



(10) **DE 10 2008 008 060 B4** 2017.08.17

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2008 008 060.8**  
 (22) Anmeldetag: **01.02.2008**  
 (43) Offenlegungstag: **14.05.2009**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **17.08.2017**

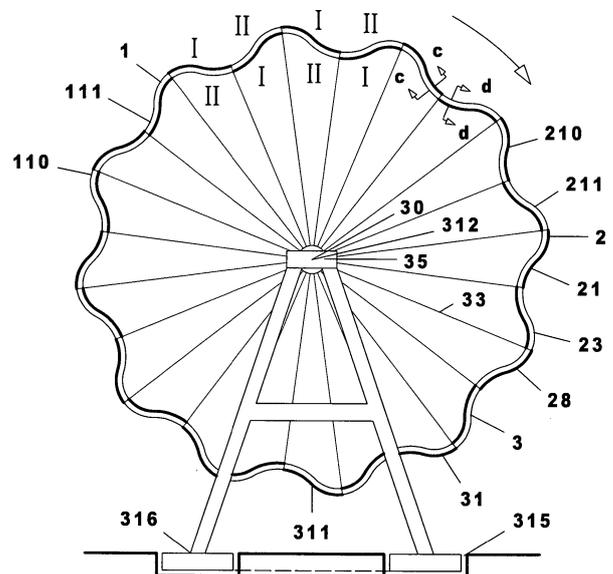
(51) Int Cl.: **F01D 1/34 (2006.01)**  
**F03D 1/06 (2006.01)**  
**B63H 1/14 (2006.01)**  
**B64C 11/00 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(66) Innere Priorität: <b>10 2007 053 289.1 08.11.2007</b>	(72) Erfinder: <b>gleich Patentinhaber</b>
(73) Patentinhaber: <b>Grimm, Friedrich, Prof. Dipl.-Ing., 70376 Stuttgart, DE</b>	(56) Ermittelter Stand der Technik: <b>DE 10 2007 057 077 A1</b> <b>US 6 524 073 B2</b> <b>EP 0 854 981 B1</b>

(54) Bezeichnung: **Rotor mit einem parallel zur Rotationsachse angeströmten, ringförmigen Rotorblatt**

(57) Hauptanspruch: Rotor (3) zur Umwandlung der in einer Strömung enthaltenen kinetischen Energie in eine Drehbewegung als Strömungskonverter (31), welcher Rotor (3) eine Rotationsachse (30) und ein ringförmiges Rotorblatt (2) besitzt, das im Querschnitt ein Flügelprofil mit einer Flügel-nase (20) und einer Flügelhinterkante (24) hat und welches ringförmige Rotorblatt (2) mit seiner Flügel-nase (20) zur Anströmung (s) und mit seiner Flügelhinterkante (24) zur strömungsabgewandten Seite ausgerichtet ist und eine aus wenigstens zwei gleichen Ringsegmenten zusammengesetzte Ringform (1) aufweist, bei der jedes Ringsegment einen Umkreis um die Rotationsachse (30) tangiert und die Flügelstellung (21) in jedem Ringsegment (10) regelmäßig von einer Auftriebstellung (210) in eine Abtriebstellung (211) wechselt, sodass bei Anströmung (s) des Rotors (3) parallel zur Rotationsachse (30) ein aero- oder hydrodynamisch erzeugtes Kräftepaar aus Sog-(I) und Druckkräften (II) mit einem Versatzmoment auf die Rotationsachse (30) einwirkt, dadurch gekennzeichnet, dass das ringförmige Rotorblatt (2) entweder eine wellenförmige Ringform (1) aus drei oder mehreren konvexen oder konkaven Ringsegmenten (110, 111) oder eine Sternform aus drei oder mehreren V-förmigen Ringsegmenten mit spitzen oder gerundeten Ecken oder eine polygonale Ringform (1) aus drei oder mehreren geraden Ringsegmenten mit spitzen oder gerundeten Ecken aufweist.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Rotor zur Umwandlung der in einer Strömung enthaltenen kinetischen Energie in eine Drehbewegung als Strömungskonverter. Der Rotor besitzt eine parallel zur Anströmung ausgerichtete Rotationsachse und ein ringförmiges Rotorblatt, das im Querschnitt ein Flügelprofil mit einer Flügelnase und einer Flügelhinterkante hat. Das ringförmige Rotorblatt ist mit seiner Flügelnase zur Anströmung und mit seiner Flügelhinterkante zur strömungsabgewandten Seite ausgerichtet und weist eine aus wenigstens drei gleichen Ringsegmenten zusammengesetzte Ringform auf, die polygonal, wellenförmig oder sternförmig ausgebildet ist, wobei jedes Ringsegment einen Umkreis um die Rotationsachse tangiert. Innerhalb eines Ringsegments wechselt die Flügelstellung regelmäßig von einer Auftriebstellung in eine Abtriebstellung, sodass bei Anströmung des Rotors parallel zur Rotationsachse ein aero- und hydrodynamisch erzeugtes Kräftepaar aus Sog- und Druckkräften mit einem Versatzmoment auf die Drehachse einwirkt.

Stand der Technik:

**[0002]** Die EP 0 854 981 B1 zeigt ein Windrad mit horizontaler Drehachse und einem kreisringförmigen Rotor, der als Druckring für zugbeanspruchte, flügelförmige Speichen dient. Der Vorschlag, den ringförmigen Rotor selbst zu einem aero- oder hydrodynamisch wirksamen Element zu entwickeln ist hier nicht vorweggenommen. Aus der DE 10 2007 057 077 A1 geht ein ringförmiger Rotor mit mit einer aero- und hydrodynamischen Profilierung hervor. Eine sternförmige oder eine wellenförmige Ringform und eine polygonale Ringform mit geraden Ringsegmenten sind in dieser Schrift nicht offenbart.

**[0003]** Aus der US 6 524 073 B2 geht ein Rotor mit einer Endlosschleife hervor, die als Rotorblatt oder als Propeller oder als Ventilator wirkt.

**[0004]** Bekannte Wind- und Wasserturbinen mit horizontaler Drehachse weisen radial zur Drehachse angeordnete Rotorblätter mit einem aero- oder hydrodynamisch wirksamen Flügelquerschnitt auf, der mit einer Breitseite zur Strömung ausgerichtet ist. Die Rotorblätter sind als Kragarme mit dem Rotorkopf einseitig verbunden. Obwohl der Rotordurchmesser in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich vergrößert wurde, erreicht diese Bauart mit etwa 130 m Rotordurchmesser eine konstruktionsbedingte Grenze. Bei dieser Größe sind die Rotorblätter extremen Belastungen unterworfen, neigen zu Schwingungen und rufen Schlaggeräusche beim Durchgang der Rotorblätter am Mast hervor.

**[0005]** Ausgehend von dem dargestellten Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen Rotor mit einem ringförmigen Rotorblatt und einer aero- und hydrodynamisch wirksamen Flügelprofilierung anzugeben, der im Falle eines Strömungskonverters als Schnellläufer von der Strömung in Rotation versetzt wird. Ein ringförmiges Rotorblatt, das mittels einer Anzahl von aero- und hydrodynamisch wirksamen Speichen mit der Rotationsachse verbunden ist, zeichnet sich nicht nur durch einen erhöhten Wirkungsgrad bei einem vorgegebenen Rotordurchmesser aus, sondern weist bessere Laufeigenschaften und einen geringeren Verschleiß auf. Die Bauform eines Speichenrads ermöglicht insbesondere bei Windturbinen neue, bisher nicht realisierbare Anlagengrößen mit einem zwei- bis dreimal so großen Rotordurchmesser wie bisher üblich. Damit leistet die Erfindung einen Beitrag zur weiteren und vermehrten Erschließung der Windkraft als ökologisch unbedenkliche Energiequelle.

**[0006]** Folgende Aufgaben werden von einem erfindungsgemäßen Strömungskonverter als Wind- oder Wasserturbine gelöst:

- Ersatz herkömmlicher, radial angeordneter, biegebeanspruchter Rotorblätter durch ein vorwiegend druckbeanspruchtes, ringförmiges Rotorblatt
- Vorwiegende Zugbeanspruchung der vorgespannten radialen Speichen
- Stabile Konstruktion mit einer mehrfachen, räumlichen Unterstützung des ringförmigen Rotors und einer zweifachen Lagerung der radialen Speichen
- Herstellung eines ringförmigen, viergurtigen Fachwerkträgers mit Gurten in Umfangsrichtung und aussteifenden Ringsegmenten eines Rotorblatts mit Stern- oder Wellenform
- Herstellung einer speichenlosen Radkonstruktion mit kreisringförmig gebogenen Gurtstäben am Außen- und Innumfang eines stern- oder wellenförmigen, ringförmigen Rotorblatts
- Einfache Montage durch Elementierung der Konstruktion
- Die Speichenradkonstruktion ermöglicht Rotordurchmesser bis zu 300 m
- Verstetigung der Rotationsbewegung durch eine günstige Massenverteilung
- Gute Anlaufeigenschaften bei leichter Strömung
- Selbsttätige Ausrichtung zur Anströmung

- Kombination herkömmlicher radialer Rotorblätter mit einem ringförmigen Rotorblatt
- Erhöhung der aero- bzw. hydrodynamisch wirksamen Oberfläche
- Leiser Rotorlauf, Schlaggeräusche und niederfrequente Schwingungen treten nicht auf.
- Große Variationsbreite der Ringform als Wellen- und Sternform, als Vieleck, als Bogenvieleck und auch als Reuleaux-Dreieck
- Extremer Leichtbau
- Vergleichsweise günstige Beanspruchung der Drehlager
- Vergleichsweise höhere elektrische Leistung bei gleichem Rotordurchmesser
- Selbsttätige Ausrichtung zur Anströmung aufgrund der Fahnenstellung der Flügelprofile
- Drehzahlbegrenzung durch pneumatisch oder hydraulisch betriebene Flügelklappen

#### Aerodynamik, Hydrodynamik:

**[0007]** Das aero- bzw. hydrodynamische Wirkprinzip eines ringförmigen Rotorblatts lässt sich mit einem symmetrischen Flügelprofil oder mit einem asymmetrischen Flügelprofil erzielen.

**[0008]** Bei einem ringförmigen Rotorblatt mit einem symmetrischen Flügelprofil wird der periodische Wechsel von Sog- und Druckkräften durch eine kontinuierlich sich ändernde Flügelneigung (pitch) erreicht. Der besondere Vorteil dieser Gestaltungsvariante liegt in einem strömungsgünstigen, harmonischen Übergang zwischen den Auf- und Abtrieb erzeugenden Ringsegmenten, wobei sowohl die Profilnase als auch die Profilhinterkante einen periodisch schwingenden Verlauf zeigen.

**[0009]** Bei der Verwendung von asymmetrischen Flügelprofilen wird das Kräftepaar aus Sog- und Druckkräften durch Umkehrung der Flügelwölbung hergestellt.

**[0010]** Die aero- bzw. hydrodynamische Wirkung hängt auch vom Winkel ab, den die einzelnen Ringsegmente gegenüber dem Radius eines Rotors einnehmen. Da die den Rotor antreibenden Kräfte stets tangential wirken, wäre eine radiale Blattanordnung optimal. Diese führt jedoch zu einem hohen Rotationswiderstand, sodass eine wellen- oder sternförmige Ausbildung eines ringförmigen Rotorblatts den von einem Flügelprofil bewirkten Auftrieb unmittelbar in einen Drehimpuls umsetzt.

**[0011]** Als Maßnahmen zur Effizienzsteigerung der aero- und hydrodynamischen Wirkung einer erfindungsgemäßen Wind- oder Wasserturbine kommen folgende vorteilhafte Gestaltungsmöglichkeiten in Frage:

- Ausbildung eines wellenförmig geschwungenen ringförmigen Rotorblatts, um den tangentiell, d. h. rotativ wirksamen Anteil aus der Auftriebs- bzw. Abtriebskraft eines Flügelprofils zu erhöhen
- Gestaltung strömungsgünstiger Übergänge an den Nahtstellen eines asymmetrischen Flügelprofils, an denen ein Wechsel der Profilwölbung von der Ringaußen- zur Ringinnenseite erfolgt
- Ausbildung eines harmonischen Übergangs zwischen Auf- und Abtriebstellung bei einem symmetrischen Flügelprofil durch eine über den Umfang des ringförmigen Rotorblatts periodisch und kontinuierlich sich ändernde Profilneigung (pitch)
- Kombination einer kontinuierlichen Änderung der Profilneigung (pitch) eines Flügelprofils mit der wellenförmigen Ringform des Rotorblatts
- Ausbildung gerundeter Ecken an einem polygonförmigen Rotorblatt
- Ausbildung gerader Ringsegmente an einem polygonal ausgebildeten Rotorblatt

#### Der Rotor als Ganzes:

**[0012]** Für die Verbindung des ringförmigen Rotorblatts mit einer Nabe bzw. mit der Drehachse sind Speichen vorgesehen. Bei einer Windturbine und bei einer Wasserturbine sind die Speichen selbst als aerodynamisch wirksame Flügelprofile ausgebildet und stehen quer zur Anströmung, wobei ihre Flügel Nase in Drehrichtung angeordnet ist. Im Rahmen der Erfindung wird vorgeschlagen, die Speichen einer Windturbine als Seile oder als Flachprofile auszubilden. Die aerodynamische Wirkung wird mittels einer zweiteiligen, aerodynamisch und hydrodynamisch wirksamen Profilschale erzielt, die als Aluminium-Strangpressprofil oder als Kunststoffprofil auf dem Seil bzw. auf dem Flachprofil befestigt wird. Bei einem Windrad ist eine leichte Konstruktion von Bedeutung. Glasfaserverstärkter Kunststoff und Kohlefaser verstärkter Kunststoff sind geeignete Materialien für den Leichtbau des ringförmigen Rotors und der Speichen bis zu einem Raddurchmesser von 160 m. Ein erfindungsgemäßes Windrad kann aber wesentlich größer hergestellt werden mit einem Durchmesser von über 300 m. Derart große Räder eignen für den Off-Shore-Einsatz. Bei einem großen Windrad ist von Bedeutung, dass es sich bei unterschiedlichen Temperaturen und unter wechselnder aerodynamischer Belastung nur innerhalb enger Toleranzen verformt. Um dies zu gewährleisten, wird vorgeschlagen, jede Speiche mit Teller- oder Spi-

ralfedern an die Nabe anzuschließen. Zur Übertragung des Drehmoments überkreuzen sich die Speichen wie bei einem Fahrrad. Bei großen Rädern können innerhalb des zugbeanspruchten Speichensystems zwischen Druckring und Nabe zusätzliche Koppelstäbe zwischen den v-förmig gespreizten Speichen mit aussteifenden Verbänden vorgesehen werden. Idealerweise wird der Generator in der Radnabe angeordnet. Die Erfindung betrifft auch naben- und speichenlose Rotorkonstruktionen. Bei einem wellenförmig geschwungenen, ringförmigen Rotorblatt oder aber auch bei einem sternförmigen Rotorblatt können die Ringsegmente in Umfangsrichtung untereinander durch Zug- oder Druckstäbe verbunden werden, sodass das ringförmige Rotorblatt einen räumlichen, viergurtigen Fachwerkträger bildet. Mit und ohne zusätzliche aussteifende Speichen eignet sich diese Bauform für die Herstellung extrem großer Rotoren mit Durchmessern bis zu 300 m. Eine nabenlose Radkonstruktion benötigt am Fußpunkt eine Drehscheibe und ein Rollenlager, bei dem mehrere Radsätze an die äußeren und inneren, kreisringförmig ausgebildeten Gurtstäbe des Fachwerktrades angreifen. Zahnkränze an den Gurtstäben übertragen am Fußpunkt die Drehbewegung des Rotors auf Generatoren. Bei einem derartigen, viergurtigen Fachwerkrad verbindet ein sternförmiges Rotorblatt mit gezackten Ringsegmenten die Gurtstäbe untereinander. Große, erfindungsgemäße Windräder können bevorzugt entlang der bestehenden Verkehrswege, wie Autobahnen und Eisenbahntrassen installiert werden, um die umgebende unverbauete Landschaft zu schonen. Mittels eines räumlich verzweigten Unterbaus können die Windräder unmittelbar über den Verkehrswegen angeordnet werden. Kleine Windräder mit Durchmessern von 3–12 m eignen sich für eine dezentrale Stromversorgung individueller Haushalte. Hier können die Speichen selbst aus aerodynamisch geformten, gewalzten oder stranggepressten Metallprofilen bestehen. Eine besondere Form des Leichtbaus stellt eine pneumatische Konstruktion dar, bei der die Flügelkontur eines ringförmigen Rotorblatts aus einer hochfesten, mit Druckluft befüllten Membran gebildet wird. Ein derartiges Windrad erscheint besonders wirtschaftlich, eignet sich für den Selbstaufbau und kann zusammengeklappt in kompakter Form versandt werden.

**[0013]** Soll bei einem Strömungskonverter eine Antriebskraft bewirkt werden, ist vom Vogelflug bekannt, dass der Flügelschlag zu einer Vorwärtsbewegung führt. Der Flügelschlag verursacht eine erhöhte Luftgeschwindigkeit an den Flügeloberflächen, sodass auch ein höherer Auftrieb vorhanden ist. Bei der Schwimmbewegung von Fischen im Wasser spielt das Flügelprofil des Fischkörpers eine wesentliche Rolle. In einer Art kontinuierlichen Schwingung erzeugt der Fischkörper im Wechsel Über- und Unterdruck an seinen seitlichen Oberflächen. Aus dieser Bewegung resultiert der Schub, der den Fisch bewegt. Im Rahmen der Erfindung wird vorgeschlagen, dieses aero- und hydrodynamische Wirkprinzip auf ein angetriebenes ringförmiges Rotorblatt zu übertragen. Dabei ist von Bedeutung, dass eine von der Kreisringform abweichende, polygonale Ringform bei Rotation in dem umgebenden Medium Über- und Unterdruck verursacht.

**[0014]** Die Fig. 1–Fig. 3 zeigen ein exemplarisches Ausführungsbeispiel für einen Strömungskonverter:

**[0015]** Fig. 1 zeigt eine Windturbine (311) mit wellenförmig geschwungenem, ringförmigem Rotorblatt in der schematischen Ansicht. Das ringförmige Rotorblatt (2) weist einen wellenförmigen Umriss auf und ist aus 12 konvexen bzw. konkaven Ringsegmenten (110, 111) zusammengesetzt. Das asymmetrische Flügelprofil (23) wechselt innerhalb der konvexen Ringsegmente (110) bzw. der konkaven Ringsegmente (111) regelmäßig von einer Auftriebsstellung (210) in eine Abtriebsstellung (211). Dabei entstehen an den Flügeloberflächen Sog- und Druckkräfte (I, II), die mit einem Versatzmoment auf die Drehachse (30) des Rotors (3) einwirken. Der Neigungswinkel, den ein Ringsegment (110, 111) mit der Kreistangente bildet, bestimmt den vektoriellen Anteil aus der Zerlegung der von den asymmetrischen Flügelprofilen (23) hervorgerufenen, auftreibenden bzw. abtreibenden Kräfte. Dabei gilt folgender Zusammenhang: Eine steilere Neigung der sinusartigen Wellenbewegung des Flügelprofils erhöht unmittelbar das Drehmoment, führt aber auch zu einem erhöhten Luftwiderstand des schnell umlaufenden Rotors (3). Die hier dargestellte sanfte Wellenform versucht bei möglichst geringem Luftwiderstand ein hohes Drehmoment zu erzeugen. Das ringförmige Rotorblatt ist mittels radial angeordneter Speichen (33) mit der Nabe (35) des Rotors verbunden. Ausgehend von dem ringförmigen Rotorblatt sind die Speichen (33) zur Nabe (35) hin V-förmig gespreizt. Zur Verformungsbegrenzung halten Federelemente an der Nabe (35) die Vorspannkraft der Speichen (33) konstant. Die Nabe (35) nimmt einen Generator (312) auf und stützt sich auf zwei A-förmige Böcke. Der Fußpunkt (316) ist als drehbare Ringscheibe ausgebildet und dient als Drehgelenk (315) für die große Windkraftanlage.

**[0016]** Fig. 2 zeigt den schematischen Querschnitt (c-c) nach Fig. 1 durch das asymmetrische Flügelprofil (23) in Auftriebsstellung (210). Das Flügelprofil (23) kann als Hohlprofil aus Metall oder Kunststoff mit inneren Versteifungsrippen hergestellt werden.

**[0017]** Fig. 3 zeigt den schematischen Querschnitt (d-d) nach Fig. 1 durch das asymmetrische Flügelprofil (23) in Abtriebsstellung (210).

## Bezugszeichenübersicht

Ringform	<b>1</b>	Ringförmiges Rotorblatt	<b>2</b>	Rotor	<b>3</b>
Konvexes Ringsegment	<b>110</b>	Flügelnase	<b>20</b>	Rotationsachse	<b>30</b>
Konkaves Ringsegment	<b>111</b>	Flügelstellung	<b>21</b>	Strömungskonverter	<b>31</b>
		Auftriebsstellung	<b>210</b>	Windturbine	<b>311</b>
		Abtriebsstellung	<b>211</b>	Generator	<b>312</b>
		Asymmetrisches Flügelprofil	<b>23</b>	Drehgelenk	<b>315</b>
		Flügelhinterkante	<b>24</b>	Fußpunkt	<b>316</b>
		Hohlprofil	<b>28</b>	Speiche	<b>33</b>
		Anströmung	s	Nabe	<b>35</b>
		Sogkraft	I		
		Druckkraft	II		

## Patentansprüche

1. Rotor (**3**) zur Umwandlung der in einer Strömung enthaltenen kinetischen Energie in eine Drehbewegung als Strömungskonverter (**31**), welcher Rotor (**3**) eine Rotationsachse (**30**) und ein ringförmiges Rotorblatt (**2**) besitzt, das im Querschnitt ein Flügelprofil mit einer Flügelnase (**20**) und einer Flügelhinterkante (**24**) hat und welches ringförmige Rotorblatt (**2**) mit seiner Flügelnase (**20**) zur Anströmung (s) und mit seiner Flügelhinterkante (**24**) zur strömungsabgewandten Seite ausgerichtet ist und eine aus wenigstens zwei gleichen Ringsegmenten zusammengesetzte Ringform (**1**) aufweist, bei der jedes Ringsegment einen Umkreis um die Rotationsachse (**30**) tangiert und die Flügelstellung (**21**) in jedem Ringsegment (**10**) regelmäßig von einer Auftriebsstellung (**210**) in eine Abtriebsstellung (**211**) wechselt, sodass bei Anströmung (s) des Rotors (**3**) parallel zur Rotationsachse (**30**) ein aero- oder hydrodynamisch erzeugtes Kräftepaar aus Sog-(I) und Druckkräften (II) mit einem Versatzmoment auf die Rotationsachse (**30**) einwirkt, **dadurch gekennzeichnet**, dass das ringförmige Rotorblatt (**2**) entweder eine wellenförmige Ringform (**1**) aus drei oder mehreren konvexen oder konkaven Ringsegmenten (**110**, **111**) oder eine Sternform aus drei oder mehreren V-förmigen Ringsegmenten mit spitzen oder gerundeten Ecken oder eine polygonale Ringform (**1**) aus drei oder mehreren geraden Ringsegmenten mit spitzen oder gerundeten Ecken aufweist.

2. Rotor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das ringförmige Rotorblatt (**2**) als nabenlose Radkonstruktion ausgebildet ist, wobei die Ringsegmente bei der wellenförmigen Ringform oder bei der Sternform in Umfangsrichtung untereinander durch Zug- oder Druckstäbe verbunden werden, sodass das ringförmige Rotorblatt (**2**) einen räumlichen, viergurtigen Fachwerkträger bildet.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

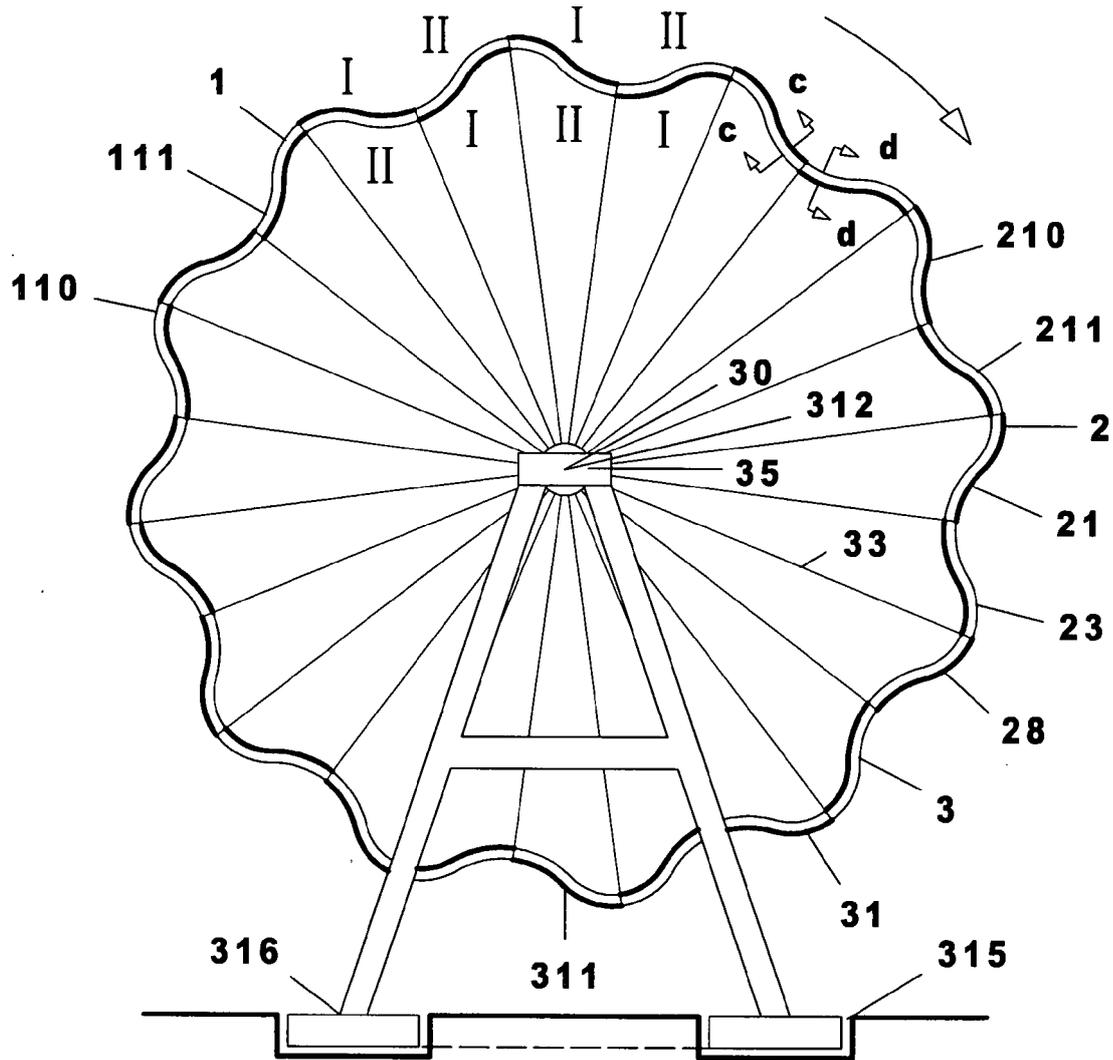


FIG. 1

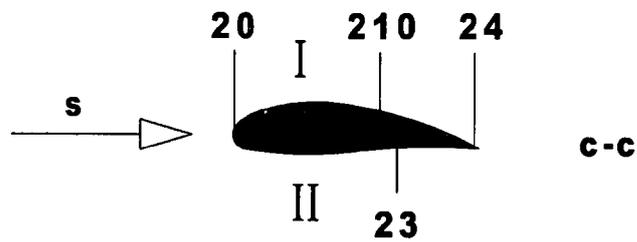


FIG. 2

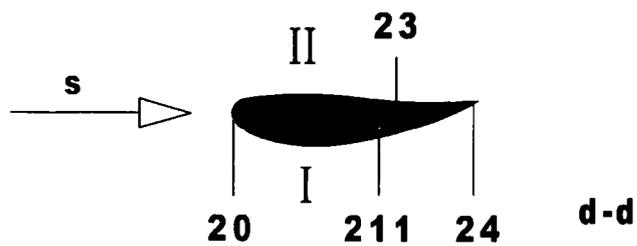


FIG. 3