(19)

SUOMI - FINLAND
(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN
FINNISH PATENT AND REGISTRATION OFFICE

(10) **FI 943848 A7**

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

(21) Patenttihakemus - Patentansökan - Patent application 943848

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

(22) Tekemispäivä - Ingivningsdag - Filing date **22.08.1994**

(23) Saapumispäivä - Ankomstdag - Reception date **22.08.1994**

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig - Available to the public **24.02.1995**

(43) Julkaisupäivä - Publiceringsdag - Publication date **13.06.2019**

(32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet - Priority

23.08.1993 US 110742

(71) Hakija - Sökande - Applicant

1 • The Boc Group Inc., 575 Mountain Avenue, Murray Hill, New Providence, NJ 07974, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

(72) Keksijä - Uppfinnare - Inventor

1 • Mostello, Robert A., USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

(74) Asiamies - Ombud - Agent

Berggren Oy Ab, Antinkatu 3 C, 00100 Helsinki

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

Kryogeeninen väkevöimistislausmenettely ja laite pumpattavan nestetuotteen höyrystämiseksi

Kryogen rektifikationsprocess och apparat för vaporisering av en pumpad vätskeprodukt

Kryogeeninen väkevöimistislausmenettely ja laite pumpattavan nestetuotteen höyrystämiseksi - Kryogen rektifikationsprocess och apparat för vaporisering av en pumpad vätskeprodukt

Keksinnön kohteena on kryogeeninen väkevöimistislausmenettely ja laite korkean ja alhaisen haihtuvuuden omaavien aineosien erottamiseksi kaasumaisesta seoksesta, jossa seos on aluksi paineistettu ja sen jälkeen jäähdytetty väkevöimistislausta varten sopivaan lämpötilaan. Tarkemmin sanoen, tämän keksinnön kohteena on sellainen menettely ja laite, jossa alhaisen haihtuvuuden omaava aineosa pumpataan jakelupaineiseksi ja höyrystetään sen jälkeen päälämmönvaihtimella, jota käytetään seoksen jäähdyttämiseen. Vieläkin tarkemmin sanoen, tämän keksinnön kohteena on sellainen menettely ja laite, jossa päälämmönvaihtimen sisäinen termodynaaminen palautumattomuus on minimoitu.

Erilaisen haihtuvuuden omaavat kaasumaisten seosten aineosat erotetaan toisistaan erilaisilla hyvin tunnetuilla kryogeenisillä väkevöimistislausmenettelyillä. Tällaisissa menettelyissä käytetään päälämmönvaihdinta jäähdyttämään kaasuseos väkevöimistislausta varten sopivaan lämpötilaan sen jälkeen kun kaasuseos on puristettu kokoon. Väkevöimistislaus suoritetaan tislauskolonneissa, joihin kuuluu tarjottimia tai tiivistystiloja (rakenteellisia tai erillisiä) seoksen nestemäisten ja kaasumaisten vaiheiden saattamiseksi läheiseen yhteyteen ja seoksen aineosien erottamiseksi tällöin niiden haihtuvuuden mukaan. Jotta voitaisiin välttää tuotekompressorin käyttöä tuottamaan alhaisemman haihtuvuuden omaavaa aineosaa jakelupaineella, tislaus suoritetaan siten, että alhaisemman haihtuvuuden omaava aineosa tuotetaan nestemuodossa. Alhaisemman haihtuvuuden omaava aineosa pumpataan sen jälkeen nestemäisenä jakelupaineeseen ja höyrystetään päälämmönvaihtimen sisällä.

Tärkeä kryogeeninen väkevöimistislausmenettely koskee ilman erottamista. Ilma sisältää alhaisen haihtuvuuden omaavan aineosan, hapen, ja korkean haihtuvuuden omaavan aineosan, typen. Paineistetun happikaasun tuotannossa nestemäisen ilman kryogeenisenä väkevöimistuotteena aikaansaatu happituote pumpataan jakelupaineeseen ja lämmitetään sisään tulevalla ilmalla lämmönvaihtimessa, josta se tulee ulos paineistettuna kaasuna. Ainakin osa ilmavirrasta on tyypillisesti paineistettava paljon korkeampaan paineeseen kuin happi, jotta lämmönvaihtimeen saataisiin sopiva lämpötilojen ero. Esimerkiksi silloin, kun happituotetta, jonka tilavuusosuus on 19-22% sisään tulevasta ilmasta, pumpataan paineeseen 42,8 bar(a), noin 35-40% sisään tulevasta ilmasta puristetaan noin paineeseen 74,5 bar(a). Tämä vaatimus on tulos lämpötilan ja syöttöilman ja tuotevirtojen väliin siirretyn lämmön yhteensopimattomuudesta joissakin päälämmönvaihtimen osissa, mikä vaikuttaa tuotteiden kuumentamiseen ja ilman jäähdyttämiseen. Tästä johtuen ilman ja tuotevirtojen välillä vallitsee suuria lämpötilaeroja osassa lämmönvaihdinta. Tämä tunnetaan termodynaamisena palautumattomuutena ja se lisää menettelyn vaatiman energian määrää.

Kuten seuraavassa tarkastellaan, tämän keksinnön avulla saadaan aikaan menettely ja laite ilman erottamiseksi siten, että siinä termodynaamiset palautumattomuudet päälämmönvaihtimessa minimoidaan. Lisäksi tämän keksinnön kohteena on menetelmä höyrystää pumpattua alhaisen haihtuvuuden omaavaa tuotetta päälämmönvaihtimen sisällä, esimerkiksi ilman aineosia, petrokemikaaleja jne. siten, että termodynaamiset palautumattomuudet päälämmönvaihtimessa minimoidaan.

Yhdeltä näkökannalta katsoen, tämän keksinnön kohteena on menetelmä ilman erottamiseksi ja sen ohella kaasumaisen happituotteen valmistaminen jakelupaineisena. Tämän menettelyn mukaisesti ilma paineistetaan, paineistuslämpö siirretään pois ilmasta ja tämän jälkeen ilma puhdistetaan. Sitten ilma jäähdytetään päälämmönvaihtimessa. Ennen ilman jäähdyttämistä ainakin osa jäähdytettävästä ilmasta puristetaan edelleen

muodostamaan lisäpuristettu ilmavirtaus. Puristuksen lämpö siirretään pois lisäpuristetusta ilmavirrasta. Ainakin osa lisäpuristetusta ilmavirrasta poistetaan päälämmönvaihtimesta siinä päälämmönvaihtimen kohdassa, jossa lisäpuristetun ilmavirran lämpötila on lähellä teoreettista kuristuspistelämpötilaa ja ainakin yksi osuus ainakin osasta lisäpuristettua ilmavirtaa on poistettu päälämmönvaihtimesta ja puristettu edelleen muodostamaan ensimmäinen apuilmavirta. Tämä apuilmavirta johdetaan takaisin päälämmönvaihtimeen sillä tasolla, joka on korkeammassa lämpötilassa kuin teoreettinen kuristuspistelämpötila. Sen jälkeen kun ensimmäinen apuilmavirta on tullut jälleen päälämmönvaihtimeen, se jäähdytetään täysin lämpötilaan, joka on sopiva sen väkevöimistislausta varten.

Osa jäähdytettävästä ilmasta poistetaan päälämmönvaihtimesta muodostamaan toinen apuilmavirta. Toinen apuilmavirta jäähdytetään lämpötilaan, joka on sopiva sen väkevöimistislausta varten ilman päälämmönvaihtimen käyttöä. Toinen apuilmavirta jäähdytetään laajentamalla toista apuilmavirtaa laajennuslaitteen toiminnalla siten, että toinen apuilmavirta saavuttaa lämpötilan, joka on sopiva siinä olevan ilman väkevöimistislausta varten. Ainakin osa laajennustoiminnasta kohdistetaan lämmönvaihtimesta poistetun lisäpuristetun ilman ainakin yhden osan ainakin yhden osuuden puristamiseksi edelleen.

Ensimmäisen ja toisen apuilmavirran sisältämä ilma väkevöidään ilmanerotusyksikössä, joka on kokoonpantu siten, että se tuottaa nestemäistä happea. Menettelyyn lisätään jäähdytys menettelyn energiatasapainon säilyttämiseksi. Nestemäinen happivirta, joka koostuu olennaisilta osiltaan hapesta, poistetaan ilmanerotusyksiköstä ja pumpataan jakelupaineiseksi. Nestemäinen happivirta höyrystetään päälämmönvaihtimessa siten, että se lämmitetään täysin ympäristön lämpötilan tasolle ja nestemäinen happivirta poistetaan päälämmönvaihtimesta kaasumaisena happituotteena.

Kuten alaan perehtyneet tietävät, kuristuspistelämpötila edustaa lämpötilaa päälämmönvaihtimen puitteissa, jossa esiintyy minimiero kaikkien päälämmönvaihtimessa jäähdytettäviksi tarkoitettujen virtojen lämpötilojen välillä, verrattuna kaikkiin päälämmönvaihtimessa lämmitettäviin virtoihin. Tämän kuristuslämpötilan ylä- ja alapuolella lämpötilaerot ja entalpia poikkeavat toisistaan, mikä todistaa päälämmönvaihtimessa vallitsevan termodynaamisen palautumattomuuden läsnäolon. Tämä termodynaaminen palautumattomuus edustaa menetettyä työtä ja siksi osaa laitoksen sen energian tarvetta, joka on välttämätön happivirtatuotteen höyryttämisessä. Tässä yhteydessä ja patenttivaatimuksissa käytettynä termi "teoreettinen lämpötilan kuristuspiste" tarkoittaa kuristuskohtalämpötilaa, joka on määritetty päälämmönvaihtimessa vallitseville kollektiivisille kylmävirtauksille, esimerkiksi simuloimaan tilannetta, joka vallitsisi, jos ensimmäistä ja toista apuilmavirtaa ei olisi koskaan muodostettu. Tällaisessa tapauksessa päälämmönvaihdin toimisi ensisijaisena lämmönvaihtimena, jossa kaikki lisäpuristetut ilmavirrat jäähdytettäisiin kokonaan päälämmönvaihtimessa. Aikaisemman tavan mukaisessa päälämmönvaihtimen tapauksessa oli niin, että jos lämmitys- ja jäähdytyskäyrät piirrettiin lämpötiloina vastaan entalpia, kuristuspistelämpötila ja näiden käyrien poikkeamat olivat selvästi esillä. Kuten seuraavassa asiaa käsitellään edelleen, kun päälämmönvaihtimen, jota käytetään tämän keksinnön mukaisesti, jäähdytys- ja lämmityskäyriä verrataan aikaisemman käytännön tapaukseen, voidaan nähdä, että käyrien välillä on vähemmän poikkeamaa ja siksi tarvitaan myös vähemmän työtä pumpatun nestemäisen happivirran höyrystämiseksi. Tarkemmin sanoen, voimme todeta, että ensimmäinen apuilmavirta alentaa termodynaamista palautumattomuutta teoreettisen kurisuspistelämpötilan ja sen lämpötilan välillä, jossa ensimmäinen apuilmavirta syötetään takaisin päälämmönvaihtimeen ja että toisen apuilmavirran vetäminen pois ja sen jäähdyttäminen käyttämättä päälämmönvaihdinta alentaa termodynaamisen palautumattomuuden alle teoreettisen kuristuslämpötilan.

On myös pantava merkille, että tässä ja patenttivaatimusten yhteydessä käytettynä termi "päälämmönvaihdin" ei välttämättä tarkoita yhtä ainoaa laattaevälämmönvaihdinta. Kuten alaan perehtyneet hyvin tietävät, "päälämmönvaihdin" olisi tehtävissä useista yksiköistä, jotka toimivat rinnakkain virtausten jäähdyttämiseksi ja lämmittämiseksi. Alalla on tavanomaista käyttää sekä korkea- että matalapaineisia lämmönvaihtimia. "Päälämmönvaihtimen" käsittävillä yksiköillä voisi olla yhteinen teoreettinen kuristuspistelämpötila. Vielä yksi näkökohta on siinä, että termejä "täysin jäähdytetty" ja "täysin lämmitetty" tässä ja patenttivaatimusten yhteydessä käytettyinä käytetään tarkoittamaan jäähdyttämistä väkevöimislämpötilaan ja lämmittämistä vastaavasti ulkoilman lämpötilaan. Tässä ja patenttivaatimusten yhteydessä käytetyn termin "osittain" sanaparien "osittain lämmitetty" ja "osittain jäähdytetty" yhteydessä tarkoittaa lämmitettyä tai jäähdytettyä täysin lämmitetyn ja jäähdytetyn välille. Viimeksi vielä tässä ja patenttivaatimusten yhteydessä käytetty termi "läheisyys", viitatessaan teoreettiseen kuristuspistelämpötilaan, tarkoittaa lämpötilaa, joka on alueella plus tai miinus 50°C teoreettisesta kuristuspistelämpötilasta.

Kuten edellä on mainittu, tämän keksinnön mukainen menettely ei rajoitu ilman erottamiseen ja sitä voisi käyttää myös muiden teollisuustuotteiden kryogeeniseen väkevöimistislaukseen. Sellaisenaan tämä keksintö tarjoaa vielä yhden näkökohdan kannalta menetelmän aikaansaamisen alhaisen haihtuvuuden omaavan tuotteen höyrystämiseksi pumpattuna jakelupaineeseen sen jälkeen, kun se on erotettu korkeamman haihtuvuuden omaavasta tuotteesta, painekaasuseoksesta, kryogeenisella väkevöimistislausmenettelyllä, käyttäen hyväksi päälämmönvaihdinta. Päälämmönvaihdin on kokoopantu jäähdyttämään paineistettua kaasuseosta lämpötilaan, joka sopii sen väkevöimistislaukseen. Tämän menettelyn mukaisesti, ennen paineistetun kaasuseoksen jäähdyttämistä, ainakin yksi osuus paineistetusta kaasuseoksesta, joka on tarkoitettu jäähdytettäväksi, puristetaan edelleen muodostamaan vielä yksi

kompressorivirtaus. Puristuksen aiheuttama lämpö poistetaan edelleen puristetusta virrasta. Ainakin osa lisäpuristetusta virrasta poistetaan päälämmönvaihtimesta sellaisessa päälämmönvaihtimen kohdassa, jossa mainitun lisäpuristetun ilman lämpötila on lähellä teoreettista kuristuspistelämpötilaa. Ainakin osaa edelleen puristetusta virrasta puristetaan vielä edelleen muodostamaan ensimmäinen apuvirta. Ensimmäinen apuvirta johdetaan takaisin päälämmönvaihtimeen sen sillä tasolla, jonka lämpötila on korkeampi kuin teoreettinen kuristuspistelämpötila. Sen jälkeen, kun se on johdettu päälämmönvaihtimeen, ensimmäinen apuvirta jäähdytetään täysin lämpötilaan, joka on sopiva sen väkevöimistislaukseen. Osa puristetusta, jäähdytettäväksi tarkoitetusta kaasuseoksesta poistetaan päälämmönvaihtimesta muodostamaan toinen apuvirta. Toinen apuvirta jäähdytetään sen jälkeen lämpötilaan, joka on sopiva sen väkevöimistislaukseen ilman päälämmönvaihtimen käyttöä. Toinen apuvirta jäähdytetään laajentamalla toista apuvirtaa laajennuslaitteella siten, että sen lämpötila laajennuksen jälkeen on sopiva väkevöimistislausta varten. Ainakin osa laajennustehosta käytetään ainakin osan edelleen puristetun virran osan edelleen puristamiseen. Alhaisemman haihtuvuuden omaava tuote höyrystetään päälämmönvaihtimessa.

Vielä yhden näkökohdan kannalta tämän keksinnön avulla saadaan aikaan laite happituotteen valmistamiseksi ilmasta jakelupaineisena. Laitteeseen kuuluu kompressori ilman puristamiseksi. Ensimmäinen jälkijäähdytin on liitetty kompressoriin lämmön poistamiseksi ilmapuristeesta ja ilman puhdistusväline on liitetty ensimmäiseen jälkijäähdyttimeen ilman puhdistamiseksi. Korkeapaineinen ilmakompressori on liitetty ilmanpuhdistusvälineeseen ainakin osan ilmasta puristamiseksi edelleen muodostamaan paineilmavirta. Toinen jälkijäähdytin on liitetty korkeapaineilmakompressoriin puristuslämmön poistamiseksi puristetusta ilmavirrasta. Päälämmönvaihdin kuuluu rakenteeseen. Päälämmönvaihtimessa on ensimmäinen ja toinen kulkuväylä. Ensimmäiseen kulkuväylään kuuluu ensimmäinen ja toinen osa ja näistä ensimmäinen osa on yh-

teydessä toiseen jälkijäähdyttimeen siten, että puristettu ilmavirta virtaa ensimmäisen väylän ensimmäiseen osaan. Mukana on väline väylän ensimmäisestä osasta tulevan paineilmavirran muodostaman ensimmäisen ja toisen apuilmavirran purkamiseksi siten, että ainakin ensimmäisen apuilmavirran lämpötila on purkamisen jälkeen lähellä teoreettista kuristuspistelämpötilaa. Päälämmönvaihtimen sellaiseen kohtaan on tehty aukko, jossa lämpötila on korkeampi kuin teoreettinen kuristuspistelämpötila, ottamaan vastaan ensimmäinen apuilmavirta sen puristamisen jälkeen. Ensimmäisen väylän toinen osa on yhteydessä aukkoon ja sijoittuu siten, että ensimmäinen apuilmavirta jäähtyy täysin päälämmönvaihtimessa. Lämpöpumppukompressori liitetään päälämmönvaihtimen purkausvälineen ja sisäänoton väliin puristamaan ensimmäinen apuilmavirta ja laajennusväline on tehty laajentamaan toinen apuilmavirta laajennusvoiman avulla. Laajennusväline on liitetty lämpöpumppukompressoriin siten, että ainakin osa laajentumisvoimasta käyttää lämpöpumppukompressoria. Ilman väkevöimistislausväline on liitetty laajentumisvälineeseen ja päälämmönvaihtimen ensimmäisen väylän toiseen osaan ilman väkevöimistislausta varten ja siten nestemäisen hapen tuottamiseksi. Pumppu on liitetty ilman väkevöimistislausvälineeseen nestemäisen hapen pumppaamiseksi jakelupaineiseksi ja muodostamaan siten pumpattu nestemäinen happivirta. Pumppu on liitetty päälämmönvaihtimen toiseen väylään siten, että pumpattu happivirta virtaa puristettuun ilmavirtaan nähden vastavirtasuuntaan ensimmäisen väylän sisällä ja höyrystyy tällöin, tuottaen kaasumaista happituotetta. Jäähdytysväline on tehty laitteen jäähdyttämiseksi siten, että sen energiatasapaino säilyy.

Spesifikaation päättyessä patenttivaatimuksiin, joissa esitetään se kohteen osuus, jota hakija pitää omana keksintönään, arvioimme, että keksintö on paremmin ymmärrettävissä selitettynä oheisten piirroskuvioiden yhteydessä. Näissä:

kuvio 1 on kaavioimainen kuva ilmanerotusyksiköstä tämän keksinnön menetelmän ja laitteen mukaisesti;

kuvio 2 on graafinen esitys aikaisemman tavan mukaisen lämmönvaihtimen lämpötilan ja entalpian havainnollistamiseksi; ja

kuvio 3 sittää graafisesti tämän keksinnön mukaissti rakennetun ja käytetyn lämmönvaihtimen lämpötilat ja entalpian.

Viittaamme nyt kuvioon, jossa on kuvattuna ilmanerotusyksikkö 10 toteuttamassa menetelmää tämän keksinnön mukaisesti.

Väkevöimistislattava ilma puristetaan pääkompressorissa 12 muodostamaan paineilmavirta 13. Kompression aiheuttama lämpö poistetaan paineilmavirrasta 13 ensimmäisellä jälkijäähdyttimellä 14, joka on tyypillisesti vesijäähdytteinen, ja paineilmavirta 13 puhdistetaan sen jälkeen esipuhdistusyksiköllä 16, jossa hiilidoksidi, kosteus ja hiilivedyt poistetaan ilmasta. Korkeapaineinen kompressori 18 liitetään ilman esipuhdistusyksikköön 16 muodostamaan edelleen puristettu ilmavirta 20. Kuljettuaan toisen jälkijäähdyttimen 22 läpi (puristuksen aiheuttaman lämmön poistamiseksi edelleen puristetusta ilmavirrasta) edelleen puristettu ilmavirta 20 johdetaan päälämmönvaihtimeen 24. Päälammönvaihtimessa 24 on ensimmäinen väylä 26 yhteydessä toiseen jälkijäähdyttimeen 22 siten, että edelleen puristettu ilmavirta 20 virtaa ensimmäiseen väyhlään, jossa on ensimmäinen ja toinen osa 26a ja 26b. Toinen väylä on tehty pumpatun nestemäisen happivirran höyrystämiseksi, jota käsitellään seuraavassa. Ensimmäisen väylän 26 ensimmäiseen osaan 26a on tehty väyliä purkamaan ensimmäinen ja toinen apuvirta 30 ja 32 päälämmönvaihtimesta 24. Ensimmäinen apuilmavirta 30 puristetaan edelleen lämpöpumppukompressorilla 34. Vielä edelleen puristettu virta 36 johdetaan päälämmönvaihtimeen 24 ja ensimmäisen väylän 26 toiseen osaan 26b aukon kautta, joka on sijoitettu lämmönvaihtimen 24 sellaisen tason kohdalle, jossa lämpötila on korkeampi kuin teoreettinen kuristuspistelämpötila. Samaan aikaan toinen apuilmavirta 32 johdetaan turbolaajentimeen 38 ja se turbolaajentaa toista apuilmavirtaa 32 riittävästi, jotta se jäähtyy lämpötilaan, joka on sopiva sen väkevöimis-

tislaukseen, käyttämättä enää päälämmönvaihdinta 24. Turbolaajennin 38 on liitetty lämpöpumppukompressoriin 34 joko mekaanisesti tai sähkömekaanisesti, käyttämällä turbolaajentimeen 38 liitettyä generaattoria, jota käytetään tuottamaan sähkövoimaa lämpöpumppukompressoriin 34 liitetyn sähkömoottorin käyttämiseksi. Tässä oletamme, että ylimääräinen energia, ennen kaikkea lämpöpumppukompressorin 34 käyttämiseen vaadittava energia on tuotettavissa turbolaajentimella 38. Tässä tapauksessa ylimääräisen energian voi käyttää muualla yksikössä. Esimerkiksi turbolaajentimeen 38 kytketyn generaattorin tuottaman ylimääräisen sähkövoiman voisi käyttää yksikön muihin sähkövoiman tarpeisiin.

Poistamalla ensimmäinen ja toinen ilmavirta ja niiden käyttö edellä kuvatulla tavalla, kompressorin 34 ja turbolaajentimen 38 yhteydessä toisiinsa liitettyinä, saadaan päälämmönvaihtimen 24 ylä- ja alapuolella teoreettisen kuristuspistelämpötilan lämpöpalautumattomuudet minimoiduiksi. Tämän jälkeen esitetään tätä koskeva yksityiskohtainen tarkastelu.

Vaikka ilmanerotusyksikkö tai mikä tahansa muu kryogeeninen väkevöimistislausprosessi voikin toimia kuten tähän mennessä on selitetty, on parasta, jos kaikkea ilmaa ei puristeta korkeapaineilmakompressorilla 18, vaan esipuhdistusyksikön 16 jälkeen paineistettu ilmavirta 13 jaetaan ensimmäiseen ja toiseen osavirtaan 40 ja 42. Ensimmäinen osavirta 40 aliste-taan edelleen puristettavaksi korkeapaineilmakompressorilla 18. Toinen osavirta 42 jaetaan kolmanteen ja neljänteen apuilmavirtaan 44 ja 46. Kolmas apuilmavirta 44 jäähdytetään täysin päälämmönvaihtimessa 24 tätä tarkoitusta varten tehdyssä kolmannessa väylässä 48. Neljäs apuilmavirta 46 puristetaan edelleen jäähdytystehostinkompressorissa 50 ja puristamisen aiheuttama lämpö poistetaan jälkijäähdyttimellä 52. Kun puristuksen lämpö on poistettu, neljäs apuilmavirta 46 jäähdytetään osittain päälämmönvaihtimessa 48, käyttämällä tätä tarkoitusta varten hankittua neljättä väylää 54. Neljäs apuilmavirta 46 vedetään sen jälkeen pois päälämmönvaihtimesta 24 ja ohjataan jäähdytysturbolaajentimen 56 läpi, joka

on liitetty jäähdytystehostinkompressoriin 50. Jäähdytysturbolaajentimen 56 pakovirta käännetään sen jälkeen päälämmönvaihtimeen 24 viidennen väylän 58 läpi. Päälämmönvaihtimeen on tehty myös kuudes väylä 60 jäämätyppivirran täyttä lämmittämistä varten (tätä käsitellään yksityiskohtaisemmin tämän jälkeen) ulkoilman lämpötilaan ja käytettäväksi regenerointiin esipuhdistusyksikössä 16.

Viittaamme nyt kuvioon 2, johon on piirretty aikaisemman tavan mukaisen lämmönvaihtimen lämpötila- ja entalpiaominaisuudet. Lämmönvaihdin, jota on käytetty tällaista piirrosta varten, on samanlainen kuin edellä kuvattu lämmönvaihdin, paitsi että kaikki edelleen puristettu ilmavirta jäähdytetään täysin väkevöimislämpötilaan päälämmönvaihtimen sisällä eikä siitä poisteta yhtään osaa muodostamaan ensimmäinen ja toinen apuilmavirta 30 ja 32. Käyrä A on kaikkien päälämmönvaihtimessa jäähdytettävien virtojen summa; esimerkiksi siis kaikkien ilmavirtojen summa. Käyrä B edustaa lämmitettävien virtojen entalpian summaa ja lämpötiloja määrätyissä kohdissa päälämmönvaimentimessa; esim. paineistetun hapen ja jäämätypen virtojen osalta. Jotta täsä esiintyisi lämmönsiirtoa kuumien ja kylmien virtausten välillä, virtojen välillä täytyy olla lämpötilaeroja jossakin kohdassa päälämmönvaihtimessa. Kuitenkin sellainen piste saavutetaan, jossa esiintyy minimilämpötilaero, nimittäin kuristuspistelämpötila C. Käyrien välinen etäisyys, esimerkiksi etäisyys D kuristuslämpötilan yläpuolella ja etäisyys E kuristuslämpötilan alapuolella ilmaisevat termodynaamista palautumattomuutta, joka on alun alkaen olemassa tällaisen päälämmönvaihtimen sisällä. Tämä termodynaaminen palautumattomuus edustaa menetettyä työtä, joka muuntuu ylimääräiseksi puristustyöksi.

Viittaamme nyt kuvioon 3, johon on piirretty päälämmönvaihtimen 24 lämpötila- ja entalpiaominaisuudet. On huomattava, että kuvion 2 lämmönvaihtimen kuristuspistelämpötila on lämmönvaihtimen 24 teoreettinen kuristuspistelämpötila syistä, joita edellä käsiteltiin. On heti selvää, että käyrät noudattavat toisiaan läheisemmin kuin kuviossa 2. On huomatta-

va, että kuristuspistelämpötilaerot ovat samat (1,6°C) kummassakin tapauksessa. Käyrä A' on kaikkien jäähdytettävien virtojen yhdistelmä, esimerkiksi edelleen puristettu ilmavirta 20, joka kulkee väylän 26 läpi, kolmas apuilmavirta 44, joka kulkee väylän 48 läpi. Käyrä B' on kaikkien lämmitettävien päälämmönvaihtimessa olevien virtojen lämpötilaentalpian ominaisuuksien summa missä tahansa pisteessä, nimittäin koskien typpivirtaa 94, joka kulkee väylän 28 läpi, ja jäämätyppivirtaa 92, joka kulkee väylän 60 läpi. Päälämmönvaihtimessa 24 (samoissa pisteissä, joita käsiteltiin kuvion 2 päälämmönvaihtimen yhteydessä) lämpötilaerosta pisteessä D', joka on lämpimämpi kuin teoreettinen kuristuspistelämpötila C', ja lämpötilaerosta tasolla E', lämpötilassa, joka on kylmempi kuin teoreettinen kuristuspistelämpötila C', voi havaita, että lämpötilaerot päälämmönvaihtimessa 24 ovat paljon pienemmät kuin aikaisemman tavan mukaisessa lämmönvaihtimessa, jota käytettiin paineistetun happituotteen jakeluun. Tämän tuloksena korkeapainekompressoriin 18 syötetään vähemmän energiaa kuin vastaavaan aikaisemman tavan mukaiseen kompressoriin aikaansaamaan sama pumpatun happivirran höyrystymisnopeus, kun se poistetaan päälämmönvaihtimesta 24 tuotteena. Lähellä toisiaan olevien lämpötilaerojen ylläpitäminen on tärkeämpää kuin lämmönsiirtovähennysten lämpötila.

Palaamme nyt tähän liittyvien työjaksojen selitykseen. Sen jälkeen, kun ilmavirrat on jäähdytetty, ne väkevöimistislataan ilmanerotusyksikössä 62, johon on tehty korkeapainekolonni 64 ja matalapainekolonni 66 käytöllisesti toisiinsa lämmönsiirtosuhteeseen lauhdutin-kiehuttimella 68 liitettyinä. Sisään tuleva ilma jäähdytetään lämpötilaan, joka sopii sen väkevöimistislaukseen, nimittäin sen kastepisteeseen tai lähelle sitä, ja johdetaan korkeapainekolonniin siten, että muodostuu happirikasta nestettä kolonnin pohjaksi ja typpirikas torni muodostuu sen yläpuolelle ja se tiivistetään lauhdutin-kiehuttimella 68 aikaansaamaan jälleenvirtausta sekä korkea- että matalapainekolonneihin, vasten sen nestemäisen hapen höyrystymistä, jota kertyy matalapainekolonnin

66 kolonnipohjaan. Matalapainekolonni 66 tuottaa yläpuolelle typpihöyrytornin.

Täysin jäähdytetty ensimmäinen apuilmavirta 36 johdetaan lämmönvaihtimeen 70, joka sijaitsee korkeapainekolonnin 64 pohjassa, jossa sitä jäähdytetään edelleen. Sen jälkeen ensimmäisen apuilmavirran 36 painetta alennetaan korkeapainekolonnin 64 paineeseen, käyttämällä Joule-Thompsonin venttiiliä 72, ja sen jälkeen se johdetaan korkeapainekolonniin 64 väkevöimistislausta varten. Lämmönvaihdin 70 jäähdyttää ilman vasten höyrystyvää happirikasta nestettä kolonnin pohjassa, jota kertyy korkeapainekolonniin 64 aikaansaamaan lisäkiehumista korkeapainekolonniin 64.

Toinen apuilmavirta 32 yhdistetään laajentimella 38 tapahtuneen laajenemisen jälkeen täysin jäähdytettyyn kolmanteen apuilmavirtaan 44 ja johdetaan väkevöimistislausta varten korkeapainekolonnin 64 pohjaan. Neljäs apuilmavirta 46 johdetaan sen jälkeen, kun se on täysin jäähtynyt päälämmönvaihtimen 24 viidennessä väylässä, matalapainekolonniin 66 väkevöimistislausta varten.

Ilmanerotinyksikkö 62 toimii tavanomaisen kaksoiskolonnin tavoin. Korkeapainekolonnissa 64 on kosketusosat, esimerkiksi rakenteelliset tiivisteet, tarjottimet, hajatiivisteet jne., merkittyinä viitenumerolla 74. Matalapainekolonniin 66 on tehty myös vastaavat kosketusosat, merkitty matalapainekolonnissa 66 viitenumerolla 76. Jokaisessa kolonnissa nouseva höyryvaihe rikastuu haihtuvammassa komponentissa, typessä, noustessaan kolonnin sisällä. Nestevaihe tulee kolonnissa alas laskeutuessaan tiiviimmäksi vähemmän haihtuvassa komponentissa, hapessa. Kosketusosat 74 ja 76 tuovat nämä vaiheet läheiseen kosketukseen tislautumiseen vaikuttamiseksi.

Happirikasteiset korkeapainekolonnin 78 kolonnin pohjat vedetään pois raakana happivirtana 78. Raaka happivirta 78 alijäähdytetään alijäähdyttimessä 80 ja sen paine alenne-

taan, hankkimalla Joule-Thompson-venttiili 82, matalapainekolonnin 66 matalapainekolonnipaineeseen ennen sen johtamista matalapainekolonniin 66. Tiivistynyt yläpuolinen korkeapainekolonnin 64 typpirikas torni jaetaan kahteen virtaukseen 84 ja 86, joita käytetään korkeapainekolonnin 64 ja matalapainekolonnin 66 valutusvirtaukseen, vastaavassa järjestyksessä. Virta 86 alijäähdytetään myös alijäähdyttimessä 80, sen painetta alennetaan Joule-Thompsonin venttiilillä 87 matalapainekolonnin paineeseen ja se johdetaan matalapainekolonnin 66 yläosaan. Valutusvirta 88, jonka koostumus on lähellä nestemäisen ilman koostumusta, vedetään pois korkeapainekolonnista 64 ja ajetaan alijäähdyttimen 80 läpi. Tämä valutusvirta ajetaan sen jälkeen Joule-Thompsonin venttiilin 90 läpi paineen alentamiseksi ennen sen ohjaamista matalapainekolonniin 66. Tämän valutusvirran 88 tarkoituksena on optimoida valutusolosuhteet korkea- ja matalapainekolonneissa 64 ja 66. Jäämätyppi, joka koostuu yläpuolisesta, matalapainekolonnissa 66 tuotetusta typpihöyrytornista, poistetaan jäämätyppivirtana 92. Jäämätyppivirtaa 92 lämmitetään osittain alijäähdyttimessä 80 ja johdetaan sen jälkeen kuudenteen väylään 60. Sen jälkeen sen voi ajaa ulos yksiköstä, mutta, kuten kuvasta näkyy, se syötetään puhdistusyksikköön 16 regeneroimistarkoituksia varten.

Happituote saadaan aikaan poistamalla nestemäinen happivirta 94 matalapainekolonnista 66 ja pumppaamalla se pumpulla 96 jakelupaineiseksi. Pumppu 96 yhdistetään toiseen väylään 28, jossa happi höyrystyy näin pumpatussa nestemäisessä happivirrassa ja tuottaa paineistettua kaasumaista happituotetta.

Esimerkki

Seuraavassa lasketussa esimerkissä tuotetaan 1067,7 Nm^3/min happituotetta (puhtaus noin 95%) noin 46,2 bar(a) paineella. Korkea- ja matalapainekolonnien käytön yksityiskohdat ovat tavanomaiset eikä niitä esitellä sellaisena tässä yhteydessä. On kuitenkin huomattava, että pumpattu happivirta 94 tulee päälämmönvaihtimeen 24 noin 42,8 bar(a) paineella ja

noin -177,8°C lämpötilaisena sen jälkeen, kun sitä on pumpattu 1,43 bar paineesta ja noin -180,1°C lämpötilasta. Jäämätyppivirta 92 tulee päälämmönvaihtimeen noin 3772,5 Nm^3/min virtausnopeudella ja -175,6°C lämpötilaisena.

Virta	Virtaus (Nm^3/min)	Lämpötila (°C)	Paine (bar(a))
Paineilmavirta 13 ilman esipuhdistusyksikön 16 jälkeen	4840,3	29,4	5,52
Edelleen puristettu ilmavirta 20 toisen jälkijäähdyttimen 22 jälkeen	1905,9	29,4	44,38
Ensimmäinen apuilmavirta ennen lämpöpumppukompressoria 34	1380,1	-123,3	44,6
Edelleen puristettu virta 36 päälämmönvaihtimeen 24 syötön jälkeen ja juuri ennen ensimmäisen väylän 26 toiseen osaan 26b tuloa	1380,1	-96,6	74,6
Vielä edelleen puristettu virta 36 päälämmönvaihtimessa 24 tapahtuneen täyden jäähdytyksen jälkeen	1380,1	-173,3	74,5
Toinen apuvirta 32 ennen laajenninta 38	525,8	-94,3	44,8
Toinen apuvirta 32 laalentimessa 38 tapahtuneen laajenemisen jälkeen	525,8	-172,8	5,38
Kolmas apuilmavirta 44 päälämmönvaihtimessa 24 jäähdyttämisen jälkeen	2540,1	-173,3	5,45
Neljäs apuilmavirta 46 jäähdytystehostinkompressorin 50 ja jälkijäähdyttimen 52 jälkeen	394,3	29,4	8,78

Virta	Virtaus (Nm^3/min)	Lämpötila (°C)	Paine (bar(a))
Neljäs apuilmavirta 46 jäähdytysturbolaajentimen 56 jälkeen	394,3	-156,7	1,50
Neljäs apuilmavirta 46 päälämmönvaihtimen 24 läpikulkemisen jälkeen	394,3	-173,3	1,45

Saman happituotannon aikaansaamiseksi aikaisemman menetelmän ja laitteen mukaisesti on laskettu, että paineistettu ilmavirta, joka toimii edelleen paineistettuna ilmavirtana 20 nestemäisen hapen höyrystämiseksi olisi puristettava noin 74,48 bar(a) paineeseen ja 1761,3 Nm^3/min virtausnopeuteen.

Vaikka tämän keksinnön mukaista menetelmää ja laitetta onkin kuvailtu kaksikolonnisena ilmanerotuskolonnina, on ymmärrettävä, että oikeat tapaukset, joissa käytetään yhden kolonnin hapentuottimia, ovat mahdollisia. Lisäksi, ja kuten edellä jo mainittiin, tätä keksintöä voisi käyttää minkä tahansa sellaisen matalalämpöväkevöimistislauksen yhteydessä, jossa pumpattu nestemäinen tuote höyrystetään päälämmönvaihtimessa.

Vaikka ensimmäinen ja toinen apuvirta 30 ja 32 poistetaankin eri kohdista päälämmönvaihtimessa 24, lisäksi on mahdollista poistaa ne aidossa tapauksessa myös samalta lämpötilatasolta. Vaikka toinen apuvirta 32 muodostetaankin edelleen puristetun ilmavirran 20 osasta, sen voisi lisäksi muodostaa myös toisesta ilmavirrasta, joka jäähdytetään päälämmönvaihtimen 24 sisällä tai, kun on kysymys muusta sovelluksesta kuin ilman erottaminen, jostakin muusta prosessivirrasta, joka sisältää kaasuseosta ja joka jäähdytetään päälämmönvaihtimessa.

Kuten alaan perehtyneet käsittävät, vaikka keksintöä onkin tässä yhteydessä selitetty viittaamalla parhaaksi katsottuun toteutusmuotoon, monet muutokset ja poistot voi alan käytännössä tehdä poikkeamatta keksinnön hengestä ja alueesta.

Patenttivaatimukset

1. Menetelmä ilman erottamiseksi ja kaasumaisen happituotteen tuottamiseksi sen yhteydessä jakelupaineiseksi, t u n n e t t u siitä, että siihen kuuluu:

ilman paineistaminen, paineistamisen tuottaman lämmön poistaminen ilmasta ja ilman puhdistaminen;

ilman jäähdyttäminen päälämmönvaihtimessa;

ennen ilman jäähdyttämistä ainakin yhden ilman jäähdytettävän osan paineistaminen edelleen muodostamaan paineilmavirta ja paineistamisen aiheuttaman lämmön poistaminen edelleen paineistetusta ilmavirrasta;

ainakin osan edelleen paineistetusta ilmavirrasta poistaminen päälämmönvaihtimesta tämän sellaisesta kohdasta, jossa mainitun edelleen paineistetun virran lämpötila on lähellä päälämmönvaihtimelle määritettyä teoreettista kuristuspistelämpötilaa, edelleen ainakin yhden päälämmönvaihtimesta poistetun ilman osan, mainitusta edelleen paineistetusta ilmasta, paineistaminen ja mainitun ensimmäisen apuilmavirran johtaminen takaisin päälämmönvaihtimeen tämän sillä tasolla, jonka lämpötila on korkeampi kuin mainittu kuristuspistelämpötila;

mainitun ensimmäisen apuilmavirran täydellinen jäähdyttäminen päälämmönvaihtimeen johtamisen jälkeen sen väkevöimistislausta varten sopivaan lämpötilaan;

osan jäähdytettäväksi tarkoitetun ilman osuudesta poistaminen päälämmönvaihtimesta muodostamaan toinen apuilmavirta ja mainitun apuilmavirran jäähdyttäminen lämpötilaan, joka on sopiva sen väkevöimistislausta varten, käyttämättä siihen päälämmönvaihdinta;

toinen apuilmavirta, joka jäähdytetään laajentamalla mainittua toista apuilmavirtaa laajentamislaitteen avulla;

ainakin osan laajentamisvoimasta käyttäminen mainitun ainakin yhden osan edelleen paineistettavasta ilmasta, joka on poistettu päälämmönvaihtimesta, edelleen paineistamiseen;

ilman väkevöimistislaus ensimmäisessä ja toisessa apuilmavirrassa ilmanerotusyksikössä, joka on kokoonpantu siten, että se tuottaa nestemäistä happea;

jäähdytyksen toimittaminen prosessiin prosessin energiatasapainon säilyttämiseksi; ja

sen nestemäisen happivirran poistaminen ilman erotusyksiköstä, joka koostuu olennaisilta osiltaan nestemäisestä hapesta, nestemäisen happivirran pumppaaminen jakelupaineiseksi, mainitun nestemäisen happivirran höyrystäminen päälämmönvaihtimessa siten, että se on täysin lämmitetty ulkoilman lämpötilaan, ja mainitun nestemäisen happivirran erottaminen pois päälämmönvaihtimesta kaasumaisena happituotteena.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menettely, t u n n e t t u siitä, että siinä:

kaikki edelleen paineistettu ilmavirta poistetaan mainitusta päälämmönvaihtimesta;

mainittu osa jäähdytettävästä ilmasta, joka poistetaan päälämmönvaihtimesta ja laajennetaan sen jälkeen, käsittää osan edelleen paineistetusta ilmavirrasta, joka on poistettu päälämmönvaihtimesta; ja

mainittu ainakin osa ainakin yhdestä osuudesta sitä edelleen paineistettua ilmavirtaa, joka on poistettu päälämmönvaihtimesta ja alistettu edelleen paineistettavaksi, käsittää jäljellä olevan osan edelleen paineistetusta ilmavirrasta, joka on poistettu päälämmönvaihtimesta.

3. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menettely, t u n n e t t u siitä, että siinä:

ilmanerotusyksikköön kuuluu kaksoiskolonni, jossa korkea- ja matalapainekokonni ovat liitettyinä toisiinsa lämmönsiirtosuhteeseen siten, että nestemäinen happikolonnipohja ja typpihöyrytorni sen yläpuolella tuotetaan matalapainekolonnissa, happirikastettu nestekokonnipohja ja typpirikas höyrytorni sen yläpuolella tuotetaan korkeapainekolonnissa ja nestemäinen happikolonnipohja höyrystyy yläpuolista, tiivistyvää typpirikasta höyrytornia vasten, tuottaen yläpuolelle korkeapainekolonniin typpirikkaan nestetornin;

raaka nestemäinen happivirta ja typpirikas nestevirta, joka koostuu happirikkaasta nesteestä kolonnin pohjassa ja typpirikkaasta nestetornista sen yläpuolella, vastaavassa järjestyksessä, vedetään pois korkeapainekolonnista, alijäähdytetään ja niiden paine alennetaan matalapainekolonnin paineen tasalle;

raaka nestemäinen happivirta syötetään matalapainekolonniin lisäkäsittelyä varten ja typpirikas nestevirta syötetään vastavalutuksena matalapainekolonniin;

nestemäinen happivirta vedetään pois matalapainekokonnista; ja

typpihöyryvirta, joka koostuu yläpuolisesta typpihöyrytornista, poistetaan matalapainekolonnista, lämmitetään osittain lämmönvaihdolla raa'an nestemäisen happivirran ja typpirikkaan nestevirran kanssa, jotta sen avulla jäähdytettäisiin raaka nestemäinen happivirta ja typpirikas nestevirta, ja syötetään sen jälkeen päälämmönvaihtimeen ja lämmitetään siinä täydelleen.

4. Patenttivaatimuksen 3 mukainen menettely, t u n n e t t u siitä, että siinä:

sen jälkeen, kun ilma on puhdistettu, se jaetaan ensimmäiseen ja toiseen osavirtaan;

osa jäähdytettävästä ja edelleen paineistettavasta ilmasta käsittää ensimmäisen osavirran;

jokseenkin kaikki edelleen paineistettavasta ilmavirrasta poistetaan mainitusta päälämmönvaihtimesta;

mainittu osa jäähdytettävästä ja sen jälkeen laajennettavasta ilmasta, joka poistetaan päälämmönvaihtmiesta, käsittää osan edelleen paineistettavasta ilmavirrasta, joka on poistettu päälämmönvaihtimesta;

mainittu ainakin osa siitä osasta edelleen paineistettavaa ilmavirtaa, joka on poistettu päälämmönvaihtimesta, alistettuna edelleen paineistettavaksi, käsittää loppuosan edelleen paineistettavaa ilmavirtaa, joka on poistettu päälämmönvaihtimesta;

toinen osajärjestelmä jaetaan kolamnteen ja neljänteen apuilmavirtaan;

kolmas apuilmavirta jäähdytetään täysin päälämmönvaihtimessa;

neljäs apuilmavirta paineistetaan edelleen, paineistuksen aiheuttama lämpö poistetaan neljännesta apuvirrasta, neljäs apuvirta alistetaan sen jälkeen laajentamiseen tätä varten olevalla laitteella ja jäähdytetään edelleen päälämmönvaihtimessa;

ensimmäinen apuvirta jaetaan viidenteen ja kuudenteen apuilmavirtaan sen jälkeen kun se on täysin jäähdytetty, toinen ja viides apuilmavirta johdetaan korkeapainekolonniin ja kuudes apuilmavirta alijäähdytetään typpihöyryvirran osakuumennusta vasten, sen paine alennetaan matalapainekolonnin paineeseen ja se syötetään matalapainekolonniin; ja neljäs

apuilmavirta syötetään matalapainekolonniin.

5. Menettely alhaisemman haihtuvuuden omaavan tuotteen höyrystämiseksi pumpattuna jakelupaineeseen sen jälkeen, kun se on erotettu paineistetun kaasuseoksen muodossa olevan korkeamman haihtuvuuden omaavasta tuotteesta kryogeenisellä väkevöimistislausprosessilla, käyttäen päälämmönvaihdinta, joka on kokoonpantu jäähdyttämään paineistettu kaasuseos lämpötilaan, joka on sopiva sen väkevöimistislaukseen, t u n n e t t u siitä, että mainittu prosessi käsittää seuraavaa:

ennen paineistetun kaasuseoksen jäähdyttämistä, ainakin osan paineistetusta, jäähdytettävästä kaasuseoksesta puristaminen edelleen muodostamaan edelleen paineistettu virta, ja puristuslämmön poistaminen edelleen paineistetusta virrasta;

ainakin osan edelleen puristetusta virrasta poistaminen päälämmönvaihtimesta sellaisessa lämmönvaihtimen kohdassa, jossa edelleen puristetun virran lämpötila on lähellä teoreettista kuristuspistelämpötilaa, edelleen ainakin osan edelleen puristetusta virrasta, joka on poistettu päälämmönvaihtimesta, johtaminen muodostamaan ensimmäinen apuvirta, puristaminen ja mainitun ensimmäisen apuilmavirran johtaminen takaisin päälämmönvaihtimeen sen sillä tasolla, jonka lämpötila on korkeampi kuin teoreettinen kuristuspistelämpötila;

mainitun ensimmäisen apuvirran täydellinen jäähdyttäminen sen jälkeen, kun se on ohjattu takaisin päälämmönvaihtimeen, lämpötilaan, joka on sopiva sen väkevöimistislaukseen;

osan paineistetusta kaasuseoksesta poistaminen jäähdytettäväksi päälämmönvaihtimesta, muodostamaan toinen apuvirta ja mainitun toisen apuvirran jäähdyttäminen lämpötilaan, joka on sopiva sen väkevöimistislaukseen ilman päälämmönvaihtimen enempää käyttöä;

toinen apuvirta jäähdytetään laajentamalla mainittu toinen

apuvirta laajennuslaitteella siten, että sen lämpötila laajentamisen jälkeen on sopivalla tasolla sen väkevöimistislausta varten;

ainakin osan laajennusvoimasta käyttäminen ainakin osan edelleen puristetun virran osuudesta puristamiseksi edelleen; ja

alhaisemman haihtuvuuden omaavan tuotteen höyrystäminen päälämmönvaihtimen puitteissa.

6. Laite happituotteen tuottamiseksi jakelupaineisena ilmasta, t u n n e t t u siitä, että mainittuun laitteeseen kuuluu:

pääkompressori ilman paineistamiseksi:

ensimmäinen jälkijäähdytin liitettynä kompressoriin paineistuslämmön poistamiseksi ilmasta;

ilman esipuhdistusväline liitettynä ensimmäiseen jälkijäähdyttimeen ilman puhdistamiseksi;

korkeapaineilmakompressori liitettynä ilman esipuhdistusvälineeseen, ainakin osan ilmasta puristamiseksi muodostamaan edelleen puristettu ilmavirta;

toinen jälkijäähdytin liitettynä tehostinkompressoriin puristuslämmön poistamiseksi edelleen puristetusta ilmavirrasta;

päälämmönvaihdin, jossa on ensimmäinen väylä, joka sisältää ensimmäisen ja toisen osan, ensimmäisen osan ollessa yhteydessä mainittuun toiseen jälkijäähdyttimeen siten, että mainittu puristettu ilmavirta virtaa mainittuun ensimmäisen väylän mainittuun ensimmäiseen osaan, toinen väylä, väline ensimmäisen ja toisen, puristetusta ilmavirrasta koostuvan ensimmäisen ja toisen apuilmavirran purkamiseksi ensimmäisen

väylän ensimmäisestä osasta siten, että ainakin ensimmäisen apuilmavirran lämpötila on purkauksen jälkeen lähellä päälämmönvaihtimelle määritettyä teoreettista kuristuspistelämpötilaa, ja sellaisessa päälämmönvaihtimen kohdassa sijaitseva sisääntuloaukko, jossa lämpötila on korkeampi kuin teoreettinen kuristuspistelämpötila, ensimmäisen apuilmavirran vastaanottamiseksi sen puristamisen jälkeen, toinen ensimmäisen väylän osa on yhteydessä sisääntuloaukkoon ja sijoitettuna siten, että ensimmäinen apuilmavirta jäähtyy täydellisesti;

lämpöpumppukompressori liitettynä päälämmönvaihtimen purkausvälineeseen ja sen sisääntuloon, ensimmäisen apuilmavirran puristamista varten;

laajentamisväline toisen apuilmavirran laajentamiseksi laajentamisvoimalla;

laajennusväline liitettynä lämpöpumppukompressoriin siten, että ainakin osa laajentamisvoimasta käyttää lämpöpumppukompressoria;

ilman väkevöimistislausväline liitettynä laajentamisvälineeseen ja toiseen päälämmönvaihtimen ensimmäisen väylän osaan ilman väkevöimiseksi ja siten nestemäisen hapen tuottamiseksi;

pumppu liitettynä ilman väkevöimisvälineeseen, nestemäisen hapen pumppaamiseksi ja siten pumpatun nestemäisen happivirran muodostamiseksi;

pumppu liitettynä päälämmönvaihtimen toiseen väylään siten, että pumpattu nestehappivirta virtaa vastavirtaan puristettuun ilmavirtaan nähden ensimmäisessä väylässä ja höyrystyy siten tuottamaan kaasumaista happituotetta; ja

jäähdytysväline jäähdytyksen toimittamiseksi laitteeseen siten, että sen energiatasapaino säilytetään.

FIG. 1

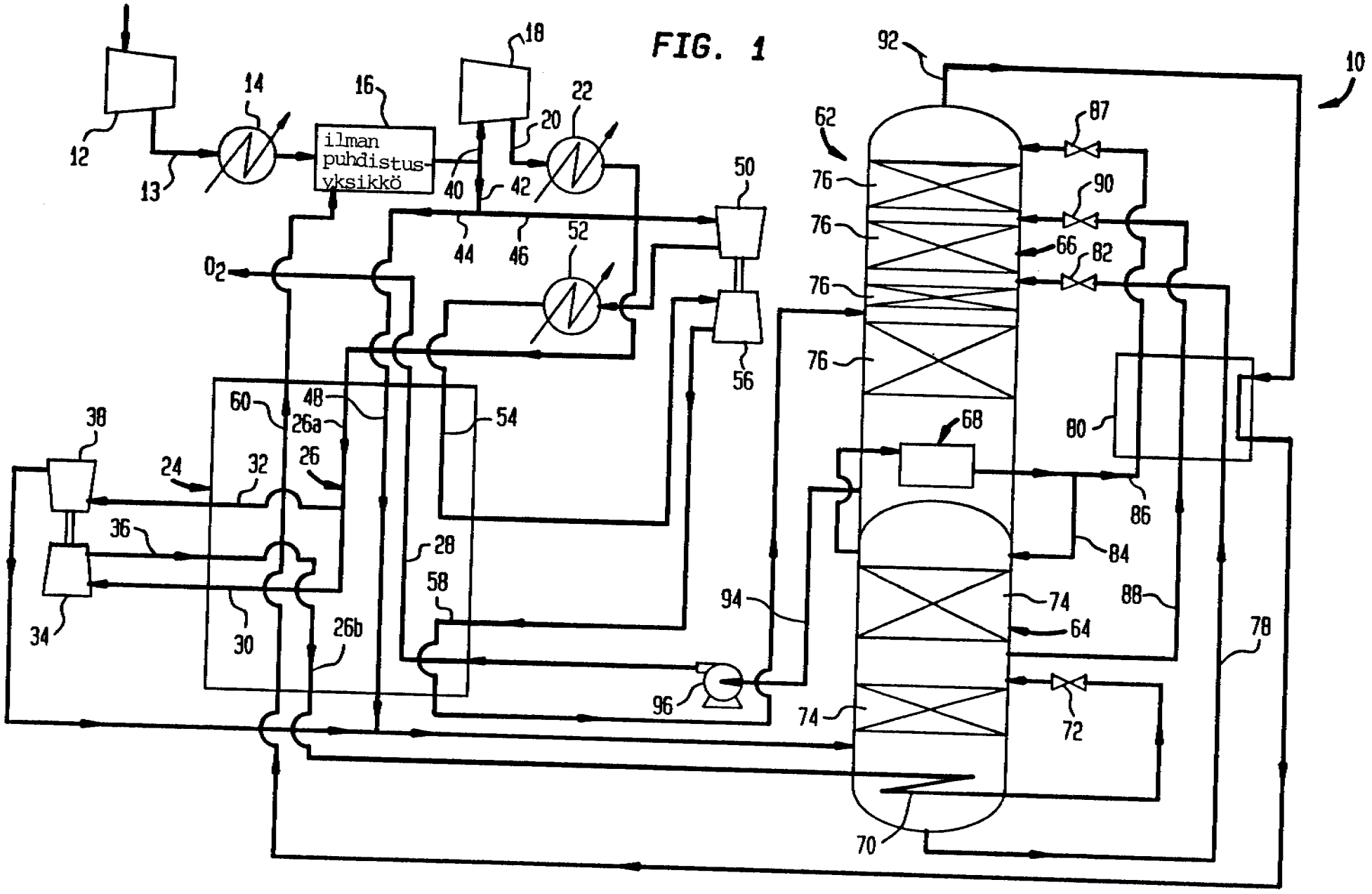

ilman puhdistus-yksikkö
O2
10
12
13
14
16
18
20
22
24
26
26a
26b
28
30
32
34
36
38
40
42
44
46
48
50
52
54
56
58
60
62
64
66
68
70
72
74
76
78
80
82
84
86
87
88
90
92
94
96

FIG. 2

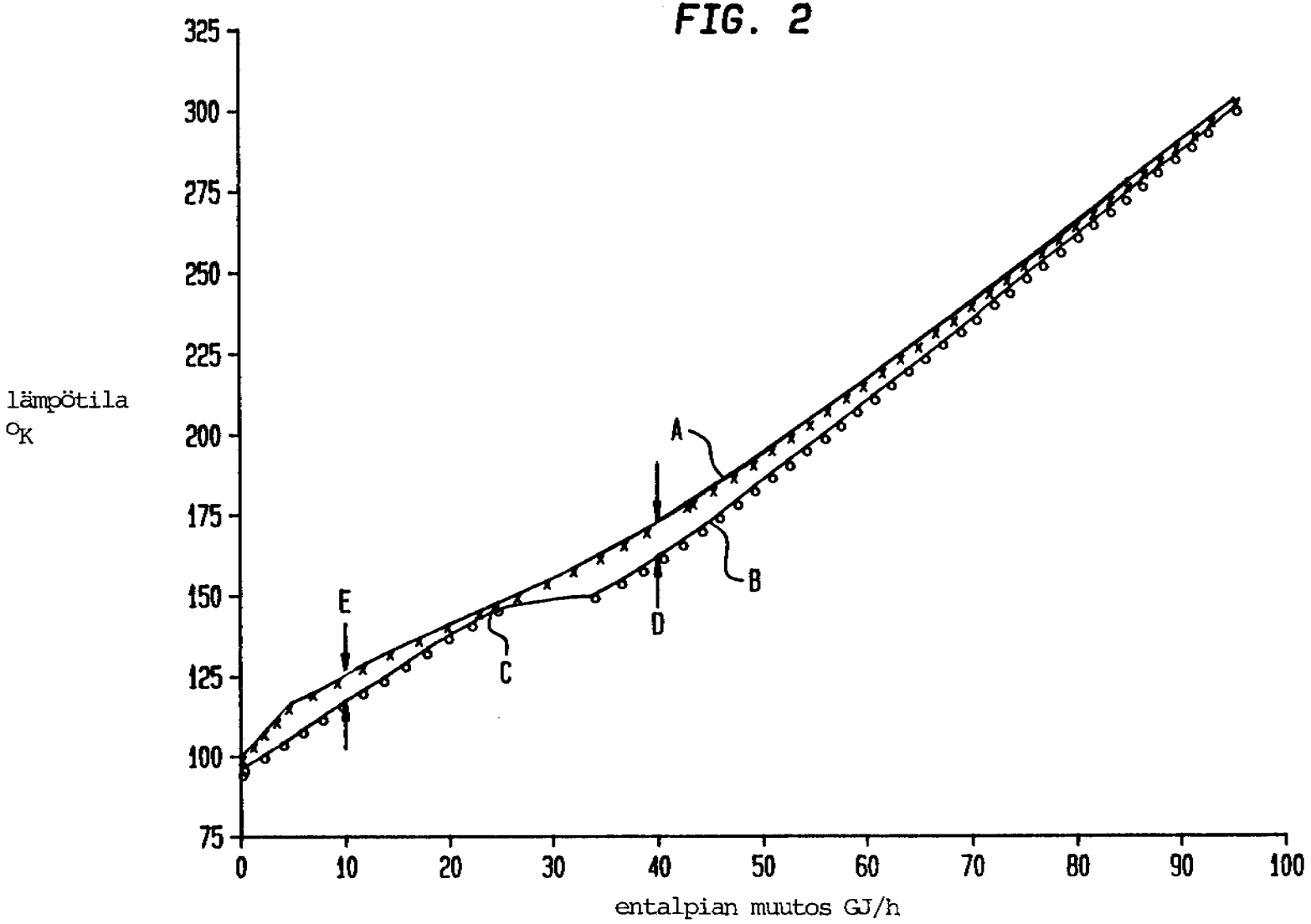
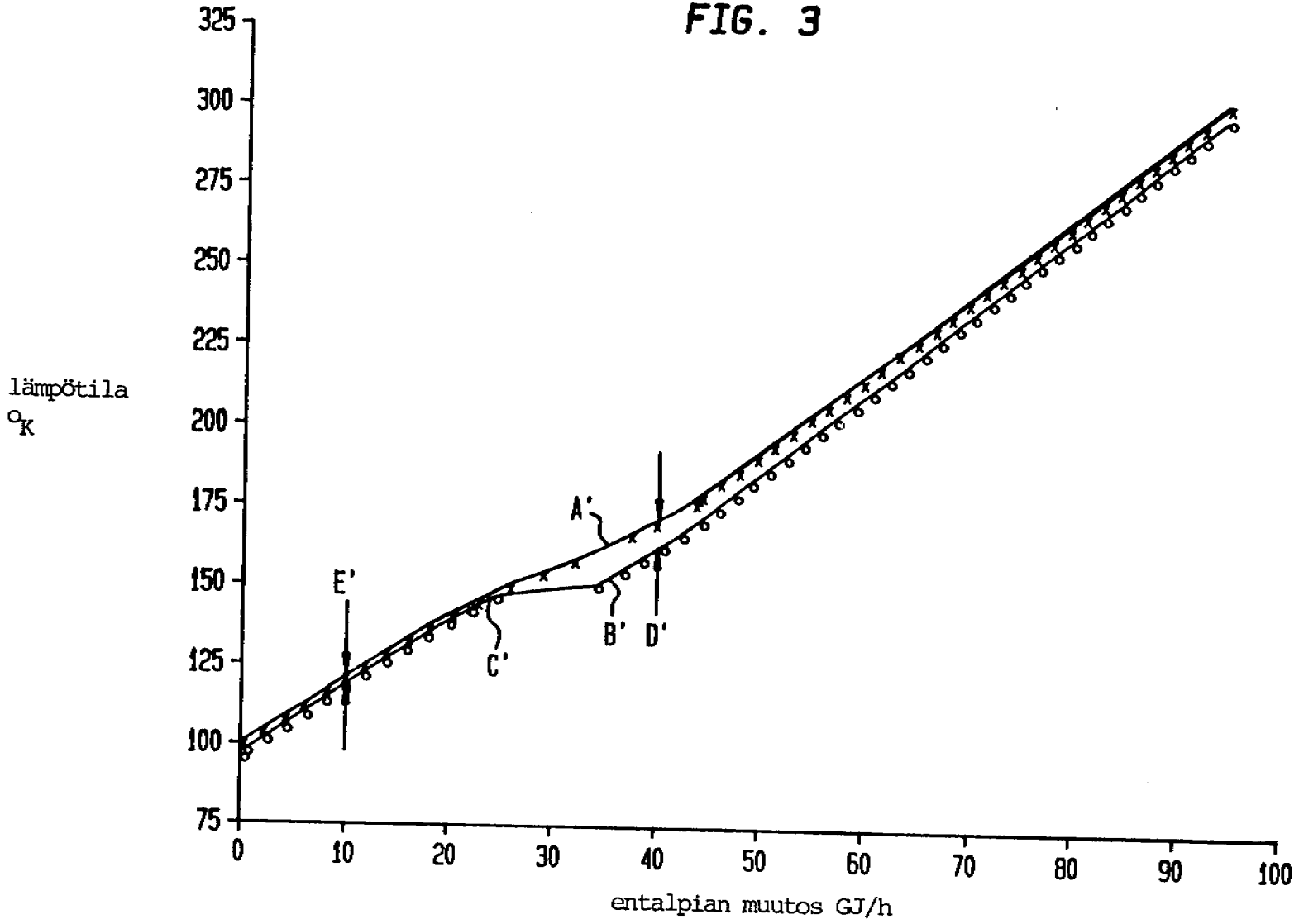

lämpötila
°K
325
300
275
250
225
200
175
150
125
100
75
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
entalpian muutos GJ/h
A
B
C
D
E

FIG. 3


lämpötila
°K
325
300
275
250
225
200
175
150
125
100
75
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
A'
B'
C'
D'
E'
entalpian muutos GJ/h