

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902077178A1

Publication Date

20140210

Applicant

VORTEX ENERGY S.R.L. ORA WIND TWENTYONE S.R.L.

Title

ROTORE DI TURBINA EOLICA AD ASSE VERTICALE

ROTORE DI TURBINA EOLICA AD ASSE VERTICALE

DESCRIZIONE

Il presente trovato ha per oggetto un rotore di turbina eolica ad asse verticale.

Ad oggi in Europa il 20% del fabbisogno di energia elettrica è ottenuto mediante fonti rinnovabili, e più di un quarto di tale 20% è dato da energia prodotta da impianti di tipo eolico.

Tale percentuale è destinata a crescere nel prossimo futuro, secondo le direttive della Commissione dell'Unione Europea sulle Energie Rinnovabili, fino ad una produzione di energia elettrica proveniente da fonti rinnovabili del 34% del totale dell'energia prodotta, con il 14% proveniente da fonte eolica.

Le turbine eoliche operanti negli impianti eolici sono prevalentemente del tipo ad asse orizzontale, con un rotore a tre pale.

E' tuttavia in aumento, negli ultimi anni, l'interesse per le turbine eoliche ad asse verticale, soprattutto per impianti di piccole dimensioni, con l'obiettivo di decentralizzare la produzione di energia elettrica dai grandi impianti sia verso l'interno delle città sia verso

i piccoli paesi.

Le turbine ad asse verticale presentano alcuni vantaggi rispetto alle turbine ad asse orizzontale, tra i quali l'indipendenza di funzionamento rispetto alla direzione di provenienza del vento, una minore emissione acustica, dovuta alle modeste velocità periferiche delle sezioni palari, ed anche un più gradevole impatto visivo dovuto allo sviluppo sostanzialmente tridimensionale della loro struttura, contro la bidimensionalità tipica dei generatori ad asse orizzontale, costituiti normalmente da una elica portata da un lungo palo. Tra le turbine eoliche ad asse verticale è molto utilizzata la tipologia detta "a portanza", il cui modello più conosciuto è costituito dalla turbina Darrieus.

Le turbine Darrieus comprendono generalmente un albero da disporre con asse verticale dal quale si allungano radialmente razze di supporto per almeno due pale sviluppantisi dal basso verso l'alto secondo traiettorie rettilinee o curve, anch'esse ad asse verticale o inclinato in direzione tangenziale, ovvero sviluppantisi secondo una

linea elicoidale.

Tra le turbine di tale tipologia rientrano anche quelle le cui pale sono caratterizzate da una geometria cosiddetta "troposkiana", termine derivante dall'anglosassone 'troposkein' e preposto a denominare quella forma che assume una corda in rotazione fissata per le sue estremità all'asse di rotazione.

Diversi studi sono stati condotti su turbine eoliche ad asse verticale con pale di forma troposkiana o assimilabile ad essa, infatti la geometria troposkiana è spesso riprodotta in modo semplificato tramite configurazioni similari, come ad esempio una linea comprendente una parte centrale ad arco di cerchio e due parti, superiore ed inferiore rispetto alla parte centrale, rettilinee, oppure tramite altre curve molto simili.

Sheldahl ed altri, nella pubblicazione "Aerodynamic Performance of a 5-Metre-Diameter Darrieus Turbine With Extruded Aluminium NACA-0015 Blades", codice pubblicazione SAND80-0179, hanno sviluppato una turbina ad asse verticale di forma assimilabile alla troposkiana, avente cinque metri

di diametro e costituita da sezioni con profilo aerodinamico palare di tipo NACA 0015, svolgendo test di misura in campo aperto delle relative prestazioni.

Sheldahl, nel documento "Comparison of Field and Wind Tunnel Darrieus Wind Turbine Data", codice pubblicazione SAND80-2469, descrive lo sviluppo di una turbina ad asse verticale di forma assimilabile alla troposkiana, avente due metri di diametro e costituita da sezioni palari di tipo NACA 0012, svolgendo test aerodinamici sia in galleria del vento che in campo aperto.

Ashwill e Leonard nel documento "Developments in Blade Shape Design for a Darrieus Vertical Axis Wind Turbine", codice pubblicazione SAND86-1085, propongono un codice numerico per supportare i progettisti di turbine eoliche nello sviluppo di geometrie troposkiane o assimilabili, considerando anche eventuali modeste deviazioni geometriche sulle pale dovute alla forza gravitazionale, giungendo a definire una turbina a pale troposkiane dalle caratteristiche palari variabili in modo discreto.

Ashwill nel documento "Mesured Data for the Sandia

34-Meter Vertical Axis Wind Turbine", codice pubblicazione SAND91-2228, documenta le misure in campo aperto delle prestazioni di una turbina ad asse verticale di forma assimilabile alla troposkiana, avente 17,1 metri di raggio, costituita da sezioni palari alle estremità di tipo NACA 0021 e nella porzione centrale di tipo SANDIA 0018/50, la cui corda si restringe nella parte centrale della pala.

Brevetti inerenti a turbine eoliche ad asse verticale con pale di forma troposkiana o assimilabile sono altresì reperibili nella letteratura tecnica: il brevetto US 5,405,246 a nome Goldberg descrive un rotore avente pale a sviluppo elicoidale e di forma approssimativamente troposkiana, con sezioni palari aventi corda variabile, massima in corrispondenza dei punti della pala a maggior distanza dall'asse di rotazione, e da un rapporto spessore pala/corda approssimativamente costante.

Tutte le configurazioni di turbina con rotore a pale di forma troposkiana o assimilabile sopra descritte presentano la comune peculiarità di avere una sola tipologia di profilo aerodinamico

di sezione, oppure di ricorrere ad un numero discreto di tipologie di profilo aerodinamico lungo l'intera estensione palare.

Dal momento che la distanza delle sezioni palari dall'asse di rotazione varia con continuità lungo lo sviluppo palare, l'utilizzo di un numero discreto di profili aerodinamici comporta una non ottimizzata prestazione aerodinamica del rotore, che potrebbe invece essere incrementata ricorrendo ad una variazione continua della tipologia di profilo aerodinamico in funzione della distanza di ogni sezione palare dall'asse di rotazione. In tal senso, il documento brevettuale GB 2404227 a nome Cochrane descrive un rotore avente pale a sviluppo elicoidale ed a forma approssimativamente troposkiana con corda variabile, corda che si riduce in corrispondenza delle estremità palari. Il rapporto spessore/corda risulta crescente in prossimità degli attacchi palari.

In tal caso, pur essendo i profili aerodinamici preferibilmente variabili con continuità lungo l'estensione palare, non viene determinata una legge di variazione tale da massimizzare il rendimento della turbina.

Il compito del presente trovato è quello di realizzare un rotore di turbina eolica ad asse verticale, capace di ovviare ai citati inconvenienti della tecnica nota.

Nell'ambito di tale compito, uno scopo del trovato è quello di mettere a punto un rotore di turbina che assicuri un rendimento della turbina migliore rispetto alle analoghe e sopra citate turbine di tipo noto.

Non ultimo scopo del trovato, è quello di mettere a punto un rotore di turbina eolica ad asse verticale, realizzabile con impianti e tecnologie note.

Questo compito, nonchè questi ed altri scopi che meglio appariranno in seguito, sono raggiunti da un rotore di turbina eolica ad asse verticale, comprendente un albero ad asse verticale dal quale si allungano radialmente razze di supporto per almeno due pale a geometria troposkiana o assimilabile, caratterizzato dal fatto che ciascuna pala presenta

- corda massima, della sezione ortogonale all'asse di sviluppo della pala, in corrispondenza di almeno una delle sue estremità superiore ed

inferiore, e corda minima in corrispondenza della sua parte centrale, la corda variando con continuità tra tali valori massimo e minimo,

- rapporto tra spessore e corda che è massimo nella sua parte centrale e minimo in corrispondenza di almeno una delle estremità superiore ed inferiore, detto rapporto spessore / corda variando con continuità tra detti valori massimo e minimo.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi del trovato risulteranno maggiormente dalla descrizione di una forma di esecuzione preferita, ma non esclusiva, del rotore di turbina eolica secondo il trovato, illustrata, a titolo indicativo e non limitativo, negli uniti disegni, in cui:

- la figura 1 illustra in modo semplificato un rotore secondo il trovato;
- la figura 2 rappresenta una vista frontale di una pala di un rotore secondo il trovato;
- la figura 3 rappresenta una vista laterale di una pala di un rotore secondo il trovato;
- la figura 4 rappresenta la sezione indicata dalla linea IV-IV in figura 3;
- la figura 5 rappresenta la sezione indicata

dalla linea V-V in figura 3;

- la figura 6 rappresenta la sezione indicata dalla linea VI-VI in figura 3;

- la figura 7 rappresenta la sezione indicata dalla linea VII-VII in figura 3;

- la figura 8 rappresenta l'andamento della lunghezza della corda rapportato alla posizione della sezione palare rispetto alla base del rotore;

- la figura 9 rappresenta l'andamento del rapporto tra spessore sezione palare e corda della medesima sezione a sua volta rapportato alla posizione della sezione palare rispetto alla base del rotore;

- la figura 10 rappresenta un grafico di confronto tra il rendimento di una turbina di tipo noto e una turbina dotata di rotore secondo il trovato.

Con riferimento alle figure citate, un rotore di turbina eolica ad asse verticale secondo il trovato è indicato nel suo complesso con il numero 10.

Tale rotore 10 comprende un albero 11 ad asse verticale dal quale si allungano radialmente razze, tre equidistanziate nell'esempio qui

descritto, 12, 13 e 14 superiori e 12a, 13a e 14a inferiori, di supporto per altrettante pale 15, 16 e 17 a geometria troposkiana o assimilabile.

La peculiarità del trovato risiede nel fatto che ciascuna pala, si prenda ad esempio la pala 16 nelle figure 2, 3 e seguenti, presenta, come da figura 4, corda massima A1, della sezione ortogonale all'asse di sviluppo della pala, in corrispondenza delle sue estremità superiore 18 ed inferiore 19, e corda minima A2, come da figura 7, in corrispondenza della sua parte centrale 20, e in particolare nella sezione mediana 21.

La corda A varia con continuità tra tali valori massimo A1 e minimo A2, come ben visibile dalle linee della vista frontale di figura 2 della pala 16.

A titolo esemplificativo, in figura 5 è rappresentata una terza sezione palare, in cui la corda A3 ha valore inferiore alla corda massima A1 e superiore alla corda minima A2; similmente in figura 6 è rappresentata una quarta sezione palare in cui la corda A4 ha valore compreso tra la corda A3 e la corda A2, minima.

La geometria palare del rotore 10, oggetto del

trovato, presenta un'evoluzione della corda, massima in corrispondenza delle estremità palari 18 e 19 e minima in corrispondenza della sezione mediana 21, secondo un andamento qualitativo schematizzato nella figura 8.

Nel presente esempio realizzativo del trovato, ciascuna pala 15, 16, 17 è simmetrica rispetto alla sezione mediana 21.

Tale soluzione geometrica è ovviamente da intendersi esemplificativa, e non limitativa, del trovato.

Nel grafico di figura 8:

- Hrot rappresenta l'altezza totale del rotore;
- h rappresenta la distanza della generica sezione palare rispetto alla base del rotore;
- A rappresenta la corda della generica sezione palare;
- A2 rappresenta il valore della corda palare minima, in corrispondenza della sezione mediana 21 del rotore;
- A1 rappresenta il valore della corda palare massima, in corrispondenza delle estremità superiore 18 ed inferiore 19 del rotore 10.

L'andamento della corda A in funzione della

distanza h della generica sezione palare rispetto alla base del rotore è rettilineo tra la sezione mediana 21 e le estremità 18 e 19.

Tale soluzione geometrica è ovviamente da intendersi esemplificativa e non limitativa del trovato.

La peculiarità del trovato risiede anche nel fatto che ciascuna pala, si prenda ad esempio la pala 16 nelle figure 2, 3 e seguenti, presenta un rapporto C tra spessore B e corda A che è massimo, C_1 , nella sua parte centrale 20 e minimo, C_2 , in corrispondenza delle estremità superiore 18 ed inferiore 19.

Il rapporto C spessore / corda varia con continuità tra i valori massimo C_1 e minimo C_2 .

In concomitanza con il sopra descritto andamento della corda, il rapporto C spessore/corda (B/A) della sezione palare presenta un andamento rettilineo qualitativamente rappresentato nella figura 9, soluzione geometrica ovviamente esemplificativa, e non limitativa, del trovato.

Il rapporto C tra spessore e corda B/A della generica sezione palare presenta un andamento rettilineo tra la sezione mediana 21 e le

estremità palari 18, 19.

In particolare, il valore di C è massimo non solo nella sezione mediana 21 ma è tale in modo costante in tutta la parte centrale 20, ove con 'parte centrale' si intende ad esempio una porzione palare attorno alla sezione mediana 21 sviluppantesi tra un massimo corrispondente al 50% dell'altezza rotorica H_{rot} , ed un minimo corrispondente sostanzialmente ad un intorno della sezione mediana.

Il presente trovato riguarda quindi un rotore 10 dotato di pale aventi particolare configurazione con forma troposkiana o assimilabile, presentanti distribuzione ottimizzata di corda e spessore delle sezioni palari, tale da massimizzare il rendimento aerodinamico della pala stessa.

La geometria descritta può essere applicata a rotorì costituiti da due o più pale.

In particolare, il trovato garantisce il massimo rendimento della turbina di cui il rotore 10 è parte, quando il valore del rapporto corda/(corda massima), ovvero A/A_1 , in funzione dell'altezza h è definito dalle seguenti formule:

per $h/H_{rot} \leq 0.5$

$$h/H_{rot} = - 0.849 \cdot (A/A_1) + 0.850$$

per $h/H_{rot} > 0.5$

$$h/H_{rot} = 0.849 \cdot (A/A_1) + 0.150$$

Variazioni del rapporto corda/(corda massima), ovvero A/A_1 , inferiori a $\pm 10\%$ rispetto ai valori determinati dalle formule proposte non inficiano le prestazioni del rotore e sono da considerare ricomprese all'interno della presente invenzione. Inoltre, la concomitante evoluzione del rapporto spessore/corda B/A della sezione palare in funzione dell'altezza h è vantaggiosamente governata dalle seguenti formule:

per $h/H_{rot} \leq 0.33$

$$h/H_{rot} = 2.727 \cdot (B/A) - 0.330$$

per $0.33 \leq h/H_{rot} \leq 0.67$

$$h/H_{rot} = 0.24$$

per $h/H_{rot} > 0.67$

$$h/H_{rot} = - 2.727 \cdot (B/A) + 1.330$$

Anche in questo caso, variazioni del rapporto spessore/corda (B/A) inferiori a $\pm 10\%$ rispetto ai valori determinati dalle formule proposte non inficiano le prestazioni del rotore e sono da considerare ricomprese all'interno della presente invenzione.

Le Figure da 3 a 7 illustrano un esempio del sopra descritto andamento delle sezioni palari in funzione dell'altezza h della generica sezione palare rispetto ad una base del rotore 10, non illustrata per semplicità.

In figura 3 sono evidenziate le posizioni delle sezioni palari rappresentate nelle successive figure da 4 a 7 in funzione dell'altezza della generica sezione palare rispetto alla base del rotore:

Sez IV-IV: $h/H_{rot}=1$;

Sez V-V: $h/H_{rot}=0.833$;

Sez VI-VI: $h/H_{rot}=0.667$;

Sez VII-VII: $h/H_{rot}=0.500$.

In figura 4 è rappresentata la sezione palare IV-

IV ortogonale all'asse della pala stessa, avente rapporti geometrici $A1/A1=1.000$ e $B1/A1=0.121$.

In figura 5 è rappresentata la sezione palare V-V, ortogonale all'asse della pala stessa, avente rapporti geometrici $A3/A1=0.804$ e $B3/A3=0.182$).

In figura 6 è rappresentata la sezione palare VI-VI ortogonale all'asse della pala stessa, avente rapporti geometrici $A4/A1=0.609$ e $A4/B4=0.2400$.

In figura 7 è rappresentata la sezione palare VII-VII ortogonale all'asse della pala stessa, avente rapporti geometrici $A2/A1=0.412$ e $B2/A2=0.2400$.

A titolo d'esempio, la figura 10 illustra il risultato di una simulazione numerica, basata sul metodo BE-M (Blade Element - Momentum) descritto nel documento di Raciti Castelli, Fedrigo e Benini "Effect of Dynamic Stall, Finite Aspect Ratio and Streamtube Expansion on VAWT Performance Prediction using the BE-M Model" apparso nell'"International Journal of Mechanical and Aerospace Engineering" numero 6 del 2012.

In tale figura 10 sono messe a confronto le prestazioni aerodinamiche del rotore studiato da Sheldahl nel sopra menzionato documento "Comparison of Field and Wind Tunnel Darrieus Wind

Turbina Data", codice documento SAND80-2469, e quelle di un rotore 10 secondo il presente trovato di pari area spazzata.

In particolare, la figura riporta l'andamento del coefficiente di potenza, definito da:

$$C_p = P / (\frac{1}{2} \rho A V^3)$$

essendo:

P la potenza meccanica all'asse del rotore;

ρ la densità dell'aria;

A l'area spazzata del rotore;

V la velocità indisturbata del vento a monte del rotore,

in funzione del rapporto di velocità periferica, definito da:

$$TSR = \omega R_{max} / V$$

essendo:

ω la velocità angolare del rotore;

R_{max} il raggio massimo del rotore (in corrispondenza della mezzeria del rotore stesso);

V la velocità indisturbata del vento a monte del rotore.

La curva di funzionamento del rotore analizzato da Sheldahl è indicata a tratteggio, mentre la curva di un rotore 10 di pari area spazzata avente le caratteristiche della presente invenzione è indicata a linea continua.

La maggiore potenza meccanica all'asse del rotore ottenuta per tramite della presente invenzione risulta chiaramente visibile.

Si è in pratica constatato come il trovato raggiunga il compito e gli scopi preposti.

In particolare, con il trovato si è messo a punto un rotore di turbina eolica ad asse verticale che assicura un rendimento della turbina migliore rispetto alle analoghe e sopra citate turbine di tipo noto.

Tale rotore di turbina eolica ad asse verticale, è ovviamente realizzabile con impianti e tecnologie note.

Il trovato, così concepito, è suscettibile di numerose modifiche e varianti, tutte rientranti nell'ambito del concetto inventivo; inoltre, tutti

i dettagli potranno essere sostituiti da altri elementi tecnicamente equivalenti.

In pratica, i materiali impiegati, purché compatibili con l'uso specifico, nonché le dimensioni e le forme contingenti, potranno essere qualsiasi a seconda delle esigenze e dello stato della tecnica.

Ove le caratteristiche e le tecniche menzionate in qualsiasi rivendicazione siano seguite da segni di riferimento, tali segni sono stati apposti al solo scopo di aumentare l'intelligibilità delle rivendicazioni e di conseguenza tali segni di riferimento non hanno alcun effetto limitante sull'interpretazione di ciascun elemento identificato a titolo di esempio da tali segni di riferimento.

RIVENDICAZIONI

1) Rotore di turbina eolica ad asse verticale (10), comprendente un albero (11) ad asse verticale dal quale si allungano radialmente razze (12, 13) di supporto per almeno due pale (15, 16) a geometria troposkiana o assimilabile, caratterizzato dal fatto che ciascuna pala (15, 16) presenta

- corda massima (A1), della sezione ortogonale all'asse di sviluppo della pala, in corrispondenza di almeno una delle sue estremità superiore (18) ed inferiore (19), e corda minima (A2) in corrispondenza della sua parte centrale (20), la corda (A) variando con continuità tra tali valori massimo (A1) e minimo (A2),

- rapporto (C) tra spessore (B) e corda (A) che è massimo (C1) nella sua parte centrale (20) e minimo (C2) in corrispondenza di almeno una delle estremità superiore (18) ed inferiore (19), detto rapporto (C) spessore / corda variando con continuità tra detti valori massimo (C1) e minimo (C2).

2) Rotore secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che l'andamento della

corda (A) in funzione della distanza (h) della generica sezione palare rispetto alla base del rotore, è rettilineo tra la sezione mediana (21) e le estremità (18, 19).

3) Rotore, secondo le rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che le estremità palari (18, 19) presentano entrambe corda massima (A1).

4) Rotore, secondo le rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che ciascuna pala (15, 16) è simmetrica rispetto alla sezione mediana (21).

5) Rotore, secondo le rivendicazioni precedenti, che si caratterizza per il fatto che il rapporto (C) tra spessore e corda (B/A) della generica sezione palare presenta un andamento rettilineo tra la sezione mediana (21) e le estremità palari (18, 19).

6) Rotore secondo le rivendicazioni precedenti, che si caratterizza per il fatto che il valore del rapporto (C) è massimo (C1) in modo costante in tutta la parte centrale (20), ove con 'parte centrale' si intende una porzione palare attorno alla sezione mediana (21) sviluppantesi tra un massimo corrispondente al 50% dell'altezza

rotorica (H_{rot}), ed un minimo corrispondente sostanzialmente ad un intorno della sezione mediana (21).

7) Rotore secondo le rivendicazioni precedenti, che si caratterizza per il fatto che il valore del rapporto corda/(corda massima) (A/A_1), in funzione dell'altezza (h) di una sezione palare è definito dalle seguenti formule:

per $h/H_{rot} \leq 0.5$

$$h/H_{rot} = - 0.849*(A/A_1) + 0.850$$

per $h/H_{rot} > 0.5$

$$h/H_{rot} = 0.849*(A/A_1) + 0.150$$

con variazioni del rapporto corda/(corda massima), (A/A_1) accettabili se inferiori a $\pm 10\%$ rispetto ai valori determinati dalle formule proposte.

8) Rotore secondo le rivendicazioni precedenti, che si caratterizza per il fatto che il rapporto spessore/corda (B/A) della sezione palare in funzione dell'altezza (h) è governato dalle seguenti formule:

per $h/H_{rot} \leq 0.33$

$$h/H_{rot} = 2.727*(B/A) - 0.330$$

per $0.33 \leq h/H_{rot} \leq 0.67$

$$h/H_{rot} = 0.24$$

per $h/H_{rot} > 0.67$

$$h/H_{rot} = - 2.727 \cdot (B/A) + 1.330$$

con variazioni del rapporto spessore/corda (B/A)
accettabili se inferiori a $\pm 10\%$ rispetto ai valori
determinati dalle formule proposte.

CLAIMS

1. A rotor of a vertical-axis wind turbine (10), comprising a shaft (11) having a vertical axis from which spokes (12, 13) protrude radially to support at least two blades (15, 16) having a troposkein geometry or the like, characterized in that

each blade (15, 16) has

- the maximum chord (A1) of the cross-section at right angles to the longitudinal axis of the blade at at least one of its upper (18) and lower (19) ends, and the minimum chord (A2) at its central part (20), the chord varying continuously between these maximum (A1) and minimum (A2) values,

- a ratio (C) between thickness (B) and chord (A) that is highest (C1) in its central part (20) and lowest (C2) at at least one of the upper (18) and lower (19) ends, said thickness/chord ratio (C) varying continuously between said maximum (C1) and minimum (C2) values.

2. The rotor according to claim 1, characterized in that the plot of the chord (A) as a function of the distance (h) of the generic

blade section with respect to the base of the rotor is rectilinear between the middle cross-section (21) and the ends (18, 19).

3. The rotor according to the preceding claims, characterized in that the blade ends (18, 19) both have the maximum chord (A1).

4. The rotor according to the preceding claims, characterized in that each blade (15, 16, 17) is symmetrical with respect to the middle cross-section (21).

5. The rotor according to the preceding claims, characterized in that the ratio (C) between the thickness and the chord (B/A) of the generic blade section has a rectilinear plot between the middle cross-section (21) and the blade ends (18, 19).

6. The rotor according to the preceding claims, characterized in that the value of the ratio (C) is maximum (C1) constantly in all the central part (20), where the expression "central part" is understood to reference a blade portion around the middle cross-section (21) that is extended between a maximum, which corresponds to 50% of the rotor height (Hrot), and a minimum,

which corresponds substantially to a neighborhood of the central cross-section (21).

7. The rotor according to the preceding claims, characterized in that the value of the chord/(maximum chord) ratio (A/A_1) as a function of the height (h) of a blade cross-section is defined by the following formulas:

for $h/H_{rot} \leq 0.5$

$$h/H_{rot} = -0.849 \cdot (A/A_1) + 0.850$$

for $h/H_{rot} > 0.5$

$$h/H_{rot} = 0.849 \cdot (A/A_1) + 0.150$$

with variations of the chord/(maximum chord) ratio (A/A_1) which are acceptable if lower than $\pm 10\%$ with respect to the values determined by the proposed formulas.

8. The rotor according to the preceding claims, characterized in that the thickness/chord ratio (B/A) of the blade section as a function of height (h) is ruled by the following formulas:

for $h/H_{rot} \leq 0.33$

$$h/H_{rot} = 2.727 \cdot (B/A) - 0.330$$

for $0.33 \leq h/H_{rot} \leq 0.67$

$$h/H_{rot} = 0.24$$

for $h/H_{rot} > 0.67$

$$h/H_{rot} = - 2.727*(B/A) + 1.330$$

in which variations of the thickness/chord ratio (B/A) of less than $\pm 10\%$ with respect to the values determined by the proposed formulas do not compromise the performance of the rotor.

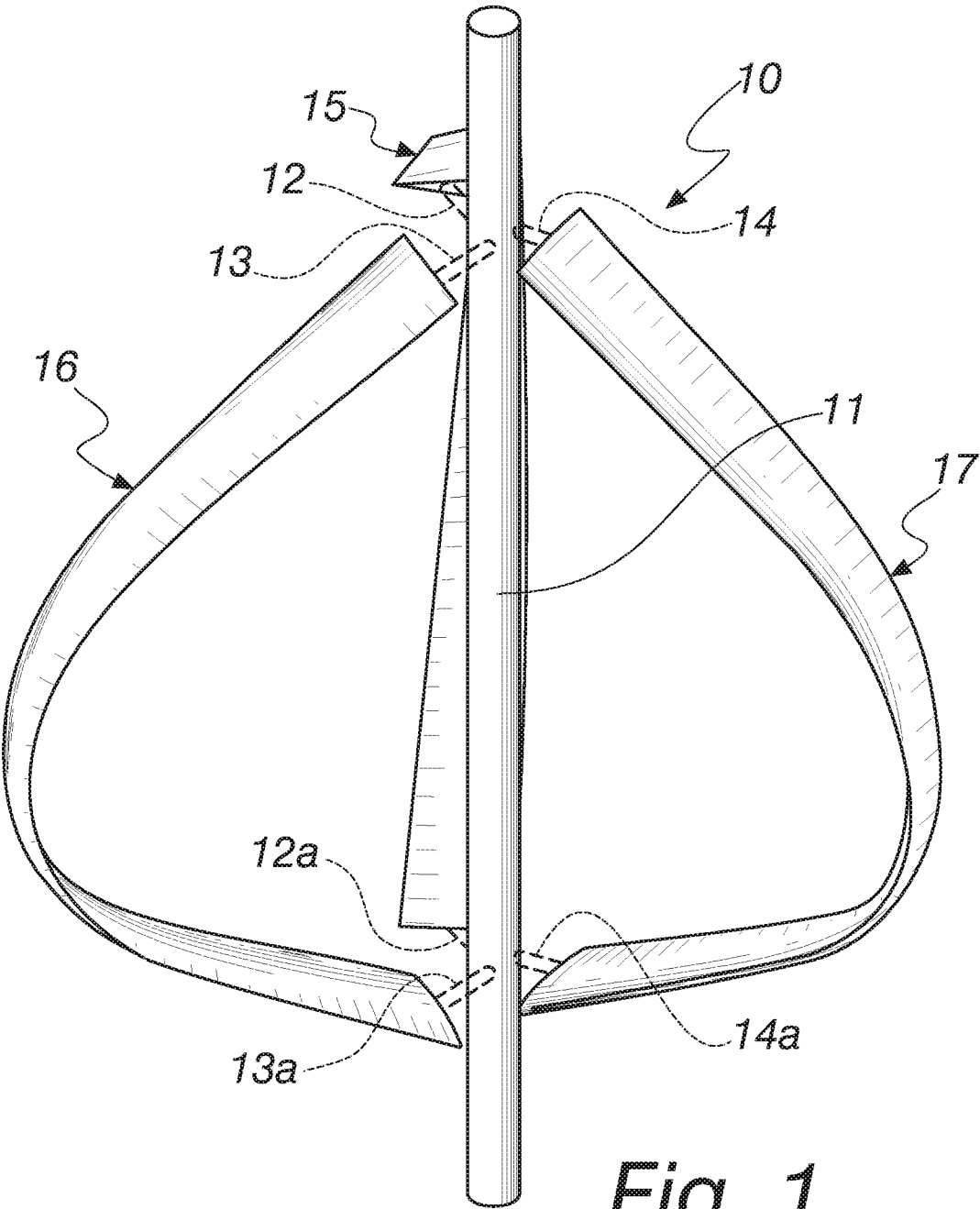
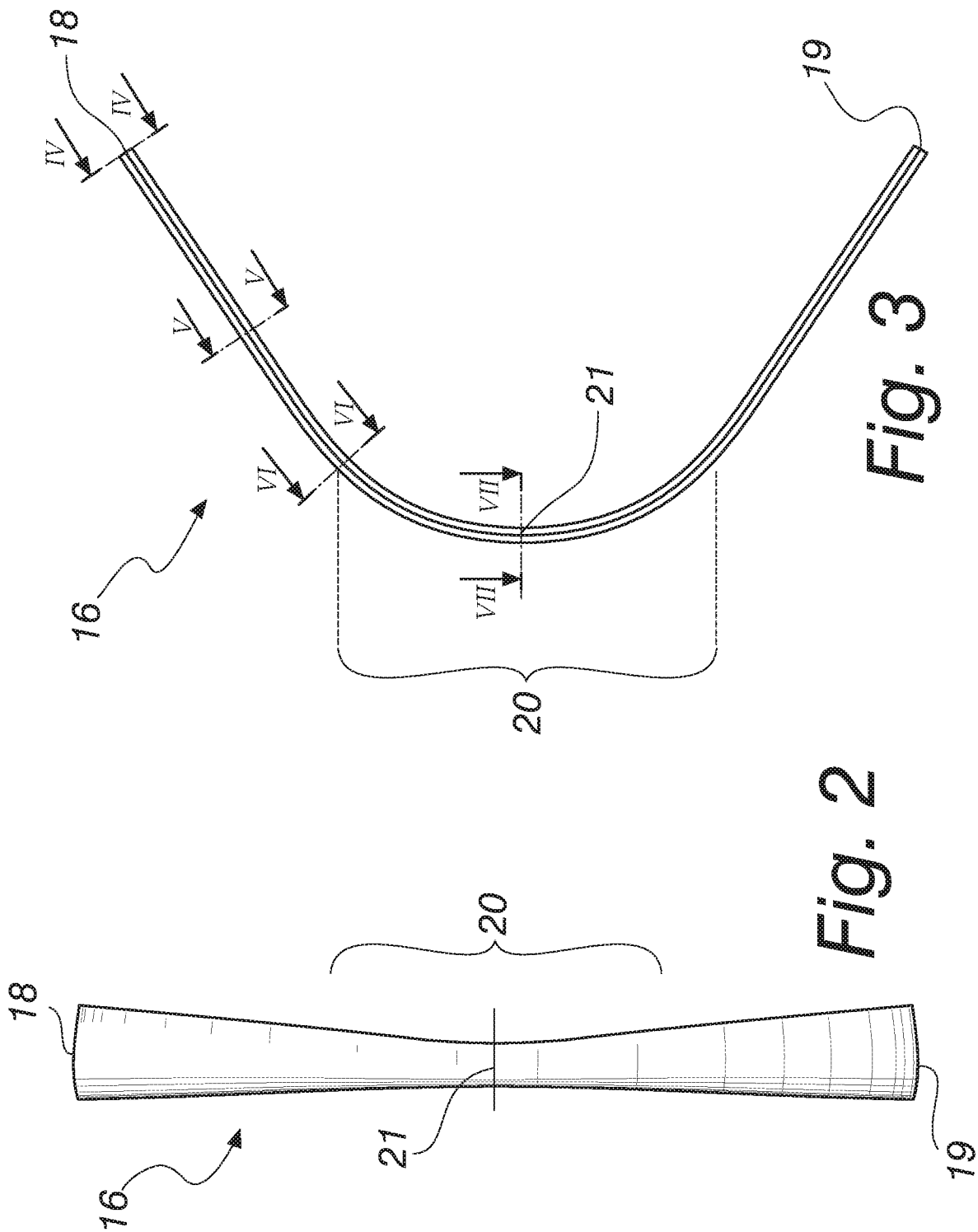
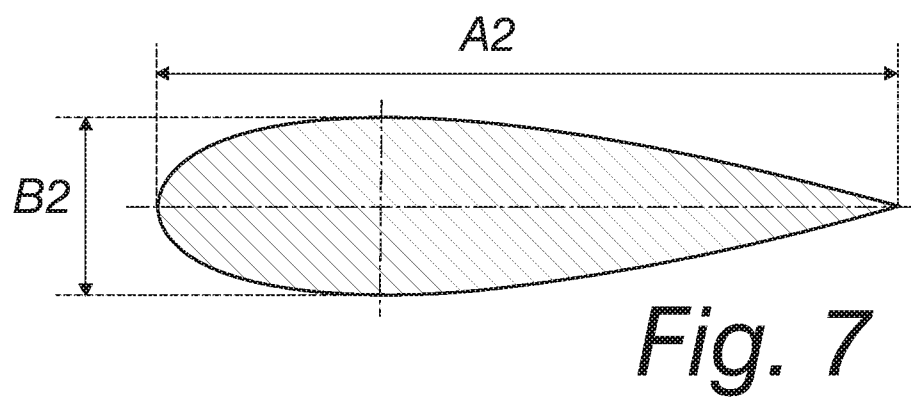
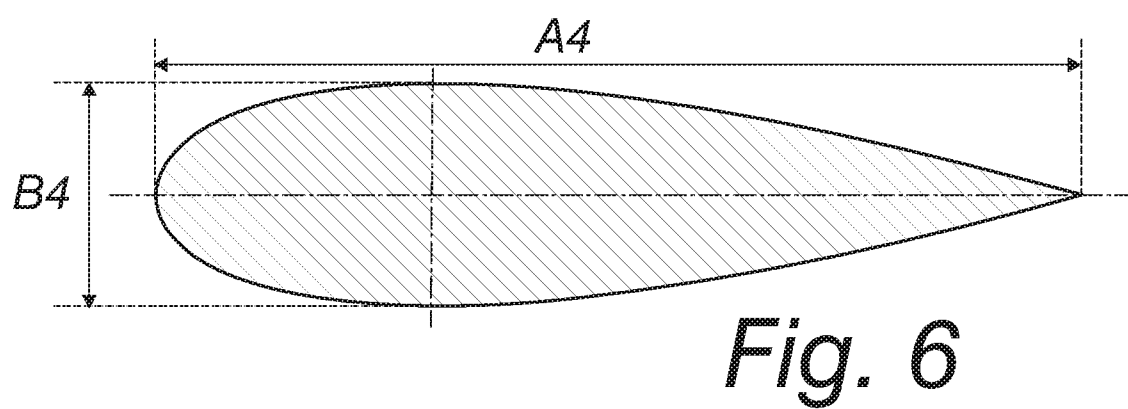
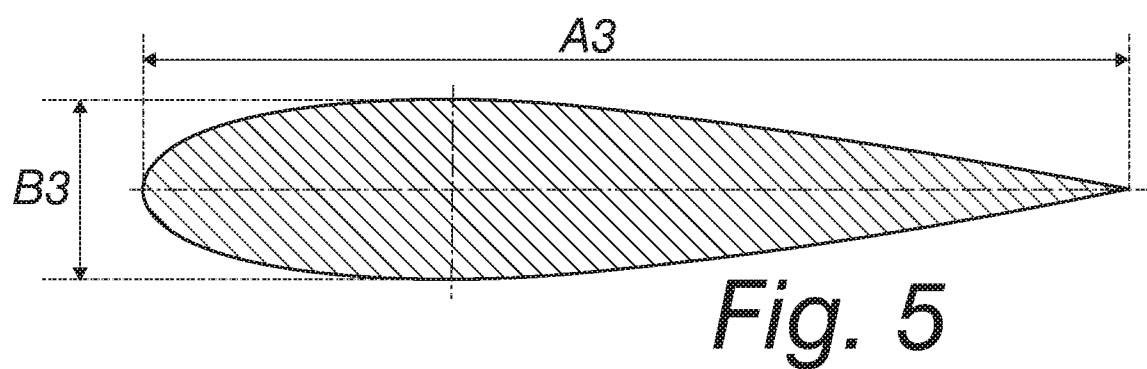
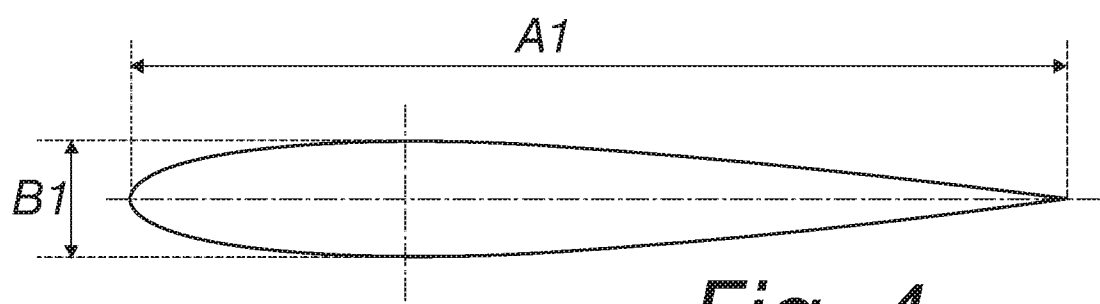
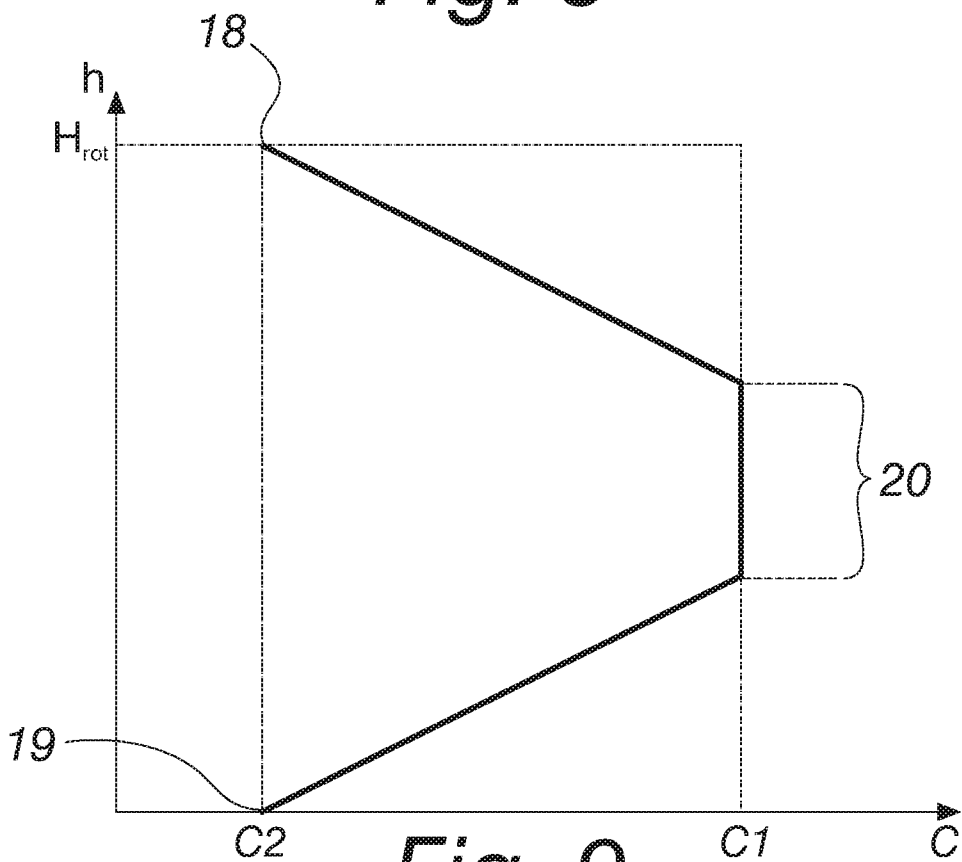
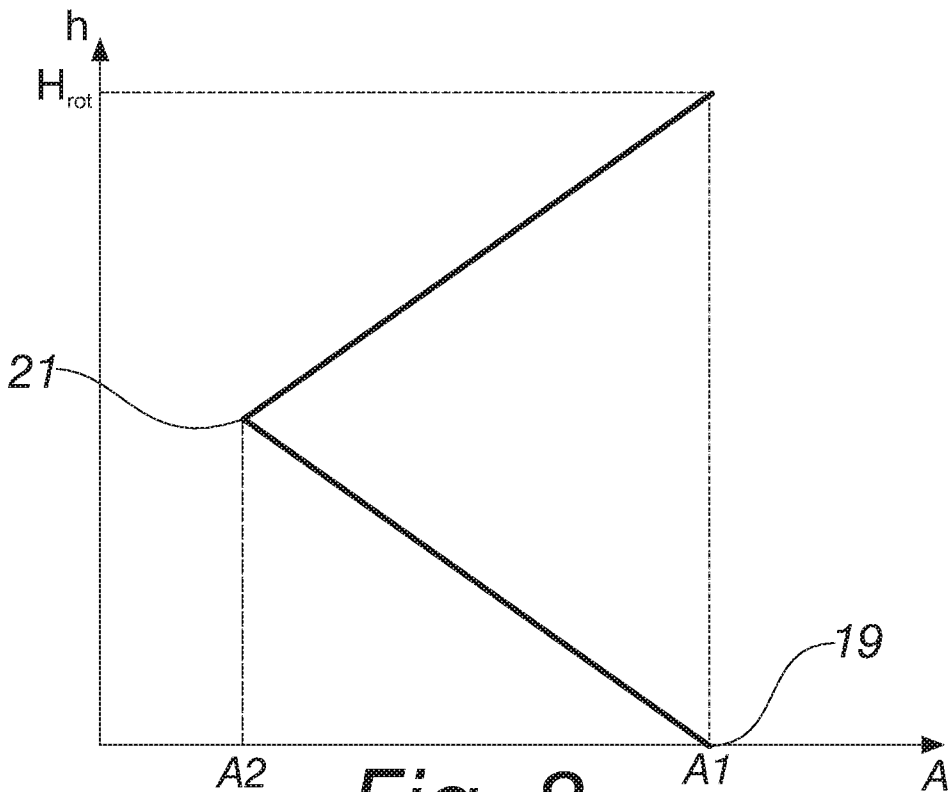


Fig. 1







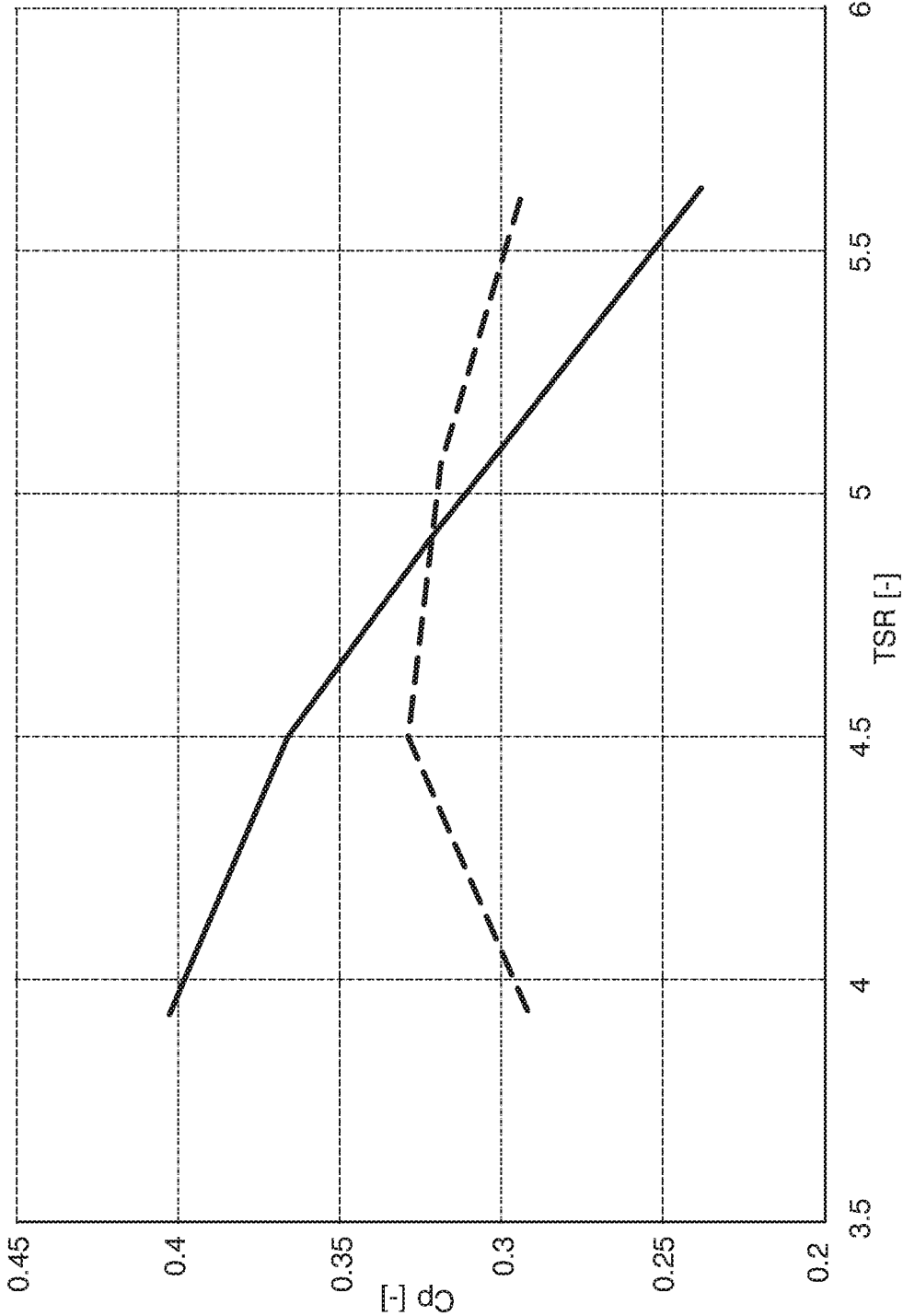


Fig. 10