



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 583 657 A2**

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: **93112039.8**

51 Int. Cl.⁵: **F25B 41/00, F25B 39/02**

22 Anmeldetag: **28.07.93**

30 Priorität: **20.08.92 DE 4227519**

71 Anmelder: **Deutsche Aerospace Airbus GmbH
Kreetslag 10
D-21129 Hamburg(DE)**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
23.02.94 Patentblatt 94/08

72 Erfinder: **Leidinger, Bernhard, Prof. Dr.
Mönchstrasse 12
D-45 478 Mülheim-Speldorf(DE)**

84 Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT NL

54 Verfahren zum Abführen von Wärme.

57 Bei einem Verfahren zum Abführen von Wärme, bei dem in einem Prozeßraum ein Verdampferfluid in thermischen Kontakt mit einem zu kühlenden Medium gebracht und dabei in die Dampfphase überführt wird, wird ein Teil des erzeugten Dampfstromes in den Eintrittsbereich des Prozeßraumes zurückgeführt und dem dort vorhandenen Phasengemisch zugeetzt. Bei dem rückgeführten Teil-Dampfstrom handelt es sich entweder um einen trockenen, gegebenenfalls leicht überhitzten Dampf oder um einen nassen, d.h. mit flüssigem Verdampferfluid gesättigten Dampf.

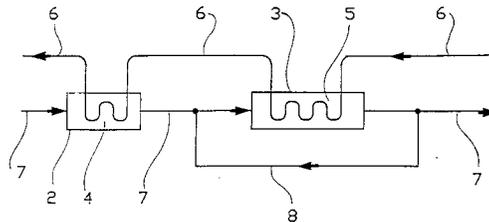


Fig. 1

EP 0 583 657 A2

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Abführen von Wärme mittels eines Verdampferfluids, das in einem Prozeßraum in thermischen Kontakt mit einem zu kühlenden Medium gebracht und dabei in den dampfförmigen Zustand überführt wird. Ferner betrifft sie eine Vorrichtung zur Durchführung eines derartigen Verfahrens.

Kälteanlagen werden vielfach noch mit Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoff (FCKW-)haltigen Verdampferfluiden betrieben. Zwar wird wegen der Schädlichkeit dieser Substanzen für die Erdatmosphäre immer stärker deren Substitution gefordert, jedoch konnte bis heute noch keine vollständig befriedigende Ersatzflüssigkeit gefunden werden. Aus diesem Grund wird zunehmend häufiger wieder auf Ammoniak (NH_3) als Verdampferfluid zurückgegriffen, dessen Einsatz in der Kältetechnik bereits seit langem bekannt ist.

Ammoniak stellt in höheren Konzentrationen nicht nur eine gesundheitsgefährdende Substanz dar, es ist zudem brennbar und innerhalb gewisser Grenzen, etwa zwischen 15 und 27 Volumenprozent, in Luft explosiv. Deshalb wird angestrebt, die in einer Kälteanlage vorhandene Ammoniakmenge möglichst gering zu halten und man versucht, statt sogenannter "nasser", d.h. mit flüssigem Kältemittel überfluteter Verdampfungswärmetauscher "trockene" Verdampfer einzusetzen, in denen sich zu jedem Zeitpunkt nur die Menge flüssigen Ammoniaks befindet, die für die Aufnahme und Abführung der gerade anfallenden Wärme erforderlich ist.

Ein derartiges Konzept aber hat bei dem Verfahren gemäß dem Gattungsbegriff zur Folge, daß in einem nach diesem Verfahren betriebenen Verdampfungswärmetauscher grundsätzlich drei Zonen existieren, in denen unterschiedliche, voneinander abhängige Prozesse ablaufen. Dies sind im einzelnen: eine erste Zone, in der flüssiges, unterkühltes Ammoniak auf die Siedetemperatur erhitzt wird, eine zweite Zone, in der das Ammoniak bei praktisch konstanter Temperatur verdampft, und eine dritte Zone, in der das dampfförmige Ammoniak, wenn auch in der Regel nur geringfügig, überhitzt wird.

Das zu kühlende Medium, bei dem es sich im Bereich der chemischen Verfahrenstechnik beispielsweise um eine Substanz bzw. ein Gemisch von Substanzen handelt, in der bzw. in dem gerade eine Reaktion abläuft, gelangt dadurch mit wenigstens drei verschiedenen Bereichen in thermischen Kontakt, in denen die Temperatur der jeweiligen Wärmesenke unterschiedlich ist und in denen unterschiedliche Wärmeübergangswiderstände vorliegen. Insbesondere im Verdampfungsbereich, d.h. in der zweiten Zone, hängt der Wärmeübergangskoeffizient sehr stark vom Dampfgehalt ab. Derartige Ungleichmäßigkeiten auf der Verdampferseite aber können zu Dishomogenitäten auf der Seite

des zu kühlenden Mediums mit möglicherweise sehr nachteiligen Effekten, beispielsweise bei der Produktion chemischer Substanzen, führen. Bei "nassen" Verdampfern sind diese Probleme weitgehend ausgeschlossen, da in diesem Fall die Dampfqualität und die Verdampfungstemperatur in allen Stellen des Prozeßraumes nahezu konstant gehalten werden kann.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren anzugeben, mit dem sich auch bei sogenannten "trockenen" Verdampfungswärmetauschern ein möglichst gleichmäßiger Verlauf der Wärmesenktemperatur sowie der Wärmeübergangswiderstände im gesamten Prozeßraum erzielen läßt. Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens bereitzustellen.

Die Erfindung löst die erste Aufgabe durch ein Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruchs 1.

Hierbei wird erfindungsgemäß ein Teilstrom des im Prozeßraum gebildeten Dampfes aus dem Austrittsbereich der Strömung wieder in die Verdampfungszone zurückgeführt und dort dem zu verdampfenden, in den Prozeßraum eintretenden Fluid zugemischt. Diese Rezirkulation eines Teilstroms des verdampften Mediums hat zur Folge, daß der Dampfgehalt und damit der Wärmeübergangskoeffizient bereits im vorderen Bereich des Prozeßraumes, bei beginnender Verdampfung, auf denjenigen Wert angehoben wird, der ohne diese Maßnahme erst im strömungsmäßig gesehen hinteren Bereich des Prozeßraumes, nahe dem Auslaß für den erzeugten Dampf, auftreten würde. Ferner wird durch die in weiterer Ausgestaltung des Verfahrens nach der Erfindung vorgesehene Vermischung von überhitztem und nassem Dampf eine weitgehende Vergleichmäßigung des Temperaturverlaufs im Prozeßraum erzielt, die sich nachhaltig positiv auf den auf der wärmeabgebenden Seite ablaufenden Prozeß auswirkt.

Bei der bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist als Verdampferfluid Ammoniak (NH_3) vorgesehen, jedoch ist das Verfahren keineswegs auf die Verwendung dieser Substanz beschränkt. In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, anstelle von überhitztem Dampf, der dem Prozeßraum nahe dem Auslaßbereich entnommen wird, den rückzuführenden Teil-Dampfstrom einem näher an der Eintrittsseite für das zu verdampfende Medium gelegenen Teilbereich des Prozeßraumes zu entnehmen, in dem ein zwar bereits hoher Gehalt an Dampf vorliegt, der aber noch Anteile von unverdampftem Fluid enthält und der deswegen noch als "naß" bezeichnet werden kann. Dies kann durch eine Separation von Flüssigkeit und Dampf geschehen, durch die in diesem Teilbereich des Prozeßraumes eine Redu-

zierung des Dampfgehaltes auf Werte herbeigeführt wird, wie sie sich ohne die erfindungsgemäß vorgesehene Rückführung eines Teil-Dampfstromes in den Eintrittsbereich in diesem Teil des Prozeßraumes einstellen würden. Diese Variante des Verfahrens nach der Erfindung hat zwar zur Folge, daß durch die vorgesehene Vermischung im Eintrittsbereich kein Temperatenausgleich für den gesamten Prozeßraum erreicht wird, da die beiden sich mischenden Teilströme praktisch die gleiche Temperatur aufweisen, jedoch wird durch diese Maßnahme andererseits der Bereich sehr hoher Wärmeübergangszahl maßgeblich verkleinert und beschränkt sich praktisch nur noch auf die unmittelbare Umgebung des Auslaßbereichs.

Der Wärmeübergang einer in Rohren verdampfenden Flüssigkeitsströmung hängt von den folgenden Parametern ab:

- Wärmeübergang der reinen Flüssigkeitsströmung
- Wärmeübergang der reinen Gasströmung
- Verhältnis der spezifischen Dichten der Flüssigkeit und des Gases
- Aktueller Dampfgehalt.

Er nimmt seinen kleinsten Wert bei 100% Dampfgehalt (geringe Wärmeleitfähigkeit) und seinen größten Wert bei etwa 80-90% Dampfgehalt (hohe Strömungsgeschwindigkeit) an.

Die Erhöhung ist so groß, beispielsweise etwa Faktor 20 bei Wasser, daß es für einige Prozesse sinnvoll erscheint, diesen Bereich (80-90% Dampfgehalt) zu vermeiden.

Die Lösung der weiteren Aufgabe erfolgt durch einen Verdampfungswärmetauscher mit den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruchs 6. Vorteilhafte Weiterbildungen des Wärmetauschers nach der Erfindung beziehen sich auf besonders geeignete Maßnahmen zur Erzielung eines möglichst hohen Wirkungsgrades sowie zur Entnahme des Teil-Dampfstromes aus dem Prozeßraum und zur Dampfführung im Prozeßraum.

Im folgenden soll die Erfindung anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Teils einer Kälteanlage,
- Fig. 2 und 3 einen Längs- und einen Querschnitt durch einen Verdampfungswärmetauscher,
- Fig. 4 die schematische Darstellung einer zur Anordnung nach Fig. 1 alternativen Anordnung,
- Fig. 5 einen Detailschnitt durch eine Komponente der Anordnung gemäß Fig. 4 **und**
- Fig. 6 die in Fig. 5 gezeigte Anordnung in einer Draufsicht.

Der in Fig. 1 schematisch dargestellte Teil einer Kälteanlage besteht aus einem mehrstufig, in diesem Fall zweistufig aufgebauten Verdampfungswärmetauscher 1. Die beiden Stufen dieses Wärmetauschers 1, der Vorverdampfer 2 und der Hauptverdampfer 2, umfassen jeweils zylindrische Prozeßräume 4 und 5, durch die in einem ersten Rohrleitungssystem 6 ein zu kühlendes Medium geleitet wird. Zugleich wird in diese Prozeßräume 4 und 5 das zu verdampfende Medium, im Fall des hier beschriebenen Ausführungsbeispiels Ammoniak (NH_3), über ein zweites Rohrleitungssystem 7 eingebracht. An dieses zweite Rohrleitungssystem 7 ist eine Rückführleitung 8 angeschlossen. Diese verbindet den Auslaßbereich des Hauptverdampfers 3 mit dessen Einlaßbereich. Die Leitungssysteme 6, 7 und 8 werden dabei jeweils in der durch Pfeile angedeuteten Richtung durchströmt, d.h., das zu kühlende Medium durchströmt die Anordnung in entgegengesetzter Richtung wie das zu verdampfende Medium. Dadurch ergibt sich eine optimale Nutzung des eingesetzten Verdampferfluids. Ein Teil des im Hauptverdampfer 3 erzeugten und gegebenenfalls leicht überhitzten trockenen, d.h. keine flüssigen Bestandteile mehr enthaltenden Dampfes wird nach dem Verlassen des Prozeßraumes 5 über die Rückführleitung 8 an den Eintrittsbereich des Hauptverdampfers 3 zurückgeführt, dort mit dem aus dem Vorverdampfer 2 einströmenden nassen Ammoniakdampf vermischt und erneut in den Hauptverdampfer 3 eingespritzt. Durch diese Rezirkulation eines Teils des Ammoniak-Dampfstromes wird der Dampfgehalt des in den Prozeßraum 5 einströmenden Mediums stark angehoben, und es stellt sich zugleich in diesem Prozeßraum 5 eine weitgehend gleichmäßige Temperaturleitung ein.

Fig. 2 zeigt einen Verdampfungswärmetauscher 11, wie er im Prinzip dem in Fig. 1 dargestellten Hauptwärmetauscher 3 entspricht. Er besteht aus einem zylindrischen Prozeßraum 12, in dem ein Bündel von Einzelrohren 13 angeordnet ist. Durch diese Rohre 13 wird jedoch, anders als bei der in Fig. 1 dargestellten Anordnung, das zu verdampfende Medium, auch in diesem Fall wieder Ammoniak, geleitet, während das zu kühlende Medium den zwischen den Rohren 13 verbleibenden Teil des Prozeßraumes 12 durchströmt. Die einzelnen Rohre 13 sind, wie durch die Querschnittsdarstellung in Fig. 3 verdeutlicht werden soll, zu zwei separaten Bündeln 14 und 15 zusammengefaßt, von denen das Rohrbündel 15 das, Bündel 14 konzentrisch umgibt.

Das innenliegende Rohrbündel 14 ist über eine sich an den Endbereichen konisch erweiternde Zuleitung 16 mit einem Einlaßventil 17 verbunden, das eine Einspritzdüse 18 beaufschlagt. Über einen Sammelraum 19, der an dem dem Einlaßventil 17

abgewandten Endbereich des Prozeßraumes 12 angeordnet ist, sind die beiden Rohrbündel 14 und 15 miteinander verbunden. Schließlich mündet das äußere Rohrbündel 15 einlaßseitig in einen sich konisch verjüngenden Sammelraum 20, an den sich ein radial angeordneter Auslaß 21 anschließt. Zugleich ist der Sammelraum 20 aber auch über eine Rückführöffnung 22 mit der Zuleitung 16 für das erste Rohrbündel 14 verbunden. Die Zu- und Abfuhr für das zu kühlende Medium erfolgen über einen ringförmigen Einlaßraum 23 und einen Auslaßraum 24.

Bei der in den Figuren 2 und 3 gezeigten Anordnung wird das Verdampferfluid, das bereits aus einem hier nicht dargestellten Vorverdampfer stammt, über das Einlaßventil 17, die Einspritzdüse 18 sowie die Rohrleitung 16 in das innere Rohrbündel 14 eingespeist. Durch den thermischen Kontakt mit dem im Gegenstrom an den Rohren 13 vorbeiströmenden zu kühlenden Medium und den dabei erfolgenden Wärmeübergang wird das noch verbleibende flüssige Verdampferfluid nahezu vollständig in den dampfförmigen Aggregatzustand überführt. In den Sammelraum 19 gelangt dadurch ein bereits vergleichsweise trockener, d.h. kaum noch Anteile an unverdampftem Ammoniak enthaltender Dampf, der hier in seiner Strömungsrichtung umgelenkt und in das äußere Rohrbündel 15 geleitet wird. In diesem strömt er unter weiterer Wärmeaufnahme in den zweiten Sammelraum 20. Auf diesem Weg ist nicht nur das etwaig noch vorhandene, restliche flüssige Ammoniak verdampft, sondern zugleich eine geringfügige Überhitzung erreicht, so daß an dieser Stelle ein trockener und leicht überhitzter Dampf vorliegt.

Der Sammelraum 20 weist einen in Richtung auf das Einlaßventil 17 sich leicht verjüngenden Querschnitt auf, wodurch er als Ejektor wirkt und den Dampf in Richtung auf diese Querschnittsverjüngung beschleunigt. Die dabei entstehende Druckabsenkung saugt den nachströmenden Dampf gleichsam durch die Rohranordnung. Während der größere Teil des in den Ejektor 20 eintretenden trockenen Ammoniakdampfes über den Auslaß 21 abströmt, gelangt der restliche Teil durch die Öffnung 22 in den die Einspritzdüse 18 umgebenden, sich ebenfalls konisch verjüngenden Einlaßteil der Zuleitung 16. Dieser Bereich wirkt somit gleichermaßen als Ejektor, in diesem Fall auf den vom Vorverdampfer einströmenden Naßdampf, wobei die dabei auftretende Druckabsenkung für das Ansaugen des trockenen Teildampfstromes genutzt wird. Zugleich ist dieser Bereich als Venturidüse ausgebildet, so daß es, nach erfolgte Zumischung des trockenen Ammoniakdampfes zum neu einströmenden nassen Dampf, hinter dieser Düse zu einem erneuten Druckanstieg kommt. Die Wirkung des zugemischten trockenen Dampfes ist

auch hier wieder die gleiche, wie sie, bereits anhand von Fig. 1 beschrieben wurde.

An dieser Stelle sei angemerkt, daß es, abweichend von den hier beschriebenen Ausführungsbeispielen, nicht in jedem Fall erforderlich ist, einen separaten Vorverdampfer vorzusehen. Die beschriebene Wirkung der Rezirkulation eines Teils des erzeugten Dampfstromes, nämlich ein Anheben des Wärmeübergangskoeffizienten im stromabwärtigen (bezogen auf das Verdampferfluid) Verdampferbereich und einer gleichmäßigeren Temperaturverteilung, läßt sich selbstverständlich auch in einem einstufigen Verdampfer nutzen, bei dem in das Einlaßventil 17 ein noch flüssiges Verdampfermedium ohne Gasanteile eingespeist wird.

Fig. 4 zeigt einen aus Vorverdampfer 31, Hauptverdampfer 32 und Nachverdampfer 33 bestehenden dreistufigen Verdampfungswärmetauscher. Wie auch bei den vorangehend beschriebenen Anordnungen können diese Stufen selbstverständlich alle in einem gemeinsamen Gehäuse integriert sein. Das Leitungssystem für das zu kühlende Medium besteht aus den Rohrleitungen 36, während die Strömung des Verdampferfluids über die Rohrleitungen 37 erfolgt. Anders als bei den beiden zuvor beschriebenen Anordnungen wird in diesem Fall jedoch der über die Rückführleitung 38 rezirkulierte Teildampfstrom nicht dem trockenen, überhitzten Dampfstrom entnommen, wie er am Nachverdampfer 33 vorliegt, sondern aus dem Bereich hohen, aber nassen Dampfgehaltes, der bei dieser dreistufigen Anordnung am Ausgang des Hauptverdampfers 32 gegeben ist. Die Entmischung erfolgt mittels eines Zyklonabscheiders 39, der im Detail aus den Figuren 5 und 6 ersichtlich ist.

Hierbei handelt es sich um eine trichterförmig aufgebaute Anordnung, in die über eine radial angebrachte Einlaßöffnung 40 das zu separierende Zweiphasen-Gemisch einströmt. Unter der Wirkung von Beschleunigungskräften, die aus der konischen Querschnittsverjüngung resultieren, fließen die in dem Gemisch enthaltenen Flüssigkeitsanteile in eine an der Spitze des Trichters vorgesehene Öffnung 41, während der dampfförmige Anteil über ein im erweiterten Teil angeordnetes axiales Rohr 42 abströmt.

Durch diese separierende Wirkung des Zyklonabscheiders 39 gelangt gesättigter, d.h. nasser Dampf über die Rückführleitung 38 in den Einlaßbereich des Hauptverdampfers 32, während der in den Nachverdampfer 33 gelangende Strom des Verdampferfluids aufgrund dieser Maßnahme einen reduzierten Dampfgehalt aufweist, wie man ihn in etwa auch ohne eine vorgesehene Rezirkulation erhalten würde. Auf diese Weise ergibt zwar kein Temperatenausgleich über den gesamten Verdampferbereich, da die beiden sich mischenden

Teilströme in etwa die gleiche Temperatur aufweisen, der Bereich hoher Wärmeübergangszahl wird jedoch stark reduziert und somit ein gleichmäßiger Verlauf der Wärmeabgabe erreicht.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Abführen von Wärme mittels eines Verdampferfluids, das in einem Prozeßraum in thermischen Kontakt mit einem zu kühlenden Medium gebracht und dabei in den dampfförmigen Zustand überführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß ein Teil des erzeugten Dampfstromes in den Eintrittsbereich des Prozeßraumes (5, 12, 32) zurückgeführt und dem dort vorhandenen Phasengemisch zugemischt wird. 10
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die rückgeführte Dampfphase aus trockenem Dampf besteht. 20
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Dampfphase überhitzt ist. 25
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Dampfphase noch Anteile unverdampften Verdampfungsfluids erhält. 30
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Verdampferfluid aus Ammoniak (NH₃) besteht. 35
6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5 in Form eines Verdampfungswärmetauschers, bei dem das Innere eines Prozeßraumes von einem Verdampferfluid und einem zu kühlenden Medium in räumlich voneinander getrennten Bereichen durchströmt wird, wobei diese beiden Medien in thermischem Kontakt miteinander stehen und das Verdampferfluid im Prozeßraum in den dampfförmigen überführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß eine Rückführeinrichtung (8, 22, 38) vorgesehen ist, die den Auslaßbereich (21) für das verdampfte Medium mit dem Eintrittsbereich (16, 17, 18) des Verdampferfluids verbindet. 40
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Verdampfungswärmetauscher (1) aus einem Vorverdampfer (2) und einem Hauptverdampfer (3, 11) besteht und daß die Rückführeinrichtung (8, 22) zwischen dem Auslaß- (21) und dem Einlaßsystem (16, 18) für das Verdampferfluid angeordnet ist. 45
8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Rückführeinrichtung (8, 22) mit einer durch eine Verjüngung des Strömungsquerschnittes gebildeten Ejektoransaugung besteht. 50
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß im Einmündungsbereich der Rückführeinrichtung (8, 22) eine Venturidüse vorgesehen ist. 55
10. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Verdampfungswärmetauscher aus einem Vorverdampfer (31), einem Hauptverdampfer (32) und einem Nachverdampfer (33) besteht und daß der Entnahmeort für den rückzuführenden Teil-Dampfstrom zwischen dem Hauptverdampfer (32) und dem Nachverdampfer (33) liegt.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Entnahme des rückzuführenden Teil-Dampfstromes über einen Zyklonabscheider (39) erfolgt.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Verdampferstufen in einem Gehäuse integriert sind.

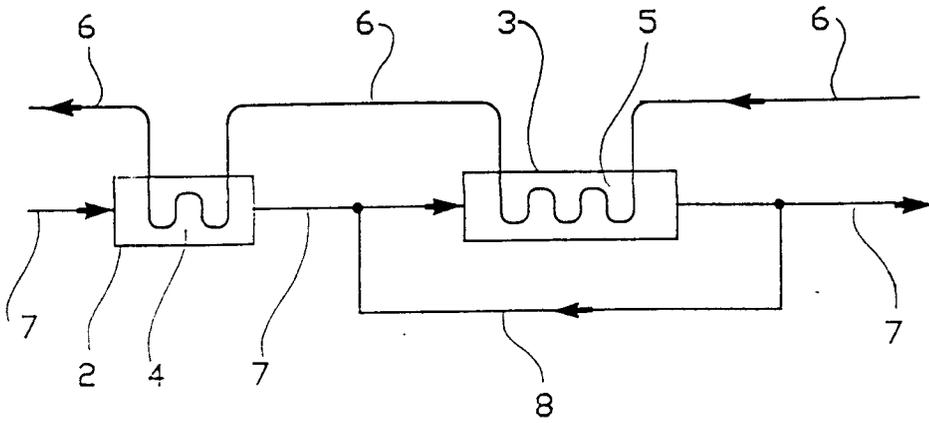


Fig. 1

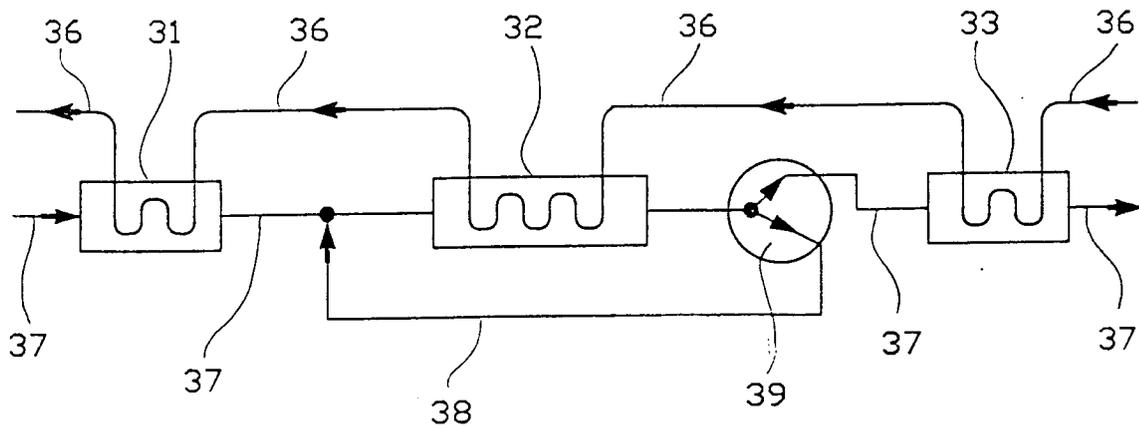


Fig. 4

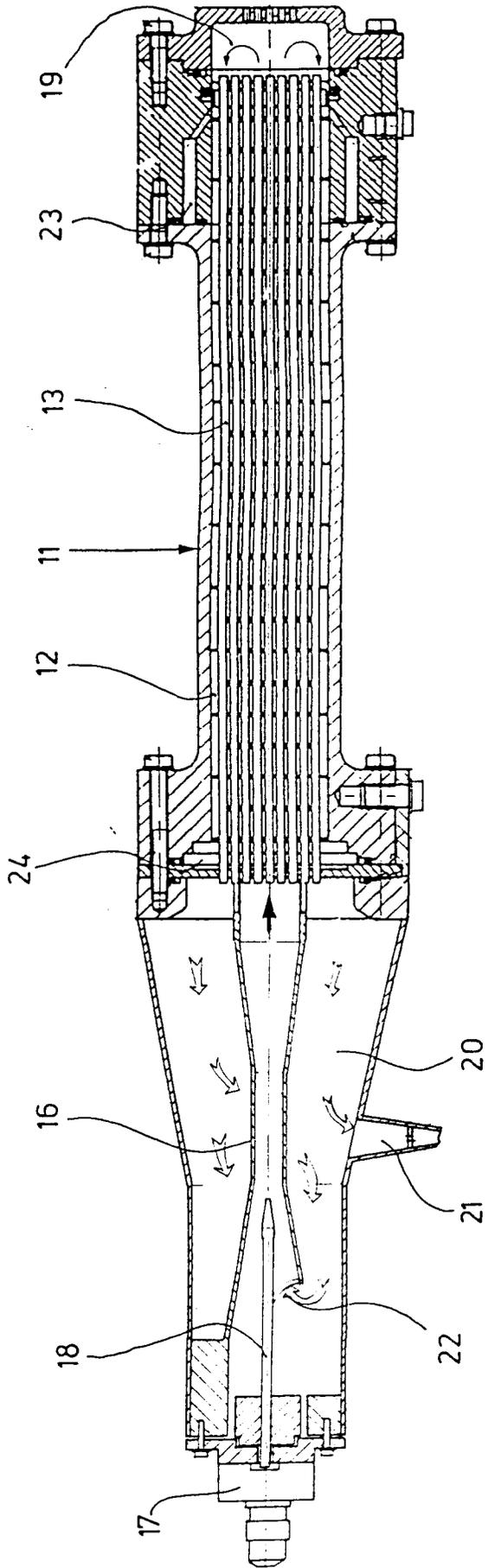


Fig. 2

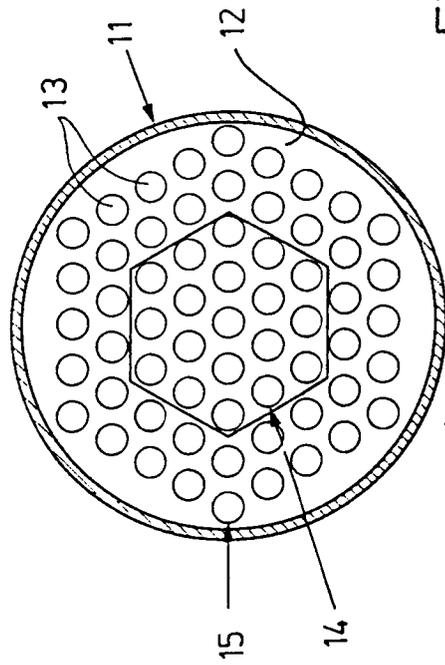


Fig. 3

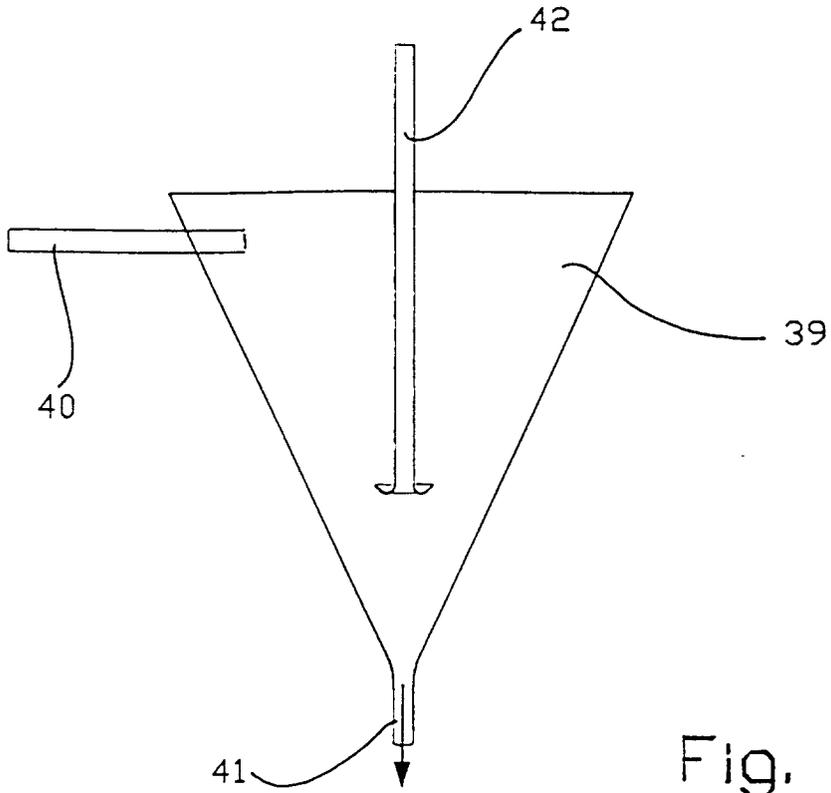


Fig. 5

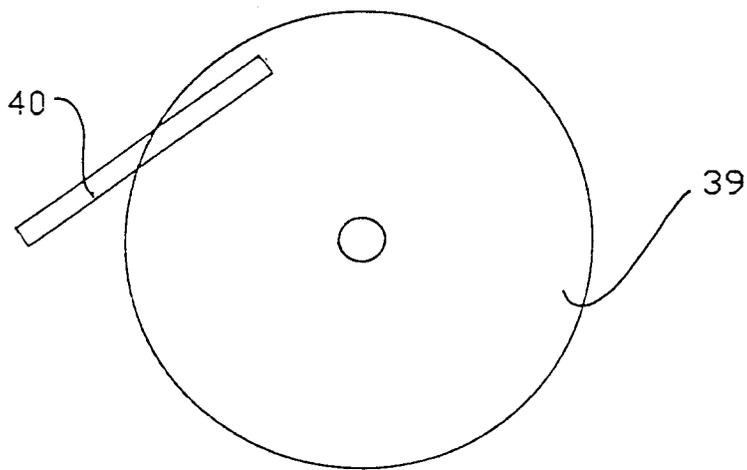


Fig. 6