



⑫ **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

④⑤ Veröffentlichungstag der Patentschrift :
19.01.94 Patentblatt 94/03

⑤① Int. Cl.⁵ : **F17C 9/04, F01K 23/10**

②① Anmeldenummer : **91113073.0**

②② Anmeldetag : **03.08.91**

⑤④ **Verfahren zum Verdampfen von flüssigem Erdgas.**

③① Priorität : **07.08.90 DE 4025023**

⑦③ Patentinhaber : **Linde Aktiengesellschaft**
Abraham-Lincoln-Strasse 21
D-65189 Wiesbaden (DE)

④③ Veröffentlichungstag der Anmeldung :
12.02.92 Patentblatt 92/07

⑦② Erfinder : **Schmidt, Hans, Dr.-Ing.**
Gebhardtstrasse 2d
W-8190 Wolfratshausen (DE)

④⑤ Bekanntmachung des Hinweises auf die
Patenterteilung :
19.01.94 Patentblatt 94/03

⑦④ Vertreter : **Schaefer, Gerhard, Dr.**
Linde Aktiengesellschaft Zentrale
Patentabteilung
D-82049 Höllriegelskreuth (DE)

⑧④ Benannte Vertragsstaaten :
BE DE ES FR

⑤⑥ Entgegenhaltungen :
EP-A- 0 059 955
DE-A- 3 836 061

EP 0 470 532 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

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verdampfen von flüssigem, unter Druck stehendem Erdgas mit Energiegewinnung, indem das flüssige Erdgas in mehrstufigem Wärmetausch mit in voneinander getrennten Kreisläufen geführten Fluiden angewärmt und verdampft wird, wobei als Fluid für einen ersten Kreislauf ein Teil des auf Umgebungstemperatur angewärmten Erdgases abgezweigt, arbeitsleistend entspannt, im Wärmetausch mit flüssigem Erdgas kondensiert, auf das Druckniveau des flüssigen Erdgases gepumpt und dem anzuwärmenden Erdgas vor der ersten Wärmetauschstufe wieder zugemischt wird.

Aus der deutschen Anmeldung DE-A 38 36 061 ist ein Verfahren zum Verdampfen von flüssigem Erdgas bekannt. Dort wird als Fluid des ersten Kreislaufes verdampfendes und auf Umgebungstemperatur angewärmtes Erdgas verwendet. Dazu wird ein Teilstrom des Erdgases arbeitsleistend entspannt, im Wärmetausch mit flüssigem Erdgas kondensiert und nach Verdichtung auf den Druck des Erdgasstromes dem flüssigen Erdgas zur erneuten Verdampfung wieder zugespeist. In zumindest einem weiteren, getrennten Kreislauf wird ein Fluid geführt, welches im Wärmetausch mit einem Heizmedium verdampft, arbeitsleistend entspannt, gegen anzuwärmendes Erdgas kondensiert und vor seiner erneuten Verdampfung auf erhöhten Druck komprimiert wird.

Sollen beim bekannten Verfahren jedoch Erdgasströme unterschiedlichen Druckes bearbeitet und abgegeben werden, so ist notwendig für jedes gewünschte Druckniveau eine getrennte Anlage zur Verfügung zu stellen. Dadurch erhöht sich die Gesamtzahl der einzusetzenden Anlagenbauteile, was eine Erhöhung des Investitionskostenaufwandes mit sich bringt.

Der vorliegenden Erfindung lag daher die Aufgabe zugrunde, das Verfahren der eingangs genannten Art so weiterzubilden, daß ein geringerer Investitionskostenaufwand, verbunden mit einer gleich guten oder sogar besseren Energierückgewinnung gewährleistet ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das Fluid des ersten Kreislaufes nach der arbeitsleistenden Entspannung und Kondensation in zwei Teilströme aufgeteilt wird, wovon der eine auf den Druck des zu verdampfenden Erdgases komprimiert und mit diesem vermischt wird und der zweite parallel zum zu verdampfenden Erdgas, aber getrennt von diesem durch sämtliche Wärmetauschstufen geführt, dabei verdampft, angewärmt und danach als Erdgas-Niederdruckprodukt abgegeben wird.

Das Fluid des ersten Kreislaufes, also auf Umgebungstemperatur angewärmtes Erdgas, wird beim erfindungsgemäßen Verfahren auf den gewünschten Abgabedruck entspannt und danach gegen anzuwär-

mendes flüssiges Erdgas kondensiert. Ein Teilstrom des Fluids wird, wie im bekannten Verfahren, auf den Druck des flüssigen Erdgasstromes komprimiert und diesem wieder zugemischt. Der weitere Teilstrom dagegen wird parallel zum Weg des Erdgasstromes erneut verdampft und angewärmt und als getrennter Produktgasstrom abgezogen. Der Abzug des Teilstromes erfolgt zweckmäßigerweise nach der Kondensation des Fluids, da nur so bei stark schwankenden Betriebsbedingungen die Zusammensetzung des Produktstromes gleich der Zusammensetzung des in die Anlage gespeisten flüssigen Erdgases ist.

Die aus dem verdampfenden Erdgasstrom abgezweigte Fluidmenge richtet sich hierbei nach der gewünschten Produktgasmenge, die auf einem niedrigeren Druckniveau als der flüssige Erdgaseinsatzstrom abgegeben werden soll.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich auch flüssige Erdgasströme unterschiedlichen Eingangsdruckes verarbeiten, indem sie auf einen gemeinsamen hohen Druck gebracht werden und der Gesamtstrom im Wärmetausch mit Fluiden mehrerer Kreisläufe verdampft wird.

Durch Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens können vorteilhaft in einer Anlage Produktströme unterschiedlichen Druckes erzeugt werden, ohne die Anzahl der am Verfahren beteiligten Anlagenbauteile gegenüber dem Stand der Technik zu erhöhen.

In Ausgestaltung der Erfindung können auch mehrere Produktströme auf unterschiedlichem Druckniveau erzeugt werden, wofür das Fluid des ersten Kreislaufes mehrstufig arbeitsleistend entspannt wird. Die mehrstufige arbeitsleistende Entspannung kann dabei sowohl durch in Reihe geschaltete Expansionsmaschinen erfolgen, wie auch mit parallel betriebenen Aggregaten durchgeführt werden. Sind die Expansionsmaschinen in Reihe geschaltet, wird zumindest ein Teil des bereits druckreduzierten Fluides weiter entspannt. Werden die Expansionsmaschinen parallel geschaltet, so wird das Fluid auf Zweigströme verteilt, die jeder für sich auf verschiedene Druckniveaus entspannt werden. Beim erfindungsgemäßen Verfahren können auch parallele und serielle Betriebsweisen der Expansionsmaschinen miteinander kombiniert werden.

In einer besonders bevorzugten Verfahrensvariante wird die mehrstufige arbeitsleistende Entspannung durchgeführt, indem das Fluid des ersten Kreislaufes vor seiner arbeitsleistenden Entspannung auf Zweigströme verteilt wird, von denen jeder für sich arbeitsleistend entspannt und in unterschiedlichen Kondensationsstufen kondensiert wird, woraufhin jeweils ein Teilstrom abgezweigt und parallel zum Weg des anzuwärmenden Erdgases erwärmt und abgezogen wird.

Bei der Abwandlung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es keineswegs notwendig, daß von al-

len arbeitsleistend entspannten Zweigströmen Teilströme abgetrennt werden, vielmehr besteht die Möglichkeit, daß nicht nach jeder Kondensationsstufe ein Teilstrom abgezweigt und parallel zum zu verdampfenden Erdgas verdampft, angewärmt und abgegeben wird. Ist beispielsweise vorgesehen, das Fluid des ersten Kreislafes zweistufig arbeitsleistend zu entspannen, so ist, je nach den Verfahrensvorgaben, die Erzeugung eines oder zweier Teilströme auf niedrigerem Druckniveau möglich. Die Erzeugung nur eines Teilstromes impliziert, daß der zweite Zweigstrom nach seiner Kondensation dem zu verdampfenden Erdgas vollständig wieder zugemischt wird.

Diese vorgenannten erfindungsgemäßen Maßnahmen bieten den Vorteil mehrere Erdgasströme unterschiedlichen Druckes in einer Anlage zu erzeugen. Es werden zwar mehr Expansionsturbinen eingesetzt als im einfachsten erfindungsgemäßen Fall, doch es wird die Effizienz des Verfahrens durch feiner abstufbare Wärmeübergänge und vermehrte Energierückgewinnung gesteigert. Gegenüber dem Grundprinzip der Erfindung sieht diese Weiterbildung vor, zunächst Zweigströme des ersten Fluides zu bilden und diese getrennt arbeitsleistend zu entspannen. Die Entspannung erfolgt dabei auf unterschiedliche Druckniveaus, wodurch für die Kondensation der jeweiligen Ströme unterschiedliche Kondensationsstufen, d.h. Wärmetauschstufen, benötigt werden. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, daß der flüssige, zu verdampfende Erdgasstrom durch verfahrensgünstig fein abgestuften indirekten Wärmeaustausch angewärmt und verdampft wird.

In Weiterbildung der Erfindung wird das Fluid des ersten Kreislafes einstufig arbeitsleistend entspannt.

Als Sonderfall der mehrstufigen Entspannung beinhaltet dieses Vorgehen einen vorteilhaften Aspekt. Die weitere Behandlung des arbeitsleistend entspannten Fluids des ersten Kreislafes kann dahingehend gewählt werden, daß auf Teilströme verzweigte Zweigströme entfallen, während nurmehr der nach seiner Kondensation vollständig dem zu verdampfenden Erdgas wieder zuzumischende Zweigstrom erhalten bleibt.

Das geschilderte Vorgehen stellt nur einen besonders bevorzugten Spezialfall der Möglichkeiten der mehrstufigen Entspannung dar. In gleicher Weise wie mit den in paralleler arbeitsleistender Entspannung gewonnenen Zweigströmen kann mit den in serieller Betriebsweise erzeugten Zweigströmen verfahren werden, da die Erfindung auf alle mehrstufig arbeitsleistend entspannten Fluidströme anwendbar ist.

Parallel zum ersten Fluidkreislauf wird, in einem zweiten Kreislauf, ein Fluid geführt, welches nach Anwärmung auf Umgebungstemperatur zur Gewinnung von Energie einstufig arbeitsleistend entspannt wird. Auch diese erfindungsgemäße Ausführung des Ver-

fahrens kann dadurch abgewandelt werden, daß in einem zweiten Kreislauf ein Fluid geführt wird, welches nach Anwärmung auf Umgebungstemperatur in Teilströme zerlegt wird, welche zur Gewinnung von Energie arbeitsleistend entspannt werden.

Besonders günstig ist die Verwendung von Gemischkreisläufen. So wird vorgeschlagen, als Fluid des zweiten Kreislafes eine $C_1/C_2/C_3$ -Kohlenwasserstoff-Mischung oder eine C_1/C_2 -Kohlenwasserstoff-Mischung bzw. eine C_2/C_3 -Kohlenwasserstoff-Mischung zu verwenden.

Besonders günstig ist weiterhin als Fluid des zweiten Kreislafes eine Mischung aus C_1 - bis C_6 -Kohlenwasserstoffen zu verwenden, wobei der C_2 -Anteil weniger als 90 Mol% beträgt. Die Bezeichnungen C_1 bis C_6 kennzeichnen Kohlenwasserstoffe mit einem bis sechs Kohlenstoffatomen.

Die Auswahl des wärmetauschenden Fluids des zweiten Kreislafes richtet sich dabei nach der Zusammensetzung des zu verdampfenden Erdgasstromes, um den Wärmekontakt der Ströme untereinander besonders effizient zu gestalten und die größtmögliche Energie für die arbeitsleistende Entspannung zur Verfügung zu stellen.

Als Fluide des zweiten Kreislafes können weiterhin auch Reinstoffe verwendet werden. So ist erfindungsgemäß günstig Ammoniak, Propan oder Fluorchlorkohlenwasserstoffe einzusetzen. Bei letzteren besteht darüberhinaus die Möglichkeit, für das Fluid verschiedene Fluorchlorkohlenwasserstoffe zu mischen.

Wie bereits erwähnt, gilt der Grundsatz, daß, je besser gestaffelt der Wärmeübergang betrieben werden kann, um so günstiger ist die Effizienz des Verfahrens. Erfindungsgemäß wird daher vorgeschlagen, zwischen dem ersten und dem zweiten Kreislauf einen weiteren Kreislauf einzusetzen, wobei als Fluid dieses Kreislafes Ethan oder ein anderer Stoff mit ähnlicher Dampfdruckkurve verwendet wird.

Das Fluid des weiteren Kreislafes wird mit Vorteil einstufig oder mit besonderem Vorzug ebenfalls mehrstufig arbeitsleistend entspannt.

Jedem Verfahren zur Verdampfung von flüssigem Erdgas unter gleichzeitiger Energiegewinnung liegt das Prinzip zugrunde, einem Heizmedium, welches auf höchstem Temperaturniveau am Wärmetausch teilnimmt, die benötigte Energie in Form von Wärme zu entziehen. Besonders günstig für die Erfindung ist, wenn die Erwärmung der Kreislaffluide auf Umgebungstemperatur in der letzten Wärmetauschstufe durch Wärmetausch mit einer Glykol-Wasser-Lösung erfolgt.

Im einfachsten Fall des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Zahl der voneinander getrennten Kreisläufe auf den ersten Fluidkreislauf und den Kreislauf des Heizmediums beschränkt.

Eine weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, die Fluide des zweiten

und/oder dritten Kreislaufes nach ihrer Kondensation gegen anzuwärmendes Erdgas und Pumpen auf erhöhten Druck ganz oder teilweise um die, dem Druckniveau entsprechende Kondensationsstufe zu führen und erst bei der nächsthöheren Wärmetauschstufe am Wärmeübergang zu beteiligen.

Um den Energieinhalt des auf Umgebungstemperatur angewärmten Erdgases optimal zu nutzen, wird weiterhin vorgeschlagen, wenigstens einen Teil dieses angewärmten Erdgases vor seiner Abgabe arbeitsleistend zu entspannen und erneut auf Umgebungstemperatur anzuwärmen.

Die zur Durchführung des Verfahrens eingesetzte Vorrichtung besteht aus Wärmetausch-/Kondensationsstufen, auf unterschiedlichem Temperaturniveau für den Wärmetausch der Kreislauffluide mit dem zu verdampfenden Erdgas, wenigstens einer Heizstufe, in welcher das Erdgas und die Kreislauffluide gegen ein Heizmedium auf die höchste Prozeßtemperatur angewärmt werden, Expansionsmaschinen für die arbeitsleistende Entspannung sowie Pumpen für die erneute Kompression der im Wärmetausch kondensierten Fluide. Je nach den Einsatzmöglichkeiten und abgestimmt auf die Verfahrensbedingung ist es besonders günstig, die Wärmetausch-/Kondensationsstufen als Geradrohrwärmetauscher mit mehreren Rohrwegen bzw. Bündeln, oder als gewinkelte Rohrwärmetauscher mit mehreren Rohrwegen auszubilden. Eine weitere Option besteht darin, Geradrohrwärmetauscher mit nur einem Rohrweg einzusetzen. In diesem Fall werden für jede Wärmetausch-/Kondensationsstufe mehrere dieser Wärmetauscher parallel geschaltet.

Das erfindungsgemäße Verfahren sei im weiteren anhand der Figuren 1 und 2 beispielhaft beschrieben.

Figur 1 stellt die Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens dar, bei welcher neben dem Heizkreislauf und dem ersten Kreislauf ein zweiter Fluidkreislauf eingesetzt wird. Ein flüssiger, unter Druck stehender Erdgasstrom 1 wird in einem Wärmetauscher E1 gegen kondensierendes Erdgas aus der Leitung 2b angewärmt. Dieser flüssige Erdgasstrom kann, wie hier dargestellt, aus Einzelströmen zusammengesetzt werden, die auf einen gemeinsamen hohen Druck gebracht werden. In Wärmetauscher E2 erfolgt eine weitere Erwärmung des zu verdampfenden Erdgasstroms gegen das im Kreislauf der Leitungen 3a, 3b und 3c geführten Fluids eines zweiten Kreislaufes. Die endgültige Anwärmung des Erdgasstromes wird in Wärmetauscher H3A im Gegenstrom zu abzukühlendem Heizmedium aus Leitung 4 vorgenommen. Aus dem gasförmigen, auf Umgebungstemperatur angewärmten Erdgasstrom 1 wird vor seiner Abgabe ein Teil über eine Stichleitung 2a abgezogen, in Expansionsmaschine X1 arbeitsleistend entspannt und im Wärmetauscher/Kondensati-

onsstufe E1 kondensiert. Nach der Kondensation wird ein zur Abgabe bestimmter Teilstrom 2c abgetrennt und parallel zum Erdgasweg in den Wärmetauschern E1, E2 und H3B angewärmt und verdampft. Dieser Teilstrom bildet das Erdgas-Niederdruckprodukt. Das restliche kondensierte Erdgas der Leitung 2b wird, wie beim bekannten Verfahren, mittels Pumpe P1 komprimiert und dem zu verdampfenden flüssigen Erdgasstrom 1 zugemischt. Das Fluid des zweiten Kreislaufs bezieht seine Energie zur Arbeitsleistung und Erdgaserwärmung aus dem in Leitung 4 bereitgestellten Heizmedium. Nach Passieren von Wärmetauscher H3C ist das Fluid des zweiten Kreislaufes verdampft und wird durch die Leitung 3a der Expansionsturbine X2 zugeführt und arbeitsleistend entspannt. Der resultierende druckverminderte Strom 3b wird daraufhin in Wärmetauscher E2 gegen kondensiertes druckerhöhtes Fluid des zweiten Kreislaufes, den zu erwärmenden Erdgasstrom in Leitung 1 und den parallel anzuwärmenden Erdgas-Niederdruckproduktstrom kondensiert und mittels Pumpe P2 wieder auf erhöhten Druck gebracht. Das zur Anwärmung der Fluide auf höchste Prozeßtemperatur herangezogene Medium wird über Leitung 4 herangeführt, und durch die parallel geschalteten Wärmetauscher H3A (im Wärmekontakt zum zu verdampfenden Erdgas unter hohem Druck), H3B (im Wärmekontakt zum anzuwärmenden Niederdruckprodukt) und Wärmetauscher H3C (im Wärmekontakt zum zu verdampfenden Fluid des zweiten Kreislaufes) geleitet und nach dem Wärmeentzug über Leitung 5 abgezogen.

Unter der Vorgabe, daß zwei Erdgasströme unterschiedlichen Druckes abgegeben werden sollen, erbringt das erfindungsgemäße Verfahren wesentliche Vorteile verglichen mit der einfachsten Verfahrensvariante der DE-A 38 36 061. Während das erfindungsgemäße Verfahren mit nur einer Verdampfungsanlage auskommt, müssen bei einem Verfahren gemäß dem Stand der Technik zwei getrennte Anlagen eingesetzt werden. Der maschinelle Aufwand wird durch den Einsatz der Erfindung entsprechend halbiert.

Figur 2 zeigt eine Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem zwei Kreislauffluide mehrstufig arbeitsleistend entspannt werden. In diesem Beispiel werden Erdgasströme, welche unterschiedlichen Vordruck haben, auf einen gemeinsamen erhöhten Druck gebracht und in der gemeinsamen Leitung 1 der Erdgas-Verdampfungsanlage zugeführt. Dieser gemeinsame Strom wird in stufenweisem Wärmekontakt mit den Wärmetauschfluiden der Einzelkreisläufe erwärmt und verdampft. Ein Teil des gebildeten Hochdruckproduktes wird in Leitung 2c abgezogen, während der übrige Teil in Expansionsmaschine X4 arbeitsleistend entspannt wird. Das gebildete druckreduzierte Produkt der Leitung 2b wird daraufhin in Wärmetauscher H3E gegen

Heizfluid auf Umgebungstemperatur angewärmt. Ein Teil dieses Produktes wird mittels Leitung 2b' abgezogen, während der Anteil, welcher über Leitung 2a abgeführt wird, das Fluid des ersten Kreislaufes bildet. Der Fluidstrom 2a wird zur Energiegewinnung in die Zweigströme 3a und 3b aufgeteilt und diese Ströme werden in den Expansionsmaschinen X1B und X1A auf unterschiedliche Druckniveaus arbeitsleistend entspannt. Der entspannte Zweigstrom 3a wird in Wärmetauscher E1A gegen anzuwärmendes flüssiges Erdgas der Leitung 1 kondensiert. Nach der Kondensation wird ein auf vermindertem Druck befindlicher Teilstrom abgezogen und parallel zum übrigen Erdgasweg angewärmt und verdampft und als Produkt in der Leitung 4 abgezogen. Der übrige kondensierte Anteil wird mittels Pumpe P1A auf den Erdgasdruck komprimiert und dem flüssigen Erdgas vor Durchtritt durch den ersten Wärmetauscher wieder zugemischt. Mit dem entspannten Zweigstrom 3b wird in analoger Weise verfahren, wobei der Wärmetausch bzw. die Kondensation in Wärmetauscher E1B der Ströme auf einem höheren Temperatur/Wärmetausch-Niveau stattfindet. Dies ist begründet in der Tatsache, daß jedem Druckniveau eine ihm zugeordnete Wärmetausch/Kondensationsstufe des Fluides entspricht. So muß zur Kondensation des Fluides mit niedrigstem Druck die Wärmetauschstufe auf niedrigstem Temperaturniveau herangezogen werden, während mit steigendem Druck die Kondensations-/Wärmetauschstufen auf höherem Temperaturniveau beschickt werden können.

Das Fluid des zweiten Kreislaufes wird ebenfalls zweistufig arbeitsleistend entspannt, indem der die Heizstufe H3D verlassende verdampfte Fluidstrom 6 auf Zweigströme 6a und 6b verteilt wird. Diese werden mittels Expansionsmaschinen X2A und X2B auf unterschiedliche Drücke gebracht, entsprechend ihrem Druckniveau in den Kondensationsstufen E2A und E2B gegen anzuwärmendes Erdgas und Fluid kondensiert und nach Verdichtung auf einen gemeinsamen Druck in den Pumpen P2A und P2B wieder vermischt. Das Fluid des dritten Kreislaufes 7 wird nach Verdampfung in Heizstufe H3F mittels Expansionsmaschine X3 einstufig arbeitsleistend entspannt und in Kondensationsstufe E3 gegen Erdgas unterschiedlichen Druckes kondensiert. Nach Verdichtung in P3 auf den Ausgangsdruck und Durchlaufen der Wärmetauschstufen E3 und H3F schließt sich der Kreislauf. Analog zu den beiden ersten Kreislauffluiden kann auch das Fluid des dritten Kreislaufes mehrstufig entspannt werden.

Die zur Energiegewinnung und Verdampfung von Erdgas benötigte Wärme entstammt einem Heizkreislauf, welcher durch die Leitungen 8 und 9 angedeutet ist. Das warme Heizmedium 8 wird auf die Heizstufen H3A bis H3F verteilt und gibt dort seine Wärme an die verdampften Erdgasproduktströme unterschiedlichen Druckes und die Fluide des ersten bis

dritten Kreislaufes ab. Das abgekühlte Heizmedium wird mittels Leitung 9 abgezogen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verdampfen von flüssigem, unter Druck stehendem Erdgas mit Energiegewinnung, indem das flüssige Erdgas in mehrstufigem Wärmetausch mit in voneinander getrennten Kreisläufen geführten Fluiden angewärmt und verdampft wird, wobei als Fluid für einen ersten Kreislauf ein Teil (2a) des auf Umgebungstemperatur angewärmten Erdgases abgezweigt, arbeitsleistend entspannt (X1) im Wärmetausch mit flüssigem Erdgas kondensiert (E1), auf das Druckniveau des flüssigen Erdgases gepumpt (P1) und dem anzuwärmenden Erdgas vor der ersten Wärmetauschstufe wieder zugemischt wird, dadurch gekennzeichnet, daß das Fluid (2a) des ersten Kreislaufes nach der arbeitsleistenden Entspannung (X1) und Kondensation (E1) in zwei Teilströme aufgeteilt wird, wovon der eine auf den Druck des zu verdampfenden Erdgases komprimiert (P1) und mit diesem vermischt wird und der zweite (2c) parallel zum zu verdampfenden Erdgas (1), aber getrennt von diesem durch sämtliche Wärmetauschstufen (E1, E2,...) geführt, dabei verdampft, angewärmt (E1, E2,...) und danach als Erdgas-Niederdruckprodukt abgegeben wird (2c).
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Fluid (2a) des ersten Kreislaufes vor seiner arbeitsleistenden Entspannung (X1) auf Zweigströme verteilt wird und nach deren Kondensation in unterschiedlichen Kondensationsstufen aus wenigstens einem arbeitsleistend entspannten Zweigstrom ein Teilstrom abgezweigt und parallel zum Weg des anzuwärmenden Erdgases erwärmt und abgezogen wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß nicht nach jeder Kondensationsstufe (E1, E2,...) ein Teilstrom abgezweigt und parallel zum zu verdampfenden Erdgas (1) verdampft und angewärmt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Fluid des ersten Kreislaufes (2a) einstufig arbeitsleistend (X1) entspannt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß in einem zweiten Kreislauf ein Fluid (3, 6) geführt wird, welches nach Anwärmmung auf Umgebungstemperatur (H3C, H3D) zur Gewinnung von Energie einstufig arbeitsleistend

entspannt wird (X2, X2A, X2B).

6. Verfahren nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß in einem zweiten Kreislauf ein Fluid (6) geführt wird, welches nach Anwärmmung auf Umgebungstemperatur (H3C, H3D) in Teilströme (6a, 6b) zerlegt wird, welche zur Gewinnung von Energie arbeitsleistend entspannt werden (X2A, X2B). 5
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß als Fluid des zweiten Kreislaufes (3, 6) eine Mischung aus C₁ - bis C₆-Kohlenwasserstoffen verwendet wird, wobei der C₂-Kohlenwasserstoff-Anteil weniger als 90 Mol% beträgt. 10
8. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß als Fluid des zweiten Kreislaufes (3, 6) eine C₁/C₂/C₃-Kohlenwasserstoff-Mischung oder eine C₁/C₂-Kohlenwasserstoff-Mischung oder eine C₂/C₃-Kohlenwasserstoff-Mischung oder Propan oder Ammoniak oder ein Fluorchlorkohlenwasserstoff oder eine Mischung aus Fluorchlorkohlenwasserstoffen verwendet wird. 15
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem ersten und dem zweiten Kreislauf ein weiterer Kreislauf (7) eingesetzt wird, wobei als Fluid dieses Kreislaufes Ethan oder ein anderer Stoff mit ähnlicher Dampfdruckkurve verwendet wird. 20
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Fluid des weiteren Kreislaufes (7) einstufig arbeitsleistend entspannt wird (X3). 25
11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Fluid des weiteren Kreislaufes (7) mehrstufig arbeitsleistend entspannt wird. 30
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Erwärmung der Kreislauffluide auf Umgebungstemperatur in der letzten Wärmetauschstufe (H3A, H3B,...) durch Wärmetausch mit einer Glykol-Wasser-Lösung erfolgt. 35
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Fluide des zweiten und/oder dritten Kreislaufes nach ihrer Kondensation gegen anzuwärmendes Erdgas und Pumpen auf erhöhten Druck ganz oder teilweise um die Kondensationsstufe geführt werden und erst bei der nächsthöheren Wärmetauschstufe am Wärmeübergang beteiligt sind. 40

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Teil des auf Umgebungstemperatur angewärmten Erdgases vor seiner Abgabe arbeitsleistend entspannt und wieder angewärmt wird. 45

15. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 14, bestehend aus Wärmetausch-/Kondensationsstufen (E1, E2,...) für den Wärmetausch der Fluide der Kreisläufe (2a, 3a, 6,...), wenigstens einer Heizstufe (H3A, H3B,...) für den Wärmetausch der Kreislauffluide mit dem Heizmedium, Expansionsmaschinen (X1, X2,...) und Pumpen (P1, P2,...), dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmetausch-/Kondensationsstufen (E1, E2,...) der Fluide als Geradrohrwärmetauscher mit mehreren Rohrwegen bzw. Bündeln ausgebildet sind. 50

16. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 14, bestehend aus Wärmetausch-/Kondensationsstufen (E1, E2,...) für den Wärmetausch der Fluide der Kreisläufe (2a, 3a, 6,...), wenigstens einer Heizstufe (H3A, H3B,...) für den Wärmetausch der Kreislauffluide mit dem Heizmedium, Expansionsmaschinen (X1, X2,...) und Pumpen (P1, P2,...), dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmetausch-/Kondensationsstufen (E1, E2,...) als gewinkelte Rohrwärmetauscher mit mehreren Rohrwegen ausgebildet sind. 55

17. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 14, bestehend aus Wärmetausch-/Kondensationsstufen (E1, E2,...) für den Wärmetausch der Fluide der Kreisläufe (2a, 3a, 6,...), wenigstens einer Heizstufe (H3A, H3B,...) für den Wärmetausch der Kreislauffluide mit dem Heizmedium, Expansionsmaschinen (X1, X2,...) und Pumpen (P1, P2,...), dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmetausch-/Kondensationsstufen (E1, E2,...) als Geradrohrwärmetauscher mit einem Rohrweg ausgebildet sind und für jede Kondensationsstufe (E1, E2,...) mehrere Wärmetauscher parallel geschaltet sind. 60

Claims

1. A process for vaporizing liquid, pressurized natural gas with the recovery of energy, in that the liquid natural gas is heated and vaporized in multi-stage heat exchange with fluids conveyed in cycles separate from one another, where, by way of fluid for a first cycle, a part (2a) of the natural gas heated to the environmental temperature is branched off, expanded with the-production of

- work (X1), condensed in heat exchange with liquid natural gas (E1), pumped to the pressure level of the liquid natural gas (P1) and remixed, upstream of the first heat exchanger stage, with the natural gas which is to be heated, characterised in that after the work-producing expansion (X1) and condensation (E1) the fluid (2a) of the first circuit is divided into two sub-streams, of which one is compressed to the pressure of the natural gas to be vaporized (P1) and mixed therewith, and the second (2c) is conveyed in parallel to the natural gas (1) to be vaporized, but separately from the latter, through all the heat exchanger stages (E1, E2,...), is thereby vaporized and heated (E1, E2,...) and then output as a natural gas low-pressure product (2c).
2. A process as claimed in Claim 1, characterised in that prior to its work-producing expansion (X1), the fluid (2a) of the first cycle is distributed between branch streams and, following the condensation of said branch streams in different condensation stages, from at least one branch stream, expanded with the production of work, a sub-stream is branched off and is heated and discharged in parallel to the path of the natural gas to be heated.
 3. A process as claimed in one of Claims 1 or 2, characterised in that not following each condensation stage (E1, E2,...) is a sub-stream branched off and vaporized and heated in parallel to the natural gas (1) to be vaporized.
 4. A process as claimed in one of Claims 1 to 3, characterised in that the fluid of the first cycle (2a) is expanded with the production of work in one stage (X1).
 5. A process as claimed in Claim 1 to 4, characterised in that a fluid (3, 6) is conveyed in a second cycle, which fluid (3, 6), having been heated to the environmental temperature (H3C, H3D), is expanded with the production of work in one stage for the recovery of energy (X2, X2A, X2B).
 6. A process as claimed in Claim 1 to 5, characterised in that a fluid (6) is conveyed in a second cycle, which fluid (6), having been heated to the environmental temperature (H3C, H3D), is split into sub-streams (6a, 6b) which are expanded with the production of work for the recovery of energy (X2A, X2B).
 7. A process as claimed in Claim 5 or 6, characterised in that a mixture of C₁- to C₆- hydrocarbons is used as fluid of the second cycle (3, 6), where the C₂- hydrocarbon constituent amounts to less than 90 mol%.
 8. A process as claimed in Claim 5 or 6, characterised in that a C₁/C₂/C₃ hydrocarbon mixture or a C₁/C₂ hydrocarbon mixture or a C₂/C₃ hydrocarbon mixture or propane or ammonia or a fluorochlorohydrocarbon or a mixture of fluorochlorohydrocarbons is used as fluid of the second cycle (3, 6).
 9. A process as claimed in one of Claims 1 to 8, characterised in that a further cycle (7) is interposed between the first cycle and the second cycle, where ethane or another substance having a similar vapour-pressure curve is used as fluid for this cycle.
 10. A process as claimed in Claim 9, characterised in that the fluid of the further cycle (7) is expanded with the production of work in one stage (X3).
 11. A process as claimed in Claim 9, characterised in that the fluid of the further cycle (7) is expanded with the production of work in a plurality of stages.
 12. A process as claimed in one of Claims 1 to 11, characterised in that the heating of the cycle fluids to the environmental temperature is carried out in the last heat exchanger stage (H3A, H3B,...) by heat exchange with a glycol-water solution.
 13. A process as claimed in one of Claims 1 to 12, characterised in that after their condensation in the presence of natural gas to be heated and pumping to an elevated pressure, the fluids of the second and/or third cycle are circulated entirely or partially in the condensation stage and do not participate in the heat exchange until the next higher heat exchanger stage.
 14. A process as claimed in one of Claims 1 to 13, characterised in that prior to its output, at least a part of the natural gas heated to the environmental temperature is expanded with the production of work and reheated.
 15. A device for the implementation of the process claimed in one of Claims 1 to 14, comprising heat exchanger-condensation stages (E1, E2,...) for the heat exchange of the fluids of the cycles (2a, 3a, 6,...), at least one heating stage (H3A, H3B,...) for the heat exchange of the cycle fluids with the heating medium, expansion machines (X1, X2,...) and pumps (P1, P2,...), characterised in that the heat exchanger/condensation stages (E1, E2,...) of the fluids are designed as straight tubular heat

exchangers comprising a plurality of tubular channels and assemblies.

16. A device for the implementation of the process claimed in one of Claims 1 to 14, comprising heat exchanger/condensation stages (E1, E2,...) for the heat exchange of the fluids of the cycles (2a, 3a, 6,...), at least one heating stage (H3A, H3B,...) for the heat exchange of the cycle fluids with the heating medium, expansion machines (X1, X2,...) and pumps (P1, P2,...), characterised in that the heat exchanger/condensation stages (E1, E2,...) are designed as wound tubular heat exchangers comprising a plurality of tubular channels. 5 10
17. A device for the implementation of the process claimed in one of Claims 1 to 14, comprising heat exchanger/condensation stages (E1, E2,...) for the heat exchange of the fluids of the cycles (2a, 3a, 6,...), at least one heating stage (H3A, H3B,...) for the heat exchange of the cycle fluids with the heating medium, expansion machines (X1, X2,...) and pumps (P1, P2,...), characterised in that the heat exchanger/condensation stages (E1, E2,...) have the form of straight tubular heat exchangers comprising one tubular channel, and a plurality of heat exchangers are connected in parallel for each condensation stage (E1, E2,...). 15 20 25 30

Revendications

1. Procédé de vaporisation, avec production d'énergie, de gaz naturel liquéfié sous pression, qui consiste à réchauffer le gaz naturel liquéfié au cours d'un échange de chaleur effectué en plusieurs étapes avec des fluides circulant dans des circuits distincts, et à le vaporiser, procédé dans lequel, comme fluide pour un premier circuit (2a), une partie du courant de gaz naturel réchauffé à la température ambiante est dérivée, détendue avec production de travail (X1), condensée par échange de chaleur avec le gaz naturel liquéfié (E1), amenée par pompe au niveau de pression du gaz naturel liquéfié (P1), et remélangée, en amont de la première étape d'échange de chaleur, avec le gaz naturel à réchauffer, caractérisé en ce que le fluide (2a) du premier circuit, après détente avec production de travail (X1) et condensation (E2), est divisé en deux courants partiels, l'un de ces courants partiels étant comprimé à la pression (P1) du gaz naturel à vaporiser et mélangé à celui-ci et le second courant partiel (2c) étant conduit, parallèlement au gaz naturel (1) à vaporiser, mais de manière séparée, aux mêmes étapes d'échange de chaleur (E1, E2,...) au cours desquelles il est vaporisé, chauffé (E1, E2,...) puis récupéré comme dérivé basse 35 40 45 50 55

pression (2c) du gaz naturel.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le fluide (2a) du premier circuit, avant sa détente avec production de travail (X1), est divisé en courants partiels et en ce que, après leur condensation au cours de différentes étapes de condensation différentes, un courant partiel est dérivé d'au moins l'un des courants dérivés après sa détente avec production de travail, ledit courant partiel circulant parallèlement au parcours du gaz naturel étant réchauffé et prélevé. 10 15
3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que, après chaque étape de condensation (E1, E2, ...), on ne dérive pas un courant partiel que l'on vaporise et réchauffe parallèlement au gaz naturel à vaporiser (1). 20
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le fluide du premier circuit (2a) est détendu avec production de travail en une seule étape (X1). 25
5. Procédé selon les revendications 1 à 4, caractérisé en ce que, dans un deuxième circuit, est amené un fluide (3, 6), lequel, après avoir été chauffé à la température ambiante (H3C, H3D) est, afin de récupérer de l'énergie, détendu avec production de travail en une seule étape (X2, X2A, X2B). 30
6. Procédé selon les revendications 1 à 5, caractérisé en ce que, dans un deuxième circuit, est amené un fluide (6), lequel, après avoir été chauffé à la température ambiante (H3C, H3D) est divisé en courants partiels (6a, 6b), lesquels, afin de récupérer de l'énergie, sont détendus avec production de travail (X2A, X2B). 35 40
7. Procédé selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce que l'on utilise comme fluide du deuxième circuit (3, 6) un mélange d'hydrocarbures en C₁ à C₆, la teneur en hydrocarbures en C₂ étant inférieure à 90% molaire. 45
8. Procédé selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce que l'on utilise comme fluide du deuxième circuit (3, 6) un mélange d'hydrocarbures en C₁/C₂/C₃ ou un mélange d'hydrocarbures en C₁/C₂ ou un mélange d'hydrocarbures en C₂/C₃ ou du propane, de l'ammoniac, ou un hydrocarbure fluorochloré ou un mélange d'hydrocarbures fluorochlorés. 50 55
9. Procédé selon une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que, entre le premier et le deuxième circuit est placé un autre circuit

- (7), le fluide utilisé pour ce circuit étant formé d'éthane ou d'un autre composé présentant une courbe de pression de vapeur similaire.
10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que le fluide du circuit supplémentaire (7) est détendu avec production de travail en une seule étape (X3). 5
11. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que le fluide du circuit supplémentaire (7) est détendu avec production de travail en plusieurs étapes. 10
12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le réchauffage du fluide du circuit à la température ambiante lors de la dernière étape d'échange de chaleur (H3A, H3B, ...) est effectuée par échange de chaleur avec une solution eau-glycol. 15
13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que les fluides du deuxième et/ou troisième circuits, après leur condensation au contact du gaz naturel à réchauffer et après leur amenée par pompe à une pression plus élevée, sont conduits en partie ou en totalité aux étages de condensation, et ne prennent part à un échange de chaleur que lors de l'étape d'échange de chaleur suivante la plus élevée. 20
14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que au moins une partie du gaz naturel chauffé à la température ambiante est, avant sa délivrance, détendu avec production de travail et à nouveau réchauffé. 25
15. Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, comportant des étages d'échange de chaleur et de condensation (E1, E2, ...) pour l'échange de chaleur des fluides des circuits (2a, 3a, 6, ...), au moins un étage de chauffage (H3A, H3B, ...) pour l'échange de chaleur des fluides des circuits avec le milieu de chauffage, des machines de détente ou expansion (X1, X2, ...) et des pompes (P1, P2, ...), ce dispositif étant caractérisé en ce que les étages d'échange de chaleur et de condensation (E1, E2, ...) des fluides sont formés d'échangeurs de chaleur à tubes droits comprenant plusieurs parcours de tubes et/ou faisceaux de tubes 30
16. Dispositif de mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, comportant des étages d'échange de chaleur et de condensation (E1, E2, ...) pour l'échange de 35

chaleur des fluides des circuits (2a, 3a, 6, ...), au moins un étage de chauffage (H3A, H3B, ...) pour l'échange de chaleur des fluides des circuits avec le milieu de chauffage, des machines de détente ou expansion (X1, X2, ...) et des pompes (P1, P2, ...), caractérisé en ce que les étages d'échange de chaleur et de condensation (E1, E2, ...) sont formés d'échangeurs de chaleur à enroulements tubulaire comprenant plusieurs parcours de tubes.

17. Dispositif de mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, comportant des étages d'échange de chaleur et de condensation (E1, E2, ...) pour l'échange de chaleur des fluides des circuits (2a, 3a, 6, ...), au moins une étape de chauffage (H3A, H3B, ...) pour l'échange de chaleur des fluides des circuits avec le milieu de chauffage, des machines de détente ou expansion (X1, X2, ...) et des pompes (P1, P2, ...), caractérisé en ce que les étages d'échange de chaleur et de condensation (E1, E2, ...) sont formés d'échangeurs de chaleur à tubes droits et un seul parcours de tubes et en ce que, pour chaque étage de condensation (E1, E2, ...), plusieurs échangeurs de chaleur sont branchés en parallèle. 40

FIG. 1

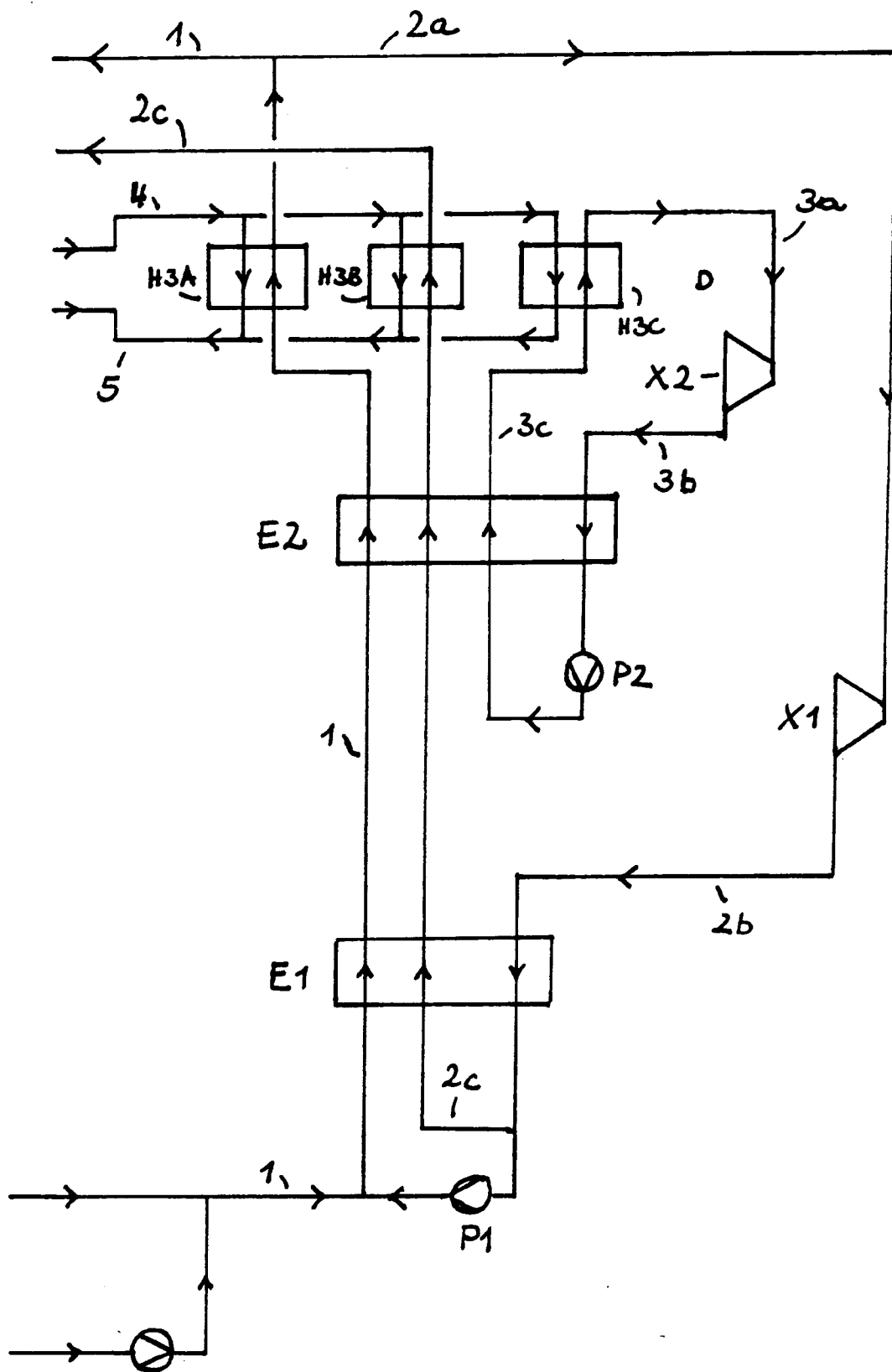


FIG 2

