(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 1 270 877 B1

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
22.12.2004 Patentblatt 2004/52

(51) Int Cl.[7]: **F01K 7/22**, F01K 19/02

(21) Anmeldenummer: **02013142.1**

(22) Anmeldetag: **14.06.2002**

(54) **Wärmetransformation mit Rückverdichtung**

Heat transformation with repressurization

Transformation de chaleur avec représsurisation

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE TR

(30) Priorität: **27.06.2001 DE 10131072**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.01.2003 Patentblatt 2003/01

(73) Patentinhaber: **Schwieger, Joachim**
44141 Dortmund (DE)

(72) Erfinder: **Schwieger, Joachim**
44141 Dortmund (DE)

(74) Vertreter: **Freischem, Werner, Dipl.-Ing.**
Patentanwälte Freischem,
An Gross St. Martin 2
50667 Köln (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
US-A- 4 479 354

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).

EP 1 270 877 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Wärmetransformation mittels eines Wirbelaggregats, z.B. eines Hilschrohres, bei dem ein Dampfstrom, insbesondere ein Sattdampfstrom, im Wirbelaggregat in einen erwärmten Teilstrom und in einen abgekühlten Teilstrom aufgeteilt wird und im abgekühlten Teilstrom eine Kondensation stattfindet, und das Kondensat nach Druckerhöhung durch eine Pumpe die Wärme des erwärmten Teilstromes aufnimmt und verdampft und der Dampf nach Arbeitsleistung in einer Arbeitsmaschine in die Wirbelströmung zurückgeführt wird entsprechend dem Patent DE 199 16 684.

[0002] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei einem entsprechend der Patentschrift DE 199 16 684 arbeitenden Kraftwerk die im Abdampf befindliche Energie besser zu nutzen.

[0003] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß eine Restdampfmenge mittels eines Dampfverdichters verdichtet einem Wirbelaggregat (W) zugeführt wird, wobei die Restdampfmenge aus dem Warmstromanteil des letzten Wirbelaggregates und der Abdampf der letzten Arbeitsmaschine besteht.

[0004] In Abweichung von dem in der Patentschrift DE 199 16 684 beschriebenen Verfahren ist es nicht so sehr von Bedeutung, in einem einzigen Durchlauf durch das Transformations-System durch möglichst viele in Reihe geschalteter Trafostufen eine möglichst hohe Verringerung der im Kondensator niederzuschlagenden Abdampfmenge zu erreichen, da eine Rückverdichtung erfolgt.

[0005] So kann auch eine lohnende Mehrleistung der Turbine gegenüber dem Verdichter einen einstufigen Transformations-Prozeß wirtschaftlich vertretbar machen. Allerdings steigt mit der Abnahme der Leistungsdifferenz zwischen Verdichter und Turbine bei nur einer Trafostufe die Anzahl der erforderlichen Durchläufe.

[0006] Anstelle einer Dampfabgabe aus einer vorhandenen Anlage kann natürlich auch Dampf aus anderen Quellen bezogen bzw. über Dampfverdichter eingespeist werden. So kann aus einer thermischen Meerwasserentsalzungsanlage in der Dampfphase über Verdichtung eine Einspeisung erfolgen, wobei der Dampf nach Nutzung zur Energieerzeugung wieder als Kondensat abgegeben wird. Ähnlich kann bei solar, mittels Erdwärme oder sonstwie erzeugtem Heißwasser Dampf durch Ausdampfung gewonnen werden.

[0007] Bei der Optimierung des Transformations-Prozesses bringt eine Abweichung der erreichbaren Turbinenleistung weniger eine Änderung des Prozeß-Wirkungsgrades als vielmehr eine Erhöhung der Zahl der Durchläufe über die Rückverdichtung, dadurch einen Anstieg der erforderlichen Anlagenkapazität und der Kosten, da ja die vorstehend einzeln betrachteten Durchläufe in Wirklichkeit gemeinsam gleichzeitig ablaufen.

[0008] Wesentlich ist also, daß die erzielte Turbinenleistung möglichst hoch über der Verdichterleistung liegt, um die Anzahl der Durchläufe und damit die Kapazität der Komponenten zu begrenzen. Eine Leistungsgleichheit würde den Trafo-Prozeß verhindern. Eine Unterschreitung der Bandbreite der vertretbaren Leistungsdifferenz würde durch eine zu hohe Umlaufzahl die Anlage bis zur Unwirtschaftlichkeit verteuern.

[0009] So liegt auch die vereinfachte Einbeziehung von drei Kondensationsturbinen ohne Vakuumentwässerung und des Verdichters ohne Zwischenkühlung im Rahmen der Bandbreite einer Überschlagsrechnung.

[0010] Da bei Fremd-Dampfeinspeisung die Wärmezufuhr infolge der Verdichtung nur gering ist gegenüber der weit größeren Dampfenthalpie, so ist sie meist wirtschaftlich lohnend, denn nicht Exergie, sondern Energie ist maßgebend. So kann auch das Druckniveau des Transformations-Prozesses zwecks optimaler Abmessungen angehoben werden.

[0011] Bei den allgemeinen Rückverdichtungskreisläufen und den Projektuntersuchungen war die Effektivität vorwiegend bestimmt durch den Temperaturunterschied zwischen Expansion und Kompression. Bei der Rückverdichtung in Verbindung mit einem Wärmetransformator findet der Arbeitsprozeß jedoch überwiegend im Satt- und Naßdampfgebiet statt. Auch wird hier keine Wärme zugeführt, sondern die vorhandene latente Wärme des Arbeitsmediums umgesetzt, bis der Dampf weitgehend kondensiert ist.

[0012] Der Wirkungsgrad der Transformation ohne Rückverdichtung erhöht sich gleitend in Abhängigkeit von der Güte der Randbedingungen, wie Anzahl und Druckverlust der Trafostufen, Höhe, der Größe des Kaltstromanteils und dessen Temperaturdifferenz zum Warmstrom.

[0013] Diese Kriterien beeinflussen bei einem nach dem erfindungsgemäßen Verfahren arbeitenden Kraftwerk vorrangig die Kosten. Das Maß der Leistungsdifferenz zwischen Turbine und Verdichter ist dabei allein entscheidend für die Ausführbarkeit, da hiervon das Maß der Umläufe, also die Kapazität der Anlage und somit deren Kosten abhängen. Lassen diese eine Rückverdichtungsanlage wirtschaftlich erscheinen, dann rückt ein innerer Wirkungsgrad nahe an 100% in Reichweite.

[0014] Zur Frage der Ausführbarkeit folgendes: Beim Hilschrohr ist die Wärmetrennung mit Luft experimentell nachgewiesen. Es ist zu erwarten, daß auch mit Dampf und eingepaßtem Wirbelaggregat ein entsprechender Effekt eintritt. Schließlich zeigt die Natur, daß beim Tornado eine Kondensation erfolgt. Diese Wirkungsweise wäre technisch zu erfassen und nachzuahmen.

[0015] Die Abwärme eines Kraftwerkes kann dann statt in einem Kondensator und Kühlturm in ein neues Kraftwerk mit stufenweiser Transformation und Rückverdichtung eingeleitet werden und eine Leistung ohne zusätzlichen Brennstoffeinsatz erzeugen.

[0016] Fig. 1 zeigt eine Prinzipskizze eines nach dem erfindungsgemäßen Verfahren arbeitenden Kraftwerkes.

[0017] In den Zeichnungen bedeuten

A = Altanlage
N = Neuanlage
G = Generator
T = Turbine
W = Wirbelaggregat
P = Pumpe
V = Verdampfer
K = Kompressor
m = (kg/s) relativ
1m = 100 % Zudampf
p = (bar) Druck
pi = Staudruck
t = (°C) Temperatur
h = (kJ/kg) Enthalpie
B = Kondensatbehälter

[0018] Bei dem Kondensationskraftwerk nach Fig. 1 strömt Dampf aus einer Turbine T_0 einer vorhandenen Altanlage A über eine Leitung 1 einem Wirbelaggregat W_1 zu und wird in zwei Teilströme unterschiedlicher Temperatur aufgeteilt. Der kältere Teilstrom kondensiert, und das Kondensat wird über eine Leitung 2 einer Pumpe P_1 zur Druckerhöhung zugeführt. Anschließend nimmt das Kondensat im Verdampfer V_1 die vom Warmstrom aufgenommene und transportierte Kondensationswärme des Kaltstroms auf und verdampft. Der Dampf strömt über eine Leitung 5 der Turbine T_1 zu. Nach Arbeitsleistung wird der Dampf über eine Leitung 7 in das Wirbelaggregat W_2 der nächst niederen Stufe eingeführt.

[0019] Der im Verdampfer V_1 bereits auf seine Eingangsenthalpie abgekühlte Warmstromanteil des Wirbelaggregats W_1 wird über eine Leitung 8 dem Wirbelaggregat W_2 zugeführt. Es können eine oder mehrere Wirbelaggregat-Stufen vorgesehen sein, in denen sich die Aufteilung in jeweils zwei Teilströme wiederholt.

[0020] In einer Berechnung eines Kraftwerkes mit Rückverdichtung gemäß Fig. 1 wurde in Fig. 2 das Verhältnis von Kalt- zu Warmstrom auf 2:1 gesetzt und zum Teil angenommene Ausgangsdaten bei den einzelnen Wärmetransformationsstufen eingetragen. Es wird ein in sich geschlossener Kreislauf dargestellt als Grundlage für eine Überschlagsrechnung an einem Beispiel.

[0021] Mit den eingesetzten Werten ergibt sich bei einer Zudampfmenge von 1m (1m = 1 kg/s - symbolisch für 100 %) eine innere Dampfturbinenleistung von insgesamt ca. 940 KWi bei drei Transformationsstufen mit den jeweils zugeordneten Teilturbinen. Dabei beträgt die Minderleistung der vorhandenen Entnahmeturbine $T_0 \Delta N = 1m \cdot (2545 - 2340)\ h \cdot 0{,}98 = 200$ KWi (h = kJ/kg) bei einer an das System abgegebenen Wärmemenge von

$$Q = 1m\ (2545 - 163)\ h = 2382\ KW\ th,$$

d.h. der fiktive Teilwirkungsgrad für die Entnahmedampfmenge zu 1m würde unter Berücksichtigung der Kondensationswärme lediglich betragen

$$\eta = 200\ KWi : 2382\ KWth = 0{,}084,$$

[0022] Demgegenüber zeigt das erfindungsgemäße Konzept gemäß Fig. 2 die gleiche Gesamtleistung von 940 KWi. Nach Abzug von 200 KWi Minderleistung verbleiben 740 KWi bzw. Ne = ca. 740 KWi 0,96 = 710 KWe.

[0023] Zur Kontrolle beträgt die umgesetzte Wärmemenge beim ersten Durchlauf gemäß Fig. 2

1. **Durchlauf**		
Q ein	= 1 m · 2545 h	= 2545 KW th
Q aus	= o,702 m · 2171 h	= 1524 KW th
Q Kondensat	= 0,298 m · 212 h	= 63 KW th
Differenz		= 958 KW th

(fortgesetzt)

1. **Durchlauf**		
	N_i	= 940 KW i
	N_{el}	= 910 KW e

[0024] Das erfindungsgemäße Konzept besteht nun darin, daß die dem Kondensator zuströmende Abdampfmenge von 0,702 m bei 0,07 bar durch Rückverdichtung bei vorheriger Entwässerung und nachfolgender Einspritzkühlung auf den ursprünglichen Eingangswert von 0,56 bar bei 2545 h wieder eingespeist wird. Dabei beträgt die hierfür erforderliche Verdichterleistung 280 KW.

[0025] Allerdings sinkt nun die verdichtete Zudampfmenge auf 0,71 m gegenüber ursprünglich 1,0 m. Nach diesem ersten Durchlauf beginnt ein sich mit der Rückverdichtung wiederholender Umlauf, wobei sich der jeweilige Massenstrom auf 71% des vorherigen Umlaufs verringert.

2. **Umlauf - Bilanz**		
Q zu	= 0,71 m · 2545 h	= 1800 KW th
Q aus	= 0,71 m (0,702 m · 2171 h - 63 h)	= 1145 KW th
	Differenz Q	= 655 KW th
zum Vergleich:	N = 0,71 · 910 KW - 280 KW	= 646-280 = 366KWe

[0026] Da die Wärmemenge in wiederholten Umläufen mit Rückverdichtung (280 KW) abgearbeitet wird, ergeben sich abhängig von der jeweiligen Umlaufzahl die folgenden Werte:

Umlauf	1	2	3	4	5	6	10
N_e des Umlaufs (KW)	710	366	260	184	131	93	24
N_e gesamt (KW)	710	1076	1336	1520	1651	1744	1914
Wirkungsgrad (%)	29,8	43,6	56,1	63,8	69,3	73,2	80,3

bezogen auf 2382 h /kJ/kg).

[0027] Nach dem zehnten Umlauf wird ein Wirkungsgrad von etwa 80% erreicht. Somit steht der durch die Dampfentnahme entstandenen Minderleistung von 200 KW eine Leistung im Trafosystem von nunmehr ca. 1900 KWe gegenüber. Die kursierende Umlaufdampfmenge erreicht hierbei fast den dreifachen Wert der Eintrittsdampfmenge, was eine entsprechend große Kapazität der Anlage erfordert.

[0028] Diese Überschlagsrechnung soll lediglich die Tendenz veranschaulichen. Die angenommenen Randbedingungen können sich je nach Versuchsergebnis noch ändern.

[0029] Die Wärmeübertragung bei der Transformation ist ein kontinuierlicher Prozeß, wobei die Kondensationswärme des Kaltstromes nicht auf die Warmstromenthalpie aufgestockt wird, sondern die Wärmeübertragung kontinuierlich gleitend erfolgt und zur Verdampfung dient. Nachstehend soll der Zusammenhang aufgezeigt werden, daß letztlich die erzeugte Turbinenleistung der Verdampfungswärme des abgeführten Kondensates entspricht. Am Turbinenaustritt ist die Dampfenthalpie infolge der Arbeitsleistung verringert, wodurch dieser Dampf nur eine geringere Menge an sekundärem Sattdampf erzeugen kann. Das überflüssige Kondensat, das ohne externe Wärmeabfuhr kondensiert, wird über die Entwässerung abgeführt.

[0030] Die erzeugte Leistung von ca. 940 KWi entspricht in der Größenordnung jener Wärmemenge, die bei der Kondensation der aus dem System abgegebenen Kondensatmenge frei wird, und zwar

1. aus den Trafostufen mit Q Kond = 0,298 m · (2545-212) h = 695 KW th und
2. aus der Entwässerung vor Verdichter: Q Kond = 0,117 · (2545-163) h = 278 KW th Σ Q Kond = 695 + 278 = 973 KW th.

[0031] Die innere Turbinenleistung beträgt 940 KWi. Der erste Umlauf nach Verdichtung hat bei 71 % der Zudampfmenge auch entsprechend 71 % der obigen Werte, wobei statt der Turbinenminderleistung von 200 KWi die Verdichterleistung (280 KW im zweiten Umlauf) abzuziehen ist.

[0032] Da infolge der Erhöhung von Temperatur und Enthalpie des Sekundärdampfes (210°C, 2800 kJ/kg) gegenüber dem zuströmenden Primärdampf (84°C, 2545 h) die Wärme im Verdampfer V_1 nicht zur Verdampfung der gesamten Kondensatmenge ausreicht, wird der Überschuß in den Kondensatsammelbehälter B abgeführt.

[0033] Eine nicht kondensierte Restdampfmenge, die sich aus den beiden Abdampfmengen der letzten Transformationsstufe (Leitung 10) und der letzten Turbine T_3 (Leitung 11) zusammensetzt, wird nach Entwässerung in einem Dampfkompressor K verdichtet und nach Wassereinspritzung zwecks Kühlung - zur rechnerischen Vereinfachung - wieder auf Zudampfzustand der Leitung 1 gebracht und dort bei Y dem Prozeß wieder eingegeben. Der Kondensator wird hierdurch entbehrlich.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Wärmetransformation mittels eines Wirbelaggregats, z.B. eines Hilschrohres, bei dem ein Dampfstrom, insbesondere ein Sattdampfstrom, im Wirbelaggregat in einen erwärmten Teilstrom und in einen abgekühlten Teilstrom aufgeteilt wird und im abgekühlten Teilstrom eine Kondensation stattfindet und das Kondensat nach Druckerhöhung durch eine Pumpe die Wärme des erwärmten Teilstromes aufnimmt und verdampft und der Dampf nach Arbeitsleistung in einer Arbeitsmaschine in die Wirbelströmung zurückgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet, daß** eine Restdampfmenge mittels eines Dampfverdichters (K) verdichtet einem Wirbelaggregat (W) zugeführt wird, wobei die Restdampfmenge aus dem Warmstromanteil des letzten Wirbelaggregates (W_3) und der Abdampf der letzten Arbeitsmaschine (T_3) besteht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Restdampfmenge auf den Ausgangswert verdichtet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** jeder Transformationsstufe eine Turbine (T_1, T_2, T_3) zugeordnet ist.

Claims

1. A method of heat transformation using a vortex unit, e.g. a Hilsch tube, in which a steam stream, in particular a saturated steam stream, is subdivided in the vortex unit into a heated sub-stream and a cooled sub-stream and condensation takes place in the cooled sub-stream and the condensate, after the pressure is increased by a pump, absorbs the heat from the heated sub-stream and vaporises and the steam is recycled to the vortex flow after performing its work in a working machine, **characterised in that** a residual steam quantity, compressed by means of a steam compressor (K), is fed to a vortex unit (W), wherein the residual steam quantity consists of the hot stream fraction of the last vortex unit (W_3) and the exhaust steam of the last working machine (T_3).

2. A method according to claim 1, **characterised in that** the residual steam quantity is compressed to the starting value.

3. A method according to claim 1 or claim 2, **characterised in that** a turbine (T_1, T_2, T_3) is associated with each transformation stage.

Revendications

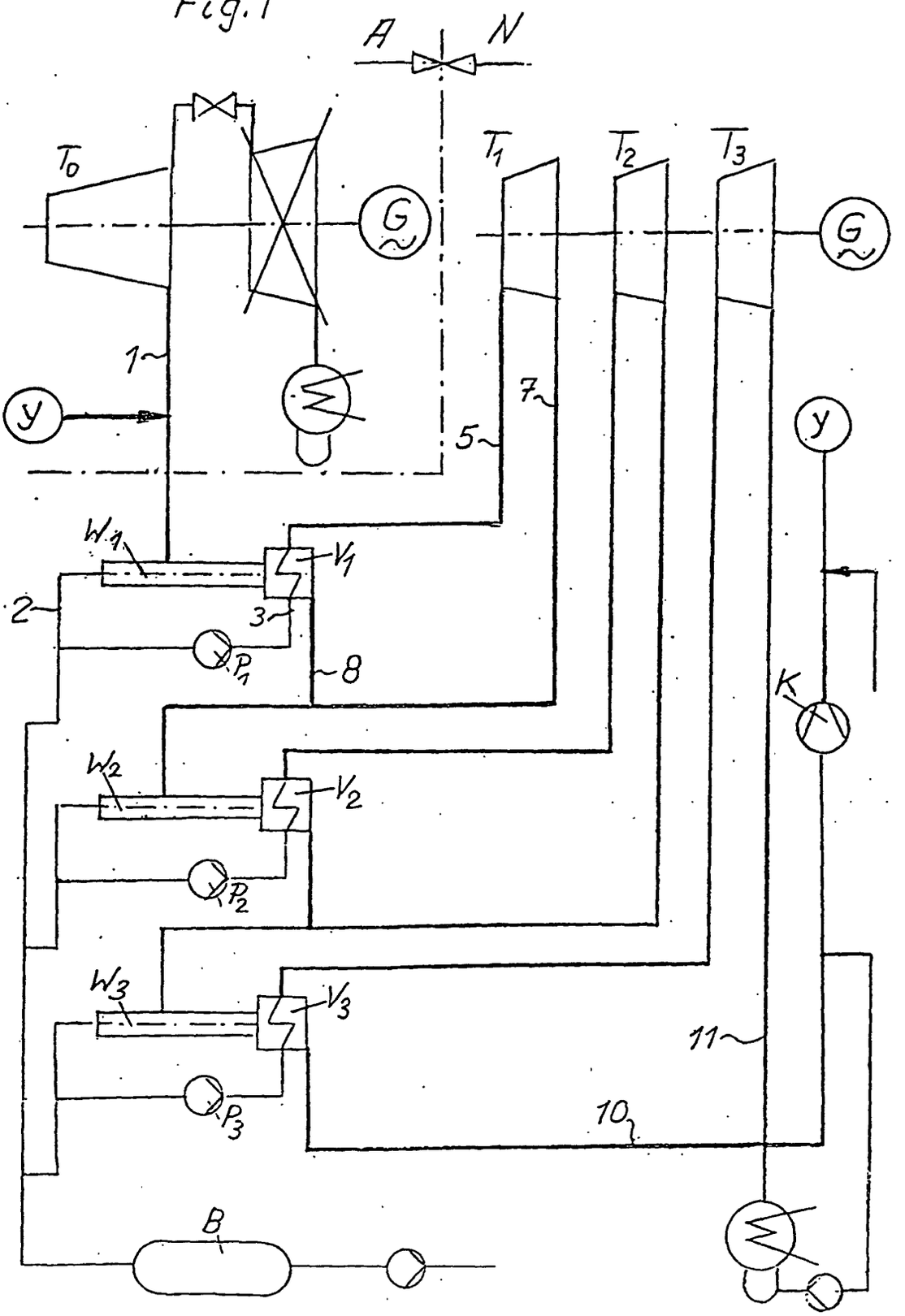
1. Procédé de transformation de chaleur au moyen d'un appareil générateur de tourbillons, un tube de Ranque-Hilsch par exemple, dans lequel un flux de vapeur, notamment un flux de vapeur saturée, est divisé à l'intérieur de l'appareil générateur de tourbillons en un flux partiel échauffé et un flux partiel refroidi, une condensation se produit au niveau du flux partiel refroidi, le condensat absorbe, après augmentation de la pression au moyen d'une pompe, la chaleur du flux partiel échauffé et s'évapore et la vapeur, après avoir fourni un travail dans une machine, est renvoyée dans le flux tourbillonnaire, **caractérisé en ce qu'**une quantité de vapeur résiduelle est renvoyée dans un appareil générateur de tourbillons (W) une fois comprimée au moyen d'un compresseur de vapeur (K), la quantité de vapeur résiduelle se composant du flux partiel chaud du dernier appareil générateur de tourbillons (W_3) et de la vapeur d'échappement de la dernière machine (T_3).

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la quantité de vapeur résiduelle est comprimée jusqu'à la valeur initiale.

3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, **caractérisé en ce qu'**à chaque étape de transformation

est associée une turbine (T_1, T_2, T_3).

Fig.1



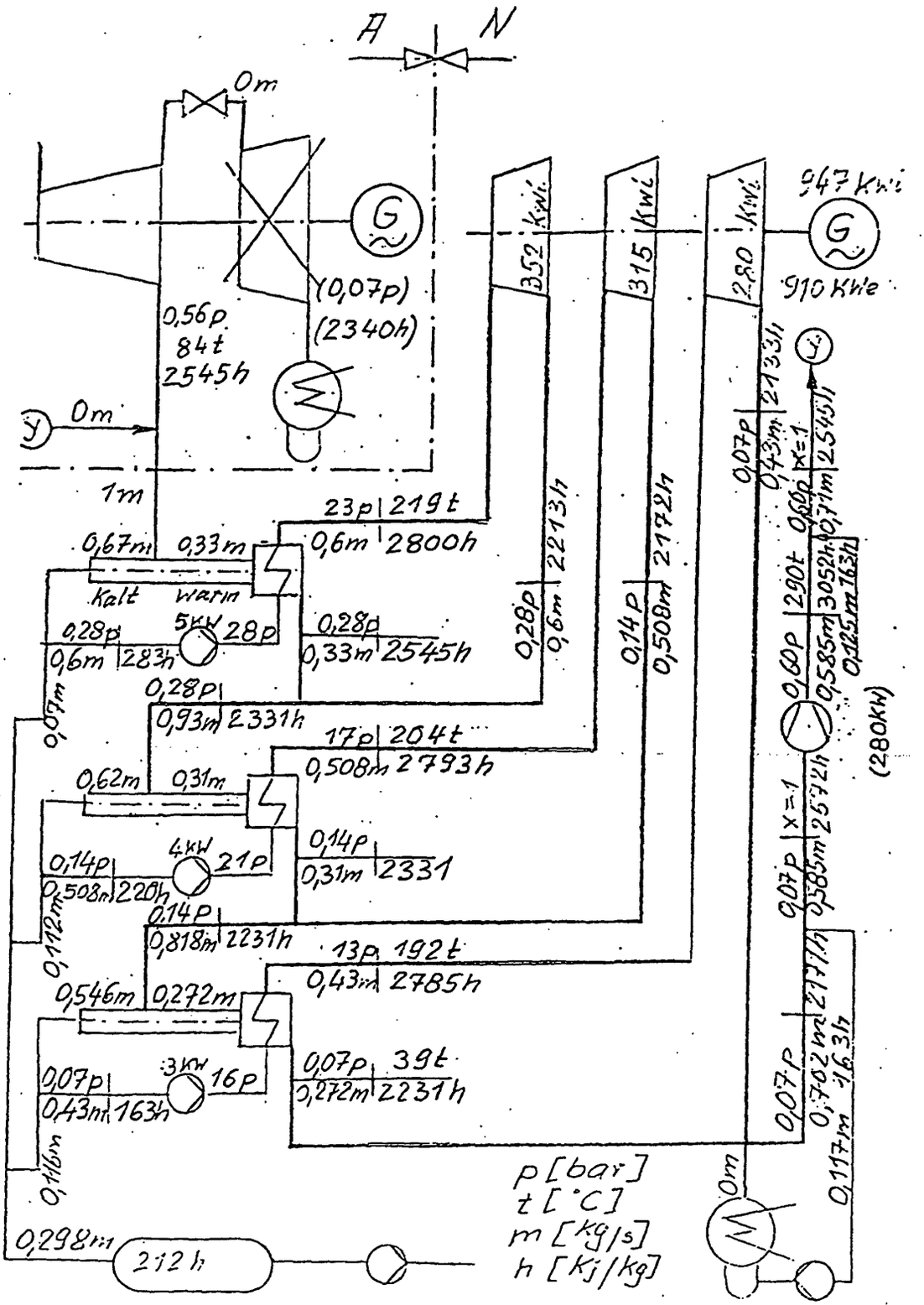

A
N
0m
G
(0,07p)
(2340h)
0,56p
84t
2545h
0m
1m
352 Kwi
315 Kwi
280 Kwi
947 Kwi
910 Kwe
23p 219t
0,6m 2800h
0,67m
0,33m
kalt
warm
5kW 28p
0,28p
0,6m 283h
0,28p
0,33m 2545h
0,28p
0,93m 2331h
0,28p 2213h
0,6m
0,14p 2172h
0,508m
17p 204t
0,508m 2793h
0,62m
0,31m
4kW 21p
0,14p
0,508m 220h
0,14p
0,31m 2331
0,14p
0,818m 2231h
13p 192t
0,43m 2785h
0,546m
0,272m
3kW 16p
0,07p
0,43m 163h
0,07p 39t
0,272m 2231h
0,07m
0,112m
0,116m
0,298m
212h
0,07p
0,43m 2133h
0,60p x=1
0,585m 3052h
0,125m 163h
0,60p 290t
(280kW)
0,07p x=1
0,585m 2572h
0,07p 217t/h
0,702m 16,3t/h
0,117m
0m
p [bar]
t [°C]
m [kg/s]
h [kJ/kg]

FIG. 2