



(19)

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 798 447 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
01.10.1997 Patentblatt 1997/40

(51) Int. Cl.⁶: F01D 5/14

(21) Anmeldenummer: 97104465.6

(22) Anmeldetag: 15.03.1997

(84) Benannte Vertragsstaaten:
CH DE ES FR GB IT LI SE

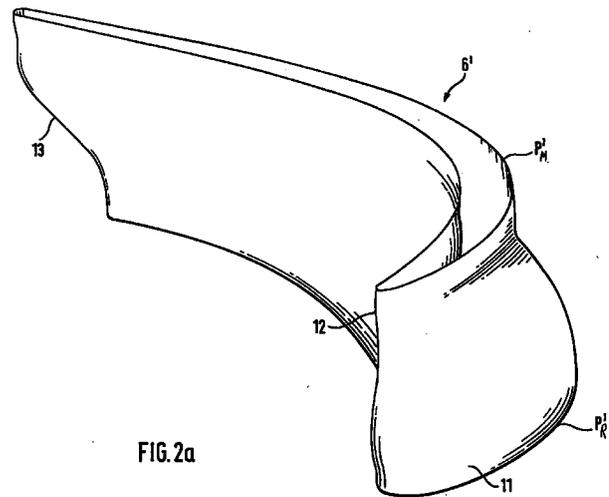
(30) Priorität: 28.03.1996 DE 19612394
28.03.1996 DE 19612396

(71) Anmelder: MTU MOTOREN- UND TURBINEN-
UNION
MÜNCHEN GMBH
D-80976 München (DE)

(72) Erfinder:
• Niehuis, Reinhard, Dr.
85221 Dachau (DE)
• Hübner, Norbert
85221 Dachau (DE)

(54) Schaufelblatt für Strömungsmaschinen

(57) Es wird ein Schaufelblatt 6 für Strömungsmaschinen angegeben, deren Profilschnitte P zur Anpassung an die radial veränderlichen Strömungswinkel und -zustände unterschiedlich ausgebildet sind, angegeben. Aufgabe ist es, durch eine entsprechende Schaufelgestaltung die durch die Sekundärströmung bedingten Schaufelverluste zu reduzieren. Hierzu wird vorgeschlagen, die randnahen Profilschnitte P_R durch Vergrößerung des Vorderkantenradiuses R_N, des Keilwinkels γ_N und/oder der absoluten Profildicke d mit einer strömungsmechanisch gestalteten Aufdickung 11 zu versehen. Durch die Aufdickung 11 des Schaufelblattes 6 im saug- und druckseitigen Bereich wird die Intensität und räumliche Lage des Sekundärwirbels geändert, was schließlich zur Verbesserung des Stufenwirkungsgrades führt. Vorteilhafte Anwendungsfälle sind Stator- und Rotorbeschaufelungen von Verdichtern, Turbinen, Gebläsen und Pumpen.



EP 0 798 447 A2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Schaufelblatt für Schaufelgitter von Strömungsmaschinen nach dem Oberbegriff des Patentanspruches 1. Ein solches Schaufelblatt ist in der GB 2 004 599 A offenbart.

Die Schaufelblätter werden nach heutigem Stand der Technik aus einer Vielzahl von einzelnen Profilschnitten erzeugt, wobei die einzelnen Profilschnitte an die radial veränderlichen Strömungswinkel und -zustände angepaßt sind. Durch fädeln der Einzelprofilschnitte wird die Form/Gestalt des Schaufelblattes definiert.

In Schaufelgittern entstehen bekanntermaßen Sekundärströmungen und Sekundärverluste. An den seitlichen Begrenzungswänden des Schaufelgitters bildet sich in der Zuströmung zu den Gittern eine Wandgrenzschicht aus, die im Schaufelkanal umgelenkt wird. Das energieärmere Fluid in der Vorgrenzschicht kann jedoch dem von der Profilsaugseite zur Profildruckseite einer benachbarten Schaufel sich aufbauenden Druckfeld, das im wesentlichen durch die Strömung außerhalb der Randzonen bestimmt wird, nicht das Gleichgewicht halten. Als Folge tritt mit der Ausbildung stärker gekrümmter Strombahnen eine Querströmung von der Druckseite zur Saugseite der Nachbarschaufel auf, die sich in einem Wirbel im Schaufelkanal fortsetzt.

Der Transport des energiearmen Materials der Vorgrenzschicht und die Überlagerung mit der saugseitigen Profilgrenzschicht ruft zusätzliche Verluste, die sogenannten Randverluste hervor. Für die Höhe der Verluste ist die Intensität des Überströmens entscheidend.

Auf die Querbewegung sind zusätzliche Einflüsse weiterer Wirbelsysteme vorhanden. Im wandseitigen, räumlichen Staubereich vor der Schaufelvorderkante steigt der örtliche Druck in Strömungsrichtung stark an. Dadurch weichen die wandnahen Schichten des Fluids in der Anströmungsgrenzschicht in Zonen geringeren Druckes quer zur Hauptströmung aus.

In der Symmetrieebene des räumlichen Staugebietes kommt es zu einer Rückströmung. Aufgrund der Wechselwirkung mit der Außenströmung entsteht ein Wirbelgebilde, das hufeisenförmig um das Profil verläuft. Der Hufeisenwirbel besteht somit aus einem saugseitigen und einem druckseitigen Ast. Der saugseitige Wirbelarm verläuft entlang der Profilsaugseite, hat einen gegenläufigen Drehsinn gegenüber dem Kanalwirbel und behindert die Bewegung des Kanalwirbels zur Saugseite. Der druckseitige Ast des Hufeisenwirbels hat innerhalb des Schaufelkanals einen gleichläufigen Drehsinn wie der Kanalwirbel. Es entsteht ein komplexes Wirbelsystem, wobei die einzelnen Wirbel in starker Wechselwirkung miteinander stehen.

In der gattungsbildenden GB 2 004 599 A wird zur Senkung der Sekundärströmungsverluste eine proportional zunehmende Profildicke im gehäuseseitigen Wandbereich von Leitschaufelgittern vorgeschlagen. Hierdurch wird der radiale Druckgradient in der gehäu-

seseitigen Abströmebene reduziert, was dann die Sekundärströmungsverluste senkt. Diese Ausbildung führt allerdings nur zu einer Verbesserung der Strömungsverhältnisse bei Leitschaufelgittern im gehäuseseitigen Wandbereich.

Ähnliche, proportional verlaufende Aufdickungen sind in der JP 55-142 909 A offenbart.

Auch in der Dissertationsschrift "Weiß, Andreas P.: Der Einfluß der Profilgeometrie auf die Entwicklung der Sekundärströmungen in Turbinengittern, Dissertation 1993, Universität der Bundeswehr München, S. 80-81" wird die Beeinflussbarkeit der Sekundärströmung durch Variation der Profilgeometrie untersucht, um die Gitterverluste zu minimieren.

Hiervon ausgehend, ist es Aufgabe der Erfindung, ein gattungsgemäßes Schaufelblatt von Leit- und Laufschaufelgittern anzugeben, deren Schaufelgeometrie die Sekundärströmung im Sinne einer Minimierung der Schaufelverluste beeinflusst.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst. Alternative Lösungen sind in den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche 5 und 8 angegeben.

Die Erfindung hat den Vorteil, daß durch die aerodynamische, stromabwärts der Vorderkante gestaltete Aufdickung des Schaufelblattes im saug- und druckseitigen Bereich und innerhalb des Schaufelkanals das Wirbelsystem in den Randzonen günstig beeinflusst wird. In der Folge wird die Intensität der Sekundärwirbel im Vorderkantenbereich (Hufeisen-/Kanalwirbel) und deren räumliche Lage geändert, was bei axialen, radialen, diagonalen und geraden Schaufelgittern von Strömungsmaschinen zu einer Reduzierung der Schaufelgitterverluste und zur Verbesserung des Stufenwirkungsgrades führt. Des weiteren kann je nach Wahl der Einflußparameter wie Vorderkantenradius, Keilwinkel und Profildicke zusätzlich Einfluß auf die Schaufelbelastung, also die Druckverteilung genommen werden. Durch die Ausbildung der Aufdickung ähnlich einer Cosinus- oder Tangensfunktion bzw. durch die Abhängigkeit der radialen Erstreckung der Aufdickung von der Dicke der Seitenwandgrenzschicht bzw. den Abströmwinkeln an der Schaufelblatthinterkante wird gezielt auf die Lage und Größe der Sekundärwirbel eingewirkt.

Als Seitenwand wird sowohl die nabenseitige, also die radial innere, als auch die gehäuseseitige, also radial äußere Begrenzung des Ringkanals verstanden, wobei diese als in Umfangs- und axialer -richtung ausgebildete Plattform bzw. als Deckband oder Maschinengehäuse ausgeführt sein kann. Die Erfindung kann u.a. bei der Stator- und Rotorbeschaufelung von Verdichtern, Turbinen, Gebläsen und Pumpen genutzt werden, wobei die Aufdickung je nach Einfluß der Sekundärströmung radial innen und/oder außen ausgeführt werden kann..

Bei einfachen Blattgeometrien, z.B. gerade Turbinengitter ist als Referenz-Profilschnitt ein Profilschnitt P_M zu verstehen, welcher bei etwa 50% der gesamten

Schaufelblatthöhe h_{ges} zu finden ist. Schaufelblätter in axialen Strömungsmaschinen weisen dagegen komplexere Schaufelgeometrien auf da die einzelnen Profilschnitte P, die die Schaufelblätter definieren, an die lokal herrschenden Strömungszustände angepaßt sind. Aufgrund der radial veränderlichen Strömungswinkel und -zustände besteht das Schaufelblatt in der Regel aus einer Vielzahl von Einzelprofilschnitten, die diesen Verhältnissen angepaßt sind und sich entlang der Schaufelhöhe und insbesondere in ihrer Ausrichtung und Lage ändern.

Aerodynamische, mechanische und thermische Belastungen führen u.a. auch zu einer Änderung der Profildicke und der axialen Abmessungen über die Schaufelblatthöhe. So erfordert die Gasdrucklast bei radial außen am Gehäuse angebrachten Leitschaufeln nach radial außen eine zunehmende Profildicke und axiale Abmessung auf um der Biegebeanspruchung zu widerstehen. Dagegen weisen Laufschaufeln im Nabenbereich die größte Profildicke und axiale Abmessung auf um der Fliehkraftbeanspruchung standhalten zu können. Die erfindungsgemäße Aufdickung an den Randzonen ist daher als additive Aufdickung eines Grundprofils zu verstehen, die die zuvor genannten Dickenänderungen des Schaufelblattes berücksichtigt. An der dicksten Stelle X des Schaufelblattes kann die Aufdickung bis zu 30% der Sehnenlänge des Profilschnittes P betragen.

Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den Merkmalen der Patentansprüche 2 bis 4, 6, 7 sowie 9 bis 16.

Durch Ausbildung der Erfindung mittels der Merkmale nach einem der Ansprüche 12 oder 13 ist die verlustmindernde Beeinflussung der Sekundärströmung möglich, ohne daß zwangsläufig eine bereits optimierte Profildruckverteilung in ungewünschter Weise durch die Aufdickung abgeändert wird. Hierbei stellt der Stafflungswinkel b einen Auslegungsparameter dar, der nach erfolgter Optimierung der Sekundärströmung mittels der erfindungsgemäßen Aufdickung nur noch geringen Einfluß auf die Sekundärströmung hat, jedoch noch die Druckverteilung über die Profilschnitte P in gewünschter Weise optimiert werden kann.

Um eine Gewichtszunahme des Schaufelblattes durch die Aufdickung zu kompensieren, kann das Schaufelblatt im Bereich der Aufdickung hohl ausgeführt werden. Zudem können durch die Aufdickung die Festigkeitseigenschaften des Schaufelblattes verbessert werden.

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 einen Längsschnitt durch eine Niederdruckturbine axialer Bauweise mit gekrümmten und geraden Schaufelblättern,

Fig. 2a eine perspektivische Ansicht eines nabenseitigen Schaufelblattabschnitts gemäß

Schnitt W-W aus Fig. 1 mit S-förmigem Aufdickungsverlauf,

Fig. 2b ein strömungsmechanisches Modell des Schaufelblattabschnitts nach Fig. 2a,

Fig. 2c ein strömungsmechanisches Modell des Schaufelblattabschnitts nach Fig. 2a mit Darstellung der Profilschnitte P,

Fig. 2d eine Draufsicht des Schaufelmodells nach Fig. 2a mit Darstellung eines Referenz- und eines randnahen Profilschnitts,

Fig. 2e ein Diagramm zum Verlauf des Nasenradiuses im Randbereich des Schaufelblattes nach Fig. 2a,

Fig. 2f ein Diagramm zum Verlauf der Profildicke im Randbereich des Schaufelblattes nach Fig. 2a,

Fig. 2g ein Diagramm zum nabenseitigen Verlauf des Keilwinkels g an der Vorderkante des Schaufelblattes nach Fig. 2a,

Fig. 3a eine perspektivische Ansicht eines nabenseitigen Schaufelblattabschnitts gemäß Schnitt W-W aus Fig. 1 mit exponentiellem Aufdickungsverlauf,

Fig. 3b ein strömungsmechanisches Modell des Schaufelblattabschnitts nach Fig. 3a,

Fig. 3c ein Diagramm zum Verlauf des Nasenradiuses im Randbereich des Schaufelblattes nach Fig. 3a,

Fig. 3d ein Diagramm zum Verlauf des Nasenradiuses im Randbereich des Schaufelblattes nach Fig. 3a,

Fig. 3e ein Diagramm zum Verlauf des Keilwinkels g an der Vorderkante des Schaufelblattes Fig. 3a,

Fig. 4a eine perspektivische Ansicht eines nabenseitigen Schaufelblattabschnitts gemäß Schnitt W-W aus Fig. 1 mit Fädelung der Profilschnitte in Umfangsrichtung,

Fig. 4b ein strömungsmechanisches Modell des Schaufelblattabschnitts nach Fig. 4a,

Fig. 4c eine Draufsicht des strömungsmechanischen Modells nach Fig. 4a,

Fig. 5a Ansicht eines geraden Schaufelblattes eines Schaufelgitters,

Fig. 5b Profilschnitt des Schaufelblattes nach Fig. 5a,

Fig. 5c Diagramm zum Verlauf des Abströmwinkels α an der Hinterkante des Schaufelblatts nach Fig. 5a.

Für Richtungs- und Bezugsangaben wird ein in der Strömungsmechanik übliches Axial-Umfangs-Radial-Koordinatensystem z - f - r verwendet. Die in Fig. 1 schematisch dargestellte obere Hälfte einer zweistufigen Axialturbine 1 weist paarweise axial hintereinander angeordnete Leit- und Laufschaufelgitter 2 bzw. 3 auf, die mit geraden bzw. konkav entgegen der Strömungsrichtung S gekrümmten Leit- bzw. Laufschaufeln 4,5 bestückt sind. Die Schaufelblätter 6 der Leit- und Laufschaufeln 4,5 erstrecken sich radial in einem zur Maschinenlängsachse A der Axialturbine 1 konzentrisch angeordneten Ringkanal 7. Die achskonzentrisch verlaufenden naben- und gehäuseseitigen Seitenwände bilden die radial innere und radial äußere Kanalbegrenzung 8 bzw. 9 des Ringkanals 7 und geben diesem einen bezüglich der Strömungsrichtung S divergenten Verlauf.

Die Laufschaufelgitter 3 sind in Scheibenbauweise ausgeführt, d.h., die Laufschaufeln 5 sind jeweils gitterweise an einer Scheibe 10 angebracht.

Die Fig. 2a bis 2c zeigen den nabenseitigen Randbereich des zum Leitschaufelgitter 2 gehörigen Schaufelblattes 6' gemäß der Schnittführung W - W in Fig. 1. Wie aus dem Modell nach den Fig. 2b und 2c deutlich wird, wird das Schaufelblatt 6' im randnahen Bereich aus einer Vielzahl von einzelnen Profilschnitten P_R , P_{1-7} und P_M erzeugt. In ihrer Formgebung sind die Profilschnitte P in üblicher Weise an die radial veränderlichen Strömungswirbel -zustände angepaßt. Einen Einfluß auf die Gestaltung der Profilschnitte P haben aerodynamische, mechanische und thermische Belastungen, die u.a. zu einer Änderung der Profildicke d entlang der Schaufelhöhe h führen. In typischer Weise ist das Schaufelblatt 6' des Leitschaufelgitters 2 radial außen an der äußeren Kanalbegrenzung 9, also am Gehäuse angebracht, und weist daher infolge der Gasdruckbelastung im Allgemeinen nach radial außen eine zunehmende Profildicke d und Profiltiefe t auf. Die zum Laufschaufelgitter 3 gehörige Laufschaufel 5 weist dagegen im Nabenbereich die größte Profildicke auf, um der Fliehkraftbeanspruchung Stand halten zu können. Bei den Übergängen der Schaufelblätter 6 in die begrenzenden Seitenwände 8,9 - bei den Laufschaufeln 5 ist dies an der inneren Kanalbegrenzung 8 der Fall - weisen diese einen Ausrundungsradius r_N bzw. r_G auf, der die mechanischen Belastungen, wie die Kerbwirkung reduziert, so daß die Schaufelblätter 6 jeweils flächig in die Seitenwände 8,9 übergehen.

Wie in den Figuren 2a bis 2d erkenntlich und in dem Diagramm nach Fig. 2f im qualitativen Verlauf dargestellt, weisen die randnahen Profilschnitte P_R und P_{1-5} gegenüber einem Referenz-Profilschnitt P_M eine zur

äußeren Kanalbegrenzung 9 hin zunehmende Aufdickung 11 auf, um die Sekundärströmung im Randbereich positiv zu beeinflussen. Hierbei wurde die radiale Ausdehnung der Aufdickung 11 derart gewählt, daß die Aufdickung 11 im Bereich der Seitenwandgrenzschicht liegt, der eine radiale Ausdehnung von knapp $h/h_{ges} = 12\%$ aufweist. Als Referenz-Profilschnitt P_M wurde ein Profilschnitt P gewählt, welcher um 12% der Schaufelblatthöhe h_{ges} von der inneren Kanalbegrenzung 8 beabstandet ist und keine Aufdickung 11 aufweist.

In Fig. 2d wird die Ausdehnung der Aufdickung 11 über die gesamte Profiltiefe l hinweg gegenüber dem dünnen Referenz-Profilschnitt P_M deutlich. Ausgehend von der Schaufelvorderkante 12 nimmt die Aufdickung 11 kontinuierlich, bis zu einem als Dickenrücklage gekennzeichneten Ort X zu, an dem die maximale Profildicke erreicht wird, um dann bis zur Schaufelhinterkante 13 kontinuierlich abzunehmen. Diese Zu- und Abnahme der Aufdickung 11 erfolgt stetig, um eine aerodynamisch günstige Formgebung zu erhalten. Aufgrund des unterschiedlichen Staffelungswinkel $b_{R,M}$ der beiden Profilschnitte P_R und P_M fallen die Skelettlinien K_M und K_R der beiden Profilschnitte P_R und P_M nicht unmittelbar aufeinander, so daß im Hinterkantenbereich die Aufdickung 11 nicht unmittelbar auf der Druck- und Saugseite 14 bzw. 15 sichtbar wird.

Wie die Diagramme der Fig. 2e bis 2g zeigen, resultiert die Aufdickung 11 aus der Vergrößerung der drei Profilparameter Nasenradius R_N an der Schaufelvorderkante 12, Profildicke d und Keilwinkel γ_N an der Vorderkante 12. Ausgehend vom Referenz-Profilschnitt P_M vergrößert sich bis zum randnahen Profilschnitt P_R der Nasenradius R_N um knapp 300%, die Profildicke d um etwa 200% und der Keilwinkel γ_N um etwa 20°. Allen drei Verläufen ist gemeinsam, daß die Aufdickung 11 ausgehend vom randnahen Profilschnitt P_R bis zur relativen Schaufelblatthöhe $h_1/h_{ges} = 3\%$ im wesentlichen konstant bleibt, um dann innerhalb der Höhe h_2 , in einem Übergangsbereich T_U , der einer approximierten Tangensfunktion mit Wendepunkt W etwa bei 7% der Schaufelblatthöhe h_{ges} entspricht, auf einen Wert auszulauferen, der dem Referenz-Profilschnitt P_M entspricht. Die Höhe h_{auf} mit Aufdickung 11 setzt sich somit aus der Höhe h_1 und h_2 zusammen.

Wie in Fig. 2a zu erkennen, ergibt sich somit eine Aufdickung 11, die bis zu einer Schaufelblatthöhe $h_1/h_{ges} = 3\%$ als zylindrisches Teilstück T_Z ausgebildet ist, um dann entsprechend einer Übergangsfunktion T_U auszulauferen. Generell ist dabei die Aufdickung 11 derart gewählt, daß sich zwar aufgrund des unterschiedlichen Staffelungswinkel b_M , b_R der Profilschnitte P unterschiedlich große Profiltiefen l_R bzw. l_M ergeben aber die Abmessung t in axialer Richtung von der Aufdickung 11 unbeeinflußt. Die Abmessung t ist allerdings u.a. aus Festigkeitsgründen über die Schaufelblatthöhe h_{ges} veränderlich.

Ein alternativer Verlauf der Aufdickung 11 ist in den Fig. 3a bis 3f gezeigt, wobei hier die die Aufdickung 11

bestimmenden Profilparameter ausgehend vom randnahen Profilschnitt P_R ohne Wendepunkt stetig abfallen, bis die Profilschnitte P in den Referenz-Profilschnitt P_M übergehen. Der Parameterverlauf ist dabei einer Cosinusfunktion angenähert wodurch die Lage und Größe der Sekundärwirbel günstig beeinflusst wird. Die Staffelung und Fädelung der Profilschnitte P wurde dabei gegenüber der ersten Variante nach Fig. 2 unverändert gelassen.

Eine dritte Ausführungsform von einer randnahen Schaufelblattgestaltung ist in den Fig. 4a bis 4c gezeigt. Durch die Fädelung der Profilschnitte P in Umfangsrichtung wird die weitere Formgebung des Schaufelblattes 6'' definiert. Das dort gezeigte Schaufelblatt 6'' weist die gleiche qualitative und quantitative Aufdickung 11 und die gleichen Profilschnitte P auf, wie sie in den Parameterverläufen zum ersten Ausführungsbeispiel nach den Diagrammen der Fig. 2e bis 2g zum Ausdruck kommt. Durch die Fädelung der Profilschnitte P , wonach die Schaufelhinterkante 13 eine Gerade bildet, stellt sich die Aufdickung 11 in der Draufsicht nach Fig. 4b als druckseitige Aufdickung 11 des Schaufelblattes 6'' dar. Bei diesem wie auch bei den anderen Ausführungsbeispielen wurde der Staffelungswinkel b der Profilschnitte P derart gewählt, daß der Einfluß der Aufdickung 11 auf die saugseitige Druckverteilung zu den Profilschnitten P kompensiert oder zumindest die Lage des Druckminimums gegenüber Profilschnitten P_M ohne Aufdickung unverändert bleibt.

Weitere vorteilhafte Schaufelblattgestaltungen ergeben sich durch eine Fädelung der Randschnitte in axialer Richtung unter Ausnutzung von gepfeilten Vorderkanten, wie in Fig. 1 dargestellt. Dabei kann durch die axiale Breite der Profilschnitte zur Berandung 8 bzw. 9 zu- oder abnehmen.

Dieses Ausführungsbeispiel zeigt, daß die Aufdickung 11 druck- und saugseitig ausgeführt sein kann, wobei durch die Fädelung der Profilschnitte P in axialer Richtung und in Umfangsrichtung der druck- oder saugseitige Ort der Aufdickung 11 in Fig. 4a nicht unmittelbar erkennbar ist.

Während beim ersten Ausführungsbeispiel die Höhe h_{auf} des mit der Aufdickung 11 versehenen Bereichs in Abhängigkeit der radialen Ausdehnung der Seitenwandgrenzschicht gewählt wurde, ist für das dritte Beispiel die Höhe h_{auf} in Abhängigkeit vom Verlauf der Abströmwinkel α an der Schaufelblatthinterkante 13 festgelegt. Die Fig. 5a bis 5c zeigen die Zusammenhänge an einem Schaufelblatt 6'' ohne Aufdickung 11. In Fig. 5c ist der Verlauf des Abströmwinkels $\alpha = f_1(h)$ über dem radialen Abstand h von der Seitenwand 8 für ein Schaufelblatt ohne und $f_2(h)$ für ein Schaufelblatt 6 mit Aufdickung 11 dargestellt.

Charakteristisch für beide Verläufe ist der Bereich A der Überumlenkung unmittelbar im Anschluß an die Seitenwand 8. Daran schließt sich ein Bereich B der Minderumlenkung an, der im Punkt C bei der radialen Höhe h_C in einen konstanten Verlauf übergeht, der wiederum für den mittleren Bereich eines Schaufelblattes

eigentümlich ist. Die Höhe h_C definiert den Rand der Sekundärströmungsgebiete in den Wandbereichen der Schaufel und ist abhängig vom Eintritttotaldruckprofil und dem Betrag der Umlenkung des Schaufelgitters.

Die Höhe h_{auf} mit der Aufdickung 11 ist nun derart gewählt, daß etwa $h_{auf} = h_C$ gilt. Dies führt zu geringeren Minder- bzw. Überumlenkungen und zu der gewünschten Reduzierung der Sekundärströmungsverluste. Die geringere Minder- und Überumlenkung verbessert darüber hinaus die Zuströmung für das Folgegitter, wodurch der Gesamtverlust des Stufenverbandes geringer wird.

Patentansprüche

1. Schaufelblatt für Schaufelgitter von Strömungsmaschinen in einem Ringkanal, deren Profilschnitte (P) über die Schaufelblatthöhe (h) unterschiedlich ausgebildet sind, wobei die randnahen Profilschnitte (P_R) an zumindest einer begrenzenden Seitenwand (innere bzw. äußere Kanalbegrenzung 8,9) des Ringkanals (7) eine strömungsmechanisch gestaltete Aufdickung (11) aufweisen, die gegenüber der Kontur eines Referenz-Profilschnittes (P_M) des Schaufelblattes (1) einen vergrößerten Vorderkantenradius (R_N), einen größeren Keilwinkel (γ_N) bzw. (γ_H) an der Vorder- und/oder Hinterkante (12 bzw. 13) und/oder eine größere absolute Profildicke (d) aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufdickung (11) mit zunehmenden radialem Abstand (h) von der Seitenwand (8 bzw. 9) zumindest abschnittsweise nach einer Übergangsfunktion (T_U) abnimmt und die Übergangsfunktion (T_U) durch eine Cosinus- oder Tangensfunktion gebildet wird.
2. Schaufelblatt nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufdickung (11) bis zu einer Schaufelblatthöhe (h_1) als zylindrisches oder konisch verlaufendes Teilstück (T_Z) ausgebildet ist und die Aufdickung (11) im Anschluß an das Teilstück (T_Z) nach einer Übergangsfunktion (T_U) ausgeführt ist.
3. Schaufelblatt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Höhe (h_{auf}) mit Aufdickung (1) eine Funktion von der Dicke der Vorgrenzschicht an der Seitenwand (8,9) ist.
4. Schaufelblatt nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Höhe (h_{auf}) mit Aufdickung (1) eine Funktion der Abströmwinkel (α) an der Schaufelhinterkante (13) ist.
5. Schaufelblatt für Schaufelgitter von Strömungsmaschinen in einem Ringkanal, deren Profilschnitte (P) über die Schaufelblatthöhe (h) unterschiedlich ausgebildet sind, wobei die randnahen Profil-

- schnitte (P_R) an zumindest einer begrenzenden Seitenwand (innere bzw. äußere Kanalbegrenzung 8,9) des Ringkanals (7) eine strömungsmechanisch gestaltete Aufdickung (11) aufweisen, die gegenüber der Kontur eines Referenz-Profilschnittes (P_M) des Schaufelblattes (1) einen vergrößerten Vorderkantenradius (R_N), einen größeren Keilwinkel (γ_N) bzw. (γ_H) an der Vorder- und/oder Hinterkante (12 bzw. 13) und/oder eine größere absolute Profildicke (d) aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die Höhe (h_{auf}) mit Aufdickung (1) eine Funktion der Abströmwinkel (α) an der Schaufelhinterkante (13) ist.
6. Schaufelblatt nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Schaufelblatt einen Abströmwinkelverlauf $\alpha = f(h)$ aufweist, der wandseitig, bis zur Schaufelblatthöhe h_C eine bereichsweise Über- und/oder Minderumlenkung (A bzw. B) aufweist und die Aufdickung (1) innerhalb des Bereiches mit Über- bzw. Minderumlenkung (A bzw. B) liegt.
7. Schaufelblatt nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Schaufelblatt einen Abströmwinkelverlauf $\alpha = f(h)$ aufweist, der wandseitig, bis zur Schaufelblatthöhe h_C eine bereichsweise Minder- und/oder Überumlenkung (A bzw. B) aufweist und die Höhe (h_{auf}) mit Aufdickung (1) etwa 80 bis 120% der Schaufelblatthöhe h_C mit Minder- bzw. Überumlenkung (A bzw. B) beträgt.
8. Schaufelblatt für Schaufelgitter von Strömungsmaschinen in einem Ringkanal, deren Profilschnitte (P) über die Schaufelblatthöhe (h) unterschiedlich ausgebildet sind, wobei die randnahen Profilschnitte (P_R) an zumindest einer begrenzenden Seitenwand (innere bzw. äußere Kanalbegrenzung 8,9) des Ringkanals (7) eine strömungsmechanisch gestaltete Aufdickung (11) aufweisen, die gegenüber der Kontur eines Referenz-Profilschnittes (P_M) des Schaufelblattes (1) einen vergrößerten Vorderkantenradius (R_N), einen größeren Keilwinkel (γ_N) bzw. (γ_H) an der Vorder- und/oder Hinterkante (12 bzw. 13) und/oder eine größere absolute Profildicke (d) aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die Höhe (h_{auf}) mit Aufdickung (1) eine Funktion von der Dicke der Vorgrenzschicht an der Seitenwand (8,9) ist.
9. Schaufelblatt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Aufdickung (11) vom Vorderkanten- bis zum Hinterkantenbereich des Schaufelblattes (1) erstreckt.
10. Schaufelblatt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die innerhalb einer an den Seitenwänden vorhandenen Grenzschicht liegenden Profilschnitte (P_R , P_{1-5}) mit der Aufdickung (11) versehen sind.
11. Schaufelblatt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Aufdickung maximal bis zu einer Höhe (h_{auf}) von der Seitenwand (8,9) erstreckt, die 30% der Schaufelblatthöhe (h_{ges}) entspricht.
12. Schaufelblatt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufdickung (11) derart gestaltet ist, daß die Lage des saugseitigen Druckminimums im wesentlichen unverändert bleibt.
13. Schaufelblatt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Staffelungswinkel (b) der randnahen Profilschnitte (P_R) gegenüber dem des Referenz-Profilschnittes (P_M) derart gestaltet ist, daß die Lage des saugseitigen Druckminimums im wesentlichen unverändert bleibt.
14. Schaufelblatt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Schaufelblatt im Bereich der aufgedickten (Aufdickung 11) Profilschnitte (P) hohl ausgeführt sind.
15. Schaufelblatt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Schaufelblatt im Bereich der aufgedickten (Aufdickung 11) Profilschnitte (P) in axialer Richtung und/oder Umfangsrichtung gefädelt ist.
16. Schaufelblatt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufdickung (11) derart gestaltet ist, daß die axiale Abmessung (t) des Profilschnittes (P_R) unverändert bleibt.

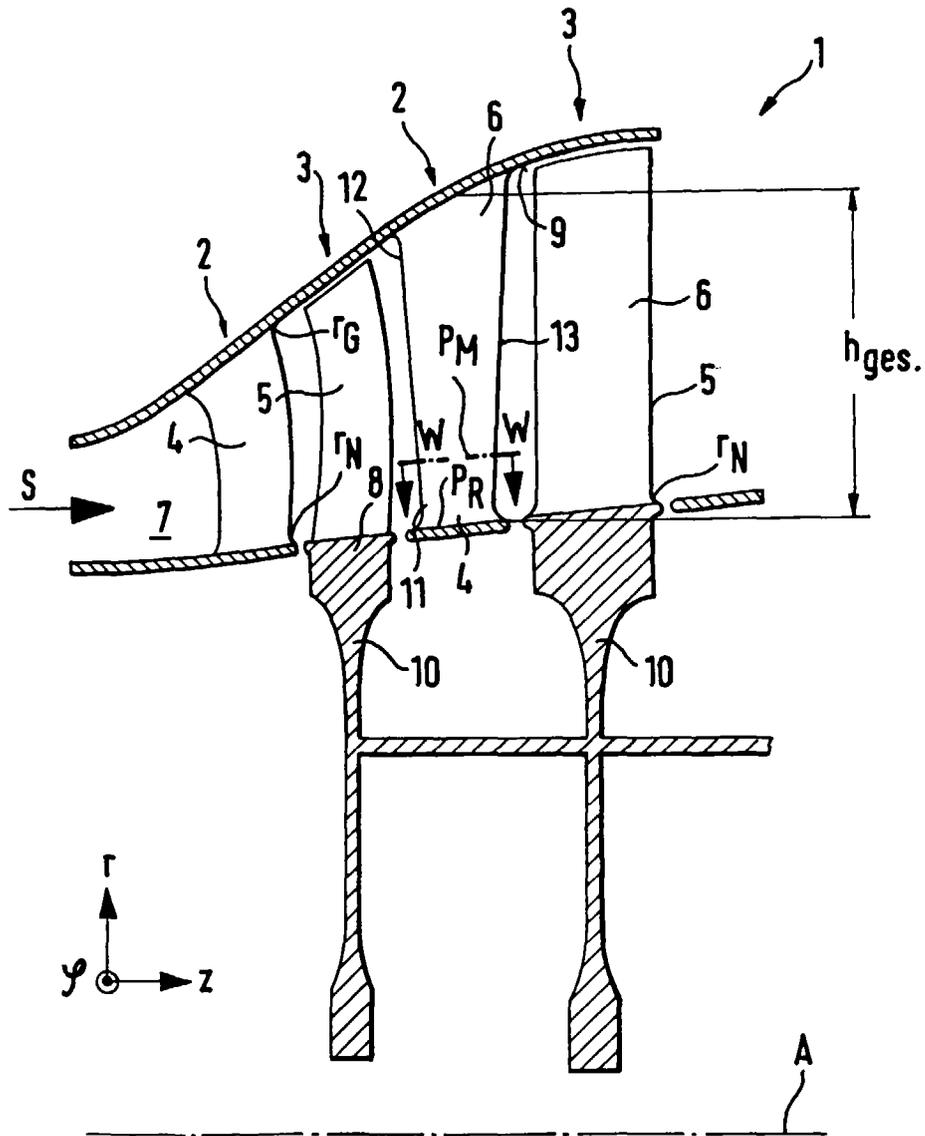


FIG. 1

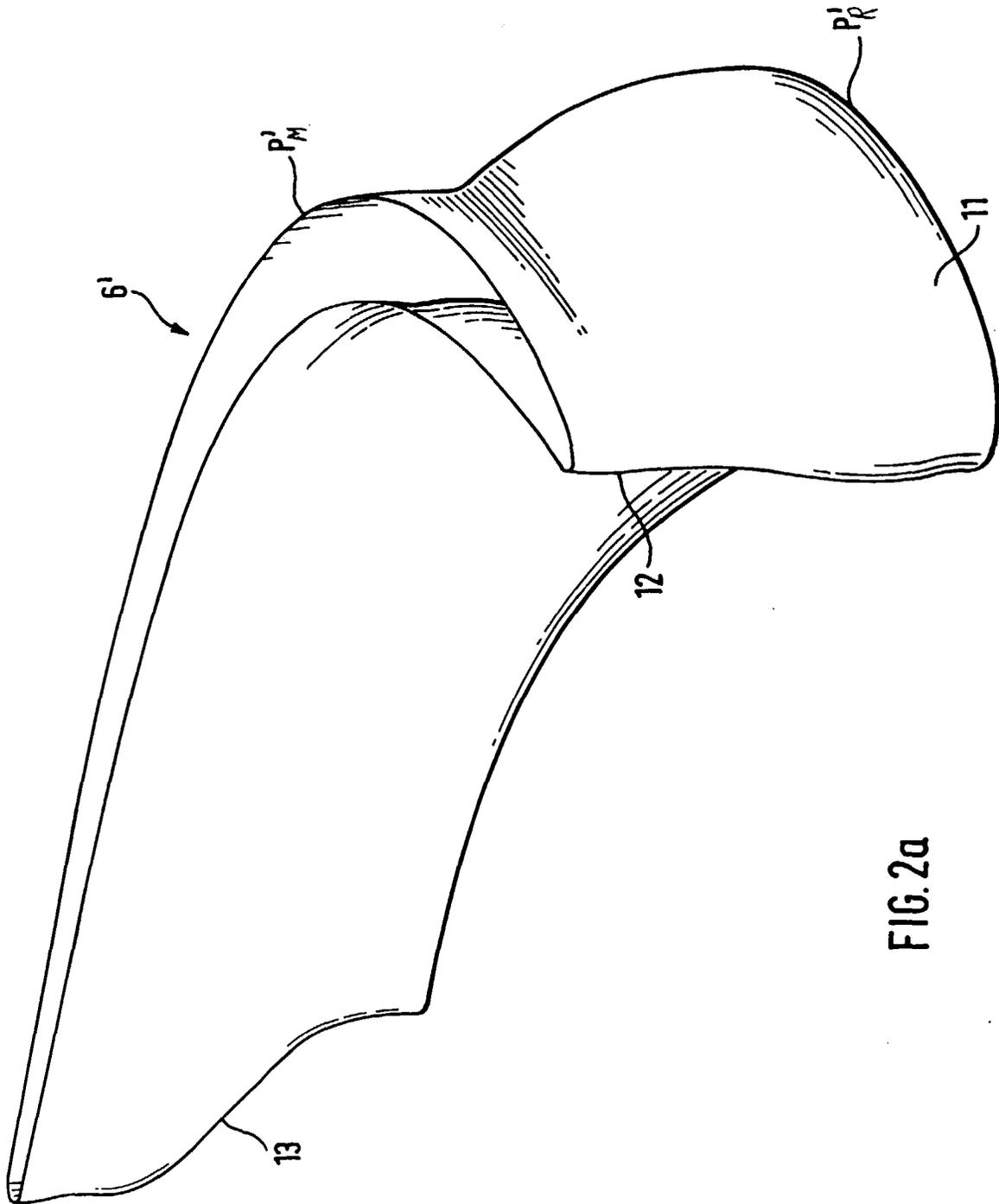


FIG. 2a

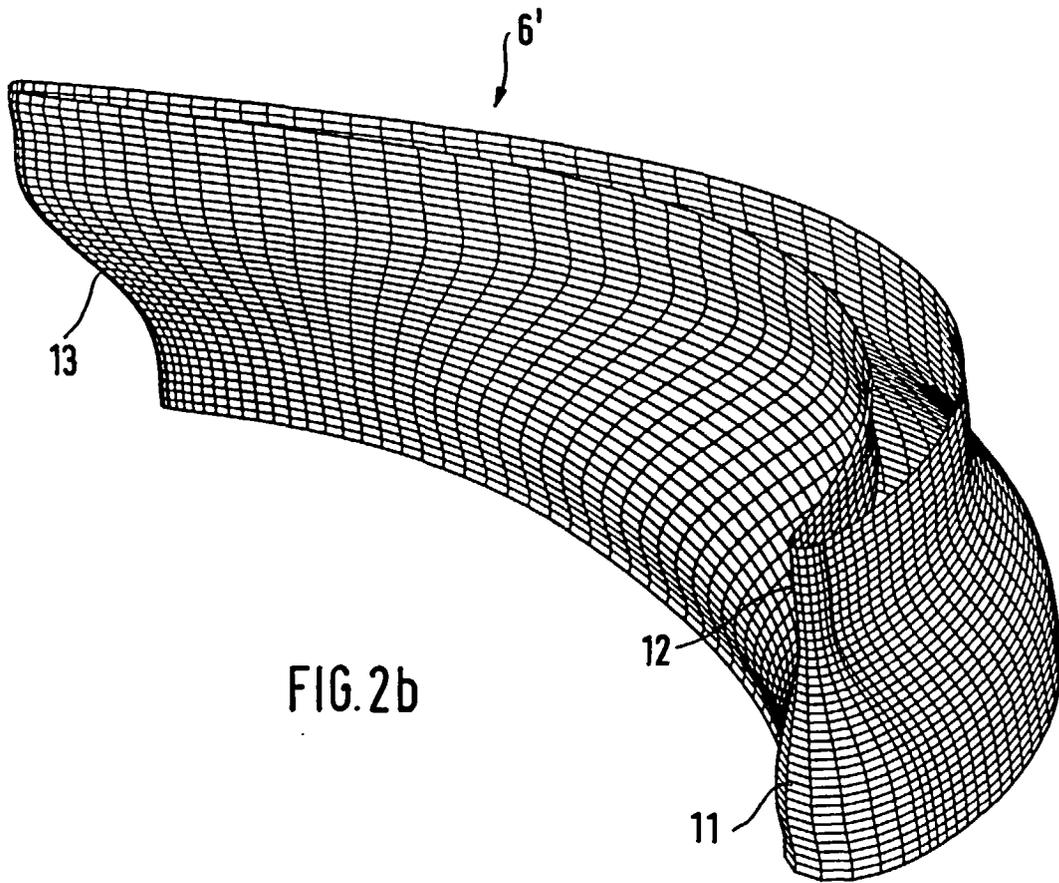


FIG. 2b

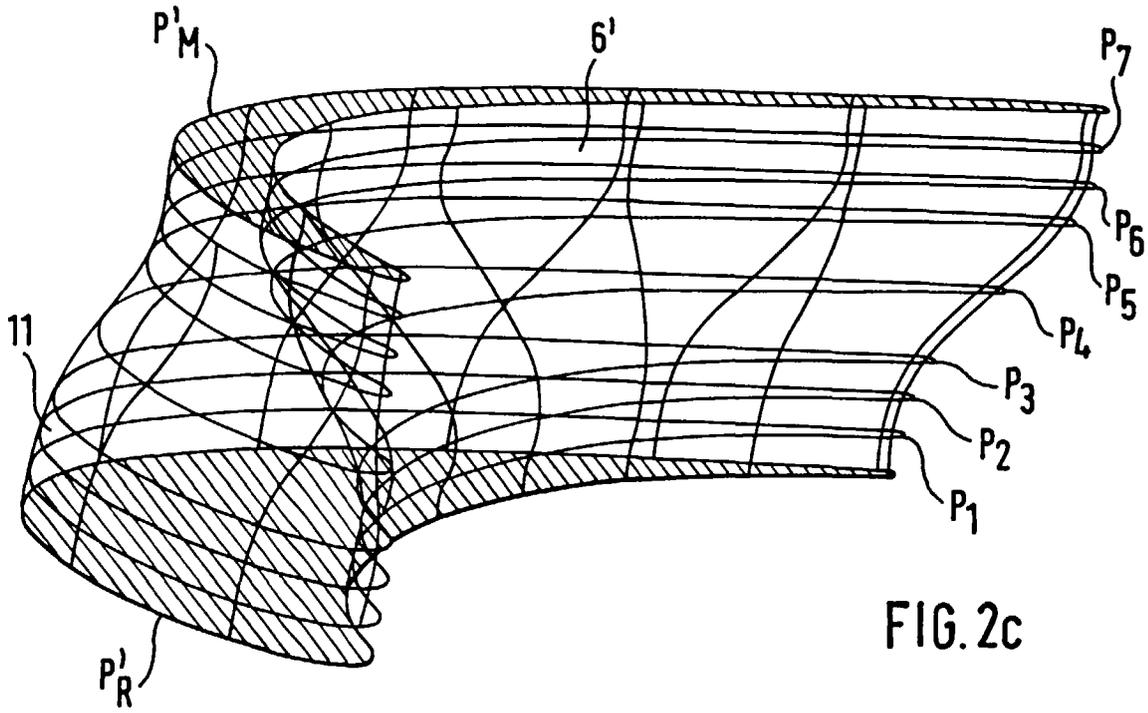


FIG. 2c

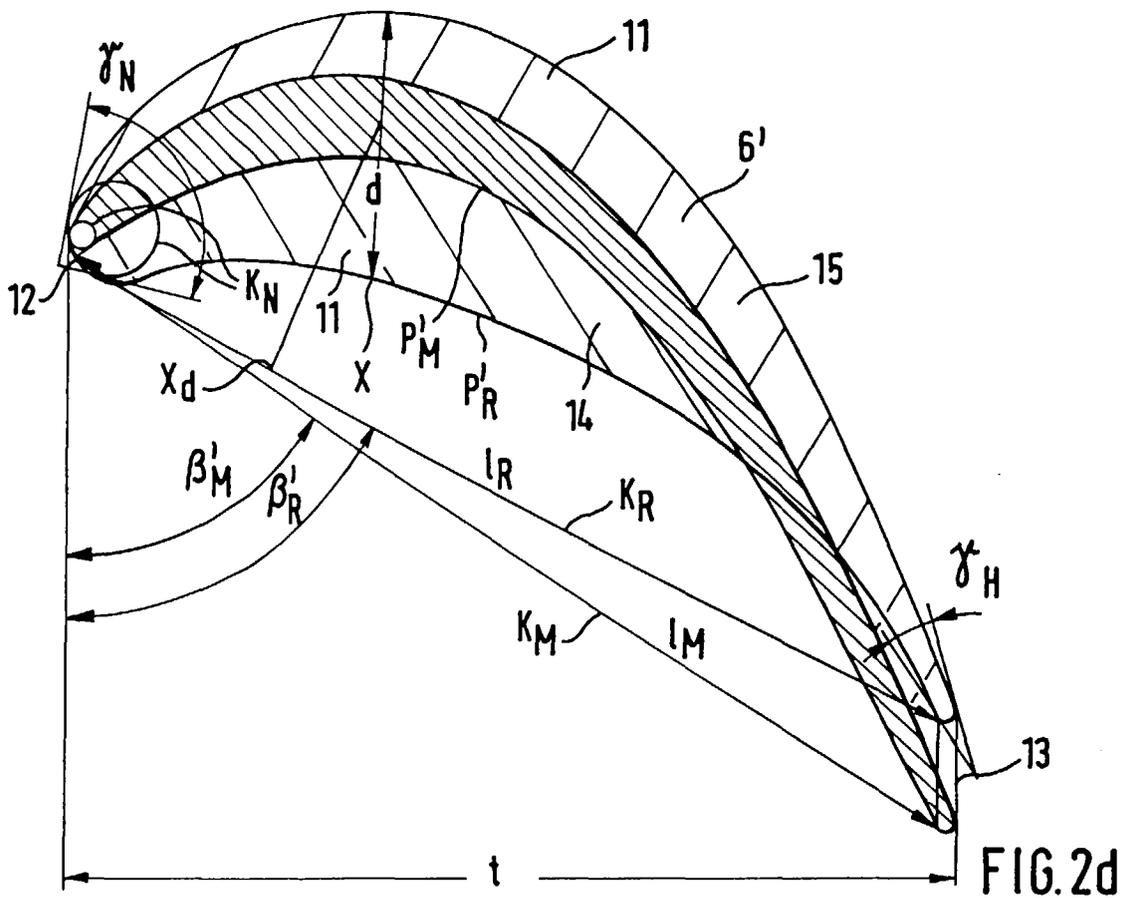


FIG. 2d

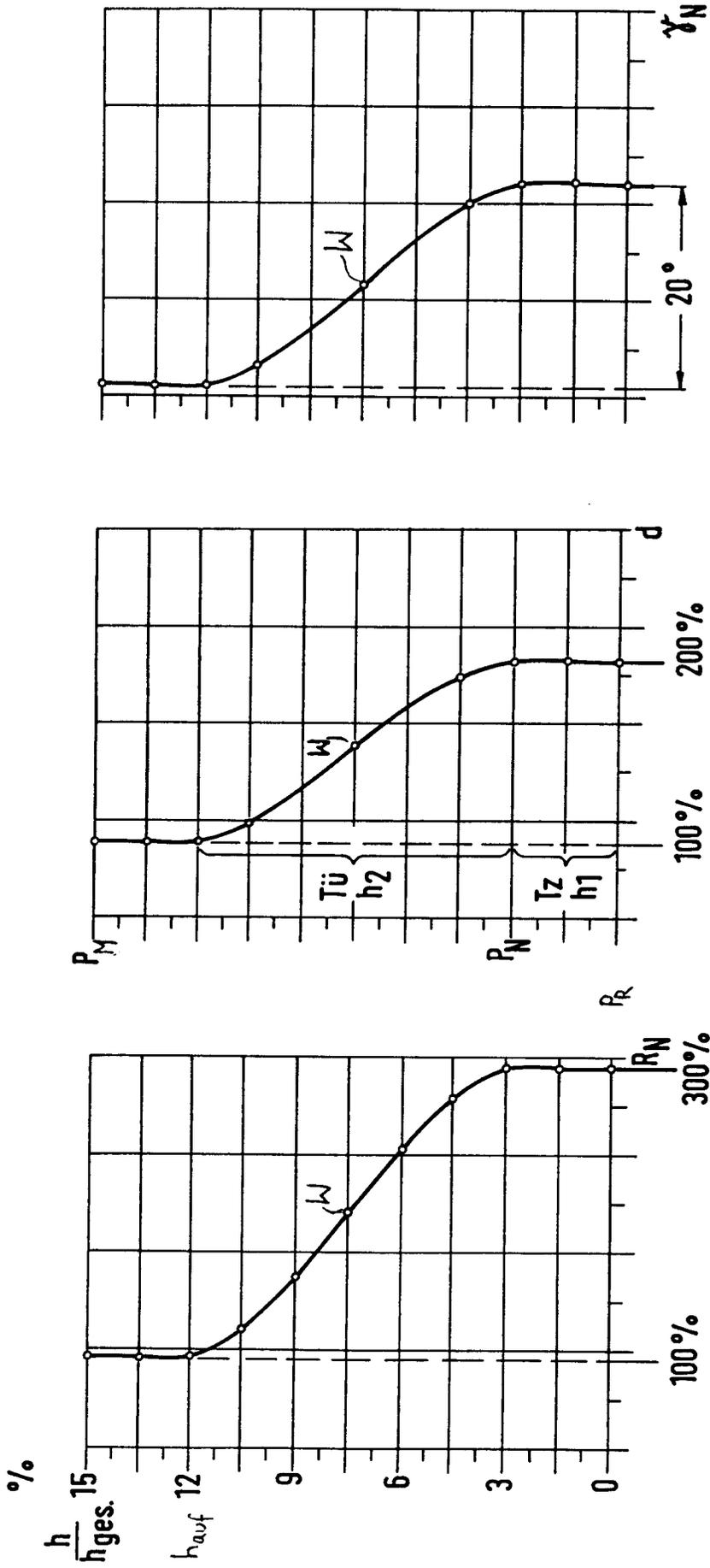


FIG. 2g

FIG. 2f

FIG. 2e

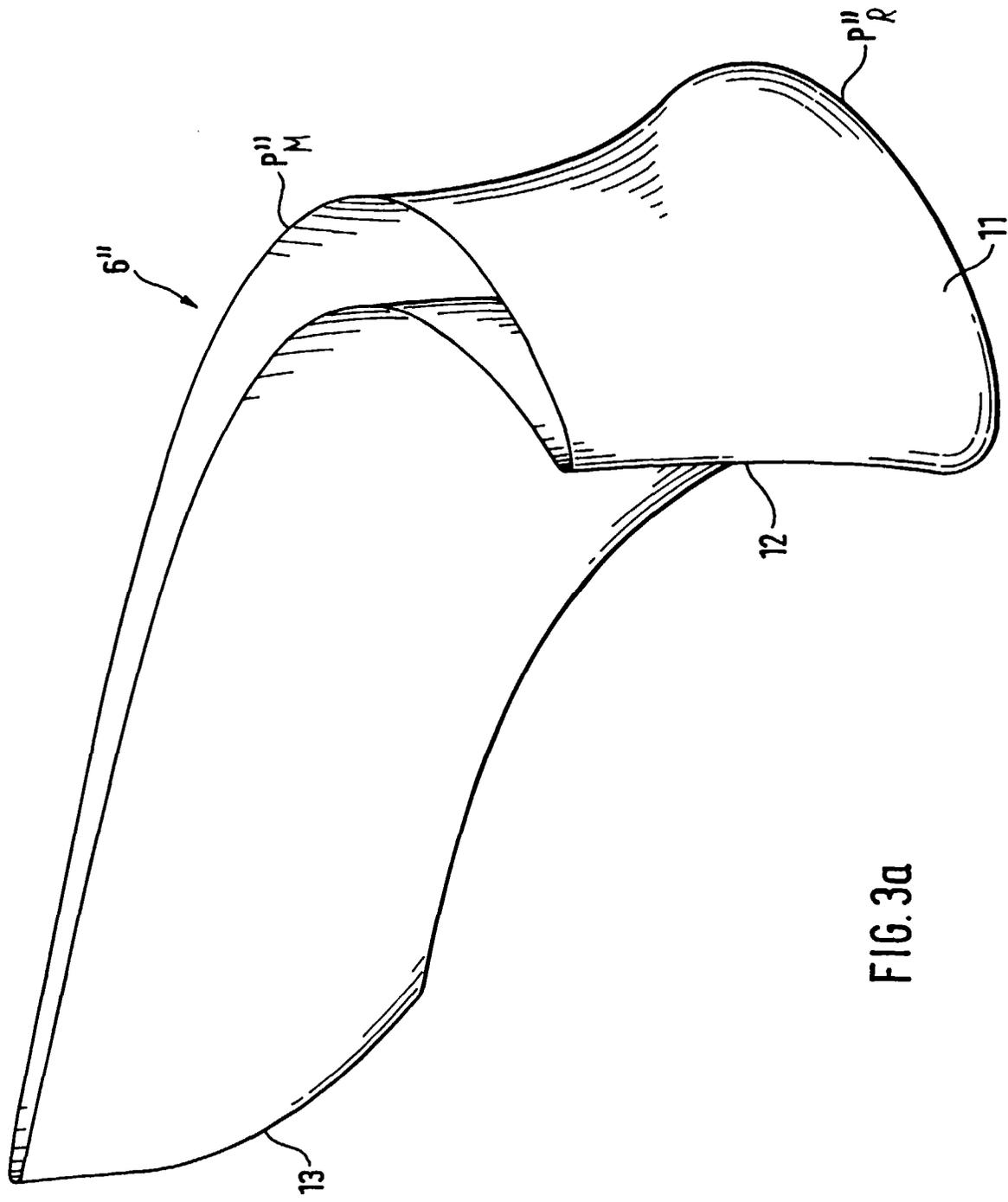


FIG. 3a

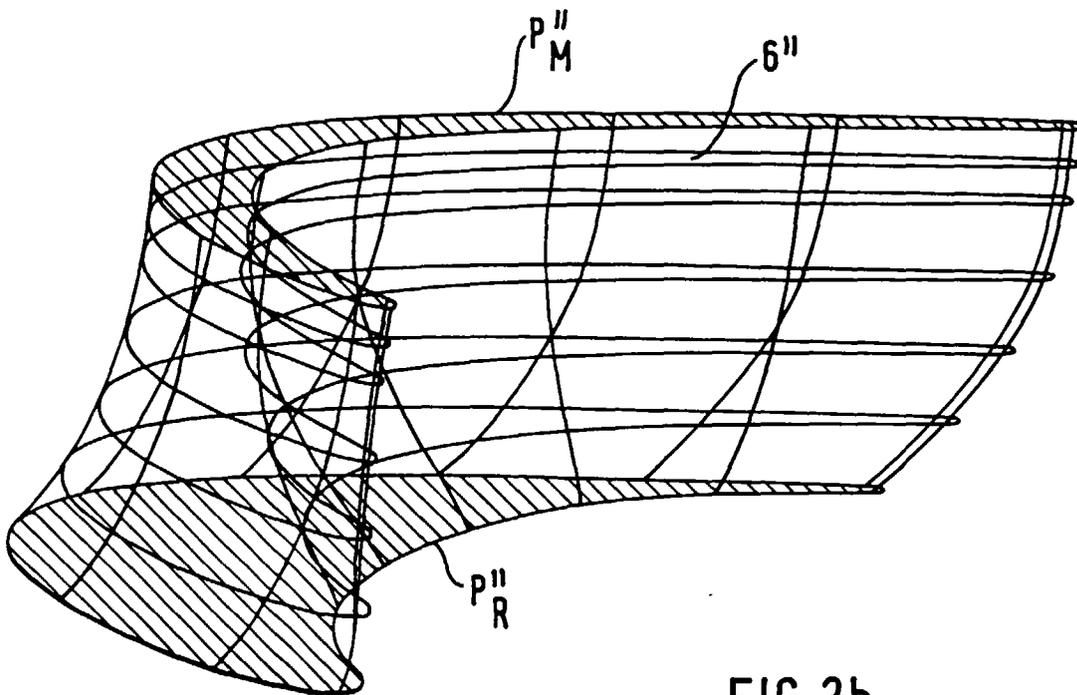


FIG. 3b

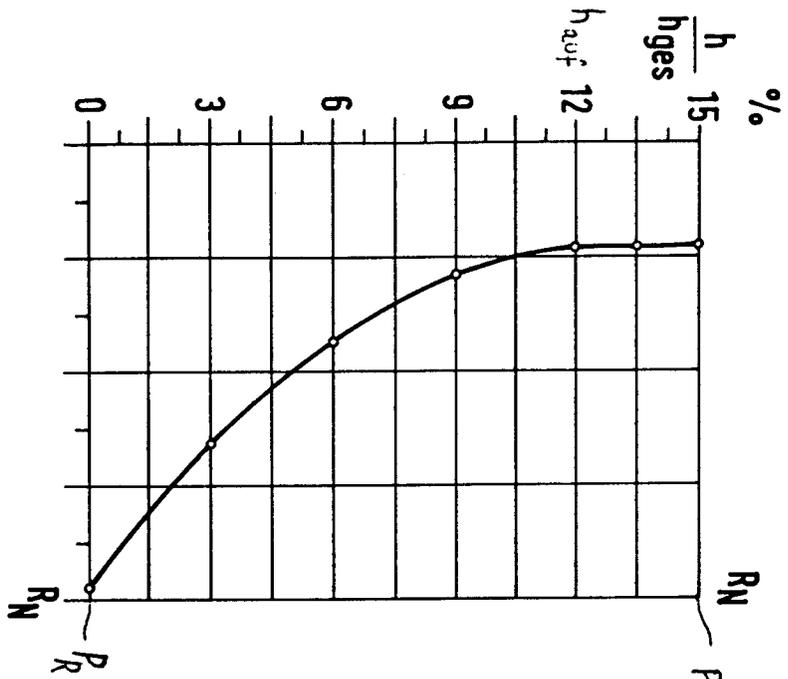


FIG. 3C

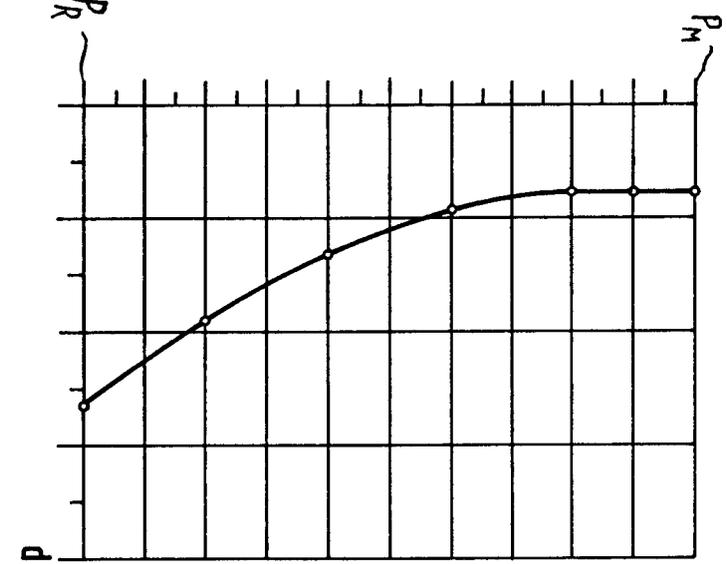


FIG. 3D

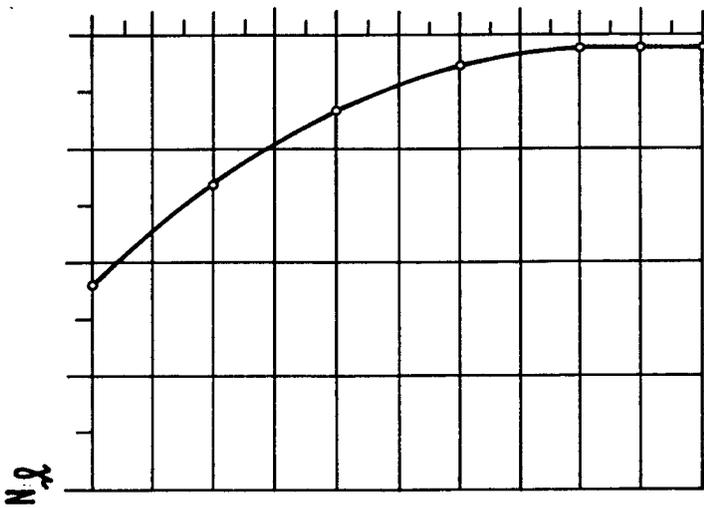
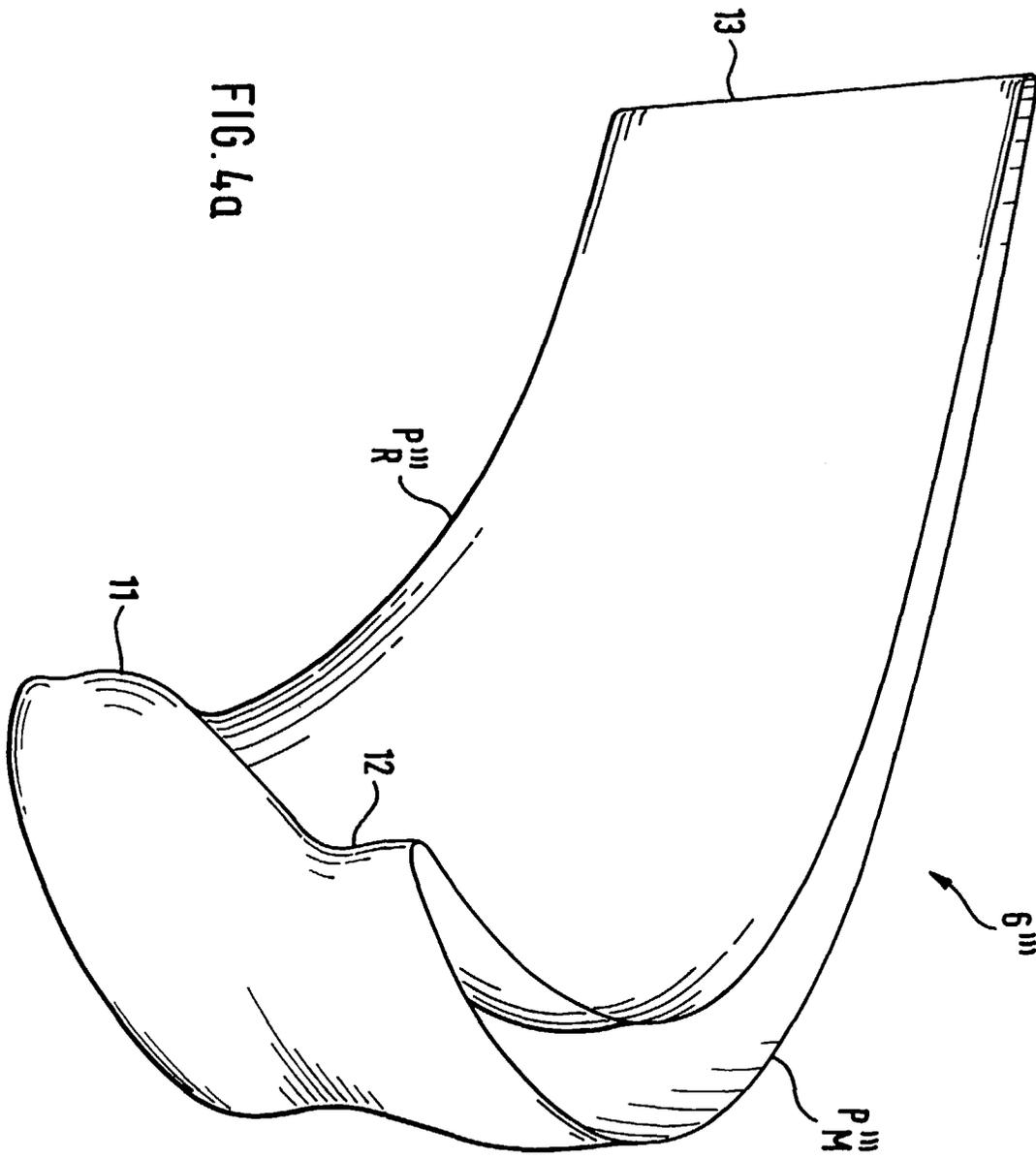


FIG. 3E



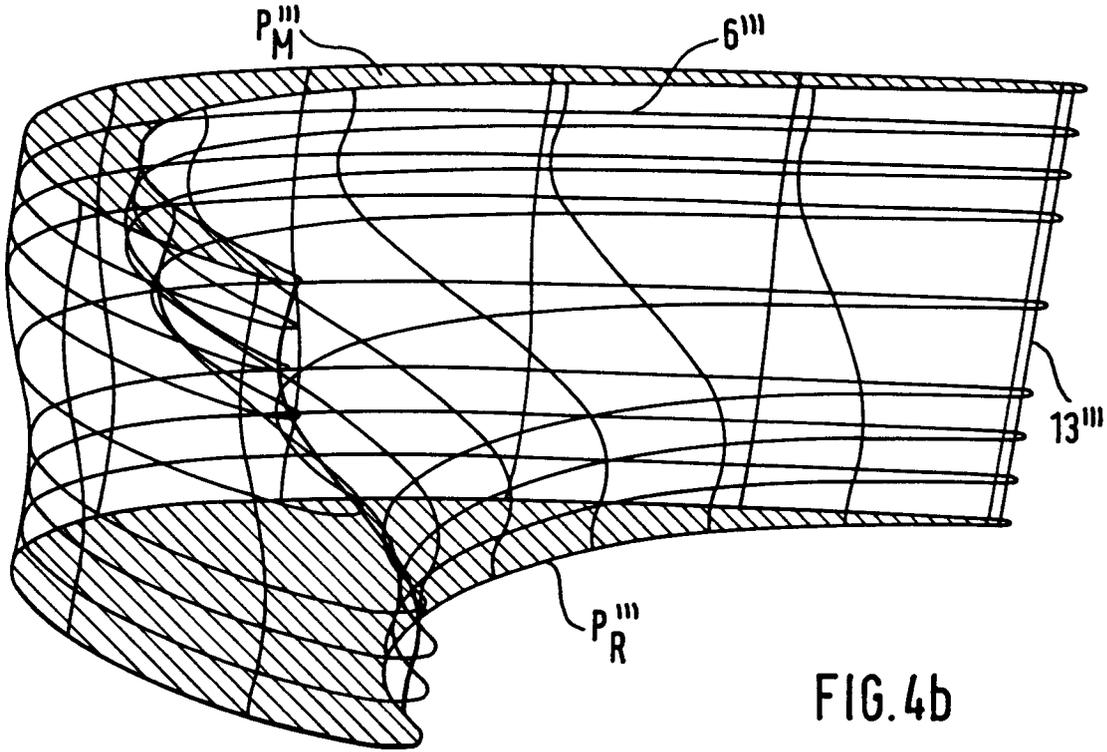


FIG. 4b

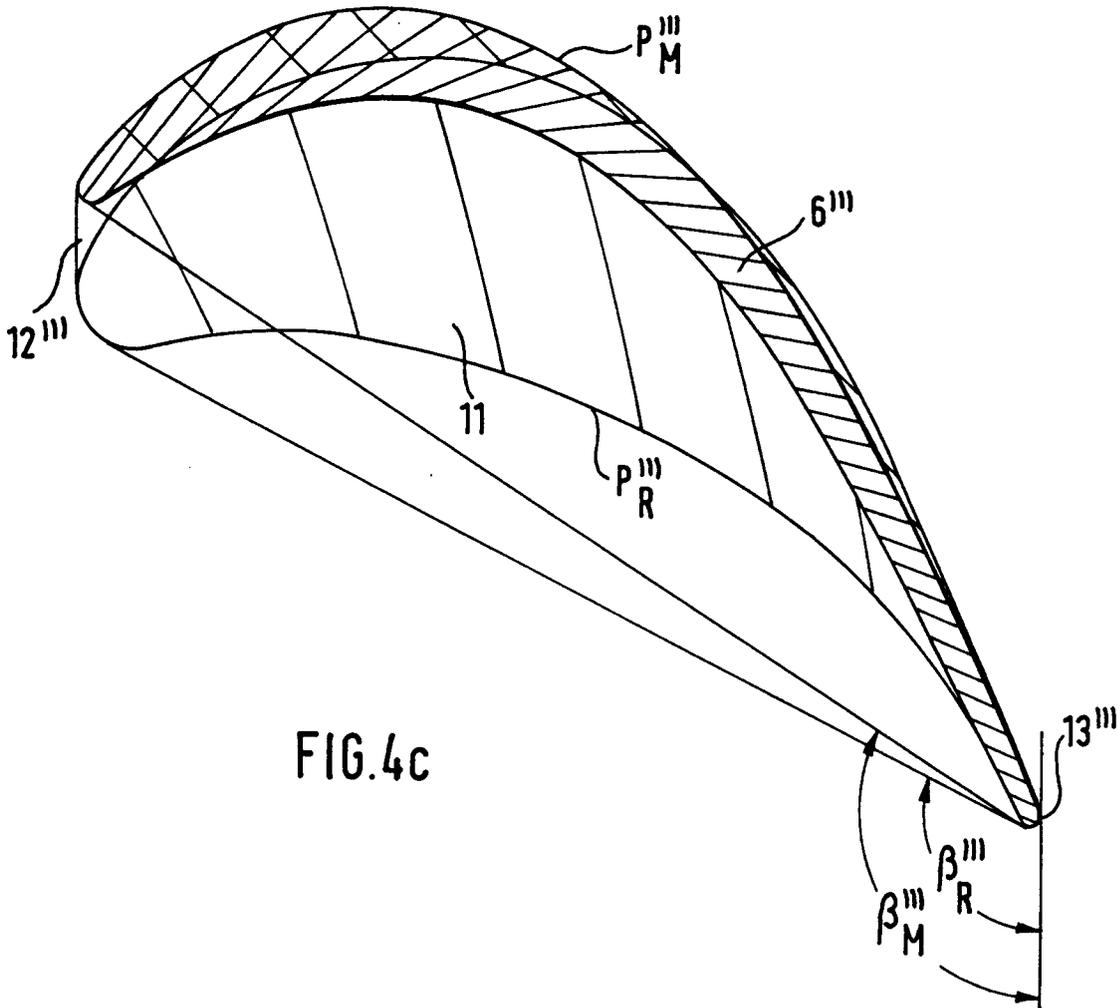


FIG. 4c

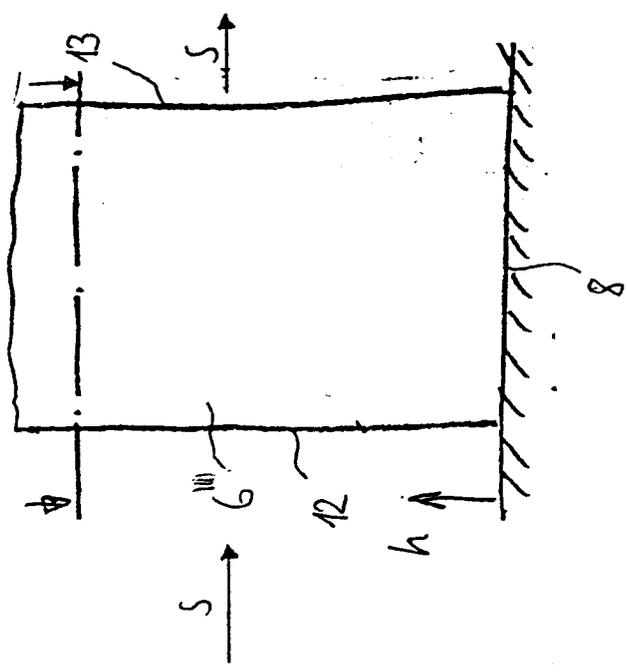


FIG. 5a

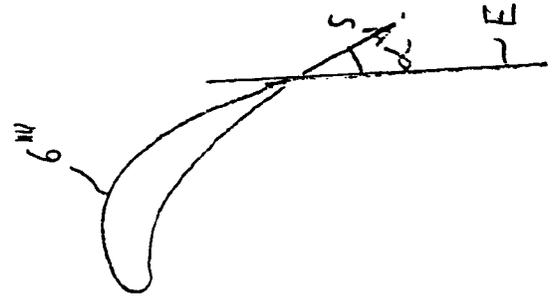


FIG. 5b

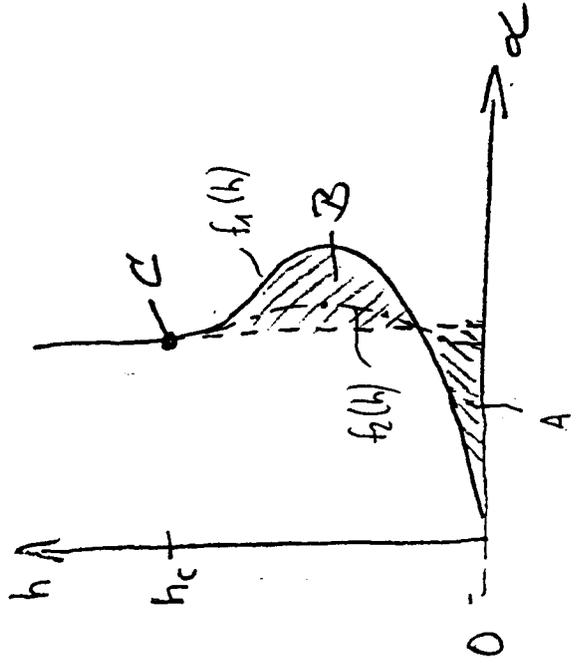


FIG. 5c