

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 372 738**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/04** (2006.01)

**F03D 3/04** (2006.01)

**F03D 11/04** (2006.01)

**F03D 7/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03771491 .2**

96 Fecha de presentación: **15.07.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1534951**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **01.06.2005**

54 Título: **INSTALACIÓN DE COLECTORES DE FLUJO DE ENERGÍA, TAL COMO UN PARQUE EÓLICO, Y PROCEDIMIENTO DE FUNCIONAMIENTO.**

30 Prioridad:  
**15.07.2002 NL 1021078**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**26.01.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**26.01.2012**

73 Titular/es:  
**STICHTING ENERGIEONDERZOEK CENTRUM  
NEDERLAND  
WESTERDUINWEG 3  
1755 LE PETTEN, NL**

72 Inventor/es:  
**CORTEN, Gustave, Paul;  
LINDENBURG, Koert y  
SCHAAK, Pieter**

74 Agente: **Martín Santos, Victoria Sofia**

**ES 2 372 738 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Instalación de colectores de flujo de energía, tal como un parque eólico, y procedimiento de funcionamiento

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y/o una instalación por medio de la que puede extraerse energía a partir de un fluido que fluye, consistiendo dicha instalación en múltiples instalaciones que ejercen una influencia entre ellas. El fluido que fluye indica flujos tanto de viento como de agua (de mar). Los dispositivos comprenden particularmente turbinas eólicas.

10 Se conoce en general que puede extraerse energía a partir del viento usando turbinas eólicas. Tanto el tamaño de las turbinas eólicas como el número de turbinas eólicas se ha aumentado con rapidez en los últimos años. Varias turbinas en aumento con frecuencia se están instalando unas junto a otras en lo que se denomina instalación o parque eólico. Debido a la falta de espacio en tierra (especialmente en Europa), las turbinas están también con frecuencia instalándose en mar abierto. Ahora se han planeando parques eólicos de mar abierto, que consisten en  
15 decenas de turbinas o más. Aunque la intuición de los expertos es divergente a este respecto, la energía eólica se ve como una de las principales fuentes de energía del futuro. Si esto se hace realidad, van a necesitarse muchos parques cada uno con cientos de turbinas de unos pocos megavatios de potencia instalada. Estos tipos de parques son caros y por lo tanto es extremadamente importante que la producción de los parques sea alta, es decir que justifique los costes.

20 Debido a que una turbina eólica extrae energía cinética a partir del viento, la velocidad del viento habrá caído por detrás de la turbina. Si una turbina eólica extrae la máxima cantidad de energía a partir del viento, es normal que la velocidad del viento caiga a menos de un 50 % de la velocidad original una corta distancia por detrás de la turbina (por ejemplo un diámetro). Debido a que la potencia que puede obtenerse a partir del viento es proporcional a la  
25 tercera potencia de la velocidad del viento, la caída en la velocidad significa que una segunda turbina que se instalase en esa posición sería capaz de conseguir sólo un octavo de la potencia, en comparación con la turbina de aguas arriba. Este efecto se denomina a menudo el efecto de sombra y también se denomina interferencia; la pérdida que se produce se denomina pérdida por sombra.

30 En la práctica unas caídas tan drásticas en potencia rara vez se producen debido a que las turbinas eólicas se colocan bastante separadas entre ellas. La distancia entre las turbinas es habitualmente de 5 a 10 veces el diámetro de la turbina – a lo largo de esa distancia el viento lento se mezcla en la estela con un viento más rápido a su alrededor, como resultado de lo cual la velocidad del viento en la posición de una turbina posterior no ha caído demasiado en comparación con la velocidad original del viento. En resumen, el efecto de sombra disminuye  
35 aumentando la distancia entre las turbinas. No obstante, esta medida funciona sólo en una cierta medida.

El problema no se restringe únicamente a una interacción adversa entre dos turbinas eólicas instaladas la una tras la otra en la dirección del viento, si bien se produce en una medida más significativa en los parques eólicos. La energía que se extrae mediante las turbinas eólicas que están aguas arriba en un parque, junto con la pérdida de mezclado que se explica anteriormente, conduce de forma inevitable a una caída de la velocidad en la capa límite atmosférica en la que está ubicado el resto del parque. Se ha comentado que se produce un agotamiento de la energía en la capa límite atmosférica. En términos generales, todas las turbinas que se encuentran aguas arriba en la dirección del viento constituyen una desventaja para todas las turbinas que se encuentran aguas abajo en la dirección del viento y todavía más exhaustivamente incluso las turbinas de aguas abajo producirán una desventaja para las  
45 turbinas de aguas arriba. La influencia mutua (efecto de sombra) por lo tanto funciona no sólo en la dirección del viento sino, aunque en una medida mucho menor, también aguas arriba en la dirección del viento. En un sentido incluso más amplio puede también decirse que se produce un efecto de sombra entre diferentes parques eólicos. Todo un parque que está ubicado aguas abajo de otro parque puede estar sometido a una reducción sustancial en la producción. Aparte de las caídas en la salida ya mencionadas, el funcionamiento en la estela puede también  
50 conducir a más daño por fatiga a las turbinas eólicas. Los efectos de sombra son por lo tanto particularmente adversos.

Si el número de turbinas que se encuentran una detrás de la otra se hace grande, se necesitan unas distancias más grandes en aumento entre las turbinas para mantener pérdidas por sombra aceptables. Esto significa que se  
55 necesita un área superficial grande y que las longitudes de cable entre las turbinas, y por lo tanto los costes, aumentan. En tierra una distancia más grande entre las turbinas también significa que han de construirse carreteras más largas, lo que implica un aumento adicional de los costes. Aunque la colocación de las turbinas eólicas aún más lejos ayuda frente a las pérdidas por sombra, será inevitable una caída apreciable en la producción por las turbinas en el lado de sotavento en parques grandes. La caída puede ser tan grande que un parque se haga como resultado no rentable. En general, a partir de la bibliografía se conocen unas pérdidas de un 30 % o más.

60 En virtualmente todas las partes del mundo ciertas direcciones del viento se producen con más frecuencia que otras. Se ha dicho en consecuencia que hay una dirección dominante del viento, que se define en el presente documento como la dirección promedio anual del viento en la que la proporción principal de la producción anual se cosecha en funcionamiento de carga parcial. Un dispositivo de guiado o de extracción de energía tiene una influencia sobre la dirección del viento. La dirección no perturbada del viento se define como la dirección del viento en la posición de un

dispositivo mientras que se considera que ese dispositivo se ha retirado (y por lo tanto no tiene influencia). Por cierto, la dirección del viento varía de forma sustancial a lo largo de una escala de tiempos corta (de segundos a minutos); por lo tanto, el término dirección del viento se entiende no como la dirección instantánea sino como la dirección promedio, por ejemplo a lo largo de 10 minutos. Los efectos de sombra pueden también reducirse diseñando un parque eólico de tal modo que éste se extiende principalmente en perpendicular a la dirección dominante del viento. En la práctica, no obstante, se dicta el montaje de las turbinas eólicas también por otros intereses numerosos, tales como: qué tierra o área superficial del mar se ha asignado al operador de turbinas eólicas, cuáles son las otras funciones del área, qué perjuicios se causan por las turbinas, cómo discurren las líneas de alimentación, etc. Por consiguiente, esta opción sólo ofrecerá una solución hasta un cierto punto.

El artículo titulado '*The Application of PIV to the wake of a Windturbine in Yaw*' ("La aplicación de PIV a la estela de una turbina eólica en guiñada", presentado en el '*4th International Symposium on PIV*' (4º simposio internacional sobre PIV), Göttingen, Alemania, del 17 al 19 de septiembre de 2001, menciona una situación en la que dos turbinas se encuentran una por detrás de la otra en la dirección del viento. La turbina de aguas abajo tiene una pérdida en la producción debido a que ésta se encuentra en la estela de la turbina de aguas arriba. En el artículo se propone colocar la turbina de aguas arriba en un ángulo de tal modo que la estela se desvíe y sólo fluye (parcialmente) más allá de la turbina de aguas abajo. Esta turbina ya no se encuentra por más tiempo (o se encuentra en una menor medida) en la estela y por lo tanto produce más. Los autores exponen que un control activo de los ángulos de inclinación en los que las turbinas eólicas se colocan podría proporcionar una ventaja para la maximización de la producción del parque en su conjunto. Esto se consigue por tanto orientando las estelas de turbina que se encuentran aguas arriba lejos de las turbinas que se encuentran aguas abajo. Los efectos de sombra se reducen hasta cierto punto por medio de esta medida, si bien, debido a que la estela aún permanece en el parque, en el caso de un gran agotamiento de la capa límite del parque tendrán no obstante lugar y las pérdidas por sombra esencialmente existirán todavía.

La publicación titulada '*Optimal Control of Power Wind Plants*' ("Control óptimo de plantas de potencia eólicas") en la *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, (27), Amsterdam, 1988, describe que el funcionamiento de las turbinas eólicas de aguas arriba de un parque con una velocidad de la punta de álabe más baja que aquella con la que se extrae la máxima cantidad de energía puede conducir a un aumento en la producción total del parque. No se da ninguna explicación física para el resultado confirmado la simulación.

En la tesis titulada '*Flow Separation on Wind Turbine Blades*' ("Separación de flujo de álabes de turbina eólicas"), ISBN 90-393-2592-0, de 8 de enero de 2001, se expone que se pierde energía cinética durante el mezclado del aire lento de estela y del aire rápido que no es de la estela. En el caso de una turbina eólica solitaria que discurre en un funcionamiento óptimo la pérdida de mezclado es de un 50 % de la potencia generada por la turbina, de tal modo que la energía cinética que una turbina eólica extrae a partir del flujo no es igual a la energía generada sino que es tanto como una vez y media ésta. En esta publicación también se propone permitir a las turbinas de aguas arriba en un parque eólico que extraigan menos de la máxima energía a partir del viento. Como resultado, la producción por las turbinas de aguas arriba disminuye ligeramente, mientras que la pérdida de mezclado disminuye de forma sustancial, de tal modo que la velocidad del viento más hacia el interior del parque se reducirá a un valor menor y las turbinas de aguas abajo comenzarán a producir más. La intención es que el aumento en la producción por las turbinas de aguas abajo sea más grande que la disminución en la producción por las turbinas de aguas arriba. La presente invención se refiere a este mezclado de flujos de aire.

Para parques grandes, se considera que todas las medidas anteriores son como gotas en el océano. Los expertos consideran que el efecto de sombra es una situación dada a la que tiene que hacer frente la energía eólica. Las turbinas extraen la energía a partir de la capa más inferior de la capa límite atmosférica y la velocidad en esa capa caerá de forma inherente como resultado.

Los efectos de sombra se han estudiado ya durante 20 años y el 23 de mayo de 2002 veinte expertos, algunos de los cuales ya han estado trabajando sobre este asunto desde 1980, intercambiaron su información más reciente durante una reunión en el Laboratorio Nacional de Risø, Dinamarca. Toda la atención se centra en la modelación de los efectos de sombra. Específicamente, se ha establecido que los efectos son grandes, pero no cómo de grandes son los mismos y qué los determina de forma precisa. Mejorando la modelación puede estimarse de forma más precisa por adelantado cuánto producirá un parque grande en una posición específica. Esta información es, por supuesto, extremadamente relevante para los inversores. Durante la reunión se consideró no obstante que los efectos de sombra eran inevitables y específicamente hasta el punto de que ni siquiera surgió la pregunta acerca de si los efectos de sombra podrían posiblemente evitarse (parcialmente), como puede verse a partir de las actas.

En el estudio titulado '*Samenvatting technisch onderzoek SEP-Proefwindcentrale*', ('Resumen de estudio técnico sobre estación de potencia eólica de pruebas SEP'), Kema – *Tuustriële energie systemen*, Arnhem, noviembre de 1994, se obtiene la siguiente conclusión: 'el aumento de la producción con un sistema de control de parque teniendo en cuenta la interacción de la estela no parece ser factible' es una confirmación adicional de esta visión dentro del sector de la energía eólica.

Resumiendo, el problema de los efectos de sombra es que da lugar a caídas sustanciales en la producción, que la

colocación de turbinas eólicas aún más lejos es un remedio que conduce a altos costes (longitud de cable más grande y, en tierra, carreteras más largas) y a una baja potencia por unidad superficial de área. Debido a que el espacio es escaso, ésta es una grave desventaja. No sólo puede generarse menos en un área superficial dada, sino que muchas áreas también saldrán perdiendo al competir con otros fines si sólo ha de esperarse una baja producción. La visión predominante es que aunque el problema puede modelarse mejor, no puede resolverse.

No obstante, de forma inesperada, se prevé una solución parcial por medio de la presente invención. Para este fin la invención se refiere a un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 y a una instalación de acuerdo con la reivindicación 16. La invención se refiere a instalaciones por medio de las cuales la energía se extrae a partir de aire que fluye o de agua (de mar) que fluye. La instalación lo será en una capa límite que tiene la característica de que la velocidad del fluido es baja cerca de la pared y aumenta al aumentar la distancia con respecto a la pared. La instalación genera unos flujos o circulaciones aguas arriba (en la dirección del viento) de tal modo que un fluido rápido que se encuentra a una distancia más grande con respecto a la pared se guía entonces hacia la pared y el fluido lento más cercano a la pared se guía lejos de esta última. Los flujos generados aumentarán entonces, a modo de generadores de torbellino, la velocidad del fluido cerca de la pared. La generación de estos flujos se efectúa mediante los así denominados dispositivos de guiado que pueden ser o bien pasivos o bien activos y que pueden también tomar energía a partir de o suministrar energía al fluido. Por medio de un ajuste correcto de los flujos en el resto de la instalación la velocidad del fluido en la posición de los dispositivos de extracción de energía de la instalación aumentará entonces, de tal modo que también puede producirse más energía. Si la instalación consiste en un número de dispositivos de extracción de energía, uno detrás del otro, los flujos también funcionan para guiar lejos la estela de los dispositivos de extracción de energía, lo que puede conducir a un aumento adicional en la producción. Los dispositivos de extracción de energía en conjunto se denominan también a continuación parque o instalación, contexto en el que ha de entenderse que los dispositivos de extracción de energía pueden también ser de guiado, pero que el parque puede también contener dispositivos que son exclusivamente de guiado. Un parque de este tipo puede estar o bien en la atmósfera o bien bajo el agua. Si la instalación consiste en un número de dispositivos de extracción de energía separados por unas distancias ordinarias y en un grupo más lejano de dispositivos de guiado que se encuentran alejados una distancia más grande, el primer grupo se denomina entonces el parque y el grupo más lejano está ubicado en el exterior de éste. Por lo tanto es posible hacer referencia a las posiciones en el interior del parque y en el exterior del parque. Además, el término parque se usa también para hacer referencia al volumen dentro del que hay un fluido a partir del cual se extrae energía, sin que haya que usar necesariamente la presente invención en cada punto de la misma. En otras palabras, el volumen alrededor del parque dentro del que se produce el agotamiento de la energía cinética en gran medida. También puede hacerse referencia a la anchura y a la longitud del parque. La anchura se mide en perpendicular a la dirección del flujo dominante del fluido y la longitud en la dirección del flujo dominante. La anchura o longitud es siempre la mayor anchura o longitud medida entre diversos dispositivos en el parque. El área superficial del parque se obtiene sencillamente a partir del producto de la longitud y de la anchura. Si se añaden todas las áreas superficiales que están ocupadas por los dispositivos de extracción de energía en el interior del parque (en el caso de dos turbinas de árbol horizontales con un diámetro de 100 m el área superficial ocupada es de  $2 \cdot \pi/4 \cdot 100^2 \text{ m}^2$ ) se tiene el área superficial total ocupada por el parque. Habitualmente esta área superficial ocupada constituye un pequeño porcentaje del área superficial del parque, por ejemplo de aproximadamente un 5 %. Empleando la presente invención, que va haciéndose más ventajosa cuanto más grande se hace un parque, dicho porcentaje será capaz de aumentar, especialmente en parques más grandes con, por ejemplo, más de 20 turbinas, por encima de un 5 %, de un 10 % o incluso de un 20 %.

En una realización particular la pared puede compararse con la superficie de la Tierra, es decir tierra o (agua) de mar, la instalación con un parque eólico y tanto la extracción de energía como los dispositivos de guiado con turbinas eólicas y los flujos con circulaciones. Las circulaciones pueden generarse ya con un número de turbinas delante del parque mediante la colocación de las turbinas en vertical o en horizontal en un ángulo con respecto al viento. Como resultado, una fuerza lateral horizontal y/o vertical se produce sobre el flujo de aire, de tal modo que se producen unos flujos que guían lejos el aire lento a partir de las capas más inferiores en la atmósfera y que guían el aire rápido hacia debajo. La velocidad del viento en el parque y especialmente en la posición de las turbinas eólicas que extraen energía aumenta, como resultado de lo cual aumenta la producción. Otras realizaciones de tales instalaciones son turbinas bajo el agua que extraen energía a partir de agua que fluye. Tal agua que fluye puede ser un río que fluye, un flujo de las mareas y cualquier otro flujo de agua que se encuentre en la Tierra a partir del cual puede extraerse energía. Con estas instalaciones también se ejercen fuerzas laterales sobre el flujo de tal modo que el flujo lento se guía lejos de los dispositivos de extracción de energía y el flujo rápido se guía específicamente a través de dichos dispositivos.

En general, un objeto de la invención es alimentar flujos de fluido rápido que no están demasiado lejos de la instalación a través de los dispositivos de extracción de energía. En el caso particular de parques eólicos o de turbinas de agua que se encuentran en el lecho del agua que fluye por encima de la misma, el flujo de fluido aumentará al aumentar la altura por encima de las turbinas y ha de tener lugar un guiado de fluido de una forma tal que el fluido a partir de una altura más grande se guía hacia debajo. El fluido más rápido puede también ser lateral con respecto a la instalación (o parte de la instalación). Por ejemplo, en un terreno complejo puede ser el caso que una parte de un viento rápido sople específicamente junto a los parques eólicos. En estos casos los dispositivos de guiado de la instalación pueden colocarse de tal modo que el fluido rápido se desvía de forma lateral y se guía por lo

tanto a través de los dispositivos de extracción de energía. En el caso de una instalación de extracción de energía en un flujo de agua puede concebirse también que un flujo de fluido rápido discurra por debajo de la instalación. Por ejemplo, si la instalación se construye de tal modo que flota y se encuentra en la parte superior de un río que fluye o de una corriente de la marea. En estos casos los dispositivos de guiado se ajustan de tal modo (lo que ha de entenderse que significa también con respecto a su posición) que el fluido lento se guía lejos de los dispositivos de extracción de energía de la instalación y que el fluido rápido se guía específicamente a través de estos dispositivos. Además, ha de entenderse que alguno de los dispositivos, tal como las turbinas eólicas, puede tener tanto una función de extracción de energía como una de guiado. En particular, el dispositivo es una turbina eólica que, como se conoce, es capaz de extraer energía a partir del flujo si bien, además, si se ubica en un ángulo con respecto al flujo, es adecuado para desviar el flujo en vertical o en horizontal a un lado. Un objeto que se tiene como objetivo es que la instalación se ajuste de tal modo que las pérdidas por sombra disminuyan para la totalidad de la instalación. Es posible que algunos dispositivos de extracción de energía estén sometidos a una pérdida por sombra más grande, si bien es siempre el caso que aumenta el rendimiento (que se determina de acuerdo con la producción y con las cargas) de la instalación en su conjunto.

Las turbinas eólicas o turbinas de agua extraen la máxima cantidad de energía a partir de un fluido si el fluido se retarda en la posición de la turbina a aproximadamente  $2/3$  de la velocidad original y a  $1/3$  aproximadamente de  $1$  diámetro de la turbina por detrás de la turbina. La disminución de la velocidad de  $1/3$  de la velocidad original en la posición del rotor se denomina la inducción axial, que se designa mediante la letra  $a$ . En el caso de la máxima extracción de energía,  $a$  es  $1/3$ . Eligiendo un valor de menos de  $1/3$  para la inducción axial la turbina retarda el viento en una menor medida y la turbina en cuestión extrae menos energía a partir del viento, lo que de acuerdo con el estado de la técnica puede ser beneficioso para la turbina que se encuentra por detrás de la misma. Si, no obstante, se usa una turbina como dispositivo de guiado, de acuerdo con una realización preferida de la presente invención, la inducción axial se ajusta a unos valores más altos que  $1/3$ . La turbina eólica ejerce entonces una fuerza más grande sobre el viento que aquella en la que se genera la máxima cantidad de energía. Esto puede ser ventajoso para el resto de la instalación. Las turbinas en las que el factor de inducción se ajusta a valores negativos de  $a$  también constituyen una realización preferida. Un valor negativo de  $a$  significa que la velocidad del viento en la posición de la turbina aumenta específicamente debido a que la turbina se impulsa y suministra energía al fluido. Esta situación especial puede ser ventajosa con el fin de guiar el fluido lejos de una forma tal que los costes asociados con ésta son más bajos que los beneficios para el resto de la instalación.

Los dispositivos de guiado de flujo de la instalación pueden formar parte de un grupo de dispositivos de extracción de energía que se disponen unos junto a otros (en particular, un parque eólico), si bien también pueden disponerse apartados una cierta distancia con respecto a un grupo de este tipo. Una ventaja de esto puede ser que el guiado del flujo ha tenido lugar incluso antes de que el flujo afecte a los dispositivos de extracción de energía. Como resultado, un flujo de fluido lento que sin guiado habría fluido a través del grupo de dispositivos de extracción de energía puede entonces guiarse lejos y reemplazarse por un flujo de fluido rápido, a partir del cual, por supuesto, puede extraerse más energía. En particular, esta realización es ventajosa en capas límite en las que la velocidad del flujo de fluido esencialmente aumenta con la distancia con respecto a la pared. Más particularmente, esto concierne a la capa límite atmosférica en la que se ha ubicado un parque eólico. Las turbinas se encuentran bastante bajas en la capa límite y por consiguiente tienen un suministro de viento más bajo que el que experimentarían a una altura más grande. En este momento, de acuerdo con una realización preferida de la invención, mediante la colocación de dispositivos de guiado (en particular, las turbinas eólicas) aguas arriba de un parque eólico, el viento a partir de una altura más grande puede guiarse hacia debajo y a través del parque. Por cierto, los flujos que se generan aguas arriba continuarán hasta la parte de extracción de energía de la instalación, de tal modo que son todavía efectivos en esta posición así como resultado del guiado de fluido de la estela lejos y del guiado del fluido rápido que se encuentra a una distancia más grande con respecto a la instalación a través de la instalación. Los dispositivos de guiado a cierta distancia lejos del grupo de extracción de energía se disponen preferiblemente aguas arriba de este grupo. En la posición geográfica en la que hay una dirección fuertemente dominante del viento, los dispositivos de guiado pueden instalarse en una posición fija. En el caso particular de la energía eólica en mar abierto los dispositivos de guiado pueden también ser de construcción móvil, por ejemplo flotante. Desplazando los dispositivos, estos pueden siempre mantenerse en el lado de aguas arriba del parque.

La instalación a la que se hace referencia en la invención generará flujos, o en otras palabras remolinos o circulaciones, como resultado de los cuales el fluido rápido se guía a través del parque y el fluido lento (en particular, el fluido de la estela) se guía específicamente lejos de este último. La distancia a través de la que este intercambio de flujos rápido y lento puede tener lugar está limitada y depende de, entre otros, el tamaño de la instalación. Cuanto más grande es la instalación, más fácilmente puede generarse una circulación a gran escala y más grande será el rendimiento que una circulación a gran escala de este tipo posee. En el caso particular de los parques eólicos la distancia a través de la que puede guiarse el fluido de forma lateral está limitada al menos por la altura de la atmósfera (de una forma efectiva de aproximadamente  $10$  kilómetros). No obstante, la atmósfera habitualmente consiste en una parte inestable (los  $1$  a  $2$  km inferiores) y una parte estable por encima de esta. Hay una estratificación en la parte estable y es difícil generar flujos de aire en la dirección vertical. Por lo tanto, la escala de las circulaciones que son relativamente fáciles de generar se restringe adicionalmente a aproximadamente de  $1$  a  $2$  km en el caso de los parques eólicos. La capa límite en la que los parques eólicos se encuentran será del orden de un número de veces la altura de la turbina. En el caso de unas turbinas con una altura de  $150$  metros, en un parque

grande se producirá un agotamiento apreciable de la capa límite de hasta, por ejemplo, de 2 a 6 veces la altura (de 300 m a 900 m). Cuanto más grande sea el parque, más grande será esta altura de agotamiento. Un objeto adicional de la presente invención es guiar el fluido desde arriba de esta altura de agotamiento hacia debajo y, a la inversa, guiar el fluido de baja velocidad (lejos) hacia arriba. En el caso de un parque pequeño con pequeñas turbinas, una  
 5 escala de circulación de acuerdo con la invención de una magnitud de la mitad del diámetro de la turbina es ya funcional. En el caso de un parque grande, la escala de circulación puede aumentar a muchos diámetros de turbina.

Una vez que se ha generado una circulación, ésta se dispersará de nuevo sólo a lo largo de una distancia relativamente grande. La generación de las (grandes) circulaciones es cara en el sentido de la inversión en el  
 10 dispositivo de los dispositivos de guiado adicionales o en el sentido de una reducción en la producción debido a que los dispositivos de generación de energía también adquieren una función de guiado. Es por lo tanto también sensato hacer un buen uso de una circulación una vez que ésta se ha generado. La circulación se desplazará en la dirección principal del flujo, lo que es una razón para permitir que un parque eólico se extienda en la misma dirección. Esta es una conclusión sorprendente debido a que hasta la fecha los parques eólicos se han ubicado específica y  
 15 preferiblemente en perpendicular a la dirección dominante del viento, mientras que de acuerdo con la invención un parque puede también extenderse de forma ventajosa en la dirección dominante del viento. En una realización ventajosa de acuerdo con la invención, el fluido rápido que se encuentra a una distancia más grande con respecto a la pared se guía de una forma incluso tan efectiva hacia los dispositivos de extracción de energía que la velocidad del fluido es capaz de aumentar en lugar de disminuir al pasar a través del parque en la dirección principal del flujo.  
 20 Puede decirse que hay pérdidas negativas por sombra.

En la Tierra, la dirección del viento se determina esencialmente por las áreas de alta y de baja presión y por la rotación de la Tierra. Como saben todos los expertos en la técnica, el viento gira hacia la izquierda en el hemisferio norte y hacia la derecha en el hemisferio sur. En un flujo libre, dos fuerzas opuestas e iguales que se encuentran en  
 25 la superficie horizontal de la Tierra actúan sobre el viento, en perpendicular a la dirección del viento: la fuerza resultante del gradiente de presión y la fuerza de Coriolis. Esta última es proporcional a la velocidad del viento. Si la velocidad del viento cae entonces, por ejemplo debido a que se extrae la energía cinética del mismo, la fuerza de Coriolis proporcional a la velocidad del viento disminuirá, el gradiente de presión es entonces más fuerte que la fuerza de Coriolis y por lo tanto el viento se acelerará en la dirección del gradiente de presión. En el hemisferio norte  
 30 el aire lento gira por consiguiente hacia la izquierda en comparación con el aire que no se ha retardado; en el hemisferio sur éste gira hacia la derecha en comparación con el aire que no se ha retardado. De acuerdo con una realización preferida de la invención, el guiado de aire de la estela lejos y la atracción de aire rápido se lleva a cabo de una forma tal que se intensifica el giro natural del aire de la estela que se describe anteriormente. En una realización preferida adicional, las turbinas que tienen una función de guiado giran en el sentido contrario al de las  
 35 agujas de reloj en el hemisferio norte y en el sentido de las agujas de reloj en el hemisferio sur debido a lo cual lo se consigue entonces, ciertamente en combinación con un ajuste de ángulo de álabe cíclico, es que el aire de la estela en el lado más bajo se empuje incluso más intensamente en la dirección en la que ya se desplaza de forma natural. La dirección de rotación se define entonces para un observador que está mirando hacia el lado de presión de la turbina. De forma más general, se propone seleccionar la dirección de rotación de las turbinas de guiado de una  
 40 forma tal que la rotación de la estela, que es la consecuencia del par motor del rotor, ayuda de nuevo también a las circulaciones objetivo para guiar el fluido lento lejos a partir de los dispositivos de extracción de energía y para guiar el fluido rápido a través de estos.

La instalación que se hace funcionar de acuerdo con la invención se someterá a menos pérdida por sombra que una  
 45 instalación de acuerdo con el estado de la técnica. Debido a que la forma tradicional de limitar las pérdidas por sombra consiste en aumentar la distancia entre los dispositivos de extracción de energía (en particular, las turbinas eólicas) un parque se hace por lo tanto más caro y da como resultado una utilización menos eficiente del área superficial. Empleando la presente invención, un parque puede diseñarse de una forma más compacta, mientras que la pérdida por sombra permanece aceptable. Las distancias comunes en la dirección dominante del viento entre los  
 50 dispositivos de extracción de energía son de aproximadamente 5 a 10 veces el tamaño característico de un dispositivo de este tipo (particularmente: en el caso de una turbina eólica la distancia entre las turbinas es de 5 a 10 veces el diámetro del rotor). Empleando la invención, esta distancia puede preferiblemente reducirse a, en general, menos de 5 veces el tamaño característico, más particularmente, a 4 veces e incluso más particularmente, a 3 veces el tamaño característico. El tamaño característico se define como la raíz cuadrada del producto de  $4/\pi$  y el área superficial ocupada por un dispositivo de extracción de energía. En el caso de una turbina de árbol horizontal éste es el diámetro.  
 55

En el texto anterior de la presente invención los términos generales 'dispositivo de extracción de energía' y 'dispositivo de guiado' se usan para hacer referencia a cualquier instalación que es capaz de realizar estas funciones  
 60 tal como se conoce en el estado de la técnica. En particular, los dispositivos son turbinas que se conocen tanto bajo agua como por encima del agua; las turbinas son o bien el árbol del tipo de árbol horizontal o bien del tipo de árbol vertical. En este contexto ha de entenderse que los términos eje horizontal y vertical sólo son designaciones de tipo y en la práctica cualquier posición de los árboles es posible. Estos dispositivos pueden, como cualquier experto en la técnica entiende, relacionarse además con turbinas de tipo escala, turbinas de vuelo, turbinas de desplazamiento,  
 65 turbinas en combinación con dispositivos de concentración tales como paletas de punta o alas anulares, turbinas eólicas electrostáticas, turbinas de zepelín, turbinas con múltiples rotores en una torre, grupos de turbinas, etc. Los

dispositivos de guiado pueden tener todas de dichas formas, lo que también incluye perfiles, alas o velas que se disponen de forma pasiva. Las partes de los dispositivos de extracción de energía existentes pueden también adaptarse de tal modo que adquieren una función de guiado. Los dispositivos de guiado pueden además consistir en aletas, rotores de efecto Magnus, etc. En particular, pueden también mencionarse las instalaciones que son capaces de guiar dichos flujos de aire cambiando la densidad en el flujo. Esto puede efectuarse mediante cambios en la temperatura, siendo posible para un dispositivo de guiado consistir en una gran superficie negra que irradia calor desde el sol hasta el aire, de tal modo que éste adquiere una densidad más baja y se guía hacia arriba. Esto puede también efectuarse introduciendo agua en el aire, como resultado de lo cual el aire se enfría como resultado de la evaporación del agua. La densidad aumenta entonces, como resultado de lo cual el aire fluirá hacia abajo.

Una ventaja adicional se obtiene si la invención de acuerdo con una realización preferida se emplea en parques en los que los dispositivos de extracción de energía se han colocado en grupos unos junto a otros. Debido a que un objeto de la invención es guiar la estela lejos, esto es ventajoso. Específicamente, un dispositivo puede desviar el flujo a lo largo de un número de veces su tamaño característico. Especialmente en parques grandes, la estela ha de guiarse lejos a lo largo de una gran distancia de tal modo que no estorbe por más tiempo a la instalación de aguas abajo. Debido a que un grupo de dispositivos de extracción de energía tiene un tamaño característico más grande que un dispositivo único, un grupo de este tipo puede guiar la estela lejos a lo largo de una distancia absoluta más grande. En el caso particular en el que una turbina eólica ubicada en un ángulo con respecto a la dirección del viento se usa como dispositivo de guiado, se obtiene una ventaja más grande debido a que una fuerza lateral también se ejerce sobre el aire por debajo del rotor. En términos técnicos: la circulación que está relacionada con la fuerza lateral que la turbina ejerce sobre el viento ha de continuar tan lejos como la superficie (el suelo o el agua). Esto puede conseguirse en una gran variedad de formas. Se conoce en general que los álabes de rotor de las turbinas se someten a unas cargas que fluctúan de una forma muy severa si una turbina se encuentra en un ángulo con respecto al flujo. Esto puede atenderse dotando a los álabes del rotor de un ajuste de ángulo de álabes cíclico. Una realización preferida de acuerdo con la invención es la construcción de las turbinas guiado de fluido con un ajuste de ángulo de álabes cíclico. Si se eligen para el guiado unas turbinas de árbol vertical, estas pueden también dotarse de un ajuste de ángulo de álabes cíclico, de tal modo que este tipo de turbina también es capaz de ejercer una fuerza transversal sobre el flujo. De acuerdo con el estado de la técnica, se produce una ligera inclinación ampliamente debida a que las variaciones en la dirección del viento son tan rápidas que la turbina eólica no es capaz de seguirlos. Además, un rotor habitualmente tiene un pequeño ángulo de inclinación con el fin de garantizar una distancia más grande entre las puntas de álabes y la torre. Como resultado del ángulo de inclinación, el rotor se encuentra también con un ángulo mínimo con respecto al viento. Por estos motivos, un rotor es capaz de resistir unas cargas con un posicionamiento angular de menos de 10 grados de inclinación, por un período de 20 años. Las turbinas eólicas que actúan como dispositivos de guiado en la presente invención han de ser capaces de hacer frente a unos ángulos de inclinación de más de 20°, particularmente de más de 30° e incluso más particularmente, de más de 45° durante años. En una realización preferida adicional de estas turbinas el ángulo de álabes puede ajustarse de forma cíclica con una velocidad de ajuste de más de 6° por media vuelta. El guiado la estela a un lado puede efectuarse mediante la colocación de las turbinas eólicas en un ángulo con la instalación del cabrestante. En una realización preferida el rotor puede también girar en la dirección de la inclinación. Un ángulo de inclinación grande puede ser funcional si la estela ha de guiarse hacia arriba. Más particularmente, un ajuste variable del ángulo de inclinación es posible de tal modo que el ángulo de inclinación óptimo puede siempre elegirse dependiendo de la dirección del viento, la velocidad del viento y la posición de la turbina en el parque. Por supuesto, ha de entenderse que las cargas sobre un rotor inclinado en un ángulo grande pueden reducirse de nuevo mediante un ajuste de ángulo de álabes cíclico.

En todas las realizaciones anteriores el objeto ha sido siempre la optimización de una instalación en su conjunto. Este objeto puede extenderse adicionalmente a la optimización de un número de instalaciones al mismo tiempo. En particular, puede concernir a varios parques eólicos, en los que un parque se encuentra parcialmente en la sombra de otro parque. Teniendo en cuenta esta situación en el parque de aguas arriba, es decir haciendo que las turbinas en este parque guíen el flujo de una forma tal que el parque que se encuentra aguas abajo se vea sometido a menos pérdida por sombra. El objeto de todas las medidas que se resumen anteriormente es aumentar la velocidad del fluido en la posición de los dispositivos de extracción de energía, de tal modo que la producción de la instalación en su conjunto aumenta. No obstante, la instalación puede también hacerse funcionar de una forma diferente, en la que un fluido lento se retiene específicamente dentro del parque o se guía hacia el parque, en otras palabras se favorece el efecto de sombra. Esto puede ser ventajoso si la velocidad del fluido es más alta que aquella en la que los dispositivos de extracción de energía consiguen su máxima capacidad. Favoreciendo el efecto de sombra la velocidad del fluido cae y la producción del dispositivo de extracción de energía puede aumentar y/o las cargas sobre dichos dispositivos pueden disminuir. Una ventaja adicional se obtiene si la velocidad del fluido puede mantenerse por debajo de  $V_{\text{desactivación}}$  (velocidad de desactivación) favoreciendo el efecto de sombra, de tal modo que los dispositivos de extracción de energía pueden permanecer en funcionamiento.

Tal como se ha visto, la instalación óptima y el procedimiento óptimo asociado para extraer energía a partir del flujo dependen de muchos factores. Al diseñar una instalación, una gran cantidad de cálculo ha de llevarse a cabo con el fin de seleccionar los diversos dispositivos de la mejor forma y de instalar éstos en las posiciones correctas. Es decir, por supuesto, una función de las características de los dispositivos pasivos o activos que se utilizan, de sus posiciones mutuas, del terreno, de los parámetros meteorológicos y de una amplia variedad de otros aspectos tales

como aspectos financieros y aspectos concernientes a las aseguradoras. La complejidad y el gran número de posibles soluciones dan lugar a la realización de este proceso de diseño por medio de software. Un software que tiene la característica especial de que pueden añadirse dispositivos de guiado a la instalación y/o en el que las turbinas pueden tener una función de guiado y en el que la influencia de dichos dispositivos en el parque puede predecirse, está dentro del alcance de la invención.

Una vez que se ha diseñado una instalación de extracción de energía, hay que seleccionar entonces un gran número de variables asociadas. La configuración óptima de todas estas variables es difícil de determinar por adelantado. Por lo tanto, se necesita un software que ensaye un gran número de combinaciones de configuraciones, opcionalmente basándose en intuiciones físicas específicas. De acuerdo con una realización de este software, unos parámetros tales como el ángulo de inclinación, la escala de circulación, las posiciones de los dispositivos que generan una circulación o la dirección de la fuerza transversal se hacen variar de acuerdo con un patrón específico. El rendimiento de la instalación se almacena como una función de los parámetros que pueden ajustarse y el punto óptimo se busca entonces para cada velocidad del viento y cada dirección del viento. Otros datos meteorológicos tales como la distribución de temperaturas o la estabilidad de la atmósfera también tienen lugar como parámetros en este contexto. Comenzando a partir de un óptimo local encontrado, los parámetros se cambian una y otra vez y otra vez con el fin de encontrar un óptimo mejor. El programa puede tener capacidad de autoaprendizaje y ser por lo tanto capaz de controlar la instalación de una forma incluso mejor. De esta forma, con el transcurso del tiempo se obtiene una buena representación de la estrategia de control y se compila una base de datos que, a su vez, puede ser funcional para el ajuste de otras instalaciones de extracción de energía. Usando este conocimiento es también posible mejorar el proceso de diseño, para instalaciones nuevas.

La invención se emplea preferiblemente en parques eólicos, disponiendo ciertas turbinas eólicas en un ángulo. Se conoce por todos los expertos en la técnica que esto no es ventajoso para aquellas turbinas que no se han diseñado y construido para esta carga físicamente más severa. Debido a que unas turbinas eólicas configuradas en un ángulo serían por lo general rechazadas inmediatamente como una configuración preferida por un experto en la técnica, la invención no es obvia. De acuerdo con unas estimaciones iniciales aproximadas, la presente invención puede proporcionar un aumento en la producción de un pequeño porcentaje para parques más pequeños y éste puede ser de un porcentaje del orden de las decenas para parques más grandes. En una realización extrema, la velocidad del viento en un parque incluso aumenta en la dirección del viento. Una ventaja adicional se obtiene debido a que los parques pueden ser de una construcción más compacta, como resultado de lo cual la infraestructura que se requiere para el parque puede seguir siendo de un valor reducido: una longitud de cable más corta y, en tierra, además, unas carreteras más cortas y, tanto en tierra como en el agua, unas distancias de recorrido más cortas. Debido a que se obtiene una producción más alta por unidad de área superficial, la aplicación de la invención puede permitir que la energía eólica compita en mejores condiciones con otras aplicaciones, como resultado de lo cual, aparte de una producción más alta por unidad de área superficial, más espacio se hace además disponible para parques. Resumiendo, el valor comercial de la invención puede ser alto.

Se describirán características y rasgos adicionales con referencia a los dibujos de diversas realizaciones de acuerdo con la invención.

La figura 1 muestra un parque eólico 1 con la dirección dominante del viento 2 que se indica en la figura. Si el parque se hace funcionar y/o se dispone de acuerdo con la invención, la pérdida como resultado de los efectos de sombra será inferior a la normal.

La figura 2 muestra la sección I-I del parque a partir de la figura 2 de acuerdo con la invención, en la que puede verse que por turnos se disponen filas de turbinas que guían la estela alternativamente hacia la izquierda 5 o hacia la derecha 6. Como resultado, se producen las circulaciones 3, como resultado de lo cual las estelas 7 de las turbinas se guían hacia arriba y el viento rápido a partir de la altura más grande 8 se guía hacia abajo. Las circulaciones se generan mediante unas turbinas eólicas que ejercen una fuerza lateral sobre el viento en el lado de la dirección del viento del parque.

La figura 3 muestra una vista lateral de una fila de turbinas a partir del parque en la figura 1 que se hace funcionar de acuerdo con el estado de la técnica. La dirección del viento 10 es la dirección predominante del viento en ese instante de tiempo. El perfil de velocidad 11 de la capa límite atmosférica no perturbada cambiará al perfil 13 que se desplaza junto con la dirección del viento. La línea 7 muestra la dirección del flujo de las estelas. Las líneas 9 delimitan el flujo a partir del cual el parque ha extraído energía.

La figura 4 muestra la misma vista lateral excepto por que la invención se emplea. Contando a partir del lado de la dirección del viento, las primeras tres turbinas 5 se encuentran en un ángulo con respecto al viento, como resultado de lo cual el viento se desvía hacia la izquierda. Como resultado, se produce una circulación que guía el viento desde arriba 8 a través de las turbinas que se encuentran más lejos hacia el lado de sotavento. El parque entonces extrae energía a partir de la atmósfera hasta una altura mucho más grande, como puede verse a partir de la línea superior (9) que es mucho más alta en la figura 4 que en la figura 3. Las turbinas en un ángulo en el lado de la dirección del viento pueden considerarse a modo de generadores de torbellino en la capa límite atmosférica.

La figura 5 muestra una sección II-II de la fila de turbinas (de tipo de árbol horizontal) en la figura 4. En este caso puede verse que la circulación 3 se ha generado por las turbinas de aguas arriba y que guía el aire de la estela 7 hacia arriba a través de un movimiento lateral y que simultáneamente guía el aire rápido desde



arriba 8 hacia abajo.

La figura 6 muestra el parque eólico 1 de acuerdo con la invención en el que cada circulación 3 abarca varias filas de turbinas. La altura 4 de la circulación será más grande que la que se obtiene en el caso de la figura 2. Cuanto más grande es un parque eólico, más grandes y más altas serán las circulaciones que pueden generarse. A medida que el parque se hace más grande, se necesitará una circulación más grande para evitar el aire de la estela que se produjo en el lado de aguas arriba vuelva demasiado rápidamente al parque. En la figura 6 puede también verse que las turbinas (14) guían la estela hacia arriba. La escala de circulación puede definirse en función del siguiente ejemplo. Supóngase que las circulaciones 3 se generan por encima de un parque eólico, tal como se muestra en la figura; se producen entonces los flujos 7 que se alejan del parque y los flujos 8 hacia el parque. La distancia entre los flujos 7 u 8 en la misma dirección, entre la que hay un flujo opuesto, se denomina a continuación la escala de circulación. De forma global, esta distancia es aproximadamente igual a la distancia entre las flechas verticales 7 y 8 en el dibujo.

La figura 7 muestra una vista lateral de la fila de turbinas en el parque 1 a partir de la figura 6 en la que la estela se guía hacia arriba de acuerdo con la invención mediante unas turbinas 14 en la dirección del viento. El guiado hacia arriba se consigue mediante los ángulos grandes de inclinación de las turbinas 14. La línea superior 9 que delimita el área dentro de la que se extrae una gran cantidad de energía a partir del viento se encuentra de nuevo a una altura mucho más grande en comparación con la situación en la figura 3 que describe el estado de la técnica. Cuanto más alta sea la línea 9 mejor será el parque capaz de extraer energía a partir de los flujos de aire a una altura más grande.

La figura 8 muestra en detalle la orientación vertical de la estela de acuerdo con la invención. Debido a que la turbina 14 en la dirección del viento tiene un ángulo de inclinación grande, la estela 7 delimitada por el contorno 9 se guía hacia arriba y el aire rápido desde arriba 8 la reemplazará. Como resultado, la turbina de aguas abajo 15 recibirá más viento y por lo tanto producirá más.

La figura 9 muestra la sección III–III a partir de la figura 8. La estela 7 delimitada por el contorno 9 fluye hacia arriba, como resultado de lo cual el viento desde arriba 8 fluye hacia abajo y la turbina 15 produce más.

La figura 10 muestra un parque eólico 1 por medio del que se genera un flujo de circulación grande de acuerdo con la invención. Todas las turbinas de aguas arriba y aquellas más dentro del parque 5 (de las que no todas están dotadas de un número) guían el flujo hacia la izquierda. En el hemisferio norte el aire (estela) retardado girará de forma automática hacia la izquierda como resultado del gradiente de presión atmosférica que, como resultado del retardo, ya no está en equilibrio sino que es más grande que la fuerza de Coriolis. Por consiguiente, en el hemisferio norte se prefiere el guiado de aire de la estela hacia la izquierda. Ya se generan circulaciones en el lado de la dirección del viento en el parque; por lo tanto las turbinas en la dirección del viento están con el mayor ángulo y la inclinación disminuye en la dirección del flujo que va a través del parque. Las turbinas de aguas abajo 15 ya no tienen que ayudar en la circulación debido a que ya no es importante lo que ocurre por detrás de las mismas. Estas turbinas por lo tanto están orientadas directamente hacia el viento con el fin de producir tanto como sea posible.

La figura 11 muestra la sección IV–IV del parque a partir de la figura 10. La estela 7 de las turbinas se guía de forma lateral de tal modo que se produce una circulación 3 que de nuevo proporciona un aire rápido desde arriba 8 dentro del parque, como resultado de lo cual la producción se eleva.

La figura 12 muestra un parque eólico 1 de acuerdo con la invención, en el que la estela se guía a cada lado del parque por las turbinas colocadas en un ángulo. Las turbinas 5 lo guían hacia la izquierda y las turbinas (6) lo guían hacia la derecha. Sólo las turbinas (15) en la dirección del lado de sotavento ya no contribuyen más a la circulación. En las figuras 10 y 12 puede verse que las turbinas de aguas abajo en este parque están orientadas directamente hacia el viento y se pretende que extraigan una gran cantidad de energía a partir del viento y que ya no contribuyan más a la generación o al mantenimiento de las circulaciones que guían el fluido rápido desde una gran altura hacia abajo. Específicamente, esto ya no sirve a ningún fin a menos que otro parque se encontrara también en el lado de sotavento de los parques representados. En estos casos, es sensato hacer incluso que las turbinas 15 que se indican en las figuras 10 y 12 contribuyan al guiado, de tal modo que la estela se guía lejos y el fluido rápido se guía a través del parque en la dirección de sotavento.

La figura 13 muestra la sección V–V a partir de la figura 12. Dos circulaciones 3 que giran las unas hacia las otras se han producido por el patrón en el que las turbinas en el parque se han inclinado. En esta realización el aire de la estela 7 se impulsa de forma lateral al exterior del parque y se trae el aire rápido 8 desde arriba.

La figura 14 muestra, de acuerdo con la invención, una combinación de un parque eólico 1 y de un cuerpo flotante 16 en el que se han colocado dos turbinas 5 que ejercen una fuerza hacia la izquierda sobre el viento, como resultado de lo cual la estela se desvía hacia la izquierda. Debido a que la dirección del viento varía, el cuerpo flotante se desplazará dependiendo de la dirección del viento de tal modo que está siempre en la dirección del viento. Las dos turbinas en el cuerpo flotante generan una circulación en el lado de la dirección del viento incluso en el exterior del parque. Como resultado, el aire más lento en la parte inferior de la capa límite atmosférica se desplazará hacia arriba y el aire más rápido se guiará desde arriba hacia abajo. Se necesita un tiempo para este proceso y por lo tanto las turbinas 5 se ubican también aguas arriba con respecto al parque. La ventaja ahora consiste en dos efectos: el guiado lejos de las estelas de las turbinas en el parque y el intercambio del aire lento en la parte inferior de la capa límite atmosférica con el aire rápido incluso antes de que el viento alcance el parque.

La figura 15 muestra la sección VI–VI de la instalación en la figura 14. La circulación 3 que se ha generado por las turbinas 5 en el cuerpo flotante 16 puede verse en esta figura. Esta circulación ha causado ya un tipo de inversión en la sección desde el cuerpo flotante hasta el parque, como resultado de lo cual el aire rápido desde una gran altura se ha guiado hacia abajo, lo que da lugar a más producción en el parque y, complementando a esto, la estela de las turbinas en el parque 1 se guía lejos y el aire rápido 8 se trae de forma continua como resultado de la circulación.

La figura 16 muestra la misma situación que en la figura 14, si bien las dos turbinas en el cuerpo flotante 16 ahora giran en direcciones opuestas. La turbina 5 gira hacia la izquierda y la turbina 6 hacia la derecha. De esta forma, se generan dos circulaciones opuestas de acuerdo con la invención.

La figura 17 que muestra la sección VII–VII a partir de la figura 16 puede compararse con la figura 15. La diferencia es que se generan dos circulaciones 3 y que el aire rápido 8 fluye ahora desde arriba hacia abajo en la zona media del parque. El aire de la estela 7 se guía lejos a ambos lados del parque.

La figura 18 muestra un parque eólico 1 de acuerdo con la invención con dos perfiles 17, que generan unas circulaciones, aguas arriba hacia el exterior del parque. Con el fin de mantener siempre los perfiles de aguas arriba con respecto al parque, éstos se instalan en unos cuerpos flotantes 16 de tal modo que éstos son móviles. Los perfiles desvían el viento 10 de forma lateral a lo largo de unas trayectorias 18. La circulación generada como resultado proporciona de nuevo un intercambio entre el aire lento a partir de la capa límite atmosférica y el aire más rápido a una altura más grande, de tal modo que la velocidad del viento en la trayectoria entre los perfiles y el parque aumenta en la posición de los rotores de turbina en el parque 1. La segunda función de la circulación es guiar la estela lejos de forma lateral y atraer el aire rápido desde arriba.

La figura 19 muestra la sección VIII–VIII a partir de la figura 18. Los perfiles instalados de forma pasiva 17 que ejercen una fuerza lateral sobre el flujo de aire, que por consiguiente se desvía de acuerdo con las flechas 18 y como resultado de lo cual se producen unas circulaciones 3, pueden verse a partir de esta figura. En la posición del parque de turbinas 1 la estela se guía de forma lateral y se produce un flujo de entrada de aire rápido desde arriba 8.

La figura 20 muestra un parque eólico 1 que está constituido por unos grupos de turbinas 19. Dentro de un grupo las turbinas están cerca las unas de las otras; como resultado un grupo se comporta de una forma efectiva como una turbina más grande y la estela puede desplazarse de forma lateral o hacia arriba a lo largo de una distancia absoluta más grande. Si la estela puede guiarse más lejos, las turbinas de aguas abajo se someterán a menos impedimento.

La figura 21 muestra una única turbina con un tamaño 20 que gira la estela hacia arriba a lo largo de una distancia 21.

La figura 22 muestra un grupo de turbinas con varios rotores en una torre, que de acuerdo con la invención se comporta como una única turbina más grande con un tamaño efectivo 20 y que gira la estela hacia arriba a lo largo de una distancia 21. En conjunto, la proporción entre las longitudes 21 y 20 es la misma en las figuras 21 y 22. En términos absolutos, no obstante, la distancia a través de la que la estela se desplaza es más grande en la figura 22, como resultado de lo cual la estela puede hacerse girar a lo largo de unas distancias más grandes. Cuánto más alto se guía lejos la estela, menor será la medida en la que las turbinas de aguas abajo estorban: la capa en la atmósfera dentro de la que la velocidad cae como resultado de la extracción de energía por las turbinas es más gruesa y por lo tanto puede extraerse más energía.

La figura 23 muestra un parque eólico 1 de acuerdo con la invención que tiene la característica de que se extiende en la dirección dominante del viento 2. Un parque de este tipo ya se ha mostrado también en la figura 1. Habitualmente, se espera una producción más baja si se elige una configuración en la dirección dominante del viento, debido a que el efecto de sombra es más grande que en el caso de una configuración que se extiende en perpendicular a la dirección dominante del viento. Si, no obstante, se emplea el procedimiento de la invención la velocidad del viento puede de hecho aumentarse (o disminuirse en una menor medida) con la distancia en el parque y un parque eólico que se extiende en la dirección dominante del viento puede de hecho producir más que un parque convencional. Un argumento adicional es que la generación de las circulaciones 3 lo es a expensas de una parte de la producción debido a que las turbinas de aguas arriba generan menos energía como resultado de la inclinación. No obstante, se dedica menos esfuerzo a mantener las circulaciones y éstas tienen por lo tanto un efecto beneficioso en la dirección del flujo a lo largo de una distancia mayor. Por lo tanto, un parque puede extenderse en la dirección dominante del viento.

La figura 24 muestra otra realización preferida de acuerdo con la invención de un parque en el hemisferio norte. En este parque se ha tenido en cuenta el giro 'natural' de la estela 7 hacia la izquierda en el hemisferio norte, que se produce incluso si las turbinas no se encuentran en un ángulo. Haciendo que el parque forme un ángulo 22 con la dirección dominante del viento 2, el efecto de sombra se evita adicionalmente.

La figura 25 muestra una turbina eólica con un ángulo de inclinación excepcionalmente grande 25, que se define como el ángulo entre la horizontal 24 y el eje del rotor de una turbina de árbol horizontal 23. El ángulo de inclinación grande hace posible girar la estela hacia arriba, tal como se muestra en las figuras 8 y 21 y tal como puede ser funcional con el fin de reducir el efecto de sombra de acuerdo con la invención.

La figura 26 muestra, de acuerdo con la invención, una turbina eólica con un ángulo de inclinación variable. Si hay poco viento, puede ser deseable girar la estela de forma severa hacia arriba, de tal modo que se necesita un ángulo de inclinación grande, mientras que en el caso de una gran cantidad de viento un

pequeño ángulo de inclinación puede ser lo mejor. El ángulo de inclinación ideal depende también de la dirección del viento y de la posición de la turbina en el parque. Por lo tanto, un ángulo de inclinación variable permite un mejor control del parque (con menos interferencia entre las turbinas).

La figura 27 muestra dos rotores 28 en una única torre, que de acuerdo con la invención es una combinación ventajosa para generar circulaciones en un parque. Un único rotor en una torre que se encuentra en un ángulo con respecto al viento generará dos remolinos que giran los unos hacia los otros. Estos remolinos no son efectivos a una distancia más lejos debido a que se cancelan el uno al otro. Con el fin de obtener un efecto mayor a una distancia más lejos los remolinos que giran los unos hacia los otros han de estar separados entre sí por una distancia más grande. Ésta se consigue mediante la instalación de dos rotores 28 en una torre, estando ambos dos inclinados. Por estos medios se generan unas circulaciones que llevan la estela lejos y que se alimentan de un aire rápido desde arriba del parque de una forma más efectiva. Con esta disposición se produce preferiblemente una fuerza lateral tan lejos como la superficie del agua o del suelo. Como resultado, la circulación, que está relacionada con la fuerza lateral que ejerce la turbina sobre el viento, continua tan lejos como la superficie del agua o del suelo.

La figura 28 muestra una vista lateral de la instalación en la figura 27. Dos rotores 28 se montan en la torre 27, rotores que en conjunto son capaces de generar las circulaciones de una forma más efectiva.

La figura 29 muestra, de acuerdo con la invención, otra realización de la turbina eólica con la que los remolinos que giran los unos hacia los otros pueden alejarse una gran distancia. En este caso, esto se efectúa ajustando un perfil 29 alrededor de la torre 27 por medio de lo cual puede ejercerse una fuerza lateral sobre el viento. Aunque se ha representado una realización especial en este caso, los expertos en la técnica han de entender que cualquier realización con la que puede ejercerse una fuerza transversal sobre el flujo es suficiente y que cualquier adaptación de instalaciones con el fin de conseguir esto cae dentro de la invención.

La figura 30 muestra la sección IX-IX en la figura 29, en la que el perfil 29 alrededor de la torre 27 puede verse de nuevo.

La figura 31 muestra la turbina de árbol vertical convencional 30 con, de acuerdo con la invención, la característica especial de que una fuerza lateral puede ejercerse sobre el viento. Esto se efectúa mediante el ajuste cíclico del ángulo de ábala de los álabes de la turbina 32, mientras que los álabes rotan de acuerdo con la trayectoria 31.

La figura 32 muestra la turbina de árbol vertical de acuerdo con la sección X-X. Los álabes 32 se muestran en doce posiciones en una vuelta para mostrar cómo el ángulo de ábala se ajusta de forma cíclica en una vuelta de tal modo que el viento 10 se desvía de acuerdo con la flecha 7. Una turbina de árbol vertical puede usarse también, por lo tanto, para contrarrestar el efecto de sombra o de forma precisa para favorecer éste, con la condición de que la turbina tenga un ajuste de ábala cíclico.

La figura 33 muestra una gráfica con la curva 33 que muestra el cambio en la potencia generada P con la velocidad del viento V. La potencia se genera en primer lugar a una baja velocidad del viento de aproximadamente 3 a 4 m/s; esta es la velocidad del viento de 'activación' 34. La potencia aumenta a continuación con rapidez hasta que se alcanza la máxima potencia a la velocidad nominal del viento 35. Habitualmente ésta se produce entre 10 y 15 m/s. Muchas turbinas se detienen a una velocidad del viento de 'desactivación' específica 36 para evitar la sobrecarga. Si la turbina eólica dentro de un parque se encuentra en la curva en la sección entre 34 y 35 es sensato evitar el efecto de sombra de acuerdo con la invención. No obstante, si la velocidad del viento se encuentra por encima de la velocidad nominal del viento, más viento no produce más potencia sino posiblemente incluso menos. Si la curva 33 cae en la sección entre 35 y 36 puede por lo tanto ser sensato de acuerdo con la invención favorecer el efecto de sombra en este intervalos de velocidades del viento. La velocidad del viento en la posición de la turbina cae entonces, como resultado de lo cual se aumenta la producción. Un ejemplo extremo de acuerdo con la invención es que la velocidad del viento sea algo más alta que la velocidad del viento de 'desactivación', de tal modo que el parque se encuentra por lo tanto en una situación de reposo. En este caso, favoreciendo el efecto de sombra la velocidad del viento podría de hecho situarse por debajo de la de 'desactivación' y el parque puede por lo tanto volver a o permanecer en funcionamiento. El parque pasa entonces de la situación de reposo y de no producción a un estado de funcionamiento completo y de alta producción.

Aunque la invención se ha descrito anteriormente con referencia a unas realizaciones preferidas, será evidente inmediatamente para un experto en la técnica que la ventaja puede también conseguirse con un gran número de otras formas que caen dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

En los dibujos, un número de dispositivos se ha indicado mediante un número, la definición del número se da en la leyenda a continuación:

1. parque eólico
2. dirección dominante del viento. Las flechas 2 en las figuras que indican la dirección dominante del viento han de considerarse a modo de veletas, es decir que el viento procede de la dirección en la que apunta la flecha.
3. circulación
4. altura de circulación (una altura máxima desde la que el aire se guía hacia el parque)
5. turbinas que desvían la estela que se desplaza en la dirección del flujo hacia la izquierda

- 6. turbinas que desvían la estela que se desplaza en la dirección del flujo hacia la derecha
- 7. flujo de la estela
- 8. flujo rápido desde arriba
- 5 9. límite del flujo a partir del cual el parque ha extraído la energía
- 10. la dirección promedio durante 1,0 minuto del viento en la posición de la flecha
- 11. perfil de velocidad sin perturbar
- 12. perfil de velocidad tal como puede plantearse de acuerdo con la invención
- 13. perfil de velocidad de acuerdo con el estado de la técnica
- 14. turbinas que guían la estela que se desplaza en la dirección del viento hacia arriba
- 10 15. turbina en la dirección de sotavento
- 16. cuerpo flotante que puede desplazarse
- 17. perfil instalado en el exterior del parque
- 18. El flujo de aire desviado por el perfil
- 19. grupo de turbinas
- 15 20. anchura efectiva
- 21. distancia a través de la que la estela se desplaza
- 22. ángulo entre la configuración de línea y la dirección dominante del viento
- 23. árbol del rotor
- 24. horizontal
- 20 25. ángulo de inclinación
- 26. junta de inclinación
- 27. torre
- 28. rotores
- 29. perfil
- 25 30. turbina de árbol vertical (VST, *vertical turbine shaft*)
- 31. movimiento de giro
- 32. álabes de VST
- 33. gráfica que muestra la potencia como una función de la velocidad del viento
- 34. velocidad de inicio del viento de 'activación'
- 30 35. velocidad nominal del viento
- 36. velocidad de detención del viento de 'desactivación'
- 37. turbina eólica

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para extraer energía a partir de un fluido que fluye, particularmente a partir de flujos de agua de mar y/o viento, usando una instalación (1) de dispositivos ubicados cerca los unos de los otros, caracterizado porque un dispositivo de guiado (5, 6, 14, 17) de dicha instalación se ajusta con respecto a dicho flujo de fluido de una forma tal que se ejercen como resultado unas fuerzas con una componente perpendicular a la dirección no perturbada del flujo (2, 10), de tal modo que el fluido con una energía cinética más alta o con una energía cinética más baja, en comparación con la situación normal en la que se carece de dicha componente de fuerza, se guía a través de un dispositivo de extracción de energía de la instalación.
- 10 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la proporción entre la componente de fuerza generada en perpendicular y la paralela a la dirección no perturbada del flujo es de más de 0,1, particularmente de más de 0,2 y más particularmente de más de 0,3.
- 15 3. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en el que varios dispositivos de guiado cooperan en la generación de la misma circulación, de tal modo que aumenta la fuerza y/o la escala de la circulación.
- 20 4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores 1 a 3, en el que un dispositivo de la instalación, que opcionalmente tiene una función de guiado, se hace funcionar con una inducción axial  $a$  más grande que  $1/3$  o menor que cero.
- 25 5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que se desplaza dicho dispositivo de guiado.
- 30 6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos un dispositivo de guiado es una turbina de árbol horizontal, el árbol del rotor del cual forma un ángulo de más de 5 grados, particularmente de más de 10 grados y más particularmente de más de 15 grados con respecto a la dirección no perturbada del flujo.
- 35 7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, en el que el dispositivo de guiado tiene sus álabes ajustados de forma cíclica.
8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, que comprende varios dispositivos de guiado, en el que el guiado por dichos dispositivos se realiza de tal modo que las estelas a partir de los dispositivos de extracción de energía se agrupan orientándolas las unas hacia las otras de tal modo que se limitan las pérdidas de mezclado.
- 40 9. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que varias turbinas sobre un soporte común en conjunto tienen una función de guiado.
- 45 10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que el guiado se realiza de tal modo que el fluido lento se guía hacia la izquierda en el hemisferio norte y hacia la derecha en el hemisferio sur.
- 50 11. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que el guiado de fluido esencialmente tiene lugar en el lado de aguas arriba de la instalación.
- 55 12. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, que comprende varios dispositivos de guiado que se disponen esencialmente en la dirección del flujo uno detrás del otro, en el que la proporción entre la fuerza perpendicular y la paralela a la dirección no perturbada del flujo que se ejerce por los dispositivos de guiado en la dirección del flujo disminuye en parte de la instalación.
- 60 13. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en combinación con la reivindicación 6, en el que, al desplazarse a través de la instalación desde la dirección de aguas arriba hasta la de aguas abajo, disminuye la inclinación de las turbinas de árbol horizontales en parte de la instalación.
- 65 14. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos un dispositivo se ajusta en un ángulo con respecto a la dirección no perturbada del flujo, sin que disminuya la pérdida por sombra de los dispositivos en el lado de aguas abajo a una distancia menor de 10 veces el tamaño característico del dispositivo inclinado en cuestión.
15. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, que comprende diversas instalaciones, en el que al menos una instalación de aguas arriba o un dispositivo de la misma tiene una función de guiado para al menos una instalación de aguas abajo.
16. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que se aplican por calentamiento o por enfriamiento unas diferencias en la densidad en el fluido, por ejemplo causadas por evaporación de agua, para generar dicha fuerza.

- 5 17. Instalación (1) que comprende un dispositivo para extraer energía a partir de un flujo de fluido, caracterizada porque la instalación comprende un dispositivo de guiado (5, 6, 14, 17) por medio del que se generan unas fuerzas que tienen una componente perpendicular a la dirección no perturbada del flujo (2, 10), de tal modo que el fluido con energía cinética que se diferencia de la energía cinética que es efectiva en la situación normal en la que se carece de dicha componente de fuerza se alimenta a través de dicho dispositivo para extraer energía a partir de un fluido.
- 10 18. Instalación de acuerdo con la reivindicación 17, en la que dicho dispositivo de guiado tiene como promedio una inclinación de más de 5°, particularmente de más de 10° y más particularmente de más de 15° con respecto al dispositivo para extraer energía a partir de un flujo de fluido.
- 15 19. Instalación de acuerdo con la reivindicación 17 o 18 que comprende al menos veinte dispositivos para extraer energía, en la que la instalación esencialmente se extiende en la dirección dominante del flujo a lo largo de una longitud que es mayor de la anchura del parque y particularmente a lo largo de una longitud que es más de 3/2 veces la anchura del parque y más particularmente a lo largo de una longitud que es más de dos veces la anchura del parque.
- 20 20. Instalación de acuerdo con una de las reivindicaciones 17 a 19 que tiene al menos veinte dispositivos para extraer energía, en la que la separación entre las turbinas en la dirección dominante del flujo es menos de 5 veces, particularmente menos de 4 veces y más particularmente menos de 3 veces el tamaño característico de las turbinas en cuestión.
- 25 21. Instalación de acuerdo con una de las reivindicaciones 17 a 20 que tiene al menos veinte dispositivos para extraer energía, en la que el área superficial total ocupada por las turbinas ocupa más de un 5 %, particularmente más de un 10 % y más particularmente más de un 20 % del área superficial del parque.
- 30 22. Instalación de acuerdo con una de las reivindicaciones 17 a 21, en la que varios dispositivos para extraer energía se ubican juntos en grupos con una separación entre los centros de las áreas ocupadas de menos de una vez y media el tamaño característico de una turbina y en la que los grupos actúan como dispositivos de guiado.
- 35 23. Instalación de acuerdo con una de las reivindicaciones 17 a 22, en la que se instalan dispositivos de guiado pasivos o activos en el exterior del parque y esencialmente en el lado de la dirección del viento con respecto a la dirección dominante del viento.
- 40 24. Instalación de acuerdo con una de las reivindicaciones 17 a 23 que comprende una construcción de soporte para dicho dispositivo, en la que al menos una parte de la construcción de soporte de al menos uno de los dispositivos de guiado o de extracción de energía se dota de unos perfiles por medio de los que una fuerza perpendicular a la dirección de fluido no perturbado puede ejercerse con el fin de mejorar el guiado.
- 45 25. Instalación de acuerdo con una de las reivindicaciones 17 a 24, en la que al menos un dispositivo de guiado comprende una turbina eólica que tiene una torre que se construye de tal modo que la misma es adecuada para ejercer una fuerza lateral en la dirección de fluido no perturbado, de tal modo que se mejora el guiado mediante la combinación de la turbina y de la torre.
- 50 26. Instalación de acuerdo con una de las reivindicaciones 17 a 25, que comprende un dispositivo con un árbol horizontal que tiene una función de guiado y en la que dicho dispositivo tiene un ángulo de inclinación fijo más grande que 10 grados, particularmente más grande que 15 grados y más particularmente más grande que 20 grados o un ángulo de inclinación ajustable de forma variable.
- 55 27. Instalación de acuerdo con una de las reivindicaciones 17 a 26, en la que dicho dispositivo es una turbina de árbol vertical que tiene la opción de ajustar sus álabes de forma cíclica, de tal modo que esta turbina es capaz de ejercer una fuerza lateral sobre el flujo y por lo tanto puede tener una función de guiado.
28. Instalación de acuerdo con una de las reivindicaciones 17 a 27, en la que al menos un dispositivo de guiado está configurado de tal modo que es móvil.
29. Instalación de acuerdo con una de las reivindicaciones 17 a 28, que comprende un parque eólico en mar abierto de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores.
- 60 30. Instalación de acuerdo con una de las reivindicaciones 17 a 29, en la que dicha instalación se controla por medio de software que tiene una capacidad de autoaprendizaje y en la que se lleva a cabo una optimización teniendo en consideración el rendimiento global del parque, con respecto al que los rendimientos de los dispositivos individuales son auxiliares.
- 65 31. Instalación de acuerdo con las reivindicaciones anteriores 17 a 30, en la que la instalación se controla por medio de software que también usa una información acerca de la estabilidad de la atmósfera con el fin de ajustar unos

parámetros tales como la escala de circulación, la posición de cualesquiera dispositivos móviles y la configuración de las turbinas con ángulos de inclinación variable, si los hubiere.

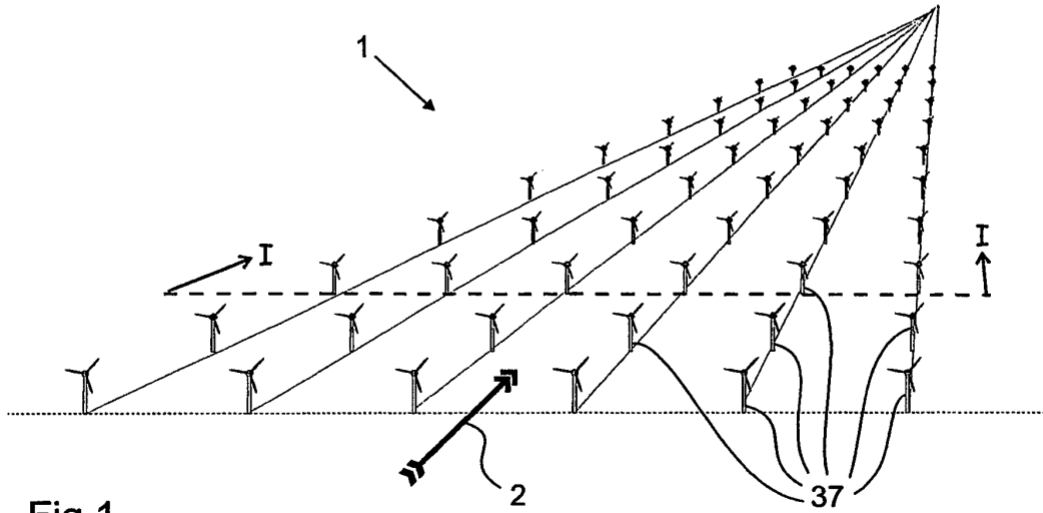


Fig. 1

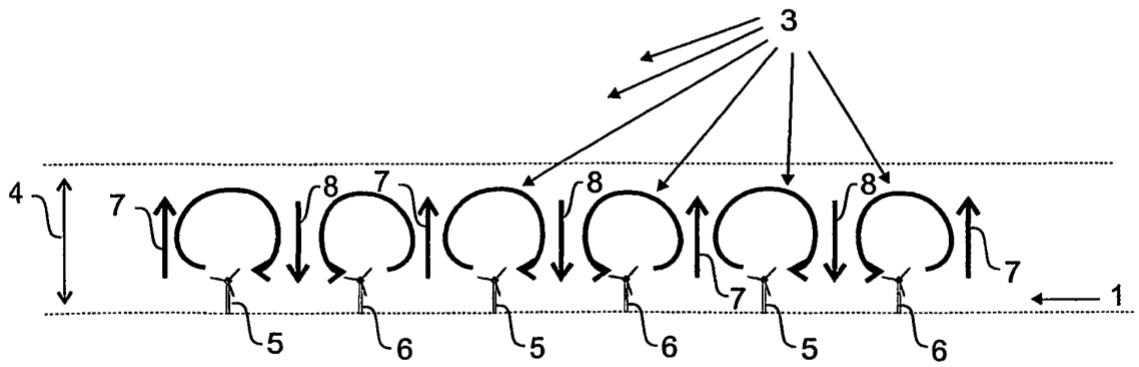


Fig. 2 (I-I)



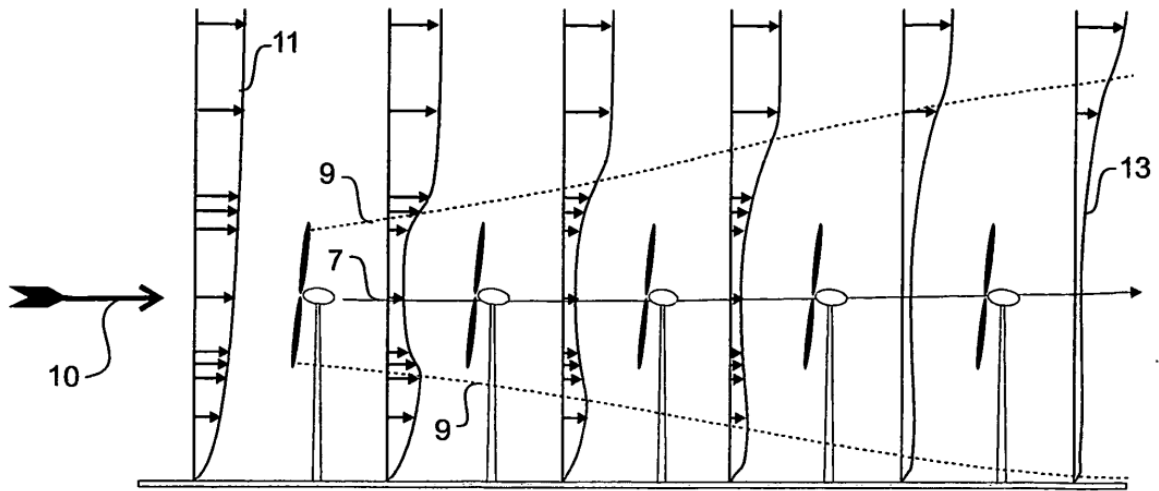


Fig. 3

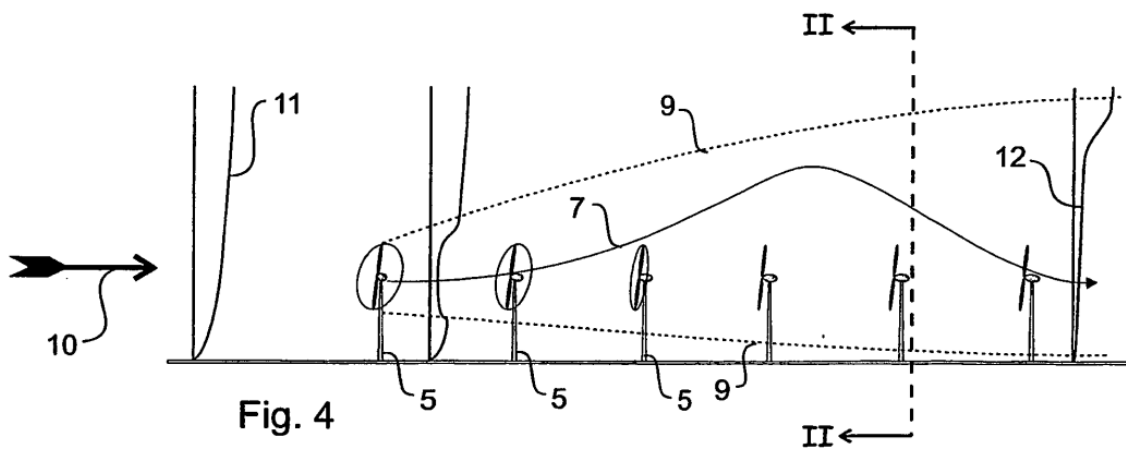


Fig. 4

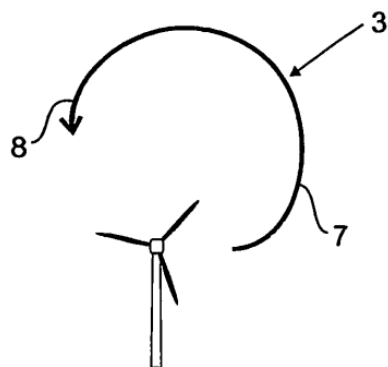


Fig. 5 (II-II)

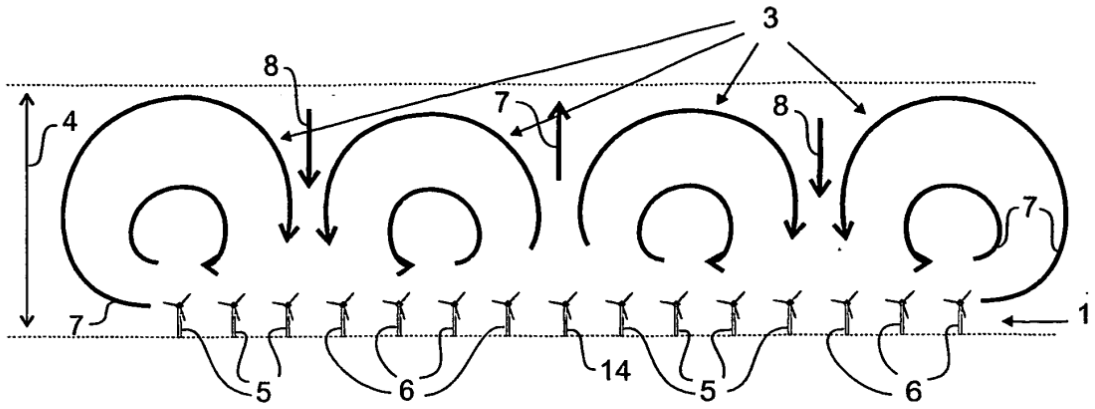


Fig. 6

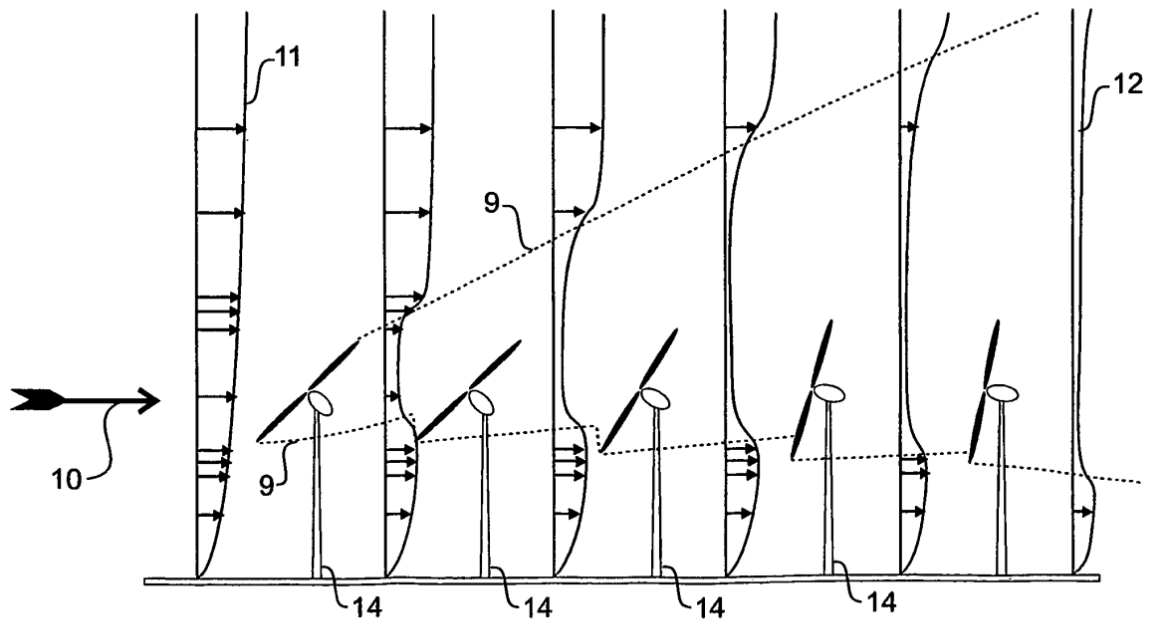
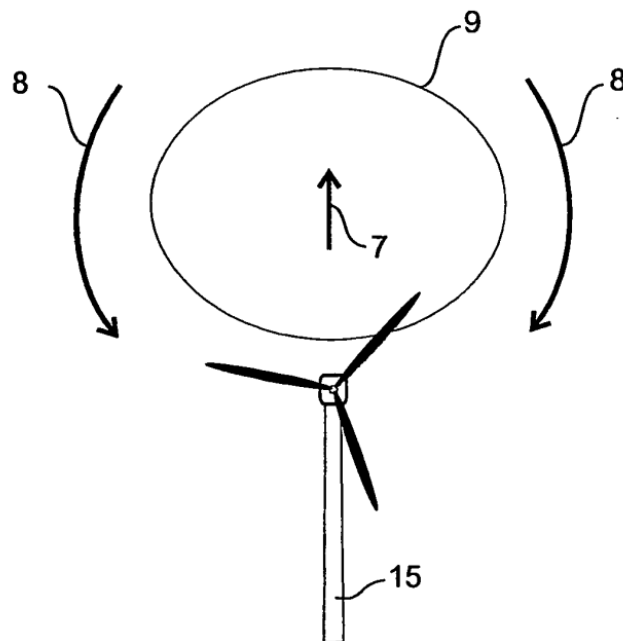
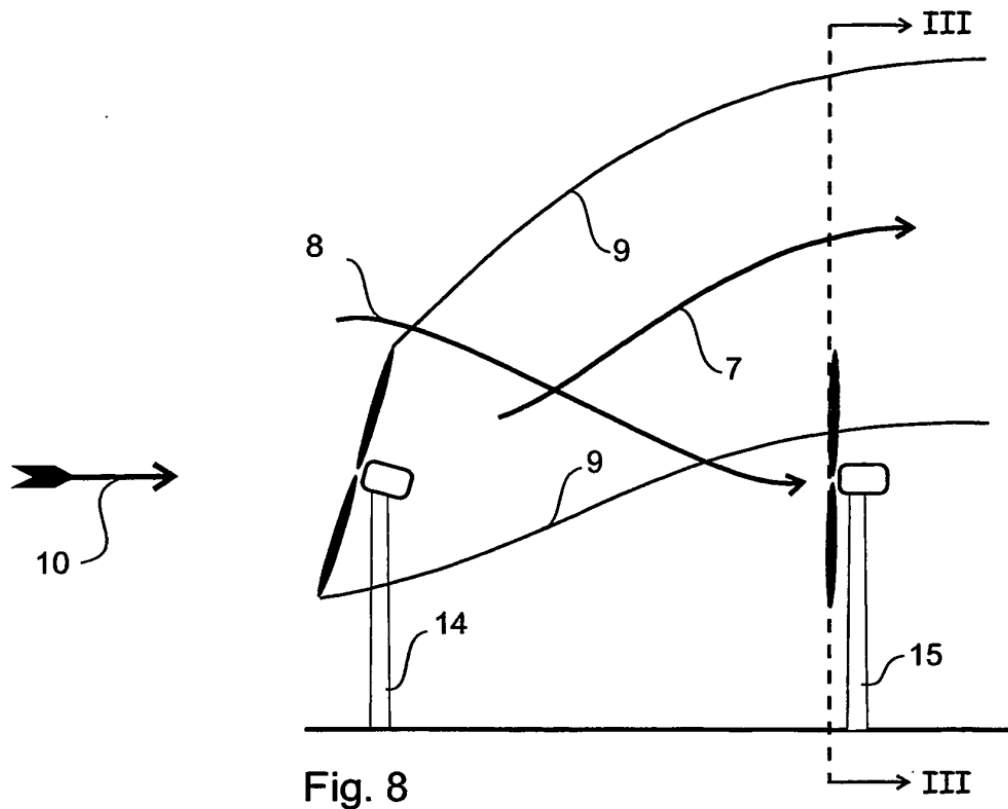


Fig. 7



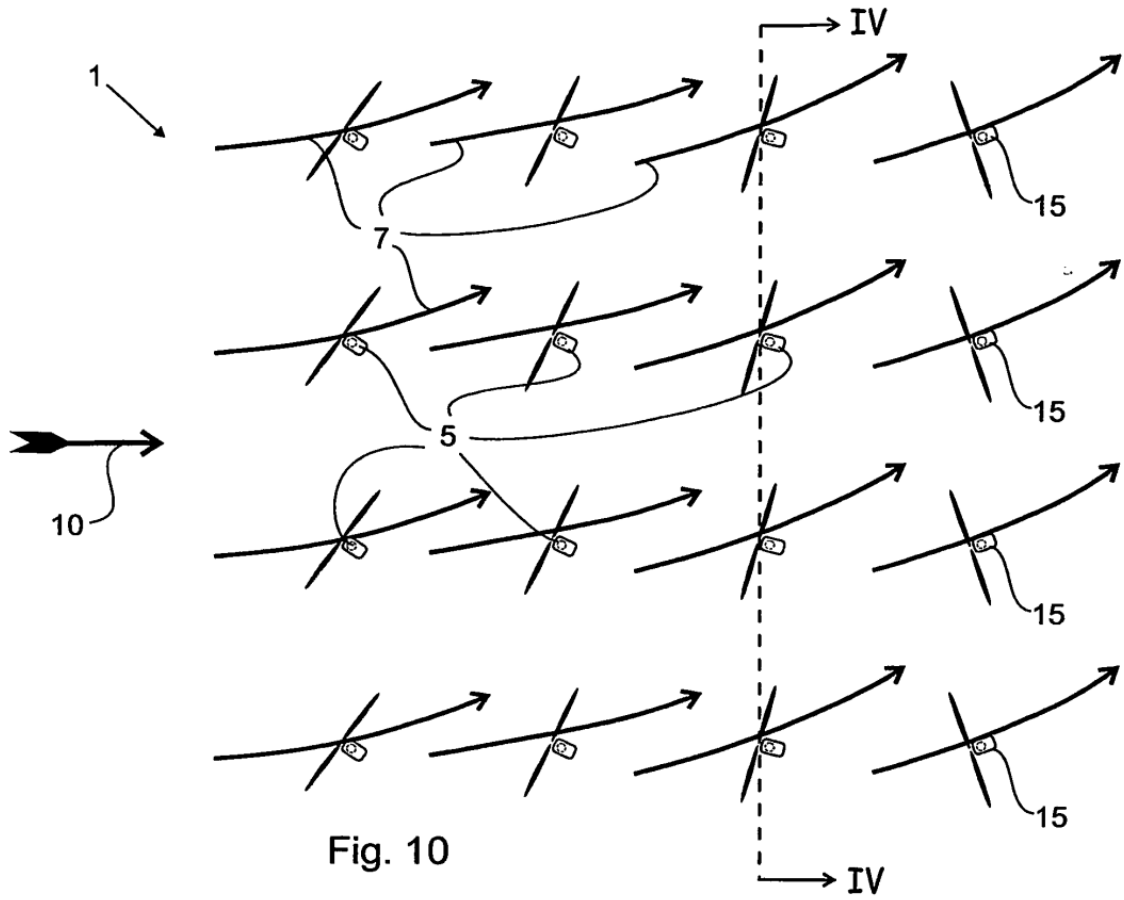


Fig. 10

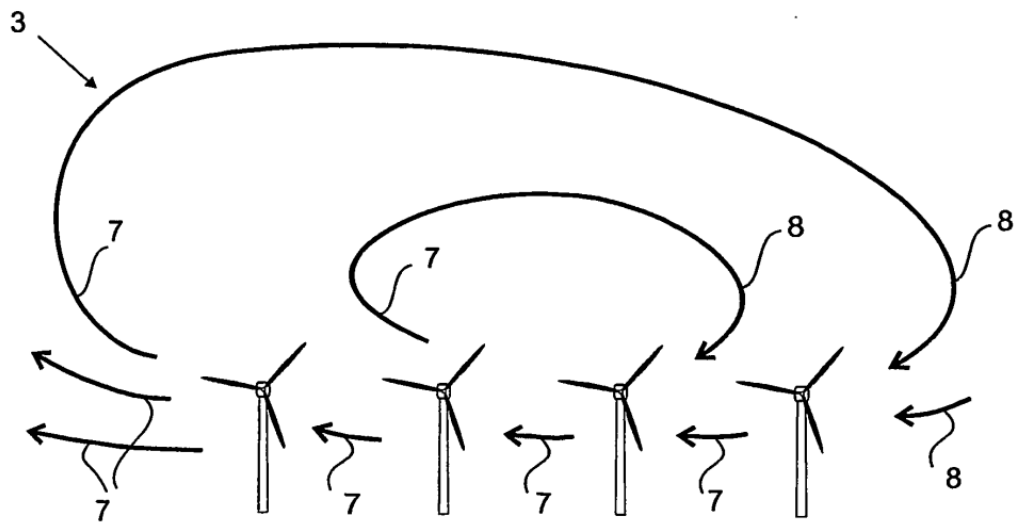
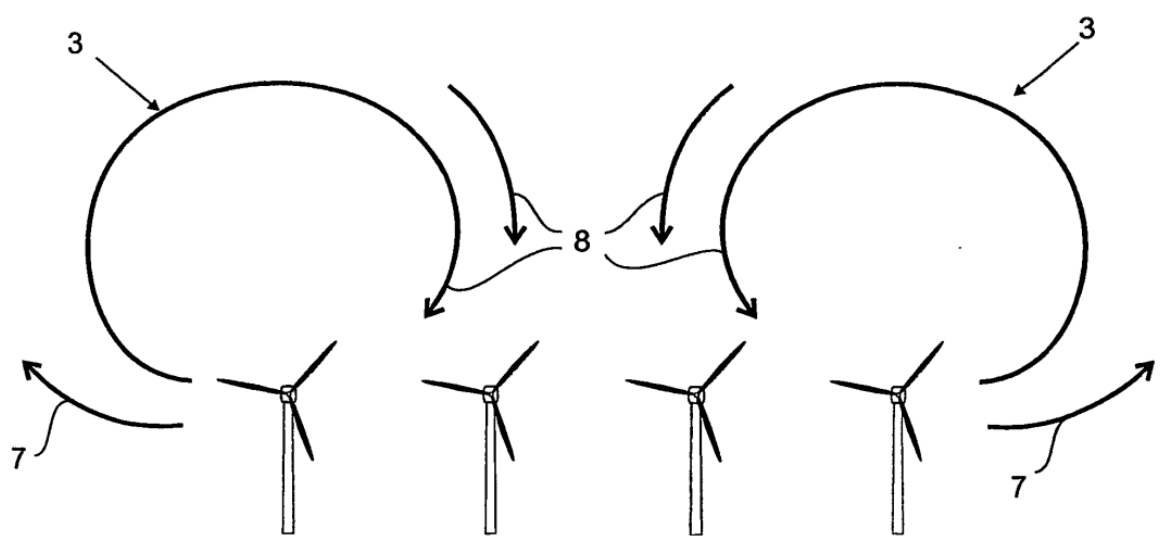
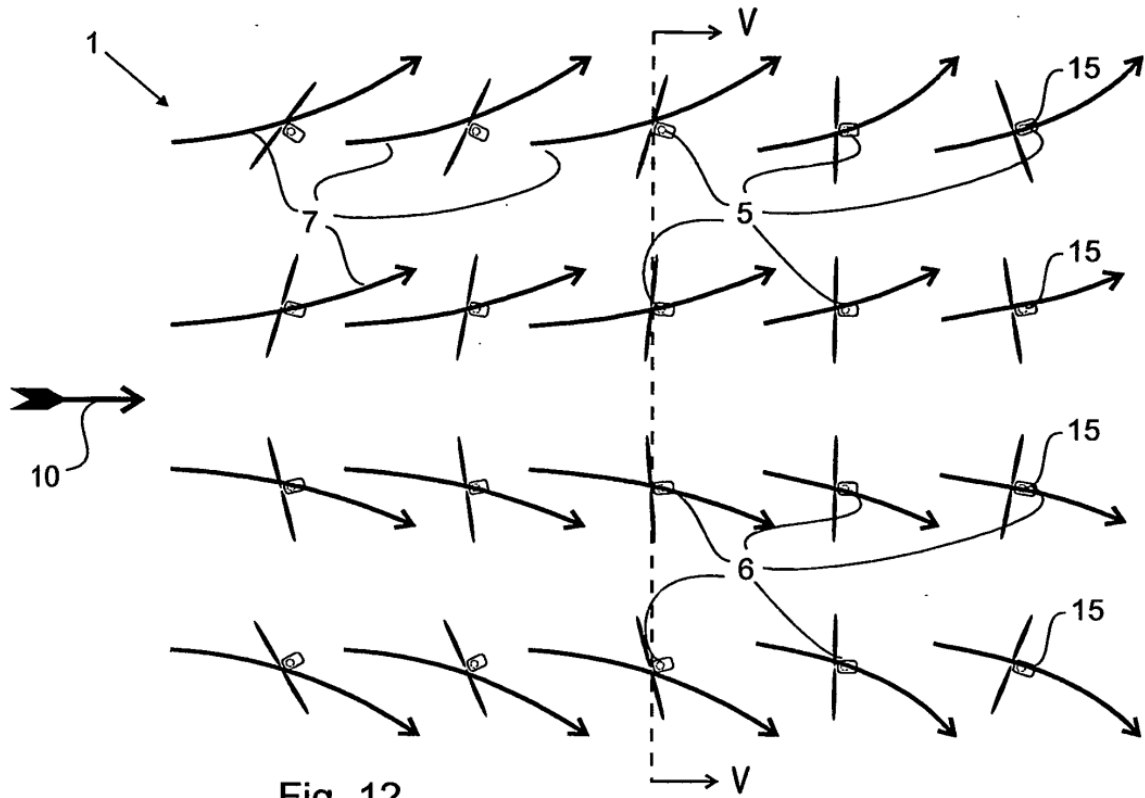


Fig. 11 (IV-IV)



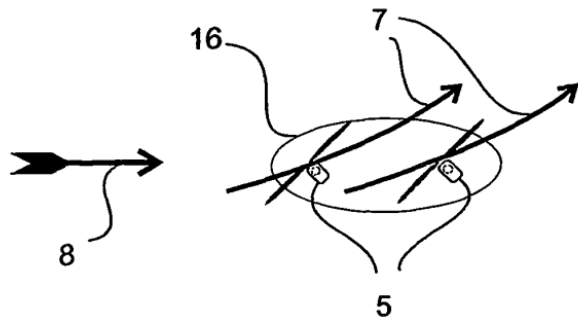


Fig. 14

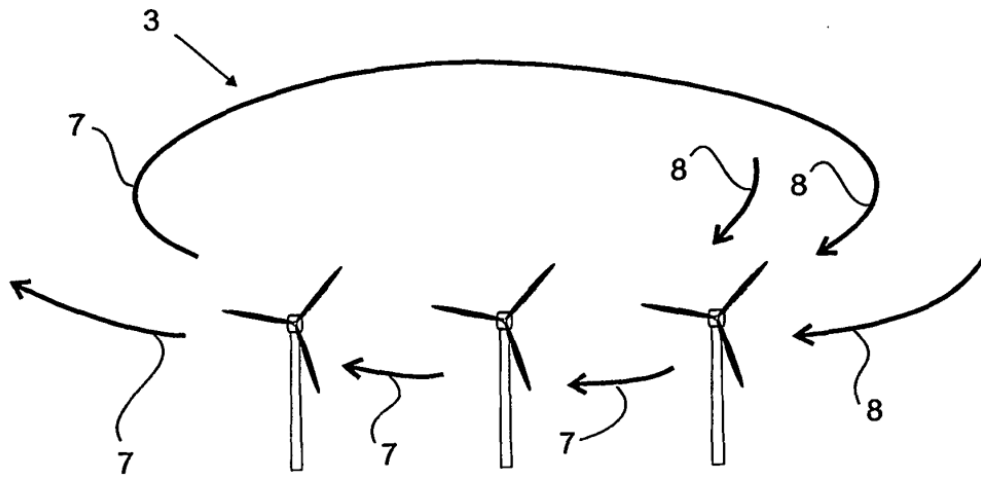
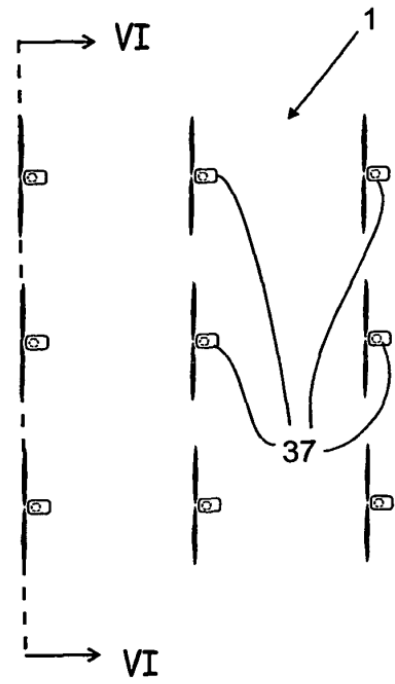


Fig. 15 (VI-VI)

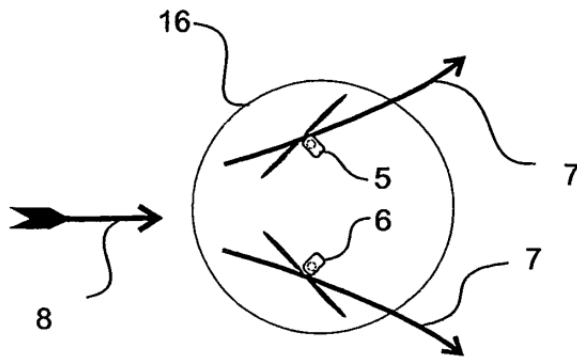


Fig. 16

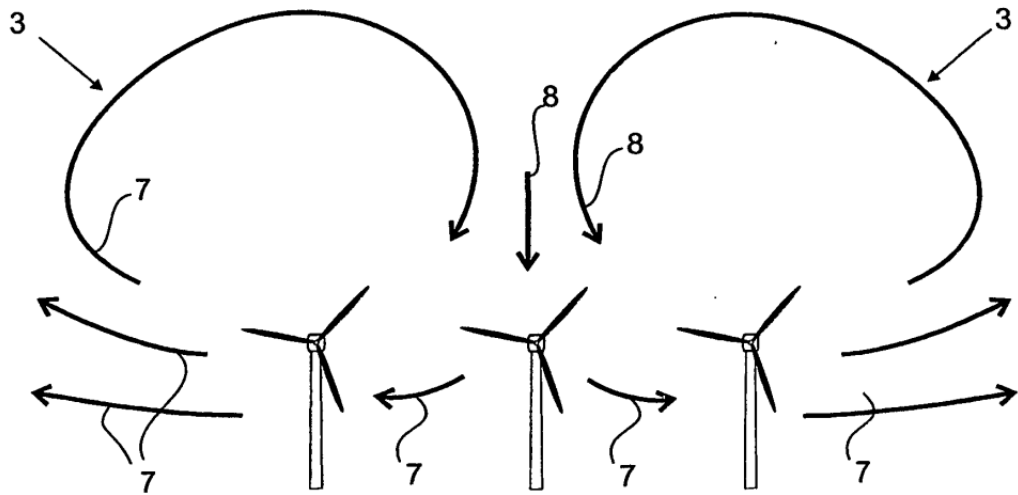
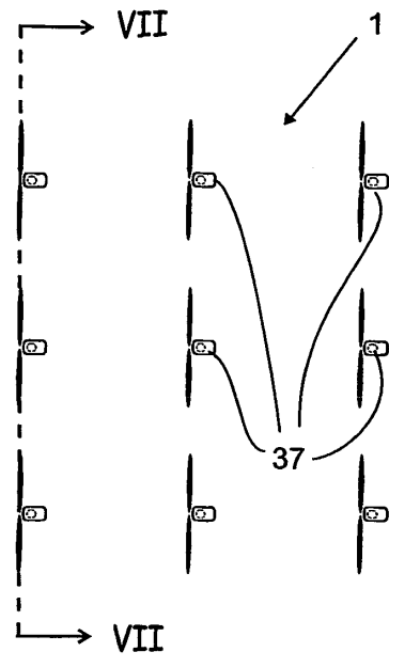


Fig. 17 (VII-VII)

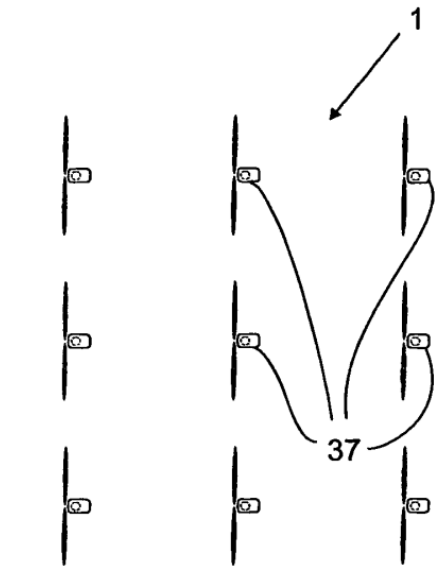
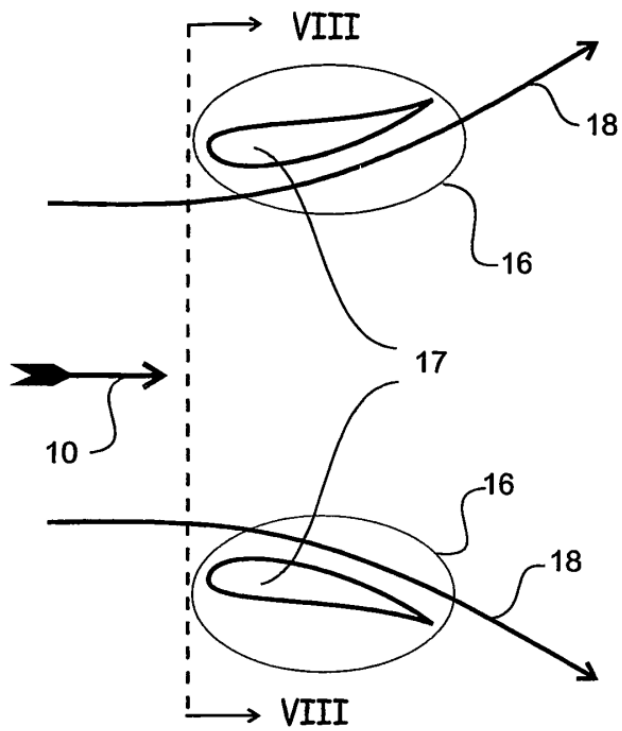


Fig. 18

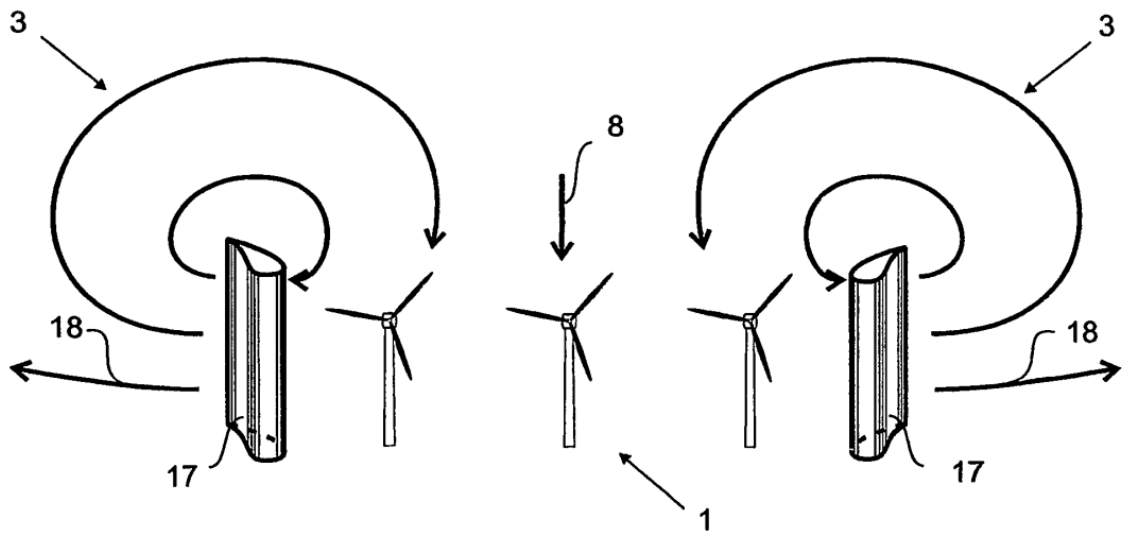


Fig. 19 (VIII-VIII)



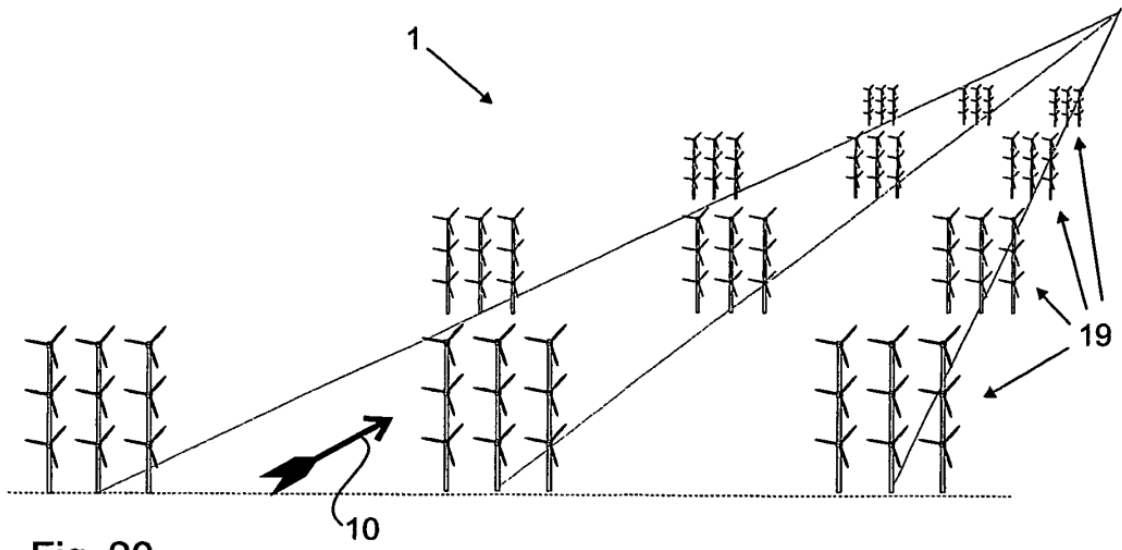


Fig. 20

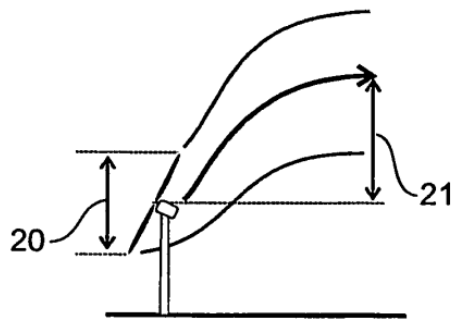


Fig. 21

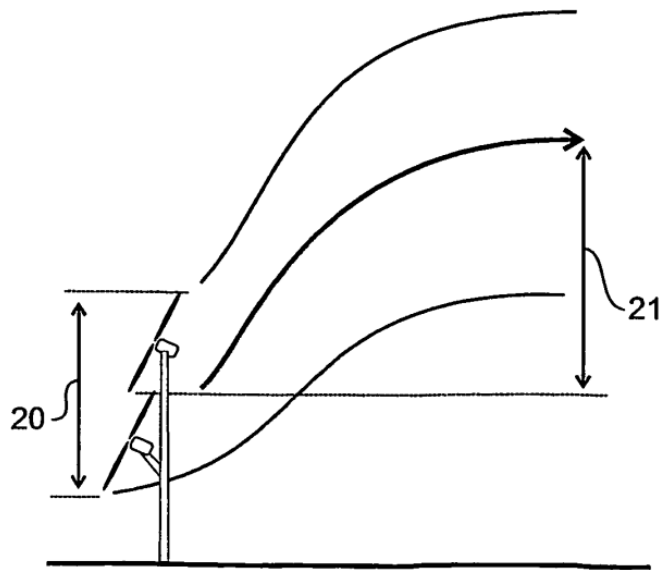


Fig. 22

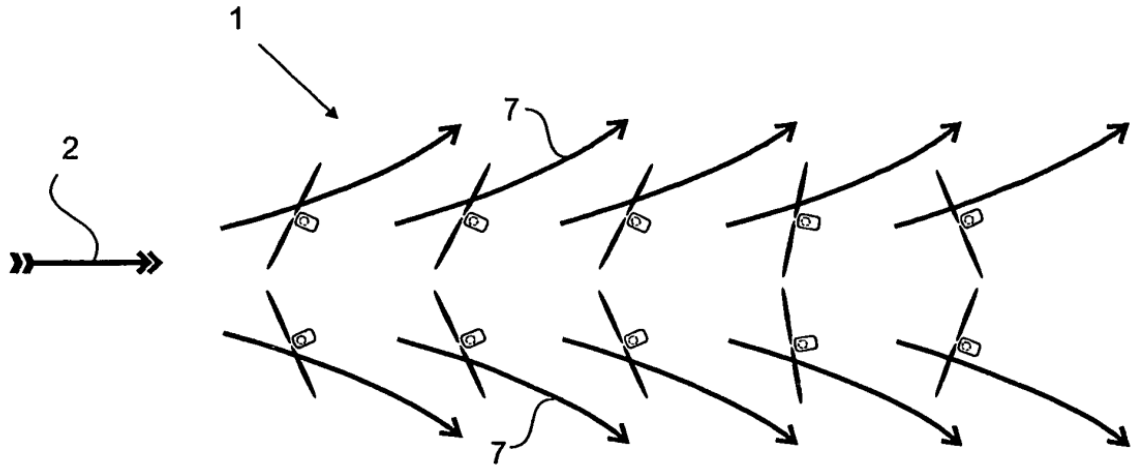


Fig. 23

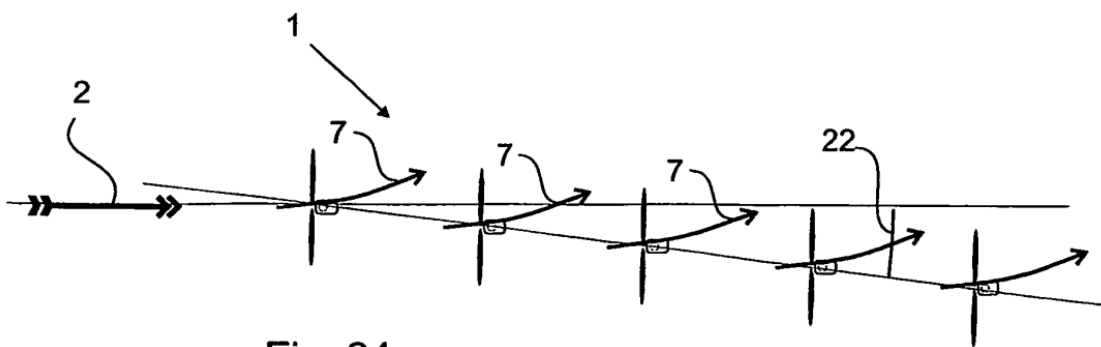


Fig. 24

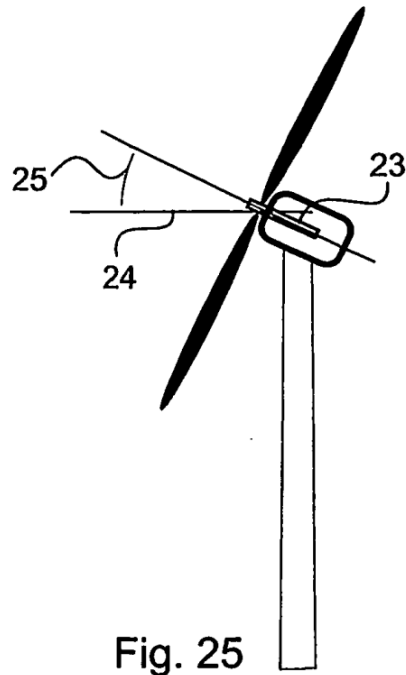


Fig. 25

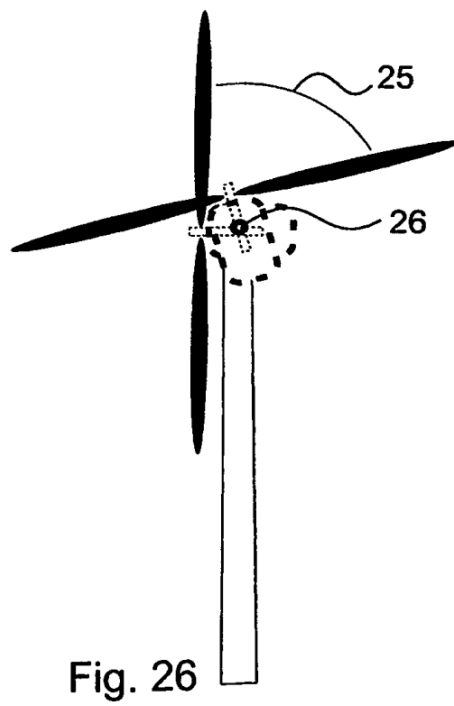


Fig. 26

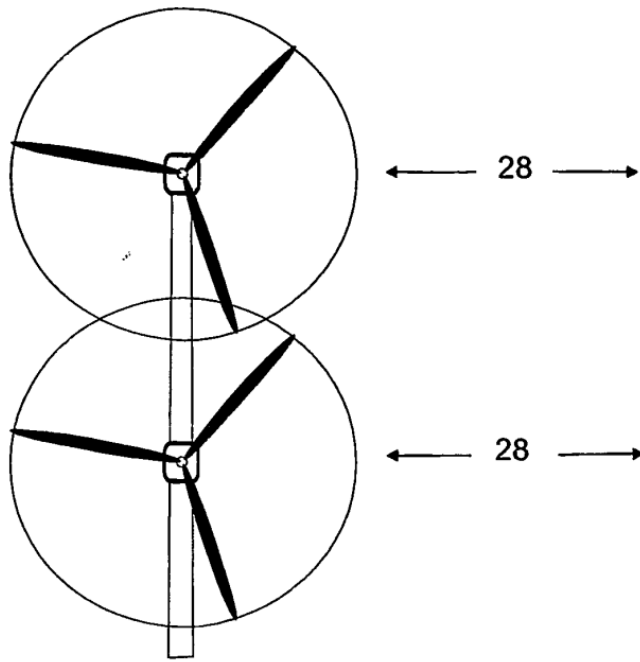


Fig. 27

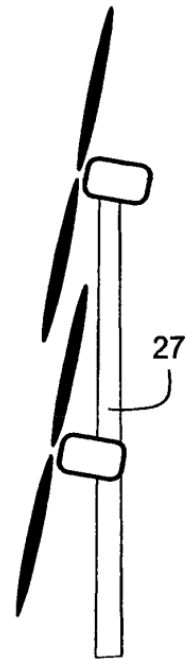


Fig. 28

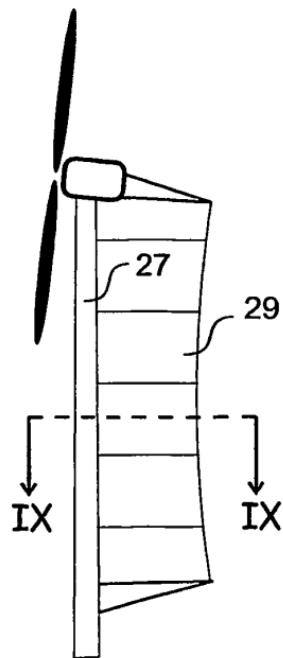


Fig. 29

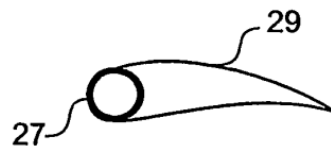
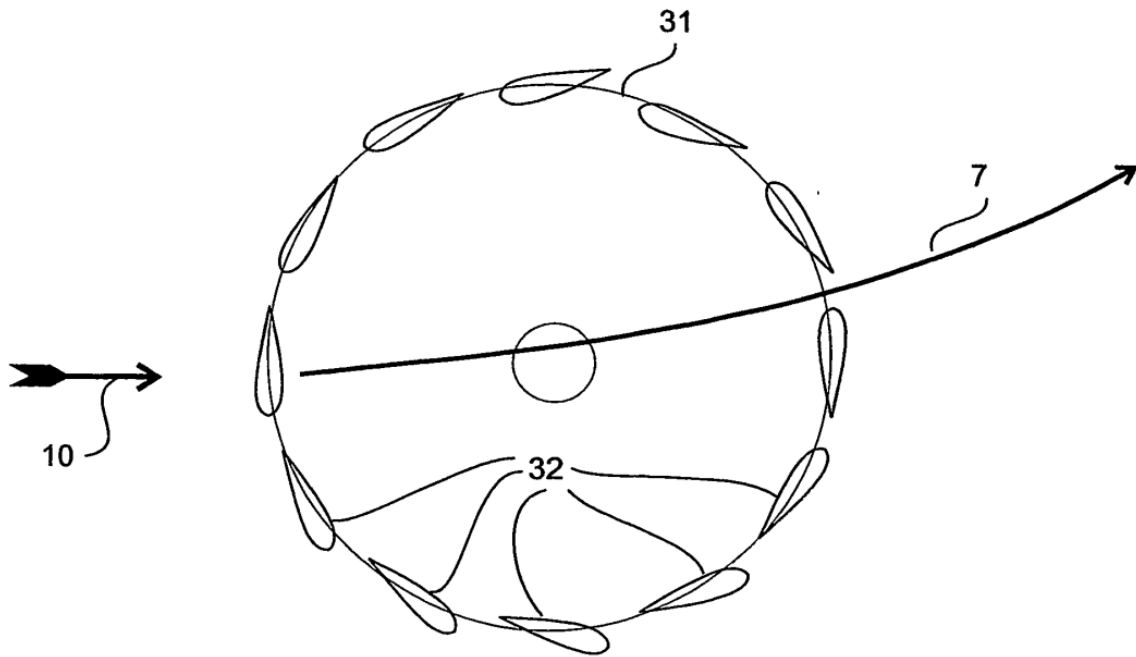
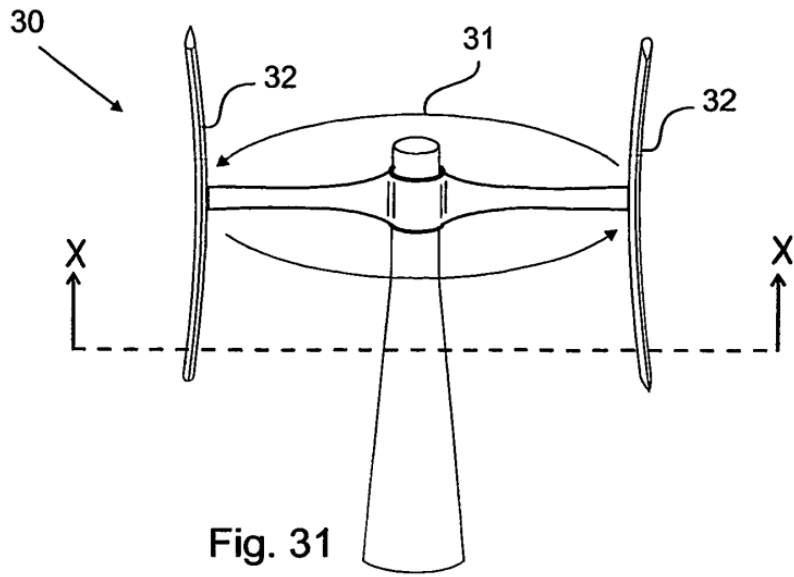


Fig. 30 (IX-IX)



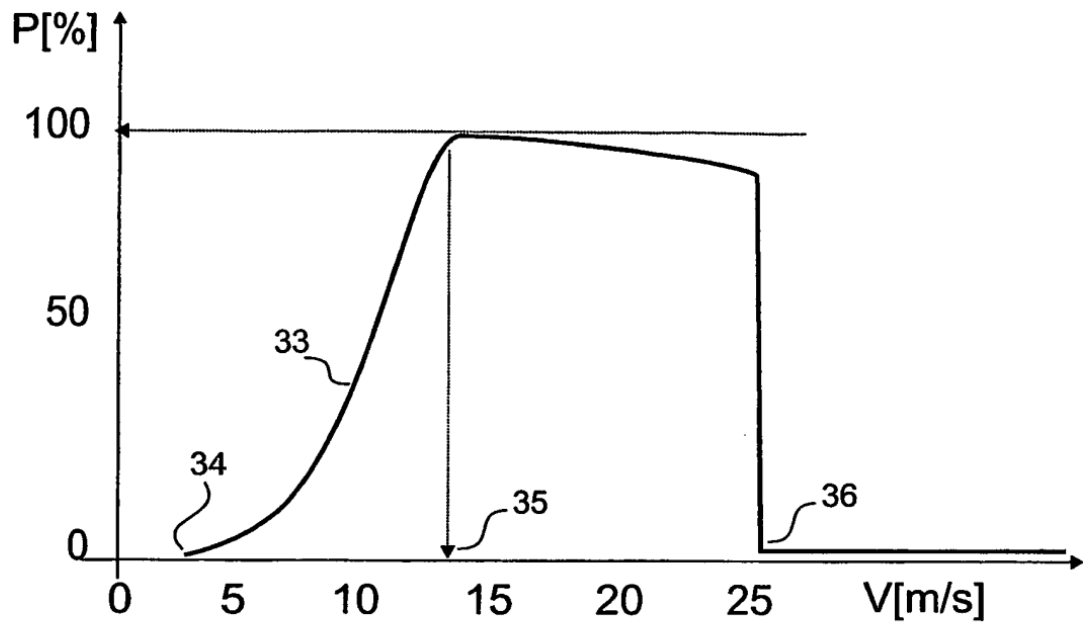


Fig. 33