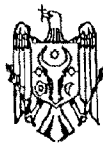




MD/EP 3763939 T2 2022.11.30

REPUBLICA MOLDOVA

(19) Agenția de Stat
pentru Proprietatea Intelectuală

(11) MD/EP 3763939 (13) T2

(51) Int. Cl: F03D 7/02 (2006.01.01)
F03D 17/00 (2016.01.01)

(12) BREVET DE INVENȚIE EUROPEAN VALIDAT

<p>(21) Numărul de depozit: e 2021 0474</p> <p>(22) Data de depozit: 2020.04.29</p> <p>(96) Numărul cererii și data de depozit a cererii de brevet european: 20465522.9, 2020.04.29</p> <p>(97) Numărul de publicare și data publicării de către OEB a cererii de brevet european: 3763939, 2021.01.13</p>	<p>(49) Data publicării traducerii fasciculusului de brevet european validat: BOPI nr. 11/2022, 2022.11.30</p> <p>(80) Data publicării mențiunii acordării de către OEB: EPB nr. 26/2022, 2022.06.29</p> <p>(82) Data publicării solicitării de validare a brevetului european: BOPI nr. 06/2021, 2021.06.30</p>
<p>(71) Solicitant: OVIDIU DEVELOPMENT S.A., RO</p> <p>(72) Inventatori: SOPOGLU Laurentiu - Dragos, RO; CRISTIAN Liviu, RO</p> <p>(73) Titular: OVIDIU DEVELOPMENT S.A., RO</p> <p>(74) Mandatar autorizat: CORCODEL Angela</p>	

(54) Sistem și metoda pentru determinarea abaterii poziției nacelei unei turbinei eoliene terestre cu axă orizontală

(57) Rezumat:

1

Prezenta invenție se referă la un sistem de determinare a devierii alinierii vântului pentru o turbină eoliană de uscat cu ax orizontal, cuprinzând turbina eoliană, un lidar, o stație topografică, o unitate de calcul externă și o rețea de telecomunicații care le conectează. Turbina eoliană menționată mai cuprinde două puncte țintă realizate din materiale reflectorizante plasate pe suprafața exterioară a nacelei pe partea sa orientată spre sol, astfel încât să fie detectate de către stația topografică. Lidarul este configurat pentru a determina unghiul direcției vântului în raport cu nordul și viteza vântului, stația topografică este configurată pentru a determina poziția geografică și orientarea perechii de puncte țintă. Lidarul și stația topografică comunică valorile determinate unității de calcul externe.

Invenția se mai referă la o metodă de determinare a devierii alinierii vântului pentru

2

o turbină eoliană de uscat cu ax orizontal utilizând sistemul conform invenției. În prima etapă, unghiul direcției vântului în raport cu nordul, viteza vântului și poziția geografică și orientarea perechii de puncte țintă sunt determinate și trimise la unitatea de calcul externă. Apoi, în a doua etapă, unitatea de calcul externă primește valorile determinate. În a treia etapă, unitatea de calcul externă determină unghiul de orientare geografică a nacelei în raport cu nordul geografic. În a patra etapă, unitatea de calcul externă aplică o condiție de validare și o primă condiție de roză de compas și determină pe baza acestora un unghi ajustat al vântului. Apoi, în a cincea etapă, unitatea de calcul externă face media valorilor instantanee ale unghiului ajustat al direcției vântului și ale vitezei vântului rezultând unghiul mediu al direcției vântului și viteza medie a vântului. Etapele 6 și 7 ale

MD/EP 3763939 T2 2022.11.30

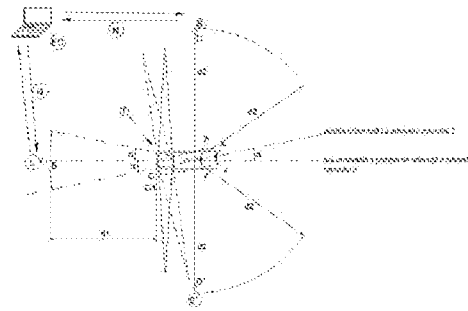
metodei sunt efectuate numai atâta timp cât viteza medie a vântului este cuprinsă în intervalul predeterminat de viteze ale vântului $v_1 - v_2$. În etapa 6 a metodei, unitatea de calcul externă determină devierea alinierii σ a turbinei T în raport cu direcția vântului ca diferență între unghiul mediu al direcției vântului și unghiul de orientare al nacellei. În ultima etapă a metodei, la expirarea duratei metodei, unitatea de calcul externă determină devierea medie a alinierii turbinei ca medie aritmetică a pluralității de valori ale devierii alinierii vântului în timpul duratei metodei.

Invenția mai cuprinde un program de calculator pentru unitatea de calcul externă pentru realizarea etapelor metodei, precum și o

unitate de calcul externă pentru realizarea etapelor metodei.

Revendicări: 11

Figuri: 6



(54) System and method for determining the wind yaw misalignment of a horizontal axis on-shore wind turbine

(57) Abstract:

1

This invention relates to system for determining the wind yaw misalignment of a horizontal axis on-shore wind turbine comprising the wind turbine, a lidar, a topographical station, an external computing unit and a telecommunication network connecting them. Said wind turbine further comprises two target points made of reflective materials placed on the external surface of the nacelle on its side facing the ground, such that be detected by the topographic station. The lidar is configured to determine wind direction angle in respect to the north and wind speed, the topographic station is configured to determine the geographical position and orientation of the pair of target points. The lidar and the topographical station communicate the values determined to the external computing unit. The invention further relates to a method for determining the wind yaw misalignment of a horizontal axis on-shore wind turbine using the system of the invention. In the first step the wind direction angle in respect to the north, the wind speed and the geographical position and orientation of the pair of target points are determined and sent to the external computing unit. Then, in the second step, the external computing unit receives the values determined. In the third step, the external computing unit determines the angle of the geographical orientation of the nacelle in respect to the Geographical North. In the fourth step, the external computing unit

2

applies a validation condition and a first compass rose condition and determines based on them an adjusted angle of the wind. Then, in the fourth step, the external computing unit averages the instant values of the adjusted angle of the wind direction and of the wind speed resulting the averaged angle of the wind direction and the averaged wind speed. Steps 6 and 7 of the method are carried only as long as the averaged wind speed v_{is} comprised within the predetermined interval of wind speeds $v_1 - v_2$. In step 6 of the method, the external computing unit determines the wind yaw misalignment σ of the turbine T in respect to the wind direction as a difference between the averaged angle of the wind direction and the angle of the orientation of the nacelle. In the last step of the method, at the expiry of the duration of the method, the external computing unit determines the averaged wind yaw misalignment of the turbine as an arithmetic mean of the plurality of values of the wind yaw misalignment during the duration of the method. The invention further comprises a computer program for the external computing unit for carrying out the steps of the method as well as an external computing unit for carrying out the steps of the method.

Claims: 11

Fig.: 6

Descriere:**(Descrierea se publică în varianta redactată de solicitant)**

Invenția este legată de domeniul turbinelor eoliene. În particular, invenția se referă la un sistem și o metodă pentru a determina devierea alinierii vântului pentru o turbină eoliană de uscat cu ax orizontal, la un program de calculator și la o unitate de calcul pentru realizarea metodei.

Specificul invenției și termenii utilizați în invenție

Componentele principale ale unei turbine eoliene de uscat sunt următoarele, cu referire la Fig.1.

- 10 – O pluralitate de palete de rotor 1 captează vântul prin ridicare și rotire atunci când vântul suflă spre ele, determinând rotirea unui rotor 3.
- Un butuc de rotor 2 care susține pluralitatea de palete de rotor 1 și rotorul 3, respectivul butuc de rotor 2 conectând paletelile rotorului 1 la arbori: un arbore de viteză mare 9 și un arbore de viteză mică 3.
- Arborele de viteză mică 3, numit alternativ arborele de rotor 3, conectează butucul rotorului 2 la o cutie de viteze 8 prin intermediul unor conducte și mijloace hidraulice.
- 15 – O nacelă 4 găzduiește componentele cheie ale turbinei care includ o cutie de viteze 8, arborii de viteză mică și mare 3, 9, un generator 10, o unitate de calcul 7 a turbinei și o frână 11. De obicei, este suficient de mare pentru a permite intrarea operatorilor pentru operațiuni de întreținere și instalare a componentelor găzduite.
- 20 – Un turn 5 care are scopul de a transporta deasupra lui nacela 4 și butucul rotorului 2.
- Un anemometru 6 și o giruetă pentru a măsura viteza și direcția vântului. De obicei, anemometrul 6 măsoară viteza vântului, în timp ce girueta măsoară direcția vântului. Datele furnizate de anemometrul 6 sunt utilizate pentru a controla pozițiile de rotație ale paletelor rotorului 1, în timp ce datele de la giruetă sunt utilizate pentru a controla poziția de rotație a nacelui 4 și, prin urmare, a turbinei eoliene. Turbinele moderne folosesc anemometre cu ultrasunete care măsoară atât viteza, cât și direcția vântului.
- O unitate de calcul 7 a turbinei pentru operarea electronică și controlul funcționării turbinei eoliene, inclusiv mecanismul de aliniere 13.
- Cutia de viteze 8 conectează arborele de viteză mică 3 la arborele de viteză mare 9 prin creșterea vitezelor de rotație pentru a atinge vitezele cerute de generatoare pentru a produce energie electrică.
- 30 – Arborele de viteză mare 9 antrenează generatorul electric 10.
- Generatorul electric 10 este cel care transformă energia vântului care suflă peste paletelile rotorului 1 în energie electrică.
- Frâna 11 oprește arborele rotorului 3 în caz de urgență.
- 35 – Dispozitiv(e) de control al(e) pasului 12 sunt utilizate pentru a opera și controla viteza și unghiul paletelor rotorului unei turbine eoliene.
- Un dispozitiv de acționare de aliniere folosit pentru a orienta turbina în sus, pentru a o menține în fața vântului atunci când direcția vântului se schimbă, alimentat de un motor de aliniere.
- În funcție de poziția rotorului față de sol, turbinele eoliene de uscat sunt de două tipuri: turbine eoliene cu ax orizontal, când cei doi arbori, respectiv arborele de viteză mică și arborele de viteză mare, sunt paraleli cu solul, și turbine eoliene cu ax vertical, când cei doi arbori sunt perpendiculari pe sol.
- Relevante pentru invenție sunt turbinele eoliene de uscat cu ax orizontal. Prin urmare, în continuare termenii „turbină” sau „turbină eoliană”, utilizați alternativ, se vor referi la turbinele eoliene de uscat cu ax orizontal.
- 45 Termenul „în fața turbinei” se referă la poziția din fața paletelor rotorului, care este direcția de unde bate vântul, respectivul vânt fiind numit „vânt de intrare”, în timp ce termenul „în spatele turbinei” se referă la poziția opusă a paletelor rotorului, care este direcția de unde vântul suflă în spatele turbinei.
- Se știe din stadiul tehnicii că turbina eoliană trebuie să fie corect și permanent aliniată cu vântul, pentru a produce maxim de energie.
- 50 Alinierea corectă este atunci când nacela este paralelă cu vântul de intrare.
- Pentru a se asigura că nacela este paralelă cu vântul, turbinele eoliene utilizează așa-numitul „mecanism de aliniere” denumit alternativ „aliniație” sau „dispozitiv de aliniere”, toți termenii desemnând un proces prin care un organ de acționare este utilizat a întoarce nacela turbinei eoliene cu rotorul spre vânt. Expresia "realinierea turbinei eoliene cu vântul" este utilizată în această invenție pentru a defini situația când nacela este aliniată astfel încât să fie paralelă cu vântul.
- 55 Mecanismul de aliniere este acționat de un organ de acționare, respectivul organ de acționare fiind acționat la rândul său fie de către unitatea de calcul a turbinei, fie de către anemometru.
- Pentru a facilita mecanismul de aliniere, este foarte important să se asigure măsurarea cât mai precisă și actualizată posibil a devierii.

Termenul „deviere” se referă la schimbarea relativă a direcției nacelei în raport cu direcția vântului. În mod ideal, atunci când nacela este aliniată cu vântul, devierea este de 0°.

Pe parcursul acestei invenții, termenul „direcția vântului” reprezintă componenta orizontală a vântului în principal la înălțimea butucului, în timp ce termenul „viteza vântului” reprezintă componenta orizontală a vântului în principal la înălțimea butucului.

Termenul „în principal la înălțimea butucului” se referă la înălțimea butucului măsurată vertical de la sol la axa orizontală a butucului rotorului cu o toleranță de până la ± 3 metri datorită dimensiunilor uzuale ale butucului rotorului și datorită amplasării uzuale a ansamblului anemometrului și giruetei în partea opusă butucului rotorului în raport cu arborele rotorului și deasupra arborelui rotorului menționat. În mod tradițional, devierea alinierii vântului este determinată de ansamblul format de anemometru și giruetă. Anemometrele moderne efectuează o medie a devierii pentru un interval de timp predeterminat de aliniere, iar dacă respectiva medie este peste un prag de deviere predeterminat, trimit instrucțiuni fie către unitatea de calcul a turbinei, fie direct către organul de acționare, pentru a re-alinia turbina eoliană cu vântul.

Utilizarea anemometrelor și/sau a giruetei împreună cu un lidar montat pe nacelă este una dintre soluțiile cunoscute în stadiul tehnicii. Autorii PA Fleming, AK Shcholbrock, A Jeju, S Devoust, E Osler, AD Wright și A Clifton [1] au concluzionat în 2014, după un studiu în care a fost folosit un lidar montat pe nacelă pentru a îmbunătăți devierea alinierii unei turbine experimentale „Rezultatele au demonstrat că corecția conform lidar a îmbunătățit semnificativ captarea puterii în comparație cu măsurarea necorectată a paletei nacelei”.

US8901763 și WO2016/008500 sunt exemple din stadiul tehnicii care dezvoltă un sistem de determinare a devierii alinierii vântului pentru o turbină eoliană cu ax orizontal.

Dezavantajele stadiului tehnicii

Determinarea devierii numai cu anemometru și giruetă este afectată de numeroase erori, majoritatea provenind din amplasarea respectivului anemometru și a giruetei într-un loc în care mișcarea paletelor și turbulențele vântului afectează corectitudinea măsurătorilor. Mai mult, se știe că există erori inerente de proiectare a sistemului de determinare a direcției azimutale de către computerul turbinei. Erorile inerente menționate afectează determinarea corectă a devierii.

În ciuda îmbunătățirii determinării devierii folosind radiația laser sau lidar în comparație cu măsurătorile efectuate numai de anemometru și giruetă, utilizarea radiației laser sau utilizarea lidar pentru determinarea devierii turbinei eoliene este încă supusă multor erori, atât sistematice, cât și aleatorii. De exemplu, în cazul unui lidar, teza Metodologiei Alternative pentru Calibrarea Sistemului LiDAR, a autorului Ki In Bang [2] precizează că: „Erorile aleatorii sunt cauzate de faptul că observațiile repetate prezintă de obicei o distribuție normală a frecvenței, în timp ce erorile sistematice urmează o anumită lege fizică și astfel pot fi precise (Mikhail și Ackerman, 1976; Wolf și Ghilani, 1997)” și că: „Erorile sistematice, pe de altă parte, sunt cauzate în principal de deviațiile dintre unghiurile de orientare și ale brațului de pârghie care relaționează componentele sistemului, precum și deviațiile măsurătorilor sistemului, cum ar fi unghiurile codificatorului și domeniile laserului.”

Principalele erori la utilizarea lidarului pentru determinarea devierii turbinei eoliene observate de inventatori se referă la orientarea GPSului busolei interne a lidarului și la faptul că în unele locații semnalul GPS a fost sistematic slab.

Problema rezolvată de invenție

Problema rezolvată de invenție este de a îmbunătăți acuratețea determinării devierii de aliniere a vântului pentru o turbină eoliană de uscat cu ax orizontal.

Sumarul invenției

Într-un prim aspect al invenției, este furnizat un sistem pentru determinarea devierii de aliniere a vântului pentru o turbină eoliană de uscat cu ax orizontal T cuprinzând turbina eoliană T, respectiva turbină eoliană T cuprinzând o pluralitate de palete de rotor 1, un butuc de rotor 2 situat la o înălțime a butucului HH, un arbore de rotor 3 având o axă orizontală a arborelui de rotor 3, o nacelă 4, un turn 5 având o bază a turnului: *în care* respectiva turbină eoliană T mai cuprinde o pereche de puncte țintă X și Y pe suprafața exterioară a nacelei 4, pe partea sa orientată spre sol, aranjate astfel încât pozițiile lor geografice sunt determinate de o stație topografică S și astfel încât segmentul XY care leagă punctele țintă X și Y să corespundă axei longitudinale a respectivei părți a nacelei 4 orientate spre sol, punctul țintă X fiind plasat la extremitatea nacelei 4 opus pluralității de palete de rotor 1 și punctul țintă Y fiind plasat în imediata apropiere a turnului 5;

în care turbina T are o poziție de referință a turbinei, în care arborele rotorului 3 are o poziție de referință a axei orizontale a arborelui rotorului 3,

în care sistemul mai cuprinde:

- o un lidar L la sol, montat cu axa orientată vertical, lidarul L cuprinzând o unitate de măsurare și calcul a lidarului LMCU, respectiva unitate de măsurare și calcul a lidarului LMCU configurată:

5

- să determine un unghi θ al direcției vântului în raport cu nordul geografic, în principal la înălțimea butucului HH;
- să determine o viteză a vântului v în principal la înălțimea butucului HH;
- să transmită rezultatele determinărilor către unitatea externă de calcul EC prin intermediul rețelei de telecomunicații N;

10

în care lidarul L are o poziție de referință a lidarului B, lidarul L fiind plasat pe sol în fața turbinei T în poziția de referință a turbinei pe proiecția pe sol a poziției de referință a axei orizontale a arborelui rotorului 3, la o distanță d_1 de proiecția pe sol C1 a unui punct extrem C al butucului rotorului 2 și

15

în care nacela 4 se deplasează pe o pluralitate de poziții în funcție de direcția vântului, de fiecare parte a proiecției pe sol a poziției de referință a axei orizontale a arborelui rotorului 3, formând un unghi α_i între proiecția pe sol a poziției de referință a axei orizontale a arborelui rotorului 3 și proiecția pe sol a axei orizontale corespunzătoare fiecăreia din pluralitatea de poziții i a arborelui rotorului 3,

- o stația topografică de la sol S, cuprinzând o unitate de măsurare și calcul a stației topografice SMCU, unitatea de măsurare și calcul a stației topografice SMCU configurată:

20

- să determine cel puțin poziția geografică a perechii de puncte țintă X și Y;
- să transmită rezultatele determinărilor către unitatea de calcul externă EC prin intermediul rețelei de telecomunicații N;

în care stația topografică de la sol S este plasată pe oricare dintre cele două poziții de referință D' și D" ale stației topografice în spatele butucului rotorului 2 și lateral în raport cu proiecția pe sol a poziției de referință a axei orizontale a arborelui rotorului 3 la o distanță d_2 de la baza turnului 5, astfel încât, atunci când nacela 4 se deplasează în funcție de direcția vântului:

25

- o paletele rotorului 1 nu interferează cu fasciculul laser al unității de măsurare și calcul a stației topografice SMCU, și
- o unitatea de măsurare și calcul a stației topografice SMCU să poată determina poziția geografică a perechii de puncte țintă X și Y ale nacellei 4 în timpul deplasării nacellei 4 menționate pe pluralitatea de poziții i ,

30

- unitatea de calcul externă EC configurată:
 - să primească datele de intrare prin intermediul rețelei de telecomunicații N:
 - unghiul θ al direcției vântului de la unitatea de măsurare și calcul a lidarului LMCU;
 - poziția geografică a perechii de puncte țintă X și Y, de la unitatea de măsurare și calcul a stației topografice SMCU;

35

Și pentru a stoca datele de intrare primite;

40

- să determine un unghi de orientare ε al nacellei 4 în raport cu nordul geografic pe baza poziției geografice a perechii de puncte țintă X și Y și pentru a stoca fiecare determinare;
- să determine un unghi ajustat θ_{adj} al direcției vântului;
- să medieze unghiul ajustat θ_{adj} al direcției vântului și viteza vântului v , să verifice dacă viteza medie a vântului v_{avg} este cuprinsă într-un interval prestabilit de viteze ale vântului v_1-v_2 pentru care poate fi determinată devierea alinierii vântului și să stocheze unghiul mediu al direcției vântului θ_{avg} și viteza medie a vântului v_{avg} ;
- să determine o deviere a alinierii vântului σ pentru turbina T în raport cu direcția vântului și să stocheze fiecare determinare;
- să determine o deviere medie a alinierii vântului σ_{avg} pentru turbina T în raport cu direcția vântului corespunzătoare unei durate Δt , să stocheze devierea medie σ_{avg} și să compare respectiva deviere medie σ_{avg} cu un prag de deviere predeterminat,

50

- rețeaua de telecomunicații N configurată:
- să asigure comunicarea între unitatea de calcul externă EC și unitatea de măsurare și calcul a lidarului LMCU și stația topografică S,

55

în care sistemul este configurat astfel încât unitatea de calcul externă EC să poată determina devierea medie a alinierii vântului σ_{avg} pentru turbina T în raport cu direcția vântului pe baza determinărilor primite de la stația topografică de la sol S și de la lidarul de la sol L.

60

Într-un al doilea aspect al invenției, este prevăzută o metodă de determinare a devierii alinierii vântului pentru turbina eoliană de uscat cu ax orizontal T utilizând sistemul conform invenției, metoda cuprinzând următoarele etape care trebuie efectuate pe parcursul duratei Δt : S1 Determinarea de un număr de n ori, de către unitatea de măsurare și calcul a lidarului LMCU a lidarului de la sol L, a unghiului θ al direcției vântului în raport cu nordul geografic la înălțimea butucului HH,

determinarea de către unitatea de măsurare și calcul a lidarului LMCU a vitezei vântului v în principal la înălțimea butucului HH, și

transmiterea, de către unitatea de măsurare și calcul a lidarului LMCU, a rezultatelor determinărilor către unitatea de calcul externă EC prin intermediul rețelei de telecomunicații N,

5 determinarea de un număr m de ori, de către unitatea de măsurare și calcul a stației topografice SMCU, a cel puțin poziției geografice a perechii de puncte țintă X și Y și

trimiterea rezultatelor determinărilor către unitatea de calcul externă EC prin intermediul rețelei de telecomunicații N,

10 S2 Recepția de către unitatea de calcul externă EC a datelor de intrare prin intermediul rețelei de telecomunicații N: unghiul θ al direcției vântului și cel puțin poziția geografică a perechii de puncte țintă X și Y, și stocarea datelor de intrare primite;

S3 Determinarea de către unitatea de calcul externă EC a unghiului de orientare ε al nacelei 4 în raport cu nordul geografic pe baza poziției geografice a perechii de puncte țintă X și Y și stocarea rezultatului acestei etape,

15 S4 Aplicarea unei condiții de validare prin verificarea dacă unghiul θ al direcției vântului are o valoare care este cuprinsă într-un interval închis definit de valoarea maximă predeterminată α_{\max} a unghiului α_i , pe fiecare dintre părțile pozițiilor de referință ale axelor orizontale ale arborelui rotorului 3, selectarea numai a valorilor unghiului θ ale direcției vântului care satisfac condiția de validare menționată,

20 determinarea unui unghi ajustat θ_{adj} al direcției vântului pentru fiecare dintre valorile validate folosind o primă condiție de roză de compas și stocarea rezultatului acestei etape,

S5 Medierea de către unitatea externă de calcul EC pentru o durată medie Δt , unde $\Delta t < \Delta t$, a unghiului ajustat θ_{adj} al direcției vântului și al vitezei vântului v , rezultând unghiul mediu θ_{avg} al direcției vântului și viteza medie a vântului v_{avg} , verificarea dacă viteza medie a vântului v_{avg} este cuprinsă în intervalul predeterminat de viteze ale vântului v_1-v_2 pentru care se aplică următoarele etape ale metodei și stocarea rezultatului acestei etape,

25 S6 Determinarea de către unitatea de calcul externă EC a devierii alinierii σ pentru turbina T în raport cu direcția vântului ca diferență între unghiul mediu θ_{avg} al direcției vântului și unghiul de orientare ε al nacelei 4, folosind ecuația:

$$30 \quad \sigma = \theta_{\text{avg}} - \varepsilon \quad [\text{Eq.4}],$$

și stocarea rezultatului acestei etape,

35 S7 Determinarea de către unitatea de calcul externă EC, la expirarea duratei Δt , a devierii medii de aliniere σ_{avg} pentru turbina T în raport cu direcția vântului corespunzătoare duratei Δt menționate ca medie aritmetică a pluralității de valori ale devierii alinierii vântului σ pe parcursul duratei Δt , stocând devierea medie σ_{avg} a turbinei T ca rezultat al metodei și compararea respectivei devieri medii σ_{avg} cu pragul de deviere predeterminat pentru a verifica dacă re-alinierea în vânt a turbinei T trebuie efectuată.

40 Într-un al treilea aspect al invenției, este prevăzut un program de calculator cuprinzând instrucțiuni care, atunci când programul este executat de unitatea de calcul externă EC a sistemului, determină calculatorul să efectueze etapele metodei de la etapa 2 până la etapa 7 inclusiv.

Într-un al patrulea aspect al invenției, este furnizată unitatea de calcul externă EC a sistemului care a stocat pe aceasta programul de calculator conform celui de-al treilea aspect al invenției.

Avantajele invenției

45 – Îmbunătățirea acurateței determinării devierii alinierii vântului pentru turbina eoliană de uscat cu ax orizontal;

– Ca urmare a preciziei îmbunătățite a determinării, îmbunătățirea corecției poziției nacelei față de vânt, conducând la creșterea randamentului producției de energie de către turbină.

50 Scurtă descriere a deseneilor

Fig.1 componente ale unei turbine de uscat cu ax orizontal conform stadiului tehnicii

Fig. 2 componente ale sistemului conform invenției în vedere de sus

Fig. 3 detaliu de marcare a punctelor țintă X și Y pe suprafața nacelei

Fig. 4 detaliu de poziționare a lidarului L cu axa verticală a acestuia

55 Fig. 5 detaliu al montării lidarului L în raport cu turbina în vedere verticală

Fig. 6 vedere schematică a unghiurilor conform invenției

Lista referințelor din desene:

Componente ale turbinei eoliene conform stadiului tehnicii:

60 1 palete de rotor

2	butuc de rotor
3	arbore de rotor
4	nacelă
5	turn
5	6 anemometru
7	unitate de calcul a turbinei
8	cutie de viteze
9	arbore de mare viteză
10	10 generator electric
10	11 frână
12	dispozitiv de control al pasului
13	13 mecanism de deviere

Componente ale sistemului conform invenției:

15	T	turbină eoliană
	L	lidar amplasat la sol având o axă verticală
	S	stație topografică
	EC	unitate de calcul externă
	N	rețea de comunicații

20

Componente ale turbinei eoliene T care sunt relevante pentru invenție:

1	palete de rotor, numite alternativ palete
2	butuc de rotor, numit alternativ butuc
3	arbore de rotor având o axă orizontală
25	4 nacelă
	X, Y pereche de puncte țintă și pe suprafața externă a nacellei 4
	TCU unitate de calcul a turbinei care include o componentă pentru aplicarea marcajelor de timp ale turbinei

Componente ale lidarului de la sol L care sunt relevante pentru invenție:

30	LMCU	unitate de măsurare și calcul a lidarului
	B	poziție de referință a lidarului
	A	punct în care axa verticală a lidarului L corespunde înălțimii butucului HH
	AB	axă verticală AB a lidarului L
35	λ	unghi de emisie al fasciculului laser care se rotește în jurul axei verticale AB a lidarului L
	C	punct extrem al butucului rotorului 2
	C1	proiecție pe sol a punctului extrem C al butucului rotorului 2
	α_i	unghi format între proiecția pe sol a poziției de referință a axei orizontale a arborelui rotorului 3 și proiecția pe sol a axei orizontale a arborelui rotorului 3 atunci când cea din urmă corespunde mișcărilor nacellei 4 în funcție de direcția vântului pe o pluralitate de poziții i pe fiecare parte a proiecției pe sol a axei orizontale a poziției de referință a arborelui rotorului 3
40	α_{max}	valoarea maximă predeterminată a unghiului α_i
	d_1	distanța dintre proiecția pe sol C1 a unui punct extrem C al butucului rotorului 2 și unitatea de măsurare și calcul a lidarului LMCU

45

Componente ale stației topografice S care sunt relevante pentru invenție:

50	SMCU	unitate de măsurare și calcul a stației topografice
	D, D'	poziții de referință ale stației topografice
	d_2	distanța stației topografice S față de baza turnului 5

50

Unghiuri, număr de determinări și viteze:

	Δt	durata metodei
	v	viteza vântului în principal la înălțimea butucului HH, determinată de LMCU;
55	v_1-v_2	interval predeterminat de viteze ale vântului pentru care poate fi determinată devierea alinierii vântului, corespunzând etapelor 8-12 ale metodei;
	ω_{avg}	unghi mediu de poziție al nacellei 4 față de nordul geografic;
	θ	unghi al direcției vântului în raport cu nordul geografic;
	θ_{adj}	unghi ajustat al direcției vântului în raport cu nordul geografic în principal la înălțimea butucului
60	HH;	

- θ_{avg} unghi mediu al direcției vântului în raport cu nordul geografic în principal la înălțimea butucului HH, determinat de unitatea de calcul externă EC pe baza unghiurilor ajustate θ_{adj} ale direcției vântului pe durata medie Δt ;
- n număr de determinări ale unghiului θ al direcției vântului,
- 5 ε unghi de orientare al nacelei 4 în raport cu nordul geografic pe baza poziției geografice a perechii de puncte țintă X și Y;
- ε_k unghi de corecție de poziție al nacelei 4 în raport cu nordul geografic, determinat de unitatea de calcul externă EC;
- 10 ε_{adj} un unghi ajustat de orientare ε_{adj} al nacelei 4 în raport cu nordul geografic, determinat de unitatea de calcul externă EC;
- m număr de determinări ale unghiului ε
- Δt durată medie pentru unghiul ajustat θ_{adj} al direcției vântului și pentru viteza medie a vântului V_{avg} ;
- 15 V_{avg} viteza medie a vântului în principal la înălțimea butucului HH pe o durată medie Δt determinată de unitatea de calcul externă EC;
- k unghi de corecție al nacelei, calculat ca diferență între valoarea unghiului mediu de poziție ω_{avg} al nacelei 4 și unghiul de orientare ε al nacelei 4;
- k_{avg} unghi mediu de corecție al nacelei, corespunzător medierii a până la m determinări ale unghiului de corecție k al nacelei;
- 20 σ deviere turbină T față de direcția vântului, calculată de unitatea de calcul externă EC;
- σ_{avg} deviere medie a turbinei T în raport cu direcția vântului calculată de unitatea de calcul externă EC corespunzătoare duratei Δt a metodei;
- Nord nord geografic

25 **Descriere detaliată și exemplu de realizare**

Sistemul conform invenției cuprinde următoarele componente, cu referire la Fig. 2: o turbină eoliană cu ax orizontal T, un lidar la sol L, o stație topografică S, o unitate de calcul externă EC și o rețea de comunicații N.

Lidarul la sol L și stația topografică S sunt denumite în mod colectiv aparate de intrare.

- 30 Turbina T poate fi orice turbină eoliană de uscat cu ax orizontal, cu condiția ca aceasta să fie special configurată pentru invenție, așa cum va fi detaliat mai jos.

Turbina eoliană T cuprinde o multitudine de palete de rotor 1, un butuc de rotor 2 situat la o înălțime a butucului HH, un arbore de rotor 3, o nacelă 4, un turn 5 având o bază de turn.

- 35 Pe parcursul invenției, termenii „valoare” și „determinare” sunt utilizați în mod interschimbabil pentru a defini în general rezultatul determinărilor aparatelor de intrare. Termenii „măsurătoare” se referă la înțelegerea curentă a cuvântului, în timp ce termenul „determinare” se referă la anumite calcule bazate pe măsurătoare. Termenii „valoare instantanee” sau „determinare instantanee” se referă la o valoare determinată la un anumit moment de timp.

- 40 Pentru a fi utilizată ca componentă a sistemului conform invenției, turbina T are configurații speciale.

Pentru o mai bună înțelegere a învățaturii invenției, turbina T are o poziție de referință înainte de efectuarea măsurătorilor și determinărilor, în care arborele rotorului 3 are o poziție de referință a axei orizontale a arborelui rotorului 3.

- 45 Lidarul L și stația topografică S sunt plasate în poziții de referință corespunzătoare folosind ca referință poziția de referință a axei orizontale a arborelui rotorului 3.

Cu referire la Fig. 3, turbina eoliană T este configurată să cuprindă o pereche de puncte țintă X și Y pe suprafața exterioară a nacelei 4, pe partea ei orientată către sol, dispuse astfel încât pozițiile lor geografice să fie determinate de stația topografică S și astfel încât segmentul XY care leagă punctele țintă X și Y să corespundă axei longitudinale a părții menționate orientată către sol a nacelei 4, punctul țintă X fiind plasat la extremitatea nacelei 4 opusă pluralității de palete ale rotorului 1 și punctul țintă Y fiind plasat în imediata apropiere a turnului 5.

- 50 Termenul „imediata vecinătate” se referă la o toleranță de până la + 1 metru față de punctul de contact dintre nacela 4 și turnul 5 datorită dimensiunilor uzuale ale turnului 5.

Lidarul L este configurat în invenție pentru măsurarea vitezei vântului v în principal la înălțimea butucului HH, denumită în continuare pentru simplitate viteza vântului v și pentru determinarea direcției vântului în raport cu Nordul. Utilizarea lidarului L ca o componentă a sistemului conform invenției are avantajul măsurătorii precise a vitezei vântului v , respectiv determinarea direcției vântului și avantajul instalării ușoare și rapide.

- 60 Lidarul la sol L al sistemului conform invenției, denumit în continuare lidar L, este montat pe sol cu axa sa orientată vertical, așa cum se arată în Fig. 4.

Așezarea lidarului L pe sol în loc de așezarea deasupra nacelei 4, așa cum este obișnuit în stadiul tehnicii, are avantajul de limitare a impactului perturbărilor asupra măsurătorilor de către lidarul L datorită interferenței cu rotirea permanentă a paletelor 1.

5 Cu referire la Fig. 2, într-o poziție de referință B a lidarului, lidarul L este așezat pe sol în fața poziției de referință a turbinei T pe proiecția pe sol a poziției de referință a axei orizontale a arborelui rotorului 3, la o distanță d_1 față de proiecția pe sol C1 a unui punct extrem C al butucului rotorului 2, astfel încât să formeze un unghi α_i între proiecția pe sol a poziției de referință a axei orizontale a arborelui rotorului 3 și proiecția pe sol a axei orizontale a arborelui rotorului 3 corespunzătoare fiecăreia din pluralitatea de poziții i , când nacela 4 se deplasează în funcție de direcția vântului pe o pluralitate de 10 poziții i pe fiecare parte a proiecției pe sol a poziției de referință a axei orizontale a arborelui rotorului 3.

Pentru simplitate, Fig. 2 prezintă doar una dintre pozițiile i din pluralitate.

Lidarul L cuprinde o unitate de măsurare și calcul a lidarului LMCU care include un ceas de înaltă precizie a lidarului.

15 Unitatea de măsurare și calcul a lidarului LMCU este configurată pentru a determina o viteză a vântului v și un unghi al direcției vântului θ în raport cu nordul geografic, în principal la înălțimea butucului HH.

Unitatea de măsurare și calcul a lidarului LMCU este configurată să trimită rezultatele determinărilor împreună cu un marcaj de timp a lidarului corespunzător fiecărei determinări către unitatea de calcul externă EC prin intermediul rețelei de telecomunicații N.

20 Aplicarea marcajului de timp a lidarului la fiecare determinare este conform stadiului tehnicii. Intervalul dintre două determinări succesive se numește granulozitate. De obicei, granulozitatea determinărilor lidarului L este între 3s și 15s, inclusiv, valoare care nu limitează domeniul de aplicare al invenției, fiind dată doar cu scop exemplificativ.

Avantajul amplasării lidarului L așa cum este detaliat mai sus este că asigură optimizarea capacității lidarului L de a determina unghiul θ al direcției vântului și viteza vântului v .

25 Stația topografică S cuprinde o unitate topografică de măsurare și calcul SMCU având două configurații.

Prima configurație este de a determina cel puțin poziția geografică a perechii de puncte țintă X și Y. Unele unități de măsurare și calcul a stațiilor topografice SMCU sunt capabile să determine, pe baza poziției geografice a perechii de puncte țintă X și Y, un unghi de orientare ε al nacelei 4 format de segmentul XY cu Nordul.

A doua configurație este de a trimite rezultatele determinărilor împreună cu un marcaj de timp al stației topografice corespunzătoare fiecărei determinări.

35 Stația topografică S poate fi fie manuală, fie automată. Unitatea de măsurare și calcul a stației topografice SMCU include un teodolit care încorporează un dispozitiv electronic de măsurare a distanței și un sistem de poziționare globală a stației topografice pentru orientarea stației topografice S spre Nord înainte de utilizarea sa folosind sistemul de referință național actual. Orientarea stației topografice S spre Nord se realizează conform stadiului tehnicii.

40 Caracteristicile minime de precizie ale stației topografice S pentru a fi utilizată de invenție sunt următoarele:

- precizie de măsurare a distanțelor de 2mm+2ppm la fiecare 3s;
- precizie pentru măsurarea distanței până la perechea de puncte țintă X și Y până la 500 m fără prismă de reflexie;
- în cazul în care unitatea de măsurare și calcul a stației topografice SMCU este capabilă să determine unghiuri, precizia pentru măsurarea unghiului realizat de segmentul XY cu Nordul între 1"- 5", inclusiv, adică 0,3 mgon până la 1,5 mgon inclusiv.

După cum se arată în Fig. 2, stația topografică la sol S este plasată în oricare dintre cele două poziții de referință ale stației topografice D' și D" în spatele butucului rotorului 2 și lateral în raport cu proiecția pe sol a poziției de referință a axei orizontale a arborelui rotorului 3 la o distanță d_2 de baza turnului 5, astfel încât, atunci când nacela 4 se deplasează în funcție de direcția vântului:

- paletele rotorului 1 nu interferează cu fasciculul laser al unității de măsurare și calcul a stației topografice SMCU și
- unitatea de măsurare și calcul a stației topografice SMCU să poată determina poziția geografică a perechii de puncte țintă X și Y ale nacelei 4 în timpul deplasării nacelei 4 menționate pe pluralitatea de poziții i .

55 Posibilele poziții D' și D" sunt situate pe două sectoare imaginare de cerc având raza d_2 , centrul fiind baza turnului 5. În ce privește măsurarea distanței d_2 , se acceptă o toleranță de până la 2m.

Determinarea poziției geografice a perechii de puncte țintă X și Y ale nacelei 4 se face conform stadiului tehnicii.

Granulozitatea determinărilor, adică intervalul dintre două determinări succesive m de către unitatea de măsurare și calcul al stației topografice SMCU depinde de tipul stației topografice S . Conform stadiului tehnicii, dacă stația topografică S este manuală, granulozitatea de interes pentru invenție variază în mod obișnuit între 8-15 minute, în timp ce dacă stația topografică S este automată, granulozitatea variază în mod tipic între 10 și 20 de secunde. Valorile de granulozitate menționate mai sus sunt date doar în scopuri exemplificative, ele nu limitează domeniul de aplicare al invenției.

Unitatea de calcul externă EC este o mașină de calcul, cum ar fi un computer sau o pluralitate de computere situate la distanță unul de celălalt, comunicând în cadrul unui sistem de comunicație computerizat.

Prima configurație a unității de calcul externă EC este de a primi date de intrare prin rețeaua de telecomunicații N :

- unghiul θ al direcției vântului de la unitatea de măsurare și calcul a lidarului LMCU;
- poziția geografică a perechii de puncte țintă X și Y , de la unitatea de măsurare și calcul a stației topografice SMCU;

Unitatea de calcul externă EC poate unifica, dacă este necesar, unitățile de măsurare a unghiurilor de la datele de intrare și le poate sorta pe baza unui marcaj de timp. De exemplu, unitatea de calcul externă EC poate folosi marcajele de timp ale lidarului ca referință pentru sortarea datelor de intrare, pe baza nivelului de precizie cunoscut al ceasului de înaltă precizie a lidarului.

Unificarea unităților de măsură a unghiurilor poate fi necesară deoarece aparatele de intrare pot avea moduri diferite de exprimare a măsurilor unghiurilor: unele dintre ele pot măsura unghiurile în grade, altele în radiani, numărul de digiți poate fi diferit, direcția de măsurare a unghiurilor poate fi diferită etc.

O altă configurație a unității de calcul externă EC este de determinare a unui unghi de orientare ε al nacelei 4 în raport cu nordul geografic pe baza poziției geografice a perechii de puncte țintă X și Y și de a stoca fiecare determinare. Unghiul de orientare ε al nacelei 4 este format de segmentul XY , a cărui poziție geografică este determinată de unitatea de măsură și calcul a stației topografice SMCU cu nordul geografic. Din modul în care sunt definite punctele X și Y , rezultă că orientarea segmentului XY față de Nord corespunde orientării nacelei 4 spre Nord. Această configurație a unității de calcul externe EC depinde de capacitatea unității de măsurare și calcul a stației topografice SMCU de a determina unghiul ε , și anume:

- dacă unitatea de măsurare și calcul a stației topografice SMCU este capabilă să determine unghiul de orientare ε al nacelei 4, ceea ce este de obicei cazul când stația topografică S este automatizată, de exemplu, unitatea de calcul externă EC este configurată să recupereze același unghi de orientare ε al nacelei 4, așa cum este primit;
- dacă unitatea de măsurare și calcul a stației topografice SMCU nu este capabilă să determine unghiul de orientare ε al nacelei 4, de exemplu în cazul multor stații topografice manuale S , unitatea de calcul externă EC este configurată pentru a determina unghiul de orientare ε al nacelei 4 utilizând poziția geografică a perechii de puncte țintă X și Y primită de la unitatea de măsurare și calcul a stației topografice SMCU;

O altă configurație a unității de calcul externe EC este de aplicare a unei condiții de validare unghiului θ al direcției vântului și determinarea unui unghi ajustat θ_{adj} al direcției vântului pentru fiecare dintre valorile validate ale unghiului θ folosind o primă condiție de roză de compas și de a stoca rezultatul acestei etape.

O altă configurație a unității externe de calcul EC este de mediere a unghiului ajustat θ_{adj} al direcției vântului și a vitezei vântului v , pentru a verifica dacă viteza medie a vântului v_{avg} este cuprinsă într-un interval predeterminat de viteze ale vântului $v_1 - v_2$ pentru care poate fi determinată devierea alinierii vântului, și de stocare a unghiului mediu θ_{avg} al direcției vântului și a vitezei medii a vântului v_{avg} .

O altă configurație a unității de calcul externe EC este de determinare a unei devieri a alinierii vântului σ pentru turbina T față de direcția vântului și de a stoca fiecare determinare.

Ultima configurație a unității de calcul externă EC este de determinare, la expirarea unei durate Δt , a unei devieri medii a alinierii vântului σ_{avg} pentru turbina T în raport cu direcția vântului corespunzătoare duratei Δt menționate, de stocare a devierii medii a alinierii vântului σ_{avg} și de comparare a respectivei devieri medii a alinierii vântului σ_{avg} cu un prag predeterminat de deviere.

Rețeaua de telecomunicații N este configurată pentru a asigura comunicația între unitatea de calcul externă EC și unitatea de măsurare și calcul a lidarului LMCU și unitatea de măsurare și calcul a stației topografice SMCU.

Într-un exemplu de realizare preferat, granulozitatea determinărilor unității de măsurare și calcul a stației topografice SMCU este mai mare decât un prag predeterminat de interval de timp. Acesta este în special cazul când se utilizează o stație topografică manuală S . Pragul predeterminat de interval de timp depinde de granulozitatea determinărilor lidarului L . De exemplu, granulozitatea determinărilor unității de

măsurare și calcul a stației topografice SMCU nu trebuie să fie mai mare de 150% din granulozitatea determinărilor lidarului L. De exemplu: dacă lidarul L determină unghiul θ al direcției vântului la fiecare 10s, pragul predeterminat de interval de timp pentru determinările unghiului de orientare ε al nacelei 4 este de 150% x 10s, adică 15 s.

5 Dacă granulozitatea determinărilor unității de măsurare și de calcul a stației topografice SMCU este mai mare decât pragul predeterminat de interval de timp, sistemul mai cuprinde un al treilea aparat de intrare, și anume o unitate de calcul a turbinei TCU, a turbinei T, unitatea de calcul a turbinei TCU menționată fiind configurată pentru a determina un unghi mediu de poziție ω_{avg} al nacelei 4 în raport cu nordul geografic și configurată pentru a trimite rezultatul determinărilor către unitatea de calcul externă EC.

Determinarea unghiului mediu de poziție ω_{avg} al nacelei 4 se face conform stadiului tehnicii. Unitatea de calcul a turbinei TCU există în absența invenției, dar face parte din sistem numai dacă este îndeplinită condiția de mai sus referitoare la pragul predeterminat de interval de timp.

15 De obicei, granulozitatea determinărilor unității de măsurare a turbinei TMU este cuprinsă între 8s și 15s, inclusiv, valoarea aceasta nelimitând domeniul de aplicare al invenției.

Unitatea de măsurare a turbinei TMU poate fi, de exemplu, un anemometru cu ultrasunete.

Când se utilizează unitatea de calcul a turbinei TCU ca aparat de intrare, unitatea de calcul externă EC are configurații suplimentare:

- 20 • pentru a recepționa prin intermediul rețelei de telecomunicații N unghiul mediu de poziție ω_{avg} al nacelei 4;
- pentru a determina un unghi mediu de corecție k_{avg} al nacelei 4, pentru corectarea poziției nacelei 4 menționate și pentru a stoca fiecare determinare;
- pentru a determina un unghi de corecție de poziție ε_k al nacelei 4 în raport cu nordul geografic și pentru a stoca fiecare determinare,
- 25 • pentru a determina un unghi ajustat ε_{adj} de orientare al nacelei 4 în raport cu nordul geografic și pentru a stoca fiecare determinare,

Când se utilizează unitatea de calcul cu turbină TCU ca aparat de intrare, rețeaua de telecomunicații N este configurată suplimentar pentru a asigura comunicația între unitatea de calcul externă EC și unitatea de calcul a turbinei TCU.

30 Cu referire la Fig. 5, într-un alt exemplu de realizare preferat, distanța d_1 depinde de doi parametri: un unghi λ de emisie a fasciculului laser care se rotește în jurul axei verticale AB a lidarului L pe de o parte, și înălțimea butucului HH pe de altă parte. Deoarece fasciculul laser este emis prin oglinzile rotative care se rotesc permanent în jurul axei verticale AB a lidarului L, emisia fasciculului laser menționat se face la unghiul λ . Procesul de scanare determină un con având un unghi de 2λ și originea conului în punctul B unde este plasat lidarul L în poziția de referință a lidarului B. Astfel, determinarea valorii minime a lui d_1 se face folosind relațiile trigonometrice în triunghiul dreptunghic ABC, unde segmentul AB este egal cu înălțimea butucului HH, în timp ce segmentul AC=BC1= d_1 prin următoarea ecuație:

$$40 \quad d_{1min} = \operatorname{tg}(\lambda) * HH \quad [\text{Ec. 1}]$$

Determinarea valorii maxime a lui d_1 se face folosind următoarea ecuație:

$$45 \quad d_{1max} = \operatorname{tg}(\lambda) * 2 * HH \quad [\text{Ec. 2}]$$

Valoarea lui 2 folosită în a doua ecuație este o constantă în funcție de caracteristicile lidarului L. În cazul $\lambda = 30^\circ$, care este frecvent pentru multe lidare:

$$\operatorname{tg}(30^\circ) = \frac{AC}{AB}$$

$$\operatorname{tg}(30^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

$$\frac{\sqrt{3}}{3} = \frac{AC}{AB}$$

50

Astfel, într-un exemplu nelimitativ când HH = 100 m, și $\lambda = 30^\circ$ valoarea minimă a distanței d_1 este:

$$d_{1min} = \frac{\sqrt{3}}{3} * HH = 57,73$$

Pe când valoarea maximă a distanței d_1 este:

$$d_{1\max} = \frac{\sqrt{3}}{3} * 200 = 115,47$$

Atât valorile minime, cât și maxime ale distanței d_1 pot fi rotunjite. Se acceptă o toleranță de până la 5%. În exemplul de mai sus, $d_{1\min}$ poate fi rotunjit la 60 m, în timp ce $d_{1\max}$ poate fi rotunjit la 115 m.

Într-un alt exemplu de realizare preferat, distanța d_2 depinde de înălțimea butucului HH și de capacitatea unității de măsurare și calcul a stației topografice SMCU de a determina poziția geografică a punctelor X și Y, folosind ecuația:

$$d_{2\min} = 2 * HH \quad [\text{Ec. 3}]$$

Distanța maximă $d_{2\max}$ depinde de posibilitatea ca unitatea de măsurare și calcul a stației topografice SMCU să determine poziția geografică a punctelor X și Y. De obicei, distanța maximă $d_{2\max}$ este de aproximativ 500 m pentru configurația minimă necesară pentru stația topografică S, totuși valoarea sa nu limitează invenția.

Avantajul amplasării stației topografice S așa cum este descrisă mai sus este că asigură optimizarea unității de măsurare și calcul a stației topografice SMCU pentru a determina cel puțin poziția geografică a perechii de puncte țintă X și Y.

Atât lidarul L cât și stația topografică S sunt menținute în pozițiile fixe corespunzătoare în timpul măsurătorilor și determinărilor.

Este posibil să se combine amplasarea lidarului L așa cum este descris mai sus cu amplasarea stației topografice S așa cum este descrisă mai sus. Prin combinarea exemplelor de realizare preferate, se asigură optimizarea capacităților fiecăruia dintre aparatele de intrare de a determina, respectiv, direcția și viteza vântului și cel puțin poziția geografică a perechii de puncte țintă X și Y.

Unitatea de calcul externă EC poate fi amplasată oriunde în raport cu turbina T, lidarul L și stația topografică S atâta timp cât este conectată prin intermediul rețelei de telecomunicații N la lidarul L și la stația topografică S și, respectiv, în exemplul de realizare preferat care folosește unitatea de calcul a turbinei TCU la respectiva unitate de calcul a turbinei TCU.

Sistemul conform invenției este configurat astfel încât unitatea de calcul externă EC să poată determina devierea alinierii vântului σ_{avg} pentru turbina T în raport cu direcția vântului pe baza determinărilor primite de la stația topografică de la sol S și lidarul de la sol L.

Într-un al doilea aspect al invenției, este prevăzută o metodă de determinare a devierii alinierii vântului a turbinei eoliene de uscat cu ax orizontal T, utilizând sistemul conform invenției. Metoda cuprinde șapte etape care trebuie efectuate pe durata Δt .

Determinarea devierii vântului conform invenției se finalizează atunci când sunt îndeplinite simultan următoarele condiții:

- viteza vântului este cuprinsă în intervalul v_1-v_2 inclusiv,
 - turbina eoliană T nu are limitări interne sau externe, cum ar fi limitări de putere, erori aerodinamice sau orice alte erori care pot afecta funcționarea turbinei T.

Raționamentul primei condiții este explicat mai jos :

- în cazul în care viteza vântului v este mai mică decât v_1 unitatea de măsurare și calcul a lidarului LMCU nu poate determina cu precizie direcția acestuia;
- în cazul în care viteza vântului v este mai mare decât v_2 , unitatea de măsurare și calcul a lidarului LMCU este încă capabilă să măsoare cu precizie viteza și să determine direcția, totuși unitatea de măsurare și calcul a stației topografice SMCU nu poate măsura cu precizie distanțele până la perechea de puncte țintă X și Y, distanța menționată fiind necesară pentru determinarea poziției geografice a perechii de puncte țintă X și Y, deoarece oscilația înainte și înapoi a nacei 4 este amplificată prea mult de vântul 4 și de faptul că ansamblul turnului 5 și nacela 4 este o structură flexibilă.

Atât v_1 , cât și v_2 depind de caracteristicile turbinei T, cum ar fi, dar fără a se limita la, dimensiunea și greutatea turbinei T, înălțimea butucului HH, gradul de flexibilitate a nacei 4.

Raționamentul celei de-a doua condiții este explicat mai jos:

- limitările interne se referă la orice defecțiune sau funcționare deficitară care poate afecta funcționarea turbinei T la parametrii ei predefiniți corespunzători;
- limitările externe se referă la orice tip de limitări ale cantității de energie care trebuie furnizată de turbina T ca urmare a cerințelor companiei energetice care cumpără și/sau transportă energia generată de pluralitatea de turbine T;

- erorile aerodinamice sau orice alte erori care pot afecta funcționarea turbinei se referă în general la erori de măsurare datorate condițiilor atmosferice care afectează funcționarea turbinei T: ceață, gheață pe paletele rotorului, ploaie abundentă.

Metoda se aplică pentru fiecare turbină T pe durata Δt când sunt montate atât lidarul L, cât și stația topografică S, fiecare pe poziția sa de referință corespunzătoare la începutul duratei Δt , și când lidarul L și stația topografică S sunt conectate prin rețeaua de telecomunicații N la computerul extern EC. În timpul metodei, atât lidarul L, cât și stația topografică S rămân fixe, în timp ce nacela 4 se deplasează în funcție de direcția vântului pe o pluralitate de poziții i pe fiecare parte a proiecției pe sol a poziției de referință a axei orizontale a arborelui rotorului 3.

În etapa 1 a metodei, unitatea de măsurare și calcul a lidarului LMCU a lidarului de la sol L determină de un număr de n ori pe durata Δt unghiul θ al direcției vântului în raport cu nordul geografic, în principal la înălțimea butucului HH.

În același timp, unitatea de măsurare și calcul a lidarului LMCU determină viteza vântului v în principal la înălțimea butucului HH și trimite rezultatele determinărilor către unitatea de calcul externă EC prin intermediul rețelei de telecomunicații N;

În același timp, unitatea de măsură și calcul a stației topografice SMCU determină de un număr de m ori pe durata Δt , inclusiv la începutul duratei Δt menționate, cel puțin poziția geografică a perechii de puncte țintă X și Y, și trimite rezultatele determinărilor împreună către unitatea de calcul externă EC prin intermediul rețelei de telecomunicații N. Pentru stațiile topografice automate S, numărul m de determinări ale unghiului de orientare ε al nacellei 4 este repartizat uniform pe întreaga durată Δt . Pentru stațiile topografice manuale S, numărul m de determinări ale unghiului de orientare ε al nacellei 4 pot fi fie grupate, caz în care determinările au loc la începutul metodei, fie pot fi grupate în grupuri mai mici de determinări m_1, m_2, m_n , unde $\sum m_i = m$, în ultimul caz unul dintre grupurile m_i având loc la începutul metodei.

În etapa 2 a metodei, unitatea de calcul externă EC primește datele de intrare prin intermediul rețelei de telecomunicații N: unghiul θ al direcției vântului și cel puțin poziția geografică a perechii de puncte țintă X și Y.

Unitatea de calcul externă EC unifică, dacă este necesar, unitățile de măsură ale unghiurilor, apoi stochează datele de intrare menționate și le sortează pe baza unui marcaj de timp utilizând de exemplu ca referință marcajele de timp ale lidarului.

În etapa 3 a metodei, unitatea de calcul externă EC determină unghiul de orientare ε al nacellei 4 în raport cu nordul geografic pe baza poziției geografice a perechii de puncte țintă X și Y și stochează rezultatul acestei etape.

Dacă unitatea de măsură și calcul a stației topografice SMCU este capabilă să determine unghiul de orientare ε al nacellei 4, unitatea de calcul externă EC recuperează în această etapă același unghi de orientare ε al nacellei 4, așa cum este primit de la unitatea de măsură și calcul a stației topografice SMCU;

Dacă unitatea de măsură și calcul a stației topografice SMCU nu este capabilă să determine unghiul de orientare ε al nacellei 4 menționat, unitatea de calcul externă EC determină în această etapă unghiul de orientare ε al nacellei 4 utilizând poziția geografică a perechii de puncte țintă X și Y primită de la unitatea de măsură și calcul a stației topografice SMCU.

Unghiul determinat de orientare ε al nacellei 4 reprezintă o determinare precisă a orientării reale a nacellei 4 față de Nord, pe baza preciziei cunoscute a determinărilor de către stațiile topografice în general.

În etapa 4 a metodei, unitatea de calcul externă EC aplică o condiție de validare prin verificarea dacă unghiul θ al direcției vântului are o valoare care se încadrează într-un interval închis definit de valoarea maximă predeterminată α_{max} a unghiului α_i , pe fiecare parte a poziției de referință a axei orizontale a arborelui rotorului 3, selectează numai valorile unghiului θ al direcției vântului care satisfac condiția de validare menționată și determină un unghi ajustat θ_{adj} al direcției vântului pentru fiecare dintre valorile validate folosind o primă roză de compas și stochează rezultatul acestei etape.

Aplicarea condiției de validare este necesară pentru a limita intervalul valorilor instantanee absolute de vârf utilizate pentru determinarea devierii alinierii medii a vântului σ_{avg} în S7 și pentru limitarea erorilor de determinare a unghiului θ a direcției vântului.

Una dintre sursele valorilor de vârf este modul în care sunt exprimate unghiurile. Având în vedere roza de compas care are 360° și două puncte arbitrare pe circumferință, unul plasat la 30° și celălalt la 350° , diferența de unghiuri dintre cele două puncte arbitrare poate fi calculată fie ca $350^\circ - 30^\circ = 320^\circ$ sau ca $(360^\circ - 350^\circ) + 30^\circ = 40^\circ$. La calcularea mediilor, pentru a elimina valorile de vârf, este de preferat să se folosească unghiul de 40° mai curând decât unghiul de 320° , de aceea este necesară ajustarea unghiurilor θ ale direcției vântului.

Erorile de determinare a valorilor unghiului θ al direcției vântului, așa cum sunt permise în S2, pot apărea din cauza schimbării poziției relative a nacelei 4 în raport cu poziția lidarului L pe durata Δt , de exemplu, lidarul L poate fi în spatele nacelei 4.

5 Determinările unghiului direcției vântului θ de către unitatea de măsurare și calcul a lidarului LMCU sunt influențate de poziția lidarului L față de nacela 4 în timpul măsurătorilor pe care se bazează determinarea unghiului direcției vântului θ . Inventatorii au ajuns la concluzia că erori minime de măsurare și determinare se obțin dacă unghiul α_i pe ambele părți ale axei orizontale a arborelui rotorului 3 nu depășește valoarea maximă predeterminată α_{max} . Pentru limitarea erorilor de măsurare și determinare sunt validate doar acele valori instantanee ale unghiului direcției vântului θ determinate în timp ce lidarul L se află în fața turbinei T.

10 Într-un exemplu nelimitativ, $\alpha_{max} = 30^\circ$, astfel poziția relativă a nacelei 4 în timpul măsurătorilor nu trebuie să depășească 30° pe ambele părți ale axei orizontale a arborelui rotorului 3 pentru a valida valorile unghiului direcției vântului θ . Constatarea inventatorilor se bazează pe faptul că în timpul măsurătorilor, dacă axa arborelui rotorului 3 al nacelei 4 este plasată în afara unui interval de validare de $2 \times \alpha_{max} = 60^\circ$, este mai probabil ca paletele 1 să producă perturbații care alterează rezultatul determinărilor unghiului direcției vântului θ .

15 Poziția relativă a lidarului L în raport cu nacela 4 pe durata Δt poate fi determinată cunoscând poziția de referință a lidarului B și orientarea nacelei 4 ca unghi determinat ε . De exemplu, pentru simplitate, în poziția de referință a lidarului B, lidarul L este orientat spre Nord (0°). Astfel, intervalul de validare de $2 \times \alpha_{max} = 60^\circ$ în acest caz este de la 330° la 30° sau poate fi exprimat alternativ ca fiind de la -30° la 30° . Dacă în timpul măsurătorilor, orientarea nacelei 4 face un unghi $\varepsilon = 300^\circ$ cu nordul geografic, acesta este în afara intervalului de la 330° la 30° .

Pot fi setate diferite condiții de roză de compas pentru a se potrivi unor condiții specifice legate de caracteristicile turbinei T, cum ar fi, dar fără a se limita la, dimensiunea și greutatea turbinei T, înălțimea butucului HH, gradul de flexibilitate al nacelei 4 și a lidarului L.

20 Un exemplu nelimitativ cu referire la exemplul de mai sus în cazul în care în poziția de referință a lidarului B, lidarul L este orientat spre Nord, adică 0° , iar intervalul de validare este $2 \times \alpha_{max} = 60^\circ$, este următorul:

30 • condiția de validare: valorile instantanee ale unghiului direcției vântului θ sunt validate numai dacă $330^\circ \leq \alpha_i < 360^\circ$ sau $0^\circ \leq \alpha_i < 30^\circ$,

Pentru valorile instantanee ale unghiului direcției vântului θ care satisfac condiția de validare de mai sus, prima condiție de roză de compas pentru determinarea unghiului ajustat al direcției vântului θ_{adj} pentru fiecare dintre valorile validate este următoarea: dacă $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ atunci $\theta_{adj} = \theta$ și dacă $180^\circ < \theta < 360^\circ$ atunci $\theta_{adj} = \theta - 360^\circ$. Prima condiție de roză de compas urmărește să selecteze numai acele valori care au valori absolute care reprezintă modul unor valori între 0° și 180° .

35 În etapa 5 a metodei, unitatea de calcul externă EC face media pentru durata medie Δt , unde $\Delta t < \Delta t$ a unghiului ajustat al direcției vântului θ_{adj} , folosind valorile determinate în S4 precum și viteza vântului v , rezultând unghiul mediu al direcției vântului θ_{avg} și viteza medie a vântului v_{avg} .

Durata medie Δt variază de obicei între 2-5 minute inclusiv.

40 În această etapă, după efectuarea mediei, unitatea de calcul externă EC verifică dacă viteza medie a vântului v_{avg} este cuprinsă în intervalul predeterminat de viteze ale vântului v_1-v_2 pentru care se aplică metoda conform etapelor de la 8 la 12. Dacă viteza medie a vântului v_{avg} este în afara intervalului predeterminat de viteze ale vântului v_1-v_2 , etapa 6 a metodei nu se aplică atâta timp cât viteza medie a vântului v_{avg} este în afara intervalului predeterminat de viteze ale vântului v_1-v_2 . Cu toate acestea, primele patru etape ale metodei sunt încă efectuate până când viteza medie a vântului v_{avg} este cuprinsă din nou în intervalul predeterminat de viteze ale vântului v_1-v_2 .

Mai departe, unitatea de calcul externă EC stochează rezultatul acestei etape.

50 În etapa 6 a metodei, cu referire la Fig. 6, unitatea de calcul externă EC determină devierea alinierii vântului σ pentru turbina T în raport cu direcția vântului ca diferență între unghiul mediu al direcției vântului θ_{avg} și unghiul de orientare ε al nacelei 4. Determinarea se face folosind ecuația:

$$\sigma = \theta_{avg} - \varepsilon \quad [\text{Ec. 4}]$$

Mai departe, unitatea de calcul externă EC stochează rezultatul acestei etape.

55 În etapa 7 a metodei, unitatea de calcul externă EC determină la expirarea duratei Δt , devierea medie a alinierii vântului σ_{avg} pentru turbina T în raport cu direcția vântului corespunzătoare duratei Δt menționate. Respectiva deviere medie a alinierii vântului σ_{avg} pentru turbina T este calculată ca o medie aritmetică a pluralității de devieri ale alinierii vântului σ pe durata Δt .

60 Devierea medie a alinierii vântului σ_{avg} este stocată și comparată cu pragul predeterminat de deviere pentru a verifica dacă trebuie efectuată realinierea în vânt a turbinei T. În cazul în care devierea medie a alinierii vântului pentru turbina T este mai mare decât pragul predeterminat de deviere menționat,

trebuie făcută o acțiune de realiniere a turbinei T în vânt, acțiunea menționată fiind în afara ariei prezentei invenții.

Devierea medie a alinierii vântului σ_{avg} pentru turbina T ca rezultat al metodei conform invenției are avantajul de a reprezenta o determinare mai precisă a devierii alinierii vântului σ pentru turbina T în comparație cu stadiul tehnicii, deoarece este determinată ca medie a unei pluralități de valori ale devierii alinierii vântului σ pentru turbina T, iar fiecare dintre valorile devierii σ ale alinierii vântului este determinată pe baza valorii unghiului direcției vântului θ , care sunt ambele ajustate pentru a aplatiza valorile instantanee de vârf și a face media.

Având în vedere determinarea mai precisă a devierii alinierii vântului pentru turbina T, un alt avantaj este că îmbunătățește corectarea poziției nacellei față de vânt și în acest fel crește randamentul producției de energie al turbinei T.

Dacă granulozitatea determinărilor unității de măsurare și calcul a stației topografice SMCU este mai mică sau egală cu pragul de interval de timp predeterminat care depinde de granulozitatea determinărilor lidarului L, este corect să se utilizeze pluralitatea valorilor instantanee ale unghiului de orientare ϵ al nacellei 4 pentru determinarea devierii medii a alinierii vântului σ_{avg} pentru turbina T, deoarece mișcarea constantă a nacellei 4 nu este de așteptat să se modifice radical în intervale de timp sub-minute, astfel nefiind așteptate vârfuri sau erori semnificative.

Totuși, dacă granulozitatea determinărilor unității de măsură și calcul a stației topografice SMCU este mai mare decât pragul de interval de timp predeterminat, datele sunt primite de unitatea externă de calcul EC de la unitatea de măsurare și calcul a lidarului LMCU corespunzătoare determinărilor instantanee a unghiului direcției vântului θ cu o granulozitate sub-minute, în timp ce datele primite de unitatea de calcul externă EC de la unitatea de măsurare și calcul a stației topografice SMCU au o granulozitate semnificativ mai mare. Acesta este cazul când se folosesc stații topografice manuale S. Problema este ce valori ale unghiului de orientare ϵ al nacellei 4 să fie utilizate între două determinări succesive m , când respectivele m determinări succesive au loc de obicei între 8-15 minute.

Din acest motiv, pentru a îmbunătăți acuratețea determinării devierii medii a alinierii vântului σ pentru turbina T dacă granulozitatea determinărilor unității de măsurare și calcul a stației topografice SMCU este mai mare decât pragul predeterminat de interval de timp, un unghi ajustat de orientare ϵ_{adj} al nacellei 4 este utilizat în etapa S6 în locul unghiului de orientare ϵ al nacellei 4. Aceasta înseamnă că, într-un exemplu de realizare preferat, etapele S1, S2 și S6 ale metodei sunt modificate și trei noi etape se adaugă între S5 și S6.

În acest exemplu de realizare preferat, metoda include o sub-etapă suplimentară în etapa 1 și o sub-etapă suplimentară în etapa 2:

În sub-etapa 1A, unitatea de calcul a turbinei TCU determină unghiurile medii de poziție ω_{avg} ale nacellei 4 în raport cu nordul geografic și trimite aceste date către unitatea de calcul externă EC prin rețeaua de telecomunicații N.

În sub-etapa 2A, unitatea de calcul externă EC primește de la unitatea de calcul a turbinei TCU unghiul mediu de poziție ω_{avg} al nacellei 4 prin intermediul rețelei de telecomunicații N;

În acest exemplu de realizare preferat, metoda include trei noi etape între S5 și S6.

În etapa 5.1 unitatea de calcul externă EC determină un unghi mediu de corecție k_{avg} al nacellei 4, pentru corectarea poziției respectivei nacelle 4 în raport cu nordul geografic, ca medie a unei pluralități de unghiuri de corecție k ale nacellei, fiecare dintre unghiurile de corecție k ale nacellei determinat cu ajutorul ecuației:

$$k = \epsilon - \omega_{avg} \quad [\text{Ec. 5}]$$

și stochează rezultatul acestei etape.

Unghiul de corecție k al nacellei este diferența dintre unghiul de orientare ϵ al nacellei 4 determinat de stația topografică S și, respectiv, unghiul mediu de poziție ω_{avg} al nacellei 4 de la unitatea de calcul a turbinei TCU care reflectă diferența de precizie la efectuarea determinărilor de către cele două aparate de intrare, stația topografică S și unitatea de calcul a turbinei TCU.

Având în vedere că determinările unghiului mediu de poziție ω_{avg} al nacellei 4 se fac cu o granulozitate mai mică decât determinările unghiului ϵ , între două determinări succesive ale respectivului unghi ϵ , se folosește valoarea instantanee anterioară a unghiului a orientare ϵ al nacellei 4. Astfel, de exemplu, determinarea m_i a unghiului ϵ de orientare al nacellei 4 are loc la ora 9,00 iar determinarea ulterioară m_{i+1} a unghiului ϵ de orientare al nacellei 4 are loc la ora 9,15, în acest interval de timp de 15 minute, unghiul mediu de poziție ω_{avg} al nacellei 4 are o pluralitate de valori instantanee, în timp ce unghiul de orientare ϵ al nacellei 4 are o singură valoare, și anume valoarea determinată la ora 9,00. Acesta este motivul pentru care se face media unghiurilor de corecție k ale nacellei.

Determinarea unghiului mediu de corecție k_{avg} al nacellei 4 poate fi efectuată în moduri diferite, luând în considerare diverși factori, cum ar fi, dar fără a se limita la:

- caracteristicile turbinei T, cum ar fi, dar fără a se limita la, dimensiunea și greutatea turbinei T, înălțimea butucului HH, gradul de flexibilitate al nacelei 4,
- caracteristicile vântului în ceea ce privește stabilitatea relativă a direcției și vitezei sale.

Într-un exemplu de realizare preferat, unghiul mediu de corecție k_{avg} al nacelei 4 este calculat ca o medie aritmetică a pluralității de unghiuri de corecție k ale nacelei de la începutul metodei și până la inclusiv determinarea instantanee a unghiului de corecție k al nacelei.

În etapa 5.2, unitatea de calcul externă EC determină un unghi de corecție de poziție ε_k al nacelei 4, respectivul unghi de corecție ε_k reprezentând rezultatul corecției unghiului mediu de poziție ω_{avg} al nacelei 4 cu unghiul mediu de corecție k_{avg} al nacelei 4 și stochează rezultatul acestei etape. Determinarea se face folosind ecuația:

$$\varepsilon_k = k_{avg} + \omega_{avg} \quad [\text{Ec. 6}]$$

În etapa 5.3, unitatea de calcul externă EC aplică o condiție de validare prin verificarea dacă valoarea unghiului de corecție de poziție ε_k al nacelei 4 este cuprinsă într-un interval închis definit de valoarea maximă predeterminată α_{max} a unghiului α_i , pe fiecare parte a poziției de referință a axei orizontale a arborelui rotorului 3, pentru a selecta numai valorile unghiului de corecție de poziție ε_k al nacelei 4 care satisfac condiția de validare menționată, determinând o valoare ajustată a unghiului de poziție ε_{adj} al nacelei 4 folosind o a doua condiție de roză de compas, și stochează rezultatul acestei etape.

Ajustarea se face prin aplicarea celei de-a doua condiții de roză de compas care poate fi diferită de prima condiție de roză de compas. Prin urmare, folosind același exemplu ca în sub-etapa S5.1.2, aplicarea celei de-a doua condiții de roză de compas este ilustrată mai jos:

- dacă $\omega_{avg} + k_{avg} > 360^\circ$, atunci $\varepsilon_k = \omega_{avg} + k_{avg} - 360^\circ$

Exemplu: $\omega_{avg} = 180^\circ$, $k_{avg} = 190^\circ$, $\varepsilon_k = 370^\circ - 360^\circ = 10^\circ$

- dacă $\omega_{avg} + k_{avg} \leq 360^\circ$, atunci $\varepsilon_k = \omega_{avg} + k_{avg}$

Exemplu: $\omega_{avg} = 180^\circ$, $k_{avg} = 170^\circ$, $\varepsilon_k = 350^\circ$

Unghiul ajustat de poziție ε_{adj} al nacelei 4 este utilizat în etapa modificată 6, în locul valorii instantanee a unghiului de orientare ε al nacelei 4 pentru determinarea devierii alinierii vântului σ folosind ecuația:

$$\sigma = \theta_{avg} - \varepsilon_{adj} \quad [\text{Ec. 4A}]$$

Unghiul mediu σ_{avg} al devierii alinierii vântului pentru turbina T, așa cum este dezvăluit în exemplul preferat de realizare, are avantajul celei mai bune utilizări a capacităților fiecăruia dintre cele trei aparate de intrare: lidarul L, stația topografică S și turbina T, reducând în acest fel impactul erorilor inerente de proiectare a sistemului de determinare a direcției azimutale de către computerul turbinei T.

Faptul că este posibilă determinarea în etapa 5.1 a unghiului mediu de corecție k_{avg} reprezintă un alt avantaj al invenției deoarece permite adaptarea metodei și a sistemului conform invenției la caracteristicile fiecăruia dintre cele trei aparate de intrare, pentru a obține cel mai mare randament al producției de energie al respectivei turbine T.

Într-un al treilea aspect al invenției este furnizat un program de calculator cuprinzând instrucțiuni care, atunci când programul este executat de unitatea de calcul externă EC a sistemului, determină calculatorul să efectueze etapele metodei de la etapa 2 până la etapa 7 inclusiv.

Într-un al patrulea aspect al invenției este prevăzută unitatea de calcul externă EC a sistemului având stocată pe aceasta programul de calculator pentru efectuarea etapelor metodei de la etapa 4 până la etapa 7 inclusiv.

Este posibil, într-un alt exemplu de realizare preferat al invenției, să se configureze unitatea de calcul a turbinei TCU, prin intermediul programului de calculator, astfel încât respectiva unitate de calcul a turbinei TCU să fie unitatea de calcul externă EC. Această posibilitate este un avantaj deoarece îmbunătățește funcționarea unui aparat de intrare existent fără a fi nevoie de o altă mașină de calcul.

Deși descrierea invenției a fost dezvăluită în detaliu în legătură cu exemplele preferate de realizare, persoanele de specialitate în domeniu vor aprecia că toate exemplele de realizare preferate servesc doar pentru o mai bună înțelegere a invenției și nu vor limita invenția la acestea și că pot fi făcute modificări pentru a adapta o anumită situație fără a se abate de la întinderea esențială a invenției.

Referințe:

[1] P A FLEMING et al. Rezultatele testelor pe teren obținute utilizând un lidar montat pe nacelă pentru îmbunătățirea puterii de capturare a unei turbine eoliene prin reducerea devierii aliniamentului. *Journal of Physics: Conference Series*, 2014, vol. 524, 012002

[2] KI IN BANG. Metodologii alternative pentru Calibrarea Sistemelor LIDAR. Research Gate, 2010 publicat de Research Gate la următoarea adresă <https://www.researchgate.net/publication/258435577> Alternative Methodologies for LiDAR System Calibration

[3] US8901763
[4] WO2016/008500

(56) Referințe bibliografice citate în raportul de documentare:

- EP-A1- 2 599 993
- EP-A1- 3 181 896
- WO-A1-2016/008500
- US-B2- 8 901 763

(57) Revendicări:

1. Sistem pentru determinarea devierea alinierii vântului unei turbine eoliene de uscat cu ax orizontal (T) cuprinzând turbina eoliană (T), respectiva turbina eoliană (T) cuprinzând o multitudine de palete de rotor (1), un butuc de rotor (2) situat la o înălțime a butucului (HH), un arbore de rotor (3) având o axă orizontală a arborelui de rotor (3), o nacelă (4), un turn (5) având o bază a turnului, **caracterizat prin aceea că:**

- respectiva turbina eoliană (T) mai cuprinde o pereche de puncte țintă X și Y pe suprafața exterioară a nacelii (4) pe partea sa orientată spre sol, aranjate astfel încât pozițiile lor geografice sunt determinate de o stație topografică (S), și astfel încât segmentul XY care leagă punctele țintă X și Y corespunde axei longitudinale a respectivei părți a nacelii (4) orientată spre sol, punctul țintă X fiind plasat la extremitatea nacelii (4) opusă pluralității de palete de rotor (1) și punctul țintă Y fiind plasat în imediata apropiere a turnului (5);

în care turbina (T) are o poziție de referință a turbinei, în care arborele rotorului (3) are o poziție de referință a axei orizontale a arborelui rotorului (3),

în care sistemul mai cuprinde:

- un lidar la sol (L), montat cu axa sa orientată vertical, lidarul (L) cuprinzând o unitate de măsurare și calcul a lidarului (LMCU), respectiva unitate de măsurare și calcul a lidarului (LMCU) configurată:

- să determine un unghi al direcției vântului θ în raport cu nordul geografic în principal la înălțimea butucului (HH);

- să determine o viteză a vântului v în principal la înălțimea butucului (HH);

- să transmită rezultatele determinărilor către unitatea de calcul externă (EC) prin rețeaua de telecomunicații (N);

în care lidarul (L) are o poziție de referință a lidarului (B), în care lidarul (L) este plasat pe sol în fața turbinei (T) în poziția de referință a turbinei pe proiecția pe sol a poziției de referință a axei orizontale a arborelui rotorului (3), la o distanță d_1 de proiecția pe sol (C1) a unui punct extrem (C) al butucului rotorului (2) și

în care nacela (4) se deplasează în funcție de direcția vântului pe o pluralitate de poziții i de fiecare parte a proiecției pe sol a poziției de referință a axei orizontale a arborelui rotorului (3), formând un unghi α_i între proiecția pe sol a poziției de referință a axei orizontale a arborelui rotorului (3) și proiecția pe sol a axei orizontale a arborelui rotorului (3) corespunzătoare fiecăreia din pluralitățile de poziții i ,

- stația topografică de la sol (S), cuprinzând o unitate de măsurare și calcul a stației topografice (SMCU), unitatea de măsurare și calcul a stației topografice (SMCU) configurată:

- să determine cel puțin poziția geografică a perechii de puncte țintă X și Y;

- să transmită rezultatele determinărilor către unitatea de calcul externă (CE) prin rețeaua de telecomunicații (N);

în care stația topografică de la sol (S) este plasată în oricare din cele două poziții de referință (D)' și (D)'' ale stației topografice, în spatele butucului rotorului (2) și lateral în raport cu proiecția pe sol a poziției de referință a axei orizontale a arborelui rotorului (3) la o distanță d_2 de baza turnului (5), astfel încât, atunci când nacela (4) se deplasează în funcție de direcția vântului:

• paletele rotorului (1) nu interferează cu fasciculul laser al unității de măsurare și calcul a stației topografice (SMCU) și

• unitatea de măsurare și calcul a stației topografice (SMCU) poate determina poziția geografică a perechii de puncte țintă X și Y ale nacelii (4) în timpul deplasării nacelii (4) menționate către multitudine de poziții i ,

- unitatea de calcul externă (EC) configurată:

- să primească datele de intrare prin rețeaua de telecomunicații (N):
 - unghiul θ al direcției vântului de la unitatea de măsurare și calcul a lidarului (LMCU);
 - poziția geografică a perechii de puncte țintă X și Y, de la unitatea de măsurare și calcul a stației topografice (SMCU);
- și să stocheze datele de intrare primite;
- să determine un unghi de orientare ε al nacelei (4) în raport cu nordul geografic pe baza poziției geografice a perechii de puncte țintă X și Y și să stocheze fiecare determinare;
 - să determine un unghi ajustat θ_{adj} al direcției vântului;
 - să facă media unghiului ajustat θ_{adj} al direcției vântului și viteza vântului v , pentru a verifica dacă viteza medie a vântului v_{avg} este cuprinsă într-un interval prestabilit de viteze ale vântului $v_1 - v_2$ pentru care se poate determina devierea alinierii vântului, și să stocheze unghiul mediu θ_{avg} al direcției vântului și viteza medie a vântului V_{avg} ;
 - să determine o deviere a alinierii vântului σ a turbinei T față de direcția vântului și să stocheze fiecare determinare;
 - să determine o deviere medie σ_{avg} a alinierii vântului a turbinei (T) în raport cu direcția vântului corespunzătoare unei durate Δt , să stocheze devierea medie σ_{avg} a alinierii vântului și să compare respectiva deviere medie σ_{avg} cu un prag de deviere predeterminat,
 - rețeaua de telecomunicații N configurată;
 - să asigure comunicarea între unitatea de calcul externă (EC) și unitatea de măsurare și calcul a lidarului (LMCU) și stația topografică (S)
- în care* sistemul este configurat astfel încât unitatea de calcul externă (EC) este capabilă să determine devierea alinierii vântului σ_{avg} a turbinei (T) în raport cu direcția vântului pe baza determinărilor primite de la stația topografică de la sol (S) și lidarul de la sol (L).

2. Sistemul conform revendicării 1 *în care* dacă granulozitatea determinărilor unității de măsurare și calcul a stației topografice (SMCU) este mai mare decât un prag de interval de timp predeterminat, sistemul mai cuprinde o unitate de calcul (TCU) a turbinei (T), respectiva unitate de calcul a turbinei (TCU) configurată pentru a determina un unghi mediu de poziție ω_{avg} al nacelei (4) în raport cu nordul geografic și configurată pentru a trimite rezultatul determinărilor către rețeaua de telecomunicații N,

- unitatea de calcul externă (EC) este configurată în continuare:
- să primească prin intermediul rețelei de telecomunicații (N) unghiul mediu de poziție ω_{avg} al nacelei (4);
- să determine un unghi mediu de corecție k_{avg} al nacelei (4), pentru corectarea poziției nacelei (4) menționate, și să stocheze fiecare determinare;
- să determine un unghi de corecție de poziție ε_k al nacelei (4) față de nordul geografic și să stocheze fiecare determinare;
- să determine un unghi ajustat de orientare ε_{adj} al nacelei (4) în raport cu nordul geografic și să stocheze fiecare determinare;
- rețeaua de telecomunicații N este configurată în continuare;
- să asigure comunicarea între unitatea de calcul externă (EC) și unitatea de calcul a turbinei (TCU).

3. Sistem conform revendicării 2, *în care* unitatea de măsurare a turbinei (TMU) este un anemometru cu ultrasunete.

4. Sistem conform revendicărilor 1 sau 2 sau 3, *în care* distanța d_1 depinde de valoarea unui unghi λ de emisie a fasciculului laser care se rotește în jurul axei verticale (AB) a lidarului (L) și de valoarea înălțimii butucului (HH), folosind ecuațiile:

$$d_{1min} = \operatorname{tg}(\lambda) * HH \quad [\text{Ec. 1}]$$

$$d_{1max} = \operatorname{tg}(\lambda) * 2 * HH \quad [\text{Ec. 2}]$$

5. Sistemul conform oricăreia dintre revendicările de la 1 la 4, *în care* distanța d_2 depinde de înălțimea butucului (HH) și de capacitatea unității de măsurare și calcul a stației topografice (SMCU) de a determina poziția geografică a punctelor X și Y, folosind ecuația:

$$d_{2min} = 2 * HH * d_{1min} \quad [\text{Ec. 3}]$$

unde 2 este o constantă.

6. Procedeu de determinare a devierii alinierii vântului a turbinei eoliene de uscat cu ax orizontal (T) folosind sistemul conform oricăreia dintre revendicările de la 1 la 5, **caracterizat prin aceea că** cuprinde următoarele etape care trebuie efectuate pe durata Δt :

S1 Determinarea de un număr de n ori, de către unitatea de măsurare și calcul a lidarului (LMCU) a lidarului de la sol (L), a unghiului direcției vântului θ în raport cu nordul geografic în principal la înălțimea butucului (HH),

determinarea de către unitatea de măsură și calcul a lidarului (LMCU) a vitezei vântului v în principal la înălțimea butucului (HH), și

transmiterea, de către unitatea de măsurare și calcul a lidarului (LMCU), a rezultatelor determinărilor către unitatea de calcul externă (EC) prin intermediul rețelei de telecomunicații (N); determinarea de un număr de ori m , de către unitatea de calcul și măsurare a stației topografice (SMCU), cel puțin a poziției geografice a perechii de puncte țintă X și Y,

și trimiterea rezultatelor determinărilor către unitatea de calcul externă (EC) prin intermediul rețelei de telecomunicații (N),

S2 Primirea de către unitatea de calcul externă (EC) a datelor de intrare prin intermediul rețelei de telecomunicații (N): unghiul θ al direcției vântului și cel puțin poziția geografică a perechii de puncte țintă X și Y și stocarea datelor de intrare primite,

S3 Determinarea de către unitatea de calcul externă (EC) a unghiului de orientare ε al nacelei (4) în raport cu nordul geografic pe baza poziției geografice a perechii de puncte țintă X și Y și stocarea rezultatului acestei etape,

S4 Aplicarea unei condiții de validare prin verificarea dacă unghiul θ al direcției vântului are o valoare care este cuprinsă într-un interval închis definit de valoarea maximă predeterminată α_{\max} a unghiului α_i , pe fiecare dintre pozițiile de referință ale axei orizontale a părților laterale ale rotorului 3,

selectând numai valorile unghiului θ al direcției vântului care satisfac condiția de validare menționată,

determinând un unghi ajustat al direcției vântului θ_{adj} pentru fiecare dintre valorile validate folosind o primă condiție de roză de compas și stocarea rezultatului acestei etape,

S5 Mediarea de către unitatea de calcul externă (EC) pentru o durată de mediere Δt_t , unde $\Delta t_t < \Delta t$, a unghiului ajustat al direcției vântului θ_{adj} și a vitezei vântului v , rezultând unghiul mediu al direcției vântului θ_{avg} și viteza medie a vântului v_{avg} ,

verificarea dacă viteza medie a vântului v_{avg} este cuprinsă în intervalul predeterminat de viteze ale vântului $v_1 - v_2$ pentru care se aplică următoarea metodă a etapelor și stocarea rezultatului acestei etape,

S6 Determinarea de către unitatea de calcul externă (EC) a devierii alinierii vântului σ pentru turbina (T) în raport cu direcția vântului ca diferență între unghiul mediu al direcției vântului θ_{avg} și unghiul de orientare ε al nacelei (4), folosind ecuația:

$$\sigma = \theta_{\text{avg}} - \varepsilon \quad [\text{Ec. 4}],$$

și stocarea rezultatului acestei etape,

S7 Determinarea de către unitatea de calcul externă (EC) la expirarea duratei Δt , a devierii medii a alinierii vântului σ_{avg} pentru turbina (T) în raport cu direcția vântului corespunzătoare duratei Δt menționate ca medie aritmetică a pluralității a valorilor devierii alinierii vântului σ în timpul duratei Δt , stocând devierea medie σ_{avg} a turbinei (T) ca rezultat al metodei și comparând respectiva deviere medie σ_{avg} cu pragul de deviere predeterminat pentru a verifica dacă trebuie efectuată re-alinierea în vânt a turbinei (T).

7. Metoda conform revendicării 6, *în care* dacă granulozitatea determinărilor unității de măsurare și calcul a stației topografice (SMCU) este mai mare decât un prag de interval de timp predeterminat, în scopul îmbunătățirii preciziei determinării devierii alinierii σ a turbinei (T) se utilizează în etapa S6 un unghi ajustat de orientare ε_{adj} al nacelei (4) în locul unghiului ε de orientare al nacelei (4), metoda incluzând:

i. O sub-etapă suplimentară în etapa 1:

S1A Determinarea unghiurilor medii de poziție ω_{avg} ale nacelei 4 în raport cu nordul geografic de către unitatea de calcul a turbinei TCU și trimiterea acestora către unitatea de calcul externă EC prin rețeaua de telecomunicații N,

ii. O sub-etapă suplimentară în etapa 2:

S2A Primirea de către unitatea de calcul externă (EC) de la unitatea de calcul a turbinei (TCU) a unghiului mediu de poziție ω_{avg} al nacelei (4) prin intermediul rețelei de telecomunicații (N);

iii. Trei pași suplimentari între pasul 5 și pasul 6 pentru determinarea unghiului ajustat ε_{adj} :

S 5.1. Determinarea de către unitatea externă de calcul (EC) a unui unghi mediu de corecție k_{avg} al nacelei 4, pentru corectarea poziției nacelei 4 menționate în raport cu nordul geografic, ca medie a unei

pluralități de unghiuri de corecție k , fiecare dintre unghiurile de corecție k ale nacelei fiind determinat cu ajutorul ecuației:

$$k = \varepsilon - \omega_{\text{avg}} \quad [\text{Ec. 5}],$$

și stocarea rezultatului acestui pas,

S.5.2 Determinarea de către unitatea de calcul externă (EC) a unui unghi de corecție de poziție ε_k al nacelei (4), respectivul unghi corectat ε_k reprezentând rezultatul corecției unghiului mediu de poziție ω_{avg} al nacelei 4 cu unghiul mediu de corecție k_{avg} al nacelei, folosind ecuația:

$$\varepsilon_k = k_{\text{avg}} + \omega_{\text{avg}} \quad [\text{Ec. 6}],$$

și stocarea rezultatului acestei etape,

S.5.3 Aplicarea unei condiții de validare prin verificarea dacă unghiul de corecție de poziție ε_k al nacelei (4) are o valoare care este cuprinsă într-un interval închis definit de valoarea maximă predeterminată α_{max} a unghiului α_i , pe fiecare parte a poziției de referință a axei orizontale a arborelui rotorului 3,

selectând numai valorile unghiului de corecție de poziție ε_k al nacelei (4) care satisfac condiția de validare menționată,

determinarea unui unghi ajustat de poziție ε_{adj} al nacelei (4) utilizând o a doua condiție de roză de compas și stocarea rezultatului acestei etape,

iv. Folosind unghiul ajustat ε_{adj} în loc de unghiul ε de orientare al nacelei (4) în S6 pentru determinarea devierii alinierii vântului σ folosind ecuația:

$$\sigma = \theta_{\text{avg}} - \varepsilon_{\text{adj}} \quad [\text{Ec. 4a}],$$

și stocarea rezultatului acestei etape.

8. Metodă conform revendicării 6, în care pentru fiecare determinare instantanee a unghiului de corecție k al nacelei, unghiul mediu de corecție k_{avg} al nacelei (4) este calculat ca o medie aritmetică a pluralității de unghiuri k de corecție ale nacelei de la începutul metodei până la și inclusiv respectiva determinare instantanee menționată a unghiului de corecție k al nacelei.

9. Program de calculator cuprinzând instrucțiuni care, atunci când programul este executat de unitatea de calcul externă (EC) a sistemului conform oricăreia dintre revendicările de la 1 la 5, determină calculatorul să efectueze etapele metodei de la etapa 2 până la etapa 7 inclusiv, conform oricăreia dintre revendicările de la 6 la 8.

10. Unitate de calcul externă (EC) a sistemului conform oricăreia dintre revendicările de la 1 la 5, având stocat pe aceasta programul de calculator conform revendicării 9.

11. Unitate de calcul externă (EC), conform revendicării 10, în care respectiva unitate de calcul externă (EC) este unitatea de calcul a turbinei (TCU).

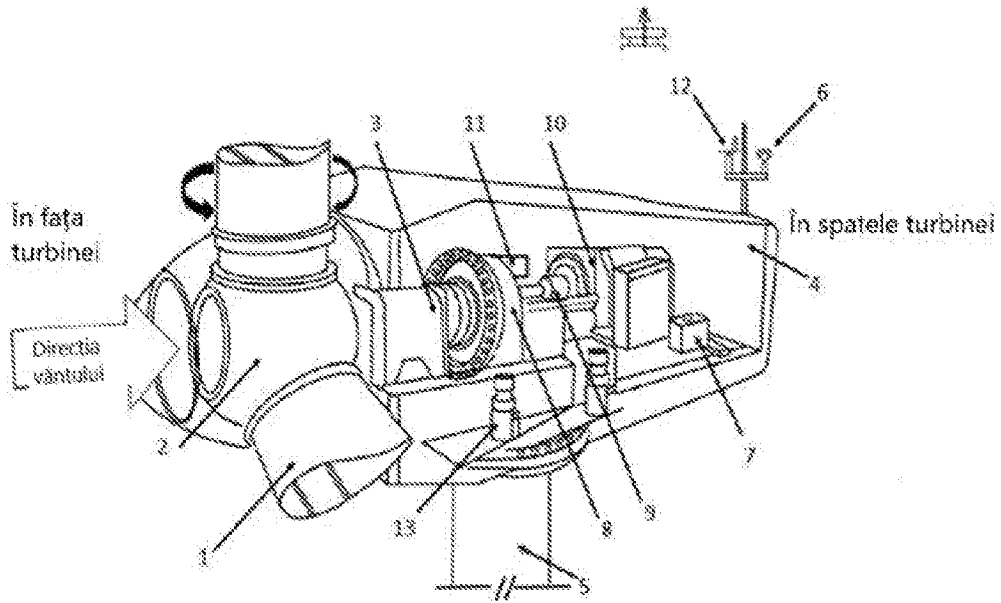


Fig. 1

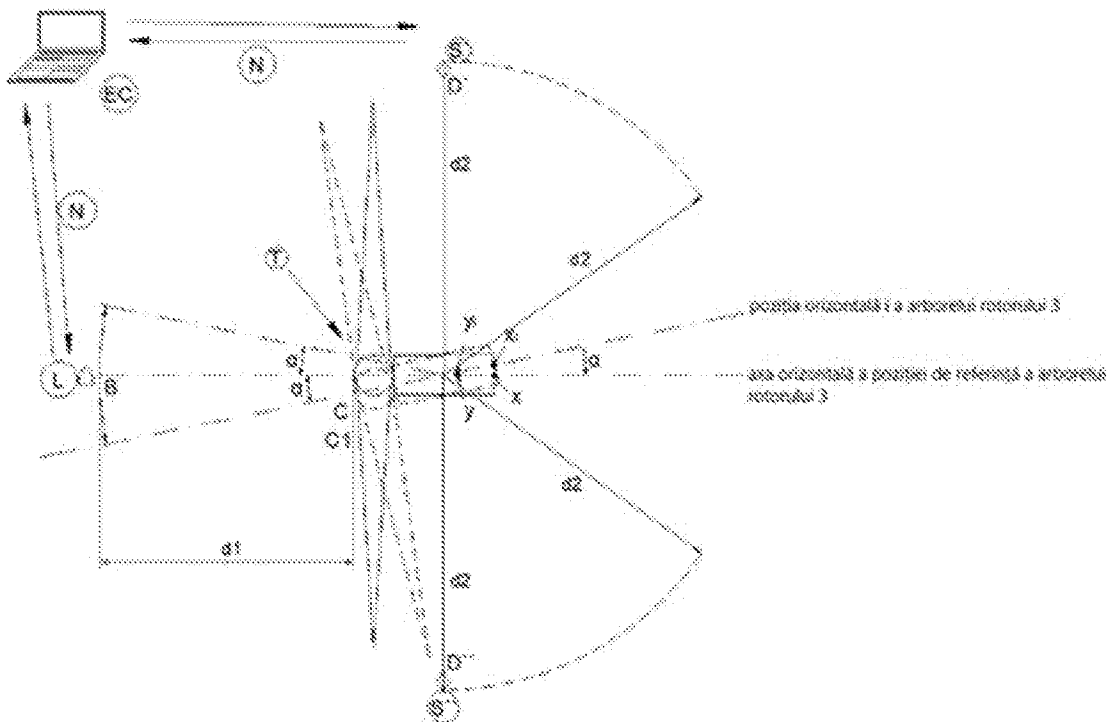


Fig. 2

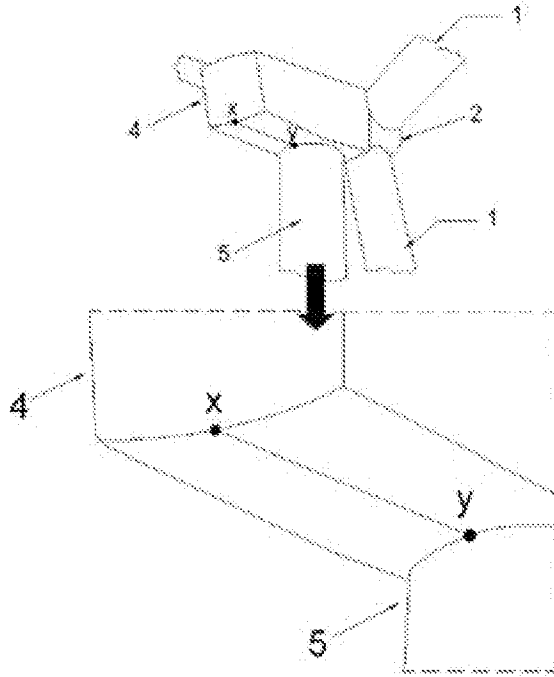


Fig. 3

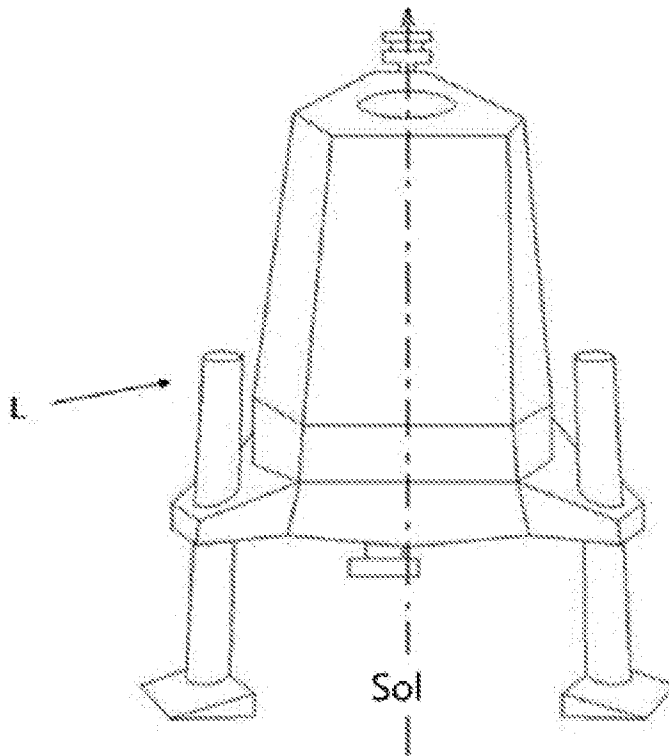


Fig. 4

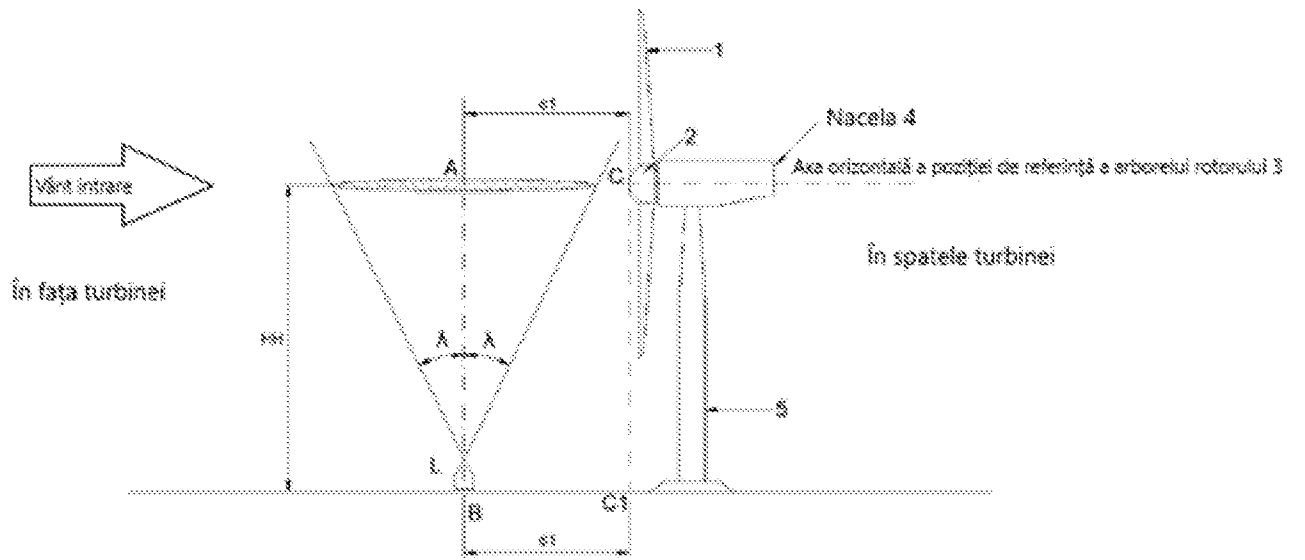


Fig. 5

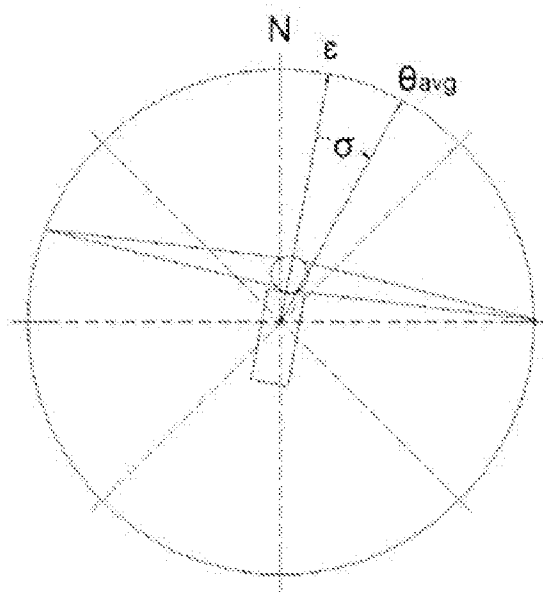


Fig. 6