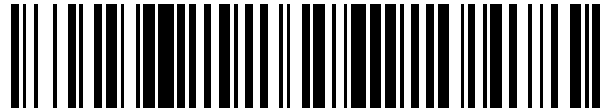


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 440 218**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2003 E 03814464 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.10.2013 EP 1583904**

54 Título: **Pala de rotor de turbina eólica con emisión de ruido reducida**

30 Prioridad:

02.01.2003 DE 10300284
31.01.2003 DE 10303824

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.01.2014

73 Titular/es:

WOBEN PROPERTIES GMBH (100.0%)
Dreekamp 5
26605 Aurich, DE

72 Inventor/es:

WOBEN, ALOYS

74 Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 440 218 T3

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

DESCRIPCIÓN

Pala de rotor de turbina eólica con emisión de ruido reducida

- 5 La presente invención se refiere a una pala de rotor de una planta de energía eólica con un perfil aerodinámico que presenta un borde delantero de pala de rotor y un borde trasero de pala de rotor. La presente invención se refiere asimismo a una punta de pala de rotor para una pala de rotor con un perfil aerodinámico que presenta un lado de presión y un lado de succión, estando arqueada o acodada la punta de pala de rotor en su zona extrema en dirección del lado de presión de la pala de rotor.
- 10 Tales palas de rotor y puntas de pala de rotor son conocidas desde hace mucho tiempo en el estado de la técnica. En particular, las puntas de pala de rotor arqueadas se usan desde hace algún tiempo, por ejemplo, en las palas de rotor del fabricante Enercon. Estas conocidas puntas de pala de rotor deben reducir el torbellino marginal generado forzosamente en la punta de pala del rotor y disminuir así el ruido no deseado.
- 15 Como estado de la técnica se remite en general en este punto a los siguientes documentos: DE19738278; DE19743694; DE4440744; DE19614420 y DE4436197. Se remite asimismo al documento "A Momentum Theory for Winglets on Horizontal Axis Windturbine Rotors and some Comparison with Experiments", G.J.W. van Bussel, Fourth IEA Symposium on the Aerodynamics of Wind Turbines, Roma, del 19 al 20 de noviembre de 1990, así como al documento "Numerical Analysis of the Horizontal Axis Wind Turbine with Winglets", H. Inamura et al, JSME International Journal, vol. 41, N° 1, 1998 y al documento "Development and Testing of Tip Devices for Horizontal Axis Wind Turbines", G.W. Gyatt et al, mayo de 1985.
- 20 Son conocidas también palas de rotor del tipo mencionado al inicio, cuyas puntas terminan en forma elíptica. Esta configuración de las puntas de pala de rotor debe reducir asimismo las emisiones de ruido procedentes de la pala de rotor o en particular de su punta.
- 25 Dado que las plantas de energía eólica ya no representan entretanto fenómenos aislados, sino que se pueden encontrar en múltiples lugares, éstas se localizan también cada vez más cerca de zonas residenciales. Precisamente aquí la aceptación de las plantas de energía eólica depende, entre otros aspectos, de la emisión de ruido y es fácilmente comprensible que se acepten mejor las plantas de energía eólica más silenciosas que las plantas de energía eólica más ruidosas.
- 30 Por consiguiente, es objetivo de la presente invención seguir reduciendo las emisiones de ruido de las plantas de energía eólica.
- 35 Este objetivo se consigue mediante una punta de pala de rotor de una pala de rotor de una planta de energía eólica con las características de la reivindicación 1. En las demás reivindicaciones se indican variantes ventajosas.
- 40 Esta configuración, según la invención, de la punta de pala de rotor se basa en el conocimiento de que el flujo alrededor de la punta de pala disminuye debido a la reducción de la profundidad de la pala, ya que su energía se distribuye antes en el torbellino del borde trasero, pero al mismo tiempo disminuye también la superficie efectiva de la pala de rotor. Al acodarse la punta de pala de rotor, la profundidad efectiva de la pala de rotor sigue siendo óptima hasta la punta de pala de rotor acodada. La zona, que termina en punta, discurre en un ángulo prefijado preferido a partir del plano de la pala de rotor en dirección del lado de presión de la pala de rotor. El torbellino en la punta de pala de rotor se desprende al mismo tiempo del plano de la pala de rotor y se traslada a otro plano, lo que influye a su vez favorablemente en la emisión de ruido de la pala de rotor equipada con tal punta y reduce al mismo tiempo las pérdidas producidas en la pala de rotor. Esto se refiere tanto a las pérdidas por torbellino marginal y al grado de eficiencia aerodinámica que se puede mejorar mediante un diseño adecuado, como a una configuración favorable de la diferencia de presión entre el lado de presión y el lado de succión.
- 45 50 La zona exterior de la punta de pala de rotor está arqueada con especial preferencia en un ángulo aproximado de 70° a 90° a partir de la horizontal. Dicho de otro modo, la punta de pala de rotor forma un ángulo aproximado de 110° a 90° con la pala de rotor. En investigaciones empíricas se han obtenido los mejores resultados con estos ángulos.
- 55 En una configuración particularmente ventajosa, la punta de pala de rotor según la invención está configurada como parte independiente que se puede insertar en la pala de rotor. Además, la punta de pala de rotor está realizada de manera hueca y fabricada preferentemente de metal, en particular aluminio. Al estar realizada de manera hueca se consigue una reducción del peso y, por tanto, una manipulación más fácil.
- 60 Además, una punta de pala de rotor hueca, al igual que una zona extrema hueca de una pala de rotor, que se describe arriba, se puede someter a una corriente de aire caliente, por ejemplo, para eliminar o disminuir la formación de hielo.
- 65 Una punta de pala de rotor fabricada de metal puede servir también de pararrayos y conducir los rayos atraídos hacia un dispositivo de derivación adecuado para proteger eficientemente la planta de energía eólica en caso de

impactar un rayo.

En las reivindicaciones secundarias se indican configuraciones ventajosas de la invención.

5 La invención se describe detalladamente a continuación por medio de las figuras. Muestran:

Fig. 1 una vista en planta de una pala de rotor, según la invención, con una zona extrema elevada según una primera forma de realización de la invención;

10 Fig. 2 una pala de rotor, según la invención, con una zona extrema arqueada según una segunda forma de realización preferida de la invención;

Fig. 3 otra representación de la segunda forma de realización de la invención;

15 Fig. 4 otra representación de la segunda forma de realización;

Fig. 5 una tercera forma de realización de una pala de rotor curvada;

Fig. 6 una vista lateral de una punta de pala de rotor según la invención;

20

Fig. 7 una vista delantera de una forma de realización de una punta de pala de rotor según la invención;

Fig. 8 una vista delantera de una forma de realización alternativa de una punta de pala de rotor según la invención;

25

Fig. 9 una vista delantera de una forma de realización alternativa de una punta de pala de rotor según la invención; y

30 Fig. 10 una representación de una pala de rotor con una zona extrema configurada según la invención y con una punta de pala de rotor según la invención.

La figura 1 muestra una pala de rotor 10, según la invención, de una planta de energía eólica. En esta pala de rotor 10 está indicado el eje de interconexión 14. El eje de interconexión 14 es un eje imaginario, en el que se han de interconectar todas las partes de una pala de rotor 10 para obtener la forma de pala de rotor deseada.

35

La zona extrema 12 de la pala de rotor 10 está doblada en un ángulo prefijado α respecto a un primer eje de interconexión 14. Para la zona extrema 12 está representado un segundo eje de interconexión 16 y entre ambos ejes de interconexión 14, 16 se indica el ángulo α que es de 5 grados en esta figura. Esta medida representa una relación aceptable entre una emisión de ruido reducida y una carga elevada.

40

A este respecto, la zona extrema está doblada en el plano de la pala de rotor en dirección del borde trasero 20 de la pala de rotor. Este doblamiento provoca, por una parte, un borde trasero más largo y de esta manera, una distribución más amplia de la energía del torbellino. Por la otra parte, la corriente en el borde trasero de la pala de rotor 10 en la zona extrema doblada 12 se separa más tarde que en la zona recta de la pala de rotor 10. Por tanto, se producen correspondientemente más tarde los torbellinos que generan el ruido.

45

La figura 2 muestra una forma de realización mejorada de una pala de rotor 10 según la invención. En esta figura están indicados también los ejes de interconexión 14, 16. Sin embargo, la transición de la pala de rotor 10 a la zona extrema 12 no se realiza aquí mediante un doblamiento brusco, sino que discurre más bien de manera continua en forma de una curvatura que aumenta hacia la punta de pala de rotor. Esto significa que el radio de curvatura disminuye hacia la punta de pala de rotor.

50

En este caso, la tangente de arco está desplazada en paralelo en la punta del borde trasero de pala de rotor 20 y hacia el centro de la pala de rotor en la zona extrema 12. Entre los ejes de interconexión 14, 16 está indicado un ángulo β de 10 grados.

55

Estos 10 grados resultan precisamente del desarrollo de la tangente del arco en la punta de pala de rotor, pero la curvatura realizada de la pala de rotor 10 no es mayor que en la pala de rotor 10 representada en la figura 1. De manera correspondiente, el comportamiento aerodinámico se diferencia sólo ligeramente de la pala de rotor mostrada en la figura 1, mientras que, sin embargo, el comportamiento acústico es mejor debido al ángulo β mayor.

60

Estas circunstancias, que se mencionan arriba, se explican de manera más detallada por medio de la figura 3. En esta figura aparece representada en particular la zona extrema 12 de la pala de rotor 10. El borde trasero de la zona extrema 12 está doblada en correspondencia con la forma de realización mostrada en la figura 1. Esta variante se identifica con el número de referencia 21. Al mismo tiempo aparece representada también la forma de realización con el borde trasero arqueado 20.

65

En este caso se puede observar claramente que la punta de pala de rotor más externa se encuentra situada en los respectivos bordes traseros 20 y 21 en el mismo punto, o sea, que la profundidad de la pala de rotor no ha variado desde el punto de vista aerodinámico.

5 Esta figura muestra asimismo el primer eje de interconexión 14 (el eje de interconexión de pala original). Asimismo, está indicada la tangente de arco 17 desplazada en paralelo y el segundo eje de interconexión 16 (eje de interconexión de punta) en correspondencia con el borde trasero 21 de la zona extrema. Los ángulos α y β también están representados. El ángulo α es a su vez de 5 grados y se forma mediante el primer eje de interconexión 14 de la pala de rotor 10 y mediante el segundo eje de interconexión 16 en correspondencia con la forma de realización de pala de rotor mostrada en la figura 1. El ángulo β está encerrado entre el primer eje de interconexión 14 y la tangente de arco 17 en correspondencia con la forma de realización representada en la figura 2. El ángulo β es de 10 grados.

15 En este caso se puede observar muy bien la ventaja de la forma de realización representada en la figura 2.

La figura 4 muestra nuevamente la pala de rotor 10 curvada según la invención con el borde delantero 18, el borde trasero 20 y la zona extrema 12 curvada en dirección del borde trasero 20. En esta figura están representadas además dos líneas 22, 23 que indican el desarrollo del borde delantero 18 y del borde trasero 20, sin la zona extrema curvada 12. Precisamente en esta figura se puede observar bien en qué medida está curvada la zona extrema 12 como resultado de la curvatura en dirección del borde trasero 20 de la pala de rotor 10.

La figura 5 muestra una forma de realización alternativa de la pala de rotor 10 según la invención que se diferencia de la representada en la figura 4 por una sección central 13 que está curvada en dirección del borde delantero 18 de la pala de rotor 10. Naturalmente, esta curvatura tiene también la ventaja de presentar una transición continua entre las zonas individuales de la pala de rotor 10. Esta curvatura en dirección del borde delantero 18 está dimensionada de manera que el punto más externo de la zona extrema 12 de la pala de rotor, curvada en dirección del borde trasero 20, está situado de nuevo dentro de las líneas discontinuas 22, 23 que indican también en esta figura el desarrollo rectilíneo imaginario de la pala de rotor.

30 El resultado son pares de torsión en la zona extrema 12 y la zona central 13 de la pala de rotor que actúan uno contra otro y que se suprimen al dimensionarse adecuadamente su efecto en la conexión de la pala de rotor.

La figura 6 muestra una pala de rotor 10 con un arco marginal 30 según la invención que discurre a partir del lado de succión 24 de la pala de rotor 10, o sea, hacia el lado de presión de la pala de rotor 10. El borde superior 36 del arco marginal presenta un espesor de perfil lo más pequeño posible para mantener lo más pequeño posible el torbellino marginal que se desprende aquí y obtener asimismo una emisión de ruido lo más pequeña posible.

40 El arco marginal 30 está arqueado con preferencia en un ángulo de aproximadamente 60° a 90° respecto a la horizontal, es decir, forma con la pala de rotor un ángulo de entre 120° y 90° . Esta zona se representa mediante dos secciones 30, 31 arqueadas hacia arriba, de las que una está representada con una línea discontinua.

En la figura 7 está representada una vista delantera de una primera forma de realización del arco marginal 30 según la invención. En esta figura, el borde trasero 34 del arco marginal 30 y el borde superior 36 del arco marginal discurren en línea recta, mientras que el borde delantero 32 entre el borde delantero de pala de rotor 26 y el borde superior de arco marginal 36 discurren en un ángulo prefijado a partir del lado de succión 24 de la pala de rotor. De este modo se acorta el borde superior de arco marginal 36 respecto a la profundidad de la pala de rotor, lo que se puede observar en el lado de succión de pala de rotor 24. Esto significa que la pala de rotor mantiene su profundidad, totalmente efectiva desde el punto de vista aerodinámico, hasta el arco marginal 30 y sólo en el arco marginal 30 se transforma en un borde superior de arco marginal 36 más corto.

50 El torbellino marginal, que se desprende en el borde superior de pala de rotor 36, se conduce simultáneamente hacia fuera del plano de la pala de rotor 10, de modo que el torbellino marginal es guiado fuera del plano de pala.

La figura 8 muestra una forma de realización alternativa del arco marginal mostrado en la figura 7. Mientras que en la figura 7 aparece representado un borde trasero de arco marginal 34 que discurre esencialmente en perpendicular al eje longitudinal de pala de rotor, este arco marginal está curvado también en la figura 8 en dirección del borde trasero 34. El punto de separación 37, en el que la corriente se separa de este arco marginal, se desplaza aún más hacia atrás debido a esta curvatura y, en correspondencia, la energía del torbellino marginal se distribuye aún más, y la emisión de ruido se sigue reduciendo.

60 El principio de funcionamiento es similar en la forma de realización del arco marginal 30 mostrada en la figura 9. Sin embargo, este arco marginal 30 está optimizado para un torbellino marginal lo más pequeño posible. A tal efecto, el borde delantero de arco marginal 32 y el borde trasero de borde marginal 34 discurren con una inclinación prefijada y forzada, con particular preferencia elíptica, hacia el borde superior de arco marginal 36. Aquí, el borde superior de arco marginal 36 se aleja a su vez del lado de succión de pala de rotor 24, o sea, está arqueado hacia el lado de presión a partir del plano de pala de rotor.

ES 2 440 218 T3

Mediante la configuración elíptica del borde delantero de arco marginal 32 y del borde trasero de arco marginal 34 se alarga simultáneamente la distancia, en la que la corriente se desprende de la pala de rotor. Esto reduce asimismo la emisión de ruido, porque se elimina en gran medida la corriente alrededor de la punta de pala, a diferencia de lo que ocurre en las palas con geometrías que terminan en punta roma.

5 La relación entre la profundidad y la altura (la profundidad es la anchura en la vista en planta de la figura 9) de la sección acodada del arco marginal es aproximadamente de 1:0,8 a 1,2, con preferencia de 1:1. La relación entre la altura de la sección acodada del arco marginal y la profundidad de la pala de rotor en la conexión del arco marginal es aproximadamente de 1:1 a 1:1,3, con preferencia de 1:1,14. El desarrollo de la profundidad en la sección acodada del arco marginal es aproximadamente hiperbólico (la anchura de perfil en la vista en planta) y el punto de cubierta superior del corte de perfil más externo es aproximadamente de 30 a 40%, con preferencia 33% de profundidad de perfil, respecto al eje de interconexión de la pala.

10 La figura 10 muestra una pala de rotor 10 con una combinación de una zona extrema arqueada 12 y un arco marginal 30 conectado a continuación. Aquí se puede observar claramente la curvatura de la zona extrema 12 a partir del borde delantero 26 de la pala de rotor hacia el borde trasero 20, así como una curvatura del arco marginal 30 a partir del plano de la pala de rotor. En correspondencia con lo anterior se combinan aquí los efectos acústicos ventajosos de la zona extrema arqueada 12, por una parte, y del arco marginal acodado 30, por la otra parte.

15 La pala de rotor según la invención, descrita antes, es parte de un rotor de una planta de energía eólica.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Punta de pala de rotor de una pala de rotor para una planta de energía eólica, presentando la pala de rotor un perfil aerodinámico con un lado de presión y un lado de succión y estando arqueada o acodada la punta de pala de rotor en su zona exterior en dirección del lado de presión de la pala de rotor, **caracterizada por que** la punta de pala de rotor se estrecha en su zona exterior hacia el borde superior de arco marginal y presenta un borde delantero de arco marginal (32) y un borde trasero de arco marginal (34) y por que el borde delantero de arco marginal y el borde trasero de arco marginal discurren igualmente con una inclinación elíptica, prefijada y forzada, hacia el borde superior de arco marginal (36).
- 10 2. Punta de pala de rotor según la reivindicación 1, **caracterizada por que** el perfil de la pala de rotor en la zona de la curvatura se transforma de manera continua en el perfil de la zona exterior.
- 15 3. Punta de pala de rotor según la reivindicación 1 o 2, **caracterizada por que** el plano de la sección transversal de la zona exterior discurre en un ángulo prefijado respecto al plano de la sección transversal del resto de la pala de rotor (10).
- 20 4. Punta de pala de rotor según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada por que** la punta de pala de rotor (30) está configurada como parte independiente que se puede insertar en la pala de rotor (10).
5. Punta de pala de rotor según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizada por que** la punta de pala de rotor (30) presenta una zona de sección transversal reducida para la inserción en la pala de rotor (10).
- 25 6. Punta de pala de rotor según la reivindicación 5, **caracterizada por que** en la zona de sección transversal reducida existe al menos una entalladura.
7. Punta de pala de rotor según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizada por que** la punta de pala de rotor (30) está realizada de manera hueca.
- 30 8. Punta de pala de rotor según la reivindicación 7, **caracterizada por que** en su extremo opuesto a la corriente existe un orificio para el drenaje.
9. Punta de pala de rotor según la reivindicación 8, **caracterizada por que** al orificio se conecta un tubo.
- 35 10. Punta de pala de rotor según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizada por que** la punta de pala de rotor está fabricada de metal, en particular de aluminio.
11. Pala de rotor con una punta de pala de rotor según una de las reivindicaciones 1 a 10.
- 40 12. Pala de rotor con una punta de pala de rotor según una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizada por que** la pala de rotor (10) está fabricada de plástico reforzado con fibra de vidrio y por que en la pala de rotor (10) están integrados elementos conductores para la derivación de rayos, que están en contacto conductor con la punta de pala de rotor (30).
- 45 13. Planta de energía eólica con un rotor que está equipado con al menos una pala de rotor según una de las reivindicaciones precedentes.

Fig. 1

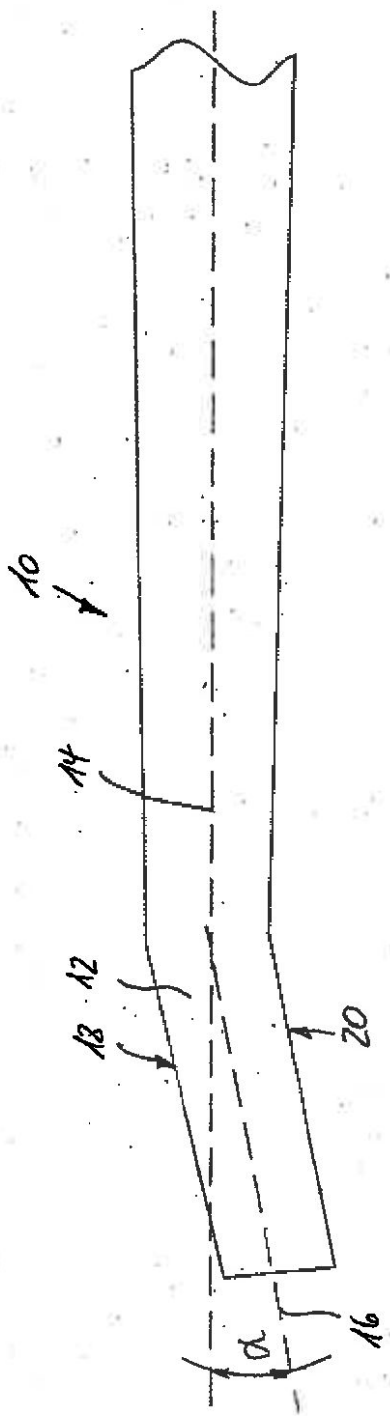


Fig. 2

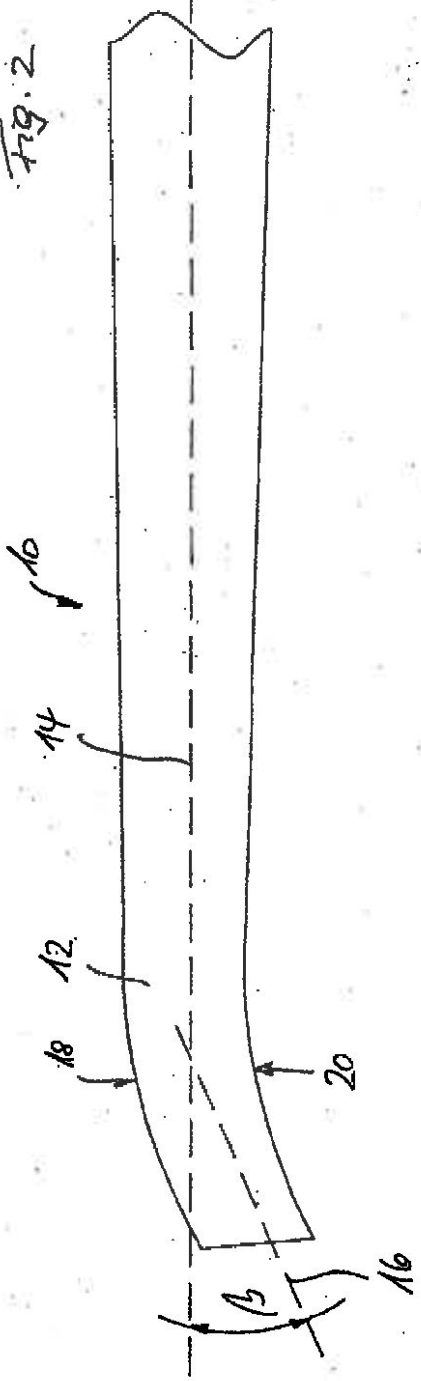


Fig. 3

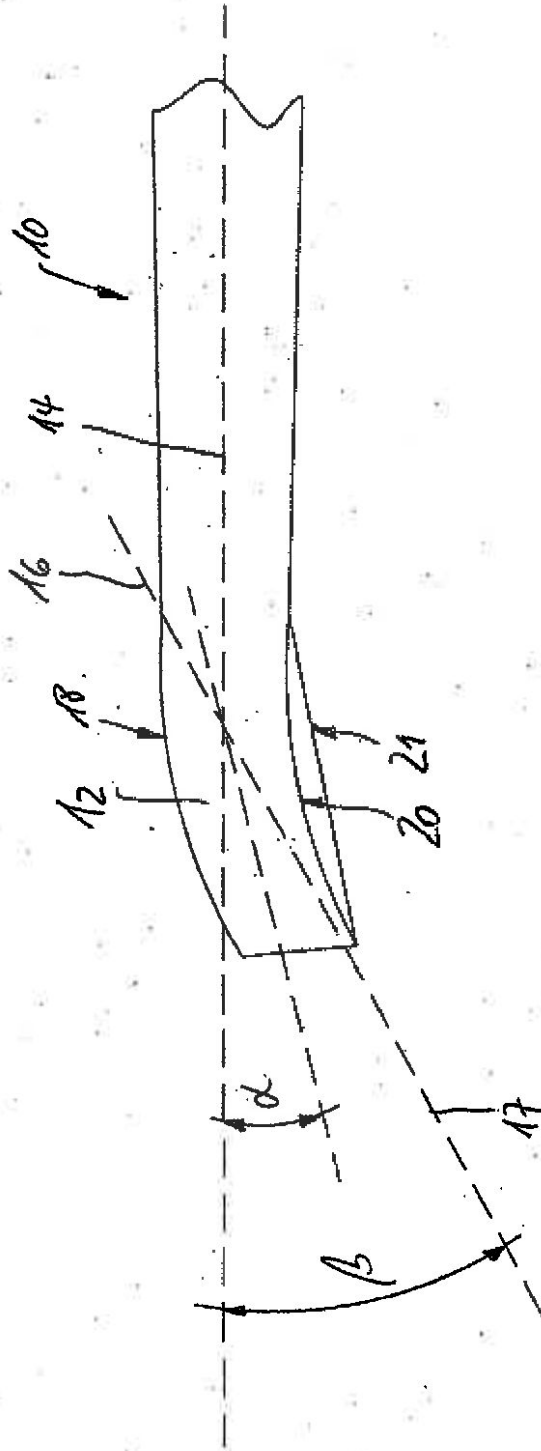


Fig. 4

10



Fig. 5

10

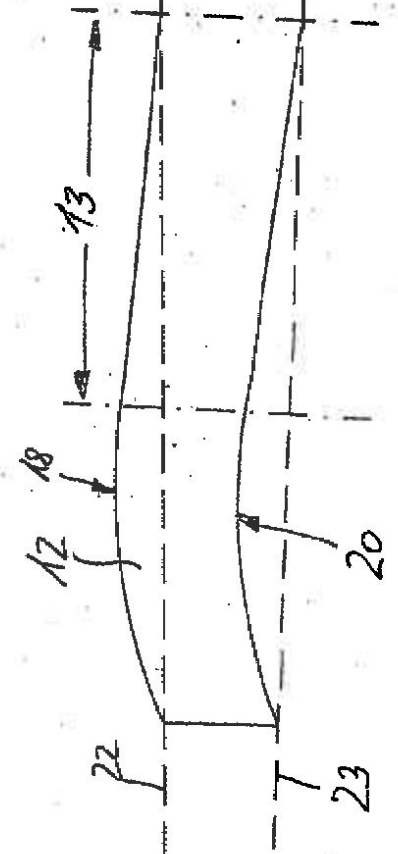


Fig. 6

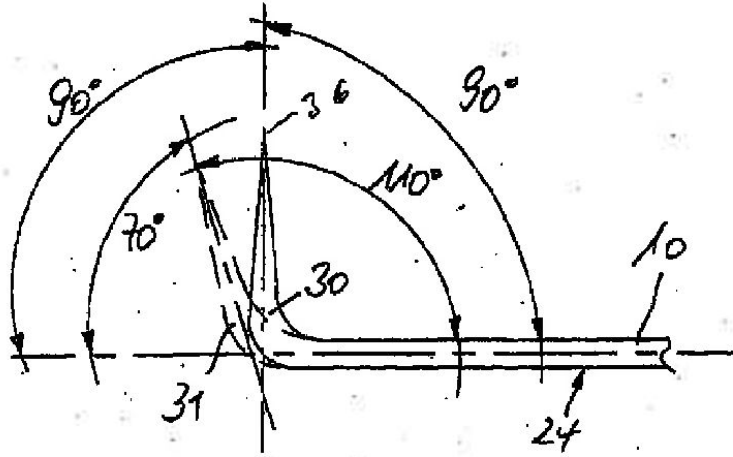


Fig. 7

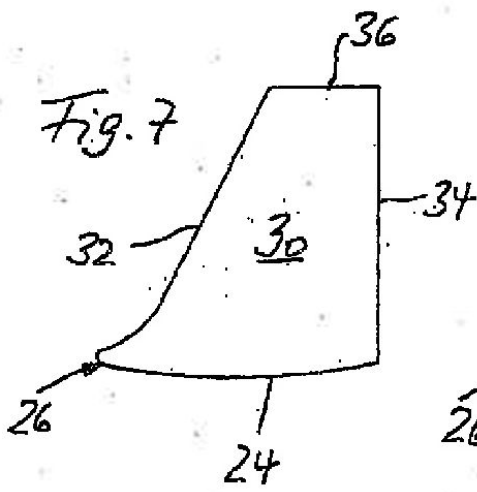


Fig. 8

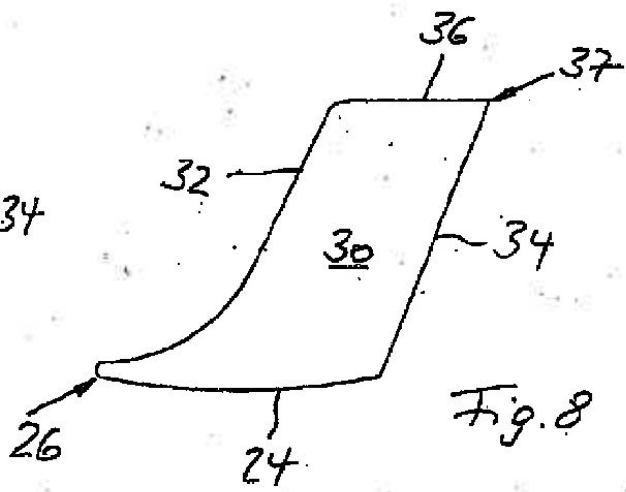


Fig. 9

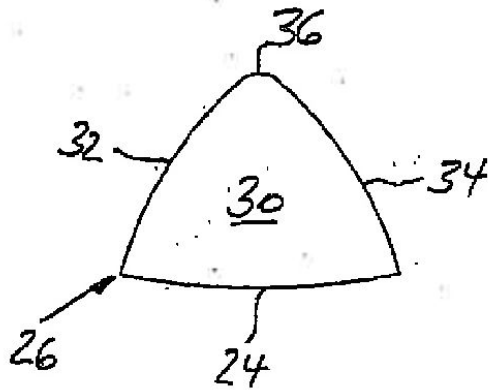


Fig. 10

