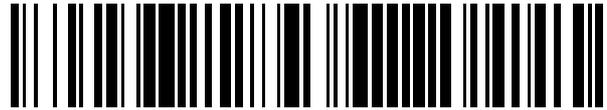


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 794 787**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.09.2016 E 16187323 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2020 EP 3147499**

54 Título: **Pala de rotor con un perfil optimizado en cuanto a ruido y método de fabricación de una pala del rotor**

30 Prioridad:

25.09.2015 DE 102015012427

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

19.11.2020

73 Titular/es:

**SENVION DEUTSCHLAND GMBH (100.0%)
Überseering 10
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

ERBSLÖH, SASCHA

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 794 787 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 rotor con un perfil optimizado en cuanto a ruido y método de fabricación de una pala del rotor

5 La invención se refiere a una pala del rotor de una planta de energía eólica, en donde la pala del rotor tiene un lado de succión, un lado de presión, una nariz de la pala del rotor y un borde trasero de la pala del rotor, que se extiende entre la raíz de la pala del rotor y la punta de la pala del rotor y define un perfil de la pala del rotor. Además, la invención se refiere a una planta de energía eólica con una pala del rotor y a un método para fabricar una pala del rotor de una planta de energía eólica, en donde la pala del rotor tiene un lado de succión, un lado de presión, una nariz de la pala del rotor y un

10 borde trasero de la pala del rotor, que se extiende entre la raíz de la pala del rotor y la punta de la pala del rotor y define un perfil de la pala del rotor.

Las palas del rotor de una planta de energía eólica siempre comprenden un lado de succión y un lado de presión, que se extienden hacia el exterior de una cubierta del lado de succión y una cubierta del lado de presión. En el área de la nariz de una pala de rotor, así como el borde trasero de una pala de rotor, la cubierta del lado de succión y la cubierta del lado de presión están unidas, por ejemplo, pegadas. El resultado es una pala de rotor que se extiende desde una raíz de la pala del rotor, en donde se conecta al cubo de una planta de energía eólica, hasta la punta de la pala del rotor. Las formas del lado de succión, del lado de presión, así como de la nariz de la pala del rotor y del borde trasero de la pala del rotor definen el perfil de la pala del rotor.

15

20 El rendimiento de una planta de energía eólica está determinado esencialmente por el perfil de sus palas del rotor. Por esta razón, el perfil de las palas del rotor se optimiza para lograr un rendimiento óptimo. Sin embargo, es inevitable que se produzcan ruidos de flujo en las palas del rotor durante el funcionamiento de una planta de energía eólica. Por lo tanto, por razones de protección contra el ruido, deben mantenerse distancias mínimas, por ejemplo, de las zonas residenciales u otras zonas protegidas. Esto restringe los posibles lugares en los que se puede instalar la planta de energía eólica en cuestión.

25

Una medida para reducir la emisión de ruido de una pala de rotor consiste en proveerla de estrías del borde trasero, las llamadas "dientes". Los dientes se proporcionan en una sección exterior de la pala del rotor en su borde trasero. La patente de los Estados Unidos núm. US 2011/0142666 A1 describe una pala del rotor de este tipo.

30

Las patentes núm. EP 2682602, EP 2816227 y US2014 / 112780 también son ejemplos de palas del rotor con reducción de la emisión de ruido.

35 El objetivo de la invención es proporcionar una pala del rotor de una planta de energía eólica, una planta de energía eólica, así como un método para fabricar una pala de rotor de una planta de energía eólica, en donde la pala del rotor tenga una menor emisión de ruido.

40 El objetivo se cumple con una pala del rotor de una planta de energía eólica, en donde la pala del rotor tiene un lado de succión, un lado de presión, una nariz de la pala del rotor y un borde trasero de la pala del rotor, que se extienden entre una raíz de la pala del rotor y una punta de la pala del rotor y definen un perfil de la pala del rotor, en donde la pala del rotor está mejorada por el hecho de que tiene un perfil optimizado en cuanto a ruido, que parte de un supuesto perfil optimizado en cuanto a rendimiento, que se optimiza aerodinámicamente con respecto a un rendimiento de la pala del rotor para reducir la emisión de ruido de la pala del rotor en un área del extremo de la pala del rotor, que comprende la punta de la pala del rotor, se modifica mediante al menos una de las siguientes medidas:

45

- a) Aumentar el radio del perfil en la nariz de la pala del rotor,
 - b) Desplazar una posición, en la que hay un grosor máximo de perfil, en dirección a la nariz de la pala del rotor,
 - c) Reducir una curvatura máxima del perfil,
 - d) Desplazar una posición, en la que hay una curvatura máxima del perfil de la pala del rotor, hacia el borde trasero de la
- 50 pala del rotor.

Ventajosamente, las medidas mencionadas anteriormente para cambiar el perfil aerodinámico de la pala del rotor en el área del extremo de la pala del rotor reducen el nivel de potencia acústica de la planta de energía eólica. En este tipo de planta de energía eólica, se pueden garantizar niveles máximos de potencia acústica del rotor más bajos, sin que sea necesario disminuir la velocidad de la punta de la pala del rotor para reducir el nivel de potencia acústica. Esta última medida siempre se asocia con una pérdida de rendimiento y se aplica en los llamados modos de funcionamiento con reducción de ruido. En el caso de una planta de energía eólica equipada con palas de rotor de acuerdo con los aspectos de la invención, se pueden garantizar niveles máximos de potencia acústica del rotor más bajos, de manera que también se puede utilizar en lugares donde las turbinas convencionales no se pueden instalar debido a sus excesivas emisiones de ruido o, al menos temporalmente, tienen que funcionar en modos de ruido reducido. Debido a que ventajosamente se prescinde de los modos de funcionamiento con reducción de ruido, el rendimiento de la planta de energía eólica también aumenta.

55

60

El perfil optimizado en cuanto a rendimiento de la pala del rotor se determina, por ejemplo, mediante simulación numérica o mediante ensayos prácticos, por ejemplo, en un túnel de viento. Basándose en este perfil, que está optimizado

65

aerodinámicamente con respecto al rendimiento de la pala del rotor, se toman una o más de las medidas mencionadas anteriormente de acuerdo con los aspectos de la invención. Se ha comprobado que es ventajoso hacer una transición a un perfil de la punta de la pala del rotor con ruido optimizado en un área exterior de la pala del rotor, es decir, en el área de la punta de la pala del rotor, que proporciona bajos niveles de potencia acústica incluso sin las estrías del borde trasero. El perfil con ruido optimizado está especialmente optimizado y diseñado para el flujo turbulento alrededor de la pala del rotor. Para ello, uno de los objetivos es minimizar el grosor de desplazamiento en el borde trasero. Esto se logra con las medidas mencionadas anteriormente, a partir del perfil optimizado en cuanto a rendimiento.

Por ejemplo, el área del extremo de la pala del rotor comienza en el 80 %, 85 % o 90 % de la longitud relativa de la pala del rotor. La longitud relativa de la pala del rotor es el cociente de la posición relativa en la dirección longitudinal de la pala del rotor dividida por el radio del rotor. Por ejemplo, el área del extremo de la pala del rotor, vista desde la punta de la pala del rotor, se extiende aproximadamente de 3 a 4 m en dirección a la raíz de la pala del rotor. En otras palabras, los 3 a 4 m más exteriores de la pala del rotor tienen un perfil optimizado en cuanto a ruido y no un perfil optimizado en cuanto a rendimiento.

De acuerdo con una modalidad ventajosa, la pala del rotor se desarrolla aún más por el hecho de que tiene estrías del borde trasero (dientes) en una sección central del borde trasero de la pala del rotor, en donde no hay dientes en el área del extremo de la pala del rotor, y en donde la sección central se extiende desde el área del extremo de la pala del rotor en dirección a la raíz de la pala del rotor.

Las estrías del borde trasero, las llamadas dientes, son bien conocidas como medios para reducir el ruido del flujo de las palas del rotor. Al utilizar estos dientes solo en la sección central de la pala del rotor, como sugieren algunos aspectos de la invención, la transportación de la pala del rotor es mucho más fácil. Si también hay estrías del borde trasero en el extremo exterior de la pala del rotor, entonces siempre existe el riesgo de dañar las estrías del borde trasero durante la transportación. Al prescindir de las estrías del borde trasero en el área del extremo de la pala del rotor, es posible la transportación convencional de la pala del rotor, de la forma conocida para las palas del rotor sin estrías del borde trasero. La punta de la pala del rotor puede guardarse con seguridad en bolsos; el riesgo de dañar las estrías del borde trasero durante la transportación de la pala del rotor se reduce considerablemente. Además, se pueden utilizar dispositivos e infraestructuras convencionales para la transportación de la pala del rotor.

Preferentemente las estrías del borde trasero se extienden por toda la sección central. De acuerdo con otro ejemplo de modalidad, se prevé que las estrías del borde trasero se extiendan en secciones a lo largo de la sección central de la pala del rotor. Además, las estrías del borde trasero tienen una relación longitud-ancho de más de dos. Por lo tanto, son al menos el doble más largos que anchos.

De acuerdo con otra modalidad, la pala del rotor se desarrolla aún más por el hecho de que las estrías del borde trasero

- a) tienen una longitud máxima de menos de 20 % de una longitud de la cuerda del perfil en la posición longitudinal correspondiente de la pala del rotor,
- y/o
- b) tienen un grosor de material de 5 mm o menos,
- y/o
- c) están inclinadas en un ángulo de 5° o menos con respecto a una dirección de la cuerda del perfil.

Las estrías del borde trasero se hacen tan delgadas como sea posible. En particular, se pegan al perfil de la pala del rotor sin escalonamiento. El ángulo entre las estrías del borde trasero y la cuerda del perfil se mide en un plano del perfil común. Un ángulo de ataque de las estrías del borde trasero (ángulo entre la dirección de la cuerda del perfil y el plano en el que las estrías del borde trasero se extienden en esta posición longitudinal de la pala del rotor), que tiene un valor de 5° o menos, cambia el punto de funcionamiento del perfil solo de forma insignificante y limita el impulso adicional generado por los dientes.

De acuerdo con una modalidad, se establece además que en la sección central de la pala del rotor la relación entre el grosor del perfil y la longitud de la cuerda es inferior a 0,24. Además, la pala del rotor de acuerdo con otra modalidad se desarrolla aún más por el hecho de que la porción central se extiende desde un primer plano de perfil, en dirección a la punta de la pala del rotor, en donde, con la potencia nominal de salida de la planta de energía eólica, la pala del rotor está expuesta a un flujo, en el primer plano de perfil, a una velocidad relativa de 55 m/s.

Debido a que la punta de la pala del rotor está expuesta a una mayor velocidad relativa, la punta de la pala del rotor contribuye significativamente a la emisión de ruido de la pala del rotor. Un cambio en el perfil de la pala del rotor en el área del extremo de la pala del rotor de un perfil optimizado en cuanto a rendimiento a uno optimizado en cuanto al ruido es particularmente efectivo. Se ha comprobado que se obtienen resultados especialmente buenos cuando estos cambios se realizan desde un rango en el que la pala del rotor se expone a velocidades relativas de 55 m/s y más.

De acuerdo con otra modalidad, también se prevé que la pala del rotor esté equipada con generadores de vórtice en un área de la raíz de la pala en el lado de succión, el área de la raíz de la pala se extiende desde la raíz de la pala del rotor hasta un segundo plano de perfil, y que la pala del rotor se expone a una velocidad relativa de 30 m/s en el segundo plano de perfil con la potencia nominal de la planta de energía eólica.

Una raíz de pala aerodinámica y estructuralmente muy eficiente, que está provista de generadores de vórtice, se extiende de acuerdo con las modalidades mencionadas hasta un plano del perfil, en el que la pala del rotor se expone a una velocidad relativa de 30 m/s. Se ha comprobado que el uso de generadores de vórtices en áreas de la pala del rotor que se encuentran más alejadas de la punta de la misma no supone ninguna mejora significativa en lo que respecta a la emisión de ruido de la pala del rotor.

Además, la pala del rotor se desarrolla aún más por el hecho de que la pala del rotor tiene una protección contra la erosión en la nariz de la pala del rotor, en donde la protección contra la erosión está integrada en una superficie de la pala del rotor con una altura de escalón inferior a 0,2 mm.

Por último, la pala del rotor de acuerdo con otra modalidad se desarrolla aún más por el hecho de que tiene una ranura de soplado tangencial en el lado de succión, en donde la ranura de soplado se extiende desde un tercer plano de perfil en dirección a la punta de la pala del rotor y el tercer plano de perfil se dispone a una longitud relativa de la pala de al menos aproximadamente 80 %.

Tanto la integración sin escalonamiento o aproximadamente sin escalonamiento de una protección contra la erosión en la superficie de la pala del rotor como la integración de una ranura de soplado, en particular en la posición mencionada, conducen a una mayor reducción del nivel de potencia acústica de la pala del rotor.

El objetivo también se logra con una planta de energía eólica que tiene una pala del rotor de acuerdo con uno o más de los aspectos de acuerdo con la invención mencionados anteriormente. Las ventajas ya mencionadas con respecto a la pala del rotor se aplican a dicha planta de energía eólica de la misma manera o de manera similar, de modo que no es necesario repetir las de nuevo.

Además, el objetivo se logra mediante un método para fabricar una pala del rotor de una planta de energía eólica, en donde la pala del rotor tiene un lado de succión, un lado de presión, una nariz de la pala del rotor y un borde trasero de la pala del rotor, que se extienden entre la raíz de la pala del rotor y la punta de la pala del rotor y definen un perfil de la pala del rotor, en donde el método tiene las siguientes etapas:

- I) Proporcionar un perfil optimizado en cuanto a rendimiento de la pala del rotor, en donde el perfil optimizado en cuanto a rendimiento se optimiza aerodinámicamente con respecto a un rendimiento de potencia de la pala del rotor,
- II) Modificar el perfil optimizado en cuanto a rendimiento para obtener un perfil optimizado en cuanto a ruido en el área del extremo de la pala del rotor, para reducir una emisión de ruido de la pala del rotor, en donde a partir del perfil optimizado en cuanto a rendimiento en el área del extremo de la pala del rotor, que comprende la punta de la pala del rotor, se toman las siguientes medidas:
 - a) Aumentar el radio del perfil en la nariz de la pala del rotor,
 - b) Desplazar una posición, en la que hay un grosor máximo de perfil, en dirección a la nariz de la pala del rotor,
 - c) Reducir una curvatura máxima del perfil,
 - d) Desplazar una posición, en la que hay una curvatura máxima del perfil de la pala del rotor, hacia el borde trasero de la pala del rotor,
- III) Fabricar la pala del rotor con el perfil optimizado en cuanto a ruido en el área del extremo de la pala del rotor.

El método de fabricación de una pala del rotor también tiene las mismas o similares ventajas y aspectos ya mencionados con respecto a la pala del rotor. Además, el método puede realizarse con poco esfuerzo, ya que solo se requieren pequeños cambios de perfil, a partir de un perfil optimizado en cuanto a rendimiento que está disponible para la fabricación de la pala del rotor. Estos cambios se pueden integrar al proceso de fabricación existente con poco esfuerzo.

El método se desarrolla aún más por el hecho de que la pala del rotor tiene estrías (dientes) en una sección central del borde trasero de la pala del rotor, en donde no hay dientes en el área del extremo de la pala del rotor, y en donde la sección central se extiende desde el área del extremo de la pala del rotor en dirección a la raíz de la pala del rotor.

- De acuerdo con otra modalidad, se prevé también que el método se desarrolle aún más proporcionando estrías del borde trasero, que
- a) tienen una longitud máxima de menos de 20 % de una longitud de la cuerda del perfil en la posición longitudinal correspondiente de la pala del rotor, y/o
 - b) tienen un grosor de material de 5 mm o menos, y/o
 - c) están inclinadas en un ángulo de 5° o menos con respecto a una dirección de la cuerda del perfil.

De acuerdo con otra modalidad, se prevé una porción central que se extiende desde un primer plano del perfil, en dirección a la punta de la pala del rotor, en donde, con la potencia nominal de salida de la planta de energía eólica, la pala del rotor está expuesta a un flujo, en el primer plano del perfil, a una velocidad relativa de 55 m/s. En particular, el método se desarrolla aún más por el hecho de que en un área de la raíz de la pala del rotor, la pala del rotor está provista de generadores de vórtice en el lado de succión, en donde el área de la raíz de la pala del rotor se extiende desde la raíz de

la pala del rotor, hasta un segundo plano del perfil, y en donde, con la potencia nominal de salida de la planta de energía eólica, la pala del rotor está expuesta a un flujo, en el segundo plano del perfil, a una velocidad relativa de 30 m/s.

5 Además, de acuerdo con una modalidad se prevé que la pala del rotor tenga una ranura de soplado tangencial en el lado de succión, en donde la ranura de soplado se extiende desde un tercer plano de perfil en dirección hasta la punta de la pala del rotor y el tercer plano de perfil se dispone en una longitud relativa de la pala de al menos aproximadamente 80 %.

10 De acuerdo con otras modalidades se prevé, que en la sección central de la pala del rotor la relación entre el grosor del perfil y la longitud de la cuerda sea inferior a 0,24. Además, se prevé, en particular, que la pala del rotor tenga una protección contra la erosión en la nariz de la pala del rotor, en donde la protección contra la erosión esté integrada en una superficie de la pala del rotor con una altura de escalón inferior a 0,2 mm.

15 Otras características de la invención se desprenden de la descripción de las modalidades de acuerdo con la invención junto con las reivindicaciones y los dibujos adjuntos. Las modalidades de acuerdo de la invención pueden cumplir características únicas o una combinación de varias características.

La invención se define por las reivindicaciones adjuntas.

20 A continuación, se describe la invención sin limitación de la idea general de la invención mediante ejemplos de modalidades tomando como referencia los dibujos, en donde para todos los detalles de la invención que no se explican en el texto se remite explícitamente a los dibujos.

Se muestran:

25 En la Figura 1, una planta de energía eólica en vista esquemática simplificada,
 En la Figura 2, una vista superior esquemática simplificada de un lado de succión de una pala del rotor,
 En la Figura 3, una vista transversal esquemática simplificada a lo largo del plano III-III en la Figura 2,
 En la Figura 4, una vista transversal esquemática simplificada a lo largo del plano IV-IV en la Figura 2,
 En la Figura 5, una vista transversal esquemática simplificada en el área del borde trasero de la pala del rotor,
 En la Figura 6, una vista superior esquemática simplificada de una sección de estrías del borde trasero,
 30 En las Figuras 7, 7a, vistas esquemáticas simplificadas del perfil de las palas del rotor en el área del extremo de la pala del rotor,
 En la Figura 8, un radio relativo de una pala de rotor optimizada en cuanto a ruido en el borde delantero, trazado sobre una longitud relativa de la pala,
 En la Figura 9, un grosor relativo del perfil de la pala del rotor, trazado sobre la longitud relativa de la pala del rotor,
 35 En la Figura 10, una distancia máxima de la línea del esqueleto de la pala del rotor hasta la cuerda de la pala del rotor, trazada sobre la longitud relativa,
 En la Figura 11, una curvatura máxima del perfil de la pala del rotor, trazada sobre la longitud relativa de la pala del rotor y
 En la Figura 12, un perfil esquemático simplificado de la pala del rotor en el plano marcado XII-XII en la Figura 2.

40 En los dibujos, los elementos y/o partes iguales o similares tienen los mismos números de referencia, de modo que no es necesario mostrarlos de nuevo.

45 La Figura 1 muestra una vista esquemática simplificada de una planta de energía eólica 2, cuyas palas del rotor 4 se extienden entre la raíz de una pala del rotor 6 y la punta de una pala del rotor 8. Las palas del rotor 4 están conectadas en sus raíces de las palas del rotor 6 a un cubo 10, que acciona el eje principal de la planta de energía eólica 2. El rotor de la planta de energía eólica 2, incluida la góndola que alberga los demás componentes, está montado en una estructura de soporte 12, por ejemplo, una torre.

50 Las palas del rotor 4 comprenden cada una un lado de succión 14 (no visible en la figura 1), un lado de presión 26, una nariz de la pala del rotor 16 así como un borde trasero de pala de rotor 18 (solo se muestra en una de las palas del rotor con marcas de referencia). Los lados de succión y de presión 14, 26, así como la nariz de las palas del rotor 16 y el borde trasero de las palas 18 se extienden entre la raíz de las palas del rotor 6 y la punta de las palas del rotor 8. Definen un perfil aerodinámico efectivo de la pala del rotor 4. Las palas del rotor 4 de la planta de energía eólica 2 mostrada están optimizadas en cuanto a su emisión de ruido. Para obtener un perfil de palas de rotor optimizado en cuanto a ruido de ese tipo, primero se determina un perfil de palas de rotor 4 optimizado en cuanto al rendimiento. Esto se hace, por ejemplo, a través de simulaciones numéricas o experimentos prácticos. El perfil optimizado en cuanto a rendimiento de la pala del rotor 4 está optimizado aerodinámicamente con respecto a la potencia de salida de la pala del rotor 4.

60 La Figura 2 muestra una pala del rotor 4 optimizada en cuanto al ruido en una vista superior esquemáticamente simplificada desde su lado de succión 14. Para reducir la emisión de ruido, el perfil optimizado en cuanto a rendimiento se cambia a un perfil optimizado en cuanto a ruido en un área del extremo de la pala del rotor 20, que incluye la punta de la pala del rotor 8. Las medidas tomadas en detalle se explican en relación con las Figuras 7 a 11.

65 Además de este cambio del perfil de las palas del rotor en el área del extremo de las palas del rotor 20, se toman otras medidas opcionales para reducir el nivel de potencia acústica de la pala del rotor 4.

Por ejemplo, la pala del rotor 4 en un área de la raíz de la pala 22 está equipada con generadores de vórtice 24 en su lado de succión 14.

5 La Figura 3 muestra una vista esquemática simplificada de una sección transversal a través de la pala del rotor 4 en el área de la raíz de la pala 22, a lo largo del plano marcado como III-III en la Figura 2. En el lado de succión 14 se muestra, como ejemplo, un generador de vórtice 24. Opcionalmente, se proporciona un alma del borde trasero 2 (también llamado lengüeta) en el lado de presión 26 en la transición entre el lado de presión 26 y el borde trasero de la pala del rotor 18.

10 Como muestra la Figura 2, el área de la raíz de la pala 22 se extiende desde la raíz de la pala del rotor 6 hasta un segundo plano del perfil 30 (mostrado en líneas discontinuas). Con las potencias nominales de la planta de energía eólica 2, la pala del rotor 4 está expuesta a un flujo, en el segundo plano del perfil 30, a una velocidad relativa de 30 m/s.

15 En dirección a la punta de la pala del rotor 8, el área de la raíz de la pala 22 es seguida por un área de potencia 32. Esta se extiende desde el segundo plano del perfil 30 en dirección a la punta de la pala del rotor 8 hasta un primer plano del perfil 34, al que se hará referencia más adelante. En el área de potencia 32, la pala del rotor 4 tiene un perfil optimizado en cuanto a rendimiento. Fuera de ello, en esta área no se toman otras medidas para la optimización del ruido de la pala del rotor 4.

20 En el área de potencia 32 se une una sección central 36 en dirección a la punta de la pala del rotor 8. La sección central 36 se extiende desde el área del extremo de la pala del rotor 20 en dirección a la raíz de la pala del rotor 6 hasta el primer plano del perfil 34. En el primer plano del perfil 34, con la potencia nominal de la planta de energía eólica 2, la pala del rotor 4 está expuesta a un flujo a una velocidad relativa de 55 m/s.

25 En la sección central 36 de la pala del rotor 4, se proporcionan estrías del borde trasero de la pala del rotor 38 en el borde trasero de la pala del rotor 18. Tanto en la sección del extremo de la pala del rotor 20, como en la sección de potencia 32, que se encuentra más en dirección a la raíz de la pala 6, la pala del rotor 4 no tiene ninguna estría del borde trasero 38. Las estrías del borde trasero 38, también conocidas como dientes, reducen la emisión de ruido de la pala del rotor 4.

30 La Figura 4 muestra un perfil esquemático simplificado de la pala del rotor 4 en el plano marcado IV-IV en la Figura 2. Por ejemplo, las estrías del borde trasero 38 están diseñadas para tener una longitud máxima L1 que alcanza menos del 20 % de una longitud L2 de la cuerda del perfil 40. La longitud máxima L1 de las estrías del borde trasero 38 y la longitud L2 de la cuerda del perfil 40 se consideran cada una en una posición longitudinal idéntica de la pala del rotor 4, es decir, a una distancia idéntica de la raíz de la pala del rotor 6 o de la punta de la pala del rotor 8. La longitud máxima L1 de las estrías del borde trasero 38 se mide a partir del borde trasero de la pala del rotor 18. Las estrías del borde trasero 38 están inclinadas en un ángulo α con respecto a una dirección 42 de la cuerda del perfil 40. La longitud máxima de las estrías del borde trasero 38 se determina cuando el ángulo α es 0°, es decir, las estrías del borde trasero 38 se extienden en la dirección 42 de la cuerda del perfil 40.

40 En la sección central 36 de la pala del rotor 4, por ejemplo, el perfil también se selecciona de manera que la relación entre el grosor del perfil PD y la longitud de la cuerda L2 sea inferior a 0,24. Además, la pala del rotor 4 está provista, por ejemplo, de una protección contra la erosión 44, por ejemplo, en la punta de la pala del rotor 16. La protección contra la erosión 44 está integrada, por ejemplo, en una superficie de la pala del rotor 4 con una altura de paso de menos de 0,2 mm.

45 La Figura 5 muestra una vista detallada de la sección transversal mostrada en la Figura 4 en el área del borde trasero de la pala del rotor 18. El grosor del material d de las estrías del borde trasero 38, por ejemplo, es inferior a 5 mm. Además, las estrías del borde trasero 38 están pegados al perfil de la pala del rotor 4, por ejemplo, sin escalonamiento.

50 La Figura 6 muestra una sección de las estrías del borde trasero 38 en una vista superior esquemática simplificada. Los dientes están diseñados, por ejemplo, de manera que su longitud máxima L1 es al menos dos veces mayor que su ancho b.

55 Como otra medida para reducir la emisión de ruido, la pala del rotor 4, por ejemplo, está provista de una ranura de soplado tangencial 46 (ver la Figura 2). La ranura de soplado 46 se extiende en el lado de succión 14 de la pala del rotor 4 desde un tercer plano de perfil 48 hacia la punta de la pala del rotor 8. El tercer plano del perfil 48, por ejemplo, está situado a una longitud relativa de la pala de al menos un 80 %. La ranura de soplado 46 también se extiende, por ejemplo, tanto hasta la sección central 36 como hasta la sección del extremo de las palas del rotor 20. La longitud relativa de la pala r/R es el cociente de la posición radial r (la distancia desde el centro del rotor) y el radio del rotor R.

60 A continuación, se explica el cambio de perfil en el área del extremo de la pala del rotor 20 tomando como referencia las Figuras 7 a 11. El perfil optimizado en cuanto a ruido se describe a partir de un supuesto perfil optimizado en cuanto a rendimiento.

65 La Figura 7 muestra una comparación esquemática simplificada entre un perfil optimizado en cuanto a rendimiento 50 y un perfil optimizado en cuanto a ruido 52. El perfil de la pala del rotor que se muestra se encuentra en un plano, designado

VII-VII en la Figura 2. La altura relativa d/D se traza sobre la profundidad relativa del perfil l/L de la pala del rotor 4. La Figura 7a muestra una representación que es al menos aproximadamente idéntica a la de la Figura 7, que solo se utiliza para explicar la Figura 7. El perfil optimizado en cuanto a rendimiento 50 se muestra en una línea sólida y el perfil optimizado en cuanto a ruido 52 en una línea discontinua. El perfil optimizado en cuanto a ruido 52 se ha modificado en comparación con el perfil optimizado en cuanto a rendimiento mediante las siguientes medidas:

- a) Se aumentó el radio del perfil en la nariz de la pala del rotor 16.
- b) Se desplazó una posición, en la que hay un grosor máximo de perfil, en dirección a la nariz de la pala del rotor 16.
- c) Se redujo una curvatura máxima del perfil.
- d) Se desplazó una posición, en la que hay una curvatura máxima del perfil de la pala del rotor 4, hacia el borde trasero de la pala del rotor 18.

Las medidas mencionadas se pueden adoptar individualmente o en combinación para reducir la emisión de ruido de la pala del rotor 4.

Las medidas individuales se explican de nuevo en detalle sobre la base de las ilustraciones de las Figuras 8 a 11, que muestran diferentes tamaños, que se trazan sobre la longitud relativa de la pala r/R . El curso del tamaño en cuestión se muestra en una línea continua para un perfil optimizado en cuanto a rendimiento 50. En comparación con esto, la línea discontinua muestra el curso desviado del tamaño en cuestión tal como está presente en un perfil optimizado en cuanto a ruido 52.

La Figura 8 muestra un radio relativo de la nariz de la pala del rotor 4. Como indica una flecha, el radio relativo de la nariz se eleva para el perfil optimizado en cuanto a ruido 52. Los cambios se hacen a partir de una longitud relativa de la pala r/R de alrededor de 0,9.

La Figura 9 muestra un grosor máximo relativo de la pala del rotor 4. La flecha indica que el grosor máximo de la pala del rotor 4 se reduce en el área del extremo de la pala del rotor 20. Una posición del grosor máximo del perfil se desplaza en dirección a la nariz de la pala del rotor 16. Esta posición se encuentra, por ejemplo, en el borde que se muestra con la flecha doble, con una longitud relativa de la pala de aproximadamente 0,9, a partir de la cual se realiza un cambio en el perfil de la pala del rotor optimizado en cuanto al ruido 52.

La Figura 10 muestra una curvatura máxima de la pala del rotor 4. En el área del extremo de la pala del rotor 20 se reduce la curvatura máxima del perfil, como lo indica una flecha. Esos cambios se hacen a partir de una longitud relativa de la pala r/R de alrededor de 0,92. También se prevé que en la punta de la pala del rotor 8, es decir, una longitud relativa de 1, la curvatura máxima se reduzca a cero.

La Figura 11 muestra una curvatura máxima de la pala del rotor 4. Como indica una flecha, la curvatura máxima se eleva en el área del extremo de la pala del rotor 20 y se desplaza hacia el borde trasero de la pala del rotor 18. En la punta de la pala del rotor 8, por ejemplo, la curvatura máxima disminuye a cero.

En la punta de la pala del rotor 8, en un plano marcado como XII-XII en la Figura 2, la pala del rotor 4 tiene aproximadamente el perfil de la pala del rotor que se muestra en la Figura 12. En la punta de la pala del rotor 8 hay un perfil al menos aproximadamente simétrico, cuyo grosor máximo es de aproximadamente 0,28 de la longitud relativa de la pala r/R .

De acuerdo con un método de fabricación de la pala del rotor 4 de una planta de energía eólica 2, se proporciona primero un perfil optimizado en cuanto a rendimiento 50 de la pala del rotor 4. Esto se hace, por ejemplo, a través de simulaciones numéricas o experimentos. Este perfil optimizado en cuanto a rendimiento 50 se modifica mediante al menos una de las siguientes medidas para obtener un perfil optimizado en cuanto a ruido 52 y reducir la emisión de ruido de la pala del rotor 4:

Aumentar un radio del perfil en la nariz de la pala del rotor 16, desplazar una posición en la que haya un grosor máximo del perfil hacia la nariz de la pala del rotor 16, reducir una curvatura máxima del perfil y/o desplazar una posición en la que haya una curvatura máxima del perfil de la pala del rotor 4 hacia el borde trasero de la pala del rotor 18. Finalmente, se fabrica la pala del rotor 4 con el perfil optimizado en cuanto a ruido.

Todos los elementos mencionados, incluidos los que solo pueden verse en los dibujos, así como también los elementos individuales que se revelan en combinación con otros elementos, se consideran esenciales para la invención, tanto solos como en combinación. Las modalidades de acuerdo de la invención se pueden cumplir con características únicas o con una combinación de varias características. En el contexto de la invención, las características marcadas con "en particular" o "preferentemente" deben entenderse como características opcionales.

Lista de referencia de los dibujos

- 2 Planta de energía eólica
- 4 Pala del rotor
- 6 Raíz de la pala del rotor

- 8 Punta de la pala del rotor
- 10 Cubo
- 12 Estructura de apoyo
- 14 Lado de succión
- 5 16 Nariz de la pala del rotor
- 18 Borde trasero de la pala del rotor
- 20 Área del extremo de la pala del rotor
- 22 Área de la raíz de la pala
- 24 Generadores de vórtice
- 10 26 Lado de presión
- 28 Alma del borde trasero
- 30 Segundo plano del perfil
- 32 Área de potencia
- 34 Primer plano del perfil
- 15 36 sección central
- 38 Estrías del borde trasero
- 40 Cuerda del perfil
- 44 Protección contra la erosión
- 46 Ranura de soplado
- 20 48 Tercer plano del perfil
- 50 perfil optimizado en cuanto a rendimiento
- 52 perfil optimizado en cuanto ruido
- L1 Longitud de las estrías del borde trasero
- L2 Longitud de la cuerda del perfil
- 25 α Ángulo
- d Grosor del material
- b Ancho
- PD Grosor del perfil
- r Posición radial
- 30 R Radio del rotor

REIVINDICACIONES

1. Pala del rotor (4) de una planta de energía eólica (2), en donde la pala del rotor (4) tiene un lado de succión (14), un lado de presión (26), un extremo de la pala del rotor (16) y un borde trasero de la pala del rotor (18), que se extienden entre la raíz de la pala del rotor (6) y la punta de la pala del rotor (8) y definen un perfil de la pala del rotor (4), **caracterizada porque** la pala del rotor (4) tiene un perfil optimizado en cuanto a ruido (52) en un área del extremo de la pala del rotor (20), que partiendo de un supuesto perfil optimizado en cuanto a rendimiento (50) que se optimiza aerodinámicamente con respecto a un rendimiento de potencia de la pala del rotor (4), se modifica mediante la siguiente medida en el área del extremo de la pala del rotor (20), que comprende la punta de la pala del rotor (8), a fin de reducir la emisión de ruido de la pala del rotor (4): Aumentando una curvatura máxima del perfil de la pala del rotor (4) en el área del extremo de la pala del rotor (20) desde una longitud relativa de la pala (r/R) de 0,92 y desplazando, en la dirección del borde trasero de la pala del rotor (18), una posición en donde se encuentra la curvatura máxima del perfil de las pala del rotor (4).
2. Pala del rotor (4), de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada porque** la pala del rotor (4) tiene, en una sección central (36), estrías del borde trasero (38) en el borde trasero de la pala del rotor (18), en donde no hay estrías del borde trasero (18) en el área del extremo de la pala del rotor (20), y en donde la sección central (36) se extiende, desde el área del extremo de la pala del rotor (20), en dirección a la raíz de la pala del rotor (6).
3. Pala del rotor (4), de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizada porque** las estrías del borde trasero (38)
 - a) tienen una longitud máxima L1 de menos de 20 % de una longitud L2 de la cuerda del perfil (40) en la posición longitudinal correspondiente de la pala del rotor (4) y/o
 - b) tienen un grosor de material d de 5 mm o menos, y/o
 - c) están inclinadas en un ángulo α de 5° o menos con respecto a una dirección (42) de la cuerda del perfil (40).
4. Pala del rotor (4) de acuerdo con la reivindicación 2 o 3, **caracterizada porque** en la sección central (36) de la pala del rotor (4), la relación entre el grosor del perfil (PD) y la longitud de la cuerda L2 es inferior a 0,24.
5. Pala del rotor (4) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, **caracterizada porque** la porción central (36) se extiende, desde un primer plano de perfil (34), en dirección a la punta de la pala del rotor (8), en donde, a la potencia nominal de salida de la planta de energía eólica (2), la pala del rotor (4) está expuesta a un flujo, en el primer plano de perfil (34), a una velocidad relativa de 55 m/s.
6. Pala del rotor (4) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizada porque** en un área de la raíz de la pala (22), la pala del rotor (4) tiene generadores de vórtice (24) en el lado de succión (14), en donde el área de la raíz de la pala (22) se extiende, desde la raíz de la pala del rotor, hasta un segundo plano de perfil (30), y donde, con la potencia nominal de salida de la planta de energía eólica (2) la pala del rotor (4) está expuesta a un flujo, en el segundo plano de perfil (30), a una velocidad relativa de 30 m/s.
7. Pala del rotor (4) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizada porque** la pala del rotor (4) tiene una protección contra la erosión (44) en la nariz de la pala del rotor (16), en donde la protección contra la erosión (44) está integrada en una superficie de la pala del rotor (4) con una altura de escalón inferior a 0,2 mm.
8. Pala del rotor (4) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizada porque** la pala del rotor (4) tiene una ranura de soplado tangencial (46) en el lado de succión, en donde la ranura de soplado (46) se extiende, desde un tercer plano de perfil (48), en dirección a la punta de la pala del rotor (8) y el tercer plano de perfil (48) se dispone a una longitud relativa de la pala de al menos 80 %.
9. Planta de energía eólica (2) que tiene una pala del rotor (4) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.
10. Método de fabricación de una pala del rotor (4) de una planta de energía eólica (2), en donde la pala del rotor (4) tiene un lado de succión (14), un lado de presión (26), un extremo de la pala del rotor (16) y un borde trasero de la pala del rotor (18), que se extienden entre la raíz de la pala del rotor (6) y la punta de la pala del rotor (8) y definen un perfil de la pala del rotor (4), **caracterizado por** las siguientes etapas:
 - I) Proporcionar un perfil optimizado en cuanto a rendimiento (50) de la pala del rotor (4), en donde el perfil optimizado en cuanto a rendimiento se optimiza aerodinámicamente con respecto a un rendimiento de potencia de la pala del rotor,
 - II) Modificar el perfil optimizado en cuanto a rendimiento (50) para obtener un perfil optimizado en cuanto a ruido (52) en el área del extremo de las palas del rotor (20) para reducir una emisión de ruido de la pala del rotor (4), en donde a partir del perfil optimizado en cuanto a rendimiento en el área del extremo de la pala del rotor (20), que comprende la punta de la pala del rotor (8), se toma la siguiente medida: Aumentar una curvatura máxima del perfil de la pala del rotor (4) en el área del extremo de la pala del rotor (20) desde una longitud relativa de la pala (r/R)

de 0,92 y desplazar una posición en la que se encuentre la curvatura máxima del perfil, en dirección al borde trasero de la pala del rotor (18),

III) Fabricar la pala del rotor (4) con el perfil optimizado en cuanto a ruido en el área del extremo de la pala del rotor (20).

- 5
11. Método de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado porque** en una sección central (36), de la pala del rotor (4) se proporcionan estrías del borde trasero (38) en el borde trasero de la pala del rotor (18), en donde no se proporcionan estrías del borde trasero (18) en el área del extremo de la pala del rotor (20), y en donde la sección central (36) se extiende desde el área del extremo de la pala del rotor (20), en dirección a la raíz de la pala del rotor (6).
- 10
12. Método de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado porque** se proporcionan estrías del borde trasero (38) que
- 15 a) tienen una longitud máxima L1 de menos de 20 % de una longitud L2 de la cuerda del perfil (40) en la posición longitudinal correspondiente de la pala del rotor (4)
y/o
b) tienen un grosor de material d de 5 mm o menos,
y/o
20 c) están inclinadas en un ángulo α de 5° o menos con respecto a una dirección (42) de la cuerda del perfil (40).
13. Método de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, **caracterizado porque** se proporciona una sección central (36) que, a partir de un primer plano de perfil (34), se extiende en dirección a la punta de la pala del rotor (8), en donde, con la potencia nominal de salida de la planta de energía eólica, la pala del rotor (4) se expone a un flujo, en el primer plano de perfil (34), a una velocidad relativa de 55 m/s.
- 25
14. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13 **caracterizado porque** en un área de la raíz de la pala del rotor (22), la pala del rotor está provista de generadores de vórtice (24) en el lado de succión (14), en donde el área de la raíz de la pala del rotor (22) se extiende desde la raíz de la pala del rotor (6), hasta un segundo plano del perfil (30), y en donde, con la potencia nominal de salida de la planta de energía eólica (2) la pala del rotor (4) se expone a un flujo, en el segundo plano del perfil (30), a una velocidad relativa de 30 m/s.
- 30
15. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, **caracterizado porque** la pala del rotor (4) está provista de una ranura de soplado tangencial (46) en el lado de succión (14), en donde la ranura de soplado (46) se extiende desde un tercer plano del perfil (48), en dirección a la punta de la pala del rotor (8) y el tercer plano del perfil (48) se dispone a una longitud relativa de la pala de al menos aproximadamente 80 %.
- 35

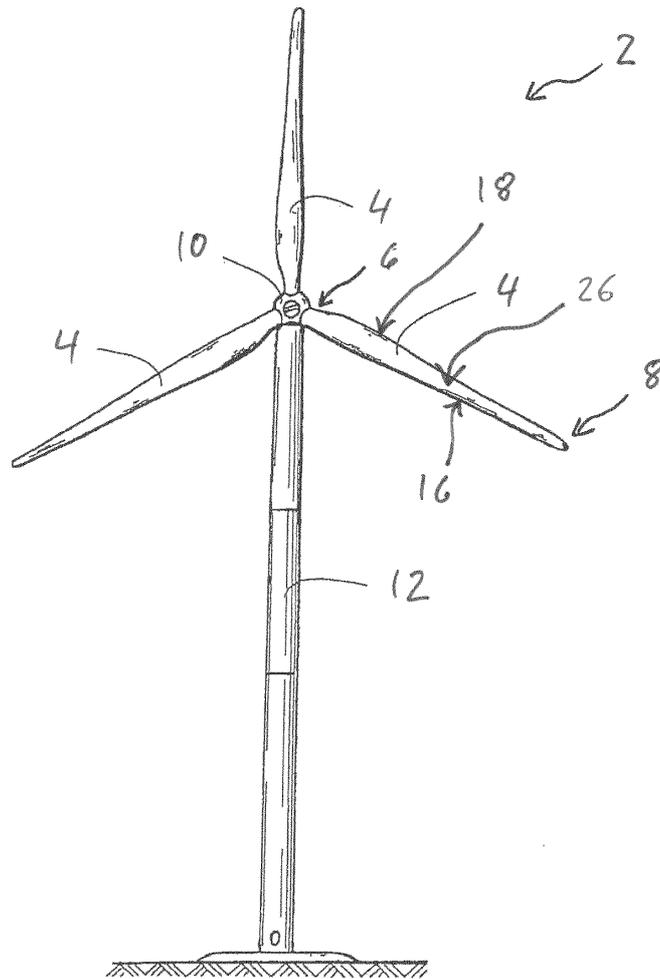


FIG. 1

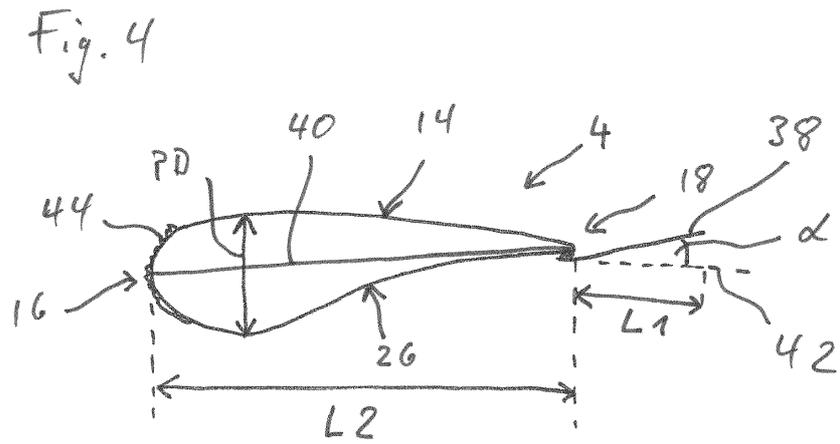
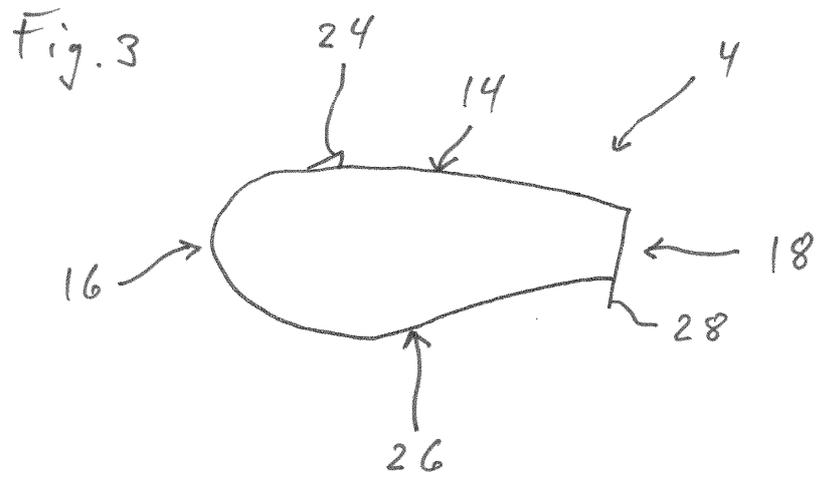


Fig. 5

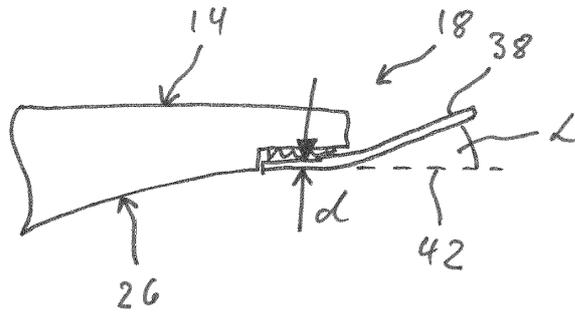


Fig. 6

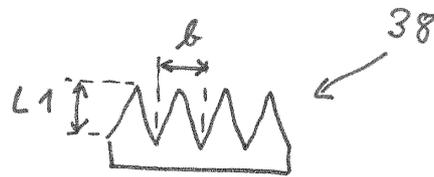


Fig. 7

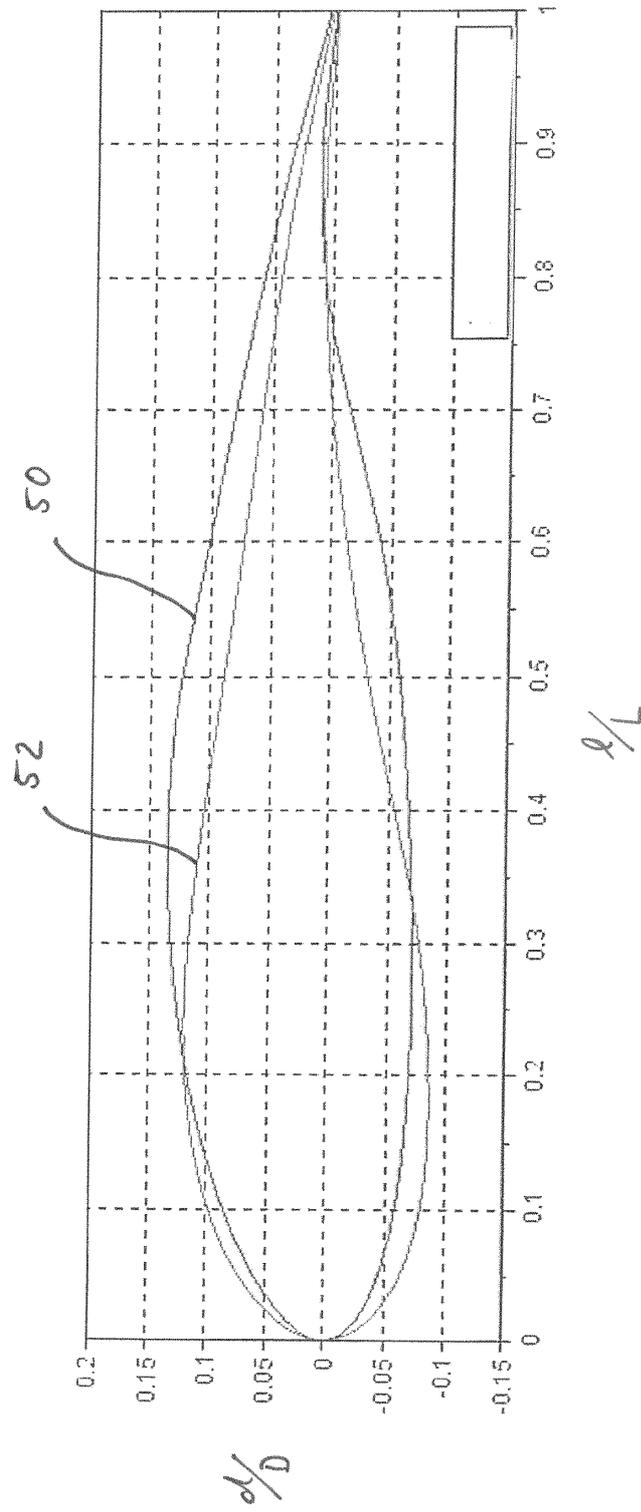
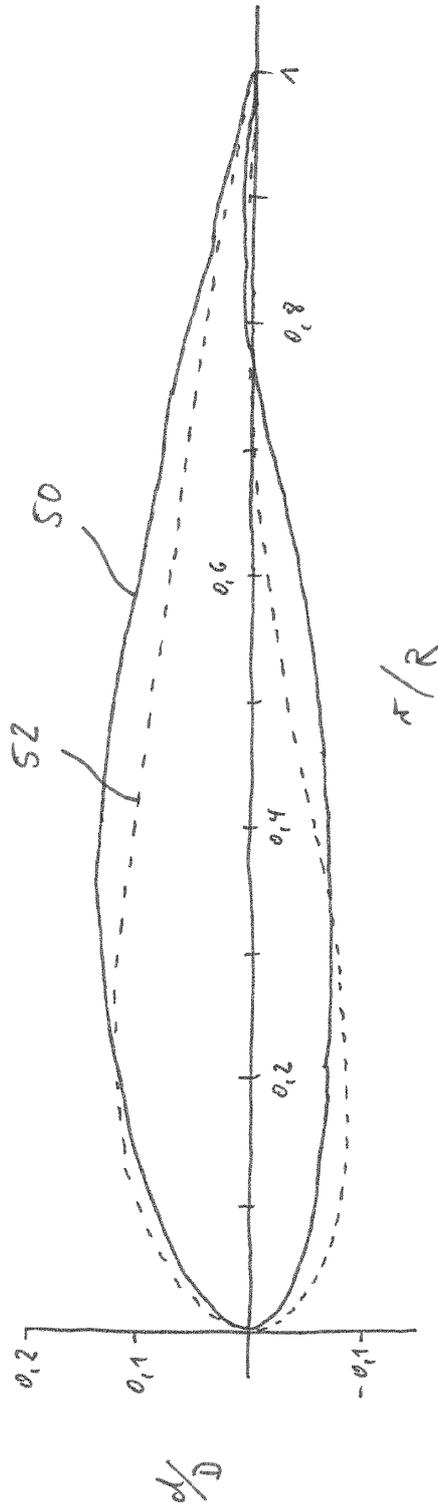


Fig. 7a



Fij. 8

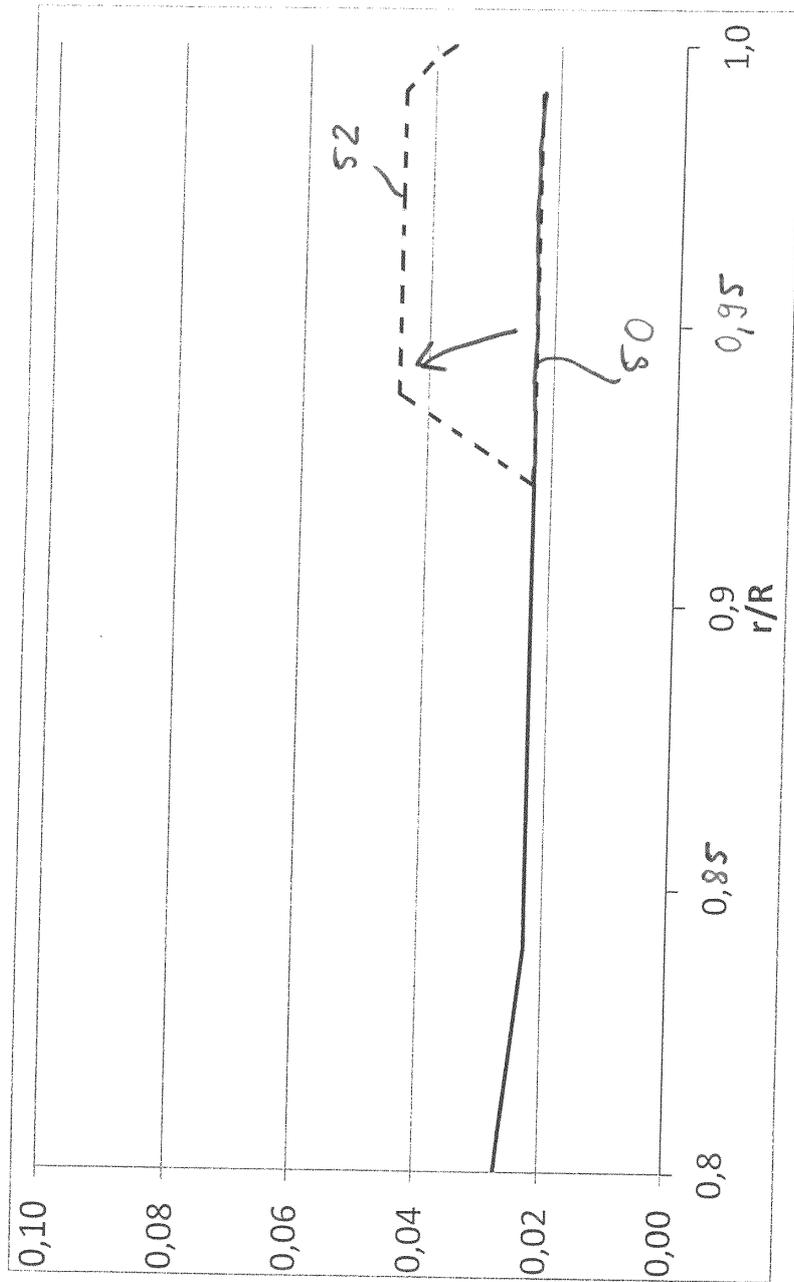


Fig. 9

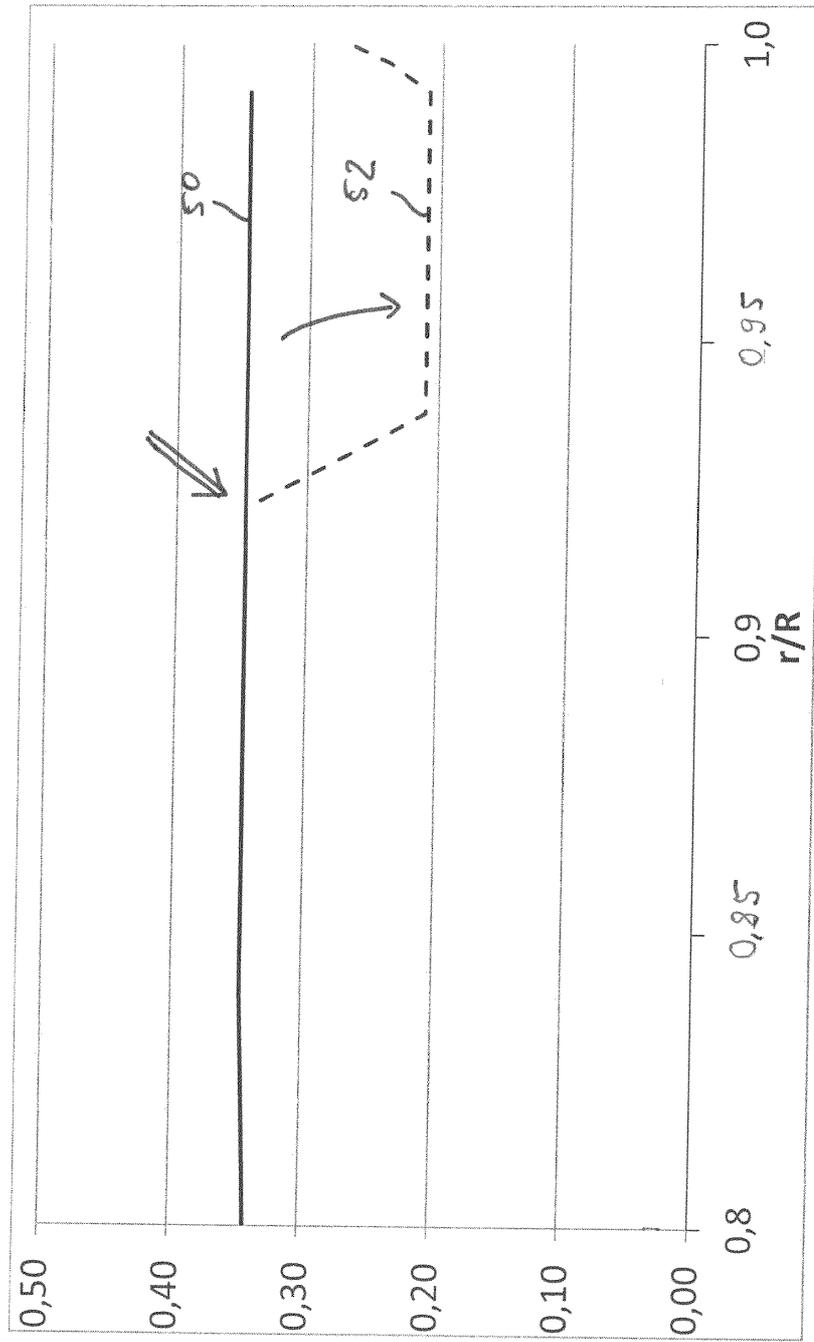


Fig. 10

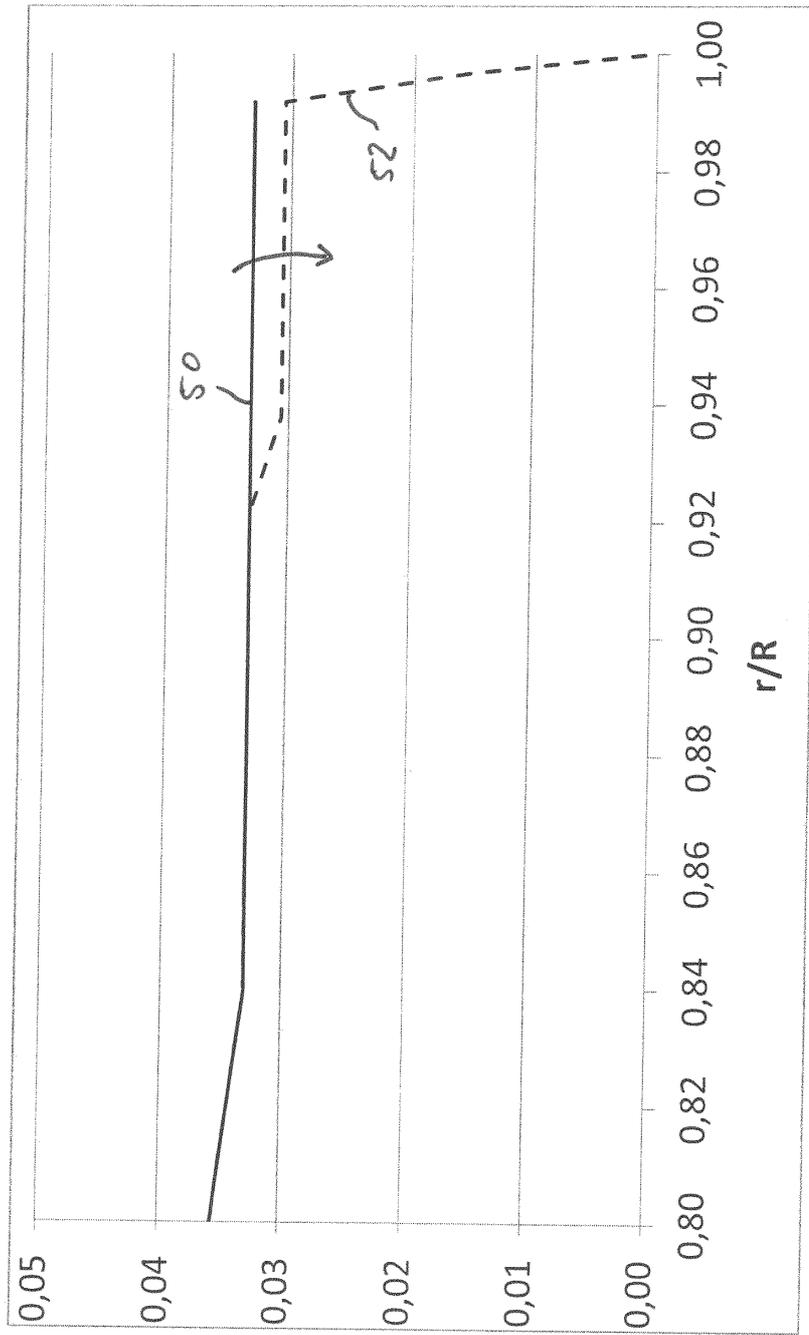


Fig. 11

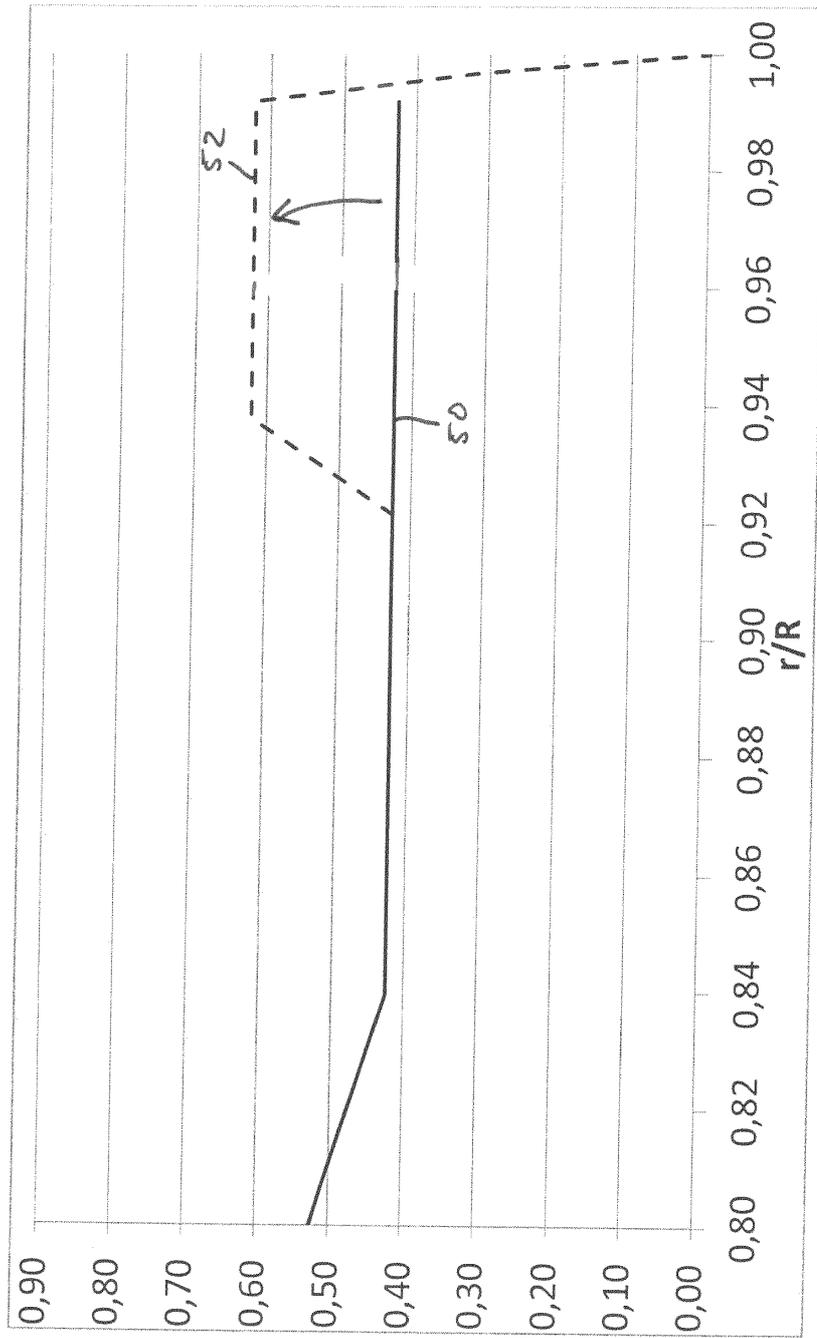


Fig. 12

