

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 643 170**

51 Int. Cl.:

F03D 13/20 (2006.01)

E04H 12/08 (2006.01)

E02D 27/42 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.08.2004** **E 12006627 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.07.2017** **EP 2574711**

54 Título: **Torre para una turbina eólica**

30 Prioridad:

25.08.2003 DE 10339438

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

21.11.2017

73 Titular/es:

**SENVION GMBH (100.0%)
Überseering 10
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**WELTKAMP, ROLAND;
SCHÄFER, STEPHAN y
HINZ, UWE**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 643 170 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

Torre para una turbina eólica

5 Las turbinas eólicas modernas se construyen principalmente con torres tubulares, en particular torres tubulares de acero, porque esta forma de construcción denominada construcción monocasco es la construcción de torre más sencilla y económica. En el caso de turbinas eólicas grandes con un diámetro de rotor de más de 70 m y una altura de torre de más de 80 m así como una potencia de más de 1,5 megavatios, el diámetro de torre necesario en la zona de torre inferior es una limitación técnica decisiva. Los diámetros de más de 4,3 m sólo pueden transportarse con dificultad porque a menudo la altura de gálibo por debajo de puentes no permite grandes dimensiones. Además la longitud total y la masa de las torres requieren una división en varias secciones de torre, que en cada caso se atornillan entre sí mediante una unión con bridas anulares. Las grandes uniones con bridas anulares, en el caso de torres para turbinas eólicas muy grandes (3-5 MW), representan un factor de coste considerable junto con la logística de transporte.

15 Por ello, debido a las dificultades para el transporte, cada vez se utilizan más torres de hormigón que o bien se fabrican en el sitio de instalación de la turbina eólica o bien están compuestas por partes individuales pequeñas, que se pegan entre sí y se aseguran con cables tensores. Sin embargo, los dos tipos de torre son de fabricación considerablemente más cara que las torres tubulares de acero. Por este motivo de manera individual también se construyen torres híbridas tubulares de acero/hormigón en las que la parte de torre superior se realiza como torre tubular de acero en la mayor medida posible y sólo la parte de torre inferior, que presenta un diámetro demasiado grande para el transporte, se fabrica de hormigón. Sin embargo, en esta forma de construcción la transición de la torre de acero a la de hormigón ha resultado técnicamente compleja y cara.

25 Además existen las torres de celosía muy conocidas como postes eléctricos, que ya se utilizan para turbinas eólicas grandes con una altura de hasta 114 m y una potencia de 2 megavatios. Sin embargo, además de la ventaja del transporte sencillo, estas torres presentan la desventaja decisiva de que presentan una extensión horizontal claramente mayor que la de una torre tubular de acero u hormigón comparable, lo que a menudo plantea problemas con respecto a la distancia necesaria entre la punta de pala de rotor y la torre (funcionamiento libre de la pala). Si se flexiona mucho la pala de rotor en caso de tormenta, existe el riesgo de un contacto con la torre que es muy peligroso para toda la construcción.

35 Por otro lado la extensión horizontal mayor de la torre de celosía permite un uso de material en conjunto más eficaz. Esta ventaja conocida en general de las construcciones de entramado permite una masa total menor y por tanto un precio de adquisición menor. Sin embargo, esta ventaja económica desaparece por regla general por los costes del mantenimiento de las torres de celosía que debe realizarse durante los 20 años de vida útil. Por ejemplo de manera periódica deben comprobarse las uniones por tornillos de las torres de la turbina eólica con alta sollicitación dinámica, una tarea peligrosa en torres de celosía por su gran altura, que requiere mucho tiempo, físicamente muy exigente y que sólo pueden realizar especialistas entrenados para realizar trabajos en altura.

40 Por los documentos DE-PS 736 454 y DE 198 02 210 A1 se conoce que la torre puede presentar un segmento de torre superior y uno inferior, estando configurado el segmento de torre inferior como torre de celosía y el segmento de torre superior de forma tubular.

45 Sin embargo, en este caso aparecen problemas con respecto a la transición de una construcción monocasco (torre tubular) a una construcción de entramado (torre de celosía), porque desde el punto de vista técnico es muy exigente. Por ello, en el caso de las torres de celosía existentes para turbinas eólicas por regla general sólo directamente por debajo de la góndola de máquina se coloca un componente tubular relativamente corto, el denominado "elemento cilíndrico", que permite la transición a la góndola de máquina dotada de una brida anular. Aquí la transición se implementa en general porque los por regla general cuatro montantes en ángulo de la torre de celosía se atornillan por medio de uniones con placas directamente por fuera sobre el elemento cilíndrico. Este concepto es posible porque la torre directamente por debajo de la góndola sólo está sometida a sollicitaciones por flexión relativamente reducidas. Por tanto, en este caso, esencialmente sólo tiene que transmitirse el empuje de rotor horizontal (que para la torre actúa como fuerza transversal). Más abajo, en el lugar en el que supuestamente se solicita la torre por el momento de flexión que actúa por el empuje de rotor a través del brazo de palanca de la longitud de torre, desde el punto de vista económico no es posible una construcción de este tipo.

55 Por los documentos FR2597161 y BE451404 también se conocen torres para una turbina eólica según el estado de la técnica.

60 Por tanto, el objetivo de la invención es idear una construcción de torre para turbinas eólicas grandes que elimine las desventajas en el estado de la técnica, en particular con respecto a la posibilidad de transporte, la rentabilidad, el mantenimiento y el funcionamiento libre de la pala.

65 Este objetivo se alcanza mediante una torre para una turbina eólica con las características de la reivindicación 1.

La torre según la invención, como se conoce por el estado de la técnica, está compuesta por un segmento de torre tubular superior así como un segmento de torre inferior, que está configurado como torre de celosía con al menos tres montantes en ángulo. Ambos segmentos de torre están unidos entre sí en una zona de transición, estando configuradas las dimensiones del segmento de torre superior en la zona de transición claramente menores que las dimensiones del segmento de torre inferior en la zona de transición.

Según la invención está previsto que el segmento de torre superior suponga al menos una sexta parte de toda la torre. Esto ofrece la ventaja de que en la zona superior de la torre puede disponerse una configuración convencional conveniente.

Además las cargas por torsión que se producen en el segmento de torre superior, debido a la sección transversal más pequeña, son claramente mayores que en el segmento de torre inferior. Como una torre tubular presenta una rigidez a la torsión elevada, así las fuerzas de torsión que se producen pueden absorberse mejor que, por ejemplo, por una torre de celosía.

Como ya se explicó anteriormente, la transición del segmento de torre inferior al superior supone un problema. El motivo es que el flujo de fuerza debe seguir transmitiéndose desde la sección transversal de tubo del segmento de torre superior a los tres o por ejemplo también cuatro montantes en ángulo del segmento de torre inferior. La solución más sencilla sería por ejemplo una placa a la que se fijan el segmento de torre superior y el inferior. Sin embargo, una placa de este tipo tendría la desventaja de que la placa tendría que presentar dimensiones muy grandes para poder resistir las cargas que se producen, con lo que se generarían costes adicionales considerables.

Según la invención también está previsto que la sección transversal del segmento de torre inferior por debajo de la zona de transición sea mayor que la sección transversal del segmento de torre superior, estando configurada sin embargo la zona de transición de tal modo que se produce una adaptación óptima para el flujo de fuerza de la sección transversal del segmento de torre inferior a la sección transversal del segmento de torre superior. Por tanto, la invención ofrece la ventaja de que está prevista una zona de transición que está configurada de tal modo que el flujo de fuerza se conduce de manera óptima del segmento de torre superior al inferior, de modo que toda la zona de transición no tenga que diseñarse con una dimensión excesiva.

La sinergia de las características de la invención mencionadas anteriormente lleva a una torre diseñada de manera óptima. La torre según la invención presenta en su zona superior una torre convencional. En el segmento de torre inferior, que por ejemplo debido a sus dimensiones ya no puede configurarse como torre tubular, porque entonces ya no podría transportarse, la torre según la invención presenta una construcción de torre de celosía. Además la previsión del segmento de torre de celosía, en el caso de una turbina eólica instalada en alta mar, presenta la gran ventaja de que ofrece a las cargas producidas por las olas una menor superficie de ataque que en el caso de una torre tubular. La zona de transición adaptada de manera ventajosa lleva a un segmento de torre de celosía cuyos montantes en ángulo y puntales presentan grosores de pared menores, de modo que se reduce ventajosamente la masa de la torre y relacionado con ello los costes para la torre, que representa un factor de coste considerable con respecto a toda la turbina eólica.

Cada montante en ángulo puede presentar una inclinación con respecto al eje vertical de la torre que puede seleccionarse de tal modo que con una prolongación imaginaria de los montantes en ángulo sus ejes longitudinales se crucen en un punto de intersección virtual. Resulta ventajoso diseñar la torre de la presente invención de tal modo que el punto de intersección virtual de los montantes en ángulo se encuentre en una zona por encima de la zona de transición, que desde la góndola puede extenderse por una tercera parte de la longitud de torre hacia arriba o hacia abajo, porque así los montantes en ángulo esencialmente sólo se cargan por fuerzas normales y no por flexión.

Por regla general las torres de celosía presentan entre los montantes en ángulo puntales para la absorción adicional de las fuerzas que se producen. Mediante la disposición del punto de intersección en la zona superior de la turbina eólica se consigue que el flujo de fuerza se produzca principalmente a través de los montantes en ángulo y que el flujo de fuerza conducido a través de los puntales resulte esencialmente menor. De este modo, se minimizan ventajosamente las cargas que se producen en los puntales, con lo que los puntales pueden dimensionarse más pequeños, es decir, los grosores de pared de los puntales pueden seleccionarse menores con lo que a su vez se reduce ventajosamente el volumen de la costura de soldadura en las conexiones de las patas (ahorro de costes).

Según una configuración ventajosa de la presente invención, la zona de transición está configurada de tal modo que la sección transversal del segmento de torre inferior se estrecha hasta la sección transversal del segmento de torre superior, concretamente de manera especialmente ventajosa hasta una longitud que corresponde al menos a la mitad del diámetro de torre tubular inferior.

Según configuraciones ventajosas adicionales de la invención, la zona de transición se forma por una pieza de transición que está diseñada de tal modo que la extensión horizontal en la zona inferior es considerablemente mayor que la extensión en la zona superior. Los pandeos considerables así producidos en el contorno externo de la torre se oponen en realidad a las reglas de construcción actuales, porque en particular en el caso de la construcción

monocasco cualquier tipo de paneo lleva a aumentos excesivos de tensión que debilitan la estructura portante. Sin embargo, con las medidas mencionadas en las reivindicaciones dependientes es posible eliminar estas desventajas presentes de manera incuestionable de los dos puntos de pandeo o evitar completamente los puntos de pandeo para poder aprovechar las ventajas del modo de construcción híbrido según la invención.

5 En el estado de la técnica este tipo de pandeos en la construcción monocasco sólo se conocen en turbinas eólicas muy pequeñas en las que la optimización de la tensión todavía no ha sido importante. En su lugar, en este caso la técnica de fabricación estaba en primer plano que así hacía posible unir entre sí de manera sencilla dos diámetros de tubo disponibles en el mercado a un precio económico. En las máquinas con un tamaño tan pequeño (potencia por debajo de 300 kW) en parte incluso torres tubulares cortas existentes se colocaban con ayuda de piezas de transición con una conicidad considerable sobre parte inferiores de tubos con diámetro mayor.

10 En el caso de las turbinas eólicas modernas con potencias mayores de un megavatio en el estado de la técnica sólo son rentables torres tubulares con pandeos ligeros (como máximo 5 - 8°), encontrándose el pandeo en principio relativamente justo por debajo de la góndola de máquina. Este modo de construcción conocido por ejemplo por el documento EP0821161, denominado "torre tubular cónica doble" permite principalmente una brida de fijación grande en el punto de unión a la góndola de máquina y sirve además para adaptar la frecuencia propia del componente a los requisitos.

20 Según otra configuración ventajosa de la invención resulta especialmente ventajoso configurar la transición entre segmento de torre superior e inferior (dado el caso directamente) por debajo del plano horizontal, que se define por la punta de pala de rotor con la pala de rotor colocada en perpendicular hacia abajo. Esta medida permite evitar todas las desventajas existentes en el estado de la técnica de manera sencilla.

25 En el segmento de torre superior, mediante la realización como torre tubular, se satisfacen las exigencias con respecto a una construcción delgada con una rentabilidad inigualable, no obstante la sencilla mantenibilidad con una zona de trabajo y un ascenso protegido frente a la intemperie es de una ventaja decisiva para la gran altura. Una vez que la torre tubular llega a sus límites de transporte, en el segmento de torre inferior por debajo del plano de la punta de pala se coloca la torre de celosía. Ésta, con su extensión horizontal considerablemente mayor, puede permitir ahorros de material considerables y por tanto una mayor rentabilidad. En la parte de torre inferior el problema del mantenimiento es menos decisivo, porque en el estado de la técnica están disponibles dispositivos escaladores-elevadores que permiten una accesibilidad para el personal de mantenimiento en la zona de torre inferior de una manera sencilla y sobre todo segura y cómoda.

35 Se reduce considerablemente la desventaja adicional de las torres de celosía, de que en invierno en caso de congelación por la gran superficie de la construcción de entramado tengan que considerarse masas adicionales considerables por acumulación de hielo, porque ahora la masa adicional ya sólo actúa en la parte de torre inferior mucho menos crítica desde el punto de vista estático y dinámico.

40 Por los motivos mencionados resulta ventajoso configurar la zona de transición a una distancia con respecto al eje de rotor que puede ascender a 1,0 - 1,6 veces, en particular 1,0 - 1,3 veces el radio de rotor.

45 Para permitir la posibilidad de transporte de la pieza de transición resulta especialmente ventajoso configurar la zona superior de la pieza de transición de tal modo que durante el montaje de la turbina eólica en el sitio de instalación pueda unirse con el segmento de torre superior, preferiblemente por medio de una unión separable.

50 Del mismo modo resulta especialmente ventajoso configurar la zona inferior de la pieza de transición de tal modo que la pieza de transición pueda unirse con cada montante en ángulo de la torre de celosía por medio de una unión preferiblemente separable.

Además puede ser ventajoso, además de los montantes en ángulo, atornillar también algunos puntales con la zona inferior de la pieza de transición.

55 La unión con bridas a la torre tubular se considera particularmente crítica tal como demuestran las experiencias con torres híbridas tubulares de acero/hormigón.

60 Por tanto, una forma de realización especialmente ventajosa de la invención prevé que la unión separable entre la zona superior de la pieza de transición y el segmento de torre superior presente una brida de tornillo de dos hileras preferiblemente situada por dentro en la pieza de transición como punto de unión y una brida en T adaptada a la misma, dispuesta en el segmento de torre superior.

65 El que este punto de unión esté dotado de una brida de dos hileras de grandes dimensiones ofrece además la ventaja de que la brida al mismo tiempo también sirve de elemento resistente a las abolladuras para la desviación de fuerza que se produce en el punto de pandeo del contorno externo. Así, de manera eficaz, se elimina en su mayor parte el aumento excesivo de tensión provocado por el riesgo de abolladuras.

La zona inferior de la pieza de transición se diseña ventajosamente de tal modo que presenta puntos de unión para uniones con placas a los montantes en ángulo de la torre de celosía.

5 Como la torre de celosía inferior por la torre tubular superior se carga por una masa adicional considerable, es de una ventaja muy considerable realizar los montantes en ángulo de los postes de celosía como perfiles huecos para evitar un pandeo por la carga de la torre tubular.

10 Además la pieza de transición se configura de manera especialmente ventajosa de tal modo que se respeta la altura de transporte admisible por la altura de construcción de la pieza de transición. La altura de transporte posible máxima, debido a la altura de gálibo limitada por debajo de puentes, asciende en Alemania por regla general a 4,3 m, en tramos seleccionados todavía pueden transportarse mercancías con una altura de 5,5 m.

15 En caso de que con turbinas eólicas muy grandes (con una potencia de por ejemplo 3 - 5 MW), debido a las dimensiones, no sea posible un transporte de la pieza de transición en una pieza, una configuración de la presente invención prevé una realización de la pieza de transición en al menos dos subpiezas preferiblemente unidas entre sí de manera separable en el punto de unión como especialmente ventajosa. La unión puede producirse por ejemplo ventajosamente mediante bridas de tornillo o uniones con placas, aunque también una soldadura de las subpiezas en el emplazamiento de construcción puede ser una solución muy rentable cuando los puntos de unión se disponen en zonas poco solicitadas.

20 En este caso la pieza de transición puede dividirse de manera especialmente ventajosa por un plano de división vertical en al menos dos subpiezas. Una división en un número de subpiezas idénticas correspondiente a la cantidad de montantes en ángulo de la torre de celosía se considerará particularmente rentable por motivos de la técnica de fabricación.

25 Otra configuración ventajosa de la invención prevé una división de la pieza de transición en al menos un plano de división horizontal.

30 Evidentemente en el caso de turbinas eólicas especialmente grandes también pueden combinarse entre sí las dos posibilidades de división.

35 Para aprovechar la altura de transporte admisible máxima de la manera más completa posible, una configuración ventajosa de la invención prevé la realización de la pieza de transición o de la subpieza de la pieza de transición de tal modo que pueda transportarse con ayuda de piezas de adaptación, que se montan sobre los puntos de unión existentes o previstos especialmente para ello, como semirremolque de plataforma baja.

40 Según la dimensión y el peso de la pieza de transición o de las subpiezas de la pieza de transición en este caso también está previsto el transporte de varias piezas de transición o subpiezas unidas entre sí directa o indirectamente (mediante piezas de adaptación) en un semirremolque de plataforma baja. Esto ofrece por ejemplo la posibilidad de atornillar entre sí las subpiezas de una pieza de transición de dos partes, con una altura de construcción demasiado elevada a las (mitades de) las bridas anulares y a continuación transportarlas en horizontal respetando la altura de transporte admisible como semirremolque de plataforma baja.

45 La pieza de transición puede diseñarse de manera especialmente eficaz según una forma de realización según la invención cuando presenta una pared y se realiza en una construcción monocasco.

50 En particular resulta especialmente ventajoso que la forma básica de la pieza de transición corresponda esencialmente a un tubo con una conicidad considerable, cuya inclinación media de la pared con respecto al eje central sea mayor que la inclinación de la pared de la zona inferior de la torre tubular y/o que la inclinación de la zona superior de los montantes en ángulo de la torre de celosía.

55 En este caso la inclinación media se define como el ángulo entre la vertical (o también la línea central) y una línea imaginaria desde la extensión horizontal máxima en la zona superior de la pieza de transición hasta la extensión horizontal máxima en la zona inferior.

Para implementar el ensanchamiento considerable según la invención de la extensión horizontal de la torre en la pieza de transición con respecto al flujo de fuerza de manera especialmente ventajosa, la inclinación media de la pared de la pieza de transición con respecto al eje central ascenderá a al menos 15°, preferiblemente a más de 25°.

60 En el caso del tubo cónico como forma básica de la pieza de transición se considera cualquier sección transversal de tubo, es decir, secciones transversales triangulares, cuadradas, poligonales (por ejemplo 16 vértices) o también redondas. Además, la invención comprende tubos expresamente cónicos, cuya forma de sección transversal cambia por la longitud.

65 En este caso, una configuración especialmente ventajosa prevé que la sección transversal de la pieza de transición pase de una sección transversal esencialmente redonda en la zona superior de manera fluida a una sección

transversal esencialmente poligonal, preferiblemente triangular o cuadrada en la zona inferior. En este caso, esencialmente redonda también puede significar poligonal, por ejemplo de 16 vértices.

5 En caso de que la unión a la torre tubular se haya producido a través de una brida anular, entonces a través de la misma puede suavizarse la transición de una pieza de transición de por ejemplo 16 vértices a la torre tubular redonda. En caso de que por lo menos la parte inferior de la torre tubular también se realice como polígono, la conexión también puede producirse sin problemas a través de una unión con placas. Con una inclinación diferente de las superficies laterales de la pieza de transición con respecto a la pared de la torre tubular en este caso opcionalmente todavía se preverá un elemento resistente a las abolladuras.

10 Para el ahorro de material y de peso resulta especialmente ventajoso dotar la pared de la pieza de transición de al menos una abertura. Mediante aberturas diseñadas de manera adecuada en particular es posible mejorar el flujo de fuerza con respecto a la versión sin aberturas. Esto se aplica en particular a aberturas en forma de arco que se extienden de un montante en ángulo a otro montante en ángulo.

15 Se consigue una optimización adicional del flujo de fuerza mediante refuerzos de forma abombada o en forma de marco de puerta en los bordes de las aberturas en forma de arco.

20 Para aumentar la rigidez de la pieza de transición resulta ventajoso que en la zona inferior de la pieza de transición estén configurados soportes horizontales entre los montantes en ángulo de la torre de celosía que unen entre sí los montantes en ángulo adyacentes y/o los montantes en ángulo (diagonalmente) enfrentados. Estos soportes horizontales pueden estar unidos con la pieza de transición formando una sola pieza o también fijarse de manera especialmente ventajosa a través de la unión con placas entre pieza de transición y montantes en ángulo.

25 Igualmente para aumentar la rigidez de la pieza de transición, una configuración ventajosa adicional de la invención prevé que en una realización con al menos cuatro montantes en ángulo estén configurados nervios que refuerzan las líneas de unión de montantes en ángulo (diagonalmente) enfrentados.

30 En una forma de realización especialmente ventajosa la pieza de transición se realiza como componente de fundición.

35 La libertad de diseño de los componentes de fundición permite una conformación tal que mediante transiciones suaves y redondeadas se evitan los aumentos excesivos de tensión en los puntos de pandeo de la variante de construcción metálica soldada.

Se consigue una realización especialmente adecuada para el flujo de fuerza cuando la pared de la pieza de transición está curvada de manera convexa visto en un corte vertical, porque de este modo puede conseguirse una transición especialmente suave de la brida en la zona superior a los montantes en ángulo en la zona inferior.

40 En particular, la inclinación de los puntos de unión en la zona inferior de la pieza de transición se configurará de manera especialmente ventajosa de tal modo que corresponda a la inclinación de la zona superior de los montantes en ángulo de la torre de celosía.

45 La construcción de fundición también es especialmente ventajosa con piezas de transición de varias partes con planos de división verticales, porque entonces por ejemplo se unen 4 partes fundidas idénticas para formar una pieza de transición (efecto de coste por unidad). Materiales de fundición preferidos para la variante de fundición son por ejemplo acero fundido o fundición de grafito esférico, por ejemplo GGG40.3.

50 En caso de que la torre según la invención se construya en pocas unidades, la realización de la pieza de transición como construcción soldada resulta especialmente ventajosa porque se eliminan los elevados costes de moldeo de la construcción de fundición.

55 Como a menudo en el caso de las torres convencionales la transición a la cimentación de hormigón también se realiza con bridas en T, un perfeccionamiento ventajoso de la invención prevé, con ayuda del concepto híbrido según la invención, poner a disposición una secuencia de torres modular, en la que una torre tubular existente (por ejemplo una torre de 80 m para una máquina de 1,5 a 2 MW) por medio de la pieza de transición según la invención se coloca sobre diferentes partes inferiores, con una altura de por ejemplo 30, 50 y 70 m siguiendo el modo de construcción de torre de celosía, para de este modo según la ubicación alcanzar alturas totales de torre de 110, 130 y 150 m. De este modo pueden explotarse también las ubicaciones de países sin acceso al mar hasta ahora poco rentables para el aprovechamiento rentable de la energía eólica.

60 Según otra configuración ventajosa de la invención, el segmento de torre inferior configurado como torre de celosía presenta varios tramos dispuestos uno sobre otro, comprendiendo un tramo en cada caso los montantes en ángulo y al menos un puntal que discurre en diagonal entre los montantes en ángulo.

65

Según otra configuración ventajosa de la invención está previsto que la inclinación de los puntales que discurren en diagonal en todos los tramos esté configurada de la misma forma, de modo que debido a la misma inclinación de los puntales los puntos de unión entre las patas y los puntales estén configurados de la misma forma. Esta configuración ofrece la ventaja de que para la unión de los montantes en ángulo y los puntales pueden utilizarse nudos idénticos. De este modo ventajosamente puede optimizarse la construcción de la torre. Hasta ahora, los montantes en ángulo y los puntales se adaptaban entre sí durante el montaje y a continuación se soldaban con mucho esfuerzo.

En relación con los nudos soldados, los nudos de fundición pueden realizarse de manera considerablemente más compacta y por tanto más rentable. Por regla general, los nudos soldados deben realizarse por motivos de resistencia de tal modo que no coincidan las costuras de soldadura. Esto requiere en la zona de las transiciones de tubo a menudo una extensión de los nudos que no es necesaria en el caso de una realización fundida. Entre los nudos pueden colocarse como montantes en ángulo y también como tirantes diagonales para mejorar adicionalmente la rentabilidad preferiblemente perfiles de tubo convencionales, por ejemplo procedentes de la construcción de tuberías. La conexión puede producirse por ejemplo a través de bridas de tornillo o a través de uniones soldadas.

El uso de nudos idénticos ofrece la ventaja de que los nudos pueden fabricarse de antemano y que los montantes en ángulo y los puntales, durante el montaje de la torre, sólo tienen que insertarse en los nudos y soldarse o atornillarse. Esto representa una disminución considerable de la carga de trabajo durante la construcción de la torre de celosía. Además por el efecto de serie pueden conseguirse ahorros de coste considerables en la fabricación de los nudos idénticos.

En particular en el caso de las instalaciones en alta mar que presentan una torre de celosía deben preverse tubos adicionales para el tendido de los cables para la conexión de red. Éstos, en el caso de las instalaciones en alta mar, ofrecen una superficie de ataque adicional para las olas con lo que sobre la torre de celosía actúan cargas adicionales. Por tanto, según una configuración ventajosa de la invención está previsto que los cables para la conexión de la turbina eólica a la red eléctrica estén tendidos en los montantes en ángulo del segmento de torre de celosía, con lo que se consigue una disminución de las cargas producidas por las olas. Según otra configuración ventajosa de la invención, dentro de los montantes en ángulo se han tendido previamente conductos para cables, dentro de los cuales discurren los cables. Éstos están realizados ventajosamente como tubos de plástico y permiten el tiro sencillo de los cables, después de haber erigido la torre y haberla anclado al fondo del mar.

Las características, aspectos y ventajas adicionales de la invención se darán a conocer en parte mediante la siguiente descripción y en parte se sugieren por la descripción o se obtienen con el uso práctico de la invención. Se describen en detalle y en una medida suficiente dos formas de realización de la invención. Se entiende que pueden utilizarse otras formas de realización y que pueden realizarse modificaciones sin alejarse del alcance de la invención. Por tanto, la siguiente descripción detallada no se considerará en un sentido limitado, en particular también pueden intercambiarse los detalles de las dos realizaciones según se desee.

La invención se explicará en detalle mediante los siguientes dibujos.

A este respecto muestra:

la figura 1: una turbina eólica en el estado de la técnica

la figura 2: una vista global de la realización de torre según la invención

la figura 3: una representación detallada de una forma de realización de una pieza de transición según la invención

la figura 4: una representación detallada de una forma de realización adicional de una pieza de transición según la invención

la figura 5: el desarrollo de la pared de la pieza de transición de la figura 4

La figura 1 muestra la representación de una turbina eólica en el estado de la técnica, en la que como torre portante (10) se han proyectado una sobre otra dos variantes de torre, una torre tubular (10A) y una torre de celosía (10B). La torre (10) porta una góndola de máquina (30) fijada de manera que puede girar alrededor del eje de torre vertical, sobre la que está montado un rotor (20) con al menos una pala de rotor (22) con una punta de pala (23) de manera que puede girar alrededor de un eje esencialmente horizontal. En este caso se representa una realización como rotor de tres palas, estando marcado el plano horizontal de la punta de pala de rotor (23) en la posición inferior con una línea de puntos (25).

Además del cojinete de rotor la góndola de máquina (30) tiene habitualmente un generador, dado el caso un engranaje, un sistema de seguimiento del viento, diferentes componentes eléctricos y sistemas auxiliares adicionales. Estos elementos no se han representado por motivos de claridad.

La torre tubular (10A) presenta por motivos de transporte varias uniones con bridas 12A. Estas uniones con bridas se realizan en el estado de la técnica como bridas anulares de un lado, que por regla general apuntan hacia dentro. Sólo la brida más inferior como transición a la cimentación (18A) se realiza en el estado de la técnica como brida en T (brida de dos hileras, que apunta hacia dentro y hacia fuera).

En la variante de realización como torre de celosía (10B) la transición a la brida anular de la góndola de máquina se realiza habitualmente mediante una pieza de transición (14B) relativamente corta, denominada elemento cilíndrico. La torre de celosía descansa por regla general sobre cimentaciones (18B) realizadas individualmente para cada montante en ángulo (11B).

Mediante las variantes de torre proyectadas una sobre otra de torre tubular (10A) y torre de celosía (10B), en el plano de las puntas de pala de rotor (25) se ilustra de manera muy clara que la distancia de la punta de pala con respecto a la torre (funcionamiento libre de la pala) en el caso de la torre de celosía (10B) es mucho menor y por tanto menos crítica que en el caso de la torre tubular (10A).

La figura 2 muestra la vista global de una turbina eólica con una realización de torre según la invención. Como en el caso de la figura 1 (20) designa el rotor y (30) la góndola de máquina. La torre (40) está compuesta en el segmento inferior (41) por una torre de celosía (42), que en la realización mostrada está dotada de cuatro montantes en ángulo (43) y una pluralidad de tirantes diagonales (44), y en el segmento superior (46) por una torre tubular (47) esencialmente tubular.

La unión de la torre de celosía (42) y de la torre tubular (47) se produce en una zona de transición, que está configurada de tal modo que se produce una adaptación óptima para el flujo de fuerza de la sección transversal de la torre de celosía a la torre tubular. La adaptación óptima para el flujo de fuerza indica en este caso una realización constructiva, que o bien mediante un cambio de geometría continuo crea una transición geométrica suave entre las diferentes formas de sección transversal del segmento de torre superior e inferior y por tanto evita picos de tensión en la zona de transición y/o bien desvía los picos de tensión existentes en la zona de transición mediante nervios y/o puntales adecuados a la construcción de conexión. Condición previa para la transición adecuada para el flujo de fuerza es una longitud vertical de la zona de transición en el estado erigido de al menos la longitud del radio del diámetro de torre tubular inferior y/o el uso de elementos portantes (cascos, nervios, puntales) que esencialmente unen los montantes en ángulo del poste de celosía inferior con la pared de la torre tubular superior.

En el ejemplo de realización representado la zona de transición está configurada de tal modo que directamente por debajo del plano horizontal (25) de la punta de pala de rotor (23) está dispuesta una pieza de transición (50), cuya extensión horizontal en la zona inferior (70) es considerablemente mayor (en más del 50%) que en la zona superior (60).

El segmento de torre superior (46) presenta en la zona inferior una inclinación (reducida) de la pared de tubo con respecto a la vertical, que se designa con α . De manera análoga, la inclinación de la zona superior de los montantes en ángulo (43) de la torre de celosía (42) en el segmento de torre inferior (41) se designa con β .

Para un segmento de torre de celosía optimizado, los montantes en ángulo (43) presentan una inclinación que se selecciona de tal modo que los montantes en ángulo (43), en el caso de una prolongación imaginaria de los montantes en ángulo (43) (representada en la figura 2 mediante una línea de puntos) coinciden en un punto de intersección virtual VS. La situación del punto de intersección virtual, en el ejemplo de realización representado, se dispone en una zona que visto desde la góndola se extiende una tercera parte de la longitud de torre hacia abajo. Según la combinación de fuerza transversal y momento de flexión, en el caso de carga que va a dimensionarse, el punto de intersección virtual óptimo también puede encontrarse por encima de la góndola.

La inclinación media de la pieza de transición (50), que se define como el ángulo entre la vertical y una línea imaginaria desde la extensión horizontal máxima en la zona superior (60) hasta la extensión horizontal máxima en la zona inferior (70), se designa con γ .

En la forma de realización representada, especialmente ventajosa de la invención γ es considerablemente mayor que la inclinación (β) del segmento de torre inferior (41) y también que la inclinación (α) del segmento de torre superior.

Sin embargo también sería concebible que los montantes en ángulo individuales estuvieran doblados y por tanto presentaran diferentes inclinaciones, con lo que también en este caso puede definirse una inclinación media de los montantes en ángulo de manera análoga a la pieza de transición.

La figura 3 muestra una representación detallada de una posible variante de realización de la torre según la invención con una pieza de transición como construcción de fundición de varias partes. A la derecha de la línea de simetría se representa la vista lateral, a la izquierda está la representación en corte (vertical). El segmento de torre

inferior se forma por la torre de celosía (42) representada en corte, que esencialmente está compuesta por cuatro montantes en ángulo (43) y tirantes diagonales (44). El segmento de torre superior se forma por la torre tubular (47) representada en corte con su pared (48).

- 5 Una realización según la invención de la pieza de transición (50) está realizada como construcción de fundición en construcción monocasco con una pared (52) y aberturas en forma de arco (53). La pieza de transición está unida en la zona superior (60) mediante una unión con bridas (61) con la torre tubular (47) y en la zona inferior (70) mediante cuatro uniones con placas (71) con los montantes en ángulo (43) de la torre de celosía (42).
- 10 En la zona superior (60) de la pieza de transición (50) la pared (52) pasa de manera fluida a una brida de tornillo (64) anular, de dos hileras. La pared (48) de la torre tubular (47) está soldada con una brida en T (62), que a través de un conjunto interno de tornillos (66) y un conjunto externo de tornillos (68) se atornilla con la brida (64) de la pieza de transición (50). La unión atornillada interna (66) está realizada como unión atornillada pasante habitual en la construcción metálica, la unión atornillada externa (68) está configurada en el ejemplo representado como unión atornillada de agujero ciego, porque de este modo se permite una distribución del grosor de pared de la pared (52) especialmente favorable para el flujo de fuerza. Evidentemente la pared (52) de la pieza de transición (50) también puede salir algo más hacia fuera de modo que también la unión atornillada externa (68) puede realizarse como unión atornillada pasante, aunque entonces la pieza de transición (50) se vuelve algo más pesada y por tanto más cara.
- 15
- 20 En la zona inferior (70) la pared (52) pasa en cuatro puntos de unión (72) a los montantes en ángulo (43). La unión se produce como unión con placas (71) mediante una placa externa (76) y una placa interna (78), que se atornillan con una pluralidad de tornillos con el punto de unión (72) así como el montante en ángulo (43). Como la inclinación del punto de unión (72) y la inclinación de la zona superior del montante en ángulo (41) son iguales, pueden utilizarse chapas planas como placas de unión (76, 78).
- 25
- Con respecto a una reducción del número de partes, una forma de realización adicional de la invención prevé una unión atornillada directa de los montantes en ángulo (43) con los puntos de unión (72) de la pieza de transición (50). Sin embargo, en esta forma de realización el flujo de fuerza del montante en ángulo (43) a la pared (52) de la pieza de transición (50) es algo menos favorable.
- 30
- Para reforzar la zona inferior (70) de la pieza de transición (50) se fijan soportes horizontales (45) entre los cuatro montantes en ángulo (43). Estos soportes pueden unir opcionalmente entre sí los montantes en ángulo (43) adyacentes o también los montantes en ángulo (43) enfrentados, y por tanto las barras diagonales de la torre de celosía (42). Dado el caso también pueden aprovecharse las dos posibilidades en conjunto para permitir una construcción especialmente rígida y por tanto ventajosa.
- 35
- La conexión de los tirantes diagonales (44) así como de los soportes horizontales (45) a la unión con placas (71) no se representa por motivos de simplicidad. Sin embargo, este tipo de uniones se conocen en una medida suficiente en el estado de la técnica, por ejemplo en la unión de montantes en ángulo de varias partes.
- 40
- Con un diámetro externo de la brida en T (62) de la torre tubular (47) de 4,3 m, la pieza de transición (50) representada presenta una altura de transporte de también aproximadamente 4,3 m con una anchura de transporte inferior de aproximadamente 7 m. Como estas dimensiones sólo pueden transportarse de manera limitada, una forma de realización preferida de la invención prevé una configuración de varias partes de la pieza de transición (50). Para ello la pieza de transición (50) está dividida por un plano de división vertical en una subpieza izquierda (57) y una subpieza derecha (58). Las subpiezas (57, 58) se atornillan entre sí con bridas de tornillo (56). Alternativamente a la brida de tornillo (56), un perfeccionamiento ventajoso adicional de la invención prevé uniones con placas para la unión de las subpiezas (57, 58) de la pieza de transición (50).
- 45
- 50 Mediante la división se reducen las dimensiones de transporte con un transporte en horizontal de las dos subpiezas (57, 58) hasta una altura de transporte de aproximadamente 3,5 m con una anchura de 4,3 m, con lo que dentro de Alemania es posible un transporte sin problemas.
- Una configuración especialmente ventajosa de la invención prevé también una división en cuatro partes de la pieza de transición de manera simétrica a la línea central, de modo que o bien todavía pueden conseguirse dimensiones de transporte menores o bien piezas de transición todavía mayores pueden seguir transportándose bien. Con piezas de transición considerablemente mayores según la invención está previsto dividir la pieza de transición adicionalmente en un plano horizontal.
- 55
- 60 La realización representada de la pieza de transición como construcción de fundición tiene la ventaja de que la pared (52) puede realizarse sin problemas con un espesor de pared variable, con lo que es posible un aprovechamiento de material muy eficaz. Las zonas con una alta sollicitación, como por ejemplo la transición curvada de manera convexa a la brida anular (64) o el punto de unión (72) configurado como unión con placas (71) al montante en ángulo (43) de la torre de celosía (42) pueden realizarse con espesores de pared mayores que las zonas con una sollicitación menor. Del mismo modo la delimitación de la abertura en forma de arco (54) puede estar dotada de un refuerzo realizado por ejemplo de forma abombada. Además la construcción de fundición permite una
- 65

transición optimizada para el flujo de fuerza y continua de la sección transversal redonda en la zona superior (60) de la pieza de transición (50) a la sección transversal cuadrada en el caso representado en la zona inferior (70) de la pieza de transición (50).

- 5 En particular, en el caso de usar el concepto de torre según la invención en alta mar resulta ventajoso aprovechar el espacio existente en la zona de transición de manera práctica colocando en el mismo, por ejemplo, equipos eléctricos (convertidores, instalaciones de mando, transformador), un almacén de piezas de recambio (dado el caso con un pequeño taller) o un refugio para el personal de mantenimiento o también una zona de visitas. Para ello la estructura portante existente puede ampliarse con paredes adicionales para formar un espacio cerrado que
- 10 evidentemente se dotará de las puertas de entrada y salida (de emergencia) necesarias, eventualmente ventanas y sistemas de climatización. En la instalación de los equipos eléctricos en la pieza de transición, una forma de realización especialmente ventajosa de la invención prevé instalar y someter a prueba estos equipos ya en fábrica, y transportar e instalar la pieza de transición con las piezas de montaje como denominado módulo de potencia.
- 15 La figura 4 muestra la representación detallada de otra variante de realización según la invención de una pieza de transición como construcción soldada. En la parte inferior de la figura 4 se representa una vista desde arriba sobre la pieza de transición (50) y en la parte superior un corte vertical a través de la pieza de transición a lo largo de la línea de corte A-B.
- 20 Como la construcción básica es muy parecida a la representada y explicada en detalle en la figura 3, esencialmente sólo se indicarán las diferencias.

La pared (52) de la pieza de transición (50) se forma por una chapa de grosor constante, que se sobrelamina en la zona superior y se pliega en la zona inferior (70) para adaptarse a la geometría de los montantes en ángulo (43). La

25 inclinación media (γ) de la pieza de transición (50), que se define como el ángulo entre la vertical y una línea imaginaria desde la extensión horizontal máxima en la zona superior (60) hasta la extensión horizontal máxima en la zona inferior (70) es considerablemente mayor que la inclinación de los montantes en ángulo (43) de la torre de celosía (42), y evidentemente también mayor que la de la torre tubular, porque ésta está configurada de manera cilíndrica en el ejemplo de realización representado.

30 El uso de una torre tubular cilíndrica permite una fabricación más económica y por tanto sólo es posible porque la torre de celosía está realizada muy rígida y así toda la construcción también puede realizarse con una rigidez suficiente cuando se prescinde de un ensanchamiento de la torre tubular que aumenta la rigidez. El uso de una torre tubular cilíndrica es adecuado en particular cuando el apoyo acimutal (disposición giratoria de la góndola sobre la

35 torre) se selecciona especialmente grande, porque entonces puede implementarse una realización suficientemente rígida de la torre tubular sin ensanchamiento.

Con respecto a una realización sencilla de la construcción soldada el punto de unión (72) presenta en la zona inferior (70) de la pieza de transición (50) una inclinación diferente de la inclinación de los montantes en ángulo (43).

40 Por tanto, la unión se produce mediante placas (76) dobladas, con una dimensión lo suficientemente robusta que absorberán la desviación del flujo de fuerza. Las placas dobladas pueden estar realizadas por chapa de acero gruesa y dado el caso soldada, aunque un perfeccionamiento según la invención también prevé la realización de las placas como componentes de fundición.

45 Como la desviación de fuerza deforma las uniones con placas hacia dentro (hacia el eje de torre), se prevén soportes horizontales (45) con una dimensión robusta diagonalmente entre en cada caso dos montantes en ángulo (43) enfrentados entre sí. (Por motivos de simplicidad, en la parte inferior de la figura 4 sólo se representa con líneas discontinuas un soporte (45) de este tipo). Mediante este modo de construcción puede controlarse de manera segura la desviación del flujo de fuerza y se obtiene una construcción muy rentable, aunque algo más pesada que

50 en el caso de la construcción de fundición.

Del mismo modo que en la construcción de fundición, un perfeccionamiento ventajoso de la invención prevé un refuerzo de las aberturas en forma de arco (53), que de manera especialmente ventajosa se realiza en forma de tira de chapa (55) soldada (como en el caso de un marco de puerta). Las ventajas de la realización como construcción

55 soldada son los costes de fabricación más reducidos con menos unidades y el procedimiento de verificación más sencillo por la inspección de obras.

La figura 5 muestra el desarrollo de la pared de la pieza de transición según la invención de la figura 4. La conformación estructuralmente muy favorable puede obtenerse de manera muy sencilla mediante las chapas fundidas a partir de chapa de acero en una sola pieza o preferiblemente en el caso representado de la torre de celosía con cuatro montantes en ángulo en 4 piezas (indicado con líneas discontinuas). La o las chapas se sobrelaminan para ello de manera cónica, en la zona de transición a los montantes en ángulo es ventajoso un plegado adicional de los cantos para garantizar una mejor transición a los montantes en ángulo. En caso de que no estén disponibles máquinas de laminación suficientemente grandes, la forma esencialmente redonda en la transición

60 a la brida superior puede obtenerse mediante una pluralidad de pequeños cantos plegados.

65

REIVINDICACIONES

1. Torre (40) para una turbina eólica grande con una potencia de más de 1,5 MW, que comprende una góndola de máquina (30) dispuesta sobre la torre (40), teniendo la góndola de máquina además del cojinete de rotor un generador, dado el caso un engranaje, un sistema de seguimiento del viento, diferentes componentes eléctricos y sistemas auxiliares adicionales, y comprendiendo un rotor (20) montado en la góndola de máquina de manera que puede girar alrededor de un eje esencialmente horizontal con un diámetro de rotor de más de 70 m, que presenta al menos una pala de rotor (22), con un segmento de torre superior (46), configurado de forma tubular, que en una zona de transición está unido con un segmento de torre inferior (41), configurado como torre de celosía (42), presentando la torre de celosía (42) al menos tres montantes en ángulo (43) y una pluralidad de tirantes diagonales, suponiendo el segmento de torre superior (46) al menos una sexta parte de toda la torre, siendo la sección transversal del segmento de torre inferior (41) por debajo de la zona de transición mayor que la sección transversal del segmento de torre superior (46), y estando configurada la zona de transición de tal modo que se produce una adaptación óptima para el flujo de fuerza de la sección transversal del segmento de torre inferior a la sección transversal del segmento de torre superior, creando esta adaptación óptima para el flujo de fuerza o bien mediante un cambio de geometría continuo una transición geométrica suave entre las diferentes formas de sección transversal del segmento de torre superior e inferior y por tanto evitando picos de tensión en la zona de transición, y/o bien desviando los picos de tensión existentes en la zona de transición mediante nervios y/o puntales adecuados a la construcción de conexión, ascendiendo la extensión vertical de la zona de transición a al menos la mitad del diámetro del segmento de torre superior en la zona de transición o limitando directamente con la misma, estando dispuesta la zona de transición por debajo del plano horizontal (25), que en el estado montado se define por la punta de pala (23) con la pala de rotor (22) colocada en perpendicular hacia abajo.
2. Torre (40) para una turbina eólica según la reivindicación 1, caracterizada por que la zona de transición está formada por una pieza de transición (50), que presenta una zona inferior (70), que puede unirse con el segmento de torre inferior (41) y una zona superior (60), que puede unirse con el segmento de torre superior (46).
3. Torre (40) para una turbina eólica según la reivindicación 2, caracterizada por que la zona inferior (70) de la pieza de transición está configurada de tal modo que su mayor extensión horizontal es al menos un 30%, preferiblemente más del 50% mayor que una extensión horizontal de la zona superior (60).
4. Torre (40) para una turbina eólica según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la zona superior (60) de la pieza de transición (50) está configurada de tal modo que la pieza de transición (50) puede unirse con el segmento de torre superior (46) por medio de una unión separable (61).
5. Torre (40) para una turbina eólica según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la pieza de transición (50) presenta una pared (52) y está realizada en construcción monocasco.
6. Torre (40) para una turbina eólica según la reivindicación anterior, caracterizada por que la forma básica de la pieza de transición (50) corresponde esencialmente a un tubo con una conicidad considerable, siendo la inclinación media (\square) de la pared (52) del tubo cónico con respecto al eje central mayor que la inclinación (\square) de la pared (48) de la zona inferior de la torre tubular (47) y/o que la inclinación (\square) de la zona superior de los montantes en ángulo (43) de la torre de celosía (42).
7. Torre para una turbina eólica según la reivindicación anterior, caracterizada por que la inclinación de los puntos de unión (72) en la zona inferior (70) de la pieza de transición (50) corresponde a la inclinación de la zona superior de los montantes en ángulo (43) de la torre de celosía (42).
8. Torre (40) para una turbina eólica según la reivindicación 1, caracterizada por que el segmento de torre inferior (41) configurado como torre de celosía (42) presenta varios tramos dispuestos uno sobre otro y un tramo comprende en cada caso los montantes en ángulo (43) y al menos un puntal (44) que discurre en diagonal entre los montantes en ángulo.
9. Torre (40) para una turbina eólica según la reivindicación anterior, caracterizada por que la inclinación de los puntales que discurren en diagonal en todos los tramos está configurada de la misma forma.
10. Torre (40) para una turbina eólica según la reivindicación anterior, caracterizada por que la torre para la unión de los montantes en ángulo (43) y los puntales (44) presenta nudos idénticos, que en particular están configurados como nudos de fundición.
11. Torre (40) para una turbina eólica según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que en el espacio existente en la zona de transición se disponen equipos eléctricos, un almacén de piezas de recambio, un refugio para el personal de mantenimiento o una zona de visitas.
12. Torre (40) para una turbina eólica según la reivindicación anterior, formándose la zona de transición por una pieza de transición (50), caracterizada por que en la pieza de transición (50) están dispuestos unos equipos

eléctricos, y la pieza de transición (50) con los equipos instalados y sometidos a prueba de fábrica está configurada como módulo de potencia que puede transportarse e instalarse.

- 5 13. Torre (40) para una turbina eólica según la reivindicación 1, caracterizada por que unos cables para la conexión de la turbina eólica a la red eléctrica están tendidos en los montantes en ángulo (43) configurados como perfil hueco, y/o por que dentro de los montantes en ángulo (43) se han tendido unos conductos para cables, dentro de los cuales discurren los cables.
- 10 14. Torre (40) para una turbina eólica según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que se trata de una torre para una turbina eólica en alta mar.
- 15 15. Sistema de torre modular para una torre de una turbina eólica según una de las reivindicaciones anteriores, compuesta por el segmento de torre superior esencialmente tubular y el segmento de torre inferior, estando realizado el segmento de torre inferior (41) como diferentes segmentos de torre inferiores realizados como torre de celosía, caracterizado por que la altura total de la torre puede realizarse de manera variable mediante diferentes alturas de construcción de la torre de celosía.
16. Turbina eólica con una torre según una de las reivindicaciones anteriores.

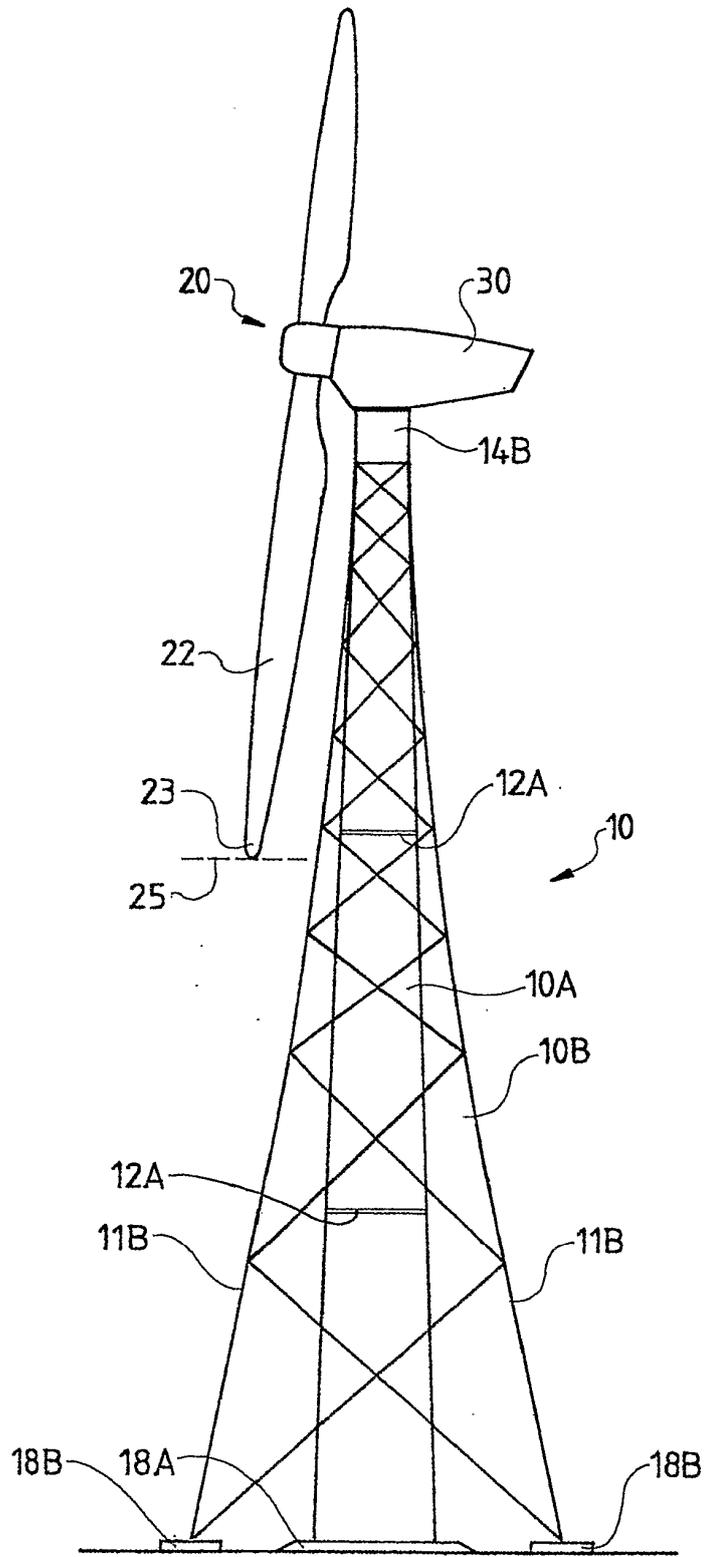


Fig. 1

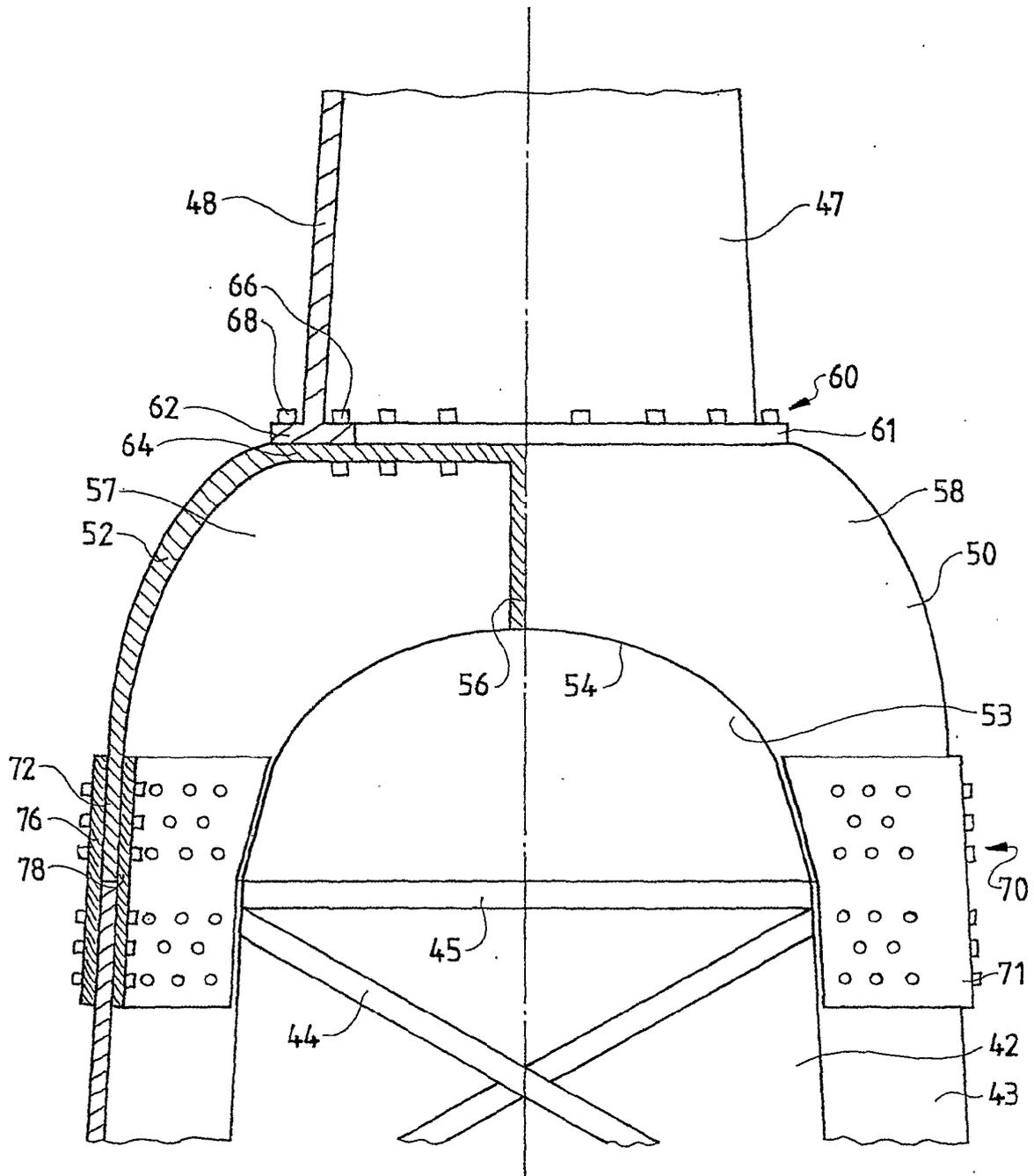


Fig. 3

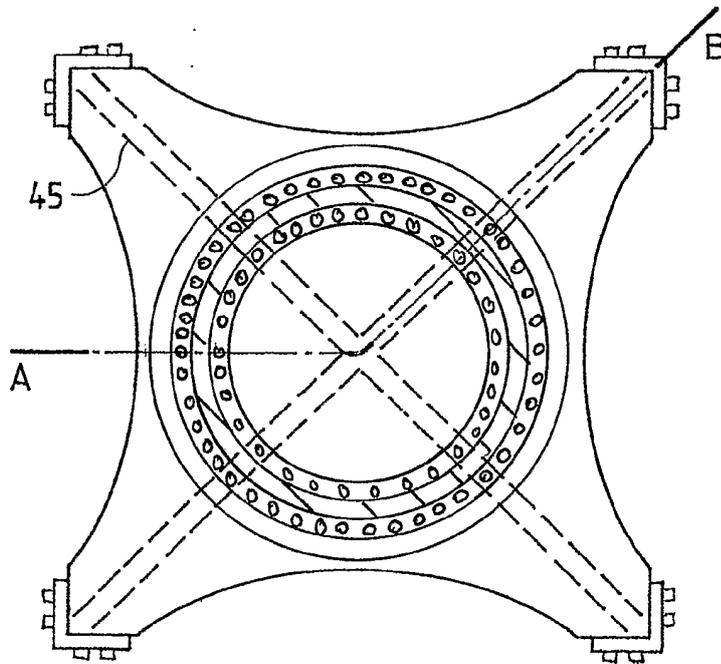
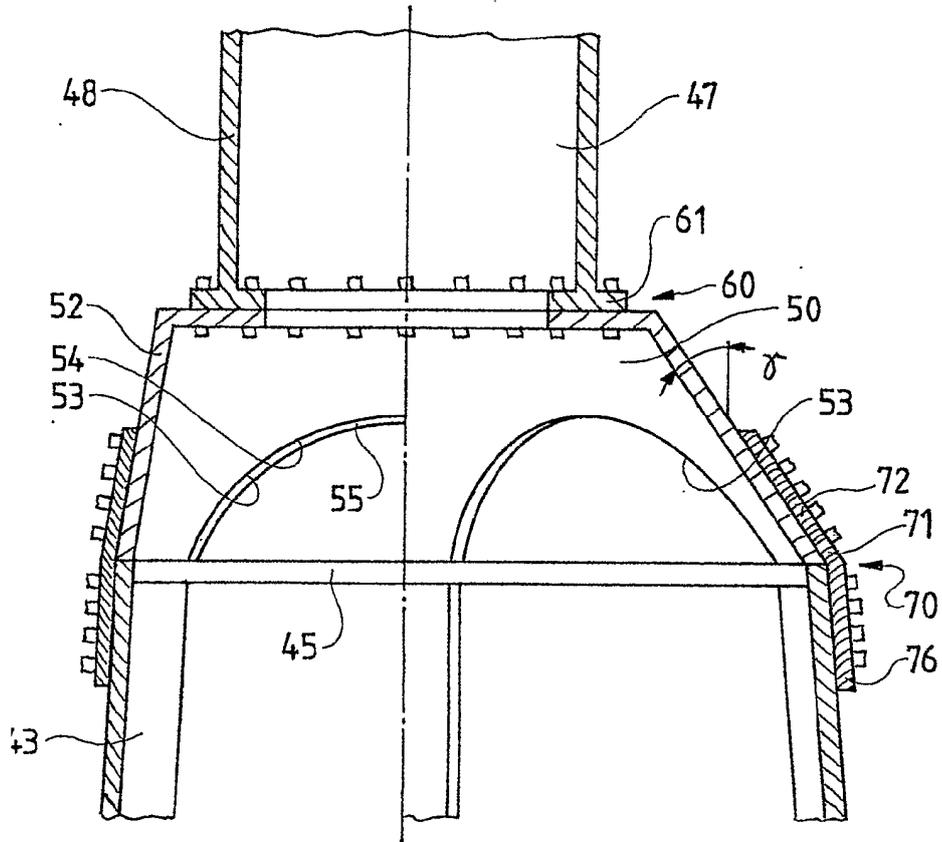


Fig. 4

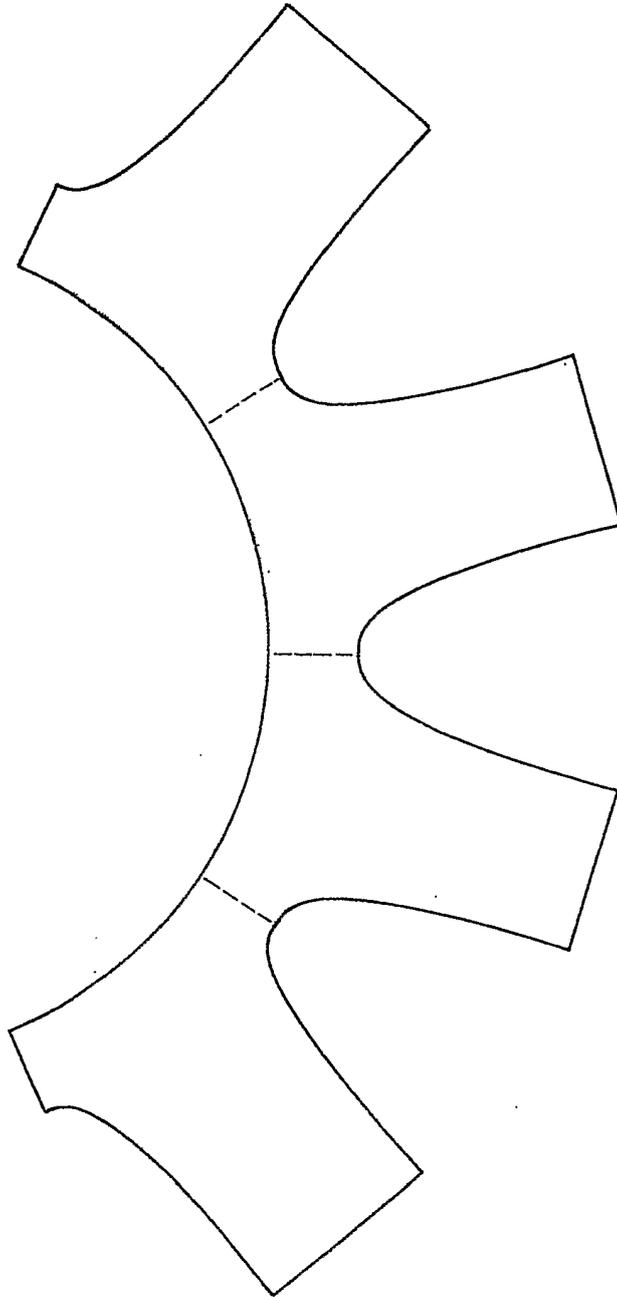


Fig. 5