



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) **PI0709855-3 A2**

(22) Data de Depósito: 02/04/2007
(43) Data da Publicação: 26/07/2011
(RPI 2116)



(51) *Int.Cl.:*
F03D 1/06 2006.01
F03D 7/02 2006.01
F03D 11/00 2006.01

(54) Título: **TURBINA EÓLICA, E, MÉTODO PELO QUAL UMA PRIMEIRA LÂMINA DE UMA TURBINA EXISTENTE É REMOVIDA E SUBSTITUÍDA POR UMA OUTRA LÂMINA**

(30) Prioridade Unionista: 02/04/2006 NL 1031492, 03/11/2006 NL N2000302

(73) Titular(es): Gustave Paul Corten

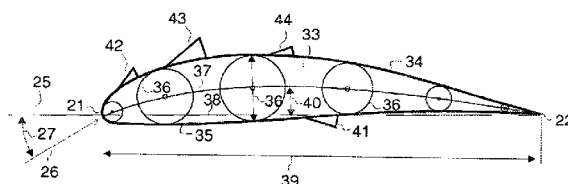
(72) Inventor(es): Gustave Paul Corten

(74) Procurador(es): Momsen, Leonardos & CIA.

(86) Pedido Internacional: PCT NL2007050137 de 02/04/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/114698 de 11/10/2007

(57) Resumo: TURBINA EÓLICA, E, MÉTODO PELO QUAL UMA PRIMEIRA LÂMINA DE UMA TURBINA EXISTENTE É REMOVIDA E SUBSTITUÍDA POR UMA OUTRA LÂMINA. Turbina eólica com uma lâmina de rotor, em que dita lâmina é relativamente insensível à turbulência porque é mais delgada que de acordo com a arte anterior e não obstante é capaz de gerar elevação suficiente em virtude do fato que meio intensificador de fluxo tais como geradores de vórtice combatem separação de fluxo. O perfil delgado é definido pelos números de corda C e D , dos quais C é definido como $C = N c_r c_c r \lambda^2 / R^2$, em que N é o número de lâminas, c_r é a corda local, c_c o coeficiente de elevação, r a posição radial, λ a relação de velocidade de ponta e R o raio de rotor. Subseqüentemente, a corda deveria ser menos que o que segue da equação $C = M$, em que $M = -1,19 + 9,74 C_p - 21,01 C_p^2 + 17,50 C_p^3$ e C_p é o coeficiente de potência. Uma turbina eólica de acordo com a invenção está sujeita a cerca de 2-12% menos cargas operacionais e a cerca de 5-40% de cargas de velocidade de vento de sobrevivência reduzidas comparadas a projetos clássicos.





“TURBINA EÓLICA, E, MÉTODO PELO QUAL UMA PRIMEIRA LÂMINA DE UMA TURBINA EXISTENTE É REMOVIDA E SUBSTITUÍDA POR UMA OUTRA LÂMINA”

5 Turbina eólica incluindo um rotor com aerofólios com uma relação reduzida entre a variação da força de elevação e a força de elevação média

Introdução e Definições

10 A turbina eólica pode ser uma turbina eólica de eixo horizontal ou uma turbina eólica de eixo vertical incluindo um rotor com lâminas de rotor, com N o número de lâminas de rotor e R o raio de lâmina. Devido à rotação, a ponta de lâmina a raio R obtém uma velocidade de ponta v_{tip} igual ao produto da velocidade de rotor ω e o raio de rotor R : $v_{tip} = \omega R$. A velocidade de vento não perturbada V é a velocidade de vento no lugar do eixo do rotor quando a turbina eólica não perturba o fluxo. A relação entre v_{tip} e V a relação de velocidade de ponta $\lambda = \omega R/V$. Um aerofólio é um para o perfil otimizado aerodinâmico que é ao redor da borda dianteira e afiado ou cortado na borda traseira. Um lado do aerofólio é o lado superior ou lado de sucção, o outro lado é o lado inferior ou o lado de pressão.

20 A curva pelos centros de círculos dentro do aerofólio tocando o lado inferior e o lado superior é chamada a linha de câmber. Na borda dianteira, esta linha continua ao contorno de aerofólio. A parte de linha que conecta a parte mais dianteira e mais traseira da linha de câmber é a corda c ou a corda local c_r à posição radial r . Uma lâmina de rotor pode existir de vários aerofólios na mesma posição radial. Em tal caso, a soma das cordas dos aerofólios deveria ser levada como a corda local c_r .

25 A borda dianteira do aerofólio está localizada a 0% da corda (0%c) e a borda traseira a 100%c. A distância maior entre a linha de câmber e a corda é o câmber. A relação entre o diâmetro do círculo maior no aerofólio e a corda é a espessura t do aerofólio. Partes controláveis flexíveis ou em

posição da parte à popa do aerofólio, que pode se mover mais que 2,5%*c* com respeito à borda dianteira não fazem parte da corda. A elevação $L = 1/2\rho U^2 c_l c$ e arrasto $D = 1/2\rho U^2 c_d c$ de um aerofólio são ambos proporcionais à corda *c* e respectivamente ao coeficiente de elevação *c_l* e o coeficiente de arrasto *c_d*.

5 A corda segue da equação $C = M$. Aqui, *M* é uma perda de momento adimensional. *C* o número de corda que é $Nrc_r c_l \lambda^2 / (2\pi R^2)$ para uma turbina de eixo horizontal e $Nrc_r c_l \lambda^2 / R^2$ para uma turbina de eixo vertical. Este número prescreve como os parâmetros *N*, *c_r*, *c_l*, *r*, *R* e λ deveriam ser escolhidos a fim de realizar uma certa perda de momento adimensional no

10 fluxo. Perto do eixo de rotação, o número de corda não provê valores bons e portanto este número é primário útil na faixa começando a 0,3*R*-0,6*R* e terminando a 0,9*R*-1,0*R*. Exemplo para uma turbina eólica de eixo horizontal com $M = 3/4$. Quando o projetista escolhe $R = 50$ m, $\lambda = 8$, $N = 3$ e $c_l = 0,9$, então segue que $c_r r = 68,2$ m², assim na posição radial de 25 m, a corda

15 deveria ser cerca de 2,73 m. O número de corda médio por exemplo na faixa de 0,5*R* a 0,9*R* é:

$$\bar{C} = \frac{1}{0,4R} \int_{r=0,5R}^{r=0,9R} \frac{Nrc_r c_l \lambda^2}{2\pi R^2} dr$$

A corda de uma lâmina de turbina eólica também pode ser calculada com a equação $Nc_r r \lambda^2 / R^2 = 8\pi a(1-a)/c_l$, em que *a* é a indução axial de acordo com a teoria de Lanchester-Betz. O termo no lado esquerdo da

20 equação é o número de corda *D*, de qual a média na faixa de 0,4*R* a 0,95*R* é:

$$\bar{D} = \frac{1}{0,55R} \int_{r=0,4R}^{r=0,95R} \frac{Nrc_r \lambda^2}{R^2} dr$$

O coeficiente de potência $C_p = P/(1/2\rho A V^3)$, em que *P* é a potência extraída do fluxo de acordo com a teoria de Lanchester-Betz, ρ é a densidade de ar e *A* é a área varrida πR^2 . A potência extraída *P* será mais alta do que a potência elétrica *Pe* devido a perdas de transferência. Para valores de

25 *Pe* entre 0,5*P_{nom}* e *P_{nom}*, em que *P_{nom}* é a potência nominal ou avaliada, é assumido que $P = 1,2P_e$. O ângulo de passo é 0° quando a corda local a 0,99*R*

está localizada no plano no qual a lâmina está girando. O ângulo se torna mais positivo quando os passos da lâmina avançam para posição de pá. O ângulo de ataque é o ângulo entre a corda e o influxo não perturbado em uma situação 2D. O ângulo de ataque ao qual a lâmina desenvolve elevação zero é o ângulo de elevação 0. A elevação (coeficiente) aumenta aproximadamente linear com o ângulo de ataque para ângulos pequenos de ataque (por exemplo entre -8° e $+8^\circ$). A maioria das turbinas de velocidade variável regulada por passo opera essencialmente na ou próxima a relação de velocidade de ponta constante λ abaixo de velocidade de vento nominal. A turbina pode divergir desta operação de λ constante por exemplo para evitar certas frequências próprias ou diminuir emissão de som. Ainda é otimizada para um certo λ_{design} e os aerofólios operam em média no ângulo de ataque α_{design} que dá desempenho ótimo. A α_{design} , o aerofólio desenvolve um coeficiente de elevação $c_{l,\text{design}}$ e tem uma relação de elevação para arrasto L/D_{design} . Quando turbinas atuais produzem potência sob condições não extremas e abaixo de velocidade de vento nominal, o valor médio do ângulo de ataque e também o coeficiente de elevação da se aproximam do valor de projeto. As realizações momentâneas desses parâmetros se comportam como estocásticas devido à turbulência, guinada, cisalhamento, etc. Um método comum para caracterizar uma turbina eólica é guardar parâmetros como a potência média de 10 minutos ou ângulo de ataque ou coeficiente de elevação como uma função da velocidade de vento média de 10 minutos. Quando muitos pontos de dados são coletados em cada caixa e calculados em média, uma estimativa mais ou menos precisa das médias desses parâmetros é obtida. O valor assim obtido de por exemplo um coeficiente de elevação a uma certa velocidade de vento é o coeficiente de elevação médio ou o coeficiente de elevação médio de 10 minutos. Se a turbina for produzida conforme o projeto, esses valores médios ou médios de 10 minutos correspondem aos valores de projeto. Assim essencialmente o valor de projeto, o valor médio de 10 minutos e o valor

médio de um parâmetro tal como o coeficiente de elevação ou ângulo de ataque são equivalentes. O ângulo ao qual o aerofólio estola ou o fluxo separa da superfície é dependente de aerofólio. Um ângulo de estol típico é $+10^\circ$, ao qual o coeficiente de elevação é cerca de 1,0 a 1,6. A ângulos maiores, c_l aumenta ligeiramente ou até mesmo diminui e simultaneamente c_d aumenta, de forma que a eficiência da lâminas de rotor cai.

5 Separação de fluxo pode ser evitada com meio intensificador de elevação, como conhecido na literatura. Exemplos de tal meio intensificador de elevação são geradores de vórtice (VGs), flapes de gurney, alongamento da corda, aumento de câmber, sucção da camada de limite, flapes perto da borda dianteira ou perto da borda traseira, deformação de uma parte flexível na borda traseira do aerofólio, aplicação do efeito Magnus, FCS tal como descrito em Sinha, S. K., WO03067169, jatos sintéticos que alimentam energia na camada de limite tal como é conhecido por exemplo por 10 Gerhard, L., US4674717 e abas de translação de MEM. A maioria dessas opções pode ser aplicada em um senso passivo e ativo, em dito caso ativo, o controle pode ser por pneumática, hidráulica, eletromagnética, piezelétrica, por abas de translação de MEM ou qualquer outro método de controle conhecidos da literatura. Todos esses meios de intensificação de elevação 15 podem ser fixados principalmente como elementos separados à lâmina ou podem ser integrados com a lâmina. 20

VGs são elementos que geram vórtices que energia alimentada na camada de limite. VGs podem ser elementos que são mais ou menos submersos na superfície e são conhecido em muitas formas diferentes. Exemplos são uma câmber especial da própria superfície de aerofólio (por exemplo cavidades) ou superfícies que se estendem da superfície de aerofólio no fluxo. Partes de conexão possíveis como uma base que está conectada ao VG, não é contada como parte do VG. A posição de corda do VG está relacionada à parte do VG na menor posição de corda. A base pode ser 25

essencialmente plana ou seguindo a forma de aerofólio local. Formas conhecidas de VGs podem ser achadas em Waring, J., US5734990; Kuethe, A. M., US3578264; Kabushiki, K. T., EP0845580; Grabau, P., WO00/15961; Corten, G. P., NL1012949, Gyatt, G. W., DOE/NASA/0367-1, etc. VGs podem ter um comprimento de cerca de 3% da corda, uma altura de cerca de 1% da corda e uma distância mútua de cerca de 5% da corda. VGs adiam estol a ângulos maiores de ataque. Aerofólios com VGs alcançam coeficientes de elevação típicos de 1,5-2,5 a ângulos de ataque de por exemplo $+12^\circ$ a $+25^\circ$. Três ou mais VGs a espaçamento regular fixados essencialmente em uma linha inclinada menos que 30° da linha perpendicular à direção de fluxo são definidos como uma linha de base de VGs. Tangenciais são círculos ao redor do centro de rotação no plano de rotação dos aerofólios aplicáveis.

Desvantagens

Custos de turbina eólica são altos por causa das cargas que requerem muito material. Portanto, projetistas de turbina visam a alta produção de eletricidade a baixas cargas. Uma desvantagem das turbinas eólicas presentes é que as cargas pelo vento variam e que esta variação conduz a custos adicionais. Um caso extremo de uma variação de carga desvantajosa é aquela em que uma lâmina dobra tanto que bate na torre. A velocidades de vento acima de $V_{\text{cut-out}}$, a turbina tem que ser parada para evitar sobrecarga, que reduz produção e adiciona incerteza à produção predita. Outra desvantagem é pertinente a altas velocidades de vento quando turbinas normalmente são paradas. A pressão de vento nas lâminas causa altas cargas porque a corda requerida das lâminas de turbina é grande. Uma desvantagem adicional é que as cargas aumentam quando turbinas são operadas no curso de outras turbinas e precisam ser colocadas muito longe que custa espaço comprimento de cabo adicional.

Outra desvantagem das turbinas presentes é que as características aerodinâmicas das lâminas de rotor são difíceis de prever e

portanto novos protótipos sofrem freqüentemente uma fase longa e cara de teste e adaptação antes que eles satisfaçam.

Além disso, quando uma turbina é operada a uma relação de velocidade de ponta reduzida para satisfazer um certo nível de emissão de som, a eficiência cai bastante, desde que na realidade as lâminas precisam de adaptação para tais situações.

Uma desvantagem adicional é que os altos momentos requerem muito e material forte no caso de lâminas delgadas. Superar esta desvantagem pela aplicação de aerofólios grossos pode conduzir à separação de fluxo assim mais arrasto e menos elevação. Outra desvantagem de turbinas eólicas atuais é que a indução perto do centro de um rotor de turbina eólica é menos do que ademais fora. Este 'vazamento' no centro de rotor reduz a diferença de pressão sobre o rotor e portanto reduz a potência.

Uma desvantagem adicional de rotores presentes é que o desempenho de lâmina degrada substancialmente por contaminação.

Objetivo da Invenção

O objetivo da invenção é reduzir a relação entre a variação da força de elevação e a força de elevação média de lâminas de turbina eólica e mais em geral superar as desvantagens mencionadas. Este objetivo é alcançado substituindo os aerofólios do estado da arte por aerofólios com um coeficiente de elevação médio de 10 minutos mais que 1,1, particularmente mais que 1,2, e mais particularmente mais que 1,4, e preferivelmente cerca de 1,6 na faixa entre 0,5R e 0,95R. Benefício especial é obtido usando aerofólios entre 0,4R e 0,95R com um coeficiente de elevação médio que é mais alto que 1,5, e em particular mais alto que 1,75, e mais particularmente, mais alto que 2,0 em uma parte da faixa operacional excluindo condições extremas.

Desde que a elevação de um aerofólio é essencialmente proporcional a ambos c_l e c , o produto cc_l deveria ter um valor mínimo para alcançar a elevação requerida. O projetista pode escolher livremente c e c_l ,

contanto que o produto cc_1 seja maior que este mínimo. Sem notificação o projetista aplica o mesmo argumento para variações de elevação, que não é correto. Surpreendentemente, as variações de elevação são diferente da elevação, essencialmente independentes do coeficiente de elevação c_1 . Quando o projetista usa esta novo vislumbre, ele reduziria c e aumentaria c_1 , de forma que as variações de elevação se tornem menos. Isto é especialmente pertinente na parte exterior ($r > 0,5R$) do rotor.

Deste modo, a variação da força de elevação devido à turbulência, cisalhamento de vento, desalinhamento de turbina, movimentos de lâmina, erros de controle, etc., pode reduzir por mais que 30%. Isto diminui ambas a fadiga e cargas extremas, que é benéfico para a estrutura de turbina eólica inteira incluindo a fundação. Isso habilita aceitação de turbinas em locais de alta turbulência. Em fazenda de vento, alguém pode escolher um espaçamento menor entre as turbinas.

O texto abaixo descreve o fundamento de muitas concretizações preferidas da invenção para quais referência também é feita às sub-reivindicações.

Benefício adicional é obtido quando aerofólios são aplicados que operam em ângulos de ataque médios de 10 minutos, que divergem do ângulo de elevação 0 por mais que 10° , e particularmente mais que 12° , e mais particularmente mais que 14° , e preferivelmente cerca de 16° .

Para turbinas eólicas com um coeficiente de potência C_p entre $1/3$ e $16/27$, a perda de momento adimensional M pode ser determinada em muitas formas. Um método de benefício especial é $M = -1,19 + 9,74C_p - 21,01 C_p^2 + 17,50 C_p^3$. Fixando o M assim obtido igual ao número de corda C e por substituição de N , r , c_1 , λ , R , a corda local c_r pode ser determinada. Vantagem adicional é obtida quando c_r é escolhido menor do que o valor que segue assumindo $c_1 = 1,1$ e particularmente 1,3, e mais particularmente, 1,5 e até mesmo mais particularmente, preferivelmente 1,7.

Exemplo: Uma turbina de eixo horizontal clássica tem um aerofólio perto da ponta com um ângulo de elevação 0 de -3° , um coeficiente de elevação máximo de 1,3 a ângulo de ataque de 10° e um coeficiente de elevação que é linear por 0,1 por grau entre esses ângulos. Acima de ângulo de ataque de 10° , o aerofólio estola e a eficiência cai muito. Assuma que o ângulo médio de ataque é 7° e devido à turbulência varia por $\pm 3^\circ$, então o coeficiente de elevação varia de 0,7 a 1,3 e sua média é 1,0. A variação de elevação é $0,6/1,0 = 60\%$ da média. Esta é uma medida para a variação de carga nas lâminas, na transmissão, nos mancais, na torre, na fundação etc., e em todos os lugares aumenta custos. De acordo com um exemplo da invenção, nós escolhemos aerofólios com VGs de forma que estol seja adiado a um ângulo maior de ataque. O coeficiente de elevação máximo é agora por exemplo 1,8 a um ângulo de ataque de 15° . O rotor é projetado de forma que o ângulo de ataque médio seja 12° e o coeficiente de elevação médio seja 1,5. Desde que a elevação é proporcional ao produto de corda e coeficiente de elevação para α pequeno, nós escolhemos a corda menor por um fator de 1,5, de forma que a elevação e assim o rendimento sejam iguais. Devido à turbulência, o ângulo de ataque varia neste caso entre 9° e 15° sem estolar. Além disso com as mesmas suposições, segue que o coeficiente de elevação varia entre 1,2 e 1,8. Surpreendentemente, a variação é só $0,6/1,5 = 40\%$ da média, ou $2/3$ da variação de carga sem a invenção. Também variações de carga devido a influxo guinado ou cisalhamento de vento são menos. Estacionando as lâminas acima de $V_{\text{cut-out}}$ de forma que a elevação positiva máxima não seja alcançada e a elevação preferivelmente seja negativa, as cargas nas lâminas serão menos por cerca do mesmo fator como a redução de corda. Uma posição de estacionamento de benefício particular é quando o ângulo de passo é fixado fora da faixa de $30^\circ - 100^\circ$.

Vantagem adicional da diminuição de carga de acordo com a invenção é que menos opções de controle de turbina (caras) são requeridas.

As opções controladas ativas comuns são controle de passo (para pá ou para estolar) e velocidade de rotação variável. Uma concretização preferida da invenção considera uma turbina eólica com duas e particularmente uma ou mais, particularmente 0 opções de controle ativas selecionadas das ditas opções de controle ativas.

Vantagem adicional é obtida quando meio de intensificação de elevação tais como VGs são aplicados em uma lâmina de rotor na qual estes meios são fixados como membros separados ou quando estes meios estão integrados com a lâmina de rotor. É o estado da arte corrigir rotores com mau desempenho pela aplicação de VGs. Tal caso é descrito em Corten, G. P., "Flow Separation on Wind Turbine Blades", ISBN 90-393-2582-0. No caso de rotores recentemente projetados, o perito aconselha contra a aplicação de VGs, desde que o prejuízo é que eles adicionam ruído e arrasto, sem vantagem adicional. É comumente conhecido de experiências de túnel de vento que, para pequenos ângulos de ataque, o arrasto de um aerofólio sem VGs é menos do que o arrasto do mesmo aerofólio com VGs. Surpreendentemente, este conselho não é correto e está baseado em uma experiência incorreta. Um aerofólio sem VGs deveria ser comparado a um aerofólio com VGs com uma corda reduzida que alcança a mesma elevação.

Exemplo: Assuma que o aerofólio sem VGs tem $c_l = 1,0$, $c_d = 0,01$ e $c = 1$ m e o aerofólio com VGs têm $c_l = 1,5$, $c_d = 0,012$ e $c = 2/3$ m. Ambos os aerofólios desenvolvem a mesma elevação desde que o produto cc_l é constante. O arrasto do aerofólio sem VGs é proporcional a $cc_d = 0,01 \times 1 = 0,01$ e aquele do aerofólio com VGs é $cc_d = 0,012 \times 2/3 = 0,008$. Assim, com VGs o arrasto é menos, até mesmo enquanto o coeficiente de arrasto é mais alto. À parte disso, o coeficiente de arrasto também pode diminuir fixando VGs. Vantagem adicional é obtida porque os VGs condicionam a camada de limite muito e portanto os efeitos de contaminação são relativamente menos importantes. Isto conduz a menos perdas de produção no caso de

contaminação.

Vantagem adicional é obtida porque a aplicação de meio de intensificação de elevação essencialmente no lado de sucção aumenta a elevação máxima para os ângulos positivos enquanto a elevação máxima para ângulos de ataque negativos essencialmente é inalterada. Concretizações preferidas da invenção têm uma relação $c_{l,max}/c_{l,min}$ menos que -1,2 -0,2%cam e em particular menos que -1,4 -0,2%cam, em que $c_{l,max}$ é a elevação máxima a ângulo de ataque positivo, $c_{l,min}$ é a elevação máxima a ângulos de ataque negativos e% cam é o câmber em por cento da corda, assim quando o câmber é 6%, dita relação é preferivelmente maior que 2,2 e em particular 2,4. Portanto, menos medidas (adição de espuma ou aplicação de uma fibra de segundo tipo de porcentagem mais alta) são requeridas no lado de sucção aerodinâmica para evitar curvatura.

Vantagem adicional é obtida pela aplicação de fibras de carbono, que são adequadas para adicionar rigidez e levantar cargas elásticas no lado de sucção aerodinâmica. Isto conduz a uma redução de massa e menos deflexão de ponta, que reduzirá custos na turbina inteira. Para a definição de fibras de primeiro tipo e segundo tipo, referência é feita a Bech, A., e.a., WO 2004/078465. Nesta patente, uma parte laminada assimétrica já está notada. Porém, não foi explicado o que especificamente é assimétrico e também o que os argumentos são para uma estrutura assimétrica enquanto esses argumentos (comportamento aerodinâmico assimétrico) não mudam até que lâminas de acordo com a presente invenção sejam usadas.

Vantagem adicional é obtida pela aplicação de entradas de ar tais como fendas no aerofólio no lado de sucção entre 5%c e 60%c. Essas entradas estão localizadas preferivelmente na faixa radial de 0,05R a 0,5R. Estas entradas estão conectadas a canais na lâmina que correm a posições radiais maiores e que têm uma abertura na borda traseira da lâmina. A força centrífuga no ar no canal provê uma sucção natural. Vantagem adicional é

obtida conectando entradas de mais de 10% de diferença em posição radial a canais diferentes. Vantagem adicional é obtida quando as entradas podem ser abertas ou fechadas ativamente usando abas de MEM ou piezelétrica.

Vantagem adicional é obtida por aplicação das lâminas de cabeça para baixo: o lado de sucção como lado de pressão e o lado de pressão como lado de sucção, em particular a velocidades de vento acima de 12 m/s e mais particularmente acima de 14 m/s. Em termos operacionais, isto significa que a turbina avança as lâminas por cerca de 150° e que a turbina pára e inicia novamente na outra direção rotacional. Alternativamente, a nacela é guinada mais de 180° de forma que o rotor mude de operação de vento para cima a vento para baixo. Neste caso, a direção de rotação do rotor permanece a mesma. Com as lâminas de cabeça para baixo, a variação da força de elevação desenvolvida pela lâmina inteira é menos, a força de elevação extrema é menos e a força de elevação atua em uma posição radial menor, de forma que momentos de guinada e raiz de lâmina sejam menos. Essas são as razões para aumentar o $V_{\text{cut-out}}$ do valor clássico de 25 m/s para 30 m/s ou para 35 m/s ou para valores mais altos.

Com tamanho de turbina crescente, o uso de material aumenta mais rapidamente do que o rendimento, Portanto economizar material é de mais importância para turbinas maiores. Portanto, a invenção é particularmente pertinente para turbinas com um diâmetro de rotor maior que 60 m, particularmente maior que 80 m e mais particularmente maior que 100 m.

À espessura relativa constante, a corda reduzida de acordo com a invenção pode requerer mais material para levar as cargas. Para levar as cargas com pouco material e adicionar rigidez, as lâminas podem ser divididas em uma lâmina superior e uma lâmina inferior a por exemplo 0,2R-0,7R. Vantagem adicional é obtida quando as fibras de primeiro tipo no lado de pressão continuam da parte exterior não dividida da lâmina na lâmina

superior. Opcionalmente, as fibras de primeiro tipo no lado de sucção da parte exterior não dividida da lâmina continuam na lâmina inferior. Vantagem adicional é obtida quando a lâmina superior e a inferior alcançam uma distância mútua de pelo menos 5%R e particularmente pelo menos 10%R. O

5 comportamento aerodinâmico assimétrico das lâminas conduz à situação que as lâminas superiores levam principalmente cargas de pressão e as lâminas inferiores levam principalmente cargas elásticas. De acordo com um exemplo da invenção, a lâmina inferior preferivelmente tem uma corda mais curta 20% e particularmente 40% e mais particularmente 60% que a lâmina superior a
10 posições radiais iguais. Uma vantagem adicional é que a adição das cordas das lâminas inferior e superior aumenta o rendimento porque 'vazamento' de lado de pressão para o lado de sucção é evitado. Vantagem adicional é obtida pela aplicação de aerofólios relativamente grossos para levar as cargas com pouco material e adicionar rigidez. A razão é que com VGs, possivelmente
15 fixados em ambos os lados, separação de fluxo pode ser evitada, de forma que aerofólio grosso possa ter alta eficiência em uma grande faixa de ângulo de ataque. Aerofólios de pelo menos $t = 25\%c$ são aplicáveis a posições radiais $> 0,55R$ e particularmente a posições radiais $> 0,65R$, e mais particularmente à posição radial $> 0,75R$.

20 Vantagem adicional é obtida por aplicação de VGs no lado de pressão para evitar separação de fluxo. Fazendo isto, a elevação negativa máxima não aumenta ou aumenta ligeiramente porque os VGs estão colocados preferivelmente perto da borda traseira a posições de corda maiores que 30%c, particularmente maiores que 50%c e mais particularmente maiores
25 que 70%c.

Vantagem adicional pode ser obtida usando aerofólio com um câmbio de mais de 6%c e particularmente de mais de 8%c e mais particularmente de mais de 10%c. O câmbio adicional evita um pico de sucção profundo a grandes ângulos de ataque, que reduz sensibilidade à

contaminação. Além disso, aerofólios com câmbio alta têm freqüentemente uma alta relação L/D a grandes ângulos de ataque.

Quando múltiplos VGs ou linha de base de VGs estão localizados atrás um do outro, em direção de fluxo, alguém pode falar sobre VGs de frente, meio e traseira. Os VGs dianteiros correspondem aos VGs na posição de corda menor, os VGs traseiros àqueles na posição de corda maior e aqueles entre eles são os VGs intermediários. Vantagem adicional é obtida quando os VGs no meio são maiores do que os dianteiros e particularmente quando eles também são maiores do que os traseiros.

Vantagem adicional é obtida por colocação de alguns VGs adicionais a montante com respeito à linha de base de VGs. Os VGs adicionais mantêm o fluxo mais tempo ligado à linha de base a jusante. Esses VGs adicionais reduzem a histerese da relação c_r, α quando α passa o ângulo de estol. Esses VGs podem estar localizados entre 3% no lado de pressão e 10% no lado de sucção e mais particularmente entre 0% e 5% no lado de sucção. É benéfico quando VGs que estão localizados atrás um do outro em direção de fluxo geram vórtices da mesma direção rotacional.

Vantagem adicional é obtida por fixação de VGs no aerofólio entre a posição do ponto de estagnação e aquela do pico de sucção a um ângulo de ataque de 5° . Nesta faixa, a vantagem é que os VGs estão localizados em uma área de baixa velocidade a ângulos de ataque pequenos. Quando o ângulo de ataque aumenta, então o pico de sucção (o lugar de velocidade de fluxo máxima) se desloca para os VGs que portanto se tornam mais efetivos. Assim, os VGs têm baixa atividade a ângulos pequenos (assim, pouco aumento de arrasto) e alta atividade quando é necessário a ângulos grandes.

Para reduzir dita histerese de c_r, α , alguém também pode aplicar VGs longos que se estendem por exemplo mais que 10% ou até mesmo mais que 30% em direção de corda. Neste projeto, a superfície de lâmina é

provida com nervuras debaixo de um ângulo com o fluxo, de qual a parte de fluxo para cima está localizada preferivelmente a uma posição radial menor do que a parte de fluxo para baixo.

No caso de uma turbina de eixo vertical, os ângulos de ataque também variam sem turbulência. A variação de ângulo de ataque é inversamente proporcional à relação de velocidade de ponta λ . Para manter a variação de ângulo de ataque na faixa de -10° a $+10^\circ$, λ não deveria se tornar menos que cerca de 4,5. Para valores de λ mais baixos, os aerofólios estolam. Aplicação de aerofólios com VGs em ambos os lados atrasa estol a ângulos de ataque maiores de forma que um λ de 4, 3,5, 3 ou até mesmo 2,5 pode ser usado sem estolar. Uma vantagem adicional para a turbina de VAT (quando usada em ar ou em água) é que se torna alto-iniciante por fixação de VGs a menos que 20% c , particularmente menos que 15% c e mais em particular a menos que 10% c ambos no lado de sucção e pressão de um aerofólio ou hidrofólio.

Vantagem adicional é obtida usando os coeficientes de elevação altos desde que habilita operações a relações de velocidade de ponta mais baixas, que reduz ruído.

Preferivelmente, vários VGs (1, 2, 4 ou outro número) e a placa de terra são fabricados como uma peça ou até mesmo como uma fita de um material flexível tal como borracha, poliuretano ou um elastômero possivelmente com aditivos para bloquear radiação de UV. Isto é chamado um elemento de VG e é fabricado favoravelmente de plásticos das famílias PVDF, FEP, PEEK, PI, PEI, PES e PFTE.

O elemento de VG pode ser fixado à lâmina de rotor com qualquer técnica conhecida. É de vantagem particular prover a placa de terra parcialmente de adesivo de lado duplo e parcialmente com um adesivo fluido tal como um cianoacrilato. O adesivo de lado duplo provê fixação direta depois da qual a cola fluida tem tempo para endurecer. Os VGs podem ser

fixados com uma dobradiça e só dobrar para fora depois que as lâminas são instaladas à turbina. O lado da placa de terra que será fixado à lâmina pode ser ligeiramente côncavo com um raio de câmber que é menor do que o raio de câmber da lâmina na posição de fixação.

- 5 Vantagem adicional é realizada quando os VGs têm câmber em direção de fluxo de forma que o ângulo entre o fluxo sem perturbação de VG e o VG aumente preferivelmente por 5° a 15° em direção de fluxo e particularmente aumente na faixa de 2° a 30°, são efetivos. Esta câmber evita instabilidade de Kelvin-Helmholtz dos VGs e assim aumenta durabilidade.
- 10 Vantagem adicional é obtida pela aplicação de aerofólios dos quais a elevação é menos dependente do ângulo de ataque, em outras palavras que têm um $dc/d\alpha$ menor do que 1,1, e particularmente menor do que 1,05 e mais particularmente menor do que 1,0 na faixa de ângulo de ataque de 4° a 7°.
- 15 Vantagem adicional é obtida substituindo o rotor antigo de uma turbina eólica existente por um rotor novo de acordo com a invenção. Este rotor novo pode ser maior ao mesmo nível de carga e portanto pode aumentar produção. O rotor antigo é preferivelmente substituído por um rotor novo que tem na faixa de 0,6R a 0,95R uma corda que é pelo menos 10%
- 20 menos e preferivelmente pelo menos 20% a posições radiais iguais, e mais particularmente é provido com VGs nessa faixa.
- 25 Vantagem adicional da invenção é que as propriedades das lâminas produzidas de acordo com a invenção podem ser mudadas por adaptação do meio de intensificação de elevação e em particular o padrão de VG relativo a posição, tipo, espaçamento mútuo, tamanho, etc. Quando um atraso adicional de estol é preferido, possíveis adaptações de padrão de VG são: aumentar o tamanho de VGs (por exemplo 25%), reduzir o espaçamento entre VGs (por exemplo 25%), colocar mais VGs (por exemplo uma linha de base adicional), aumentar o ângulo entre o fluxo e VGs (por exemplo por 5°),

mudar a posição dos VGs (por exemplo 5% c), etc. Em particular, quando a emissão de som de uma turbina é alta demais, a relação de velocidade de ponta pode ser reduzida. Então, adaptação das lâminas para operação mais ótima a ângulos de ataque mais altos é preferida. Outros casos em que a adaptabilidade também é pertinente é quando lâminas do mesmo projeto são usadas para climas de vento diferentes ou em turbinas diferentes.

Vantagem adicional é obtida pela aplicação de VGs controláveis. Isto pode ser usado para diminuir a elevação máxima acima de velocidade de vento nominal, que pode ser a razão para aumentar a velocidade de vento de corte. Também pode ser usado como um método para diminuir o torque do rotor no caso de uma falha, parada de emergência ou parada manual, que abaixa o custo de outros sistemas de freio. Os VGs podem ser trocados para um estado efetivo quando um atraso de separação baixa é preferido e para estados ineficazes quando não. De acordo com uma concretização preferida da invenção, os VGs são controladas por piezelétrica ou por abas de MEM, e em particular por dispositivos de MEM cilíndricos ou piezelétrica que habilitam uma rotação direta do gerador de vórtice através de por exemplo 15°. O VG pode ser fixado a este dispositivo piezelétrico ou de MEM de forma que sua orientação ao fluxo possa mudar de não efetiva para efetiva. A efetividade pode ser controlada mudando o ângulo entre o VG e o fluxo, dobrando-o ou retraindo-o mais ou menos na superfície de aerofólio. VGs controláveis têm a vantagem de uma resposta mais rápida comparada a controlar passo de uma lâmina. Uma concretização preferida da invenção relaciona-se a uma turbina eólica com lâminas de rotor fixas e geradores de vórtice controláveis.

Vantagem adicional é obtida provendo uma lâmina de rotor de acordo com a invenção de pelo menos um ponto reforçado tal como um ponto de içamento que é adequado para erguer a lâmina onde por este ponto preferivelmente está localizado a menos de 1 comprimento de corda do centro

de massa da lâmina. Isto evita dano aos VGs desde que uma cinta de içamento ao redor da lâmina não é precisada durante a instalação da lâmina.

Vantagem adicional é obtida por alinhamento dos VGs paralelos ao fluxo não perturbado local (pelos VGs) a cerca do ângulo de elevação $0 \pm 3^\circ$ ou paralelo às tangentes. Com ângulo de ataque crescente, o fluxo no lado de sucção dobrará radialmente para fora, de forma que o ângulo entre o VG e o fluxo aumente e um vórtice mais forte seja gerado. Deste modo, os VGs se tornam ativos a altos ângulos de ataque quando eles são precisados e dificilmente adicionam arrasto a pequenos ângulos de ataque quando eles não são precisados.

Vantagem adicional é obtida quando o lado a montante dos VGs está localizado a uma posição radial menor do que o lado a jusante de forma que os VGs forcem o fluxo para posição radial maior, de forma que o componente de fluxo radial natural na camada de limite seja aumentado.

15 **Figuras**

As figuras abaixo mostram concretizações preferidas de acordo com as invenções.

Figura 1 - elevação contra ângulo de ataque;

20 Figura 2 - turbina de eixo horizontal com rotor de vento para cima;

Figura 3 - seção transversal de aerofólio;

Figura 4 - seção transversal de aerofólio;

Figura 5 - seção transversal de aerofólio;

Figura 6 - seção transversal de aerofólio;

25 Figura 7 - seção transversal de aerofólio;

Figura 8 - turbina de eixo horizontal da Figura 3 com lâminas de cabeça para baixo;

Figura 9 - turbina eólica com um rotor de 2 lâminas;

Figura 10 - lâmina de uma turbina eólica;

Figura 11 - lâmina de uma turbina eólica.

Figura 1 mostra um gráfico da elevação L contra o ângulo de ataque α . Curva 3 mostra a relação para um aerofólio clássico sem meio de intensificação de elevação. Para alcançar uma dada elevação 4, o fluxo deveria entrar no aerofólio sob um ângulo de ataque 5. Devido a por exemplo turbulência no vento, o ângulo de ataque varia na faixa 6 e portanto a elevação variará na faixa 7. Um aerofólio de acordo com a invenção com um coeficiente de elevação mais alto e uma corda mais curta se comportando como a curva 8 deveria alcançar a mesma elevação 4. Isto é realizado a um ângulo de ataque maior 9. Assumindo a mesma turbulência no vento, o ângulo de ataque varia na faixa 10 que é tão larga quanto a faixa 6. Agora, o elemento surpreendente: A variação de elevação 11 do aerofólio com o coeficiente de elevação mais alto é menos que a variação de elevação 7 do aerofólio clássico.

Figura 2 mostra como exemplo da invenção uma turbina eólica para cima 13 com torre 14 e nacela 15. O rotor de turbina de raio R inclui um cubo 16 e lâminas 18 com ponta 19 e raiz 17. No lado traseiro da lâmina, VGs estão instalados que não são visíveis na figura. As lâminas estão girando na direção de tangente 20 e incluem um borda dianteira 21 e um borda traseira 22. Figuras 3 a 7 mostram as seções transversais de aerofólio indicadas na Figura 2. As seções transversais mostram os lados de sucção 34 e os lados de pressão 35. Figura 3 mostra o ângulo de ataque α 27, a corda estendida 25 e o fluxo não perturbado 26. A linha pelos centros dos círculos 36 é a linha de câmber 37. Esta linha cruza com a corda 38 de comprimento 39. A borda dianteira do aerofólio é mostrado por 21 e a borda traseira por 22. No lado de sucção, VGs dianteiro 42, mediano 43 e traseiro 44 são aplicados, e no lado de pressão também VGs 41 são aplicados. Figura 4 mostra outra realização de VGs 45 em posição de corda pequena e VGs 44 em uma posição de corda maior. A borda traseira flexível 49 mostrado em duas posições na faixa 50

não é contado como parte da corda 29 se a faixa 50 for mais que 2,5% c com respeito à borda dianteira. A lâmina inclui fibras de primeiro tipo no lado de sucção 46 e no lado de pressão 47 que se estendem perpendiculares às seções transversais. A alma de cisalhamento 48 está localizada entre o lado de sucção e lado de pressão. Figura 5 mostra duas filas oblíquas de VGs de quais o VG dianteiro 61 da linha superior na figura está localizado a montante relativo ao VG mais traseiro 62 da linha inferior. Preferivelmente, os VGs 61 e 62 geram vórtices da mesma direção de rotação. Figura 6 mostra a linha de base dianteira com VGs 63 e a linha de base traseira com VGs 64. Figura 7 mostra VGs 65 que se estendem através de uma parte relativamente grande da corda. Figura 8 mostra a turbina 15 da Figura 2 diretamente depois que as lâminas 18 com VGs 68 foram viradas ao redor para a posição de cabeça para baixo que é ilustrada por setas 68. Nesta aplicação de cabeça para baixo das lâminas, a função da pressão aerodinâmica e lados de sucção são trocados e o rotor gira na direção oposta. Os VGs atuais são menores e são aplicados em números maiores então mostrados na figura. Figura 9 mostra a turbina 15 com um rotor de 2 lâminas de quais as lâminas 18 se dividem em divisão 75 em uma lâmina superior 77 e uma lâmina inferior 76, que estão conectadas na extensão do eixo principal 78. Em ambas as Figuras 9 e 10, ar pode fluir pelos espaços livres 79 entre a lâmina superior e a lâmina inferior, qual lâmina superior e lâmina inferior alcançam uma distância 74 na mesma posição radial. A corda local é a soma da corda da lâmina superior e a corda da lâmina inferior à posição radial igual. Figura 10 mostra uma lâmina 18 com ponta 19 e raiz 17. As fibras substancialmente do primeiro tipo 81 no lado de pressão estrutural correm da raiz de lâmina pela lâmina superior 76 e pela divisão 75 para a ponta 19. As fibras de primeiro tipo 80 no lado de tração estrutural correm da raiz 17 pela lâmina inferior 77 e pela divisão 75 para a ponta de lâmina 19. Espaçador 82 está localizado entre a lâmina superior e inferior. Figura 11 mostra uma lâmina 18 de uma turbina eólica com uma entrada 85 à posição

radial r_1 que suga ar de camada de limite, qual sucção é acionada pela força centrífuga no ar em canal 87 que corre à saída 86 à posição radial r_{11} . Entrada 88 está localizada relativa à entrada 85 na posição radial maior r_2 e preferivelmente tem uma sucção mais forte do que a entrada 85 e portanto esta entrada tem um canal separado 90 que preferivelmente se estende ademais na direção radial do que canal 87. Canal 90 canaliza o ar sugado para saída 89 à posição radial r_{22} .

Valores numéricos são dados para parâmetros como velocidade de vento (variação), coeficiente de arrasto e elevação, velocidade de vento nominal, variação de ângulo de ataque, etc. O perito entende que esses valores só são indicativos e realmente são dependentes de aerofólio, projeto do rotor e turbina eólica e das condições operacionais. O perito também entenderá que uma turbina neste texto se refere ambas a turbinas de eixo vertical e eixo horizontal, que só são denotações de tipo que não prescrevem a orientação do eixo. Ele também entenderá imediatamente que a invenção é benéfica para todos os tipos conhecidos de turbinas eólicas, qual operação está baseada em forças de elevação: turbinas de velocidade constante e variável, turbinas controladas de passo para pá e passo para estol, turbinas controladas em estol, e todos os tipos conhecidos de turbinas volantes tais como turbinas do tipo de auto-giro e turbinas progressivas, ditas turbinas progressivas sendo um tipo especial de turbina de eixo vertical (US6072245) de qual as lâminas inteiras deveriam ser consideradas operar à posição radial R. O texto anterior inclui explicações físicas para os fenômenos de fluxo. Deveria ser entendido que a validade dessas explicações não está relacionada à validade das reivindicações inclusas. Será óbvio para o perito que vantagem também é obtida quando a invenção é combinada com outros conceitos de turbina eólica tais como por exemplo variação de passo cíclico, controle de vento (US2006131889) e calor e fluxo (US2006232073).

REIVINDICAÇÕES

1. Turbina eólica compreendendo uma lâmina com um perfil aerodinâmico, caracterizada pelo fato de que dito perfil tem na faixa de $0,2R$ a $0,95R$ e em particular de $0,5R$ a $0,95R$, um coeficiente de elevação médio de 10 minutos c_l maior que 1,1, particularmente maior que 1,2 e mais particularmente maior que 1,4 e mais particularmente, preferivelmente cerca de 1,6.

2. Turbina eólica, caracterizada pelo fato de que a faixa operacional, excluindo situações extremas tais como, por exemplo, na iniciação, cobre uma parte na qual o coeficiente de elevação médio dos perfis de dita lâmina dentro da faixa de $0,4R$ a $0,95R$ é mais alto que 1,5, e particularmente mais alto que 1,75, e mais particularmente mais alto que 2,0.

3. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que dito perfil dentro da faixa de $0,5R$ a $0,95R$ é operado a um ângulo de ataque médio de 10 minutos que difere do ângulo de elevação 0 de dito perfil por mais que 10° , particularmente mais que 12° e mais particularmente mais que 14° e mais particularmente, preferivelmente por cerca de 16° .

4. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que para relações de velocidade de ponta λ pertencendo às velocidades de vento não perturbadas entre 8 e 10 m/s, o número de corda $D (= Nc_r \lambda^2 / R^2)$ para dita lâmina entre $0,5R$ e $0,8R$ e/ou o número de corda $\bar{D}$ calculado em média através da faixa entre $0,5R$ e $0,8R$ é menos que 3,00, e particularmente menos que 2,75, e mais particularmente menos que 2,50.

5. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de compreender menos de 5 m de diâmetro, em que para relações de velocidade de ponta λ pertencendo às velocidades de vento não perturbadas entre 8 e 10 m/s, o número de corda D

(= $Nc_r\lambda^2/R^2$) de dita lâmina entre $0,5R$ e $0,8R$ é menos que 4,50, e particularmente menos que 4,00, e mais particularmente menos que 3,50.

6. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que no caso que o coeficiente de potência $1/3 < C_p < 16/27$, que $M = -1,19 + 9,74C_p - 21,01 C_p^2 + 17,50C_p^3$ e que em dito caso na faixa radial entre $0,5R$ e $0,9R$ para uma turbina de eixo horizontal e entre $0,8R$ e R para uma turbina de eixo vertical, a corda local é menor do que segue da equação $C = M$ e/ou a corda média em ditas faixas é menor do que segue da equação $\bar{C} = M$ assumindo que $c_l = 1,1$ e particularmente que $c_l = 1,3$ e mais particularmente que $c_l = 1,5$ e mais particularmente que é preferivelmente cerca de 1,7.

7. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que dentro da faixa de $0,4R$ a $0,95R$, e particularmente de $0,5R$ a $0,8R$, um meio de aumento de elevação é integrado com dita lâmina ou é fixado a ele como um elemento separado e em particular que dito meio de aumento de elevação considera geradores de vórtice.

8. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que compreender fibras de primeiro tipo que estão localizadas entre $5\%c$ e $70\%c$ em ambos o lado de pressão aerodinâmica e a sucção aerodinâmica, em que a seção transversal de ditas fibras no lado de sucção (46) comparada à seção transversal de ditas fibras no lado de pressão (48) na faixa radial entre $0,3R$ e $0,7R$ é pelo menos 20% maior e particularmente 30% maior e mais particularmente 40% maior.

9. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que compreende fibras de primeiro tipo que estão localizadas entre $5\%c$ e $70\%c$, em que dentro de uma seção transversal na faixa radial entre $0,3R$ e $0,7R$ ditas fibras unidirecionais no lado de pressão aerodinâmica consistem em pelo menos 25% de fibras de carbono e particularmente que ditas fibras unidirecionais no lado de sucção

aerodinâmica incluem pelo menos 25% de fibras de vidro.

10. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que no lado de sucção uma entrada (85) localizada a uma posição radial entre 5%R e 70%R, em que dita entrada (85) está por um canal (87) conectada a uma saída (86) localizada a uma posição radial que é relativa à entrada maior por pelo menos um fator $0,9\sqrt{2}$, particularmente um fator $\sqrt{2}$ e mais particularmente um fator $\sqrt{3}$.

11. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que com no lado de sucção uma entrada (85) à posição radial r_1 e uma entrada (88) à posição radial r_2 que é pelo menos 10%R maior que r_1 , em que dita entrada (85) a r_1 está conectada à dita saída (86) a r_{11} e dita entrada (88) a r_2 está conectada à dita saída (89) à posição radial r_{22} que é pelo menos 10%R maior que r_{11} .

12. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de compreender um lado de sucção e um lado de pressão, que no caso de aplicação do lado de sucção como lado de sucção e o lado de pressão como lado de pressão alcança $C_p > 0,40$ e em particular $C_p > 0,50$, em que dita lâmina durante a geração de energia de vento por dita turbina também é aplicada de cabeça para baixo: o lado de sucção serve como lado de pressão e o lado de pressão serve como lado de sucção.

13. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que o diâmetro do rotor é maior que 60 m, particularmente maior que 80 m e mais particularmente maior que 100 m.

14. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de ser do tipo de eixo horizontal, em que dita lâmina na direção da ponta (19) para a raiz (17) a uma posição radial entre 0,7R e 0,2R se divide em divisão (75) em uma lâmina superior (76) e uma lâmina inferior (77) com entre elas um espaço livre (79) e que ambas a lâmina superior e a lâmina inferior contribuem para a elevação aerodinâmica

e em particular que a uma certa posição radial, a distância (74) entre a lâmina inferior e superior é maior que $5\%R$ e mais em particular é maior que $10\%R$.

15 15. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que dita lâmina compreende perfis de pelo menos 25% de espessura que são usados a posições radiais maiores que $0,55R$, e particularmente maiores que $0,65R$ e mais particularmente maiores que $0,75R$.

10 16. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que dita lâmina inclui geradores de vórtice (41) localizados no lado de pressão de um perfil que preferivelmente é mais grosso que $25\%c$ e particularmente mais grosso que $30\%c$ e mais particularmente mais grosso que $35\%c$.

15 17. Turbina eólica de acordo com reivindicação 16, caracterizada pelo fato de que ditos geradores de vórtice (41) estão localizados a uma posição de corda maior que $30\%c$, particularmente maior que $50\%c$ e mais particularmente maior que $70\%c$.

20 18. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que dita lâmina inclui um aerofólio com câmbor de mais que $6\%c$, particularmente mais que $8\%c$ e mais particularmente mais que $10\%c$.

25 19. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, em que dita lâmina inclui um aerofólio incluindo pelo menos um gerador de vórtice dianteiro de direção de influxo (42) e um gerador de vórtice traseiro (44) e um ou mais geradores de vórtice intermediários (43), caracterizada pelo fato de que ditos geradores de vórtice dianteiros têm menos altura que a altura média dos geradores de vórtice intermediários e mais particularmente que ditos geradores de vórtice traseiros também têm menos altura que a altura média de ditos geradores de vórtice intermediários.

20. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações

precedentes, caracterizada pelo fato de que dita lâmina compreende um aerofólio com geradores de vórtice (42, 45) que estão localizados entre 3%_c no lado de pressão e 10%_c no lado de sucção e mais particularmente entre 0%_c e 5%_c no lado de sucção.

5 21. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que dita lâmina compreende um aerofólio com geradores de vórtice (65) que têm um comprimento de mais que 10%_c e mais particularmente mais que 20%_c e até mesmo mais particularmente mais que 30%_c.

10 22. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de ser do tipo de eixo vertical, em que a relação de velocidade de ponta λ é menor que 3,5 e particularmente menor que 3 e mais particularmente menor que 2,5.

15 23. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que ditos geradores de vórtice incluem uma superfície de um dos plásticos PVDF, FEP, PEEK, PI, PEI, PES e PFTE e particularmente que ditos geradores de vórtice consistem completamente em ditos plásticos.

20 24. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que ditos geradores de vórtice são arrançados a um ângulo de menos que 10°, e particularmente menos que 5°, para as tangentes relacionadas ao centro de rotação.

25 25. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que o lado a montante de mais que 70% de ditos geradores de vórtice tem uma distância mais curta ao centro de rotação do que o lado a jusante.

26. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que a montante de uma linha de base com geradores de vórtice, geradores de vórtice extras são instalados a uma

distância maior à parte.

27. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que geradores de vórtice são instalados em um padrão que aumenta em posição de corda pelo menos uma vez, e particularmente pelo menos duas vezes, na direção longitudinal da lâmina.

28. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que geradores de vórtice arranjos um atrás do outro na direção de fluxo geram vórtices da mesma direção rotacional.

29. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que a efetividade dos geradores de vórtice pode ser regulada mudando a posição, ou abrindo-os fora a um grau maior ou menor, ou submergindo-os parcialmente na superfície de lâmina e em particular ativando os geradores de vórtice por abas de MEM ou piezelétrica.

30. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de compreender seções de aerofólio em que a relação $c_{l,max}/c_{l,min}$ é menos que -1,2 -0,2%cam e em particular menos que -1,4 -0,2%cam.

31. Turbina eólica de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que dita turbina tem duas opções de controle ativas e em particular tem uma opção de controle ativa e mais em particular não tem nenhuma opção de controle ativa, ditas opções de controle estão no controle de passo de grupo e controle de velocidade de rotação variável.

32. Método pelo qual uma primeira lâmina de uma turbina existente é removida e substituída por uma outra lâmina, caracterizado pelo fato de que dita turbina existente com dita outra lâmina é como definida em qualquer das reivindicações precedentes e particularmente que dita outra

lâmina na faixa de $0,7R$ a $0,95R$ compreende uma corda local c_r que é pelo menos 10% e mais particularmente pelo menos 20% menor do que a corda local c_r de dita primeira lâmina.

33. Método para fabricar uma turbina eólica compreendendo
- 5 uma lâmina, caracterizado pelo fato de que dita lâmina para relações de velocidade de ponta λ correspondendo a velocidades de vento não perturbadas entre 8 e 10 m/s tem um número de corda $D (= Nc_r\lambda^2/R^2)$ entre $r = 0,5R$ e $r = 0,8R$, que é menos que 3,00, e particularmente menos que 2,75, e mais particularmente menos que 2,50.
- 10 34. Método para fabricar uma lâmina de turbina eólica compreendendo uma lâmina, caracterizado pelo fato de que dita lâmina para relações de velocidade de ponta λ correspondendo a velocidades de vento não perturbadas entre 8 e 10 m/s tem um número de corda $D (= Nc_r\lambda^2/R^2)$ entre $r = 0,5R$ e $r = 0,8R$, que é menos que 3,00, e particularmente menos que 2,75, e
- 15 mais particularmente menos que 2,50.

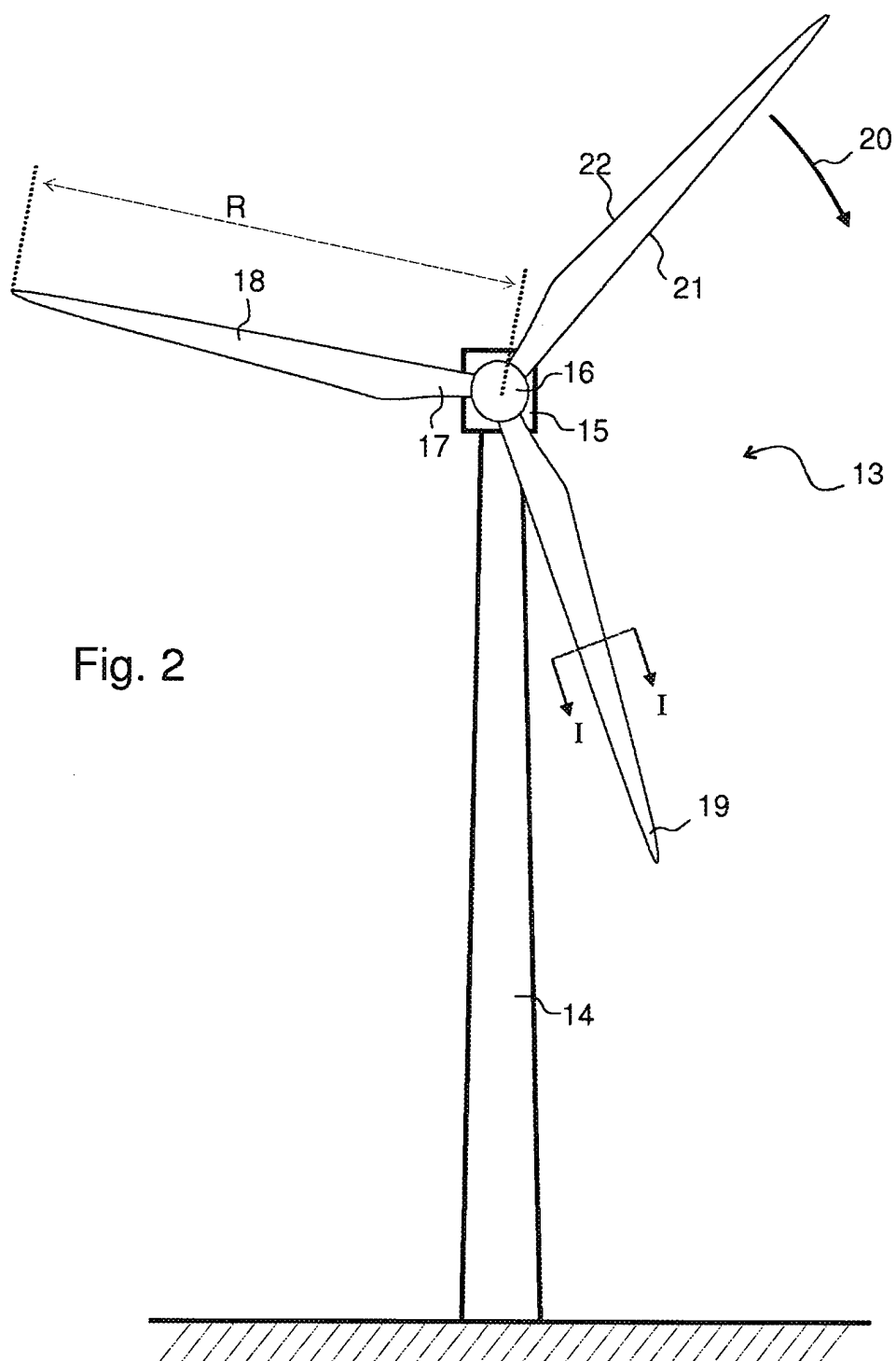


Fig. 3

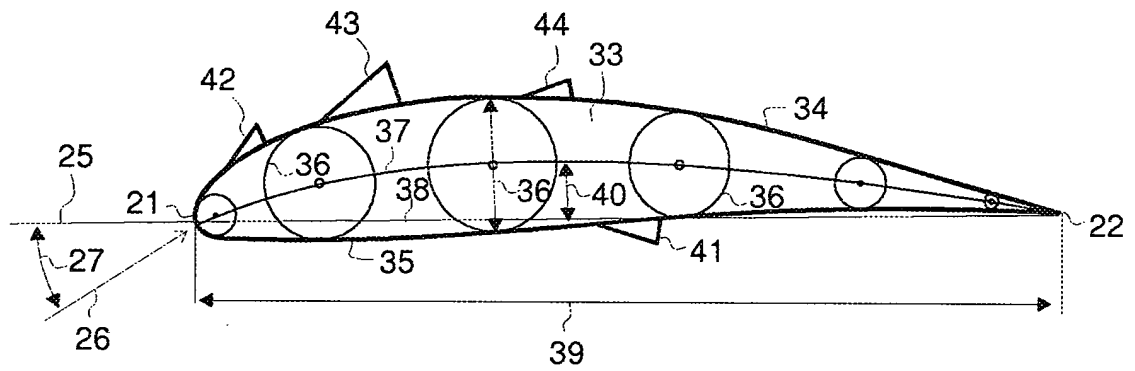
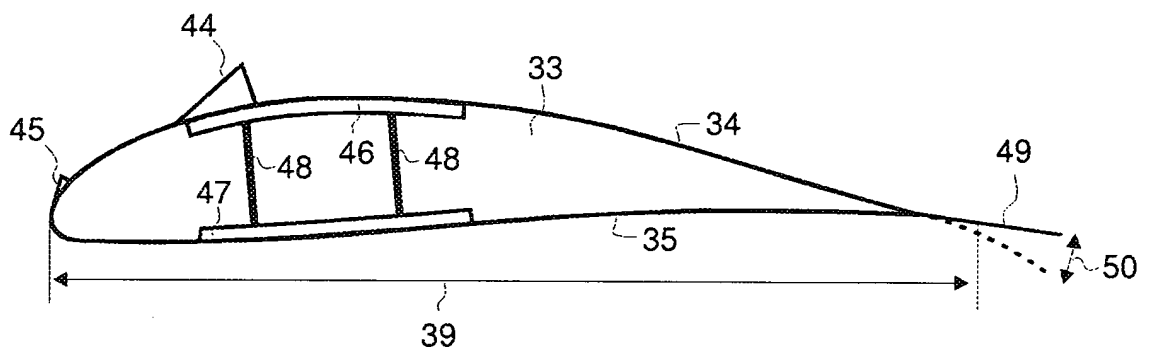
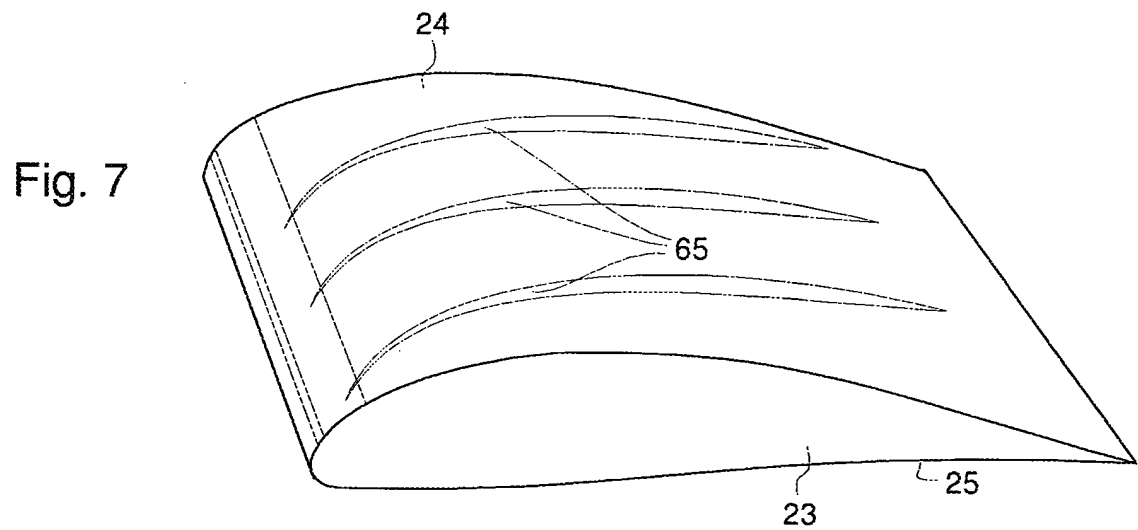
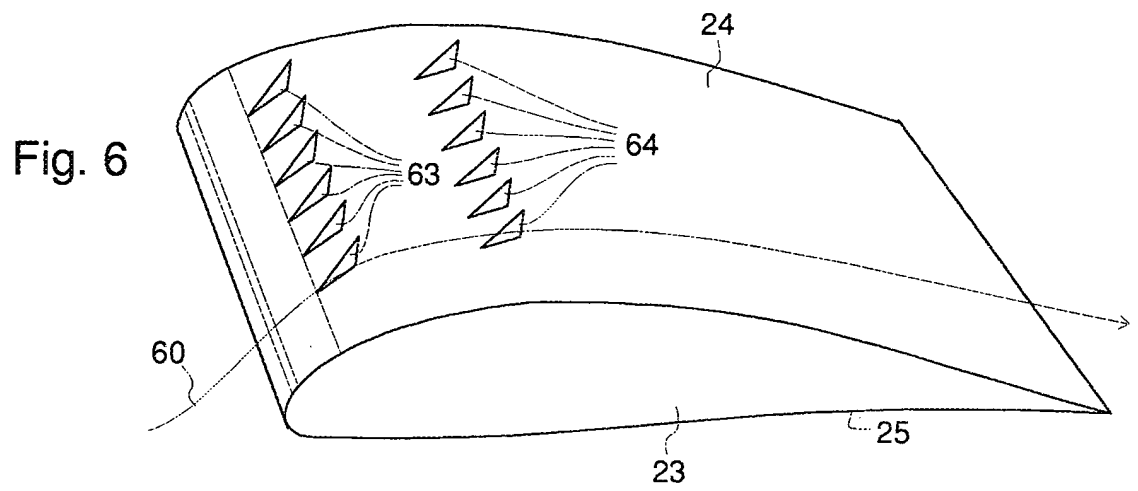
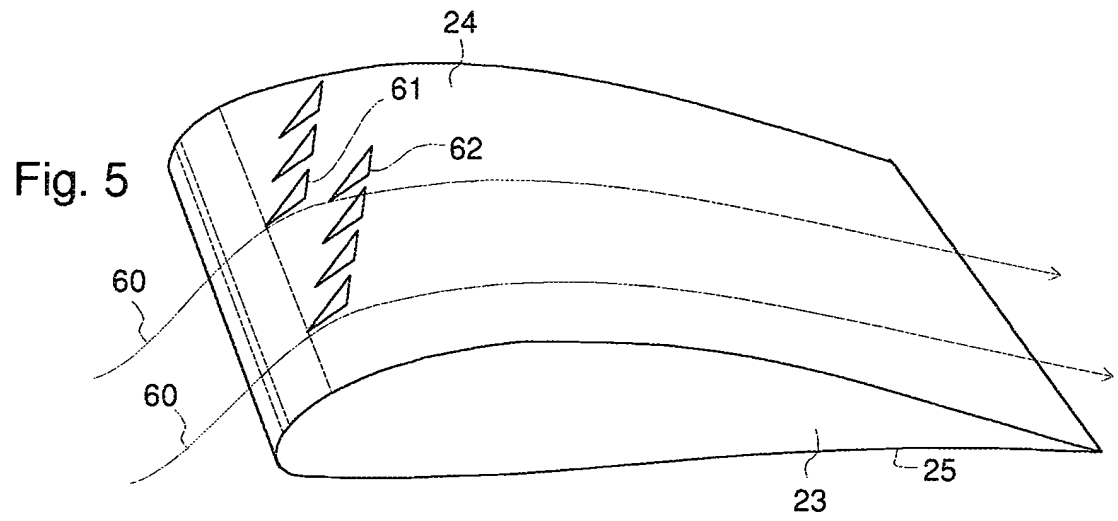


Fig. 4





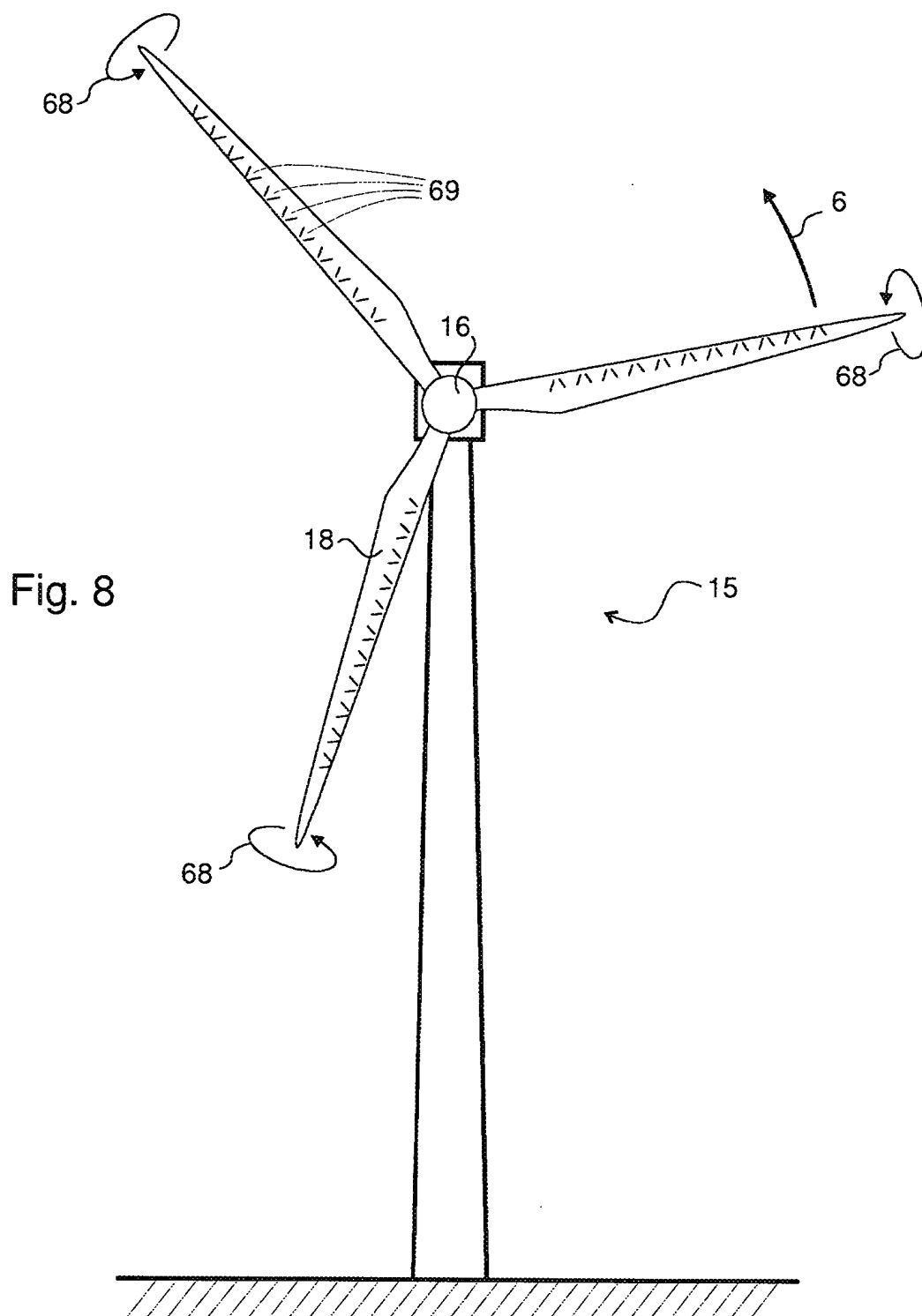


Fig. 9

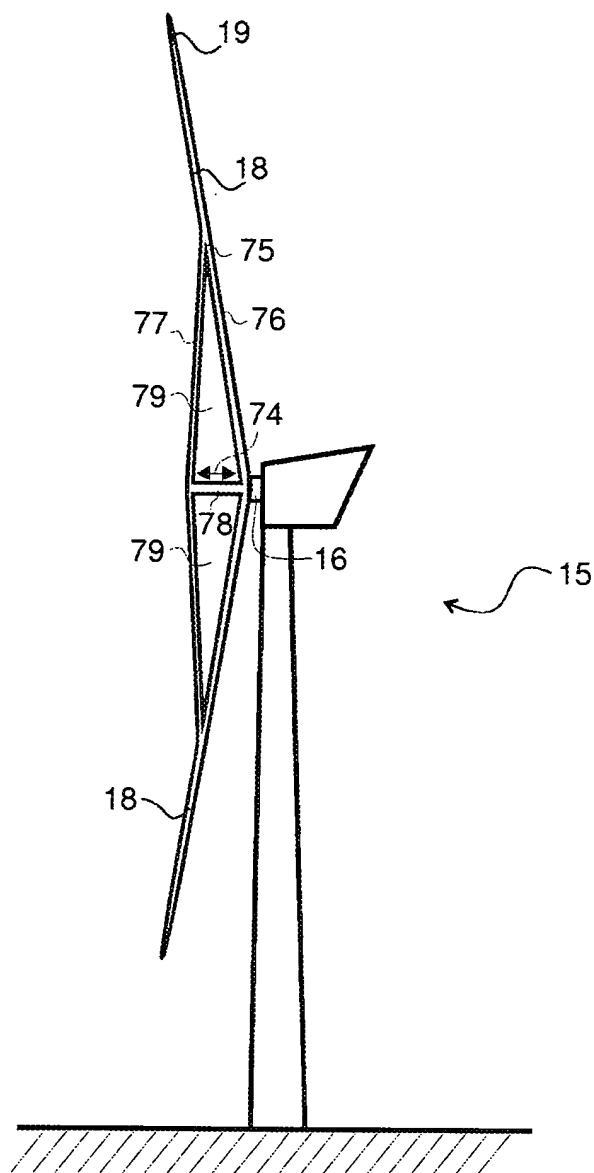


Fig. 10

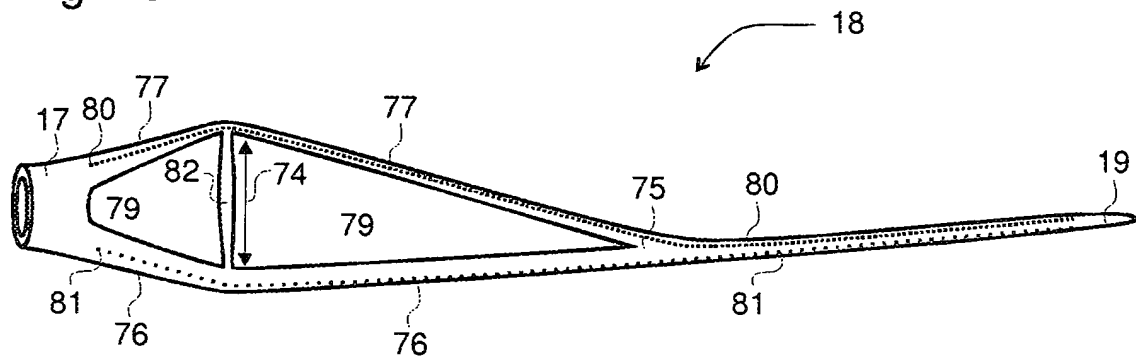
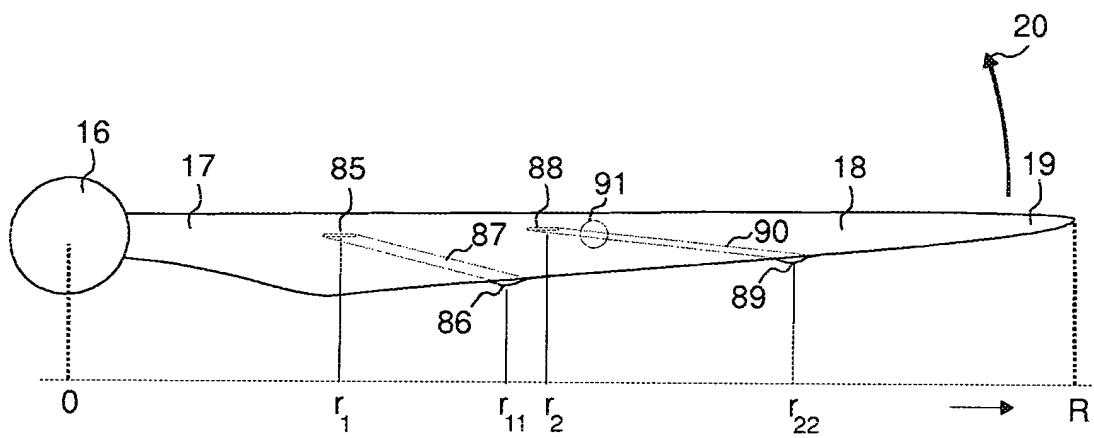


Fig. 11



RESUMO

“TURBINA EÓLICA, E, MÉTODO PELO QUAL UMA PRIMEIRA LÂMINA DE UMA TURBINA EXISTENTE É REMOVIDA E SUBSTITUÍDA POR UMA OUTRA LÂMINA”

5 Turbina eólica com uma lâmina de rotor, em que dita lâmina é relativamente insensível à turbulência porque é mais delgada que de acordo com a arte anterior e não obstante é capaz de gerar elevação suficiente em virtude do fato que meio intensificador de fluxo tais como geradores de vórtice combatem separação de fluxo. O perfil delgado é definido pelos
10 números de corda C e D, dos quais C é definido como $C = N c_r c_l r \lambda^2 / R^2$, em que N é o número de lâminas, c_r é a corda local, c_l o coeficiente de elevação, r a posição radial, λ a relação de velocidade de ponta e R o raio de rotor. Subseqüentemente, a corda deveria ser menos que o que segue da equação $C = M$, em que $M = -1,19 + 9,74C_p - 21,01C_p^2 + 17,50C_p^3$ e C_p é o coeficiente
15 de potência. Uma turbina eólica de acordo com a invenção está sujeita a cerca de 2-12% menos cargas operacionais e a cerca de 5-40% de cargas de velocidade de vento de sobrevivência reduzidas comparadas a projetos clássicos.