

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 649 413**

51 Int. Cl.:

**F03D 80/00** (2006.01)

**F03D 17/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.02.2013 E 13156541 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.08.2017 EP 2631476**

54 Título: **Procedimiento para comprobar el estado estructural de centrales de energía eólica**

30 Prioridad:

**24.02.2012 DE 102012003513**

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

**11.01.2018**

73 Titular/es:

**ROLAWIND GMBH (100.0%)  
Am Wambach 12  
45481 Mülheim a.d. Ruhr, DE**

72 Inventor/es:

**ZELL, HORST**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 649 413 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 comprobar el estado estructural de centrales de energía eólica

La presente invención se refiere a un procedimiento para comprobar el estado estructural de centrales de energía eólica en forma de ruedas eólicas que presentan varias palas de rotor, en las que partes de las centrales de energía eólica, en particular sus palas de rotor, son captadas por uno o varios dispositivos de registro termográfico instalados en y/o dentro de un vehículo aeronáutico.

En el curso de la creciente importancia de las energías regenerativas, durante los últimos años se han construido de manera intensificada centrales de energía eólica. Debido a los fuertes vientos que predominan sobre las aguas, en particular sobre los mares, también se han construido cada vez más centrales de energía eólica offshore, es decir, en altamar. Al igual que otras instalaciones industriales, las centrales de energía eólica también tienen que ser sometidas periódicamente a trabajos de mantenimiento. Esto es particularmente aplicable a las centrales de energía eólica, debido a que las mismas se exponen a elevadas cargas dinámicas. Es necesario efectuar comprobaciones a intervalos comparativamente cortos de su estado estructural, en particular de las palas del rotor.

Estas inspecciones son muy problemáticas, especialmente en el caso de centrales de energía eólica mar adentro que se deben alcanzar por vía marítima, ya que el personal tiene que trasladarse en una embarcación al sitio de la respectiva rueda eólica. Los trabajos de inspección frecuentemente son efectuados por trepadores industriales. Un requisito previo para las inspecciones es, además, que la respectiva pala de rotor se encuentre por lo menos aproximadamente en la posición de las seis horas. Una vez que se haya completado la inspección de la primera palabra del rotor, es necesario girar la rueda eólica y llevar la siguiente pala de rotor que se va a inspeccionar a la posición de las seis horas. Es obvio que esto está asociado con un cierto esfuerzo.

Por el documento WO 2011/113402 A1 se conocen un procedimiento y un dispositivo para comprobar el estado estructural de centrales de energía eólica en forma de ruedas eólicas que presentan varias palas de rotor. Para esto se emplean vehículos aéreos, normalmente helicópteros. Estas aeronaves están equipadas con dispositivos de registro apropiados, por ejemplo, en forma de cámaras para tomar imágenes de radiación térmica, con las que se registran los datos necesarios para la inspección. Sin embargo, los resultados que arrojan las imágenes de radiación térmica dependen en gran medida de las diferencias de temperatura dentro de la rueda eólica, ya que el contraste de imagen se define por las diferencias de temperatura. Si no existe una diferencia de temperatura requerida, las imágenes de radiación térmica producidas no presentan el contraste necesario para la evaluación. Debido a esto, se toman numerosas imágenes de radiación térmica que no indican la presencia de daños, a pesar de que existen daños. Para la toma de estas imágenes, en parte se requiere un gran dispendio que, sin embargo, da como resultado una proporción sustancial de imágenes de radiación térmica inútiles.

En la publicación "Thermographic Inspection of Rotor Blades", Peter Meinlschmidt, Jochen Aderhold, se describe que las influencias térmicas del sol calientan las palas del rotor y generan así diferencias de temperatura en la pala del rotor. Sin embargo, la radiación que incide sobre las palas del rotor calienta la pala del rotor de forma irregular, por ejemplo, debido a diferentes ángulos de incidencia de los rayos del sol sobre la superficie de la pala del rotor. En consecuencia, debido a la incidencia de la radiación solar se producen irregularidades en la estructura térmica de la pala del rotor, que empeoran drásticamente los resultados de la inspección.

Por lo tanto, el objeto de la presente invención consiste en mejorar la inspección de las centrales eólicas mediante una cámara de imágenes de radiación térmica montada en un vehículo aéreo. Este objetivo se logra a través de un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1; formas de realización preferentes se derivan de las reivindicaciones subordinadas. Los dispositivos de acuerdo con las reivindicaciones 14 y 15 apoyan el procedimiento.

El núcleo de la presente invención consiste en particular en que primero se genera un pronóstico que indique si en un futuro próximo, específicamente en particular en un período de tiempo que puede ubicarse dentro de aproximadamente 30 minutos hasta pocas horas después del momento del pronóstico, se van a presentar las condiciones térmicas necesarias en la pala del rotor que permitan que en base a una imagen de radiación térmica tomada entonces se puedan sacar conclusiones sobre posibles daños en la pala del rotor. Solo cuando este pronóstico sea positivo se podrán hacer los preparativos, que de por sí son bastante costosos, para el despegue del helicóptero o de otro vehículo aéreo. Ahora se podrá tener una certeza bastante grande de que el vuelo relativamente costoso hasta una central localizada en altamar tenga éxito. A través de un pronóstico de este tipo, se puede reducir sustancialmente el riesgo de que se hagan vuelos innecesarios. Es decir que primero se comprueba si se podrá contar con una diferencia de temperatura suficiente. A continuación se efectúa el vuelo con el equipo de medición hasta el sitio de la central de energía eólica. Tan pronto como el vehículo aéreo con el equipo de medición se encuentre en posición junto a la central eólica, se efectúan las mediciones requeridas, lo que significa en particular que se toman imágenes de radiación térmica con la cámara de imágenes de radiación térmica.

Para el pronóstico se pueden usar valores de sensor que pueden registrar influencias medioambientales y transformarlas en valores de influencia medioambiental que se puedan procesar electrónicamente. Como influencias medioambientales se pueden tomar en cuenta en particular la temperatura ambiente y la intensidad de la radiación

solar, o también magnitudes características relacionadas con las precipitaciones. Las magnitudes medioambientales pueden ser alimentadas entonces a una unidad de procesamiento de datos que determina el período de tiempo para la medición. Para el pronóstico también se pueden determinar las temperaturas actuales en la zona interior y en la zona exterior limítrofe mediante sensores. Bajo consideración de la temperatura ambiental actual o de otras magnitudes de influencia, se podrá determinar entonces de qué forma van a cambiar las temperaturas en la zona interior o en la zona exterior, respectivamente. Además de las temperaturas actuales, también se pueden emplear valores históricos de las temperaturas.

Preferentemente, en base a los desarrollos de temperatura, específicamente en particular de la temperatura ambiente y de las temperaturas de las zonas interiores y exteriores, de las pasadas 6 a 12 horas, se puede hacer una extrapolación de las temperaturas de las zonas interiores y exteriores al futuro. En base a esta extrapolación se podrán sacar entonces conclusiones sobre las temperaturas en las zonas interiores y exteriores en el futuro cercano. De esto a su vez se podrá calcular la diferencia de temperatura. Si en un determinado momento se pronosticará una diferencia de temperatura mayor que la diferencia de temperatura mínima requerida, entonces ese momento formará parte del período de tiempo de medición. Varios puntos de tiempo de este tipo definirán entonces el período de tiempo de medición.

Para la extrapolación de las temperaturas en la zona interior y exterior, se pueden emplear modelos térmicos de las partes de la instalación de energía eólica que se van a inspeccionar. Si estos modelos térmicos se cargan, por ejemplo, con una temperatura ambiente ficticia o con un valor de radiación solar ficticio, entonces se puede calcular cómo van a cambiar térmicamente las diferentes zonas dentro del siguiente tiempo, es decir, si, y dado el caso cómo, se calentarán o enfriarán en el curso de las próximas horas.

Para esto se puede usar en particular la termografía lock-in. Como longitud del periodo se aplica el ritmo de día-noche. Con una diferencia de temperatura típica entre la zona interior y la zona exterior de aproximadamente 5 °C, se pueden lograr tomas utilizables. Con una capacidad de conducción térmica del material compuesto de aproximadamente 0,8 J/KGK, una capacidad térmica de 1200 J-KG y una densidad de aproximadamente 2100 KG/M<sup>3</sup>, de los cálculos teóricos resulta una profundidad de penetración térmica de aproximadamente 9 cm con observación de amplitudes y de aproximadamente 18 cm con observación de fases.

En una forma de realización preferente del procedimiento de acuerdo con la presente invención, está previsto que dentro de una primera etapa del procedimiento se analice un desarrollo de la temperatura ambiente en la zona de la central eólica, en base a la que se determina la diferencia de temperatura para un momento en el futuro. El desarrollo de la temperatura ambiente puede comprender tanto temperaturas ambiente históricas como también pronósticos de las temperaturas ambiente para el futuro. Tales desarrollos pueden consultarse con los servicios meteorológicos, o también se pueden generar a través de sensores propios, instalados en la central eólica.

En base a los desarrollos de las temperaturas ambiente y del comportamiento de transmisión térmica de la pala del rotor, se pueden sacar conclusiones sobre las temperaturas en la zona exterior y una zona interior.

El comportamiento de transmisión térmica de la pala del rotor se puede determinar de manera experimental. Bajo condiciones de laboratorio (por ejemplo, en el túnel aerodinámico) se pueden efectuar ensayos definidos, en los que la pala del rotor se somete de manera definida a diferentes desarrollos de la temperatura ambiente. Mediante sensores se determinan entonces los desarrollos de las temperaturas en la zona interior y en la zona exterior de la pala del rotor. En base a los resultados de estos experimentos, se puede determinar el desarrollo de las temperaturas en la zona interior y en la zona exterior en base al desarrollo de la temperatura ambiente. Este comportamiento de transmisión térmica se puede almacenar en bases de datos, que luego se pueden usar para determinar la diferencia de temperatura.

Adicionalmente, también se puede tener en cuenta el estado de la nubosidad atmosférica, en particular el desarrollo del estado de nubosidad atmosférica. Se ha demostrado que la radiación solar puede calentar muy fuertemente algunas partes de una pala de rotor. Sin embargo, se ha demostrado como desventaja que la radiación solar solo calienta aquellas partes de la capa exterior de la pala del rotor que están orientadas hacia la radiación solar. Por lo tanto, debido a que no se produce un calentamiento uniforme, se forma una imagen térmica muy poco homogénea de una pala de rotor calentada por la radiación solar. Las irregularidades en la imagen de radiación térmica que provienen de fallos y defectos no se pueden distinguir de las irregularidades que provienen de un calentamiento irregular por la radiación solar. Por lo tanto, es preferente si durante la inspección prevalece una situación meteorológica en la que por lo menos durante las últimas horas no se ha registrado una radiación solar sustancial.

La determinación de la diferencia de temperatura tan solo en base a los datos meteorológicos ambientales, en particular la temperatura ambiente, y en base a su desarrollo, resulta apropiada en particular cuando la central de energía eólica está fuera de servicio, ya que entonces no se presentan adulteraciones que de otra manera pudieran ser causadas por el funcionamiento de la central eólica. Esto se debe a que el funcionamiento de la central eólica genera calor por fricción en las zonas exteriores, debido a la corriente de aire.

En otra forma de realización preferente, en cambio, los calentamientos causados por el funcionamiento se aprovechan de manera específica para establecer la diferencia de temperatura. Durante el funcionamiento de la

central de energía eólica, la fricción entre el aire y la pala del rotor genera un enorme calor, que actúa sobre las palas del rotor. Este calor calienta directamente y de manera bastante uniforme las zonas exteriores de las palas del rotor, y lo hace muy intensamente. Se ha demostrado que en particular durante el arranque la diferencia de temperatura entre las zonas interiores y las zonas exteriores aumenta de manera bastante fuerte, debido a que las zonas interiores se calientan de manera sustancialmente más lenta que las zonas exteriores. Por lo tanto, en un tiempo relativamente corto después del arranque de la central de energía eólica se puede observar una diferencia de temperatura bastante elevada, que resulta excelentemente apropiada para inspeccionar las palas del rotor en busca de posibles defectos. Una situación análoga, aunque con signos inversos, rige cuando una central de energía eólica ha estado en servicio durante bastante tiempo y las palas del rotor se han calentado de manera homogénea en un nivel bastante alto, de tal manera que las zonas exteriores presentan una temperatura similar a las zonas interiores. Si se paraliza la central eólica, el aire ambiental enfría las zonas exteriores de las palas del rotor muy fuertemente. Las zonas interiores también se enfrían, pero de una manera sustancialmente más lenta. Para determinar los desarrollos de las zonas interiores y exteriores, nuevamente se puede usar el comportamiento de transmisión térmica arriba descrito.

La temperatura en la zona exterior se puede determinar a través de un método de medición de temperatura sin contacto, en particular a través de métodos de medición que determinan la radiación térmica emitida. Si entonces se conoce como por ejemplo, el punto inicial de la puesta en servicio, en base a los modelos térmicos también se puede determinar la temperatura interior en base a la temperatura exterior o en base a un desarrollo de la temperatura exterior. Para el método de medición sin contacto se pueden usar cámaras de imagen de radiación térmica, cámaras infrarrojas, termómetros sin contacto, por ejemplo, pirómetros.

Para la determinación sin contacto de la temperatura de la zona exterior, se puede tomar en cuenta la radiación ambiental natural. Ésta se puede restar de la radiación térmica que proviene de la pala del rotor. Tomando en cuenta la radiación ambiental, la temperatura de la zona exterior se puede determinar manera sustancialmente más exacta.

En otra forma de realización preferente, que también se puede usar en combinación con las etapas de procedimiento previamente mencionadas, está previsto que la diferencia de temperatura se produce mediante una intervención artificial específica. La intervención artificial específica puede producirse, como se ha dicho más arriba, a través de la puesta en marcha y frenado específico de las palas del rotor, a través de la energía de fricción producida por la corriente de aire. Alternativamente, o en combinación con esto, también se pueden usar medios de calefacción separados. Para esto resultan apropiados en particular dispositivos sopladores de aire caliente, que calientan de manera específica en particular las zonas interiores de las palas del rotor. También se pueden integrar alambres calentadores en el material laminado de la pala del rotor, que calientan específicamente en particular las zonas exteriores. De esta manera, incluso bajo condiciones meteorológicas desfavorables se puede crear una situación que permite efectuar un análisis de las palas del rotor.

Como vehículos aéreos se pueden emplear en particular vehículos aéreos sujetos a una licencia de vuelo. Éstos son, en particular, aquellos vehículos aéreos con un peso mayor de 25 kg y/o aquellos vehículos aéreos que vuelan a una altitud de más de 30 m sobre el suelo. Esto incluye principalmente helicópteros, aeronaves dirigibles y drones.

Preferentemente, las instalaciones requeridas para realizar el procedimiento se encuentran integradas en un vehículo aéreo. A través de una conexión de datos, por ejemplo, el vehículo aéreo o la correspondiente unidad de procesamiento de datos puede estar en contacto con los sensores para detectar las influencias medioambientales relevantes. En operación, el vehículo aéreo mismo puede determinar cuáles centrales de energía eólica actualmente o en un futuro cercano se encuentran o se encontrarán en un estado apropiado para efectuar las tomas con la cámara de imágenes de radiación térmica. De esta manera, durante el vuelo se puede establecer o actualizar la lista de tareas que incluye las centrales eólicas que se van a inspeccionar. Sin embargo, la unidad de procesamiento de datos que forma parte del vehículo aéreo también puede estar ubicada en un sitio remoto.

La presente invención se describe más detalladamente a continuación con referencia a las figuras. En los dibujos:

- La figura 1 muestra un helicóptero en vuelo junto a una rueda eólica.
- La figura 2 muestra la sección transversal de
  - a) una pala de rotor intacta,
  - b) una pala de rotor defectuosa.
- La figura 3 muestra
  - a) un primer ejemplo de un desarrollo de temperatura diurna condicionado por las influencias medioambientales en diferentes zonas de una central de energía eólica,
  - b) un segundo ejemplo de un desarrollo de temperatura diurna condicionado por las influencias medioambientales en diferentes zonas de una central de energía eólica.
- La figura 4 muestra un ejemplo de un desarrollo de temperatura condicionado por el funcionamiento de la central de energía eólica en diferentes zonas de una central de energía eólica.

La figura 1 muestra una rueda eólica 1 como central de energía eólica en un medio acuático, para cuya representación se insinúa el nivel de superficie del agua 15. La rueda eólica 1 comprende una torre 5 anclada en el fondo marino y/o anclada de forma flotante. Con el numeral de referencia 4 se indican dos palas de rotor giratorias

alrededor de un eje horizontal 17, mientras que con 7 se indica el cubo y con 8 la así llamada góndola, que se dispone de manera giratoria sobre la estructura de seguimiento de la dirección del viento 9. Esta rueda eólica 1, o dicho de manera más precisa su pala de rotor 4, la torre 5 y la góndola 8 se muestran en la figura 1 en el momento en que son captados desde un helicóptero 2 o, respectivamente, por un dispositivo de registro termográfico en forma de una cámara 6 instalada en el helicóptero. También es posible una detección combinada con lo anterior, por ejemplo a través de ondas terahertz, escaneo 3D o técnica láserica. A este respecto, el posicionamiento de las palas del rotor 4 carece igualmente de importancia como su condición, en particular las palas del rotor 4 tampoco tienen que ser limpiadas de contaminaciones antes de efectuar las tomas aquí descritas.

En la figura 2a se representa de manera simplificada la sección transversal de una pala de rotor 4 que se va a inspeccionar. La pala de rotor 4 básicamente está formada por un elemento de perfil hueco, que comprende una pared exterior 41 con nervaduras de refuerzo 42 en el interior de la pala del rotor. Por la pared exterior 41 y los nervios de conexión 42 se forman espacios huecos 40. Como material para las palas del rotor se usan en particular materiales compuestos, por ejemplo, materiales de fibra de vidrio o de fibras de carbono, que presentan una conductividad térmica bastante reducida. Por esta razón se pueden producir diferentes distribuciones de temperatura en la pala del rotor. En el exterior de la pala del rotor rige la temperatura ambiental  $T_U$ . En la pared exterior 41 rige en las zonas 41", que están distanciadas de los sitios de costura 41' con respecto a los nervios de conexión 42, una temperatura exterior  $T_A$ . En la zona interior de los espacios huecos 40 puede predominar una temperatura interior  $T_I$  que temporalmente difiere sustancialmente de la temperatura exterior  $T_A$  y de la temperatura ambiental  $T_U$ . En la zona de los sitios de costura 41' en la pared exterior 41 pueden presentarse temperaturas que difieren con respecto a las zonas 41".

Una distribución ejemplar de la temperatura  $T$  en la superficie de la pared exterior 41 sobre la anchura de la sección transversal B se muestra en la figura 2a debajo de la sección transversal. Allí se puede ver que la temperatura  $T$  representada en la imagen de radiación térmica presenta diferentes valores en la superficie de la pala del rotor 41. En la zona exterior 41", que se encuentra distanciada de los nervios de conexión 42, la temperatura en el presente caso es más baja que en los sitios de costura 41'. En los sitios de costura 41' existe un puente conductor de calor entre el espacio interior 40 y la pared exterior 41, de tal manera que la pared exterior 41 en esta zona se calienta más intensamente que en otras zonas.

Esto obviamente solo rige cuando la temperatura en el espacio hueco 40  $C_1$  es mayor que la temperatura  $T_A$  en la zona exterior 41". Si la temperatura  $T_A$  en la zona exterior fuese mayor que en el espacio hueco 40, entonces el desarrollo de temperatura estaría reflejado de manera aproximadamente horizontal con respecto al desarrollo representado.

En la figura 2b se representa nuevamente la sección transversal de la pala del rotor, en la que existe una grieta 43 en el nervio de conexión 42 derecho, que indica la existencia de un daño interno. Se puede ver que el puente conductor de calor entre el espacio interior 40 y la pared exterior 41 se encuentra interrumpido o por lo menos reducido. Esto se puede ver claramente en el desarrollo de temperatura cambiado de la imagen de radiación térmica. La desviación de temperatura en el sitio de costura derecho 41" ahora se ha reducido claramente. Alternativamente, también puede faltar completamente. Tan solo envase a la imagen de radiación térmica, por lo tanto, se puede concluir la presencia de un defecto en el interior de la pala del rotor.

Sin embargo, el procedimiento de acuerdo con la presente invención solo se puede aplicar cuando las diferencias de las temperaturas  $T_I$  y  $T_A$  entre la zona interior y la zona exterior presenta un determinado valor mínimo  $\Delta T_{\min}$ . En la figura 3a se representa de forma ejemplar un desarrollo de temperatura a lo largo de diferentes horas del día. La sección A representa la noche, la sección B representa las horas de la mañana, la sección C representa las horas del mediodía y la sección D representa las horas nocturnas. Si la temperatura ambiente  $T_U$  es relativamente baja durante la noche, normalmente aumenta de forma constante al comenzar el día, hasta que alcanza su valor máximo en horas del mediodía. Durante las horas nocturnas, la temperatura ambiente  $T_U$  desciende entonces hasta que por la noche nuevamente alcanza su punto más bajo. La temperatura  $T_A$  en la zona exterior 41" normalmente sigue este desarrollo de temperatura con un retardo que va desde algunos minutos hasta algunas horas. También una radiación solar extrema puede tener influencia sobre el desarrollo de la temperatura  $T_A$ , y con una elevada radiación solar se acelera sustancialmente el calentamiento de la pared exterior. La temperatura  $T_I$  en la zona interior 40 de la pala del rotor presenta un seguimiento aún más lento. De esta manera, dependiendo de las condiciones meteorológicas, pueden producirse claras diferencias de temperatura  $\Delta T$  entre la temperatura interior  $T_I$  y la temperatura exterior  $T_A$ , en particular si la pared exterior ya se ha calentado sustancialmente. Una correspondiente diferencia de temperatura  $\Delta T$  también puede presentarse, obviamente, si por la noche debido al descenso de la temperatura ambiental  $T_U$  la temperatura exterior  $T_A$  desciende más rápidamente que la temperatura interior  $T_I$ .

En la figura 3b se muestra un desarrollo de temperatura alternativo, en el que las variaciones de la temperatura ambiente son tan reducidas que los cambios de la temperatura ambiente  $T_U$  no son suficientes para producir las diferencias de temperatura  $\Delta T$  en la pala del rotor que se requieren para obtener información sobre el estado interior de las palas del rotor en base a la imagen de radiación térmica. Esto es el caso en particular cuando las variaciones de la temperatura exterior  $T_U$  en un día son menores que la diferencia de temperatura mínima  $\Delta T_{\min}$  entre la zona interior 40 y la zona exterior 41".

En base a la figura 4 se muestra un desarrollo de temperatura que resulta del funcionamiento de la central de energía eólica. Se muestra la temperatura ambiente  $T_U$ , que se asume como sustancialmente inalterada a lo largo de todo el período de tiempo de observación. En la sección E se supone que la central eólica se ha detenido. La temperatura de la zona exterior  $T_A$  y la temperatura de la zona interior  $T_I$  para este momento están adaptadas a la temperatura ambiente  $T_U$  y coinciden sustancialmente entre sí. Esto rige en particular cuando no existe ninguna radiación solar que caliente las zonas locales de la pala del rotor. Con el comienzo de la sección F, se pone en funcionamiento la central de energía eólica. Las palas del rotor 4 comienzan a girar. Debido a la fricción entre el aire y la pala del rotor, las zonas exteriores de las palas del rotor se calientan rápidamente. La curva de temperatura de la temperatura  $T_A$  en la zona exterior sube abruptamente, hasta que aproximadamente al alcanzar la mitad de la sección D alcanza un valor máximo, que luego también se mantiene durante el funcionamiento adicional. La temperatura ambiente  $T_U$  no se modifica. La temperatura  $T_I$  en la zona interior sigue la temperatura  $T_A$  en la zona exterior y aumenta igualmente hasta que al comenzar la sección G adopta el mismo valor que la temperatura  $T_A$  en la zona exterior. Debido a este calentamiento muy rápido de la zona exterior y el calentamiento sustancialmente retardado de la zona interior, bastante pronto después de comenzar el funcionamiento se produce una diferencia de temperatura  $\Delta T$  mayor o igual que el valor mínimo  $\Delta T_{\min}$ . De esta manera, el período de tiempo de medición, durante el que se pueden efectuar apropiadamente las inspecciones, se alcanza bastante rápidamente después de ponerse en marcha la central de energía eólica. Solo cuando la temperatura  $T_I$  en la zona interior se encuentra cerca del valor máximo de la temperatura  $T_A$  en la zona exterior, poco antes de la sección G, termina el período de tiempo de medición  $\Delta T$ , ya que entonces la diferencia de temperatura de  $T_I$  y  $T_A$  es menor que la diferencia de temperatura mínima.

En la sección G, la diferencia de temperatura nuevamente es tan pequeña que ya no es posible una inspección apropiada. Solo cuando la rueda eólica comienza a detenerse se produce nuevamente un período de tiempo de medición adicional. Al comienzo de la sección H, la pala del rotor A se detiene. La temperatura en la zona exterior es enfriada abruptamente por la temperatura ambiental  $T_U$ . El enfriamiento de las zonas interiores se produce de manera sustancialmente más lenta, de tal manera que también aquí se presentan nuevamente las diferencias de temperatura.

Un desarrollo de temperatura similar al de la figura 4 también se puede producir si el calentamiento de una de las zonas se efectúa a través de medios de calefacción adicionales. Los medios de calefacción pueden ser, por ejemplo, un dispositivo soplador de aire caliente, que suministra aire caliente a la zona interior y así calienta específicamente las zonas interiores y aumenta la temperatura en la zona interior  $T_I$ . También se pueden proveer alambres de calefacción en la zona exterior, que calientan de manera definida las zonas exteriores. Ambas medidas son apropiadas para producir de manera artificial la diferencia de temperatura entre la zona interior y la zona exterior, lo que también incluye el mantenimiento de una diferencia de temperatura ya existente. El desarrollo de la temperatura entonces puede estar configurado sustancialmente como se muestra en la figura 4. Eventualmente, los desarrollos de las temperaturas  $T_I$  y  $T_A$  se pueden intercambiar, por ejemplo, si la zona interior se calienta mediante el uso específico de elementos calefactores y entonces la temperatura de la zona exterior sigue a la temperatura de la zona interior. Como ejemplo se insinúan alambres de calefacción 44 en la figura 2, provistos en la pared exterior de la pala del rotor 4. Estos alambres de calefacción pueden estar integrados en la pared exterior entera.

La temperatura  $T_A$  en la zona exterior en particular puede determinarse sin contacto. Para esto son apropiados los procedimientos termográficos, que comprenden en particular la técnica infrarroja. Estos procedimientos miden los rayos infrarrojos emitidos por las palas del rotor sin embargo, los rayos emitidos por las palas del rotor también incluyen reflexiones de rayos que están presentes en la atmósfera y que inciden sobre las palas del rotor. En una forma de realización adicional de la presente invención, estas reflexiones se excluyen matemáticamente. Para esto, sin embargo, es ventajoso si primero también se determinan estas reflexiones. Para ello se puede proveer un sensor adicional, que en la figura 1 se indica con el numeral de referencia 60 y que básicamente está orientado de forma opuesta al dispositivo de toma termográfica 6. La radiación que es registrada por el sensor 60, se resta de los rayos detectados por el sensor 6, que registra la radiación emitida por las palas del rotor. De esta manera se puede determinar con mayor exactitud la temperatura  $T_A$ , incluso si el valor de temperatura medido  $T_A$  de la zona exterior pudiera estar adulterado por reflexiones en la atmósfera o en el agua. Entonces, la reflexión simplemente se excluye matemáticamente, ya que la misma es determinada por el sensor 60 y, por lo tanto, es conocida.

Conociendo la temperatura de la zona exterior, para determinar el período de tiempo de medición es importante conocer la temperatura actual o futura en la zona interior. En la transición de la sección E a la sección F, las temperaturas  $T_A$ ,  $T_I$ ,  $T_U$  son idénticas. A través del dispositivo de toma termográfica se puede determinar entonces en cualquier momento y sin contacto la temperatura  $T_I$  en la sección F. A través de un modelo térmico de la paleta del rotor se pueden sacar conclusiones entonces sobre la temperatura  $T_I$  en la zona interior de la paleta del rotor, sin que para ello se requiera una medición directa de la temperatura. El modelo térmico toma en cuenta la conductividad térmica de las estructuras y materiales de la paleta del rotor. El modelo térmico se puede determinar a través de ensayos y luego almacenarse en una base de datos. En base a un desarrollo especial de la temperatura en la zona exterior y un valor inicial dado de la temperatura  $T_I$  de la zona interior, por ejemplo el valor de temperatura  $T_I$  (en la transición de la sección E a la sección F), se puede concluir entonces sobre la temperatura interior en un momento dado en las secciones F, G, H y E. Un modelo térmico bastante sencillo puede describirse a través de la siguiente ecuación:

## ES 2 649 413 T3

$$\Delta Q = \lambda/d \times A \times (T_A - T_i)$$

con

$\Delta Q$ : Corriente térmica

d: Espesor de una zona de la pala del rotor, por ejemplo, de un nervio de conexión

5 A: Sección transversal de la sección conductora de calor.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para comprobar el estado estructural de centrales de energía eólica (1) en forma de ruedas eólicas que presentan varias palas de rotor (4), en el que partes de las centrales de energía eólica son registradas por uno o varios dispositivos de registro termográfico instalados (6) y los valores de medición determinados de esta manera se evalúan para detectar posibles daños, para lo que en una primera etapa del procedimiento se determina un período de tiempo de medición ( $\Delta t_{\text{mess}}$ ), en el que una diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) entre una zona interior (40) de la central de energía eólica, en particular en el interior de una cámara hueca (40), y una zona exterior adyacente de la central de energía eólica (41"), en particular en una pared exterior (41), debido a influencias medioambientales ( $T_U$ ) adoptará un valor mínimo ( $\Delta T_{\text{min}}$ ), **caracterizado**
- 5 **porque** en una primera etapa del procedimiento se analiza un desarrollo de la temperatura ambiental ( $T_U$ ) en la zona de una central de energía eólica, basándose en el cual se determina la diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) para un momento en el futuro, así como una temperatura momentánea ( $T_A$ ) en la zona exterior (41) de la pala del rotor (4), y porque basándose en un modelo térmico de la pala del rotor (4) o de una parte de la misma se calcula la temperatura actual ( $T_i$ ) en la zona interior de la pala del rotor (40), tomando en cuenta el modelo térmico la conductividad térmica de las estructuras y los materiales materiales en la paleta del rotor, y
- 10 **porque** en una segunda etapa del procedimiento un vehículo aéreo (2), en el que se encuentran instalados uno o varios dispositivos de registro termográfico (6), durante este período de tiempo de medición ( $\Delta t_{\text{mess}}$ ) se pone en una posición en la que la central de energía eólica entra en la zona de captación de los dispositivos de registro termográfico instalados (6), y porque en una tercera etapa del procedimiento la central de energía eólica (1) es registrada por los dispositivos de registro termográfico (6) durante este periodo de tiempo de medición ( $\Delta t_{\text{mess}}$ ).
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación anterior, **caracterizado**
- porque** las influencias medioambientales ( $T_U$ ) se determinan mediante sensores y se alimentan a una unidad de procesamiento de datos como valores de influencia medioambiental, y porque la unidad de procesamiento de datos determina el período de tiempo de medición ( $\Delta t_{\text{mess}}$ ) tomando en cuenta los valores de influencia medioambiental.
- 25 3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado**
- porque** mediante sensores de temperatura se miden las temperaturas actuales ( $T_i$ ,  $T_A$ ) en la zona interior y en la zona exterior adyacente, y **porque** basándose en las temperaturas actuales ( $T_i$ ,  $T_A$ ) y en particular teniendo en cuenta la temperatura ambiental actual ( $T_U$ ) se determina el período de tiempo de medición ( $\Delta t_{\text{mess}}$ ).
- 30 4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado**
- porque** basándose en desarrollos de temperatura, en particular de desarrollos de la temperatura ambiental ( $T_U$ ) y las temperaturas ( $T_i$ ,  $T_A$ ) de las zonas interiores y exteriores (40, 41"), de las 6 a 12 horas anteriores se efectúa una extrapolación al futuro de las temperaturas ( $T_i$ ,  $T_A$ ) de las zonas interiores y exteriores (40, 41"), y porque basándose en esta extrapolación se determina el período de tiempo de medición futuro ( $\Delta t_{\text{mess}}$ ).
- 35 5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado**
- porque** el desarrollo de la temperatura ambiental ( $T_U$ ) comprende tanto temperaturas ambientales históricas ( $T_U$ ) como también pronósticos de la temperatura ambiental ( $T_U$ ) para el futuro.
6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 5, **caracterizado**
- porque** adicionalmente al desarrollo de la temperatura ambiental ( $T_U$ ) se toma en cuenta el estado de la nubosidad, en particular un desarrollo del estado de la nubosidad.
- 40 7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado**
- porque** el calentamiento producido por el funcionamiento se toma en cuenta en la determinación de la diferencia de temperatura.
8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado**
- 45 **porque** la temperatura momentánea ( $T_A$ ) de la zona exterior (41) se determina sin contacto, en particular mediante una cámara infrarroja o un termómetro sin contacto, y porque preferentemente en la determinación sin contacto también se toma en cuenta la radiación ambiental natural.
9. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado**
- porque** la diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) se produce mediante una intervención artificial selectiva.
- 50 10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado**
- porque** la diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) se produce artificialmente mediante la puesta en marcha y la parada selectivas de las palas del rotor (4).
11. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado**
- porque** la diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) se produce artificialmente mediante el empleo selectivo de elementos de calefacción (44).
- 55 12. Vehículo aéreo, que comprende un dispositivo de registro termográfico (6) para registrar partes de centrales de energía eólica y que comprende adicionalmente una unidad de procesamiento de datos que se encuentran conexión

de datos con sensores para detectar influencias medioambientales, en donde las influencias medioambientales detectables por los sensores tienen efectos directos sobre la estructura térmica en el interior de las partes que se van a registrar de la central de energía eólica, ejecutando el vehículo aéreo un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores.

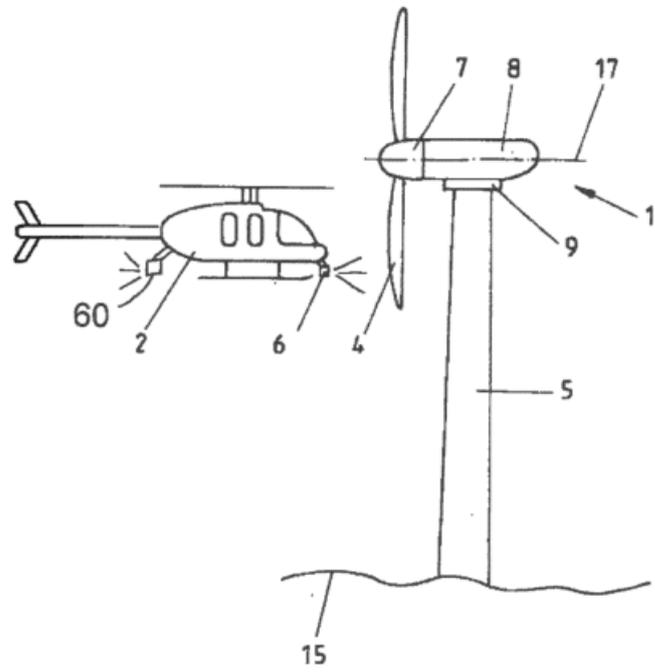
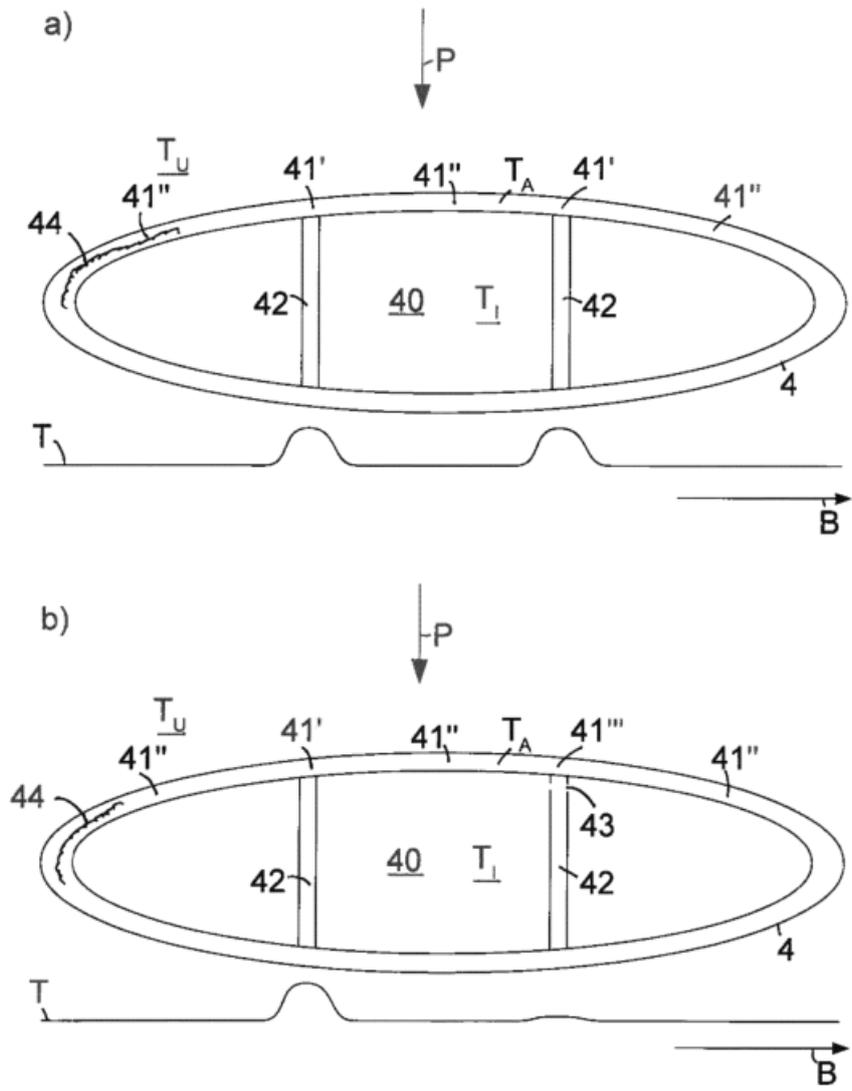


Figura 1



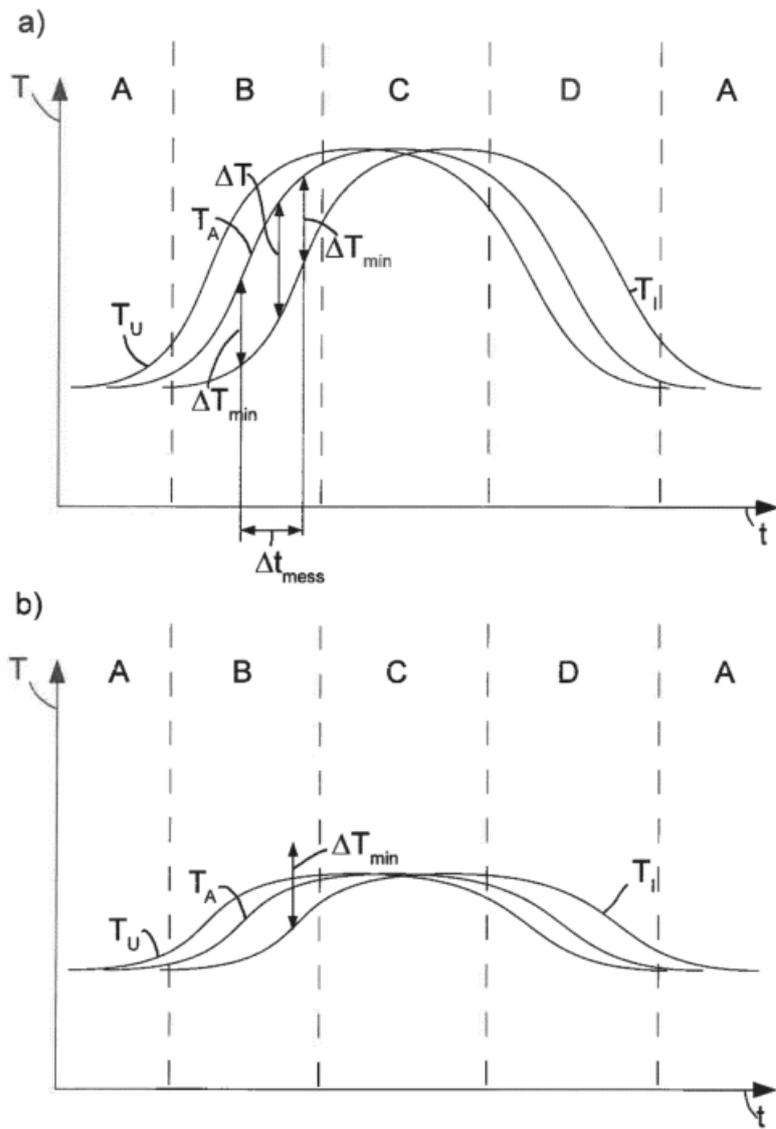


Figura 3

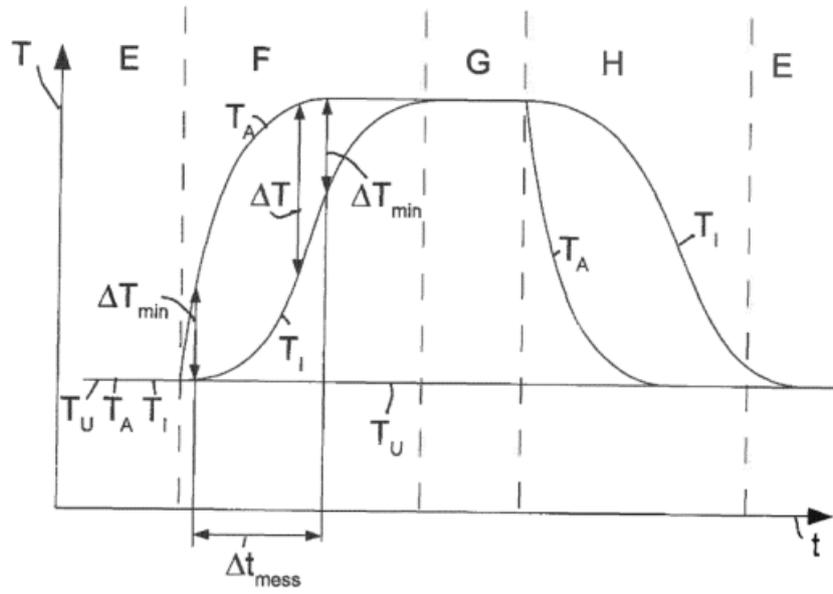


Figura 4