



## (12) PATENTSKRIFT

Patent- og  
Varemærkestyrelsen

---

(51) Int.Cl<sup>7</sup>: F 03 D 1/06

(21) Patentansøgning nr: PA 2000 00956

(22) Indleveringsdag: 2000-06-20

(24) Løbedag: 2000-06-20

(41) Alm. tilgængelig: 2001-12-21

(45) Patentets meddelelse bkg. den: 2002-12-02

(73) Patenthaver: LM Glasfiber A/S, Rolles Møllevej 1, 6640 Lunderskov, Danmark

(72) Opfinder: Peter Nøhr Larsen, Blåbærvej 2, 2400 København NV, Danmark

(74) Fuldmægtig: Chas. Hude A/S, H.C. Andersens Boulevard 33, 1780 København V, Danmark

---

(54) Benævnelse: **Vindmøllevinge med støjdæmpningsmidler**

(57) Sammendrag:

Med henblik på at dæmpe den uundgåelige støj der hidrører fra luftens strømning omkring roterende vindmøllevinger er en del af vindmøllevingernes overside, underside eller forsynet med lydrefleksionsændrende midler.

Disse lydrefleksionsændrende midler kan være udformet i en fordybning på oversiden og udformes som et lydabsorberende materiale, eller udgøres af en plade der er ophængt i fjedrende dele. Det er også muligt at anbringe et resonansabsorberende element i fordybningen.

Endeligt er det muligt at udforme udskæringer på oversiden, undersiden eller bagkanten, idet udskæringerne har forbindelse til et eller flere hulrum i vingen.

Med opfindelsen bliver de lydrefleksionsændrende midler integreret i vingen, uden at de strømningsmæssige forhold omkring vingen påvirkes samtidigt med at støjen fra flere støjkluder dæmpes på effektiv vis.

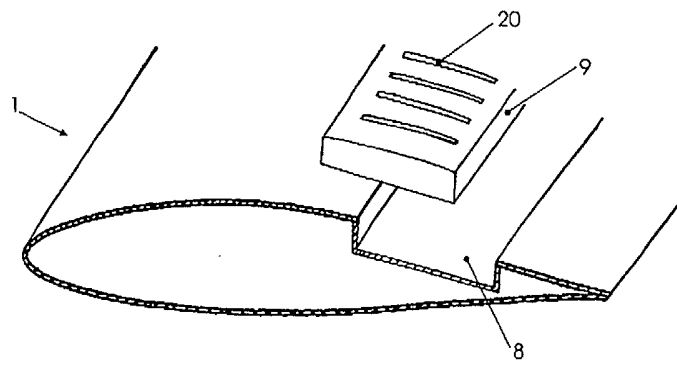


Fig 4

Opfindelsen angår en vindmøllevinge med støjdemningsmidler, hvor vindmøllevingen er udformet som en flade med en overside og en underside der er sammensat ved en bagkant, og hvor der mellem oversiden og undersiden er tilvejebragt et eller flere  
5 hulrum.

Anvendelse af vindmøller til fremstilling af energi har gennem de seneste tiår fået større og større udbredelse som alternativ eller supplement til de klassiske energikilder, der baseres på  
10 olie, kul, naturgas etc.

I modsætning til energi, der udledes fra de klassiske energikilder, er energi der fremstilles ved vindmøllekraft helt forureningsfri, og i sagens natur en udtømmelig ressource.  
15

I takt med den stadigt stigende interesse for vindmølleenergi, er der blevet udviklet vindmøller, som kan producere stadigt større energimængder. Dette har bl. a. kunne lade sig gøre ved at konstruere vindmøller med meget store vinger i særligt vel-  
20 egnede materialer.

Imidlertid afgiver vindmøllevingerne under drift en ikke ubetydelig støj, som vokser med størrelsen af vindmøllevingen og hastigheden af samme.

25 Denne støj kan stamme fra 2 kildetyper, som er:

1) Mekanisk støj fra gear og generator i vindmøllehatten, og

2) Støj hidrørende fra luftens strømning omkring vingerne  
30

Den 1. type støj kan dæmpes med traditionel teknik, såsom indkapsling og vibrationsdæmpning af støj-kilderne.

Da denne type støjdemning ikke er genstand for nærværende opfindelse, vil den ikke blive nærmere beskrevet.  
35

Den 2. type støj bliver sædvanligvis opdelt i 4 uafhængige bidrag, nærmere bestemt ved:

a) Støj som følge af turbulens i luften.

5 Denne type støj optræder tæt ved vingetippen og i hele vingekordens længde. Den frembragte støj vil være relativ lavfrekvent med et dominerende frekvensområde strækkende sig fra ca. 100 Hz til ca. 500 Hz.

10 b) Støj fra de turbulente grænselag.

Denne type støj, der opbygges ved vindstrømningens passage hen over vingeoverfladen, optræder kraftigst tæt ved vingens bagkant, hvor grænselaget har sin største tykkelse, og hvor bagkanten ydermere har en forstærkende virkning. Den frembragte  
15 støj vil optræde i frekvensområdet fra ca. 200 Hz til ca. 1000 Hz.

c) Støj fra hvirvelafløsning ved bagkanten af vindmøllevingen.

Denne type støj optræder på grund af hvirveldannelse i overgangsområdet, hvor overfladen af vingen afsluttes mere eller mindre brat af bagkanten. Støjen fra denne kildetype vil have et forholdsvist snævert frekvensområde, som afhænger af den lokale strømningshastighed og af bagkantens tykkelse, men som typisk vil være beliggende fra ca. 1000 Hz til 1200 Hz.  
25

d) Støj fra tiphvirvlen.

Som følge af opdriften på vingen, vil der, hvor vingen afsluttes ved tippen, dannes rotation i luften en såkaldt hvirvel. Tiphvirvlen er ikke i sig selv en kraftig støjfrembringer, men  
30 når hvirvlen rammer bagkanten, sker der en vekselvirkning med denne, som forstærker hvirvlens evne til at udsende støj væsentligt. Den frembragte støjs frekvensområde vil typisk være fra ca. 800 Hz til ca. 2 kHz.

35 Fælles for de nævnte støjkilder er, at deres styrke er kraftigt stigende funktioner af strømningshastigheden hen over vingen.

Strømningshastigheden er i øvrigt en funktion af vindhastigheden, og af den lokale rotationshastighed af vindmøllevingen.

5 Sammenfattende gælder således, at møllevingen tæt ved tippen og tæt ved bagkanten er akustisk reflekterende, hvilket er medvirkende til kraftig forstærkning af støjen.

10 Som nævnt er den frembragte støj ikke ubetydelig, og kan være stærkt generende for folk der har bolig i nærheden af vindmøller, hvilket betyder, at vindmøllerne helst skal placeres i god afstand fra beboede områder.

15 Det er på denne baggrund ønskeligt at reducere støjen fra vindmøller.

Der er tidligere i litteraturen beskrevet konstruktioner, hvor støj fra vindmøller er forsøgt dæmpet.

20 DK 172218 B1 beskriver en konstruktion, hvor der ved bagkanten af vindmøllevingen monteres en eftergivelig flade, med det formål at reducere hvirvelafløsning ved bagkanten. Det er således kun selve frembringelsen af støj, der reduceres. Allerede opstået støj (dvs. støj, der er blevet frembragt ved bagkanten eller andre steder på vingen) vil ikke blive dæmpet ved denne  
25 kendte konstruktion.

EP 0 652 367 A1 beskriver en vindmøllevinge med en savtakket bagkant, der har til formål at reducere støj ved bagkanten. Den savtakkede bagkant bevirker en irregulær hvirvelafløsning, som  
30 dermed også bliver svagere som støjkilde, idet de enkelte hvirvler ikke vil kunne forstærke hinanden. Igen er det kun støjfrembringelsen der reduceres.

Der vil ikke være nogen støj dæmpning af allerede opstået støj, hverken fra bagkanten eller fra andre steder på vingen.

DK B 172127 B1 viser en konstruktion, hvor der inde i vingens hulrum er fyldt støjdæmpende materiale, som dog ikke har nogen forbindelse til vingens yderside. Det støjdæmpende materiale vil dæmpe stående bølger i vingens hulrum, men vil ikke have indflydelse på dæmpning af strømningsstøj fra vingens ydre overflade, på grund af vingens generelt manglende evne til at lade støj trænge igennem.

Endeligt beskriver DE 19738278 A1 en konstruktion, hvor der er udformet diffusorer nær vingens bagkant.

Denne konstruktion vil - ligesom de øvrige kendte teknikker - først og fremmest ændre strømmingen på en sådan måde, at den udsender mindre støj. Diffusorer udformet som fordybninger efter DE 19738278 A1 vil dog også kunne dæmpe allerede opstået støj. Men en diffusor - eller anden simpel forstyrrelse - vil kun være i stand til at dæmpe støj med en bølgelængde af samme størrelsesorden, som dens egen udstrækning. På grund af den generelle ringe vingetykkelse ved bagkanten, bliver diffusorerens udstrækning ringe, og de dæmpede bølgelængder bliver små. En lille bølgelængde betyder en høj frekvens, og for den angivne konstruktion typisk over 5kHz, som er helt uden praktisk betydning i forbindelse med vindmøllestøj.

Det er derfor et formål med opfindelsen, at anvise en konstruktion, der er i stand til at dæmpe alle typer af strømningsfrembragt støj, der opstår i forbindelse med vindmølledrift, f. eks. dæmpning af de støjbidrag, der er nævnt ovenfor.

Opfindelsens formål tilgodeses ved en vindmøllevinge af den i krav 1's indledning angivne art, der er karakteristisk ved, at støjdæmpningsmidlerne er lydrefleksionsændrende midler og tilvejebragt på en del af oversiden, undersiden eller bagkanten.

Ved lydrefleksionsændrende midler forstås her midler, der påvirker eller fjerner den reflekterede lyd fra en overflade. Normalt, når en lydkilde befinder sig tæt på en fast overflade

som en vindmøllevinge, vil den lyd, som kilder sender mod overflade reflekteres tilbage og forstærke lyden i modsat retning. Fjernes refleksionen dæmpes lyden naturligtvis. Kan den reflekterede lyd i stedet bibringes et modsat fortegn (fase) af den  
5 fra lydkilden stammende, vil selve kilden kunne dæmpes, hvorved en endnu større reduktion opnås.

Med henblik på nemt at kunne tilpasse de refleksionsændrende midler til specifikke behov, er det en fordel, hvis som angivet i krav 2, at oversiden er udformet med en fordybning for optagelse af de lydrefleksionsændrende midler.  
10

På denne måde kan selve vingen udformes som en separat enhed, hvor tilpasningen sker ved udformningen af et de lydrefleksionsdæmpende midler som et tilbehør, der hensigtsmæssigt kan opbygges som angivet i kravene 3 - 8, hvor 3 alternative grundformer er angivet, nemlig:  
15

- A) som et lydabsorberende materiale (krav 9). Herved forstås et materiale, der når det rammes af en lydbølge, kun vil reflektere en ringe del af lydens energi. Hovedparten af lydenergien vil absorberes (tabes) i materialet og omsættes til varme. Et eksempel på et sådant materiale er mineraluld. Sådanne materialer vil kunne bringes til at dæmpe over et meget bredt frekvensområde, typisk fra 100 Hz til 10kHz.  
20
- B) som fjedrende dele (krav 4), hvor de fjedrende dele kan være en fjedrende oplagt plade, som af en lydbølge bringes til svingning tæt ved delenes resonansfrekvens. I frekvensområdet tæt ved delenes resonansfrekvens(er) vil delene svinge modsat rettet påvirkningen fra lydbølgen, hvorved den frembragte lydbølge fra delene vil mere eller mindre ophæve ikke bare lydbølgen fra støjkilderne men også selve støjkilderne. Fjedrende dele har den fordel, at de optimeres til at dæmpe lige præcis det ønskede frekvensområde. Selv meget lave frekvenser under 500 Hz kan dæmpes, med et  
30 geometrisk lille system. Ved at tilføje mekanisk dæmpning  
35

(tab) til det svingende system gøres virkningen svagere men vil til gengæld dække et væsentligt bredere frekvensområde.

C) som et resonansabsorberende element (krav 7). Funktionen af dette element ligner funktionen af de fjedrende dele. Her er der dog tale om resonans i et system, som består af et

5

D) hulrum og en mere eller mindre snæver forbindelse fra vingens yderside til hulrummet. Luften i den snævre forbindelse vil virke som en masse og luften i hulrummet vil virke som en fjeder. På samme måde som beskrevet under B), vil dette element udsende modsat rettede lydbølger. Dette element er også særdeles let at tilpasse til selv lave frekvenser, og frekvenser under 500 Hz dæmpes let med dette element indbygget ved bagkanten i en typisk vindmøllevinge.

10

Ved at have flere forbindelser til hulrummet med forskellige udformninger, kan dæmpning i et stort frekvensområde opnås. Ved at tilføje tab i systemet kan virkningen bredes ud over et meget stort frekvensområde, hvilket dog sker på bekostning af virkningens størrelse. Et sådant system kaldes også en Helmholtz resonator.

15

20

Til større serieproduktioner er det hensigtsmæssigt, hvis som angivet i krav 9, at de lydrefleksionsændrende midler udgøres af udskæringer i oversiden eller undersiden eller bagkanten med akustisk forbindelse til hulrummet.

25

På denne måde bliver der tilvejebragt en vindmøllevinge, hvor de støjændrende midler er integreret direkte i vingen. Hensigtsmæssige udformninger af denne udførelsesform er angivet i kravene 10 - 16.

30

Opfindelsen skal nu nærmere forklares under henvisning til et på tegningen vist udførelseseksempel af opfindelsen.

På tegningen viser

35



- fig. 1 en del af en vindmøllevinge med støjdæmpende midler i en  
1. udførelsesform,
- 5 fig. 2 en del af en vindmøllevinge med støjdæmpende midler i en  
2. udførelsesform,
- fig. 3 en del af en vindmøllevinge med støjdæmpende midler i en  
3. udførelsesform,
- 10 fig. 4 en del af en vindmøllevinge med støjdæmpende midler i en  
4. udførelsesform,
- fig. 5 en del af en vindmøllevinge med støjdæmpende midler i en  
5. udførelsesform,
- 15 fig. 6 en del af en vindmøllevinge med støjdæmpende midler i en  
6. udførelsesform,
- fig. 7 en konstruktionsdetalje ved den på fig. 3 viste udførel-  
sesform,
- 20 fig. 8 en anden konstruktionsdetalje ved den på fig. 3 viste  
udførelsesform,
- 25 fig. 9 en tredje konstruktionsdetalje ved den i fig. 3 viste  
udførelsesform,
- fig. 10 viser en fjerde konstruktionsdetalje ved den i fig. 3  
viste udførelsesform, medens
- 30 fig. 11 viser en femte konstruktionsdetalje ved den i fig. 3  
viste udførelsesform.
- På fig. 1 betegner 1 en vindmøllevinge i sin helhed vist del-  
35 vist i snit.

Som det ses har vingen 1 en overside 2 og en underside 3, som i venstre side af tegningen grænser op til hinanden langs en bukket kant 4, og på højre side af tegningen afsluttes med en bagkant 5.

5 Mellem oversiden 2 og undersiden 3 er der et hulrum 6.

Som det er bekendt, og forklaret ovenfor vil vingen under drift frembringe betydelig støj, hvis ikke der etableres støjdæmpende foranstaltninger.

10 En første udførelsesform for tilvejebringelse af støjdæmpende foranstaltninger, kan udføres ved at ændre hele eller dele af oversidens 2, undersidens 3 eller bagkantens 5 akustiske refleksion.

På fig. 1 er ved henvisningstallet 7 vist et eksempel, hvor  
15 oversiden 2's akustiske egenskaber er ændret f. eks. ved hjælp af en overfladebehandling.

På fig. 2 ses igen en vinge delvist i snit, men nu udformet med en fordybning 8.

20 Ved at udfylde fordybningen 8 med et lydabsorberende og dermed et lydrefleksionsændrende materiale kan støjen under vingens drift dæmpes.

På fig. 3 ses en tredje udførelsesform, hvor selve vingen 1 på  
25 sin overside er forsynet med spalter 14, 15 og huller 13, 16 der har forbindelse til flere hulrum 10, 11, 18 mellem vingens underside og overside.

Hulrummene kan være opbygget ved indsættelse af skillevægge, eksempelvis, som vist ved 17.

30 Med denne konstruktion kan vingens støjdæmpende egenskaber dimensioneres til selektiv dæmpning ved forskellige lydfrekvenser og niveauer.

På fig. 4 ses en variant af udførelsesformen ifølge fig. 3,  
35 idet der her er anbragt et resonansabsorberende element 9, der

har spalter 20, men også kunne være udformet med ikke viste huller.

- 5 Det resonansabsorberende element er som det ses beregnet til at blive anbragt i fordybningen 8 på vingen.

Denne udførelsesform er særlig hensigtsmæssig ved fremstilling af små serier af vingen, da selve vingen udføres i en standard-  
10 udgave, og derefter tilpasse givne akustiske forhold, ved hjælp af det resonansabsorberende element. Ved at lade elementet være separat kan dette fremstilles ved en anden og mere optimal teknik end selve vingen.

- 15 På fig. 5 ses en udførelsesform, hvor der i fordybningen på vingen er udformet et fjedrende element. Der består af en fjedrende del 21, som på sin overside er belagt med en flade 22, som er af samme materiale som vingen 1's overside.

- 20 En variant af denne udførelsesform er vist på fig. 6, hvor fladen 22 er ophængt i fjedre.

Den smalle spalte som opstår mellem det fjedrende element og selve vingen kan ideelt set overdækkes med en membran eller  
25 lignende med henblik på at undgå forstyrrelser i strømmingen. På fig. 7 - 11 ses mere detaljeret, hvorledes hullerne, f.eks. hullerne 13, 16, kan være udformet.

- Som det ses på fig. 7 har hullerne 13 affasede kanter 23, der  
30 hvor hullet udmunder på vingens yderside. Herved undgås hvirvelafsløsning og støj fra strømning henover åbningen.

Fig. 8 viser huller 13 uden affasede kanter, men nu dækket af en lukket membran 24. På denne måde undgås helt, at hullet får  
35 en negativ indflydelse på strømningen langs vingen. Membranens

masse og stivhed vil naturligvis indgå i beregningen af det resonansabsorberende element.

5 Fig. 9 viser en udførelsesform, hvor hullet 13 i den ende der vender ind mod vingens hulrum, (f. eks. 12 på fig. 3), er dækket af en luftgennemtrængelig membran 25. Med denne konstruktion tilføjes strømningsstab til systemet, hvorved virkningen af det resonansabsorberende element gøres frekvensmæssig mere bredbåndet i sin dæmpning.

10

Fig. 10 en udførelsesform, hvor hullet er fyldt med et luftgennemtrængeligt materiale 26. Dette er en anden måde at tilføje strømningsstab til systemet, der - som forklaret tidligere - gør elementet mere bredbåndet i sin dæmpning.

15

Endeligt viser fig. 11 en udførelsesform, hvor hulrummet er delvis fyldt med et lydabsorberende materiale 27. Igen vil dette tiltag tilføje tab til systemet og gøre elementet mere bredbåndet i sin dæmpning.

20

Med opfindelsen er der således anvist, hvorledes støjdæmpning af vindmøllevinger effektivt kan udformes, og grundet de mange mulige kombinationer af foranstaltninger, som angivet i patentkravene tilpasses til alle mulige tænkelige forhold, som ikke 25 alene er vindforhold, men også øvrige klimatiske forhold.

## P a t e n t k r a v :

- 
1. Vindmøllevinge med støjdemningsmidler, hvor vindmøllevingen  
5 er udformet som en flade med en overside og en underside der er  
sammensat ved en bagkant, og hvor der mellem oversiden og un-  
dersiden er tilvejebragt et eller flere hulrum, k e n d e t e g n e t  
ved, at støjdemningsmidlerne er lydrefleksionsændrende  
10 midler og tilvejebragt på en del af oversiden, un-  
dersiden eller bagkanten.
  2. Vindmøllevinge ifølge krav 1 , k e n d e t e g n e t ved,  
at oversiden, undersiden eller bagkanten er udformet med en  
fordybning for optagelse af de lydrefleksionsændrende midler.
  - 15 3. Vindmøllevinge ifølge krav 2, k e n d e t e g n e t ved,  
at de lydrefleksionsændrende midler udgøres af et lydabsorberende  
materiale.
  - 20 4. Vindmøllevinge ifølge krav 2, k e n d e t e g n e t ved,  
at de lydrefleksionsændrende midler udgøres af fjedrende dele.
  5. Vindmøllevinge ifølge krav 4, k e n d e t e g n e t ved,  
at de fjedrende dele består af en med vingeoverfladen flugtende  
25 plade der er ophængt i et antal fjeder-elementer, såsom fjeder-  
elementer udført i gummi eller metal.
  6. Vindmøllevinge ifølge krav 4, k e n d e t e g n e t ved,  
at de fjedrende dele består af en med vingeoverfladen flugtende  
30 plade, der fastholdes af et i fordybningen sammentrækkeligt ma-  
teriale, såsom skumgummi.
  7. Vindmøllevinge ifølge krav 2, k e n d e t e g n e t ved,  
at de lydrefleksionsændrende midler udgøres af et resonansab-  
35 sorberende element med et hulrum.

8. Vindmøllevinge ifølge krav 7, k e n d e t e g n e t ved, at elementet har et hulrum, og at en overflade af elementet er udformet med udskæringer, såsom spalter eller huller.
- 5
9. Vindmøllevinge ifølge krav 1, k e n d e t e g n e t ved, at de lydrefleksionsændrende midler udgøres af udskæringer i oversiden eller undersiden eller bagkanten med akustisk forbindelse til hulrummet.
- 10
10. Vindmøllevinge ifølge krav 9, k e n d e t e g n e t ved, at udskæringerne er cirkulære eller spalteformede.
11. Vindmøllevinge ifølge krav 1 eller 9, 10, k e n d e -  
15 t e g n e t ved, at hulrummet er inddelt i et antal mindre hulrum.
12. Vindmøllevinge ifølge krav 9 - 11, k e n d e t e g n e t ved, at udskæringerne er helt eller delvist udfyldt med et  
20 luftgennemtrængeligt materiale med strømningsstab.
13. Vindmøllevinge ifølge krav 9 - 12, k e n d e t e g n e t ved, at en eller flere af siderne der vender ind mod hulrummet er belagt med en luftgennemtrængelig membran.
- 25
14. Vindmøllevinge ifølge krav 9 - 13, k e n d e t e g n e t ved, at oversiden er belagt med en membran.
15. Vindmøllevinge ifølge krav 9 - 14, k e n d e t e g n e t  
30 ved, at udskæringerne på vingen er udformet med affasede kanter.
16. Vindmøllevinge ifølge krav 9 - 15, k e n d e t e g n e t  
35 ved, hulrummet er helt eller delvist udfyldt med et lydabsorbende materiale.

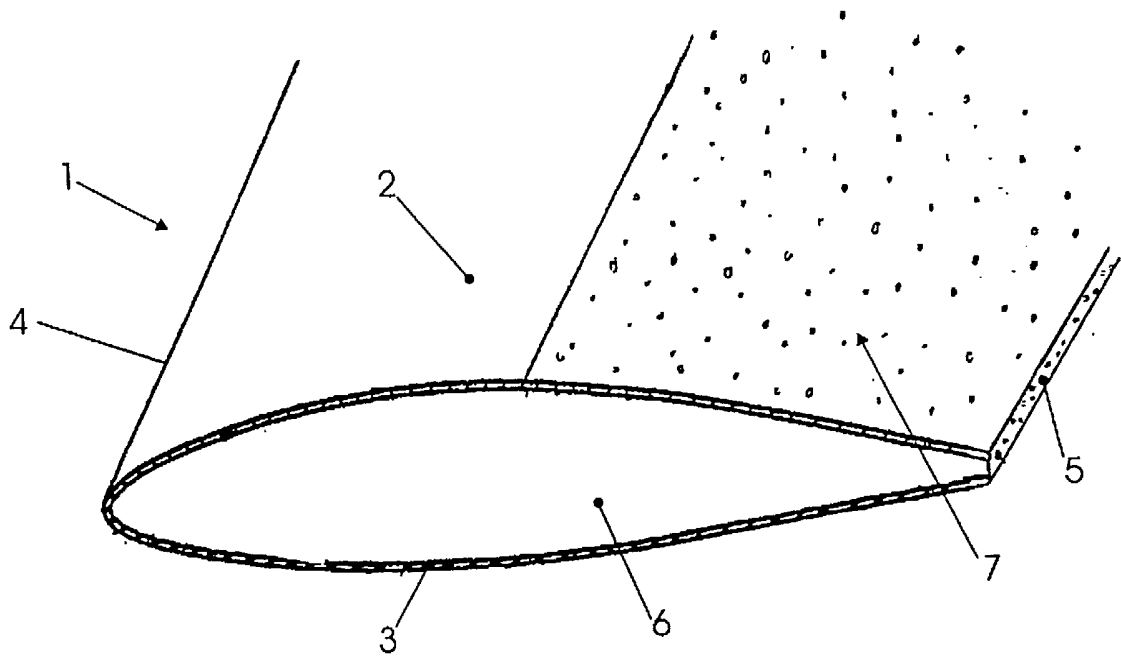


Fig 1

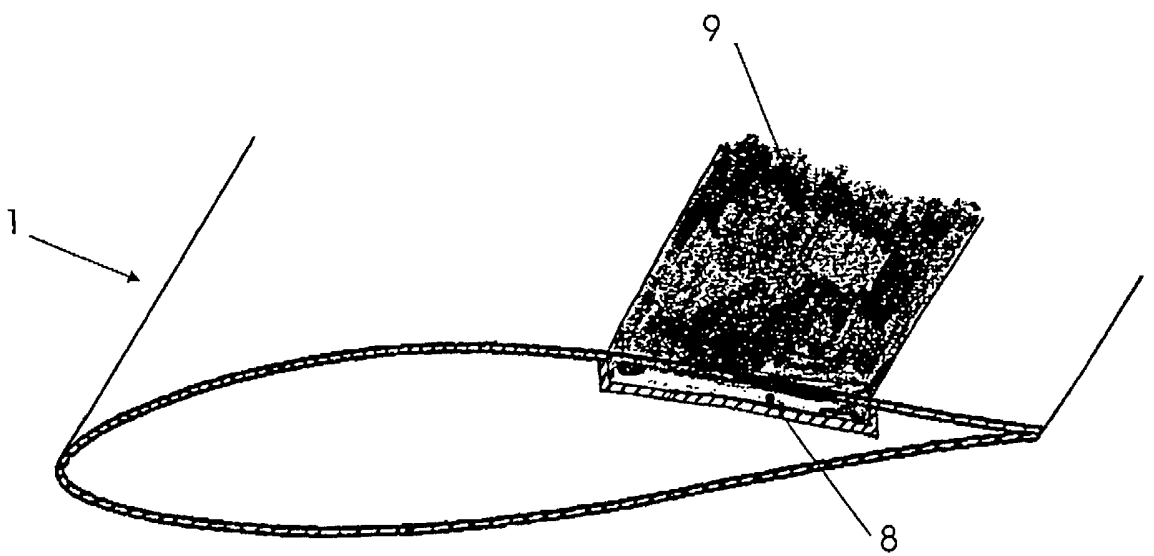


Fig 2

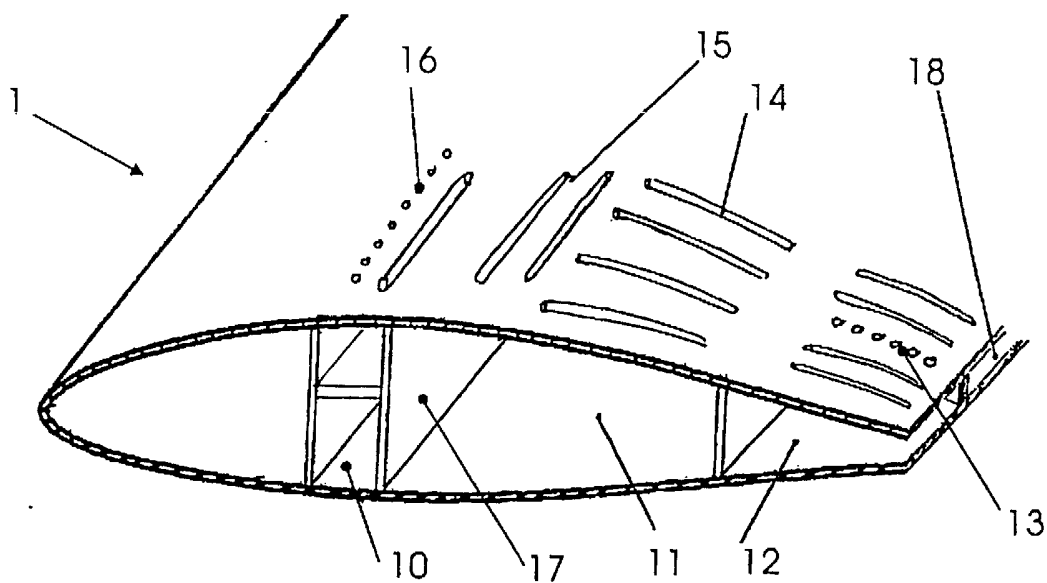


Fig 3

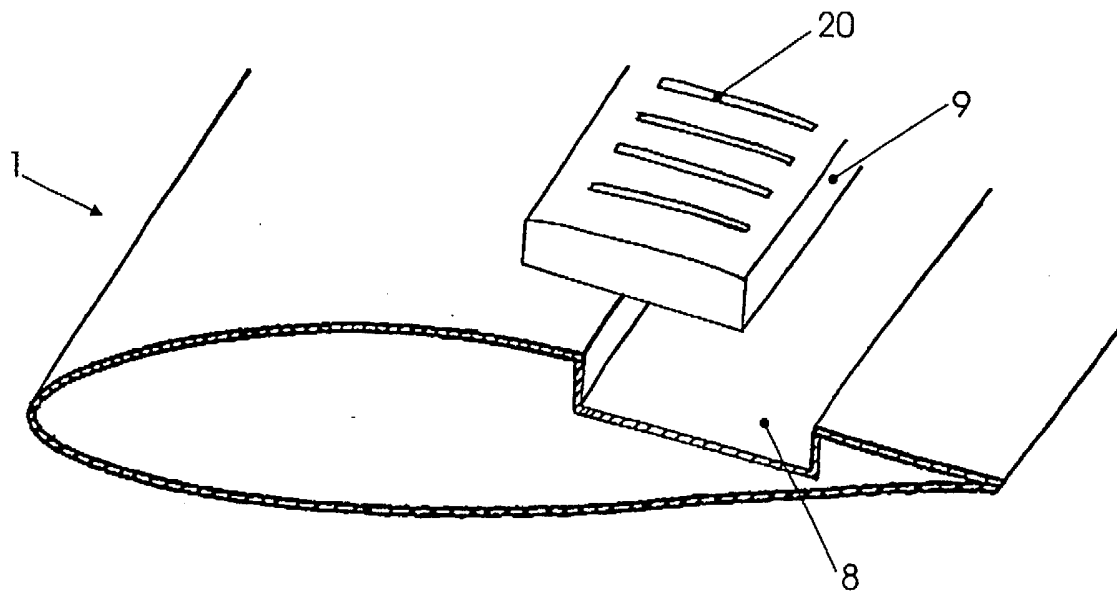


Fig 4



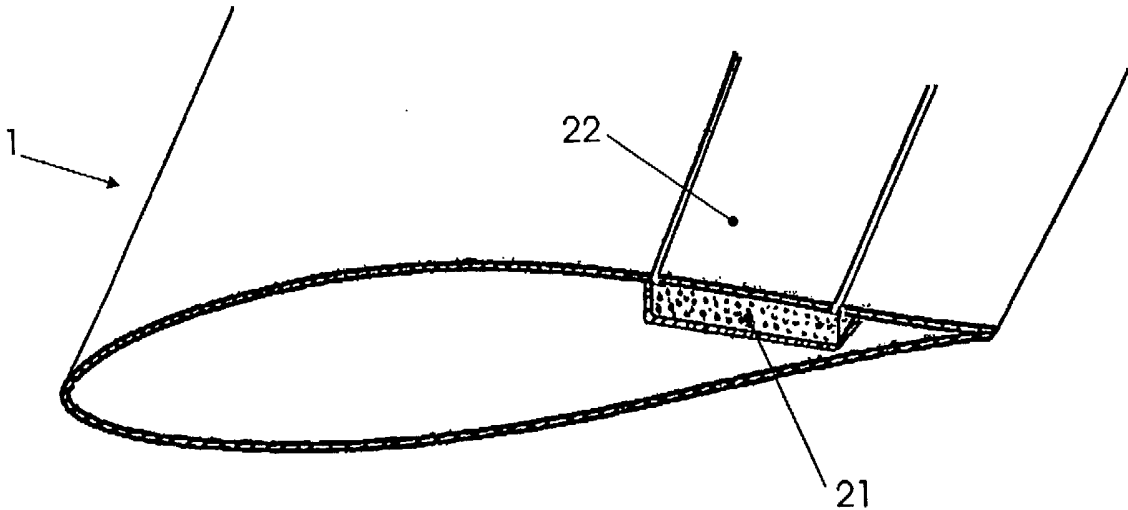


Fig 5

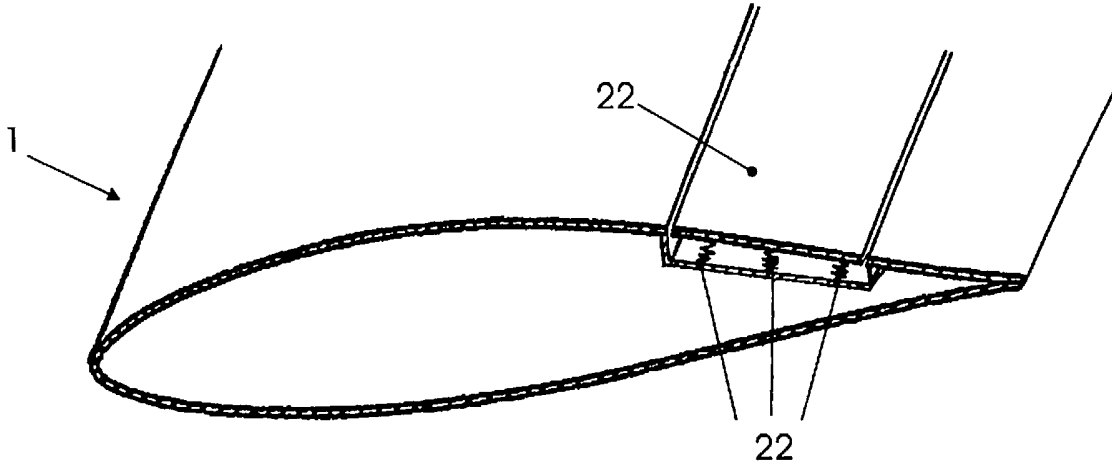
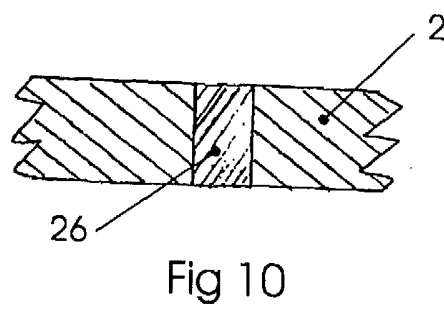
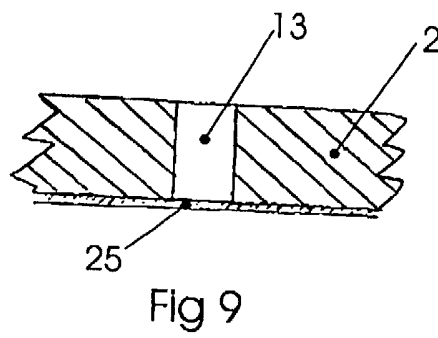
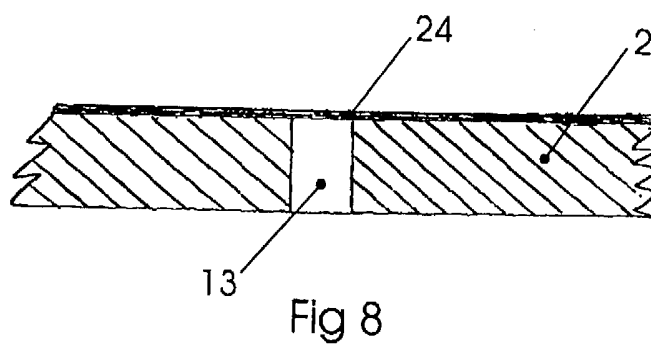
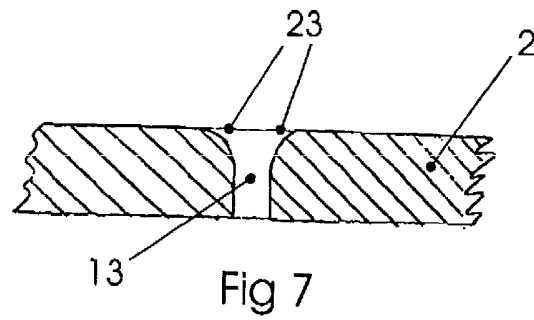


Fig 6



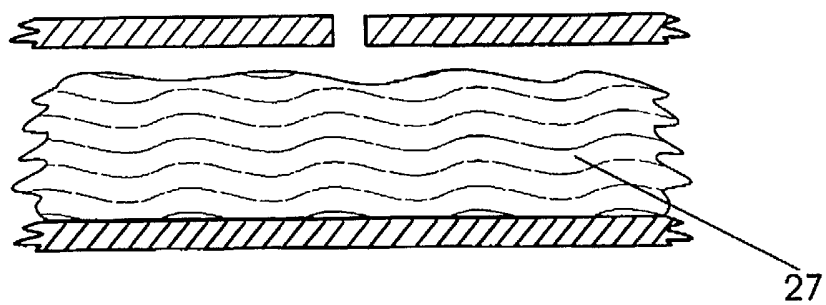


Fig.11