

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 616 543**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.07.2010** **E 10168529 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.11.2016** **EP 2405129**

54 Título: **Pala de turbina eólica con borde de salida variable**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
13.06.2017

73 Titular/es:

LM WP PATENT HOLDING A/S (100.0%)
Jupitervej 6
6000 Kolding , DK

72 Inventor/es:

BÆK, PETER y
GRABAU, PETER

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 616 543 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

Pala de turbina eólica con borde de salida variable

La presente invención se refiere a una pala de turbina eólica para un rotor de una turbina eólica que tenga un árbol de rotor sustancialmente horizontal, comprendiendo la pala: un contorno perfilado que comprende un lado de presión y un lado de succión así como un borde de ataque y un borde de salida, extendiéndose una cuerda entre el borde de ataque y el borde de salida, generando el contorno perfilado un empuje cuando es impactado por un flujo de aire incidente, en una sección transversal de la pala de turbina eólica perpendicular a una dirección longitudinal de la pala de turbina eólica, siendo definido un punto de un lado de succión sobre el lado de succión en el borde de salida de la pala, y siendo definido un punto del lado de presión sobre el lado de presión en el borde de salida de la pala. La invención se refiere adicionalmente a una turbina eólica que comprende dicha pala de turbina eólica y a un método de control de dicha pala de turbina eólica.

Idealmente, una pala de turbina eólica del tipo plano aerodinámico se conforma de modo similar al perfil de un ala de avión, en donde el ancho en el plano de cuerda de la pala de turbina eólica así como la primera derivada del mismo se incrementan continuamente cuando se disminuye la distancia desde el buje. Esto da como resultado que la pala es de modo ideal comparativamente más ancha en la proximidad del buje. Esto da como resultado de nuevo problemas cuando se tiene que montar la pala de turbina eólica al buje y, más aún, esto provoca grandes cargas durante la operación de la pala de turbina eólica, tales como cargas de tormenta, debido a la gran área superficial de la pala de turbina eólica.

Por lo tanto, a lo largo de los años, la construcción de palas de turbina eólica se ha desarrollado hacia una forma, en la que la pala de turbina eólica consiste en una zona de raíz más próxima al buje, una zona de plano aerodinámico que comprende un perfil de generación de empuje más alejado del buje y una zona de transición entre la zona de raíz y la zona de plano aerodinámico. La zona de plano aerodinámico tiene una forma de contorno ideal o casi ideal perfilado con relación a la generación de empuje, mientras que la zona de raíz tiene sustancialmente una sección transversal circular, lo que reduce las cargas de tormenta y hace fácil y seguro montar la pala de turbina eólica en el buje. El diámetro de la zona de raíz puede ser ventajosamente constante a lo largo de toda la zona de raíz. Debido a la sección transversal circular, la zona de raíz no contribuye a la producción de energía de la turbina eólica y, de hecho, la disminuye un poco debido al roce. Tal como es sugerido por el nombre, la zona de transición tiene una forma que cambia gradualmente desde la forma circular de la zona de raíz al perfil de plano aerodinámico de la zona de plano aerodinámico. Típicamente, el ancho de la pala de turbina eólica en la zona de transición se incrementa sustancialmente en forma lineal con el incremento de la distancia desde el buje.

Cuando la pala de turbina eólica es impactada por un flujo de aire incidente, el contorno perfilado genera un empuje. Cuando la pala de turbina eólica es montada sobre una turbina eólica, el buje de la turbina eólica comienza a girar debido al empuje. Por flujo incidente se quiere indicar las condiciones del flujo de entrada en una sección de contorno perfilado durante el uso normal de la pala de turbina eólica, es decir el giro de un rotor de turbina eólica. Por ello, el flujo entrante es el flujo de entrada formado por la resultante de la velocidad del viento axial y el componente de giro, tal como se ve por la sección local del contorno perfilado.

Dado que por ejemplo las palas de turbina eólica para turbinas eólicas se han ido haciendo cada vez más grandes en el transcurso del tiempo y pueden ser ahora de más de 60 m de larga, se ha incrementado la demanda de un rendimiento aerodinámico optimizado. Las palas de turbina eólica se diseñan para tener una vida útil operativa de al menos 20 años. Por lo tanto, incluso pequeños cambios en el rendimiento global de la pala de turbina eólica pueden acumularse a lo largo de la vida útil de la pala de turbina eólica hasta un alto incremento en los beneficios financieros, que sobrepase los costes de fabricación adicionales relativos a dichos cambios.

Dado que los requisitos para la efectividad de una turbina eólica han aumentado, existe una necesidad de aumentar la efectividad o rendimiento de las palas de turbina eólica o de las palas de turbina eólica.

El tamaño de la cuerda es de importancia para el rendimiento de una pala de turbina eólica y en particular para el rendimiento de la pala con diferentes velocidades de viento. Una pala que tenga una longitud de cuerda puede, para un perfil relativo, comportarse óptimamente con un ángulo de ataque a una relación de velocidad de punta dada, con otra longitud de cuerda puede comportarse óptimamente con otro ángulo de ataque a también otra relación de velocidad de punta dada. Esto se intenta superar, al menos parcialmente, mediante el cambio de paso y adaptando en otra forma las propiedades aerodinámicas de las palas.

El documento WO 2007/045940 divulga una pala que tiene una geometría variable mediante la variación de la forma del lado de presión de la pala.

El documento WO 2009/061478 divulga una pala provista con una disposición de accionamiento de la transformación para la variación de la forma del perfil de pala.

El documento WO 02/051730 divulga una pala de turbina eólica en la que la longitud de cuerda de la pala puede variarse alrededor del apoyo de la pala mediante la deformación de una parte de la superficie de la pala.

El documento DE19719221 divulga una pala que tiene una geometría variable mediante la variación de la forma del lado de presión de la pala.

- 5 Es un objeto de la invención obtener una nueva pala de turbina eólica, que supere o mejore al menos una de las desventajas de la técnica anterior, o que proporcione una alternativa útil.

10 De acuerdo con un primer aspecto, en invención proporciona una pala de turbina eólica de acuerdo con la clase anteriormente mencionada, en la que el punto del lado de succión es móvil con relación al punto del lado de presión, y que la pala está provista adicionalmente con un dispositivo de desplazamiento configurado para desplazar el punto del lado de presión y el punto del lado de succión de modo que pueda variarse una distancia entre el punto del lado de succión y el punto del lado de presión.

15 En una realización, el punto del lado de succión y el punto del lado de presión tienen un punto de intersección. Esto proporciona la posibilidad de adaptar las propiedades aerodinámicas de la pala de turbina eólica mediante el cambio activamente de la longitud de la cuerda o curvatura de la pala de turbina eólica. Preferentemente, el dispositivo de desplazamiento puede variarse entre dos posiciones extremas, concretamente entre la posición en la que la distancia entre el punto del lado de succión y el punto del lado de presión es más pequeña y la posición en la que la distancia entre el punto del lado de succión y el punto del lado de presión es la mayor. Preferentemente, el dispositivo de desplazamiento es capaz de detenerse en cualquier posición entre las dos posiciones extremas de modo que la cuerda o empuje de la sección particular puede variarse con precisión.

20 El dispositivo de desplazamiento proporciona la posibilidad de adaptar activamente las propiedades aerodinámicas de la turbina eólica. La adaptación de la pala de turbina eólica puede permitir el control del empuje de la pala de turbina eólica. Esto permite adicionalmente el control de las cargas sobre la pala de turbina eólica que surgen de las condiciones del flujo de entrada. Si se controla activamente, puede usarse para asegurar que la operación de la pala de turbina eólica puede controlarse en condiciones de viento crecientes en comparación con palas de turbina eólica que no tengan esta característica. Por ello, el dispositivo de desplazamiento puede usarse por ejemplo para disminuir el empuje en comparación con un empuje base en un punto de diseño de la pala. De ese modo, puede ser posible por ejemplo disminuir el empuje de una sección cerca de la punta de la pala, por lo que pueden usarse palas más largas, y/o la pala puede usarse con velocidades de viento más altas.

30 El dispositivo de desplazamiento puede variar también la cuerda o longitud de cuerda de la pala de turbina eólica. La longitud de cuerda puede variarse mediante un dispositivo físico pero en algunas realizaciones la cuerda adaptada puede considerarse virtual, por ejemplo, en una realización en la que la forma de la pala se cambia entre un perfil con un borde de salida sustancialmente puntual a una forma truncada del borde de salida, la longitud de cuerda virtual se entiende que es la distancia entre el borde de ataque y el punto en donde se unen las corrientes de aire por detrás del borde de salida.

35 De acuerdo con la invención, el dispositivo de desplazamiento está adaptado para variar la distancia entre el punto del lado de succión y el punto del lado de presión entre un primer estado, cerrado, en donde el punto del lado de succión y el punto del lado de presión están conectados, y un segundo estado, abierto, en donde el punto del lado de succión y el punto del lado de presión están separados. Por ello, la sección de la pala puede variarse entre un perfil de plano aerodinámico normal y un perfil truncado o perfil de parte posterior plana, en donde el lado de succión y lado de presión de la pala por así decir se mueven separándose. Los perfiles de parte posterior plana funcionan mejor con un perfil relativamente grueso. Por lo tanto, de acuerdo con una realización ventajosa, el perfil tiene un perfil relativamente grueso, es decir la relación entre el grosor máximo y la longitud de la cuerda del perfil es relativamente alta. Esto también tiene ventajas con respecto a la rigidez o resistencia de la pala, dado que un perfil grueso es más rígido o más fuerte que un perfil delgado.

45 En una realización, el dispositivo de desplazamiento es un dispositivo con forma de cuña que es móvil en una dirección sustancialmente paralela a la cuerda de modo que la distancia entre el punto del lado de succión y el punto del lado de presión se incrementa cuando el dispositivo con forma de cuña se mueve en una dirección de separación del borde de ataque y se disminuye cuando el dispositivo con forma de cuña se mueve en una dirección hacia el borde de ataque.

50 El dispositivo con forma de cuña puede ser por ejemplo de forma triangular, tal como un triángulo isósceles, con un punto de vértice que mira hacia afuera desde el borde de ataque. De ese modo, cuando el dispositivo se mueve separándose del borde de ataque, un lado del dispositivo formará parte del lado de presión de la pala, y otro lado del dispositivo formará parte del lado de succión de la pala. Obviamente, se contemplan también otras formas utilizables para el dispositivo de desplazamiento, tal como una forma de rombo.

En una realización, el dispositivo de desplazamiento comprende una membrana flexible que define un volumen interior que puede expandirse en volumen admitiendo un fluido al volumen interior. El fluido puede proporcionarse desde un depósito de fluido.

5 En una realización, el fluido es un gas y/o líquido. En una realización, el fluido es agua, aceite, aire presurizado o un gas inerte. Se prefiere que el fluido no plantee riesgos, es decir que no pueda encenderse y/o explotar.

10 En una realización, el dispositivo de desplazamiento comprende barras móviles, en el que las barras se conectan al lado de succión y al lado de presión, respectivamente, de modo que un cambio en la longitud de una barra se traduce en un cambio en una posición relativa entre el punto del lado de succión y/o el punto del lado de presión. Las barras pueden operarse mediante hidráulica, neumática o mecánicamente, por ejemplo a través de barras roscadas, patillas telescópicas o similares.

15 En una realización, la pala de turbina eólica comprende adicionalmente un sensor de flujo configurado para determinar las condiciones de flujo en o frente al viento de la pala de turbina eólica. El sensor de flujo puede instalarse también sobre la turbina eólica en sí, por ejemplo un LIDAR. Ventajosamente, la pala de turbina eólica puede comprender adicionalmente una unidad de control configurada para controlar la operación del dispositivo de desplazamiento en respuesta a información sobre las condiciones del viento desde el sensor de flujo y/o una fuente externa que proporcione información en relación con las condiciones del viento en la pala de la turbina eólica. Esto puede permitir a la pala ser operada óptimamente en condiciones de viento y/o flujo cambiantes. En otra realización, se usa un sensor de carga, por ejemplo para medir los momentos de flexión. Las mediciones desde un sensor de ese tipo pueden usarse también para el control de los medios de desplazamiento. De nuevo, el sensor puede adaptarse para medir otros parámetros operacionales de la pala de turbina eólica o una turbina eólica provista con dicha pala de turbina eólica, y los medios de desplazamiento controlarse dependiendo de la medición.

20

25 En una realización, la pala de turbina eólica en la dirección radial se divide en una zona de raíz con un perfil sustancialmente circular o elíptico más próximo a un extremo de raíz de la pala (o de modo equivalente al buje), una zona de plano aerodinámico con un perfil de generación de empuje más próximo a un extremo de punta de la pala (o de modo equivalente más alejado desde el buje), y preferentemente una zona de transición entre la zona de raíz y la zona de plano aerodinámico, teniendo la zona de transición un perfil que cambia gradualmente en la dirección radial desde el perfil circular o elíptico de la zona de raíz al perfil de generación de empuje de la zona de plano aerodinámico, y estando localizado el dispositivo de desplazamiento en la zona del plano aerodinámico. En otra realización, el dispositivo de desplazamiento se localiza también en la zona de transición.

30 Obviamente, el dispositivo de desplazamiento puede comprender una pluralidad de dispositivos de desplazamiento individuales. De ese modo, es posible cambiar la longitud de cuerda y/o el empuje de partes longitudinales individuales de la pala. Por ello, es posible por ejemplo disminuir el empuje de una parte de fuera o exterior de la pala para minimizar la carga y ser capaz de usar la pala de turbina eólica con velocidades de viento más altas. Si la velocidad del viento se incrementa incluso adicionalmente, puede reducirse el empuje de más y más secciones exteriores, por ejemplo secuencialmente desde un dispositivo de desplazamiento próximo a la punta hacia un dispositivo de desplazamiento más próximo a la raíz.

35

De acuerdo con una realización ventajosa, el dispositivo de desplazamiento se adopta para variar el empuje de la sección transversal en al menos el 20 %, ventajosamente al menos el 30 %, y más ventajosamente al menos el 40 %.

40 Ventajosamente, la pala comprende una pluralidad de dispositivos de desplazamiento localizados en secciones longitudinales separadas de la pala, siendo controlables por separado los dispositivos de desplazamiento.

45 De acuerdo con un segundo aspecto, la invención proporciona una turbina eólica que comprende: una torre que tiene un primer extremo y un segundo extremo opuesto, conectando el segundo extremo la torre a tierra o a una cimentación, una góndola dispuesta en el primer extremo de la torre y que tiene un árbol de rotor sustancialmente horizontal, un buje conectado al árbol de rotor, y un número, preferentemente dos o tres, de palas de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las realizaciones anteriormente mencionadas que se extienden en una dirección sustancialmente radial desde el buje.

50 En una realización, la turbina eólica o la pala de turbina eólica comprende adicionalmente un sensor para la medición de las condiciones operacionales, y un dispositivo de control para el control del dispositivo de desplazamiento en respuesta a las mediciones desde el sensor. El sensor puede ser por ejemplo un sensor de flujo configurado para determinar las condiciones del flujo de entrada en la turbina eólica y/o la pala de turbina eólica, un dispositivo de control configurado para recibir información desde el sensor de flujo y/o un dispositivo externo que proporciona información de la condición del flujo, operando el dispositivo de control los dispositivos de desplazamiento en respuesta a la información de la condición del flujo. Esto puede permitir que la pala sea operada de modo óptimo en condiciones de viento y/o flujo cambiantes. Sin embargo, el sensor puede ser también un sensor

55

de carga configurado para determinar las condiciones de carga en la pala de turbina eólica, un sensor de giro configurado para determinar la relación de velocidad de punta de la pala de turbina eólica, un acelerómetro configurado para determinar la aceleración de la pala de turbina eólica, un sensor configurado para determinar la fuerza centrífuga en la pala de turbina eólica, o similares.

- 5 De acuerdo con un tercer aspecto, la invención proporciona un método para el control de una turbina eólica que comprende una pala de turbina eólica de acuerdo con la clase anteriormente mencionada, en el que el método comprende la etapa de: a) controlar el dispositivo de desplazamiento de modo que varíe la distancia entre el punto del lado de succión y el punto del lado de presión de modo que varíe el empuje de una sección longitudinal de la pala que comprende el dispositivo de desplazamiento. Ventajosamente el método comprende la etapa de: b)
- 10 determinar la condición operacional de la turbina eólica, tal como las propiedades del flujo de entrada o condiciones de carga y llevar a cabo la etapa a) dependiendo de la condición operacional.

Se describirá con más detalle la presente invención, con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- la Fig. 1 es una ilustración esquemática de una turbina eólica,
- 15 la Fig. 2 es una ilustración esquemática de una pala de turbina eólica de acuerdo con la invención,
- la Fig. 3 es una ilustración esquemática de una sección transversal de una pala de turbina eólica,
- 20 la Fig. 4 es una ilustración esquemática de una sección transversal de una realización de una pala de turbina eólica con un dispositivo de desplazamiento en un primer estado,
- la Fig. 5 es una ilustración esquemática de una sección transversal de una realización de una pala de turbina eólica con un dispositivo de desplazamiento en un segundo estado,
- 25 la Fig. 6 es una ilustración esquemática de una sección transversal de una realización de una pala de turbina eólica,
- la Fig. 7 es una ilustración esquemática de una sección transversal de una realización de una pala de turbina eólica con una segunda realización de un dispositivo de desplazamiento,
- 30 la Fig. 8 es una ilustración esquemática de una sección transversal de una realización de una pala de turbina eólica con una segunda realización de un dispositivo de desplazamiento,
- la Fig. 9 es una ilustración esquemática de una sección transversal de una realización de una pala de turbina eólica con una segunda realización de un dispositivo de desplazamiento,
- 35 la Fig. 10 es una ilustración esquemática de una sección transversal de una realización de una pala de turbina eólica con una segunda realización de un dispositivo de desplazamiento en un segundo estado,
- 40 la Fig. 11 es una ilustración esquemática de una sección transversal de una realización de una pala de turbina eólica con una segunda realización de un dispositivo de desplazamiento, y
- la Fig. 12 es una ilustración esquemática de una sección transversal de una pala de turbina eólica con una tercera realización de un dispositivo de desplazamiento.
- 45 La Fig. 1 es una ilustración esquemática de una turbina eólica contra el viento moderna convencional de acuerdo con el denominado "concepto danés" con una torre 4, una góndola 6 y un rotor con un árbol de rotor sustancialmente horizontal. El rotor incluye un buje 8 y tres palas 10 de turbina eólica que se extienden radialmente desde el buje 8, teniendo cada una, una raíz 16 de pala más próxima al buje y una punta 14 de pala más alejada del buje 8.
- La Fig. 3 muestra una vista esquemática de un perfil de plano aerodinámico 50 de una pala típica de una turbina eólica representada con los diversos parámetros que se usan típicamente para definir la forma geométrica de un plano aerodinámico. El perfil del plano aerodinámico 50 tiene un lado de presión 52 y un lado de succión 54, que, durante el uso, es decir durante el giro del rotor, se enfrentan normalmente al lado hacia el viento y al lado de sotavento, respectivamente. El plano aerodinámico 50 tiene una cuerda 60 con una longitud de cuerda c que se extiende entre un borde de ataque 56 y un borde de salida 58 de la pala de turbina eólica. El plano aerodinámico 50
- 50 tiene un grosor t , que se define como la distancia entre el lado de presión 52 y el lado de succión 54. El grosor t del plano aerodinámico varía a lo largo de la cuerda 60. La desviación respecto a un perfil simétrico viene dada por una línea de curvatura 62, que es una línea mediana a través del perfil del plano aerodinámico 50. La línea mediana puede hallarse mediante el dibujo de los círculos inscritos desde el borde de ataque 56 al borde de salida 58. La línea mediana sigue el centro de estos círculos inscritos, y la desviación o distancia desde la cuerda 60 se denomina la curvatura f . La simetría puede definirse también por el uso de parámetros denominados curvatura superior y
- 60

curvatura inferior, que se definen como las distancias desde la cuerda 60 y el lado de succión 54 y el lado de presión 52, respectivamente.

La Fig. 2 ilustra una vista esquemática de una primera realización de una pala 10 de turbina eólica de acuerdo con la invención. La pala 10 de turbina eólica tiene la forma de una pala de turbina eólica convencional y comprende una zona de raíz 30 más próxima al buje, una zona perfilada o de plano aerodinámico 34 más alejada del buje y una zona de transición 32 entre la zona de raíz 30 y zona de plano aerodinámico 34. La pala 10 de turbina eólica comprende un borde de ataque 18 que mira hacia la dirección de giro de la pala 10 de turbina eólica, cuando la pala de turbina eólica se monta sobre el buje, y un borde de salida 20 que mira hacia la dirección opuesta al borde de ataque 18.

La zona del plano aerodinámico 34 (también denominada la zona perfilada) tiene una forma de contorno perfilado ideal o casi ideal con respecto a la generación de empuje, mientras que la zona de raíz 30 tiene una sección transversal sustancialmente circular o elíptica debido a consideraciones estructurales, que, por ejemplo, hacen fácil y seguro montar la pala 10 de turbina eólica en el buje. Típicamente, el diámetro (o la cuerda) de la zona de raíz 30 es constante a lo largo de toda el área de raíz 30. La zona de transición 32 tiene un perfil de transición 42 que cambia gradualmente desde la forma circular o elíptica 40 de la región de raíz 30 al perfil de plano aerodinámico 50 de la zona de plano aerodinámico 34. Típicamente, el ancho de la zona de transición 32 se incrementa sustancialmente de modo lineal con el incremento de la distancia r desde el buje.

La zona de plano aerodinámico 34 tiene un perfil de plano aerodinámico 50 con una cuerda que se extiende entre el borde de ataque 18 y el borde de salida 20 de la pala 10 de turbina eólica. El ancho de la cuerda disminuye con el incremento de la distancia r desde el buje.

Normalmente, la cuerda de diferentes secciones de la pala de turbina eólica no reposa en un plano común dado que la pala de la turbina eólica puede estar retorcida y/o curvada (es decir, previamente doblada) proporcionando así el plano de cuerda con una carrera correspondientemente retorcida y/o curvada. Más frecuentemente, este es el caso para compensar la velocidad local de la pala de la turbina eólica que depende del radio desde el buje.

La pala 10 de turbina eólica de acuerdo con la invención está provista con un número de dispositivos de desplazamiento 35-38 para la variación de una distancia entre el lado de succión y el lado de presión del borde de salida 20 de la pala 10. Los dispositivos de desplazamiento 35-38 se disponen en secciones longitudinales separadas de la pala y son preferentemente controlables de modo individual, por ejemplo basándose en condiciones operacionales de la turbina eólica o de la pala 10 de turbina eólica. Dichas condiciones operacionales pueden ser mediciones de carga de la pala y/o de la velocidad del viento y pueden detectarse por un sensor dedicado. Los dispositivos de desplazamiento 35-38 pueden adaptarse por ejemplo para disminuir el empuje de la sección longitudinal correspondiente en comparación con una condición base de la sección de la pala 10 de turbina eólica. Si las velocidades del viento o la carga exceden un primer valor de umbral dado, el dispositivo de desplazamiento 35 más exterior puede activarse para disminuir el empuje de una sección más exterior, y si las velocidades del viento o la carga exceden un segundo valor de umbral, el segundo dispositivo de desplazamiento 36 más exterior puede activarse también para disminuir el empuje de la segunda sección más exterior, y así sucesivamente hasta que todos los dispositivos de desplazamiento 35-38 estén activados para disminuir el empuje. De ese modo, es posible disminuir el empuje y carga de la parte más exterior de la pala, lo que a su vez significa que la pala puede usarse con un intervalo más amplio de velocidades de viento y que las palas pueden ser más largas que las palas convencionales. De ese modo, puede incrementarse la producción de energía anual de una turbina eólica que use dichas palas en comparación con turbinas eólicas que usen palas convencionales.

Las Figs. 4-12 ilustran secciones transversales de realizaciones de palas de turbina eólica de acuerdo con la invención provistas con dispositivos de desplazamiento.

La Fig. 4 es una ilustración esquemática de una sección transversal 64 de un perfil de plano aerodinámico o pala de turbina eólica con una geometría variable. Puede variarse la forma de un borde de salida 66 del perfil de plano aerodinámico 64. La pala de turbina eólica ilustrada se configura para un rotor de una turbina eólica que tenga un árbol de rotor sustancialmente horizontal. La pala de turbina eólica comprende un contorno perfilado que comprende un lado de presión 70 y un lado de succión 68 así como un borde de ataque, no ilustrado aquí, y un borde de salida 66, una cuerda que se extiende entre el borde de ataque y el borde de salida 66, generando el contorno perfilado un empuje cuando es impactado por un flujo de aire incidente. En la sección transversal de la pala de turbina eólica perpendicular a la dirección longitudinal de la pala de turbina eólica, se define un punto 80 del lado de succión sobre el lado de succión 68, y se define un punto 82 del lado de presión sobre el lado de presión 70, estando localizados ambos puntos en el borde de salida 66 del perfil de pala 64. En el estado mostrado, el punto 80 del lado de succión y el punto 82 del lado de presión se unen en un punto de intercepción.

Tanto el lado de succión 68 como el lado de presión 70 de la pala de turbina eólica son flexibles en esta realización, por lo que puede variarse una distancia entre el punto 80 del lado de succión y el punto del lado de presión. Se dispone un cuerpo con forma de cuña 72 en el interior de la pala de turbina eólica. El cuerpo con forma de cuña 72

es móvil en una dirección de separación del borde de ataque del perfil del plano aerodinámico 64 en la dirección de la flecha 74 a lo largo de la cuerda el perfil. El cuerpo con forma de cuña 72 puede retraerse también a la posición de inicio ilustrada en la Fig. 4. El cuerpo con forma de cuña 72 se ilustra en una primera posición, en donde el lado de presión 70 y el lado de succión 68 están en contacto. Se usa un actuador 76 para mover el cuerpo con forma de cuña 72 a lo largo de la cuerda del perfil de pala. Cuando se desea una cuerda más larga, el cuerpo con forma de cuña 72 se mueve fuera del perfil del plano aerodinámico 64, tal como se ilustra en la Fig. 5. El cuerpo con forma de cuña 72 es móvil entre la primera posición y una segunda posición, tal como se ilustra en la Fig. 5. Adicionalmente el cuerpo con forma de cuña 72 puede asumir una posición entre las dos posiciones de modo que establezca cualquier longitud de cuerda o curvatura deseadas.

La Fig. 5 ilustra la realización de la Fig. 4, en donde el cuerpo con forma de cuña 72 se extiende ahora desde la abertura definida por el punto 80 del lado de succión en el lado de succión 68 del perfil del plano aerodinámico 64 y el punto 82 del lado de presión en el lado de presión 70 del perfil del plano aerodinámico 64. En la Fig. 5, el cuerpo con forma de cuña 72 está en una segunda posición, en la que el lado de presión 70 y el lado de succión 68 ya no están en contacto y el punto 80 del lado de succión y el punto 82 del lado de presión se desplazan relativamente entre sí. De ese modo, se define una distancia entre el punto 80 del lado de succión y el punto 82 del lado de presión.

Cuando el cuerpo con forma de cuña 72 se mueve desde la primera posición a la segunda posición, el perfil del plano aerodinámico se transforma de modo que la cuerda global del perfil en la Fig. 5 es mayor que la cuerda global del perfil en la Fig. 4. En el segundo estado, una parte del cuerpo con forma de cuña 72 forma parte del lado de presión del perfil de pala, mientras que otra parte del cuerpo con forma de cuña 72 forma parte del lado de succión del perfil de pala.

Cuando se controla activamente, se concibe que la pala de turbina eólica se comporte mejor que un perfil de plano aerodinámico sin adaptación del perfil de pala. La cuerda aumentada se contempla que incrementa el empuje del perfil del plano aerodinámico. Cuando cae la velocidad del viento, o el ángulo de ataque es bajo, la cuerda incrementada mantendrá un empuje constante, mientras que cuando aumenta la velocidad del viento, o el ángulo de ataque se hace alto, la cuerda reducida mantendrá un empuje constante. En esta forma, pueden reducirse las vibraciones, disminuyendo de ese modo los daños por fatiga. Al reducir la cuerda también se reducen las cargas extremas.

La Fig. 6 ilustra esquemáticamente una realización, en la que un cuerpo con forma de cuña 84 hace tope en dos piezas móviles 86 y 88 fijadas al lado de succión 90 y al lado de presión 92, respectivamente. Las piezas 86 y 88 se articulan al lado de presión 92 y al lado de succión 90, respectivamente. En otras realizaciones, las piezas 86 y 88 pueden conectarse al lado de succión 90 y al lado de presión 92, respectivamente, en otras formas ventajosas.

La Fig. 7 es una ilustración esquemática de una realización, en donde un perfil de plano aerodinámico 98 comprende un dispositivo 100 de desplazamiento en la forma de un dispositivo expandible. La Fig. 7 ilustra el dispositivo 100 en un estado expandido. Las dos piezas 102 y 104 se conectan articuladamente al lado de succión 106 y al lado de presión 108, respectivamente. El dispositivo 100 de desplazamiento puede expandirse y/o contraerse para adaptar el perfil del plano aerodinámico 98. Preferentemente, el tamaño del dispositivo 100 puede cambiar gradualmente. El dispositivo de 100 se conecta a través de un conducto 110 a una fuente de presión, no ilustrada.

La Fig. 8 ilustra esquemáticamente una realización, en donde un perfil del plano aerodinámico 98 comprende un dispositivo 100 de desplazamiento en la forma de un dispositivo expandible, similar al de la Fig. 7. En esta realización, se proporciona una membrana 112 flexible en el borde de salida del perfil del plano aerodinámico 98. Es posible también omitir la lámina flexible de modo que se forme un borde de salida truncado abierto.

La Fig. 9 ilustra esquemáticamente un estado, en donde el dispositivo 100 se colapsa, y las piezas 102 y 104 están en contacto.

La Fig. 10 es una ilustración esquemática de un perfil de plano aerodinámico 98 y un dispositivo 100 de desplazamiento que es un dispositivo expandible. El dispositivo 100 de desplazamiento está en contacto directo con el lado de presión 108 y el lado de succión 106. Una pieza grande del lado de presión 108 y del lado de succión 106 se mueven o desplazan por el dispositivo 100 de desplazamiento. Se proporciona una membrana 112 flexible en el borde de salida del perfil de pala. La membrana 112 flexible sella el interior del perfil del plano aerodinámico, lo que se contempla para reducir la turbulencia y reducir la recogida de agua y/o suciedad en la pala. Es posible también omitir la membrana flexible de modo que se forme un borde de salida truncado abierto. El dispositivo 100 de desplazamiento se ilustra en un estado expandido en donde se establece un perfil truncado o perfil de parte posterior plana que tiene una longitud de cuerda virtual. Las líneas de puntos 111A y 111B ilustran el aire que fluye en el lado de presión y lado de succión, respectivamente. Los dos flujos de aire se unen en un punto a una distancia del borde de salida de la pala de turbina eólica.

La Fig. 11 es una ilustración esquemática de un perfil de plano aerodinámico 98 de la Fig. 10 en un segundo estado, en donde el dispositivo 10 de desplazamiento no desplaza ninguna pieza del lado de presión 108 y del lado de succión 106, respectivamente. Los dos flujos de aire 111A y 111B se unen en un punto muy próximo al borde de salida de la pala de turbina eólica.

- 5 La Fig. 12 es una ilustración esquemática de un perfil de plano aerodinámico 98 con un dispositivo 100 de desplazamiento que comprende dos barras 114 y 116. Las barras 114 y 116 pueden expandirse o retraerse. El cambio de longitud de las barras 114 y 116 manipula la posición de las piezas 102 y 104, respectivamente. Las barras pueden operarse por ejemplo neumática o hidráulicamente. Las barras también pueden disponerse sustancialmente de forma perpendicular a la cuerda de modo que las barras pueden empujar para separarse, alternativamente tirar una hacia otra, sobre el lado de presión y el lado de succión. En una realización ventajosa, se omiten las piezas articuladas 102, 104 de modo que las barras se instalan entre un lado de presión y en un lado de succión, flexibles, similares a las realizaciones mostradas en las Figs. 4 y 10.
- 10

REIVINDICACIONES

1. Una pala (10) de turbina eólica para un rotor de una turbina eólica (2) que tiene un árbol de rotor sustancialmente horizontal, comprendiendo la pala:

5 un contorno perfilado que comprende un lado de presión (70; 92; 108) y un lado de succión (68; 90; 106) así como un borde de ataque y un borde de salida, extendiéndose una cuerda entre el borde de ataque (18) y el borde de salida (20; 66), generando el contorno perfilado un empuje cuando es impactado por un flujo de aire incidente,

10 siendo definido en una sección transversal de la pala de turbina eólica perpendicular a una dirección longitudinal de la pala de turbina eólica, un punto (80) de un lado de succión sobre el lado de succión (68; 90; 106) en el borde de salida (20; 66) de la pala (10), y siendo definido un punto (82) del lado de presión sobre el lado de presión (70; 92; 108) en el borde de salida (20; 66) de la pala (10), en el que el punto (80) del lado de succión es móvil con relación al punto (82) del lado de presión, y por que la pala (10) se proporciona adicionalmente con un dispositivo de desplazamiento (72; 84; 100; 114; 116) configurado para desplazar el punto (82) del lado de presión y el punto (80) del lado de succión de modo que pueda variarse una distancia entre el punto (80) del lado de succión y el punto (82) del lado de presión, entre un primer estado, cerrado, en donde el punto (80) del lado de succión y el punto (82) del lado de presión están conectados y un segundo estado, abierto, en donde el punto (80) del lado de succión y el punto (82) del lado de presión están separados mediante el dispositivo (72; 84; 100; 114; 116) de desplazamiento, y en el que una longitud de cuerda de la sección transversal en el segundo estado es mayor que en el primer estado.

20 2. La pala (10) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el dispositivo de desplazamiento comprende un dispositivo (72; 84) con forma de cuña que es móvil a lo largo de la cuerda de modo que la distancia entre el punto (80) del lado de succión y el punto (82) del lado de presión se incrementa cuando el dispositivo (72; 84) con forma de cuña se mueve en una dirección de separación del borde de ataque (18) y disminuye cuando el dispositivo (72; 84) con forma de cuña se mueve en una dirección hacia el borde de ataque (18).

25 3. Una pala (10) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el dispositivo de desplazamiento comprende una membrana (100) flexible que define un volumen interior que puede expandirse en volumen admitiendo un fluido en el volumen interior.

4. Una pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 3, en la que el fluido es un gas, tal como un gas inerte, y/o líquido, tal como agua o aceite.

30 5. Una pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en la que el dispositivo de desplazamiento comprende barras (114, 116) móviles, en el que las barras (114, 116) se conectan al lado de succión y al lado de presión, respectivamente, de modo que un cambio en la longitud de una barra se traduce en un cambio en una posición relativa entre el punto (80) del lado de succión y/o el punto (82) del lado de presión.

35 6. Una pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-5, que comprende adicionalmente un sensor de flujo configurado para determinar las condiciones de flujo de entrada en la pala de turbina eólica o en una dirección contra el viento de la pala de turbina eólica.

7. Una pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende adicionalmente una unidad de control configurada para controlar la operación del dispositivo de desplazamiento en respuesta a información sobre las condiciones del flujo de entrada desde el sensor de flujo y/o una fuente externa que proporcione información en relación a las condiciones del viento y/o del flujo en la pala de la turbina eólica.

40 8. Una pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en la que la pala de turbina eólica se divide en la dirección radial en una zona de raíz (30) con un perfil (40) sustancialmente circular o elíptico más próximo a un extremo de raíz de la pala (10), una zona de plano aerodinámico (34) con un perfil (50) de generación de empuje más próximo a un extremo de punta de la pala (10), y preferentemente una zona de transición (32) entre la zona de raíz y la zona de plano aerodinámico, teniendo la zona de transición un perfil (42) que cambia gradualmente en la dirección radial desde el perfil (40) circular o elíptico de la zona de raíz (30) al perfil (50) de generación de empuje de la zona de plano aerodinámico (34), y estando localizado el dispositivo de desplazamiento (72; 84; 100; 114; 116) en la zona del plano aerodinámico (34).

45 9. Una pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que el dispositivo de desplazamiento se adopta para variar el empuje de la sección transversal en al menos el 20 %, ventajosamente al menos el 30 %, y más ventajosamente al menos el 40 %.

10. Una pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la pala comprende una pluralidad de dispositivos de desplazamiento (35-38) localizados en secciones longitudinales

separadas de la pala, siendo controlables por separado los dispositivos de desplazamiento (35-38).

11. Una turbina eólica (2) que comprende:

- una torre (4) que tiene un primer extremo y un segundo extremo opuesto, conectando el segundo extremo la torre a tierra o a una cimentación,
- una góndola (6) dispuesta en el primer extremo de la torre (4) y que tiene un árbol de rotor sustancialmente horizontal, un buje (8) conectado al árbol de rotor, y
- un número, preferentemente dos o tres, de palas (10) de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que se extienden en una dirección sustancialmente radial desde el buje (8).

12. Una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 11, en la que la turbina eólica o la pala de turbina eólica comprende un sensor para la medición de las condiciones operacionales, y un dispositivo de control para el control del dispositivo de desplazamiento en respuesta a las mediciones desde el sensor.

13. Un método de control de una turbina eólica que comprende una pala de turbina eólica, en el que la pala comprende:

un contorno perfilado que comprende un lado de presión y un lado de succión así como un borde de ataque y un borde de salida, extendiéndose una cuerda entre el borde de ataque y el borde de salida, generando el contorno perfilado un empuje cuando es impactado por un flujo de aire incidente, siendo definido, en una sección transversal de la pala de turbina eólica perpendicular a una dirección longitudinal de la pala de turbina eólica, un punto de un lado de succión sobre el lado de succión en el borde de salida de la pala, y siendo definido un punto del lado de presión sobre el lado de presión en el borde de salida de la pala, **caracterizado por que** el punto del lado de succión es móvil con relación al punto del lado de presión, y por que la pala se proporciona adicionalmente con un dispositivo de desplazamiento configurado para desplazar el punto del lado de presión y el punto del lado de succión de modo que pueda variarse una distancia entre el punto del lado de succión y el punto del lado de presión, en el que el método comprende la etapa de:

a) controlar el dispositivo de desplazamiento de modo que varíe la distancia entre el punto del lado de succión y el punto del lado de presión de modo que varíe el empuje de una sección longitudinal de la pala que comprende el dispositivo de desplazamiento entre un primer estado, cerrado, en donde el punto del lado de succión y el punto del lado de presión están conectados, y un segundo estado, abierto, en donde el punto del lado de succión y el punto del lado de presión están separados por el dispositivo de desplazamiento, de modo que una longitud de cuerda de la sección transversal en el segundo estado es mayor que en el primer estado.

14. Un método de acuerdo con la reivindicación 13, en el que el método comprende adicionalmente la etapa de:

b) determinar la condición operacional de la turbina eólica, tal como las propiedades del flujo de entrada o condiciones de carga y llevar a cabo la etapa a) dependiendo de la condición operacional.

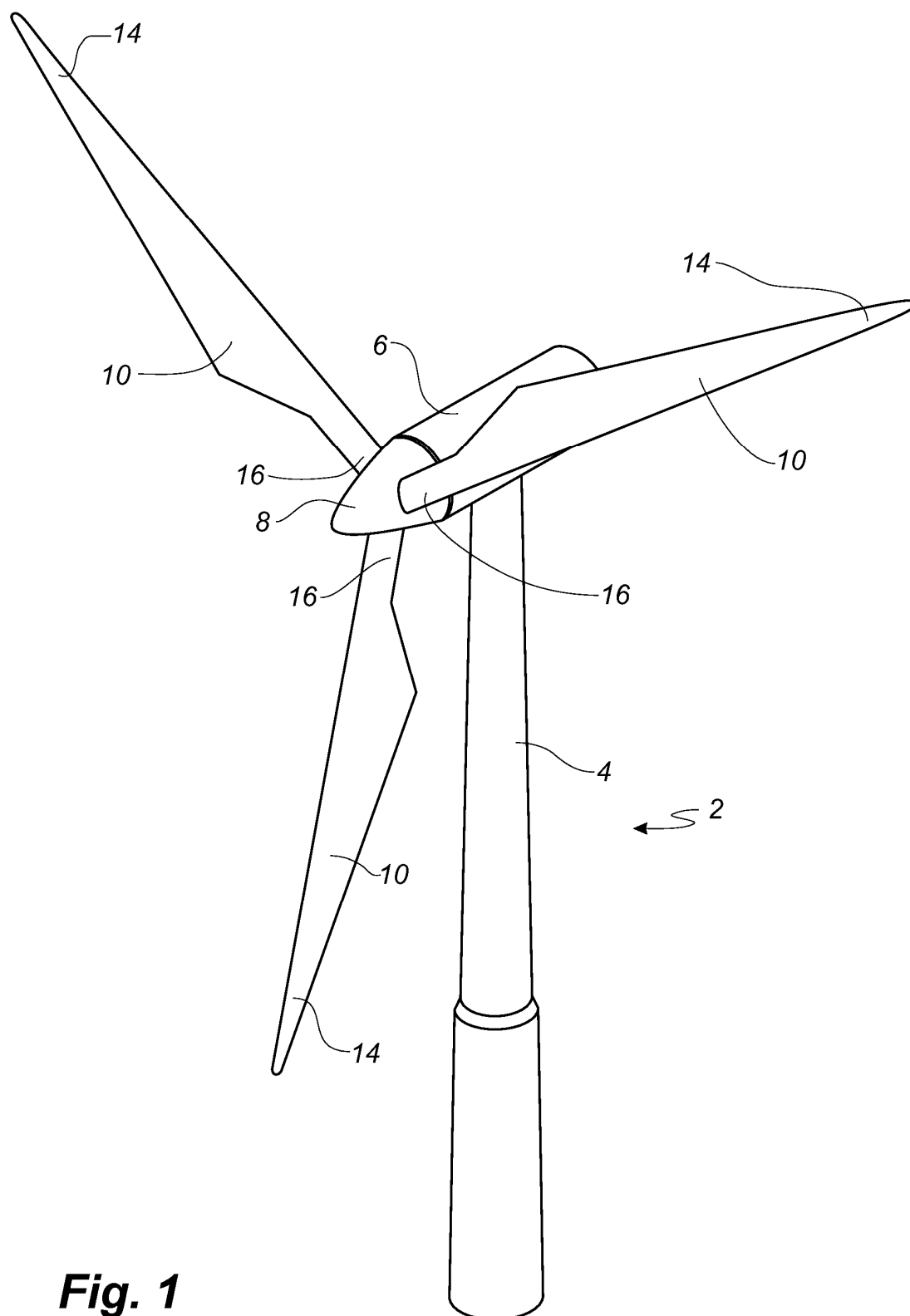


Fig. 1

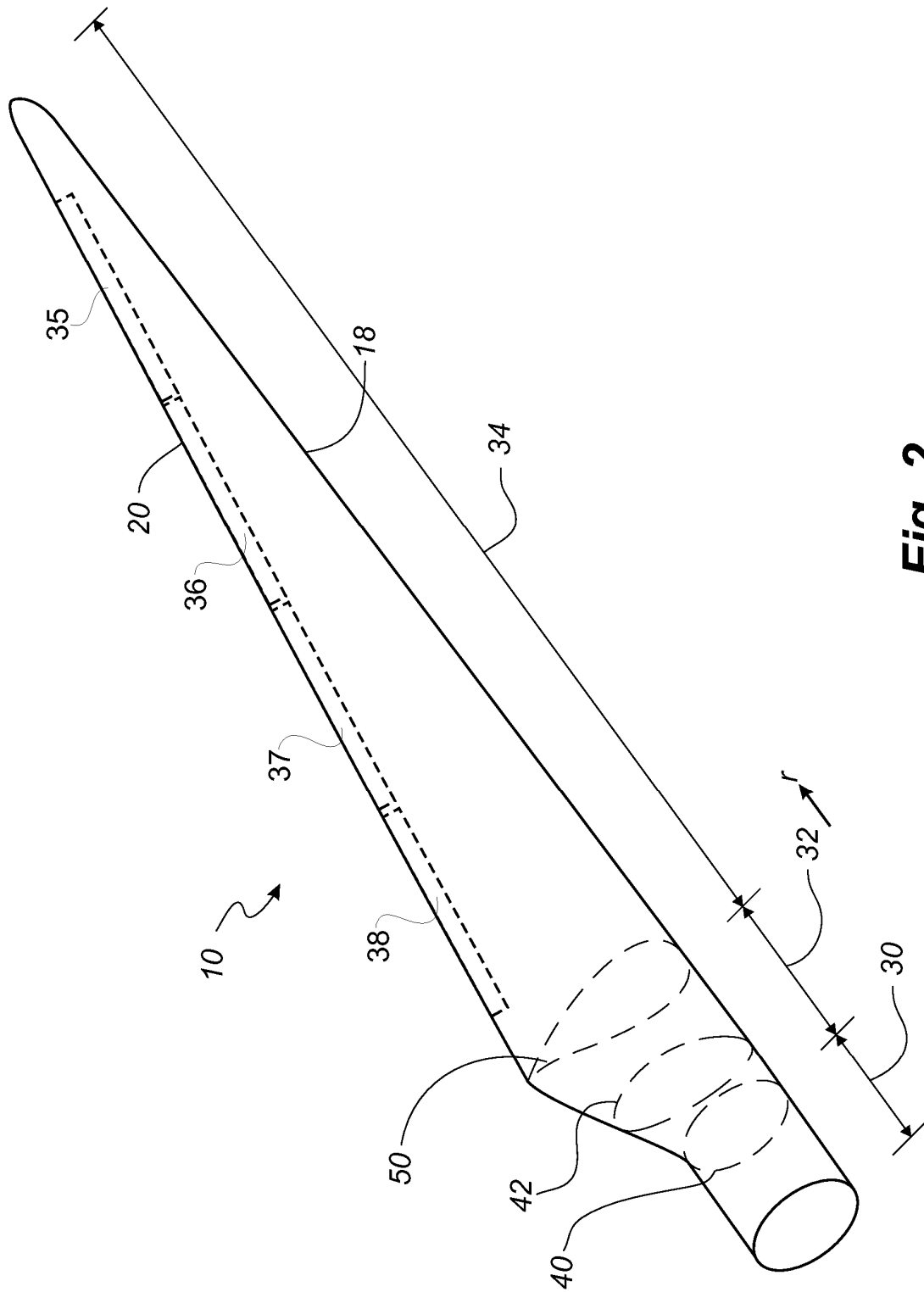


Fig. 2

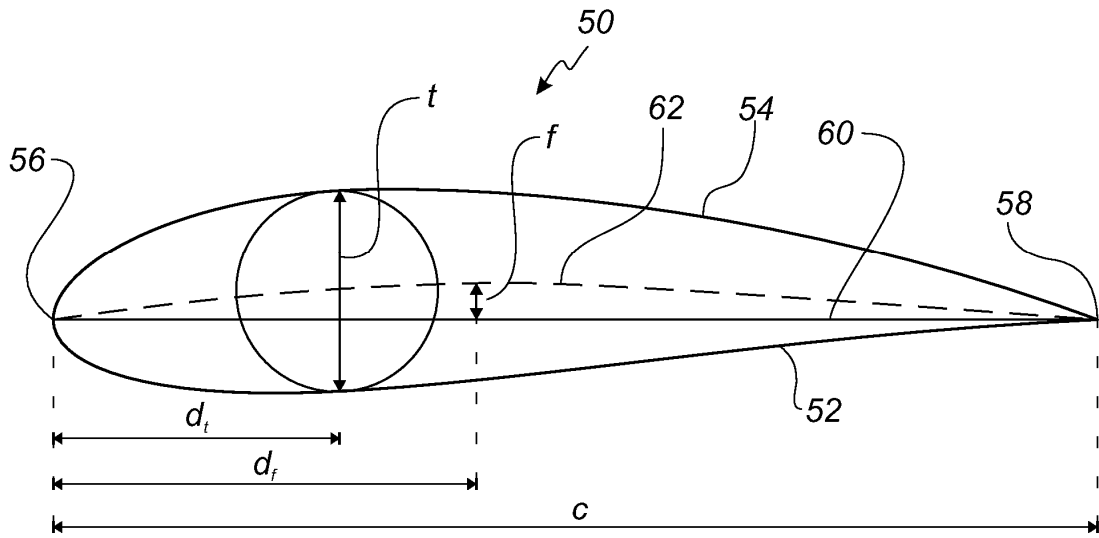


Fig. 3

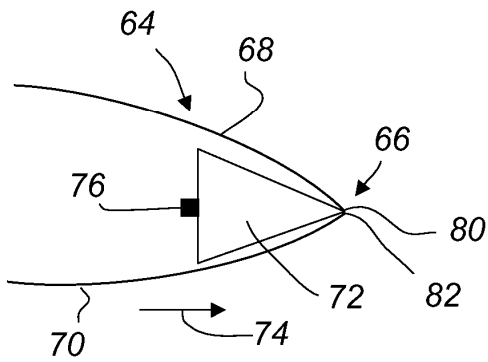


Fig. 4

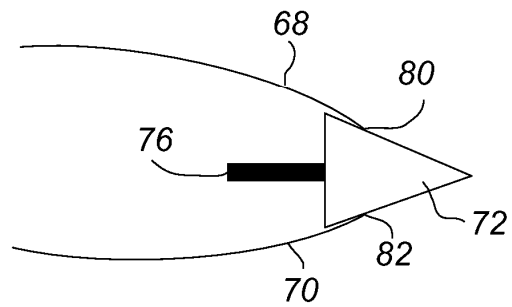


Fig. 5

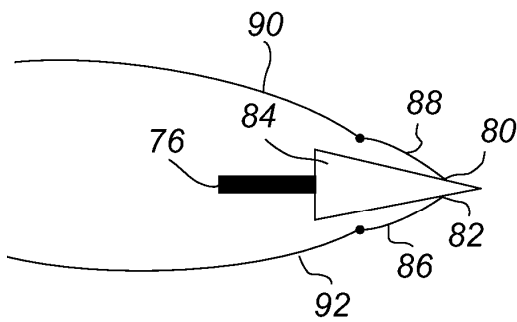


Fig. 6

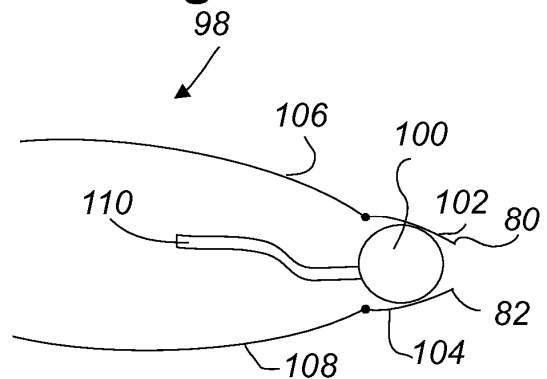


Fig. 7

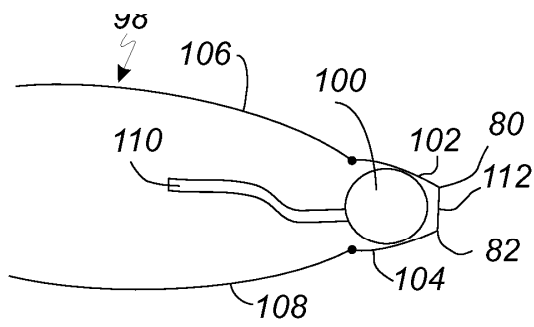


Fig. 8

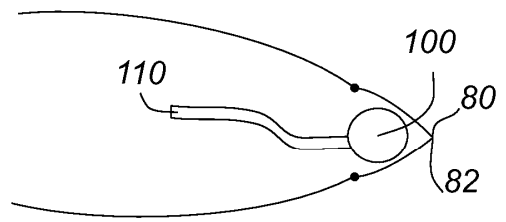


Fig. 9

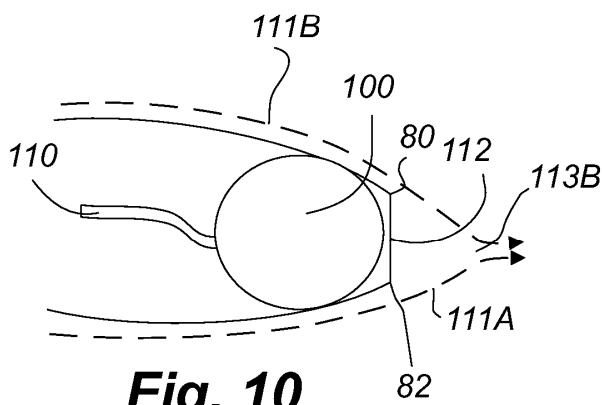


Fig. 10

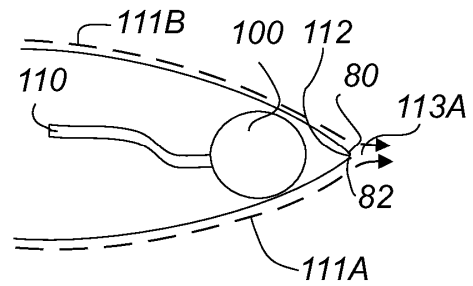


Fig. 11

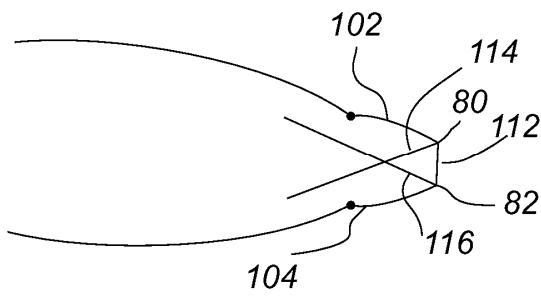


Fig. 12