



F10000897718

(B) (11) KUULUTUSJULKAISU
UTLAGGNINGSSKRIFT

89771

C (45) Patentti myönnetty
Patent meddelat 25 11 1993

(51) Kv.1k.5 - Int.cl.5

B 01D 53/04

SUOMI-FINLAND

(FI)

Patentti- ja rekisterihallitus
Patent- och registerstyrelsen

(21) Patenttihakemus - Patentansökning	895338
(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag	09.11.89
(24) Alkupäivä - Löpdag	09.11.89
(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig	11.05.90
(44) Nähtäväksipanon ja kuul.julkaisun pvm. - Ansökan utlagd och utl.skriften publicerad	13.08.93
(32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet	
10.11.88 GB 8826378 P	

(71) Hakija - Sökande

1. The Haser Company Limited, Moray House, 16 Bank Street, Inverness IV1 1QY, United Kingdom, (GB)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1. Wells, Alan Arthur, Grove House, Nepai, Ely, Cambridgeshire CB6 2AR, United Kingdom, (GB)

(74) Asiamies - Ombud: Oy Kolster Ab

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

Kaasujen erotus paineen vaihtelulla
Separation av gaser medelst tryckväxling

(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

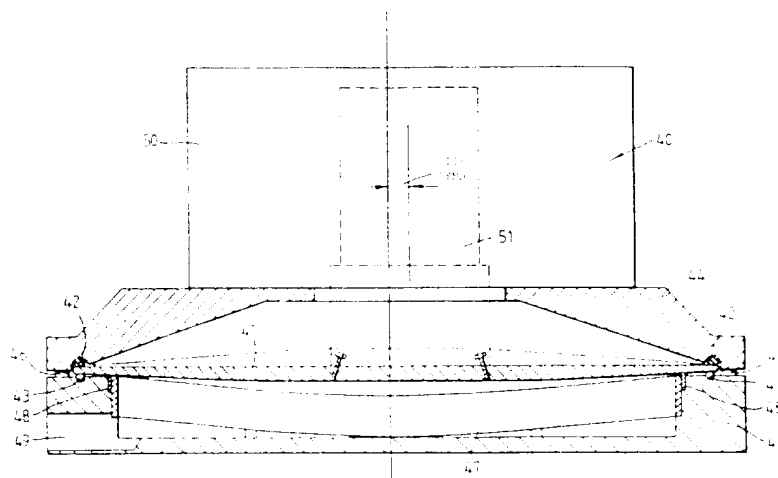
EP A 8619 (B 01D 53/04), EP A 13680 (B 01D 53/04), EP A 267727 (F 02G 3/00)

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Keksintö koskee painevaihteluun perustuvaa kaasunerotinta, joka toimii sen paineistetun ja paineistamattoman tilan välisellä, alle 0,1 baarin paine-erolla. Se toimii mieluummin toistotaajuudella, joka on suurempi kuin yksi jakso sekunnissa ja mieluummin 50 - 200 jaksoa sekunnissa. Painevaihteluun perustuva kaasunerotin käsittää mieluummin adsorbenttikerroksen (47) ja kuuluu osana resonanssijärjestelmään. Kaasunerotin käsittää laitteet, (40, 41), jotka toimivat resonanssijärjestelmän resonanssitaajuudella, adsorbenttikerroksen (47) paineistamiseksi ja paineen poistamiseksi siitä, niin että poistetun kaasuseoksen paineenergia saadaan suurimmalta osalta talteen. Laitteissa voi olla viritetty kalvo (41) adsorbenttikerroksen (47) toisen pinnan lähellä, mutta erillään siitä, käyttölaite (50), joka on järjestetty siirtämään kalvoa (41) sen resonanssitaajuudella adsorbenttikerrosta (47) päin ja siitä pois päin, venttiililaitte kaasuseoksen syöttämiseksi kalvon (41) ja kerroksen (47) väliseen tilaan ja käytetyn kaasuseoksen poistamiseksi siitä

ja kaasunpoistoaukko (49), joka on yhteydessä adsorbenttikerroksen (47) toiseen pintaan. Kaasunerottimen ollessa käytössä kalvon liike adsorbenttikerrosta päin ja siitä pois päin paineistaa sen ja poistaa sen paineen.

Uppfinningen avser en tryckväxlande gasseparator, vilken drivs med en tryckdifferens mellan dess tryckbelastade och tryckavlastade tillstånd i en grad av mindre än 0,1 bar. Den drivs företrädesvis vid en återkallande frekvens som överstiger en hertz per sekund och företrädesvis ligger mellan 20 och 200 perioder per sekund. Företrädesvis inkluderar den tryckväxlande gasseparatoren en bädd av adsorberande material (47) och den bildar del av ett avstämt system. Model (40, 41), vilka drivs vid den avstämda frekvensen i det avstämde systemet, har inkluderats för att tryckbelasta och tryckavlasta bädden av adsorberande material (47) så, att tryckenergin hos den desorberade gasblandningen väsentligen tillvaratas. Modlen kan inkludera ett avstämt diafragma (41) invid men dock på ett avstånd från det adsorberande materialets (47) en frentyta, drivanordningar (50) har anordnats för drivande av diafragmat (41) vid den avstämda frekvensen mot och bort från bädden av det adsorberande materialet (47), och ventilorgan har anordnats för införing av en gasblandning i och för utledning av en utarmad gasblandning från ett utrymme mellan diafragmat (41) och bädden (47), samt ett gasutlopp (49) står i förbindelse med den andra frontytan av den adsorberande bädden (47). Vid användningen tryckbelastas och tryckavlastas gasseparatoren genom rörelsen hos diafragmat mot och bort från den adsorberande bädden.



Kaasujen erotus paineen vaihtelulla

Keksintö kohdistuu painevaihteluun perustuvan kaasunerottimen käyttöön. Keksinnön kohteena on myös painevaihteluun perustuvan kaasunerottimen käyttö paineistetun ja paineistamattoman tilan välisellä alle 0,1 baarin paine-erolla ja toistotaajuudella, joka on suurempi kuin yksi jakso sekunnissa.

Painevaihteluun perustuvat kaasunerottimet käsittelevät adsorbenttikerroksen, joka adsorboi ensisijaisesti ainakin yhden kaasun kaasuseoksesta. Painevaihteluun perustuva kaasunerotin käyttää tätä ensisijaista adsorptiota mainitun kaasun poistamiseksi ensisijaisesti kaasuseoksesta, niin että saadaan joko enemmän ensisijaisesti adsorboitua kaasua sisältävä kaasuseos tai vähemmän ensisijaisesti adsorboitua kaasua sisältävä käytetty kaasuseos. Tällaisissa painevaihteluun perustuvissa kaasunerottimissa adsorbenttikerros paineistetaan kaasuseoksella ja ensisijaisesti adsorboitua aineosaa adsorboidaan kerrokseen niin kauan, että kerros on kyllästetty tällä kaasuseoksen aineosalla. Tämän jälkeen kerros tuuletetaan ja ensisijaisesti adsorboidun aineosan käyttämä kaasuseos poistetaan. Sitten kerroksen painetta alennetaan ja kerrokseen adsorboitunut kaasu poistetaan näissä olosuhteissa, jolloin saadaan kaasu, jossa on paljon ensisijaisesti adsorboitua kaasua.

Tällä alalla on viime aikoina tehty paljon työtä nimenomaan niin sanottuun nopeaan painevaihteluun perustuvaan adsorptiomenetelmään liittyen, jossa edellä esitetyn toiminnon jakson kesto aika on yleensä alle 30 sekuntia ja jossa adsorbenttikerros on järjestetty niin, että kaasuseos syötetään kerrokseen toiselta puolelta ja runsaasti ensisijaisesti adsorboitua aineosaa sisältävä kaasuseos poistetaan tältä puolelta desorption jälkeen, mutta se kaasu tai ne kaasut, jotka eivät ole adsorboituneet ensisijaisesti adsorbenttikerrokseen, poistetaan adsorbenttikerroksen jatkuvasti tuuletettavalta vastakkaiselta puolelta. Esimerkkejä tällaisista järjestelmistä selostetaan patenttihakemuk-

sisä EP-A-O 008 619, EP-A-O 013 680 ja EP-A-O 055 160.

Tämän keksinnön ensimmäisen näkökohdan mukaan painevaihteluun perustuvaa kaasunerotinta käytetään sen paineistetun ja paineistamattoman tilan välisellä alle 0,1 baarin paine-erolla. Oheistetuissa patenttivaatimuksissa 2 ja 3 on esitetty kaasunerottimen kaksi suositeltavaa käyttötapaa.

Nykyisissä nopeaan painevaihteluun perustuvissa kaasunerottimissa kerrokseen kohdistuu painevaihtelu, jokaonainakin $1/2$ tai useimmiten $2/3$ baaria. Näin suuren painevaihtelun muodostamiseksi tarvitaan huomattava määrä energiaa. Käytettäessä tämän keksinnön ensimmäisen näkökohdan mukaista painevaihteluun perustuvaa kaasunerotinta hyvin paljon pienemmällä paine-erolla ja alle 0,1 baarin paine-erolla tarvitaan paljon vähemmän energiaa, vaikka yleensä jokaiseen painevaihteluun liittyen muodostuukin pienempi määrä kaasua.

Painevaihteluun perustuva kaasunerotin toimii keksinnön toisen näkökohdan mukaan mieluummin sellaisella toistotaajuudella, joka on yli 10 jaksoa sekunnissa, ja tavallisesti sellaisella toistotaajuudella, joka on 50 - 200 jaksoa sekunnissa. Näin ollen keksinnön toisen suoritusmuodon mukainen paine vaihteluun perustuva kaasunerotin on paljon nopeampi kuin aikaisemmat rakenteet, jotka koskevat nopeaan painevaihteluun perustuvaa adsorptiota, kertoi-
men ollessa tällöin jopa 1 000. Painevaihteluun perustuva kaasunerotin käsittää yhdistelmänä tämän keksinnön ensimmäisen ja toisen näkökohdan, ja näin ollen sen toiminnan suuri toistotaajuus kompensoi enemmän kuin riittävästi jokaisen jakson aikana tuotetun pienen kaasumäärän. Tämän keksinnön ensimmäisen ja toisen näkökohdan yhdistelmällä saadaan hyvä kaasuntuotanto vain pienellä energiamäärällä.

Keksinnön mukaiselle kaasunerottimelle on tunnusomaista, että siinä on painelaitteet, jotka toimivat resonanssijärjestelmän resonanssitaajuudella adsorbenttikerroksen paineistamiseksi ja paineen poistamiseksi siitä, niin että poistetun kaasuseoksen paine-energia saadaan suurim-

malta osalta talteen ja että se on sovitettu toimimaan paineistetun ja paineistamattoman tilan välisellä alle 0,1 baarin paine-erolla. Keksinnön mukaisen kaasunerottimen suositeltavat suoritusmuodot on esitetty oheistetuissa patenttivaatimuksissa 5-10.

Käytettäessä keksinnön mukaista resonanssijärjestelmää saadaan talteen paljon puristusenergiaa, koska tällöin voidaan säilyttää se paine-energia, joka sisältyy kerroksen toiselta puolelta huuhdeltuun kaasukomponenttiin. Keksinnön mukaisella järjestelyllä pääasiassa vain adsorbenttikerroksen kitkahäviöt menevät hukkaan. Näin ollen painevaihteluun perustuvan kaasunerottimen käyttämiseen tarvittava energiamäärä pienenee vielä käsiteltävän keksinnön tämän näkökohdan mukaan.

Tämän keksinnön kaksi ensimmäistä näkökohtaa ja keksinnön mukainen resonanssijärjestelmään kuuluva kaasunerotin ("kolmas näkökohta") yhdistetään mieluummin toisiinsa. Tämän patenttihakemuksen tekijä on muodostanut termin "akustisen paineen vaihteluun perustuva kaasunerotus" kuvaamaan tätä järjestelmää.

FI-patenttihakemus 874 918 sisältää selostuksen ja patenttivaatimukset kaasuresonanssilaitteesta, jossa on resonanssiputki, jonka poikkileikkaus kasvaa sen koko pituudella, lämpölähde resonanssiputken toisessa päässä ja laite värähtelyjen synnyttämiseksi kaasuun resonanssiputkessa. Resonanssiputki on muodoltaan mieluummin suippokaarinen ja lämpölähde sekä kaasuun värähtelyjä resonanssiputkessa synnyttävä laite on muodostettu mieluummin pulssipolttoyksikkönä, jonka pulssintoistotaajuus vastaa kaasuresonanssiputken resonanssitaajuutta. Tällaisen lämpökäyttöisen kaasuresonanssilaitteen synnyttämiä paineaaltoja selostetaan myös ja esitetään patenttivaatimukset, jotka liittyvät painevaihteluun perustuvan kaasunerottimen käyttöön.

Tämän keksinnön toinen ja kolmas näkökohta eivät käsitä FI-patenttihakemuksessa 874 918 selostettuja ja patenttivaatimuksissa esitettyjä yhdistelmiä.

Tämän keksinnön neljännen näkökohdan mukaan paine-
vaihteluun perustuva kaasunerotin käsittää adsorbenttiker-
roksen, viritetyn kalvon, joka on lähellä adsorbenttiker-
roksen toista pintaa, mutta erillään siitä, käyttölait-
5 teen, joka on järjestetty käyttämään kalvoa sen resonans-
sitaajuudella adsorbenttikerrosta päin ja siitä poispäin,
venttiililaitteen kaasuseoksen syöttämiseksi kalvon ja ker-
roksen väliseen tilaan ja käytetyn kaasuseoksen poistami-
seksi tästä tilasta ja kaasunpoistoaukon, joka on yhteydes-
10 sä adsorbenttikerroksen toiseen pintaan, kalvon liikkeen
adsorbenttikerrokseen päin ja siitä poispäin paineistaessa
tällöin kerroksen ja poistaessa sen paineen.

Käyttölaite voi olla muodostettu lämpökäyttöisenä
kaasuresonanssilaitteena FI-patenttihakemuksessa 874 918
15 selostetulla tavalla tai se voidaan muodostaa sellaisena
kaasuresonanssilaitteena, jossa on pulssipolttoyksikkö,
joka on sijoitettu suunnilleen pallon muotoisen resonans-
sikammion keskiosaan. Tällaisen lämpökäyttöisen kaasureso-
nanssilaitteen etuna on, että FI-patenttihakemuksessa
20 874918 mainitut seinämäkitkahäviöt on eliminoitu kokonaan.
Pulssipolttoyksikkö synnyttää suunnilleen pallon muotoisen,
laajenevan aaltorintaman, johon ei liity lainkaan seinämä-
kitkaa, kun se liikkuu resonanssikammion keskiosasta re-
sonanssikammion ulkopuolelle.

25 Kaasuresonanssilaitte käsittää mieluummin laitteen
räjähtävän kaasuseoksen synnyttämiseksi pulssipolttoyksik-
köön. Pulssipolttoyksikön pulssitoistotaajuus vastaa mie-
luummin suunnilleen pallon muotoisen resonanssikammion re-
sonanssitaajuutta, joka riippuu paljon kammion säteestä.
30 Laite, jolla räjähtävä seos syötetään pulssipolttoyksik-
köön, voi käsittää viritetyn venttiilin tai resonanssiput-
ken, niin että pulssipolttoyksikkö saa räjähtävän seoksen
pulsseina. Tässä tapauksessa räjähtävä seos syötetään mie-
luummin suunnilleen pallon muotoisen resonanssikammion re-
35 sonanssitaajuudella.

Painevaihteluun perustuva kaasunerotin käsittää
mieluummin molekyylliseulamateriaalia olevan kerroksen, joka

on suunnilleen pallon muotoisen resonanssikammion kehällä. Resonanssikammio on muodostettu mieluummin kaksikymmentahokkaana. Tässä tapauksessa jokainen molekyyliseulamateriaalista koostuva kerros on suunnilleen pyöreä kerrosten ollessa sijoitettu resonanssikammion sivuseinämään ja kolmen pyöreän kerroksen ollessa kokonaan kaksikymmentahokkaan jokaisessa suunnilleen kolmion muotoisessa segmentissä ja aina yhden kerroksen ollessa tällöin kaksikymmentahokkaan jokaisessa kärjessä.

10 Kalvoa, joka erottaa resonanssikammion sisäpuolen molekyyliseulamateriaalia olevasta kerroksesta, voidaan käyttää pääasiassa kartion muotoisissa resonanssikammioissa FI-patenttihakemuksessa 874 918 selostetulla tavalla tai suunnilleen pallon muotoisissa resonanssikammioissa. Kaasun mekaaniset värähtelyt synnyttävät kalvon vastaavan värähtelyn, mutta kalvo muodostaa fyysisen sulun, joka erottaa adsorbenttikerroksen resonanssikammion sisäosasta ja estää tällöin sen, että pulssipolttoyksikön palamistuotteet eivät saastuta adsorbenttikerrosta. Kalvon halkaisija, vahvuus ja 15 jäykkyys valitaan mieluummin niin, että kalvon luonnollinen resonanssitaajuus vastaa resonanssikammion luonnollista resonanssitaajuutta.

Käyttölaitte voidaan muodostaa sähkökäyttölaitteena. Tässä tapauksessa suositetaan, että sähkökäyttölaitte käsittää ankkurikäämin ja staattorin, joista toinen on yhdistetty kalvoon ja toinen on sijoitettu kiinteään, ympärillä olevaan runkoon, jolloin laitetta käytettäessä ankkuriin kohdistettu värähtelyvirta saa ankkurin ja tällöin myös kalvon värähtelemään staattoriin nähden. Staattori voidaan 30 muodostaa kestopagneettina, mutta se on mieluummin sähkömagneetti. Syötettäessä sähkökäyttölaitetta päävirtaverkosta suositetaan, että kalvo viritetään verkkotaajuudelle, joka on 50 tai 60 Hz, ja että laitetta käytetään yksivaihevirralla.

35 Käyttölaitteena voi olla vaihtoehtoisesti moottori, joko sähkömoottori tai polttomoottori. Tässä tapauksessa kalvo voidaan yhdistää moottorin pyörimisakseliin kammella tai muulla epäkeskoliitännällä tai moottori voi-

daan kiinnittää kalvoon ja järjestää niin, että se pyörittää tasapainottamatonta kuormaa.

Venttiililaitte kaasuseoksen päästämiseksi kalvon ja adsorbenttikerroksen väliseen tilaan ja kaasuseoksen poistamiseksi tästä tilasta käsittää mieluummin renkaan muotoisen venttiili-istukan, joka liittyy kalvoon, ja kalvo muodostaa venttiilin sulkuosan, joka muodostaa kaasutiiviin sulun renkaan muotoista kalvoa vasten, mutta kalvon liikkuesssa pois adsorbenttikerroksesta sulkuosa nousee ylös istukasta ja päästää kaasun istukan ja kalvon väliin.

Venttiililaitteessa voi olla poistoventtiili kalvon keskiosassa, niin että kaasuseos liikkuu säteen suunnassa sisäänpäin renkaan muotoisesta venttiili-istukasta kalvon keskiosan suuntaan. Tässä tapauksessa poistoventtiili on järjestetty niin, että se avautuu tuloventtiilin jälkeen, mutta sulkeutuu suunnilleen samanaikaisesti sen kanssa. Yksi tapa tämän järjestämiseksi on, että poistoventtiilin sulkuosa liukuu vapaasti tietyissä rajoissa kalvoon kiinnitetyssä akselissa, niin että poistoventtiilin sulkuosan liikkuesssa kalvon mukana pois adsorbenttikerroksesta se on ensimmäisessä asennossaan akselissa, mutta sen liikkuesssa kalvon mukana adsorbenttikerroksesta päin se on toisessa asennossaan akselissa.

Vaihtoehtoisesti renkaan muotoisen venttiili-istukan ja kalvon muodostama venttiili toimii sekä tulo- että poistoventtiilinä. Tässä tapauksessa suositetaan, että kalvoon kohdistetaan harmoninen värähtely, niin että kalvon perusvärähtelyn lisäksi, joka suuntautuu adsorbenttikerrosta päin ja siitä poispäin, esiintyy myös päällekkäistä lisävärähtelyä, joka on aalto, joka liikkuu kalvon toiselta puolelta sen toiselle puolelle. Kun kalvo siirtyy näin irti adsorbenttikerroksesta, kalvon toinen puoli nousee alustavasti ylös renkaan muotoisesta istukastaan. Pienempi paine, joka on muodostunut kerrokseen kalvon siirryessä pois siitä, imee kaasuseosta kalvon ja kerroksen

- väliseen tilaan istukastaan nousseen kalvoventtiiliin istukan kautta kalvon toisella puolella. Hetken kuluttua myös kalvon toinen puoli nousee ylös renkaan muotoisesta istukasta. Kalvon toiselle puolelle tulleeella kaasulla on tietty sivuttainen liikemäärä, joka jatkuu ja kasvaa kalvon taipumisesta johtuen ja saa aikaan kaasuvirtauksen kalvon toiselta puolelta sen toiselle puolelle, mikä aiheuttaa puolestaan sen, että kerroksen ja kalvon välisestä tilasta tuleva käytetty kaasu poistuu kalvon toiselta puolelta.
- 5
- 10 Kalvon kääntyessä takaisin adsorbenttikerrosta päin kalvon toinen puoli koskettaa ensin renkaan muotoiseen venttiili-istukkaan ja sitten myös kalvon toinen puoli. Kalvon siirtyessä edelleen adsorbenttikerrosta päin se paineistaa kerroksen ja siirtyy sitten pois kerroksesta, jolloin kerroksen paine laskee, minkä jälkeen kalvon toinen puoli nousee ensin ylös venttiili-istukastaan ja jakso toistuu. Tällä tavalla suoritetaan adsorbenttikerroksen paineistaminen ja sen paineen poistaminen kalvon perusvärähtelyn avulla, mutta tämän lisäksi kalvoon suuntautuvasta harmonisesta
- 15
- 20 värähtelystä johtuen siihen syntyy myös poikittainen aalto-liike, joka ohjaa kaasun poikittain adsorbenttikerroksen yläosan läpi. Tällä saadaan nimenomaan tehokas puhdistustoiminto, joka huuhtelee käytetyn kaasuseoksen kerroksen yläosasta kalvon jokaisen värähtelyn aikana.
- 25
- Tämä harmoninen lisäliike voidaan kohdistaa kalvoon esimerkiksi sijoittamalla kalvon toiselle puolelle tietty epäkeskinen massa, jota vastaa mieluummin kalvon vastaava keventäminen toisella puolella. Tämä on erittäin edullista silloin, kun kalvoa käytetään lämpökonella.
- 30
- Vaihtoehtoisesti, kun kalvon käyttövoimana on sähkökäyttö-laitte tai mekaaninen liitäntä, se on sijoitettu pois kalvon keskustasta. Käytettäessä kalvoa kammella tämä harmoninen lisävärähtely voidaan saada aikaan myös kytkemällä kammen toinen pää suoraan kalvoon, niin että kammen kalvoon yhdistävän yhdystangon kulmakallistuminen kohdistuu
- 35
- suoraan kalvoon ja aiheuttaa sen vastaavan taipumisen.

Tämän keksinnön mukainen painevaihteluun perustuva kaasunerotin on järjestetty mieluummin niin, että sitä käytettäessä kaasuseos tulee kerrokseen tietyllä tulonopeudella, joka on riittävän pieni, niin että se takaa kaasun laminaarisen virtauksen adsorbenttikerroksessa. Kerrokseentulonopeus, jolla laminaarinen virtaus syntyy, on kerroksen hiukkaskoon funktio, kuten myöhemmin yksityiskohtaisemmin selostetaan, ja näin ollen suositetaan, että kerroksen hiukkaskoko on suunnilleen 174 mm tai pienempi. Kun kerrokseen järjestetään laminaarinen virtaus, ensinnäkin ne kitkahäviöt, joita esiintyy akustisen paineen vaihteluun perustuvassa kaasunerotusjärjestelmässä, vähenevät, mikä vähentää vielä erotusprosessissa tarvittavaa energiaa. Kuitenkin tämän lisäksi laminaarista virtausta käytettäessä saadaan tehokkaampi erotustoiminto käytetyn kaasuseoksen ja sen kaasuseoksen välille, jossa on runsaasti sellaista kaasua, jota adsorbenttikerros ei adsorboi ja joka liikkuu adsorbenttikerroksen toisesta pinnasta sen toiseen pintaan.

Adsorbenttikerros on mieluummin leveä ja matala ja poikkeaa näin ollen niistä adsorbenttikerrosjärjestelyistä, joita käytetään tavanomaisessa nopeaan painevaihteluun perustuvissa adsorptiojärjestelmissä, joissa maksimitihoja varten tarvitaan suhteellisen kapea, mutta syvä kerros. Adsorbenttikerroksen materiaalmäärä vastaa yleensä suunnilleen sitä materiaalmäärää, jota käytetään nopeaan painevaihteluun perustuvissa adsorptiojärjestelmissä, suositettavan kaasun vastaavaa tuotantoa varten.

Erilaisia esimerkkejä tämän keksinnön mukaisesta painevaihteluun perustuvasta kaasunerotuksesta ja siihen liittyvää teoriaa selostetaan nyt viittaamalla oheisiin piirustuksiin, joissa

kuvio 1 on poikkileikkaus ensimmäisestä rakenne-esimerkistä,

kuvio 2 on osaleikkaus ensimmäisestä rakenne-esimerkistä,

kuvio 3 on leikkaus kaasunerotusmoduulin ensimmäisestä rakenne-esimerkistä,

kuvio 4 on graafinen esitys ja havainnollistaa kaasunerotusmoduulin ensimmäisen rakenne-esimerkin venttiilien siirtymistä aikaan nähden,

kuvio 5 on leikkaus kaasunerotusmoduulin toisesta rakenne-esimerkistä,

kuvio 6 on suurennettu poikkileikkaus kalvosta,

kuvio 7 esittää ryhmän poikkileikkauksia kaasunerotusmoduulin toisen rakenne-esimerkin kalvosta sen taipumisen havainnollistamiseksi, ja

kuvio 8 on poikkileikkaus toisesta rakenne-esimerkistä.

Lämpökäyttöinen kaasuresonanssilaitte käsittää suunnilleen pallon muotoisen kammion 1 ja sen keskelle sijoitetun pulssipolttoyksikön 2. Polttoyksikkö 2 käsittää viritetyn suuntaisventtiilin, jota selostetaan tämän keksinnön tekijän aikaisemmassa FI-patenttihakemuksessa 874 918. Ilman ja jonkin sopivan polttokaasun muodostama polttoseos syötetään kammioon 1 viritetyn suuntaisventtiilin kautta. Polttoseos syttyy jaksottain pallon muotoisen kammion 1 resonanssitaaajuutta vastaavalla taajuudella. Polttoyksikössä on sytytystulppa, joka suorittaa alkusytytyksen, mutta sen jälkeen pulssipalaminen jatkuu itsenäisesti.

Vaihtoehtona viritetyn suuntaisventtiilin käyttämiselle polttoyksikössä polttoseos voidaan syöttää kammioon 1 resonoivalla kaasunsyöttöputkella, joka suuntautuu kammioon 1 ja on viritetty niin, että se syöttää polttoseoksen pulsseina halutulla pulssintoistotaajuudella.

Polttoyksikön toimiessa edellä selostetulla tavalla kammion 1 keskiosaan saadaan pulssilämpölähde, joka saa aikaan suunnilleen pallomaisen, laajenevan aaltorintaman. Koska polttoyksikön taajuus vastaa kammion resonanssitaaajuutta, polttoyksikkö käyttää kammion resonanssitiloja

ja maksimoi sen tehon, jolla palamisesta syntyvä lämpö-energia muutetaan mekaaniseksi energiaksi, joka liittyy kammiossa 1 olevan kaasun painevaihteluihin. Ensimmäisessä selostetussa esimerkissä tämä mekaaninen energia on tarkoitet-
5 koitettu käyttämään kaasunerotinta hapen rikastusta varten.

Käsiteltävän keksinnön ensimmäisessä rakenne-esimerkissä, joka esitetään kuvioissa 1 ja 2, suunnit-
leen pallon muotoinen kammio 1 on rajattu ontolla kaksi-
10 kymmentahokasvaipalla 3, joka on muodostettu pääasiassa kolmion muotoisista elementeistä 4. Päistään avonaiset poistoputket 5 suuntautuvat kammioon 1 vaipan 3 ulkopin-
nasta. Putkien 5 säteen suunnassa sisemmät päät ovat pal-
lon muotoisen kammion 1 keskustasta sellaisella etäisyy-
15 dellä, joka vastaa noin kolmeneljäsosaa pallon säteestä. Tällä säteellä kammion resonanssitilassa on paineen nollapiste. Palamistuotteet voidaan siis poistaa kammioista 1 näissä pisteissä niin, että tehohäviö ja ulkopuolelle kuuluva ääni ovat minimaaliset. Jos poisto on suoritettava kauemmaksi kammioista 1, putket voivat suuntautua sil-
20 loin vaipan 3 pinnan ulkopuolelle.

Kammion ulkopuolella sijaitsevaan vedensyöttöyksikköön (ei esitetty) yhdistetyt putket on sijoitettu samankeskisesti poistoputkiin 5. Nämä putket muodostavat
25 kammioon suunnattavat vesisuihkut. Pieni osa vettä muutetaan höyryksi lämpölähteen avulla lämpöpulssien aikana, joten se täydentää mekaanisen voiman tuotantoa. Vesipisaroista jäävä sumu jäähdyttää kaasut kammiossa seuraavan laajennusjakson aikana ennen niiden uudelleenpuristamista, jolloin ylimääräinen lämpöenergia poistuu ja lait-
30 teen teho paranee vielä. Kammion 1 pallon muotoiseen sisäpintaan palanneista vesipisaroista muodostunut kuumentettu vesi poistetaan kammion alaosasta ja se voidaan jäähdyttää ja kierrättää uudestaan.

35 Kammion 1 moduulit on tehty kaasunerotusmoduuleina, joista on esimerkki kuviossa 2, jossa tällaisen elementin

4' ulkopinta on leikattu pois. Jokainen kaasunerotusmoduuli käsittää useita pyöreitä elementtejä 7 jokaisen tällaisen elementin 7 käsittäessä kaarevan zeoliittikerroksen 8 ja sen sisäänpäin suuntautuvan pinnan peittävän kalvon 9. Jokaisen elementin 7 halkaisija on 0,8 m ja enintään 72 tällaista elementtiä voidaan sijoittaa säteeltään 1 tai 2 metrin kammion sisäpintaan. Laitteen toimiessa kammion 1 kehällä esiintyvät painevaihtelut siirtävät kalvoa 9 edestakaisin säteen suunnassa, toisinaan 5 sanoen kerroksen 8 pintaan nähden poikittain. Ilmaa otetaan sisään kerroksen 8 kehän ympärillä olevasta renkaan muotoisesta tuloaukosta 10 ja ilma ohjataan kerroksen 8 läpi seuraavassa yksityiskohtaisemmin selostettavalla tavalla. Kerroksen 8 alapinnasta poistuva kaasu, johon on 10 lisätty happia, kerätään liepeen 11 alle ja siirretään putkilla 12 kaksikymmentahokasvaipan 3 putkirunkoon 13. Putkirunko 13 on liitetty yhteisesti kaikkiin kaasunerotusmoduuleihin 6 ja muodostaa moduuleista 6 lähtevän radan poistoaukkoon (ei esitetty), jonka kautta hapetettu 15 kaasu poistetaan.

Kalvo 9 eristää zeoliittikerroksen 8 kammiossa 1 olevista palamiskaasuista ja muodostaa tämän lisäksi myös holvirakenteen, joka takaa sen, että ilmaa tulee sisään ja käytetty ilma poistuu sopivista kohdista vä- 25 rähtelyjakson aikana. Kalvo 9 on mitoitettu niin, että sillä on sama resonanssitaajuus kuin kammiolla 1. Käsiteltävässä esimerkissä kalvo 9 on tehty teräksestä, ja sen halkaisija on 0,8 m ja vahvuus 6 mm. Kalvo 9 on kiinnitetty reunoistaan kerroksen 8 ulkopuolelle niin, että 30 se on tasapainoasennossaan irti kerroksen 8 kehästä, mutta koskettaa kerrokseen 8 venttiili-istukassa 14, joka on noin 10 cm kerroksen 8 ulkoreunan sisäpuolella. Tästä venttiili-istukasta 14 säteittäisesti ulospäin suuntautuva kerroksen 8 osa on ilmanpitävä, ja kalvon 9 ja 35 kerroksen 8 välinen kosketusalue muodostaa venttiilin, joka ohjaa ilman sisääntuloa aukosta 10 kerroksen 8

pääosaan. Kerroksen 8 keskiosassa on lieriön muotoinen poistoaukko 15, joka on kalvon 9 ollessa tasapainoasennossaan suljettu kartiomaisella venttiiliosalla. Venttiiliosa 16 on kalvon 9 keskiosaan kiinnitetyn akselin 17
5 päällä.

Painevaihteluun perustuvan kaasunerottimen toimintajaksoa selostetaan nyt viittaamalla kuvioon 4, joka esittää tuloventtiilin ja poistovennttiilin siirtymistä aikaan nähden. Aikaa esittävässä kohdassa t_0 kalvo 9 on
10 tasapainoasennossaan. Kun kammiossa aivan kalvon kohdalla olevan kaasun paine laskee, kalvo siirtyy pois kerroksesta 8 säteen suunnassa sisäänpäin. Kalvo 9 nousee heti ylös istukasta 14, jolloin venttiilin sisääntulo avautuu. Poistovennttiili pysyy kuitenkin kiinni, koska akselin 17
15 ja venttiiliosan 16 välissä on liikkumatilaa, niin että akselin 17 siirtyessä ylöspäin venttiiliosa 16 pysyy kuitenkin istukassa. Jakson $t_0 - t_1$ aikana kalvon 9 alle muodostuu tällöin osatyhjiö, joka imee tuloaukosta 10 istukan 14 kautta sisään ilmaa ja kiihdyttää sitä. Kohdas-
20 sa t_1 , kun kalvo 9 liikkuu lisää ylöspäin, akselin 17 pää koskettaa venttiiliosaan 16, nostaa sen ylös istukasta ja avaa näin poistovennttiilin. Kalvon 9 alle tuloaukosta 10 imetty ilma siirtyy tämän vuoksi kerroksen 8 yli ja siirtyy liikemäärästään johtuen edelleen säteen
25 suunnassa kerroksen 8 keskiosaan. Tällöin se huuhtelee kerroksen 8 ja kalvon 9 välissä olevan ilman ja poistaa sen poistoaukosta 15.

Kun kalvo 9 on tullut maksimisiirtymispisteeseensä, se liikkuu sitten jälleen alaspäin kerrosta 8 kohti. Koh-
30 dassa t_2 kalvo 9 tulee jälleen tasapainotilaansa ja sulkee tulo- ja poistovennttiilin. On huomattava, että vaikka tuloventtiilin ja poistovennttiilin avautumisen välillä onkin tietty viive, joka johtuu akselin 17 välyksestä, kun venttiilit sulkeutuvat kohdassa t_2 , tämä tapahtuu kuitenkin samanaikaisesti. Jakson seuraavan vaiheen aikana
35 kalvon 9 alla oleva paine kasvaa ja työntää renkaan muo-

toisen tuloaukon 10 kautta tulleen uuden ilman zeoliit-
 tikerrokseen 8. Ilman siirtyessä eteenpäin kerroksen
 8 läpi zeoliitti toimii melekyylliseulana ja adsorboi il-
 masta ensisijaisesti typpeä, niin että kerroksen 8 ala-
 5 osasta poistuva kaasu on hapetettua/typpeä sisältämätöntä.
 Sitten ajasta t_3 lähtien, joka on maksimisiirtymispiste
 vastakkaiseen suuntaan kerrosta 8 päin, kalvo 9 siirtyy
 takaisin tasapainoasentoon päin vähentäen painetta ker-
 roksen 8 yläpuolella. Tämän alentuneen paineen aikana
 10 typpeä poistuu kerroksesta 8 ja siirtyy takaisin pinnan
 suuntaan. Kalvon 9 tullessa tasapainopisteeseensä jakso
 toistuu seuraavan sisään tulleen ilmamassan työntäessä
 hapettoman, paljon typpeä sisältävän kaasun kerroksen 8
 pinnasta poistoputkeen 15. Jakso kiihdyttää kaasua sen
 15 siirtyessä kerroksen pinnan läpi, niin että kaasun tul-
 lessa poistoaukkoon 15 sen liikevoima poistaa sen kammios-
 ta 1 kaasusysäyksenä, joka ei sekoitu kerroksen tuloau-
 kossa olevaan kaasuun. Seuraavien jaksojen aikana happi
 ohjataan alaspäin kerroksen 8 läpi sen ulkopintaan, josta
 20 se poistetaan jo selostetulla tavalla.

Kuvioissa 5, 6 ja 7 esitetään eräs muunnelmä
 kaasunerotusmoduulista. Tässä esimerkissä renkaan muotoi-
 nen venttiili-istukka 31 on kaarevan adsorbenttikerrok-
 sen 32 ympärillä. Paksu, viritetty kalvo 33 värähtelee
 25 suunnilleen pallon muotoisen kammion 1 (ei esitetty ku-
 viossa 5) resonanssitaajuudella. Kerros 32 ja renkaan
 muotoinen venttiili-istukka 31 vastaavat pääasiassa en-
 simmäisen esimerkin kerrosta 8 ja istukkaa 14. Kalvo 33
 on tasapainottamaton ja siinä on toisella puolella lisä-
 30 massa 34 ja toisella puolella syvennys 35 kuvion 6 esit-
 tämällä tavalla. Tämä kalvon 33 epäsymmetria synnyttää
 siinä harmonisen värähtelyn kalvon värähdellessä taakse-
 päin ja eteenpäin säteen suunnassa perustaajuudella kam-
 miossa 1 etenevien pallomaisten aaltorintamien vaikutuk-
 35 sesta. Tämä harmoninen värähtely on poikittaisaalto,
 joka liikkuu vasemmalta oikealle kuviossa 5 esitetyllä
 tavalla.

Kuvio 7 esittää kaaviona tätä vaikutusta. Kuviossa 7 kalvo on esitetty viivana ja poikittaisvärähtelyn amplitudi on esitetty huomattavasti liioiteltuna, jolloin nähdään, kuinka kalvon 33 siirtyessä pois kerroksesta 32 ensin sen vasen puoli, kuten kuvioissa 5, 6 ja 7 esitetään, nousee ylös renkaan muotoisesta istukasta 31, jolloin uutta ilmaa voidaan imeä kalvon 33 ja venttiili-istukan 31 väliin muodostuneeseen aukkoon kaasunerotusmoduulin vasemmalla puolella. Kalvon 33 siirtyessä lisää pois adsorbenttikerroksesta 32 adsorbenttikerroksen 32 päällä oleva paine laskee vielä, jolloin kerroksen 32 vasemmalta puolelta tulee sisään lisää uutta ilmaa ja lisää käytettyä, typpeä sisältävää kaasua poistuu kerroksesta 32. Uuden ilman liikkeussa sisäänpäin kerroksen 32 ja kalvon 33 väliseen tilaan sillä on huomattava nopeus vasemmalta oikealle kuvioissa 5 ja 6 esitetyllä tavalla. Kun kalvo 33 on taipunut maksimipisteeseensä, se alkaa palata takaisin kaarevaa kerrosta 32 päin. Jälleen kalvon vasen puoli liikkuu ensin, kuten kuviosta 7 voidaan selvästi nähdä, ja tämä saa aikaan sen, että kalvon 33 vasen puoli muodostaa sulun renkaan muotoisen istukan 31 kanssa kalvon vasemmalla puolella, kun taas kalvon oikea puoli ei kosketa vielääkään renkaan muotoisen istukan 31 oikeaan puoleen, kuten kuviosta 7 voidaan jälleen todeta. Ilman poikittaisliike kaarevan kerroksen 32 pinnan läpi huuhtelee käytetyn, paljon typpeä sisältävän ilman tehokkaasti kerroksen 32 pinnasta ja ulos kaasunerotusmoduulin oikealta puolelta renkaan muotoisen istukan 31 oikean puolen ja kalvon 33 välistä. Kalvon 33 liikkeussa edelleen adsorbenttikerroksta päin se liittyy mahdollisesti renkaan muotoisen istukan 31 koko kehään sulkien tällöin venttiilin ja paineistaen moduuliin tulleen uuden ilman sekä työntäen sen adsorbenttikerrokseen 32. Kun kalvo on tullut maksimitaipumispisteeseensä kerrosta 32 päin, se alkaa jälleen palata takaisin ja siirtyä irti kerroksesta 32. Jälleen kalvon vasen puoli nousee ensin ylös renkaan muotoisesta istukas-

taan 31, jolloin uutta ilmaa pääsee virtaamaan moduuliin vasemmalta puolelta ja prosessi toistuu. Kalvoon 33 liit-
tyvä poikittaisaaltotoiminto tehostaa myös ilman liikku-
mista poikittaissuuntaan kaasunerotusmoduulin vasemmalta
5 puolelta sen oikealle puolelle.

Edellä selostettu painevaihteluun perustuva kaasun-
erotin on sekä tehokkaampi että pääomakustannuksiltaan
huokeampi kuin tavanomainen happea tuottava laitos, esi-
merkiksi kryogeeninen hapen talteenottoyksikkö. Säteel-
10 tään kahden metrin pallo, jonka pinta on peitetty kokonaan
kaasunerotusmoduuleilla, pystyy tuottamaan päivässä 100
tonnia 98 %:sta happea, jolloin hapen talteenottosuhde,
toisin sanoen hapen syöttämisen ja poistamisen välinen
tilavuussuhde, on 100:15, ja energian ominaiskulutus,
15 toisin sanoen se mekaaninen energia, joka tarvitaan tuot-
tamaan kilo happea, on 0,125 kWh/kg. Tuotettua 98 %:sta
happiseosta voidaan käyttää teollisissa prosesseissa kuten
raudan ja teräksen valmistuksessa, mutta sitä voidaan
käyttää myös muihin tarkoituksiin, esimerkiksi jäteveden
20 puhdistamiseen tai hapen tuottamiseen lääketieteellisiä
tarkoituksia varten. Näitä vaihtoehtoisia käyttösovellu-
tuksia varten laitteen mittakaavaa ja tuotetun hapen kon-
sentraatiota voidaan muuttaa asianomaiseen tarkoitukseen
sopivalla tavalla. Tarvittaessa vain pieniä määriä happea
25 edellä selostettua kaasunerotusyksikköä, jossa on vain
yksi pyöreä kerros ja kalvo, voidaan käyttää suippokaari-
sessa kaasuresonanssilaitteessa, joka vastaa edellä mai-
nitussa EP-patenttihakemuksessa selostettua rakennetta.

Toisessa painevaihteluun perustuvan kaasunerottimen
30 rakenne-esimerkissä käytetään ensimmäisen esimerkin mukai-
sessa muunnelmassa selostettua kerros- ja kalvojärjestelyä,
mutta kalvon käyttövoimana on sähkökäyttölaite 40. Kaasun-
erotin käsittää kalvon 41, jonka kehä on puristettu 0-ren-
kaan 42 ja useiden samaan kulmaan toisistaan erilleen si-
35 joitettujen pallojen 43 väliin. 0-rengas 42 on sijoitettu
renkaan muotoiseen uraan kotelon 44 yläosaan, kun taas

pallot 43 on sijoitettu kotelon alaosaan 45. Kotelon molemmat puoliskot on puristettu yhteen pulteilla 46 kalvon 41 puristamiseksi 0-renkaan 42 ja pallojen 43 väliin. Adsorbentilla täytetty kaareva kerros 47 on sijoitettu kotelon alapuoliskoon 45 ja ympäröity renkaan muotoisella tiivisteellä 48, joka suuntautuu kalvon 41 kehään. Kaasunpoistoaukko 49, joka on yhteydessä kerroksen 47 takapintaan, suuntautuu ylös kotelon alapuoliskosta 45. Kotelon yläosassa 44 on sähkökäyttölaite 40, joka käsittää staattorin 50, joka voi olla kestopagneetti, mutta se on mieluummin sähkömagneetti, joka magnetoidaan tasavirtamagneettikäämillä. Liikkuvan käämin muodostama sydän 51 on yhdistetty epäkeskisesti kalvoon 41. Kuvio 8 esittää kalvon keskustan ja sydämen keskustan välistä siirtymistä. Sähkökäyttölaitteen 40 järjestely vastaa pääasiassa kaiuttimissa käytettyä käyttöjärjestelyä.

Tavallisesti yksivaihevaihtovirta yhdistetään liikkuvan käämin sydämeen, ja vaihtovirrasta johtuen sydän liikkuu ylöspäin ja alaspäin kuviossa 8 esitetyllä tavalla, jolloin kalvo värähtelee. Kalvo on järjestetty värähtelemään verkkotaajuudella. Kalvon akselin ja sydämen akselin sivuttaissiirtymisestä johtuen kalvo värähtelee edellä kuvioon 7 viittaamalla selostetulla tavalla.

Adsorptio/desorptio, jossa nestepaine nousee ja laskee, pystyy erottamaan kaasuja kuten tyypeä ja happea ilmasta zeoliittimolekyyliseulalla, joka on huokoinen kerros, jossa on lajiteltuja tai kooltaan yhtenäisiä hiukkasia. Kaasuseokset syötetään tavallisesti kerroksen yläosaan ja seoksen yksi aineosa poistetaan pienemmällä virtausnopeudella kerroksen alaosaan. Tuotantomäärät riippuvat erotetulta fraktiolta vaadittavasta puhtaudesta. Erotuksen energiahyötysuhde on huomattavan suuri tuotettaessa erotettua kaasua, joka syötetään ilmakehän paineella, ja on suurempi käytännön sovellutuksissa kuin missään kryogeenisessä erotusmenetelmässä. Molekyyliselektiivisyys muodostaa perustan adsorptiolla suoritettaville erotus-

toiminnoille ja esimerkiksi tiedetään, että typpi adsorboidaan ensisijaisesti zeoliittipintaan, koska sen molekyyli rakenne poikkeaa hapen molekyyli rakenteesta. Adsorptioprosessi on myös kokonaan palautuva paineen muuttuessa. Zeoliitin molekyyli selektiivisyys N_2/O_2 -seosten tyyppä varten pidetään 2,8 vastaavana laajalla painealueella ympäristön lämpötiloissa. Koska molekyyli prosessit ovat luontaisesti nopeita, on selvää, että nimenomaan diffuusio rajoittaa adsorptionopeuksia eikä molekyyli adsorptio, koska inerttejä aineosia kuten ilmassa olevaa argonia esiintyy aina ja ne muodostavat typen ja adsorbenttikerroksen välisen sulun. Lisäksi, koska adiabaattinen kokoonpuristuminen on myös palautuvaa, paljon puristusenergiaa voidaan saada talteen, jos käytetään resonoivaa akustista paineistusjärjestelmää, niin että molemmat hallitsevat tekijät energiahyötysuhteeseen nähden parantussa prosessissa ovat todennäköisesti kitkavirtausvastus kerroksessa ja siihen liittyvä huuhteluvirtausvastus ilmakehän paineessa kerroksen yläosassa. Näitä tekijöitä tarkastellaan seuraavassa.

Selektiivinen adsorptio

Kahden tiheydeltään samanlaisen kaasulajin B:n ja C:n adsorptiota puhtaaseen pintaan oletetaan ohjattavan tuotteella, jonka molekyyli selektiivisyys on s , ja lajien suhteellisten pintaantulonopeuksien, ilmaistuna lajin A inerttinä rajakerroksena ja vahvuutena, δ estäessä virtauksen pintaan, ja kahden muun lajin keskinäisellä diffuusiokertoimella D tässä rajakerroksessa. Stefanin laki esittää, että massan kokonaisdiffuusionopeus q adsorboidun lajin pintayksikköä kohden rajapinnassa on

$$q = - \frac{D p_0}{\delta} \ln c_A, \quad (1)$$

- jolloin ρ_o on kokonaistiheys ja c_A on inertin lajin A:n pieni osa konsentraatio. (Miinusmerkki tarkoittaa negatiivista lagaritmia). Yhtälön (1) kvalitatiivinen arviointi osoittaa, että pienien hiukkasien adsorptiokerroksessa voidaan odottaa verrattain suuria adsorptionopeuksia.

- Ottamatta tiheyseroja huomioon, jossa lajit B ja C esiintyvät pieninä osakonsentraatioina c_B ja c_C (niin että $c_B + c_C + c_A = 1$), voidaan edellyttää, että molekyyliselektiivisyyden s vaikutus vastaavasti lajien B ja C kohdalla on, että

$$\frac{q_B}{q} = \frac{sc_B}{sc_B + c_C}, \quad \frac{q_C}{q} = \frac{c_C}{sc_B + c_C}, \quad \text{ja} \quad q_B + q_C = q \quad (2)$$

- Yhtälö (2) osoittaa, että hetkellinen tehollinen selektiivisyys σ on rajakerrosta käytettäessä yksinkertaisesti

$$\sigma = \frac{q_B}{q_C} = \frac{sc_B}{c_C} \quad (3)$$

- joka on suurempi kuin s prosessin alussa ja pienenee progressiivisesti.

- Jotta voitaisiin seurata konsentraatiomuutoksia, on edellytettävä, että rajapintaa lähestyvien sekoitetun kaasujen alkutilavuus V pienenee progressiivisesti ajan mittaan adsorptiosta johtuen (lajien B ja C välisiä tiheyseroja ei huomioida, sama koskee c_A :ta tässä vaiheessa).

Silloin

$$c_B = \frac{V_B - \int q_B dt}{V - qt}, \quad c_C = \frac{V_C - \int q_C dt}{V - qt}, \quad c_B + c_C = 1 \quad (4)$$

- Jakamalla V :llä, sijoittamalla $\frac{qt}{V} = x$, jossa x on sekoitetun kaasun adsorboitu osuus ja korvaamalla q_B ja q_C yhtälöstä (2)

$$c_B = \frac{c_{B.0} - \int \frac{s c_B dx}{(s-1)c_B + 1}}{1-x}, \quad c_C = \frac{c_{C.0} - \int \frac{c_C dx}{(1-s)c_C + s}}{1-x} \quad (5)$$

- 5 jossa $c_{B.0}$ ja $c_{C.0}$ ovat alkuarvoja. Näistä ensimmäisestä saadaan differentioimalla ja erottamalla muuttujat

$$\frac{dx}{1-x} = - \frac{(s-1)c_B + 1}{(s-1)c_B(1-c_B)} \cdot dc_B \quad (6)$$

- 10 jolloin saadaan integroimalla molemmat puolet ja asettamalla rajat

$$1-x = \left[\frac{(1-c_{B.0})^s}{c_{B.0}} \cdot \frac{c_B}{(1-c_B)^s} \right]^{\frac{1}{s-1}} \quad (7)$$

15

Muodostamalla c_C :n avulla yhtälöt (5), (6) ja (7) päästään odotetulla tavalla samanlaiseen tulokseen. Yhtälö (7) voidaan kirjoittaa tällöin

$$1-x = \left(\frac{k_0}{k_n} \right)^{\frac{1}{s-1}}$$

$$\text{if } k = \frac{(1-c)^s}{c}.$$

20

- 25 Sitten seuraavia painevaihteluja varten, jotka liittyvät adsorboimattomaan syöttöosaan, joka vastaa konsentraatio-termejä $k_0, k_1, k_2, \dots, k_n$, kumulatiivinen arvo $\overline{1-x}$ esitetään yhtälössä

$$\overline{1-x} = \left[\frac{k_1}{k_1} \cdot \frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{k_2}{k_3} \dots \frac{k_{n-1}}{k_n} \right]^{\frac{1}{1-s}} = 1-x \quad (8)$$

30

niin että inkrementtitulos on sama kuin yhtä painevaihtelua varten.

- 35 Reynoldsin lukujen ollessa pieniä hiukkasia ja pieniä nopeuksia varten pieniä (< 100) laminaarista virtausta koskeva oletamus on hyvin perusteltu. Jos z on

etäisyys kerroksen tulopinnan alla, massavirtaus kerroksen pintayksikköä kohden voidaan määrittää lausekkeena

5 $q_0 \frac{dp}{dz}$, jossa p on paineylijäämä ja adsorptiomassan virtausnopeus on Qp kerroksen tilavuusyksikköä kohden. Sitten paineen alenemista kerroksessa ohjataan yhtälöllä

$$q_0 \frac{d^2 p}{dz^2} = Qp, \text{ niin että } p = A e^{-\sqrt{\frac{Q}{q_0}} z} \quad (9)$$

10 ja kerroksen aktiivinen syvyys ja suhteellinen virtausnopeus eivät muutu riippumatta siitä, onko A vakio tai verrannollinen $\sin wt$:n kanssa (jolloin w on kulmataajuus ja t on aika) edellyttäen, että Q (toisin sanoen adsorption saturaatio ei rajoita sitä) ja laminaariset
15 virtausolosuhteet ovat voimassa. Tämä yksinkertaisesti ilmaistu ja tärkeä tulos osoittaa, että käyttötaajuus voi vaihdella laajalla alueella. Seuraavassa on edullista, että $A = p p_0$, jolloin p on mitaton ja p_0 on ilmakehän paine.

20 Kerrostilavuudessa V jokaisen saman halkaisijan d käsittävän tiiviin pallon tilavuus on $\frac{\pi d^3}{6}$. Luku n on tilavuudessa V , kun tiivistystilasuhde on n , $\frac{6nV}{\pi d^3}$.

25 Kasauman pinta-ala tilavuusyksikössä on

$$n d^2 \frac{6n}{\pi d^3} = \frac{6n}{d}, \text{ joten yhdensuuntaisen kanavan vastaava vahvuus on } \frac{(1-n)}{3n} d. \text{ Kun tiedetään, että pinta-alan}$$

30 $\frac{6n}{d}$ mitat ovat $\frac{L^3}{L} = L^2$, radan keskipituus ja kanavan poikileikkausleveys tilavuusyksikköä kohden ovat vastaavasti $(3n)^{\frac{1}{3}}$ ja $\frac{(3n)^{\frac{1}{3}}}{d}$, jotka tarkoittavat huokostilavuussuhdet-

35 ta $1 - n$ kerrottuna keskenään ja kanavan vahvuuden ollessa

$\frac{(1-\eta)}{3\eta}$ d. Tehollinen paineen muutos on silloin $\frac{p'p_o}{(3\eta)^{\frac{1}{2}}}$ pidettyä rataa varten, jolloin p' on mitaton paineen muutos.

5 Laminaarisen virtauksen nopeus $q = q_o p'$ esitetään yhtälönä

$$q = \frac{(3\eta)^{\frac{1}{2}}}{d} \cdot \frac{p'p_o p_o}{(3\eta)^{\frac{1}{2}}} \left(\frac{1-\eta}{3\eta} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{d^3}{12\mu} = \frac{p'p_o p_o d^3}{12\mu} \left(\frac{1-\eta}{3\eta} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

10 jossa μ on viskositeetti, mitat $\frac{M}{LT}$.
Vastaava adsorptiomassan virtausnopeus on

$$Q = \frac{6\eta}{d} \left(\frac{6\eta}{1-\eta} \right) \frac{p'p_o D \ln c_A}{d} = \frac{p'p_o D \ln c_A (6\eta)^{\frac{1}{2}}}{d^{\frac{1}{2}} (1-\eta)} \quad (11)$$

15 niin että suhde $\sqrt{\frac{Q}{q_o}} = \frac{1}{a}$ esitetään sitten yhtälöllä

$$a = \left(\frac{1-\eta}{6\eta} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{d^{\frac{1}{2}}}{3} \sqrt{\frac{p_o}{\eta \mu D \ln c_A}} \quad (12)$$

ja kerroksen tulonopeus v yhtälöllä

$$20 \quad v = p \frac{1-\eta}{3\eta} \sqrt{\frac{\eta p_o D \ln c_A}{\mu}} \quad (13)$$

Yhtälöstä (12) voidaan todeta, että kerroksen aktiivinen syvyys, joka on a :n kerrannainen, on verrannollinen $d^{\frac{1}{2}}$:n kanssa, kun taas yhtälöstä (13) voidaan todeta, että v on riippumaton d :stä. Molemmat lausekkeet osoittavat tiivistyssuhteen η huomattavan vaikutuksen, koska sekä kerroksen aktiivinen syvyys että v pienenevät, kun η kasvaa.

Lisäksi on huomattava, että keskimääräinen työnopeus kerroksen pinta-alaa kohti jaksotoimintojen aikana on $\frac{p'p_o v}{2}$ ja että erotuksen ominaisenergian komponentti, joka liittyy kerroksen kitkaan (komponentin kWh/m^3), on

35 $\frac{p\eta}{72(1-\eta)}$, jolloin $1-x$ on tiettyä konsentraatiota

koskeva talteenottosuhde yhtälöstä (7). Nämä lausekkeet ovat edelleenkin riippumattomia käyttötaajuudesta, ja ominaisenergia on myös riippumaton v :stä. Asiaankuuluvaa lauseketta voidaan käyttää samalla tavalla kuvaamaan resonoi-

5 mattomia erotuskerroksia, ja se on vastaavuussuhteessa niistä saatujen tulosten kanssa. Resonanssitoiminnon parempi taloudellisuus ja paljon pienemmät paineamplitudit tämän keksinnön mukaisesti painottuvat tällöin.

Kerroksen virtausmallin vertailu

10 Pallon tilavuus = $\frac{\pi d^3}{6}$

Pallojen lukumäärä $\frac{6}{\pi d^3}$ tilavuusyksikköä kohti.

Seuraavassa esitettävä tulosvertailu koskee putkistomallia olevaa rakennevaihtoehtoa (reiän halkaisija D)

15 ja alkuperäistä mallia, joka käsittää ryhmän erillisiä levyjä. Tulokset ovat samanlaisia, mutta ne johtavat yksinkertaisempiin lausekkeisiin, jotka ilmaisevat pienempiä adsorptioita, mutta suurempia massan virtausnopeuksia,

20 tulonopeuksia ja kerroksen aktiivisia pituuksia. Ne ovat sinänsä todennäköisesti optimistisia ja levymallia suositetaan. Ero on pieni, noin 20 %, kun on kysymys tärkeästä kerroksen tulonopeuskriteeristä V.

Kasauman pinta-ala $\frac{6}{d}$ tilavuusyksikköä kohti.

Levyn analogia

Kanavapinnan
pinta-ala $2 \times \frac{3\eta}{d}$

5 Kanavan
vahvuus $\frac{1-\eta}{3\eta}d$

Kanavan
leveys $\frac{(3\eta)^{\frac{1}{2}}}{d}$

10 Radan
pituus $(3\eta)^{\frac{1}{2}}$

Huokosen
tilavuussuhde $(1-\eta)$

15 Rajakerroksen
vahvuus $\frac{(1-\eta)}{6\eta}d$

Massavirran nopeus

$$q = \frac{p' p_0 \rho d^2}{12\mu} \left(\frac{1-\eta}{3\eta} \right)^2$$

20 Massan adsorptio

$$Q = \frac{p p_0 D \ln C_A (6\eta)^2}{d^2 (1-\eta)}$$

$$25 \quad a = \sqrt{\frac{q}{Q}} = \left(\frac{1-\eta}{6\eta} \right)^2 \frac{d^2}{3} \sqrt{\frac{p_0}{\eta \mu D \ln C_A}}$$

$$30 \quad v = p \frac{1-\eta}{3\eta} \sqrt{\frac{\eta p_0 D \ln C_A}{\mu}}$$

Putken analogia

Seinäpäin-
nan pinta-
ala $m \pi D = \frac{6\eta}{d}$

Putken
tila-
vuus $\frac{\pi D^2}{4} = 1-\eta$

Putken
halkai-
sija $D = \frac{2(1-\eta)}{3\eta}d$

Putkien
lukumäärä
 $m = \frac{(3\eta)^2}{\pi d^2 (1-\eta)}$

Rajakerrok-
sen vah-
vuus $\frac{(1-\eta)}{3\eta}d$

Massavirran nopeus

$$q = \frac{p' p_0 \rho d^2}{8\mu} \frac{(1-\eta)^2}{(3\eta)^2}, \quad \left(\times \frac{9\eta}{2} \right)$$

Massan adsorptio

$$Q = \frac{p p_0 D \ln C_A (6\eta)^2}{2d^2 (1-\eta)}, \quad (x \frac{1}{2})$$

$$a = \sqrt{\frac{q}{Q}} = \left(\frac{1-\eta}{6\eta} \right)^2 d^2 \sqrt{\frac{p_0}{\mu D \ln C_A}}, \quad (x \ 3\sqrt{\eta})$$

$$v = p \frac{1-\eta}{2} \sqrt{\frac{p_0 D \ln C_A}{\mu}}, \quad \left(\times \frac{3\sqrt{\eta}}{2} \right)$$

Konservatismiin perustuen molemmissa malleissa on suurin mahdollinen rajakerrosvahvuus eikä pallojen adsorptiopintoja huomioida. Mallit eivät kuitenkaan ota huomioon kaasuratojen poikkileikkauksessa esiintyviä epä-

säännöllisyyksiä, joilla on pienempi vaikutus laminaarisessa virtauksessa kuin pyörrevirtauksessa.

Akustisen paineen vaihteluun perustuvan kaasunerotuksen ja nopeaan painevaihteluun perustuvan adsorption väliset erot

5 Näkyvin, mutta vähämerkityksinen ero koskee tällöin taajuutta, jolloin nopeaan painevaihteluun perustuvassa adsorptiojärjestelmässä käytetään peräkkäisiä venttiilejä vuorotellen tapahtuvaa paineistamista ja paineen poistamis-
10 ta varten ja akustisessa järjestelmässä käytetään resonanssivärähtelyjä, jotta voidaan säilyttää paine-energia, joka sisältyy siihen kaasukomponenttiin, joka poistetaan toisen komponentin erottamisen jälkeen. Tällä perusteella molempien järjestelmien käyttökelpoiset taajuuskais-
15 tat ovat todennäköisesti vierekkäin eivätkä limity.

Kerroksen kuormitusanalyysi, jota tämä esitys tukee, osoittaa, että akustiselle järjestelmälle suositetaan pienempiä painevaihteluamplitudeja ja tulonopeuksia kuin
20 nopeaan painevaihteluun perustuvalle adsorptiojärjestelmälle kerroksen kitkahäviöiden vähentämiseksi. Tiettyä tuotantomäärää varten kerroksen pinta-ala on sen vuoksi suurempi akustisessa järjestelmässä, mutta se kompensoidaan paljon pienemmällä syvyydellä. Akustista erotusta varten saadaan näin huomattava lisäys erotuksen energiahyötysuhteeseen.

25 Pienempien pallojen ($< 250 \mu\text{m}$) käyttämistä suositetaan molemmissa järjestelmissä, jos erotuksesta on saatava puhdasta kaasua. Tämä voi liittyä laminaarisen virtauksen suurempaan merkitykseen pyörrevirtaukseen verrattuna kerroksessa tällaisissa tapauksissa, niin että pyörteinen
30 takaisindiffuusio ja sen vuoksi erotetun komponentin menettäminen eliminoidaan. Tunnusomaista laminaariselle virtaukselle on pieni Reynoldsin luku, mikä riippuu lähinnä tuotteen pallokoosta ja virtausnopeudesta. Laminaarinen virtaus soveltuu tämän vuoksi paremmin akustiseen järjestelmään
35 tiettyä pallokokoa käytettäessä kerroksen tulonopeuksien ollessa pienempiä.

Nopeaan painevaihteluun perustuvan kaasunerotuksen ja akustisen paineen vaihteluun perustuvan adsorptioerotuksen merkittävin ero on, että ensin mainitussa järjestelmässä käytetään adsorptiosaturointia kerroksen tulo-olosuhteissa, kun taas akustisessa järjestelmässä näin ei tapahdu. Näin ollen ensin mainitussa järjestelmässä paine nousee nopeasti ja pysyy sitten vakiona sisääntulossa suurimman osan jakson kestoajasta kerroksen ollessa kuormitettu. Paine- ja adsorptioaalto siirtyy sitten alaspäin kerroksessa, vaikka tällöin tapahtuukin amplitudin eksponentti-
vaimeneminen. Tämä edellyttää suhteellisen pitkiä kerroksia, mutta lisää tuotantoa. Kuten analyysissä esitetään, riittävä adsorptioaste saadaan suuremmalla taajuudella, jolloin ei jouduta käyttämään saturointia ja tämän vuoksi
akustisella kerroksella voidaan päästä samoihin tilavuuskuormituksiin pienemmillä tulopaineilla ja nopeuksilla ja saada suuremmat energiahyötysuhteet.

Molemmissa menetelmissä käytetään päällä olevaa, vakaata kaasuvirtausta kerroksen läpi erotetun komponentin poistamiseksi, ja poistettu osa määrääkin tällöin virtauksen puhtauden. Molemmissa järjestelmissä joudutaan tämän vuoksi käyttämään saturointia pienellä vakiopainella kerroksen alaosassa, koska adsorptio lakkaa todennäköisesti silloin, kun paine on vakio jokaisella arvolla.

Yhteenvetona voidaan mainita, että akustisen painevaihteluerotuksen kerroskuormituskriteerinä on tulonopeus eikä taajuus. Suuria taajuuksia käytettäessä kerroksen halkaisijat ovat mieluummin pieniä, jotta pystytään rajoittamaan energiahäviöt suurista huuhtelunopeuksista.

Patenttivaatimukset:

1. Painevaihteluun perustuvan kaasunerottimen
käyttö paineistetun ja paineistamattoman tilan välisellä
5 alle 0,1 baarin paine-erolla.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen käyttö, t u n -
n e t t u siitä, että sitä käytetään toistotaajuudella,
joka on suurempi kuin yksi jakso sekunnissa.

3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen käyttö, t u n -
10 n e t t u siitä, että sitä käytetään toistotaajuudella,
50 - 200 jaksoa sekunnissa.

4. Painevaihteluun perustuva kaasunerotin, joka
käsittää adsorbenttikerroksen (8, 32, 47) ja kuuluu osana
resonanssijärjestelmään, t u n n e t t u siitä, että
15 siinä on painelaitteet (9, 33, 41), jotka toimivat reso-
nanssijärjestelmän resonanssitaajuudella adsorbenttiker-
roksen (8, 32, 47) paineistamiseksi ja paineen poistami-
seksi siitä, niin että poistetun kaasuseoksen paine-
energia saadaan suurimmalta osalta talteen ja että se on
20 sovitettu toimimaan paineistetun ja paineistamattoman
tilan välisellä alle 0,1 baarin paine-erolla.

5. Patenttivaatimuksen 4 mukainen painevaihteluun
perustuva kaasunerotin, t u n n e t t u siitä, että pai-
nelaitteet käsittävät viritetyn kalvon (9, 33, 41), joka
25 on sovitettu adsorbenttikerroksen (8, 32, 47) toisen pin-
nan kohdalla, mutta erillään siitä, ja että kaasunerotti-
meen lisäksi kuuluu käyttölaite (1, 50), joka käsittää
joko sähkökäyttölaitteen (40) tai termisesti käytetyn
kaasu resonanssilaitteen, joka on järjestetty käyttämään
30 kalvoa (9, 33, 41) sen resonanssitaajuudella adsorbentti-
kerrosta (8, 32, 47) päin ja siitä poispäin, venttiili-
laite (10, 15, 16) kaasunseoksen syöttämiseksi kalvon (9,
33, 41) ja kerroksen (8, 32, 47) väliseen tilaan ja käy-
tetyn kaasuseoksen poistamiseksi siitä ja kaasunpoisto-
35 aukko (12, 13, 49), joka on yhteydessä adsorbenttikerrok-

sen (8, 32, 47) toiseen pintaan, kalvon liikkeen adsorbenttikerrosta päin ja siitä poispäin paineistaessa sen ja poistettaessa paineen siitä.

5 6. Patenttivaatimuksen 4 tai 5 mukainen painevaihteluun perustuva kaasunerotin, t u n n e t t u siitä, että järjestelmän resonanssitaajuudella toimivana käyttölaitteena on pulssipolttoyksikkö (2), joka on suunnilleen pallon muotoisen resonanssikammion (1) keskiosassa tai suippokaarisen resonanssikammion päässä.

10 7. Patenttivaatimuksen 5 mukainen painevaihteluun perustuva kaasunerotin, t u n n e t t u siitä, että sähkökäyttölaitteessa (40) on ankkurikäämi ja staattori, joista toinen on yhdistetty kalvoon (41) ja toinen on kiinnitetty kiinteään, ympärillä olevaan runkoon, ankkuriin syötetyn värähtelyvirran pannessa ankkurin ja tästä johtuen myös kalvon (41) värähtelemään staattoriin nähden.

20 8. Jonkin patenttivaatimuksen 5, 6 tai 7 mukainen painevaihteluun perustuva kaasunerotin, t u n n e t t u siitä, että venttiililaitte kaasuseoksen syöttämiseksi kalvon (9, 33, 41) ja adsorbenttikerroksen (32, 47) väliin tilaan ja poistokaasuseoksen poistamiseksi siitä käsittää renkaan muotoisen venttiili-istukan (48), joka liittyy kalvoon (9, 33, 41) ja kalvon (9, 33, 41) muodostaessa venttiilin sulkuosan, joka muodostaa kaasutiiviin sulun renkaan muotoista venttiili-istukkaa (48) vasten, mutta nousee ylös istukasta kalvon liikkuesssa pois adsorbenttikerroksesta ja päästää kaasua istukan ja kalvon (9, 33, 41) väliin.

30 9. Patenttivaatimuksen 8 mukainen painevaihteluun perustuva kaasunerotin, t u n n e t t u siitä, että renkaan muotoisen venttiili-istukan ja kalvon muodostama venttiili toimii sekä tulo- että poistoventtiilinä ja että kalvoon kohdistetaan tietty harmoninen värähtely, 35 niin että kalvon perusvärähtelyn lisäksi, joka suuntautuu

adsorbenttikerrokseen ja siitä poispäin, syntyy myös tiettyä lisävärähtelyä, joka esiintyy kalvon toiselta puolelta sen toiselle puolelle liikkuvana aaltona.

- 5 10. Jonkin edellä olevan patenttivaatimuksen mukainen painevaihteluun perustuva kaasunerotin, t u n -
n e t t u siitä, että adsorbenttikerroksen (8, 32, 47) hiukkaskoko on suunnilleen neljäsosamillimetriä tai pienempi.

Patentkrav

1. Användning av en på tryckväxling baserande gas-
separator medelst en tryckdifferens, som underskrider 0,1
5 bar, mellan ett tryckunderkastat och ett tryckavlastat
tillstånd.
2. Användning enligt patentkravet 1, k ä n n e -
t e c k n a d därav, att den används vid en repetitions-
frekvens som överskrider en period per sekund.
- 10 3. Användning enligt patentkravet 2, k ä n n e -
t e c k n a d därav, att den används vid en repetitions-
frekvens på 50 - 200 perioder per sekund.
4. En på tryckväxling baserande gasseparator, som
omfattar ett adsorbentskikt (8, 32, 47) och utgör en del
15 av ett resonanssystem, k ä n n e t e c k n a d därav,
att den uppvisar tryckanordningar (9, 33, 41) som funge-
rar vid resonanssystemets resonansfrekvens för tryckun-
derkastning och tryckavlastning av adsorbentskiktet (8,
32, 47), så att den avlägsnade gasblandningens tryckener-
20 gi tillvaratages till största delen och att den är anord-
nad att fungera medelst en tryckdifferens, som underskri-
der 0,1 bar, mellan ett tryckunderkastat och ett tryckav-
lastat tillstånd.
5. På tryckväxling baserande gasseparator enligt
25 patentkravet 4, k ä n n e t e c k n a d därav, att
tryckanordningarna omfattar ett avstämt membran (9, 33,
41) som är anordnat vid, men på ett avstånd från adsor-
bentskiktet (8, 32, 47), och att gasseparatorn dessutom
omfattar en drivanordning (1, 50), som omfattar antingen
30 en elektrisk drivanordning (40) eller en termiskt driven
gasresonansanordning, som är anordnad att driva membranet
(9, 33, 41) vid dess resonansfrekvens mot eller bort från
adsorbentskiktet (8, 32, 47), en ventilanordning (10, 15,
16) för inmatning av en gasblandning i ett utrymme mellan
35 membranet (9, 33, 41) och skiktet (8, 32, 47) och för

avlägsning av använd gasblandning därifrån och en avgasningsöppning (12, 13, 49), som står i förbindelse med adsorbentskiktets (8, 32, 47) andra yta, varvid membranets rörelse mot eller bort från adsorbentskiktet tryckunderkastar respektive tryckavlastar det.

5 6. På tryckväxling baserande gasseparator enligt patentkravet 4 eller 5, k ä n n e t e c k n a d därav, att systemets vid resonansfrekvens fungerande drivanordning utgörs av en pulsförbränningsenhet (2), som befinner sig i mittdelen av en väsentligen bollformig resonanskammare (1) eller i ändan av en spetsbågad resonanskammare.

10 7. På tryckväxling baserande gasseparator enligt patentkravet 5, k ä n n e t e c k n a d därav, att den elektriska drivanordningen (40) uppvisar en ankarspole och en stator, av vilka den ena är förbunden med membranet (41) och den andra är fäst i en omgivande stationär ram, varvid en i ankaret inmatad oscillationsström får ankaret och sålunda även membranet (41) att oscillera i förhållande till statorn.

20 8. På tryckväxling baserande gasseparator enligt något av patentkraven 5, 6 eller 7, k ä n n e t e c k n a d därav, att ventilanordningen för inmatning av en gasblandning i utrymmet mellan membranet (9, 33, 41) och adsorbentskiktet (32, 47) och avlägsning av använd gasblandning därifrån, omfattar ett ringformigt ventilsäte (48), som ansluter till membranet (9, 33, 41) och varvid membranet (9, 33, 41) utgör ventilens tillslutningsdel, som bildar en gastät spärr mot det ringformiga ventilsätet (48), men lyfts upp från sätet då membranet glider bort från adsorbentskiktet och tillåter gas att passera mellan sätet och membranet (9, 33, 41).

30 9. På tryckväxling baserande gasseparator enligt patentkravet 8, k ä n n e t e c k n a d därav, att den av det ringformiga ventilsätet och membranet bestående ventilen fungerar både som inlopps- och utloppsventil och

5 att mot membranet riktas en viss harmonisk vibration, så att utöver membranets grundoscillation, som riktas mot respektive bort från adsorbentskiktet, alstras även en viss tilläggsvibration, som förekommer som en våg som rör sig från membranets ena sida till den andra.

10. På tryckväxling baserande gasseparator enligt något av de föregående patentkraven, k ä n n e t e c k - n a d därav, att adsorbentskiktets (8, 32, 47) partikelstorlek är ungefär en fjärdedels millimeter eller mindre.

Fig. 1.

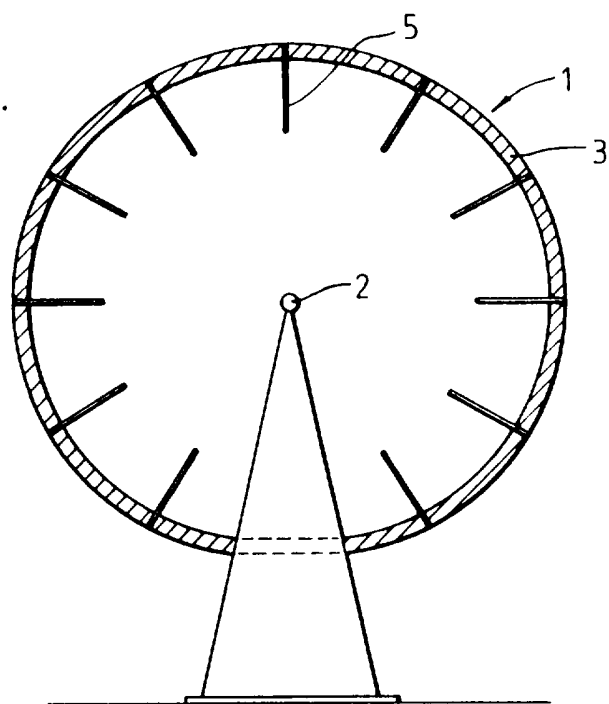


Fig. 2.

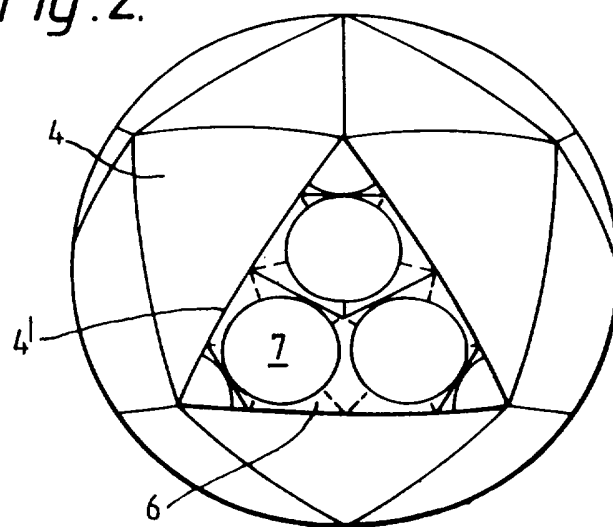


Fig. 3.

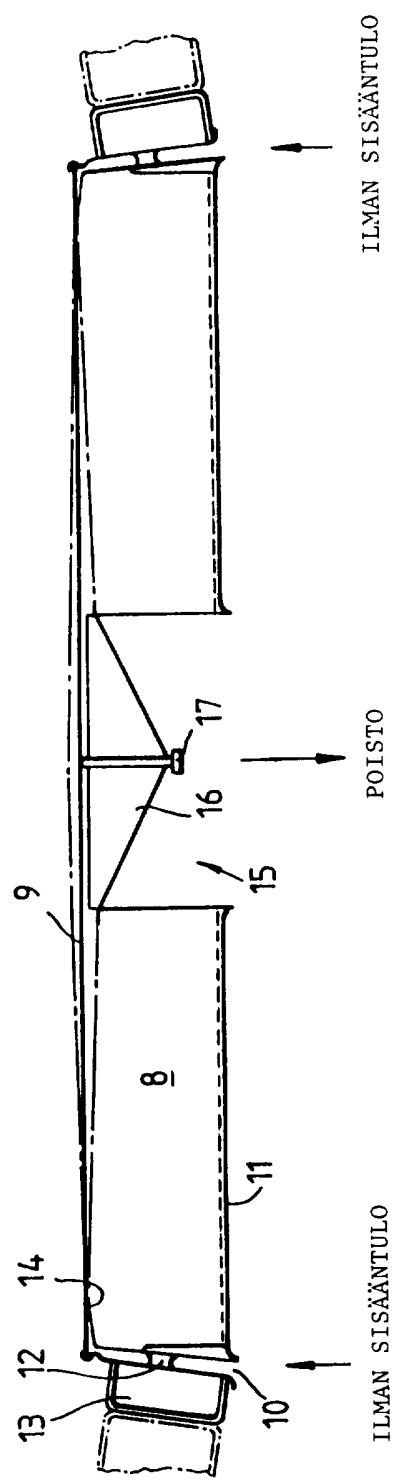


Fig. 4.

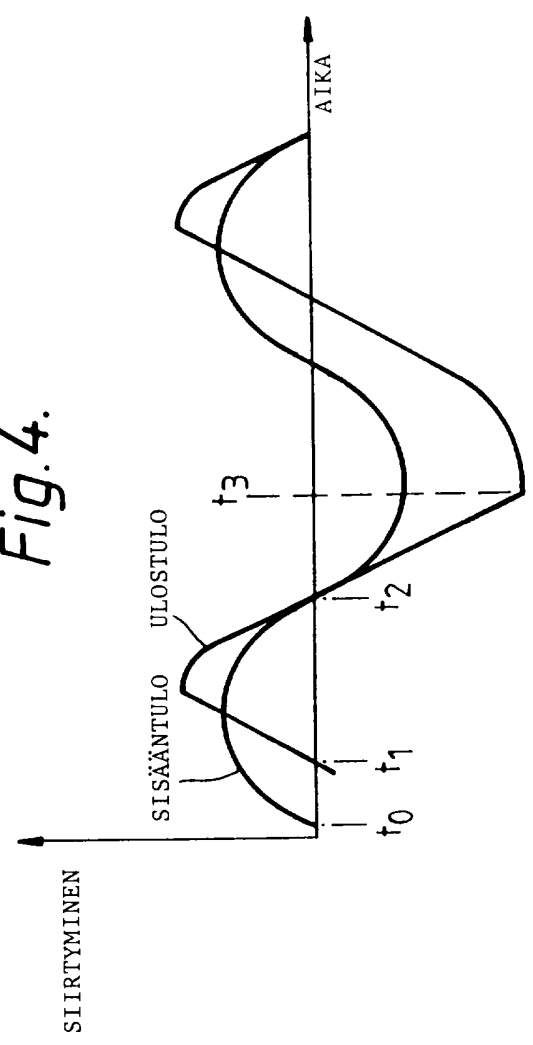


Fig. 5.

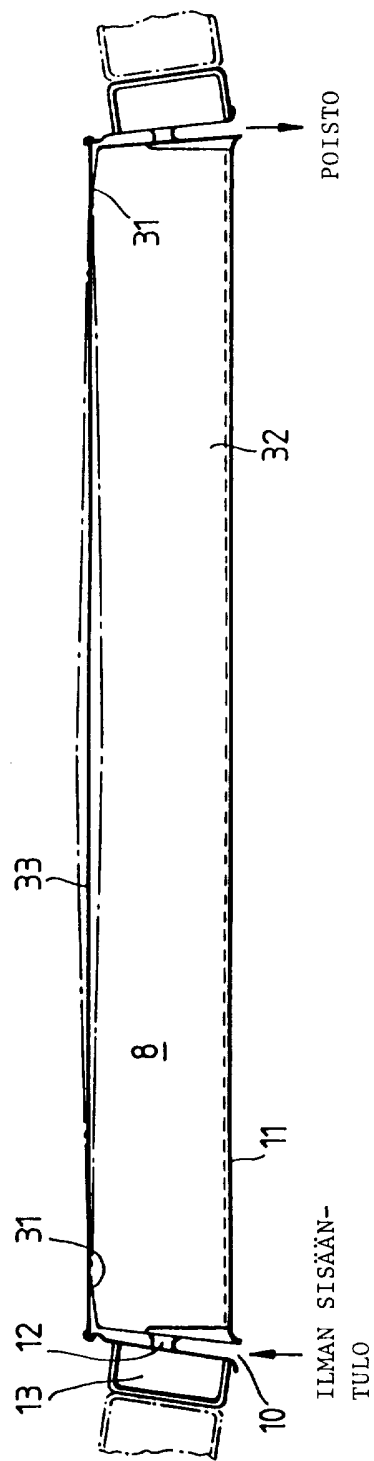


Fig. 6.



Fig. 7.