

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 154/2018
 (22) Anmeldetag: 29.05.2018
 (45) Veröffentlicht am: 15.10.2019

(51) Int. Cl.: **F01K 25/08** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
 US 5531073 A
 WO 2008125827 A2

(73) Patentinhaber:
 Fachhochschule Burgenland GmbH
 7000 Eisenstadt (AT)

(72) Erfinder:
 Beckmann Georg Dipl.Ing. Dr.
 1230 Wien (AT)
 Krail Jürgen Dipl.Ing. Dipl.Ing. (FH)
 7082 Donnerskirchen (AT)

(54) **Verfahren zur Steigerung der Energieeffizienz in Clausius-Rankine-Kreisprozessen**

(57) Die Erfindung soll die Energie- und Kosteneffizienz der Clausius-Rankine-Kreisprozesse, insbesondere für die Nutzung von Niedertemperaturwärmen, erhöhen und die Nachteile der bekanntgewordenen Prozesse vermeiden. Im wärmeaufnehmenden Teil des Kreisprozesses sind Abzweigungen (24) vorgesehen, welche Ströme aus dem Hauptstrom des Kreislaufmediums abzweigen, diese mit Mixern (31) verbinden, in welchen die abgezweigten Ströme mit dem Abdampf aus Abdampfleitungen (20) der Expansionsmaschinen oder der Turbinen (19) vermischt werden und dieser vermischte Dampfstrom über Kalte Abdampfleitungen (21) im Kreisprozess weitergeführt werden, wobei mehr Abzweigungen als Mixer vorgesehen sind. Ein signifikanter Anstieg der Energieeffizienz ergibt sich bei der Anwendung von Kreislaufmedien der "trocknenden" Fluidklasse daraus, dass die zugemischten Ströme, auf Kosten der Überhitzung im Hauptstrom, vollständig verdampfen, und der Mitteldruck- Turbine (19MD) ein höherer Dampfstrom zur Expansion zur Verfügung steht, was zu einer Mehrleistung an den Turbinen von 10 bis 15 % führt.

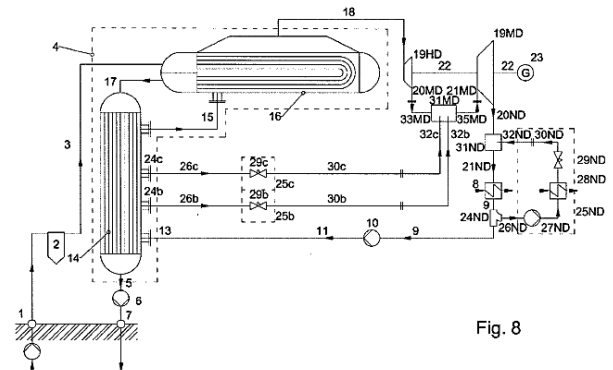


Fig. 8

Beschreibung

VERFAHREN ZUR STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ IN CLAUDIUS-RANKINE-KREISPROZESSEN

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steigerung der Energieeffizienz in Clausius-Rankine-Kreisprozessen. In diesem erfindungsgemäßen thermodynamischen Kreisprozess wird Wärme unter Verwendung von Kreislaufmedien effizient in mechanische bzw. elektrische Energie umgewandelt.

[0002] Für die Nutzung von Wärmequellen, insbesondere mit niedrigen Temperaturniveaus, wie z. B. bei (industriellen) Abwärmern, bei der Geothermie und bei der solarthermischen Nutzung, kommen auch Kreislaufmedien zur Anwendung, die nicht aus Wasser/Dampf bestehen; es sind dies z. B. Ethanol und organische Kreislaufmedien (genutzt im sog. Organic Rankine Cycle „ORC“ - Prozessen). Diese in Frage kommenden alternativen Kreislaufmedien haben in der Regel einen höheren Dampfdruck und eine geringere Verdampfungsenthalpie als Wasser/Dampf und könnten an sich die zur Verfügung stehende Wärmequelle besser nutzen; vielfach werden diese Kreislaufmedien in hermetisch geschlossenen Kreisläufen geführt. Die meisten dieser Kreislaufmedien gehören der „trockenen“ bzw. „trocknenden“ Fluidklasse an, bei welcher der Satttdampf bei einer Expansion nicht in das Nassdampfgebiet expandiert, sondern sich von der Satttdampfkurve entfernt und überhitzt (trocknet); dieser Umstand wird allgemein als Vorteil gesehen, was für den Betrieb der Expansionsmaschine sicher zutrifft, für die Energieeffizienz des Gesamtprozesses jedoch nachteilig sein kann, wie nachstehend erläutert wird.

[0003] Die Fig. 1 zeigt ein entsprechendes Kreislaufschema, anhand eines ORC-Prozesses, gemäß dem bisherigen Stand der Technik, welches beispielsweise für die Anwendung in geothermischen Kraftwerken erläutert wird; hier ist die Geothermie die Wärmequelle und das geothermische Wasser der Wärmeträger, mit dem die Wärme zum Kreisprozess transportiert wird. Das geothermische Wasser („Thermalwasser“) aus der Produktionsbohrung (1) gelangt über ein Filter (2) und über eine Thermalwasserleitung (3) in den Dampferzeuger (4), wo dieses seine Wärme abgibt und abgekühlt wird; das abgekühlte Thermalwasser gelangt über eine Rücklaufleitung (5) zur Rückförpumppe (6), welche das abgekühlte Thermalwasser zur Verpressbohrung (7) fördert.

[0004] Betrachtet man den ORC-Prozess, so wird das Kondensat aus dem Abdampfkondensator (8), welches nahezu Umgebungstemperatur hat, über die Kondensatleitung (9) zur Kondensatpumpe (10) geführt; diese fördert das Kondensat über die Speiseleitung (11) üblicherweise zum Rekuperator (12); das dort vorgewärmte Kondensat wird über die Kesselspeiseleitung (13) dem Dampferzeuger (4) zugeführt, welcher in der unterkritischen Betriebsweise einen Vorwärmer (14) und, verbunden über eine Verbindungsleitung (15), einen Verdampfer (16), gegebenenfalls mit einem anschließenden Überhitzer, aufweist, welcher den Frischdampf erzeugt. Der Verbindungskanal (17) verbindet auf der Seite des Thermalwassers den Verdampfer (16) und den Vorwärmer (14). Der im Dampferzeuger (4) erzeugte Frischdampf, gesättigt oder allenfalls leicht überhitzt, wird über eine Frischdampfleitung (18) der Expansionsmaschine bzw. der Turbine (19) zugeführt, wo dieser expandiert; der Turbinenabdampf, der bei trockenen Kreislaufmedien noch eine beträchtliche Überhitzung (bezüglich der Temperatur und des Wärmeinhaltes) in sich trägt, wird über die Abdampfleitung (20) abgeleitet, im Rekuperator (12) bis knapp an seine Sättigungstemperatur gekühlt und gelangt über die Kalte Abdampfleitung (21) in den Abdampfkondensator (8), wo dieser als Kondensat niedergeschlagen wird; damit ist der Kreislauf geschlossen. Die Turbinenwelle (22) der Turbine (19) gibt mechanische Energie ab bzw. treibt den Generator (23) zur Stromerzeugung an.

[0005] Wegen der Vorwärmung des Kreislaufmediums im Rekuperator (12) kann der Dampferzeuger das verfügbare Thermalwasser nur zu einem begrenzten Anteil abkühlen, was sich nachteilig auf die Energieeffizienz des Gesamtprozesses auswirkt. Ließe man den Rekuperator (12) weg, so könnte man dem Thermalwasser zwar einen zusätzlichen Wärmebetrag entneh-

men, welcher die abzuführende Leistung am Abdampfkondensator (8) erhöht, sodass damit keine Effizienzsteigerung zu erreichen ist.

[0006] Das Beispiel zeigt die Anwendung in geothermischen Kraftwerken, jedoch können, in analoger Weise anstatt des Thermalwassers, auch andere (flüssige, dampfförmige und gasförmige) Wärmeträger, z. B. auch Heißwasserströme aus großen Kondensatnetzen, oder heiße Wärmeträgerölströme aus Wärmerückgewinnungsanlagen, Abgas, Heißluft- oder Druckluftströme einer Nutzung zur Stromerzeugung zugeführt werden.

[0007] Die Patentschrift DE 10 2012 220 188 B4 zeigt z. B. wie in symbiotischer Weise ein ORC-Prozess zur Nutzung der Zwischenkühlung in Verdichterstationen genutzt werden kann, um die Antriebsleistungen derartiger Verdichterstationen zu verringern, indem die Turbine des ORC-Prozesses, z. B. über eine Antriebswelle, mit der Verdichterstation gekoppelt ist, um die erforderliche Antriebsleistung dieser Verdichterstation zu verringern; der dazu vorgeschlagene ORC-Prozess, abgesehen von seiner durchaus ambitionierten Integration in die Gasverdichterstation, entspricht aber nach wie vor dem Stand der Technik.

[0008] Es hat nicht an weiteren Vorschlägen gefehlt, die Attraktivität und die Effizienz des ORC-Prozesses zu verbessern. Wenn man den Aspekt fokussiert, dass man die verfügbare Wärmequelle und ihren Wärmeträger möglichst weitgehend (und nutzbringend) abkühlt, sind im Wesentlichen zwei Strategien bekannt:

[0009] a. Der Zweidruckprozess: Die Patentschrift DE 11 2010 003 230 B4 beschränkt sich auf ein thermodynamisches System, bei welchem zwei Abwärmeströme mit verschiedenen Abwärmemperaturen nicht in einem einzigen Eindruck-Kessel (also im Eindruckprozess), sondern in separaten Hochdruck (HD)- und Niederdruck (ND)-Siedekesseln genutzt werden und die aus einem einzelnen organischen Fluid stammenden HD- und ND-Dämpfe in zwei auf einer gemeinsamen Welle sitzenden Turbinen expandiert werden. Im Patentvorschlag WO 2008/125827 A2 mit einer ähnlichen Ausgangsposition wird der ND-Dampf zwischen der HD-Expansionseinrichtung und der ND-Expansionseinrichtung eingebunden. Losgelöst von der Einschränkung auf zwei Abwärmeströme wäre es denkbar, auch einen einzigen Wärmestrom (z. B. Thermalwasser) zunächst durch den HD- und dann durch den ND-Kessel fließen zu lassen, wodurch die angestrebte weitere Abkühlung des Thermalwassers, verbunden mit einer Erhöhung der Stromausbeute, zu erreichen wäre. Dieser erhöhten Energieeffizienz stünden aber einschätzungsgemäß um den Faktor von 1,23 höhere Anlagekosten gegenüber, da statt eines Kreislaufes mit einer Gesamtleistung beim Eindruckprozess nun zwei Kesseln, mit jeweils der halben Gesamtleistung, erforderlich wären, wodurch sich bei einem Anlagekostendegressions-Exponent von 0,7 (vergl. auch PERRY's Chemical Engineering Handbook) der Faktor zu $2 \cdot (1/2)^{0,7} = 1,23$ ergibt, also die Anlagekosten um 23% höher sind als im Vergleichsfallfall eines Eindruckprozesses. Der gegenständliche Erfindungsvorschlag geht demgegenüber, wie in den nachfolgenden Beschreibungen ausgeführt wird, von einem (beheizten) Kessel aus.

[0010] b. Die Einspritzung von flüssigem, vorgewärmtem Kreislaufmedium direkt in die Turbine bzw. in die Expansionsmaschine oder zwischen zwei Turbinenzylindern: Im US-Patent 5,555,731 A und in der internationalen Veröffentlichungs-Nummer WO 2017/008972A1 wird die direkte Einspritzung in die Turbine bzw. in die Expansionsmaschine geoffenbart. Beide Vorschläge würden ein neues Konzept der Turbine bzw. der Expansionsmaschine erfordern; über die Verfügbarkeit und Anwendung einer derartigen Turbine bzw. Expansionsmaschine liegen zurzeit keine Informationen vor, sodass diese Strategie nur als Stand des Wissens zu quantifizieren ist und nicht als gängige Praxis. Ob die kurze Aufenthaltszeit in der Turbine bzw. in der Expansionsmaschine, im Bereich von hundertstel Sekunden, überhaupt ausreicht, um das eingespritzte Kreislaufmedium komplett zu verdampfen, bleibt dahingestellt. Das US-Patent 5,531,073 A geht andererseits von zwei Turbinenzylindern aus, wobei der Generator zwischen den mehrstufig ausgeführten Turbinenzylindern lokalisiert ist und mit den jeweiligen Wellen der Turbinenzylinder direkt gekoppelt ist; weiters wird ein dampfseitig zwischen den Turbinenzylindern angeordneter Mixer geoffenbart, welcher flüssiges und vollständig vorgewärmtes Kreislaufmedium aus der Leitung zwischen dem Vorwärmer und dem Evaporator bezieht. Wie detail-

lierte Simulationen allerdings zeigten, ist dieser Ort der Anzapfung vor dem Hintergrund der Effizienz nicht optimal. Der gegenständliche Erfindungsvorschlag geht demgegenüber von anderen Orten und von mehreren Abzweigungen aus.

[0011] Alle unter den Punkten a. und b. genannten Patente bzw. Patentschriften offenbaren thermodynamische Systeme in der unterkritischen Prozessführung, sodass bei diesen Patentvorschlägen auf das zusätzliche Potential der Effizienzsteigerung durch eine überkritische Prozessführung verzichtet wird. Der gegenständliche Erfindungsvorschlag eignet sich demgegenüber auch trefflich für eine überkritische Prozessführung, wie in den nachfolgenden Beschreibungen ausgeführt wird, sodass das Potential der überkritischen Prozessführung effizienzsteigernd und zusätzlich genutzt werden kann.

[0012] Die Erfindung hat sich die Aufgabe gestellt, die Energie- und Kosteneffizienz des Clausius-Rankine-Kreisprozesses, insbesondere für die angesprochene Nutzung von Ab- und Niedertemperatur-Wärmen, zu erhöhen und trotzdem die angeführten Nachteile der bekannten Prozesse zu vermeiden. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass im wärmeaufnehmenden Teil des Kreisprozesses mindestens eine Abzweigung vorgesehen ist, welche einen Strom aus dem Hauptstrom des Kreislaufmediums abzweigt, diesen über eine Verbindungsstrecke zum Mischer führt, in welchem der abgezweigte Strom mit dem Abdampf aus einer Abdampfleitung einer Expansionsmaschine oder einer Turbine vermischt wird und dieser vermischte Strom über eine Kalte Abdampfleitung im Kreisprozess weitergeführt wird, und die Anzahl der Abzweigungen größer ist als die Anzahl der Mischer. Erfindungsgemäß können auch mehrere Mischer vorgesehen werden. Weitere Details der Ansprüche sind den Patentansprüchen zu entnehmen.

[0013] Die folgenden Zeichnungen erläutern den Erfindungsgedanken:

[0014] Fig. 1 zeigt den bekanntgewordenen, praktizierten und bereits beschriebenen Stand der Technik bei ORC-Prozessen.

[0015] Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen gemäß den darauffolgenden Zeichnungen näher erläutert:

[0016] Fig. 2 zeigt ein beispielhaftes, vereinfachtes Verfahrensfliessbild.

[0017] Fig. 3 zeigt das dazugehörige T(s) - Diagramm.

[0018] Die Figuren 4 bis 6 offenbaren beispielsweise Ausführungsformen für den Mischer, und

[0019] die Figuren 7 bis 10 vorteilhafte Integrationen von erfindungsgemäßen Merkmalen mit der Dampferzeugung.

[0020] Die Fig. 8 zeigt hierin ein Gesamt-Verfahrensfliessbild mit einem Dampferzeuger, bei dem das Kreislaufmedium mantelseitig geführt wird.

[0021] Die Fig. 2 zeigt das Schema des erfindungsgemäßen Kreisprozesses: der erfindungsgemäße Kreisprozess hat keinen Rekuperator, jedoch sind einige Komponenten ähnlich wie im ORC-Kreisprozess gemäß dem derzeitigen Stand der Technik. Im wärmeaufnehmenden Abschnitt, zwischen der Kondensatleitung (9) und der Frischdampfleitung (18), welche in die Turbine (19) mündet, sind jedoch ein, zwei oder mehrere Abzweigungen (24) vorgesehen, welche Ströme vom Hauptstrom des wärmeaufnehmenden Kreislaufmediums abzweigen; diese abgezweigten Ströme werden über ein, zwei oder mehrere Verbindungsstrecken (25), bestehend aus jeweils einem Zulauf (26), ggf. Förderpumpen (27), Wärmetauschern (28) und Armaturen (29) sowie jeweils einem Ablauf (30), dem in der Abdampfleitung (20) befindlichen Abdampf einer Turbine (19) über ein, zwei oder mehreren Mischern (31) dem Hauptstrom wieder zugeführt. Der Mischer (31) hat hauptstromseitig eine Dampfzuleitung (33) für den Abdampf und eine Dampfableitung (35) für den kalten Abdampf; auf Seite des abgezweigten Stroms hat der Mischer in der Regel einen Zumischeintritt (32), es können aber auch, wie im gezeigten Fall zwei (32b und 32c) sein, oder es können sogar noch mehrere Zumischeintritte sinnvoll sein. Das Verschalten der Abzweigungen und Verbindungsstrecken, bis hin zum oder zu den Mischern kann vielfältig erfolgen. Im gezeigten Fall, bei welchem die Gesamtexpansion in einer Hoch-

druck-Turbine (19HD) und einer Mitteldruck- Turbine (19MD) erfolgt, ist ein Mitteldruck-Mischer (31MD) zwischen der Abdampfleitung (20MD) und der Kalten Abdampfleitung (21MD) vorgesehen. Der signifikante Anstieg der Energieeffizienz ergibt sich daraus, dass der zugemischte abgezweigte Strom, auf Kosten der Überhitzung im Hauptstrom, vollständig verdampft, und der Mitteldruck- Turbine (19MD) ein höherer Dampfstrom zur Expansion zur Verfügung steht, was zu einer Mehrleistung an der Mitteldruck- Turbine (19MD) führt. Dieser Effekt kann dadurch gesteigert werden, indem der abgezweigte Strom eine Vorwärmung erfährt, z. B. durch die örtliche Wahl der Abzweigung (24b und/oder 24c) innerhalb des Vorwärmers (14). So ist es möglich, die örtliche Wahl der Abzweigung (24b und/oder 24c) so zu wählen, dass die Vorwärmtemperatur an dieser Abzweigung kleiner oder gleich der Dampfsättigungstemperatur in der Abdampfleitung (20MD) ist. Bei einer darüber hinausgehenden gesteigerten Vorwärmung des abgezweigten Stroms, gegebenenfalls auch durch die Inanspruchnahme eines Wärmetauschers (28), kann nach der drosselnden Armatur (29) oder im Mischer (31) selbst eine zusätzliche Entspannungsdampferzeugung stattfinden, was eine weitere Steigerung der Energieeffizienz erbringen kann. Der erfindungsgemäße Kreisprozess eignet sich auch trefflich für eine überkritische Prozessführung; bei dieser überkritischen Betriebsweise auf der Dampferzeugerseite, durch die Wahl eines entsprechenden Kreislaufmediums und des Dampferzeugerdrucks, ist die Durchlaufheizfläche (14, 15, 16) gedanklich in einem Vorwärmer (14) und in einen „Nachwärmer“ (16) zu unterteilen, wobei die Vorwärmung im Vorwärmer (14) thermodynamisch dort endet, wo der Temperaturabstand zwischen den Strömen des Wärmeträgers und des Kreislaufmediums am geringsten ist.

[0022] Insgesamt erlaubt der vorgeschlagene Prozess durch die niedrigere Temperatur in der Kesselspeiseleitung und dem erhöhten Durchfluss im Vorwärmer eine tiefere Abkühlung der Wärmeträger und dieser Zugewinn an der übertragenen Wärme kommt der Mehrleistung an Strom zugute. Die stärkere Abkühlung des Thermalwassers führt zudem auch außerhalb des Kreisprozesses, im Gesamtprozess der geothermischen Kraftwerksanlage, zu weiteren Vorteilen.

[0023] Eine zusätzliche effizienzsteigernde Maßnahme besteht darin, den überhitzten Abdampf aus der Abdampfleitung (20ND) der Mitteldruck- Turbine (19MD) über einen Niederdruck- Mischer (31ND) zu führen, zu enthitzen, und erst dann einen Abdampfkondensator (8), der ein Kondensator mit einer Wärmetauscheroberfläche ist, zuzuführen. Um diesen positiven Effekt zu erläutern, muss man die Ausgestaltung der betroffenen Apparate mit einbeziehen: mit der vorgeschlagenen Anordnung vermeidet man den schlechten Wärmeübergang des überhitzten Dampfes an die Wärmetauscheroberfläche, welche nur ein Dreißigstel (!) so hoch ist jener des kondensierenden Dampfes. Damit ist nicht nur der Aufwand der vorgeschlagenen Anordnung geringer, sondern auch der Druckabfall in den Apparaten, wobei letztliches direkt die Thermodynamik des Kreisprozesses verbessert. Die resultierende Erhöhung der Energieeffizienz der genannten Maßnahmen kann mit 10 bis 15 % beziffert werden. Die Enthitzung im Mischer (31ND) vor dem Oberflächenkondensator kann naturgemäß gesteigert werden und auch eine (teilweise) Kondensation des Kreislaufmediums beinhalten, indem die Verbindungsstecke (25ND) einen Wärmetauscher (28ND) enthält, welcher Wärme (z. B. an die Umgebung oder auch an eine Wärmeauskopplung) abgibt; im Extremfall kann sogar die nachgeschaltete Oberflächenkondensation im Abdampfkondensator (8) entbehrlich werden.

[0024] In einem völlig anderen Anwendungsfall, wenn der Wärmeträger ein feuchtes Abgas, z. B. aus einer Biomasseverbrennung, ist, und durch die niedrige Kesselspeisetemperatur in Teilen des Verdampfers auf der Wärmeträgerseite eine Abgaskondensation stattfindet, sind noch weitere Effizienzsteigerungen möglich.

[0025] Der Vollständigkeit halber zeigt die Fig. 3 den erfindungsgemäßen Kreisprozess im T(s)-Diagramm. Dieses Diagramm zeigt zweierlei:

[0026] Zum Einen zeigt es die thermodynamischen Eigenschaften des gewählten Kreislaufmediums, charakterisiert durch seine jeweilige Temperatur T, auf der Ordinate, in Abhängigkeit von seiner spezifischen Entropie s, auf der Abszisse, und durch seinen Druck p, auf der entspre-

chenden Isobaren ($p = \text{const.}$); im Nassdampfgebiet ist zusätzlich der Parameter der Dampfnässe x erforderlich, wobei $x = 0$ die Siedelinie und $x = 1$ die Sattdampflinie der Sättigungslinie beschreibt. Da die Sattdampflinie „überhängend“ ist und sich bei einer isentropen Expansion ($s = \text{const.}$) der Zustand des Kreislaufmediums von der Sattdampflinie entfernt, also überhitzt, handelt es sich im vorliegenden Falle um ein „trockenes“ Kreislaufmedium, wie z. B. Pentan.

[0027] Zum Zweiten skizziert der eingezzeichnete, im Uhrzeigersinn laufende, Kurvenzug bereits die Merkmale des Kreisprozesses, mit seinen jeweiligen Zuständen (Temperatur, Druck und Entropie) des Kreislaufmediums.

[0028] Zur Vereinfachung und wegen der Übersichtlichkeit sind die Zustände rund um den Mitteldruck- Mischer (31MD) mit nur einer einzigen Abzweigung (24c) vorgesehen und dargestellt. Der abgezweigte Strom aus der Abzweigung (24c) gelangt über den Zulauf (26c) und der Verbindungsstrecke (25c) zu ihrem Ablauf (30c), welcher in den Zumischeintritt (32c) übergeht; da - wieder vereinfachend - innerhalb dieser Verbindungsstrecke kein Wärmetauscher vorgesehen ist, bleiben die Zustände des abgezweigten Stroms nahezu unverändert.

[0029] Das Kreislaufmedium der Kesselspeiseleitung (13) wird in den Vorwärmern (14) bis zur Siedegrenze vorgewärmt, in der Verbindungsleitung (15) weitergeleitet, im Verdampfer (16) verdampft und über die Frischdampfleitung (18) zur anschließenden Expansion zur Verfügung gestellt. Die Hochdruck-Turbine (19HD) expandiert den Frischdampf auf Abdampfzustand in der Abdampfleitung (20MD); da es sich im gezeigten Beispiel um ein Kreislaufmedium der „trockenen“ Fluidklasse handelt, überhitzt der Dampf während der Expansion. Die Überhitzung des Abdampfes aus der Mitteldruck- Abdampfleitung (20MD) wird im Mitteldruck- Mischer (31MD) durch die kontrollierte Zumischung des abgezweigten Stroms der Abzweigung (24c), welcher über den Zulauf (26c), die Verbindungsstrecke (25c), den Ablauf (30c) und den Zumischeintritt (32c) geführt wird, maximal soweit gesenkt, sodass der Dampfzustand in der Kalten Abdampfleitung (21MD) nahe der Sattdampflinie zu liegen kommt.

[0030] Der Ort der Abzweigung der Abzweigung (24c) wurde so gewählt, dass die Vorwärmtemperatur an dieser Abzweigung gleich der Dampfsättigungstemperatur in der Abdampfleitung (20MD) ist.

[0031] Eine neuerliche Expansion in der Mitteldruck- Turbine (19MD) führt zu dem Abdampfzustand in der Niederdruck-Abdampfleitung (20ND).

[0032] Der Niederdruck- Mischer (31ND) bewerkstelligt die Enthitzung dieses Abdampfes aus der Niederdruck- Abdampfleitung (20ND), ebenfalls durch das Zumischen eines abgezweigten Stroms, welcher aber aus der Kondensatleitung (9) stammt. Der abgezweigte Strom aus der Abzweigung (24ND) gelangt über den Zulauf (26ND) der Verbindungsstrecke (25ND) zu ihrem Ablauf (30ND), welcher in den Zumischeintritt (32ND) übergeht; da - wieder vereinfachend - innerhalb dieser Verbindungsstrecke kein Wärmetauscher vorgesehen ist, bleiben die Zustände des abgezweigten Stroms nahezu unverändert. Die Menge des abgezweigten Stroms wird vorzugsweise derart geregelt, sodass der Dampfzustand an der Kalten Niederdruck-Abdampfleitung (21ND) im Wesentlichen gesättigt ist und der Abdampfkondensator (8) überwiegend den gesättigten Dampf niederschlägt, welcher als Kondensat in der Kondensatleitung (9) wieder in den Kreislauf zurückkehrt. Sinngemäß kann der abgezweigte Strom auch aus der Speiseleitung (11), also nach der Kondensatpumpe (10), mit einem erhöhten Druck, aus der Abzweigung (24a) abgezweigt werden; dies wurde im vorliegenden Diagramm nicht extra dargestellt, da die Kurvenzüge und Zustände nahezu ident mit denen des dargestellten Diagramms sind.

[0033] Neben den erwähnten energetischen Effekten der Abzweigung und Mischung ist noch ein ganz besonderer Vorteil der vorgeschlagenen Erfindung zu bemerken: durch das Zumischen können neben monovalenten Kreislaufmedien (Wasser, organische, synthetische und andere Medien) auch Kreislaufmediums- Gemische verwendet werden, welche sich bei der Wärmeaufnahme auseinanderdestillieren. Damit ist das Einsatzgebiet dieser Technologie wesentlich, um die sogenannten zeotropen Gemische, erweitert. Weiters können sogar absorptive

Arbeitsstoffpaare (wie z. B. in der Technologie der Absorptionskälteanlagen) verwendet werden, bei denen es dann durch die Mischung zur Absorption, verbunden mit einer Temperaturerhöhung, kommt; dadurch wird der Mischer zwischen der Hochdruck- Turbine und der Mitteldruck- Turbine zum Zwischenüberhitzer, mit den bekannten thermodynamischen Vorteilen.

[0034] Die Mischer (31) können unterschiedlich ausgeführt werden, wie die nachfolgenden Beispiele zeigen:

[0035] Fig. 4 zeigt eine Ausführung des Mixers (31), mit einer an die Abdampfleitung (20) anschließenden Dampfzuleitung (33), und einer Dampfableitung (35), die in die Kalte Abdampfleitung (21) mündet, wobei der abgezwigte Strom über den Ablauf (30) der Verbindungsstrecke (25) zum Zumischeintritt (32) des Mixers gelangt und dort über eine Düse oder eine Düsendruppe (34) in das Innere des Mixers gebracht wird.

[0036] Fig. 5 zeigt eine Ausführung des Mixers als Rieselapparat, mit einer Dampfzuleitung (33), einem Zumischeintritt (32), mit Füllkörpern (36), wobei der abgezwigte Strom über eine Verrieselungseinrichtung (37) innerhalb des Verteilraumes (38) des Mixers (31) verteilt wird und der gemischte Strom im Sammelraum (39) des Mixers (31) gesammelt und über die Dampfableitung (35) abgeführt wird.

[0037] Es können jeweils ein, zwei oder mehrere Zumischeintritte pro Mischer vorliegen.

[0038] Wie die Fig. 6 zeigt, kann dem eigentlichen Mischer (31) auch ein Flüssigkeitsabscheider (40) zur Reduktion der Dampfneße oder zur Verlängerung der Kontaktzeit nachgeschaltet werden. Dieser Flüssigkeitsabscheider kann z. B. als Feuchteabscheidezyklon, oder als „Demister“, mit einer Packung aus Drahtgeflecht zum Auffangen von Feuchtigkeitstropfen ausgeführt werden, wobei die allenfalls abgeschiedene Flüssigkeit über einen Flüssigkeitsabfluss (41) ausgeschleust und vorzugsweise dem Hauptstrom des Prozesses zugemischt bzw. rückgeführt wird.

[0039] Die Abzweigungen können ebenfalls unterschiedlich ausgeführt werden, wie z. B. die in der Fig. 2 gezeigte Hochdruck-Abzweigung (24HD), welche die Dampfneße aus dem (nassen) Frischdampf abzweigt, oder Abzweigungen, die nur in der flüssigen Phase arbeiten (und bei denen die Zustände im abgezwigten Strom stets den Zuständen im Hauptstrom an der Abzweigung gleichen).

[0040] Die Ausführungsformen der Abzweigungen hängen auch von der Bauart des Dampferzeugers ab. Wird z. B. das Kreislaufmedium auf der Rohrrinnenseite der Heizfläche des Dampferzeugers (4) geführt und besteht die Heizfläche aus einem durchgehenden Rohrstrang, so können die Abzweigungen z. B. als T- oder Y-Rohrabzweigungen, wie in der Fig. 2 angedeutet, ausgeführt werden; besteht hingegen die Heizfläche aus mehreren parallelgeschalteten Rohrsträngen, aus Heizflächenpaketen (42), die am Anfang Verteiler und am Ende Sammler (43) aufweisen, so kann es baulich vorteilhaft sein, die Abzweigung im Verteiler oder Sammler zu integrieren, indem diesen ein abgezwigter Strom über den Zulauf (26) zur Verbindungsstrecke (25) entnommen wird, wie in der Fig. 7 gezeigt wird.

[0041] Wird, in Gegensatz dazu, der Wärmeträger rohrseitig und das Kreislaufmedium mantelseitig geführt, wie in der Fig. 8 gezeigt, so sind die Abzweigungen (24b und 24c) am Mantel des Vorwärmers (14), in Form von Entnahmestutzen, ausgebildet. Der verfahrenstechnische Informationsgehalt dieses Schaltbildes entspricht dem des Schaltbildes der Fig. 2, mit der Vereinfachung, dass bei den „nur“ die Abzweigungen (24ND, 24b und 24c), mit den dazugehörigen Verbindungsstrecken (25ND, 25b und 25c) vorgesehen und dargestellt sind; dieses Schaltbild steht im Einklang mit dem Erfindungsgedanken, wonach mindestens eine Abzweigung, mindestens eine Verbindungsstecke und mindestens ein Mischer vorgesehen ist.

[0042] In jedem Fall ist der Mehraufwand gering, um die erfindungsgemäßen Abzweigungen zu bewerkstelligen, sodass es durchaus sinnvoll sein kann, im erfindungsgemäßen Kreisprozess mehr Abzweigungen als Mischer vorzusehen.

[0043] Die Fig. 9 zeigt eine Variante, insbesondere zur Fig. 7. Es kann nämlich baulich und

betriebllich vorteilhaft sein, wenn der Wärmetauscher (28) der Verbindungsstrecke (25) mit einem abgezweigten Strom des Wärmeträgers innerhalb des Dampferzeugers (4) beheizt wird und der Wärmetauscher (28), aus der Sicht des Wärmeträgers, also z. B. des Thermalwassers, parallel zum Vorwärmer (14), oder in Serie zu dem Vorwärmer oder auch zwischen Vorwärmer-teilen (14a, 14b, 14c), oder auch ineinander verschachtelt (in Form eines „Gemischten Heizflä-chenbündels“) geschaltet ist. Wie die Fig. 9 zeigt, wird beispielsweise der abgezweigte Strom des Kreislaufmediums in der Abzweigung (24) vor der Kondensatpumpe (10) entnommen, mit der Förderpumpe (27) zum Wärmetauscher (28) geführt, und über eine Armatur (29) zum Ab-lauf (30) der Verbindungsstrecke (25) gebracht. Der Ablauf (30) der Verbindungsstrecke (25) ist dabei vorteilhafterweise mit dem Mitteldruck- Mischer (31MD) verbunden.

[0044] Fig. 10 zeigt eine Variante von Fig. 9, mit dem gleichen thermodynamischen Effekt und den gleichen Erfindungsmerkmalen. Hier ist der Wärmetauscher (28) allerdings außerhalb des Dampferzeugers (4) angeordnet und der Wärmetauscher (28) wird über einen abgezweigten Strom des Wärmeträgers („Bypassstrom“) beheizt, welcher dem Dampferzeuger (4) über eine Bypassabzweigung (44), und ggf. über eine Bypassregelklappe (45), entnommen wird. Das abgekühlte Wärmeträgermedium wird über die Bypassrückführleitung (46) ggf. dem Hauptstrom des Wärmeträgers hinzugeführt, wobei vorzugsweise der abgekühlte abgezweigte Strom und der abgekühlte Hauptstrom die gleiche Temperatur aufweisen. Diese Variante erlaubt eine gewisse Regelung zur Maximierung der Effizienz, sie ist aber, vor allem bei gasförmigen Wär-meträger (Abgase, Abluft, feuchte Gasströme) mit einem gewissen Mehraufwand verbunden. Statt einer Beheizung des Wärmetauschers (28) über den Bypassstrom kann die Beheizung auch über eine weitere, externe Wärmequelle erfolgen.

LEGENDE:

1. Produktionsbohrung (Wärmequelle)
2. Filter
3. Thermalwasserleitung bzw. Wärmeträgerleitung
4. Dampferzeuger
5. Rücklaufleitung
6. Rückförpumppe
7. Verpressbohrung
8. Abdampfkondensator (Wärmesenke)
9. Kondensatleitung
10. Kondensatpumpe
11. Speiseleitung
12. Rekuperator
13. Kesselspeiseleitung
14. Vorwärmer
15. Verbindungsleitung (des Kreislaufmediums) zwischen Vorwärmer und Verdampfer bzw. Nachwärmer
16. Verdampfer, gegebenenfalls mit einem nachgeschalteten Überhitzer, bzw. Nachwärmer
17. Verbindungskanal (des Wärmeträgers) zwischen Verdampfer und Vorwärmer
18. Frischdampfleitung
19. Expansionsmaschine oder Turbine
20. Abdampfleitung
21. Kalte Abdampfleitung
22. Turbinenwelle
23. Generator
24. Abzweigung
25. Verbindungsstrecke
26. Zulauf
27. Förderpumpe
28. Wärmetauscher
29. Armatur
30. Ablauf
31. Mischer
32. Zumischeintritt
33. Dampfzuleitung
34. Düse oder Düsengruppe
35. Dampfableitung

36. Füllkörper
37. Verrieselungseinrichtung
38. Verteilraum
39. Sammelraum
40. Flüssigkeitsabscheider
41. Flüssigkeitsabfluss
42. Heizflächenpaket
43. Verteiler bzw. Sammler
44. Bypassabzweigung
45. Bypassregelklappe
46. Bypassrückführleitung

HD ... Hochdruck

MD ... Mitteldruck

ND ... Niederdruck

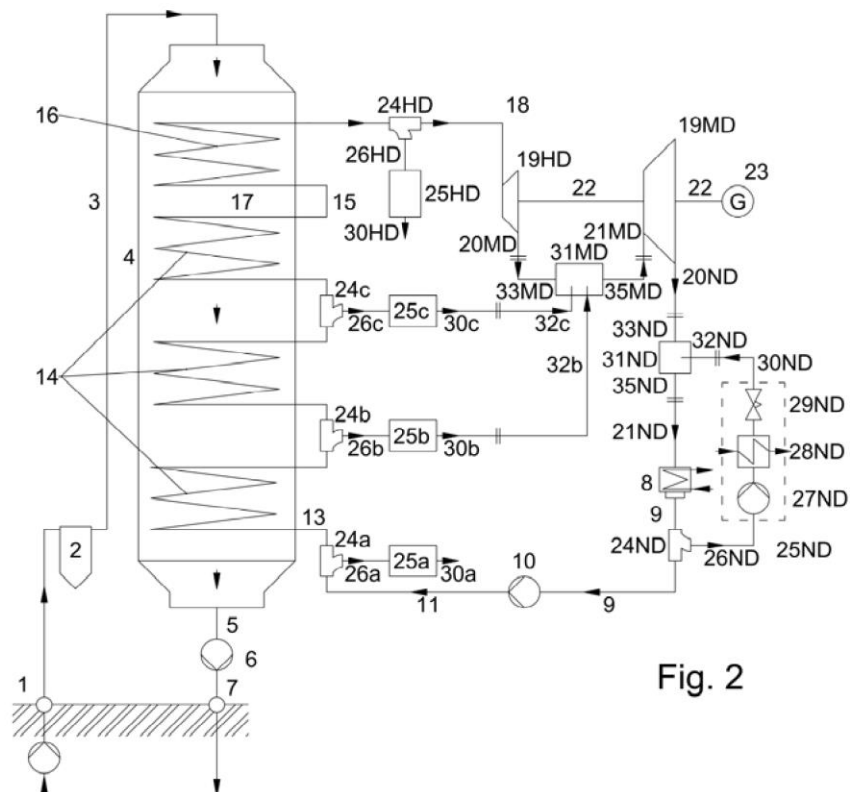
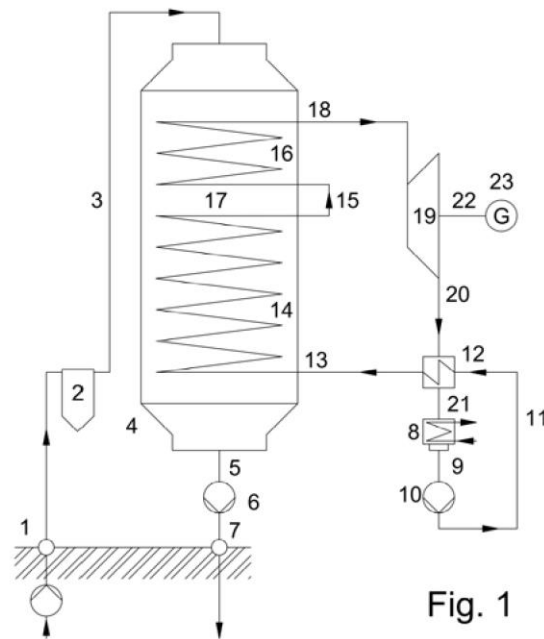
a, b, c, d ... mehrere Komponenten mit ähnlichen verfahrensmäßigen Aufgaben

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steigerung der Energieeffizienz in Clausius-Rankine-Kreisprozessen zur Nutzung von Wärme aus Wärmequellen, insbesondere mit niedrigen Temperaturniveaus, welche dem Kreisprozess zur Verfügung gestellt wird und dort in mechanische bzw. elektrische Energie umgewandelt werden, bei welcher ein Kondensat eines Kreislaufmediums in einer Kondensatpumpe druckerhöht, dieses Kreislaufmedium in einem Dampferzeuger unter Wärmeaufnahme aus der Wärmequelle verdampft sowie gegebenenfalls überhitzt und dieser Dampf einer Expansionsmaschine oder Turbine zur Erzeugung der mechanischen Energie zugeführt wird, dort expandiert und der Abdampf der Expansionsmaschine oder Turbine in einem Kondensator unter Abgabe der Restwärme außerhalb des Kreisprozesses kondensiert wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass im wärmeaufnehmenden Teil des Kreisprozesses, zwischen einer Kondensatleitung (9) und einer Frischdampfleitung (18), mindestens eine Abzweigung (24) vorgesehen ist, welche einen Strom aus dem Hauptstrom des Kreislaufmediums abzweigt, diesen über einen Zulauf (26) zu einer Verbindungsstrecke (25), gegebenenfalls beinhaltend Förderpumpen (27), Wärmetauscher (28) und Armaturen (29), führt und über einen Ablauf (30), welcher in einem Zumischeintritt (32) eines Mischers (31) mündet, in welchem der abgezweigte Strom mit dem Abdampf aus einer Abdampfleitung (20) einer Expansionsmaschine oder einer Turbine (19), zur Verfügung gestellt über eine Dampfzuleitung (33), vermischt wird und dieser vermischte Strom über eine Dampfableitung (35) und eine Kalte Abdampfleitung (21) im Kreisprozess zurück- und weitergeführt wird, und die Anzahl der Abzweigungen (24) größer ist als die Anzahl der Mischer (31) (Fig. 2, Fig. 8).
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kreislaufmedium ein Gemisch ist, welches aus zwei oder mehreren Komponenten besteht.
3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kreislaufmedium ein Gemisch mit einem erniedrigten Gefrierpunkt, also ein Frostschutzgemisch, wie z. B. Wasser und Glykol oder Ethanol, ist.
4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kreislaufmedium eine zeotropes Gemisch ist, welches sich während der Wärmeaufnahme auseinander destilliert.
5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kreislaufmedium ein sorptives Gemisch ist, welches während der Wärmeaufnahme die leichter flüchtige Komponente desorbiert und während der Mischung diese absorbiert.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kreislaufmedium im Dampferzeuger überkritisch betrieben wird und ein Dampferzeuger (4) Heizflächen zur Vorwärmung (14) und zur Nachwärmung (16) des Kreislaufmediums aufweist (Fig. 2).
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Speiseleitung (11) an eine Kesselspeiseleitung (13), gegebenenfalls über eine Armatur und oder eine Abzweigung (24a), schließt (Fig. 8, Fig. 2,).
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens ein Mischer, vorzugsweise der Mitteldruck- Mischer (31MD), zwei oder mehrere Zumischeintritte, vorzugsweise die beiden Zumischeintritte (32 b und 32 c), aufweist (Fig. 2, Fig. 8).
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Mischer (31) Füllkörper (36) aufweist, welche über eine Verrieselungseinrichtung (37) mit dem abgezweigten Strom berieselt werden (Fig. 5).
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Mischer (31) ein Flüssigkeitsabscheider (40) nachgeschaltet ist (Fig. 6).

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass einem Niederdruck- Mischer (31ND) ein Abdampfkondensator (8) nachgeschaltet ist (Fig. 2, Fig. 8).
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Wärmetauscher (28ND) in der Verbindungsstrecke (25ND) zum Niederdruck- Mischer (31ND) die Wärme außerhalb des Kreisprozesses abgibt (Fig. 2, Fig. 8).
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wärmetauscher (28ND) in der Verbindungsstrecke (25ND) zum Niederdruck- Mischer (31ND) die Überhitzungs- und die Kondensationswärme des Abdampfes der Abdampfleitung (20ND) abführt, sodass aus der Kalten Abdampfleitung (21ND) Kondensat kommt und dieses Kondensat direkt in die Kondensatleitung (9) geführt wird (Fig. 2, Fig. 8).
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Abzweigung (24b und/oder 24c) zwischen der Kondensatleitung (9) und der Frischdampfleitung (18) vor dem Ende des Vorwärmers (14) erfolgt, welches durch das Erreichen der geringsten Temperaturdifferenz zwischen dem Wärmeträger und dem Kreislaufmedium charakterisiert ist (Fig. 2, Fig. 7, Fig. 8).
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 10 und 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass Abzweigungen (24b und/oder 24c) von einem Mantelraum des Vorwärmers (14), bei welchem der Wärmeträger auf der Rohrseite geführt wird, erfolgen (Fig. 8).
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass innerhalb der Verbindungsstrecken (25a, 25b, 25c oder 25HD) die jeweiligen Wärmetauscher (28a, 28b, 28c bzw. 28HD) von einer weiteren, externen Wärmequelle beheizt werden.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wärmetauscher (28) der Verbindungsstrecke (25) vor, nach oder parallel zum Vorwärmer (14) angeordnet ist und dieser vom Strom oder Teilstrom des Wärmeträgers beheizt wird (Fig. 9).
18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wärmetauscher (28) von einem abgezweigten Strom des Wärmeträgers beheizt wird, indem im Bereich des Vorwärmers (14) von der Wärmeträgerseite dieser abgezweigte Strom über eine Bypassabzweigung (44) und ggf. über eine Bypassklappe (45) entnommen und nach der Wärmeabgabe über eine Bypassrückführleitung (46) dem Hauptstrom zugeführt wird (Fig. 10).
19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch die Regelung des Durchsatzes und des Zustandes des Ablaufes (30) der Verbindungsstrecke (25) durch die Förderpumpe (27), oder den Wärmetauscher (28) oder die Armatur (29) der Zustand in der Kalten Abdampfleitung (21) nahe der Sättigungslinie zu liegen kommt (Fig. 3).
20. Verfahren nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch die Regelung des Durchsatzes des Zustroms zur Verbindungsstrecke (25) über die Bypassabzweigung (44) und eine Bypassregelklappe (45) die Temperatur des Kreislaufmediums in einer Bypassrückführleitung (46) und in einer Rücklaufleitung (5) des Wärmeträgers nahezu gleich ist (Fig. 10).

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen



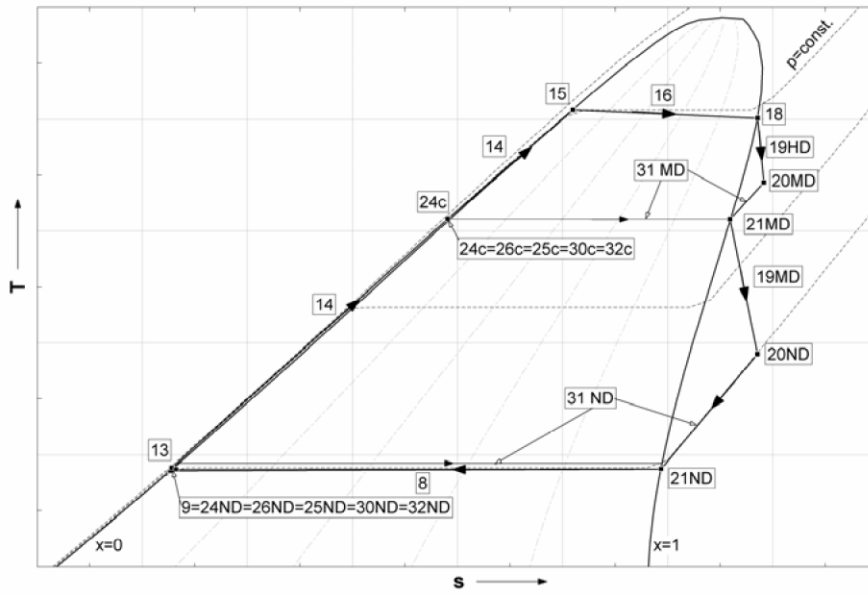


Fig. 3

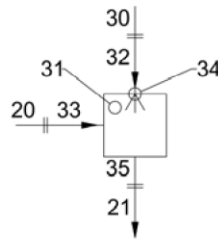


Fig. 4

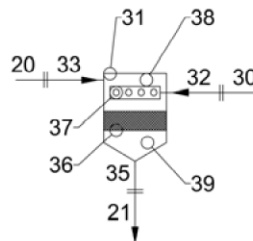


Fig. 5

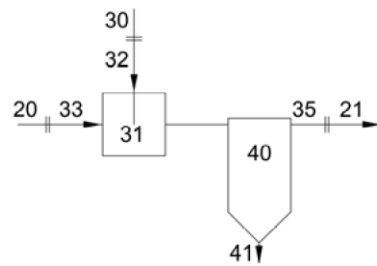


Fig. 6

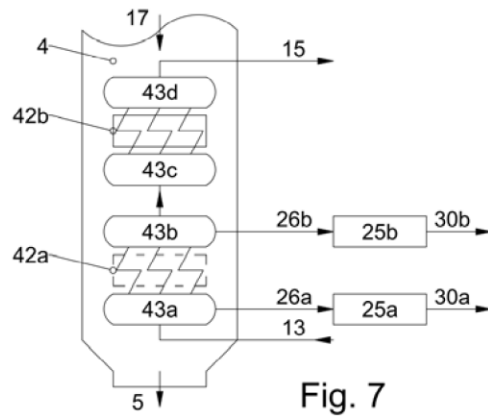


Fig. 7

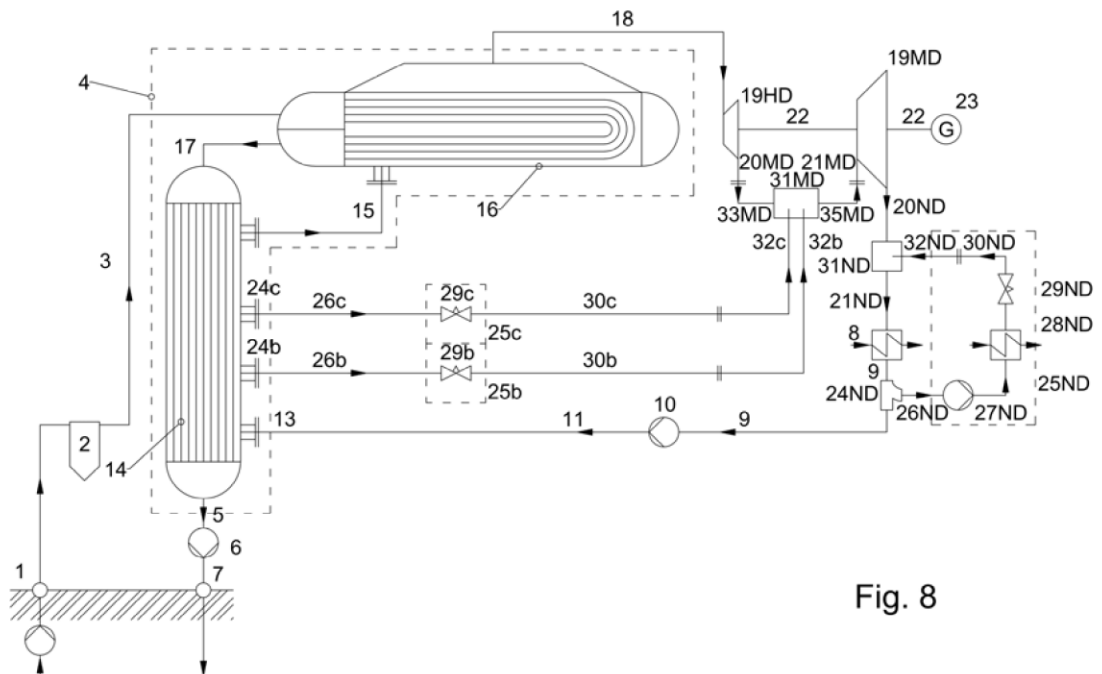


Fig. 8

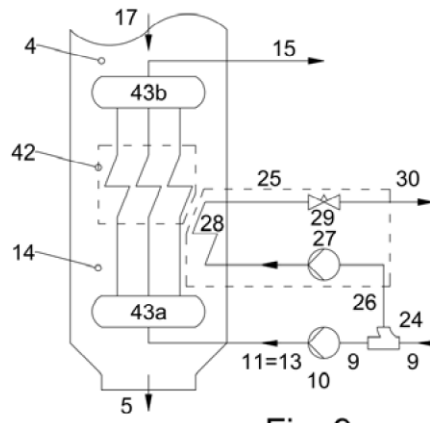


Fig. 9

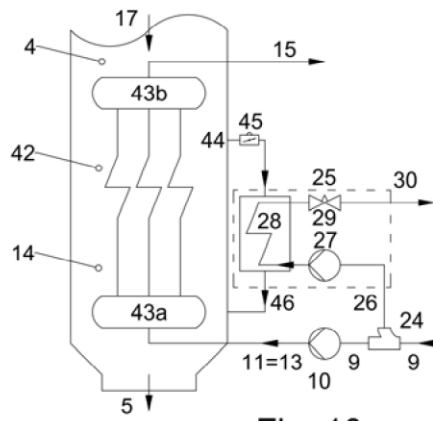


Fig. 10