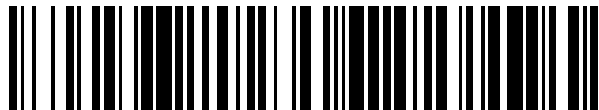


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 661 595**

51 Int. Cl.:

**B25J 11/00** (2006.01)

**F03D 1/00** (2006.01)

**F03D 17/00** (2006.01)

**F03D 80/50** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.10.2013 PCT/DE2013/000604**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.04.2014 WO14059964**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.10.2013 E 13805739 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.12.2017 EP 2908987**

54 Título: **Robot para la inspección de palas de rotor de turbinas eólicas**

30 Prioridad:

**16.10.2012 DE 202012009844 U**  
**19.04.2013 DE 102013006867**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**02.04.2018**

73 Titular/es:

**KRAMPE, NINA KATHARINA (50.0%)**  
**Mecklenbecker Str. 143**  
**48151 Münster, DE y**  
**KRAMPE, TIMOTHY (50.0%)**

72 Inventor/es:

**KRAMPE, SUSANNE**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 661 595 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**

Robot para la inspección de palas de rotor de turbinas eólicas

5 La invención se refiere al uso de robots con una tecnología de inspección moderna para la detección completa del estado de las palas de rotor de turbinas eólicas. En general, el servicio de mantenimiento de palas de turbinas eólicas a gran altura, es un desafío para el personal y la industria. Con la inspección óptica de los rotores in situ, se requieren al menos 2 operarios cualificados, por lo que solo pueden inspeccionarse las palas de una o como máximo de dos turbinas eólicas al día. A partir del documento US-A1-2006 0175465 se conoce un dispositivo para la inspección de palas de rotor de turbinas eólicas que presenta una estructura de bastidor con una abertura que rodea la pala del rotor en una pluralidad de cuerpos de flotabilidad colocados en la estructura de bastidor para un movimiento vertical del dispositivo, así como un sistema de detección del estado de la pala del rotor unido a la estructura de bastidor. Además, a partir de los documentos US-A1-2010 0103260 y DE-B3-10 2010 046 493 se conocen robots de inspección para palas de rotor de turbinas eólicas, y cada uno de ellos presenta una estructura de bastidor con múltiples hélices.

15 A partir de este estado de la técnica, el objetivo es proporcionar para la inspección de palas de rotores de turbinas eólicas un robot posicionable de manera precisa y sin producir daños. El robot según la invención para la inspección de palas de rotor de turbinas eólicas, que también puede denominarse ServiceCopter, presenta una estructura de bastidor con una abertura interior que rodea una pala de rotor en uso y una pluralidad de hélices para un movimiento de vuelo vertical del robot y un sistema de detección del estado de la pala de rotor unido a la estructura de bastidor.

20 Preferentemente, puede estar presente un cable como cable de alimentación y de manera opcional como cable de datos para conectar el robot en uso con una estación ubicada en el suelo, en un vehículo o edificio, que sirve para alimentar al robot en funcionamiento en vuelo o en suspensión, que proporciona la tensión operativa necesaria y energía para el funcionamiento en vuelo del robot y que, por ejemplo, puede tener la forma de una estación de control y análisis, que además genera las señales de control para el control del robot, por ejemplo, para la altura del vuelo, la velocidad, la dirección del vuelo, el trim, etc., y las transmite a través del cable al robot. Esta estación preferentemente móvil, estación de suministro de electricidad o estación de control y análisis puede estar colocada, por ejemplo, directamente en el suelo o incluso en o dentro de un edificio, o incluso en o sobre un vehículo, y puede enviar o transmitir las señales de control necesarias para el control del vuelo, y de forma alternativa o adicional, recibir las señales de medición electromagnéticas y ópticas o acústicas detectadas durante la inspección de las palas de rotor, y analizarlas si procede.

30 Estas señales de medición también se pueden analizar directamente en el robot o, de forma alternativa o adicional, ser transmitidas a través del cable de alimentación o también de forma inalámbrica mediante un transmisor o transceptor (transmisor/receptor) ubicado en el robot a un receptor o transceptor de la estación, por ejemplo, de la estación de tierra. Además, las señales de control requeridas por el robot para el control del vuelo, por ejemplo, para el control de altitud, posición y/o velocidad, pueden transmitirse a través del cable de alimentación o de forma inalámbrica mediante un transmisor ubicado en la estación o el transceptor (transmisor/receptor) a un receptor o al transceptor del robot.

El robot puede presentar un dispositivo de acoplamiento y/o de guía para acoplar y/o guiar al robot en la pala del rotor, de modo que se pueda lograr un posicionamiento y una guía precisos y sin producir daños.

40 El dispositivo de acoplamiento y/o de guía puede presentar uno o más brazos ajustables, de modo que se pueda lograr un contacto flexible con la pala del rotor.

Los brazos del dispositivo de acoplamiento y/o de guía pueden en este caso estar, por ejemplo, cargados por resorte y/o ser ajustables por motor.

Los brazos del dispositivo de acoplamiento y/o de guía están preferentemente provistos de un revestimiento tal como amortiguadores o amortiguadores de caucho.

45 El dispositivo de acoplamiento y/o de guía puede, por ejemplo, estar unido a los costados estrechos de la estructura de bastidor.

El robot puede incluir un inversor o convertidor unido a la estructura de bastidor para convertir la tensión de alimentación suministrada a través del cable. De esta manera se logra una reducción del peso.

50 El robot puede estar provisto además de dos o más, preferentemente cuatro grupos de uno o más, preferentemente cuatro hélices, que pueden estar unidas a los dos costados longitudinales de la estructura de bastidor.

El sistema de detección del estado puede presentar, por ejemplo, al menos un sensor, al menos una cámara, al menos una cámara concebida para la termografía o un dispositivo de inspección y/o un dispositivo de inspección ultrasónica.

Un sistema según la invención puede comprender el robot, el cable y la estación de control y análisis.

La invención se describe con más detalle a continuación con referencia a los dibujos.

En las Figuras 1 a 6 se muestran diferentes vistas de un primer ejemplo de realización de la invención.

Las Figuras 7 a 12 muestran diferentes vistas de un segundo ejemplo de realización de la invención que presenta otra disposición de las hélices.

5 Las Figuras 13, 14 muestran diversas vistas de una realización del sistema de guiado y de acoplamiento 5.

10 En la medida en que los elementos están representados por los mismos símbolos de referencia en las Figuras 1 a 14, se aplican las siguientes descripciones de estos símbolos de referencia a ambos ejemplos de realización, a menos que se indique lo contrario en lo sucesivo. Asimismo, las descripciones generales siguientes son aplicables para todos los ejemplos de realización mostrados o descritos a menos que se especifique lo contrario a continuación.

15 El robot según la invención (ServiceCopter) puede estar situado, por ejemplo, según la Fig.1, en la parte superior de una pala de rotor 8 de una turbina eólica y se puede desplazar a lo largo de la pala de rotor en sentido vertical y, si procede, de forma adicional o alternativa en sentido horizontal u oblicuo. El robot presenta un módulo de soporte 1 con tecnología de accionamiento aerodinámico, una unidad de accionamiento 2 con hélices 3 y sistema de control, un sistema de guiado y de acoplamiento 5, un sistema de detección del estado de la pala de rotor 6 y un cable 7 que por un lado está unido al robot, preferentemente a un dispositivo 9 fijado en un bastidor 1 del robot, por ejemplo, en forma de un módulo con su propia carcasa, de manera fija o desmontable, por ejemplo, a través de un conector.

20 El dispositivo 9 puede, por ejemplo, presentar un convertidor, por ejemplo, un rectificador o inversor, que convierte la energía de corriente alterna o de corriente continua suministrada desde una estación de tierra 10, es decir, la energía de funcionamiento, en la tensión alterna o continua requerida por el robot. De forma alternativa o adicional, el dispositivo 9 también puede recibir señales de control para el funcionamiento del robot a través del cable 7 y/o introducir las señales de medición detectadas en la inspección de la pala del rotor al cable 7 hacia la estación de tierra 10.

25 El cable 7 puede estar diseñado en forma de un cable de alimentación puro para suministrar la energía de servicio desde la estación fija o preferentemente móvil, p. ej., una estación 10 colocada en un vehículo como un camión como estación de tierra, o en forma de un cable de alimentación y/o de datos para la transmisión de señales entre la estación y el robot. De forma alternativa, se puede llevar un cable de alimentación y un cable de datos conjuntamente desde la estación base hasta el robot.

30 El cable 7 está conectado a la estación 10, preferentemente a un dispositivo colocado en la misma, por ejemplo, en forma de un módulo con su propia carcasa de manera fija o desmontable, por ejemplo, a través de un conector. La estación 10 introduce la tensión alterna o continua requerida por el robot, es decir, la energía de funcionamiento, en el cable 7 y puede presentar también, por ejemplo, un convertidor, un rectificador o un inversor. De forma alternativa o adicional, la estación 10 también puede generar o transmitir señales de control para el funcionamiento del robot y transmitir las al robot mediante el cable 7, o de forma inalámbrica a través de una conexión por radio, y/o las señales de medición obtenidas durante la inspección de las palas del rotor a través del cable 7 o de un segundo cable, o de forma inalámbrica a través de una conexión por radio, recibirlas, y/o analizarlas y/o almacenarlas.

35 En uno, varios o todos los ejemplos de realización, es posible una inspección visual de la superficie de la pala de rotor 8 por uno o más dispositivos de grabación de vídeo instalados en el robot o por cámara.

40 De forma alternativa o adicional, se puede realizar una inspección de la superficie de la pala de rotor 8 por termografía infrarroja.

De forma alternativa o adicional, se puede utilizar un dispositivo de tecnología de inspección ultrasónica tal como, por ejemplo, en la tecnología offshore.

El robot según la invención puede usarse, por ejemplo, para diferentes tipos de turbinas eólicas.

La invención permite evitar las cuerdas de suspensión en la góndola. Tampoco es necesario entrar en la góndola.

45 En uno, varios o todos los ejemplos de realización, se garantiza un proceso totalmente automatizado.

La mano de obra se pueden limitar a un máximo de un operario cualificado, que además puede permanecer en el suelo y, por lo tanto, no necesita estar especialmente protegido.

50 El tiempo requerido para la inspección puede limitarse a un máximo de 2,5 horas por turbina eólica. Por lo tanto, se pueden realizar, por ejemplo, 4 evaluaciones por día, mientras que las inspecciones convencionales permitían un máximo de dos evaluaciones por día.

El robot según la invención puede desplazarse de forma continua o gradual a lo largo de la pala de rotor bloqueada que se está examinando, preferentemente en sentido vertical, mediante aproximaciones apropiadas a los rotores y

examinar sucesivamente toda la pala del rotor desde abajo hacia arriba o en el sentido opuesto.

Como base, se proporciona un módulo de soporte con un accionamiento aerodinámico, que se puede utilizar para diferentes turbinas eólicas.

5 El robot presenta el módulo de soporte 1 en forma de una estructura de bastidor, que rodea completamente la pala del rotor de la turbina eólica, se desplaza hacia arriba y hacia abajo flotando libremente, de manera autónoma e independiente de las cuerdas de suspensión en la góndola de la turbina eólica o en los sistemas de grúas de la turbina eólica desde el suelo hasta la pala del rotor de la turbina eólica mediante el accionamiento aerodinámico 2 y recorre la pala del rotor de la turbina eólica desde la punta de la pala del rotor hasta la raíz de la pala del rotor y/o a la inversa a una velocidad determinada. La estructura de bastidor presenta un bastidor cerrado preferentemente circunferencial, que puede estar formado, por ejemplo, por cuatro o más bastidores individuales interconectados y es hueco en el centro en dirección vertical para acomodar la pala del rotor con una distancia horizontal. De forma alternativa, el bastidor puede tener la forma de una U, de un rombo, de un paralelogramo o de un polígono, o puede estar abierto, y por ejemplo, puede presentar solo en tres costados componentes de soporte, para que presente, por ejemplo, la forma de una U.

15 En el módulo portador 1 del robot está incorporado el sistema de sensores 6 requerido, como cámaras, p. ej., cámaras fotográficas, cámaras de vídeo, cámaras de infrarrojos para termografía y sensores ultrasónicos para realizar el barrido preferentemente sin contacto para la detección del estado de palas de rotor de turbinas eólicas en posiciones requeridas y diferentes con orientación hacia la posición de la pala de rotor que se pretende inspeccionar, tal como se muestra en los dibujos a modo de ejemplo. El sistema de sensores 6 sirve de sistema de detección del estado de la pala de rotor.

20 El robot presenta la unidad aerodinámica 2 para un movimiento de vuelo vertical. El posicionamiento del robot en la pala del rotor de una turbina eólicas se realiza mediante el accionamiento aerodinámico 2, que consiste en varias hélices 3 con motores eléctricos 4 dispuestos en o sobre bastidor 1 a diferentes distancias y, por lo tanto, es capaz de volar de forma independiente.

25 El accionamiento aerodinámico 2, que presenta, p. ej., dos, tres, cuatro o más grupos, cada uno con uno o más, p. ej., cuatro hélices 3 con accionamiento por motor, también se puede adosar al o incluso incorporar en el módulo de soporte 1, en dos, tres o todos los costados a distancias iguales y/o desiguales.

30 Mediante un sistema de control electrónico 9 del accionamiento aerodinámico 2 previsto en o dentro del módulo portador 1, se garantiza una distancia uniforme del robot respecto a la superficie de la pala de rotor de turbinas eólicas. Por lo tanto, se evita el contacto de la superficie de la pala de la turbina eólica con el bastidor 1 del robot. El accionamiento aerodinámico 2 funciona de forma continua durante toda la fase de inspección de la pala del rotor para llevar el peso del robot. El sistema de control 9 presenta preferentemente un inversor o convertidor, que convierte la tensión de alimentación suministrada a través de un cable 7 que se extiende hasta el suelo en la tensión alterna o continua necesaria para la alimentación de los motores eléctricos 4 con las tensiones correspondientes. Esto significa que el robot no necesita tener sus propias baterías o acumuladores de energía, lo que reduce el peso total.

35 La altura de vuelo máxima del robot se limita, por ejemplo, a 100 m o a la altura máxima de la pala del rotor por la longitud de cable del cable 7 y/o las medidas técnicas de control, para no poner en peligro las regulaciones de vuelo.

40 En dos o más costados, por ejemplo en cuatro costados del módulo de soporte 1, se instala un sistema de guiado y acoplamiento 5, ajustable en varios ejes, para asegurar el posicionamiento y guiado del robot en la pala 8 de la turbina eólica, incluso a velocidades del viento más elevadas. El sistema de acoplamiento y de guiado 5 se usa para el ajuste fino y el guiado uniforme del robot en la pala del rotor, y no para la integración completa del peso del robot. Esto garantiza que no se transfieran cargas innecesarias a la pala del rotor 8 y que la superficie de la pala del rotor se mantenga libre de daños.

45 Uno o todos los sistemas de guiado y acoplamiento 5 presenta, por ejemplo, brazos 11 cargados por resorte en los costados opuestos y estrechos del bastidor 1, que se pueden arrimar de forma elástica directamente a la pala del rotor 8 en las dos superficies laterales o en la superficie frontal más ancha y asegurar de esa manera un guiado bueno y uniforme a lo largo de la pala de rotor, sustancialmente en sentido vertical. Ambos brazos 11, o alternativamente también solo uno de los brazos, están provistos con una o más guías eléctricas accionadas por motor 12 con una o preferentemente una pluralidad de ruedas de correa dentada 14, con uno o más motores 19 diseñados opcionalmente como motores eléctricos (véanse también las Fig. 13, 14) y provistos con una o más correas dentadas circulares 13 con un revestimiento que impide daños, tal como un revestimiento de caucho o plástico o un revestimiento de caucho y plástico.

50 En otro ejemplo de realización, cada guía 12 o al menos una o varias de las guías 12 presenta en lugar de ruedas de correa dentada 14 y correas dentadas 13, al menos un rodillo giratorio, impulsado por motor eléctrico (p. ej., un rodillo de fricción) con recubrimiento antidaños en cada brazo 11, que es presionado por el brazo 11 de manera elástica directamente a la pala del rotor 8 y puede ser accionado por el motor (motor eléctrico) 19 para desplazarse hacia arriba o hacia abajo a lo largo de la pala del rotor y, por lo tanto, desplazar también el bastidor 1.

Debido al contacto directo (conexión de fricción) entre la pala del rotor y el accionamiento vertical, las guías 12 logran que el robot ascienda en la pala del rotor en sentido vertical y, favorecen, por lo tanto, el desplazamiento vertical del robot provocado por las hélices durante el desplazamiento ascendente y/o descendente.

5 En algunos ejemplos de realización, las guías aguantan del 2 al 50 %, preferentemente del 5 % al 20 % del peso del robot, mientras que las hélices aguantan la parte restante del peso del robot. Para ello, los motores de hélice y los motores eléctricos 19 de las guías están controlados conjuntamente por la unidad de control 9, de manera que se logra esta distribución del peso, y los componentes de movimiento con orientación vertical interactúan de manera sinérgica, es decir, se complementan entre sí y no interfieren entre sí.

10 En una configuración, comienza la inspección de la pala del rotor desde arriba, de manera que, durante el uso, el robot se eleva flotando primero a la parte superior, hacia la raíz de la pala, de manera preferente pero no necesaria, sin tocar la pala del rotor 8, y luego se realiza la inspección de la pala con el subsiguiente movimiento descendente y con mordazas de sujeción 12 colocadas en la pala del rotor 8, preferentemente a una velocidad de descenso constante o aproximadamente constante. Para ello, en uno o más ejemplos de realización, pueden llevarse las mordazas de sujeción a una posición muy o máximamente retraída y abierta durante el movimiento hacia arriba mediante el dispositivo de control 9, p. ej., mediante el movimiento electromotor de los rieles 16 hacia su posición en el borde exterior, alejados de las palas y abriendo las mordazas de sujeción 12, y las mordazas de sujeción 12 pueden moverse antes o al principio del desplazamiento descendente mediante motor eléctrico o soltando las mordazas de sujeción 12 cargadas por resorte hacia la posición de cierre arrimada a la pala del rotor 8. En uno o más ejemplos de realización, las mordazas de sujeción permanecen siempre en contacto con la pala de rotor 8 durante el desplazamiento hacia arriba y hacia abajo del robot, siempre que estén a su misma altura. Esto simplifica el control, reduce el peso y reduce la susceptibilidad a fallos.

La inspección de la pala de rotor, sin embargo, se puede realizar en otros ejemplos de realización, por ejemplo, también desde abajo hacia arriba.

25 En otros ejemplos de realización, los brazos 11 pueden estar formados sin accionamiento propio en forma de elementos apoyados en la pala de forma elástica, tales como amortiguadores de caucho.

En uno, varios o todos los ejemplos de realización, los brazos 11 pueden tener un ajuste motorizado en lugar de, o además de una precarga elástica en la pala del rotor 8, p. ej., pueden ser basculantes o abatibles en la dirección de la pala del rotor, para garantizar un buen contacto con la pala del rotor 8. Los brazos 11 son, por ejemplo, basculantes en paralelo a la superficie o al plano del bastidor.

30 Como se muestra, por ejemplo, en la Fig. 7 y en otras figuras, se forma una ranura de guía 17 en cada una de las partes laterales más largas del bastidor para guiar los rieles 16. Los rieles 16 están dispuestos, como se muestra, paralelos a las partes laterales más cortas del bastidor 1 y paralelamente al mismo desplazables a lo largo de las ranuras de guía 17. Cada uno de los rieles 16 forma un soporte que se mantiene en sus dos costados en las ranuras de guía 17 opuestas de manera movable y, por lo tanto, es movable en un ángulo recto respecto a las ranuras de guía 17 mutuamente paralelas.

35 En cada riel 16 está colocado al menos un sistema de mordazas de sujeción, es decir, uno de los sistemas de acoplamiento 5, que presenta brazos 11 y es desplazable a lo largo del riel 16 paralelo al costado del bastidor más corto de forma pasiva o, en el caso de un accionamiento accionado por motor, también de forma activa, de modo que puede entrar en contacto con la pala del rotor 8 por ambos costados y realizar movimientos laterales a lo largo del riel 16 (en el sentido de la extensión del riel definido como dirección X) durante el desplazamiento vertical ascendente o descendente del robot. Debido a la disposición movable de los rieles 16 en las ranuras de guía 17, los respectivos sistemas de mordazas de sujeción también pueden realizar en el desplazamiento vertical ascendente o descendente del robot movimientos transversales a la dirección X con una aproximación al o alejamiento del eje longitudinal de la pala del rotor, es decir, en la dirección Y, de manera que se consiga una guía X-Y del sistema de mordazas de sujeción 5 en la dirección horizontal.

40 En al menos una de las ranuras de guía 17 paralelas y/o en al menos uno de los rieles 16, también puede estar colocado un cable de alimentación o un carril electrificado 18 para la alimentación de corriente de los motores eléctricos de los sistemas de mordazas de sujeción, es decir, de los sistemas de acoplamiento 5, que está(n) conectado(s) con el dispositivo de control 9', el motor eléctrico 19 y, en caso necesario, con otros componentes del robot. Además, puede discurrir aquí o en otro lugar un cable de datos para la transmisión de señales de control o valores medidos desde o hacia la unidad de control 9', que está conectado a la unidad de control 9' y los sensores y, en caso necesario, con otros componentes del robot.

45 La alimentación eléctrica del accionamiento aerodinámico 2, que comprende varias hélices 3 con accionamiento por motor 4, se obtiene a través del cable 7, que al mismo tiempo también puede servir como cable de datos. El cable 7 transmite señales de control desde una estación de control y análisis en tierra al robot, y además transmite las señales de medición creadas por el sistema 5 e indicativas del estado de la pala del rotor a la estación de control y análisis en tierra. De esta manera se evita la introducción de baterías pesadas. La tensión necesaria o la corriente necesaria se genera a través del inversor ubicado en el módulo de soporte, del sistema de control 9 o del dispositivo

9' (Fig. 7).

En el modo de realización según las Figuras 1 a 6, por ejemplo, las ocho hélices 3 están colocadas en un costado longitudinal respectivo en una línea y combinadas en dos grupos, cada uno con cuatro hélices, que se encuentran a una distancia el uno del otro.

5 En el ejemplo de realización según las figuras 7 a 12, por ejemplo, las ocho hélices 3 de un costado longitudinal respectivo se combinan en tres grupos con dos o tres hélices cada uno, en el que las hélices de dos grupos, por ejemplo, de los dos grupos exteriores, están dispuestas en una línea y, por ejemplo, el grupo del medio que comprende dos hélices, está colocado en un soporte o armazón 2a de forma que sobresale lateralmente, de modo que se encuentra a una distancia mayor del plano central vertical del robot que los otros dos grupos. Esto puede mejorar aún más la estabilidad del vuelo.

10 Los soportes 2a pueden tener una apariencia en forma de U con brazos que se sobresalen lateralmente 2b, en cuyos extremos están montados los motores de hélice. Los grupos respectivos pueden tener sus propios bastidores laterales 2c, que rodean el grupo y las hélices asociadas y aportan una alta estabilidad.

15 En términos generales, en este ejemplo de realización, en cada uno de los dos costados longitudinales de la estructura del bastidor, al menos una hélice o un grupo de hélices, preferentemente el grupo central, puede estar colocado de manera que sobresalga lateralmente, de tal manera que la hélice o este grupo de hélices presente una distancia mayor a un plano que se extiende a través del robot paralelamente respecto a los costados longitudinales del plano vertical o plano medio del bastidor que el grupo o los grupos adyacentes lateralmente a este grupo, que está o que están situados en el costado longitudinal respectivo de la estructura del bastidor.

20 Los ejemplos de realización de la invención incluyen el uso de robots con una tecnología de inspección moderna para la detección completa del estado de palas de rotor de turbinas eólicas. El robot se usa para la inspección de palas de rotor de turbinas eólicas. También es posible un uso offshore.

25 Una inspección visual de la superficie se realiza por vídeo o cámara. La inspección de la superficie puede realizarse, por ejemplo, mediante termografía infrarroja y/o mediante tecnología de inspección ultrasónica, por ejemplo, para el uso offshore.

30 Se pueden utilizar motores eléctricos de corriente continua sin escobillas (BLDC) de fácil mantenimiento y disponibles en el mercado con accionamientos de velocidad controlada y tecnología de control electrónico. Con el robot "Hovering Blade Scanner", el servicio de mantenimiento de la pala del rotor está totalmente automatizado: la base para uno, varios o todos los ejemplos de realización es un módulo de soporte con accionamiento aerodinámico, que puede utilizarse para diferentes tipos de turbinas eólicas. No es necesario entrar en la góndola/palas en el exterior. Se garantiza un procedimiento y posicionamiento totalmente automatizado en la pala. La mano de obra se limita a uno o dos operarios cualificados. El tiempo requerido de una inspección se limita a un máximo de 2 horas por turbina eólica.

35 El principio de funcionamiento del HBS se basa en el principio de que el peso del sistema es asumido durante toda la operación por el accionamiento aerodinámico para el desplazamiento de ascenso desde el suelo hasta la pala del rotor, el procedimiento de inspección en la pala del rotor y el desplazamiento de descenso desde la pala del rotor hasta el suelo. Durante el proceso de inspección en la pala del rotor, el sistema de guiado y acoplamiento asegura el posicionamiento correcto del módulo de soporte con la tecnología de detección de estado integrada. Al mismo tiempo, el sistema de guiado y acoplamiento asume el seguimiento de los contornos de la pala de rotor. El control automatizado de ambos sistemas (tecnología de accionamiento aerodinámico y sistema de guiado y acoplamiento) da como resultado un sistema global con estabilidad estática.

40 La o las unidad(es) de propulsión con hélice puede(n) ser acoplada(s) al bastidor de soporte (estructura del bastidor) de manera desmontable, lo cual es ventajoso para el transporte. El módulo de soporte (estructura de bastidor) puede consistir en un bastidor de plástico reforzado con fibra de carbono (CFRP).

45 La detección del estado de la pala de rotor se puede realizar mediante termografía activa. El diseño modular del robot, el sistema HBS "Hovering Blade Spanner", previsto para uno, varios o todos los ejemplos de realización, ofrece posibilidades de aplicación ampliadas.

El robot también puede utilizarse para aplicaciones onshore y offshore cuando se modifica el bastidor base.

50 La detección del estado de las palas del rotor se puede realizar mediante termografía activa y/o termografía de lock-in ópticamente estimulada.

55 El procedimiento de la termografía óptica lock-in (LIT) se basa en el análisis del flujo de calor, por lo que también se puede denominar termografía de flujo de calor. La superficie del objeto examinado se puede calentar con lámparas halógenas montadas en el robot. El flujo de calor que se genera de esa manera hacia el material es modificado por obstáculos térmicos tales como impactos, deslaminaciones o variaciones en el espesor del material del objeto. En la superficie, se forman "hot spots" como resultado de la acumulación de calor, que son capturados por una cámara

infrarroja.

La sensibilidad del procedimiento es muy alta debido al uso de la técnica lock-in. La intensidad de las lámparas halógenas se puede modular sinusoidalmente y al mismo tiempo se puede registrar la temperatura de la superficie. A partir de la secuencia de la imagen medida se calcula una imagen de fase y amplitud mediante una transformación de Fourier. En la imagen de fase, los efectos de interferencia resultantes de diferentes coeficientes de emisión o excitación no homogénea se reducen significativamente. Ahora es posible dar información sobre la condición interfacial y/o el grosor del material o el grosor del recubrimiento.

En uno, varios o todos los ejemplos de realización, se puede utilizar la termografía lock-in ópticamente estimulada.

La termografía lock-in ópticamente estimulada es un procedimiento de inspección sin contacto y no destructivo que es muy adecuado para la caracterización de plásticos reforzados con fibra (CFRP). El procedimiento permite tiempos de medición cortos. Áreas amplias con geometrías complejas pueden examinarse con una sola medición. La técnica lock-in es muy robusta y funciona incluso en condiciones ambientales difíciles. El procedimiento permite, por ejemplo, la inspección de CFRP/otras fibras compuestas (delaminaciones, impactos, inclusiones y porosidad, unión de insertos, contenido de resina/fibra, análisis de preformas, determinación de la dirección de la fibra...), pruebas de corrosión, mediciones del espesor de las paredes, pruebas de uniones adhesivas, inspección de uniones adhesivas de plástico durante la inspección de palas de rotor de turbinas eólicas.

En uno, varios o todos los ejemplos de realización, el robot comprende, p. ej., el módulo de soporte con tecnología de accionamiento aerodinámico o de forma alternativa la estación base, o una unidad central, también el software para el sistema de inspección y/o el software para el sistema de detección del estado.

Con el robot según la invención, también conocido como sistema HBS, se puede sustituir y automatizar la tecnología de "mirar y golpear" aplicada para cumplir con los requisitos de las inspecciones periódicas de palas de turbinas eólicas.

Los inspecciones periódicas de palas de rotor de turbinas eólicas se pueden realizar ahora de manera automatizada sin necesidad de trabajadores cualificados. Una vez finalizada la evaluación de la pala in situ, se puede crear un protocolo y enviarlo a la empresa ejecutora, en la que se puede redactar el protocolo de inspección correspondiente, que se envía al cliente. Este procedimiento cumple con el estándar de la industria para cumplir con los requisitos de las inspecciones periódicas anuales de palas.

En uno, varios o todos los ejemplos de realización, se puede utilizar la termografía activa (termografía de lock-in, 1. - 2.) para racionalizar la técnica.

Preferentemente, se puede ampliar el sistema que se menciona a continuación en el punto 1 por el sistema que se menciona en el punto 2 y las alternativas para las pruebas no destructivas con termografía activa que se mencionan en los puntos 3 y 4 pueden utilizarse para la inspección de la pala.

1. La termografía lock-in ópticamente estimulada: Utilización de cámaras IR, estimuladas por lámparas halógenas (ondas ópticas), ampliables con la siguiente alternativa 2.

2. La termografía ultrasónica: Utilización de cámaras IR, estimuladas por ultrasonido (respuesta térmica) "ampliable con el sistema 1".

3. La termografía pulsada: Utilización de cámaras IR, estimuladas por luces de arco y flash (respuesta térmica) "ampliable con el sistema 1".

4. La shearografía: Utilización de cámaras CCD (Charge Coupled Device), estimuladas por láser (calor — vacío — vibración).

El principio de la termografía lock-in ópticamente estimulada, es decir, el procedimiento de la termografía óptica lock-in (LIT), que se utiliza o puede utilizarse en uno, varios o todos los ejemplos de realización, se basa en el análisis del flujo de calor. A menudo se denomina termografía de flujo de calor. La superficie del objeto examinado se calienta con lámparas halógenas. El flujo de calor que se genera de esa manera hacia el material es afectado por obstáculos térmicos tales como impactos, deslaminaciones o variaciones en el espesor del material del objeto.

En la superficie, se forman "hot spots" como resultado de la acumulación de calor, que son capturados por una cámara infrarroja. La sensibilidad del procedimiento es muy alta debido al uso de la técnica lock-in. Además, la intensidad de las lámparas halógenas se modula sinusoidalmente y al mismo tiempo se registra la temperatura de la superficie. A partir de la secuencia de la imagen medida se calcula una imagen de fase y amplitud mediante una transformación de Fourier. En la imagen de fase, los efectos de interferencia resultantes de diferentes coeficientes de emisión o excitación no homogénea se reducen significativamente. Ahora es posible dar información sobre la condición interfacial y/o el grosor del material o el grosor del recubrimiento.

La termografía lock-in ópticamente estimulada que se utiliza en uno, varios o todos los ejemplos de realización es un

5 procedimiento de inspección sin contacto y no destructivo que es muy adecuado para la caracterización de plásticos reforzados con fibra (CFRP). El procedimiento se utiliza especialmente cuando se requieren tiempos de medición cortos. Áreas amplias con geometrías complejas pueden examinarse con una sola medición. La técnica lock-in es muy robusta y funciona incluso en condiciones ambientales difíciles. El procedimiento se utiliza tanto en la fabricación como en el mantenimiento. OTvis se puede ampliar con todas las otras fuentes de excitación Edevis y módulos de software. De esta manera, es posible una buena inspección de palas de rotor de turbinas eólicas.

10 En uno, varios o todos los ejemplos de realización, se puede utilizar la termografía ultrasónica. En la termografía ultrasónica, se somete el objeto examinado a una ecografía de alto rendimiento. Los defectos del material, tales como grietas u otras interfaces mecánicas, provocan en el material pérdidas por fricción. En la superficie, se forman "hot spots" de esta manera, que son detectados por una cámara infrarroja. La sensibilidad del procedimiento puede incrementarse significativamente con la tecnología de fase. La curva de intensidad de la temperatura superficial se analiza espectralmente mediante la transformación de Fourier y se descompone en una imagen de fase y amplitud. En la imagen de fase, los efectos de interferencia resultantes de diferentes coeficientes de emisión o excitación no homogénea se reducen significativamente. La termografía por excitación ultrasónica es un procedimiento de inspección no destructivo muy adecuado para la caracterización de palas de rotores, por ejemplo, estructuras metálicas y no metálicas. Este procedimiento se utiliza especialmente cuando se detectan defectos que pueden ser activados por la introducción del sonido. Esto incluye, en particular, grietas y defectos en las juntas.

20 El principio de termografía pulsada utilizada en uno, varios o todos los ejemplos de realización se basa en el hecho de que la superficie del objeto examinado se somete brevemente a altas temperaturas con lámparas de destello. En la termografía pulsada, el flujo de calor causado por la excitación por destello desempeña una función importante. Los obstáculos térmicos (por ejemplo, variaciones de grosor o defectos del material) modifican el flujo de calor. En la superficie, se forman diferencias de temperatura, que son capturadas por una cámara infrarroja. La sensibilidad del procedimiento puede incrementarse significativamente con la tecnología de impulsos y fases. La curva de intensidad de la temperatura superficial se analiza espectralmente mediante la transformación de Fourier y se descompone en una imagen de fase y amplitud. Mediante calibraciones, la imagen de fase proporciona información cuantitativa sobre ciertas propiedades del material.

30 La termografía pulsada es un procedimiento de inspección sin contacto, idónea para la caracterización sin contacto de capas finas o recubrimientos/lacas y desprendimientos. La corta duración de las inspecciones y la alta sensibilidad de detección hacen que la termografía pulsada sea una herramienta extremadamente potente para las inspecciones no destructivas de palas de rotor. La técnica de análisis de impulsos y fases permite la determinación cuantitativa de las propiedades del material como el espesor, la porosidad o la conductividad térmica. Además, se suprimen alteraciones como una variación de las propiedades superficiales o un calentamiento desigual. La interpretación y documentación de los resultados de las inspecciones es muy sencilla. El sistema PTvis, basado en lámparas de destello de alto rendimiento, tiene un diseño modular y puede ampliarse con otros tipos de activación (UTvis, ITvis, OTvis...).

Las lámparas de arco y de destello se utilizan para muchos propósitos diferentes. Para una medición precisa de distancias, para una excitación láser en la industria, pero también para aplicaciones en medicina estética y en la simulación solar.

40 En uno, varios o todos los ejemplos de realización, también se puede utilizar el principio de la shearografía. La shearografía es un procedimiento de inspección interferométrico no destructivo. Se determina la diferencia de fase entre dos ondas de luz que presentan una diferencia de velocidad. Todas las propiedades del objeto que modifican la trayectoria de la luz (es decir, especialmente las deformaciones de la superficie) pueden detectarse y visualizarse con una resolución mejor que la longitud de onda utilizada. La shearografía es un procedimiento de inspección sin contacto y no destructivo que es muy adecuado para la caracterización de materiales compuestos como los plásticos reforzados con fibra (CFRP). El procedimiento permite la inspección de estructuras de materiales complejos, por ejemplo, componentes sándwich de panal de abeja o componentes espumados. Áreas amplias pueden examinarse con una sola medición.

50 En uno, varios o todos los ejemplos de realización, se puede utilizar la radiación electromagnética, por ejemplo, luz o radiación infrarroja. La óptica infrarroja puede estar fabricada a partir de germanio, por ejemplo. Tal cámara infrarroja permite, con ciertas limitaciones, ver a través de la atmósfera. Para distancias entre la cámara infrarroja y el objetivo, en este caso PRFV, CFRP y madera, de unos pocos metros, la atmósfera no tiene prácticamente ninguna influencia sobre la medición en condiciones normales. Sólo cuando se mide a distancias más largas resulta problemático, ya que los valores medidos no pueden corregirse matemáticamente para un análisis detallado de los daños de materiales compuestos de las palas de turbinas eólicas. Debido a la medición en campo cercano guiada por robot, directamente en la pala del rotor, no surgen estos problemas en la presente invención.

La radiación solar directa e intensa sobre el objeto de medición, incluso a corta distancia, puede influir en la medición. En este caso, se coloca la pala de turbina eólica en posición de servicio y en la sombra de la torre de la turbina eólica.

En las Figuras 13, 14, se muestra un ejemplo de realización del sistema de guiado y acoplamiento 5 con más



5 detalle. El robot puede presentar preferentemente dos sistemas 5 de este tipo colocados en dos tramos del bastidor opuestos, p. ej., en los dos bastidores más cortos. En otros ejemplos de realización, sin embargo, pueden estar previstos solamente uno, o tres o más de dichos sistemas 5. Cada uno de los sistemas de guía y acoplamiento 5 presenta brazos 11 cargados por resorte y basculantes con motor, que se pueden arrimar de forma mecánica directamente a la pala del rotor 8 no mostrada y que descansan de manera basculante sobre una cabecera 15, que se puede montar o está montado de manera flexible sobre el riel 16. Las cabeceras 15 están montadas sobre uno de los costados estrechos opuestos del bastidor 1 en los rieles 16 respectivos y pueden comprender resortes o motores eléctricos para el pretensado y/o movimiento de los brazos 11 en dirección de cierre o de apertura.

10 Los extremos exteriores de los brazos 11 están unidos por bisagras a los soportes de rodillo 20, en los que descansa al menos un rodillo de manera giratoria, p. ej., mediante un motor eléctrico 19 montado lateralmente.

15 Como se puede observar en la Fig. 14, cada soporte de rodillo 20 lleva una pluralidad de rodillos, p. ej., cinco rodillos 14 giratorios (esto incluye también cilindros o discos), que están colocados en paralelo, uno al lado del otro, con los ejes de rotación en posición de trabajo en una posición sustancialmente horizontal y soportados por una placa de soporte 21 giratoria. Los rodillos 14 pueden ser lisos, estriados, dentados o estampados de otra manera para lograr una unión positiva con la correa 13. De forma alternativa, también se puede prescindir de la correa para que los rodillos 14 entren en contacto directo con la pala del rotor 8 y que al menos uno de los rodillos 14 se desplace a lo largo de la pala del rotor 8 mediante el accionamiento del motor.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Robot para la inspección de palas de rotor de turbinas eólicas con una estructura de bastidor (1) con una abertura interior que rodea una pala de rotor (8) en uso y una pluralidad de hélices (3) colocadas en la estructura de bastidor para un movimiento de vuelo vertical del robot y un sistema de detección del estado (6) de la pala de rotor unido a la estructura de bastidor (1) para una inspección de las palas de rotor (8) preferentemente sin contacto, en el que está previsto un cable (7), por ejemplo, un cable de alimentación y/o de datos, para conectar el robot a una estación (10) ubicada, por ejemplo, en el suelo o en un vehículo, por ejemplo, una estación de control y análisis.
- 10 2. Robot según la reivindicación 1, con un dispositivo de acoplamiento y/o de guía (5) para acoplar y/o guiar el robot sobre la pala del rotor (8).
3. Robot según la reivindicación 2, en el que el dispositivo de acoplamiento y/o de guía (5) presenta uno o más brazos (11) ajustables.
4. Robot según la reivindicación 3, en el que los brazos (11) del dispositivo de acoplamiento y/o de guía (5) están cargados por resorte y/o son ajustables por motor.
- 15 5. Robot según la reivindicación 3 o 4, en el que los brazos (11) del dispositivo de acoplamiento y/o de guía (5) están dotados de un revestimiento (12), tal como amortiguadores o amortiguadores de caucho.
6. Robot según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que el dispositivo de acoplamiento y/o de guía (5) está unido a los costados estrechos de la estructura de bastidor.
- 20 7. Robot según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 2 a 6, en el que el dispositivo de acoplamiento y/o de guía (5) o los brazos (11) del mismo son accionados por un motor para su desplazamiento hacia arriba o hacia abajo, a lo largo de la pala del rotor (8) que se pretende inspeccionar.
- 25 8. Robot según la reivindicación 7, en el que el dispositivo de acoplamiento y/o de guía (5) o los brazos (11) presentan al menos un soporte de rodillo (20) con un motor (19) y al menos un rodillo (14) que puede ser accionado por este último, que impulsa una correa giratoria que está en conexión con la pala del rotor o que está directamente en contacto con la pala de rotor (8) que se pretende inspeccionar, para mover el robot, opcionalmente en cooperación con las hélices, hacia arriba o hacia abajo a lo largo de la pala del rotor (8) que se pretende inspeccionar.
- 30 9. Robot según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, con un sistema de control (9, 9') con un inversor (9) o convertidor que está unido a la estructura de bastidor y sirve para convertir la tensión de alimentación suministrada a través del cable (7).
10. Robot según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, con dos o más, preferentemente cuatro grupos de uno o más, preferentemente cuatro hélices (3), que están unidas a los dos costados longitudinales de la estructura de bastidor.
- 35 11. Robot según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que en cada uno de los dos costados longitudinales de la estructura del bastidor, está colocada al menos una hélice o un grupo de hélices, preferentemente el grupo central, de manera que sobresale lateralmente, de tal manera que presenta una distancia mayor a un plano vertical que se extiende a través del robot paralelamente respecto a los costados longitudinales que el grupo o los grupos adyacentes lateralmente a este grupo, que está o que están situados en el costado longitudinal respectivo de la estructura del bastidor.
- 40 12. Robot según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el sistema de detección del estado (6) presenta al menos una cámara y/o un dispositivo de inspección ultrasónica.
13. Sistema con un robot según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, una estación (10) instalada de manera fija o preferentemente móvil, por ejemplo, una estación de control y análisis, y un cable (7) para conectar el robot a la estación.

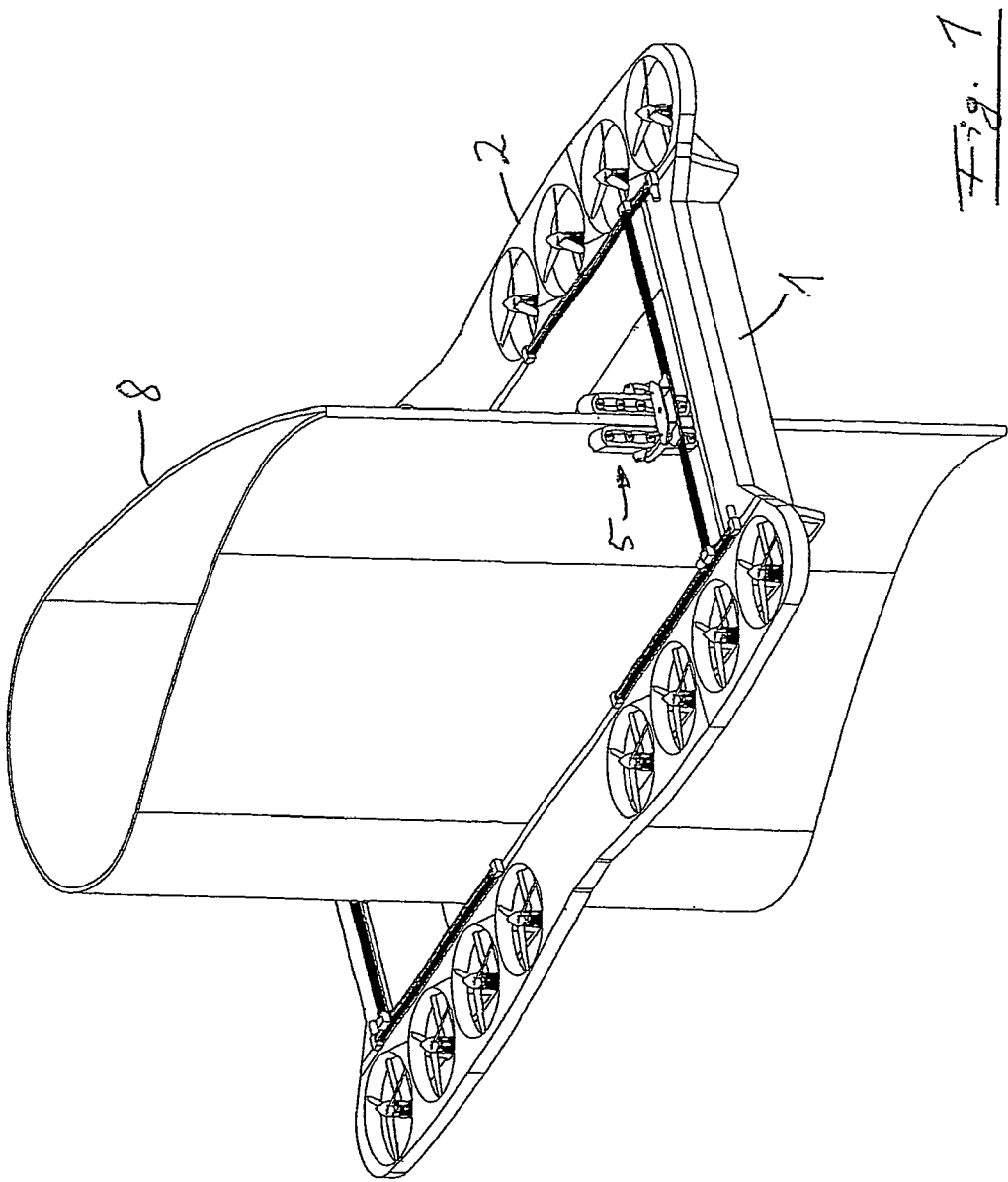


Fig. 1

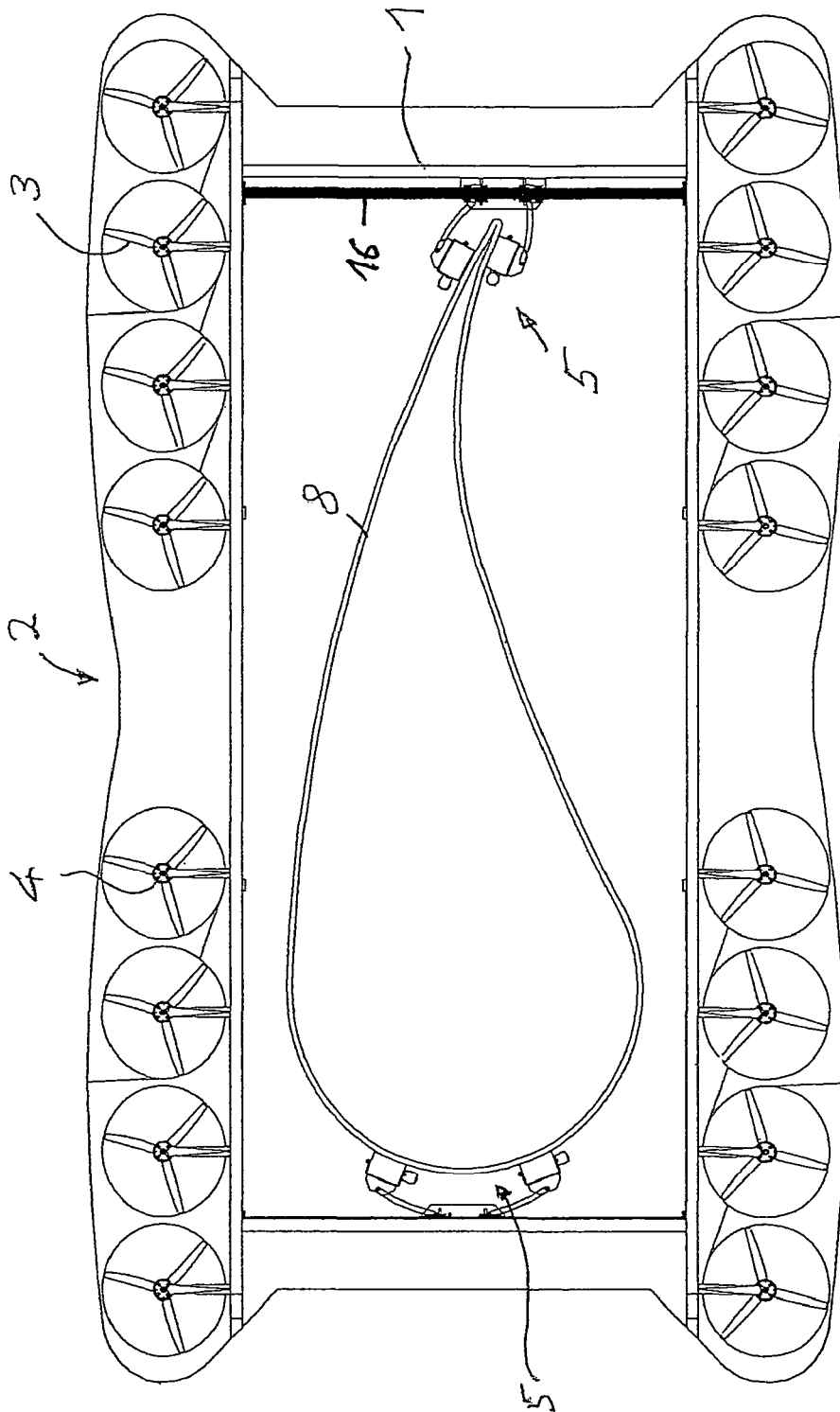
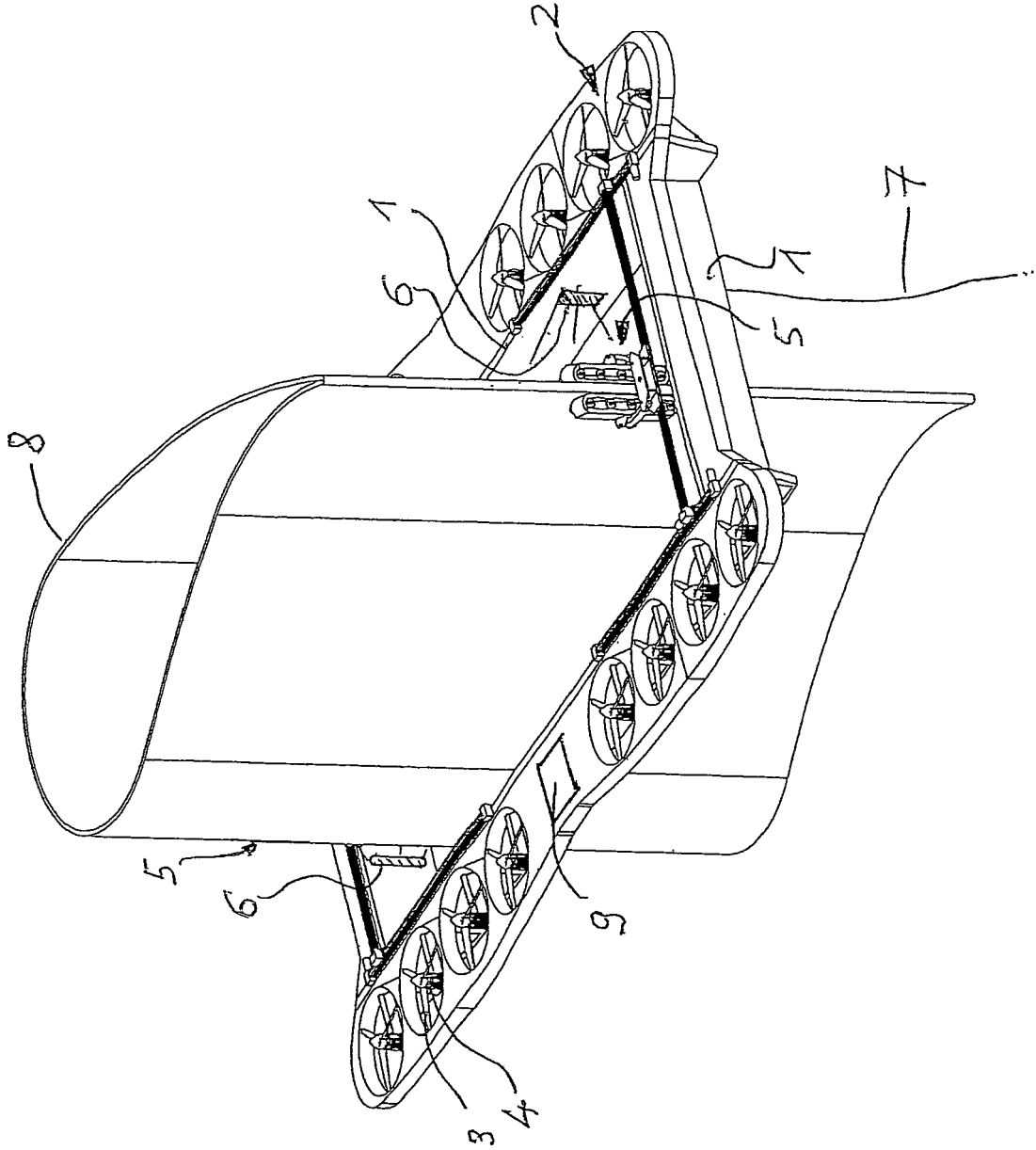


Fig. 2

Fig. 3



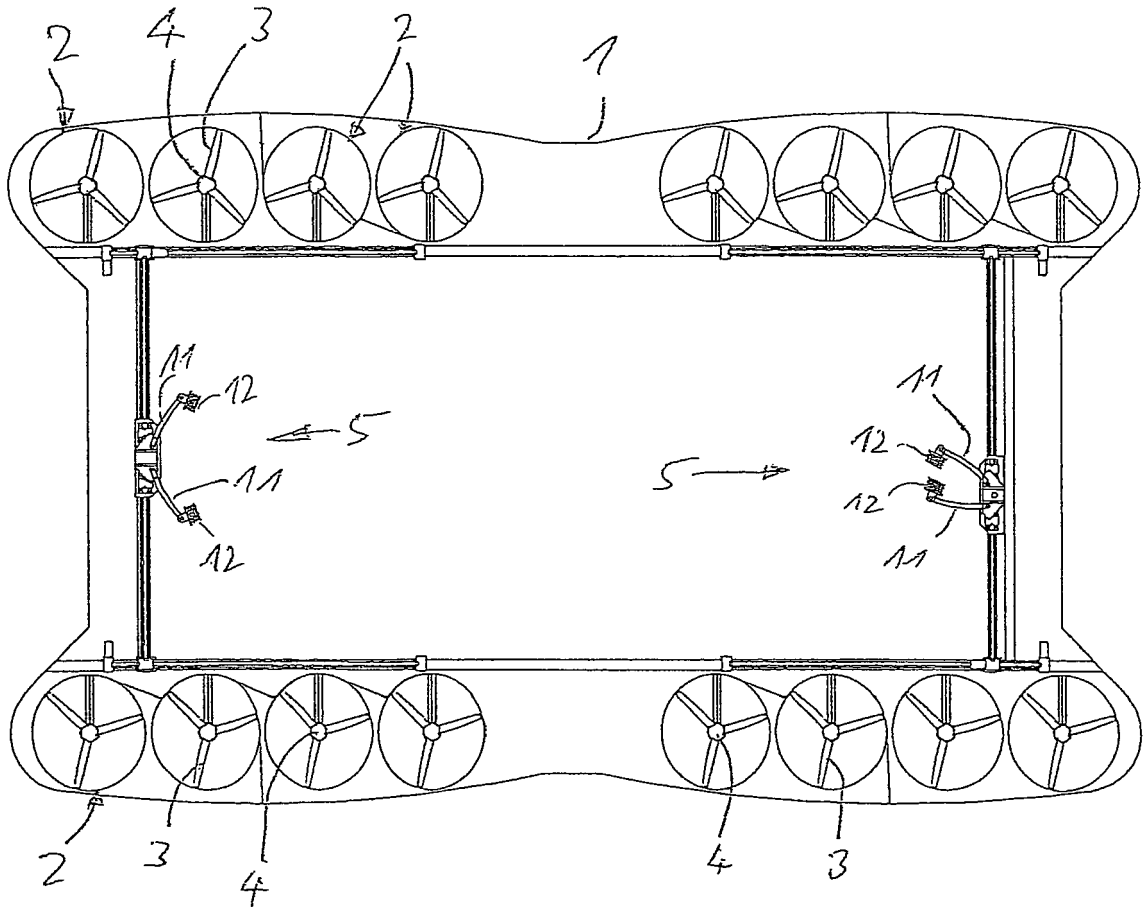
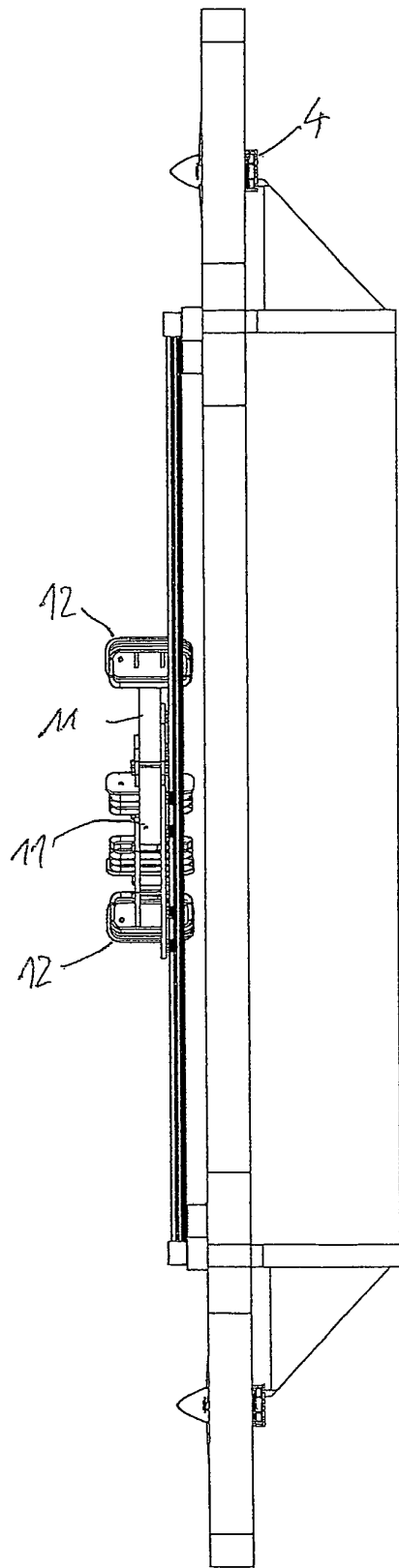


Fig. 4



*Fig. 5*

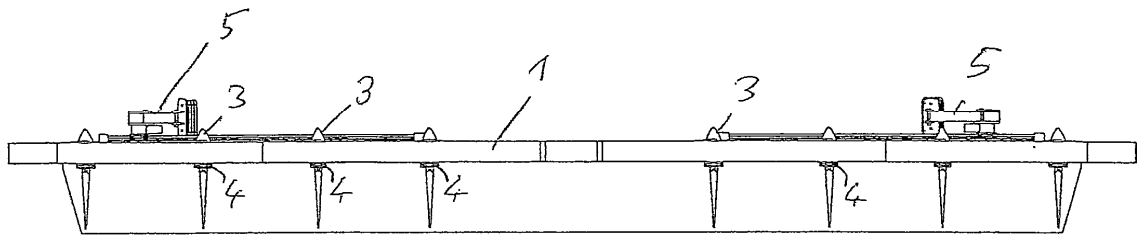


Fig. 6



Fig. 7

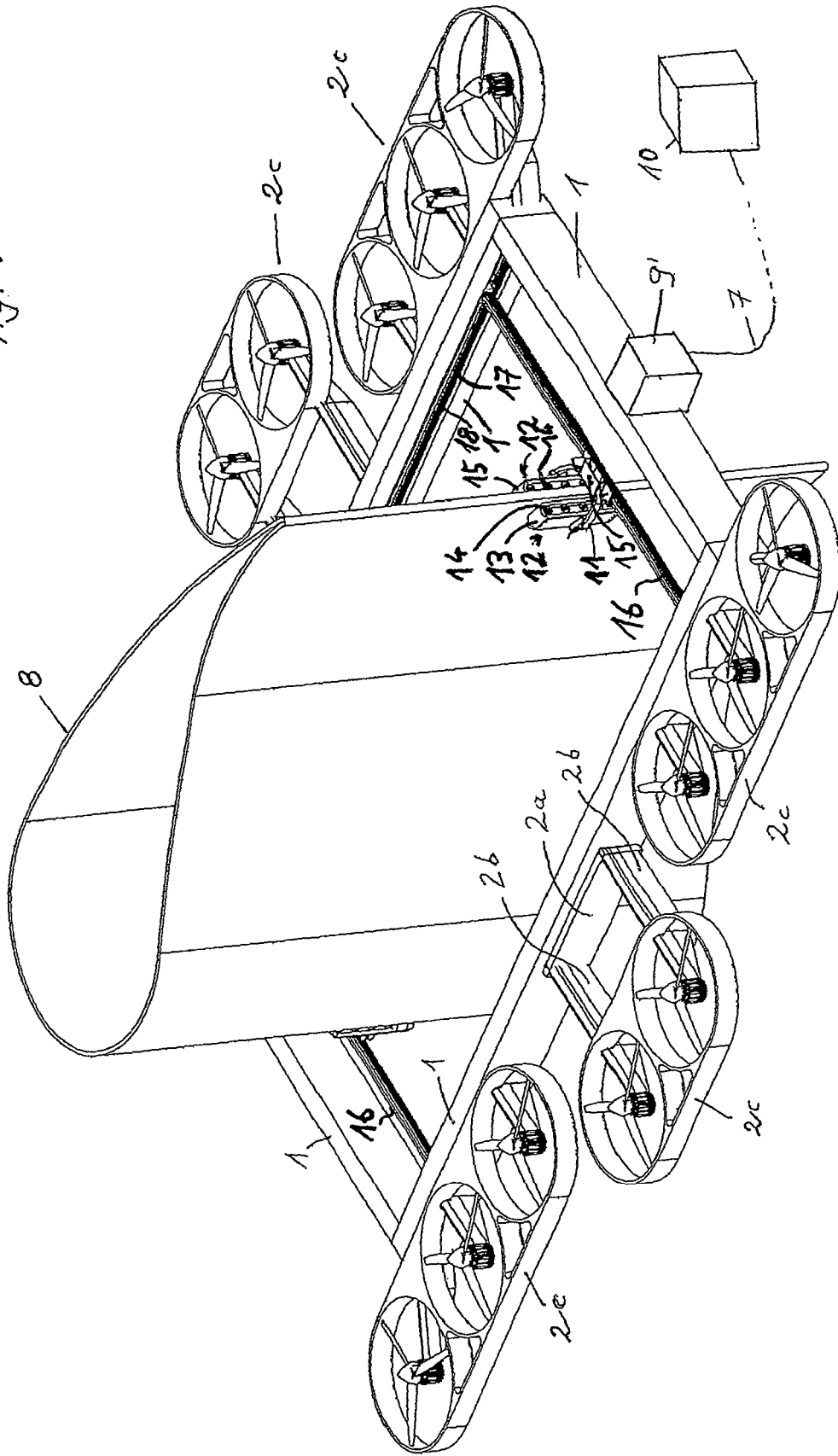
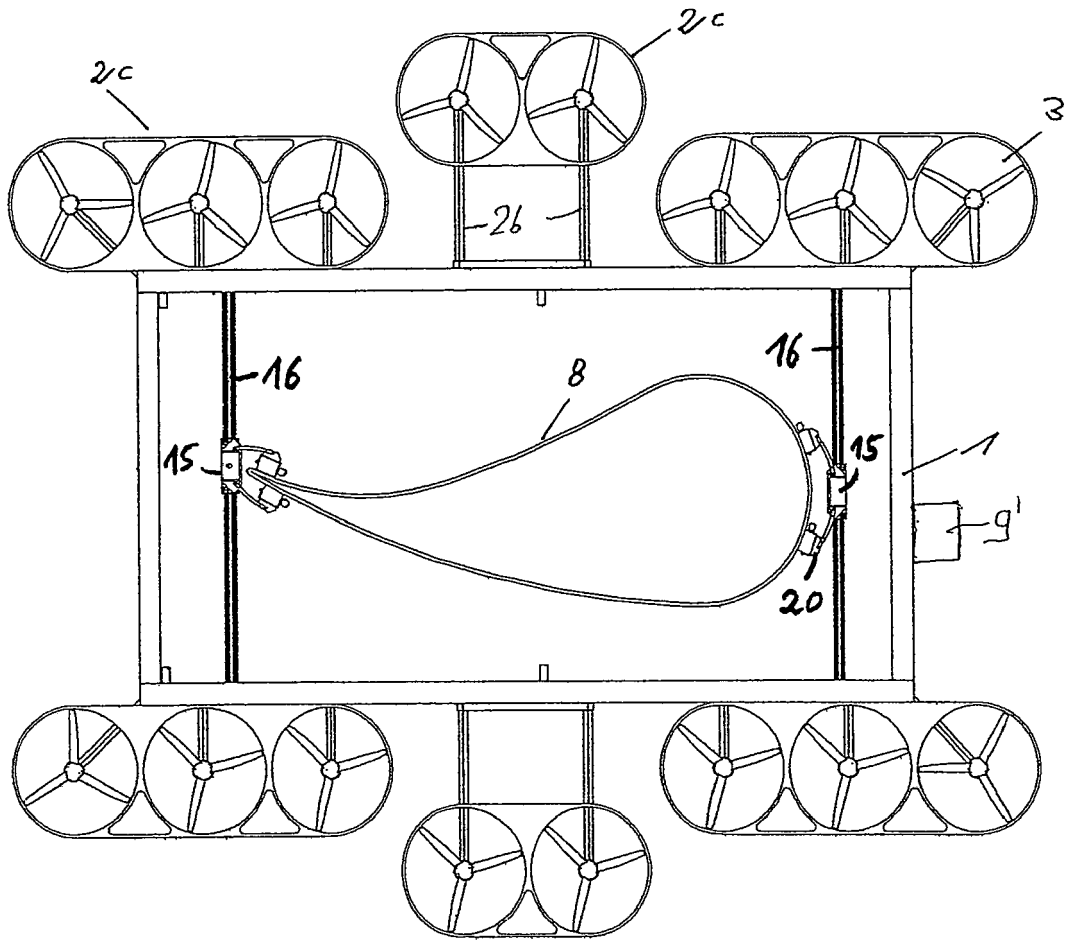
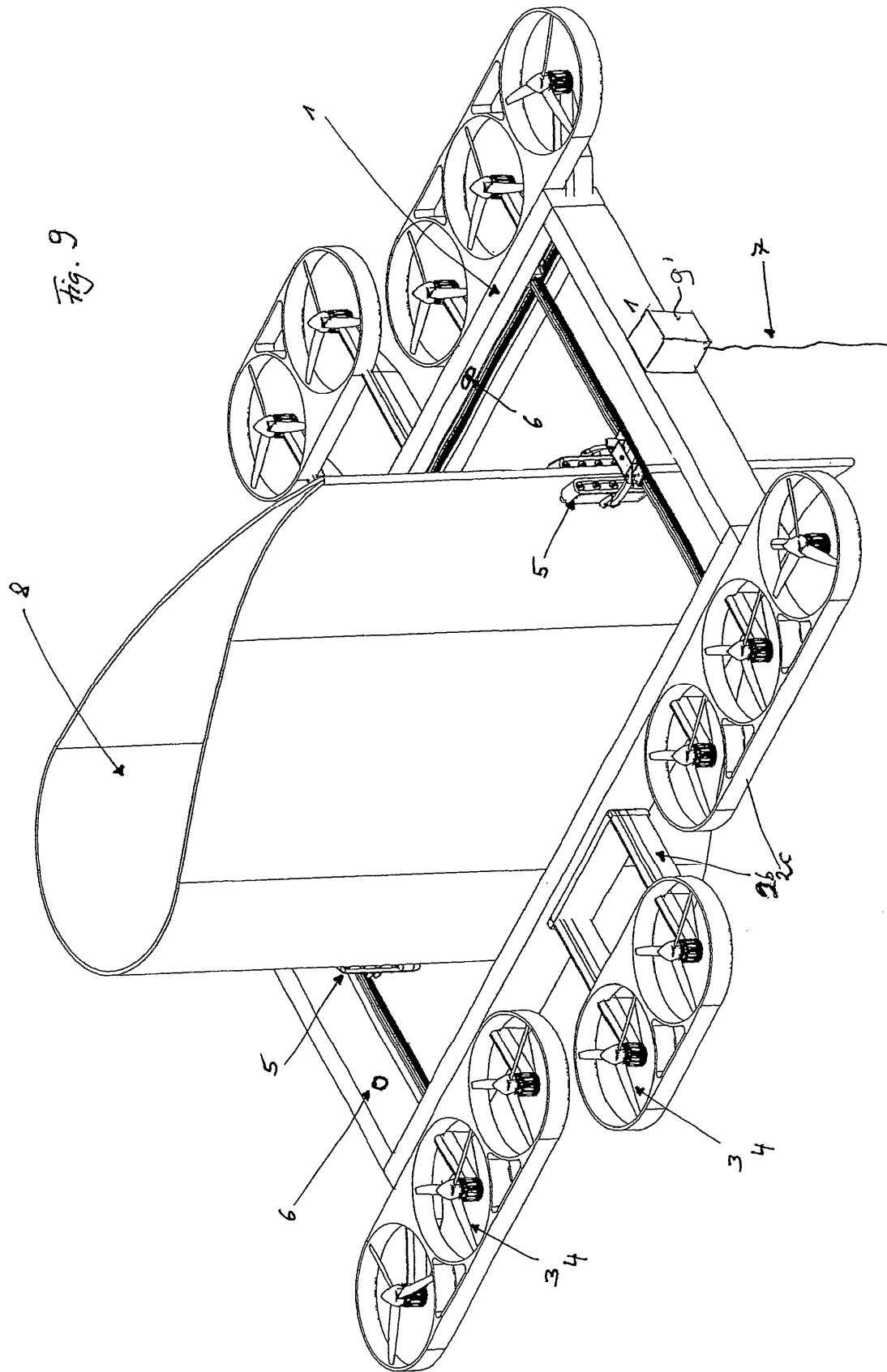


Fig. 8





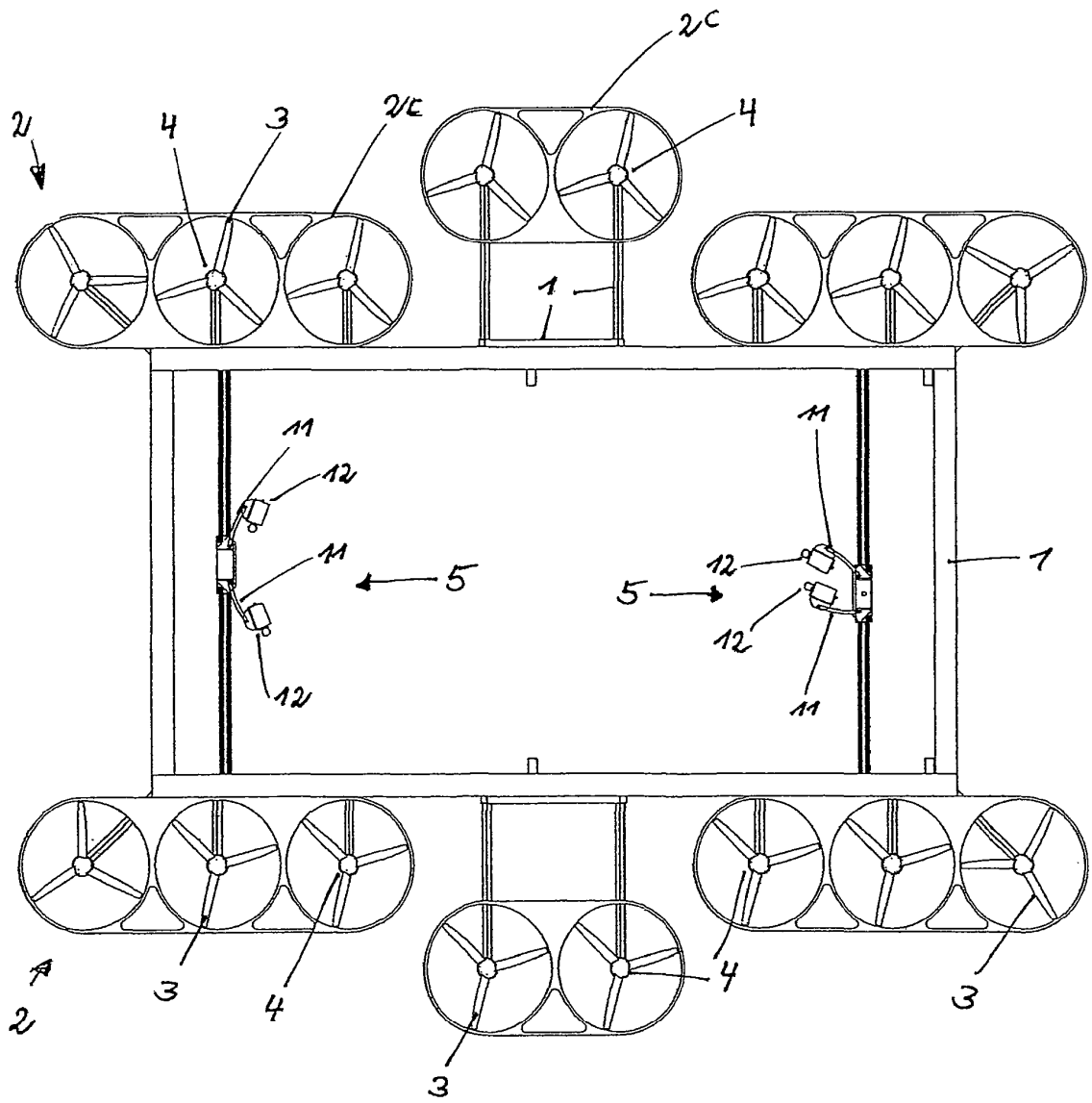


Fig. 10

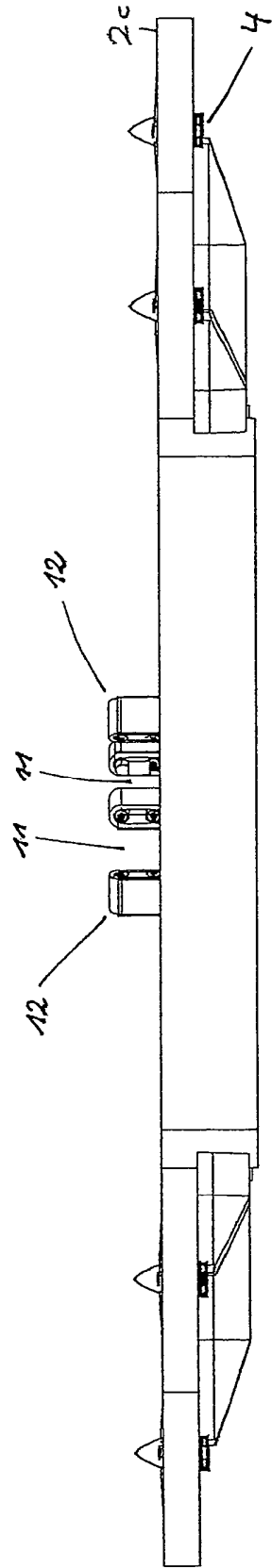


Fig. 11

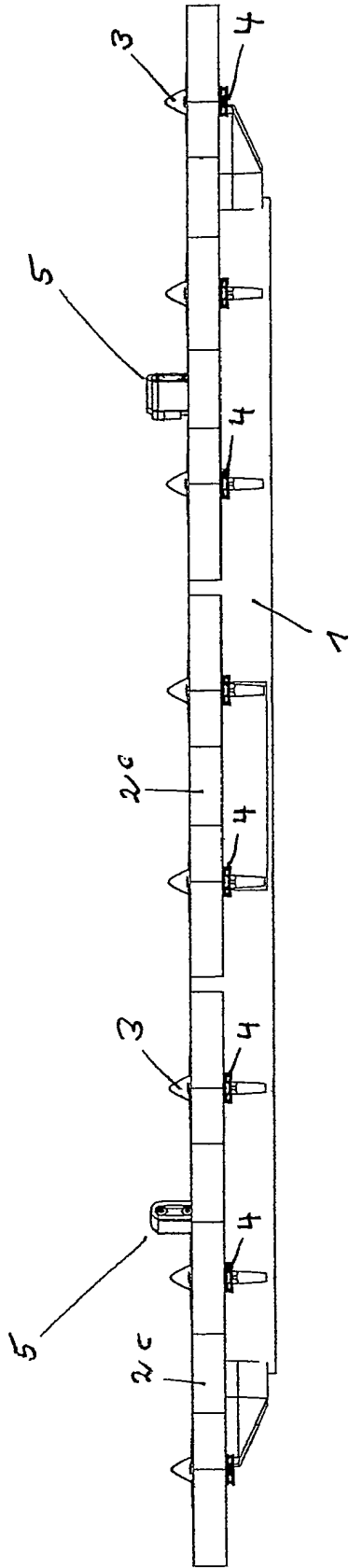


Fig. 12

Fig. 13

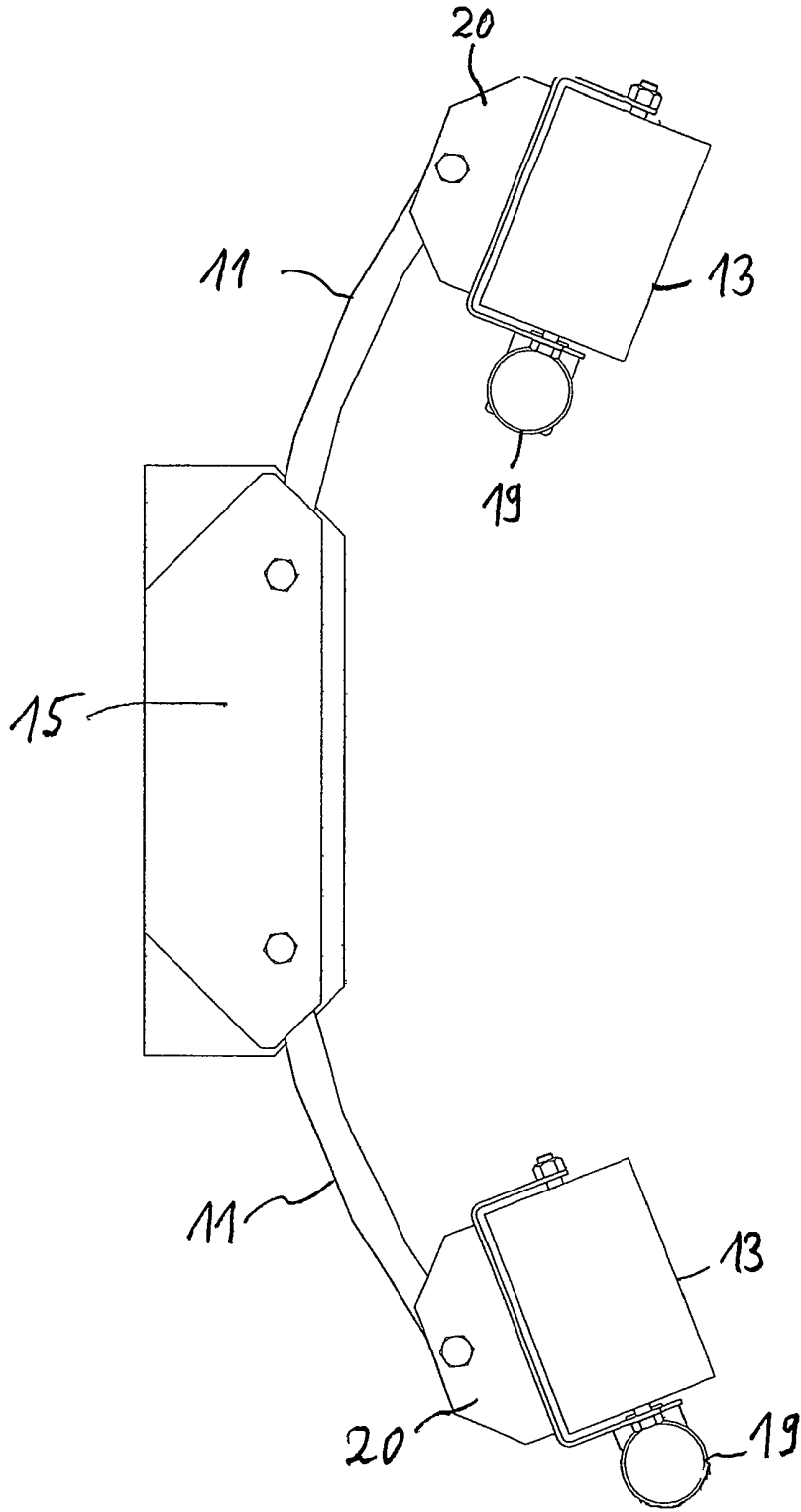


Fig. 14

