

(19)



SUOMI - FINLAND

(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS

PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN

FINNISH PATENT AND REGISTRATION OFFICE

(10) **FI 925125 A7**

(12) **JULKISEKSI TULLUT PATENTTIHAKEMUS
PATENTANSÖKAN SOM BLIVIT OFFENTLIG
PATENT APPLICATION MADE AVAILABLE TO THE
PUBLIC**

(21) Patentihakemus - Patentansökan - Patent application 925125

(51) Kansainvälinen patenttiluokitus - Internationell patentklassifikation -
International patent classification (IPC⁶)
F25J 3/04

(22) Tekemispäivä - Ingivningsdag - Filing date 11.11.1992

(23) Saapumispäivä - Ankomstdag - Reception date 11.11.1992

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig - Available to the public 19.08.1993

(43) Julkaisupäivä - Publiceringsdag - Publication date 13.06.2019

(32) (33) (31) Etu oikeus - Prioritet - Priority

18.02.1992 US 837786

(71) Hakija - Sökande - Applicant

1 •Air Products and Chemicals, Inc., 7201 Hamilton Boulevard, Allentown, PA 18195-1501, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

(72) Keksijä - Uppfinnare - Inventor

1 •Xu, Jianguo, USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

2 •Agrawal, Rakesh, USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

(74) Asiamies - Ombud - Agent

Kolster Oy Ab, Salmisaarenaukio 1, 00180 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning - Title of the invention

Monivaihe-esikuumentimen ja tuplakolonnin käsittävät korotetussa paineessa toimivat ilmanerotussyklit ja näiden integrointi kaasuturbiineihin

Luftsepareringscykler, som omfattar flerstegsförvärmare och dubbel kolonn, fungerande under högt tryck samt deras integration med gasturbiner

Monivaihe-esikuumentimen ja tuplakolonnin käsittävät korotetussa paineessa toimivat ilmanerotussyklit ja näiden integrointi kaasuturbiineihin

5 **Tekniikan alue**

Esillä oleva keksintö liittyy ilman alhaisen lämpötilan tislausta varten korotetuissa paineissa toimiviin prosesseihin, joissa on monta kiehutinta/lauhdutinta matalapainekolonissa ja näiden prosessien integroiminen kaasuturbiineihin.

10 **Keksinnön tausta**

Tietyissä olosuhteissa kuten happea puhaltavissa kaasuunus-kaasuturbiinilla varustetuissa tehonkehitysprosesseissa (esim. hiilen lisäämisestä happeen peräisin oleva polttokaasu, joka syöttää kostutettua ilmaa turbiinin kiertoprosessiin tai kaasuturbiinin ja höyryturbiinin yhdistettyyn kiertoprosessiin) tai teräksen valmistusprosesseissa suoralla rautamalmin pelkistyksellä (esim. COREXTM-prosessi), jossa poistokaasuja käytetään tehonkehitykseen, vaaditaan sekä happea että painetyppeä. Tämä painetuotteiden tarve tekee edulliseksi käyttää ilmanerotusyksikköä, joka tuottaa typpeä ja happea korotetussa paineessa. Ilmanerotusyksikön korotetuilla toimintapaineilla lämmönvaihtimien, putkijohtojen ja höyryfraktion tilavuusvirtojen suuruudet pienenevät, mitkä yhdessä merkittävästi pienentävät ilmanerotusyksikön pääomakustannuksia. Tämä korotettu toimintapaine pienentää myös lämmönvaihtimissa paineen alentumisen takia tulevia tehohäviöitä ja saattaa toimintaolosuhteet tislaukolonnin sisällä lähemmäksi tasapainotilaa, niin että ilmanerotusyksikkö on energiatehokkaampi. Koska kaasuunus-kaasuturbiini ja suorat teräksenvalmistusprosessit ovat suuria hapen ja typen kuluttajia, kun ilman erotusyksikkö on integroitu perusprosessiin, vaaditaan parempia kiertoprosesseja, jotka ovat sopivia korotetun paineen toimintaan. Alalla tunnettuja lukuisia prosesseja on tarjottu ratkaisuna tähän vaatimukseen, niiden joukossa

35 ovat seuraavat.

US-patentti nro 3 210 951 selostaa kahdella kiehuttimella varustettua kiertoprosessia, jossa syöttöilman fraktio lauhdutetaan aikaansaamaan esikuumennus matalapainekolonnin pohjassa. Lauhdutettua ilmaa käytetään sitten epäpuhtaana palautuksena matalapainekolonissa ja/tai korkeapainekolonissa. Jäähdytys korkeapainekolonin ylälauhdutinta varten muodostetaan välissä olevan nestevirran höyrystämisen avulla matalapainekolonissa.

US-patentti nro 4 702 757 selostaa kaksinkertaista kiehutusprosessia, jossa merkittävä fraktio syöttöilmasta lauhdutetaan osittain muodostamaan kiehutus matalapainekolonin pohjassa. Osittain lauhdutettu ilma syötetään sitten suoraan korkeapainekolonin pohjaan. Jäähdytys korkeapainekolonin ylälauhdutinta varten on myös muodostettu välissä olevan nestevirran höyrystämisellä matalapainekolonissa.

US-patentti nro 4 796 431 selostaa prosessia, jossa on kolme kiehutinta sijoitettuna matalapainekolonneihin. Myös US-patentti 4 796 431 ehdottaa, että fraktio tuestä, jota poistetaan korkeapainekolonin yläosasta, paisutetaan keskisuureen paineeseen ja sitten lauhdutetaan alakolonnista tulevien pohjanesteiden (nestemäinen raakahappi) fraktion höyrystymistä vasten. Tämä lämmönvaihto pienentää edelleen palautumattomuuksia yläkolonnissa.

US-patentissa nro 4 936 099 esitetään myös kolminkertaista kiehutusprosessia. Tässä ilmanerotusprosessissa nestemäinen raakahappi korkeapainekolonin pohjasta höyrytetään keskiuudessa paineessa korkeapainekolonin yläosasta tulevaa lauhdutettua tuestä vasten, ja tuloksena oleva keskimääräisen paineinen hapella rikastettu ilma sitten paisutetaan paisuttimen kautta matalapainekolonneihin.

Valitettavasti edellä olevat kiertoprosessit ovat sopivia vain toimintaan matalilla kolonnin toimintapaineilla. Kun kolonnipaine suurenee, suhteellinen epävakaisuus hapen ja typen välillä tulee pienemmäksi, niin että tarvitaan enemmän typen palautusta aikaansaamaan typpituotteen kohtuul-

linen talteenotto ja olennainen puhtaus. Edellä olevien kiertoprosessien matalapainekolonnin toimintatehokkuus alkaa pienetä, kun toimintapaine kohoaa yli noin $1,75 \text{ kp/cm}^2$.

5 US-patentti nro 4 224 045 selostaa tavanomaisen kaksoiskolonnin kiertoprosessin ilmanerotusyksikön integroimista kaasuturbiiniin. Yksinkertaisesti ottamalla hyvin tunnettu Linden kaksoiskolonnijärjestelmä ja lisäämällä sen toimintapainetta tämä patentti ei kykene täysin käyttämään hyväksi tilaisuutta, jonka antaa sekä hapen että typen tuottamistarve
10 korkeissa paineissa.

Julkaistussa EP-patenttihakemuksessa nro 90 402 488.2 käytetään ilmaa lämmönsiirtoaineena suoran lämpökytkennän välttämiseksi yläkolonnin pohjapään ja alakolonnin yläpään välillä, mitä vaadittiin US-patentilla nro 4 224 045 sen
15 integroimiseksi kaasuturbiinin kanssa. Kuitenkin ilman lauhduttaminen ja höyrystäminen ei vain lisää kiehuttimen/lauhduttimen lämmönsiirtymisaluetta ja säätekustannuksia, vaan myös tuo ylimääräistä tehottomuutta lämmönsiirron ylimääräisen vaiheen takia, mikä tekee sen suorituskyvyn vielä huonommaksi
20 kuin Linden kaksoiskolonnilla varustetussa kiertoprosessissa.

US-patenttihakemus Serial No. 07/700 021 selostaa, kuinka paineellisiin typen (tai hukka-aineen) virtoihin sisältyvää paine-energiaa voidaan tehokkaasti käyttää nestemäisen typen ja/tai nestemäisen hapen valmistamiseksi.

25 **Keksinnön yhteenveto**

Esillä oleva keksintö on parannus prosessiin ilman alhaisessa lämpötilassa tapahtuvaa tislausta varten sen ainesosakomponenteista ainakin yhden erottamiseksi ja tuottamiseksi. Prosessissa alhaisessa lämpötilassa tapahtuva tislaus
30 suoritetaan tislauskolonnijärjestelmässä, jossa on ainakin kaksi tislauskolonnia, jotka toimivat eri paineissa. Syöttöilman virta puristetaan välillä $5 - 20 \text{ kp/cm}^2$ olevaan paineeseen ja olennaisesti vapautetaan epäpuhtauksista, jotka jäätyvät alhaisissa lämpötiloissa. Puristetun olennaisesti epäpuhtauksista vapaan syöttöilman ainakin osa jäähdytetään ja syötetään
35

ensimmäiseen kahdesta tislaukskolonnista ja väkevöimistislataan siinä täten tuottaen korkeampipaineisen typen yläkerroksen ja nestemäisen raakahapen pohjakerrokset. Nestemäisen raakahapen pohjakerrosten painetta alennetaan, ja ne syötetään toiseen kahdesta tislaukskolonnista tislauksesta varten täten tuottaen matalampipaineisen typen yläkerroksen ja nestemäisen raakahapen pohjakerrokset. Jäähdytetyn, puristetun, olennaisesti epäpuhtauksista vapaan syöttöilman osuuden fraktio lauhdutetaan ainakin osittain ensimmäisessä kiehuuttimessa/lauhduttimessa, joka sijaitsee toisen tislaukskolonnin pohjassa. Ainakin osittain lauhtunut fraktio syötetään ainakin toiseen kahdesta tislaukskolonnista epäpuhtaana palautuksena. Jäähdytetty, puristettu, olennaisesti epäpuhtauksista vapaan syöttöilma syötetään ensimmäiseen kahdesta tislaukskolonnista ja jäähdytetyn, puristetun, olennaisesti epäpuhtauksista vapaan syöttöilman osuuden fraktio ainakin osittain lauhdutetaan lämmönvaihdolla toisen tislaukskolonnin pohjassa olevassa ensimmäisessä kiehuuttimessa/lauhduttimessa olevien nestemäisen raakahapen pohjakerrosten kanssa, jotka ovat samaa virtaa. Ainakin osa korkeampipaineisen typen yläkerroksesta lauhdutetaan lämmönvaihdolla nesteen kanssa, joka laskeutuu toista tislaukskolonnista toisessa kiehuuttimessa/lauhduttimessa, joka sijaitsee toisen tislaukskolonnin ja nestemäisen raakahapen pohjakerrosten syöttökohdan välissä olevassa matalapainekolonnissa. Lauhdutettu korkeampipaineinen tyyppi syötetään ainakin toiseen kahdesta tislaukskolonnista palautuksena.

Parannus keksintöön prosessin tehokkaamman toiminnan mahdollistamiseksi korotetuissa lämpötiloissa käsittää: (a) toisen kolonnin nestemäisten hapen pohjakerrosten osan lämmönvaihtamisen typpihöyryvirran kanssa, joka poistetaan korkeapaine- tai matalapainekolonnista tai joka on peräisin kaasumaisesta typpituotteesta, jolloin ennen tällaista lämmönvaihtoa nestemäisen hapen pohjakerrosten osuuden tai typpihöyryvirran painetta tai sekä nestemäisen hapen pohjakerrosten osuuden että typpihöyryvirran painetta säädetään

vaikuttavalla määrällä, niin että on sopiva lämpötilaero nestemäisen hapen pohjakerrosten ja typpihöyryvirran välillä, niin että lämmönvaihdon yhteydessä typpihöyryvirta lauhtuu kokonaan ja nestemäisen hapen pohjakerrosten osuus ainakin osittain höyrystyy; (b) lauhtuneen typen käyttämisen palautuksena ainakin toisessa kahdesta tislauskolonnista; (c) höyrystyneen hapen lämmittämisen jäähdytyksen talteenottamiseksi. Parannus voi edelleen käsittää vaiheen (c) höyrystyneen hapen energiaa tuottavan paisuttamisen. Vaiheen (a) erityissovellukset voivat käsittää (i) vain nestemäisen hapen pohjakerrosten osuuden paineen alentamisen; (ii) vain typpihöyryvirran paineen korottamisen; ja (iii) typpihöyryvirran paineen ja nestemäisen hapen pohjakerrosten osuuden paineen korottamisen.

Parannusta voidaan soveltaa edellä mainitussa prosessissa, jolloin puristettua, olennaisesti epäpuhtauksista vapaata syöttöilmaa puristetaan lisää, jäähdytetään ja paisutetaan energiaa tuottavalla tavalla toisen tislauskolonnin toimintapaineeseen ja paisutettu osa syötetään toisen tislauskolonnin välikohtaan. Lisää puristetun, jäähdytetyn osuuden paisuttamisella energiaa tuottavalla tavalla synnytettyä energiaa voidaan käyttää puristamaan toista osaa.

Parannuksessa vaiheessa (b) lauhdutettu typpihöyry voi olla matalampipaineisen typen yläkerroksesta, jolloin lauhdutettua vaiheen (c) typpeä käytetään palautteena toisessa tislauskolonnissa tai typpihöyry voi olla osa korkeampipaineisen typen yläkerroksesta.

Käyttökelpoinen prosessi voi lisäksi käsittää puristetun typpituotteen fraktion uudelleenkierrättämisen kiehuttimeen/lauhduttimeen, joka sijaitsee toisen tislauskolonnin pohjassa. Se voi myös käsittää puristetun typpituotteen toisen fraktion lisää puristamisen, jäähdyttämisen ja energiaa tuottavan paisuttamisen; paisutetun toisen fraktion lauhduttamisen lämmönvaihdolla toista kolonnia laskeutuvan nesteen kanssa kolmannessa kiehuttimessa/lauhduttimessa, joka sijaitsee toisessa tislauskolonnissa paineeltaan alennetun, nestemäisen

raakahapen pohjakerrosten syöttökohdan ja toisen kiehuuttimen/lauhduttimen välissä; ja lauhdutetun typen käyttämisen palautuksena toista tislaukskolonnia varten.

Prosessi parannuksineen on erittäin käyttökelpoinen integroitavaksi kaasuturbiiniin. Integroituna syöttöilma alhaisen lämpötilan tislauksprosessiin voi olla osa ilmapirrasta, joka puristetaan kompressorissa, joka on mekaanisesti kytketty kaasuturbiiniin. Integroitu prosessi voi lisäksi käsittää kaasumaisen typpituotteen ainakin osan puristamisen; puristetun, kaasumaisen typpituotteen, kokoonpuristetun ilmapirran ainakin osan, joka ei ole syöttöilmaa, ja polttoaineen syöttämisen polttokammioon täten tuottaen polttokaasua; polttokaasun energiaa tuottavan paisuttamisen kaasuturbiinissa; ja synnytetyn energian ainakin osan käyttämisen käyttämään kompressoria, joka on mekaanisesti kytketty kaasuturbiiniin.

Parannus on myös käyttökelpoinen prosessissa, joka käsittää lisäksi korkeampipaineisen typen yläkerroksen osan energiaa tuottavan paisuttamisen; paisutetun typen lauhduttamisen lämmönvaihdolla toista kolonnia laskevan nesteen kanssa kolmannessa kiehuuttimessa/lauhduttimessa, joka sijaitsee toisessa tislaukskolonnissa paineeltaan alennetun, nestemäisen raakahapen pohjakerrosten syöttökohdan ja toisen kiehuuttimen/lauhduttimen välissä; ja lauhdutetun typen käyttämisen palautuksena toista tislaukskolonnia varten, ja lisäksi käsittää paisutetun osuuden lauhduttamisen kolmannessa kiehuuttimessa/lauhduttimessa ennen viemistä toiseen tislaukskolonniin.

Lopuksi käyttökelpoinen prosessi voi lisäksi käsittää paisutetun osuuden lauhduttamisen kiehuuttimessa/lauhduttimessa kiehuvan nestemäisen raakahapen pohjakerrosten kanssa ennen viemistä toiseen tislaukskolonniin.

Piirustusten lyhyt selostus

Kuviot 1 - 6 ja 11 - 14 ovat esillä olevan keksinnön prosessin kulkukaavioita, joissa on kaksi kiehutinta/lauhdutinta matalapainekolonnissa.

Kuviot 7 - 10 ovat esillä olevan keksinnön kulkukaavioita, joissa on kolme kiehutinta/lauhdutinta matalapainekolonnissa.

5 Kuvio 15 on kulkukaavio tavanomaisesta kaksinkertaisesta (kaksois-) kolonnista ilmanerotuksen kierto-prosessissa.

Keksinnön yksityiskohtainen selostus

Usealla kiehuttimella, usealla kolonnilla varustetut kierto-prosessit ovat tyypillisesti energiatehokkaampia alhaisen puhtauden (80 - 99 % puhtaus) omaavan hapen tuotantoon. 10 Kuitenkin jotta tavanomaisissa, usealla kolonnilla, kahdella ja kolmella kiehuttimen ilmanerotusprosessilla varustetuissa kierto-prosesseissa korotetuissa paineissa toimimiseksi vielä olisi riittävä hapen talteenotto ja typpituotteen puhtaus, voidaan löytää keinoja muodostaa nestemäisen typpipalautteen 15 vaikuttava määrä. Esillä olevan keksintö on nestemäisen typen palautuskeinon parannus, jolla kyetään mahdollistamaan tavanomaisen kaksinkertaisen ja kolminkertaisen kiehuttimen ilmanerotuksen kierto-prosessit korotetuissa paineissa. Parannus käsittää: (a) toisen kolonnin nestemäisten hapen pohjakerrosten 20 osan lämmönvaihtamisen typpihöyryvirran kanssa, joka poistetaan korkeapaine- tai matalapainekolonnista tai joka on peräisin kaasumaisesta typpituotteesta, jolloin ennen tällaista lämmönvaihtoa nestemäisen hapen pohjakerrosten osuuden tai typpihöyryvirran painetta tai sekä nestemäisen 25 hapen pohjakerrosten osuuden että typpihöyryvirran painetta säädetään vaikuttavalla määrällä, niin että on sopiva lämpötilaero nestemäisen hapen pohjakerrosten ja typpihöyryvirran välillä, niin että lämmönvaihdon yhteydessä typpihöyryvirta lauhtuu kokonaan ja nestemäisen hapen pohjakerrosten osuus 30 ainakin osittain höyrystyy; (b) lauhtuneen typen käyttämisen palautuksena ainakin toisessa kahdesta tislaukskolonnista; ja (c) höyrystyneen hapen lämmittämisen jäähdytyksen talteenottamiseksi.

Esillä oleva keksintö on käyttökelpoinen useimmissa 35 monikolonnisisissa, kaksinkertaisella kiehuttimella varustetu-

sa ilmanerotusprosessin kiertoprosesseissa. Esillä oleva keksintö on erityisen käyttökelpoinen kaksinkertaisella kiehuttimella varustettuihin prosesseihin, joissa on ainakin kaksi tislaukskolonnia, jotka ovat termisessä yhteydessä keskenään ja toimivat eri paineissa ja joissa on kiehutin/lauhdutin, joka sijaitsee matalapainekolonnin pohjassa, jolloin ainakin osa syöttöilmasta lauhdutetaan lämmönvaihdossa kiehuvan nestemäisen hapen kanssa, ja toinen kiehutin/lauhdutin, joka sijaitsee matalapainekolonnin välikohdassa pohjassa olevan kie-
 5 huttimen/lauhduttimen ja matalapainekolonnin syöttökohdan välissä, jolloin ainakin osa korkeapainekolonnista tulevasta typpihöyrystä lauhdutetaan lämmönvaihdossa kiehuvan nesteen kanssa, joka laskeutuu matalapainekolonnia.

Kuviot 1 - 6 ja 11 esittävät parannuksen sovellettavuutta kaksinkertaisella kiehuttimella/lauhduttimella varustettuihin prosessiparannuksiin, jolloin parannuksessa typpihöyry poistetaan joko korkeapainekolonnista tai matalapainekolonnista ja nestemäisen hapen painetta alennetaan ennen lämmönvaihtoa. Kuviot 12 ja 13 esittävät parannuksen sovellet-
 15 tavuutta kaksinkertaisella kiehuttimella/lauhduttimella varustettuihin prosessisovellutuksiin, jolloin typpihöyry poistetaan korkeapainekolonnista ja typpihöyryn painetta korotetaan ennen lämmönvaihtoa. Kuvio 14 esittää parannuksen sovellettavuutta kaksinkertaisella kiehuttimella/lauhduttimella varus-
 20 tettuun sovellutukseen, jolloin parannuksessa typpihöyry on peräisin puristetusta, kaasumaisesta typpituotteesta ja nestemäisen hapen painetta korotetaan ennen lämmönvaihtoa.

Esillä oleva keksintö on myös käyttökelpoinen useimmissa monikolonnisissa, kolminkertaisella kiehuttimella varustetuissa kiertoprosesseissa. Esillä oleva keksintö on erityisen käyttökelpoinen kolminkertaisella kiehuttimella varustetuissa prosesseissa, joissa on ainakin kaksi tislaukskolonnia, jotka ovat termisessä yhteydessä keskenään ja toimivat erilaisissa paineissa ja joissa kiehutin/lauhdutin sijaitsee matalapaine-
 30 kolonnin pohjassa, jolloin ainakin osa syöttöilmasta lauhdute-

taan lämmönvaihdossa kiehuvan nestemäisen hapen kanssa, ja toinen kiehutin/lauhdutin, joka sijaitsee matalapainekolonnin välikohdassa pohjassa olevan kiehuttimen/lauhduttimen pohjan ja kolmannen kiehuttimen/lauhduttimen välissä, jolloin ainakin
 5 osa korkeapainekolonnista tulevasta typpihöyrystä lauhdutetaan lämmönvaihdossa kiehuvan nesteen kanssa, joka laskeutuu matalapainekolonnia.

Kuviot 7 - 10 esittävät kolminkertaisella kiehuttimella/lauhduttimella varustettuja sovellutuksia, jolloin parannuksessa nestemäisen hapen painetta alennetaan ennen lämmönvaihtoa.
 10

Esillä olevan keksinnön paremmaksi ymmärtämiseksi edellä luetteloituja kuvioita vastaavia sovellutuksia selostetaan yksityiskohtaisesti.

15 Nyt viitataan kuvioon 1, jossa puhdasta paineilmaa tuodaan johdon 100 kautta ja se jaetaan kahteen fraktioon vastaavasti johtojen 102 ja 126 kautta.

Suuri osa syöttöilmasta johdossa 102 jäähdytetään päälämmönvaihtimessa 104. Tämä jäähdytetty ilma, nyt johdossa
 20 106, jaetaan sitten edelleen kahteen osaan, vastaavasti johtojen 108 ja 112 kautta. Ensimmäinen osa syötetään johdon 108 kautta korkeapainekolonnin 110 pohjaan väkevöimistislausta varten. Toinen osa johdossa 112 lauhdutetaan kiehuttimessa/lauhduttimessa 114, joka sijaitsee matalapainekolonnin 116
 25 pohjassa. Tämä lauhdutettu toinen osa nyt johdossa 118 jaetaan kahteen alavirtaan johtojen 120 ja 122 kautta. Ensimmäinen alavirta johdossa 120 syötetään korkeapainekolonnin 110 välikohtaan epäpuhtaana palautuksena. Toinen alavirta johdossa 122 alijäähdytetään lämmönvaihtimessa 124, sen painetta alennetaan ja se syötetään matalapainekolonnin 116 kohtaan, joka
 30 on korkeapainekolonnin 110 pohjasta olevan nestemäisen raaka-hapen syöttökohdan yläpuolella, epäpuhtaana palautuksena.

Syöttöilman pieni osa johdossa 126 puristetaan lisäkompressorissa 128, jälkijäähdytetään, jäähdytetään lisää päälämmönvaihtimessa 104, paisutetaan energiaa tuottavalla tavalla
 35

paisuttimessa 130 ja syötetään johdon 132 kautta matalapainekolonniin 116. On mahdollista, että kaikki tai osa paisuttimella 130 tuotetusta energiasta voidaan käyttää käyttämään lisäkompressoria 128.

5 Syöttöilma korkeapainekolonniin 110 väkevoimistislataan typen yläkerrosvirraksi johdossa 134 ja nestemäisen raakahapen pohjakerrosten virraksi johdossa 142. Johdossa 142 olevan nestemäisen raakahapen pohjakerros jäähdytetään lämmönvaihtimessa 144, sen painetta pienennetään ja se syötetään matalapainekolonnin 116 välikohtaan tislausta varten. Typen yläkerros johdossa 134 poistetaan korkeapainekolonnista 110 ja lauhdutetaan kiehuttimessa/lauhduttimessa 136 matalapainekolonnia 116 laskeutuvan höyrystyvän nesteen kanssa. Kiehutin/lauhdutin 136 sijaitsee matalapainekolonnissa 116 kohdassa, joka on kiehuttimen/lauhduttimen 114 ja korkeapainekolonnista 110 olevan nestemäisen raakahapen syöttökohdan välissä johdossa 142. Lauhdutettu tyyppi, joka tulee kiehuttimesta/lauhduttimesta 136, jaetaan kahteen alavirtaan vastaavasti johtoja 138 ja 140 pitkin. Ensimmäinen alavirta johdossa 138 syötetään korkeapainekolonnin 110 yläosaan palautuksena. Toinen osa johdossa 140 alijäähdytetään lämmönvaihtimessa 124, sen painetta alennetaan ja se syötetään matalapainekolonnin 116 yläosaan palautuksena.

25 Korkeapainekolonnin 110 pohjasta tuleva nestemäinen raakahappi johdossa 142 ja syöttöilman paisutettu toinen fraktio johdossa 132, jota tuodaan matalapainekolonniin 116, tislataan matalapaineiseksi typen yläkerrokseksi ja nestemäisen hapen pohjakerroksiksi. Matalapaineisen typen yläkerros poistetaan kahdessa osassa johtojen 146 ja 150 kautta. Ensimmäinen osa johdossa 146 lauhdutetaan höyrystyvää alijäähdytettyä nestemäistä happea vasten kiehuttimessa/lauhduttimessa 148 ja palautetaan matalapainekolonnin 116 yläosaan lisäpalautuksena. Toinen osa johdossa 150 lämmitetään jäähdytyksen talteenottamiseksi lämmönvaihtimissa 124, 144 ja 104 ja poistetaan matalapaineisena typpituotteena johdon 152 kautta.

Osa nestemäisen hapen pohjakerroksista höyrystetään kiehuttimessa/lauhduttimessa 114 täten muodostaen kiehuttamisen matalapainekolonnista 116 varten. Toinen osa poistetaan matalapainekolonnista 116 johtoa 160 pitkin alijäähdytettynä lämmönvaihtimessa 124, sen painetta alennetaan ja se syötetään kiehuttinta/lauhdutinta 148 ympäröivään altaaseen, jolloin se höyrystyy. Höyrystynyt happi poistetaan sitten johdon 164 kautta, lämmitetään lämmönvaihtimissa 124, 144 ja 104 jäähdätyksen talteenottamiseksi ja poistetaan kaasumaisen happituotteen osana johdon 166 kautta. Lopuksi osa hapen kiehumistuotteesta matalapainekolonnissa 116 poistetaan johdon 168 kautta, lämmitetään lämmönvaihtimissa 144 ja 104 jäähdätyksen talteenottamiseksi ja otetaan talteen kaasumaisen happituotteen toisena osana johdon 170 kautta. Kaasumaisen happituotteen suhteelliset määrät riippuvat matalapainekolonnin 116 toimintapaineesta. Kun matalapainekolonnin 116 toimintapainetta alennetaan, kaasumaisen happituotteen toisen fraktion suhteellinen määrä (johdossa 170) pienenee.

Kuviossa 2 esitetty prosessisovellutus on samanlainen kuin kuviossa 1 esitetty prosessisovellus. Koko tämän selostuksen ajan kaikkia toiminnallisesti identtisiä tai yhdenveroisia varusteita ja virtoja on merkitty samoin numeroin. Kuvioiden 1 ja 2 sovellutusten välisenä erona on, että kuviossa 2 matalapainekolonnista 116 johdossa 160 tulevien nestemäisen hapen pohjakerrosten osuuden painetta alennetaan ja se höyrystetään kiehuttimessa/lauhduttimessa 236 korkeapainekolonnin 110 yläosasta tulevaa lauhtuvaa typen yläkerrosta vasten johdossa 234. Lauhtunut typpi johdossa 238 sekoitetaan lauhtuneen typen kanssa johdossa 140 alhaisen paineen palautusvirran muodostamiseksi johdossa 240. Vaihtoehtoisesti osa lauhtuneesta tpestä johdossa 238 voidaan käyttää palautumaan korkeapainekolonnin 110. Alhaisen paineen palautusvirta alijäähdätytään lämmönvaihtimessa 124, sen painetta alennetaan ja se tuodaan matalapainekolonnin 116 yläosaan. On mahdollista, että osa typen yläkerroksesta poistetaan johdon 244

kautta, lämmitettynä jäähdytyksen talteenottamiseksi ja talteen otettuna korkeapaineisena kaasumaisena typpituotteena ja nestemäisenä happituotteena voidaan poistaa johdon 264 kautta.

5 Kuvion 3 sovellutus perustuu kuvion 2 prosessisovellutukseen. Tärkeimmät erot ovat, että ei poisteta lainkaan korkeapaineista typen yläkerrosta tuotteena, kaiken matalapaineisen kaasumaisen typpituotteen johdossa 152 painetta korotetaan kompressorissa 352 ja poistetaan korkeapaineisena kaasumaisena typpituotteena johdon 354 kautta, ja osa paineeltaan korotetusta typpituotteesta uudelleenkierrätetään johdon 300
10 kautta prosessiin. Erityisesti uudelleenkierrätystyyppi johdossa 300 jäähdytetään päälämmönvaihtimessa 104 lämpötilaan, joka on lähellä sen kastepistettä, ja sekoitetaan typen yläkerroksen kanssa johdossa 134 syöttämistä varten kiehuttimeen/lauhduttimeen 136.
15

Kuviossa 4 esitetty prosessisovellutus on olennaisesti samanlainen kuin kuviossa 3 esitetty prosessisovellutus lukuun ottamatta sitä, että ei muodosteta lainkaan nestemäisen ilman palautusta, ei korkeapainekolonnin 110 eikä matalapainekolonnin 116. Kuvion 4 prosessisovellutuksessa kaikki jäähdytetty ensimmäinen fraktio johdossa 106 syötetään kiehuttimeen/lauhduttimeen 114, jossa se osittain lauhtuu. Kaikki tästä osittain lauhtuneesta syöttöilmafraktiosta syötetään sitten korkeapainekolonnin 110 pohjaan johdon 418 kautta.
20
25

Kuvio 5 kuvaa kuviossa 2 esitettyä prosessisovellutusta integroituna kaasuturbiiniin. Koska kuvion 2 ilmanerotusprosessi on selostettu edellä, vain integroimista käsitellään tässä. Kuvio 5 edustaa niin kutsuttua "täysin integroitua" mahdollisuutta, jossa kaikki ilmanerotusprosessiin tuleva syöttöilma syötetään kompressorilla, joka on mekaanisesti kytketty kaasuturbiiniin, ja kaikki ilmanerotusprosessi kaasumainen typpituote syötetään kaasuturbiinin polttokammioon. Vaihtoehtoisesti "osittaisen integroinnin" mahdollisuutta
30
35 voidaan käyttää. Näissä "osittaisen integroinnin" mahdolli-

suuksissa osa tai ei yhtään ilmanerotuksen syöttöilmasta tulisi kompressorista, joka on mekaanisesti kytketty kaasuturbiiniin, ja osa tai ei yhtään kaasumaisesti typpituotteesta syötettäisiin kaasuturbiinin polttokammioon (ts. missä on
 5 parempi vaihtoehto paineistulle typpituotteelle). Kuviossa 5 esitetty "täysin integroitu" sovellutus on vain yksi esimerkki.

Nyt viitataan kuvioon 5, jossa syöttöilmaa syötetään prosessiin johdon 500 kautta, puristetaan kompressorissa 502
 10 ja jaetaan ilmanerotusyksikköön ja palamisilmaosuuksiin, vastaavasti johdoissa 504 ja 410. Ilmanerotusyksikön osuus jäähdytetään lämmönvaihtimessa 506, puhdistetaan epäpuhtauksista, jotka voisivat jäätyä alhaisissa lämpötiloissa moolisuodatusyksikössä, 508 ja syötetään ilmanerotusyksikköön johdon 100
 15 kautta. Kaasumainen typpituote ilmanerotusyksiköstä johdossa 152 puristetaan kompressorissa 552, lämmitetään lämmönvaihtimessa 506 ja yhdistetään palamisilmaosuuteen johdossa 510. Yhdistetty palamissyöttöilmavirta johdossa 512 lämmitetään lämmönvaihtimessa 514 ja sekoitetaan polttoaineen kanssa
 20 johdossa 518. Tulisi huomata, että typpeä voidaan tuoda useista vaihtoehtoisisista paikoista, esimerkiksi sekoittaa suoraan polttokaasun kanssa tai syöttää suoraan polttokammioon. Polttoaineen/palamissyöttöilman virta poltetaan polttokammiossa 520, jolloin polttokaasutuote syötetään johdon 522
 25 kautta ja energiaa tuottaen paisutetaan paisuttimessa 524. Kuvio 5 kuvaa osuutta energiasta, joka on tuotettu paisuttimessa 524, kun tätä energiaa käytetään puristamaan syöttöilmaa kompressorissa 502. Tästä huolimatta kaikki tai jäljelle jäävä tuotettu energia voidaan käyttää muihin tarkoituksiin kuten
 30 sähkön tuottamiseen. Paisuttimen poistokaasu johdossa 526 jäähdytetään lämmönvaihtimessa 514 ja poistetaan johdon 528 kautta. Jäähdytetty poistokaasu johdossa 528 käytetään sitten muihin tarkoituksiin kuten höyryn tuottamiseen yhdistetyssä kiertoprosessissa. Tulisi huomata tässä, että sekä typpeä
 35 että ilmaa (samoin kuin polttokaasua) voidaan panostaa vedellä

alhaisen lämpötason talteenottamiseksi ennen suihkuttamista polttokammioon. Tällaisia kiertoprosesseja käsitellään yksityiskohtaisesti tässä.

Kuvio 6 kuvaa, kuinka kuviossa 2 esitettyä kaksinkertaisella kiehuuttimella varustettua kiertoprosessia voidaan käyttää tilanteissa, joissa vain tyyppi on haluttu tuote tai joissa sekä tyyppiä että hapetta tarvitaan mutta happituotetta ei ole pakko paineistaa. Tämän prosessisovellutuksen ja kuviossa 2 esitetyn väliset erot ovat seuraavat. Ensiksi esillä oleva sovellutus ei sovelleta ilman puristimen käyttämistä. Täten koko syötetty ilma johdossa 100 jäädytetään kohdassa 104. Jäädytetty ilma, nyt johdossa 106, sitten jaetaan kahteen osaan kuten kuviossa 2. Toiseksi happivirta johdossa 262 lämmitetään lämmönvaihtimella 144 ja osittain lämmönvaihtimella 104 energiaa tuottaen paisutetaan paisuttimessa 600. Tuloksena oleva paisutettu happivirtaus johdossa 665 lämmitetään lämmönvaihtimessa 104 jäädytyksen talteenottamiseksi ja joko otetaan talteen tai poistetaan ympäristöön paineisena happituotteena. Lopuksi pieni määrä nestemäistä tyyppiä voidaan poistaa matalapainekolonnista 116 johdon 650 kautta.

Kuviossa 7 esitetty prosessisovellutus on järjestelmä, jossa on kolminkertainen kiehutin ja sekä keskimääräisen paineinen tyyppi että ilman lauhdutus. Keskimääräisen paineisella tarkoitetaan, että paine on korkea- ja matalapainekolonnien toimintapaineiden välissä. Tämän kiertoprosessin erot verrattuna kuvion 2 kiertoprosessiin ovat seuraavat. Ensiksi sen sijasta että paisutetaan lisää puristettua toista fraktiota paisuttimessa 130 matalapainekolonnin 116 paineeseen ja syötetään paisuttimeen ilmaa johdon 132 kautta suoraan matalapainekolonniin 116, lisää puristettu toinen fraktio paisutetaan keskimääräiseen paineeseen. Tämä keskimääräisen paineinen virta johdossa 732 lauhdutetaan kiehuuttimessa/lauhduttimessa 740, joka sijaitsee matalapainekolonnissa 116 välittömästi matalapainekolonniin 116 olevan syöttökohdan alapuolella. Lauhdutettu ilma syötetään johdon 733 kautta matalapainekolon-

niin 116 epäpuhtaana palautteena. Toiseksi typpikaasun fraktio johdossa 234 poistetaan johdon 734 kautta, lämmitetään lämmönvaihtimessa 144, paisutetaan keskimääräiseen paineeseen ja syötetään johdon 738 kautta kiehuuttimeen/lauhduttimeen 740. Kiehuuttimessa/lauhduttimessa 740 paisutettu keskimääräisen paineinen typpivirta lauhdutetaan. Lauhdutettu typpi johdossa 742 alijäähdytetään lämmönvaihtimessa 124, sen painetta alennetaan ja se syötetään matalapaineekolonnin 116 yläosaan lisäpalautuksena. Lopuksi koska ylimääräistä jäähdytystä muodostetaan typen laajentimen 736 vaikutuksesta, enemmän nestemäistä tuotetta voidaan tuottaa tästä sovellutuksesta.

Kuviossa 8 esitetty sovellutus on olennaisesti kaksinkertaisella kiehuuttimella varustettu kierto-prosessi, jossa on keskimääräisen paineisen typen lauhduttaminen kiehuuttimessa/lauhduttimessa välittömästi vain matalapaineekolonnein olevan syöttökohdan alapuolella. Tämä sovellutus on parannus US-patentin nro 4 796 431 selostamaan prosessiin. Ainoa ero kuvion 8 ja kuvion 7 välisten kierto-prosessien välillä on, että kuvion 7 prosessissa osa syöttöilmasta kompandoidaan (edelleen puristetaan ja paisutetaan), sitten lauhdutetaan samassa kiehuuttimessa/lauhduttimessa, jossa keskimääräisen paineinen typpi lauhdutetaan, ja sen jälkeen syötetään matalapaineekolonnein; kuvion 8 prosessisovellutus ei tee tällaisia vaiheita.

Vaihtoehtoisesti kuvioissa 7 ja 8 esitetyissä sovellutuksissa johdossa 734 olevan typpikaasun fraktio lämmönvaihtimessa 144 lämmittämisen jälkeen voidaan edelleen osittain lämmittää lämmönvaihtimessa 104 ja sitten energiaa tuottaen paisuttaa paisuttimessa 736.

Kuviossa 9 esitetty sovellutus on kolminkertaisella kiehuuttimella varustettu järjestelmä, jossa on uudelleenkierratettu typpivirtaus. Tässä kierto-prosessissa puristettu, puhdas syöttöilma jäähdytetään päälämmönvaihtimessa 104 ja jaetaan kahteen fraktioon johdoissa 108 ja 112 vastaavasti. Ensimmäinen fraktio johdossa 108 syötetään korkeapaineekolonnin

110 pohjaan väkevöimistislausta varten typen yläkerrokseksi johdossa 134 ja nestemäisen raakahapen pohjakerroksiksi johdossa 142. Toinen fraktio johdossa 112 lauhdutetaan kiehuttimessa/lauhduttimessa 914 kiehuvaa nestemäistä happea vasten johdossa 160 ja jaetaan kahteen osaan johdoissa 920 ja 930 vastaavasti. Ensimmäinen osa johdossa 920 syötetään epäpuhtaana välipalautuksena korkeapainekolonneihin 110. Toinen osa johdossa 930 alijäähdytetään lämmönvaihtimessa 124, sen painetta pienennetään ja se syötetään matalapainekolonnin 116 välikohtaan epäpuhtaana palautuksena.

Osa typpituotteesta johdossa 152 poistetaan johdon 952 kautta, puristetaan kompressorissa 954, jälkijäähdytetään ja jaetaan kahteen alavirtaan vastaavasti johtoihin 956 ja 962. Ensimmäinen alavirta johdossa 956 jäähdytetään päälämmönvaihtimessa 104, lauhdutetaan kiehuttimessa/lauhduttimessa 958, joka sijaitsee matalapainekolonnin 116 pohjassa, ja syötetään korkeapainekolonnin 110 yläosaan johdon 960 kautta. Toinen alavirta johdossa 962 kompandoidaan (puristetaan kompressorissa 964, jäähdytetään päälämmönvaihtimessa ja energiaa tuottaen paisutetaan paisuttimessa 966). Kompandoitu toinen typen alavirta lauhdutetaan kiehuttimessa/lauhduttimessa 970, joka sijaitsee matalapainekolonnin 116 ylemmässä välikohdassa, alijäähdytetään, sen painetta alennetaan ja se syötetään matalapainekolonnin 116 yläosaan palautuksena.

Kuvion 9 jäljellä oleva prosessisovellutus on samanlainen kuin kuvion 8 prosessisovellutus.

Kuviossa 10 esitetty prosessisovellutus on toinen kolminkertaisella kiehuttimella varustettu kiertoprosessi. Tässä kiertoprosessissa paisutettu ilma virrassa 132 syötetään kiehuttimeen/lauhduttimeen 1044 kiehuvaa nestemäistä raakahappea vasten, joka on osa nestemäisestä raakahapesta, joka poistetaan johdon 1042 kautta, sen painetta alennetaan ja se syötetään altaaseen, joka ympäröi kiehutinta/lauhdutinta 1044. Johdossa 1032 olevan lauhdutetun ilman painetta alennetaan ja se syötetään matalapainekolonneihin 116 virtauksen 122

kanssa. Osittain höyrystynyt raakahappi syötetään matalapainekolonniin 116 syöttökohtaan. Kiertoprosessin muu osa on samanlainen kuin kuvion 2 prosessin.

Lopuksi on syytä mainita, että tällaiset laitokset
 5 eivät ole rajoittuneet kaasumaisen hapen ja typen tuotantoon. Paineellinen typen (tai jätteen) virtaus voidaan paisuttaa isentrooppisesti muodostamaan jäähdytys, joka tarvitaan nestemäisen hapen ja/tai typen tuotantoa varten. Lisäksi happea voidaan ottaa ulos kylmälaatikosta eri paineissa. Jätevirtauk-
 10 set voidaan myös ottaa ulos korkea- tai matalapainekolonniin keskiosasta. Kuvio 11 esittää kahdella kiehuuttimella/lauhduttimella varustettua kiertoprosessia, jossa on tällaiset piirteet. Kuvion 11 sovellutus on samanlainen kuin kuvion 2; erot ovat seuraavat. Ensiksi sovellutuksessa kaasumaista happituotetta poistetaan johdon 1 168 kautta korkeapainekolonniin 116
 15 pohjasta kiehuuttimen/lauhduttimen 114 yläpuolella, lämmitetään lämmönvaihtimessa 104 jäähdyttämisen palauttamiseksi ja otetaan talteen sekundaarisena kaasumaisena happituotteena johdon 1170 kautta. Toiseksi lauhdutettu typpi johdossa 240 alijäähdytetään lämmönvaihtimessa 124, leimahduskäsitellään ja erotetaan nestefaasiin ja kaasufaasiin faasierottimessa 1 142. Kaasufaasi yhdistetään typpituotteeseen johdossa 150 matalapainekolonniin 116. Ainakin osa nestefaasista johdossa 1146 syötetään johdon 1148 kautta matalapainekolonniin 116 palautuksena. Nestefaasin jäljelle jäävä osa johdossa 1 146 poistetaan nestemäisenä typpituotteena johdon 1 150 kautta. Lopuksi
 20 jätevirta poistetaan johdon 1 170 kautta matalapainekolonniin 116, lämmitetään lämmönvaihtimissa 124 ja 144, energiaa tuottaen paisutetaan paisuttimessa 1172, lisää lämmitetään lämmönvaihtimissa 124, 144 ja 104 jäähdytyksen talteenottamiseksi ja sitten poistetaan johdon 1 176 kautta.
 25
 30

On myös syytä mainita, että jos yhtään typpituotetta ei vaadita paineen alaisena, matalapainekolonniin yläosasta tuleva typpi tai korkeapainekolonniin tuleva typpi tai jäte-
 35 virta voidaan paisuttaa samalla tavalla kuin matala paineko-

lonnista tuleva jätevirta, riippumatta siitä, onko jätevirta otettu ulos matalapainekolonnista. Kahden paisuttimen yhdistelmää voidaan käyttää poistamaan ilman kompanderi.

5 Kaikissa edellä selostetuissa sovellutuksissa nestemäisen, matalapainekolonnista poistetun hapen painetta alennetaan ennen lämmönvaihtoa typpihöyryn kanssa. Kuten aikaisemmin mainittiin, nestemäisen hapen pohjakerrosten paineen alentamisen sijasta voidaan suurentaa typpihöyryn painetta. Kuviot 12 ja 13 esittävät vastaavasti kuvioissa 2 ja 3 esitetyistä sovellutuksista, paitsi että kuvioissa 12 ja 13 nestemäisen happivirran 160 painetta ei ole alennettu ennen syöttämistä kiehuttimeen/lauhduttimeen 236 ja typpihöyryvirran 234 painetta lisätään ennen syöttämistä kiehuttimeen/lauhduttimeen 236. Typpihöyryn puristaminen voidaan tehdä käyttäen kylmää tai lämmintä puristusta.

15 Kaikki edellä selostetut sovellutukset saavat typpihöyryn sovellutusta varten joko korkea- tai matalapainekolonnista. Kuvio 14 esittää sovellutusta, jossa typpihöyry saadaan uudelleen kierrätetystä, puristetusta typpituotteesta. Kuvion 20 14 sovellutus on samanlainen kuin kuvion 3 sovellutus. Nyt viitataan kuvioon 14, jossa puristetun typen uudelleenkierrätetty osa johdossa 302 voitaisiin syöttää lämmönvaihtimeen 236 korkeapaineisen typen yläkerroksen osan sijasta johdossa 234. Lisäksi kuviossa 14 kiehuttimessa/lauhduttimessa 236 kiehuvan nestemäisen hapen painetta voidaan korottaa pumpaamalla johdossa 160 olevaa nestemäistä happea.

25 Lopuksi vertailujen tekemiseksi tavanomaisen kaksinkertaisen (kaksois-) kolonnin kiertoprosessi on esitetty kuviossa 15. Tavanomainen kaksinkertainen kolonnikiertoprosessi on 30 hyvin tunnettu alalla eikä sitä sen vuoksi selitetä yksityiskohtaisesti.

Esillä olevan keksinnön tehokkuuden osoittamiseksi useita vertailuesimerkkejä simuloitiin. Koska tavanomaiset kaksinkertaisella kiehuttimella varustetut kiertoprosessit 35 eivät muodosta vaadittua hapen talteenoton tapaa eikä typen

puhtautta, keksinnön kierto-prosessien ja tavanomaisten kaksinkertaisella kiehuuttimella varustettujen kierto-prosessien välinen vertailu ei tule kysymykseen. Sen vuoksi vertailut tehtiin tavanomaisen kaksinkertaisella kolonnilla varustetun kierto-prosessin (kuvio 15) ja kuviossa 2 esitetyn edullisen sovel-

lutusmuodon välillä. Simuloinnit tehtiin seuraavissa olosuhteissa: ilmapaine kylmälaatikkoon = $10,3 \text{ kp/cm}^2$, O_2 :n puhtaus = 95 %. Näiden simulaatioiden tulokset on esitetty taulukossa 1.

10

Taulukko 1						
Kierto-prosessi	Teoreettisten vaiheiden määrä		Virtaus-määrä* 242: moolia/h	Painevir-taus 152: kp/cm^2	Hapen talteen-otto* moolia	Energia-suhde**
	Korkea paine	Alhainen paine				
Kuvio 15	45	35	9,5	3,0	20,42	1,0
Kuvio 2	45	60	6,0	3,7	20,63	0,96

* Peruste: 100 moolia/ tunti syöttöilmaa
 ** Vertailuperusta: $9,8 \text{ kp/cm}^2$:iin puristettu typpituote
 Ei lisää happituotteen puristamista

15

Vertailu tehtiin myös tavanomaisen kaksinkertaisella (kaksois) kolonnilla varustetun kuviossa 15 esitetyn kierto-prosessin ja kuviossa 3 esitetyn edullisen sovellutusmuodon välillä. Simuloinnit tehtiin seuraavissa olosuhteissa: ilman paine kylmälaatikkoon = $14,5 \text{ kp/cm}^2$, O_2 :n puhtaus 90 %. Näiden simulointien tulokset on esitetty taulukossa 2.

25

Taulukko 2						
Kierto-prosessi	Teoreettisten vaiheiden määrä		Virtaus-määrä* 242: moolia/h	Virtaus-määrä* 300: moolia/h	Hapen talteen-otto* moolia	Ener-giasuhde**
	Korkea paine	Alhainen paine				
Kuvio 15	50	40	3	0	20,31	1,0
Kuvio 3	50	65	0	6	20,45	0,96

* Peruste: 100 moolia/ tunti syöttöilmaa
 ** Vertailuperusta: $9,8 \text{ kp/cm}^2$:iin puristettu typpituote
 Ei lisää happituotteen puristamista

30

Huomaa että energiasuhteet on laskettu perustuen tavanomaiseen kaksinkertaisella kolonnilla varustetulla kier-

35

toprosessilla, joka toimii korotetuissa paineissa, ja tuotetyyppiin, joka on puristettu 9,8 kp/cm² paineeseen. Jos tavanomaisen matalapainekierto-prosessin energiaa käytetään vertailuperusteena, energiasäästöt taulukossa 1 ovat noin 8 %.

5 Se etu, mikä on kolminkertaisista kiehuuttimista keksinnössä, on esitetty kuvioissa 7 ja 8 esitettyjen kolminkertaisella kiehuuttimella varustetun kierto-prosessin vertailuna keksinnön kaksinkertaisella kiehuuttimella varustettuun, ts. kuviossa 2 esitettyyn. Olosuhteet simuloinnissa olivat seuraavat: ilman paine kylmälaatikoon 10,3 kp/cm², O₂:n puhtaus 95 %. Simuloinnin tulokset on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3							
Kierto-prosessi	Teoreettisten vaiheiden määrä		Hapen talteenotto: moolia**	Nestemäisen hapen tuotto: moolia**	Paisutusenergian etu++: kW	LOX energian etu++: kW	Energiasuhde**
	Korkea paine	Alhainen paine					
Kuvio 2	65	45	20,62	0,7	--	Perus	Perus
Kuvio 7	70	50	20,62	1,10	0,63	2,41	3,04
Kuvio 3	65	45	20,66	0,56	1,09	-0,84	0,25
+ Paisutettu energia x 0,95 x 0,97 ++ Etulaskelma: LOX-tuotto x 390 kW(T/h) ** Perusta: 100 moolia/tunti syöttöilmaa							
Pääilmakompressorin teho 93 kW							

25 Voidaan nähdä, että samalla kun kolminkertaisella kiehuuttimella varustetun kierto-prosessin energiatehokkuus keskimääräisellä tyypen lauhdutuksella on kiehuuttimessa/lauh-

30 duttimessa matalapainekolonnin syöttökohdan välittömästi alapuolella (kuvio 8) vain marginaalisesti parempi kuin keksinnön kahdella kiehuuttimella varustetun kierto-prosessin, että sekä keskimääräisen paineisen ilman että tyypen lauhdutus (kuvio 7) on merkittävästi parempi.

35 Lopuksi tärkeiden virtojen parametrit kuvion 2 (LOX mukana ja ilman sitä) ja kuvion 7 kierto-prosessin simuloituista kierto-prosesseissa on listattu vastaavasti taulukoihin 4 - 6.

Taulukko 4

Valitut virtaparametrit kuvion 2 prosessioveellutuksessa ilman LOX:n tuottamista

Virran numero	200	106	108	112	118	120	132	142	240	262	150	240
Paine kp/cm ²	10.34	10.23	10.23	10.23	10.21	10.21	4.12	10.22	10.02	3.44	3.87	9.98
Lämpötila °C	12.78	-158.6	-158.3	-158.3	-166.9	-166.9	-156.9	-164.8	-169.6	-170.4	-182.3	-169.6
Virtaus moolia/h	100	87.5	79.0	18.5	18.5	7.4	2.5	48.6	6.0	21.7	72.3	31.8

Taulukko 5

Valitut virtaparametrit kuvion 2 prosessioveellutuksessa LOX:n tuottamisen yhteydessä

Virran numero	100	106	108	112	118	120	132	142	240	262	150	240
Paine kp/cm ²	10.34	10.23	10.23	10.23	10.21	10.21	4.11	10.22	3.52	3.44	3.87	9.28
Lämpötila °C	12.78	-160.0	-159.6	-159.6	-166.9	-166.9	-157.0	-164.6	-171.1	-170.4	-182.3	-169.6
Virtaus moolia/h	100	90.8	73.5	17.2	17.2	6.9	9.2	45.5	0.7	21.0	78.3	34.9

Taulukko 6

Valitut virtaparametrit kuvion 7 prosessioveellutuksessa

Virran numero	100	106	732	733	108	112	120	142	264	150	738	240
Paine kp/cm ²	10.34	10.23	5.87	5.85	10.23	10.23	10.21	10.22	3.3	3.87	6.61	10.0
Lämpötila °C	12.78	-160.9	-134.1	-175.2	-161.6	-161.6	-164.9	-164.9	-171.1	-175.6	-169.6	-169.6
Virtaus moolia/h	100	88.8	11.2	11.2	70.1	18.6	8.4	44.8	1.1	78.3	22.0	11.8

Esillä olevaa keksintöä on selostettu viittaamalla useisiin sen erityissovellutuksiin. Näitä sovellutuksia ei tulisi katsoa esillä olevan keksinnön rajoituksina. Esillä olevan keksinnön ulottuvuus tulisi katsoa seuraavista patenttivaatimuksista.

5

Patenttivaatimukset:

1. Prosessissa ilman alhaisessa lämpötilassa tapahtuvaa tislausta varten sen ainesosakomponenteista ainakin yhden erottamiseksi ja tuottamiseksi, jolloin alhaisessa lämpötilassa tapahtuva tislauk-
5 sa suoritetaan tislaukskolonnijärjestelmässä, jossa on ainakin kaksi tislaukskolonnia, jotka toimivat eri paineissa; syöttöilman virta puristetaan välillä 5 - 20 kp/cm² olevaan paineeseen ja olennaisesti vapautetaan epäpuhtauksista, jotka jäätyvät alhaisissa lämpötiloissa; puristetun
10 olennaisesti epäpuhtauksista vapaan syöttöilman ainakin osa jäähdytetään ja syötetään ensimmäiseen kahdesta tislaukskolonnista ja väkevoimistislataan siinä täten tuottaen korkeampipaineisen typen yläkerroksen ja nestemäisen raakahapen pohja-
15 kerrokset; nestemäisen raakahapen pohjakerrosten painetta alennetaan, ja ne syötetään toiseen kahdesta tislaukskolonnista tislauksesta varten täten tuottaen matalampipaineisen typen yläkerroksen ja nestemäisen raakahapen pohjakerrokset; jäähdytetyn, puristetun, olennaisesti epäpuhtauksista vapaan syöttöilman osuuden fraktio lauhdutetaan ainakin osittain ensimmäisessä kiehu-
20 tussessa/lauhdutussessa, joka sijaitsee toisen tislaukskolonnin pohjassa, ja syötetään ainakin toiseen kahdesta tislaukskolonnista; ainakin osa korkeampipaineisen typen yläkerroksesta lauhdutetaan lämmönvaihdolla nesteen kanssa, joka laskeutuu toista tislaukskolonnia toisessa kiehu-
25 tussessa/lauhdutussessa, joka sijaitsee toisen tislaukskolonnin ja nestemäisen raakahapen pohjakerrosten syöttökohdan välissä olevassa matalapainekolonnissa; lauhdutettu korkeampipaineinen tyyppi syötetään ainakin toiseen kahdesta tislaukskolonnista palautuksena; ja tuotetaan kaasumainen tyyppituote, t u n -
30 n e t t u siitä, että parannus keksintöön prosessin tehok-
kaamman toiminnan mahdollistamiseksi korotetuissa lämpötiloissa käsittää:

(a) toisen kolonnin nestemäisten hapen pohjakerrosten
35 osan lämmönvaihtamisen tyyppihöyryvirran kanssa, joka poiste-

taan korkeapaine- tai matalapaine- tai joka on peräisin kaasumaisesta tyypituotteesta, jolloin ennen tällaista lämmönvaihtoa nestemäisen hapen pohjakerrosten osuuden tai typpihöyryvirran painetta tai sekä nestemäisen hapen pohjakerrosten osuuden että typpihöyryvirran painetta säädetään vaikuttavalla määrällä, niin että on sopiva lämpötilaero nestemäisen hapen pohjakerrosten ja typpihöyryvirran välillä, niin että lämmönvaihdon yhteydessä typpihöyry lauhtuu kokonaan ja nestemäisen hapen pohjakerrosten osuus ainakin osittain höyrystyy;

(b) lauhtuneen typen käyttämisen palautuksena ainakin toisessa kahdesta tislaukskolonnista; ja

(c) höyrystyneen hapen lämmittämisen jäähdytyksen talteenottamiseksi.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen prosessi, tunnettu siitä, että puristetun, olennaisesti epäpuhtauksista vapaan ilman toinen osa lisäpuristetaan, jäähdytetään ja energiaa tuottaen paisutetaan toisen tislaukskolonnin toimintapaineeseen ja paisutettu osa syötetään toisen tislaukskolonnin välikohtaan.

3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen prosessi, tunnettu siitä, että energiaa tuottaen lisää puristettua, jäähdytettyä osuutta paisuttamalla tuotettu energia käytetään puristamaan toista osaa.

4. Patenttivaatimuksen 1 mukainen prosessi, tunnettu siitä, että typpihöyry, joka on lauhdutettu vaiheessa (a), on osa alhaisen paineen typen yläkerroksesta, ja lauhdutettua typpeä käytetään palautuksena toisessa tislaukskolonnissa.

5. Patenttivaatimuksen 2 mukainen prosessi, tunnettu siitä, että typpihöyry, joka on lauhdutettu vaiheessa (a), on osa alhaisen paineen typen yläkerroksesta, ja lauhdutettua typpeä käytetään palautuksena toisessa tislaukskolonnissa.

5 6. Patenttivaatimuksen 1 mukainen prosessi, t u n -
n e t t u siitä, että typpihöyry, joka on lauhdutettu vai-
heessa (a), on osa korkean paineen typen yläkerroksesta, ja
lauhdutettua typpeä käytetään palautuksena toisessa tislausko-
lonnissa.

10 7. Patenttivaatimuksen 2 mukainen prosessi, t u n -
n e t t u siitä, että typpihöyry, joka on lauhdutettu vai-
heessa (a), on osa korkean paineen typen yläkerroksesta, ja
lauhdutettua typpeä käytetään palautuksena toisessa tislausko-
lonnissa.

15 8. Patenttivaatimuksen 6 mukainen prosessi, t u n -
n e t t u siitä, että se lisäksi käsittää typpituotteen frak-
tion, joka on puristettu toisen tislauskolonnin välikohdassa
sijaitsevaan kiehuuttimeen/lauhduttimeen, uudelleen kierrättä-
misen.

20 9. Patenttivaatimuksen 7 mukainen prosessi, t u n -
n e t t u siitä, että se lisäksi käsittää puristetun typpi-
tuotteen toisen fraktion lisäpuristamisen, jäähdyttämisen
ja energiaa tuottaen paisuttamisen; paisutetun toisen fraktion
lauhduuttamisen lämmönvaihdolla toista kolonnia laskeutuvan
nesteen kanssa kolmannessa kiehuuttimessa/lauhduttimessa, joka
sijaitsee alennetun paineen syöttökohdan, nestemäisen raakaha-
pen pohjakerrosten ja toisen kiehuuttimen/lauhduttimen välissä
olevassa toisessa tislauskolonnissa; ja lauhtuneen typen käyt-
tämisen palautuksena toista tislauskolonnia varten.

30 10. Patenttivaatimuksen 1 mukainen prosessi, t u n -
n e t t u siitä, että ilmavirtaa puristetaan kompressorissa,
joka on mekaanisesti kytketty kaasuturbiiniin ja joka lisäksi
käsittää ilman alhaisen lämpötilan tislausta varten olevasta
prosessista tuotetun kaasumaisen typen ainakin osan puristami-
sen; puristetun, kaasumaisen typen, puristetun ilmavirran
ainakin osan ja polttoaineen polttamisen palamiskammiossa
tuottaen palamiskaasua; palamiskaasun energiaa tuottaen pai-
suttamisen kaasuturbiinissa; ja tuotetun energian ainakin

osan käyttämisen käyttämään kompressoria, joka on mekaanisesti kytketty kaasuturbiiniin.

11. Patenttivaatimuksen 2 mukainen prosessi, t u n -
n e t t u siitä, että ilmavirtaa puristetaan kompressorissa,
5 joka on mekaanisesti kytketty kaasuturbiiniin ja joka lisäksi
käsittää ilman alhaisen lämpötilan tislausta varten olevasta
prosessista tuotetun kaasumaisen typen ainakin osan puristami-
sen; puristetun, kaasumaisen typen, puristetun ilmavirran
ainakin osan ja polttoaineen polttamisen palamiskammiossa
10 tuottaen polttokaasua; polttokaasun energiaa tuottaen paisut-
tamisen kaasuturbiinissa; ja tuotetun energian ainakin osan
käyttämisen käyttämään kompressoria, joka on mekaanisesti
kytketty kaasuturbiiniin.

12. Patenttivaatimuksen 1 mukainen prosessi, t u n -
15 n e t t u siitä, että käsittää lisäksi vaiheen (c) höyrysty-
neen hapen energiaa tuottaen paisuttamisen.

13. Patenttivaatimuksen 2 mukainen prosessi, t u n -
n e t t u siitä, että käsittää lisäksi vaiheen (c) höyrysty-
neen hapen energiaa tuottaen paisuttamisen.

20 14. Patenttivaatimuksen 1 mukainen prosessi, t u n -
n e t t u siitä, että se käsittää lisäksi korkeampipaineisen
typen yläkerroksen osan energiaa tuottaen paisuttamisen; pai-
sutetun typen lauhduttamisen lämmönvaihdolla toista kolonnia
laskeutuvan nesteen kanssa kolmannessa kiehuuttimessa/lauhdut-
25 timessa, joka sijaitsee toisessa tislauskolonnissa alennetun
paineen syöttökohdan, nestemäisen raakahapen pohjakerrosten
ja toisen kiehuuttimen/lauhduttimen välissä; ja lauhdutetun
typen käyttämisen palautuksena toista tislauskolonnia varten.

15. Patenttivaatimuksen 2 mukainen prosessi, t u n -
30 n e t t u siitä, että se käsittää lisäksi korkeampipaineisen
typen yläkerroksen osan energiaa tuottaen paisuttamisen;
paisutetun typen lauhduttamisen lämmönvaihdolla toista kolon-
nia laskeutuvan nesteen kanssa kolmannessa kiehuuttimessa/lauh-
duttimessa, joka sijaitsee toisessa tislauskolonnissa alenne-
35 tun paineen syöttökohdan, nestemäisen raakahapen pohjakerros-

ten ja toisen kiehuttimen/lauhduttimen välissä; ja lauhdutetun typen käyttämisen palautuksena toista tislauuskolonnia varten.

5 16. Patenttivaatimuksen 14 mukainen prosessi, t u n -
n e t t u siitä, että se käsittää lisäksi (ilman) paisutetun
osuuden lauhduttamisen kolmannessa kiehuttimessa/lauhduttimes-
sa ennen viemistä toiseen tislauuskolonniin.

10 17. Patenttivaatimuksen 2 mukainen prosessi, t u n -
n e t t u siitä, että se käsittää lisäksi paisutetun osuuden
lauhduuttamisen kiehuttimessa/lauhduttimessa kiehuvia neste-
mäistä raakahapen pohjakerroksia vasten ennen viemistä toiseen
tislauuskolonniin.

15 18. Patenttivaatimuksen 10 mukainen prosessi, t u n -
n e t t u siitä, että ainakin osa puristetusta syöttöilmasta
on peräisin ilmapirrasta, joka on puristettu kompressorissa,
joka on mekaanisesti kytketty kaasuturbiiniin.

19. Patenttivaatimuksen 11 mukainen prosessi, t u n -
n e t t u siitä, että ainakin osa puristetusta syöttöilmasta
on peräisin ilmapirrasta, joka on puristettu kompressorissa,
joka on mekaanisesti kytketty kaasuturbiiniin.

20 20. Patenttivaatimuksen 1 mukainen prosessi, t u n -
n e t t u siitä, että ainakin osa puristetusta syöttöilmasta
on peräisin ilmapirrasta, joka on puristettu kompressorissa,
joka on mekaanisesti kytketty kaasuturbiiniin.

25 21. Patenttivaatimuksen 1 mukainen prosessi, t u n -
n e t t u siitä, että vaiheessa (a) pienennetään vain neste-
mäisen hapen pohjakerrosten osuuden painetta ennen lämmönvaih-
toa.

30 22. Patenttivaatimuksen 1 mukainen prosessi, t u n -
n e t t u siitä, että vaiheessa (a) korotetaan vain typpihöy-
ryn painetta ennen lämmönvaihtoa.

23. Patenttivaatimuksen 1 mukainen prosessi, t u n -
n e t t u siitä, että vaiheessa (a) korotetaan typpihöyryn
painetta ja nestemäisen hapen pohjakerrosten painetta korote-
taan ennen lämmönvaihtoa.

24. Patenttivaatimuksen 1 mukainen prosessi, t u n -
n e t t u siitä, että jäähdytetty, puristettu olennaisesti
epäpuhtauksista vapaa syöttöilman osuus, joka on syötetty
ensimmäiseen kahdesta tislauskolonnista, ja jäähdytetyn,
5 puristetun, olennaisesti epäpuhtauksista vapaan syöttöilman
osuuden fraktio ainakin osittain lauhdutetaan lämmönvaihdolla
nestemäisen hapen pohjakerrosten kanssa ensimmäisessä kiehut-
timessa/lauhduttimessa, joka sijaitsee toisen tislauskolonnin
pohjassa, ja ovat samaa virtaa.

FIG. 1

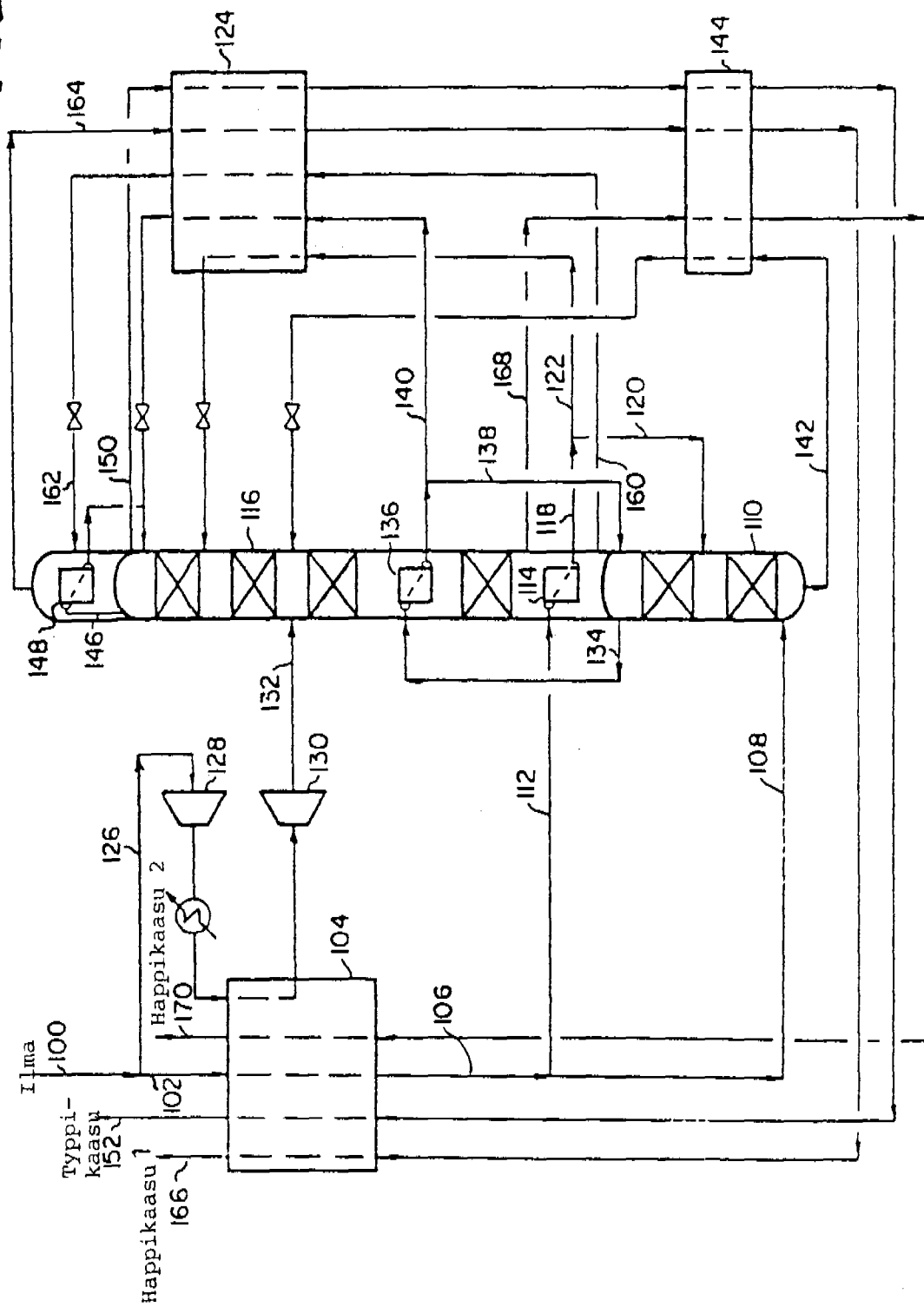


FIG. 2

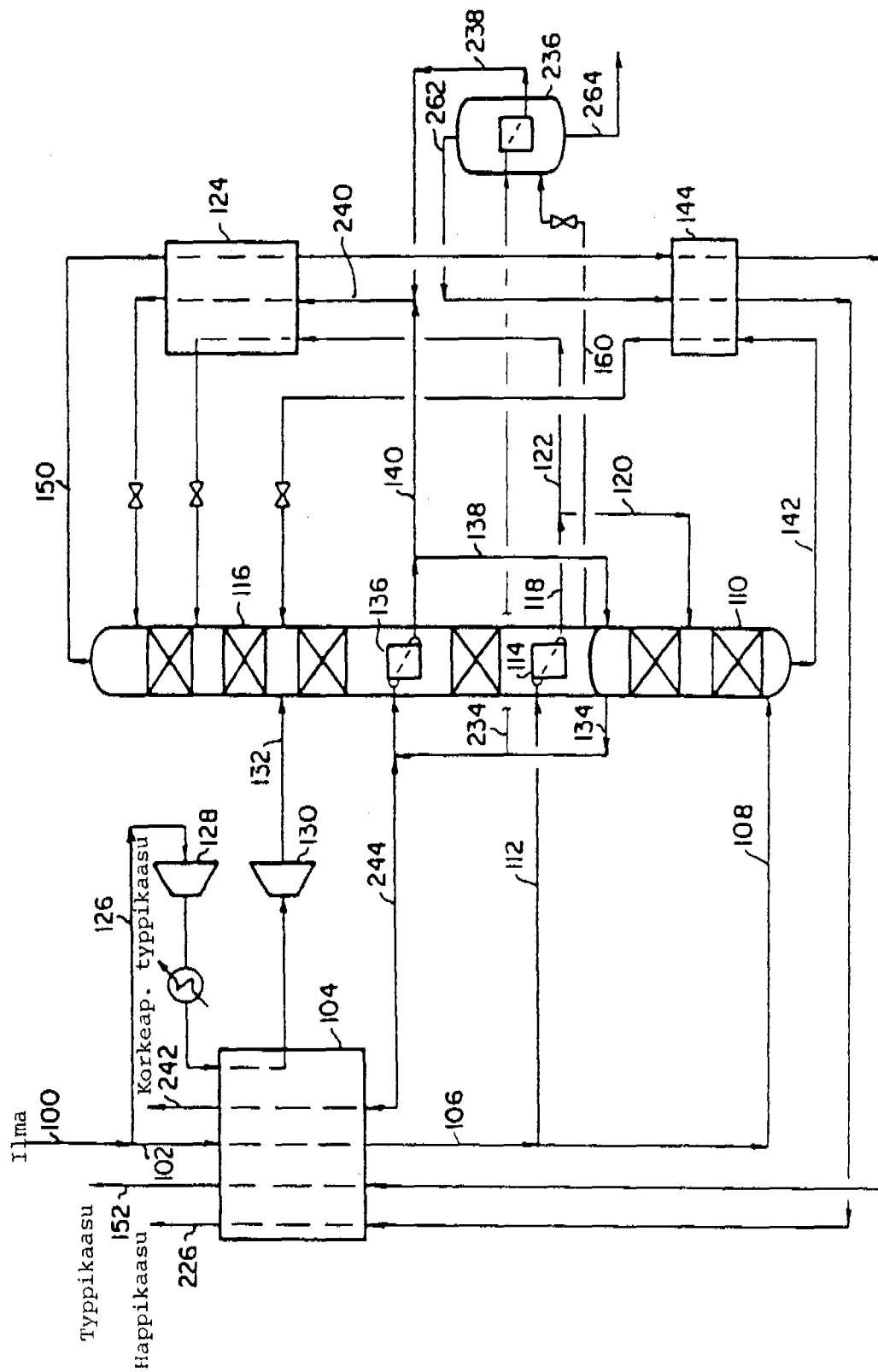
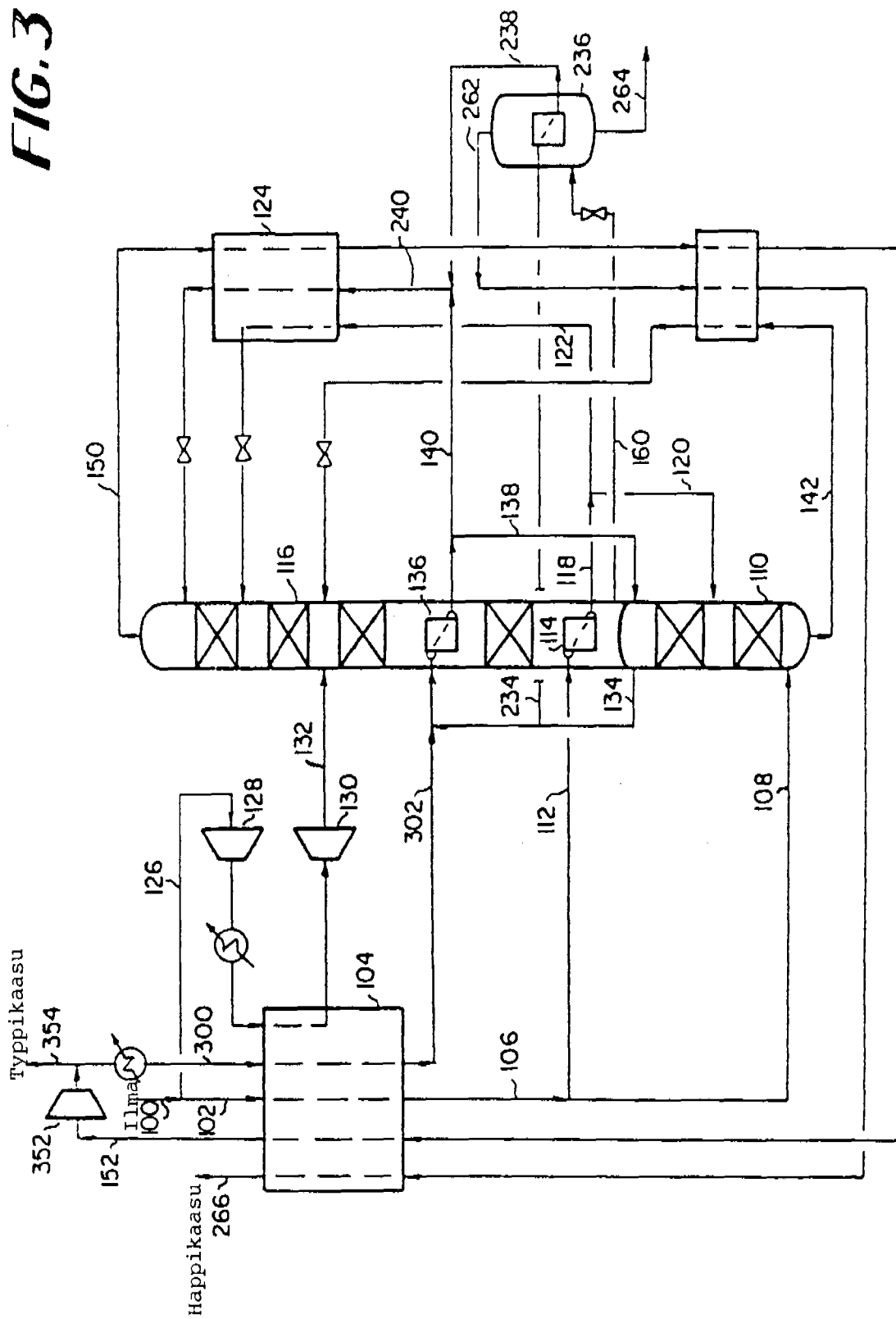


FIG. 3



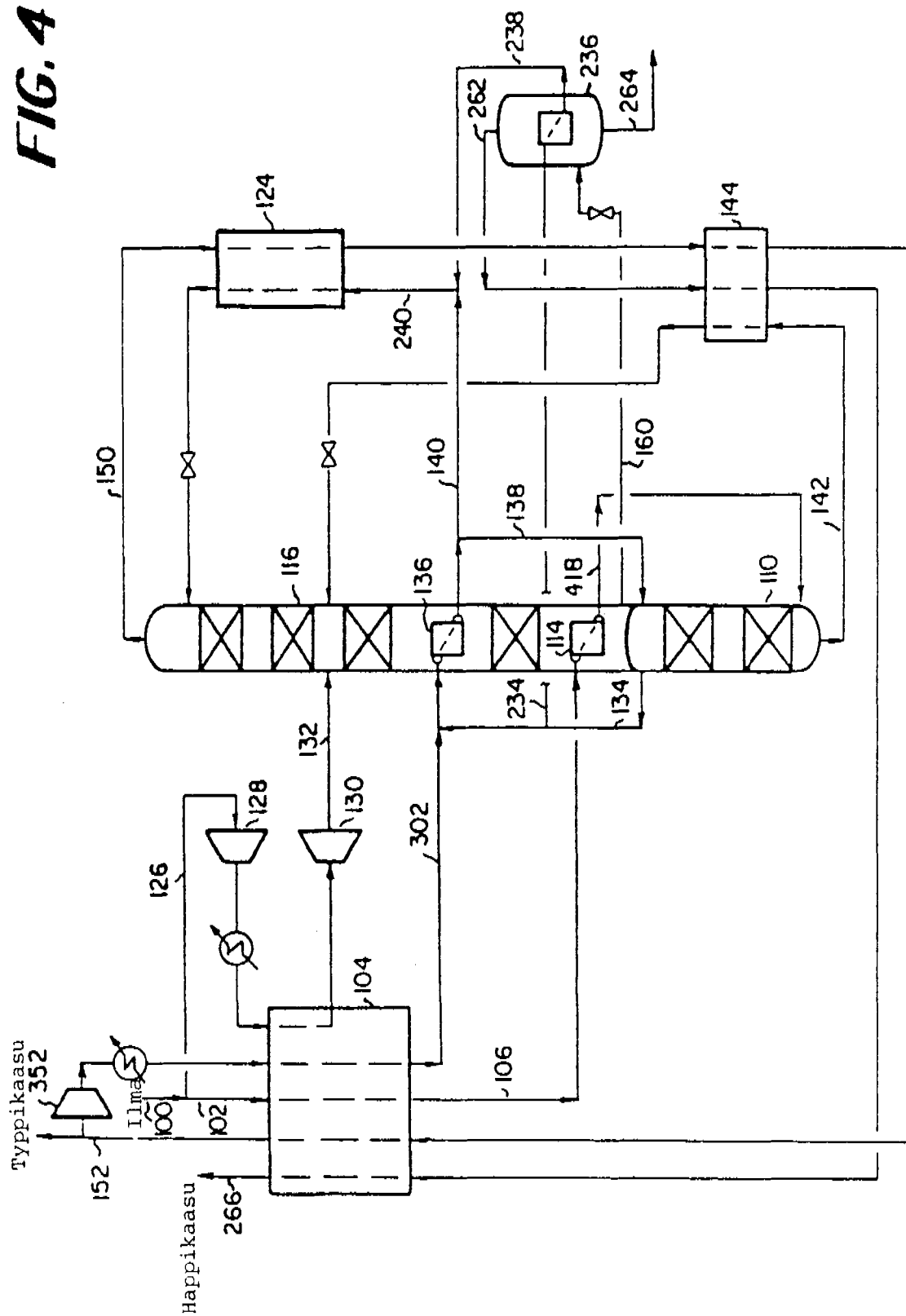


FIG. 6

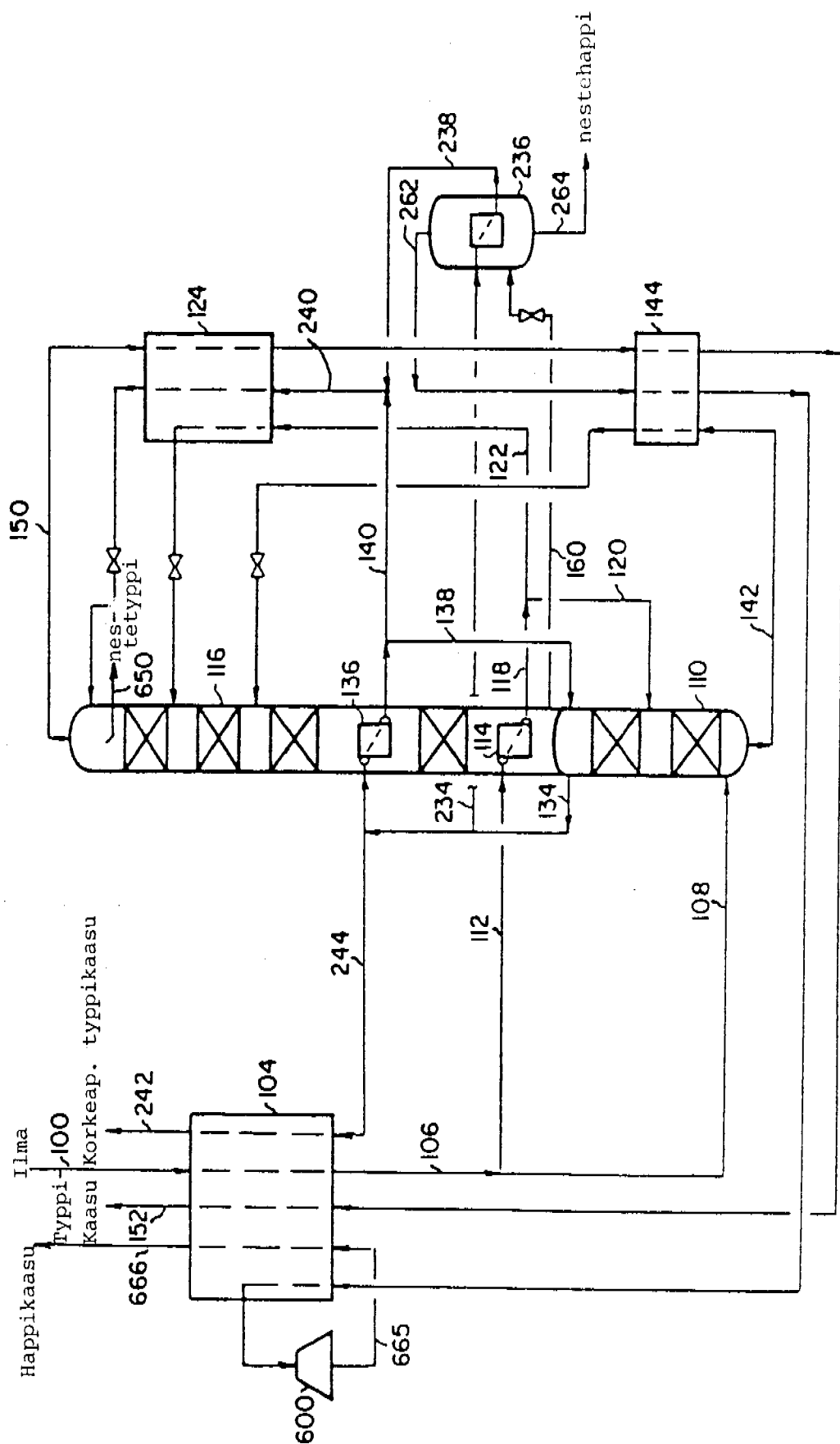


FIG. 7

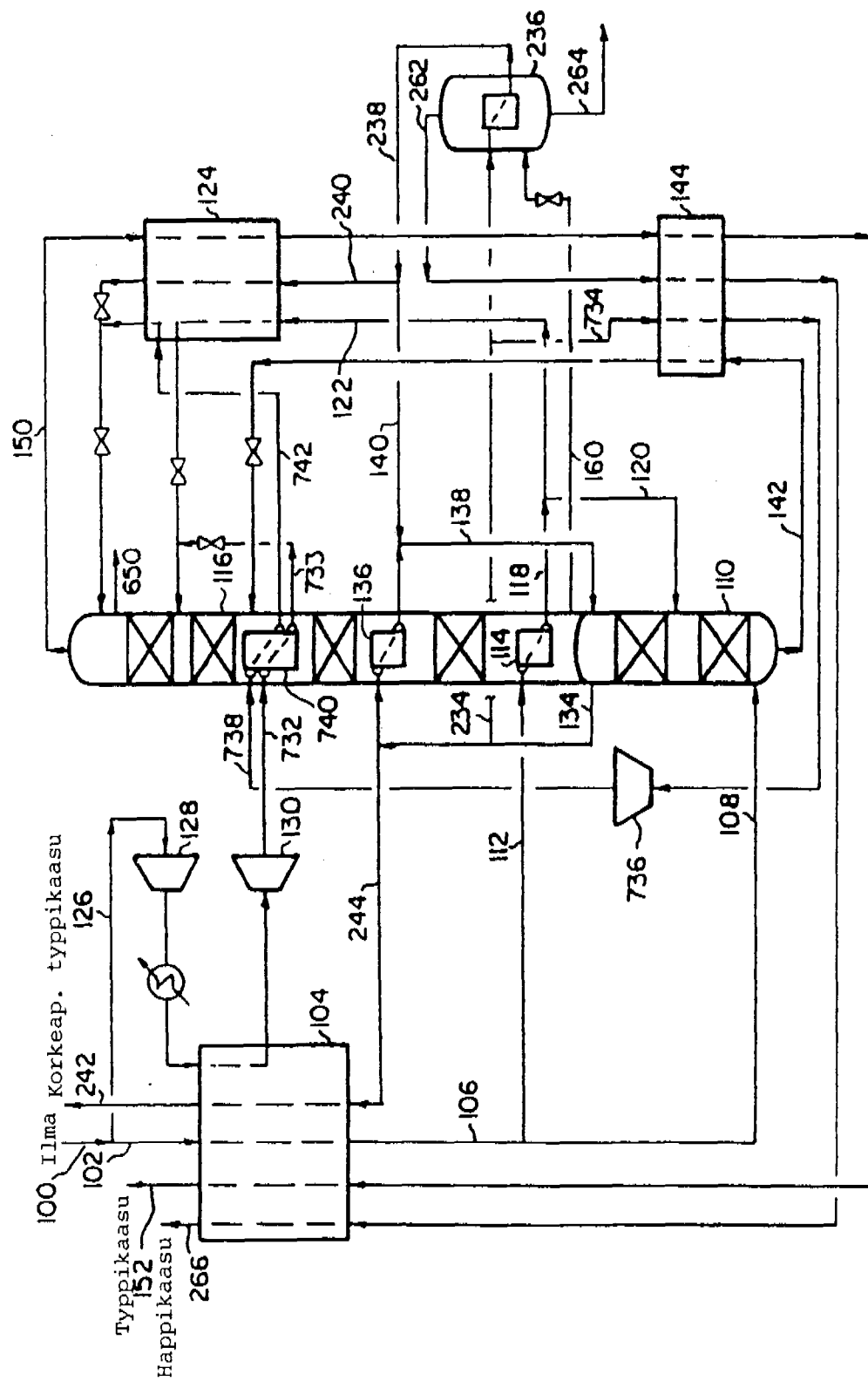


FIG. 8

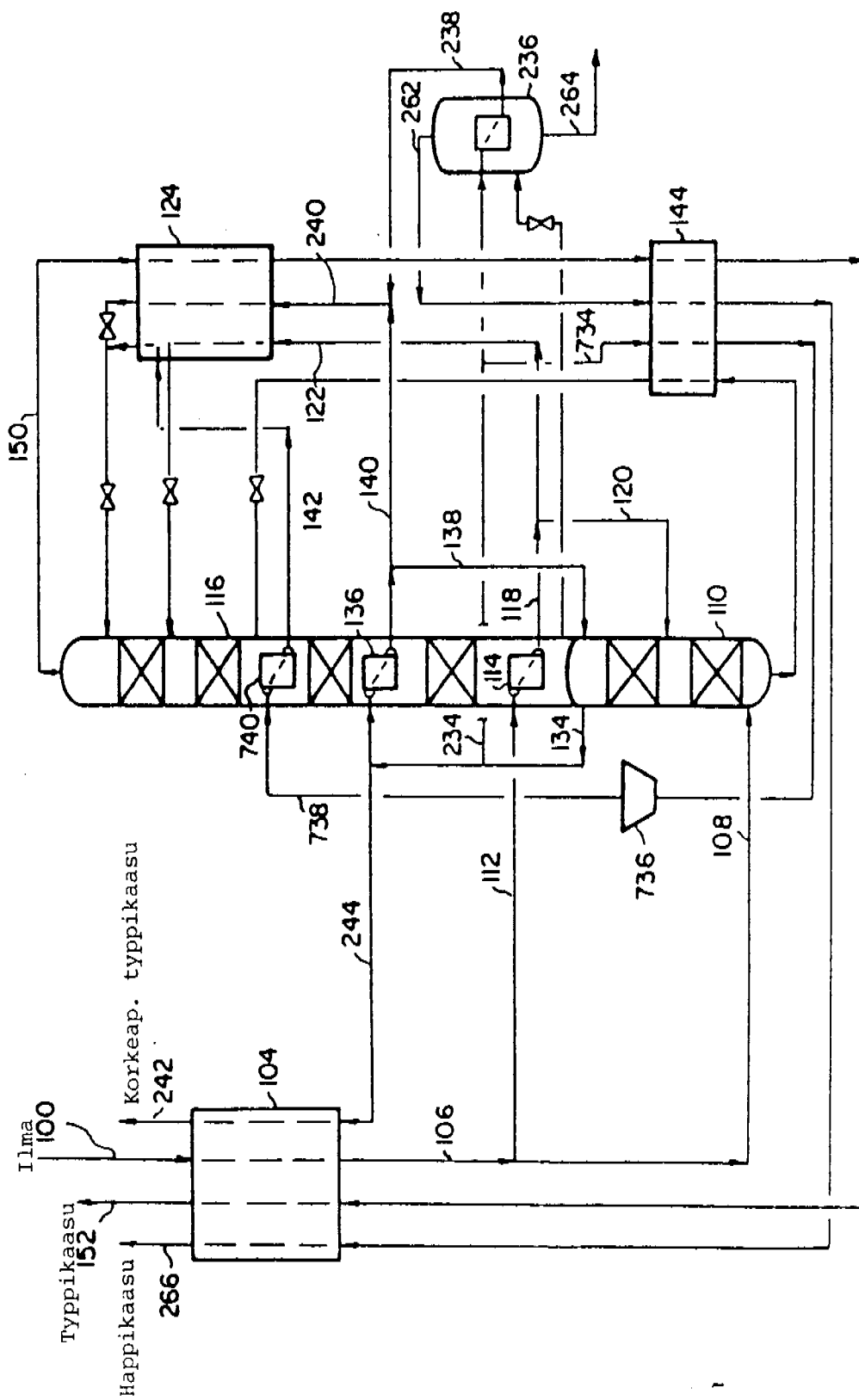


FIG. 9

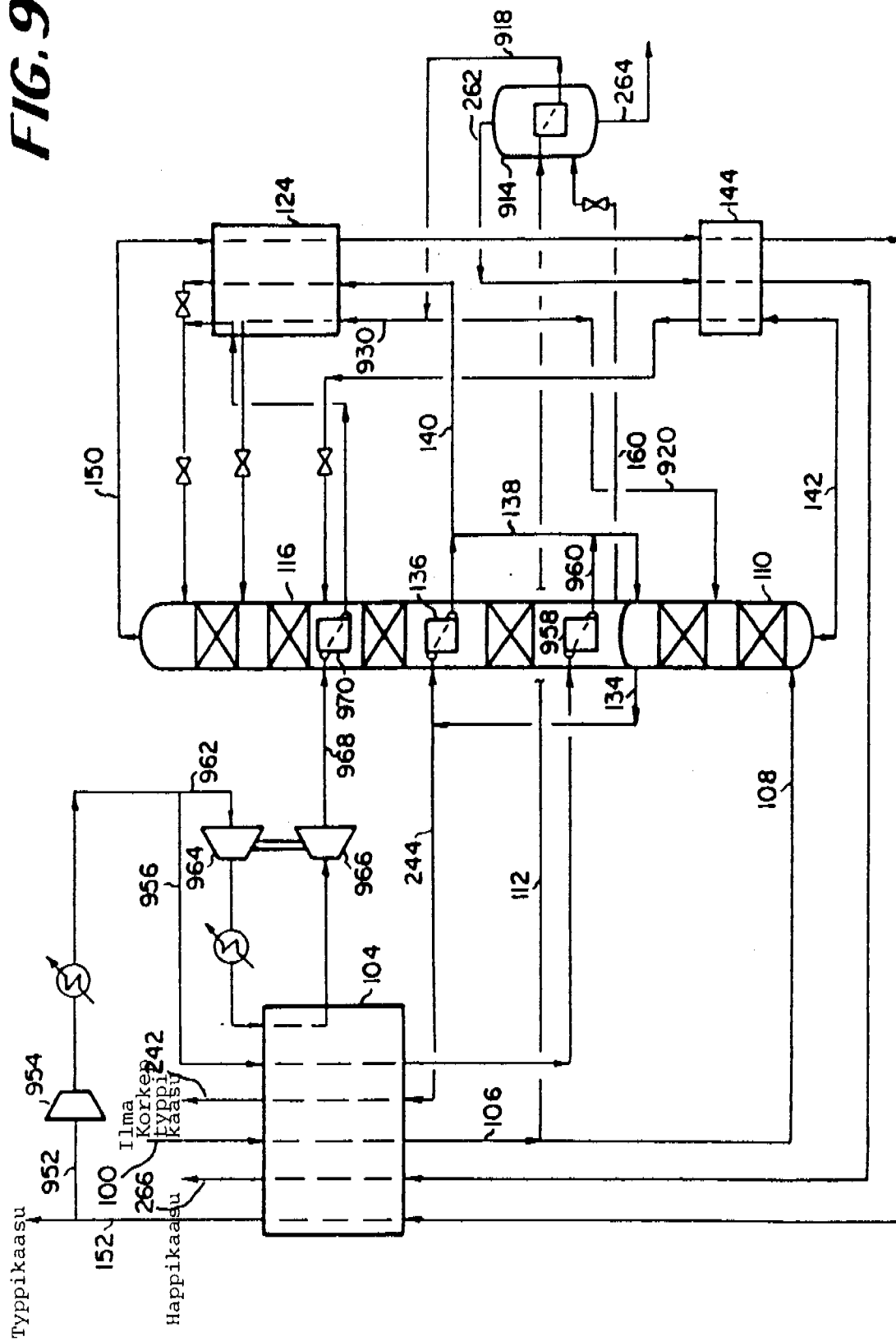


FIG. 10

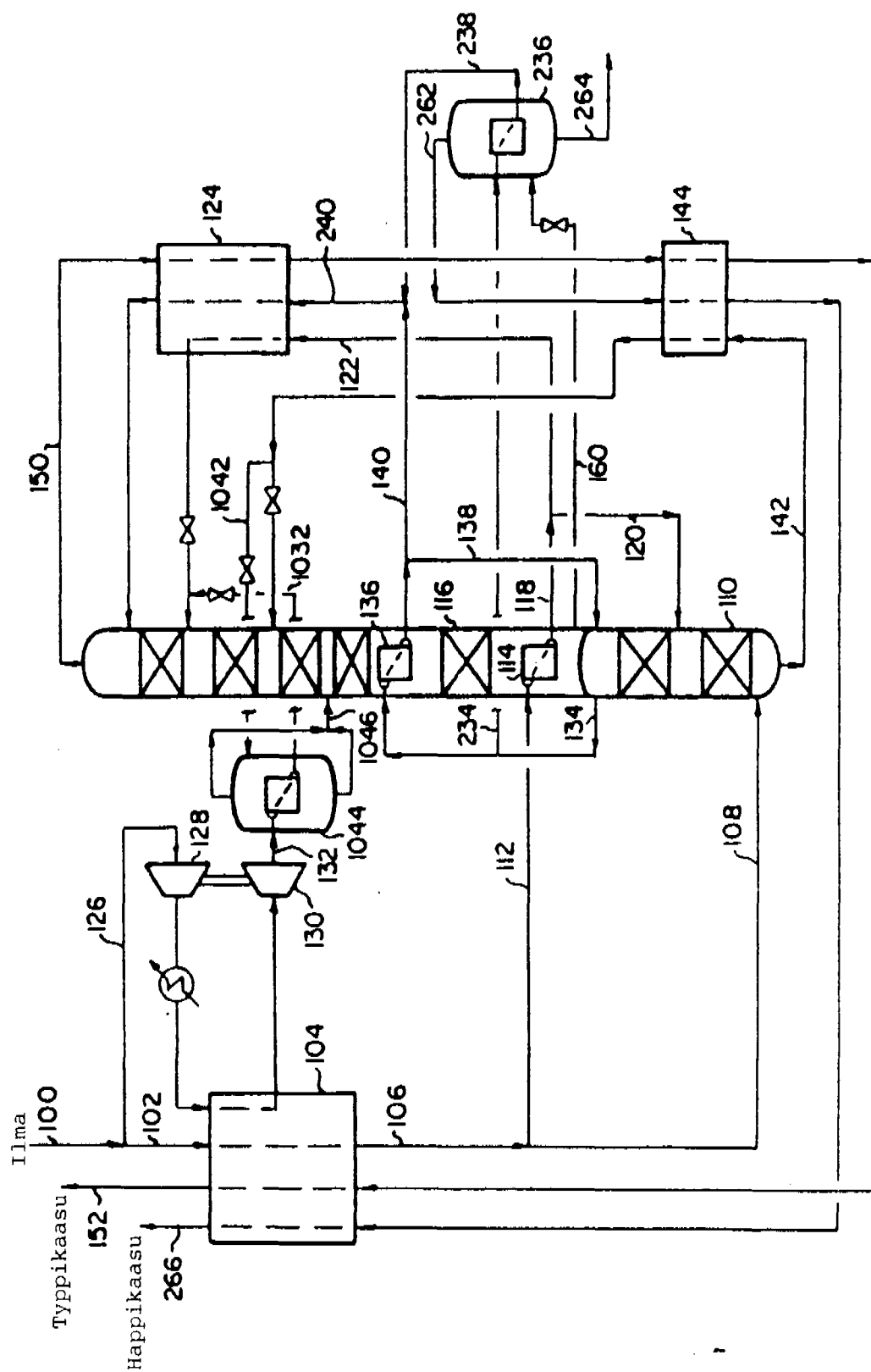


FIG. 11

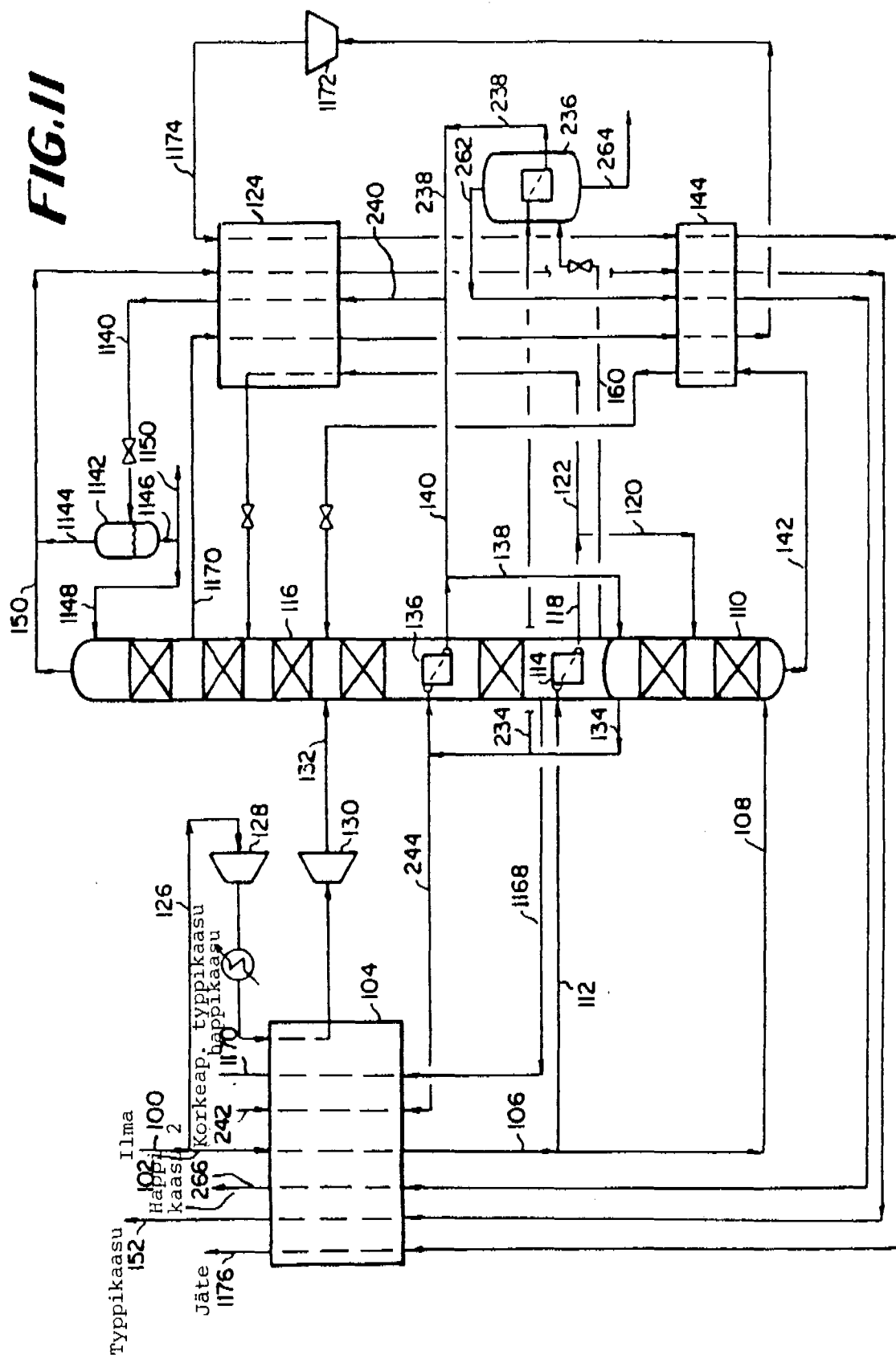


FIG. 12

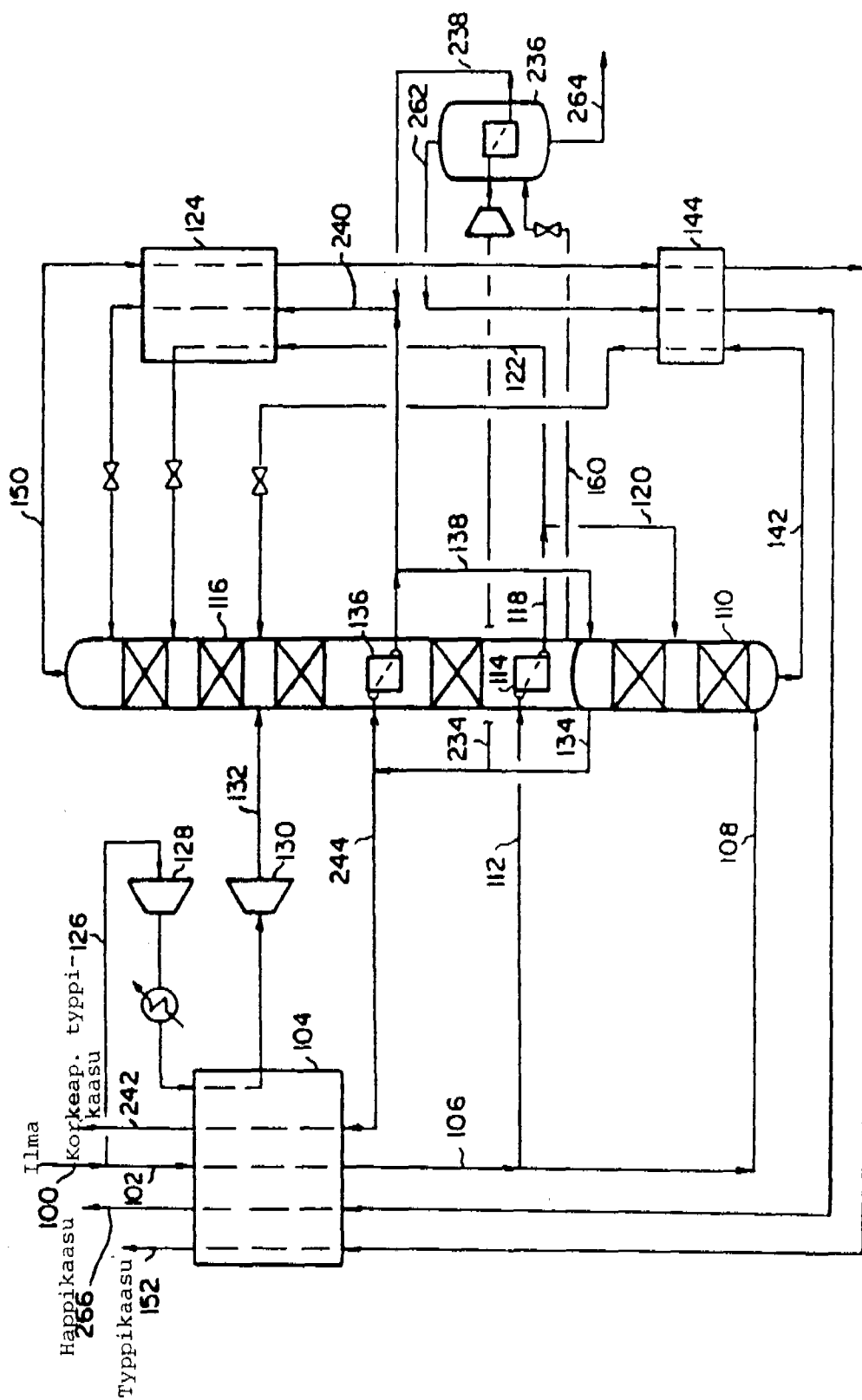


FIG. 13

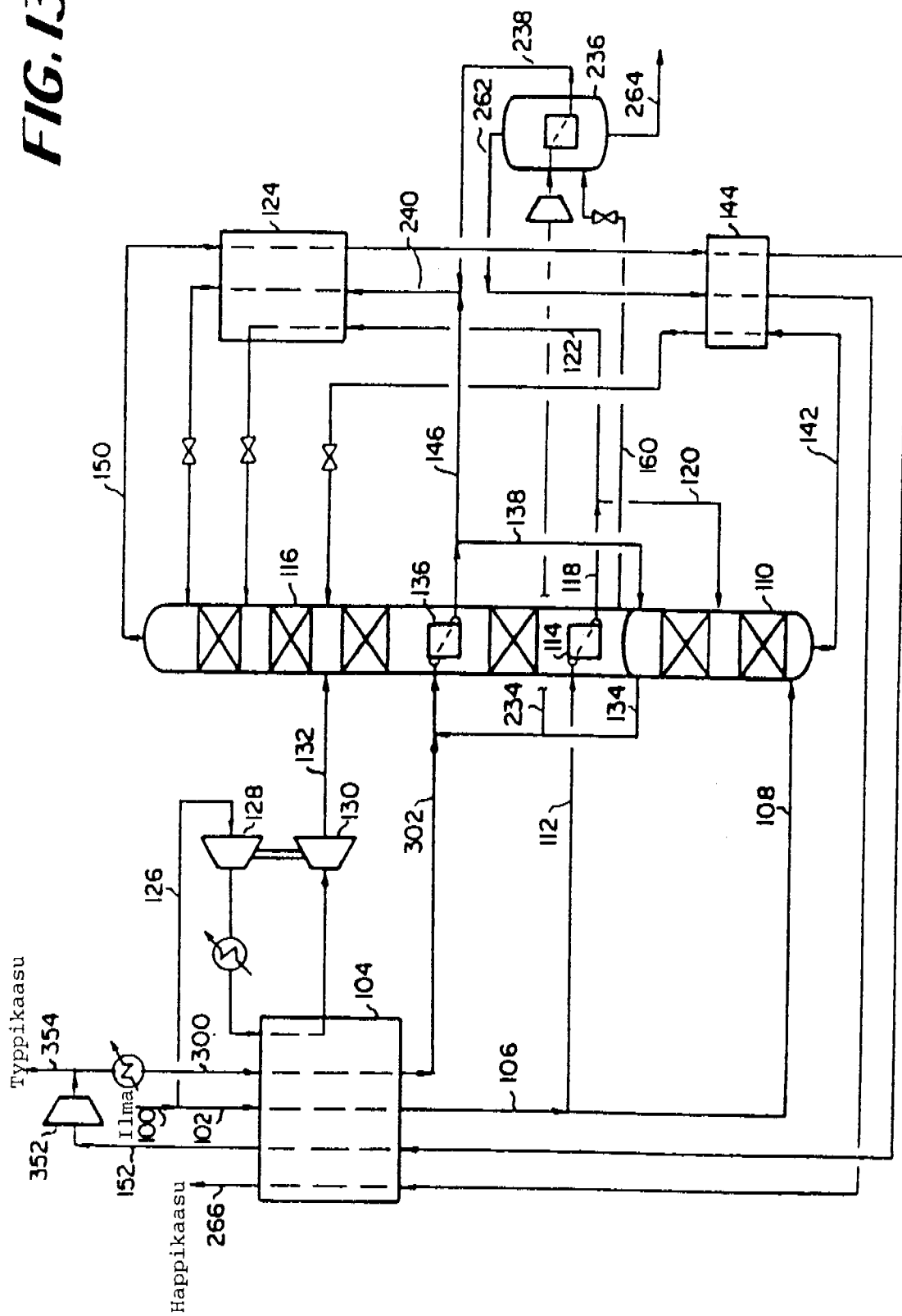


FIG. 14

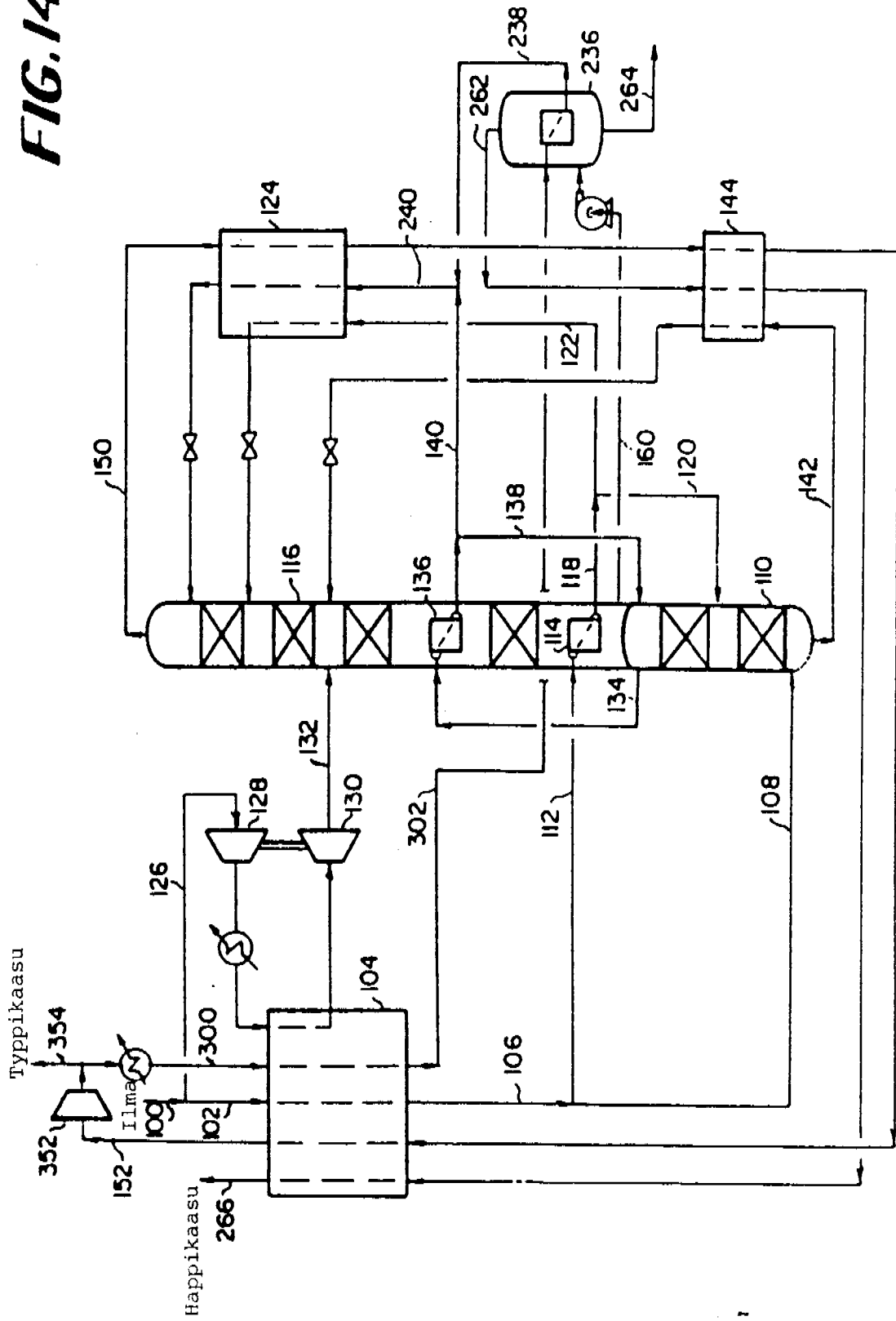


FIG. 15

