

POLSKA  
RZECZPOSPOLITA  
LUDOWA



URZĄD  
PATENTOWY  
PRL

# OPIS PATENTOWY

132 147

Patent dodatkowy  
do patentu \_\_\_\_\_

Zgłoszono: 80 05 30 (P. 224626)

Pierwszeństwo: 79 05 31 Wielka Brytania

Zgłoszenie ogłoszono: 81 02 13

Opis patentowy opublikowano: 1987 08 31

Int. Cl.<sup>3</sup> B01J 19/00  
B01J 19/18

Twórca wynalazku \_\_\_\_\_

Uprawniony z patentu: Imperial Chemical Industries Limited,  
Londyn (Wielka Brytania)

## Urządzenie do przenoszenia masy

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do przenoszenia masy między dwoma fazami płynnymi, z których co najmniej jedna jest cieczą.

Przez „przeniesienie masy” rozumie się przeniesienie z jednej fazy płynnej do drugiej fazy płynnej co najmniej części substancji, która jest rozpuszczona w pierwszej fazie płynnej, przy czym pierwsza faza płynna a) jest cieczą, b) jest zasadniczo niemieszalna z drugą fazą płynną i c) posiada gęstość większą od gęstości drugiej fazy płynnej. Typowymi procesami przenoszenia masy są absorpcja i destylacja, procesy szeroko stosowane w przemyśle chemicznym i petrochemicznym. Gdy proces przenoszenia masy obejmuje przeniesienie substancji rozpuszczonej z cieczy do gazu lub odwrotnie, może być to proces limitowany warstwą gazu lub limitowany warstwą cieczy. W procesach przenoszenia masy limitowanych warstwą gazu, np. w absorpcji amoniaku w wodzie z mieszaniny amoniak/powietrze, szybkość przenoszenia masy jest głównie limitowana dyfuzją substancji rozpuszczonej przez fazę gazową. W procesach przenoszenia masy limitowanych warstwą cieczy, np. podczas absorpcji w wodzie tlenu z powietrza, szybkość przenoszenia masy jest głównie limitowana dyfuzją substancji rozpuszczonej przez fazę ciekłą. Gdy proces przenoszenia masy polega na przeniesieniu rozpuszczonej substancji z jednej fazy ciekłej do drugiej fazy ciekłej, jest to proces limitowany warstwą cieczy, a szybkość przenoszenia masy jest głównie limitowana dyfuzją substancji rozpuszczonej przez jedną z cieczy.

Szybkość przenoszenia masy wyraża się współczynnikami przenikania masy, które dla procesów limitowanych warstwą gazu i limitowanych warstwą cieczy są oznaczone odpowiednio  $K_G$  i  $K_L$ .

Znane są rotacyjne urządzenia do przenoszenia masy. Typowy taki element stanowi pusty wewnątrz dysk umieszczony w obudowie tak, by mógł się obracać wokół osi, i zawierający element przepuszczalny dla płynów. Ciecz doprowadzana jest do przepuszczalnego elementu, np. za pomocą rury do środka dysku, pod wpływem siły odśrodkowej przedostaje się promieniowo przez pory przepuszczalnego elementu, z którego jest wyprowadzana za pośrednictwem elementów odprowadzających i zbierana w obudowie. Do obudowy doprowadzany jest pod ciśnieniem gaz, który przez przepuszczalny element przechodzi w przeciwnym kierunku do przepływającej cieczy i opuszcza dysk rurą umieszczoną w jego środkowym punkcie.

W opisie patentowym St.Zjedn.AP. nr 2 941 872 omówione zostały obracalne elementy do przenoszenia masy, w których jako element przepuszczalny występuje typowe wypełnienie lub element przepuszczalny składa się z płyt. Podano tam, że współczynnik przenoszenia masy można poprawić poddając przepływające płyny przyspieszeniu średniemu do około 2000 m/sek<sup>2</sup> i że preferowane jest zastosowanie wspomnianych płyt.

Przykładami typowego wypełnienia są między innymi pierścienie Raschiga, pierścienie Lessinga, pierścienie Palla, siodełka Berla i siodełka Intaloxa.

Stwierdzono, że prędkość przenoszenia masy między dwoma fazami płynnymi można dodatkowo zwiększyć przez zastosowanie przepuszczalnego elementu zawierającego skrętki, włókna, fibryle lub włókna ciągłe.

Według wynalazku urządzenie do przenoszenia masy między dwoma fazami płynnymi, z których co najmniej jedna jest cieczą, zawierające element przepuszczalny w formie pierścienia, element do doprowadzania pierwszego płynu do elementu przepuszczalnego na lub przy jego osi, element do doprowadzania drugiego płynu do elementu przepuszczalnego na lub przy jego obwodzie zewnętrznym, element do odprowadzania pierwszego płynu z elementu przepuszczalnego na lub przy jego obwodzie, element do odprowadzania drugiego płynu z elementu przepuszczalnego na lub przy jego osi, który to element przepuszczalny pozwala na przepływanie płynów przez jego pory, przy czym powierzchnia ścian tych porów tworzy krętą i zasadniczo ciągłą drogę, przez którą płyny mogą przepływać oraz który jest obracalny wokół swej osi, nadając przepływającym przez wspomniane pory płynom średnie przyspieszenie co najmniej  $150 \text{ m/sec}^2$  tak, że pierwszy płyn porusza się promieniowo na zewnątrz elementu przepuszczalnego, a drugi płyn porusza się promieniowo do wewnątrz elementu przepuszczalnego, charakteryzuje się tym, że element przepuszczalny zawiera skrętki, włókna, fibryle lub włókna ciągłe.

Średnie przyspieszenie, któremu poddawane są płyny w urządzeniu według wynalazku, korzystnie jest większe niż około  $5000 \text{ m/sec}^2$ , ponieważ ze wzrostem średniego przyspieszenia do wartości większej niż około  $5000 \text{ m/sec}^2$  często nieoczekiwanie wzrasta szybkość przenoszenia masy.

Przepuszczalny element posiada co najmniej 90% pustek, korzystnie co najmniej 93% pustek, zwłaszcza co najmniej 95%.

Korzystnie przepuszczalny element posiada powierzchnię międzyfazową co najmniej  $1500 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , zwłaszcza co najmniej  $3000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

Przez „powierzchnię międzyfazową” rozumie się powierzchnię przepuszczalnego elementu, z którą płyny mogą się kontaktować, przypadającą na jednostkę objętości tego elementu.

Średnie przyspieszenie  $a_m$  określone jest wzorem:

$$a_m = (2\pi \frac{N}{60})^2 \times (\frac{r_0^2 + r_1^2}{2})^{1/2}$$

w którym N oznacza szybkość obrotową przepuszczalnego elementu dookoła osi w obrotach na minutę,  $r_0$  oznacza odległość w metrach od osi obrotu wzdłuż promienia do wewnętrznej części przepuszczalnego elementu, a  $r_1$  oznacza odległość w metrach od osi obrotu do zewnętrznej części przepuszczalnego elementu.

Przez „pustki” rozumie się część całkowitej objętości przepuszczalnego elementu w procentach, którą zajmuje wolna przestrzeń.

Przez „płyn” rozumie się substancję lub mieszaninę substancji, które są gazem lub cieczą w warunkach ciśnienia i temperatury, w jakich pracuje urządzenie według wynalazku. Np. gdy drugi płyn jest gazem, może to być jeden gaz lub mieszanina gazów; pierwszy płyn i/lub drugi płyn (gdy jest cieczą) może być cieczą nierozcieńczoną lub może być roztworem jednej lub więcej substancji w cieczy, przy czym substancja rozpuszczona może być gazem, cieczą lub ciałem stałym.

Poszczególne skrętki, włókna, fibryle lub włókna ciągłe mogą jedynie kontaktować się fizycznie z przylegającymi skrętkami, włóknami, fibrylami lub włóknami ciągłymi, np. gdy element stanowi masę włókien, mogą one być mechanicznie wzajemnie związane, np. na drodze dziania lub tkania, mogą być połączone przy użyciu spoiwa lub mogą być połączone punktowo przez węzły, np. przez stopienie lub przez wytworzenie w postaci metalicznej pianki szkieletowej.

Skrętki, włókna, fibryle lub włókna ciągłe posiadają średnicę równoważną korzystnie poniżej  $150 \mu$ , zwłaszcza mniejszą niż  $30 \mu$  i/lub pojedyncze skrętki, włókna, fibryle lub włókna ciągłe określają przynajmniej zasadniczą część porów przepuszczalnego elementu, ponieważ poprawia to często przenikanie masy. Np. przepuszczalny element może być wykonany z taśmy wykonanej przez dzianie druczanych pojedynczych włókien.

Średnica równoważna  $d_e$  jest określona wzorem:

$$d_e = \frac{4 \times \text{powierzchnia przekroju poprzecznego skrętki itd.}}{\text{obwód skrętki itd.}}$$

(„Chemical Engineering”, Coulson i Richardson, t.1, wyd.2, str. 210).

Skrętki, włókna, fibryle lub włókna ciągłe mogą mieć przekrój poprzeczny np. kołowy, trójkątny, krzyżowy lub „triskelowy” (w kształcie trzech linii lub ludzkich nóg wychodzących promieniowo ze wspólnego punktu), z których korzystny jest zwłaszcza przekrój kołowy.

Przepuszczalny element ma oś symetrii pokrywającą się z osią obrotu, np. przepuszczalny element w postaci pierścienia, który obraca się dookoła osi symetrii. Gdy przepuszczalny element ma postać pierścienia, zazwyczaj jego zewnętrzna średnica jest w zakresie 25 cm do 5 m, a wewnętrzna średnica jest w zakresie 5 cm do 100 cm.

Przepuszczalny element może stanowić jedną całość lub składać się z wielu odrębnych części składowych. Gdy przepuszczalny element stanowi całość, może być uformowany z porami, np. może być odlany jako pianka, lub może mieć pory wytworzone w nim, np. może być odlany jako stały blok dookoła cząstek soli, które następnie wypłukuje się, lub może być tak zestawiony, że pory powstają między jego fragmentami, np. w postaci zwoju drutu. Gdy przepuszczalny element składa się z wielu odrębnych elementów, poszczególne części mogą być przepuszczalne i wtedy część porów znajduje się w częściach składowych, a część między nimi, albo poszczególne części mogą być nieprzepuszczalne. Często korzystne jest, gdy przepuszczalny element stanowi jedną całość i/lub jest mechanicznie samonośny, ponieważ często redukuje to możliwość zmniejszania się pustki w miarę zużywania. Często przepuszczalny element korzystnie jest utworzony z odpowiednio kształtowanych części, np. segmentów lub części łukowatych lub z materiału mechanicznego, samonośnego.

Przepuszczalny element może być utworzony z materiału, który jest wytrzymały mechanicznie, aby wytrzymać naprężenia powstające w materiale podczas obrotu przepuszczalnego elementu ze stosowanymi prędkościami obrotowymi. Korzystnie materiał jest odporny na działanie bądź nie wchodzi w reakcję z płynami, z którymi może być w kontakcie. Typowym materiałem, z którego jest wytworzony przepuszczalny element jest szkło, tworzywo sztuczne, np. żywica silikonowa lub policzterofluoroetylen lub odporny chemicznie metal, np. stal nierdzewna, nikiel, tytan lub tantal. Alternatywnie może to być materiał kompozytowy, z dwóch lub więcej materiałów w odpowiednim układzie. Np. może składać się z powłoki odpornej na korozję, np. szklanej lub z tworzywa sztucznego na korodującym nośniku, np. na korodujących metalowych skrętkach.

Jakkolwiek korzystnie jest, aby przepuszczalny element był jednorodny, to nie wyklucza się możliwości, aby był kompozytem, np. może stanowić pierścień z siatki drucianej otoczony pierścieniem z metalicznej pianki szkieletowej.

Typowymi przykładami odpowiednich materiałów przeznaczonych na przepuszczalny element w aparacie według wynalazku m.in. są: zwój tkanej taśmy, masa spiekana, tkany lub dziany materiał z drutu, zgnieciona siatka, pianka szkieletowa, korzystnie metaliczna pianka szkieletowa, mata z nieuporządkowanych włókien lub masa włókien.

Przez „piankę szkieletową” rozumiemy stosunkowo sztywną piankę siatkową, na ogół metaliczną lub ceramiczną. Taką piankę wytwarza się pokrywając metalem aglomerat włókien, np. spłniony materiał, lub piankę o otwartych komórkach, taką jak pianka poliuretanowa o otwartych komórkach, a następnie wylugowując lub usuwając w inny sposób włókna lub piankę i pozostawiając siatkę z metalu w postaci wielu skrzyżowanych skrętek cienkich lub włókien metalicznych tworzących trójwymiarową siatkę. Przez „stosunkowo sztywną” rozumiemy, że podłoże jest zdolne do oparcia się sile odśrodkowej i innym działającym na nie obciążeniom podczas pracy aparatu według wynalazku, bez ulegania znacznym odkształceniom, które miałyby tendencję do zamykania porów pianki i ograniczenia przepływu przez nią płynów. Metaliczna pianka szkieletowa często ma jeszcze inną zaletę, mianowicie, może być łatwo obrabiana maszynowo i jest dostatecznie odkształcalna, aby można było nadać jej odpowiedni kształt, np. przez wygięcie w łuk, odpowiedni do montowania w aparacie według wynalazku.

Gdy powierzchnia międzyfazowa przepuszczalnego elementu wzrasta, wzrasta spadek ciśnienia na elemencie i wzrasta możliwość zatykania się i zalania przepuszczalnego elementu. Za pomocą prostego eksperymentu można będzie łatwo dobrać odpowiedni przepuszczalny element dla żądanej kombinacji prędkości obrotowej i przepływu.

Gdy przepuszczalny element nie jest mechanicznie samonośny, np. element stanowi jedną całość tak zestawioną, że między jej częściami powstają pory lub składa się z wielu odrębnych fragmentów lub stanowi kompozyt, często niezbędne są dodatkowe elementy utrzymujące pożądany kształt przepuszczalnego elementu. Korzystnie taki element ma postać członu obracalnego dookoła tej samej osi co przepuszczalny element (określanego dalej jako „człon obracalny”) i w którym jest umieszczony przepuszczalny element. Ponadto, gdy przepuszczalny element jest mechanicznie samonośny, często korzystnie umieszcza się go w członie obracalnym.

Gdy stosuje się człon obracalny, przepuszczalny element może przechodzić poprzez cały człon lub znajdować się w jego części. Wielkość przepuszczalnego elementu i jego umieszczenie w członie obracalnym mogą być określone gęstością i powierzchnią międzyfazową przepuszczalnego elementu oraz charakterystyką przepływu płynów. Gdy przepuszczalny element jest umieszczony w części członu obracalnego, często korzystnie jest umieszczony w obwodowej części zewnętrznej członu, ponieważ wraz ze wzrostem odległości od osi wzrasta wielkość sił odśrodkowych, które działają na płyny tworząc warstwę, a w związku z tym zmniejsza się grubość warstwy. Gdy przepuszczalny element jest umieszczony w członie obracalnym, którego oś symetrii pokrywa się z osią obrotu, korzystnie jest umieszczony symetrycznie dookoła osi, tak że człon obracalny podczas obrotu jest dynamicznie równoważony.

Stosowany człon obracalny może być wytworzony z dowolnego materiału, który ma wytrzymałość mechaniczną na naprężenia powstające w materiale podczas obrotu członu obracalnego ze stosowanymi prędkościami obrotowymi i wykazuje odporność na korozję tak, że toleruje środowisko, z którym może kontaktować się człon obracalny podczas używania. Typowe materiały, z których może być skonstruowany człon obracalny obejmują między innymi stal nierdzewną, stal miękką, brąz, aluminium, nikiel, monel.

Prędkość obrotowa przepuszczalnego elementu zależy między innymi od jego porowatości, od żądanej ilości przepływających płynów i od długości promienia, wzdłuż którego przepływają płyny w przepuszczalnym elemencie. Minimalna prędkość, z którą obraca się przepuszczalny element często jest określona charakterystyką przepływu cieczy. Maksymalna prędkość obrotowa przepuszczalnego elementu jest ograniczona jego wytrzymałością mechaniczną oraz wytrzymałością mechaniczną członu obracalnego jeśli jest stosowany. Gdy stosuje się człon obracalny w postaci pustego wewnątrz dysku ze stali nierdzewnej, w którym jest umieszczony przepuszczalny element, typowe prędkości obrotowe są: dla dysku o średnicy 0,5 m – 1000–3000 obr./min., dla dysku o średnicy 1 m – 500–2000 obr./min., dla dysku o średnicy 1,5 m – 400–1000 obr./min. Gdy prędkość obrotowa wzrasta, maleje grubość warstwy cieczy na ściankach porów przepuszczalnego elementu w pewnej odległości od osi obrotu.

Na ogół, prędkość obrotowa jest w zakresie 50 obr./min. do 10 000 obr./min., korzystnie w zakresie 100 obr./min. do 5 000 obr./min., a szczególnie korzystnie w zakresie 500 obr./min. do 2000 obr./min.

Dla żadanego średniego przyspieszenia i żądanej długości promienia, przez którą przepływają płyny w przepuszczalnym elemencie, można łatwo obliczyć prędkość obrotową przepuszczalnego elementu. Podczas gdy oś obrotu może być pozioma lub pionowa lub pod dowolnym kątem między pionem i poziomem, często korzystna jest oś pionowa. Gdy stosuje się przepuszczalny element w postaci pierścienia, ruch obrotowy nadaje się mu poprzez wał wystający z płaszczyzny pierścienia wzdłuż jego osi (np. od góry i/lub od spodu, jeśli oś jest pionowa). Przepuszczalny element może być obracany przez np. napęd hydrauliczny o zmiennej prędkości, koło pasowe, które może być napędzane przez pas z silnika elektrycznego lub napęd turbinowy.

Łożyska dla członu obracalnego mogą mieć dobrze znaną w mechanice konstrukcję, np. łożyska poprzeczne i łożyska wzdłużne o typowej konstrukcji.

Przepływ cieczy przez pory przepuszczalnego elementu zachodzi zasadniczo w płaszczyznach prostopadłych do osi obrotu, tj. przepływ jest promieniowy, chociaż nie jest wykluczona możliwość, że będzie niewielki przepływ równoległy do osi. Przez zastosowanie przepuszczalnego elementu o grubości promieniowej zasadniczo większej niż jego długość wzdłuż osi, np. przepuszczalnego elementu w kształcie dysku, i przez wprowadzenie jednego płynu zasadniczo równomiernie wzdłuż grubości osiowej dysku, zmniejsza się możliwość przepływu tego płynu osiowo, np. gdy przepuszczalny element jest w kształcie dysku, może mieć średnicę 80 cm i grubość osiową 20 cm.

Co najmniej główna część jednego płynu lub jego pochodnej wypływa z przepuszczalnego elementu promieniowo na obwodzie zewnętrznym lub w jego pobliżu. A zatem wymagane są elementy, które co najmniej ograniczają wypływ cieczy w miejscach oddalonych od zewnętrznego obwodu przepuszczalnego elementu. Np. gdy przepuszczalny element ma kształt pierścienia, może być uformowany z litej powłoki na jego dwóch planarnych powierzchniach lub z każdą z tych planarnych powierzchni mogą stykać się tarcze lub człon obracalny, jeśli jest stosowany, może być przystosowany do tego, aby zapobiec wspomnianemu wyżej wypływowi w miejscach oddalonych od zewnętrznego obwodu przepuszczalnego elementu, np. człon obracalny może być pustym wewnątrz dyskiem, w którym jest umieszczony pierścieniowy element przepuszczalny, a planarne powierzchnie przepuszczalnego elementu tworzą uszczelnienie z planarnymi powierzchniami pustego dysku.

Gdy stosuje się przepływ przeciwpływowy, potrzebne są elementy oddalone od osi obrotu, korzystnie w pobliżu zewnętrznego obwodu przepuszczalnego elementu, do wprowadzenia do przepuszczalnego elementu drugiego płynu. Przepuszczalny element może być osadzony na przykład w członie obracalnym tworząc przestrzeń między promieniowo zewnętrznym obwodem przepuszczalnego elementu i wewnętrzną powierzchnią członu obracalnego, do której wpływa jeden płyn tworząc ciekłe uszczelnienie, poprzez które można wprowadzić drugi płyn do przepuszczalnego elementu. Gdy drugi płyn stanowi mieszaninę składników, mogą one być doprowadzone do tej przestrzeni przez te same lub odrębne elementy doprowadzające, które korzystnie są promieniowo ukierunkowanymi kanałami w podstawie elementu obracalnego.

Ponieważ jeden płyn płynie promieniowo na zewnątrz przez obracający się przepuszczalny element, wzrasta działające nań ciśnienie. Tak więc, gdy stosuje się przepływ przeciwpływowy, oczywiste jest, że w celu wprowadzenia drugiego płynu do przepuszczalnego elementu trzeba go poddać ciśnieniu większemu niż ciśnienie działające na pierwszy płyn, w tym miejscu przepuszczalnego elementu, w którym wprowadza się drugi płyn.

Gdy przepuszczalny element jest umieszczony w członie obracalnym, elementy doprowadzające pierwszy płyn do przepuszczalnego elementu typowo obejmują otwory w członie obracalnym, przez które może przepływać płyn. Gdy człon obracalny jest pustym wewnątrz dyskiem, element doprowadzający korzystnie jest umiesz-

czony osiowo, chociaż nie wykluczona jest możliwość, że może być umieszczony między osią obrotu i elementem do wprowadzania drugiego płynu do elementu przepuszczalnego. Gdy pierwszy płyn jest mieszaniną składników, mogą one być doprowadzone do przepuszczalnego elementu przez te same lub odrębne elementy doprowadzające, np. mogą być doprowadzane przez koncentryczne rury.

Gdy w aparacie według wynalazku stosuje się przepuszczalny element w członie obracalnym, elementy do wyprowadzania pierwszego płynu lub jego składnika lub pochodnej, z członu obracalnego typowo obejmują jeden lub więcej otworów na obrzeżu członu obracalnego odległym od osi obrotu, przez które płyn może wypływać w postaci rozpylonej strugi. Np. gdy człon obracalny jest pustym wewnątrz dyskiem, w którym jest umieszczony pierścieniowy przepuszczalny element, otwór korzystnie może być w postaci szczeliny w ścianie pustego dysku przechodzącej wzdłuż obwodu, a szczelina korzystnie jest ciągła bądź też w ścianie obwodowej może znajdować się wiele otworów.

Gdy w aparacie według wynalazku stosuje się przepuszczalny element umieszczony w członie obracalnym, elementy do wyprowadzania drugiego płynu lub jego składnika lub pochodnej z członu obracalnego obejmują typowo jeden lub więcej otworów w członie obracalnym, przez które może przepływać drugi płyn, jego składnik lub pochodna. Gdy człon obracalny ma kształt pustego dysku, w którym jest umieszczony pierścieniowy element przepuszczalny, otwór korzystnie jest umieszczony osiowo.

Korzystnie przepuszczalny element lub człon obracalny, jeśli jest stosowany, jest zamocowany w nieruchomym elemencie odbierającym płyn, np. w obudowie, w której mogą zbierać się płyny, ich składniki lub pochodne wypływające z przepuszczalnego elementu w miejscach odległych od osi obrotu. Ponadto, gdy nieruchomy element odbierający płyn jest w postaci uszczelnionej obudowy, można wprowadzić do niego drugi płyn, a stąd do przepuszczalnego elementu, np. przez odpowiednio rozmieszczone otwory w członie obracalnym. Gdy w aparacie według wynalazku zachodzi przepływ przeciwny, jeśli jest stosowany przepuszczalny element i człon obracalny, to będą one zamocowane w elemencie odbierającym płyn, w taki sposób, aby płyn wypływający z przepuszczalnego elementu w miejscach oddalonych od osi obrotu nie kontaktował się z płynem wypływającym w pobliżu osi obrotu. Alternatywnie, przepuszczalny element lub człon obracalny, jeśli jest stosowany, jest zaopatrzony w kanały biegnące na obwodzie, do których wpływa pierwszy płyn. W kanale zanurzone są, jeden lub więcej, odpowiednio umieszczone nieruchome elementy odbierające, np. wachlarzowaty czerpak, szybkość obrotowa pierwszego płynu wtłacza go przez element odbierający do odpowiedniego położenia.

Czas przebywania płynów w przepuszczalnym elemencie jest funkcją promieniowych wymiarów elementu, własności fizycznych i przepuszczalności elementu przepuszczalnego, prędkości obrotowej i prędkości przepływu płynów. Te parametry są uzależnione nawzajem i wpływają na czas przebywania. Np. gdy wzrasta promień (dysku stanowiącego przepuszczalny element), a pozostałe parametry są stałe, wzrasta czas przebywania; gdy wzrasta szybkość przepływu, a pozostałe parametry są stałe, czas przebywania zmniejsza się; gdy wzrasta szybkość obrotowa przy innych parametrach stałych, czas przebywania zmniejsza się.

W celu wytworzenia w przepuszczalnym elemencie ciekłej warstwy o dużej powierzchni, jeden płyn i/lub drugi płyn, jeśli jest cieczą, korzystnie zwilżają zasadniczo całą powierzchnię ścianki porów przepuszczalnego elementu. Zwilżenie przepuszczalnego elementu będzie zależało od stopnia współczynników dynamicznych, lecz będzie wspomagane przez warunki zwilżania równowagowego. W ten sposób płyn o małym napięciu międzyfazowym przy przepuszczalnym elemencie będzie wykazywał tendencję do usunięcia z powierzchni porów przepuszczalnego elementu płynu o dużym napięciu międzyfazowym przy przepuszczalnym elemencie, a proces przemieszczenia jest wspomagany przez małe napięcie międzyfazowe między dwoma płynami. Celem poprawienia zwilżalności przepuszczalnego elementu, powierzchnię jego porów korzystnie pokrywa się środkiem zwilżającym lub korzystnie dodaje się środek zwilżający do co najmniej jednego płynu. Np. gdy jeden płyn stanowi woda, a pory przepuszczalnego elementu mają powierzchnię hydrofobową, np. przepuszczalny element stanowi mata z włókien polichloroetyleny, do wody można dodać odpowiednie środki powierzchniowo czynne, np. dodecylosulfonian sodu, lub czynna pochodna oligomeru czterofluoroetyleny o nazwie Monflur. Gdy jeden i drugi płyn jest cieczą, często korzystnie powierzchnie ścianek porów są zwilżone, szczególnie przez jeden płyn.

Kilka elementów przepuszczalnych, z których każdy zaopatrzony jest w odpowiedni element odbierający płyn, zwłaszcza w obudowę, chociaż nie jest wykluczona możliwość stosowania obwodowego kanału i towarzyszącego elementu do usuwania, jak opisano uprzednio, może być połączonych szeregowo. W liniach łączących sąsiednie przepuszczalne elementy mogą znajdować się odpowiednie pompy. Ewentualnie przepuszczalne elementy są zamontowane wzdłuż wspólnej osi. Płyny mogą przepływać przez szereg współprądowo, jednak często korzystny jest przepływ przeciwny.

Korzystnie każdy z przepuszczalnych elementów jest pierścieniem, a korzystniej oś każdego pierścienia pokrywa się z osią obrotu.

Materiały i strukturę przepuszczalnego elementu i członu obracalnego, jeśli jest stosowany, można wybrać uwzględniając charakter przeprowadzanego w nich procesu przenoszenia masy. Np. gdy w urządzeniu według

wynalazku zachodzi reakcja endotermiczna, przepuszczalny element i/lub człon obracalny, jeśli jest stosowany, może być zaopatrzony w element grzejny, np. elektryczny drut oporowy; gdy zachodzi reakcja egzotermiczna, przepuszczalny element i/lub człon obracalny, jeśli jest stosowany, może być zaopatrzony w element chłodzący, np. węzownicę chłodzącą.

Urządzenie według wynalazku można stosować między innymi do prowadzenia procesów absorpcji, desorpcji, ekstrakcji przeciwpłądowej, destylacji i homogenizacji.

Procesy absorpcji, które można przeprowadzać w urządzeniu według wynalazku mogą mieć charakter fizyczny, np. absorpcja amoniaku, tlenków azotu lub chlorowodoru w wodzie lub amoniaku w solance lub tlenków azotu w kwasie azotowym lub mogą obejmować reakcję chemiczną, np. absorpcja dwutlenku siarki w mleku wapiennym do wytworzenia wodorosiarczynu wapnia, absorpcja mieszaniny tlen/powietrze w celu utleniania węglowodorów, np. kumenu, cykloheksanu lub ksylenu, absorpcja trójtlenku siarki do sulfonowania związków organicznych, zwłaszcza olefin o 10–20 atomach węgla, absorpcja chloru lub bromu do chlorowania i bromowania parafin i olefin, absorpcja chloru w roztworze sody kaustycznej do wytwarzania podchlorynu.

Procesy desorpcji, które można przeprowadzać w urządzeniu według wynalazku obejmują między innymi usuwanie ubocznych produktów reakcji, np. glikolu etylenowego z polimeryzującego stopu politereftalanu etylenowego, odwadnianie naturalnych olejów i tłuszczów, np. oleju bawełnianego, oleju sojowego, oleju kukurydzianego, smalcu przez traktowanie olejów lub tłuszczów parą, odparowanie substancji organicznych z wodnych roztworów, np. usuwanie acetonu z wody za pomocą powietrza, usuwanie amoniaku i dwutlenku węgla z solanki. Często takie procesy desorpcji przeprowadza się pod zmniejszonym ciśnieniem, zwłaszcza między  $1,333 \cdot 10^2$  Pa i  $1,333 \cdot 10^3$  Pa.

Procesy ekstrakcji, które można przeprowadzać w urządzeniu według wynalazku obejmują między innymi ekstrakcję benzenu, toluenu i ksylenu z benzyny ciężkiej reformowanej, stosując jako ekstrahent np. glikol dwuetylenowy lub Sulfolan (sulfotlenek czterometyloetylenowy), odwodnienie uwodnionego fluorowodoru lub chlorowodoru za pomocą oleum, ekstrakcję kwasu mrówkowego i octowego za pomocą ketonu metylowoetylowego z tak zwanego łuğu czarnego w przemyśle celulozowym.

Destylacje, które można przeprowadzać w urządzeniu według wynalazku obejmują między innymi wydzielanie etylobenzenu z ksylenów, rozdzielanie węglowodorów o 2 atomach węgla (etylen do etanu), rozdzielanie związków aromatycznych, rozdzielanie węglowodorów o 3 atomach węgla (propylen od propanu), rozdzielanie mono-, di- i trójmetyloaminy i etyloaminy, wydzielanie izopentanu z benzyny lekkiej i rozdzielanie układu tlenek propyleny/woda.

Gdy w urządzeniu według wynalazku przeprowadza się destylację, potrzebny jest element skraplający w celu skroplenia pary wypływającej z przepuszczalnego elementu, np. chłodnica i element odparowujący, np. kocioł, w celu odparowania cieczy, której pary są wprowadzane do przepuszczalnego elementu. Korzystnie kilka przepuszczalnych elementów, z których każdemu towarzyszy element odbierający płyn i korzystnie umieszczonych w członach obracalnych, jest połączonych w szereg, który jest zaopatrzony w elementy pomocnicze, takie jak elementy skraplające i odparowujące, tworząc w ten sposób urządzenie do destylacji.

Korzystnie urządzenie do destylacji składa się z kilku przepuszczalnych elementów, z których każdemu towarzyszy element odbierający płyn, połączonych szeregowo i ewentualnie obracających się dookoła wspólnej osi, z elementów odparowujących ciecz, której para jest doprowadzana do szeregu przepuszczalnych elementów i z elementów do skraplania pary wypływającej z tego szeregu, przy czym urządzenie to charakteryzuje się tym, że przepuszczalny element zawiera skrętki, włókna, fibryle lub włókna ciągłe.

Gdy w wyżej określonym urządzeniu do destylacji przeprowadza się ciągły proces destylacji, punkt, w którym urządzenie jest zasilane cieczą, jest określony składem cieczy zasilającej. Frakcje cieczy zasilającej niżej i wyżej wrzące płyną z tego punktu przez przepuszczalny element do przeciwnych końców szeregu, gdzie wypływają odpowiednio jako para i ciecz. Para skrapla się w chłodnicy, część cieczy zbiera się, a część zawraca do szeregu. Część cieczy wypływającej z szeregu przepuszczalnych elementów zbiera się, a część odparowuje w elemencie odparowującym i wytworzoną parę zawraca się do szeregu przepuszczalnych elementów.

Urządzenie według wynalazku może być przystosowane do tak zwanego „wtórnego sprężania pary” (ang. „vapour recompression”), przez co rozumie się sprężenie pary i ekstrakcję z niej ciepła w wymienniku ciepła. Parę wypływającą z szeregu przepuszczalnych elementów spręża się w sprężarce i gorącą parę i/lub ciecz ze sprężarki podaje się przez element rozprężający do wymiennika ciepła. W wymienniku ciepła gorąca para i/lub ciecz traci ciepło, które jest absorbowane przez część cieczy wypływającą z szeregu przepuszczalnych elementów, przez co ta część cieczy potrzebuje mniej ciepła z kotła do odparowania. W ten sposób można zmniejszyć całkowite zapotrzebowanie aparatu do destylacji na energię. Sprężarka korzystnie jest napędzana przez wał napędowy, który obraca jeden lub więcej przepuszczalnych elementów.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony w przykładach wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia przekrój podłużny absorbera gazu, fig. 2 przedstawia przekrój poprzeczny absorbera w innej skali wzdłuż

linii AA przedstawionej na fig. 1, fig. 3 przedstawia schematycznie aparat według wynalazku do ciągłej destylacji, a fig. 4 – schemat aparatu według fig. 3 przystosowanego do wtórnego sprężania pary.

Pusty wewnątrz dysk o podstawie 1 ze stali nierdzewnej, ściance 2 i pokrywie 3 z plexiglasu przytwierdzonej za pomocą śrub do ścianki 2 jest zaopatrzony w pusty wewnątrz wał 4. Pusty wał 4 jest połączony z czterema promieniowymi kanałami 5 w podstawie dysku 1. Kanały 5 są połączone z otworem przelotowym 6, przez który mogą przepływać płyny. Ścianka 2 połączona jest z kołnierzem 7 wprowadzonym do pierścieniowego rowka 8 w pokrywie 3. Pierścień 9 z metalowej pianki szkieletowej, typowo Retimet 80 (metaliczna pianka szkieletowa o liczbie porów na 1 cm wynoszącej 32), osadzony w pustym dysku między podstawą i pokrywą, ma na wewnętrznej średnicy metalową siatkę 11 i na zewnętrznej średnicy metalową siatkę 12 i tworzy pierścieniowy element przepuszczalny. Dwie współśrodkowe rury 13 i 14 są osadzone w pokrywie 3 przy użyciu gazoszczelnego elementu 15. Zewnętrzna rura 13 łączy się z czterema wachlarzowatymi rozpylaczami 16, przez które płyn może być podawany do pierścienia 9. Pusty wał 4 jest osadzony obrotowo na łożyskach wałeczkowych w osłonie łożyska 17, która jest połączona z nieruchomym elementem odbierającym płyn w postaci obudowy 18 ze stali nierdzewnej z otworem przelotowym 19. Pusty wał jest napędzany silnikiem elektrycznym (nie przedstawionym na rysunku).

Podczas przeprowadzania procesu pusty dysk obraca się, rurą 13 podaje się ciecz do metalowej pianki szkieletowej 9 i przesuwa się przez piankę promieniowo na zewnątrz wypełniając przestrzeń między metalową siatką 12 i ścianką 2, po czym ciecz jest wyrzucana przez kanał ograniczony kołnierzem 7 i rowkiem 8. Gaz jest podawany do aparatu przez pusty wał 4 i kanały 6 i wchodzi do pierścieniowej przestrzeni między ścianką 2 i siatką 12. Ciecz wypełniająca przestrzeń między ścianką 2 i zewnętrzną siatką 12 zapobiega ucieczce gazu przy ściance 2 i gaz jest przetłaczany przez pory przepuszczalnego elementu przeciwpądowo w stosunku do cieczy i uchodzi rurą 14. Ciecz zbiera się w obudowie 18 i może wypływać przez otwór przelotowy 19.

Na fig. 3 zespół nieruchomych obudów 20, 21, 22, 23, chłodnica 24 i kocioł 25 są zamontowane dookoła wału napędowego 26. Wał napędowy 26 obraca przepuszczalne elementy osadzone w członach obracalnych (nie pokazane na rysunku) zamontowanych wewnątrz obudowy 20, 21, 22 i 23. Linie cieczy 27, 28, 29 i linie pary 30, 31, 32 zaopatrzone są w pompy (nie pokazane na rysunku) połączone z sąsiednimi obudowami. Linia pary 33 i linia cieczy 34 wyposażone w rozdzielacz 35 łączą chłodnicę 24 z zespołem obudów. Linia pary 36 i linia cieczy 37 wyposażone w rozdzielacz 38 łączą kocioł 25 z zespołem obudów. Linia zasilania 39 jest połączona z linią cieczy 28.

Podczas przeprowadzania procesu wał napędowy 26 jest obracany za pomocą silnika (nie pokazany). Ciecz zasilająca wchodzi do aparatu do destylacji przez linię zasilającą 39, miesza się z cieczą w linii 28 i jest przetłaczana promieniowo na zewnątrz przez przepuszczalny element w obudowie 22 kontaktując się z parą płynącą promieniowo do środka przez przepuszczalny element w obudowie 22. Część niżej wrzącej frakcji cieczy zasilającej odpędza się i w postaci pary doprowadza się linią 31 do przepuszczalnego elementu w obudowie 21, podczas gdy frakcja wyżej wrząca jako ciecz przechodzi linią 29 do przepuszczalnego elementu w obudowie 23. Wyżej wrząca frakcja wypływająca z obudowy 23 płynie linią 37, część jej przechodzi przez rozdzielacz 38 do zbiornika zasobnikowego, a pozostałą część podaje się do kotła 25. Para wychodząca z kotła 25 przechodzi linią 36 do przepuszczalnego elementu w obudowie 23. Para przepływa przez przepuszczalny element, aż do momentu, gdy niżej wrząca frakcja wypływa do linii 33, po czym płynie do chłodnicy 24. Ciecz wypływająca z chłodnicy przechodzi przez linię 34, część jej przechodzi przez rozdzielacz 35 do zbiornika zasobnikowego, a pozostałą część zwraca się do zespołu obudów.

Na fig. 4 sprężarka 40 jest osadzona na wale napędowym 26. Linia pary 33 i linia cieczy 41 łączą sprężarkę odpowiednio z zespołem obudów i z wymiennikiem ciepła 42. Linia cieczy 43 połączona z rozdzielaczem 44 łączy wymiennik ciepła 42 z zespołem obudów.

Podczas przeprowadzania procesu niżej wrząca frakcja wypływa z zespołu obudów i przechodzi linią 33 do sprężarki 40, gdzie jest sprężana i skrapla się. Ciecz przechodzi linią 41 do wymiennika ciepła 42, gdzie traci ciepło, które jest absorbowane przez frakcję wyżej wrzącą. Ochłodzona ciecz z wymiennika ciepła przechodzi przez linię 43, część jej przechodzi przez rozdzielacz 44 do zbiornika zasobnikowego, a pozostałą część zwraca się do zespołu obudów.

**P r z y k ł a d I.** Pierścieniowy element o promieniu wewnętrznym 4,7 cm i promieniu zewnętrznym 9 cm, wytworzony z dzianiny Knitmesh 9031 (powierzchnia międzyfazowa  $1650\text{ m}^{-1}$ , 94% pustek) został osadzony w pustym dysku, jak przedstawiono na fig. 1 i 2. Dysk obracano z szybkością 2850 obr./min., podczas gdy doprowadzono do niego wodę pozbawioną tlenu z szybkością przepływu  $17 \times 10^{-5}\text{ m}^3/\text{sek}$ , która przepływała promieniowo na zewnątrz przez pory Knitmesh, a powietrze płynęło promieniowo ku środkowi. W wodzie wypływającej z dysku mierzono stężenie tlenu stosując próbę rozpuszczonego tlenu. Przepływ powtórzono przy

prędkości obrotowej 3350 obr./min. Następnie pusty wewnątrz dysk wypełniono kulkami szklanymi (średnica 1,5 mm, powierzchnia międzyfazowa  $2400 \text{ m}^2$ , 50% pustek) i proces przeprowadzono przy tej samej prędkości przepływu wody i prędkości obrotowej. Obliczono tzw. „objętościowy współczynnik przenikania masy”  $K_L a$  według równania:

$$K_L a = \frac{Q}{V} \ln \frac{C_{e1} - C_1}{C_{e1} - C_2}$$

w którym  $K_L$  = współczynnik przenikania masy dla procesu limitowanego warstwą cieczy ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $Q$  = objętościowa szybkość przepływu wody ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ),  $V$  = objętość zajmowana przez przepuszczalny element ( $\text{m}^3$ ),  $C_1$  = stężenie tlenu w wodzie wchodzącej,  $C_2$  = stężenie tlenu w wodzie wypływającej,  $C_{e1}$  = równoważne stężenie tlenu w wodzie w temperaturze pokojowej,  $a$  = powierzchnia międzyfazowa przepuszczalnego elementu ( $\text{m}^2$ ).

Z wyników przedstawionych w tablicy 1 widać, że wzrost zawartości pustek w przepuszczalnym elemencie, przy danym średnim przyspieszeniu powoduje wzrost objętościowego współczynnika przenikania masy  $K_L a$ , oraz, że wzrost średniego przyspieszenia także zwiększa objętościowy współczynnik przenikania masy.

Tablica 1

| Objętościowe współczynniki przenikania masy dla układu woda/tlen |                                            |                                                                     |          |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------|
| Prędkość obrotowa<br>obr./min.                                   | Średnie przyspieszenie<br>$\text{m/sec}^2$ | Objętościowy współczynnik<br>przenikania masy ( $\text{sek}^{-1}$ ) |          |
|                                                                  |                                            | Szklane kulki                                                       | Knitmesh |
| 2850                                                             | 6397                                       | 1,45                                                                | 1,95     |
| 3350                                                             | 8839                                       | 2,30                                                                | 3,55     |

**Przykład II.** Pierścieniowy przepuszczalny element o promieniu wewnętrznym 4,75 cm, promieniu zewnętrznym 9 cm i głębokości 2,54 cm, utworzony z metalicznej pianki szkieletowej Retimet 45 (powierzchnia międzyfazowa  $2400 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , 96% pustek 18 porów na 1 cm) został osadzony w pustym wewnątrz dysku, jak przedstawiono na fig. 1 i 2. Dysk obracano z szybkością 1450 obr./min. podczas gdy doprowadzono do niego wodę z szybkością przepływu  $16,7 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sek.}$ , która przepływała promieniowo na zewnątrz przez pory Retimetu 45, a powietrze doprowadzone z szybkością przepływu  $16,7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sek.}$ , przepływało promieniowo ku środkowi. Doprowadzona woda była pozbawiona tlenu. Stężenie tlenu w wodzie doprowadzonej i w wodzie odprowadzanej z pustego dysku mierzono stosując próbę rozpuszczonego tlenu. Obliczono objętościowy współczynnik przenikania masy  $K_L$  według równania z przykładu I. Proces powtórzono przy wzrastających prędkościach obrotowych, a wyniki przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2

| Objętościowe współczynniki przenikania masy w zależności od średniego przyspieszenia |                                            |                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Prędkość obrotowa<br>obr./min.                                                       | Średnie przyspieszenie<br>$\text{m/sec}^2$ | Objętościowy współczynnik<br>przenikania masy $K_L a$ ( $\text{sek}^{-1}$ ) |
| 1450                                                                                 | 1660                                       | 1,040                                                                       |
| 2200                                                                                 | 3820                                       | 1,070                                                                       |
| 2550                                                                                 | 5133                                       | 1,070                                                                       |
| 2950                                                                                 | 6869                                       | 1,135                                                                       |
| 3350                                                                                 | 8858                                       | 1,730                                                                       |

Z tablicy 2 widać, że ze wzrostem średniego przyspieszenia od około  $5000 \text{ m/sec}^2$  zachodzi znaczny wzrost objętościowego współczynnika przenikania masy.

**Przykład III.** Pierścieniowy przepuszczalny element o promieniu wewnętrznym 4,8 cm, promieniu zewnętrznym 9,2 cm i głębokości 2,54 cm, utworzony z dzianej taśmy z włókien szklanych (Knitmesh 9048; powierzchnia międzyfazowa  $1000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ; 95% pustek) został osadzony w pustym wewnątrz dysku, jak przedstawiono na fig. 1 i 2. Dysk obracano z szybkością 1000 obr./min. podczas gdy doprowadzano do niego wodę pozbawioną tlenu z szybkością przepływu  $8,3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sek.}$ , która przepływała promieniowo na zewnątrz przez pory taśmy z włókien szklanych, a powietrze doprowadzone z szybkością przepływu  $8,3 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sek.}$

przepływało promieniowo ku środkowi. Mierzono stężenie tlenu w wodzie doprowadzanej do pustego wewnątrz dysku i wyprowadzanej z dysku, stosując próbę rozpuszczonego tlenu. Objętościowy współczynnik przenikania masy obliczono według równania z przykładu I. Proces powtórzono przy prędkości obrotowej 1500 obr./min.

W celu porównania opisany proces powtórzono stosując element pierścieniowy utworzony z kuleczek szklanych o średnicy 4 mm (powierzchnia międzyfazowa  $900 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , 38% pustek).

Z wyników przedstawionych w tablicy 3 widać, że w przypadku dwóch przepuszczalnych elementów utworzonych z tego samego materiału i w przybliżeniu o takiej samej powierzchni międzyfazowej, elementowi, który ma więcej pustek i składa się ze skrętek, włókien, fibryli lub włókien ciągłych, odpowiada wyższy współczynnik przenikania masy.

Tablica 3

| Prędkość obrotowa<br>obr./min. | Średnie przyspieszenie<br>$\text{m}/\text{sek}^{-2}$ | Objętościowy współczynnik<br>przenikania masy $K_{La}$ |                             |
|--------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------|
|                                |                                                      | kulki szklane<br>o średnicy 4 mm                       | taśma z włókna<br>szklanego |
| 1000                           | 768                                                  | 0,452                                                  | 0,542                       |
| 1500                           | 1727                                                 | 0,626                                                  | 0,703                       |

**Przykład IV.** Pierścieniowy przepuszczalny element (o promieniu wewnętrznym 4,5 cm, promieniu zewnętrznym 9,2 cm, głębokości 2,54 cm, powierzchni międzyfazowej w przybliżeniu  $350 \text{ m}^2/\text{m}^3$  i zawartości 98% pustek) utworzony z taśmy dzianej z elementarnych włókien o średnicy  $120 \mu$  ze stali nierdzewnej został osadzony w pustym wewnątrz dysku, jak przedstawiono na fig. 1 i 2. Dysk obracano z szybkością 2000 obr./min., podczas gdy doprowadzano do niego wodę pozbawioną tlenu z szybkością przepływu  $8,33 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sek.}$ , i powietrze z szybkością przepływu  $8,33 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sek.}$ , jak w przykładzie I. Stężenie tlenu w wodzie doprowadzanej i wypływającej mierzono jak w przykładzie I. Obliczono objętościowe współczynniki przenikania masy według równania z przykładu I. W przykładach porównawczych zastosowano przepuszczalne elementy o wyżej wymienionych promieniach, głębokości i powierzchni międzyfazowej, utworzone z taśmy dzianej z elementarnych włókien o średnicy 150 i  $250 \mu$  ze stali nierdzewnej. Z wyników przedstawionych w tablicy 4 widać, że w obrotowym aparacie do procesów przenoszenia masy, w którym przepuszczalny element składa się z włókien o średnicy mniejszej niż  $150 \mu$  uzyskuje się wyższe współczynniki przenikania masy niż w odpowiednim aparacie z przepuszczalnym elementem składającym się z włókien o średnicy równej lub większej niż  $150 \mu$ .

Tablica 4

| Zmiana objętościowego współczynnika przenikania masy ze średnicą włókna |                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Średnica włókna (mikrony)                                               | Objętościowy współczynnik przenikania masy ( $\text{sek}^{-1}$ ) |
| 120                                                                     | 0,622                                                            |
| 150                                                                     | 0,406                                                            |
| 250                                                                     | 0,412                                                            |

**Przykład V.** Powtórzono przykład IV stosując pierścieniowy element przepuszczalny o promieniu wewnętrznym 4,5 cm, promieniu zewnętrznym 9,2 cm, głębokości 1,27 cm, utworzony z Retimetu 80 o powierzchni międzyfazowej  $5600 \text{ m}^2/\text{m}^3$  i średnicy równoważnej skrętek  $80 \mu$ . Obliczony współczynnik przenikania masy wynosił  $1,503 \text{ sek}^{-1}$ .

**Przykład VI.** Powtórzono przykład V stosując pierścieniowy element przepuszczalny utworzony z Retimetu 45 o powierzchni międzyfazowej  $2400 \text{ m}^2/\text{m}^3$  i równoważnej średnicy skrętek  $160 \mu$ . Obliczony współczynnik przenikania masy wynosił  $0,795 \text{ sek}^{-1}$ .

1. Urządzenie do przenoszenia masy między dwoma fazami płynnymi, z których co najmniej jedna jest cieczą, zawierające element przepuszczalny w formie pierścienia, element do doprowadzania pierwszego płynu do elementu przepuszczalnego na lub przy jego osi, element do doprowadzania drugiego płynu do elementu przepuszczalnego na lub przy jego obwodzie zewnętrznym, element do odprowadzania pierwszego płynu z elementu przepuszczalnego na lub przy jego obwodzie, element do odprowadzania drugiego płynu z elementu przepuszczalnego na lub przy jego osi, który to element przepuszczalny pozwala na przepływanie płynów przez jego pory, przy czym powierzchnia ścian tych porów tworzy krętą i zasadniczo ciągłą drogę, przez którą płyny mogą przepływać oraz który jest obracany wokół swej osi, nadając przepływającym przez wspomniane pory płynom średnie przyspieszenie co najmniej  $150 \text{ m/sec}^2$  tak, że pierwszy płyn porusza się promieniowo na zewnątrz elementu przepuszczalnego, a drugi płyn porusza się promieniowo do wewnątrz elementu przepuszczalnego, z n a m i e n n e t y m, że element przepuszczalny zawiera skrętki, włókna, fibryle lub włókna ciągłe.

2. Urządzenie według zastrz. 1, z n a m i e n n e t y m, że zawiera przepuszczalny element, w którym pory określone są przez skrętki, włókna, fibryle lub włókna ciągłe, których równoważna średnica wynosi poniżej  $150 \mu$ .

3. Urządzenie według zastrz. 1, z n a m i e n n e t y m, że zawiera przepuszczalny element, którego powierzchnia międzyfazowa wynosi co najmniej  $1500 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

4. Urządzenie według zastrz. 1, z n a m i e n n e t y m, że zawiera przepuszczalny element zawierający skrętki, włókna, fibryle lub włókna ciągłe połączone ze sobą w sposób mechaniczny, za pomocą spoiwa lub punkto.

5. Urządzenie według zastrz. 1, z n a m i e n n e t y m, że zawiera przepuszczalny element zawierający tkane lub dziane skrętki, włókna, fibryle lub włókna ciągłe.

6. Urządzenie według zastrz. 1, z n a m i e n n e t y m, że zawiera przepuszczalny element zawierający połączone punkto skrętki, włókna, fibryle lub włókna ciągłe w postaci metalicznej pianki szkieletowej.

7. Urządzenie według zastrz. 1, z n a m i e n n e t y m, że przepuszczalny element umieszczony jest w członie obrotowym.

8. Urządzenie według zastrz. 1, z n a m i e n n e t y m, że zawiera przepuszczalny element z chemicznie odpornego metalu.

9. Urządzenie według zastrz. 1, z n a m i e n n e t y m, że zawiera wiele przepuszczalnych elementów połączonych w szereg i zaopatrzone w element do odparowywania cieczy, której pary są doprowadzane do szeregu elementów przepuszczalnych oraz w element do skraplania par opuszczających ten szereg.

10. Urządzenie według zastrz. 9, z n a m i e n n e t y m, że element do odparowywania i element do skraplania są osadzone obrotowo wokół wspólnej osi.

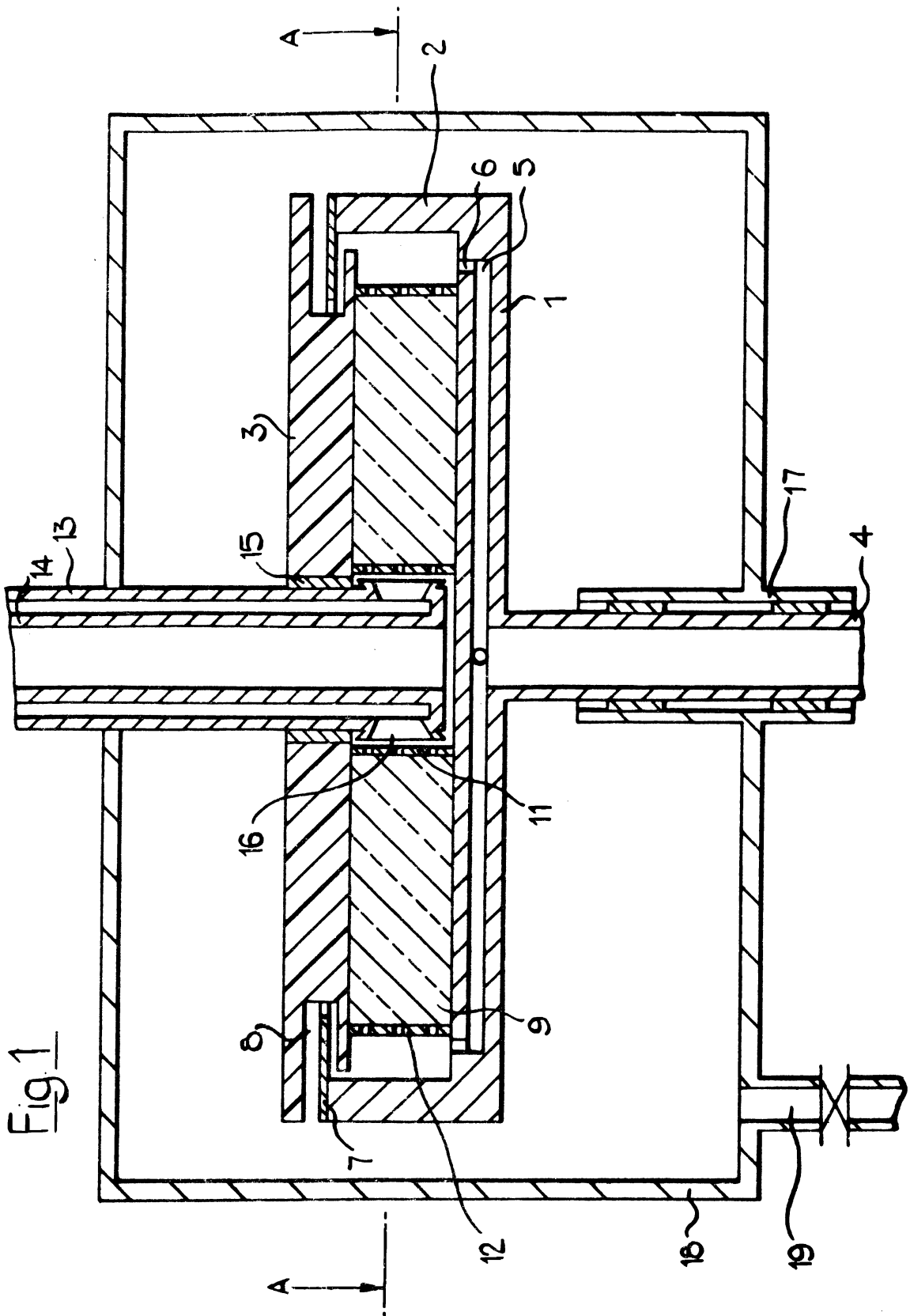


Fig. 2

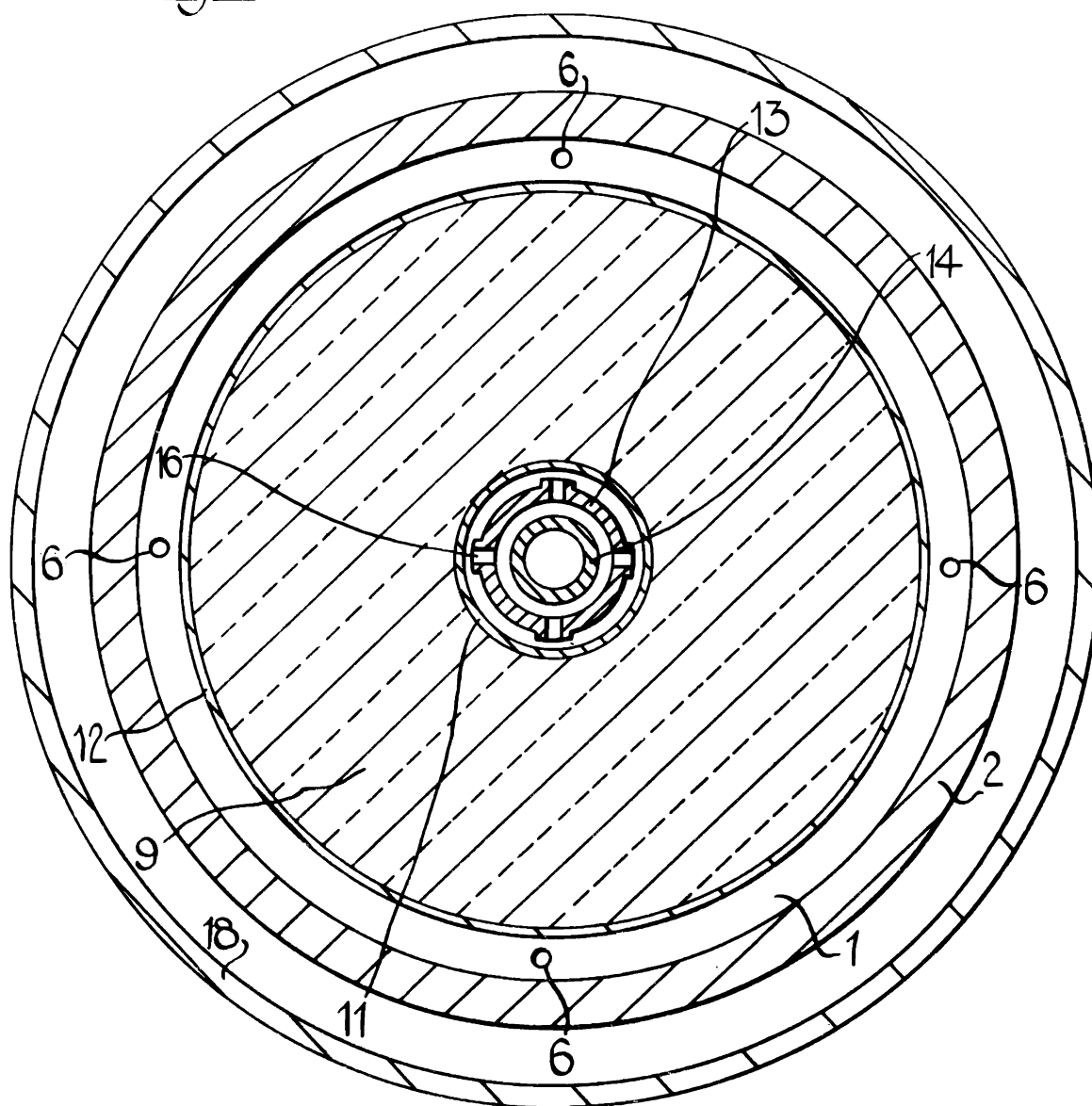


Fig. 3

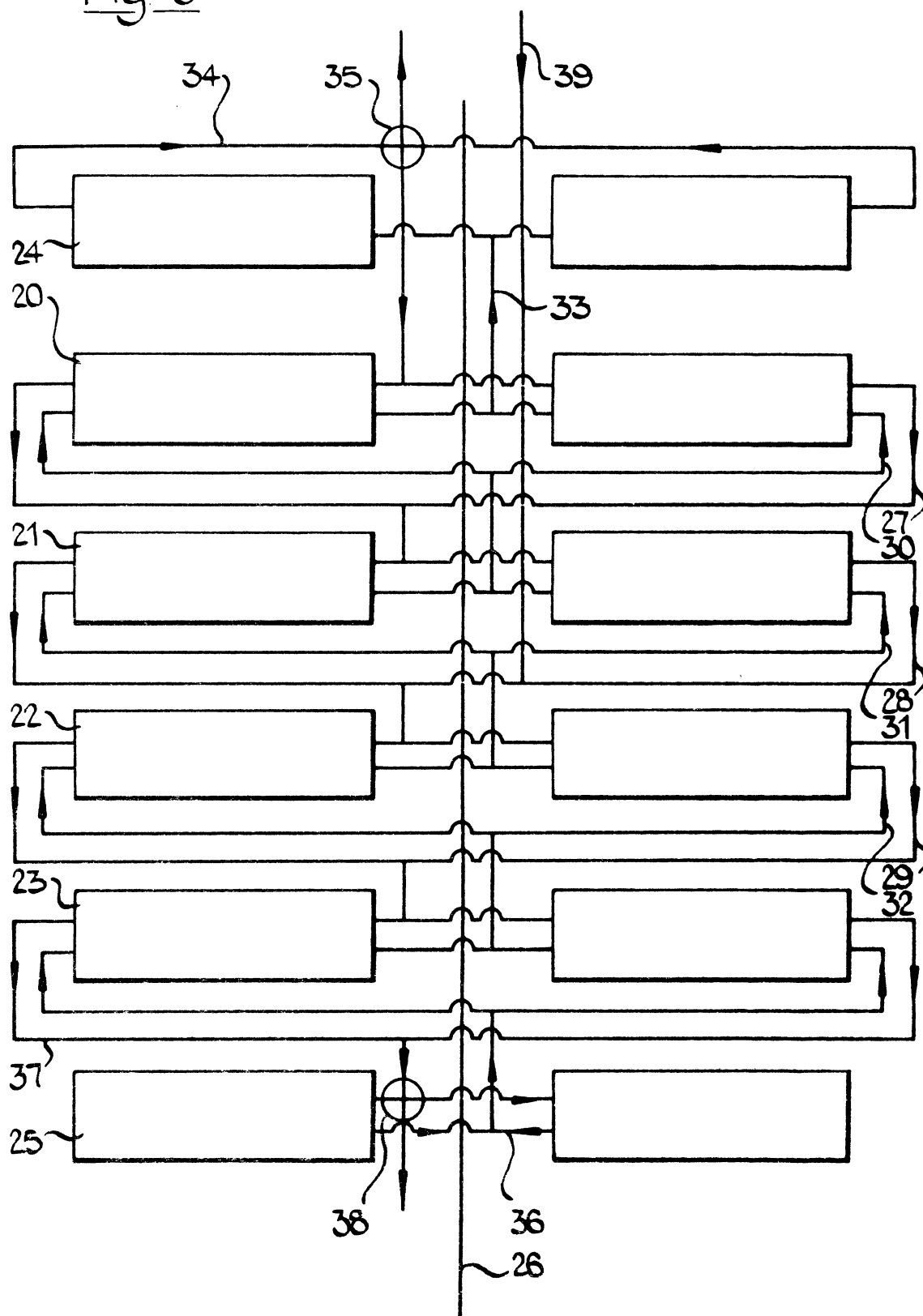


Fig. 4

