R, R_1, R_2 nur bei der rechten Windkraftanlage skizziert sind.

[0052] Die Plattform **20** kann mittels Anker **21** am Untergrund verankert sein. In [Fig. 7](#) greifen die Anker **21**

mittig an der Plattform **20** an, so dass sich daher die Plattform **20** um die Verankerung frei drehen kann. Mittels kleiner Schiffsschrauben **22** kann eine Verdrehbewegung unterstützt werden.

[0053] Wie in [Fig. 7](#) erkennbar, weist jede Windkraftanlage für eine Feinjustierung der Windkraftanlage in Bezug auf die Windrichtung eine Drehvorrichtung auf. Damit kann die Windkraftanlage in Bezug auf die Plattform **20** um etwa 60° um eine vertikal ausgerichtete Drehachse gedreht werden. Die Drehvorrichtung besteht aus einer in der Plattform **20** vorgesehenen zylindrisch ausgebildeten Ausnehmung **23** und einem in der Ausnehmung **23** befindlichen Schwimmkörper **24**, auf dem oberseitig die Windkraftanlage montiert ist.

[0054] In [Fig. 8](#) ist ein Ausschnitt einer herkömmlichen Windkraftanlage mit einem Rotor mit 3 Rotorflügeln bei einem Durchmesser von 60 m dargestellt. Die Gesamtarbeitsfläche der drei Rotorflügel beträgt nur etwa 5% der verfügbaren Kreisfläche des umlaufenden Rotors.

[0055] Bei den in [Fig. 8](#) angegebenen Abmessungen ergibt sich eine Arbeitsfläche für jeden Rotorflügel von etwa 35 m^2 , so dass damit die Gesamtarbeitsfläche aller drei Rotorflächen etwa 105 m^2 beträgt. Unter Zugrundelegung eines Hebelarmes von 12 m (Radius des Schwerpunktes) ergibt sich ein Drehmoment von 1.260 m^3 . Damit beträgt bei dem Ausführungsbeispiel nach [Fig. 8](#) die Arbeitsleistung pro Umdrehung 95.001 m^4 (Multiplikation des Drehmoments (m^3) mit der Wegstrecke ($\pi \cdot D_{\text{Schwerpunkt}}$), d. h. Multiplikation von $1.260 \text{ m}^3 \cdot (\pi \cdot 24 \text{ m}) \cdot 1$ Umdrehung).

[0056] [Fig. 9](#) zeigt den Ausschnitt einer erfindungsgemäßen Windkraftanlage gemäß [Fig. 3](#). Die Windkraftanlage weist drei Rotoren R, R_1 , R_2 auf. Der Rotor R mit dem kleinsten Außendurchmesser von 20 m weist insgesamt vier Rotorflügel F mit der Länge L von etwa 8 m auf. Der zweite Rotor R_1 hat einen Außendurchmesser von etwa 40 m, wobei der Rotor R_1 insgesamt 12 Rotorflügel F_1 mit der Länge $L_{n=1}$ von 10 m umfasst. Der dritte Rotor R_2 weist einen Außendurchmesser von etwa 60 m auf und hat 24 Rotorflügel F_2 mit einer Länge $L_{n=2}$ von etwa 10 m.

[0057] Bei dem Ausführungsbeispiel nach [Fig. 3](#) ergibt sich unter Zugrundelegung der in [Fig. 9](#) angegebenen Abmessungen bei den Rotorflügeln F eine Arbeitsfläche von je etwa 20 m^2 , so dass dem Rotor R eine Gesamtarbeitsfläche von etwa 80 m^2 zukommt.

[0058] Die Arbeitsfläche eines jeden Rotorflügels F_1 des Rotors R_1 beträgt etwa 25 m^2 , so dass sich damit eine Gesamtarbeitsfläche des Rotors R_1 von etwa 300 m^2 ergibt.

[0059] Da die Rotorflächen F_1 und F_2 gleich dimensioniert sind, ergibt sich bei einer Gesamtzahl von 24 Rotorflächen F_2 eine Gesamtarbeitsfläche des Rotors R_2 von 600 m^2 , so dass die erfindungsgemäße Windkraftanlage mit den Abmessungen nach [Fig. 9](#) eine Gesamtarbeitsfläche von 980 m^2 aufweist. Unter Zugrundelegung der Hebelarme von 6 m in Bezug auf den Rotor R, von 15 m in Bezug auf den Rotor R_1 und 25 m in Bezug auf den Rotor R_2 ergibt sich ein Gesamtdrehmoment von 19.980 m^3 ($480 \text{ m}^3 + 4.500 \text{ m}^3 + 15.000 \text{ m}^3$).

[0060] Die Arbeitsleistungen bezogen auf eine Umdrehung errechnen sich bei den Abmessungen nach [Fig. 9](#) wie folgt:

Rotor R	
$480 \text{ m}^3 (\pi \cdot 12 \text{ m}) \cdot 3$ Umdrehungen =	54.286 m^4
Rotor R_1	
$4.500 \text{ m}^3 (\pi \cdot 30 \text{ m}) \cdot 1,5$ Umdrehungen =	636.172 m^4
Rotor R_2	
$15.000 \text{ m}^3 (\pi \cdot 50 \text{ m}) \cdot 1$ Umdrehung =	<u>2.356.194 m^4</u>
Summe	3.046.652 m^4

[0061] Damit ergibt sich bei der erfindungsgemäßen Windkraftanlage mit den Abmessungen nach [Fig. 9](#) im Vergleich zu einer bekannten Windkraftanlage mit den Abmessungen nach [Fig. 8](#) ein um den Faktor 32,06 höhere Arbeitsleistung bei einem gleichen Durchmesser.

[0062] Eine Windkraftanlage mit zwei Rotoren gemäß [Fig. 6](#) und je drei Rotorflügeln würde eine etwa 4,3 mal höhere Arbeitsleistung beim gleichen Durchmesser mit sich führen.

[0063] Beispielsweise durch die Anstellung der Rotorflügel, vorzugsweise in einem Winkel von etwa 12° zur Rotationsachse, kann die Arbeitsleistung der Windkraftanlage weiter gesteigert werden.

[0064] Beträgt der Außendurchmesser einer herkömmlichen Windkraftanlage mit einem Rotor und 3 Rotorflügeln 30 m ergibt sich eine Gesamtarbeitsfläche von etwa $43,5 \text{ m}^2$ bei einem Hebelarm von etwa 6,5 m (Radius des Schwerpunktes). Daraus resultiert ein Drehmoment von etwa 283 m^3 (Multiplikation von $43,5 \text{ m}^2$ und 6,5 m). Hieraus ergibt sich eine Arbeitsleistung bei 2 Umdrehungen von etwa 23.075 m^4 ($283 \text{ m}^3 \cdot \pi \cdot 13 \text{ m} \cdot 2$ Umdrehungen). Damit ist festzuhalten, dass die erfindungsgemäße Windkraftanlage gemäß [Fig. 3](#) mit den Abmessungen nach [Fig. 9](#) und einer Umdrehungszahl von 5 bis 8 Umdrehungen pro Minute etwa 132 ($3.046.652 \text{ m}^4 / 23.075 \text{ m}^4$) herkömmliche Windkraftanlagen mit einem Rotor und drei Rotorflügeln bei einem Außendurchmesser von 30 m ersetzt, wobei die Umdrehungszahl einer solchen herkömmlichen Windkraftanlage bei etwa 8 bis 15 Umdrehungen pro Minute liegt.

[0065] In [Fig. 10](#) sind nochmals im Detail die stark unterschiedlichen Umlaufgeschwindigkeiten eines Rotorflügels einer bekannten Windkraftanlage bei einem Rotordurchmesser von 38 m, einer Rotorumdrehungszahl von 30 Umdrehungen pro Minute und einer Windgeschwindigkeit von 15 m/Sekunde dargestellt. Während die Umlaufgeschwindigkeit bei einem Radius von etwa 3,2 m etwa 10 m/Sekunde beträgt, liegt sie bei einem Radius von 19 m bei 60 m/Sekunde.

[0066] In [Fig. 11](#) ist der Rotordurchmesser über die Umlaufgeschwindigkeit aufgetragen. Die dick eingezeichnete Linie zeigt den Verlauf einer erfindungsgemäßen Windkraftanlage mit 3 Rotoren, wie beispielsweise in [Fig. 3](#) dargestellt. Deutlich erkennbar ist, dass die Umlaufgeschwindigkeit der Rotoren R, R₁ und R₂ in etwa gleich groß ist, während die Umdrehungszahl Rotoren R, R₁, R₂ abweicht.

Schutzansprüche

1. Windkraftanlage mit einem ersten Rotor (R) der wenigstens zwei um eine annähernd horizontale Rotationsachse (7) drehbar gelagerte Rotorflügel (F) aufweist, und zumindest einem Generator (16) zur Erzeugung von Strom aus der Rotationsbewegung des Rotors (R), **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein weiterer Rotor (R₁, R₂) mit wenigstens zwei, um eine annähernd horizontale Rotationsachse (7) drehbar gelagerten Rotorflügeln (F₁, F₂) vorgesehen ist, wobei sämtliche Rotorflügel (F) des ersten Rotors (R) jeweils eine einheitliche erste Länge (L) aufweisen und sämtliche Rotorflügel (F₁, F₂) wenigstens eines weiteren Rotors (R₁, R₂) jeweils eine einheitliche zweite Länge (L_{n=1,2,...}) aufweisen, wobei der erste und zumindest ein weiterer Rotor (R und R₁, R₂) koaxial mit einem allenfalls geringen Achsabstand angeordnet sind und eine einheitliche Rotationsachse (7) haben, wobei die Rotorflügel (F, F₁, F₂) der verschiedenen Rotoren (R, R₁, R₂) in axialer Betrachtung keine radiale Überlappung haben.

2. Windkraftanlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der innere Anfang des weiteren Rotors (R₁, R₂) radial gesehen außerhalb des äußeren Endes des ersten Rotors (R) vorgesehen ist, insbesondere außen an das äußere Ende des ersten Rotors (R) anschließt.

3. Windkraftanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Rotorflügel (F, F₁, F₂) der Rotoren (R, R₁, R₂) in etwa die gleiche Länge (L und L_{n=1,2,...}) aufweisen.

4. Windkraftanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Rotorflügel (F, F₁, F₂) angestellt, vorzugsweise in einem Winkel von etwa 10° bis 15°, zur Rotationsachse (7) ausgerichtet sind.

5. Windkraftanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Rotoren (R, R₁, R₂) um eine vertikale Achse (2) drehbar gelagert sind.

6. Windkraftanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die Rotorflügel (F, F₁, F₂) eines Rotors (R, R₁, R₂) um ihre Längsachse (14) drehbar gelagert sind.

7. Windkraftanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Rotorflügel (F, F₁, F₂) zumindest eines Rotors (R, R₁, R₂) in etwa im Winkel von 60° zueinander angeordnet sind.

8. Windkraftanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass jedem Rotor (R, R₁, R₂) ein Generator (16) zugeordnet ist.

9. Windkraftanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass alle Rotoren (R, R₁, R₂), vorzugsweise über zumindest ein geeignetes Getriebe, einem gemeinsamen Generator (16) zugeordnet sind.

10. Windkraftanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Windkraftanlage zum Einsatz im Off-Shore-Betrieb, wie Fundamenten, schwimmenden Plattformen, Schiffen oder dergleichen geeignet ist.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

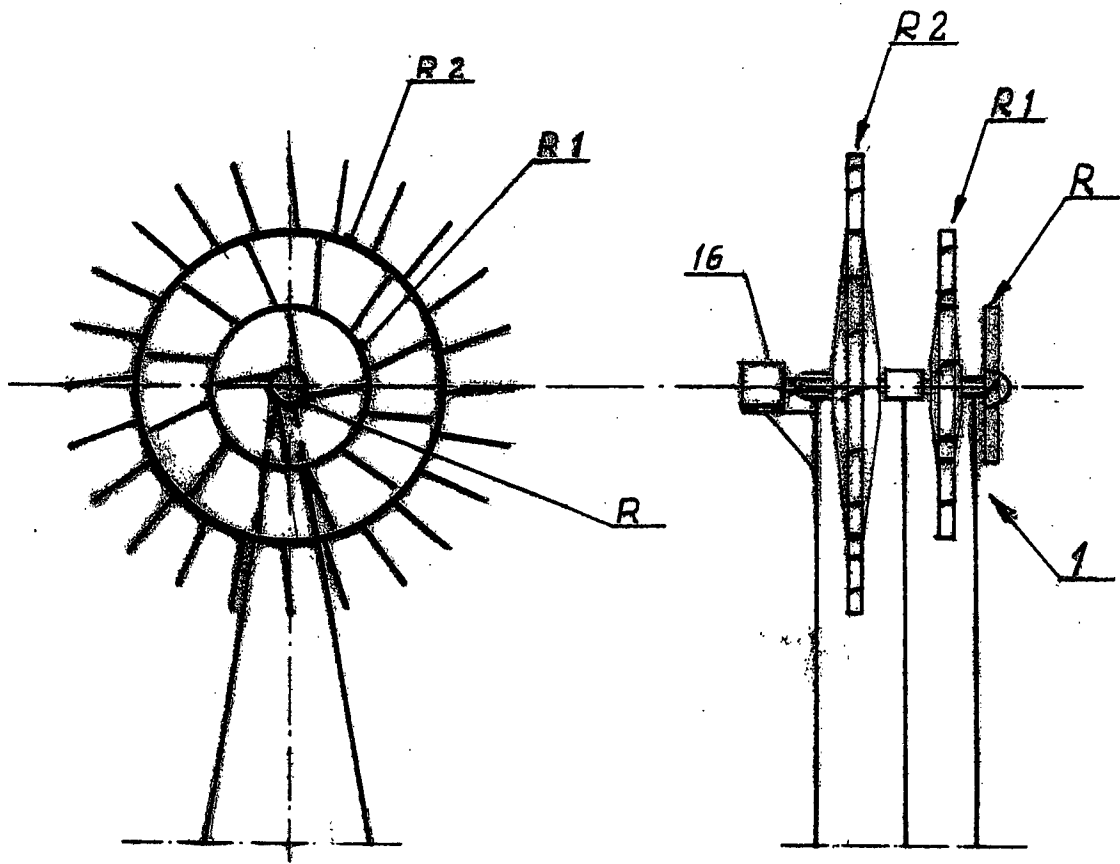


Fig. 1

Fig. 2

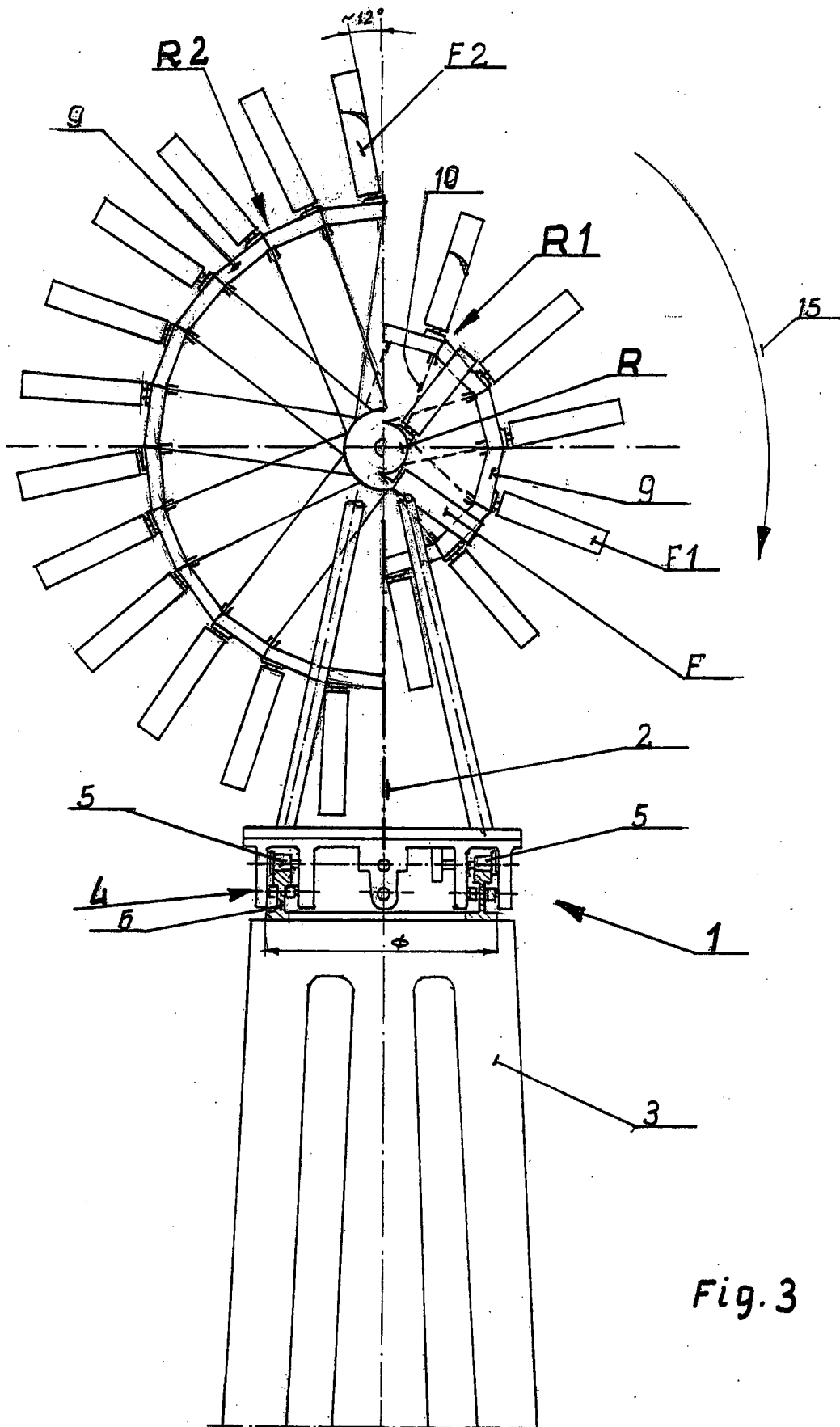


Fig. 3

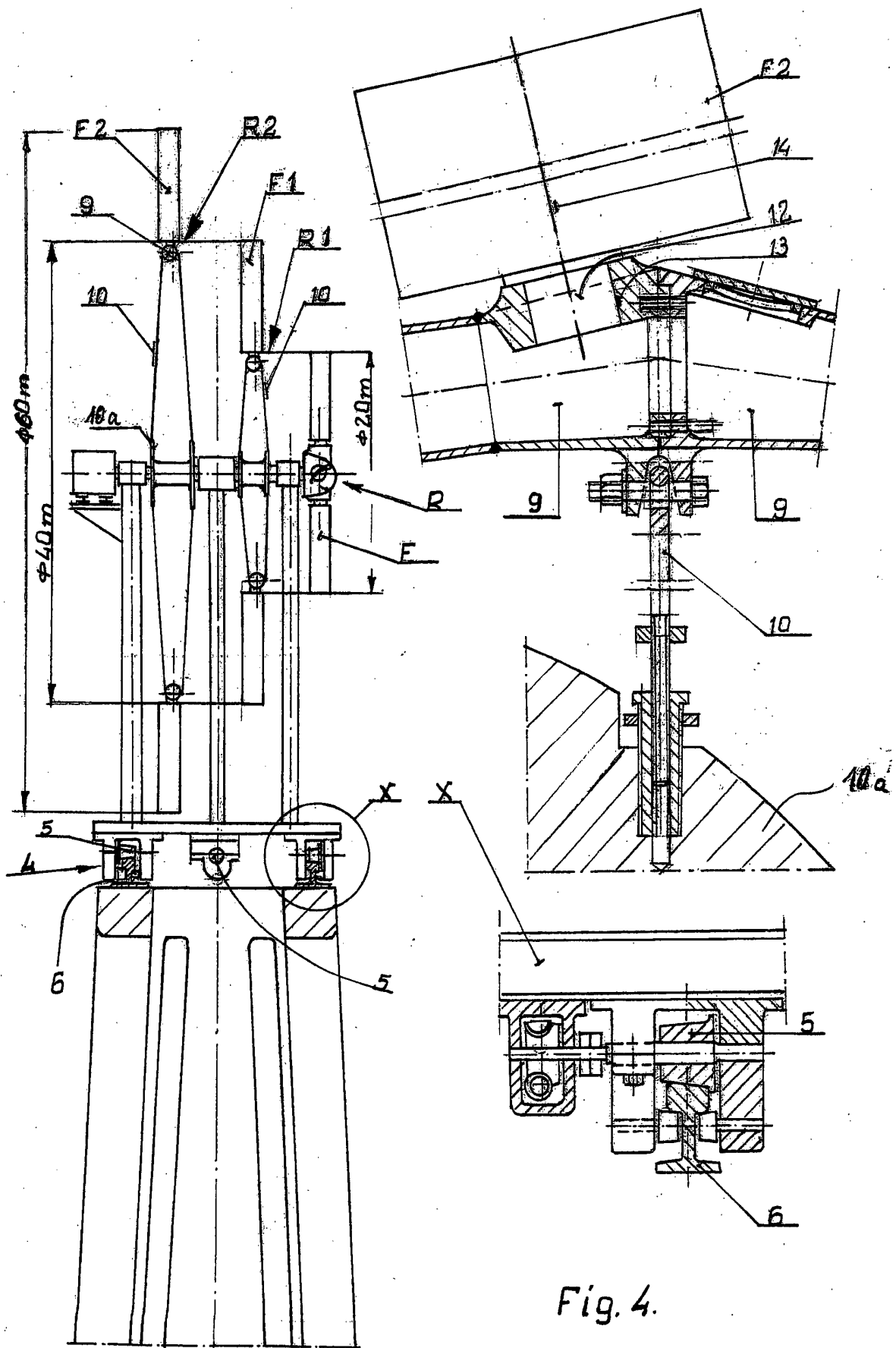
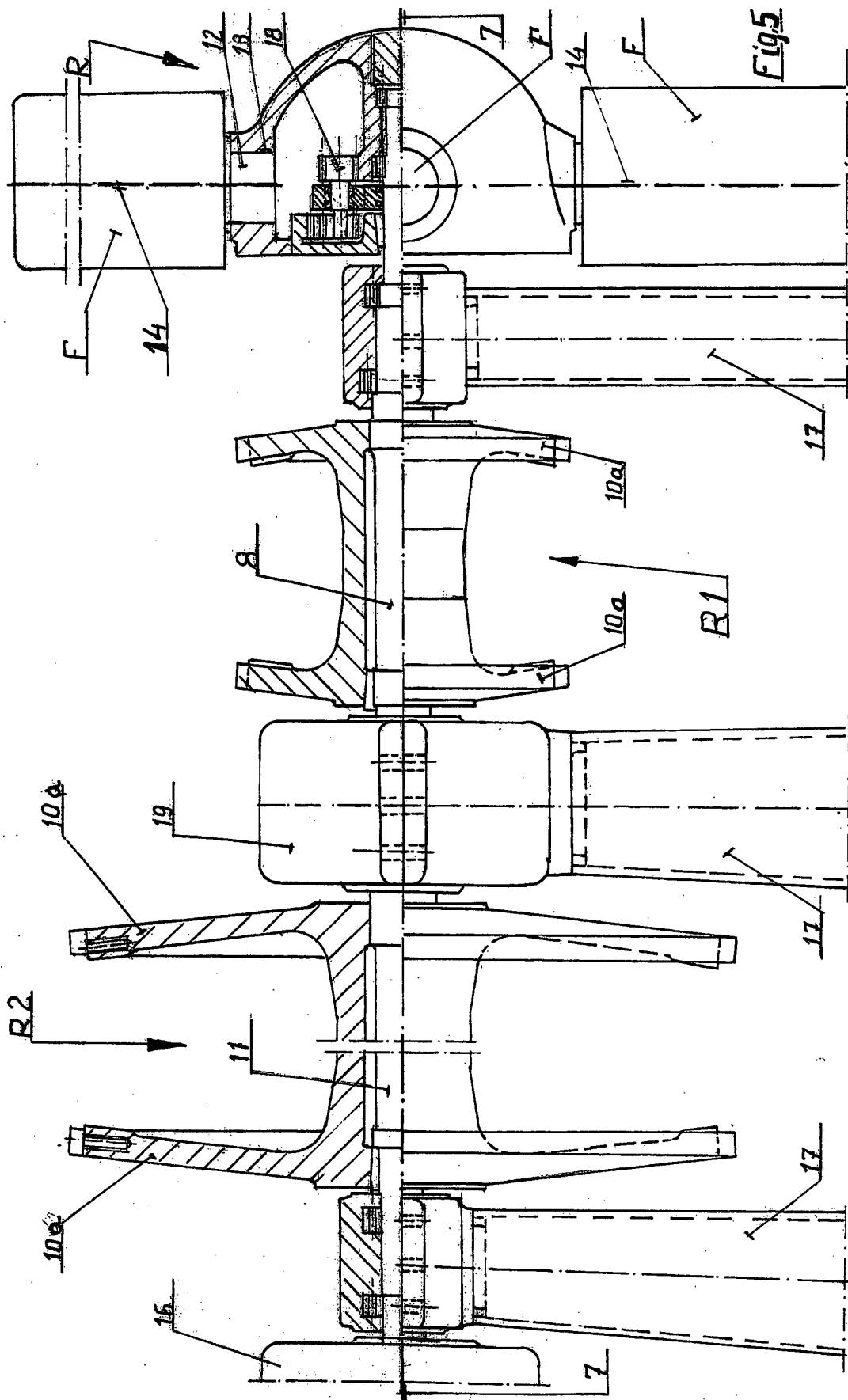


Fig. 4.



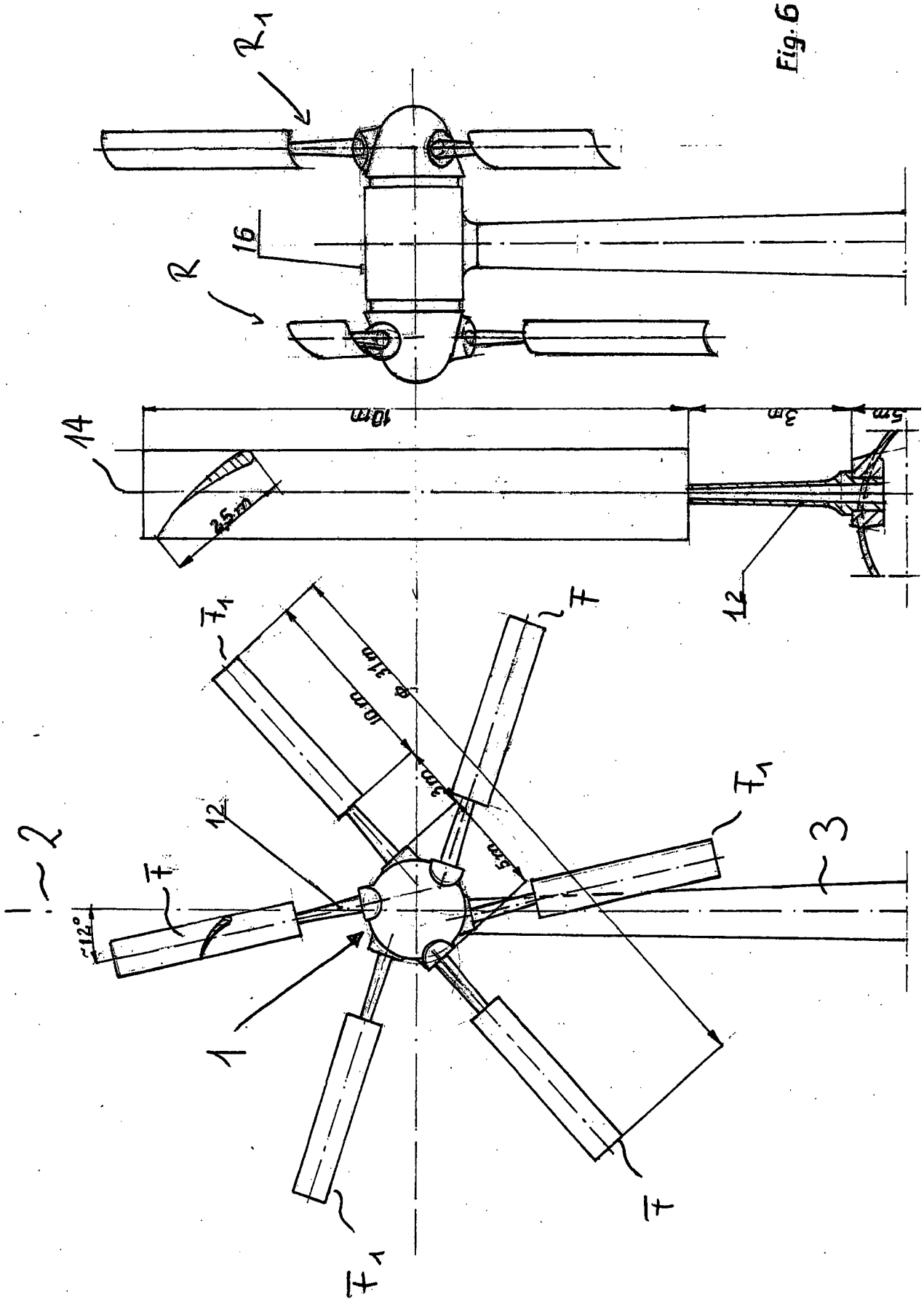


Fig. 6

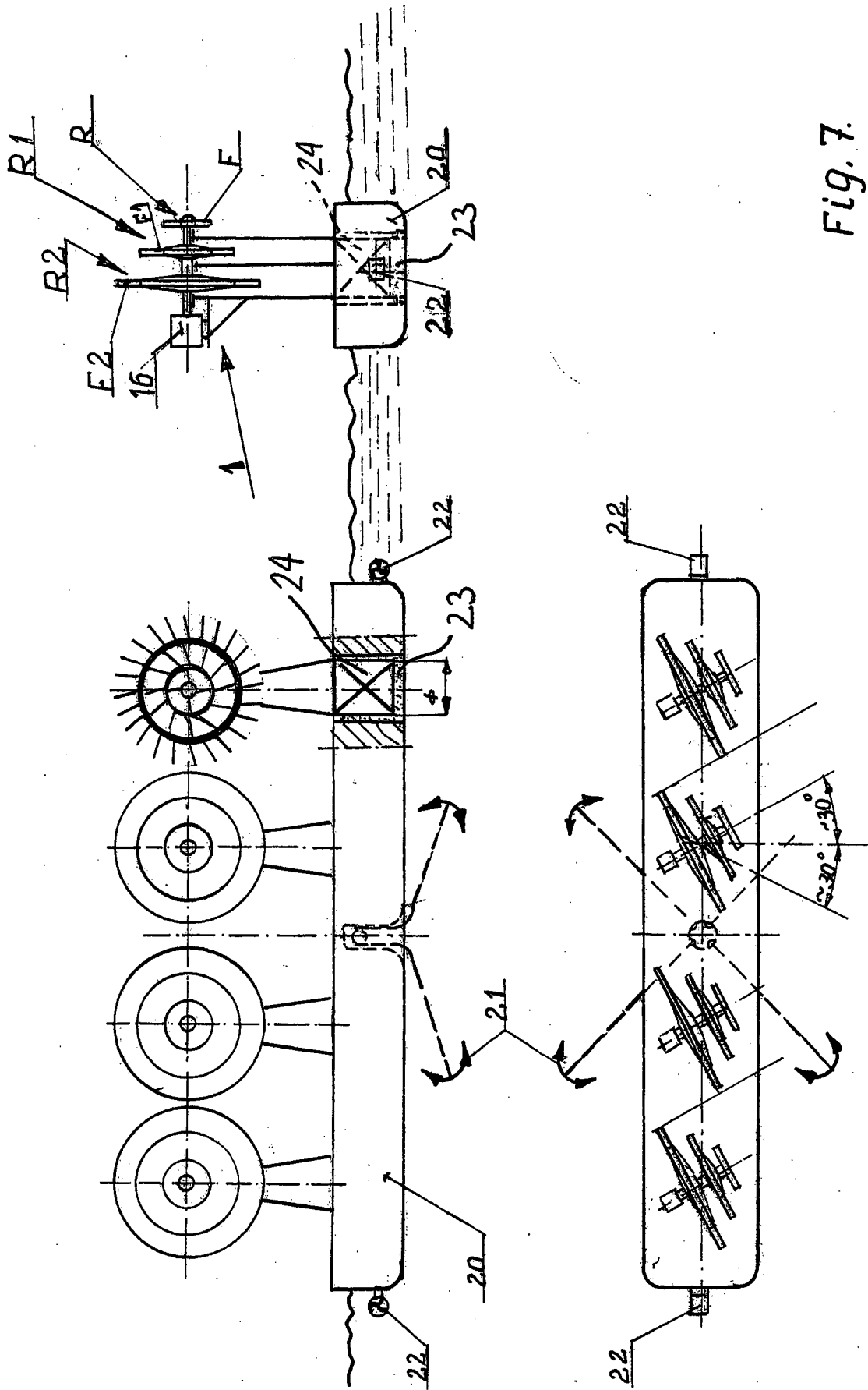


Fig. 7.

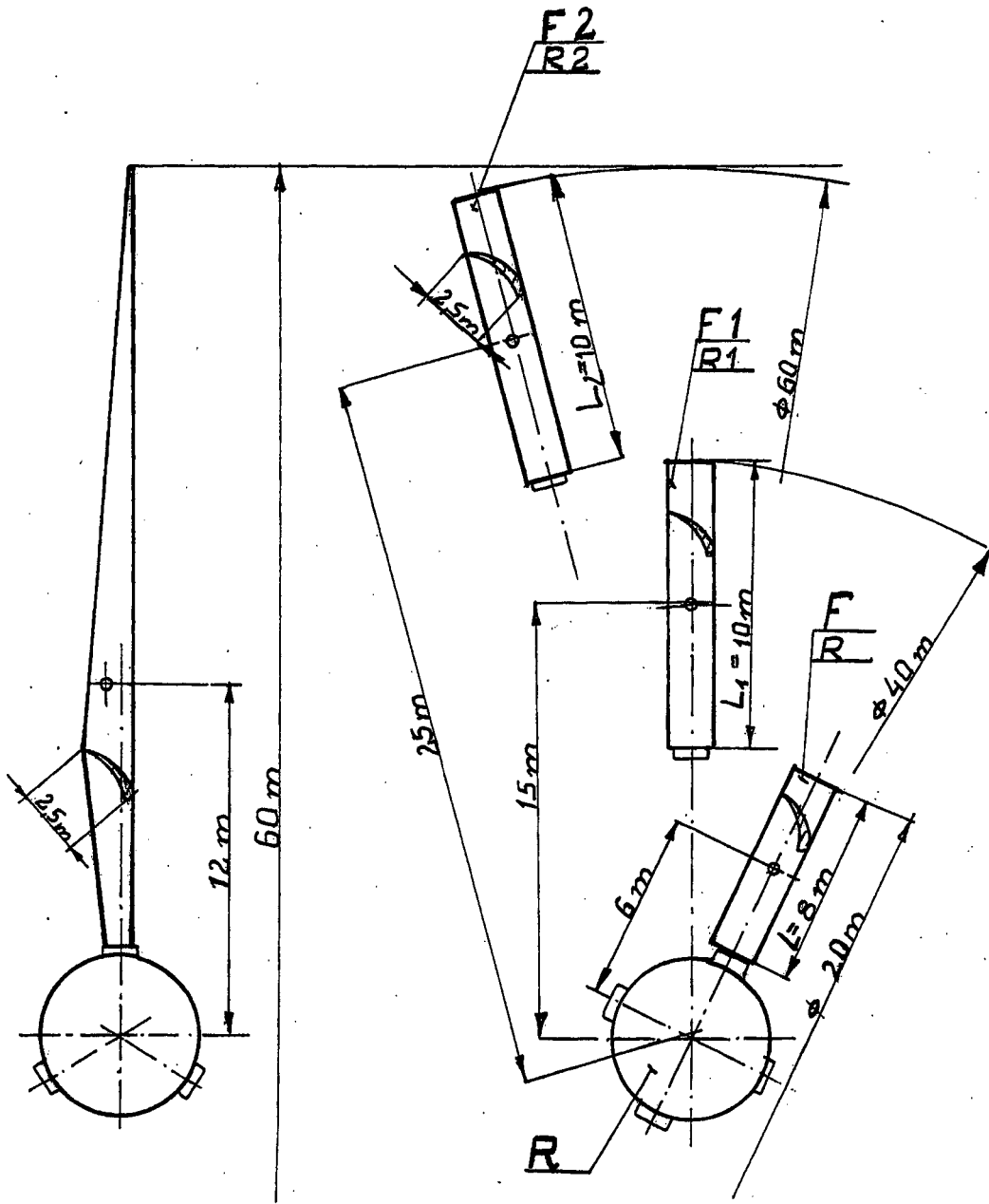


Fig. 8.

Fig. 9.

Φ Rotor - 38m
n-Rotor - 30 U/min
V-wind - 15 m/sec.

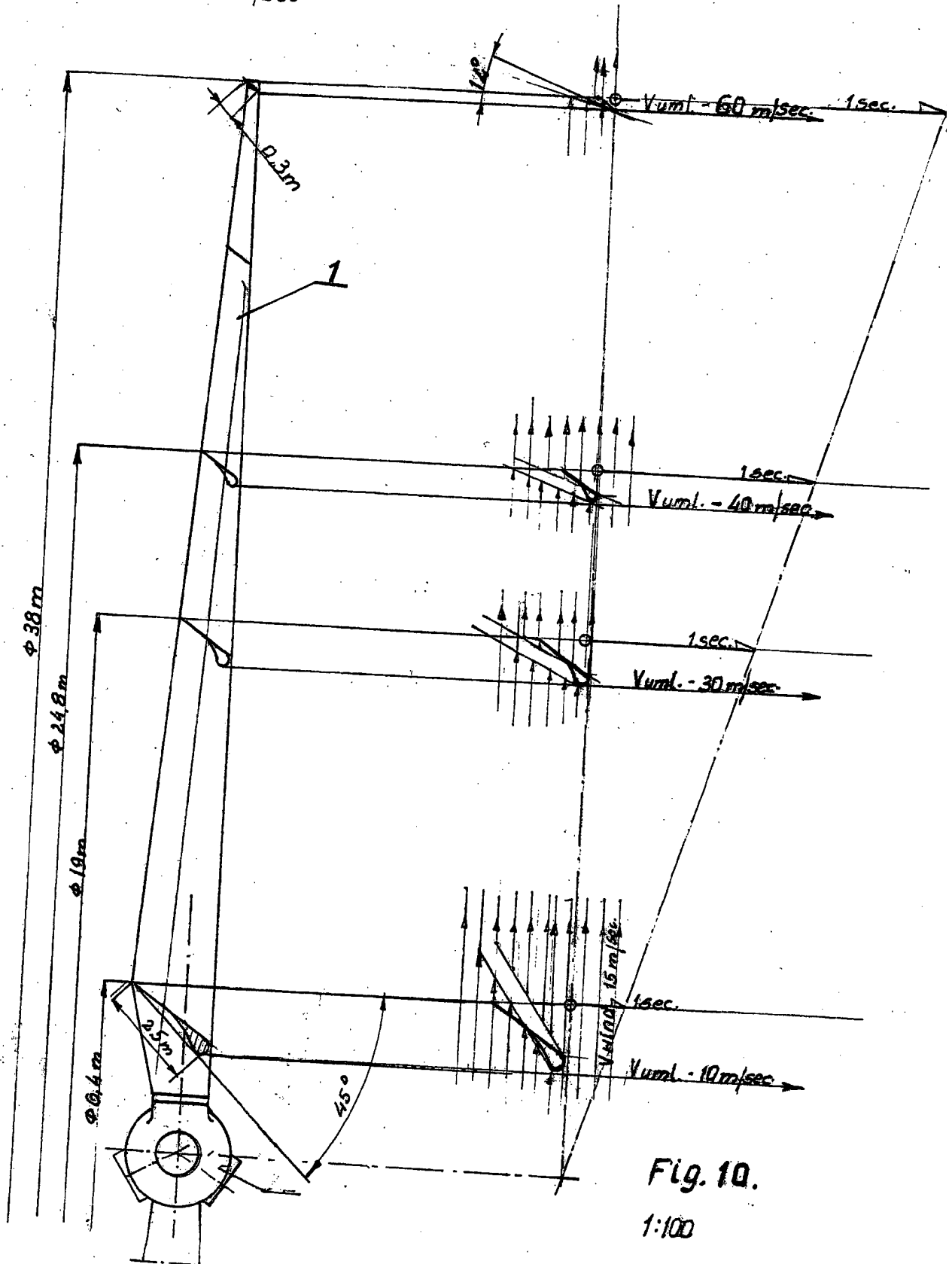


Fig. 10.

1:100

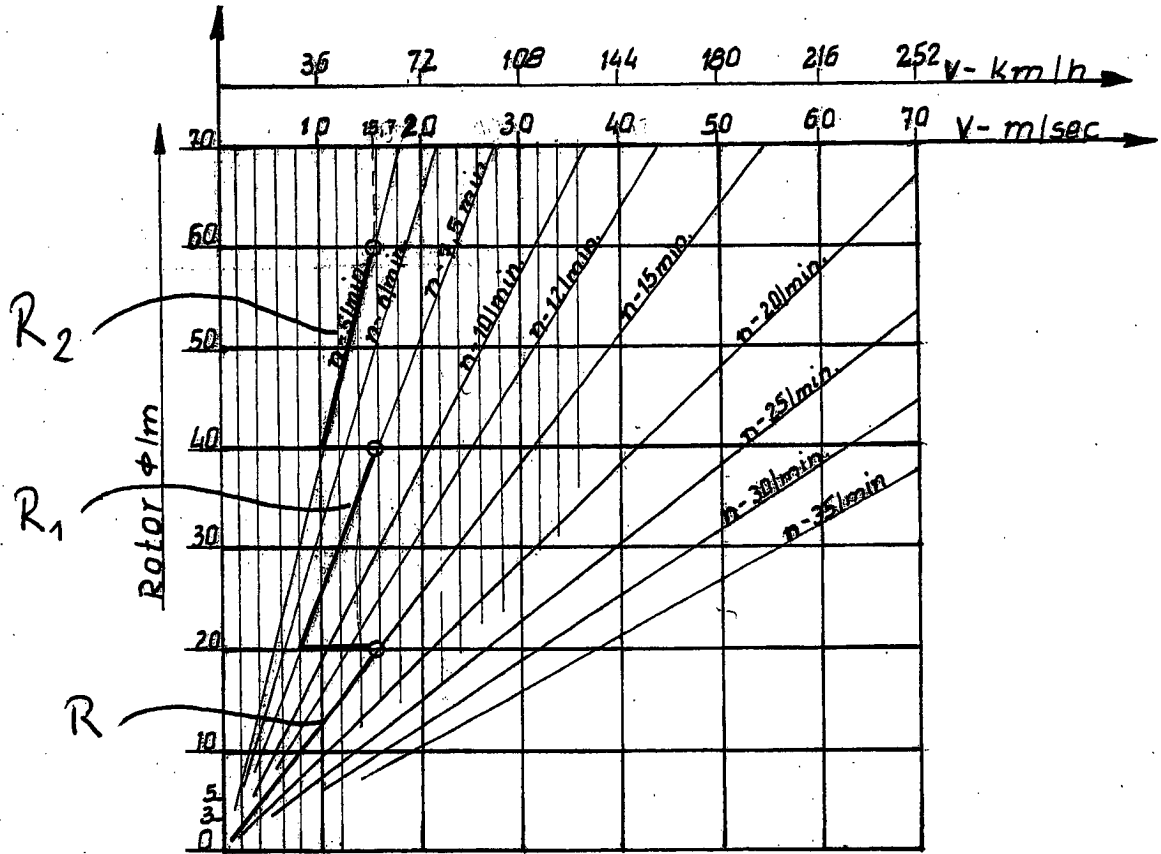


Fig. 11.