

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 621 185**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.07.2010 PCT/EP2010/060342**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.01.2012 WO12007058**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.07.2010 E 10732719 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.01.2017 EP 2593670**

54 Título: **Pala de turbina eólica con hombro estrecho y perfiles aerodinámicos relativamente gruesos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.07.2017

73 Titular/es:
**LM WP PATENT HOLDING A/S (100.0%)
Jupitervej 6
6000 Kolding, DK**

72 Inventor/es:
**MADSEN, JESPER;
ANDERSEN, CHRISTIAN, FRANK y
FUGLSANG, PETER**

74 Agente/Representante:
CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 621 185 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 hombro estrecho y perfiles aerodinámicos relativamente gruesos

5 La presente invención se relaciona con una pala para un rotor de una turbina eólica que tiene un árbol rotor
sustancialmente horizontal, dicho rotor comprende un repartidor, a partir del cual la pala se extiende sustancialmente
en una dirección radial cuando se monta en el repartidor, la pala tiene una dirección longitudinal con un extremo de
punta y un extremo de raíz y una dirección transversal, la pala comprende además: un contorno de perfil que incluye
un lado de presión y un lado de succión, así como un borde de ataque y un borde de salida con una cuerda que tiene
una longitud de cuerda que se extiende entre estos, el contorno de perfil, cuando se impacta por un flujo de aire
10 incidente, genera sustentación, en donde el contorno de perfil se divide en: una región de raíz que tiene un perfil
sustancialmente cilíndrico o elíptico cercano al repartidor, una región de perfil aerodinámico que tiene un perfil que
genera sustentación más lejano del repartidor, y una región de transición entre la región de raíz y la región de perfil
aerodinámico, la región de transición tiene un perfil que cambia gradualmente en la dirección radial a partir del perfil
elíptico o circular de la región de raíz para el perfil que genera sustentación y la región de perfil aerodinámico, y un
15 hombro que tiene un ancho de hombro y se ubica en el límite entre la región de transición y la región aerodinámica,
en donde la pala tiene una longitud de pala, y el contorno de perfil comprende un espesor relativo local que se define
como la proporción local entre el espesor de perfil máximo y la longitud de cuerda.

Un ejemplo de un diseño de pala de turbina eólica se muestra en el documento EP1152148 A1.

20 Los fabricantes de turbina eólica hacen esfuerzos constantes para mejorar la eficiencia de sus turbinas eólicas con el
fin de maximizar la producción de energía anual. Además, los fabricantes de turbina eólica se interesan en prolongar
el tiempo de vida de sus modelos de turbina eólica, ya que estos toman mucho tiempo y muchos recursos para
desarrollar un nuevo modelo de turbina eólica. Una manera obvia de mejorar la eficiencia de la turbina eólica es
mejorar la eficiencia de las palas de turbina eólica, de manera que la turbina eólica pueda generar una salida de
energía mayor a una velocidad de viento dada. Sin embargo, uno no puede reemplazar de manera arbitraria las palas
de un modelo de turbina eólica con otras, palas más eficientes. Los modelos de turbina eólica se dimensionan para
25 especificar rangos de carga a partir del rotor y de las palas. En consecuencia, se debe asegurar que las nuevas palas
de turbina eólica cumplan con las especificaciones de diseño del modelo de turbina eólica, y además se debe asegurar
que la pala de turbina eólica en sí cumpla con los problemas de garantía y se construya para durar al menos un número
de años sin romperse.

30 Es un objeto de la invención obtener una nueva pala de turbina eólica, la cual se diseña para cumplir con dichas
especificaciones de diseño previas o las cuales proporcionan una alternativa útil a las palas existentes.

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, el objeto se obtiene por una pala de turbina eólica del tipo que se
menciona anteriormente, en donde la proporción entre el ancho del hombro y la longitud de la pala es menor o igual a
0.075, y el espesor relativo en el intervalo de longitud de pala de 0-0.8L es al menos 22%.

35 En consecuencia, se puede observar que la invención proporciona una pala de turbina eólica relativamente gruesa y
esbelta. De este modo, es posible reducir la carga de la pala, dado que el área de la pala se reduce, reduciendo en
consecuencia por ejemplo cargas de tormenta. Además, la pala relativamente gruesa es rígida, debido a que la
estructura que soporta la carga está adicionalmente separada, lo cual a su vez significa que el revestimiento de la pala
puede ser más delgado. La masa en general puede en consecuencia mantenerse bajo. Sin embargo, la combinación
de utilizar un ancho de hombro estrecho y un perfil de pala relativamente grueso se encuentra de manera sorpresiva
40 que aumenta la producción de energía anual (AEP) de dicha pala significativamente, en particular dado que la pala se
puede hacer más larga que las palas existentes imponiendo la misma carga en la turbina eólica que se proporciona
con dichas palas. Sin embargo, si uno fuera a utilizar una de estas dos mediciones solo para reducir la carga, el AEP
habría disminuido.

45 El hombro se define aquí como la posición en la cual la pala de turbina eólica tiene su longitud de cuerda más larga.
El intervalo de longitud a partir del extremo de raíz al extremo de punta, el extremo de raíz se ubica en $r=0$ y el extremo
de punta se ubica en $r=L$.

50 Preferiblemente, la pala se prefleja o se prestresa. En dicha realización, la pala se curva hacia el lado de presión de
la pala, por ejemplo se curva de manera que la pala cuando se instala en una turbina eólica contra el viento se curva
lejos a partir de una torre de turbina eólica, al menos a velocidades del viento relativamente bajas. En operación a por
ejemplo la velocidad del viento de diseño, las palas se ponen rectas debido a la fuerza del viento entrante y la
distribución de presión en el lado de presión (o como corresponde contra el viento o el lado de barlovento) de la pala
y el lado de succión (o como corresponde con el viento o el lado de sotavento) de la pala, respectivamente,
maximizando en consecuencia el área de barrido por la pala en un plano rotor. Una pala preflejada hace posible reducir
la rigidez de la pala incluso adicionalmente, reduciendo de este modo el material necesario y consecuentemente
55 también la carga de la pala.

En todo, se observa que un hombro estrecho o pala esbelta con un espesor relativamente elevado y que se
proporciona con una preflexión combinada proporciona una pala con una carga menor que las palas de una técnica
anterior.

En una realización, la proporción entre el ancho del hombro y la longitud de la pala es menor que o igual a 0.073, y ventajosamente menor que o igual a 0.0725 y más ventajosamente menor que o igual a 0.072. Estas realizaciones todas proporcionan palas, las cuales son relativamente esbeltas, por ejemplo que tienen una longitud de cuerda máxima pequeña.

- 5 En otra realización, el espesor relativo en un intervalo de longitud de pala de 0-0.8L es al menos 23%, ventajosamente al menos 23.5%, y más ventajosamente al menos 24%. Dichos perfiles tienen un espesor de pala relativo el cual es significativamente más grande que las palas convencionales, en particular en la región a partir de 0.65L-0.8L.

En aún otra realización ventajosa, el espesor de pala relativo en el intervalo de pala de 0-0.8L es al menos 25%, o al menos 26%.

- 10 Ventajosamente, la longitud de pala es al menos 40 metros, más ventajosamente entre 40 metros y 50 metros. La esbeltez y el espesor que se proponen se han encontrado que se adecúan particularmente para estas longitudes de pala.

- 15 En una realización ventajosa, la región de raíz tiene un diámetro de raíz en el extremo de raíz de la pala, en donde la proporción entre el ancho del hombro y el diámetro de raíz es 1.6 o menor. Al tener un ancho de hombro bajo a la proporción de diámetro de raíz es posible tener una divergencia pequeña del borde de salida y el borde de la pala en la región de transición, lo cual a su vez significa que la curvatura del borde de salida y del borde de ataque, respectivamente, se puede mantener bajos. En consecuencia, de acuerdo con la realización ventajosamente particular, el borde de salida tiene una forma suave sin alguna discontinuidad en la dirección longitudinal de la pala. Esto en particular aplica a la región de transición de la pala que incluye las transiciones a partir de la región de raíz a la región de transición y a partir de la región de transición a la región de perfil aerodinámico de la pala. A partir de un punto de vista de fabricación, dicha realización es atractiva, dado que hace fácil realizar las capas de fibra en los moldes para fabricación. Además, las cargas que afectan el borde de salida durante la operación normal de dicha pala se reducen significativamente.

- 20 En otra realización ventajosa, el borde de salida tiene una curvatura con un radio exterior externo al borde de salida, lo cual en todas las posiciones es al menos 0.2L, ventajosamente al menos 0.22L, y más ventajosamente al menos 0.24L. De acuerdo una realización, la posición del radio exterior mínimo se ubica entre 0.04L y 0.06L, ventajosamente entre 0.045L y 0.055L.

- 25 En aún otra relación ventajosa, el borde de salida tiene una curvatura con un radio interior (R_i) interno al borde de salida, el cual en todas las posiciones es al menos 0.2L, ventajosamente al menos 0.225L, y más ventajosamente al menos 0.25L. De acuerdo con una realización, la posición del radio exterior mínimo se ubica entre 0.16L y 0.20L, ventajosamente entre 0.19L y 0.21L.

- 30 Un radio de borde de salida grande (interno y/o externo) asegura una curvatura de borde de salida baja, lo cual a partir de un punto de vista de fabricación significa que la capa de fibra se puede realizar sin que se arruguen las capas de fibra. Esto a su vez asegura que el revestimiento de acabado de pala después de la inyección de resina y curación no comprende propiedades mecánicas perjudiciales.

- 35 Debido al giro de y al diseño tridimensional de la pala, puede ser difícil determinar la ubicación exacta del borde de salida. Por lo tanto, puede deducirse en una realización un radio interno y externo proyectando la pala dentro de un plano, cuando se observa la pala a partir de por encima de una inclinación de 0 grados.

- 40 En una realización, el hombro se ubica en un intervalo entre 0.18L y 0.25L, ventajosamente entre 0.19L y 0.24L. En una realización ventajosa, una pala de turbina eólica que tiene una longitud en el intervalo de 40-45 metros tiene el hombro ubicado entre 0.19L y 0.21L. En otra realización de una pala de turbina eólica que tiene una longitud en el intervalo 45-50 metros, ventajosamente en el intervalo 46.5-48.5 metros, el hombro se ubica entre 0.22L y 0.24L.

- 45 En otra realización, el borde de ataque tiene una forma suave sin discontinuidades en la dirección longitudinal de la pala. Ventajosamente, la pala comprende un eje de inclinación, y en donde una distancia entre el borde de ataque al eje de inclinación a partir del extremo de raíz al hombro aumenta no más de 20%, ventajosamente no más de 15%.

- 50 Como se menciona anteriormente, la pala de turbina eólica se preflexa o se curva preferiblemente hacia el lado de presión de la pala. La preflexión en la punta de la pala en una realización es al menos 0.05L, ventajosamente al menos 0.06L, más ventajosamente al menos 0.65L, e incluso más ventajosamente al menos 0.07L. La preflexión aquí significa que el centro de perfil de la cuerda de un perfil local se separa a partir de un eje de inclinación o un eje longitudinal. Al aumentar la preflexión comparada con las palas convencionales la rigidez debe ser menor con el fin de que la pala esté recta y para maximizar el área de barrido en la velocidad de viento de diseño. En consecuencia, se necesita menos material en el revestimiento de pala o la estructura de cojinete de carga de la pala. Esto a su vez significa que se puede reducir aún más la masa total de la pala.

- 55 Ventajosamente, la pala se preflexiona sobre al menos un 50% del exterior de la pala, ventajosamente sobre al menos un 60% del exterior de la pala, incluso más ventajosamente sobre al menos un 70% del exterior, o incluso al menos un 75% del exterior. En consecuencia, la pala se curva sobre una gran parte en la parte más cercana a la punta.

- 5 En otra realización, la pala se proporciona con un giro, y en donde la región de perfil aerodinámico comprende una parte interna en la cual un ángulo de giro disminuye hacia el extremo de punta de la pala y una parte exterior en la cual el ángulo de giro aumenta hacia el extremo de punta de la pala, dichas partes exterior e interior están separadas por una posición de una inflexión de tangente de giro. Al disminuir el ángulo de giro en una parte interna de la pala, se logra una compensación para la velocidad radial de la pala. El ruido de punta de la pala se reduce dejando que el giro de la parte exterior de la pala aumente hacia la punta.
- 10 El giro se calcula usualmente a partir de un punto de origen definido. Para la presente pala, dicho origen puede por ejemplo definirse en la tangente de inflexión, el giro local en esta posición se define como 0 grados. En consecuencia, es claro que el giro no se considera solo como un ángulo de giro absoluto local, el cual puede variar debido al ángulo de inclinación de la pala que se define, pero que este en lugar podría verse como una variación de giro, por ejemplo, como la diferencia en el ángulo de giro entre un perfil de sección transversal en una primera posición radial de la pala, y un segundo perfil de sección transversal en una segunda posición radial de la pala para un ajuste de inclinación dado de la pala.
- 15 En aún otra realización, la posición de la tangente de inflexión de giro se ubica entre 0.8L y 0.9L, ventajosamente entre 0.82L y 0.88L, más ventajosamente entre 0.83L y 0.87L, e incluso más ventajosamente aproximadamente a 0.85L.
- 20 Ventajosamente, el giro en la región externa es de al menos 4 grados, ventajosamente al menos 5 grados, y más ventajosamente al menos 5.5 grados. En consecuencia, la diferencia en el giro en el punto de tangente de inflexión y en la punta es al menos 4, 5, o 5.5 grados. El giro en la parte interna puede ventajosamente estar entre 8 y 12 grados, ventajosamente entre 8.5 y 11.5 grados, y más ventajosamente entre 9 y 11 grados. En consecuencia, la diferencia del giro en el hombro y el punto de tangente de inflexión está entre 8 y 12 grados.
- En una realización, la pala se proporciona con un giro, el cual en la región de raíz y la región de transición aumenta hacia el extremo de punta de la pala. El aumento en el giro puede por ejemplo en la región de raíz y la región de transición estar entre 1.5 y 2.5 grados. En consecuencia, la variación de giro en esta región está entre 1.5 y 2.5 grados.
- 25 De acuerdo con un segundo aspecto, la invención proporciona un número de perfiles de pala de turbina eólica, los cuales son particularmente efectivos y los cuales se apartan de los perfiles de pala estándar, tal como los perfiles NACA, los cuales se utilizan típicamente para palas de turbina eólica. Los perfiles de pala no sólo se aplican para la pala de turbina eólica de acuerdo con el primer aspecto de la invención.
- En consecuencia, la invención proporciona una pala de turbina eólica, la cual en una sección transversal comprende al menos uno de los siguientes seis perfiles:
- 30 - un primer perfil aerodinámico que tiene un espesor relativo de entre 35% y 37% y una posición de espesor máximo que se ubica entre 0.24c y 0.30c a partir del borde de ataque, ventajosamente se ubica entre 0.25c y 0.29c y más ventajosamente alrededor de 0.26c y 0.28c.
- 35 - un segundo perfil aerodinámico que tiene un espesor relativo de entre 29% y 31% y una posición de un espesor máximo que se ubica entre 0.28c y 0.32c a partir del borde de ataque, ventajosamente entre 0.29c y 0.31c,
- un tercer perfil aerodinámico que tiene un espesor relativo de entre 26.3% y 27.7% y una posición de espesor máximo que se ubica entre 0.28c y 0.32c a partir del borde de salida, ventajosamente entre 0.29c y 0.31c,
- 40 - un cuarto perfil aerodinámico que tiene un espesor relativo de entre 23.5% y 24.5%, ventajosamente entre 23.8% y 24.2%, y una posición de máximo espesor que se ubica entre 0.35c y 0.39c a partir del borde de salida, ventajosamente entre 0.36c y 0.38c a partir del borde de salida,
- 45 - un quinto perfil aerodinámico que tiene un espesor relativo de entre 20.6% y 21.4% y una posición de espesor máximo que se ubica entre 0.35c y 0.39c a partir del borde de salida, ventajosamente entre 0.36c y 0.38c, y
- un sexto perfil aerodinámico que tiene un espesor relativo entre 17.7% y 18.3% y una posición de espesor máximo que se ubica entre 0.37c y 0.41c a partir del borde de salida, ventajosamente entre 0.38c y 0.40c.
- Los perfiles aerodinámicos se definen en relación al espesor relativo del perfil, la posición de cuerda relativa del espesor máximo, y la posición de cuerda relativa a la curvatura máxima del lado de presión. El espesor se define en una dirección perpendicular a la cuerda, y la curvatura del lado de presión se define como la distancia entre el lado de presión de la pala y la cuerda en una dirección perpendicular o normal a la cuerda. Esos parámetros también se describen en la figura 3 y se explican en la descripción acompañante.
- 50 Preferiblemente, la pala comprende una región de raíz, una región de transición, y una región de perfil aerodinámico de acuerdo con la turbina eólica de acuerdo con el primer aspecto de la invención. En dicha realización, los perfiles se ubican en una región de perfil aerodinámico (lado externo del hombro) de la pala.
- 55 En una realización, la pala comprende al menos dos de seis perfiles aerodinámicos. En otra realización, la pala comprende al menos tres de seis perfiles aerodinámicos. En aún otra realización, la pala comprende al menos cuatro de seis perfiles aerodinámicos. La pala puede comprender también al menos cinco de los seis perfiles aerodinámicos, y esta puede incluso comprender todos los seis perfiles aerodinámicos.

Las realizaciones que se mencionan anteriormente y las siguientes realizaciones pueden todas relacionarse con una pala de turbina eólica de acuerdo con el primer aspecto así como una pala de turbina eólica de acuerdo con el segundo aspecto.

5 El primer perfil aerodinámico puede comprender una posición de curvatura del lado de presión máxima ubicada entre 0.24c y 0.30c a partir del borde de ataque, ventajosamente ubicada entre 0.25c y 0.29c y más ventajosamente alrededor de 0.26c y 0.28c. El primer perfil aerodinámico puede ventajosamente ubicarse entre 0.23L y 0.30L.

El segundo perfil aerodinámico puede comprender una posición de curvatura del lado de presión máxima ubicada entre 0.28c y 0.32c a partir del borde de ataque, ventajosamente entre 0.29c y 0.31c. el segundo perfil aerodinámico puede ventajosamente ubicarse entre 0.30L y 0.36L.

10 El tercer perfil aerodinámico puede comprender una posición de curvatura del lado de presión máxima entre 0.255c y 0.295c a partir del borde de ataque, ventajosamente entre 0.265c y 0.285c. El tercer perfil aerodinámico puede ventajosamente ubicarse entre 0.36L y 0.45L.

15 El cuarto perfil aerodinámico puede comprender una posición de curvatura del lado de presión máxima que se ubica entre 0.35c y 0.39c a partir del borde de ataque, ventajosamente entre 0.36c y 0.38c. El cuarto perfil aerodinámico puede ubicarse entre 0.5L y 0.85L, ventajosamente a lo largo de todo el intervalo a partir de 0.67L a 0.8L.

El quinto perfil aerodinámico puede comprender una posición de curvatura del lado de presión máxima que se ubica entre 0.31c y 0.35c a partir del borde de ataque, ventajosamente entre 0.32c y 0.34c. El quinto perfil aerodinámico puede ventajosamente ubicarse entre 0.85L y 0.95L.

20 El sexto perfil aerodinámico puede comprender una posición de curvatura del lado de presión máxima que se ubica entre 0.37c y 0.41c a partir del borde de ataque, ventajosamente entre 0.38c y 0.40c. El sexto perfil aerodinámico puede ventajosamente ubicarse en la punta, entre 0.95L y L.

25 Los nuevos perfiles aerodinámicos y en particular los perfiles aerodinámicos cuarto, quinto y sexto son todos relativamente gruesos y la posición de espesor máximo se ubica relativamente lejos del borde de ataque. También, la posición de curvatura máxima del lado de presión casi coincide con la posición de espesor máximo relativo. Estas características se han encontrado sorpresivamente que tienen una proporción de sustentación a resistencia elevada en el punto de diseño a pesar del espesor relativamente grande de los perfiles. Además, los perfiles aerodinámicos son geoméricamente compatibles. De acuerdo con una realización, una región entre los perfiles aerodinámicos adyacentes comprende una transición suave entre dichos perfiles adyacentes a través de interpolación entre dichos perfiles adyacentes, por ejemplo a través de curvas de distribución Gaussianas. En consecuencia, la región entre el primer perfil aerodinámico y el segundo perfil aerodinámico comprende perfiles interpolados entre el primer perfil aerodinámico, y correspondientemente entre el segundo y el tercer perfil aerodinámico, entre el tercer y el cuarto perfil aerodinámico, entre el cuarto y el quinto perfil aerodinámico, y/o entre el quinto y sexto perfil aerodinámico. Las transiciones deberían por supuesto también contar para la variación del giro en la dirección longitudinal de la pala.

35 La palabra puede ventajosamente proporcionarse con dispositivos de alteración de flujo, tal como generadores de vórtices, en donde dichos dispositivos se disponen en secciones de perfil que tienen un espesor relativo de al menos 30%. En una realización, la pala se proporciona con dispositivos de alteración de flujo, tales como generadores de vórtices, en donde dichos dispositivos se disponen en secciones de perfil que tienen un espesor relativo de máximo 70%.

40 En una realización ventajosamente particular, los dispositivos alteración de flujo son dispositivos de aumento de sustentación.

En consecuencia, el dispositivo se dispone en una región longitudinal donde el espesor de perfil relativo está entre 30% y 70%. De acuerdo con otra realización ventajosa, dicho dispositivo se dispone en un rango entre 0.1L y 0.4L, ventajosamente entre 0.11L y 0.37L. Los dispositivos pueden estar dispuestos en esta región solamente.

45 En otra realización, el espesor relativo de la pala en el hombro está entre 40% y 50%, ventajosamente entre 42% y 48%.

Preferiblemente, la pala comprende un cuerpo de revestimiento. El cuerpo de revestimiento puede por ejemplo ensamblarse a partir de un revestimiento del lado de presión y un revestimiento del lado de succión, los cuales se adhieren o se enlazan entre sí cerca del borde ataque y cerca del borde salida. En otra realización, el revestimiento se fabrica a través de un proceso de una dosis, por ejemplo a través de un método de moldura hueco, cerrado.

50 El cuerpo de revestimiento puede comprender una estructura de soporte de carga que se extiende longitudinalmente, tal como un laminado principal. Dicha estructura de soporte de carga o laminado principal se forma típicamente como una inserción de fibra la cual comprende una diversidad de capas de refuerzo de fibra, por ejemplo, entre 20 y 50 capas. En cada lado de la estructura de soporte carga, la pala típicamente comprende una estructura de emparedado con un material de núcleo, tal como madera de balsa o polímero espumoso, y con una piel interna y externa hecho de polímero reforzado de fibra.

El revestimiento de pala está hecho típicamente de un material polímero reforzado de fibra. Las fibras de refuerzo pueden por ejemplo ser fibras de vidrio, fibra de carbono, fibras de aramida, fibras metálicas, tales como fibras de acero, o fibras vegetales, a la vez que el polímero por ejemplo puede ser epóxico, poliéster o viniléster.

5 De acuerdo con un tercer aspecto, la invención proporciona una turbina eólica que comprende un número de palas, preferiblemente dos o tres, de acuerdo con cualquiera de las realizaciones que se mencionan anteriormente, las palas se extienden sustancialmente radial a partir de un repartidor en un árbol principal que tiene un eje central sustancialmente horizontal, las palas en conjunto con el repartidor constituyen un rotor con un plano rotor, y el cual puede ponerse en rotación por el viento.

10 En una realización, la turbina eólica se controla en inclinación. La turbina eólica se puede regular en potencia. De acuerdo con una realización, una potencia de salida máxima de la turbina eólica está entre 1.3MW y 1.7MW, ventajosamente alrededor de 1.5MW. Esto es, las palas se adecúan particularmente para turbinas eólicas de clase de 1.5MW.

La invención se explica en detalle a continuación con referencia a una realización que se muestra en los dibujos, en los cuales:

15 la figura 1 muestra una turbina eólica,

la figura 2 muestra una vista esquemática de una pala de turbina eólica de acuerdo con la invención,

la figura 3 muestra una vista esquemática de un perfil aerodinámico,

la figura 4 muestra una vista esquemática de la pala de turbina eólica de acuerdo con la invención, que se observa desde arriba y del lado,

20 la figura 5 muestra una distribución de longitud de cuerda de la pala de turbina eólica de acuerdo con la invención,

la figura 6 muestra una distribución de espesor relativo de la pala de turbina eólica de acuerdo con la invención,

la figura 7 muestra una distribución de giro de la pala de turbina eólica de acuerdo con invención,

la figura 8 muestra una distribución de preflexión de la pala de turbina eólica de acuerdo con la invención, y

la figura 9 muestra una curva de potencia de una turbina eólica de acuerdo con una función de velocidad del viento.

25 La figura 1 ilustra 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 rotor sustancialmente horizontal. El rotor incluye un repartidor 8 y tres palas 10 que se extienden radialmente a partir del repartidor 8, teniendo cada una la raíz 16 de pala más cercana al repartidor y una punta 14 de pala más lejana a partir del repartidor 8. El rotor tiene un radio que se denota como R.

30 La figura 2 muestra 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 región 30 de raíz más cercana al repartidor, una región 34 de perfil o aerodinámica más lejana del repartidor y una región 32 de transición entre la región 30 de raíz y la región 34 de perfil aerodinámico. La pala 10 comprende un borde 18 de ataque que encara la dirección de rotación de la pala 10, cuando la pala se monta en el repartidor, y un borde 20 de salida que encara la dirección opuesta del borde 18 de ataque.

35 La región 34 de perfil aerodinámico (también llamada la región de perfil) tiene una forma de pala ideal o casi ideal con respecto a la generación de sustentación, a la vez que la región 30 de raíz debido a consideraciones estructurales tiene una sección transversal sustancialmente circular o elíptica, la cual por ejemplo hace más fácil y seguro montar la pala 10 al repartidor. El diámetro (o la cuerda) de la región 30 de raíz puede ser constante a lo largo de toda el área 40 30 de raíz. La región 32 de transición tiene un perfil de transición que cambia gradualmente a partir de la forma circular o elíptica de la región 30 de raíz al perfil aerodinámico de la región 34 de perfil aerodinámico. La longitud de cuerda de la región 32 de transición típicamente aumenta con el incremento de la distancia r a partir del repartidor. La región 34 de perfil aerodinámico tiene un perfil aerodinámico con una cuerda que se extiende entre el borde 18 de ataque y el borde 20 de salida de la pala 10. El ancho de la cuerda disminuye con el aumento de la distancia r a partir del 45 repartidor.

Un hombro 40 de la pala 10 se define como la posición, donde la pala 10 tiene su longitud de cuerda más larga. El hombro 40 se proporciona típicamente en el límite entre la región 32 de transición y la región 34 de perfil aerodinámico.

50 Se debería notar que las cuerdas de las diferentes secciones de la pala normalmente no están en un plano común, dado que la pala puede girarse y/o curvarse (por ejemplo preflexarse), proporcionando de este modo el plano de cuerda con un curso de giro y/o de curva, siendo este a menudo el caso con el fin de compensar la velocidad local de la pala que está dependiente del radio a partir del repartidor.

Las figuras 3 y 4 describen parámetros, los cuales se utilizan para explicar la geometría de la pala de turbina eólica de acuerdo con la invención.

La figura 3 muestra una vista esquemática de un perfil 50 aerodinámico de una pala típica de una turbina eólica que se describe con los diversos parámetros, los cuales se utilizan típicamente para definir la forma geométrica de un perfil aerodinámico. El perfil 50 aerodinámico tiene un lado 52 de presión y un lado 54 de succión, los cuales durante el uso – por ejemplo durante la rotación del rotor - normalmente están frente hacia el lado de barlovento (o contra el viento) y el lado de sotavento (con el viento), respectivamente. El perfil 50 aerodinámico tiene una cuerda 60 con una longitud c de cuerda que se extiende entre el borde 56 de ataque y un borde 58 de salida de la pala. El perfil 50 aerodinámico tiene una cuerda 60 con una longitud c de cuerda que se extiende entre un borde 56 de ataque y un borde 58 de salida de la pala. El perfil 50 aerodinámico tiene un espesor t , el cual se define como la distancia entre el lado 52 de presión y el lado 54 de succión. El espesor t del perfil aerodinámico varía a lo largo de la cuerda 60. La desviación a partir de un perfil simétrico se da por una línea 62 de curvatura, la cual es una línea media a través del perfil 50 aerodinámico. La línea media se puede encontrar dibujado círculos inscritos a partir del borde 56 de ataque hasta el borde 58 de salida. La línea media sigue los centros de estos círculos inscritos y la desviación o distancia a partir de la cuerda 60 se denomina la curvatura f . La asimetría se puede también definir por el uso de los parámetros denominados curvatura superior (o curvatura del lado de succión) y curvatura inferior (o curvatura del lado de presión), los cuales se definen como las distancias a partir de la cuerda 60 y el lado 54 de succión y el lado 52 de presión, respectivamente.

Los perfiles aerodinámicos se caracterizan a menudo por los siguientes parámetros: la longitud c de cuerda, la curvatura f máxima, la posición d_f de la curvatura f máxima, el espesor t máximo de perfil aerodinámico, el cual es el diámetro más grande de los círculos inscritos a lo largo de la línea 62 de curvatura media, la posición d_t del espesor t máximo, y un radio de nariz (no se muestra). Estos parámetros se definen típicamente como proporciones a la longitud c de cuerda. En consecuencia, un espesor relativo local t/c de pala se da como la proporción entre el espesor t máximo local y la longitud c de cuerda local. Además, se puede usar la posición d_p de la curvatura máxima del lado de presión como un parámetro de diseño, y por supuesto también la posición de la curvatura máxima del lado de succión.

La figura 4 muestra otros parámetros geométricos de la pala. La pala tiene una longitud L total. Como se muestra en la figura 3, el extremo de raíz se ubica en la posición $r = 0$, y el extremo de punta se ubica en $r = L$. El hombro 40 de la pala se ubica en una posición $r = L_w$, y tiene un ancho W de hombro, el cual iguala la longitud de cuerda en el hombro 40. El diámetro de la raíz se define como D . La curvatura del borde de salida de la pala en la región de transición puede definirse por dos parámetros, frente a un radio r_o de curvatura mínimo externo y un radio r_i de curvatura interno los cuales se definen como el radio de curvatura mínimo del borde de salida, que se observan desde afuera (o detrás del borde de salida), y el radio de curvatura mínimo, que se observa desde adentro (o en frente del borde de salida), respectivamente. Además, la pala se proporciona con una preflexión, la cual se define como Δy , la cual corresponde a la salida del plano de deflexión a partir de un eje 22 de inclinación de la pala.

Ejemplo:

A continuación se da un ejemplo de una pala de turbina eólica de acuerdo con la invención.

La pala de turbina eólica se proporciona con los siguientes parámetros de longitud, ancho de hombro, radio de curvatura mínimo para el borde salida y diámetro del cilindro de raíz:

Tabla 1

Parámetro	Tamaño
L	42.13m
L_w	8.5m
W	2.975m
r_o	10.3m
r_i	11.3m
D	1.893m

La distribución de la longitud c de cuerda, el espesor t/c relativo, y la preflexión Δy se enumeran en la Tabla 2:

Tabla 2

r[m]	c [cm]	t/c [%]	Δy [cm]
0	189.3	100	0
1	189.3	100	0
2	192.5	98.2	0
4	223.8	80.2	0
6	267.8	60.2	0
8	295.8	46.6	0.1
10	292.7	39.2	1.6
12	277.3	34.4	5.2
14	256.9	30.8	10.5
16	233.7	28.1	17.8
18	210.7	26.2	26.8
20	190.6	25.0	37.6
22	173.1	24.3	50.2
24	157.8	24.1	64.5
26	144.3	24.1	80.6
28	132.0	24.0	98.5
30	120.6	24.0	118.0
32	109.7	24.0	139.3
34	99.1	24.0	162.2
36	89.3	23.4	187.3
38.355	79.3	21.7	222.3
40.861	63.4	18.8	270.1
42.13	4.0	18.0	300.0

5 La pala de turbina eólica comprende seis nuevos perfiles 41-46 de pala, los cuales se ubican en diferentes posiciones longitudinales a lo largo de la pala y como se muestra en la figura 2. La tabla 3 enumera el espesor t/c relativo, la posición del espesor d/c máximo, la posición de los perfiles d_p/c de curvatura de lado de presión máxima y la posición r radial aproximada:

Tabla 3

Perfil aerodinámico	Numeral de referencia	t/c	d/c	d_p/c	r
Primer	41	36%	27.1%	26.6%	11.0m
Segundo	42	30%	29.6%	29.7%	14.5m
Tercer	43	27%	29.8%	27.2%	17.0m
Cuarto	44	24%	37.1%	36.8%	26.0m – 34.0m

Perfil aerodinámico	Numeral de referencia	t/c	d/c	d_p/c	r
Quinto	45	21%	37.0%	33.0%	39.0m
Sexto	46	18%	39.2%	39.4%	41.8m – 42.13m

5 Los perfiles aerodinámicos se han encontrado que proporcionan sorpresivamente proporciones elevadas de sustentación a resistencia que los perfiles aerodinámicos de turbina eólica convencionales y en particular en comparación a los perfiles NACA. Los seis perfiles son compatibles aerodinámicamente, y las regiones entre los perfiles aerodinámicos adyacentes comprenden una transición suave entre dichos perfiles adyacentes a través de la interpolación entre dichos perfiles adyacentes, por ejemplo a través de curvas de distribución Gaussianas. Las transiciones también cuentan para la variación del giro en la dirección longitudinal de la pala y la transición se observa en consecuencia que es tridimensional.

10 Las figuras 5-8 representan gráficas de la distribución de cuerda c , el espesor t/c relativo, el giro θ , y la preflexión Δy de la pala de turbina eólica de acuerdo con el ejemplo (que se denota LM42.1 p) como una función de la posición r/L radial relativa. Las gráficas se comparan con las de la pala LM40.3p de la técnica anterior, la cual tiene una longitud de pala de 40.0m y en consecuencia se compara con la pala actual.

15 A partir de la figura 5, se puede observar que el ancho del hombro de la pala actual es aproximadamente 8% más pequeño que el de la pala de la técnica anterior. Además, se debería notar que el eje x representa la posición radial relativa de la pala. En consecuencia, el ancho del hombro relativo de la pala actual se ha reducido incluso más del 8%.

20 La figura 6 representa una gráfica del espesor de la pala relativo como una función de la posición de la pala radial relativa. Se observa que el espesor relativo de la pala actual es mucho más elevado que el espesor relativo de la pala de la técnica anterior, en particular en el rango a partir de $0.5L$ a $0.9L$. En el rango a partir de $0.6L$ a $0.8L$ el espesor relativo es aproximadamente 33% más grande que la pala de la técnica anterior.

25 La figura 7 muestra la distribución de giro de la pala actual comparada con la pala de la técnica anterior. Se puede observar que el giro aumenta en la región de raíz y la región de transición opuesta a la pala de la técnica anterior, donde el giro es sustancialmente constante o disminuye ligeramente en esta región. El giro disminuye en una parte interna de la región de perfil aerodinámico y aumenta en una parte externa de la región de perfil aerodinámico. La parte interna y la parte externa se separan por una posición de una tangente de inflexión de giro. El giro en la tangente de inflexión se define como un giro de 0 grados. La tangente de inflexión se ubica en $r = 0.855L$, lo cual es mucho más hacia adentro que la pala de la técnica anterior, donde la tangente de inflexión se ubica en $r = 0.943L$. El giro máximo de la pala actual es 10.28 grados, el cual es más pequeño que el giro máximo de 11 grados de la pala de la técnica anterior.

30 La figura 8 representa la preflexión de la pala, y se puede observar que la preflexión absoluta total de la pala actual es 50% más grande que la de la pala de la técnica anterior.

35 Todas estas diferencias, y en particular un hombro más estrecho, una pala relativamente gruesa y una preflexión más grande combinada hace posible obtener una pala ligera, lo cual mecánicamente es sólo fuerte, pero más eficiente aerodinámicamente. De hecho, la pala actual tiene una masa menor que la pala de la técnica anterior a pesar de que esta es más larga. Las cargas que las dos palas impondrían en una turbina eólica son comparables, lo cual significa que la pala actual fácilmente puede reemplazar la pala de la técnica anterior sin tener que redimensionar la turbina eólica como tal.

40 La figura 9 esquemáticamente ilustra una primera curva 80 de potencia que muestra la salida de potencia de una turbina eólica que se proporciona con las palas de la técnica anterior y una segunda curva 81 de potencia que muestra la salida de potencia de una turbina eólica que se proporciona con las palas de acuerdo con la presente invención, ambas gráficas se ilustran como una función de la velocidad v_w del viento. Se puede observar que la salida de potencia aumenta más rápidamente como una función de la velocidad del viento hasta el nivel de regulación de potencia de la turbina eólica. El aumento en la producción de energía anual (AEP) se relaciona con la diferencia entre las dos curvas y en consecuencia el área 82 sombreada de la gráfica. El aumento en AEP se proyecta a ser 4%.

45 Lista de numerales de referencia

- 2 turbina eólica
- 4 torre
- 6 góndola
- 8 repartidor

- 10 pala
- 14 punta de la pala
- 16 raíz de la pala
- 18 borde de ataque
- 5 20 borde de salida
- 22 eje de inclinación
- 30 región de raíz
- 32 región de transición
- 34 región de perfil aerodinámico
- 10 41 primer perfil aerodinámico
- 42 segundo perfil aerodinámico
- 43 tercer perfil aerodinámico
- 44 cuarto perfil aerodinámico
- 45 quinto perfil aerodinámico
- 15 46 sexto perfil aerodinámico
- 50 perfil aerodinámico
- 52 lado de presión
- 54 lado de succión
- 56 borde de ataque
- 20 58 borde de salida
- 60 cuerda
- 62 línea de curvatura / línea media
- 80 curva de potencia de turbina eólica con palas de la técnica anterior
- 81 curva de potencia de turbina eólica con palas nuevas
- 25 82 aumento en la salida de potencia
- c longitud de cuerda
- d_t posición de espesor máximo
- d_f posición de curvatura máxima
- d_p posición de curvatura del lado de presión máxima
- 30 f curvatura
- L longitud de pala
- P potencia de salida
- r radio local, distancia radial a partir de la raíz de la pala
- t espesor
- 35 v_w velocidad del viento
- θ giro, inclinación
- Δy preflexión

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una pala (10) para un rotor de una turbina (2) eólica que tiene un árbol rotor sustancialmente horizontal, comprendiendo dicho rotor un repartidor (8), a partir del cual la pala (10) se extiende sustancialmente en una dirección radial cuando está montada al repartidor (8), teniendo la pala una dirección (r) longitudinal con un extremo (16) de punta y un extremo (14) de raíz y una dirección transversal, comprendiendo la pala además:
- un contorno de perfil que incluye un lado de presión y un lado de succión, así como un borde (18) de ataque y un borde (20) de salida con una cuerda que tiene una longitud (c) de cuerda que se extiende entre estos, el contorno de perfil, cuando se impacta por un flujo de aire incidente, genera sustentación, en donde el contorno de perfil se divide en:
- 10
- una región (30) de raíz que tiene un perfil sustancialmente circular o elíptico más cercano al repartidor,
 - una región (34) de perfil aerodinámico que tiene un perfil que genera sustentación más lejos del repartidor, y
 - una región (32) de transición entre la región (30) de raíz y la región (34) de perfil aerodinámico, la región (32) de transición tiene un perfil que cambia gradualmente en la dirección radial a partir del perfil circular o elíptico de la región de raíz al perfil que genera sustentación de la región aerodinámica, y con
- 15
- un hombro (40) que tiene un ancho (W) de hombro y ubicado en el límite entre la región (32) de transición y la región (34) aerodinámica, en donde
 - la pala (10) tiene una longitud (L) de pala, y
 - el contorno de perfil comprende un espesor local relativo que se define como la proporción local entre un espesor (t) de perfil máximo y la longitud (c) de cuerda,
- 20
- la proporción entre el ancho (W) de hombro y la longitud (L) de pala es menor que o igual a 0.075, y caracterizado porque
 - el espesor (t/c) relativo en el intervalo de longitud de pala de 0-0.8L es al menos 22%.
- 25 2. Una pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones presentes, donde la región de raíz tiene un diámetro (D) de raíz en el extremo de raíz de la pala, en donde la proporción entre el ancho (W) del hombro y el diámetro de raíz es 1.6 o menos.
- 30 3. Una pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el borde de salida tiene una forma suave sin alguna discontinuidad en la dirección longitudinal de la pala, por ejemplo en donde el borde de salida tiene una curvatura con un radio exterior (ro) externo al borde de salida, el cual en todas las posiciones es al menos 0.2L, ventajosamente al menos 0.22L, y más ventajosamente al menos 0.24L, y/o en donde el borde de salida tiene una curvatura con un radio (ri) interior interno al borde de salida, el cual en todas las posiciones es al menos 0.2L, ventajosamente al menos 0.225L, y más ventajosamente al menos 0.25L.
- 35 4. Una pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el hombro se ubica en un intervalo entre 0.18L y 0.25L, ventajosamente entre 0.19L y 0.24L, y/o el espesor relativo de la pala en el hombro esta entre 40% y 50%, ventajosamente entre 42% y 48%.
- 40 5. Una pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la pala turbina eólica se preflexiona hacia el lado de presión de la pala, y una preflexión (Δy) en el extremo de punta de la pala es al menos 0.05L, ventajosamente al menos 0.06L, más ventajosamente al menos 0.65L, e incluso más ventajosamente al menos 0.07L, por ejemplo en donde la pala se preflexiona sobre al menos un 50% del exterior de la pala, ventajosamente sobre al menos un 60% del exterior de la pala, incluso más ventajosamente sobre al menos un 70% del exterior, o incluso al menos un 75% del exterior.
- 45 6. Una pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la pala se proporciona con un giro, y en donde la región de perfil aerodinámico comprende una parte interna en la cual un ángulo de giro disminuye hacia el extremo de punta de la pala y una parte exterior en la cual el ángulo de giro aumenta hacia el extremo de punta de la pala, dicha parte externa y parte interna están separadas por una posición de una tangente de inflexión de giro, por ejemplo en donde la posición de la tangente de inflexión de giro se ubica entre 0.8L y 0.9L, ventajosamente entre 0.82L y 0.88L, más ventajosamente entre 0.83L y 0.87L, e incluso más ventajosamente aproximadamente a 0.85L.
- 50 7. Una pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 6, en donde el giro en la región externa varía al menos 4 grados, ventajosamente al menos 5 grados, y más ventajosamente al menos 5.5 grados, y/o el giro de la parte interna varía entre 8 y 12 grados, ventajosamente entre 8.5 y 11.5 grados, y más ventajosamente entre 9 y 11 grados.

8. Una pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la pala comprende un primer perfil aerodinámico que tiene un espesor relativo de entre 35% y 37% y una posición de espesor máximo que se ubica entre 0.24c y 0.30c a partir del borde de ataque, ventajosamente se ubica entre 0.25c y 0.29c y más ventajosamente alrededor de 0.26c y 0.28c, por ejemplo en donde el primer perfil aerodinámico comprende una posición de curvatura del lado de presión máxima que se ubica entre 0.24c y 0.30c a partir del borde de ataque, ventajosamente se ubica entre 0.25c y 0.29c y más ventajosamente alrededor de 0.26c y 0.28c, y/o el primer perfil aerodinámico se ubica entre 0.23L y 0.30L.
9. Una pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la pala comprende un segundo perfil aerodinámico que tiene un espesor relativo de entre 29% y 31% y una posición de espesor máximo que se ubica entre 0.28c y 0.32c a partir del borde de ataque, ventajosamente entre 0.29c y 0.31c, por ejemplo en donde el segundo perfil aerodinámico comprende una posición de curvatura del lado de presión máxima que se ubica entre 0.28c y 0.32c a partir del borde de ataque, ventajosamente entre 0.29c y 0.31c, y/o el segundo perfil aerodinámico se ubica entre 0.30L y 0.36L.
10. Una pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la pala comprende un tercer perfil aerodinámico que tiene un espesor relativo de entre 26.3% y 27.7% y una posición de espesor máximo que se ubica entre 0.28c y 0.32c a partir del borde de ataque, ventajosamente entre 0.29c y 0.31c, por ejemplo en donde el tercer perfil aerodinámico comprende una posición de curvatura máxima del lado de presión que se ubica entre 0.255c y 0.295c a partir del borde de ataque, ventajosamente entre 0.265c y 0.285c, y/o el tercer perfil aerodinámico se ubica entre 0.36L y 0.45L.
11. Una pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la pala comprende un cuarto perfil aerodinámico que tiene un espesor relativo de entre 23.5% y 24.5%, ventajosamente entre 23.8% y 24.2%, y una posición de espesor máximo que se ubica entre 0.35c y 0.39c a partir del borde de ataque, ventajosamente entre 0.36c y 0.38c a partir del borde de ataque, por ejemplo en donde el cuarto perfil aerodinámico comprende la posición de curvatura máxima del lado de presión que se ubica entre 0.35c y 0.39c a partir del borde de ataque, ventajosamente entre 0.36c y 0.38c, y/o el cuarto perfil aerodinámico se ubica entre 0.5L y 0.85L, ventajosamente a lo largo de todo el intervalo a partir de 0.6L a 0.8L.
12. Una pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la pala comprende un quinto perfil aerodinámico que tiene un espesor relativo de entre 20.6% y 21.4% y una posición de espesor máximo que se ubica entre 0.35c y 0.39c a partir del borde ataque, ventajosamente entre 0.36c y 0.38c, por ejemplo en donde el quinto perfil aerodinámico comprende la posición de curvatura máxima del lado de presión que se ubica entre 0.31c y 0.35c a partir del borde ataque, ventajosamente entre 0.32c y 0.34c, y/o el quinto perfil aerodinámico se ubica entre 0.85L y 0.95L.
13. Una pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la pala comprende un sexto perfil aerodinámico que tiene un espesor relativo de entre 17.7% y 18.3% y una posición de espesor máximo que se ubica entre 0.37c y 0.41c a partir del borde de ataque, ventajosamente entre 0.38c y 0.40c, por ejemplo en donde el sexto perfil aerodinámico comprende la posición de curvatura máxima del lado de presión que se ubica entre 0.37c y 0.41c a partir del borde de ataque, ventajosamente entre 0.38c y 0.40c, y/o el sexto perfil aerodinámico se ubica en la punta, entre 0.95L y L.
14. Una pala de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la pala se proporciona con dispositivos de alteración de flujo, tal como generadores de vórtice, en donde dichos dispositivos se disponen en secciones de perfil que tienen un espesor relativo de al menos 30%, y/o dichos dispositivos se disponen en secciones de perfil que tienen un espesor relativo de máximo 70%.
15. Una turbina eólica que comprende un número de palas, preferiblemente dos o tres, de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, las palas se extienden sustancialmente radiales a partir de un repartidor en un árbol principal que tiene un eje central sustancialmente horizontal, las palas en conjunto con el repartidor constituyen un rotor con un plano rotor, y en el cual se puede poner en rotación por el viento, en donde la turbina eólica puede opcionalmente inclinarse de manera controlada y/o regularse en potencia, por ejemplo con una potencia de salida máxima de la turbina eólica que está entre 1.3 MW y 1.7 MW, ventajosamente alrededor de 1.5 MW.

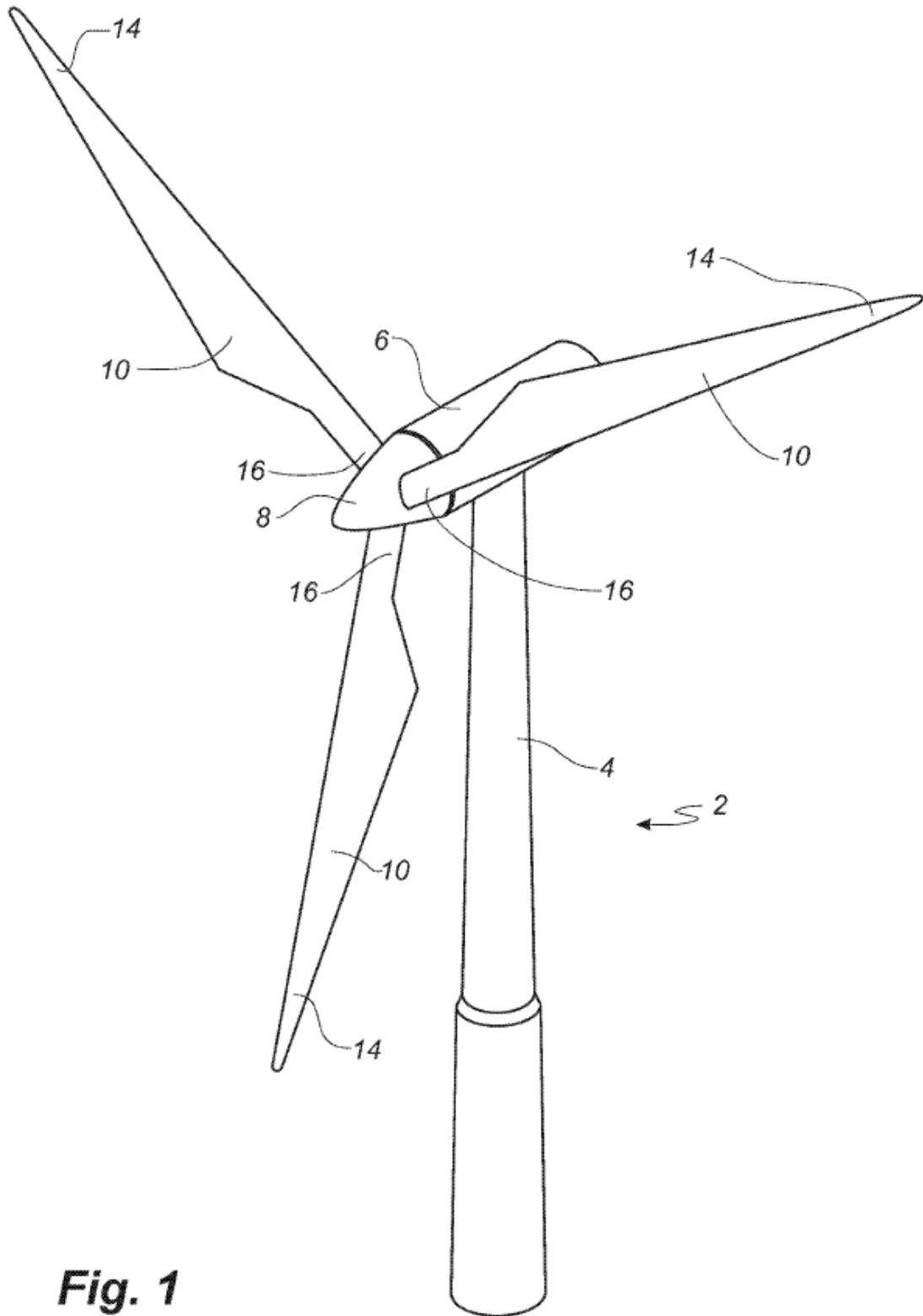


Fig. 1

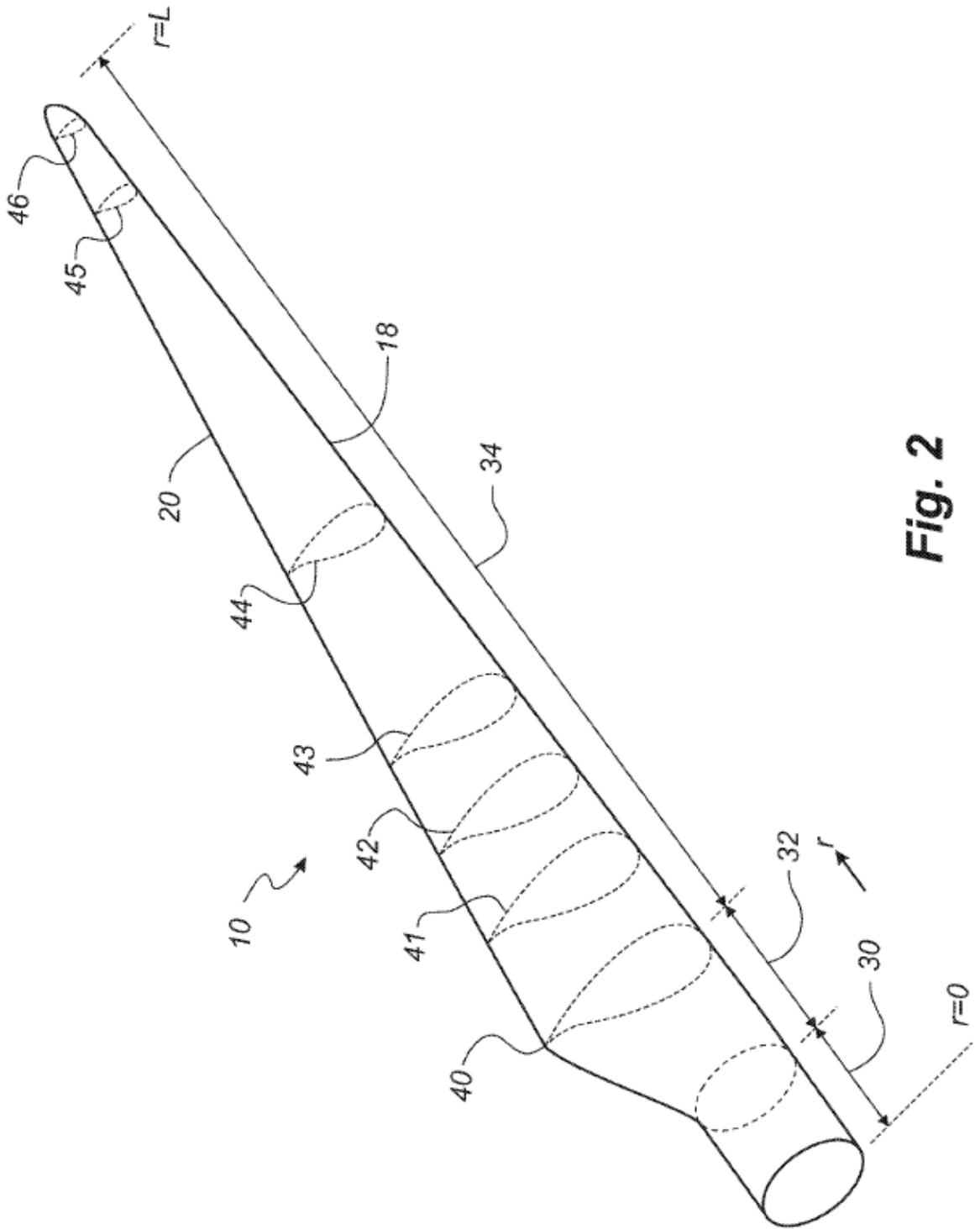


Fig. 2

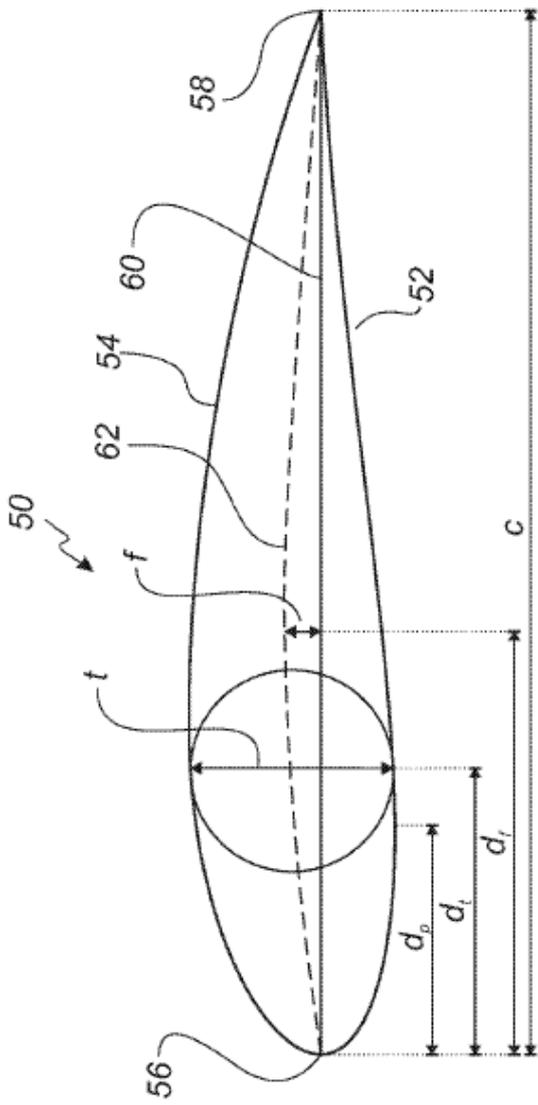


Fig. 3

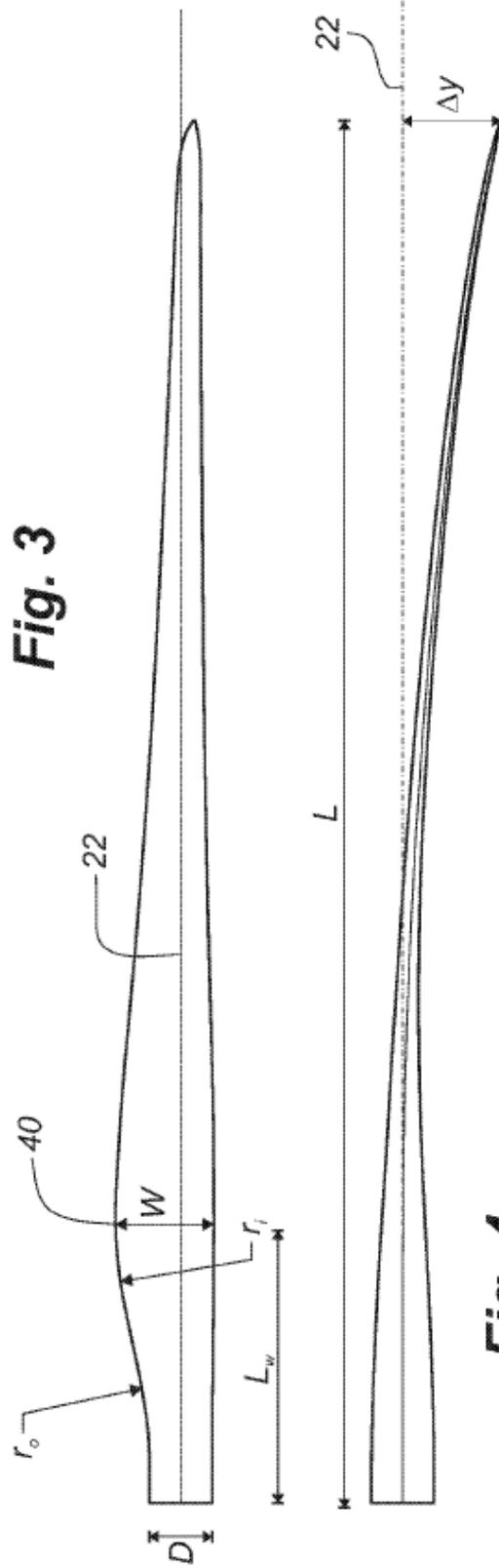


Fig. 4

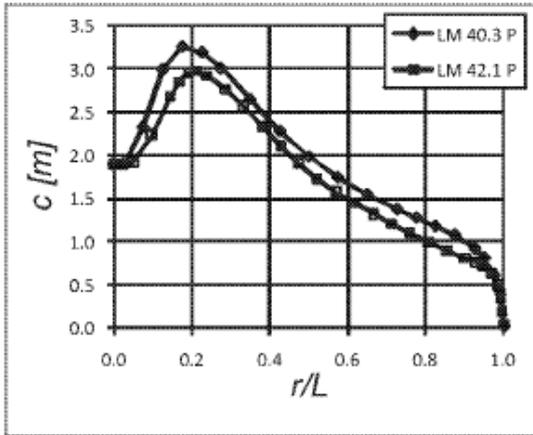


Fig. 5

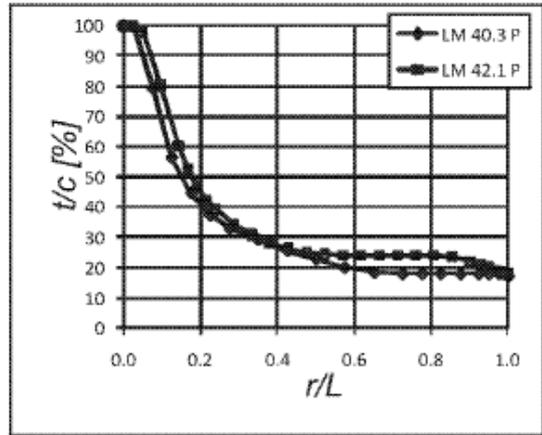


Fig. 6

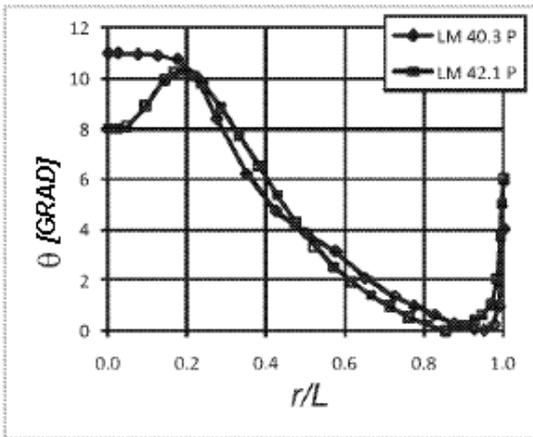


Fig. 7

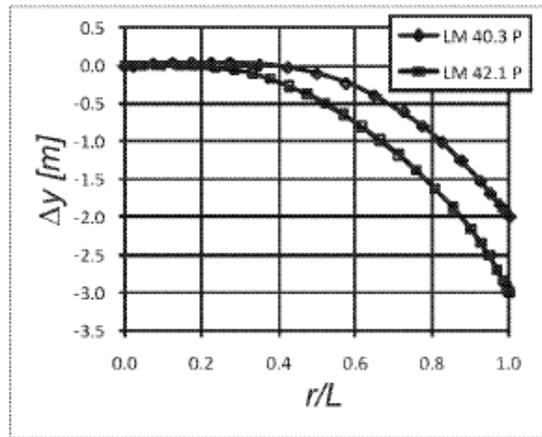


Fig. 8

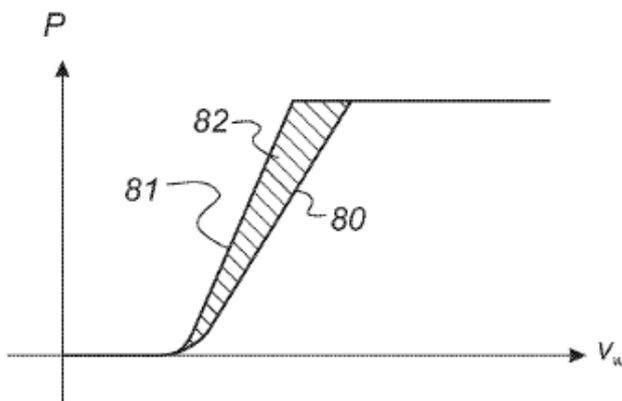


Fig. 9