

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 605 484**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02** (2006.01)

**F03D 7/04** (2006.01)

**F03D 1/06** (2006.01)

**F03D 80/40** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.04.2011 PCT/EP2011/055737**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.10.2011 WO11131522**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.04.2011 E 11713841 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.09.2016 EP 2561221**

54 Título: **Procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica**

30 Prioridad:

**08.04.2011 DE 102011007085**  
**19.04.2010 DE 102010015595**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**14.03.2017**

73 Titular/es:

**WOBBEN PROPERTIES GMBH (100.0%)**  
**Borsigstrasse 26**  
**26607 Aurich, DE**

72 Inventor/es:

**DE BOER, WOLFGANG;**  
**EDEN, GEORG;**  
**BEEKMANN, ALFRED y**  
**LENSCHOW, GERHARD**

74 Agente/Representante:

**ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María**

ES 2 605 484 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**

Procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica, así como a una instalación de energía eólica correspondiente.

10 Los procedimientos para el funcionamiento de una instalación de energía eólica son sobradamente conocidos. Por ejemplo es habitual hacer funcionar las instalaciones de energía eólica con ayuda de una curva característica de potencia, que depende de la velocidad del viento. En instalaciones de energía eólica con palas de rotor con un ángulo de pala de rotor ajustable, denominado generalmente también ángulo de paso, también este puede ajustarse para la realización del punto de funcionamiento respectivamente deseado.

15 No obstante, los procedimientos de este tipo para el funcionamiento de una instalación de energía eólica pueden llegar a sus límites, cuando se producen circunstancias imprevistas o extraordinarias, como por ejemplo una formación de hielo en partes de la instalación de energía eólica. Un problema especial representa aquí la formación de hielo en las palas de rotor. Una formación de hielo de este tipo es problemática, porque puede conducir a la caída de hielo de las palas de rotor, que puede ser peligrosa para personas que se encuentren por debajo de las palas de rotor. El peligro de una caída de hielo de este tipo puede ser mayor en caso de que la instalación de energía eólica siga funcionando en este estado.

20 En el caso de una formación de hielo en las palas de rotor también es problemático que cambian las propiedades de la instalación de energía eólica, por lo que puede quedar perturbada una regulación de la instalación. Además, según la intensidad de la formación de hielo en la instalación de energía eólica existe el peligro del deterioro de la instalación de energía eólica, en particular en las palas de rotor.

25 Se conocen procedimientos que intentan detectar una formación de hielo en las palas de rotor, para parar y desconectar la instalación de energía eólica en este caso para protegerla. Además, puede intentarse eliminar el hielo durante la parada de la instalación. En el documento DE 103 23 785 A1 está descrito un procedimiento para la detección del comienzo de una adherencia de hielo.

30 Aquí es problemático detectar con seguridad la adherencia de hielo. Puesto que los aspectos de seguridad tienen una prioridad elevada, habitualmente la prioridad máxima, en muchos casos se produce ya una desconexión de la instalación cuando se sospecha que hay una adherencia de hielo. Por ello pueden resultar tiempos de parada no deseados y, desde un punto de vista objetivo, innecesarios de la instalación de energía eólica. Según el lugar de instalación, esto puede sumarse suponiendo unas pérdidas económicas considerables.

35 Otro procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica se conoce por el documento WO 2007129907 A2.

40 La invención tiene, por lo tanto, el objetivo de resolver o reducir en lo posible los inconvenientes indicados. En particular, debe proponerse una solución que aumente la eficiencia de una instalación de energía eólica, creando en particular una mejora del comportamiento de funcionamiento de una instalación de energía eólica en caso de una adherencia de hielo o de una amenaza de adherencia de hielo. Al menos debe proponerse una alternativa.

45 De acuerdo con la invención se propone un procedimiento según la reivindicación 1.

50 El procedimiento de acuerdo con la invención para el funcionamiento de una instalación de energía eólica parte en particular de una instalación de energía eólica con un fundamento, que porta una torre, en cuyo extremo superior está dispuesta una góndola. La góndola presenta al menos un generador y un rotor aerodinámico, conectado de forma directa o indirecta con este. En particular, se parte de un rotor con un eje sustancialmente horizontal y un cubo con al menos una, preferentemente con tres palas de rotor.

55 La instalación de energía eólica se hace funcionar con un punto de funcionamiento que depende de la velocidad del viento. Por ejemplo, se ajusta la potencia eléctrica suministrada por el generador basada en una curva característica de potencia predeterminada, que depende del número de revoluciones, hasta que se ajuste un punto de funcionamiento estacionario con un número de revoluciones determinado y una potencia suministrada determinada. Este punto de funcionamiento depende de la velocidad del viento. Se detecta al menos un parámetro de funcionamiento de este punto de funcionamiento. Por ejemplo, se detecta la potencia eléctrica suministrada por el generador y forma el parámetro de funcionamiento detectado. Esto puede ser un valor medido o una magnitud calculada a partir de uno o varios valores medidos. Como parámetro de funcionamiento detectado también puede usarse una magnitud de cálculo interna o una magnitud de control, que resulta por ejemplo al funcionar la instalación de energía eólica en el punto de funcionamiento o que se detecta de todos modos.

65 Este parámetro de funcionamiento detectado, en el ejemplo arriba indicado la potencia eléctrica suministrada por el generador, se compara con una magnitud de referencia predeterminada. Según el ejemplo arriba descrito, se

produce una comparación de la potencia detectada con una potencia de referencia.

5 Cuando el parámetro de funcionamiento detectado rebasa una desviación predeterminada de la magnitud de referencia detectada, se calienta al menos una pala de rotor, continuándose con el funcionamiento de la instalación de energía eólica. Preferentemente se calientan en este caso todas las palas de rotor de la instalación de energía eólica. Por continuar con el funcionamiento de la instalación de energía eólica ha de entenderse aquí, en particular, que el rotor sigue girando y el generador sigue suministrando potencia eléctrica, que sigue alimentándose a una red eléctrica, en particular a una red de tensión alterna eléctrica trifásica.

10 El calentamiento puede hacerse depender de otras condiciones supletorias.

15 Como magnitud de referencia se usa en particular un valor típico para el punto de funcionamiento que se presenta, en particular para la velocidad del viento que se presenta. El valor detectado, que puede denominarse también valor real, se compara por lo tanto con un valor esperado en condiciones normales. Se admiten desviaciones pequeñas. Cuando se rebasa, no obstante, una desviación predeterminada de la magnitud de referencia, ha de partirse de un estado de funcionamiento atípico. Se ha detectado ahora que puede ser ventajoso no parar y desconectar la instalación de energía eólica en caso de una desviación que indica una adherencia de hielo en una pala de rotor, sino continuar con el funcionamiento y contrarrestar la supuesta formación de hielo mediante un calentamiento de la pala de rotor. La desviación predeterminada entre el parámetro de funcionamiento detectado y la magnitud de referencia correspondiente puede elegirse de tal modo que puede contrarrestarse una adherencia de hielo en una fase temprana. Por lo tanto, en algunas ocasiones puede impedirse una parada y desconexión de la instalación. Gracias a la posibilidad así creada de continuar con el funcionamiento de la instalación de energía eólica, a pesar de la sospecha de una adherencia de hielo, en unas situaciones, en particular en el invierno, en las que hasta ahora debería haberse desconectado la instalación de energía eólica, esta puede seguir funcionando aumentándose de este modo la eficiencia. En particular en el invierno puede aumentarse de este modo la cantidad de energía eléctrica suministrada por el generador. Gracias a una detección temprana de la adherencia de hielo y la realización del calentamiento de las palas de rotor, el procedimiento también puede usarse de forma preventiva.

20 La desviación predeterminada puede estar prevista como valor fijo, que corresponde a lo que el parámetro de funcionamiento detectado puede quedar por encima o por debajo de la magnitud de referencia. No obstante, también es posible que se elija diferente la desviación con respecto a quedar por encima de la magnitud de referencia predeterminada, por un lado, y por debajo de la magnitud de referencia predeterminada, por otro lado. La desviación predeterminada también puede elegirse diferente según el punto de funcionamiento o en función de otros parámetros.

25 De acuerdo con la invención se predetermina un primer intervalo de tolerancia y un segundo intervalo de tolerancia para la magnitud de referencia en cuestión, estando situado el primer intervalo de tolerancia dentro del segundo intervalo de tolerancia. La magnitud de referencia correspondiente está situada dentro de los dos intervalos de tolerancia. No obstante, no es necesario que los dos intervalos de tolerancia engloben la magnitud de referencia con la misma distancia. Por el contrario, un límite del primer intervalo de tolerancia puede coincidir con el límite correspondiente del segundo intervalo de tolerancia y al mismo tiempo el otro límite del primer intervalo de tolerancia puede definir una distancia más pequeña de la magnitud de referencia que el límite correspondiente del segundo intervalo de tolerancia.

30 Esto está basado en la idea de que se obtiene una transformación de potencia óptima del viento existente en potencia eléctrica a ser suministrada por el generador con palas de rotor sin adherencia de hielo. Si se producen ahora, para el ejemplo de la detección de la potencia suministrada del generador como punto de funcionamiento detectado, pequeñas desviaciones entre la potencia detectada y la potencia de referencia, se parte en primer lugar de que esto se debe a fluctuaciones o modificaciones naturales de algunos parámetros supletorios, como la densidad del aire. Por lo tanto, para las desviaciones pequeñas de este tipo la instalación de energía eólica sigue funcionando sin cambios.

35 Si el parámetro de funcionamiento detectado está situado, no obstante, fuera del primer intervalo de tolerancia y rebasa por lo tanto una primera desviación predeterminada, ha de partirse de una circunstancia extraordinaria, como por ejemplo una adherencia de hielo. Si el parámetro de funcionamiento detectado sigue situado aún dentro del segundo intervalo de tolerancia, se parte de una adherencia de hielo aún no muy fuerte. En este caso no es necesario parar o desconectar la instalación de energía eólica, pero se realiza un calentamiento de la pala de rotor para contrarrestar la adherencia de hielo.

40 Si la desviación es ahora tan grande que el parámetro de funcionamiento detectado queda situado también fuera del segundo intervalo de tolerancia, o bien ha de partirse de una adherencia de hielo demasiado fuerte, de modo que la instalación de energía eólica se para. Por otro lado, también puede presentarse un fallo, por ejemplo en la detección del parámetro de funcionamiento. Y también en este caso ha de pararse la instalación.

45 Si la potencia detectada está por encima de la potencia de referencia, es decir, por encima de la potencia habitual, no ha de partirse de una adherencia de hielo sino más bien de un fallo de medición o de otro fallo. En este caso, el

valor límite del primer intervalo de tolerancia y del segundo intervalo de tolerancia asciende al mismo valor, porque no es adecuado el calentamiento de la pala de rotor en caso de un fallo de medición. Si la potencia detectada está, no obstante, por debajo de la potencia de referencia y, por lo tanto, por debajo del valor esperado, esto indica un empeoramiento de la eficiencia de la instalación de energía eólica, que permite deducir que hay una adherencia de hielo. En este caso se procede, por lo tanto, al calentamiento de la pala de rotor para contrarrestar una formación de hielo, siempre que la desviación aún no sea muy grande.

No obstante, si la desviación es demasiado grande, es decir, tan grande que el punto de funcionamiento detectado está situado fuera del segundo intervalo de tolerancia, se para y/o desconecta la instalación de energía eólica para prevenir eventuales daños. Una desviación demasiado fuerte, también puede indicar que el control de la instalación de energía eólica no funciona correctamente.

Según otra forma de realización se propone que el parámetro de funcionamiento detectado sea la potencia, en particular la de la instalación de energía eólica, es decir, la potencia generada por el generador y/o que se detecte la velocidad del viento actual y que la magnitud de referencia dependa de la velocidad del viento. En particular, está depositada la magnitud de referencia como curva característica de referencia en función de la velocidad del viento. Una posibilidad de registrar una curva característica de referencia de este tipo está descrita en el documento DE 103 23 785 A1.

Para comparar el parámetro de funcionamiento detectado con la magnitud de referencia puede procederse de la siguiente manera. Para la instalación de energía eólica se ajusta un punto de funcionamiento en función de una relación predeterminada entre el número de revoluciones y la potencia. Además, se mide la velocidad del viento existente, no usándose este valor medido para el ajuste del punto de funcionamiento. Para este valor de la velocidad del viento medida está depositado en una curva característica, o en una tabla de referencia, una llamada tabla de consulta (lookup-table), un valor de referencia para la potencia, que se ajusta habitualmente en condiciones normales. La potencia detectada, que ha resultado al ajustar el punto de funcionamiento, se compara con el valor de la potencia depositada para la velocidad del viento actual.

Si en el punto de funcionamiento actual se presentan condiciones supletorias normales, en particular no hay formación de hielo, al ajustar el punto de funcionamiento debería ajustarse una potencia que corresponde aproximadamente a la potencia depositada como magnitud de referencia para la velocidad del viento actual. Pueden tolerarse pequeñas desviaciones. Si se producen desviaciones más grandes, puede partirse de una ligera formación de hielo y se procede a un calentamiento de la pala de rotor. En particular, esto tiene lugar cuando la potencia detectada es más baja que el valor de referencia correspondiente.

Cuando la desviación se vuelve demasiado grande, es cuando debería procederse a una parada y/o una desconexión.

El uso de la potencia solo es una posibilidad, que se propone en particular en instalaciones de energía eólica con el ángulo de pala de rotor ajustable en el llamado régimen de carga parcial. En el régimen de carga parcial habitualmente no se ajusta el ángulo de la pala de rotor y es, por el contrario, constante en todo el régimen de carga parcial, es decir, para velocidades del viento desde una velocidad del viento de arranque, a la que la instalación de energía eólica alcanza, hasta una velocidad del viento nominal, a la que la instalación de energía eólica ha alcanzado en circunstancias normales el número de revoluciones nominal y la potencia nominal.

En este régimen de plena carga se realiza en el fondo una regulación del número de revoluciones mediante ajuste del ángulo de la pala de rotor, llamado ajuste del ángulo de paso, al número de revoluciones nominal. La potencia se regula en la potencia nominal. Por lo tanto, al menos en el caso ideal, en el régimen de plena carga la potencia y el número de revoluciones son constantes. Por lo tanto, tampoco puede resultar una desviación en función de la velocidad del viento de la potencia ajustada de una potencia de referencia. La potencia ajustada no es adecuada aquí como indicador de una formación de hielo.

Por consiguiente, en el régimen de plena carga se propone una comparación del ángulo de la pala de rotor ajustado con un ángulo de pala de rotor de referencia. También el ángulo de pala de rotor de referencia se deposita en función de la velocidad del viento. El uso del ángulo de pala de rotor como magnitud de referencia se propone también para un régimen que sigue tras el régimen de plena carga para velocidades del viento aún más elevadas, es decir, un llamado régimen de tormenta, que puede estar situado por ejemplo entre velocidades del viento de 28 m/s a 42 m/s, para indicar solo un ejemplo.

Por lo tanto, se realiza una detección de la adherencia de hielo en el régimen de carga parcial mediante la comparación de la potencia detectada con una potencia de referencia. En el régimen de plena carga, la detección de una adherencia de hielo se realiza mediante la comparación del ángulo de pala de rotor ajustado con un ángulo de referencia. No obstante, se propone preferentemente comprobar en el régimen de carga parcial y/o en el régimen de plena carga siempre los dos criterios, es decir, comparar siempre la potencia con la potencia de referencia y comparar siempre el ángulo de pala de rotor ajustado con el ángulo de pala de rotor de referencia. Ha de partirse de una adherencia de hielo cuando solo una de estas comparaciones indica una adherencia de hielo de este tipo. Esto

está basado en el conocimiento de que la comparación respectivamente no adecuada no indicaría una adherencia de hielo, tampoco por error.

En un régimen de transición del régimen de carga parcial al régimen de plena carga se realiza preferentemente ya un ajuste pequeño del ángulo de pala de rotor. Por ejemplo, el ángulo de pala de rotor puede ajustarse en el régimen de transición lo que corresponde a un valor empírico de  $0,4^\circ$  por 100 kW. Mediante la comprobación simultánea propuesta, tanto del parámetro de funcionamiento potencia como del parámetro de funcionamiento ángulo de pala de rotor, el ajuste pequeño descrito del ángulo de pala de rotor en el régimen de transición del régimen de carga parcial al régimen de plena carga no genera problemas en caso de una vigilancia de una adherencia de hielo. Dicho de otro modo, se evita el error de basarse en el punto de funcionamiento incorrecto, cuando se vigilan siempre los dos.

Según otra forma de realización se propone usar como magnitud de referencia al menos para intervalos parciales de la velocidad del viento un valor máximo de la magnitud de funcionamiento correspondiente. Esto también puede estar previsto de forma transitoria.

Como curva característica de referencia se usa preferentemente una magnitud de referencia en función de la velocidad del viento. Para cada tipo de instalación puede estar depositada ex fábrica una curva característica de referencia de este tipo, como por ejemplo una curva característica de potencia en función de la velocidad del viento como curva característica estándar, denominada también curva característica por defecto. Esta curva característica de referencia estándar se usa en primer lugar inmediatamente tras la puesta en marcha de la instalación de energía eólica. No obstante, a fin de cuentas cada instalación de energía eólica presenta su comportamiento propio. Esto puede deberse a tolerancias de fabricación y también al lugar de instalación correspondiente y a otras circunstancias. Por esta razón, cada instalación de energía eólica adapta esta curva característica estándar a lo largo de su funcionamiento. Esto se realiza mediante el uso de valores medidos en condiciones supletorias normales estimadas de la instalación de energía eólica, en particular en condiciones en las que puede excluirse una formación de hielo. Los valores medidos se procesan a continuación para obtener una curva característica de referencia correspondiente. Variaciones conocidas, que se producen por ejemplo a diferentes temperaturas del entorno, como por ejemplo  $3^\circ\text{C}$  y  $30^\circ\text{C}$ , en la densidad del aire, pueden tenerse en cuenta mediante un factor de adaptación correspondiente. De este modo es posible definir solo una curva característica de referencia, a pesar de condiciones supletorias variables.

En una instalación de energía eólica pueden producirse condiciones supletorias, que conducen a una desviación importante de la curva característica de referencia específica de la instalación en comparación con la curva característica de referencia estándar depositada. Pueden estar previstas por ejemplo instalaciones de energía eólica con una estrangulación selectiva de su potencia, para limitar por ejemplo la inmisión sonora provocada por la instalación de energía eólica. Esto puede conducir a otra curva característica de referencia, que registra la instalación de energía eólica a lo largo de su funcionamiento y en la que se basa como curva característica de referencia modificada. Mientras que una adaptación no se haya realizado o solo se haya realizado para un tramo parcial de la curva característica de referencia, la curva característica de referencia no es adecuada para la detección de hielo. En este caso se propone basarse en el valor máximo, en el presente caso, la limitación de la potencia para limitar la inmisión sonora. En este caso se supone que hay una adherencia de hielo cuando el valor queda un importe predeterminado por debajo de este valor máximo, que puede ser diferente a un importe del que se partiría al usarse una curva característica de referencia.

Un uso de este tipo de un valor máximo puede realizarse por tramos, cuando ya se han adaptado partes de la curva característica de referencia, mientras que otras partes aún no se han adaptado, o se puede realizar temporalmente o también temporalmente y por tramos. Por ejemplo, también es posible que la instalación de energía eólica deba hacerse funcionar solo temporalmente con una potencia reducida, cuando el operador de red de la red a la que alimenta la instalación de energía eólica requiere una reducción de la potencia suministrada. También en este caso se usa como valor de referencia el valor máximo que resulta por la reducción. Ya poco tiempo después puede haberse anulado de nuevo una limitación de este tipo.

Según una forma de realización se propone que para el calentamiento de la al menos una pala de rotor se alimenta aire caliente a la pala de rotor y se conduce en un recorrido de flujo por la pala de rotor, para calentar la pala de rotor desde el interior. Las palas de rotor de instalaciones de energía eólica modernas y grandes presentan en muchos casos espacios huecos, que están separados unos de otros por nervios de unión estabilizadores. Se propone conducir aire caliente en el interior de la pala de rotor a lo largo del borde delantero de la pala de rotor hasta cerca de la punta de la pala de rotor, es decir, en la parte de la pala de rotor no orientada hacia el cubo de la pala de rotor aprovechando los espacios huecos de este tipo. Cerca de la punta de la pala de rotor puede estar prevista una abertura en un nervio estabilizador o en otra pared, por la que el aire caliente fluye a un espacio hueco y por ejemplo por una zona central de la pala de rotor hasta la raíz de la pala de rotor, volviendo de este modo en principio al cubo de la pala de rotor. De este modo puede generarse de forma ventajosa una corriente de aire circulante, volviendo a calentarse el aire que vuelve y volviendo a conducirse el mismo nuevamente a lo largo del borde delantero a la pala de rotor. Para ello pueden estar previstos uno o varios ventiladores así como uno o varios elementos calentadores.

De forma alternativa o complementaria, un elemento calentador por resistencia eléctrica, como por ejemplo una estera de calefacción, o varias de ellas, puede/n estar dispuesto/s en las zonas a calentar de la pala de rotor, en particular puede/n estar incorporado/s allí.

- 5 Otra forma de realización propone que se detecte una temperatura en o cerca de la instalación de energía eólica, en particular una temperatura exterior y que se desconecte la instalación de energía eólica cuando la temperatura detectada quede por debajo de una temperatura mínima predeterminada y el parámetro de funcionamiento detectado quede por encima de la desviación predeterminada de la magnitud de referencia. De forma opcional se genera y/o emite una señal de error. Esto está basado en el conocimiento de que a temperaturas por debajo de 0°C
- 10 no debe producirse forzosamente una formación de hielo, pero que sí puede excluirse una formación de hielo por encima de una temperatura determinada, como por ejemplo de 2°C. El valor de 2°C está poco por encima del punto de congelación del agua y, por lo tanto, tiene en cuenta una pequeña tolerancia de la medición de la temperatura o pequeñas variaciones locales de la temperatura. Si el criterio de una adherencia de hielo se detecta mediante la comparación del parámetro de funcionamiento con la magnitud de referencia, excluyendo, no obstante, la
- 15 temperatura exterior que rebasa el valor de temperatura predeterminado una adherencia de hielo, hay que partir de un caro de error y es recomendable al menos parar la instalación, aunque preferentemente también desconectarla. Para la detección y la evaluación del error se propone generar para ello una señal de error y transmitirla a una unidad de control y/o transmitirla mediante una conexión de comunicación a una central de vigilancia.
- 20 Preferentemente se produce solo un calentamiento cuando el valor se queda por debajo de un valor de temperatura predeterminado, como por ejemplo un valor de 2°C. También puede elegirse por ejemplo un valor de 1°C o 3°C.

Según otra forma de realización preferible se propone que un calentamiento no se produzca hasta que el parámetro de funcionamiento detectado rebasa la desviación predeterminada de la magnitud de referencia durante un primer

25 tiempo mínimo predeterminado. De este modo se evita que en una primera comparación entre el parámetro de funcionamiento y la magnitud de referencia que indique una adherencia de hielo se proceda inmediatamente a un calentamiento de las palas de rotor. Esto está basado, por un lado, en el conocimiento de que la formación de una adherencia de hielo requiere un tiempo predeterminado. Además, existe la posibilidad de que una adherencia de hielo reducida vuelva a desaparecer o se reduzca posiblemente en poco tiempo por sí sola. Finalmente, se evita

30 también que una posible medición individual inexacta ya active el calentamiento. El primer tiempo predeterminado también puede estar compuesto o puede ser modificado, por lo que puede estar previsto, por ejemplo, un tiempo mínimo de 10 minutos, no siendo necesario requerir que se detecte durante 10 minutos de forma ininterrumpida una adherencia de hielo. Por el contrario, puede estar previsto aumentar este tiempo mínimo añadiendo tiempos en los que en el tiempo intermedio no se haya detectado una adherencia de hielo. De forma ventajosa, una comprobación

35 de este tipo se realiza mediante contador. Por ejemplo puede realizarse una comparación entre el parámetro de funcionamiento y la magnitud de referencia en un ritmo de un minuto, respectivamente, o en otros tiempos. Cada vez que se detecta aquí una posible adherencia de hielo, un contador correspondiente aumenta un valor, hasta que haya alcanzado un valor predeterminado de por ejemplo 10. Si en el tiempo intermedio se produce la situación que no se detecta una adherencia de hielo, el contador también puede contar hacia atrás.

40 Preferentemente, al mismo tiempo se tiene en cuenta una temperatura exterior, de modo que en general solo se parte de una adherencia de hielo cuando se alcanza una temperatura exterior predeterminada, p.ej. en el intervalo de 1° a 3°, en particular de 2°C o cuando queda por debajo de esta temperatura y generalmente no se tienen en cuenta tiempos en los que la temperatura exterior es más elevada. El contador arriba descrito para la detección del

45 tiempo mínimo cuenta solo hacia arriba cuando la temperatura exterior es suficientemente baja.

Además, se propone de forma complementaria u opcional que una desconexión de la instalación de energía eólica no se produzca hasta cuando el primer parámetro de funcionamiento esté fuera de un intervalo de tolerancia o fuera del segundo intervalo de tolerancia durante un tiempo mínimo predeterminado. También de este modo se evita una

50 desconexión o una parada demasiado por una sensibilidad excesiva.

Es favorable que la instalación de energía eólica vuelva a arrancarse después de un tiempo de reconexión predeterminado tras una parada o una desconexión, es decir, en general después de haberse detenido, por la

55 detección de un parámetro de funcionamiento fuera del segundo intervalo de tolerancia. Este tiempo de reconexión puede ser de varias horas, como por ejemplo de 6 horas. Por un lado, en caso de un calentamiento de las palas de rotor en el estado parado puede contarse tras 6 horas con haber conseguido una descongelación, por otro lado, esto puede ser un tiempo suficiente después del cual hayan vuelto a cambiar eventuales condiciones meteorológicas. Ahora, la instalación de energía eólica puede volver a arrancarse y hacerse funcionar al menos en parte, vigilándose

60 también aquí criterios para la detección de una adherencia de hielo. Si aquí resultan criterios que permiten deducir que hay una adherencia de hielo, no debería esperarse demasiado tiempo hasta volver a parar la instalación y esperar nuevamente el tiempo de reconexión predeterminado. Por lo tanto, se propone volver a parar la instalación de energía eólica cuando el parámetro de funcionamiento detectado estaba fuera del segundo intervalo de tolerancia durante un tercer tiempo mínimo predeterminado, que es más corto que el segundo tiempo mínimo predeterminado. También este tercer tiempo mínimo predeterminado puede vigilarse con ayuda de un contador. Para ello puede

65 usarse el mismo contador que para el segundo tiempo mínimo predeterminado. El tiempo más corto se realiza en este caso porque el contador no se cambia tras la parada a cero sino que se reduce solo unos pocos valores.

Correspondientemente, con pocos valores el contador vuelve a estar en su valor máximo, lo que conlleva una parada.

5 Es favorable que en caso de un calentamiento esto se mantenga durante un cuarto tiempo mínimo predeterminado. Esto está basado en el conocimiento de que el calentamiento debe conducir a una descongelación y/o impedir una adherencia de hielo. Aquí se parte de constantes de tiempo térmicas, por debajo de las cuales parece poco razonable un calentamiento. Puede calentarse, por ejemplo, durante al menos 10 minutos o durante al menos 20 minutos.

10 También se propone que tras finalizar un proceso de calentamiento no se produzca un nuevo calentamiento hasta después de haber pasado un quinto tiempo mínimo predeterminado. De este modo puede evitarse una conexión y desconexión rápida del dispositivo de calefacción necesario. La especificación del quinto tiempo mínimo predeterminado puede realizarse por ejemplo mediante el uso de un contador a usar preferentemente para el primer tiempo mínimo predeterminado. Este contador puede reducirse un número que corresponde al quinto tiempo mínimo predeterminado y para el calentamiento, el contador debería contar hacia arriba correspondientemente lo que corresponde a estos valores.

De acuerdo con la invención, se propone además una instalación de energía eólica según la reivindicación 7.

20 Preferentemente, la instalación de energía eólica presenta un anemómetro. La velocidad del viento se mide mediante el anemómetro y puede cogerse un valor de referencia que depende de la velocidad del viento de una curva característica de referencia correspondiente o una tabla de referencia correspondiente. Se usa preferentemente un anemómetro ultrasónico, que por sí mismo no presenta piezas móviles. De este modo es posible que haya una formación de hielo en las palas de rotor, mientras que en el anemómetro ultrasónico no se forme hielo o que al menos la formación de hielo del anemómetro ultrasónico sea tan reducida que aún puede medirse de forma fiable una velocidad del viento.

30 Una instalación de energía eólica presenta preferentemente una unidad de control central, con la que puede realizarse un procedimiento de acuerdo con la invención para el funcionamiento de una instalación de energía eólica. La unidad de control puede tener implantada para ello códigos de programa correspondientes para el control y la unidad de control puede comprender además una memoria de datos, que comprende una o varias curvas características de referencia y/o tablas de referencia con magnitudes de referencia, que se usan para la realización del procedimiento para el funcionamiento de la instalación de energía eólica.

35 Es favorable que la curva característica esté depositada para al menos un tramo, en particular en el régimen de carga parcial, como función cúbica, p.ej. para la potencia que depende del número de revoluciones o para la potencia P como función que depende de la velocidad del viento  $V_W$  como sigue:

$$P = a + b \cdot V_W + c \cdot V_W^2 + d \cdot V_W^3$$

40 Los coeficientes a, b, c y d pueden determinarse a partir de valor medidos. Una curva cúbica se presenta también cuando uno o varios de los coeficientes a, b y c adoptan el valor cero, cuando d no es igual a cero.

45 Además, está prevista preferentemente un dispositivo de calefacción, que presenta al menos un ventilador y al menos un elemento calentador, que pueden estar integrados en un aparato. Está previsto preferentemente un dispositivo de calefacción de este tipo para cada pala de rotor. Además, es favorable que la pala de rotor presente en la zona de su punta de pala de rotor en el interior de la pala de rotor una abertura pasante, para desviar una corriente de aire para el calentamiento en la zona de la punta de pala de rotor.

50 Según otra forma de realización, se usa de forma alternativa o complementaria un elemento calentador por resistencia, como una estera de calefacción o una disposición de varias esteras de calefacción.

55 Además, se propone un procedimiento no reivindicado para el funcionamiento de una instalación de energía eólica con un rotor aerodinámico con al menos una pala de rotor, en el que se vigila si existe una formación de hielo en la instalación de energía eólica, en particular mediante un sensor de hielo para la detección de una adherencia de hielo, y en el que se calienta la al menos una pala de rotor cuando se ha detectado una adherencia de hielo, continuándose con el funcionamiento de la instalación de energía eólica.

60 Aquí puede detectarse una adherencia de hielo con un sensor, o la adherencia de hielo se detecta por ejemplo de la forma anteriormente descrita. También en este procedimiento se propone no desconectar la instalación en el caso de una adherencia de hielo, sino seguir con el funcionamiento calentando las palas de rotor, en particular debe seguir girando el rotor aerodinámico de la instalación de energía eólica y la instalación de energía eólica debe seguir alimentando energía a la red.

65 Además, se propone un procedimiento no reivindicado para el funcionamiento de un paquete eólico, que comprende varias instalaciones de energía eólica que comunican entre sí, respectivamente con un rotor aerodinámico con al

menos una pala de rotor, que vigila si existe una formación de hielo en al menos una de las instalaciones de energía eólica, en particular mediante un sensor de hielo para la detección de una adherencia de hielo y calentándose la al menos una pala de rotor de cada una de las instalaciones de energía eólica cuando se ha detectado una adherencia de hielo, continuándose con el funcionamiento de las instalaciones de energía eólica del parque eólico.

5 Esto está basado en el conocimiento de que una detección exacta y fiable de una adherencia de hielo puede requerir un sensor especial caro. Las condiciones ambientales, en particular las condiciones meteorológicas que conducen a una adherencia de hielo son, no obstante, al menos similares para las instalaciones de energía eólica individuales en un parque eólico. Puede ser suficiente vigilar solo una instalación de energía eólica, que es representativa para el parque eólico, o al menos para una parte del parque eólico.

La comunicación entre las instalaciones de energía eólica de un parque eólico se realiza por ejemplo mediante un sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) adaptada a instalaciones de energía eólica.

15 También al usar un sensor para la detección de un estado de la formación de hielo se propone preferentemente adoptar una o varias de las etapas del procedimiento o características o de los criterios, que se han descrito anteriormente en relación con la detección de una formación de hielo mediante la comparación de un parámetro detectado con una magnitud de referencia. Esto se refiere en particular, aunque no exclusivamente, al uso de tiempos de retardo y al uso de contadores. También puede usarse la evaluación de la temperatura exterior de la misma forma, en la medida que esto sea aplicable.

25 Preferentemente se procede ya a un calentamiento cuando la temperatura exterior quede por debajo de un valor predeterminado como por ejemplo en el intervalo de 1°C a 3°C, en particular 2°C, sin que se hagan más comprobaciones respecto a la adherencia de hielo. En este caso se renuncia a una detección de la adherencia de hielo y por debajo de este valor de temperatura se procede a un calentamiento continuo, hasta que el valor vuelva a estar por encima de la temperatura predeterminada. Aquí se ha detectado que la energía adicional generada por la mejora de la aerodinámica de las palas de rotor por la descongelación del hielo es superior a la energía usada para el calentamiento. El balance energético total puede mejorarse, por lo tanto, mediante el calentamiento también cuando se calienta siempre cuando hay temperaturas bajas. Se ha detectado que ha de esperarse una mayor pérdida de energía cuando no se combate una adherencia de hielo no detectada que cuando se calienta sin necesidad de ello. Esto es especialmente válido cuando la potencia de calefacción es controlada en función de la energía generada, como se ha descrito anteriormente.

35 Una posibilidad de realizar un calentamiento continuo en función de la temperatura de este tipo desde el punto de vista de la técnica de control es poner el intervalo de tolerancia arriba descrito a cero. En el ejemplo de la Figura 1, esto significa que  $P_{\text{calentamiento}}$  se pone al 100% de  $P_{\text{opt}}$ , o a un valor aún superior.

40 Según otra forma de realización no reivindicada se propone una pala de rotor para la fijación en un cubo de la pala de rotor, es decir, un cubo de un rotor de una instalación de energía eólica. La pala de rotor comprende un tramo principal, para la fijación en el cubo. La pala de rotor comprende, además, un tramo final para la fijación en el tramo principal. Adicionalmente puede estar previsto al menos un tramo intermedio y en este caso el tramo final puede estar fijado en el tramo intermedio, es decir, de forma adicional o alternativa.

45 El tramo principal y el tramo final están previstos en particular en la fabricación en primer lugar como partes separadas y se ensamblan más tarde, en particular en el montaje de la instalación de energía eólica. El ensamblaje se realiza preferentemente mediante tornillos. En particular, el cubo porta conforme a lo prescrito el tramo principal y el tramo principal porta el tramo final.

50 El tramo principal comprende una zona de la raíz de la pala para la fijación en el cubo y una zona de empalme para la fijación con el tramo final y/o el o un tramo intermedio, estando previsto en el tramo principal un medio conductor de aire para conducir aire caliente por el tramo principal desde la zona de raíz hasta el tramo final, estando configurado el medio conductor de aire de tal modo que el aire caliente no entra en contacto con el tramo principal durante la conducción. Por lo tanto, se conduce aire caliente por el tramo principal, aunque este no se usa para calentar el tramo principal sino que solo debe calentar el tramo final.

55 Preferentemente, está prevista una pala de rotor que está caracterizada por que en el tramo principal están previstas zonas con un dispositivo de calefacción plano para el calentamiento de la pala de rotor y zonas con un aislamiento térmico para impedir una pérdida de calor de la pala de rotor, por que el tramo principal está hecho sustancialmente de metal, en particular de acero, por que el tramo final está hecho sustancialmente de un material compuesto, en particular de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) y/o el tramo final está parcialmente aislado hacia el exterior.

60 Estas características están previstas preferentemente en combinación, aunque forman también cada una para sí una configuración favorable. Gracias a una combinación de un tramo principal de metal con un tramo final de un material compuesto, pueden usarse las ventajas de un material metálico, como estabilidad y protección contra los rayos, pudiendo estar prevista al mismo tiempo una pala de rotor comparativamente ligera.

65

Además, se propone un parque eólico que tiene implementado un procedimiento de acuerdo con la invención.

A continuación, se explicará la presente invención con ayuda de ejemplos de realización haciéndose referencia a título de ejemplo a las Figuras adjuntas.

5 La Figura 1 muestra una representación esquemática una curva característica optimizada en cuanto a la potencia con un primero y un segundo intervalo de tolerancia para la potencia de una instalación de energía eólica en función de la velocidad del viento.

10 La Figura 2 muestra una representación esquemática de curvas características de potencia similares a la Figura 1, pero para un funcionamiento optimizado en cuanto al sonido.

La Figura 3 muestra una vista esquemática de una pala de rotor en una vista en corte parcial con una corriente de aire circulante indicada en el dibujo.

15 La Figura 4 muestra una vista esquemática de una pala de rotor según otra forma de realización en una vista en perspectiva, parcialmente en corte.

La Figura 5 muestra un detalle de la pala de rotor de la Figura 4 en otra vista.

20 Las Figuras descritas a continuación pueden presentar los mismos signos de referencia o las mismas denominaciones para características similares, dado el caso no idénticas.

La Figura 1 muestra un diagrama, en el que está representada la potencia de la instalación de energía eólica, es decir, la potencia  $P$  suministrada por el generador respecto a la velocidad del viento  $V_w$ . La curva característica designada con  $P_{opt}$  representa un desarrollo de la potencia para el caso de una regulación optimizada en cuanto a la potencia de la instalación de energía eólica, como se ha detectado durante un tiempo de funcionamiento prolongado de la instalación de energía eólica en cuestión. Además, están representadas una curva característica de potencia mínima  $P_{min}$  y una curva característica de potencia máxima  $P_{max}$ . Las dos curvas características  $P_{min}$  y  $P_{max}$  envuelven la curva característica optimizada en cuanto a la potencia  $P_{opt}$  al menos en una zona inicial y forman un segundo intervalo de tolerancia  $Tol_2$ . Cuando la potencia detectada a la velocidad del viento  $V_w$  medida al mismo tiempo difiere del valor de referencia  $P_{opt}$  hasta tal punto que queda fuera del segundo intervalo de tolerancia  $Tol_2$ , es decir, que está situada por debajo de la curva característica  $P_{min}$  o por encima de la curva característica  $P_{max}$ , la instalación de energía eólica se para y, dado el caso, se desconecta.  $P_{min}$  puede ascender, por ejemplo en el intervalo de la velocidad del viento nominal  $V_N$  hasta la velocidad del viento límite  $V_G$  a partir de la cual se reduce la potencia de la instalación de energía eólica al 75 % de la curva característica optimizada en cuanto a la potencia.

La potencia máxima  $P_{max}$  solo está predeterminada para el régimen de carga parcial, es decir, aproximadamente hasta la velocidad del viento nominal  $V_N$ . No es necesaria otra definición del desarrollo de  $P_{max}$ , porque en el posterior desarrollo, es decir, a partir de velocidades del viento de la velocidad del viento nominal  $V_N$  no ha de contarse con potencias más grandes que el valor correspondiente de  $P_{opt}$ .

Además, en la Figura 1 está representada una curva característica  $P_{calentamiento}$  con línea de trazo interrumpido. Cuando el valor de potencia medida, pudiendo determinarse el valor medio de la potencia, por ejemplo durante un tiempo determinado, como de 10 minutos, a la velocidad del viento en cuestión difiere del valor optimizado en cuanto a la potencia  $P_{opt}$  tanto que el valor queda por debajo de la curva característica  $P_{calentamiento}$ , pero por encima de la curva característica  $P_{min}$ , se continua con el funcionamiento de la instalación de energía eólica, el rotor sigue girando, se sigue generando potencia y las palas de rotor de la instalación de energía eólica siguen calentándose. Por encima de la curva característica optimizada en cuanto de la potencia  $P_{opt}$  no está dibujada una curva característica que habría que entender de forma análoga a  $P_{calentamiento}$ . Esto significa que al quedar el valor correspondiente por encima de la curva característica  $P_{opt}$ , no se procede en ningún caso a un calentamiento de las palas de rotor.

La curva característica representada con línea de trazo interrumpido  $P_{calentamiento}$  forma por lo tanto junto con la curva característica de  $P_{max}$  un primer intervalo de tolerancia  $Tol_1$ . Mientras la potencia detectada está situada en este primer intervalo de tolerancia, ni se inicia un calentamiento de las palas de rotor ni se para la instalación de energía eólica. Por el contrario, la instalación de energía eólica sigue funcionando sin cambios. Si el valor detectado de la potencia está situado, no obstante, fuera del primer intervalo de tolerancia, pero dentro del segundo intervalo de tolerancia y, por lo tanto, entre la curva característica representada con línea de trazo interrumpido  $P_{calentamiento}$  y la curva característica  $P_{min}$ , se procede a un calentamiento de las palas de rotor.

El valor de  $P_{calentamiento}$  en el ejemplo mostrado asciende en particular en el régimen de plena carga aproximadamente a un 90 % del valor de  $P_{opt}$ . También en el intervalo restante, el valor de  $P_{calentamiento}$  puede adoptar por ejemplo un 90 % de  $P_{opt}$ .

65

Hay que tener en cuenta que los valores para  $P_{\text{calentamiento}}$  y también para  $P_{\text{min}}$  se determinan y están representados para todo el intervalo relevante de velocidades del viento de  $V_{\text{Con}}$  a  $V_{\text{A}}$ . No obstante, a partir de aproximadamente la velocidad del viento nominal  $V_{\text{N}}$  se vuelve relevante una vigilancia basada en la comparación de un ángulo de pala de rotor detectado con un ángulo de pala de rotor depositado en función de la velocidad del viento, aunque esto no está representado en la Figura 1. Se sigue con la vigilancia de  $P_{\text{calentamiento}}$  y  $P_{\text{min}}$ , aunque no perjudica una vigilancia en función de la pala de rotor de este tipo y tampoco debería conducir en este intervalo a la detección de una adherencia de hielo.

La Figura 2 está basada en un funcionamiento optimizado en cuanto al sonido. En este funcionamiento optimizado en cuanto al sonido, la potencia no debe rebasar un valor de potencia reducido  $P_{\text{S}}$ , para mantener las inmisiones sonoras dentro de unos límites. La curva característica específica de la instalación debe estar caracterizada por la curva característica  $P_{\text{Sopt}}$ . En el caso representado en la Figura 2, no obstante, aún no ha terminado la verificación de la curva característica de potencia para la instalación. Por lo tanto, está basada en una curva característica estándar, que no tiene en cuenta esta reducción y para la que aún no ha podido detectarse por completo una curva característica específica de la instalación que tiene en cuenta esta reducción. En el intervalo de la velocidad del viento límite y también antes,  $P_{\text{Sopt}}$  adopta, por lo tanto, aún el valor de la potencia nominal  $P_{\text{N}}$ . En el ejemplo mostrado, la instalación de energía eólica aún no ha estado funcionando o aún no ha estado funcionando de forma apreciable a velocidades del viento que están situadas por encima de las velocidades del viento  $V_{\text{H}}$  indicadas de forma subsidiaria. Por lo tanto,  $P_{\text{Sopt}}$  adopta en parte aún los valores elevados representados. En cuanto la instalación de energía eólica haya estado funcionando suficientes veces a las velocidades del viento restantes, por ejemplo a partir de la velocidad del viento  $V_{\text{H}}$  indicada de forma subsidiaria, el valor máximo de la curva característica optimizada  $P_{\text{Sopt}}$  debería presentar el valor de  $P_{\text{S}}$ , que aquí asciende aproximadamente al 50 % de la potencia nominal  $P_{\text{N}}$ . La curva característica de potencia  $P_{\text{Smin}}$  calculada correspondientemente como límite inferior está orientada en el desarrollo en parte aún no correcto de  $P_{\text{Sopt}}$ . Así, el desarrollo  $P_{\text{Smin}}$  adopta en el intervalo entre la velocidad del viento subsidiaria y la velocidad del viento límite  $V_{\text{G}}$  el valor del 75 % de  $P_{\text{Sopt}}$ . Si ahora la instalación de energía eólica se hace funcionar, por primera vez, con una velocidad del viento en este intervalo, se ajusta una potencia que no rebasa el valor  $P_{\text{S}}$ , porque esto es el límite superior absoluto en el presente caso. No obstante, para una velocidad del viento  $V_{\text{H}}$ , una potencia de este tipo está por debajo de  $P_{\text{Smin}}$ . En consecuencia, debería pararse la instalación de energía eólica. Para evitar una parada no deseada de este tipo, se determina un valor mínimo limitado para  $P_{\text{Smin}}$ , que está representado como curva característica  $P_{\text{SminB}}$ . Esta curva característica está situada aproximadamente un 75 % por debajo de la curva característica actual de  $P_{\text{Sopt}}$ , pero como máximo hasta un 75 % del valor máximo admisible de  $P_{\text{S}}$ . Por lo tanto, no se procede a una parada de la instalación de energía eólica hasta que se produzca un valor de potencia por debajo de esta curva característica  $P_{\text{SminB}}$ .

En la Figura 2 también puede verse que para las velocidades del viento, para las que el valor de potencia  $P_{\text{Sopt}}$  no rebasa la potencia máxima admisible, optimizada en cuanto al sonido  $P_{\text{S}}$ , coincide el desarrollo de la curva característica  $P_{\text{Smin}}$  y de la curva característica  $P_{\text{SminB}}$ . En principio, la problemática no influye en el desarrollo de la curva característica de potencia máxima  $P_{\text{Smax}}$ , terminando la curva característica de  $P_{\text{Smax}}$  al alcanzarse la potencia  $P_{\text{S}}$  máxima optimizada en cuanto al sonido.

Las Figuras 1 y 2 muestran una instalación con una potencia nominal de 2000 kW y un desarrollo de la curva característica optimizada en cuanto al sonido de un valor de potencia de 1000 kW en la Figura 2 como  $P_{\text{Sopt}}$ .

La pala de rotor 1 de la Figura 3 presenta un borde delantero 2 y un borde posterior 4. Además, está representada una raíz de pala de rotor 6, con la que la pala de rotor 1 se fija en un cubo de la pala de rotor. Finalmente está representada una punta de pala de rotor 8, que se encuentra en el lado no orientado hacia la raíz de la pala de rotor 6.

Para el calentamiento de la pala de rotor 8 está representado un dispositivo de calefacción 10, que está dispuesto en la zona de la raíz de la pala de rotor 6. Son concebibles otras formas de realización, en las que el dispositivo de calefacción 10 no está dispuesto en la pala de rotor sino en el cubo de la pala de rotor, directamente al lado de la raíz de la pala de rotor. El dispositivo de calefacción 10 también podría estar fijado en el cubo de la pala de rotor, pero de tal modo que se asoma a la zona de raíz de la raíz de la pala de rotor 6. El dispositivo de calefacción 10 está dispuesto preferentemente de tal modo que se evita una conexión eléctrica entre la pala de rotor 1 y el cubo del rotor.

El dispositivo de calefacción 10 está representado aquí solo como símbolo, presentando un ventilador y al menos un elemento calentador; en particular un elemento calentador por resistencia, como por ejemplo alambres de calefacción. El dispositivo de calefacción 10 sopla a continuación aire caliente, que se ha calentado al menos un poco, a lo largo de una primera cámara 12, que está dispuesta directamente al lado del borde delantero 2. El aire caliente generado está simbolizado aquí como corriente de aire 14 mediante flechas. La corriente de aire caliente 14 fluye a continuación hasta cerca de la punta de pala de rotor 8 y entra allí a través de una abertura 16, que está dispuesta en una pared 18. De este modo, el aire llega a una cámara central 20 y fluye en esta como corriente de retorno 22, que está simbolizado mediante flechas correspondientes, a la raíz de la pala de rotor 6. El aire que vuelve con la corriente de retorno 22 vuelve a aspirarse en la zona de la raíz de la pala de rotor 6 mediante el dispositivo de calefacción 10, se calienta y se vuelve a soplar en la primera cámara 12.

El calentamiento se realiza, por lo tanto, sustancialmente mediante una corriente de aire circulante. Hay que tener en cuenta que la pala de rotor 1 para explicar la funcionalidad del calentamiento solo está representada de forma esquemática. En particular, la primera cámara 12 y la cámara central 20 están representadas aquí de forma muy simplificada.

5 La detección de la adherencia de hielo mediante vigilancia de la potencia de la instalación, en la que está basado el presente procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica, está basada en que por la formación de hielo cambian las propiedades aerodinámicas de una pala de rotor. Para poder medir y vigilar estas propiedades aerodinámicas, específicas de la instalación, es necesario o al menos deseable registrarlas, cuando la  
10 instalación está funcionando de forma no limitada, es decir, cuando en particular no está limitada en cuanto a la potencia, para comparar estas propiedades o valores correspondientes posteriormente con datos que se miden a temperaturas alrededor o por debajo del punto de congelación.

15 En la primera puesta en marcha, se toma como base una curva característica de potencia estándar típica para la pala de rotor de la instalación correspondiente y se almacena en el control de la instalación de energía eólica. Esta curva característica es una curva característica de potencia medida respecto a la velocidad del viento para el tipo de instalación o el tipo de pala correspondiente.

20 En caso de temperaturas exteriores superiores a +2°C, esta llamada curva característica por defecto se corrige gradualmente en función de la velocidad del viento medida. Para ello se forma respectivamente un valor medio de la velocidad del viento y de la potencia, típicamente durante 60 s. Para compensar variaciones de la densidad, que son provocadas por temperaturas diferentes del aire, la potencia medida es provista respectivamente de una corrección en función de la temperatura exterior. De este modo apenas tiene importancia si la curva característica se registra a  
25 +3°C o a +30°C. El valor de la curva característica de potencia que pertenece a la velocidad del viento medida se corrige a continuación en función de la potencia medida lo que corresponde a una pequeña parte de la desviación del valor almacenado hacia arriba o hacia abajo. De este modo se forma una curva característica de potencia específica de la instalación respecto a la velocidad del viento medida, según el tiempo que la instalación ha estado funcionando a diferentes velocidades del viento.

30 La corrección de la curva característica se realiza solo en caso de que la instalación esté funcionando sin límites. Esto significa, que ni se han hecho retroceder las palas de rotor más allá del ángulo de pala mínimo predeterminado, es decir, que no está ajustado su ángulo de paso hacia atrás, ni la potencia de la instalación está limitada por una potencia máxima, que está por debajo de la potencia nominal ajustada. Además, la corrección de la curva característica se realiza, como ya se ha mencionado anteriormente, solo a temperaturas exteriores superiores a  
35 +2°C, puesto que por debajo de esta temperatura existe el peligro de una adherencia de hielo, lo que conduciría a una alteración de la curva característica y volvería inefectiva la detección de la adherencia de hielo.

40 Puesto que las instalaciones se hacen funcionar en el funcionamiento optimizado en cuanto a la potencia y optimizado en cuanto al sonido con diferentes parámetros, es necesario registrar curvas características independientes para los dos estados de funcionamiento. Los contenidos de las curvas características de potencia almacenadas para el funcionamiento optimizado en cuanto a la potencia y optimizado en cuanto al sonido pueden indicarse y/o seleccionarse manualmente.

45 Las curvas características de potencia se registran en el funcionamiento de la instalación de energía eólica, parándose el registro a temperaturas inferiores o iguales a +2°C y empezándose con la detección de la adherencia de hielo. Para ello se usa un contador, que cuenta hacia arriba a temperaturas exteriores por debajo de 2°C y que almacena correspondientemente de forma permanente la posibilidad de una formación de hielo de la instalación. A  
50 temperaturas exteriores  $\leq$  +2°C, el temporizador para la adherencia de hielo cuenta hacia arriba en un minuto a 360°C. Cuando se ha alcanzado este valor, el control detecta que es posible una formación de hielo y se activa un procedimiento correspondiente para la detección de la adherencia de hielo. Es cuando la temperatura exterior es superior a 2°C, cuando el temporizador vuelve a contar lentamente hacia cero. Esta velocidad al contar hacia abajo depende de la temperatura exterior. Cuanto más elevada sea la temperatura exterior, tanto más rápidamente el temporizador volverá a contar hasta cero y se termina la detección de la adherencia de hielo y se sigue con el registro de las curvas características.

55 Cuando en principio es posible una formación de hielo por temperaturas bajas, el control comienza a comparar la potencia media actualmente medida con la curva característica almacenada. Para ello se determinan con ayuda de los parámetros ajustados para la vigilancia de la curva característica de potencia una potencia máxima y una mínima respecto a la velocidad del viento media respectivamente medida.

60 Se determina, por ejemplo, una banda de tolerancia alrededor de la curva característica registrada, cuya anchura puede ser diferente. Puede tomarse como base por ejemplo una anchura del intervalo de tolerancia hasta una velocidad del viento de 10,5 m/s. Puede usarse un valor de tolerancia que indica la distancia entre la curva característica registrada y un límite inferior o superior. Con ayuda de este valor se calcula con ayuda de la curva  
65 característica de potencia almacenada una ventana de potencia en la que debe moverse la potencia de la instalación. El valor inferior de la ventana de potencia es el valor de potencia de la curva característica almacenada,

a la velocidad del viento medida menos el valor de tolerancia indicado. El valor superior es el valor de la curva característica de potencia que pertenece a la velocidad del viento medida más dicho valor de tolerancia.

5 El valor de tolerancia puede indicarse por ejemplo como valor relativo de la curva característica de potencia y puede ascender por ejemplo a un 75 % del valor de potencia correspondiente de la curva característica de potencia. Dicho de otro modo, la tolerancia es del 25 % por debajo o por encima de la curva característica.

10 En cuanto se suponga una formación de hielo en las palas de rotor y la potencia  $P$ , de la que se ha calculado típicamente durante 60 segundos el valor medio, que también puede denominarse la potencia actual  $P_{act}$ , queda por debajo de un valor límite inferior  $P_{min}$ , un contador correspondiente aumenta lo que corresponde al valor 1. La instalación se para con un estado "detección de adherencia de hielo: rotor (medición de la potencia)", en cuanto el contador haya alcanzado el valor 30.

15 La instalación vuelve a reanudar el funcionamiento automáticamente cuando la temperatura exterior haya subido durante suficiente tiempo a un valor de más de 2°C y un temporizador haya contado correspondientemente de nuevo a cero para la detección de una adherencia de hielo. De forma similar, reanuda el funcionamiento automáticamente después de haberse realizado una descongelación de la pala. Aunque aún sea posible una formación de hielo, la instalación hace en este caso por ejemplo después de un período de tiempo de 6 horas un intento de arranque, para comprobar si las palas de rotor vuelven a estar sin hielo. Para ello, el contador arriba indicado se pone de 30 a 27.  
20 En cuanto la instalación haya arrancado, vuelve a vigilarse la potencia. En caso de que las palas aún presenten hielo, esto podría conducir a que el contador vuelva a contar hacia arriba y la instalación vuelve a pararse ya después de tres fases de conteo, es decir, en el presente ejemplo después de tres minutos. Si las palas ya no presentan hielo o ya presentan solo poco hielo, el contador vuelve a contar hacia abajo y la instalación sigue funcionando. Gracias a esta función, pueden acortarse los tiempos de parada por adherencia de hielo.

25 Según una forma de realización de una instalación de energía eólica está prevista una calefacción de pala por aire circulante. La calefacción de pala por aire circulante está formada por un ventilador de calefacción con una potencia de 20 kW por pala, en otra realización son 25 kW por pala, que está montada en la pala y que impulsa aire calentado hasta 72 °C a lo largo del borde delantero de la pala hacia la punta de la pala. De este modo es posible descongelar las palas de rotor con la instalación parada, así como, en la mayoría de los casos, mantener las palas de rotor sin hielo con la instalación en funcionamiento. El presente procedimiento se refiere, por lo tanto, tanto a un procedimiento con el que puede detectarse y eliminarse una adherencia de hielo, como a un procedimiento que puede usarse sustancialmente de forma preventiva, para impedir o prevenir la adherencia de hielo o al menos para impedir o prevenir que la misma siga aumentando.

35 Además de una calefacción de pala por aire circulante se propone según otra forma de realización una calefacción por tejido, que entra en el concepto general de un elemento calentador por resistencia eléctrica o de una calefacción por resistencia eléctrica. Aquí se calienta una tela metálica laminada en la pala mediante un transformador de separación con una corriente elevada. Las calefacciones de este tipo funcionan en particular con potencias entre 8 kW y 15 kW por pala. El tipo de funcionamiento explicado de la instalación de energía eólica puede usar en principio los dos tipos de calefacciones de las palas.

40 En principio puede realizarse con una calefacción de pala de este tipo también una descongelación manual. No obstante, si el funcionamiento de la calefacción de pala está en un modo automático, la calefacción de pala se conecta en cuanto un contador de una detección de la adherencia de hielo haya alcanzado un valor correspondiente, cumpliéndose los criterios arriba descritos. Típicamente, un contador de este tipo debe alcanzar en primer lugar un valor que corresponde al menos a 10 minutos. La calefacción de pala sigue funcionando en este caso por ejemplo durante al menos 20 minutos. De este modo se descongela el hielo que ya se ha formado en las palas de rotor. El rendimiento del rotor mejora y los contadores de la detección de la adherencia de hielo vuelven a contar hacia cero, si la descongelación ha sido al menos en parte satisfactoria. De este modo se impide que la instalación deba pararse por la adherencia de hielo, con una duración mínima de la conexión de la calefacción.

45 Es posible especificar el consumo máximo de potencia de la calefacción de pala. Este valor puede ajustarse según una forma de realización entre 0 kW y 85 kW. El valor máximo de 85 kW está compuesto por aproximadamente 3 x 25 kW para los tres convectores radiadores y 3 x 3,3 kW para los tres ventiladores.

50 La calefacción de pala consume en este caso, teniéndose en cuenta la potencia actual de la instalación, como valor medio calculado a lo largo de cinco minutos, respectivamente, no más que dicha consumo de potencia ajustado. Si se ajusta p.ej. como consumo de potencia un valor de 40 kW, la calefacción de pala funciona con la instalación parada o una potencia de la instalación de 0 kW con un máximo de 40 kW, es decir, 10 kW para el ventilador y 3 x 10 kW para la calefacción. Si el funcionamiento de la calefacción de pala está conectada cuando la instalación está funcionando, la calefacción de pala se hace funcionar también con una mayor potencia a medida que aumenta la potencia de la instalación y alcanza a partir de una potencia de la instalación de 30 kW, esto pueden ser por ejemplo 45 kW en otra instalación, la potencia máxima de 70 kW, lo que puede ser en otra instalación por ejemplo 85 kW.

65

La duración mínima de calentamiento de la calefacción de pala puede elegirse por ejemplo entre una hora y diez horas. La duración del calentamiento depende en primer lugar del consumo de potencia ajustado y de la temperatura exterior. Además hay que tener en cuenta la velocidad del viento y el grado de la formación de hielo. La experiencia muestra que en la mayoría de los casos puede bastar con una duración del calentamiento de tres horas a cuatro horas.

Las Figuras 4 y 5 muestran una forma de realización de una pala de rotor de varias partes. La pala de rotor 400 presenta un tramo principal 402 y un tramo final 404. El tramo principal 402 presenta una zona de empalme 406 y una zona de raíz de pala 408. El tramo principal está unido en la zona de empalme 406 con el tramo final 404. Además, existe un segmento de borde posterior 410, que está fijado en el tramo principal.

En el tramo principal está dispuesto un tubo conductor de aire 412 como medio conductor de aire. El tubo conductor de aire 412 está acoplado con un ventilador de calefacción 414 para generar y transportar aire caliente. El ventilador de calefacción puede estar realizado como ventilador con convector radiador. El ventilador de calefacción 414 está dispuesto en la zona de la raíz de pala 408 del tramo principal 402 y genera allí el aire caliente y lo sopla al interior del tubo conductor de aire 412. El tubo conductor de aire 412 conduce el aire caliente por el tramo principal 402 a la zona de empalme 406, que entra allí en el tramo final 404 para calentarlo. El aire caliente se conduce, por lo tanto, por el tubo conductor de aire 412, sin salir aquí al tramo principal 402. El aire caliente conducido en el tubo conductor de aire 412 no se usa, por lo tanto, para el calentamiento del tramo principal 402. En lugar del medio conductor de aire 412 también puede usarse por ejemplo un tubo flexible u otro medio adecuado, con el que se conduce el aire caliente en este sentido por la parte principal. El medio conductor de aire, en particular el tubo conductor de aire, puede presentar un aislamiento, para mantener lo más reducida posible una cesión de calor no deseada del aire caliente.

En el tramo final 406 están previstos medios conductores de aire, como nervios 414, que conducen el aire caliente de tal modo por el interior del tramo final que el tramo final se calienta por ello. Como nervios se usan preferentemente almas de apoyo presentes en la pala de rotor. Los nervios conducen el aire caliente en un recorrido de ida, que está designado con la flecha 416, hasta una punta de pala de rotor 418. Poco antes de la punta de pala de rotor 418 se desvía el aire y vuelve por un recorrido de retorno, que está designado con la flecha 420, nuevamente a la zona de empalme 406. Mediante el calentamiento debe realizarse en particular una descongelación. En el tramo final 406, en la zona en la que el aire retorna, que está designada con la flecha 420, puede estar previsto un aislamiento térmico para evitar pérdidas de calor en este lugar.

Desde la zona de empalme 406, el aire retorna a través del tramo principal 402 hacia atrás a la zona de raíz 408, en la que se encuentra el ventilador de calefacción 414. Aquí, el aire fluye por un recorrido de retorno designado con la flecha 422, a diferencia del recorrido de ida, sin otro medio conductor de aire por el espacio interior del tramo principal.

Como alternativa, para este recorrido de retorno también puede estar previsto un medio conductor de aire, que puede presentar un aislamiento adicional para evitar una cesión de calor y, por lo tanto, una pérdida de calor.

El ventilador de calefacción 414 está dispuesto en la zona de la raíz de pala 408, que presenta una brida de fijación 424 para la fijación en un cubo de la pala de rotor. De este modo, el ventilador de calefacción 414 está dispuesto en la zona del cubo de la pala de rotor y por lo tanto es bien accesible para trabajos de mantenimiento. Por lo tanto, puede alimentarse aire caliente para el calentamiento del tramo final 404 de forma sencilla desde una posición cerca del cubo del rotor. El tramo principal 402 está hecho preferentemente de metal, como p.ej. acero, como en la pala de rotor 400 mostrada, por lo que queda realizada una protección contra rayos para el ventilador de calefacción, porque el tramo principal actúa como jaula de Faraday, en la que está dispuesto el ventilador de calefacción. El tramo final puede estar hecho, al igual que en el ejemplo mostrado, de un material compuesto de fibra de vidrio (PRFV).

Para el calentamiento del tramo principal están previstas esteras de calefacción 426.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica con un rotor aerodinámico con al menos una pala de rotor (1), comprendiendo las etapas:
- 5 - funcionamiento de la instalación de energía eólica en un punto de funcionamiento en función de la velocidad del viento ( $V_w$ ),  
 - detección de un parámetro de funcionamiento (P) del punto de funcionamiento,  
 - comparación del parámetro de funcionamiento (P) detectado con una magnitud de referencia predeterminada (Popt), **caracterizado por que**
- 10 - se predetermina un primer intervalo de tolerancia (Tol1) y un segundo intervalo de tolerancia (Tol2) para la magnitud de referencia (Popt) en cuestión,  
 - estando situado el primer intervalo de tolerancia (Tol1) dentro del segundo intervalo de tolerancia (Tol2) y  
 - realizándose un calentamiento de la al menos una pala de rotor (1) continuándose con el funcionamiento de la instalación de energía eólica cuando el punto de funcionamiento (P) detectado está situado fuera del primer intervalo
- 15 de tolerancia (Tol1) y dentro del segundo intervalo de tolerancia (Tol2) y  
 - deteniéndose la instalación de energía eólica, es decir, parándose y/o desconectándose cuando el primer parámetro de funcionamiento detectado está situado fuera del primer intervalo de tolerancia y del segundo intervalo de tolerancia (Tol1, Tol2).
- 20 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que**  
 - el punto de funcionamiento (P) detectado es la potencia, en particular la potencia eléctrica generada por la instalación de energía eólica,  
 - por que se detecta la velocidad del viento actual y la magnitud de referencia (Popt) depende de la velocidad del viento, en particular por que la magnitud de referencia (Popt) está depositada como curva característica de
- 25 referencia que depende de la velocidad del viento y/o  
 - por que se usa como magnitud de referencia (Popt) al menos para intervalos parciales de la velocidad del viento y/o para un tiempo de transición un valor máximo del parámetro de funcionamiento correspondiente.
3. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** para el calentamiento de la al menos una pala de rotor (1)
- 30 - se alimenta aire caliente a la pala de rotor (1) y se conduce por un recorrido de flujo por la pala de rotor, para calentar la pala de rotor (1) desde el interior y/o por que  
 - la pala de rotor se calienta mediante al menos un elemento calentador por resistencia eléctrica previsto en la pala de rotor (1).
- 35 4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que**  
 - se detecta una temperatura en o cerca de la instalación de energía eólica, y  
 - se detiene la instalación de energía eólica, es decir, se para y/o se desconecta cuando la temperatura detectada queda por debajo de una temperatura mínima predeterminado y cuando el parámetro de funcionamiento (P)
- 40 detectado está fuera del primer intervalo de tolerancia (Tol1) y dentro del segundo intervalo de tolerancia (Tol2),  
 - generándose y/o emitiéndose de forma opcional una señal de error.
5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que**  
 - no se procede a un calentamiento hasta cuando el parámetro de funcionamiento (P) detectado estaba situado
- 45 durante un tiempo mínimo predeterminado fuera del primer intervalo de tolerancia (Tol1) y dentro del segundo intervalo de tolerancia (Tol2),  
 - la parada y/o desconexión de la instalación de energía eólica no se produce hasta que el parámetro de funcionamiento (P) detectado estaba situado durante un segundo tiempo mínimo predeterminado fuera del segundo intervalo de tolerancia (Tol2),  
 - cuando se ha parado o la instalación de energía eólica, porque el punto de funcionamiento (P) detectado estaba
- 50 situado fuera del segundo intervalo de tolerancia (Tol2), esta vuelve a arrancarse nuevamente tras un tiempo de reconexión predeterminado y se vuelve a parar la instalación de energía eólica cuando el parámetro de funcionamiento (P) detectado estaba situado fuera del segundo intervalo de tolerancia (Tol2) durante un tercer tiempo mínimo predeterminado y el tercer tiempo mínimo predeterminado es más corto que el segundo tiempo
- 55 mínimo predeterminado,  
 - en caso de un calentamiento, este se mantiene durante un cuarto tiempo mínimo predeterminado y/o  
 - tras finalizar un proceso de calentamiento no se procede a un nuevo calentamiento hasta después de haber pasado un quinto tiempo mínimo predeterminado.
- 60 6. Instalación de energía eólica con un control programado para la realización de un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores.
7. Instalación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 6 con una pala de rotor (400) para la fijación en un cubo de un rotor de la instalación de energía eólica y la pala de rotor (400) comprende
- 65 - un tramo principal (402), para la fijación en el cubo y  
 - un tramo final (404) para la fijación en el tramo principal (402) y/o en un tramo intermedio,

el tramo principal comprende

- una zona de raíz de pala (408) para la fijación en el cubo y
- una zona de empalme (406) para la fijación con el tramo final (404) y/o el o un tramo intermedio, estando previsto en el tramo principal (402) un medio conductor de aire (412) para conducir aire caliente por el tramo principal (402) desde la zona de raíz (408) hasta el tramo final (404), estando configurado el medio conductor de aire (412) de tal modo que el aire caliente no entre en contacto con el tramo principal (402) durante la conducción.

5

8. Instalación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizada por que** en el tramo principal (402) están previstas zonas con un elemento de calefacción (426) plano para el calentamiento de la pala de rotor (400) y zonas con un aislamiento térmico para impedir una pérdida de calor de la pala de rotor, el tramo principal (402) está hecho sustancialmente de metal, en particular de acero, el tramo final (404) está hecho sustancialmente de un material compuesto, en particular de plástico reforzado con fibra de vidrio y/o el tramo final (404) está parcialmente aislado hacia el exterior.

10

15

9. Instalación de energía eólica de acuerdo con una de las reivindicaciones 6 a 8, **caracterizada por que** está previsto un anemómetro, en particular un anemómetro ultrasónico, para la medición de la velocidad del viento actual.

20

10. Instalación de energía eólica de acuerdo con una de las reivindicaciones 6 a 9, **caracterizada por que** para la realización del procedimiento para el funcionamiento de la instalación de energía eólica está prevista una unidad de control central y/o está previsto un elemento de calefacción para el calentamiento de la al menos una pala de rotor (1, 400).

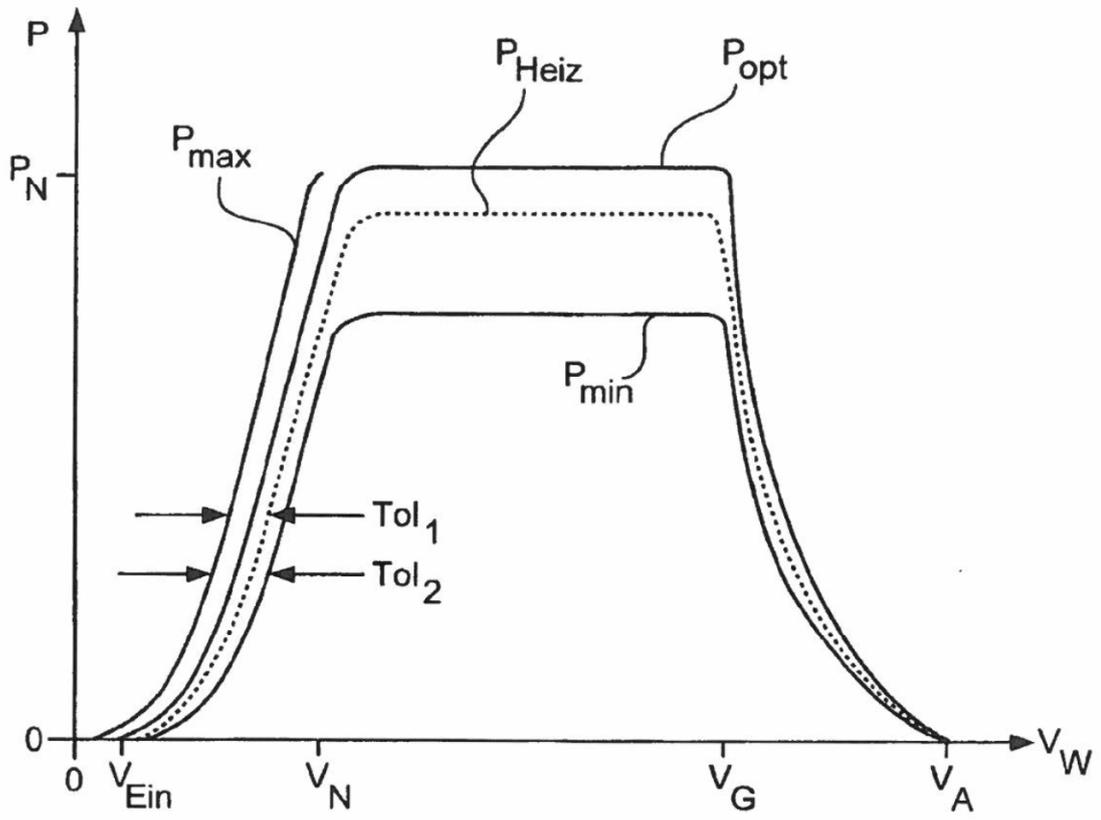


Fig. 1

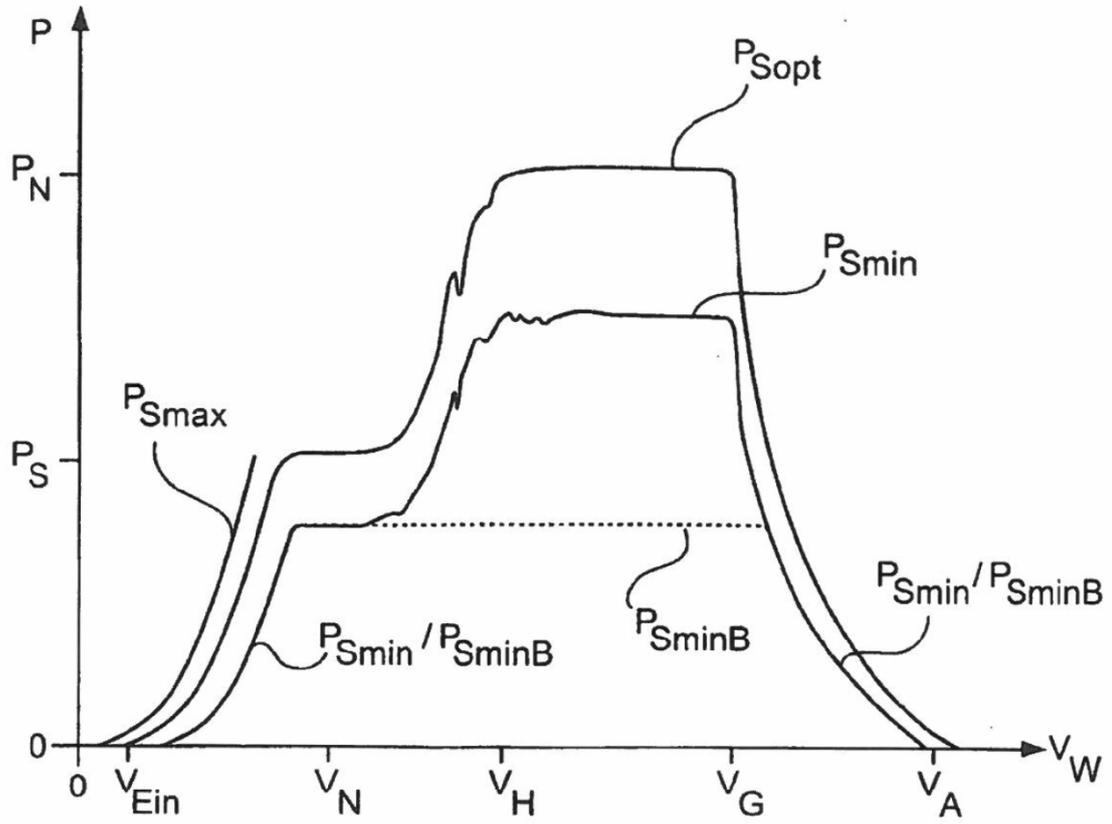
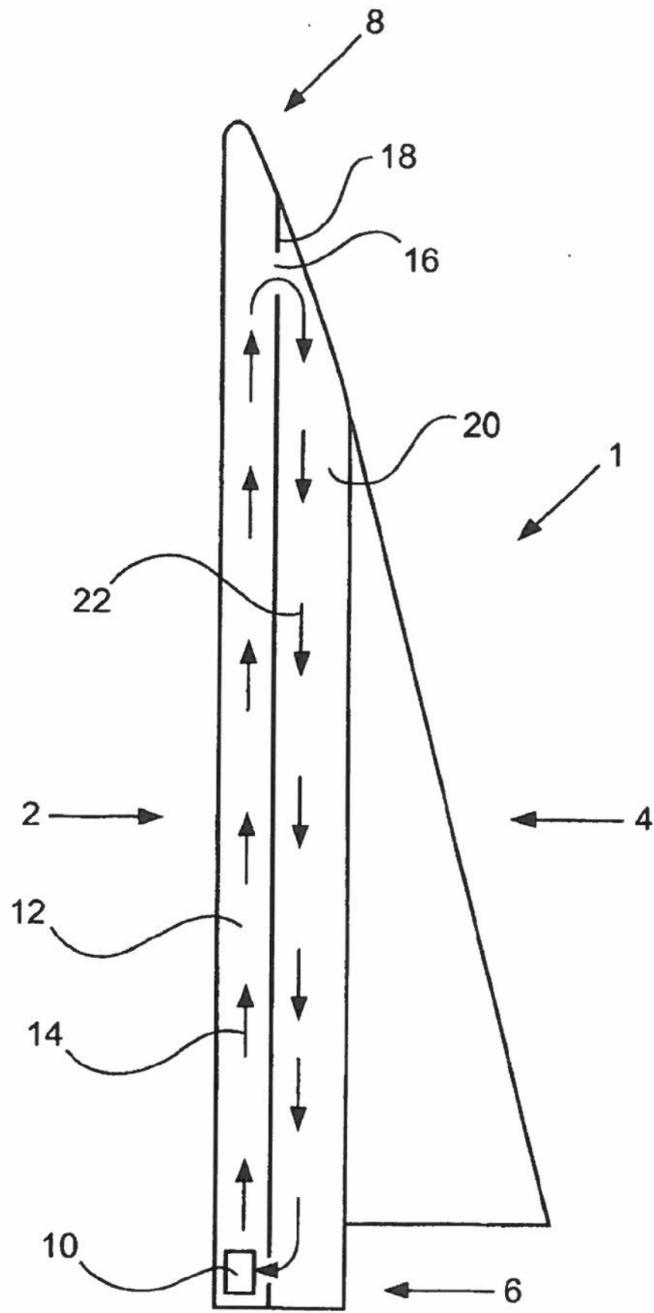


Fig. 2



**Fig. 3**

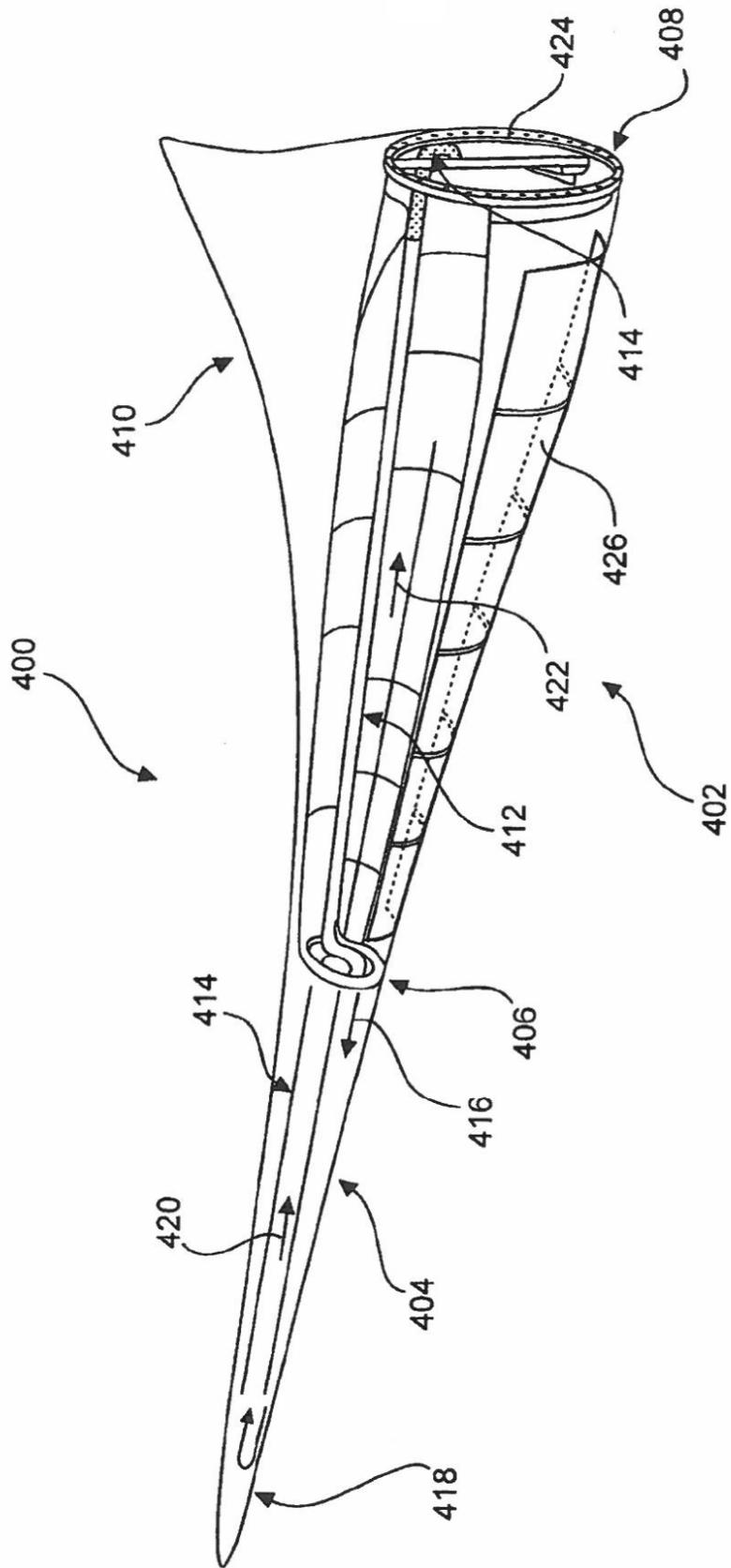


Fig. 4

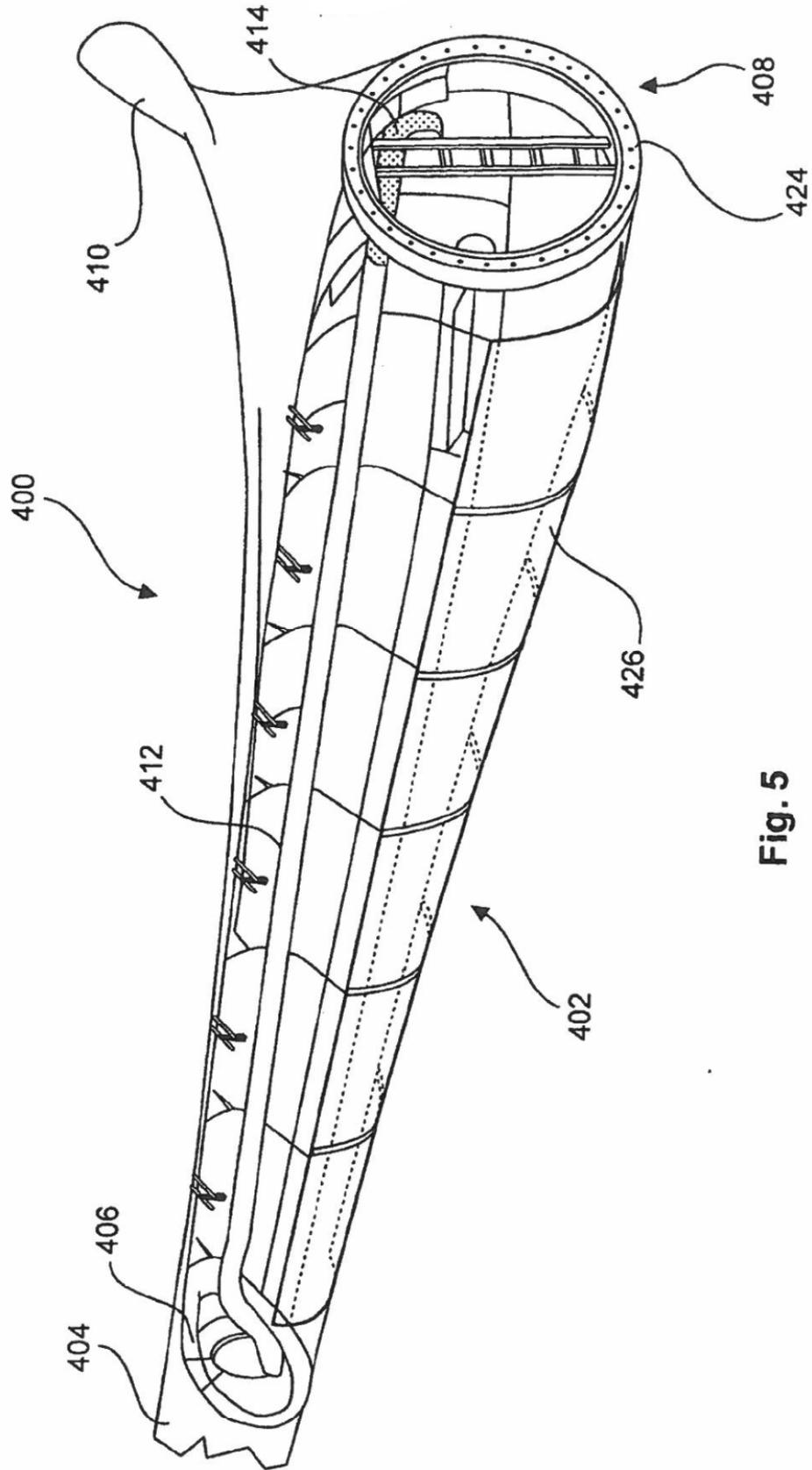


Fig. 5