(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 549 058**

(51) Int. Cl.:
F03D 1/06 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.05.2012** **E 12168992 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.07.2015** **EP 2527642**

(54) Título: **Pala de rotor de una central de energía eólica**

(30) Prioridad:

26.05.2011 DE 102011050661

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.10.2015

(73) Titular/es:

BAYWA R.E. ROTOR SERVICE GMBH (50.0%)
Am Diesterkamp 63
27432 Basdahl, DE y
SPITZNER ENGINEERS GMBH (50.0%)

(72) Inventor/es:

LÜHRS, REINHARD y
JÖRG, SPITZNER

(74) Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 549 058 T3

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

DESCRIPCIÓN

Pala de rotor de una central de energía eólica

La invención se refiere a una pala de rotor de una central de energía eólica, que comprende un lado superior, un lado inferior, un canto delantero, un canto trasero, una fijación del cubo para la fijación de la pala del rotor en el cubo de la central de energía eólica, una punta de pala y una zona de la raíz, desde la fijación del cubo hasta la profundidad máxima de la pala del rotor, en la que dentro de la pala del rotor está previsto un canal de conducción del aire que se extiende aproximadamente radial hacia fuera para la conducción de aire aspirado desde una zona de aspiración dispuesta en la zona de la raíz hacia una zona de soplado, en la que se realiza una aspiración de la capa límite. Además, la invención se refiere a un procedimiento para el control de la potencia de una central de energía eólica con palas de rotor con una aspiración de la capa límite.

Se conocen a partir del estado de la técnica diferentes disposiciones, para mejorar la eficiencia de centrales de energía eólica. Por una parte, se conoce en el estado de la técnica optimizar la forma de las palas del rotor y su perfil y, por otra parte, se conoce utilizar una aspiración de la capa límite en las palas de rotor, para mejorar la circulación del aire.

Puesto que la optimización de las palas de rotor se basa esencialmente en los perfiles-NACA conocidos, en este caso se consigue aproximadamente un máximo aerodinámico, de manera que se presta menos atención a este punto en la discusión actual. En cambio, adquiere mayor importancia el aspecto de la influencia sobre la capa límite así como el control de la circulación. En este campo no se han conseguido hasta ahora todavía mejoras altamente eficientes para palas de rotor de centrales de energía eólica.

Sobre el lado superior de la pala del rotor se inicia, debido a su curvatura, una circulación acelerada después de pasar la curvatura máxima hacia el gradiente de presión en el extremo de la pala del rotor y en este caso se ralentiza. A este respecto, la capa límite pierde energía cinética. Se realiza un espesamiento y la capa límite comienza a desprenderse desde la superficie, de manera que en el punto de desprendimiento desde una capa límite apropiada se produce una circulación desprendida desde la superficie de la pala del rotor. Como consecuencia, se reduce la suspensión producida por la superficie de ataque de la corriente y se eleva la resistencia.

El objetivo de la influencia de la capa límite es impedir que se inicie un desprendimiento de la circulación desde la superficie de la pala del rotor. La capa límite debe apoyarse durante el mayor tiempo posible en la pala del rotor para desplazar de esta manera el desprendimiento a la zona trasera de la pala del rotor, de manera que se mejora la eficiencia de la central de energía eólica.

En principio, se distingue entre la influencia a través de la aspiración y la influencia a través de soplado durante la manipulación de la capa límite. Durante la aspiración se prevén en las zonas respectivas de la superficie de la pala del rotor unos orificios, a través de los cuales se aspira la capa límite. De esta manera se apoya la circulación adicionalmente en la superficie de la pala del rotor. Se configura una capa límite apropiada. Durante el soplado se introduce aire adicional acelerado en la capa límite a influir. El aire soplado introduce para la estabilización energía adicional en la capa límite y de esta manera se puede mantener durante un periodo de tiempo más largo.

Se conoce a partir de la publicación CH 209 491 un propulsor, en el que se realiza una influencia automática de la capa límite. En la superficie de la zona interior del propulsor están previstas una o varias zonas de aspiración a través de ranuras, que están conectadas, a través de al menos un canal de conducción de aire guiado radialmente hacia fuera y que se extiende dentro del propulsor, con una zona de soplado en la punta del propulsor. A través de la rotación se transporta el aire aspirado con la ayuda de la fuerza del canal centrífugo pasivamente hacia la punta del propulsor y se sopla allí. Además, es posible la influencia sobre las cantidades de aire transportadas por medio de válvulas de regulación y trampillas de estrangulamiento.

La publicación EP 1 760 310 A1 publica una pala de rotor de una central de energía eólica, en la que la superficie de la pala de rotor está incrementada considerablemente en la zona de la raíz y de esta manera se realiza un incremento de la potencia de todo el sistema. El perfil de la pala del rotor está configurado largo en la zona de la raíz y terminando blando, con lo que se configura un canto trasero estrecho en la zona de la raíz. La superficie total de la pala del rotor en la zona de la raíz se eleva en este caso en un múltiplo frente a las zonas convencionales de la raíz de palas de rotor.

Además, se conoce a partir de la publicación EP 2 204 577 A2 un componente accesorio de la pala de la raíz, que se puede disponer en el canto trasero de la pala del rotor para el incremento de la eficiencia en la proximidad de la zona de la raíz, de manera que se puede accionar más eficientemente la potencia de la central de energía eólica, en la que están dispuestas las palas de rotor configuradas de forma correspondiente, pudiendo configurarse el componente accesorio con la pala del rotor a modo de un perfil de alta sustentación.

La publicación EP 2 292 926 A1 publica una pala de rotor de una central de energía eólica, en la que la zona de la raíz de la pala de rotor optimizada está configurada en el canto delantero y/o en el canto trasero, de manera que se

puede conseguir una prolongación continua de la zona principal del rotor.

Se conoce a partir de la publicación WO 2007/035758 A1 una pala de rotor para una central de energía eólica, en la que se realiza una aspiración sobre el lado superior de la zona de la raíz, siendo conducido el aire aspirado allí a través de un canal de conducción de aire en el extremo de la pala y siendo conducido en el extremo de la pala desde el interior de la pala del rotor de nuevo hacia fuera, con lo que se realiza una aleación de potencia de la central de energía eólica.

La publicación DE 10 2008 052 858 A1 publica un perfil de una pala de rotor de una central de energía eólica, en el que se ha realizado una modificación del perfil con relación al estado general de la técnica, donde se propone para la modificación del perfil, en una pala de rotor de una central de energía eólica con un lado superior sobre el lado de aspiración y un lado inferior sobre el lado de presión con una línea estructural y con una cuerda entre el canto delantero y el canto trasero del perfil, hacer que la línea estructural se extienda, al menos por secciones, debajo de la cuerda en la dirección del lado de presión.

Además, la publicación EP 2 053 240 A1 publica un sistema de control de la influencia de la capa límite para la mejora de la capa límite en el canto trasero de una pala de rotor, estando previstas a tal fin una pluralidad de salidas y de entradas, respectivamente, en el lado superior hacia el canto trasero de la pala del rotor, que pueden ser abastecidos con presión negativa o con sobrepresión a través de un sistema de suministro dispuesto dentro de la pala del rotor, siendo realizado su control a través de válvula.

En la publicación DE 10 2008 003 411 A1 se publican perfiles de alas para centrales de energía eólica, que presentan un lado de aspiración esencialmente ovalado así como un lado de presión en forma de s y un canto trasero sin punta.

En las mejoras conocidas en el estado de la técnica de la capacidad de potencia de palas de rotor, es problemático el mucho empleo de material y la mala capacidad de transporte con respecto a una forma mejorada de la pala del rotor en la zona de la raíz de una pala de rotor convencional. Una pala de rotor mejorada en la zona de la raíz presenta allí una superficie mayor, que solamente se puede fabricar con muchísimo material. Para la prevención de relaciones desfavorables de la circulación, la profundidad debe configurarse claramente más larga que la profundidad de la pala restante del rotor. Además, debido a esta superficie incrementada de la superficie de la pala del rotor en la zona de la raíz aparecen fuerzas claramente más elevadas, lo que implica un refuerzo de las estructuras de soporte y el empleo adicional de material y, por lo tanto, también peso.

Además, es problemática la aspiración en la zona de la raíz, puesto que la zona de la raíz presenta en el estado de la técnica o bien aproximadamente un perfil circular o, en cabio, la zona de la raíz está configurada como superficie profunda de la pala del rotor que termina en punta.

La presente invención tiene el cometido de mostrar una pala de rotor para una central de energía eólica así como un procedimiento de control, que posibilitan incrementar el rendimiento del sistema general, teniendo en cuenta especialmente un tipo de construcción compacto, un consumo reducido a material para la fabricación, costes de fabricación reducidos así como una emisión reducida de ruido durante el funcionamiento como también sólo una carga adicional reducida sobre la pala del rotor propiamente dicha. Además, un cometido de la invención es mejorar considerablemente el rendimiento económico de una central de energía eólica en zonas de baja velocidad del viento, en particular reducir la velocidad de arranque, sin que se exceda, sin embargo, al mismo tiempo una potencia nominal máxima predeterminada de la central de energía eólica. El incremento de la potencia debe elevarse esencialmente en la zona de carga baja a media, de manera que se incremente el rendimiento de la central de energía eólica. A tal fin, debe mejorarse especialmente la circulación en la zona de la raíz y debe aprovecharse más intensamente desde el punto de vista energético, debiendo aplicarse la circulación durante más tiempo sobre la superficie de la pala del rotor.

Estos cometidos se solucionan con una pala de rotor de acuerdo con la reivindicación 1 y con un procedimiento para el control de acuerdo con la reivindicación 13.

Puesto que el canto trasero en la zona de la raíz está configurado sin punta al menos en una sección a lo largo de la pala del rotor, está prevista una zona de aspiración dispuesta en la zona de la raíz y es posible un incremento muy grande de la potencia y de la eficiencia en comparación con palas de rotor convencionales con una zona de la raíz casi redonda. En particular, solamente se requiere una necesidad adicional muy reducida del material, para configurar el canto trasero sin punta en la zona de la raíz al menos en una sección. Las fuerzas que aparecen allí en comparación con una zona redonda de la raíz solamente se elevan en una medida reducida, de manera que se puede prescindir de refuerzos condicionados por el diseño. Al mismo tiempo, las mediciones han mostrado que la prolongación en la zona de la raíz con la configuración de un canto trasero sin punta proporciona incrementos similares de la potencia y de la eficiencia, respectivamente, que una pala de rotor embutida profunda en la zona de la raíz conocida a partir del estado de la técnica mencionado al principio.

El canto trasero configurado sin punta pasa en la zona de transición desde la zona de la raíz hasta la zona de la pala

del rotor propiamente dicha suavemente al canto trasero de la pala del rotor estándar conocida en el estado de la técnica.

Es posible un canto trasero muy ancho y configurado sin punta hasta directamente la zona de la fijación del cubo, pudiendo estar configurada ampliada especialmente la anchura del canto trasero hacia la zona del cubo. A través de esta configuración es posible transferir la central de energía eólica ya en el caso de velocidades menores del viento al modo de potencia o bien al modo de trabajo, de manera que se transforma la cantidad mayor de energía eólica a través de la central de energía eólica en energía eléctrica.

La profundidad de la pala del rotor en la zona de la raíz permanece a pesar de la modificación del canto trasero en adelante detrás de la profundidad de la pala del rotor en el lugar más profundo.

Las transiciones del canto trasero configurado sin punta hacia el lado superior y/o el lado inferior se pueden redondear fácilmente o se pueden configurar de canto, para continuar influyendo sobre la circulación en este punto. Se prefiere un redondeo ligero.

Otra ventaja especial es que se mantiene la capacidad de soporte para palas nuevas como también para palas que están en revisión, puesto que la profundidad de la pala del rotor no se eleva esencialmente en la zona de la raíz. Esto tiene mucha importancia, puesto que la altura de circulación por puentes, túneles y similares está limitada y una separación de la pala del rotor es más cara en la manipulación que el transporte en una pieza, en particular con relación a la zona de la raíz.

Como materiales se pueden emplear los componentes habituales empleados para la fabricación de palas de rotor.

Para la mejora adicional, la zona de la raíz está configurada como perfil Wortmann con un canto trasero sin punta, ancho y/o recortado. De esta manera, resulta un comportamiento de la circulación mejorado desde el punto de vista de la técnica de la circulación en la zona de la raíz. De manera más sorprendente, un perfil Wortmann con un canto trasero sin punta, ancho y/o recortado es equivalente a la configuración de la zona de la raíz de la pala del rotor con una superficie de la pala del rotor embutida muy profunda, como se conoce ésta en el estado de la técnica. En particular, el perfil Wortmann pasa con un canto trasero sin punta, ancho y/o recortado en la zona de la raíz de manera fluida al canto trasero de la pala del rotor. Como perfiles Wortmann posibles y preferidos tienen mucha importancia especialmente el perfil Wortmann FX77-W-500 y similar. Además, es posible el perfil Wortmann FX77-W-400 como también el perfil WiortmannFX77-W-343. Éstos se diferencian especialmente por su profundidad y su anchura de los cantos traseros.

En caso necesario, se puede configurar adicionalmente el canto delantero de la pala del rotor en la zona de la raíz como canto delantero similar a Wortmann para mejorar de esta manera adicionalmente el ataque de la corriente. De este modo se provoca un incremento adicional de la potencia, puesto que la circulación se mantiene laminar sobre una zona mayor y de esta manera las pérdidas a través de turbulencias producidas no se oponen a la generación de energía.

Cuando la zona de aspiración está dispuesta en el canto trasero y/o en el lado superior de la zona de la raíz, se puede aspirar una parte de las masas de aire en circulación ya sobre el lado superior y/o en el canto trasero. A tal fin, es posible la disposición adicional de orificios individualizados o, en cambio, también de una pluralidad de orificios sobre el lado superior y/o en el canto trasero de la pala del rotor.

La aspiración en el lado superior, con preferencia en el lado superior cerca del canto trasero y/o en la zona media de la zona de la raíz, provoca una influencia relativamente precoz de la capa límite, de manera que la circulación se aplica durante más tiempo en la superficie.

La aspiración en el canto trasero en la zona de la raíz provoca ahora allí la aspiración de la capa límite o bien la influencia sobre la capa límite. Ésta es tan eficiente que la circulación está configurada apropiada por encima de la superficie de la pala del rotor sobre toda la zona.

La aspiración en el lado superior se puede combinar con la aspiración en el canto trasero, con lo que se puede mejorar adicionalmente la eficiencia. A tal fin, también es posible un control de los orificios individuales, pudiendo cerrarse algunos orificios y pudiendo abrirse algunos orificios, de manera que en función de la zona de potencia se realiza la aspiración sobre el lado superior y/o sobre el canto trasero.

Puesto que la zona de soplado está dispuesta en la punta de la pala, estando dispuesta con preferencia la zona de soplado en el lado superior y/o de manera especialmente preferida en el canto trasero de la pala del rotor de la punta de la pala y/o en una aleta prevista con preferencia sobre el lado de sotavento de la pala del rotor, en la punta de la pala, se realiza una influencia selectiva de la circulación del aire en la punta de la pala. El trayecto, que el recorre el aire aspirado, es máximo, con lo que la fuerza centrífuga es igualmente máxima, para aspirar de esta manera cantidades de aire correspondientes, transportarlas y descargarlas de nuevo con un contenido alto de

energía.

La descarga en el lado superior de la pala del rotor provoca ya una aceleración del aire y de la capa límite sobre el perfil y de esta manera proporciona ya muy pronto una introducción adicional de energía. La capa límite se acelera sobre el perfil.

La descarga en el canto trasero mejora claramente la circulación sobre el perfil, de manera que el aire y la energía introducidos adicionalmente aceleran adicionalmente el aire en circulación. Esta configuración conduce a una reducción al mínimo del ruido en la punta de la pala.

Además, se puede descargar el aire sobre la superficie o en el canto trasero de una aleta dispuesta en la punta de la pala del rotor, que está dispuesta con preferencia sobre el lado de sotavento de la pala de rotor. Esto provoca otra reducción al mínimo del ruido. El soplado sobre la aleta puede estar configurado en este caso como perfil NACA. En el caso de que la descarga se realice a través de una salida grande, el aire saliente y la energía contenida en él

La aleta tiene especialmente el cometido de reducir un ángulo marginal exterior, que puede aparecer a través de una punta de pala normal. No obstante, mediante soplado selectivo del aire aspirado en el canto trasero de la pala del rotor en la zona de la punta de la pala se puede reducir en la zona de la punta de la pala la formación de un ángulo marginal para optimizar de esta manera las relaciones de la circulación.

Puesto que la zona de aspiración y/o la zona de soplado está(n) configurada(s) como taladro(s) y/o ranura(s), con preferencia está(n) configurada(s) como púa(s), se puede actuar positivamente sobre las emisiones de ruido. En particular, las púas con taladros dispuestos en ellas reducen la contaminación de ruido a través del aire en circulación, de manera que se reduce claramente la contaminación de ruido del medio ambiente. Las púas proporcionan en este caso una distribución homogénea. Especialmente una descarga tranquila del aire. Una utilización de tales púas para la aspiración es, sin embargo, muy eficiente. Sin embargo, en este caso durante el soplado se pueden emplear púas más pequeñas para conseguir de esta manera un soplado más fuere, pero más fino. Además, las púas se pueden construir muy fácilmente y se pueden realizar fácilmente a través de incisión o fresado.

Para la regulación del flujo de aire, en el canal de conducción de aire está dispuesta una válvula para el control de la influencia de la capa límite. Ésta se puede regular sin escalonamiento, para regular y controlar de esta manera la cantidad de aire aspirado y transportado. Es posible cualquier posición desde totalmente cerrada, como protección de la instalación contra una sobrecarga, hasta totalmente abierta, para el arranque de la instalación hasta muy dentro de la operación de potencia.

Para la mejora adicional, en particular para el control de la central de energía eólica y para la reducción de la velocidad mínima del viendo de arranque están previstos medios de transporte para la influencia activa sobre la capa límite a través de la conducción de aire dentro del canal de conducción de aire, de manera que se puede transportar aire tanto desde la zona de aspiración hacia la zona de soplado como también en dirección opuesta. Tales medios de transporte pueden ser bombas, instalaciones de transporte, soplantes y/o ventiladores o similares, que transportan el aire tanto en una dirección como también en la otra dirección. Durante el transporte del aire de manera similar a la aspiración en la zona de la raíz, que resulta a partir de la fuerza centrífuga provocada por la rotación, se puede reducir claramente la velocidad de arranque, de manera que la central de energía eólica pasa ya a velocidades menores del viento al modo productivo. En el caso del transporte del aire opuesto, en el caso de un transporte de retorno del aire desde la punta de la pala hacia la zona de la raíz, se realiza una influencia inversa de la capa límite.

Además, para la mejora adicional de la circulación interna se puede prever un cerco de la capa límite o un anillo de la capa límite, para limitar de esta manera las circulaciones y reducir una turbulencia marginal interior. A tal fin, se puede seleccionar especialmente una forma aerodinámica girada del cerco de la capa límite del tipo de pala de rotor.

Todas las mejoras presentadas están diseñadas especialmente de tal manera que éstas están diseñadas también como componentes accesorios posteriores. Por lo tanto, en general, se reivindican también los componentes accesorios, que pueden mejorar una pala de rotor del tipo de realización estándar, de manera que una pala de rotor está configurada al menos con las características de la reivindicación principal. A tal fin, un primer accesorio en la zona de la raíz está configurado de tal forma que aquí se puede colocar un elemento suplementario sobre la zona de la raíz configurada normalmente de forma circular y presenta un canto trasero sin punta, en el que está prevista una zona de aspiración. Un segundo accesorio está previsto para la zona de la punta de la pala, de manera que aquí está realizada una zona de soplado. Otra pieza para la mejora posterior de una pala de rotor estándar es el canal de conducción de aire para la introducción en el espacio interior de la pala del rotor. Para la fijación del componente de montaje se pueden aplicar procedimientos de fijación estándar, como laminación, tornillos, encolado, bulones o procedimientos similares, que se conocen, en general, en la zona de la técnica de la pala del rotor.

El procedimiento para el control de la potencia de una central de energía eólica con palas de rotor que son reivindicadas de acuerdo con esta publicación, con una aspiración de la capa límite, una zona libre de potencia, una

zona de trabajo y una zona de potencia máxima comprende que:

- en la zona libre de potencia y/o en la zona de potencia máxima no se realiza ninguna aspiración de la capa límite,
- en la zona de arranque se realiza una aspiración máxima disponible de la capa límite y
- en la zona de trabajo se realiza una aspiración variable de la capa límite comenzando, en el caso de potencia pequeña, con una aspiración máxima de la capa límite y terminando con una aspiración mínima de la capa límite en el caso de potencia grande.

De esta manera se consigue una mejora adicional de la eficiencia de la central de energía eólica en una zona inferior de la potencia como también en una zona de arranque, de manera que se puede producir más energía en el caso de intensidades más reducidas del viento. No obstante, se puede impedir una sobrecarga ya precozmente, cuando la aspiración de la capa límite se reduce a un mínimo.

Además, se mejora el procedimiento para el control de una central de energía eólica porque cuando se alcanza una potencia nominal máxima, se desactiva la aspiración de la capa límite. La consecución de una potencia nominal máxima se realiza ya a una velocidad más reducida del viento, de manera que se puede detener al mismo tiempo el empleo de la influencia de la capa límite, puesto que en otro caso a través de una potencia demasiado grande se destruiría el generador de la central de energía eólica o al menos se dañaría.

A continuación se describen en detalle el estado de la técnica y ejemplos de realización de la invención la ayuda de los dibujos adjuntos. En este caso:

La figura 0 muestra una representación de una pala de rotor conocida a partir del estado de la técnica.

La figura 1 muestra una representación de un primer ejemplo de realización de la pala de rotor de acuerdo con la invención.

La figura 2a muestra una representación de detalle de la zona de la raíz de un segundo ejemplo de realización de la pala de rotor de acuerdo con la invención.

La figura 2b muestra una representación de detalle de la zona de la raíz de un tercer ejemplo de realización de la pala de rotor de acuerdo con la invención.

La figura 2c muestra una representación de detalle de la zona de la raíz de un cuarto ejemplo de realización de la pala de rotor de acuerdo con la invención.

La figura 3a muestra una representación de la sección transversal de la zona de la raíz de una pala de rotor conocida a partir del estado de la técnica a lo largo de la línea de intersección A-A de la figura 0.

La figura 3b muestra una representación de la sección transversal de la zona de la raíz de otro ejemplo de realización de la pala de rotor de acuerdo con la invención.

La figura 4 muestra una representación de detalle de la zona de la raíz de un quinto ejemplo de realización de la pala de rotor de acuerdo con la invención.

La figura 5 muestra una representación de detalle de la zona de la raíz de un sexto ejemplo de realización de la pala de rotor de acuerdo con la invención.

La figura 6 muestra una representación de la punta de la pala con una aleta de un séptimo ejemplo de realización de la pala de rotor de acuerdo con la invención, y

La figura 7 muestra una representación de detalle de la punta de la pala del séptimo ejemplo de realización de la pala del rotor de acuerdo con la invención.

La figura 0 muestra el estado de la técnica, como están configuradas normalmente las palas de rotor 1 de centrales de energía eólica. Con la ayuda de la figura debe representarse brevemente la estructura básica de una pala de rotor 1.

En la figura 0 se muestra una representación de una pala de rotor 1 conocida a partir del estado de la técnica.

La pala de rotor 1 está constituida por una estructura básica alargada con un lado superior 13, un lado inferior 14, un canto delantero 16 alineado con respecto al lado de barlovento, un canto trasero 15 en el lado de sotavento. La pala del rotor 1 puede dividirse en cuatro secciones: la primera sección comprende la fijación del cubo 17, en la que el cubo del generador de la central de en energía eólica recibe la pala del rotor 1 y se fija allí; la segunda sección se puede designar como zona de la raíz 11. La zona de la raíz 11 se extiende desde la fijación del cubo 17 hasta el

lugar de la pala del rotor 1, en el que la pala del rotor 1 presenta la profundidad máxima. Normalmente, la zona de la raíz 11 se puede definir como la zona desde el comienzo de la pala del rotor 1 hasta 1/10 a 1/3 de la longitud de la pala del rotor. La tercera sección es esencialmente un perfil aerodinámico, que pierde profundidad en el desarrollo siguiente. La cuarta sección comprende la punta de la pala 12. La punta de la pala 12 representa el extremo de la pala del rotor 1.

A continuación se hace referencia, en principio, a las características de la pala del rotor 1, conocidas, en general, en el estado de la técnica, sin mencionadas de nuevo.

A continuación se describe ahora la pala del rotor 1 de acuerdo con la invención y ésta se explica y se describe en detalle:

En la figura 1 muestra un primer ejemplo de realización de la pala de rotor 1 de acuerdo con la invención.

La pala de rotor 1 presenta la misma estructura básica y los mismos elementos básicos que la pala de rotor 1 del estado de la técnica, conocido a partir de la descripción de la figura 0.

La zona de la raíz 11 de la pala de rotor 1 está modificada por medio de un canto trasero 15 configurado sin punta con una anchura grande. En el lado superior 13 de la zona de la raíz 11, en la zona trasera, en la proximidad del canto trasero 15, está dispuesta la zona de aspiración 21. La zona de aspiración 21 comprende taladros de aspiración 25. En este ejemplo de realización de trata de 24 taladros de aspiración 25 individuales, que están dispuestos en una serie adyacentes entre sí a lo largo del canto trasero 15. Pero los orificios de aspiración pueden estar configurados también de otra manera y pueden estar dispuestos de otra manera en la zona de la raíz. No obstante, este ejemplo de realización representa una forma de realización especialmente preferida, puesto que esta configuración muy especial ha incrementado la potencia de la central de energía eólica de manera sorprendente en ensayos individuales de manera especialmente eficiente.

Los taladros de aspiración 25 están conectados con un canal de conducción de aire 23 a través de una confluencia dispuesta en el interior de la pala del rotor 1, no representada aquí en detalle. Este canal de conducción de aire 23 está dispuesto dentro de la pala del rotor 1 y conduce aproximadamente radial hacia fuera hacia la punta de pala 12 de la pala del rotor 1.

En la punta de la pala 12, en el canto trasero 15 de la pala del rotor 1 está prevista una zona de soplado 22. Esta zona de soplado 22 comprende en este ejemplo de realización tres púas 26, cuya estructura se describe en detalle en las figuras 6 y 7.

Dentro del canal de conducción 23 está prevista una válvula, que puede limitar la cantidad del aire transportado.

En esta variante se realiza a través de la rotación de la pala del rotor 1 alrededor del cubo de la central de energía eólica, condicionado por la fuerza centrífuga, un transporte de aire desde el lado de la fijación del cubo 17 en la dirección de la punta de la pala 12 a través del canal de conducción de aire 23. En este caso, se aspira aire cerca del canto trasero 15 en la zona de la raíz 11 a través de la zona de aspiración 21 con la ayuda de los taladros de aspiración 25 y se transporta permanentemente en adelante a través del canal de conducción de aire 23. En el extremo del canal de conducción de aire 23, en la punta de la pala, se realiza entonces la salida del aire a través de la zona de soplado 22 en el canto trasero 15 de la punta de la pala 12. La circulación del aire se representa con la ayuda de flechas de la circulación ⇒.

Por medio de la aspiración del aire a través de la zona de aspiración 21 en la zona de la raíz 11 se realiza allí una aspiración de la capa límite. Por medio del soplado del aire aspirado a través de la zona de soplado 22 en la punta de la pala 12 se realiza allí de la misma manera una influencia de la capa límite, pero allí a través de la introducción de energía en la circulación de aire que predomina allí. Ambas influencias de la capa límite provocan una circulación apropiada o bien optimizada en las zonas, de manera que esto conduce a un incremento de la eficiencia de la pala del rotor 1 y, por lo tanto, al incremento de la eficiencia de toda la central de energía eólica.

Por lo demás, para los mismos elementos se utilizan los mismos signos de referencia que en la figura 1. Para su función principal se remite a la figura 1.

La figura 2a muestra una representación de detalle de la zona de la raíz de un segundo ejemplo de realización de la pala de rotor de acuerdo con la invención.

En particular, aquí la zona de aspiración 21 está ampliada en comparación con la zona de aspiración 21 del ejemplo de realización de la figura 1. Adicionalmente a la aspiración en el lado superior 13 de la zona de la raíz 11 se realiza una aspiración en el canto trasero 15 de la pala del rotor 1. Esto puede conducir en configuraciones individuales del canto trasero 15 y especialmente de la zona de transición del lado superior 13 hacia el canto trasero 15 a una mejora de la circulación apropiada.

La figura 2b muestra una representación de detalle de la zona de la raíz de un tercer ejemplo de realización de la

pala de rotor de acuerdo con la invención.

En particular, aquí la zona de aspiración 21 está ampliada en comparación con la zona de aspiración 21 del ejemplo de realización de la figura 1. Adicionalmente a la aspiración por medio de una serie de taladros en el lado superior 13 cerca del canto trasero 15 de la zona de la raíz 11 se realiza una aspiración en una segunda serie de taladros 25 en el lado superior 13 de la pala de rotor 1. Esto conduce en configuraciones individuales del canto trasero 15 y especialmente de la zona de transición del lado superior 13 hacia el canto trasero 15 a una circulación adecuada claramente incrementada.

La figura 2c muestra una representación de detalle de la zona de la raíz de un cuarto ejemplo de realización de la pala de rotor de acuerdo con la invención.

Wb particular, aquí la zona de aspiración 21 está configurada en comparación con las zonas de aspiración 21 de los ejemplos de realización anteriores como ranura alargada y está dispuesta en el lado superior 13 cerca del canto trasero 15 de la zona de la raíz 11. Esto conduce en configuraciones individuales del canto trasero 15 y de la zona de la raíz configurada de otra manera con perfil similar a Wortmann a una mejora de la circulación apropiada, conduciendo esto de nuevo a un incremento adicional de la eficiencia.

En la figura 3a se muestra una representación de la sección transversal de la zona de la raíz 11 de una pala de rotor 1 conocida a partir del estado de la técnica a lo largo de la línea de intersección A-A de la figura 0. La sección transversal de una pala de rotor 1 conocida en el estado de la técnica en la línea de intersección A-A es esencialmente una superficie circular. Esta sección transversal de forma circular pasa en el desarrollo siguiente de la pala de rotor en la dirección de la punta de la pala a una pala de rotor de forma aerodinámica.

La figura 3b muestra una representación de la sección transversal de la zona de la raíz 11 del primer ejemplo de realización de la pala de rotor 1 de acuerdo con la invención a lo largo de la línea de intersección B-B de la figura 1. El perfil de la sección transversal de la pala de rotor de forma circular convencional conocido está complementado con un accesorio de aspiración 31 sobre el lado de sotavento, es decir, el lado alejado del viento. Este accesorio de aspiración 31 es en este ejemplo de realización un perfil Wortmann FX77-W-500 modificado con un canto trasero 15 sin punta y con una zona saliente de forma circular en el canto delantero 16 de la zona de la raíz 11. Adicionalmente, la transición superior desde el lado superior 13 hacia el canto trasero 15 como también la transición inferior desde el lado inferior 14 hacia el canto trasero 15 se configuran redondeadas. En general, se configura un canto trasero 15 muy ancho, que representa en combinación con la aspiración de la capa límite una pala de rotor 1 muy eficiente. Esta variante representa una variante de realización preferida.

La figura 3c muestra una representación de la sección transversal de la zona de la raíz 11 de un tercer ejemplo de realización de la pala de rotor 1 de acuerdo con la invención. En este caso, como complemento del ejemplo de realización de la figura 3b en el canto delantero está dispuesto un accesorio adicional 33 de canto delantero al menos en la zona de la raíz 11. Este accesorio adicional 33 de canto delantero corresponde en este ejemplo de realización a un canto delantero similar a un perfil Wortmann y sirve para la influencia selectiva de la circulación del aire, en particular para la optimización adicional de la circulación apropiada. De esta manera están adaptados tanto el lado de barlovento como también en lado de sotavento de la zona de la raíz 11.

En la figura 4 se muestra una representación detallada de la zona de la raíz 11 de un quinto ejemplo de realización de la pala del rotor 1 de acuerdo con la invención.

La zona de la raíz 11 ha sido modificada a través de un accesorio, a saber, un accesorio de aspiración 31. El accesorio de aspiración 31 tiene en este ejemplo de realización una sección transversal, que se parece a un perfil Wortmann FX77W-343. En el canto trasero 15 configurado sin punta de la zona de la raíz 11 está prevista la zona de aspiración 21, que está configurada como ranura en este ejemplo de realización.

La figura 5 muestra una representación de detalle de la zona de la raíz 11 de un sexto ejemplo de realización de la pala de rotor 1 de acuerdo con la invención. En este caso, la zona de aspiración 21 está configurada de forma similar a la representada ya en la figura 1.

En la modificación de la zona de la raíz 1 se trata de un accesorio, a saber, un accesorio, a saber, un accesorio de aspiración 31, que presenta una sección transversal similar al perfil Wortmann FX77-W-500, en el que el canto trasero 15 está configurado sin punta.

La zona de aspiración 21 presenta en este ejemplo de realización varias series de taladros de aspiración 25, que están dispuestos a lo largo del canto trasero, con preferencia comenzando en el canto superior hacia el lado superior 13.

Por lo demás, en la zona de transición desde la zona de la raíz 11 hacia la fijación del cubo 17 está previsto un cerco de capa límite 28, que reduce la turbulencia marginal interior. El cerco de la capa límite 28 está adaptado

aerodinámicamente a la fijación del cubo 17, de manera que no se producen turbulencias.

La figura 6 muestra una representación de la punta de la pala 12 con una aleta 29 de un séptimo ejemplo de realización de la pala de rotor 1 de acuerdo con la invención 1.

En particular, en esta figura se representa en detalle la zona de soplado 22; se pueden reconocer las púas 26, que se pueden crear a través de incisiones en el canto trasero. En el centro respectivo de una púa 26 está previsto un taladro de soplado 27, que está en conexión con el canal de conducción de aire 23, de manera que el aire que circula dentro del canal de conducción de aire 23 puede salir a través de estos taladros de soplado 27.

En la punta de la pala 12 pueden estar previstas púes individuales grandes o una pluralidad de púas pequeñas 26 con taladros de soplado 27 previstos en ellas. Las púas 26 sosiegan la circulación del aire a la salida en el canto trasero 15 en la zona de la punta de la pala 12.

Adicionalmente, en la punta de la pala 12 está prevista una aleta 29 con otros taladros de soplado 27 y púas 26, estando dispuesta con preferencia la aleta 29 sobre el lado de sotavento.

Toda la construcción de la punta de la pala 12 con o sin aleta 29 se puede configurar como accesorio de soplado 32, de manera que se posibilita un reequipamiento de centrales de energía eólica existentes.

En la figura 7 se muestra una representación de detalle de la punta de la pala 12 del séptimo ejemplo de realización de la figura 6 de la pala de rotor 1 de acuerdo con la invención.

Se representan en detalle aquí los taladros de soplado 27 en las púas 26 en el canto trasero 15 de la pala de rotor 1 en la zona de la punta de la pala 12,

Los ejemplos de realización representados no deben considerarse como exhaustivos, sino que solamente representan ejemplos de realización de la pala de rotor de acuerdo con la invención. La forma, el tamaño y el espesor se pueden adaptar a las particularidades.

Lista de signos de referencia

1	Pala de rotor
11	Zona de la raíz
12	Punta de la pala
13	Lado superior
14	Lado inferior
15	Canto trasero
16	Canto delantero
17	Fijación del cubo
21	Zona de aspiración
22	Zona de soplado
23	Canal de conducción del aire
24	Válvula
25	Taladro de aspiración
26	Púas
27	Talado de soplado
28	Cerco de capa límite
29	Aleta
31	Accesorio de aspiración
32	Accesorio de soplado
33	Accesorios de canto delantero

REIVINDICACIONES

1.- Pala de rotor (1) de una central de energía eólica, que comprende un lado superior (13), un lado inferior (14), un canto delantero (16), un canto trasero (15), una fijación del cubo (17) para la fijación de la pala del rotor (1) en el cubo de la central de energía eólica, una punta de pala (12) y una zona de la raíz (11), desde la fijación del cubo (17) hasta la profundidad máxima de la pala del rotor (1), en la que dentro de la pala del rotor (1) está previsto un canal de conducción del aire (23) que se extiende aproximadamente radial hacia fuera para la conducción de aire aspirado desde una zona de aspiración (21) dispuesta en la zona de la raíz (11) hacia una zona de soplado (22), en la que se realiza una aspiración de la capa límite, en la que el canto trasero (15) está configurado sin punta en la zona de la raíz (11) al menos en una sección a lo largo de la pala del rotor (1), en la que la zona de la raíz (11) está configurada como perfil similar a Wortmann o como perfil Wortmann con un canto trasero (15) sin punta, ancho y/o recortado, y el perfil similar a Wortmann o perfil Wortmann pasa con un canto trasero (15) sin punta, ancho y/o recortado en la zona de la raíz (11) de manera fluida al canto trasero (15) de la pala del rotor (1), en la que el perfil con el canto trasero (15) sin punta, ancho y/o recortado comienza con un cerco de capa límite (28) o anillo de capa límite en la zona de la raíz (11) cerca de la fijación del cubo (17).

2.- Pala de rotor (1) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizada por que el canto delantero (16) presenta en la zona de la raíz (11) una sección de forma semicircular.

3.- Pala de rotor (1) de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, caracterizada por que los orificios de la zona de aspiración (21) y/o de la zona de soplado (22) están configurados como taladros (25, 27).

4.- Pala de rotor (1) de acuerdo con la reivindicación 1, 2 ó 3, caracterizada por que los orificios de la zona de aspiración (21) están configurados como taladros (25, 27) y/o ranuras.

5.- Pala de rotor (1) de acuerdo con la reivindicación 1, 2, 3 ó 4, caracterizada por que los orificios de la zona de aspiración (21) y/o de la zona de soplado (22) están configurados como púas (26), de manera que las púas (26) están dispuestas cerca el canto trasero.

6.- Pala de rotor (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizada por que la zona de aspiración (21) está dispuesta en el canto trasero (15) y/o en el lado superior (13) de la zona de la raíz (11).

7.- Pala de rotor (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizada por que la zona de aspiración (21) está dispuesta en el lado superior (13) de la zona de la raíz (11) cerca del canto trasero (15).

8.- Pala de rotor (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizada por que la zona de soplado (22) está dispuesta en la punta de la pala (12).

9.- Pala de rotor (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizada por que la zona de soplado (22) está dispuesta en el lado superior (13) de la pala del rotor, en el canto trasero (15) de la pala del rotor (1) de la punta de la pala (12) y/o en una aleta (29) prevista en la punta de la pala (12).

10.- Pala de rotor (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizada por que la zona de soplado (22) está dispuesta en una aleta (29) prevista en la punta de la pala (12) y sobre el lado de sotavento de la pala del rotor (1).

11.- Pala de rotor (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizada por que en el canal de conducción de aire (23) está dispuesta una válvula (24) para el control de la influencia de la capa límite.

12.- Pala de rotor (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizada por que están previstos medios de transporte para la influencia activa de la capa límite a través de la conducción de aire dentro del canal de conducción del aire (23), de manea que se puede transportar aire tanto desde la zona de aspiración (21) hacia la zona de soplado (22) como también en dirección opuesta.

13.- Procedimiento para el control de la potencia de una central de energía eólica con palas de rotor con una aspiración de la capa límite de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que el control de la potencia se realiza en una zona libre de potencia, en una zona de arranque, en una zona de trabajo y en una zona de potencia máxima, de tal manera que comprende:

- en la zona libre de potencia y/o en la zona de potencia máxima no se realiza ninguna aspiración de la capa límite,
- en la zona de arranque se realiza una aspiración máxima disponible de la capa límite y/o
- en la zona de trabajo se realiza una aspiración variable de la capa límite comenzando, en el caso de potencia pequeña, con una aspiración máxima de la capa límite y terminando con una aspiración mínima de la capa límite en el caso de potencia grande, siendo realizado el control de la potencia de la central de

energía eólica a través del control de la potencia de aspiración de la capa límite.

14.- Procedimiento para el control de una central de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 13, caracterizado por que cuando se alcanza una potencia máxima de la central de energía eólica, se desactiva la aspiración de la capa límite.

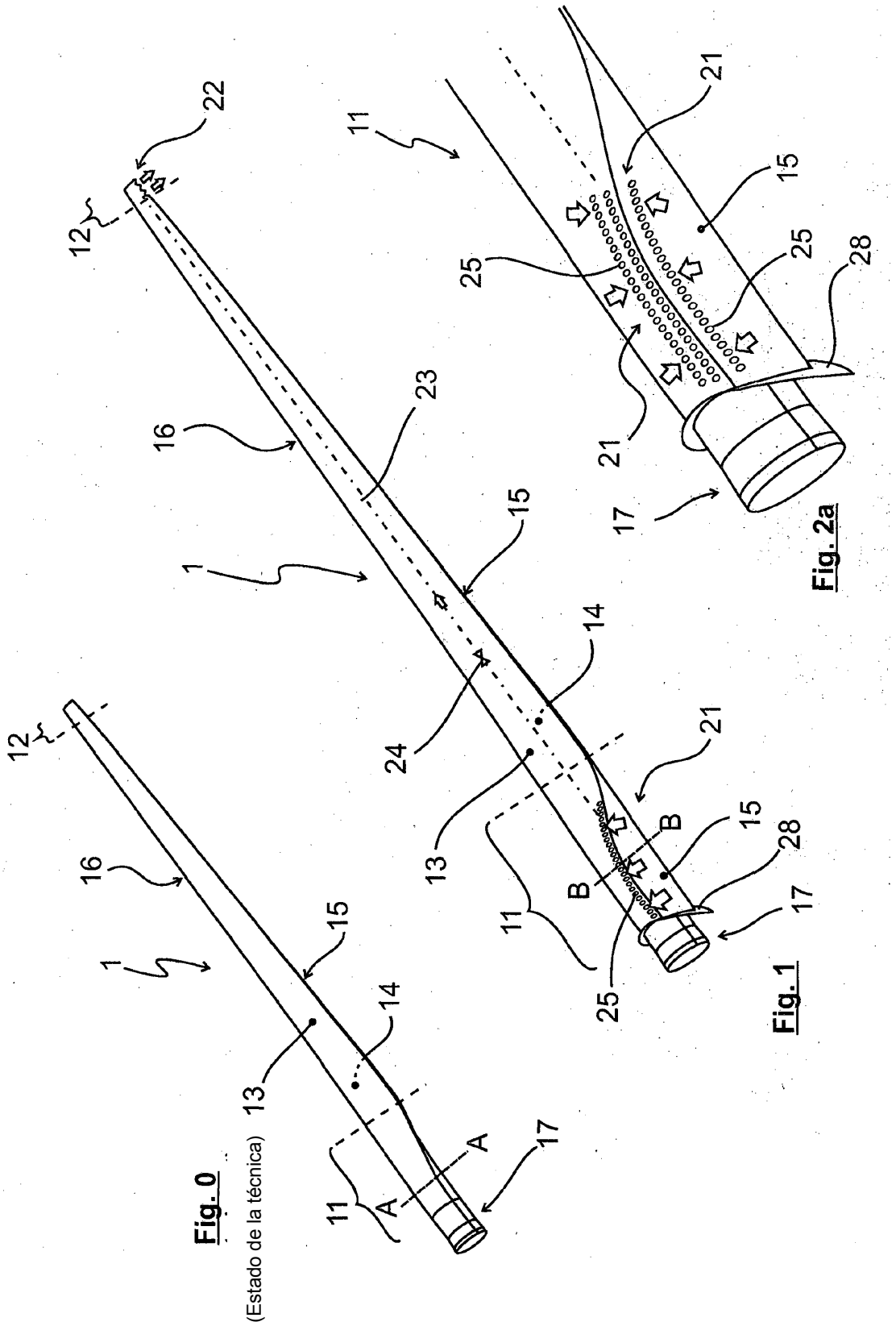

Fig. 0
(Estado de la técnica)

Fig. 1

Fig. 2a

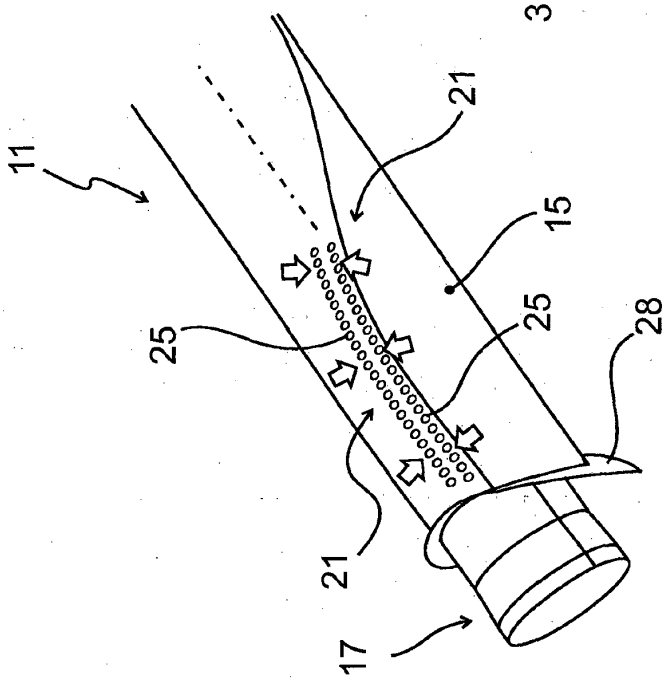

Fig. 2b

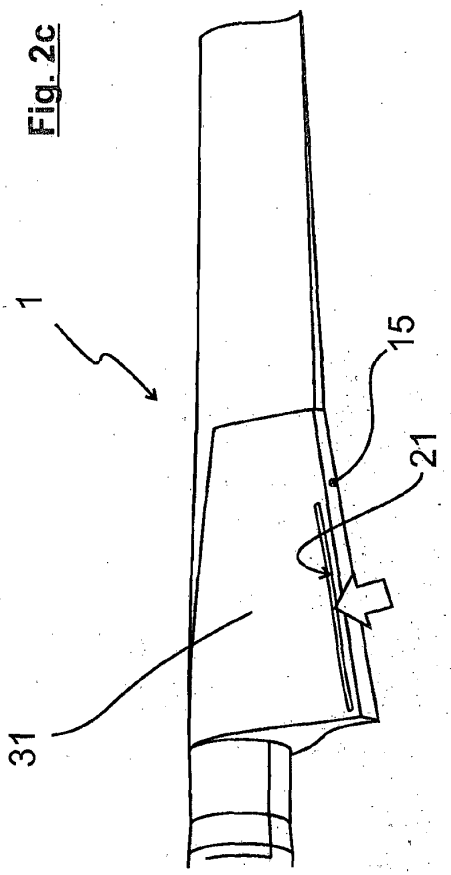

Fig. 2c

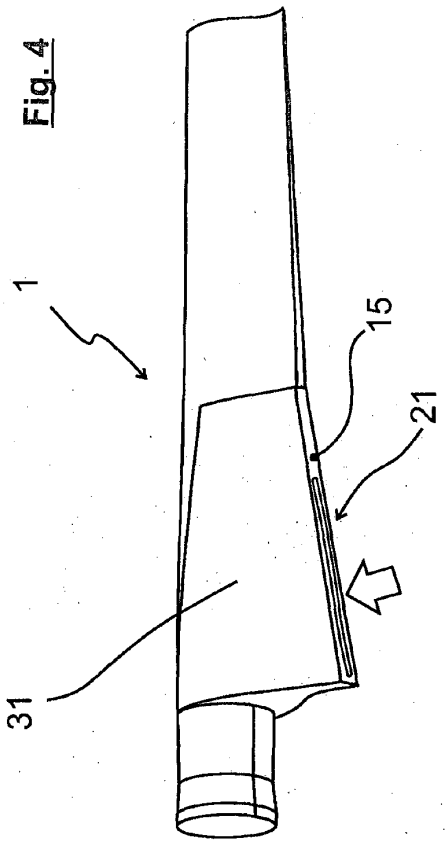

Fig. 4

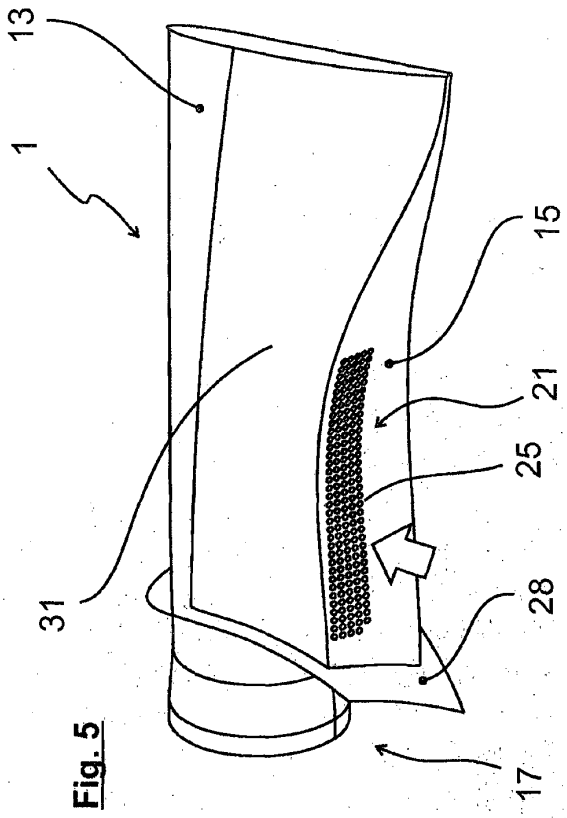

Fig. 5

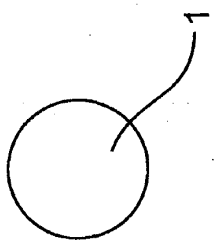

Fig. 3a

A-A

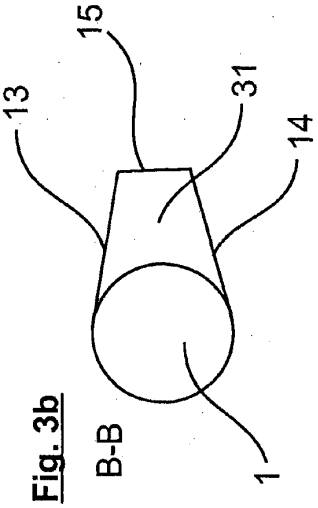

Fig. 3b

B-B

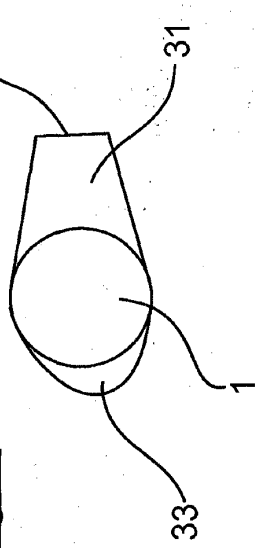

Fig. 3c