



(12) PATENTSKRIFT

Patentdirektoratet
TAASTRUP

(51) Int.Cl[®]: F 03 D 7/04 F 03 D 1/06

(21) Patentansøgning nr: PA 1995 00742

(22) Indleveringsdag: 1995-06-27

(24) Løbedag: 1995-06-27

(41) Alm. tilgængelig: 1996-12-28

(45) Patentets meddelelse bkg. den: 1999-10-11

(73) Patenthaver: Bonus Energy A/S, Fabrikvej 4, 7330 Brande, Danmark

(72) Opfinder: Peder Bay Enevoldsen, Sønderbro 4, 8310 Tranbjerg Jylland, Danmark
Henrik Stiesdal, Nørrevoldgade 45, 5000 Odense C, Danmark

(74) Fuldmægtig: PATRADE A/S, Åboulevarden 21, 8000 Århus C, Danmark

(54) Benævnelse: Fremgangsmåde og indretning til reduktion af svingninger i en vindmøllevinge.

(56) Fremdragne publikationer:
Ingen

(57) Sammendrag:

Denne opfindelse angår en fremgangsmåde til reduktion af svingninger i en vindmøllevinge, så belastningerne på vingen og på resten af møllekonstruktionen reduceres.

Ifølge opfindelsen opnås dette ved, at vingens aerodynamiske egenskaber ændres som funktion af et forskydbart organs acceleration og/eller hastighed i omdrejningsretningen og/eller ud af rotorplanet.

Opfindelsen omhandler også et organ til ændring af svingningerne i en vindmøllevinge, hvilket organ i første en udførelsesform er kendetegnet ved, at organet er en masse (13), som via et stangsystem (14) er svingbart lejret om en akse (14a), der strækker sig i vingens længderetning, så massen (13) ved svingning i retning på tværs af rotorplanet gennem stangsystemet (14) bevæger en flap (15) til mindre opdrift på vingen.

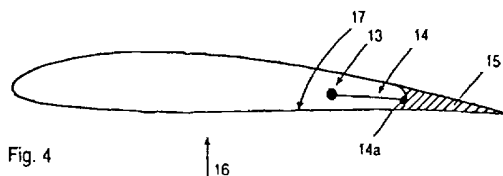


Fig. 4

5 Opfindelsen angår en fremgangsmåde til reduktion af svingninger i en vindmøllevinge, så belastningerne på vingen og på resten af møllekonstruktionen reduceres.

10 Opfindelsen omhandler også en indretning til brug ved udøvelse af fremgangsmåden.

15 Det er en kendt sag, at vindmøller udsættes for store, varierende aerodynamiske belastninger under drift. Belastningerne varierer stokastisk, fordi luftens strømning er turbulent. Desuden varierer belastningerne systematisk, fordi hastighedsprofilet varierer med højden over jorden, og fordi mølletårnet som regel giver en vindskygge, selv når rotoren er placeret på tårnets vindside. Endvidere kan vingerne under bestemte aerodynamiske betingelser have lille eller negativ aerodynamisk dæmpning, hvorved der kan forekomme såkaldte stall-svingninger. Disse stall-svingninger kan blive meget store og kan alvorligt nedsætte vindmøllens levetid.

25 Det er også en kendt sag, at opdriftsegenskaberne med et givet vingeprofil kan ændres på forskellig måde. Udfældning af en flap nær profilets bagkant, løft af en slot over vingens forkant og placering af vortex generators på vingens sugeside vil normalt forøge opdriften på profilet. Forekomst af en turbulator nær vingens forkant eller åbning af kanaler for gennemstrømning på tværs af profilet vil normalt reducere opdriften på profilet. Opdriftsegenskaberne på hele vingen kan ændres ved ændring af vingens indstillingsvinkel.

35 Der er en række kendte fremgangsmåder og indretninger,

hvormed vindmøllevingers aerodynamiske egenskaber ændres på en eller flere af de ovennævnte måder med henblik på at reducere de aerodynamiske belastninger på en vindmøllevinge. Mange stall-regulerede vindmøller har således turbulatorer på vingerne for at sænke den maksimale opdrift. Pitch-regulerede vindmøller ændrer vingernes indstillingsvinkel som respons på diverse parametre. Disse parametre er ofte begrænset til den afgivne effekt, men der er også systemer, hvor belastningerne på vingeroden måles og bruges i reguleringsalgoritmen.

Under svingninger optræder de største belastninger, når strukturen er fuldt deformeret. Det vil sige, at der kræves en forholdsvis avanceret form for regulering, hvis belastningernes størrelse skal reduceres væsentligt på baggrund af en måling af belastningernes størrelse. En sådan regulering kan for eksempel udføres med et D-led (differentiering af målesignalet). Det er imidlertid svært at udføre som en mekanisk løsning og vil normalt forudsætte, at reguleringen er aktiv og er baseret på elektronisk signalbehandling.

Det er derfor formålet med den foreliggende opfindelse at angive en fremgangsmåde, som på en simpel måde kan reducere eventuelle svingninger i en vindmøllevinge ved at ændre dens aerodynamiske egenskaber, idet der også skal angives en indretning til brug ved udøvelsen af fremgangsmåden.

Dette formål opnås ved en fremgangsmåde af den i indledningen angivne art, hvilken fremgangsmåde ifølge opfindelsen er særegen ved, at vingens aerodynamiske egenskaber ændres som funktion af en forskydbar indretnings acceleration og/eller hastighed i omdrejningsretningen og/eller ud af rotorplanet.

Det overordnede princip i opfindelsen er at lave en simpel, direkte kobling mellem accelerationen og/eller hastigheden

af vingens yderste del og de aerodynamiske egenskaber af vingen. Herved opnås på en særlig fordelagtig måde, at eventuelle svingninger reduceres.

5 Opfindelsen tager udgangspunkt i det forhold, at accelerationen og/eller hastigheden af den yderste del af en vindmøllevinge er et godt udtryk for, hvordan belastningerne vil udvikle sig ved strukturelle svingninger. I modsætning til ved en måling af belastningernes størrelse, hvor det
10 maksimale signal først opnås ved forekomsten af selve den situation, som man ønsker at undgå, vil en måling af accelerationen og/eller hastigheden give det maksimale signal allerede på det tidspunkt, hvor en svingning begynder at udvikle sig. Det skal nævnes, at vingens enkelte dele under
15 rotation stedse accelereres indad. Denne centripetalacceleration er opfindelsen uvedkommende, og med begrebet acceleration menes i denne beskrivelse acceleration i omdrejningsretningen (kantvis acceleration) eller ud af rotorplanet (flapvis acceleration).

20 Svingningsdæmpningen kan opnås ved at ophænge en masse i eller på vingen og koble denne med en eller flere indretninger, der ændrer opdriftsforholdene på vingen.

25 De anførte aerodynamiske egenskaber, der ændres, er ikke kun begrænset til vingens opdrift, men kan også omhandle vingens modstand og pitchmoment.

Vingens opdrift kan således både forøges og formindskes,
30 for eksempel ved benyttelse af en flap, der normalt vil forøge opdriften, når den udfældes.

Hvad angår opdriftsændringens orientering i forhold til omdrejningsretningen og/eller ud af rotorplanet (hvor opdriften ikke er den eneste aerodynamiske egenskab, der er relevant), er det ikke givet, at bestemte accelerationer med
35

fordel skal give bestemte opdriftsændringer.

5 Indretningen ifølge opfindelsen er ved en første udførelsesform særegen ved, at indretningen er en masse, som via et stangsystem er svingbart lejret om en akse, der strækker sig i vingens længderetning, så massen ved svingning i retning på tværs af rotorplanet og gennem stangsystemet bevæger en flap til mindre opdrift på vingen.

10 De uselvstændige krav omhandler fordelagtige udførelsesformer for indretningen ifølge opfindelsen.

Opfindelsen skal forklares nærmere i det følgende under henvisning til tegningen, hvor:

15

Fig. 1 viser et diagram over de dynamiske belastninger af en vindmøllevinge,

20

fig. 2a-g viser en række eksempler på kendte fremgangsmåder til forøgelse af opdriften på en vinge,

fig. 3a-c viser en række eksempler på kendte fremgangsmåder til reduktion af opdriften på en vinge,

25

fig. 4 viser en udførelsesform for en indretning ifølge opfindelsen, hvor den flapvise acceleration af en ophængt masse ændrer en vinges opdrift med en flap,

30

fig. 5 viser en udførelsesform for en indretning ifølge opfindelsen, hvor den kantvise acceleration af en ophængt masse ændrer en vinges opdrift med en turbulator,

35

fig. 6 viser en udførelsesform for en indretning ifølge opfindelsen, hvor accelerationen af en ophængt

masse ændrer en vinges opdrift via et viskøst medium,

5 fig. 7 viser en udførelsesform for en indretning ifølge opfindelsen, hvor den accelererende masse selv er et viskøst medium, der kan fylde eller drænere en opustelig flap på en vinge,

10 fig. 8 viser en udførelsesform for en indretning ifølge opfindelsen, hvor den accelererende masse er forbundet til en hydraulisk ventil, som styrer hele vindmøllevingens indstillingsvinkel, og

15 fig. 9 viser et diagram over, hvordan de dynamiske belastninger på en vindmøllevinge kan reduceres med en indretning ifølge opfindelsen.

20 I fig. 1 ses et diagram, som viser de dynamiske belastninger på en vindmøllevinge. Diagrammet er resultatet af en computer-simulering, der er udtrykt som bøjningsmomentet i vingeroden vist over tiden. En langsom svingning 1, der skyldes vindprofilets variation med højden over jorden under en omdrejning af rotoren er overlejret med en hurtigere svingning 2, der skyldes tilfældig excitation af strukturen fra turbulens.

30 I fig. 2a-g ses eksempler på kendte fremgangsmåder til at ændre en vindmøllevinges aerodynamiske egenskaber, såsom en forøgelse af vinges opdrift. De viste fremgangsmåder omfatter forskellige udførelsesformer: Plain flap or aileron 2a, split flap 2b, external airfoil flap 2c, slotted flap 2d, double slotted flap 2e, leading edge slat 2f og vortex generators 2g.

35 I fig. 3a-c ses eksempler på kendte fremgangsmåder til at ændre en vindmøllevinges aerodynamiske egenskaber, såsom en

reduktion af vingens opdrift. De viste fremgangsmåder omfatter turbo-tape 10, stall-liste 11 og ventilation 12.

5 De anførte aerodynamiske egenskaber, der ændres, er ikke kun begrænset til vingens opdrift, men kan også omhandle vingens modstand og pitchmoment. En mulighed er således en ren spoiler-virkning, som kun vedrører modstanden.

10 Vingens opdrift kan således både forøges og formindskes, for eksempel ved benyttelse af en flap, der normalt vil forøge opdriften, når den udfældes.

15 Hvad angår opdriftsændringens orientering i forhold til omdrejningsretningen og/eller ud af rotorplanet (hvor opdriften ikke er den eneste aerodynamiske egenskab, der er relevant), er det ikke givet, at bestemte accelerationer med fordel skal give bestemte opdriftsændringer. Der kan godt forekomme situationer, hvor sammenhængen er anderledes end den, der umiddelbart forventes. Disse mere uventede sammenhænge klarlægges først effektivt ved en aero-elastisk beregning.

20

I fig. 4 ses en udførelsesform for en indretning ifølge opfindelsen. En masse 13 er ophængt svingbart om et punkt 25 14a, så massen kan bevæges i flapvis retning (det vil sige på tværs af korden). Ved et stangsystem 14 er massen 13 forbundet til en flap 15. Hvis vingen accelereres væk fra vinden 16, hvilket den vil gøre, når et pludseligt vindstød øger de aerodynamiske belastninger, bevæger massen 13 sig 30 mod vingens trykside 17 og fører dermed flappen 15 i en retning mod mindre opdrift, hvorved belastningerne på vingen reduceres.

I fig. 5 ses en anden udførelsesform for en indretning 35 ifølge opfindelsen, hvor en masse 18 er ophængt svingbart om et punkt 19a, så massen er bevægelig i kantvis retning

(det vil sige på langs af korden). Ved et stangsystem 19 er massen 18 forbundet til en turbulator 20. Hvis vingen accelereres fremad i omdrejningsretningen 21, hvilket den vil gøre under kantvise stall-svingninger, når opdriften varierer ustabilt på grund af vingens egenbevægelse, bevæger massen 18 sig mod vingens bagkant 22 og hæver dermed turbulatoren 20 op over vingens overflade 23, hvorved opdriften atter reduceres, og den ustabile tilstand ophører.

I fig. 6 ses en tredje udførelsesform for en indretning ifølge opfindelsen, hvor en masse 24 er anbragt i en cylinder 25 og er centreret af to fjedre 26. Cylinderen 25 er fyldt med et viskøst medium 27 og er ved et rørsystem 28 forbundet med en cylinder 29, der kan aktivere en opdriftsændrende indretning 30. Massen 24 er udformet som et stemmel i cylinderen 25 og er indrettet til at lade det viskøse medium passere forbi sig og/eller gennem sig fra den ene ende til den anden, idet massen 24 for eksempel har mindre diameter end lysningen i cylinderen 25 eller har på figuren ikke viste langsgående borer. Ved passende afstemning af dræningen i pasningen mellem massen 24 og cylinderen 25 eller dimensionering af borerne samt eventuel yderligere dræning 31 kan en ønsket dæmpning opnås. Fordelen ved den udførelsesform er, at den opdriftsændrende indretning 30 ved stationære forhold vil være ubelastet fra svingningsdæmperen og kan stille sig i en stilling, der er resultatet af de aerodynamiske reaktionskræfter.

I fig. 7 ses en fjerde udførelsesform for en indretning ifølge opfindelsen, hvor en masse består af en viskøs væske 32, der hovedsageligt er anbragt i en beholder 33 og ved et rørsystem 34 er forbundet med en opdriftsdæmpende indretning 35, der her har form som en oppustelig flap 36. En fleksibel rørvæg 37 tillader den nødvendige volumenændring.

35

I fig. 8 ses endnu en udførelsesform for en indretning

ifølge opfindelsen. Her er en masse 38 ved hjælp af et stangsystem forbundet til en hydraulisk ventil 39, som indgår i et hydraulisk system, der er antydnet med litra P. Ventilen 39 styrer det hydrauliske medium til en cylinder 5 40, der på sin side regulerer indstillingsvinklen for hele vingen.

I fig. 9 ses et diagram, som viser de dynamiske belastninger på en vindmøllevinge, når en indretning ifølge opfindelsen, som er vist i fig. 4, er implementeret. Det ses tydeligt, at de hurtige belastninger fra den tilfældige excitation (sammenlign med svingning 2 i fig. 1), er reduceret. Den langsomme svingning, der skyldes vindprofilets variation med højden over jorden under en omdrejning af rotoren 15 (sammenlign med svingning 1 på fig. 1), er ikke nævneværdigt reduceret, men er også af mindre betydning for møllens levetid.

P A T E N T K R A V

1. Fremgangsmåde til reduktion af svingninger i en vindmøllevinge, k e n d e t e g n e t ved, at vingens aerodynamiske egenskaber ændres som funktion af en forskydbar indretnings (13, 18, 26, 32, 38) acceleration og/eller hastighed i omdrejningsretningen og/eller ud af rotorplanet.
- 5
2. Indretning til brug ved udøvelse af den i krav 1 omhandlede fremgangsmåde til reduktion af svingninger i en vindmøllevinge, k e n d e t e g n e t ved, at indretningen er en masse (13), som via et stangsystem (14) er svingbart lejret om en akse (14a), der strækker sig i vingens længderetning, så massen (13) ved svingning i retning på tværs af rotorplanet gennem stangsystemet (14) bevæger en flap (15) til mindre opdrift på vingen.
- 10
- 15
3. Indretning ifølge krav 2, k e n d e t e g n e t ved, at indretningen er en masse (38), som via et stangsystem (41) er svingbart lejret om en akse (41a), der strækker sig i vingens længderetning, så massen (38) ved svingning i retning på tværs af rotorplanet gennem stangsystemet (41) påvirker en hydraulisk ventil (39), der styrer et hydraulisk medium til respektive ender af en cylinder (40), som er indrettet til at ændre vingens indstillingsvinkel.
- 20
- 25
4. Indretning ifølge krav 2, k e n d e t e g n e t ved, at indretningen er en masse (18), som via et stangsystem (19) er svingbart lejret om en akse (19a), der strækker sig i vingens længderetning, så massen (18) ved svingning i rotorrens omdrejningsretning gennem stangsystemet (19) bevæger en opdriftsændrende indretning i form af en turbulator (20).
- 30
- 35
5. Indretning ifølge krav 2, k e n d e t e g n e t ved, at indretningen er en viskøs væske (32), som er anbragt i en

cylinder (33), der strækker sig vinkelret på vingens længderetning og hvis i rotorens omdrejningsretning forreste ende har en elastisk eftergivelig væg (37), og hvis bageste ende med en rørledning (34) er sluttet til en opdriftsændrende indretning (35) i form af en med den viskøse væske (32) oppustelig flap (36).

6. Indretning ifølge krav 2, k e n d e t e g n e t ved, at indretningen er en masse (24), der som et stempel er forskydeligt anbragt i en første cylinder (25) og i en af accelerationer upåvirket stilling er centreret i cylinderen (25) ved hjælp af ved hver ende af massen (24) anbragte fjedre (26), at cylinderen (25) indeholder et viskøst medium og via ved hver ende placerede rørledninger (28) er sluttet til enderne af en anden cylinder (29) med stempel (29a) og stempelstang (29b), hvis udragende ende er forbundet med en opdriftsændrende indretning (30), såsom en flap eller en turbulator.

7. Indretning ifølge krav 6, k e n d e t e g n e t ved, at massen (24) har mindre tværsnitsareal end tværsnitsarealet af den første cylinder (25), og at den første cylindres (25) to ender er forbundet med en rørledning (31a), hvori en justerbar drøvleventil (31) er indsat.

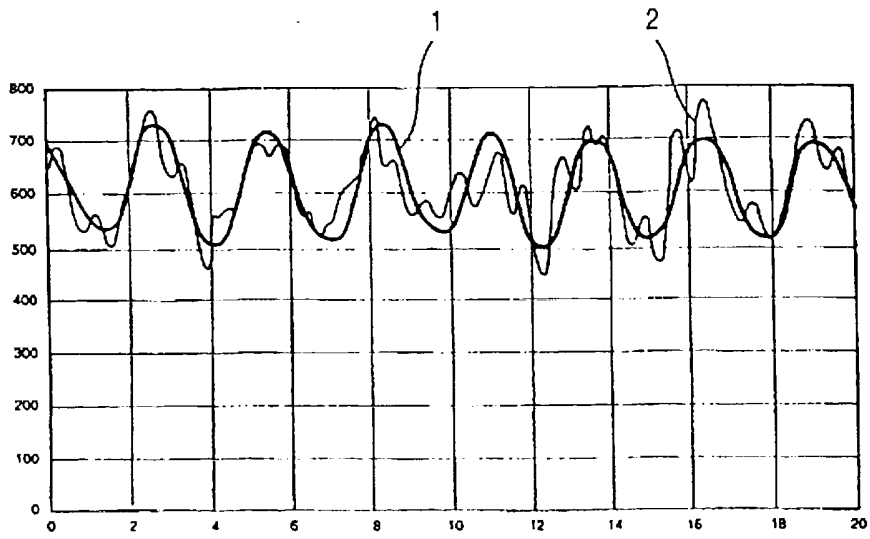


Fig. 1

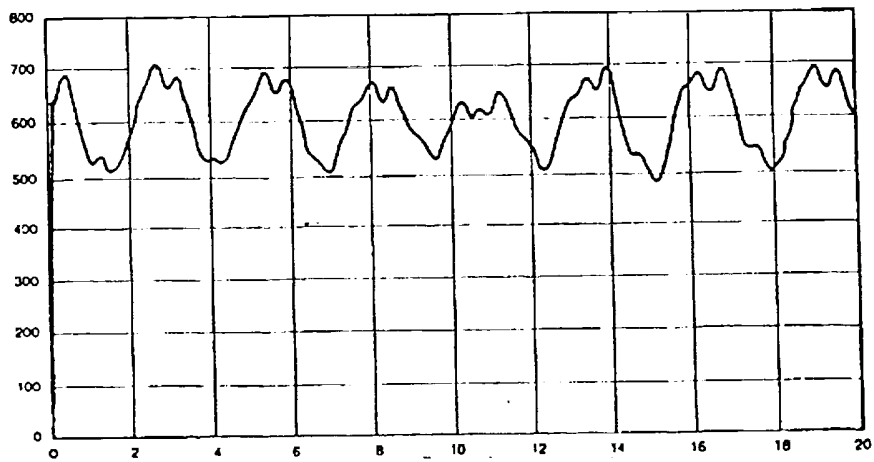


Fig. 9

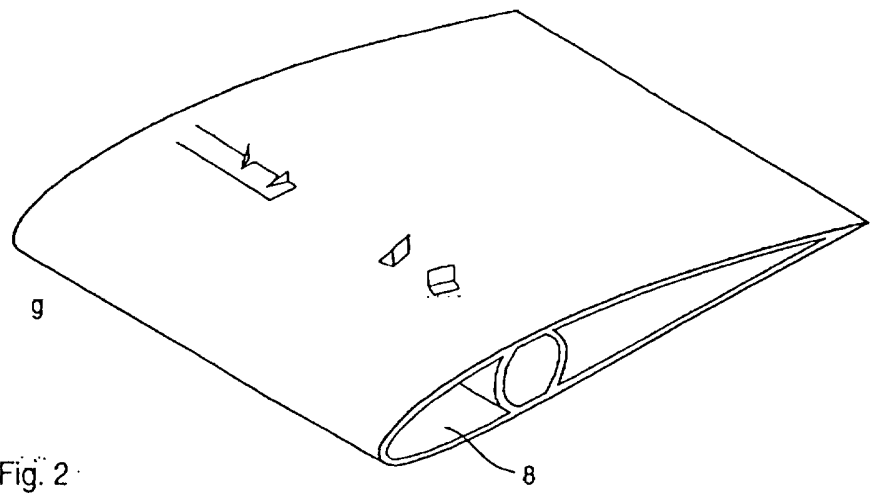
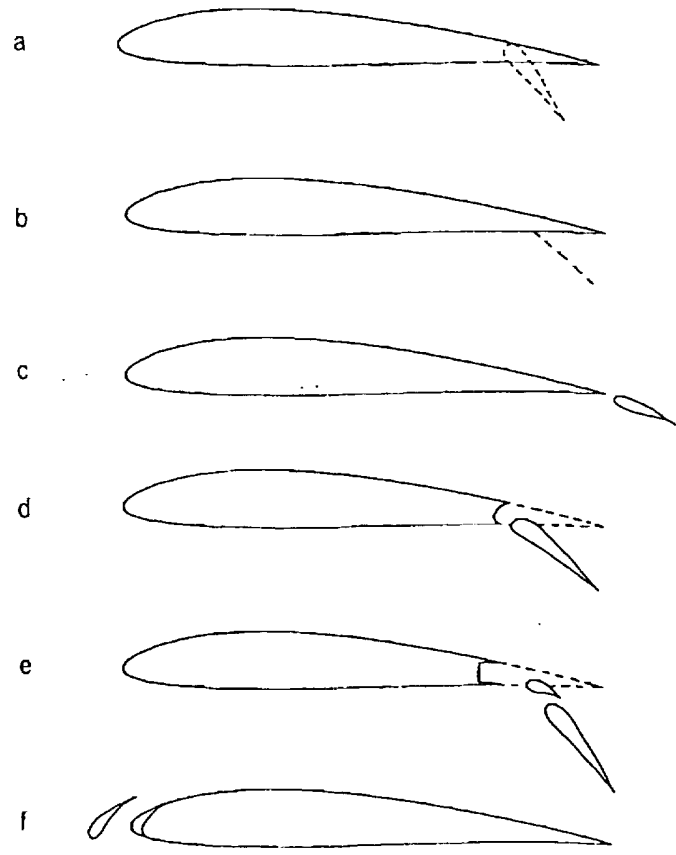


Fig. 2

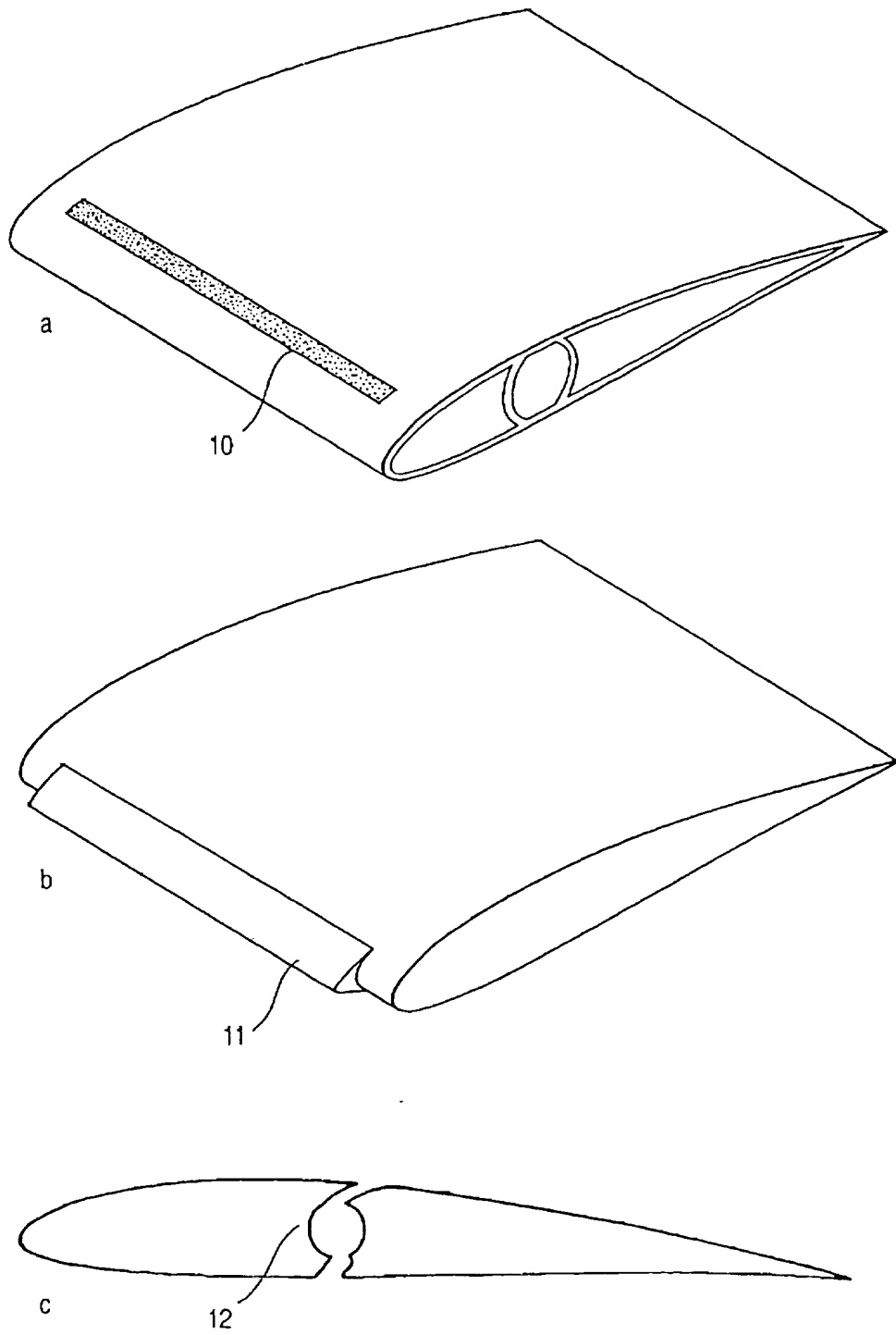


Fig. 3

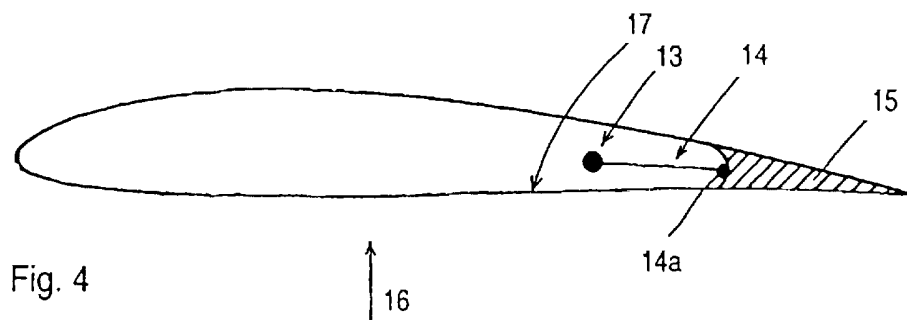


Fig. 4

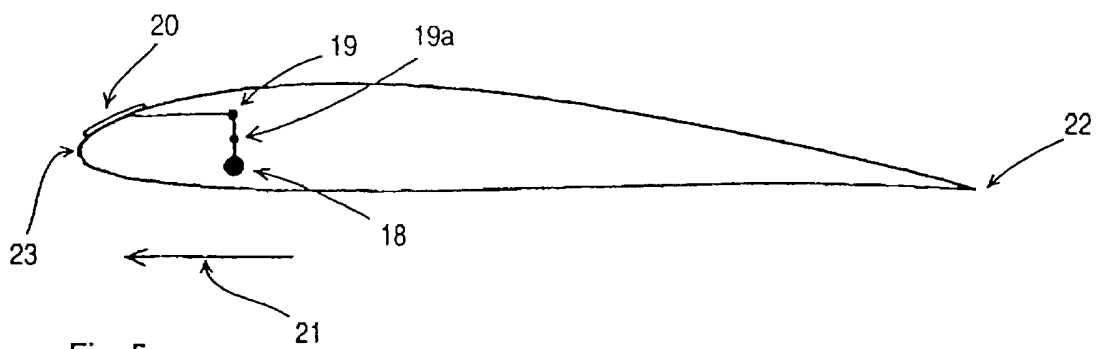


Fig. 5

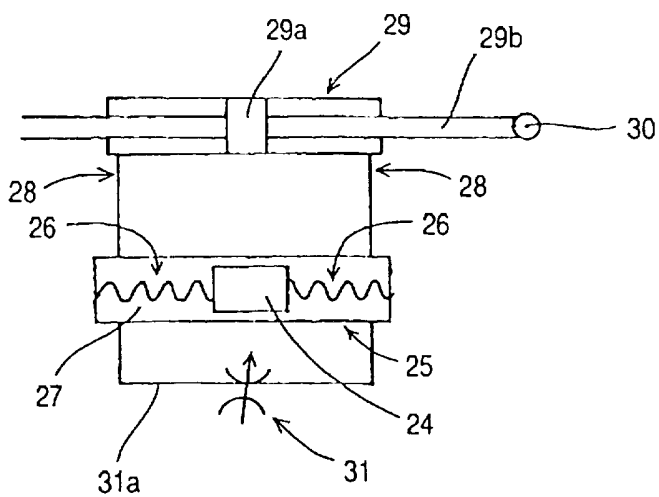


Fig. 6

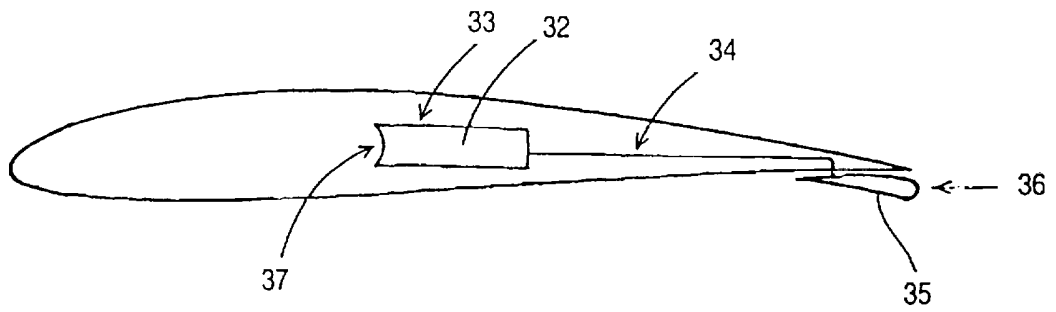


Fig. 7

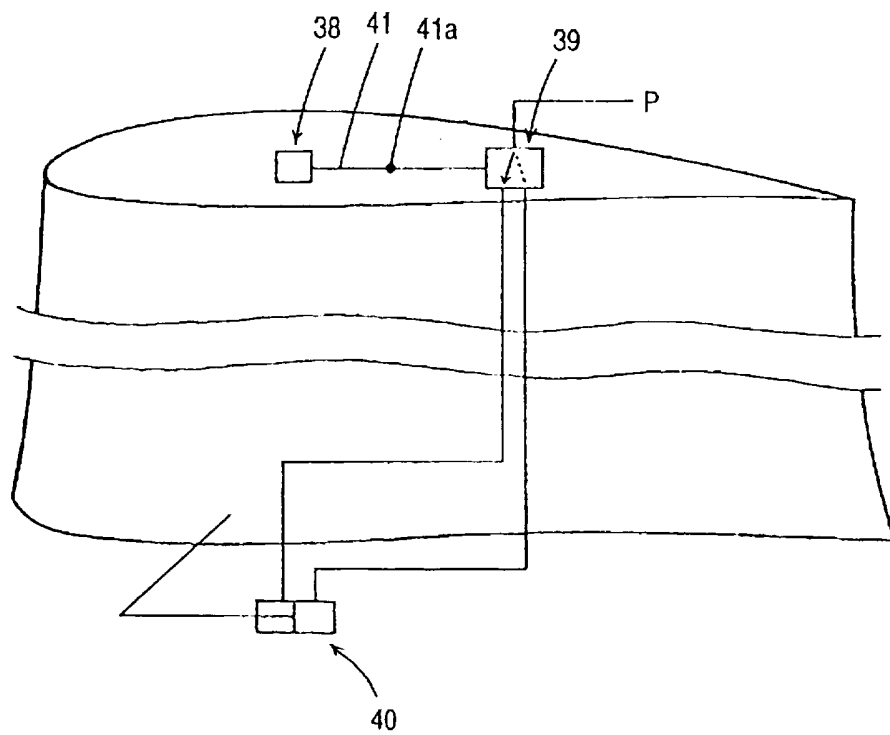


Fig. 8