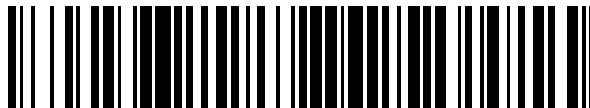


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 741 534**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.10.2009** **E 09172597 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2019** **EP 2360374**

54 Título: **Pala de turbina eólica que tiene un dispositivo de guía de flujo orientado hacia delante**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.02.2020

73 Titular/es:

LM WIND POWER A/S (100.0%)
Jupitervej 6
6000 Kolding, DK

72 Inventor/es:

FUGLSANG, PETER;
BOVE, STEFANO;
GRABAU, PETER;
SUBRAHMANYAM, V.V.;
LUND, BRIAN;
JENSEN, LARS E. y
RADHAKRISHNAN, SREERAM KOTTUMUKLU

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 741 534 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 que tiene un dispositivo de guía de flujo orientado hacia delante

5 La presente invención se refiere a una pala para un rotor de una turbina eólica que tiene un eje del rotor sustancialmente horizontal, comprendiendo dicho rotor un concentrador, desde el que la pala se extiende sustancialmente en una dirección radial cuando se monta en el concentrador, teniendo la pala una dirección longitudinal con un extremo de punta y un extremo de raíz, y una dirección transversal, comprendiendo la pala, además : un contorno perfilado 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 ellos, el contorno perfilado, cuando se impacta por un flujo de aire incidente, genera una elevación, en el que la pala está dotada de un dispositivo de guía de flujo añadido a y que sobresale del contorno perfilado de la pala en el lado de presión de la pala.

10 Idealmente, una hoja de turbina eólica del tipo aerodinámico tiene una forma similar al perfil de un ala de avión, donde el ancho de plano de cuerda de la pala, así como la primera derivada de la misma, aumentan de manera continua con la disminución de la distancia del concentrador. Esto da como resultado que la pala idealmente se ensancha comparativamente en las proximidades del concentrador. Esto de nuevo resulta en problemas cuando que se tiene que montar la pala en el concentrador y, además, esto provoca grandes cargas durante la operación de la pala, tales como cargas de tormenta, debido a la gran área de superficie de la pala.

15 Por tanto, a lo largo de los años, la construcción de palas se ha desarrollado hacia una forma, en la que la pala consiste en una región de raíz más cercana al concentrador, una región aerodinámica que comprende un perfil generador de elevación lo más alejado posible del concentrador y una región de transición entre la región de raíz y la región aerodinámica. La región aerodinámica tiene una forma de pala ideal o casi ideal con respecto a la generación de elevación, mientras que la región de raíz tiene una sección transversal sustancialmente circular, lo que reduce las cargas de tormenta y hace más fácil y seguro montar la pala al concentrador. El diámetro de la región de raíz es preferiblemente constante a lo largo de toda la región de raíz. Debido a la sección transversal circular, la región de raíz no contribuye a la producción energética de la turbina eólica y, de hecho, reduce esto un poco debido al arrastre. Como sugiere el nombre, la región de transición tiene una forma que cambia gradualmente de la forma circular de la región de raíz al perfil aerodinámico de la región aerodinámica. Normalmente, la anchura de la pala en la región de transición aumenta sustancialmente de manera lineal cuando aumenta la distancia desde el concentrador.

20 Como, por ejemplo, las palas para turbinas eólicas se han hecho cada vez más grandes en el transcurso del tiempo, y ahora pueden tener más de 60 metros de largo, la demanda de un rendimiento aerodinámico optimizado ha aumentado. Las palas de turbina eólica están diseñadas para tener una vida útil de al menos 20 años. Por tanto, incluso pequeños cambios en el funcionamiento general de la pala pueden acumular a lo largo de la vida útil de una pala de turbina eólica hasta un alto aumento de las ganancias financieras, que superan los costes de fabricación adicionales relacionados con tales cambios. Las áreas de investigación se han orientado hacia la mejora de la región aerodinámica de la pala desde hace muchos años, pero durante los últimos años, cada vez se ha orientado más la investigación a mejorar también el rendimiento aerodinámico de las regiones de raíz y de transición de la pala.

El documento WO2007/065434 da a conocer una pala donde la región de raíz se proporciona con muescas y/o salientes con el fin de disminuir el arrastre de esta parte de la pala.

El documento WO2007/045244 da a conocer una pala en la que la región de raíz y la región de transición está diseñada para tener al menos dos perfiles aerodinámicos separados para aumentar la elevación de estas regiones.

40 WO0208600 describe una turbina eólica en la que la producción de la turbina eólica se incrementa proporcionando a la sección raíz de una turbina eólica con un miembro que está diseñado de tal manera que el conjunto formado por el miembro y la sección de raíz puede absorber energía eólica y aumenta la eficiencia global de la turbina eólica.

45 El documento WO2007/118581 da a conocer una pala en la que la parte interna de la pala está dotada de un dispositivo de guía de flujo en el lado de presión de la pala con el fin de retrasar la separación del flujo de aire y aumentar el rendimiento aerodinámico de la pala. Sin embargo, el diseño propuesto es muy rígido debido a la sección transversal triangular y, por lo tanto, el dispositivo de guía de flujo tiene una tendencia a separarse de la superficie de la pala cuando la pala se dobla.

50 El documento EP 1 845 258 da a conocer una pala que tiene un dispositivo similar a un flap Gurney dispuesto en la parte de transición de la pala. El dispositivo similar al flap Gurney tiene una curvatura cóncava y se dispone en el borde de salida en el lado de presión de la pala.

Es un objeto de la invención obtener una nueva pala, y que supera o mejora al menos una de las desventajas de la técnica anterior o que proporciona una alternativa útil.

55 Según un primer aspecto de la invención, el dispositivo de guía de flujo de la pala tiene una superficie frontal orientada hacia el flujo de aire en sentido contrario y que tiene un punto proximal ubicado en el contorno perfilado y un punto distal ubicado a una distancia (es decir con un espacio) del contorno perfilado de la pala, en el que el contorno perfilado tiene una superficie normal en el punto proximal, y en el que la superficie frontal del dispositivo de guía de flujo comprende al

menos una primera parte que está en ángulo hacia un flujo de aire en sentido contrario de manera que una tangente media o línea mediana a dicha primera parte forma un primer ángulo, siendo la superficie normal mayor de 0 grados.

5 Por consiguiente, la superficie frontal del dispositivo de guía de flujo, vista desde el punto proximal, está en ángulo hacia el flujo de aire en sentido contrario y por tanto, también hacia el borde de ataque de la pala. Por tanto, cuando el contorno perfilado de la pala se ve afectado por el flujo de aire incidente, el dispositivo de guía de flujo crea una bolsa de
 10 aire en frente de la superficie frontal, lo que aumenta la presión local en frente del dispositivo de guía de flujo, y que guía el flujo de aire alrededor del dispositivo de guía de flujo. Además, el dispositivo de guía de flujo funciona como una obstrucción al flujo en el lado de presión del perfil. Hacia abajo del dispositivo de guía de flujo, es decir, normalmente entre el dispositivo de guía de flujo y el borde de salida de la pala, ocurre una separación del flujo de aire. Esta
 15 obstrucción resulta en una mayor presión después del dispositivo de guía de flujo, es decir, entre el dispositivo de guía de flujo y el borde de salida de la pala de turbina eólica, debido a un desprendimiento del flujo. Por tanto, la presión se incrementa tanto delante como detrás del dispositivo de guía de flujo, lo que a su vez aumenta la elevación significativamente en esta sección de la pala en los ángulos de flujo de entrada que rigen esta sección. Una estimación realista de la mejora potencial del funcionamiento es del 1 -2% de rendimiento energético anual en comparación con las palas de turbinas eólicas convencionales sin dispositivos de guía de flujo de este tipo.

El dispositivo de guía de flujo está fijado preferiblemente de manera permanente a la superficie de la pala de turbina eólica y no puede controlarse activamente. Por tanto, la orientación de la superficie frontal no es ajustable. Además, se reconoce que el dispositivo de guía de flujo se utiliza para aumentar la elevación y el rendimiento energético. Por tanto, el dispositivo de guía de flujo puede denotarse alternativamente como un dispositivo de elevación alta.

20 Por flujo incidente se entiende las condiciones de entrada de flujo en una sección de pala durante el uso normal de la pala, es decir, rotación en un rotor de turbina eólica. Por tanto, el flujo entrante es el de entrada de flujo formado por el resultado de la velocidad axial del viento y el componente rotativo como se puede observar por la sección local de la pala. Por flujo en sentido contrario se entiende el flujo que impacta el dispositivo de guía de flujo, es decir, el flujo local en el lado de presión de la pala que se junta y que impacta el dispositivo de guía de flujo.

25 Los términos tangente media o línea mediana en el presente documento significan que la primera parte de la superficie frontal en promedio está en ángulo hacia el flujo en sentido contrario. Esto corresponde a un ajuste lineal a la primera parte de la superficie frontal del dispositivo de guía de flujo en ángulo hacia el flujo en sentido contrario y el borde de ataque de la pala.

30 La primera parte en ángulo hacia delante también resulta en una tangente al perfil y la tangente o línea mediana a la primera parte de la superficie frontal formando un ángulo inferior a 90 grados.

De las definiciones, está claro que la superficie frontal puede comprender una segunda parte, que no está en ángulo hacia el flujo en sentido contrario y el borde de ataque de la pala.

35 Según una realización ventajosa, el primer ángulo es al menos 5 grados, o al menos 10 grados, o al menos 15 grados. El primer ángulo puede incluso ser al menos 20 grados o al menos 25 grados o al menos 30 grados. Ángulos mayores proporcionan de forma más eficiente la bolsa de aire y también pueden disminuir el arrastre, dado que la superficie frontal no tiene que sobresalir tanto de la superficie con el fin de proporcionar la acumulación de presión en frente del dispositivo de guía de flujo. Por otro lado, los ángulos mayores hacen que la altura efectiva del dispositivo de guía de flujo sea más pequeña.

40 Según otra realización ventajosa, la superficie frontal es cóncava. La superficie frontal del dispositivo de guía de flujo puede guiar el flujo de aire a través de la superficie cóncava y, por tanto, contribuir además a formar una zona de recirculación en frente del dispositivo de guía de flujo.

Sin embargo, según otra realización simple y ventajosa, la superficie frontal es sustancialmente recta. Por tanto, la primera parte de la superficie frontal se extiende a lo largo de toda la superficie frontal.

45 Según otra realización, la superficie frontal en promedio está en ángulo hacia un flujo en sentido contrario. En otras palabras, una línea dibujada entre el punto proximal y el punto distal estará en ángulo hacia el flujo en sentido contrario y el borde de ataque de la pala y, por tanto, formará un ángulo con la superficie normal siendo mayor que 0 grados.

50 Según otra realización ventajosa, la primera parte de la superficie frontal está ubicada en una parte exterior de la superficie frontal, es decir, una parte más cercana al punto distal de la superficie frontal. Por tanto, la parte exterior de la superficie frontal desplazará el flujo lejos de la superficie de la pala, alrededor del dispositivo de guía de flujo y luego lejos de la superficie de la pala en la zona entre el dispositivo de guía de flujo y el borde de salida. Esta forma zonas de flujo recirculantes con antelación a - y después - del dispositivo de guía de flujo.

55 En una realización según la invención, la tangente media o la línea mediana (o una línea ajustada linealmente) a al menos la primera parte del dispositivo de guía de flujo además está en ángulo hacia delante en comparación con una segunda normal, siendo una normal a la cuerda, por lo que dicha línea y la segunda normal forman un segundo ángulo que es de al menos 0 grados. Del mismo modo, el segundo ángulo puede ser de al menos 5 grados, o al menos 10 grados, o al menos 15 grados, o al menos 20 grados.

El dispositivo de guía de flujo se forma como un dispositivo que se extiende longitudinalmente. Según una realización ventajosa, el dispositivo de guía de flujo se extiende a lo largo al menos un 5% de una extensión longitudinal de la pala de turbina eólica. Una vez más, la extensión longitudinal del dispositivo de guía de flujo puede ser al menos 7%, 10%, 15%, o incluso 20% de la extensión longitudinal o longitud de la pala.

5 Según otra realización, el dispositivo de guía de flujo que se extiende longitudinalmente se extiende a lo largo de al menos 1 metro de la pala, o al menos 2 metros, o al menos 3 metros, o al menos 4 metros, o al menos 5 metros, o al menos 6 metros, o incluso al menos 8 o 10 metros de la pala de turbina eólica.

10 Preferiblemente, el dispositivo de guía de flujo está en ángulo hacia delante en al menos una parte central del dispositivo de guía de flujo que se extiende longitudinalmente. La parte central puede extenderse a lo largo de al menos 50%, 60%, 70%, 80%, o 90% de la extensión longitudinal del dispositivo de guía de flujo. Sin embargo, extremos longitudinales del dispositivo de guía de flujo pueden diseñarse de manera diferente, por ejemplo, para minimizar la formación de vórtices.

15 Según una realización ventajosa, el dispositivo de guía de flujo está dispuesto para generar una separación de flujo de aire a lo largo de al menos la parte longitudinal central del dispositivo de guía de flujo desde el lado de presión de la pala en un punto entre el dispositivo de guía de flujo y el borde de salida de la pala, cuando la pala se impacta por el flujo de aire incidente. Por tanto, al menos una parte longitudinal central de un dispositivo de guía de flujo que se extiende longitudinalmente está adaptada y dispuesta para generar una separación de flujo de aire y, por tanto, para crear un aumento de presión en frente de y detrás del dispositivo de guía de flujo. Se reconoce que el dispositivo que se extiende longitudinalmente puede disponerse en la zona de transición de la pala y, por tanto, que toda la parte longitudinal central puede ubicarse dentro de una zona de transición de la pala.

20 Según otra realización ventajosa, el dispositivo de guía de flujo en al menos la parte longitudinal central está dispuesto para que el punto proximal tenga una posición de cuerda relativa, visto desde el borde de ataque de la pala, situándose en un intervalo entre 40% y 92%.

25 Según aún otra realización ventajosa, el punto proximal se ubica entre una posición de máximo grosor relativo y el borde de salida de la pala.

30 Normalmente, el contorno perfilado de la pala de turbina eólica se divide en: una región de raíz que tiene un perfil esencialmente circular o elíptico más cercano al concentrador, una región aerodinámica que tiene un perfil generador de elevación más alejado del concentrador, y una zona de transición entre la región de raíz y la región aerodinámica, presentando la zona de transición un perfil que cambia gradualmente en la dirección radial del perfil circular o elíptico de la región de raíz al perfil generador de elevación de la región aerodinámica.

35 Según una realización ventajosa, el dispositivo de guía de flujo se extiende a lo largo de una parte longitudinal de la zona de transición. El dispositivo de guía de flujo es particularmente ventajoso en esta región de la pala, donde el contorno perfilado es subóptimo, y se ha demostrado que la energía eólica extraída de esta parte de la pala puede incrementarse significativamente utilizando un dispositivo guía de flujo de este tipo. El dispositivo de guía de flujo puede extenderse, por ejemplo, a lo largo de al menos el 75% de la extensión longitudinal de la zona de transición.

Según otra realización ventajosa, el dispositivo de guía de flujo se extiende a lo largo de sustancialmente toda la longitud longitudinal de la zona de transición. Según otra realización, el dispositivo de guía de flujo se extiende a la región aerodinámica. Según aún otra realización ventajosa, el dispositivo de guía de flujo se extiende a la región de raíz.

40 En una realización ventajosa según la invención, la posición de cuerda relativa del punto distal, vista desde el borde de ataque de la pala, disminuye en la dirección longitudinal de la pala.

45 En otra realización según la invención, la posición de cuerda relativa del punto distal en una parte interna del dispositivo de guía de flujo, visto desde el borde de ataque de la pala, se encuentra en un intervalo de entre 75% y 92%, y la posición de cuerda relativa del punto distal en una parte externa del dispositivo de guía de flujo se encuentra en un intervalo de entre 40% y 60%. La parte interna es la parte más cercana al extremo de raíz de la pala y la parte externa es la parte más alejada del extremo de raíz de la pala.

50 Según una realización particularmente simple, el dispositivo de guía de flujo comprende una nervadura o elemento en forma de placa que sobresale del contorno perfilado de la pala. Por tanto, la nervadura tiene una superficie frontal orientada hacia delante y la orientación de la nervadura que forma el primer ángulo con la superficie normal de la pala en el punto proximal o en un punto de unión. Sin embargo, el dispositivo de guía de flujo no necesita estar conformado como una nervadura o similar, pero puede comprender una superficie posterior orientada hacia el borde de salida de la pala. El ángulo de la superficie posterior puede, en principio, formar cualquier ángulo con la superficie normal y la cuerda de la sección de pala. Sin embargo, la superficie posterior está conformada preferiblemente para que pueda producirse una acumulación de presión detrás del dispositivo de guía de flujo y contribuir a una mayor elevación en la sección de pala.

55 Según otra realización ventajosa, el dispositivo de guía de flujo en al menos la parte longitudinal central está formada de tal manera que, para cada sección transversal transversal, la distancia mínima desde el punto distal hasta el contorno

perfilado es de al menos el 10% de un grosor máximo del contorno perfilado. Tal altura ha mostrado proporcionar una bolsa de aire efectiva en frente del dispositivo de guía de flujo y una separación de flujo de aire efectiva detrás del dispositivo de guía de flujo.

5 En aún otra realización ventajosa, la posición de cuerda relativa del punto distal, vista desde el borde de ataque de la pala, se encuentra en un intervalo de entre el 75% y el 92%, y en el que un ángulo de ataque para un punto característico de la parte longitudinal central se encuentra en un intervalo de entre 15 y 25 grados, o entre 15 y 20 grados.

Ventajosamente, la posición de cuerda relativa del punto distal, vista desde el borde de ataque de la pala, se encuentra en un intervalo de entre 40% y 80%, o entre 40% y 70%, o entre 40% y 60%.

10 En una realización, una distancia mínima desde el punto distal hasta el contorno perfilado (o, en otras palabras, la altura del dispositivo de guía de flujo), en al menos la parte longitudinal central del dispositivo de guía de flujo, disminuye en la dirección longitudinal hacia el extremo de punta. Alternativamente, la altura del dispositivo de guía de flujo puede ser sustancialmente constante en al menos la parte central del dispositivo de guía de flujo. La altura también puede variar en la dirección longitudinal con partes alternas, en las que la altura aumenta, y partes en las que la altura disminuye.

15 En una realización ventajosa, el dispositivo de guía de flujo se forma integralmente con la pala, alternativamente el dispositivo de guía de flujo se ajusta en la superficie de la pala.

Ventajosamente, la pala está dotada de una pluralidad de partes del dispositivo de guía de flujo que se extienden longitudinalmente, que se agrupan entre sí para formar un primer grupo de dispositivo de guía de flujo en la zona de transición de la pala, extendiéndose el primer grupo de dispositivo de guía de flujo a lo largo de al menos una parte longitudinal de la zona de transición, en la que cada una de las partes del dispositivo de guía de flujo se añaden al contorno perfilado de la pala en el lado de presión de la pala.

20 Por tanto, el primer grupo de dispositivo guía de flujo puede comprender partes separadas o modulares, en particular en la dirección longitudinal de la pala. La construcción modular hace que la construcción sea más flexible y reduce las fuerzas de desprendimiento en los extremos de las partes del dispositivo de guía de flujo. Por tanto, las partes modulares tienen una menor tendencia a romperse de la superficie de la pala.

25 Según una realización, las partes del dispositivo de guía de flujo son partes del dispositivo spoiler. Una vez más, hay que señalar que las partes son preferiblemente no ajustables y dispuestas para aumentar la elevación de la pala de turbina eólica y, por tanto, el rendimiento energético de la turbina eólica. Por consiguiente, las partes de spoiler no se utilizan con fines de rotura.

30 Según una realización ventajosa, las partes del dispositivo de guía de flujo comprenden elementos planos o con forma de placa que sobresalen del perfil. De este modo, se proporciona un diseño particularmente sencillo de las partes del dispositivo de guía de flujo. Además, este diseño es mucho más flexible que el diseño normalmente en forma de cuña, que es muy rígido. Por tanto, el diseño plano tiene una menor tendencia a tener altas cargas en el nudo, lo que en el peor de los casos puede hacer que las partes del dispositivo de guía de flujo se rompan de la superficie de la pala de turbina eólica.

35 Según una realización ventajosa, las partes de guía de flujo individuales se disponen yuxtapuestas en la dirección longitudinal de la pala de turbina eólica. Por tanto, las partes individuales del dispositivo de guía de flujo se proporcionan preferiblemente como dispositivos separados, que pueden montarse individualmente en la superficie de la pala.

40 Las partes de guía de flujo pueden disponerse con el fin de que limiten entre sí en extremos longitudinales. Por tanto, un flujo en sentido contrario no tendrá una tendencia a fluir alrededor de las partes individuales del dispositivo de guía de flujo. Las partes del dispositivo de guía de flujo pueden ventajosamente alinearse sustancialmente entre sí.

45 Alternativamente, las partes de guía de flujo se disponen con un espaciado longitudinal entre las partes de guía de flujo. Esto añade además un pequeño grado de flexibilidad a la dirección longitudinal del primer grupo de dispositivo de guía de flujo. Ventajosamente, el espaciado longitudinal se encuentra en un intervalo de entre 5 mm y 50 mm, o entre 5 mm y 40 mm, o entre 5 mm y 30 mm. El espacio puede ser incluso entre 5 mm y 20 mm.

50 Según una realización ventajosa, el espaciado entre partes de guía de flujo adyacentes está cerrado con un cuerpo flexible, por ejemplo, hecho de un material de caucho. Por consiguiente, se proporciona un cuerpo flexible en el espaciado entre partes del dispositivo de guía de flujo adyacentes, asegurando por tanto que el flujo de aire no fluya alrededor de las partes individuales del dispositivo de guía de flujo. De este modo, se asegura que la acumulación de presión se logre a lo largo de toda la extensión longitudinal del primer grupo de dispositivo de guía de flujo y se mantiene la flexibilidad del grupo. Además, se elimina el ruido puede originarse del espaciado.

55 Según una realización ventajosa, las partes del dispositivo de guía de flujo se disponen sobre una base común que se extiende longitudinalmente. Por tanto, la base comprende normalmente un primer lado y segundo lado, así como un primer extremo longitudinal y un segundo extremo longitudinal. En una realización ventajosa, un elemento sustancialmente plano o una nervadura sobresale de la base y se extiende sustancialmente a lo largo de toda la

extensión longitudinal de la base. El elemento plano puede sobresalir desde el primer lado o desde el segundo lado de la base y por tanto proporcionarse similar a una barra en ángulo. Alternativamente, el elemento plano o nervadura puede disponerse entre el primer lado y el segundo lado, por ejemplo, una parte central de la base.

5 Según otra realización ventajosa, las partes del dispositivo de guía de flujo están separadas por una entalladura. La entalladura se extiende preferiblemente desde una posición superior del dispositivo de spoiler o de la parte de dispositivo de guía de flujo y hasta la parte base. Por tanto, se forman espaciados entre las partes del dispositivo de guía de flujo. Esto proporciona un diseño alternativo para añadir flexibilidad adicional en la dirección longitudinal de la pala. Las entalladuras pueden incluir una parte inferior, es decir, una parte más cercana a la base y la pala de turbina eólica, donde se proporciona un diseño de ojo de cerradura en dicha parte inferior, teniendo el agujero de llave un diámetro que es mayor que la anchura inmediata de la entalladura. Esto reducirá incluso más las concentraciones de esfuerzos y fuerzas de desprendimiento.

10 Según aún otra realización ventajosa, la pluralidad de partes del dispositivo de guía de flujo que se extienden longitudinalmente comprende partes individuales del dispositivo de guía de flujo que se superponen al menos parcialmente en la dirección longitudinal de la pala. Por tanto, las partes individuales del dispositivo de guía de flujo se desplazan de manera individual en la dirección transversal de la pala. Por consiguiente, un primer extremo de un primer dispositivo de guía de flujo se extiende más allá de la posición radial de un segundo extremo de una segunda parte de dispositivo de guía de flujo.

15 En una realización, las partes individuales del dispositivo de guía de flujo son sustancialmente rectas en la dirección longitudinal. En otra realización, las partes individuales del dispositivo de guía de flujo están curvadas en la dirección longitudinal. Por ejemplo, cada segunda parte del dispositivo guía de flujo puede ser convexa y las otras cóncavas. Esto también puede combinarse con el diseño parcialmente superpuesto.

20 Según aún otra realización ventajosa, el primer grupo de dispositivo de guía de flujo tiene un diseño corrugado en la dirección longitudinal, ventajosamente al menos un punto distal de un elemento en forma de placa. El diseño puede ser, por ejemplo, ondulado en la dirección longitudinal y comprender partes del dispositivo de guía de flujo alternantes cóncavas y convexas, respectivamente. Alternativamente, puede utilizarse un diseño en forma de trapecio. Estos diseños tienen la ventaja de que las partes del dispositivo de guía de flujo pueden estirarse ligeramente en la dirección longitudinal cuando la pala se dobla. Las partes individuales del dispositivo de guía de flujo también pueden estar corrugadas.

25 En aún otra realización ventajosa, la flexibilidad o rigidez del primer grupo de dispositivo de guía de flujo puede variar, por ejemplo, periódicamente, en la dirección longitudinal de la pala. Por tanto, el primer grupo de dispositivo de guía de flujo puede comprender unas primeras partes de dispositivo de guía de flujo que tiene una primera rigidez y segundas partes intermedias del dispositivo de guía de flujo que tienen una segunda rigidez. Esto puede alcanzarse, por ejemplo, mediante el uso de diferentes capas en la dirección longitudinal de la pala, o cambiando la dirección de la fibra de tales piezas realizadas en un material compuesto de fibra reforzado con fibra. Una vez más, es posible lograr la rigidez variable mediante la fabricación del dispositivo de guía de flujo como una estructura sándwich con diferentes materiales de núcleo de sándwich, por ejemplo, plástico espumado y madera de balsa. Por tanto, se aprecia que el primer grupo de dispositivo de guía de flujo en principio puede formarse como una sola unidad y montarse en la superficie de la pala de turbina eólica.

30 Según una realización ventajosa, el dispositivo de guía de flujo comprende extremos longitudinales, donde al menos uno de los extremos longitudinales está cerrado. Preferiblemente ambos extremos están cerrados. Por tanto, por ejemplo, un elemento planar que se extiende sustancialmente en la dirección transversal de la pala y paralelamente al flujo de aire en sentido contrario está ubicado en los extremos longitudinales del dispositivo de guía de flujo. El elemento plano puede extenderse en frente de la superficie frontal del dispositivo de guía de flujo, es decir, entre la superficie frontal y el borde de ataque de la pala, y puede sobresalir de la pala entre el contorno perfilado y hasta el punto distal del dispositivo de guía de flujo. Los extremos longitudinales cerrados garantizan que no se origina un flujo de aire transversal y, por tanto, impide que el flujo de aire se guíe alrededor del dispositivo de guía de flujo sin acumular una mayor presión en frente de y/o detrás del dispositivo de guía de flujo. El dispositivo de guía de flujo también puede comprender uno o más elementos planos transversales intermedios que se extienden entre el primer extremo longitudinal y el segundo extremo longitudinal.

35 Ventajosamente, el dispositivo de guía de flujo está unido al contorno perfilado, comprendiendo el dispositivo de guía de flujo: una base que tiene un primer extremo longitudinal más cercano al extremo de raíz y un segundo extremo longitudinal más cercano al extremo de punta, un primer lado más cercano al borde de ataque y un segundo lado más cercano al borde de salida, así como una primera superficie y una segunda superficie, estando unida la primera superficie de la base al contorno perfilado, y estando orientada la segunda superficie lejos del contorno perfilado, en el que un elemento sustancialmente en forma de placa que se extiende longitudinalmente sobresale de la segunda superficie de la base en dirección desde el primer extremo hacia el segundo extremo.

40 En comparación con la estructura conocida del spoiler descrito en el documento WO2007/118581 esta estructura tiene la ventaja de que es más flexible y reducirá fuerzas de desprendimiento en los extremos de las partes del dispositivo de guía de flujo. Por lo tanto, la base tiene una menor tendencia a desprenderse de la superficie de la pala. De manera

- similar al dispositivo spoiler descrito en el documento WO2007/118581, el presente dispositivo puede utilizarse como un dispositivo de elevación elevado para añadir elevación a ciertas áreas longitudinales de la pala, contribuyendo por tanto al rendimiento energético anual. El dispositivo de guía de flujo está dispuesto de manera ventajosa sustancialmente en paralelo a un eje longitudinal de la pala de turbina eólica, por ejemplo, el eje de cabeceo. Por tanto, la dirección longitudinal del dispositivo de guía de flujo y el eje longitudinal de la pala forman un ángulo de menos de 30 grados, o menos de 20 grados.
- 5 Según una realización ventajosa, el elemento en forma de placa se extiende sustancialmente a lo largo de toda la extensión longitudinal de la base.
- 10 Según una primera realización, el elemento en forma de placa sobresale del primer lado o del segundo lado de la base. De este modo se proporciona una realización simple en la que el dispositivo de guía de flujo como tal se forma como una barra en ángulo. Según una segunda realización, el elemento en forma de placa sobresale de un punto entre el primer lado y el segundo lado de la base, por ejemplo, una parte central. Por consiguiente, el elemento en forma de placa puede extenderse sustancialmente desde el centro de la base.
- 15 Según una realización ventajosa, el elemento en forma de placa es sustancialmente plano. Esto proporciona una realización sencilla, fácil y barata de fabricar. Según otra realización ventajosa, el elemento en forma de placa es curvo, por ejemplo, convexo o cóncavo. Esto puede ser ventajoso en ciertas situaciones, por ejemplo, para obtener una transición suave de la superficie de la pala al elemento en forma de placa. El elemento en forma de placa puede moldearse con una forma curva o formarse como un elemento plano, que posteriormente se curva en la forma deseada.
- 20 En una realización según la invención, el elemento en forma de placa en un punto de unión forma un primer ángulo con la base, siendo el primer ángulo de como máximo 80 grados, siendo ventajosamente de como máximo 70 grados, siendo más ventajosamente de como máximo 60 grados. Según otra realización, el primer ángulo es de al menos 100 grados, o ventajosamente de al menos 110 grados, o más ventajosamente de al menos 120 grados. Esta realización es particularmente relevante si el punto de unión se encuentra en el primer lado o en el segundo lado de la base. Estas realizaciones proporcionan soluciones sencillas para inclinar la forma de placa hacia delante o hacia atrás, lo que contribuye adicionalmente a una acumulación de presión en el lado de la presión de la pala.
- 25 Preferiblemente, el dispositivo de guía de flujo está formado como un dispositivo que se extiende longitudinalmente. Según una realización ventajosa, el dispositivo de guía de flujo se extiende a lo largo de al menos un 5% de una extensión longitudinal de la pala de turbina eólica. Una vez más, la extensión longitudinal del dispositivo de guía de flujo puede ser de al menos el 7%, 10%, 15%, o incluso el 20% de la extensión longitudinal o longitud de la pala.
- 30 Según otra realización, el dispositivo de guía de flujo que se extiende longitudinalmente se extiende a lo largo de al menos 1 metro de la pala, o al menos 2 metros, o al menos 3 metros, o al menos 4 metros, o al menos 5 metros, o al menos 6 metros, o incluso al menos 8 o 10 metros de la pala de turbina eólica.
- 35 En una realización, una distancia mínima desde el punto distal hasta el contorno perfilado (o, en otras palabras, la altura del dispositivo de guía de flujo), en al menos la parte longitudinal central del dispositivo de guía de flujo, disminuye en la dirección longitudinal hacia el extremo de punta. Alternativamente, la altura del dispositivo de guía de flujo puede ser sustancialmente constante en al menos la parte central del dispositivo de guía de flujo. La altura también puede variar en la dirección longitudinal con partes alternantes, en las que la altura aumenta, y partes en las que la altura disminuye.
- 40 En una realización ventajosa, la base está formada de un material flexible. Por tanto, la rigidez curvada de la base puede reducirse y la base curvarse para ajustarse a la superficie de la pala sin introducir grandes tensiones en una línea de enlace entre la base y el elemento en forma de placa. Esto puede obtenerse, por ejemplo, formando la base como una estructura compuesta, tal como un material de matriz polimérico reforzado con fibras de vidrio. El material de matriz de polímero puede ser, por ejemplo, una resina de poliuretano. Una vez más, la base puede realizarse en un material polímero, tal como plástico ABS o policarbonato.
- 45 Ventajosamente, una extensión longitudinal del dispositivo de guía de flujo es de al menos 0,5 metros, o de al menos 1 metro, o de al menos 2 metros, o de al menos 3 metros. También, una anchura de la base, es decir, la distancia entre el primer lado y el segundo lado de la base es ventajosamente de entre 20 cm y 100 cm, o entre 20 cm y 70 cm.
- 50 Según una realización ventajosa, la primera superficie de la base es curva, y la curvatura de la primera superficie puede variar opcionalmente en la dirección longitudinal de la base. De este modo, esta forma puede igualar sustancialmente la curvatura de la superficie que varía longitudinalmente del contorno perfilado de la pala de turbina eólica. Sin embargo, según una realización ventajosa, la base es plana. Por tanto, es factible fabricar el dispositivo de guía de flujo como un elemento extruido o estirado por extrusión.
- 55 La pala de turbina eólica puede estar realizada ventajosamente en una estructura compuesta, tal como una matriz de polímero reforzada con un material de fibra. La resina puede ser una resina termoendurecible, tal como epoxi, viniléster, poliéster. La resina también puede ser un termoplástico, tal como nylon, PVC, ABS, polipropileno o polietileno. Una vez más, la resina puede ser un termoplástico termoendurecible, tal como PBT o PET cíclicos. El dispositivo de guía de flujo también puede realizarse en materiales compuestos de este tipo. El material de matriz de polímero también puede ser

una resina de poliuretano. Una vez más, la base puede realizarse en un material de polímero, tal como plástico ABS o policarbonato.

5 El dispositivo de guía de flujo (o partes de dispositivo de guía de flujo) se puede unir a la superficie de la pala adhiriéndolo a la superficie de la pala. También puede atornillarse o remacharse a la superficie de la pala. También puede montarse en la superficie de la pala mediante el uso de tornillos. En principio, también puede ser posible conectar el dispositivo de guía de flujo a la superficie de la pala mediante el uso de medios magnéticos, si el dispositivo de guía de flujo y/o la pala comprenden un material magnetizable.

Según otro aspecto, la invención proporciona una turbina eólica que comprende un número de palas, preferiblemente dos o tres, según cualquiera de las realizaciones mencionadas anteriormente.

10 A continuación, la invención se explica detalladamente con referencia a una realización mostrada en los dibujos, en la que

la figura 1 muestra una turbina eólica,

la figura 2 muestra una vista esquemática de una primera realización de una pala de turbina eólica provista con un dispositivo de guía de flujo según la invención,

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

la figura 4 muestra una sección transversal de una pala de turbina eólica según la invención,

la figura 5 muestra una altura de borde posterior de un primer dispositivo de guía de flujo según la invención como una función de la distancia radial desde el concentrador,

20 la figura 6a muestra la altura del borde posterior de un segundo dispositivo guía de flujo según la invención como función de la distancia radial desde el concentrador,

la figura 6b muestra la altura del borde posterior de un tercer dispositivo de guía de flujo según la invención como función de la distancia radial desde el concentrador,

la figura 7 ilustra el efecto aerodinámico del dispositivo de guía de flujo según la invención,

la figura 8 muestra varias formas para la superficie frontal del dispositivo de guía de flujo según la invención,

25 la figura 9 muestra una vista esquemática de una realización de un dispositivo de guía de flujo según la invención,

la figura 10 muestra secciones transversales de diversos diseños de dispositivos de guía de flujo según la invención,

la figura 11 ilustra la unión de dispositivos de guía de flujo a una superficie de una pala de turbina eólica.

La figura 12 muestra una vista esquemática de una realización de una pala de turbina eólica provista con partes de dispositivo de guía de flujo según la invención,

30 la figura 13 muestra una vista esquemática de una primera realización de partes de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde el lado,

la figura 14 muestra una vista esquemática de la primera realización de partes de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde la parte superior,

35 la figura 15 muestra una vista esquemática de una segunda realización de partes de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde la parte superior,

la figura 16 muestra una vista esquemática de una tercera realización de partes de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde el lado,

la figura 17 muestra una vista esquemática de la tercera realización de partes de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde la parte superior,

40 la figura 18 muestra una vista esquemática de la cuarta realización de partes de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde la parte superior,

la figura 19 muestra una vista esquemática de la quinta realización de partes de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde la parte superior,

45 la figura 20 muestra una vista esquemática de la sexta realización de partes de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde la parte superior,

la figura 21 muestra una vista esquemática de la séptima realización de partes de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde la parte superior,

la figura 22 muestra una vista esquemática de la octava realización de partes de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde el lado,

5 la figura 23 muestra una vista esquemática de la novena realización de partes de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde el lado,

la figura 24 muestra una vista esquemática de la décima realización de partes de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde el lado,

10 la figura 25 muestra el coeficiente de elevación aerodinámico en comparación con el ángulo de entrada de flujo para una superficie aerodinámica con y sin un dispositivo de guía de flujo según la invención, y

la figura 26 muestra el coeficiente de arrastre aerodinámico en comparación con el ángulo de entrada de flujo para una superficie aerodinámica con y sin un dispositivo de guía de flujo según la invención.

15 La figura 1 ilustra una turbina eólica moderna convencional según el llamado "concepto danés" con una torre 4, una góndola 6 y un rotor con un eje sustancialmente horizontal. El rotor incluye un concentrador 8 y tres cuchillas 10 que se extienden radialmente desde el concentrador 8, teniendo cada una pala 16 raíz lo más cercana al concentrador y una pala 14 punta lo más lejos posible del concentrador 8.

20 La figura 3 muestra una vista esquemática de un perfil 50 aerodinámico de una típica pala de una turbina eólica representada con los diversos parámetros, que se utilizan normalmente para definir la forma geométrica de una superficie aerodinámica. El perfil 50 aerodinámico tiene un lado 52 de presión y un lado 54 de succión que durante su uso - es decir, durante la rotación del rotor - normalmente están orientados hacia el lado de barlovento y el lado de sotavento, respectivamente. El perfil 50 aerodinámico tiene una cuerda 60 con una longitud de cuerda c que se extiende entre un borde 56 de ataque y un borde 58 de salida de la pala. El perfil 50 aerodinámico tiene un grosor t , que se define como la distancia entre el lado 52 de presión y el lado 54 de succión. El grosor t del perfil aerodinámico varía a lo largo de la cuerda 60. La desviación a partir de un perfil simétrico es dada por una línea 62 de curvatura, que es una línea mediana a través del perfil 50 aerodinámico. La línea mediana se puede encontrar dibujando círculos inscritos desde el borde 56 de ataque hasta el borde 58 de salida. La línea mediana sigue los centros de estos círculos inscritos y la desviación o distancia de la cuerda 60 se llama la curvatura f . La asimetría también puede definirse mediante el uso de parámetros llamados la curvatura superior y la curvatura inferior, que se definen como las distancias desde la cuerda 60 y el lado 54 de succión y lado 52 de presión, respectivamente.

30 La figura 2 muestra una vista esquemática de una primera realización de una pala 10 de turbina eólica según 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 lo más cercana posible al concentrador, una región perfilada o una región 34 aerodinámica lo más alejada posible del concentrador y una zona 32 de transición entre la región 30 de raíz y la región 34 aerodinámica. La pala 10 comprende un borde 18 de ataque orientado en la dirección de rotación de la pala 10, cuando la pala está montada en el concentrador, y un borde 20 de salida orientado en la dirección opuesta del borde 18 de ataque.

35 La región 34 aerodinámica (también llamada región perfilada) tiene una forma de pala ideal o casi ideal con respecto a la generación de elevación, mientras que la región 30 de raíz debido a consideraciones estructurales tiene una sección transversal sustancialmente circular o elíptica, lo que, por ejemplo, facilita y hace más seguro el montaje de la pala 10 en el concentrador. El diámetro (o la cuerda) de la región 30 de raíz es normalmente constante a lo largo de toda la zona 30 de raíz. La zona 32 de transición tiene un perfil 42 transicional que cambia gradualmente de la forma 40 circular o elíptica de la zona 30 de raíz al perfil 50 aerodinámico de la zona 34 aerodinámica. La anchura de la zona 32 de transición normalmente aumenta sustancialmente de forma lineal con el aumento de la distancia r del concentrador.

40 La zona 34 aerodinámica tiene un perfil 50 aerodinámico con una cuerda que se extiende entre el borde 18 de ataque y el borde 20 de salida de la pala 10. La anchura de la cuerda disminuye con el aumento de la distancia r desde el concentrador.

45 Cabe señalar que las cuerdas de diferentes secciones de la pala normalmente no se encuentran en un plano común, dado que la pala puede estar torcida y/o curvada (es decir, predoblada), por tanto, dotando al plano de cuerda con un trayecto correspondientemente

50 y/o torcido, siendo este el caso más habitual con el fin de compensar que la velocidad local de la pala dependa del radio del concentrador.

La pala 10 de turbina eólica según la invención está dotada de un dispositivo 70 de guía de flujo que sobresale del lado de presión de la pala en al menos la zona 32 de transición de la pala.

La figura 4 muestra una sección transversal de la pala 10 de turbina eólica en la zona 32 de transición. La turbina eólica en esta zona comprende un contorno perfilado con un perfil 42 transicional, que cambia gradualmente del perfil 40

- 5 circular de la zona 32 de raíz al perfil 50 aerodinámico de la zona aerodinámica. Desde un punto de vista aerodinámico, el perfil transicional no es ideal. Se puede apreciar que el perfil tiene una forma lisa, de la que sobresale el dispositivo 70 de guía de flujo en el lado de presión de la pala. El dispositivo 70 de guía de flujo comprende una superficie 72 frontal con un punto 74 proximal cerca del perfil 42 y un punto 76 proximal se ubica a una distancia (es decir, con un espaciado) del perfil 42. El punto proximal 74 también puede ser concebido como un punto de fijación para el dispositivo 70 de guía de flujo, si el dispositivo de guía de flujo se reajusta a la superficie de la pala 10. El dispositivo 70 de guía de flujo comprende además un borde 84 posterior, que se extiende desde el punto 76 proximal hasta el contorno 42 perfilado de la pala 10.
- 10 La superficie 72 frontal está formada de tal manera que, para cada sección transversal transversal en al menos una parte 71 longitudinal central de la zona 32 de transición, al menos una primera parte 72 de la superficie frontal está en ángulo hacia el flujo de aire en sentido contrario y el borde de ataque del perfil de pala. En la realización mostrada, toda la superficie frontal está en ángulo hacia el flujo en sentido contrario. Por tanto, la primera parte corresponde a toda la superficie 72 frontal.
- 15 Por consiguiente, una tangente 80 de superficie frontal a la superficie 72 frontal del dispositivo 70 de guía de flujo forma un primer ángulo con una normal 82 a la superficie de perfil, siendo el primer ángulo mayor de 0 grados y ventajosamente de al menos 5 grados, o incluso más ventajosamente de al menos 10 grados, o al menos de 15 grados, o al menos de 20 grados. De manera equivalente, un ángulo entre una tangente 78 de perfil al perfil 42 en el punto donde la tangente 80 de superficie frontal cruza el perfil 42, y la tangente 80 de superficie frontal debe ser inferior a 90 grados y ventajosamente inferior a 85 grados, o incluso más ventajosamente menos de 80 grados, o menos de 75 grados, o menos de 70 grados.
- 20 Además, puede utilizarse otro parámetro de diseño para el diseño del dispositivo 70 de guía de flujo, y en particular la forma de la superficie 72 frontal, es decir, un segundo ángulo α , que es el ángulo entre la tangente 80 de superficie frontal y una normal 88 a la cuerda 44 al contorno 42 perfilado. El segundo ángulo α es ventajosamente mayor que 0 grados, o incluso más ventajosamente mayor que 5 grados, o mayor que 10 grados, o mayor que 15 grados. De manera equivalente, un ángulo entre la tangente 80 de superficie frontal y la cuerda 44 debe ser inferior a 90 grados y ventajosamente inferior a 85 grados, o incluso más ventajosamente inferior a 80 grados, o inferior a 75 grados. Por tanto, se aprecia que el dispositivo 70 de guía de flujo ventajosamente también está en ángulo hacia el flujo de aire en sentido contrario y el borde de ataque de la pala en comparación con a la cuerda 44 del perfil 42.
- 25 El dispositivo 70 de guía de flujo funciona, por un lado, como una obstrucción al flujo en el lado de presión del perfil. Esta obstrucción resulta en una mayor presión después del dispositivo 70 de guía de flujo, es decir, entre el dispositivo 70 de guía de flujo y el borde de salida de la pala de turbina eólica, debido al desprendimiento del flujo de la superficie. Después del dispositivo 70 de guía de flujo, es decir, entre el dispositivo de guía de flujo y el borde de salida de la pala 70, se produce una separación del flujo de aire. Esto corresponde al efecto de los dispositivos de spoiler conocidos per se en la técnica.
- 30 Por otro lado, el dispositivo de guía de flujo difiere significativamente de los dispositivos de spoiler convencionales en que la superficie 72 frontal está en ángulo hacia el flujo en sentido contrario. El efecto de este diseño se ilustra en la figura 7, donde se aprecia que se crea una bolsa de aire de flujo circulante en frente del dispositivo 70 de guía de flujo, es decir, entre la superficie 72 frontal y el borde de ataque de la pala. Esta bolsa de aire aumenta la presión en frente del dispositivo de guía de flujo y guía el flujo de aire alrededor del dispositivo 70 de guía de flujo. Por tanto, la presión se incrementa tanto en frente de, como detrás del dispositivo de guía de flujo, que a su vez aumenta significativamente la elevación en esta sección de la pala en los ángulos de flujo de entrada gobernantes de esta sección.
- 35 Como se muestra en la figura 2, el dispositivo 70 de guía de flujo puede comprender un primer extremo 73 longitudinal y un segundo extremo 75 longitudinal, donde los extremos 73, 75 longitudinales se cierran por el uso de elementos planos. Los elementos planos se extienden sustancialmente en la dirección transversal de la pala y, por tanto, paralela a la dirección del flujo de aire en sentido contrario. Los elementos planos se extienden en frente de la superficie frontal del dispositivo de guía de flujo, es decir, entre la superficie frontal y el borde de ataque de la pala, y sobresalen de la pala entre el contorno perfilado y hasta el punto distal del dispositivo de guía de flujo. Los extremos cerrados garantizan que no se origine un flujo de aire transversal en la dirección de la pala a lo largo de la envergadura (o longitudinal) y, por tanto, impide que el flujo de aire se guíe alrededor del dispositivo 70 de guía de flujo sin acumular una mayor presión en frente de y/o detrás del dispositivo de guía de flujo.
- 40 En una primera realización, una altura h del dispositivo de guía de flujo puede estar disminuyendo, como se muestra en la figura 5, en la dirección longitudinal (o distancia radial desde el concentrador) hacia el extremo de punta r de la pala - al menos dentro de la parte 71 longitudinal central del dispositivo de guía de flujo. La altura del dispositivo de guía de flujo se muestra como una función de la distancia radial r desde el concentrador en la figura 5. En el extremo longitudinal del dispositivo 70 de guía de flujo más cercano al concentrador, el dispositivo 70 de guía de flujo es redondeado o cónico para obtener una transición suave al contorno perfilado de la pala.
- 45 En una segunda realización, la altura del dispositivo 70 de guía de flujo es, como se muestra en la figura 6a, sustancialmente constante en la dirección longitudinal de la pala, al menos dentro de la parte 71 longitudinal central.
- 50
- 55

Además, se observa que el dispositivo 70 de guía de flujo puede ser redondeado o cónico cerca de los extremos longitudinales del dispositivo 70 de guía de flujo para obtener una transición suave al contorno perfilado de la pala.

En una tercera realización, la altura del dispositivo 70 de guía de flujo aumenta en una primera parte longitudinal y disminuye en una segunda parte longitudinal como se muestra en la figura 6b.

5 La figura 8 muestra varios diseños para la superficie frontal del dispositivo de guía de flujo, todos ellos adaptados para formar una bolsa de aire en frente del dispositivo de guía de flujo. En todas las figuras, la superficie normal se representa con una línea discontinua y la dirección del flujo de aire en sentido contrario se representa con una flecha.

Se muestra una primera realización en la figura 8 (a), donde la superficie frontal del dispositivo de guía de flujo es recta. Por tanto, una tangente a toda la superficie frontal forma un ángulo con la superficie normal siendo mayor de 0 grados.

10 Se muestra una segunda realización en la figura 8 (b), donde la superficie frontal del dispositivo de guía de flujo es cóncava. Por tanto, la superficie frontal sólo comprende una primera parte, es decir, una parte exterior de la superficie frontal, que está en ángulo hacia el flujo en sentido contrario, que es suficiente para formar la bolsa de aire en frente del dispositivo de guía de flujo. Una tangente (o equivalentemente una línea mediana o una línea ajustada linealmente) a dicha primera parte forma, por tanto, un ángulo con la superficie normal siendo mayor de 0 grados. Se observa que el punto proximal y el punto distal de la superficie frontal están ambos ubicados cerca de la normal a la superficie.

15 Se muestra una tercera realización en la figura 8 (c), donde la superficie frontal comprende dos partes rectas, a saber, una primera parte exterior que está en ángulo hacia el flujo de aire en sentido contrario y hacia el borde de ataque de la pala, y una segunda parte interna que está en ángulo alejada del flujo de aire en sentido contrario y el borde de ataque de la pala. Se muestra una cuarta realización en la figura 8 (d), donde la superficie frontal es cóncava. Sin embargo, contrariamente a la segunda realización, el punto distal de la superficie frontal se ubica en frente de la superficie normal, es decir, hacia el flujo de aire en sentido contrario y el borde de ataque de la pala.

20 Se muestra una quinta realización en la figura 8 (e) en la que la superficie frontal comprende dos partes rectas, a saber, una primera parte exterior que está en ángulo hacia el flujo de aire en sentido contrario y hacia el borde de ataque de la pala, y una segunda parte interior que sigue la superficie normal.

25 Se muestra una sexta realización en la figura 8 (f). Esta realización comprende dos partes rectas, a saber, una primera parte interna que está en ángulo hacia el flujo de aire en sentido contrario y hacia el borde de ataque de la pala, y una segunda parte externa que está en ángulo alejada del flujo de aire en sentido contrario y el borde de ataque de la pala. Con esta realización se forma una bolsa de aire en frente de la primera parte interna del dispositivo de guía de flujo, mientras que la segunda parte externa del dispositivo de guía de flujo está adaptada para formar una separación efectiva de flujo de aire detrás del dispositivo de guía de flujo, por ejemplo, entre el dispositivo de guía de flujo y el borde de salida de la pala.

30 La figura 9 muestra una realización de un dispositivo 70' de guía de flujo según la invención. El dispositivo de guía de flujo está formado como un dispositivo que se extiende longitudinalmente que tiene una base 90. La base 90 comprende un primer extremo 91 longitudinal, que - cuando el dispositivo 70' de guía de flujo está unido al contorno perfilado de la pala 10 de turbina eólica - se dispone lo más cercano posible al extremo de raíz de la pala y un segundo extremo 92 longitudinal, que se dispone lo más cercano posible al extremo de punta de la pala 10. La base 90 comprende además un primer lado 93 dispuesto lo más cercano posible al borde 18 de ataque de la pala 10 y un segundo lado 94 dispuesto lo más cercano posible al borde 20 de salida de la pala. La base 90 comprende también una primera superficie 95, que está unida a la superficie de la pala 10, y una segunda superficie, que está orientada lejos de la superficie de la pala 10.

35 Un elemento 97 en forma de placa sobresale de la segunda superficie 96 de la base 90 de una parte sustancialmente en el medio entre el primer lado 93 y el segundo lado 94. El elemento 97 en forma de placa se extiende longitudinalmente a lo largo de toda la extensión longitudinal de la base 90. El elemento 97 en forma de placa comprende una superficie 98 frontal que está orientada hacia el borde 18 de ataque de la pala 10, y una superficie 99 posterior, que está orientada hacia el borde 20 de salida de la pala 10. Durante el funcionamiento de la turbina eólica, la superficie 98 frontal del elemento 97 en forma de placa se impacta, por tanto, por una corriente de aire en sentido contrario. El elemento 97 en forma de placa funciona como una obstrucción al flujo en el lado de presión del perfil. Después del dispositivo de guía de flujo, es decir, entre el dispositivo de guía de flujo y el borde de salida de la pala, sucede una separación del flujo de aire. Esta obstrucción resulta en una mayor presión después del dispositivo de guía de flujo, es decir entre el dispositivo de guía de flujo y el borde de salida de la pala de turbina eólica, debido a un desprendimiento del flujo. Esta mayor presión contribuye a una mayor elevación en la sección longitudinal, en la que se dispone el dispositivo 70' de guía de flujo. En esta realización, el elemento 97 en forma de placa está en ángulo hacia delante de modo que el elemento 97 en forma de placa forma un primer ángulo φ con la base 90. Por tanto, la superficie 98 frontal también se orienta ligeramente hacia abajo hacia la base 90 y la superficie de la pala 10. Cuando la superficie 98 frontal durante el funcionamiento normal de la turbina eólica se ve impactada por una corriente de aire en sentido contrario, se forma una

40 bolsa de aire en frente de la superficie frontal, lo que aumenta la presión en frente del dispositivo de guía de flujo, y que guía el flujo de aire alrededor del dispositivo 70' de guía de flujo. Por tanto, se acumula una mayor presión tanto en frente de, como detrás del dispositivo 70' de guía de flujo. De este modo, se incrementa la elevación a lo largo de una gran parte de la sección de pala. El primer ángulo φ es ventajosamente de al menos 20 grados y ángulos alrededor de 30 a 45 grados han mostrado excelentes resultados, ambos con respecto a la ganancia en elevación y con respecto a la flexibilidad del dispositivo de guía de flujo.

45

50

55

60

El elemento en forma de placa no tiene por qué sobresalir de una parte central de la base. La figura 10 muestra variaciones del diseño transversal del dispositivo de guía de flujo. Cabe señalar, sin embargo, que las realizaciones (b), (d), (e), (g) y (h) no entran dentro del alcance de la presente invención, dado que se refieren a la realización en la que la superficie frontal no está inclinada hacia el flujo en sentido contrario.

5 las figuras 10 (a) - (e) muestran diferentes ejemplos de dispositivos de guía de flujo, que como tales tienen forma de barras angulares. En todas las realizaciones, se asume que el borde de salida de la pala se dispone a la derecha y el borde de salida a la izquierda. Por tanto, durante el funcionamiento normal de una turbina eólica, la corriente de aire en sentido contrario es de derecha a izquierda.

10 En la realización (a), el elemento en forma de placa está en ángulo hacia adelante y sobresale del segundo lado de la base. En la realización (b), el elemento en forma de placa está en ángulo hacia atrás y sobresale desde el primer lado de la base. En estas dos realizaciones, el ángulo entre los elementos en forma de placa de (a) y (b) forma un ángulo de 45 grados con la base.

15 En la realización (c), el elemento en forma de placa está en ángulo hacia adelante y sobresale del segundo lado de la base. En la realización (d), el elemento en forma de placa está en ángulo hacia atrás y sobresale del segundo lado de la base. En estas dos realizaciones, el elemento en forma de placa forma un ángulo de aproximadamente 135 grados con la base.

En la realización (e), el elemento en forma de placa sobresale normalmente a la base desde el primer lado de la base.

20 Las realizaciones (f) - (h) muestran realizaciones en las que el elemento en forma de placa sobresale de una parte central de la base, es decir, entre el primer lado y el segundo lado de la base. El elemento en forma de placa puede, por ejemplo, estar en ángulo hacia delante como se muestra en la realización (f), estar en ángulo hacia atrás como se muestra en la realización (g) o sobresalir normalmente de la base como se muestra en la realización (h).

25 En todas las realizaciones anteriores, el elemento en forma de placa está diseñado como un elemento plano. Sin embargo, los elementos en forma de placa de las realizaciones anteriores pueden ser ligeramente doblados o curvos, por ejemplo, en una forma cóncava como se muestra en la realización (i) o en una forma convexa como se muestra en la realización (j). Una vez más, el elemento en forma de placa puede comprender diferentes partes planas, que están en ángulos diferentes con respecto a la base, teniendo por tanto el elemento en forma de placa un diseño discontinuo como se muestra en la realización (k).

30 El dispositivo de guía de flujo se monta normalmente sobre una superficie curva de la pala de turbina eólica. Por tanto, los lados de la base pueden desprenderse de manera potencial ligeramente de la superficie de la pala como se muestra en la figura 11 (a). Por consiguiente, es ventajoso que la base del dispositivo de guía de flujo esté hecha de un material flexible para que las formaciones de tensión se reduzcan a lo largo de toda la placa base. Además, al hacer flexible el elemento en forma de placa, las fuerzas de desprendimiento se reducen en los extremos del dispositivo de guía de flujo. Esto puede obtenerse conformando la base como una placa relativamente fina, por ejemplo, hecha de un material compuesto, tal como un material de matriz polimérico reforzado con fibra de vidrio. Alternativamente, la base puede ser ligeramente curva como se muestra en la figura 11 (b) para complementar la superficie de la pala de turbina eólica. La base puede unirse a la superficie de la pala, por ejemplo, adhiriendo la primera superficie de la base a la superficie de la pala, o conectándola a la pala mediante medios de conexión, tales como tornillos o tuercas y pernos. También es posible moldear el dispositivo de guía de flujo en la superficie de la pala. Una vez más, el dispositivo de guía de flujo puede unirse a la superficie de la pala mediante el uso de medios magnéticos, si, por ejemplo, la placa base y/o la carcasa de pala comprenden un material magnetizable. Además, la curvatura de la primera superficie de la base puede variar en la dirección longitudinal de la base para adaptarse a la forma variable de la pala de turbina eólica.

45 La figura 12 muestra una vista esquemática de una pala de turbina eólica provista con partes 170 de dispositivo de guía de flujo, que se agrupan entre sí en un primer grupo 177 de dispositivo de guía de flujo en la zona de transición de la pala y que sobresalen del lado de presión de la pala. Además, el primer grupo 177 de dispositivo de guía de flujo se extiende ligeramente en la región de raíz y en la zona aerodinámica de la pala. El primer grupo 177 de dispositivo de guía de flujo se muestra como extendiéndose paralelamente a un eje longitudinal (o eje de cabeceo) de la pala. Sin embargo, puede disponerse ligeramente sesgado o curvado en comparación con dicho eje longitudinal.

50 La figura 13 representa el grupo 177 de dispositivo de guía de flujo visto desde el lado. Como puede observarse, el grupo 177 comprende un número de partes 170 individuales de dispositivo de guía de flujo que están separadas mutuamente por espacios 181. Las partes individuales pueden tener, por ejemplo, una extensión longitudinal de entre 50 cm y 200 cm, por ejemplo 100 cm. Los espacios 181 entre partes 170 de dispositivo de guía de flujo adyacentes pueden ser, por ejemplo, de entre 5 mm y 30 mm. Según otra realización (no mostrada), las partes del dispositivo de guía de flujo limitan entre sí. La construcción modular mostrada hace que la construcción del grupo 170 del dispositivo de guía de flujo sea más flexible que los dispositivos de guía de flujo que se extienden longitudinalmente convencionales, y reduce las fuerzas de desprendimiento, que normalmente se producen en los extremos de los dispositivos de guía de flujo. Por tanto, las partes modulares tendrán una menor tendencia a romperse de la superficie de la pala.

5 La figura 14 muestra las partes 170 del dispositivo de guía de flujo vistas desde la parte superior, representadas aquí como una parte proximal de un elemento en forma de placa. En la realización mostrada, los espacios 181 entre partes 170 de dispositivo de guía de flujo adyacentes están cerradas por elementos 179 intermedios realizados en un material flexible, tal como caucho. En esta realización particular, los elementos 179 intermedios están unidos a una superficie frontal de los elementos 170 en forma de placa.

10 La figura 15 muestra una segunda realización de partes 270 de dispositivo de guía de flujo según la invención. En esta realización los espacios también están cerrados por elementos 279 intermedios realizados en un material flexible, tal como caucho. En esta realización, las partes intermedias llenan todo el espacio entre las partes 270 del dispositivo de guía de flujo y están unidas tanto a una superficie frontal como a una superficie posterior de las partes 270 del dispositivo de guía de flujo.

15 La figura 16 muestra una vista esquemática de una tercera realización de partes 370 de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde el lado. En esta realización, las partes 370 del dispositivo de guía de flujo se superponen parcialmente en la dirección longitudinal. Por consiguiente, un extremo de un dispositivo guía de flujo se extiende más allá de un segundo extremo de una segunda parte de dispositivo de guía de flujo. Los extremos pueden estar ligeramente en ángulo, como se muestra en la figura.

20 La figura 17 muestra una vista esquemática de la tercera realización de partes 370 de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde la parte superior. Puede observarse que las partes 370 del dispositivo de guía de flujo están escalonadas en la dirección longitudinal. La superficie posterior de un dispositivo guía de flujo puede limitar con la superficie frontal de una segunda parte de dispositivo de guía de flujo, o puede haber un pequeño espacio en la dirección transversal de la pala.

La figura 18 muestra una vista esquemática de la cuarta realización de partes 470 de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde la parte superior. En esta realización, las partes del dispositivo de guía de flujo están dispuestas alternativamente en frente de y detrás de otras partes de dispositivo de guía de flujo.

25 la figura 19 muestra una vista esquemática de la quinta realización de partes 570 de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde la parte superior, que es similar a la cuarta realización con la excepción de que las partes 570 del dispositivo de guía de flujo son alternativamente convexas y cóncavas en la dirección longitudinal. En la realización mostrada, se disponen dos partes de dispositivo de guía de flujo detrás de otras. Sin embargo, también pueden disponerse ventajosamente en frente de las otras partes de dispositivo de guía de flujo, obteniendo así un diseño general ligeramente diferente.

30 La figura 20 muestra una vista esquemática de la sexta realización de partes 670 del dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde la parte superior. En esta realización, el primer grupo de dispositivo de guía de flujo consiste partes de dispositivo de guía de flujo alternativamente convexas y cóncavas que están interconectadas. En general, se obtiene un diseño corrugado en la dirección longitudinal de la pala.

35 La figura 21 muestra una vista esquemática de la séptima realización de partes de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde la parte superior, en la que las partes 770 individuales de dispositivo de guía de flujo están interconectadas mediante de una parte 779 intermedia de dispositivo de guía de flujo. En general, se obtiene un diseño corrugado alternativo en la dirección longitudinal de la pala.

40 La figura 22 muestra una vista esquemática de la octava realización de partes de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde el lado. En esta realización, el primer grupo de dispositivo de guía de flujo comprende un número de partes 870 individuales de dispositivo de guía de flujo que están interconectadas por partes 879 intermedias de dispositivo de guía de flujo. Las partes 870 de dispositivo de guía de flujo tienen una primera rigidez, y las partes 879 intermedias de dispositivo de guía de flujo tienen una segunda rigidez. Esto puede alcanzarse, por ejemplo, mediante la utilización diferentes capas en la dirección longitudinal de la pala, o cambiando la dirección de la fibra de tales piezas hechas de un material compuesto reforzado con fibra. Una vez más, es posible alcanzar la rigidez variable mediante la fabricación del dispositivo de guía de flujo como una estructura sándwich con diferentes materiales de núcleo sándwich, por ejemplo, plástico espumado y madera de balsa.

45 La figura 23 muestra una vista esquemática de la novena realización de partes 970 de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde el lado. En esta realización, las partes 970 del dispositivo de guía de flujo se disponen sobre una base común que se extiende longitudinalmente. Por tanto, la base comprende normalmente un primer lado y segundo lado, así como un primer extremo longitudinal y un segundo extremo longitudinal como se muestra en la figura 9. Las partes 970 del dispositivo de guía de flujo están separadas por entalladuras 981 o espacios.

50 La figura 24 muestra una vista esquemática de la décima realización de partes 1070 de dispositivo de guía de flujo según la invención, vista desde el lado, similar a la novena realización. En esta realización, las entalladuras 1018 comprenden una parte inferior, es decir, una parte lo más cercana posible a la base y la pala de turbina eólica, donde se proporciona un diseño 1085 de ojo de cerradura en dicha parte inferior, teniendo el agujero de cerradura un diámetro que es mayor que la anchura inmediata de las entalladuras 1081. Esto reducirá incluso más las concentraciones de esfuerzos y fuerzas de desprendimiento.

5 La figura 25 muestra un diagrama normalizado del coeficiente de elevación de una sección de pala sin un dispositivo de guía de flujo según la invención (línea discontinua) en comparación con la elevación de una sección de pala con un dispositivo de guía de flujo según la invención (línea continua) como función del ángulo de ataque (en grados). El coeficiente de elevación se incrementa significativamente para los ángulos de flujo de entrada gobernantes para la sección la pala. El aumento en el coeficiente de elevación conduce a un aumento en la energía producida para una turbina eólica que tiene palas con dispositivos de guía de flujo según la invención.

10 La figura 26 muestra un diagrama normalizado del coeficiente de arrastre de una sección de pala sin un dispositivo de guía de flujo según la invención (línea discontinua) comparado con el arrastre de una sección de pala con un dispositivo de guía de flujo según la invención (línea completa) como una función del ángulo de ataque (en grados). Puede observarse que el coeficiente de arrastre se incrementa junto con el aumento en el coeficiente de elevación en la figura 25. Al comparar el aumento en arrastre con el aumento en elevación puede observarse que en el intervalo del ángulo de ataque de 0 a 20 grados la elevación a la relación de arrastre se incrementa para una pala con un dispositivo de guía de flujo según la invención.

15 La invención se ha descrito con referencia a una realización preferida. Sin embargo, el alcance de la invención no se limita a la realización ilustrada, y las alteraciones y modificaciones pueden llevarse a cabo sin desviarse del alcance de la invención que está definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Pala (10) para un rotor de una turbina (2) eólica que tiene un eje del rotor sustancialmente horizontal, comprendiendo dicho rotor un concentrador (8), desde el que la pala (10) se extiende sustancialmente en una dirección radial cuando se monta en el concentrador (8), teniendo la pala una dirección longitudinal (r) con un extremo (14) de punta y un extremo (16) de raíz y una dirección transversal, comprendiendo además la pala:
- un contorno (40, 42, 50) perfilado 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 de cuerda que se extiende desde allí entre el contorno perfilado, cuando se impacta por un flujo de aire incidente, generando una elevación, en el que
- 10 - la pala está dotada de un dispositivo (70) de guía de flujo añadido a y que sobresale del contorno (40, 42, 50) perfilado de la pala en el lado (52) de presión de la pala (10), en el que
- el dispositivo (70) de guía de flujo tiene una superficie (72) frontal orientada hacia un flujo de aire en sentido contrario y que tiene un punto (74) proximal que está ubicado en el contorno (40, 42, 50) perfilado y un punto (76) distal que está ubicado a una distancia del contorno (40, 42, 50) perfilado de la pala, en el que
- 15 - el contorno (40, 42, 50) perfilado tiene una normal (82) de superficie en el punto (74) proximal, y en el que
- la superficie (72) frontal comprende al menos una primera parte, que está en ángulo hacia el flujo de aire en contrario sentido y el borde (18) de ataque de la pala para que una tangente media o línea mediana a dicha primera parte forme un primer ángulo (Θ) con la superficie normal siendo mayor de 0 grados, en el que la tangente media además está en ángulo hacia delante en comparación con una segunda normal a la cuerda, de modo que la línea mediana y la segunda normal forman un segundo ángulo (α) siendo al menos de 5 grados, y donde
- 20 - el dispositivo de guía de flujo está adaptado para generar una separación de flujo de aire aguas abajo del dispositivo (70) de guía de flujo entre el dispositivo (70) de guía de flujo y el borde (20) de salida de la pala, y en el que
- la superficie (72) frontal es cóncava.
- 25 2. Pala de turbina eólica según la reivindicación 1, en la que el primer ángulo (Θ) es al menos 5 grados, o al menos 10 grados, o al menos 15 grados.
3. Pala de turbina eólica según la reivindicación 1 o 2, en la que la superficie frontal es sustancialmente recta.
4. Pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la primera parte de la superficie frontal se ubica en una parte exterior de la misma.
- 30 5. Pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el dispositivo de guía de flujo se forma como un dispositivo que se extiende longitudinalmente.
6. Pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el contorno perfilado se divide en:
- una región (30) de raíz que tiene un perfil sustancialmente circular o elíptico lo más cercano posible al concentrador,
 - una aerodinámica zona (34) que tiene un generador de elevación perfil lo más alejado posible del concentrador, y
- 35 - una zona (32) de transición entre la región (30) de raíz y la zona (34) aerodinámica, teniendo la zona (32) de transición un perfil que cambia gradualmente en la dirección radial del perfil circular o elíptico de la región de raíz a un perfil generador de elevación de la zona aerodinámica.
7. Pala de turbina eólica según la reivindicación 6, en la que el dispositivo (70) de guía de flujo se extiende al menos una parte longitudinal de la zona (32) de transición.
- 40 8. Pala de turbina eólica según la reivindicación 7, en la que el dispositivo (70) de guía de flujo se extiende a lo largo de sustancialmente toda la longitud longitudinal de la zona (32) de transición.
9. Pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 6-8, en la que el dispositivo (70) de guía de flujo se extiende en la zona (34) aerodinámica y/o en la región (34) de raíz.
- 45 10. Pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el dispositivo (70) de guía de flujo se forma como una nervadura que sobresale del contorno perfilado de la pala.
11. Pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el dispositivo de guía de flujo se construye como una pluralidad de partes separadas que se extienden longitudinalmente.

12. Pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el dispositivo de guía de flujo comprende extremos longitudinales, donde al menos uno de los extremos longitudinales está cerrado.

13. Turbina eólica que comprende un número, preferiblemente dos o tres, de palas según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

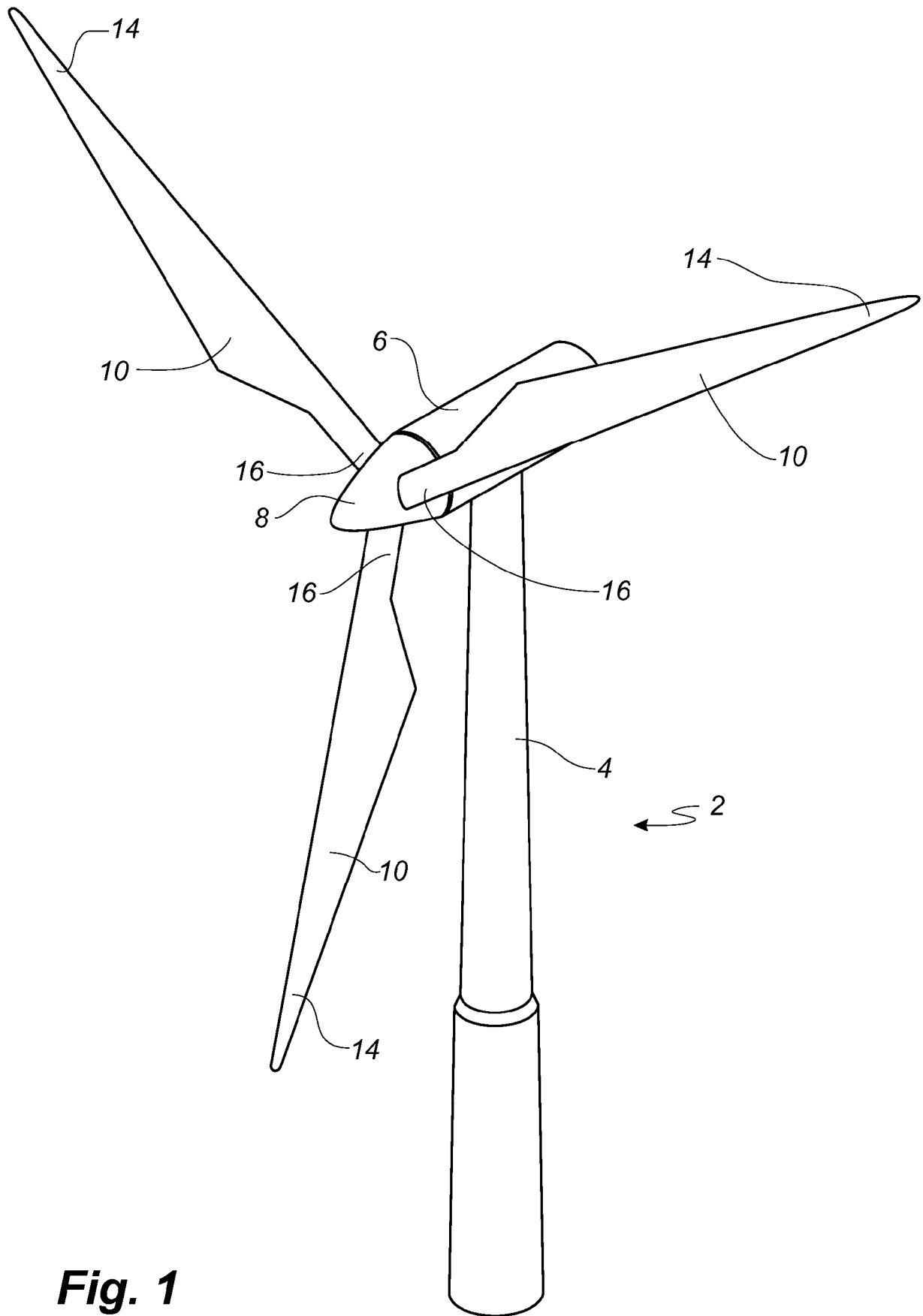


Fig. 1

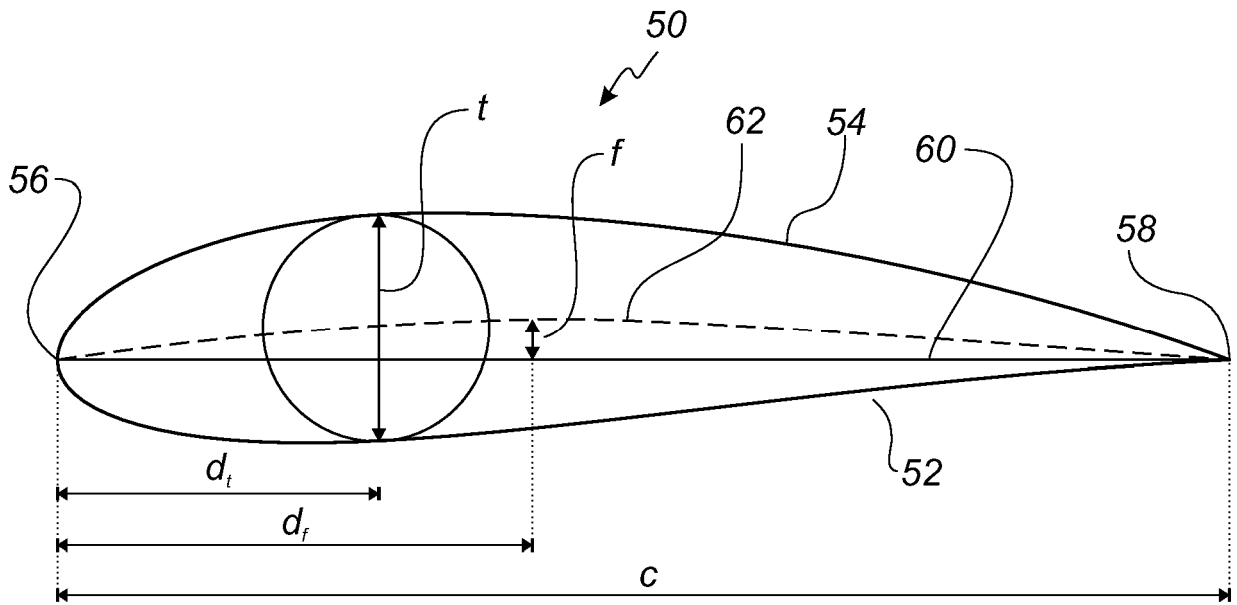


Fig. 3

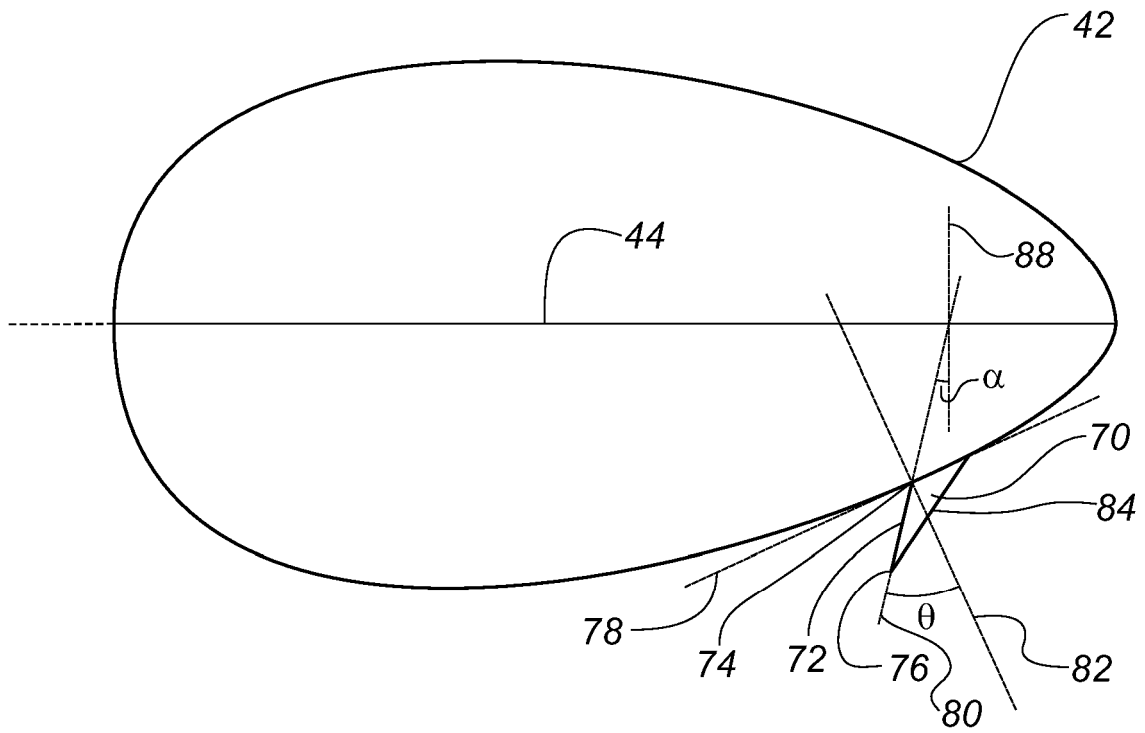


Fig. 4

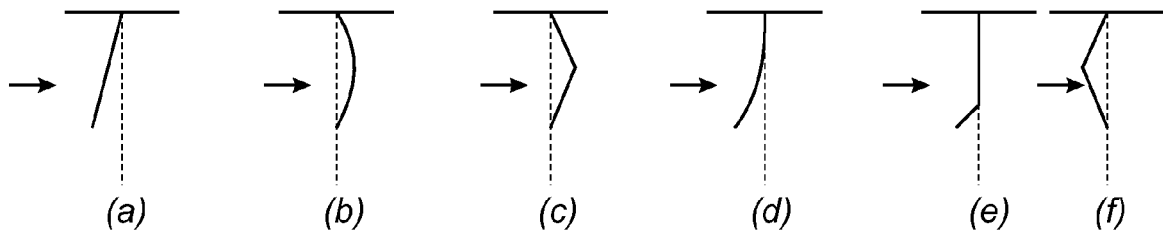
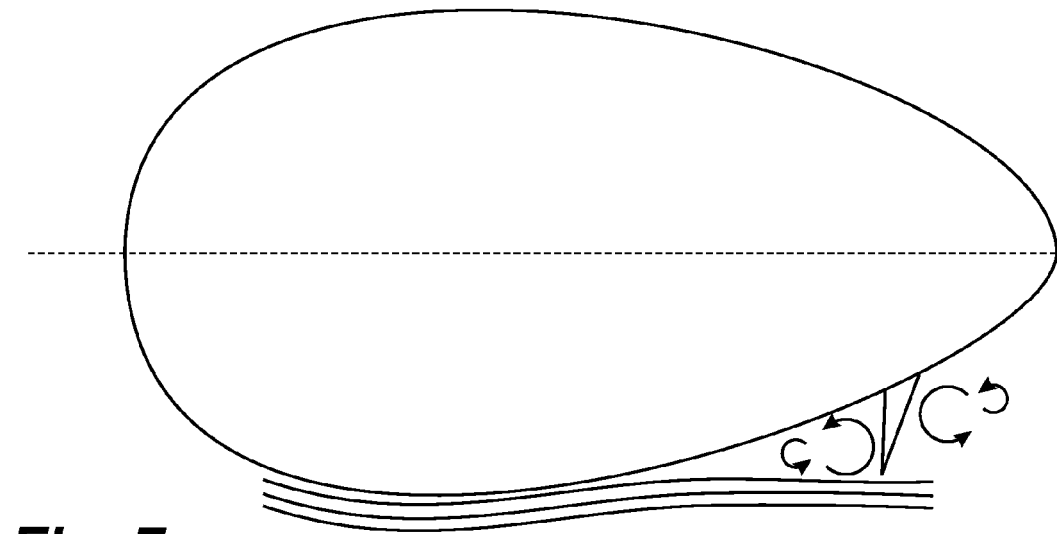
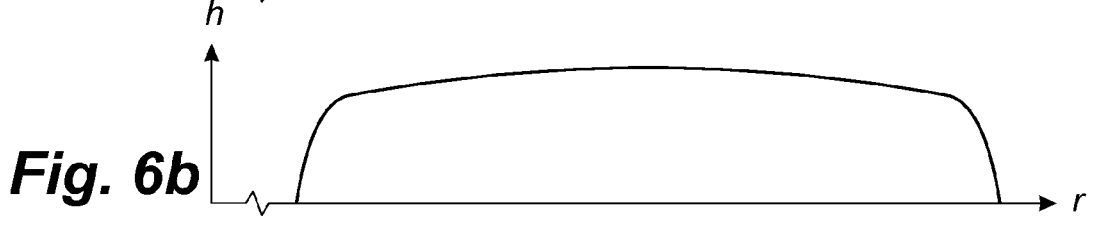
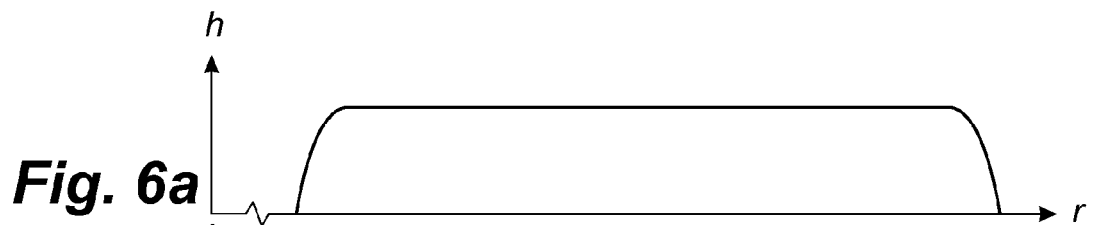
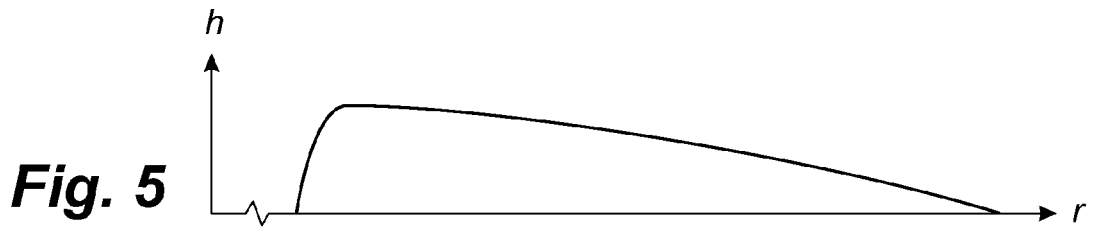


Fig. 8

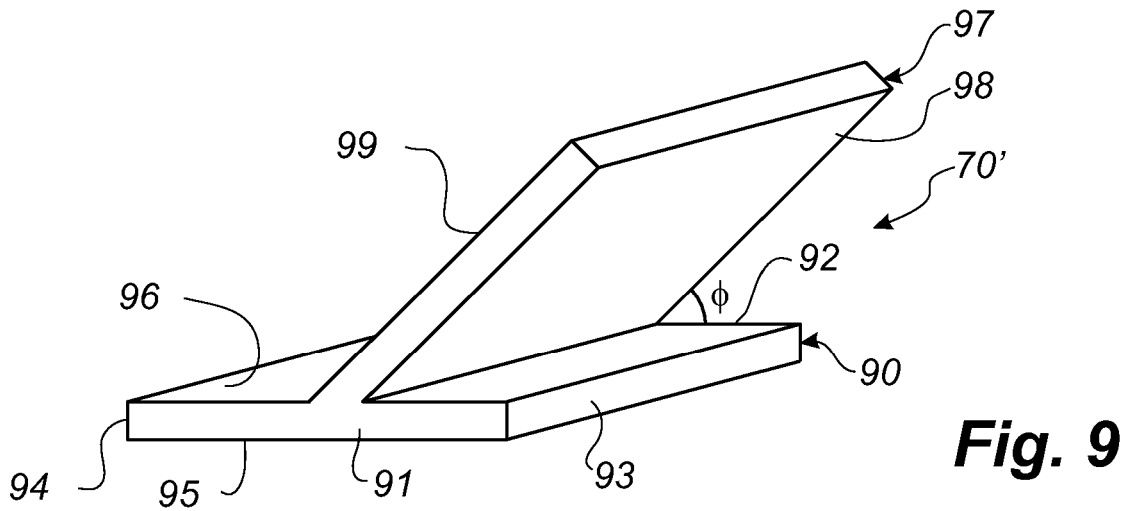


Fig. 9

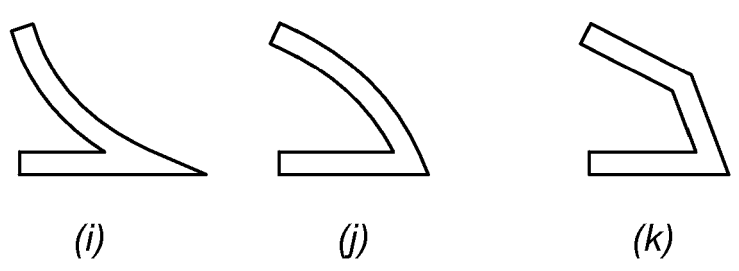
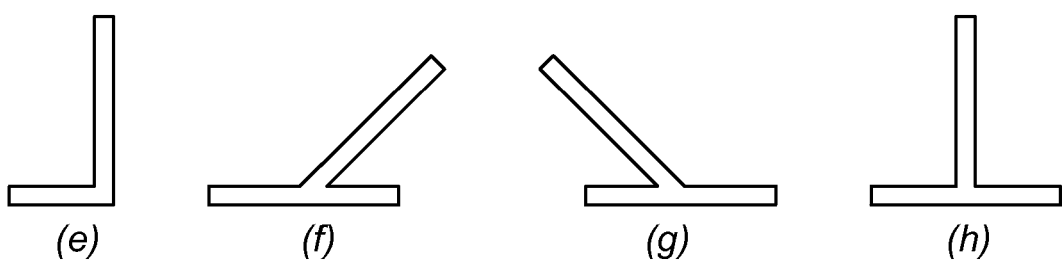
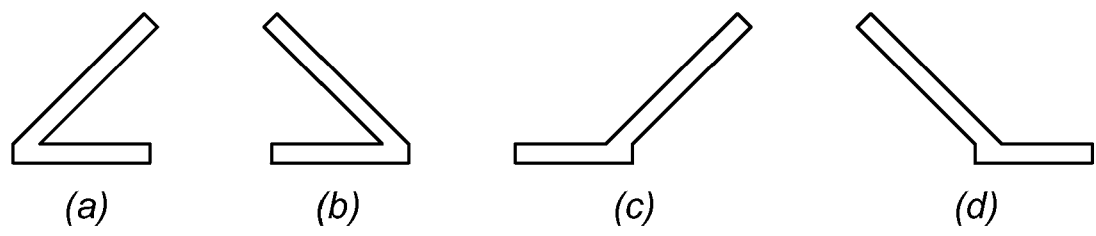


Fig. 10

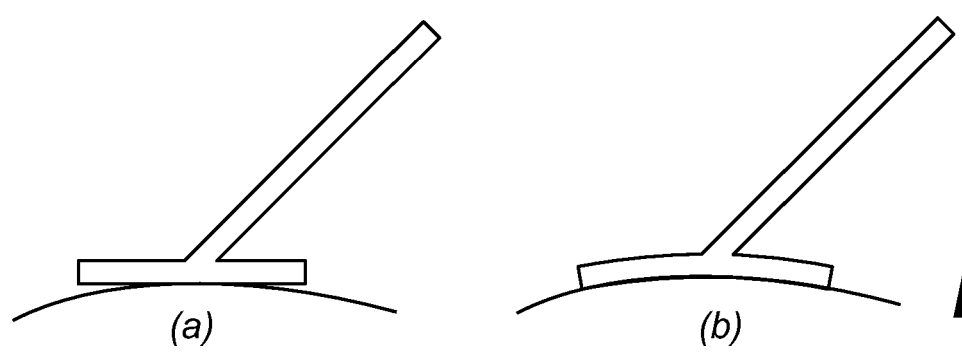
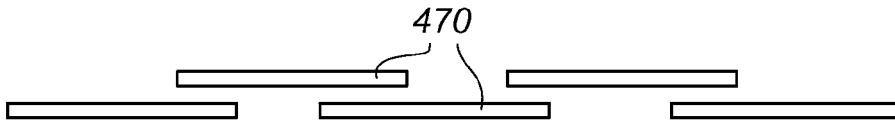
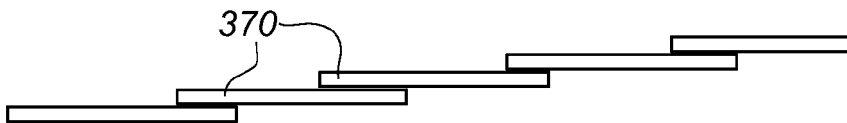
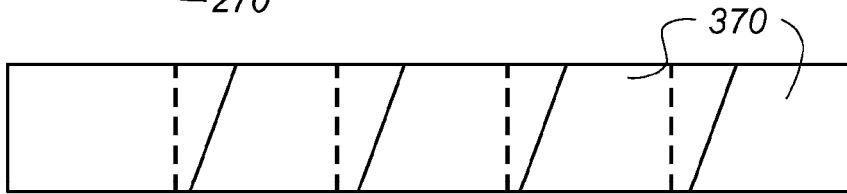
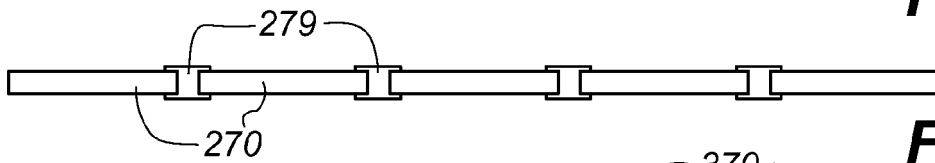
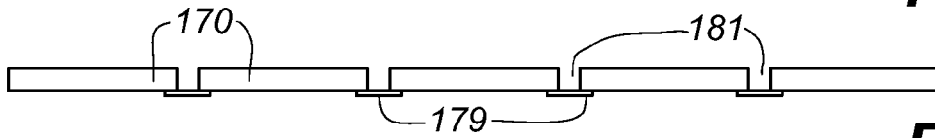
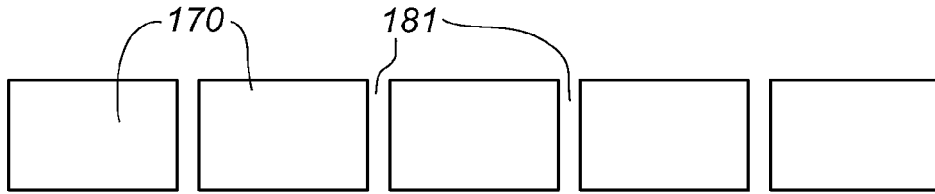
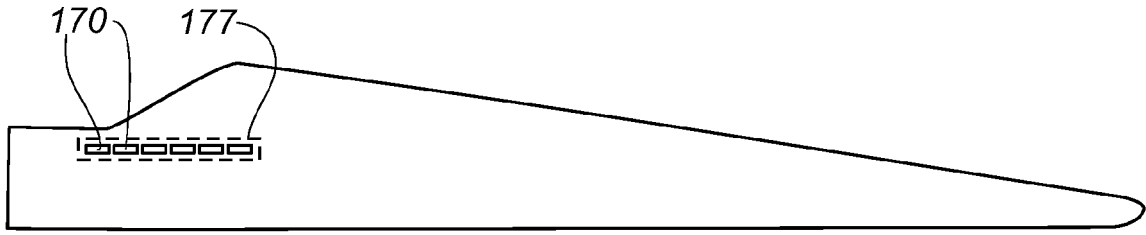


Fig. 11



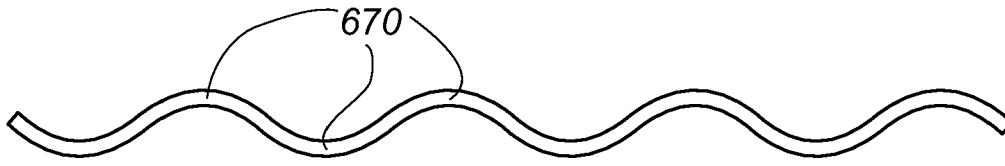


Fig. 20

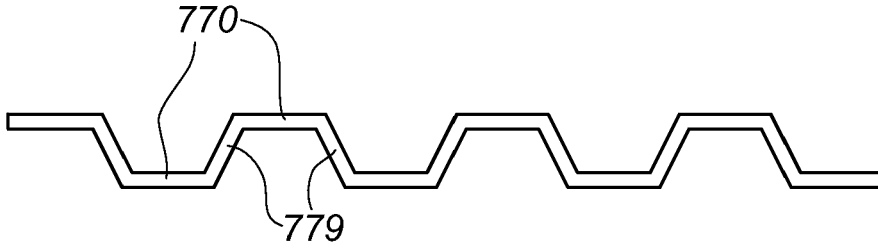


Fig. 21

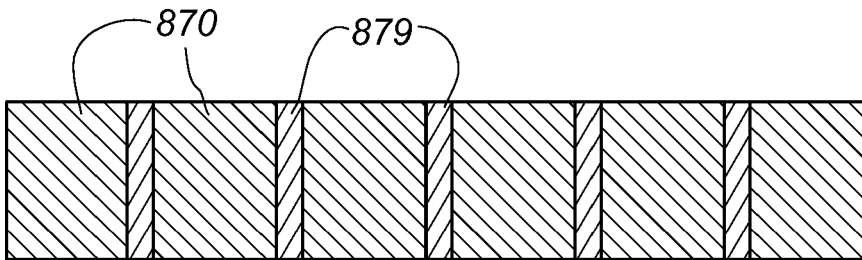


Fig. 22

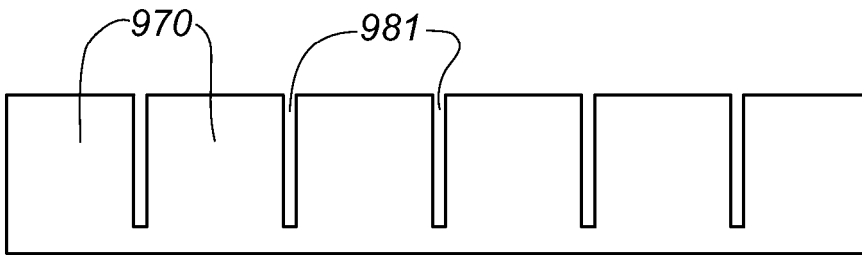


Fig. 23

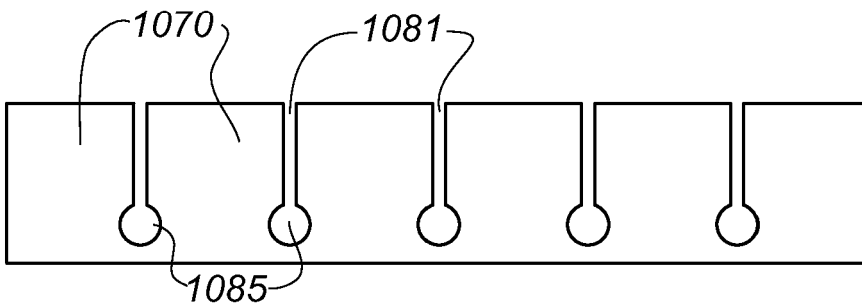


Fig. 24

