



NORGE

(12) PATENT

(19) NO

(11) 321817

(13) B1

(51) Int Cl.

B01D 53/62 (2006.01)

B01D 53/14 (2006.01)

F23J 15/00 (2006.01)

F23C 9/06 (2006.01)

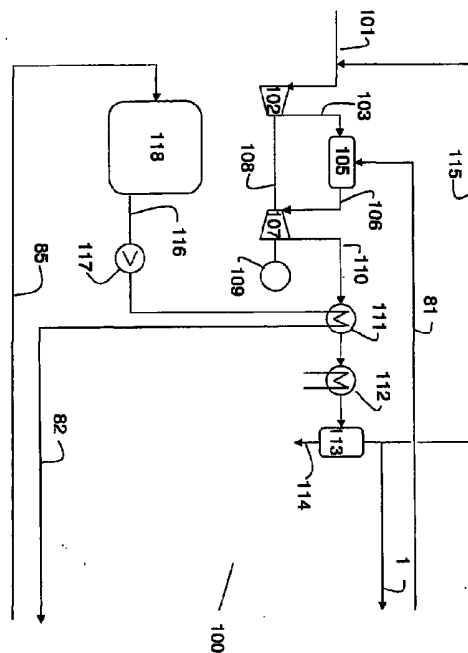
Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20034941	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	
(22)	Inng.dag	2003.11.06	(85)	Videreføringsdag	
(24)	Løpedag	2003.11.06	(30)	Prioritet	Ingen
(41)	Alm.tilgj	2005.05.09			
(45)	Meddelt	2006.07.10			
(73)	Innehaver	Sargas AS , Postboks 2451 Solli, 0201 OSLO, NO			
(72)	Oppfinner	Knut Erik Børseth, Valhallaveien 85, 1413 TÅRNÅSEN, NO Tor Christensen, Hasleskogveien 10, 3229 SANDEFJORD, NO Henrik Fleischer, Vestmarkveien 90, 1341 SLEPENDEN, NO			
(74)	Fullmektig	Protector Intellectual Property Consultants AS , Postboks 5074 Majorstua, 0301 OSLO, NO			

(54) Benevnelse **Renseanlegg for varmekraftverk**
(56) Anførte publikasjoner WO 200057990

(57) Sammendrag

En fremgangsmåte for separasjon av CO₂ fra forbrenningsgassen fra et termisk kraftanlegg fyrt med fossilt brensel, hvor forbrenningsgassen fra det termiske kraftanlegget blir avkjølt, komprimert og gjenoppvarmet ved forbrenning av naturgass i et forbrenningskammer for å danne en eksosgass, hvor eksosgassen blir avkjølt og brakt i kontakt med en absorbent som absorberer CO₂ fra eksosgassen for å danne en CO₂-fattig strøm og en absorbent med absorbert CO₂, og hvor den CO₂-fattige strømmen blir oppvarmet ved hjelp av varmevekslere mot den varme eksosgassen som forlater forbrenningskammeret før den blir ekspandert i turbiner, blir beskrevet. Et anlegg for utførelse av fremgangsmåten og et kombinert anlegg blir også beskrevet.



Foreliggende oppfinnelse angår en fremgangsmåte for separasjon av forbrenningsgassen fra et varmekraftverk som blir fyrt med et fossilt brensel, i en CO₂-rik og en CO₂-fattig strøm, et separasjonsanlegg for utførelse av fremgangsmåten og et kombinert anlegg som omfatter et varmekraftverk fyrt med et fossilt brensel og foreliggende

5 separasjonsanlegg.

Konsentrasjonen av CO₂ i atmosfæren har øket med nær 30% i de siste 150 år.

Konsentrasjonen av metan har doblet seg og konsentrasjonen av nitrogenoksider har øket med omkring 15%. Dette har øket den atmosfæriske drivhuseffekten, noe som har

10 resultert i:

- At gjennomsnittstemperaturen nær jorden overflate har øket med omkring 0,5 °C i løpet av de siste ett hundre år, med en akselererende tendens de siste ti år.
- I løpet av den same perioden er nedbørsmengden øket med omkring 1%.
- Havnivået har øket med 15 til 20 cm på grunn av smelting av isbreer og på

15 grunn av at vann ekspanderer når det blir oppvarmet.

Økende utslipp av drivhusgasser er forventet å gi fortsatte endringer i klimaet.

Temperaturen kan øke med så mye som 0,6 til 2,5 °C i løpet av de kommende 50 år.

Innen det vitenskapelige miljøet er det generell enighet om at øket anvendelse av fossilt
20 brensel, med eksponentielt økende utslipp av CO₂ har endret den naturlige CO₂-balansen i naturen og er derfor den direkte årsaken til denne utviklingen.

Det er viktig at det straks blir tatt aksjon for å stabilisere CO₂-innholdet i atmosfæren.

Dette kan bli oppnådd dersom CO₂ som blir generert i varmekraftverk blir innfanget og
25 deponert sikkert. Det er antatt at innfangingen står for tre fjerdedeler av totalkostnaden for kontrollen av CO₂-utslipp til atmosfæren.

En energieffektiv, kosteffektiv, robust og enkel fremgangsmåte for fjerning av en betydelig del av CO₂ fra utslippsgassen vil være ønskelig for å lette denne situasjonen.

30 Det ville være en stor fordel dersom fremgangsmåten kan bli realisert i nær fremtid uten langtids forskningsinnsats.

Utslipp fra varmekraftverk inneholder typisk 4 til 10 volum % CO₂, hvor de laveste verdiene er typiske for gassturbiner, mens de høyeste verdiene kun blir oppnådd i forbrenningskamre med avkjøling, for eksempel ved produksjon av damp.

5 Der fines tre muligheter for stabilisering av CO₂-innholdet i atmosfæren. I tillegg til innfangning av CO₂, kan ikke-forurensende energikilder, slik som biomasse, bli benyttet, eller meget effektive kraftanlegg kan bli utviklet. Innfangningen av CO₂ er den mest effektive. Det er imidlertid enda ikke gjort mye utviklingsarbeid for å fange inn CO₂, hvor fremgangsmåtene som er presentert til nå er kjennetegnet enten ved lav effektivitet
10 eller et behov for langtids og kostbar utvikling. Alle fremgangsmåter for innfangning av CO₂ omfatter et eller flere av de følgende prinsipper:

- **Absorpsjon av CO₂.** Eksosgassen fra forbrenningen blir brakt i kontakt med en aminopløsning, ved nær atmosfærisk trykk. Noe av CO₂-en blir absorbert i
15 aminopløsningen som så blir regenerert ved oppvarming. Hovedproblemet ved denne teknologien er at en opererer ved et lavt partialtrykk av CO₂, typisk 0,04 bar, i gassen som skal bli rensset. Energiforbruket blir meget høyt (omkring 3 ganger høyere enn dersom det ble rensset med et partialtrykk av CO₂ på 1,5 bar). Renseanlegget blir kostbart og graden av rensing og størrelsen av kravanlegget
20 blir begrensende faktorer. Derfor er utviklingsarbeidet konsentrert omkring økning av partialtrykket av CO₂. Et alternativ er at eksosen blir avkjølt og resirkulert over gassturbinen. Effekten av dette er meget begrenset på grunn av blant annet egenskapene til turbinen. Andre alternativer er at eksosgassen som skal bli kjølt ned, blir komprimert, avkjølt igjen, rensset med for eksempel en
25 aminopløsning, oppvarmet og ekspandert i en sekundær gassturbin som driver den sekundære kompressoren. På denne måten blir partialtrykket av CO₂ øket, for eksempel til 0,5 bar, og rensingen blir mer effektiv. En viktig ulempe er at partialtrykket av oksygen også blir høyt, for eksempel 1,5 bar, mens aminene typisk blir hurtig degradert ved partialtrykk av oksygen over omkring 0,2 bar. I
30 tillegg er kostbart ekstrapstyr nødvendig. Andre kombinasjoner av primære og sekundære kraftstasjoner foreligger også.

- **Luftseparasjon.** Ved separasjon av luften som går inn i forbrenningsanlegget i oksygen og nitrogen, kan sirkulerende CO₂ bli benytt som drivgass i et kraftanlegg. Uten nitrogen for å fortynne den dannede CO₂, vil CO₂ i eksosgassen ha et relativt høyt partialtrykk, opp til omkring 1 bar. Overskudd av CO₂ fra forbrenningen kan så bli separert ut relativt enkelt sli at installasjonen for innfangning av CO₂ kan bli forenklet. Totalkostnadene for et slikt system blir imidlertid relativt høyt, da en må ha et betydelig anlegg for fremstilling av oksygen i tillegg til kraftanlegget. Produksjon og forbrenning av ren oksygen representerer betydelige utfordringer hva angår sikkerhet, i tillegg til store krav til materialene. Dette vil også sannsynligvis kreve utvikling av nye turbiner.
- **Omdanning av brenselet.** Hydrokarbonbrensel blir omdannet (reformert) til hydrogen og CO₂ i trykksatte prosesseringsenheter kalt reformere. Produktet fra reformerne inneholder CO₂ med et høyt partialtrykk slik at CO₂ kan bli separert ut og deponert eller benyttet på annen måte. Hydrogen blir benyttet som drivstoff. Totalanlegget blir komplisert og kostbart, da det omfatter et hydrogengenererende anlegg og et kraftverk.

Et felles trekk ved de alternative fremgangsmåtene for innfangning av CO₂ fra et kraftanlegg er at de streber mot et høyt partialtrykk av CO₂ i prosesseringsenhetene hvor rensingen blir utført. I tillegg er de alternative fremgangsmåtene kjennetegnet ved langvarige, kostbare og risikofylte utviklinger, med en typisk tidsramme på 15 års forskning og ytterligere 5 til 10 år før en får driftserfaring. Forventet elektrisk effektivitet er opp til 56 til 58 % for et anlegg uten rensing og sannsynligvis, noe optimistisk 45 til 50% med rensing.

En lang tidsramme er miljømessig uønsket. I FN's økonomiske kommisjon for Europa (UNECE) konferanse høsten 2002, ble det understreket at der var "et umiddelbart behov for å adressere den fortsettende eksponensielle økningen i globalt CO₂-utslipp" og ord som "så snart om mulig" og "behov for å gå langt forbi Kyotoprotokollens mål", ble benyttet.

Der er således et behov for anlegg som overvinner de ovenfor nevnte problemene og som har de følgende karakteristikene:

- Realiserbare uten langtids utvikling, fortrinnsvis med anvendelsen av roterende utstyr som allerede er blitt testet ut.
- 5 ➤ Tilpasset for et tilstrekkelig partialtrykk av CO₂ slik at konvensjonelle absorpsjonsinstallasjoner kan bli benyttet effektivt, noe som betyr partialtrykk opp til 1,5 bara.
- Laves mulig volum av gasstrømmen hvor CO₂ skal bli innfanget, i forhold til den produserte kraften
- 10 ➤ Partialtrykk av oksygen ned til eller fortrinnsvis lavere enn 0,2 bara hvor CO₂ skal bli innfanget for derved å minimalisere degraderingen av absorpsjonsmiddelet
- Mulighet for effektiv rensing av NO_x, som typisk blir utført i temperaturområdet fra 300 til 400 °C. Rensing i et trykksatt system er optimalt.
- 15 ➤ Effektivitet på linje med konkurrerende systemer
- Mulighet for større installasjoner over 400 MW.
- Ingen anvendelse av reformere, prosesser for fremstilling av oksygen, prosesser for omdanning av brenselet eller roterende utstyr som ikke bidrar til netto kraftutbytte.
- 20 ➤ Kompakt og robust anlegg for å dra nytte av kostnadsfordele ved å bygge anlegget ved skipsverft på flytende konstruksjoner. Dette gjør også installasjoner til havs mulig.

Foreliggende oppfinnelse angår således en fremgangsmåte for separasjon av CO₂ fra 25 forbrenningsgassen fra et termisk kraftverk fyrt med fossilt brensel, hvor fremgangsmåten omfatter de følgende trinn;

- a) avkjøling og blanding av forbrenningsgassen fra det termiske kraftverket med luft;
- b) komprimering av blandingen av forbrenningsgass og luft;
- 30 c) gjenoppvarming av den komprimerte gassen fra trinn b) ved anvendelse av denne komprimerte gassen som oksygeninnholdende gass for forbrenning av naturgass i et trykksatt forbrenningskammer for å danne en eksosgass;

- d) regulering av tilførselen av naturgass og oksygeninnholdende gass i forbrenningskammeret slik at eksosgassen inneholder mindre enn 6% restoksygen;
- e) holde temperaturen i eksosgassen mellom 700 °C og 900 °C ved generering av damp i rørformede spiraler i forbrenningskammeret;
- 5 f) avkjøling av eksosgassen og bringe den i kontakt med en absorbent som absorberer CO₂ fra eksosgassen for å danne en CO₂-fattig strøm og en absorbent med absorbert CO₂;
- g) oppvarming av den CO₂-fattige strømmen ved hjelp av varmeveksling mot den varme eksosgassen som forlater forbrenningskammeret; og
- 10 h) ekspansjon av den oppvarmede CO₂-fattige strømmen i turbiner.

Det er foretrukket at absorbenten benyttet i trinn f) med absorbert CO₂ blir regenerert for å danne en CO₂-rik strøm og regenerert absorbent.

- 15 Det er også foretrukket av for å oppnå en tilstrekkelig høy energioptimalisering at strømmen generert ved avkjøling av det trykksatte forbrenningskammeret i trinn e) blir ekspandert i turbiner for å generere kraft.

- 20 Foreliggende oppfinnelse vil nå bli forklart i store detalj med referanse til foretrukne utførelsesformer og de vedlagte figurer, hvor:

Figur 1 er et forenklet flydiagram som viser en basisutførelse av et kombinert anlegg for kraftproduksjon og CO₂-fjerning for kombinasjon med et termisk kraftanlegg;

Figur 2 er et forenklet flydiagram som viser et gasskraftverk for sammenkobling med anlegget ifølge figur 1;

- 25 Figur 3 er et forenklet flydiagram som viser et alternativt gasskraftverk for sammenkobling med anlegget ifølge figur 1;

Figur 4 er et forenklet flydiagram som viser en basisutførelse av et kombinert anlegg for termisk kraftproduksjon og CO₂-fjerning for kombinasjon med et termisk kullkraftverk; og

Figur 5 er et forenklet diagram som viser et kullkraftverk for sammenkopling med anlegget ifølge figur 4.

5 Det kombinerte anlegget for termisk kraftproduksjon og CO₂-fjerning blir illustrert i figur 1, og vil bli beskrevet først. Dette anlegget for termisk kraftproduksjon og CO₂-fjerning tilsvarer i store trekk det gasskraftanlegget med CO₂-håndtering som er beskrevet i søkerens egen WO200057990, men hvor forbrenningsgassen fra et kullkraftverk 100 tilsettes luft før denne blandingen av forbrenningsgass og luft benyttes som oksygenholdig gass ved forbrenning i et modifisert gasskraftanlegg ifølge nevnte
10 WO-publikasjon.

Det kombinerte anlegget for termisk kraftproduksjon og CO₂-fjerning mottar avgas fra et kraftanlegg, for eksempel et av kraftanleggene illustrert i figur 2,3 eller 5 gjennom en linje 1. Tre forskjellige kraftanlegg 100 kombinert med det kombinerte anlegget for
15 termisk kraftproduksjon og CO₂-fjerning er beskrevet i de følgende eksemplene 1, 2 og 3.

Avgassen fra kraftanlegget 100 omfatter en blanding av CO₂, H₂O og nitrogen. Typisk, har avgassen fra et termisk kraftanlegg basert på gassturbin(er) et rest oksygeninnhold
20 på omkring 10 til 14 vol % avhengig av resirkulering av avgass, mens et kullbasert termisk kraftanlegg har et rest oksygeninnhold på omkring 6 til 10 vol % eller lavere.

Avgassen fra kraftanlegget 100 blir i den følgende beskrivelsen og patentkravene referert til som "avgass".
25

Avgassen kommer inn i anlegget gjennom en linje 1, eventuelt sammen med ekstra luft for å øke oksygeninnholdet i avgassen, og blir komprimert i en kompressor 2,2'. Luft kan bli tilsatt for å gi kompressoren 2 optimale driftsbetingelser og/eller gi ekstra
30 oksygen slik at en optimal mengde varme kan bli produsert i forbrenningskammer 6. Kompressorene 2, 2' kan være i ett trinn, men det er foretrukket at kompressor 2 er to eller flere kompressorer i serie, fortrinnsvis med mellomkjøling av luften mellom kompressorene 2 og 2' som vist ved en varmeveksler 45 som kjøler den første avgassen

i linje 3' mellom de to kompressorene. To kompressorer, 2,2', som vist i figur 1 er foretrukket ved det foretrukne arbeidstrykket for foreliggende oppfinnelse som ligger omkring 12 bar. Den innkommende avgassen blir komprimert i kompressor 2' til omkring 4 bar. Avgassen fra kompressoren 2' blir ledet til kompressor 2 ved hjelp av en
5 linje 3'. Avgassen i linje 3' blir kjølt i en varmeveksler 45 mellom kompressorene før den blir ledet inn i kompressoren 2. I kompressoren 2 blir avgassen ytterligere komprimert til et trykk på omkring 12 bar.

Fra kompressor 2 blir den komprimerte avgassen delt i to. Det meste av den
10 komprimerte avgassen blir ledet i en linje 3 til et forbrenningskammer 6. Resten, mindre enn 10%, blir ledet forbi forbrenningskammeret 6 gjennom linje 7. Trykket i avgassen blir bestemt av kompressorens karakteristikk og faller svakt gjennom forbrenningskammeret 6, varmevekslere 8, 11, trimkjøler 12 og rensenhet 13. Det
15 totale trykkfallet gjennom dette systemet til turbin 15 er i området 1 til 2 bar. Det meste av dette trykkfallet skjer i den varme varmeveksleren 8, spesielt dersom temperaturen i strømmen 14A er over omkring 800 °C. Varmeveksler 8, eller den varmeste delen av varmeveksler 8 kan derfor være erstattet med en ikke vist gassfyrte etterbrenner i linje 14A. Den gassfyrte etterbrenneren kan bli tilført komprimert avgass fra kompressor 2 som en oksygeninnholdende gass.

20

Brensel som inneholder karbon eller karbonforbindelser, slik som for eksempel hydrokarboner slik som gass eller olje, blir tilført til forbrenningskammeret 6 gjennom brenseltilførsel 9. Brenselgassen kan bli forvarmet før den blir introdusert i forbrenningskammeret. Brenselgassen kan bli forvarmet i en varmeveksler 80 mot en
25 del av den varme komprimerte avgassen som er tatt ut fra kompressoren 2. Den avkjølte avgassen blir deretter ledet til andre anvendelser gjennom en linje 7. Avgassen kan alternativt bli oppvarmet ved bruk av varmt vann fra en hvilken som helst tilgjengelig kilde.

30 Brensel som skal inn i forbrenningskammeret 6 blir trykksatt ved hjelp av en pumpe (ikke vist) eller liknende til et trykk som tillater at brenselet blir presset inn i

forbrenningskammeret. Trykket her må således ligge over arbeidstrykket i forbrenningskammeret med for eksempel 0.5 til 1 bar, slik som 0.7 bar.

5 Anvendelse av brennere som gir et lavt NO_x-innhold i eksosgassen er foretrukket på grunn av de miljømessige betenkelige sidene ved utslipp av slike gasser. Ved anvendelsen av slike brennere, vil NO_x fra en kjele med lav-NO_x-brenner typisk bli redusert til under 50 ppm. Ifølge kjent og testet teknologi kan ytterligere NO_x bli fjernet med NH₃ ($3\text{NO} + 2\text{NH}_3 = 2.5 \text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$) i en rensenhet (ikke vist). Denne rensingen har opp til 90% effektivitet ved atmosfærisk trykk, men er antatt å være mye bedre ved 10 arbeidstrykket som typisk er over 10 bara. Det er derfor mulig å rense NO_x med til et restnivå på 5 ppm eller bedre. Ved tilpasning av varmevekslerne kan gassen bli gitt en temperatur som er optimal for denne prosessen. Andre fremgangsmåter uten NH₃ eksister også. NH₃-metoden gir noe NH₃ "slipp".

15 Nedstrøms for rensenheten er det mulig å benytte en ikke vist skrubber som ved hjelp av en vanntilførsel fra separator 50, metter gassen med vanndamp og samtidig fjerner NH₃ og andre kontaminanter fra eksosgassen. Nedstrøms for denne skrubberen er det mulig å kombinere på en ikke vist måte varmevekslere 11 og 12 og separator 50 til en kombinert avkjølings-, kondensasjons- og gjenfuktingsenhet.

20 Forbrenningen i forbrenningskammeret 6 skjer ved et trykk fra atmosfærisk trykk til et overtrykk, slik som fra 1.5 til 30 bar, for eksempel fra 5 til 25 bar, slik som fra 10 til 20 bar. Et trykk på omkring 12 til 16 bar har blitt funnet å være spesielt foretrukket fra behovene for påfølgende rensing og separasjon av CO₂ og fra driftserfaringer fra 25 gassturbiner og luftkompressor. Det er foretrukket med et forbrenningstrykk på omkring 12 til 16 bar som blir benyttet i eksemplene her.

Tilførselen av oksygen-inneholdende avgass og eventuell ytterligere luft og brensel blir kontrollert slik at eksosgassen fra forbrenningskammeret har et gjenværende innhold av 30 oksygen fra 1 til 6 % og mer foretrukket fra 1 - 2 %.

I forbrenningskammeret 6, blir vann som blir tilført gjennom vanntilførsel 4, oppvarmet i varmespiraler 21 for å gi vandam på som blir tilført til, via et damputløp 5, og ekspandert over en høytrykksturbin 53. Den ekspanderte dampen fra høytrykksturbinen 53 blir deretter ledet via en tilførsel 4' til forbrenningskammeret 6 for igjen å bli oppvarmet i et andre sett varmespiraler 21'. Den gjenoppvarmede dampen forlater forbrenningskammeret i en linje 5' i hvilken den blir ledet til en middeltrykksturbin 54 hvor den blir ekspandert.

Fra dampturbinen 54, blir dampen ledet i en linje 56 til en lavtrykksturbin 57 hvor den blir ekspandert ytterligere. Dampturbinene 43, 54 og lavtrykksturbinene 57 er fortrinnsvis anordnet på en felles aksling som driver en generator 58 for generering av elektrisk energi. For mindre systemer kan dampturbiner 54 og 57 bli kombinert i en enkel enhet.

Det meste av den ekspanderte dampen / kondenserte vannet blir ledet fra lavtrykksturbinen via en linje 59 til en varmeveksler 60 som avkjøler vannet ytterligere med eksternt kjølevann. Etter avkjøling/fullstendig kondensering blir vannet i linje 59 pumpet opp til det ønskede trykket for videre sirkulasjon ved hjelp av en pumpe 61. Dette relativt kalde vannet kan bli benyttet for å ta vare på lavtemperaturrenergi fra forskjellige steder i anlegget som blir varmevekslet med varme strømmer som skal bli avkjølt. Dette gjør det mulig å ta vare på/benytt lavtemperaturrenergi, noe som er essensielt for god økonomiøkonomi og som også reduserer de eksterne kjølevannskravene.

Dette er illustrert ved en varmeveksler 62 som varmeveksler den kalde strømmen i linje 59 med en varmere strøm i linje 63. Strømmen i linje 63 er en strøm som blir tatt fra lavtrykksturbinen ved et punkt hvor dampen ikke er fullstendig ekspandert. Dampen i linje 63 blir igjen pumpet opp til ønsket trykk i den videre sirkulasjonen ved hjelp av en pumpe 64. Strømmene i linjer 59 og 63 blir brakt sammen i en linje 65 som blir varmevekslet med eksosgassen fra forbrenningen i en eksosgasslinje 41, i en varmeveksler 67 for å ta vare på gjenværende varme før vannet blir ledet til en kombinert vanntank og deaerator 66.

En delstrøm av det kalde vannet i linje 59 kan bli tatt ut i linje 68 og oppvarmet ved varmeveksling, muligens først med den delvis avkjølte gassen i linje 41 i en varmeveksler 69 og deretter med den varme luften i linje 3' i en varmeveksler 45 før vannet i linje 68 blir ledet inn i vanntanken 66. Det er også mulig å benytte vann fra linje 59 som kjølevann for trimkjøler 12 og for mellomkjølingen av kompressorsystemet 28.

Fra vanntanken 66 blir vannet ledet via en linje 70 til en pumpe 71 hvor vannet blir pumpet til et ønsket trykk. Fra pumpen 71 blir vannet ledet i linje 70 til en varmeveksler 17 hvor vannet blir oppvarmet ved varmeveksling med den varme eksosgassen i linje 41. Det kan være ønskelig å ta ut mindre strømmer fra dampturbinene 53 og 54 i henholdsvis linjer 72 og 73, og varmeveksle disse strømmene med en sidestrøm av strømmen i linje 70 og anvende disse for oppvarming av vannet i varmevekslerne 74 og 75. Oppvarmet vann fra henholdsvis varmevekslerne 17 og 74, blir ledet inn i linje 4 og inn for avkjøling av forbrenningskammeret.

Gassen i forbrenningskammeret 6 blir avkjølt ved denne produksjonen av damp slik at arbeidstemperaturen i forbrenningskammeret blir holdt i området 700 til 900 °C, typisk i området fra 800 til 850 °C. Foretrukket blir mer enn 50 %, mer foretrukket mer enn 60 %, og aller helst mer enn 70 % av varmeenergien fra forbrenningen i forbrenningskammeret tatt ut som varm damp i kjølingen av forbrenningskammeret.

Den meget store mengden varme som blir fjernet fra forbrenningskammeret sikrer at det meste av oksygenet i avgassen kan bli benyttet uten at temperaturen blir uakseptabelt høy. Dette gir en høy konsentrasjon av CO₂ i eksosgassen, forbruk av relativt små mengder luft i forhold til energien som blir produsert, og derved den betydelige fordelene at et relativt lite volum strøm eksogass som må bli renset. Når det meste av den elektriske energien blir fremstilt i effektive dampturbiner, blir varmelasten på de kritiske gass-gass varmevekslerne 8 og 11 betydelig redusert, noe som gir reduserte dimensjoner og enklere konstruksjon. Den lave temperaturen og reduserte varmelast vil også bety at man har færre problemer med varmeekspansjon og korrosjon enn ved

høyere temperaturer og varmelast. Kostnadene ved anlegg og vedlikehold kan derved bli redusert, samtidig som mer energi blir produsert og rensing av eksosgassen blir forenklet uten et stort tap av elektrisk effektivitet. Videre forbedringer kan bli oppnådd ved reduksjon av temperaturen i strøm 10A og i stedet erstatte varmeveksler 8 eller den 5 varme innløpsdelen av varmeveksler 8 med en etterbrenner.

Med referanse til figurene 1 og 4, blir eksosgassen fra forbrenningskammeret 6 ledet gjennom et eksosgassrør 10, gjennom en eller flere gass-gass varmevekslere 8, 11 og en trimkjøler 12, hvor utløpgassen blir avkjølt før den blir ledet inn i en kontaktanordning 10 13 hvor gassen blir brakt i kontakt med et absorpsjonsmiddel. Trykket i kontaktanordningen 13 ligger nær trykket i forbrenningskammeret 6 da trykket kun er redusert tilsvarende til fallet gjennom varmevekslerne 8, 11 og trimkjøleren 12.

Vandamp, som er et resultat av forbrenningen i forbrenningskammeret 6 og som blir 15 kondensert under avkjølingen av eksosgassen gjennom varmevekslerne, blir separert i en vannseparator 50 før kontaktanordningen 13. Vann kan fortynne og på andre måter skade adsorpsjonsmiddelet i kontaktanordningen.

I de vedlagte figurene er varmevekslerne 8, 11 to varmevekslere som er forbundet i 20 serie. Antallet varmeveksler i serie og /eller i parallell og dimensjonering av disse er avhengige av den aktuelle dimensjoneringen og designet til et aktuelt anlegg og kan derfor variere fra anlegg til anlegg. Et typisk anlegg kan inneholde fra to til fire varmevekslere i serie. Temperaturen i kontaktanordningen 13 er avhengig av adsorpsjonsmiddelet og er et kompromiss mellom lav temperatur som gir høy 25 oppløselighet, og høyere temperatur som fremmer reaksjoner som er forbundet med adsorpsjonsprosessen. Typiske temperaturer er under 20 °C for vann, 60 °C for aminer og 70 til 100 °C ved anvendelse av uorganiske oppløsninger, slik som kaliumkarbonat.

Det foretrukne adsorpsjonsmiddelet er fluider slik som vann, en aminopløsning eller 30 en uorganisk vandig oppløsning sli som en karbonatopløsning som kan absorbere relativt store mengder CO₂ ved høyt trykk og høyt partialtrykk av CO₂.

Absorpsjonsmiddelet i kontaktnordningen 13 løper fortrinnsvis nedover en stor indre overflate motstrøms for gassen.

5 Kontaktnordningen blir foretrukket drevet ved et forhøyet trykk, for eksempel over 8 bar, mer foretrukket over 10 bar. Trykket kan også være høyere, slik som for eksempel over 15 eller 20 bar.

10 Gassen fra eksosgassen som ikke blir absorbert i oppløsningsmiddelet blir ledet kontaktnordningen gjennom et gassrør 14, gjennom varmevekslere 11, 8 hvor gassen bli oppvarmet før den blir ekspandert i turbin 15, 15' slik at energien er i stand til å bli benyttet i den varme høytrykksgassen videre i prosessen. Medført oppløsningsmiddel fra absorpsjonskolonne 13 kan bli fjernet i en ikke vist skrubber i linje 14B.

15 Vann fra vannseparatoren 50 blir foretrukket tatt ut gjennom en linje 52, pumpet av en pumpe 51 og ledet, sammen med den rensede gassen, inn i linje 14. Vannet blir avdampet ved oppvarmingen av den rensede gassen og tilfører gassen en del av massen som har blitt fjernet ved kondenseringen av vann og rensing, og øker således varmekapasiteten til gassen. Varmekapasiteten og massen av gass i linje 14 blir foretrukket også øket ved tilsetning av avgass fra linje 7 som illustrert i figurer 1 og 4.

20 Effektiviteten kan også bli øket ved innsetting av en kompressor i linje 14, mellom kontaktnordningen 13 og varmevekslerne 11, 8. Denne kompresjonen varmer opp gassen, en varme som igjen kan bli tatt ut senere og det kan gjøre det mulig å tillate et større trykkfall i varmevekslerne. Således er det mulig å oppnå en bedre
25 varmeoverføring på et mindre areal, noe som gjør det mulig å benytte billigere varmevekslere.

30 Det kan også være relevant å kompensere for redusert massestrøm på grunn av CO₂ som er fjernet, ved å tilføre en mindre komprimert gasstrøm som er tatt ut fra omgivelsesluften, kjøle denne gassen ned slik at varme ikke går tapt, for eksempel ved forvarming av noe av kondensatet for kondenser 60, og lede denne inn i den rensede gassen før varmeveksleren 11. Det er foretrukket at gassen har omkring den samme

temperatur som gassen i linje 14 og kjøling skal derfor tilpasses ifølge dette. Et ytterligere alternativ er å separere denne luften i en oksygenrik strøm og en oksygenfattig strøm ved anvendelse av for eksempel membraner. Den oksygenrike fraksjonen blir tilsatt til strøm 14. Varmekapasiteten og massen i linje 14 kan også bli øket ved tilsetning av ekstra vann fremskaffet fra kondenseringen av vanndamp i linje 41.

Det er foretrukket at turbin 15 er mer enn en turbin, slik som, for eksempel to turbiner, 15 og 15', forbundet i serie, hvor en linje 14' fører gassen som er delvis ekspandert i turbin 15 til turbin 15'.

Det kan være foretrukket at kompressor 2' og turbin 15' er anordnet på en felles aksling 40' og at kompressoren 2' og turbinen 15' er tilpasset slik at den kinetiske energien fra turbinen 15' er akkurat tilstrekkelig til å drive kompressoren 2'. Kompressor 15 er anordnet på en aksling 40 sammen med kompressor 2 og en generator 16. Den kinetiske energien fra turbin 15 er store en det som trenges for å drive kompressoren 2 og den gjenværende kinetiske energien blir derfor benyttet for å fremstille elektrisitet i en generator 16 som er plassert på den samme akslingen. Generatoren arbeider som en motor i oppstartsfasen for anlegget. Den kinetiske energien kan, hvis nødvendig, naturligvis også bli benyttet for andre formål, slik som for eksempel en resirkuleringspumpe for kokevann, en vakuumpumpe, en kompressor for den anrikede CO₂, eller en kombinasjon av disse.

Det er også mulig at en eller flere kompressor- og turbinsystemer 2 og 15 kan være anordnet parallelt.

Fra turbin 15, blir den ekspanderte gassen fra turbinen 15 ledet gjennom en varmeveksler 17 hvor den gjenværende varmen i gassen blir benyttet for en passende anvendelse i anlegget. I den viste utførelsesformen blir denne varmen benyttet for å varme vannet i linje 4.

I den viste anordningen blir oppløsningsmiddelet inneholdende CO₂ ledet fra kontaktnanordningen 13 via et rør 19, via en varmeveksler 20 og en ekspansjonsanordning (ikke vist) inni en desorpsjonsanordningen 18. Trykket i desorpsjonsanordningen 18 er avhengig av valget av adsorpsjonsmiddel, mengden av absorbert CO₂ og behovene for regenerering. Trykket vil normalt være lavere enn trykket i kontaktnanordningen 13 og vil normalt være mellom 0.2 og 1 bar over omgivelsestrykket.

For å øke frigivningen av absorbert gass fra absorbenten i desorpsjonsanordningen, vil en del av absorbenten normalt bli fjernet i bunnen av desorpsjonsanordningen og bli ledet i et sirkulasjonsrør 44 gjennom en sirkulasjonsvarmer 22, hvor adsorbenten blir oppvarmet før den blir ledet tilbake til desorpsjonsanordningen 18. Varmeenergi til sirkulasjonsvarmeren 22 kan bli tatt fra et annet sted i anlegget, for eksempel ved at en strøm av damp blir tatt ut ved et passende trykk og temperatur fra lavtrykksturbinen 57 og ledet i en linje 76 til varmeveksleren 22 hvor strømmen i sirkulasjonsrøret 44 blir oppvarmet av den varmere strømmen i linje 76. Strømmen som har blitt tatt ut i linje 76 blir kondensert i varmeveksleren og blir pumpet videre til en vanntank 66 av en pumpe 77. For eksempel, kan 10 til 20 kg damp/s bli tatt ut i linje 76 ved en temperatur på 200 °C og et trykk på 2.4 bar.

Energibehovet for denne sirkulasjonsvarmeren er minimalisert da kontaktnanordningen 13 blir drevet ved et høyt partialtrykk av CO₂ i den innkommende gassen. Samtidig har dampen som blir benyttet en lav verdi da den allerede er delvis ekspandert over høytrykks- og mellomtrykksturbiner 53 og 54.

CO₂-rik gass som blir frigitt i desorpsjonsanordning 18 blir fjernet fra toppen av denne og blir så fortrinnsvis ledet gjennom en kondenser 23, hvor den blir avkjølt, og en væskeseparator 24, før den blir ledet gjennom et CO₂-rør 25 som en CO₂-rik gasstrøm. Væske som blir separert ut i væskeseparatoren 24 blir returnert til desorpsjonsanordningen gjennom et væskeledningsrør 26.

Regenerert absorbent fra bunnen av desorpsjonsanordningen 18 blir fjernet og pumpet gjennom et resirkuleringsrør 43, avkjølt i en varmeveksler 20, og eventuelt ytterligere varmevekslere, før den blir returnert til absorpsjonsanordningen 13.

- 5 Den CO₂-rike gasstrømmen fra væske-separatoren 24 blir ledet til et kompressorsystem 28 gjennom et CO₂-ledningsrør 25, nevnte kompressorsystem omfatter et antall kompresjonstrinn i hvilke gassen blir komprimert på en slik måte at den kan bli lagret, transportert, deponert på en sikker måte eller bli solgt. Komponentene og konstruksjonen av dette kompressorsystemet er av en konvensjonell type og vil ikke bli
- 10 beskrevet ytterligere her. Denne CO₂-rike gasstrømmen vil typisk inneholde fra omkring 80 –95 %, og foretrukket mer enn 90 %, av den totale CO₂ fra avgasstrømmen 1 og fra forbrenningskammeret 6 ifølge design- og kontrollparametere til anlegget.
- 15 Gassen som blir ledet ut i et rør 14 fra kontaktnanordningen 13 har et lavt CO₂-innhold, typisk omkring 10 % av den totale CO₂ fra avgasstrømmen 1 pluss CO₂ produsert i in forbrenningskammeret 6. Som nevnt ovenfor, blir denne gassen tilsatt vann som tidligere har blitt fjernet fra eksosgassen i vannseparator 50. Dette vannet blir pumpet av en pumpe 51 gjennom en linje 52 inn i linje 14 og vannet og gassen i linje 14 blir
- 20 deretter varmet ved varmeveksling mot den varme eksosgass i varmevekslere 11 og 8 før den blir ekspandert over turbinene 15,15'.

Et essensielt trekk ved foreliggende fremgangsmåte og anordning er at en betydelig del av varmeenergien fra forbrenningen i forbrenningskammeret 6 blir tatt ut som damp

25 som blir benyttet for å drive dampturbinene 53, 54 og 57. Ved at en betydelig del av varmeenergien blir tatt ut som damp, et trekk som skiller seg vesentlig fra konvensjonelle løsninger, blir temperaturen i forbrenningskammeret og følgelig i eksosgassen fra forbrenningskammeret moderat og tilpasset til drift av gassturbinen, og forbrenningskammerets trykkskall blir ytterligere avkjølt, til tross for nesten fullstendig

30 forbrenning av oksygeninnholdet i luften og derved produksjon av et høyt partialtrykk av CO₂. Dette fører til betydelig lavere last og derved krav til varmeveksleren 8, som vil være en svak del i anlegget hvor mesteparten av energien blir tatt ut i gassturbiner

drevet av eksosgassen fra forbrenningen. Dette er illustrert her ved tabell 1 som gir noen få viktige måleverdier for et anlegg ifølge foreliggende oppfinnelse.

Eksempel 1 – CO₂-fjerning fra et ett-trinns gasskraftverk

5 Figur 2 illustrerer et ett-trinns termisk gasskraftverk 100. Naturgass blir tatt ut fra gassinnløp 9 (fig. 1) etter oppvarming i varmeveksler 80, ført til kraftanlegget 100 i en linje 81 og introdusert i et forbrenningskammer 105.

Luft blir introdusert i systemet gjennom et luftinntak 101, komprimert i en kompressor
10 102 og ført til forbrenningen via en linje 103. Forbrenningsgassene fra forbrenningskammeret 105 blir fort gjennom en linje 106 til en gassturbin 107, hvor gassen blir ekspandert. Forbrenningskammeret 105 og linje 106 er illustrert som separate enheter, men er normalt integrert i gassturbinen 107. Kompressor 102, gassturbin 107 og en generator 109 for generering av elektrisk kraft er foretrukket
15 montert på en felles aksling 108.

Den ekspanderte forbrenningsgassen fra gassturbinen 107 blir ledet gjennom en linje 110 via varmevekslere illustrert ved varmeveksler 111 og trimkjøler 112 før den avkjølte forbrenningsgassen blir introdusert i en vannseparator 113. I vannseparatoren,
20 blir vann som er produsert ved forbrenning, separert fra forbrenningsgassen og fjernet gjennom en linje 114. Dette vannet kan bli benyttet for å øke massestrømmen og varmekapasiteten i linje 14 på figur 1. Avgassen blir så delt inn i en resirkuleringslinje som blir introdusert inn i luftinntaket 101. Resirkulasjonen, som kan være opp til 40 % av den totale strømmen gjennom turbinen, tillater en høyere massestrøm gjennom
25 kompressor- og turbinsystemet 102 og 107, enn gjennom kompressor 2 på figur 1. Dette tillater at de to systemene arbeider sammen og øker den totale effektiviteten til systemet. Den gjenværende avgassen i linje 1 blir introdusert i det termiske kraftanlegget og CO₂-fjerningsenhet som beskrevet over og illustrert i figur 1. Avgassen har et rest O₂-nivå på omkring 10 til 14 vol%.

30 Varme i forbrenningsgassen som forlater gassturbinen 107, blir benyttet for oppvarming av vann/fremstille damp for dampturbinene 53, 54 og/ eller 57 (figur 1). En del av

vannet i linje 59 (figur 1) blir tatt ut i en linje 83 og pumpet ved hjelp av en pumpe 85 gjennom en linje 85 inn i en vanntank 118. Vannet i tanken 118 blir pumpet med en pumpe 117 gjennom en linje 116 og oppvarmet i varmeveksleren 111 ved avkjøling av forbrenningsgassen i linje 110. Det varme vannet / dampen som forlater varmeveksleren 111 blir fort i en linje 82 og introdusert i vanntilførselslinje 4 (figur 1), eller alternativt direkte inn i en supervarmer i forbrenningskammeret 6 (figur 1) og så blandet med høytrykksdampen 5. Varmeveksleren 111 kan bestå av flere varmevekslere i serie, hvor den varmeste blir avkjølt ved fordampning av vann under høyt trykk og de kaldere blir avkjølt ved fordampning av vann under lavere trykk. Den fremstilte lavtrykksdampen fremstilt her kan så bli superoppvarmet i kokere 6 (figur 1) og eller benyttet direkte i dampturbiner 53, 54 eller 57 (figur 1). Dette øker varmen i strøm 110, uten at det gir problemer forårsaket av temperaturkryss i varmevekslerne.

Tabell 1 gir typiske trykk, temperaturer, mengder og effekter på forskjellige steder i et kraftanlegg som inkluderer et termisk gasskraftanlegg ifølge figur 2 og et kombinert termisk kraftanlegg og CO₂-fjerningsenhet ifølge figur 1.

Tabell 1. Trykk, temperatur, mengde og effekt for forskjellige enheter / på forskjellige steder i et 100 MW anlegg.

20

Ref. nr.	Trykk (bar)	Temperatur (°C)	Mengde (kg/s)	Effekt (MW)
1	1.013	20	89	
3'A	4	180	89	
3'	4	140	89	
3	12	300	79	
4	190	360	46	
4'	44,5	350	46	
5	160	540	46	
5'	39	540	46	
6	12			
7	12	40	10	
9A	33	260	2.6	
10A	12	850	81.6	
10C		78	81.6	
14A		830	80.6	
14B			65.6	
16				13
25			11	

41A	1.013	400	80.6	
41		85	80.6	
50	12	70		
52			5	
56	10			
58				66
59	0.03	24	40	
59A			17	
66	34	230		
68A		90	10	
68B		170	10	
72			< 0.5	
73			< 0.5	
76	2.4		6	
81	33	260	2.1	
82	190	415	22	
85		24	22	
101	1.013	15	90	
103	33	540		
105		1100-1200		
106	33	1175		
109				43
110		450		
114			3	

Resirkulering i linje 115 i eksempelet er 30 % av den totale forbrenningsgassen.

Eksempel 2 – CO₂ – fjerning fra et totrinns gasskraftanlegg

Figur 3 illustrerer et totrinns termisk gasskraftverk. Elementene som tilsvare

- 5 elementene beskrevet i eksempel 1 og illustrert i figur 2 har de samme referansetall og er ikke beskrevet igjen her uten at det er ansett som nødvendig.

Avgassen som forlater det første trinnet tilsvarende til det termiske gasskraftverket i figur 2, blir delt i en resirkulasjonslinje 115 , som i figur 2, og en andre luftlinje 120.

- 10 Eksosgassen fra det første trinnet i den sekundære luftlinjen 120 blir introdusert i det andre trinnet, komprimert i en kompressor 121 og ledet til et forbrenningskammer 123 via en linje 122. Naturgass i linje 81 blir introdusert gjennom linje 81B som ytterligere brensel inn i forbrenningskammeret 123.

- 15 Forbrenningsgassene fra forbrenningskammeret 123 blir ledet gjennom en linje 124 til en gassturbin 126, hvor gassen blir ekspandert. Forbrenningskammeret 123 og linje 122

r illustrert som separate enheter, men er normalt integrert i gassturbinen 126.

Kompressoren 121, gassturbinen 126 og en generator 127 for generering av elektrisk kraft er fortrinnsvis montert på en felles aksling 125.

- 5 Den ekspanderte forbrenningsgassen fra gassturbinen 126 blir ledet gjennom en linje 128 via varmevekslere illustrert ved varmeveksler 129 og trimkjøler 130 før den avkjølte forbrenningsgassen blir introdusert i en vannseparator 131. I vannseparatoren blir vann som er produsert som et resultat av forbrenningen, separert fra forbrenningsgassen og fjernet via en linje 132. Den gjenværende avgassen blir delt i en
- 10 resirkulasjonslinje 133, og introdusert i luftinntaket 120 og en avgasslinje 1. Resirkuleringen som kan være opp til 40% av den totale strømmen gjennom turbinen, tillater en høyere massestrøm gjennom turbinsystemene 107 og 126, enn gjennom kompressor 2 på figur 1. Dette tillater at de to systemene arbeider sammen og øker totaleffektiviteten til systemet. Avgassen i avgasslinjen blir introdusert id et kombinerte
- 15 termiske kraftanlegget og CO₂-fjerningsenheten som beskrevet over og illustrert i figur 1. Avgassen har et rest O₂-nivå på omkring 10 vol%.

- Varmen i forbrenningsgassene som forlater gassturbinene 107 og 126 blir benyttet for å varme vann / produsere damp for dampturbinene 53, 54 og 57(figur 1). En del av vannet
- 20 in linje 59 (figur 1) blir tatt ut in a linje 83 og pumpet ved hjelp av en pumpe 84 via en linje 85 inn i en vanntank 118. Vannet i tanken 118 blir pumpet av en pumpe 117 via en linje 116, blir delt i to linjer, en til varmeveksleren 111 idet første trinnet, og den andre til varmeveksleren 129 i det andre trinnet. Vannet blir oppvarmet og damp produsert i varmevekslerne 111 og 129 ved avkjøling av forbrenningsgassene i henholdsvis
- 25 linjer 110 og 128. Det varme vannet/dampen som forlater varmevekslerne 111 og 129 blir ledet i linjer 82A og 82B inn i linje 82 og blir introdusert i vanntilførselslinje 4 (figur 1). Hver av varmevekslerne 111 og 129 kan bestå av mer enn en varmeveksler, for eksempel tre i serie. Den varmeste av disse blir avkjølt av fordampning av vann under høyt trykk, og den kaldeste blir avkjølt ved fordampning av vann under lavere
- 30 trykk. Lavtrykksdampen produsert her kan bli superoppvarmet i kjel 6 (figur 1) og / eller benyttet direkte i dampturbiner 53, 54 eller 57 (figur 1). Dette øker broken av

varme i strøm 110 og 128, uten å forårsake problemer relatert til temperaturkryssing i varmevekslerne.

5 Tabell 2 gir typiske trykk, temperaturer, mengder og effekter på forskjellige steder i et kraftanlegg som inkluderer et termisk kraftanlegg ifølge figur 3 og et kombinert termisk kraftanlegg og CO₂-fjerningsenhet ifølge figur 1.

10 Tabell 2. Trykk, temperatur, mengde og effekt for forskjellige enheter / på forskjellige steder i et 100 MW anlegg.

Ref. nr.	Trykk (bar)	Temperatur (°C)	Mengde (kg/s)	Effekt (MW)
1	1.013	20	88	
3'A	4	180	88	
3'	4	140	88	
3	12	300	78	
4	190	360	48	
4'	39	275	48	
5	160	460	48	
5'	39	460	48	
6	12			
7	12	40	10	
9A	33	260	2.3	
10A	12	850	80.3	
10C		78	80.3	
14A		830	79	
14B			64.3	
16				12.5
25			11.4	
41A	1.013	400	79	
41		190	79	
50	12	70		
52			4.6	
56	10			
58				62
59	0.03	24	42	
66	34	200		
68A		69	7	
68B		175	7	
72			< 0.5	
73			< 0.5	
76	2.4		6	

Ref. nr.	Trykk (bar)	Temperatur (°C)	Mengde (kg/s)	Effekt (MW)
81	33	260	2.8	
81A	33	260	1.45	
81B	33	260	1.35	
82	190	380	31.4	
82A	190	380	15	
82B	190	380	16.4	
85		24	31.4	
101	1.013	15	90	
103	33	540	90	
105		1100-1200		
106	33	1155		
109				29
110		435		
114			1.8	
120	1	20	89.65	
122	33		89.65	
123	33	1100-1200	91	
124	33	1113	91	
127				26
128	1	420	91	
132	1	20	2.8	

Resirkulasjon av de totale forbrenningsgasser i linjer 115 og 133 er 0% i eksempelet.

Eksempel 3 – CO₂-fjerning fra et termisk kullfyrt kraftanlegg

Et eksempel på et anlegg er illustrert i figurene 4 og 5. Figur 4 illustrerer et kombinert termisk gasskraftverk og CO₂-fjerningsenhet, og figur 5 illustrerer et kullfyrt termisk kraftanlegg for sammenkopling med anlegget i figur 4.

Anlegget ifølge figur 4 tilsvarer anlegget i figur 1 hvor linjer 81, 82, 83, 85 og pumpen 84 er fjernet og linjer 87A og 87B og en varmeveksler 86 er satt inn. Varmeveksleren 86 varmer innkommende vann i linje 87A og kjøler eksosgassen i linje 41. Det oppvarmende vannet forlater varmeveksleren i linje 87B.

Karbonbrensel blir introdusert fra en kullinje 150 inn i et forbrenningskammer 149 hvor kullet blir forbrent ved introduksjon av luft fra en lufttilførselslinje 151. Luften i lufttilførselslinjen blir fortrinnsvis forvarmet ved varmeveksling i en varmeveksler 152

mot den varme forbrenningsgassen som forlater forbrenningskammeret 149 i
forbrenningslinje 153.

5 Forbrenningsgassene som forlater varmeveksleren 152 blir ytterligere avkjølt i en
varmeveksler 154 og en trimkjøler 155 før forbrenningsgassene blir introdusert i en
skrubber 156 hvor gassene blir skrubbet med vann for fjerning av faststoff og støv. Den
skrubbede avgassen forlater skrubberen gjennom en avgasslinje 1 og introdusert til
anlegget illustrert i figur 4. Ytterligere luft blir foretrukket introdusert i linje 1 fra en
lufttilførselslinje 164 for å øke prosentdelen O_2 i linjen 1. Avgassen i avgasslinje 1 blir
10 benyttet som oksygeninnholdende gass i linje 1 i figur 4.

Vann for skrubbing of avgassen blir fjernet fra skrubberen 156 i en linje 157 sammen
med faststoffene og støvet fjernet fra gassen, pumpet ved hjelp av en pumpe 158
gjennom en linje 159, filtrert i en filterenhet 161 før vannet blir reintrodusert i
15 skrubberen gjennom en linje 162. Overskudd av vann som er resultat av forbrenningen i
forbrenningskammeret, blir fjernet fra resirkulasjonen i en linje 160.

Forbrenningskammeret blir avkjølt av varmt vann og damp i varmespiraler 165, 166 i
forbrenningskammeret. Vann for produksjon av varmt vann og damp blir tatt ut fra en
20 vanntank 177 gjennom en linje 178, pumpet av en pumpe 179 via varmevekslere 174,
176 og ledet via en linje 167 til den første varmespiralen 166 hvor det blir produsert
damp.

Damp som forlater varmespiralen 166 via en linje 168 blir ekspandert i en dampturbin
25 171. Den ekspanderte dampen blir returnert via en linje 169 til en andre varmespiral 165
inni forbrenningskammeret 149 hvor den blir oppvarmet igjen. Den gjenoppvarmede
dampen forlater varmespiralen 165 i en linje 179 som fører til en andre dampturbin 172
hvor dampen blir ekspandert igjen. Den ekspanderte dampen fra dampturbin 172 blir
ledet gjennom en linje 183 til en dampturbin 181 hvor dampen blir ekspandert
30 ytterligere.

En mindre del av dampen fra dampturbinen 172 blir ledet gjennom en linje 188 direkte inn i vanntanken 177 for å gi den korrekte massebalansen i systemet. Mengden er tilstrekkelig til å holde temperaturen ved kokepunktet, pluss en liten ekstra strøm for å fjerne flyktige gasser fra kjelvannet, selv om slik ekstra strøm ikke er vist i tabellene 1, 2 og 3.

Dampturbinene 171, 172 og 181 er fortrinnsvis montert på en felles aksling som driver en generator 182 for generering av elektrisitet. Fullt ekspandert damp/vann blir trukket ut fra turbinen 181 via en linje 184, mens noe delvis ekspandert vann / damp blir tatt ut fra turbinen i en linje 189.

Vanndampen i linje 184 blir kondensert i en varmeveksler 185 som mottar kjølevann fra en passende kilde. Kondensatet blir så pumpet ved hjelp av en pumpe 186 og oppvarmet i en varmeveksler 187 mot delvis ekspandert damp / vann i linje 189. Det delvis oppvarmede vannet blir deretter oppvarmet videre i varmeveksler 154, hvor den blir varmevekslet mot den delvis avkjølte forbrenningsgassen i linje 153 før den blir ledet inn i en linje 8A til varmeveksleren 86 (figur 4). Det varme vannet / dampen som blir tatt ut fra turbinen 181 i linje 189 blir pumpet ved hjelp av en pumpe 190 inn i linje 87A som forlater varmeveksleren 187.

Vannet i linje 87A som har blitt oppvarmet i varmeveksler 86 blir returnert inn i vanntanken i linje 87B.

Varmevekslere 174 og 176 mottar damp fra turbin 171 via en linje 173, henholdsvis turbin 172 via linje 175. Dampen i linjer 173 og 175 blir etter avkjøling og kondensering i varmevekslerne 174 og 176 ledet til vanntanken 177.

Tabell 3 angir typiske trykk, temperaturer, mengder og effekter på forskjellige steder i et kraftanlegg som inkluderer et termisk kullkraftverk ifølge figur 5 og et kombinert termisk kraftanlegg og CO₂-fjerningsenhet ifølge figur 4.

Tabell 3. Trykk, temperatur, mengde og effekt for forskjellige enheter / på forskjellige steder i et 100 MW anlegg.

Ref. nr.	Trykk (bar)	Temperatur (°C)	Mengde (kg/s)	Effekt (MW)	Sammensetning vol %
1	1.013	20	91		12 (O ₂) 5 (CO ₂)
3	12	300	83		
4	190	315	27		
4'	45	330	26		
5	180	540	27		
5'	39	540	26		
7	12		8		
9	12	15	2.5		
10A	12	870	85		
14A	11	845	82		
14B	11.5	70	68		
16				13	
25			11.3		100 (CO ₂)
41	Omkring 1	84	82		
41A	Omkring 1	410	82		
52			5		
56	10		25.8		
58				33	
59	0.03	25	13.2		
63	0.2		0.6		
66	25	175			
68A	25	58	13.8		
68B	25	135	13.8		
70A	190		4		
70B	190		23		
72	45	330	1		
73			0.2		
76	2	205	12		
87A	20	75	33		
87B	20	135	33		
151	1	15	60		
151A	1	370	60		
160			4		
163	1	30	59		8 (O ₂) 10 (CO ₂)
164	1	15	32		21 (O ₂)
167	190	215	38		
168	160	540	38		
169	44.5	350	37		
170	39	540	37		
173	44.5	350	1		

Ref. nr.	Trykk (bar)	Temperatur (°C)	Mengde (kg/s)	Effekt (MW)	Sammensetning vol %
175			1		
177	20	175			
182				55	
183	10	350	33		
184	0.03	25	32.5		
184A		33	32.5		
188			3		
189		60	0.5		

Konfigurasjonen ifølge figurine og de beskrevne utførelsesformene ifølge foreliggende oppfinnelse kan bli variert med hensyn på varmevekslere, pumper, etc, uten at dette medfører at en forlater det oppfinneriske konseptet. Elementer som er vist her med ett symbol kan være en kombinasjon av tilsvarende eller forskjellige som sammen gir den foretrukne og ønskelig funksjon. Det som har blitt illustrert som varmevekslere kan således være en kombinasjon av varmevekslere. Likeledes, kan et anlegg omfatte flere elementer som ikke er beskrevet her, slik som ytterligere varmevekslere for å ta vare på mindre mengder energi, pumper eller trykkreduserende ventiler for å regulere trykket i visse elementer etc.

Tilsvarende, under engineeringen og optimaliseringen av et bestemt anlegg, vil man også kunne avvike fra detaljer i den beskrevne masse- og energistrømmen.

Linje 7 kan alternativt bli tilført luft direkte fra kompressorene 2, 2' eller fra en separat kompressor (ikke vist).

En høytemperaturs varmeveksler må ikke bli avkjølt og oppvarmet gjentatte ganger dersom den også skal virke som en trykkbeholder. Derfor kan det være fordelaktig at varmevekslere, dvs.. varmevekslerne i hvilke noen av strømmene er over 350°C, er konstruert med et ytre trykkskall og en indre skall mellom hvilke det strømmer et kjølemedium, slik som CO₂ eller nitrogen, på samme måte som for forbrenningskammeret. Alternativt kan beholderen rundt varmeveksleren bli avkjølt direkte eller indirekte med kjølevann som kjølemiddel. Et ytterligere alternativ er å bygge varmevekslere inni det trykksatte forbrenningskammeret, hvor det ikke trenger å virke

som et trykkammer. Det vil også være mulig å eliminere den varme varmeveksleren, og i stedet oppnå den ønskede temperaturen ved anvendelse av et lite forbrenningskammer umiddelbart oppstrøms for ekspansjonsturbinen.

- 5 Det kan også være relevant å utføre andre spesifikke konstruksjonsmessige justeringer på noen av elementene, spesielt for å forbedre driftssikkerheten, redusere byggekostnadene og redusere faren for slitasje og derved forbundne feil. Det kan således være relevant å benytte kjølegass, slik som CO₂ for å avkjøle skillet til forbrenningskammeret 6 og andre varme elementer slik som varme varmevekslere, for
- 10 eksempel varmeveksler 8. Denne varmeenergien i denne kjølegassen kan bli benyttet ved at den blir tilført til varmevekslerne for oppvarming av steder i prosessen hvor det er nyttig å benytte lavtemperatur energi, spesielt angår dette forvarming av vann til forbrenningskammeret. Avkjøling av trykksatt forbrenningskammer og trykksatte varmevekslere til en skalltemperatur lavere enn 350 °C gir muligheten til å bruke
- 15 strekkfaste, lavlegerte og rimelige stålkvaliteter. Systemet kan også bli benyttet for å varme opp disse elementene før oppstart av anlegget. Dette reduserer varmespenninger og reduserer risikoen for sprekkdannelse i trykkskall og rør.

- Det kan videre være relevant å modifisere avkjølings- og kondensasjonssystemet mellom forbrenningskammeret og CO₂-absorpsjonseenheten for å rense gassen med
- 20 hensyn til NO_x, SO_x (svovelforbindelser), tunge hydrokarboner som har blitt oksidert i forbrenningsprosessen og faste partikler. Slik rensing blir typisk utført i skrubbeenheter med sirkulerende væske, slik som vann. Væsketilførsel, slik som vann fra nedstrøms avkjølings- og kondenseringsprosesser, metter gassen og sikrer at væsken ikke blir
- 25 fjernet ved fordampning. En sidestrøm fra sirkulasjonsvæsken bærer kontaminanter bort fra prosessen

- Nedstrøms for rensesystemet blir gassen avkjølt og vanddamp kondenserer. Varme blir fjernet ved fordampning av vann i den rensede gassen, muligens ved anvendelse av et
- 30 kjølemiddel slik om eksternt kjølevann. Slik varmeveksling faseendring gir spesielle problemer med hensyn til temperaturforskjeller mellom den varme og kalde siden av veksleren (pinch-problemer). Det kan være relevant å anvende spesialdesign for denne

kondensasjons- og gjenfuktingsprosessen, slik som en enkel beholder som inneholder varmevekslerne. Dette vil tillate sirkulerende vann i den CO₂-rike gasstrømmen hvor kondensasjonen skjer samtidig som varme fjernes. Det vil også tillate sirkulerende vann i den CO₂-fattige (rensede) gassen hvor fordampning eller gjenfukning skjer samtidig som varme tilføres. Sirkulerende vann forbedrer effektiviteten når vann blir kondensert fra eksosgassen under avkjøling, eller når vann blir fordampet inn i den rensede eksosgassen som blir oppvarmet.

I tillegg kan det være relevant å anvende en skrubber med sirkulerende væske, slik som vann, i gasstrømmen umiddelbart nedstrøms for CO₂-absorpsjonskolonnen. Denne fjerner CO₂-absorberende kjemikalier til et meget lavt restnivå, forhindrer at slike kjemikalier slipper ut til atmosfæren via gassturbinssystemet.

Det kan også være relevant å øke massestrømmen gjennom gassturbinene ved å tilsette ekstra vann til eksosgassen nedstrøms for CO₂-absorpsjonskolonnen. Dette vannet kan bli tatt fra den ekspanderte eksosgassen nedstrøms for gassturbinene, etter avkjøling og varmegjenvinning fra denne gassen. Vannet blir fremskaffet ved ytterligere kjøling og kondensering av vanndamp i gassen. Dette kan bli oppnådd i en skrubber med sirkulerende vann. Overskudd av varme blir fjernet ved ekstern kjøling av det sirkulerende vannet ved bruk av et passende kjølemiddel.

P a t e n t k r a v

1.

Fremgangsmåte for separasjon av CO₂ fra forbrenningsgassen fra et termisk kraftverk (100) fyrt med fossilt brensel, k a r a k t e r i s e r t v e d a t

5 fremgangsmåten omfatter de følgende trinn;

a) avkjøling og blanding av forbrenningsgassen fra det termiske kraftverket (100) med luft;

b) komprimering av blandingen av forbrenningsgass og luft;

c) gjenoppvarming av den komprimerte gassen fra trinn b) ved anvendelse av
10 denne komprimerte gassen som oksygeninnholdende gass for forbrenning av naturgass i et trykksatt forbrenningskammer (6) for å danne en eksosgass;

d) regulering av tilførselen av naturgass og oksygeninnholdende gass i forbrenningskammeret (6) slik at eksosgassen inneholder mindre enn 6% restoksygen;

e) holde temperaturen i eksosgassen mellom 700 °C og 900 °C ved

15 generering av damp i rørformede spiraler (21, 21') i forbrenningskammeret;

f) avkjøling av eksosgassen og bringe den i kontakt med en absorbent som absorberer CO₂ fra eksosgassen for å danne en CO₂-fattig strøm og en absorbent med absorbert CO₂;g) oppvarming av den CO₂-fattige strømmen ved hjelp av varmeveksling mot
20 den varme eksosgassen som forlater forbrenningskammeret; ogh) ekspansjon av den oppvarmede CO₂-fattige strømmen i turbiner.

2.

Fremgangsmåten ifølge krav i, k a r a k t e r i s e r t v e d a t

25 absorbenten benyttet i trinn f) med absorbert CO₂ blir regenerert for å danne en CO₂-rik strøm og regenerert absorbent.

3.

Fremgangsmåten ifølge krav 1 eller 2, k a r a k t e r i s e r t

30 v e d a t strømmen generert ved avkjøling av det trykksatte forbrenningskammeret (6) i trinn e) blir ekspandert i turbiner (53, 54) for å generere kraft.

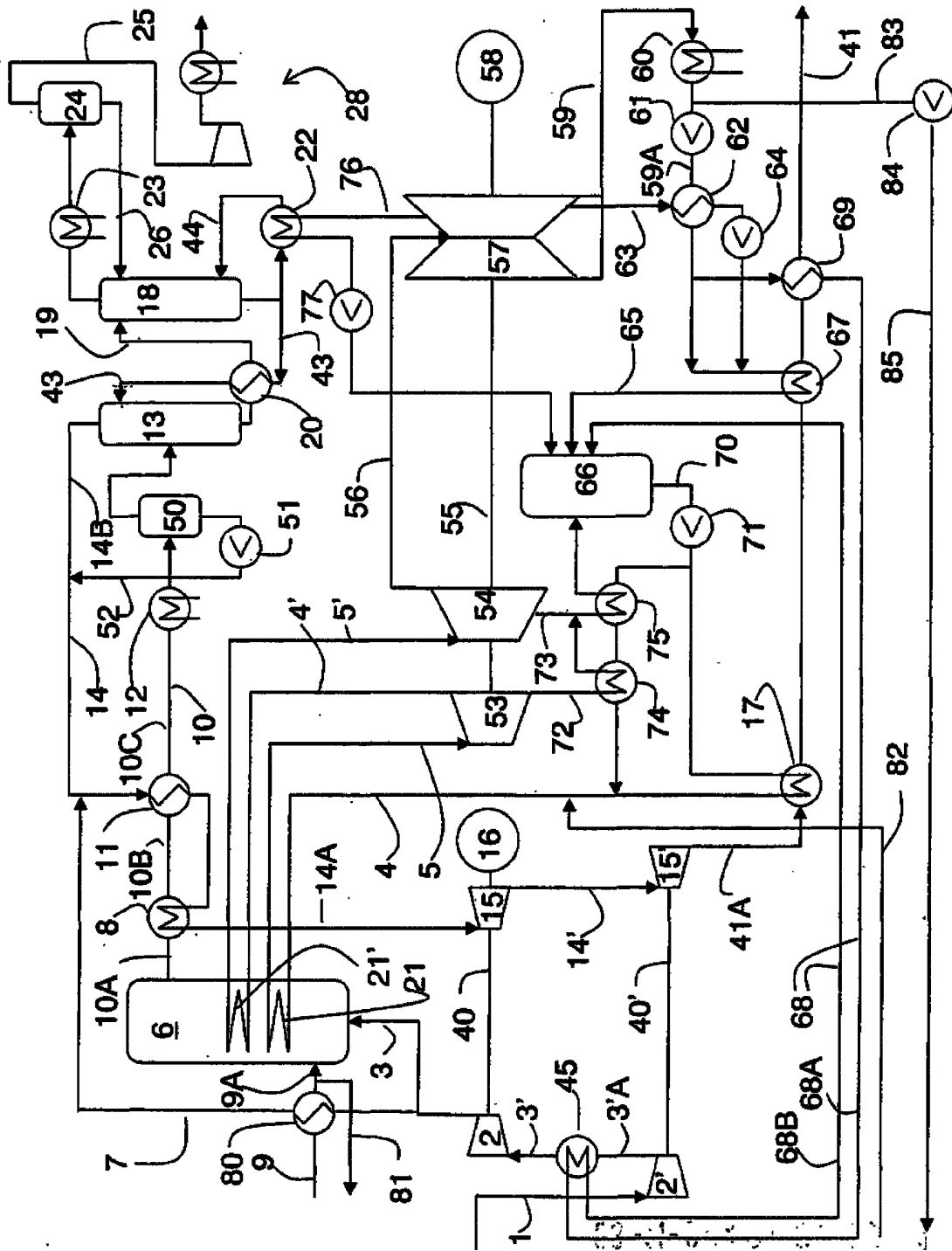


Fig. 1

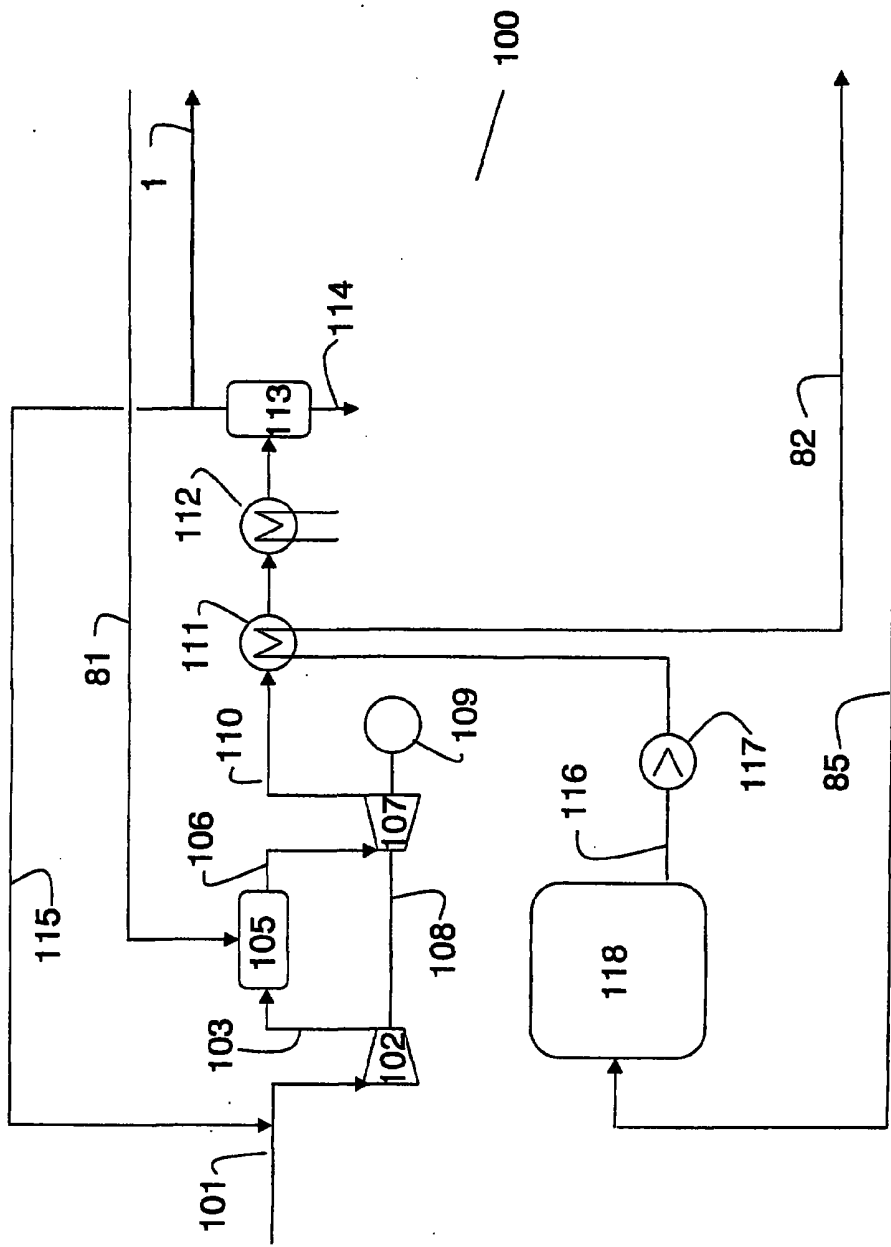


Fig. 2

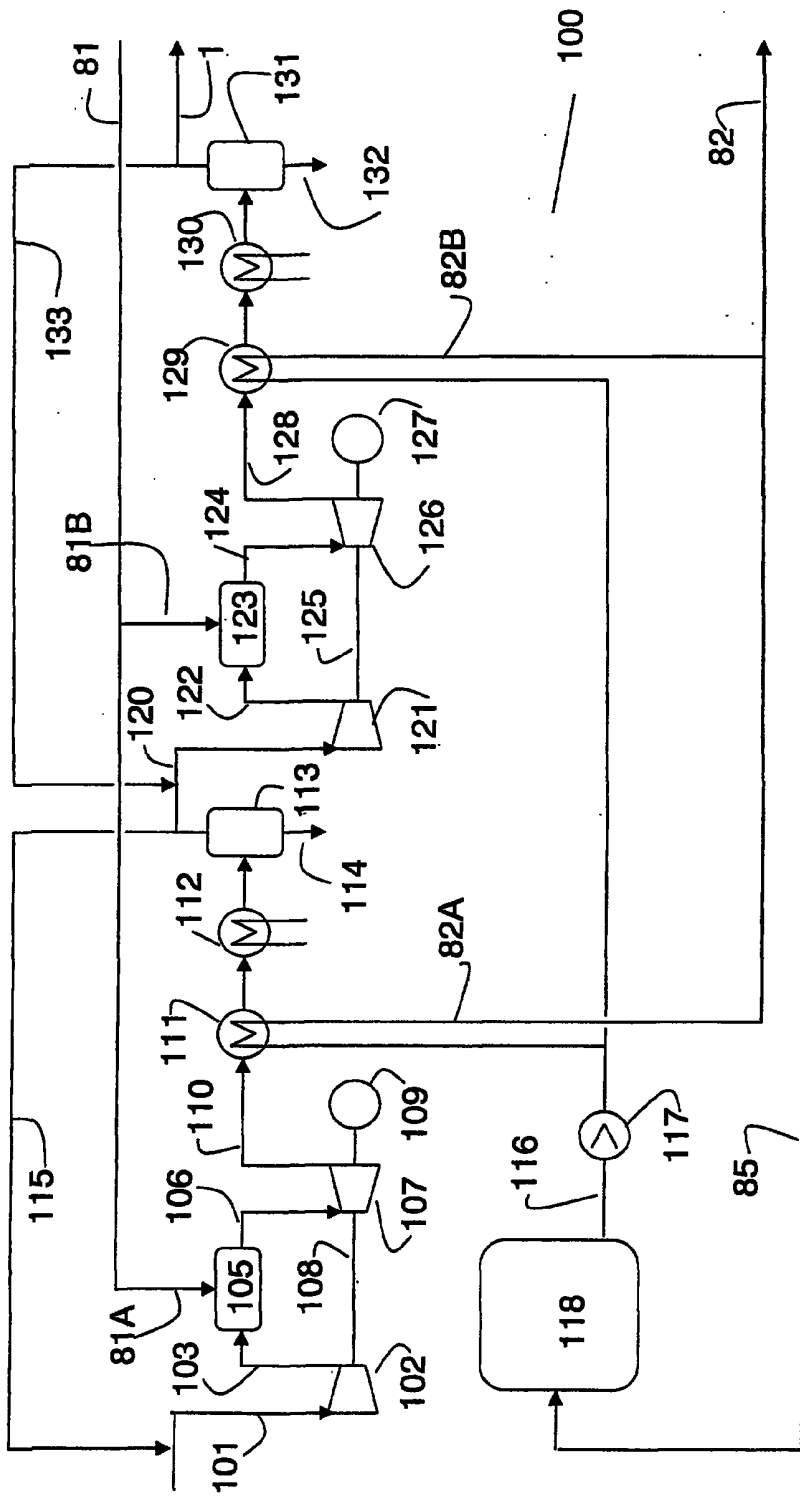


Fig. 3

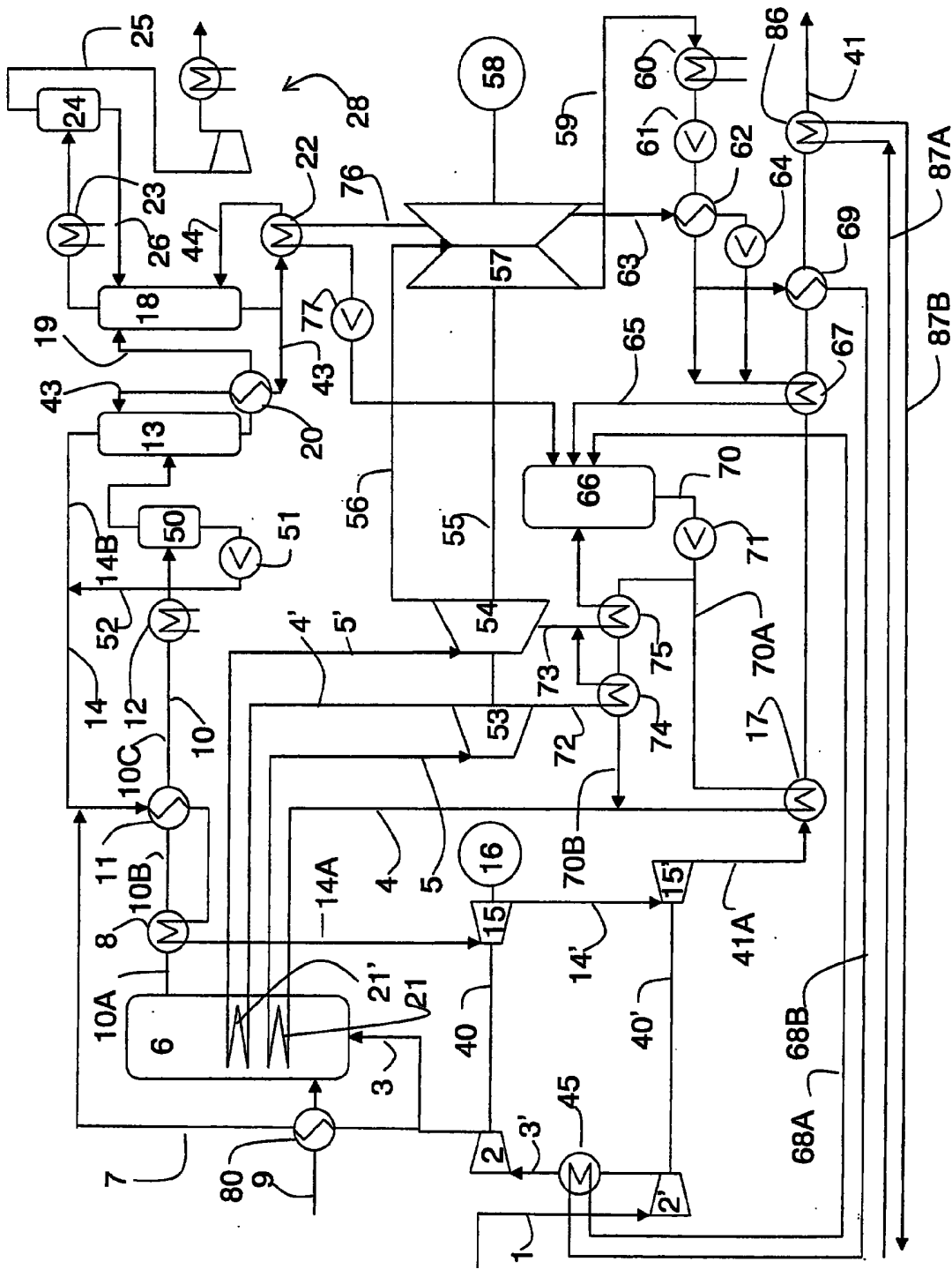


Fig. 4

