



(11)

**EP 1 382 379 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**30.05.2007 Patentblatt 2007/22**

(51) Int Cl.:  
**B01F 5/04** <sup>(2006.01)</sup> **B01F 5/06** <sup>(2006.01)</sup>  
**F23D 11/40** <sup>(2006.01)</sup> **F23R 3/20** <sup>(2006.01)</sup>  
**F15D 1/02** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **03405505.3**

(22) Anmeldetag: **07.07.2003**

### (54) **Verfahren zur Kontrolle der Nachlaufströmung eines Wirbelgenerators**

Process for controlling the downstream flowpattern of a vortex generator

Procédé pour le contrôle de fluide en aval d'un générateur de tourbillons

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE GB**

(30) Priorität: **20.07.2002 DE 10233111**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**21.01.2004 Patentblatt 2004/04**

(73) Patentinhaber: **Alstom Technology Ltd**  
**5400 Baden (CH)**

(72) Erfinder:  
• **Flohr, Peter, Dr.**  
**5413 Birmenstorf (CH)**

- **Gutmark, Ephraim, Prof. Dr.**  
**Cincinnati, OH 45236 (US)**
- **Paikert, Bettina**  
**5452 Oberrohrdorf (CH)**
- **Paschereit, Christian Oliver, Prof. Dr.**  
**5400 Baden (CH)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A- 0 623 786** **EP-A- 0 745 809**  
**CH-A- 688 868**

**EP 1 382 379 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

### TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Wirbelgenerator in einem von einem fluiden Medium beaufschlagten Strömungskanal sowie ein Verfahren zur Kontrolle der Nachlaufströmung eines solchen Wirbelgenerators. Ein besonderes Anwendungsgebiet der Erfindung ist die Verwirbelung und Durchmischung von Brennstoff-/Luft-Gemischen in Vormischbrennern.

### STAND DER TECHNIK

**[0002]** Statische Mischer zur Verkürzung der Mischstrecke strömender fluider Medien sind in vielfältiger Gestaltung bekannt.

Eine Gestaltungsform derartiger Mischer, die eine intensive Vermischung strömender fluider Medien bei vergleichsweise geringem Druckverlust erlaubt, ist Gegenstand von EP 0 623 786 oder von CH-A-688 868. Die in diesen Druckschriften diskutierten statischen Mischer, nachfolgend Wirbelgeneratoren genannt, stellen tetraederähnliche Körper dar, welche an mindestens einer Mantelfläche eines von dem fluiden Medium beaufschlagten Strömungskanals angeordnet sind. Sie umfassen drei frei umströmte, sich in Strömungsrichtung erstreckende Wirkflächen, eine in den Strömungskanal weisende Dachfläche und zwei Seitenflächen. Die mit der Wand des Strömungskanals verbundenen Seitenflächen schliessen untereinander einen Pfeilwinkel  $\alpha$  ein, wohingegen die Dachfläche unter einem Anstellwinkel  $\theta$  zur Kanalwand verläuft.

Durch die Erzeugung von Längswirbeln ohne Rezirkulationsgebiet wird bereits nach einer äusserst kurzen Mischstrecke von einer Wirbelumdrehung eine Grobdurchmischung erzielt, während nach einer Strecke von wenigen Kanalhöhen infolge der turbulenten Strömung eine Feinmischung vorliegt.

Diese Wirbelgeneratoren zeichnen sich durch eine besondere Einfachheit sowohl im Hinblick auf ihre Herstellung wie auch ihre technische Wirksamkeit aus. Die Fertigung und Zusammenfügung der drei Wirkflächen sowie die Verbindung mit einer ebenen oder gekrümmten Kanalwand kann ohne weiteres durch einfache Fügemethoden, in aller Regel Schweißen, erfolgen. Vom strömungstechnischen Standpunkt her weisen diese Generatoren einen sehr geringen Druckverlust auf und erzeugen bei entsprechender Auslegung Nachlaufwirbel ohne Totwassergebiet. Grösse und Stärke der Nachlaufwirbel sind Funktionen der Elementhöhe  $h$ , der Elementlänge  $l$ , des Anstellwinkels  $\theta$  sowie des Pfeilwinkels  $\alpha$ .

Durch Variation dieser Parameter ist damit ein einfaches Mittel zur aerodynamischen Stabilisierung einer Strömung an die Hand gegeben.

Bei relativ grossen Anstellwinkeln  $\theta$  und/oder Pfeilwinkeln  $\alpha$  steigt die Wirbelstärke der Nachlaufwirbel in einem solchen Masse an, dass sich in deren Kern ein Gebiet

mit niedriger Strömungsgeschwindigkeit ausbildet, welches unter wechselnden Strömungsbedingungen die Gefahr eines Zusammenbruchs des Wirbels unter Ausbildung einer Rückströmung in sich birgt.

**[0003]** Die Auslegung der Wirbelgeneratoren stellt daher stets einen Kompromiss dar, einerseits die Wirbel so stark auszubilden, dass in möglichst kurzem Nachlauf eine maximale Durchmischung der beteiligten Komponenten erfolgt, andererseits aber wiederum die Wirbel nicht so stark auszubilden, dass sich im Kern ein Gebiet niedriger Strömungsgeschwindigkeit oder sogar eine Rückströmung ausprägt.

Da es sich bei der Einbindung dieser Wirbelgeneratoren in den Strömungsweg um apparative Massnahmen handelt, sind diese, einmal installiert, unveränderlich. Das heisst, eine aktive Einflussnahme auf dauerhaft oder vorübergehend veränderte Strömungsbedingungen ist nicht ohne weiteres möglich. Gerade bei einem Einsatz dieser Wirbelgeneratoren in modernen Gasturbinenanlagen zur Durchmischung und Verwirbelung eines Brennstoff-/Luftgemisches kann dieses Verhalten negative Auswirkungen auf die Flammenstabilität haben und zu einer unerwünschten Verschiebung der Flammenlage führen.

### DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0004]** In Weiterentwicklung des genannten Standes der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, die genannten Nachteile zu vermeiden und die Ausbildung einer Rückströmzone im Kern des Nachlaufwirbels auch unter wechselnden Strömungsverhältnissen im Strömungskanal sicher auszuschliessen und die Einsatzbereich und Variabilität dieser Wirbelgeneratoren zu erweitern. Des weiteren liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Kontrolle der Nachlaufströmung solcher Wirbelgeneratoren bereitzustellen.

**[0005]** Erfindungsgemäss werden diese Aufgaben durch ein Verfahren gemäss Anspruch 1 gelöst.

Vorteilhafte Ausführungsformen des Verfahrens geben die abhängigen Ansprüche wieder.

**[0006]** Der Grundgedanke der Erfindung besteht darin, durch gezieltes Einbringen eines Axialimpulses in die Kernströmung des Nachlaufwirbels die Axialgeschwindigkeit im Wirbelkern zu erhöhen.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird dieser Axialimpuls mittels Einleitung einer zumindest annähernd in Strömungsrichtung ausgerichteten Sekundärströmung im unmittelbaren Bereich der Kernströmung eingebracht.

In vorzugsweiser Ausgestaltung wird eine der zu mischenden Komponenten als Sekundärströmung in den Strömungskanal eingeleitet.

Als vorteilhaft hat es sich dabei erwiesen, die Sekundärströmung über Austrittsöffnungen am Wirbelgenerator in die Kernströmung des Nachlaufwirbels einzuleiten. In zweckmässiger Weise werden die Austrittsöffnungen des Sekundärmediums im Bereich der Seitenflächen des Wirbelgenerators oder an dessen stromabwärtiger Kante

angeordnet.

Nach einer besonders günstigen Ausführungsart ist die Austrittsöffnung in halber Sehnenlänge der Seitenfläche unterhalb der Abströmkante angeordnet.

Dabei kann die Sekundärströmung aus einer Einzelöffnung am Wirbelgenerator in die Kernströmung eingeleitet werden oder aus einer Anzahl von Austrittsöffnungen, welche auf den Wirbelkern ausgerichtet sind.

Nach einer zweckmässigen Ergänzung der Erfindung wird ferner vorgeschlagen, die an oder nahe den Wirbelgeneratoren angeordneten Kühlbohrungen gezielt zur Einbringung eines zusätzlichen Axialimpulses heranzuziehen. Dies kann dadurch erreicht werden, dass ein Teil der Kühlbohrungen derart modifiziert wird, dass ein erhöhter Axialimpuls in die Kernströmung der Nachlaufwirbel eingebracht wird. Zu diesem Zweck werden die Austrittsöffnungen in ihrer Geometrie entsprechend konfiguriert, beispielsweise hinsichtlich ihrer Ausrichtung und/oder ihres Durchsatzes.

Die erfindungsgemässen Massnahmen eignen sich ohne weiteres auch als Retrofit-Massnahme zum Nachrüsten bereits installierter Wirbelgeneratoren nach dem Stand der Technik, indem entsprechende Austrittsöffnungen eingebracht sowie Mittel zur Zufuhr eines Sekundärfluids in den hohlen Innenraum der Wirbelgeneratoren vorgesehen werden. Wirbelgeneratoren, die zu Kühl- oder Zumischzwecken bereits mit Mitteln zur Zuleitung eines Sekundärfluids sowie mit Austrittsöffnungen ausgerüstet sind, können durch eine modifizierte Gestaltung der Geometrie der Austrittsöffnungen nachgerüstet werden (Fig.4b; 5b).

Indem die Menge an einspeisbarem Sekundärfluid variabel einstellbar ist, erlaubt es die Erfindung, aktiv auf vorübergehend oder dauerhaft veränderte Strömungsverhältnisse zu reagieren.

Der Massenstrom der Sekundärströmung ist dabei sehr gering. Er liegt in einer Grössenordnung zwischen 0,1% und 5%, insbesondere zwischen 0,5% und 1,5%, bezogen auf den Gesamtmassenstrom.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0007]** Weitere Merkmale, Vorteile und Einzelheiten der Erfindung seien nachfolgend anhand der Zeichnungen erläutert. Es werden nur die für die Erfindung wesentlichen Elemente dargestellt. Gleiche oder einander entsprechende Elemente figurieren unter demselben Bezugszeichen.

**[0008]** Hierbei zeigen

- Fig.1 Wirbelgenerator nach dem Stand der Technik
- Fig.2 Geschwindigkeitsfeld (normierte axiale Geschwindigkeit) einer Kanalströmung im Nachlauf eines Wirbelgenerators nach dem Stand der Technik
- Fig.3 Prinzipskizze der Wirkungsweise der Erfindung

Fig.4a,b eine erste Ausführungsvariante eines erfindungsgemässen Wirbelgenerators

Fig.5a,b eine weitere Ausführungsvariante eines erfindungsgemässen Wirbelgenerators

5 Fig.6 Geschwindigkeitsfeld (normierte axiale Geschwindigkeit) einer Kanalströmung im Nachlauf eines Wirbelgenerators nach der Erfindung

Fig.7 Massengemittelte Wirbelstärke stromab des Wirbelgenerators

#### WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

**[0009]** Die Fig.1 und 2 geben in prinzipieller Weise die Wirkungsweise eines von einer Strömung (1) beaufschlagten Wirbelgenerators (2) nach dem Stand der Technik wieder.

Ein solcher Wirbelgenerator (2) besitzt drei frei umströmte, in Strömungsrichtung verlaufende Flächen, zwei Seitenflächen (3) und (4) sowie dazu senkrecht eine Dachfläche (5), wobei die Seitenflächen (3) und (4) ein rechtwinkliges Dreieck und die Dachfläche (5) ein gleichschenkeliges Dreieck bilden. Die Seitenflächen (3) und (4) stehen im wesentlichen senkrecht zur Kanalwand (6), ohne dass dies eine zwingende Voraussetzung darstellt, und sind mit einer ihrer Kathetenseiten an der Kanalwand (6) vorzugsweise gasdicht fixiert. Sie sind so orientiert, dass sie mit den zweiten Kathetenseiten an einer Stosskante (7) unter Einschluss eines vorzugsweise spitzen Pfeilwinkels  $\alpha$  zusammentreffen, welche Stosskante (7) gleichzeitig das stromabwärtige Ende des Wirbelgenerators (2) darstellt und senkrecht zur Kanalwand (6) ausgerichtet ist. Die Seitenflächen (3) und (4) sind im wesentlichen dekkungsgleich dimensioniert. Auf deren Hypotenusenseiten, die sich in Strömungsrichtung zunehmend von der Kanalwand (6) entfernen, stützt sich die Dachfläche (5) ab, welche gegenüber der Kanalwand (6) einen spitzen Anstellwinkel  $\theta$  einnimmt. Mit einer quer zur Strömungsrichtung verlaufenden Stosskante (8) liegt sie an der Kanalwandung (6) an. Die bündigen Stosskanten zwischen den beiden Seitenflächen (3) und (4) und der Dachfläche (5) bilden Abströmkanten (9) und (10). Die Symmetrieachse der Wirbelgeneratoren (2) ist parallel zur Strömungsrichtung ausgerichtet.

45 Selbstverständlich kann der Wirbelgenerator (2) auch mit einer Bodenfläche versehen sein, mit deren Hilfe er auf geeignete Weise an der Kanalwand (6) fixiert ist. Eine derartige Bodenfläche steht indes in keinem Zusammenhang mit der Wirkungsweise des Wirbelgenerators.

50 Die Wirkungsweise des Wirbelgenerators (2) ist im wesentlichen die nachfolgend dargelegte. Eine Kanalströmung (1) strömt den Wirbelgenerator (2) an und wird durch dessen Dachfläche (5) abgelenkt. Durch die plötzliche Querschnittserweiterung beim Überströmen der Abströmkanten (9) und (10) bildet sich ein Paar gegenläufiger Nachlaufwirbel (11) aus, deren Achsen in der Achse der Hauptströmung liegen. Wirbelstärke und Drallzahl werden massgeblich von dem Anstellwinkel  $\theta$

und dem Pfeilwinkel  $\alpha$  bestimmt. Mit steigenden Winkeln werden Wirbelstärke und Drallzahl erhöht und im Kern der Nachlaufwirbel bildet sich unmittelbar hinter dem Wirbelgenerator (2) zunehmend ein Gebiet niedrigerer Axialgeschwindigkeit (dunkle Flächen in Fig.2), das bis zu einem "vortex breakdown" führen kann.

**[0010]** Fig.3 stellt stark schematisiert das grundlegende Prinzip der beschriebenen Lösung dar. Ausgehend von einer geeigneten Stelle am Wirbelgenerator (2) wird in den Nachlaufwirbel (11) ein Axialimpuls zur Beeinflussung der Kernströmung eingebracht. Dabei wird durch eine Sekundärströmung (13) in der Nähe des Wirbelkerns ein zusätzlicher Impuls generiert, welcher durch die induktive Wirkung der Drallströmung in den Bereich des Wirbelkerns eingezogen wird. Richtet sich der Impuls parallel zur Hauptströmung, so stabilisiert sich der Wirbel (11) und die Nachlaufströmung wird beschleunigt. Der Vortex-Breakdown verzögert sich und wird stromabwärts verschoben.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform gemäss Fig. 4 ist zu diesem Zweck der Wirbelgenerator (2) mit mindestens einer Austrittsöffnung (12) für ein fluides Medium im Bereich der Seitenfläche (3) ausgerüstet. Die Austrittsöffnung (12) ist dabei derart angeordnet und ausgerichtet, beispielsweise in halber Sehnenlänge unterhalb der Abströmkante (9), dass der austretende Fluidstrahl (13) in die Kernströmung des Nachlaufwirbels (11) eindringt und die Axialgeschwindigkeit in diesem Bereich verstärkt. Durch Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit im Kernbereich des Nachlaufwirbels (11) wird der Ort des Wirbelaufplatzens stromabwärts verschoben.

**[0011]** In Fig.5 ist eine alternative Möglichkeit zur Einbringung einer Sekundärströmung schematisch wiedergegeben. Danach ist die mindestens eine Austrittsöffnung (12) zur Einbringung der Sekundärströmung im Bereich der stromabwärtigen Stosskante (7) des Wirbelgenerators (2) angeordnet. Hierbei kann es sich um eine kreisförmige Austrittsöffnung (12) in halber Höhe des Wirbelerzeugers (2) handeln, eine Anzahl solcher Öffnungen in diesem Bereich oder eine schlitzförmige Austrittsöffnung (12).

**[0012]** Wie aus Fig.6 zu erkennen ist, ist die Folge der gezielten Eindüsung eines Sekundärfluids in die Wirbelkernströmung ein deutlich ausgeglicheneres Geschwindigkeitsfeld im Nachlauf des Wirbelgenerators (2).

**[0013]** In Fig.7 ist dargestellt, dass trotz Beschleunigung des Wirbelkerns die Wirbelstärke nicht geschwächt wird. Im ausgeführten Beispiel erhöht sich die massen-gemittelte Wirbelstärke stromab des Wirbelgenerators sogar um bis zu 50%. Die Varinate A stellt dabei den Referenzfall eines Wirbelgenerators dar, der so stark angestellt ist, dass sich im Nachlauf ein Gebiet niedriger Strömungsgeschwindigkeit ausbildet. Die Varianten B und C geben die Verhältnisse bei einem Wirbelgenerator gemäss der Erfindung wieder, bei dem ein Sekundärstrom in halber Sehnenlänge einer Seitenfläche (Variante B) oder an der stromabwärtigen Stosskante (Variante C) aufgebracht wird.

**[0014]** Es ist vorteilhaft, die hier dargestellten Wirbelgeneratoren (2) symmetrisch und parallel zur Strömungsrichtung anzuordnen. Damit werden drallgleiche Wirbel (11) erzeugt. Ungeachtet dessen liegt es selbstverständlich auch im Rahmen der Erfindung, die Wirbelgeneratoren (2) asymmetrisch zu gestalten, beispielsweise in Form eines halben Wirbelgenerators, bei welchem nur eine der beiden Seitenflächen (3) oder (4) mit einem Pfeilwinkel  $\alpha/2$  an der Kanalwand (6) fixiert ist, wohingegen die andere Seitenfläche (3) oder (4) parallel zur Strömungsrichtung ausgerichtet ist. Im Gegensatz zum symmetrischen Wirbelgenerator (2) wird hierbei anstelle eines Paares gegenläufiger Wirbel (11) nur ein Nachlaufwirbel (11) an der gepfeilten Seite erzeugt. Im Ergebnis wird der Hauptströmung (1) ein Drall aufgezogen.

#### BEZUGSZEICHENLISTE

#### [0015]

- |    |                  |
|----|------------------|
| 1  | Hauptströmung    |
| 2  | Wirbelgenerator  |
| 3  | Seitenfläche     |
| 4  | Seitenfläche     |
| 5  | Dachfläche       |
| 6  | Kanalwand        |
| 7  | Stosskante       |
| 8  | Stosskante       |
| 9  | Abströmkante     |
| 10 | Abströmkante     |
| 11 | Nachlaufwirbel   |
| 12 | Austrittsöffnung |
| 13 | Sekundärströmung |

#### Patentansprüche

- Verfahren zur Kontrolle der Nachlaufströmung eines Wirbelgenerators in einem von einem fluiden Medium beaufschlagten Strömungskanal, welcher Wirbelgenerator im wesentlichen drei frei umströmte, sich in Strömungsrichtung erstreckende Flächen umfasst, von denen wenigstens zwei Flächen sich auf der Kanalwand abstützende Seitenflächen (3;4) bilden, welche sich in Strömungsrichtung annähern und unter einem spitzen Winkel  $\alpha$  in einer gemeinsamen Kante (7) zusammentreffen und von denen wenigstens eine Fläche eine Dachfläche (5) bildet, die sich in Strömungsrichtung in einem spitzen Winkel  $\theta$  von der Kanalwand entfernt und mit den Seitenflächen (3;4) Abströmkanten (9;10) bildet, wobei das strömende Fluid stromab der Abströmkanten (9; 10) ein Paar gegenläufiger Wirbel (11) ausbildet, deren Wirbelachsen in der Achse der Hauptströmung (1) liegen, **dadurch gekennzeichnet, dass** in den Bereich der Kernströmung der sich ausbildenden Nachlaufwirbel (11) ein Axialimpuls in Richtung der

Hauptströmung (1) eingebracht wird, indem eine Sekundärströmung (13) gezielt in die Kernströmung des Nachlaufwirbels (11) eingebracht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** über Austrittsöffnungen (12) am Wirbelgenerator (2) ein Sekundärfluid in die Wirbelkernströmung eingebracht wird. 5
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Durchsatz des Sekundärmediums (13) variabel einstellbar ist. 10
4. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Sekundärfluid eine in die Hauptströmung (1) einzumischende Komponente ist. 15
5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Massenanteil der Sekundärströmung (13) gegenüber der Hauptströmung (1) 0,1% bis 5%, beträgt. 20
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Massenanteil der Sekundärströmung (13) gegenüber der Hauptströmung (1) 0,5% bis 1,5% beträgt. 25

#### Claims

1. Method for controlling the wake flow of a vortex generator in a flow duct to which a fluid medium is applied, which vortex generator substantially comprises three surfaces, which are freely flowed around and extend in the flow direction, whereof at least two surfaces form side surfaces (3; 4) supported on the duct wall, which converge in the flow direction and meet at an acute angle  $\alpha$  in a common edge (7), and whereof at least one surface forms a top surface (5), which diverges from the duct wall in the flow direction at an acute angle  $\theta$  and forms trailing edges (9; 10) with the side surfaces (3; 4), the flowing fluid forming downstream of the trailing edges (9; 10) a pair of oppositely directed vortices (11), the vortex axes of which lie in the axis of the main flow (1), **characterized in that** an axial impulse is introduced in the direction of the main flow (1) into the region of the core flow of the formed wake vortex (11), by the targeted introduction of a secondary flow (13) into the core flow of the wake vortex (11). 30
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** a secondary fluid is introduced into the vortex core flow via discharge openings (12) on the vortex generator (2). 35
3. Method according to Claim 2, **characterized in that** the throughput of the secondary medium (13) is vari- 40

ably adjustable.

4. Method according to Claim 2, **characterized in that** the secondary fluid is a component to be mixed into the main flow (1). 5
5. Method according to Claim 1, **characterized in that** the mass fraction of the secondary flow (13) relative to the main flow (1) measures 0.1% to 5%. 10
6. Method according to Claim 5, **characterized in that** the mass fraction of the secondary flow (13) relative to the main flow (1) measures 0.5% to 1.5%. 15

#### Revendications

1. Procédé pour le contrôle de l'écoulement en aval d'un générateur de tourbillons dans un canal d'écoulement sollicité par un milieu fluide, lequel générateur de tourbillons comprend essentiellement trois surfaces librement parcourues par l'écoulement, s'étendant dans la direction de l'écoulement, dont au moins deux surfaces forment des surfaces latérales (3 ; 4) s'appuyant sur la paroi du canal, qui se rapprochent dans la direction de l'écoulement et qui se rejoignent en formant un angle aigu  $\alpha$  au niveau d'une arête commune (7), et dont au moins une surface forme une surface de toit (5) qui s'éloigne dans la direction de l'écoulement suivant un angle aigu  $\theta$  de la paroi du canal et qui forme avec les surfaces latérales (3 ; 4) des arêtes de fuite d'écoulement (9 ; 10), le fluide s'écoulant formant en aval des arêtes de fuite d'écoulement (9 ; 10) une paire de tourbillons (11) de sens opposé dont les axes de tourbillon se situent dans l'axe de l'écoulement principal (1), **caractérisé en ce que** dans la région de l'écoulement de coeur du tourbillon aval se formant (11), une impulsion axiale est introduite dans la direction de l'écoulement principal (1), en introduisant un écoulement secondaire (13) de manière ciblée dans l'écoulement de coeur du tourbillon aval (11). 30
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'un** fluide secondaire est introduit dans l'écoulement de coeur du tourbillon par le biais d'ouvertures de sortie (12) au niveau du générateur de tourbillons (2). 35
3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le débit du fluide secondaire (13) peut être ajusté de manière variable. 40
4. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le fluide secondaire est une composante à mélanger dans l'écoulement principal (1). 45
5. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en** 50

**ce que** la proportion en masse de l'écoulement secondaire (13) par rapport à l'écoulement principal (1) est de 0,1% à 5%.

6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** la proportion en masse de l'écoulement secondaire (13) par rapport à l'écoulement principal (1) est de 0,5% à 1,5%.

10

15

20

25

30

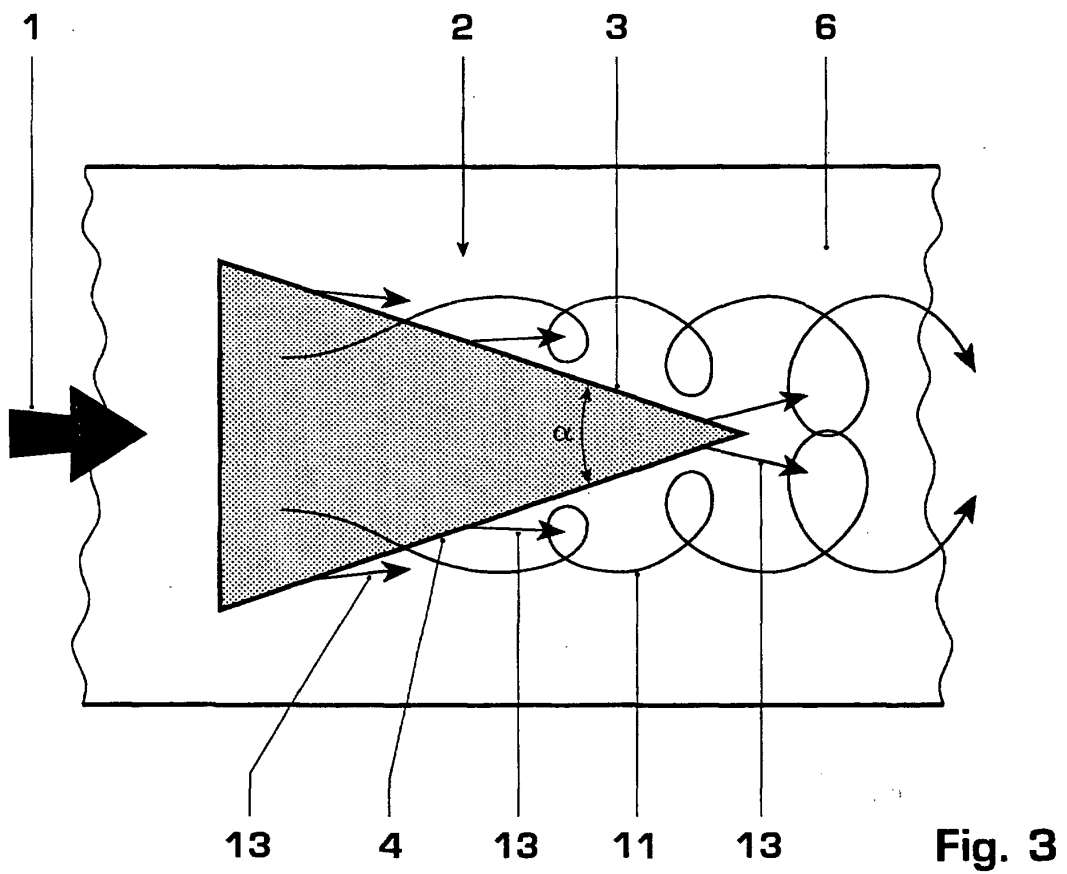
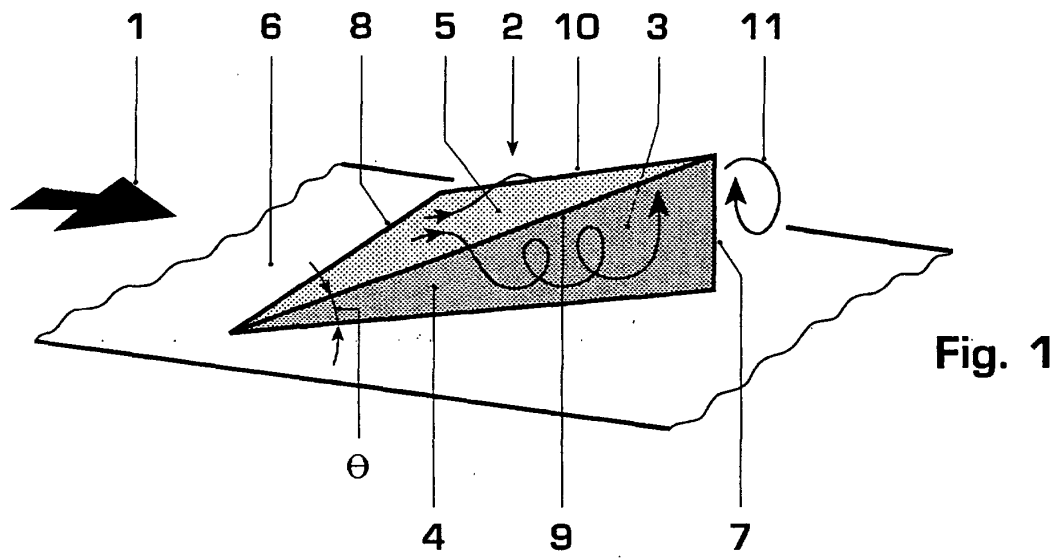
35

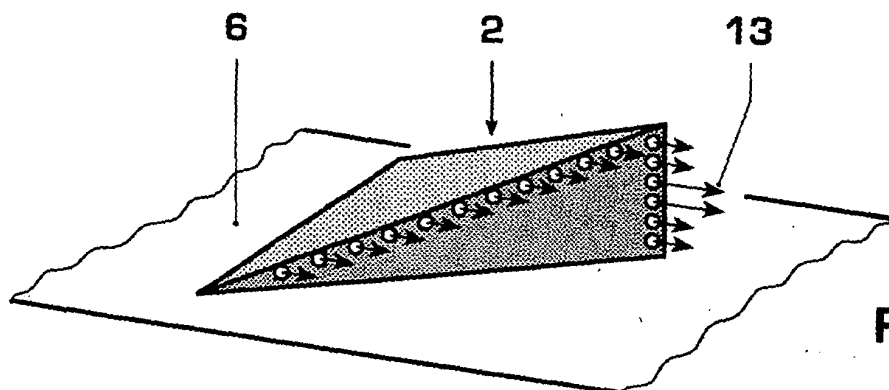
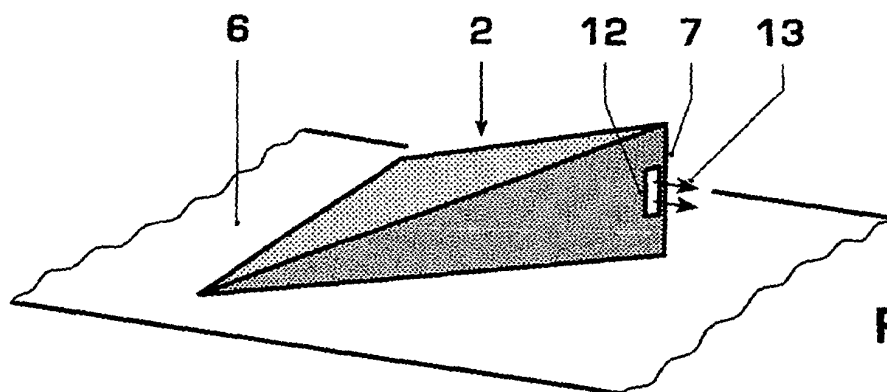
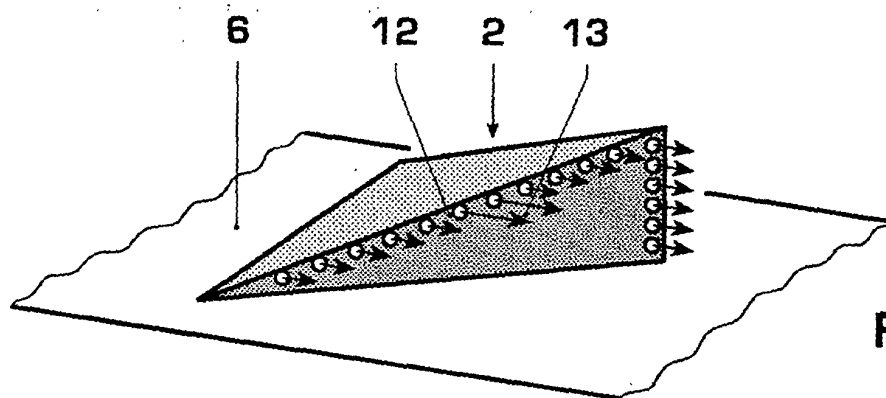
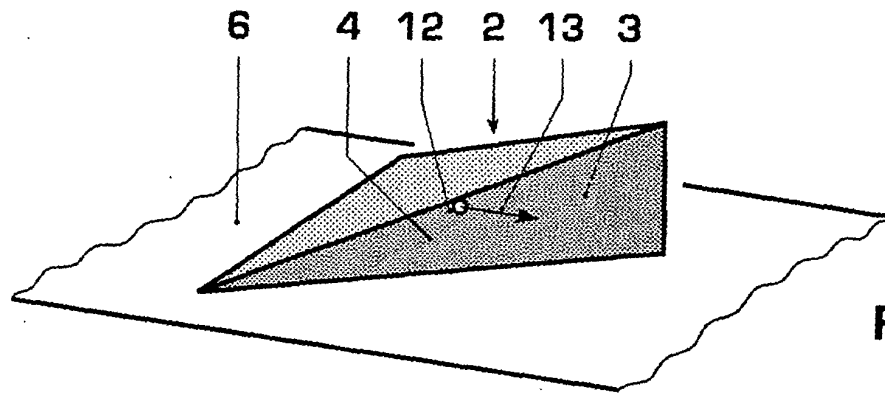
40

45

50

55







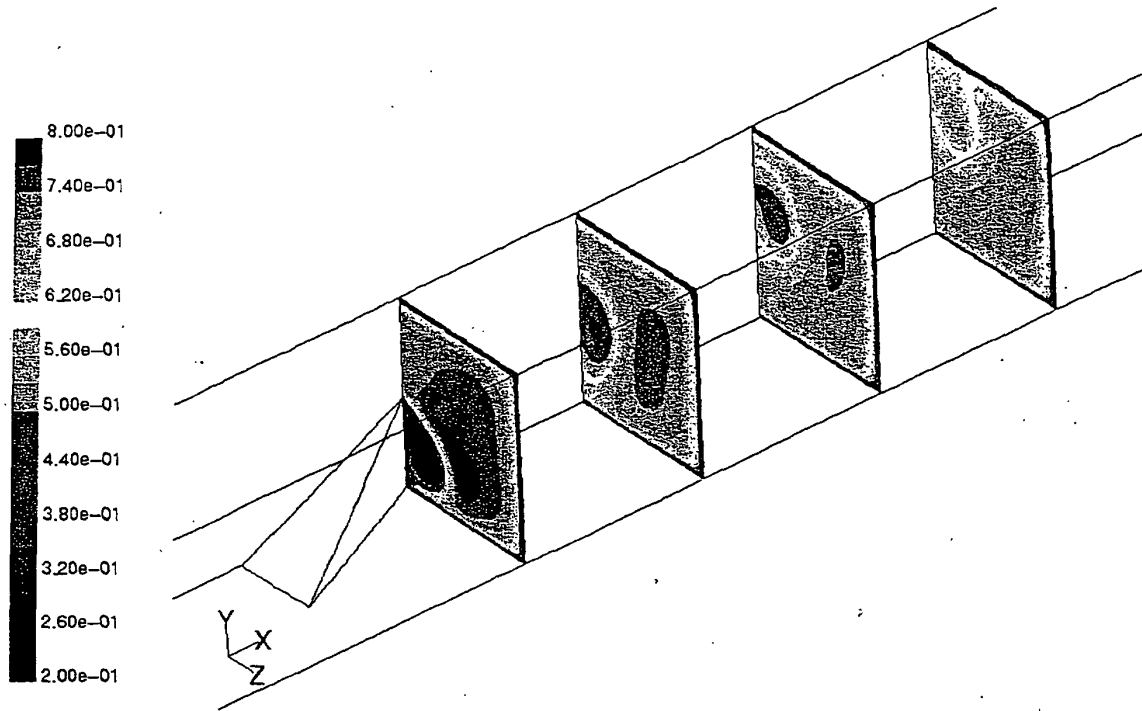


FIG. 2

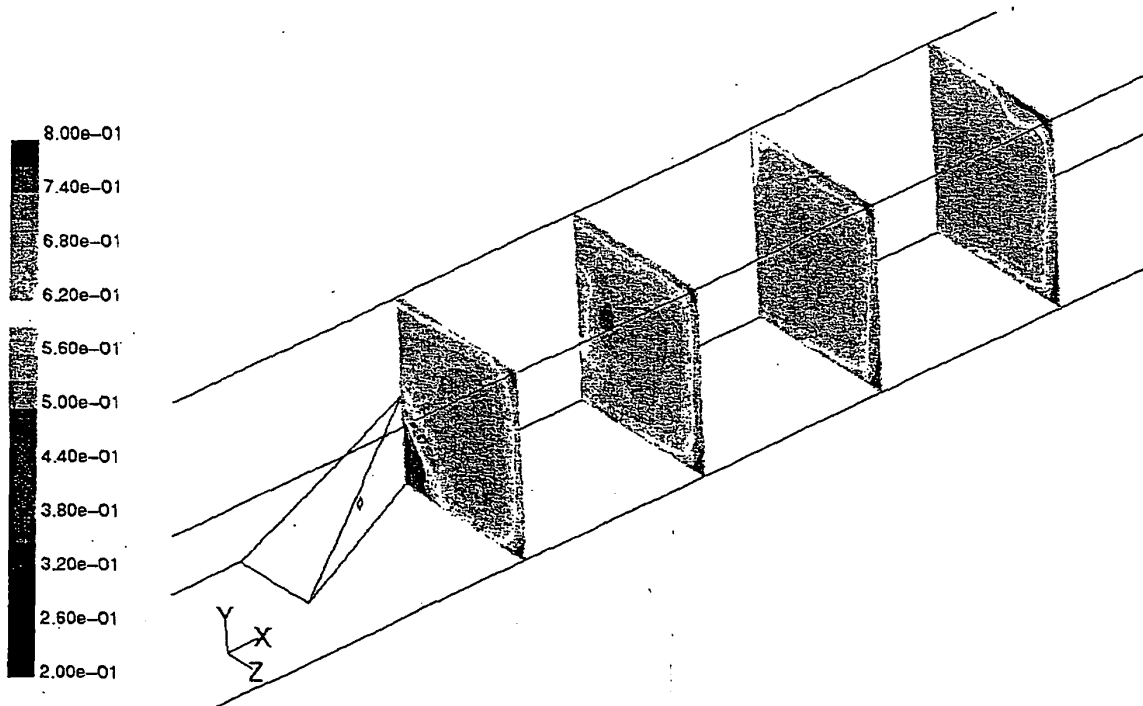


FIG. 6

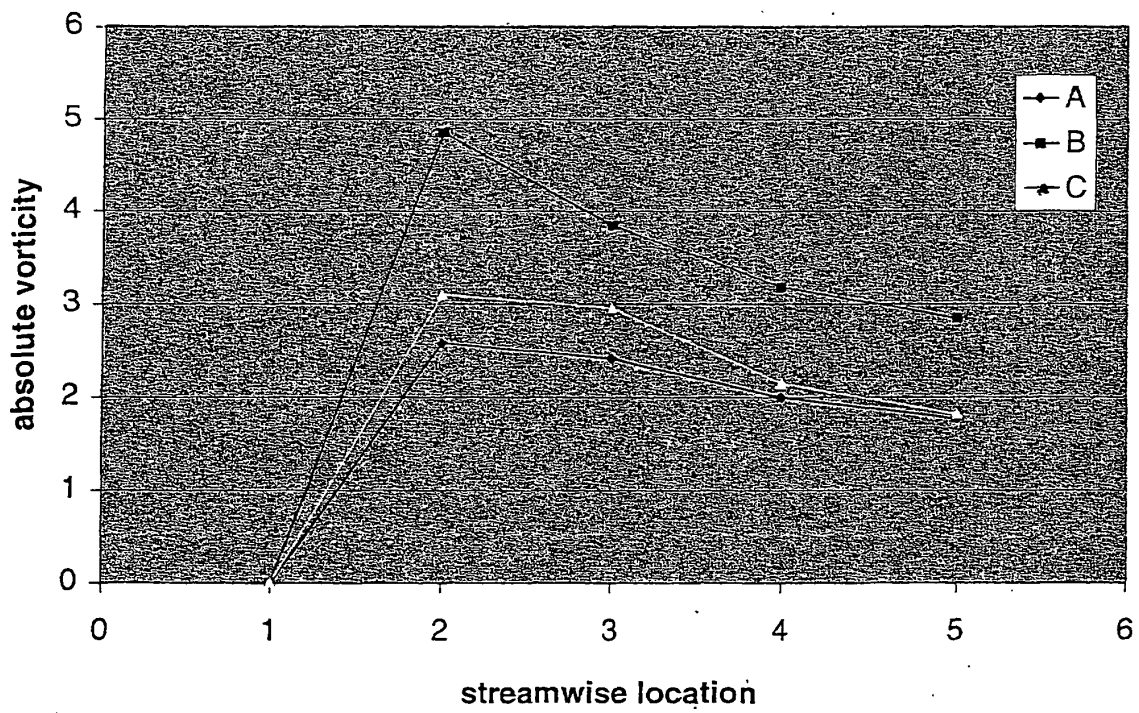


FIG. 7