

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL** (11) **232538**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **414070**

(51) Int.Cl.
B01D 65/02 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **23.09.2015**

(54) **Sposób regulacji separacji membranowej w bioreaktorze membranowym
oraz bioreaktor membranowy służący do realizacji tego sposobu**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
13.03.2017 BUP 06/17

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
28.06.2019 WUP 06/19

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
ANDRZEJ NOWORYTA, Wrocław, PL
ANNA TRUSEK-HOŁOWNIA, Wrocław, PL
KRZYSZTOF DYRCZ, Wrocław, PL

(74) Pełnomocnik:
rzec. pat. Katarzyna Paprzycka

PL 232538 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób regulacji separacji membranowej w bioreaktorze membranowym przeznaczony zwłaszcza do stosowania w procesach, w których pojawia się zjawisko silnego foulingu czyli odkładania się na powierzchni membrany dużej ilości substancji obecnych w rozdzielanej mieszaninie czyniące proces niestacjonarnym oraz bioreaktor membranowy służący do realizacji tego sposobu.

W procesach separacji membranowej występuje zjawisko tak zwanego foulingu, czyli odkładania się na powierzchni membrany substancji obecnych w rozdzielanej mieszaninie. Powoduje to spadek wartości strumienia permeatu, a sam proces separacji membranowej staje się niestacjonarny. W przypadku membranowej separacji roztworów rzeczywistych o niskim stężeniu, fouling nie jest duży stąd po początkowym spadku strumienia permeatu, utrzymuje się on na stosunkowo stałej wartości. Okoliczność tą uwzględnia się przy projektowaniu wężła separacji membranowej. Zagadnienie foulingu jest bardziej skomplikowane w przypadku, gdy rozdzielany układ jest roztworem koloidalnym, zawiera białka czy komórki mikroorganizmów, które to składniki powodują bardzo silny fouling membran i wynikający przez to silny spadek strumienia permeatu w czasie. O ile przy stosowaniu niezintegrowanego z reakcją procesu separacji membranowej niestacjonarność procesu wpływa jedynie na wydajność filtracji, o tyle w przypadku zintegrowanego z reakcją procesu separacji membranowej niestacjonarność procesu wpływa na parametry procesu zachodzącej jednocześnie reakcji. Jest to szczególnie widoczne w przypadku prowadzenia reakcji z udziałem komórek mikroorganizmów. W reakcjach tych, zmniejszenie strumienia permeatu przy ustalonym strumieniu zasilającym reaktor powoduje wzrost upustu strumienia biomasy, co istotnie zakłóca zachodzącą przemianę mikrobiologiczną, oddalając warunki procesu od warunków projektowych. Istnieje wiele sposobów ograniczenia foulingu i stabilizowania strumienia permeatu. I tak, ograniczenie foulingu można na przykład realizować poprzez stosowanie przepływu cieczy o dużej szybkości nad membraną celem wytworzenia wysokich naprężeń ścinających, ograniczających osadzanie się substancji na powierzchni membrany. Sposób ten jednakże nie jest wskazany w przypadku, gdy w rozdzielanym układzie znajdują się komórki mikroorganizmów, gdyż intensywne pompowanie powoduje stresy mechaniczne komórek mikroorganizmów a nawet prowadzi do ich destrukcji. Celem utrzymania wymaganego strumienia permeatu można również zwiększać ciśnienie transmembranowe, jednak jest to działanie skuteczne w zakresie reżimu ciśnieniowego transportu masy, a nie daje efektu w zakresie reżimu transportu dyfuzyjnego. Praktycznie nie da się ustalić ile substancji osadzi się na powierzchni membrany a tym samym jak wielki będzie fouling. Skutkiem tego, w instalacjach wykorzystujących separację membranową stosuje się metody usuwania foulingu. Najprostsza metoda polega na przerwaniu pracy instalacji i zastosowaniu płukania membran odpowiednimi roztworami. Takie rozwiązanie jest stosowane w przypadku, gdy dynamika narastania foulingu jest niewielka, co oznacza, że dana jednostka membranowa może pracować bez przerwy na płukanie przez zadowalający okres czasu. W przypadku, gdy dynamika narastania foulingu jest znaczna, a przerwy na płukanie nie mogą być ze względów procesowych stosowane z wymaganą częstością, stosuje się tak zwane płukanie zwrotne. Polega ono na tym, że nie przerywając procesu głównego, na krótki czas, z reguły nieprzekraczający kilkunastu (kilkudziesięciu) sekund organizuje się odwrotny kierunek przepływu cieczy przez membranę. Uzyskany on jest wytworzeniem po stronie permeatu ciśnienia wyższego niż po stronie retentatu. Przepływ ten powinien być dynamiczny, tak aby powodował oderwanie i oddalenie od powierzchni membrany zalegającego tam skupiska substancji powodującej fouling, a tym samym przywrócić powierzchni membrany właściwości separacyjnych jakie miała na początku procesu. Znane są dwie metody realizacji płukania zwrotnego, z których pierwsza polega na tym, że przy użyciu pompy wytwarza się po stronie permeatu ciśnienie wyższe niż po stronie retentatu, przez co strumień permeatu zaczyna przepływać do przestrzeni retentatu. W takim rozwiązaniu częstość stosowania płukania zwrotnego oraz czas trwania pompowania zazwyczaj ustala się arbitralnie, gdyż zasadniczo nie ma możliwości przewidzenia dynamiki zmian strumienia permeatu w wyniku foulingu, zwłaszcza w przypadku koloidów, zawiesiny komórek mikroorganizmów i tym podobnych. Z tej przyczyny, aby uniknąć ryzyka związanego z nieprawidłowym przebiegiem zachodzącej reakcji płukanie zwrotne stosuje się częściej niż jest to niezbędne i przy wydłużonym czasie jego trwania. Powoduje to straty w ilości permeatu z powodu zawyżonej ilości w jakiej jest on zawracany do strefy retentatu. Metoda druga co do zasady jest zbieżna z metodą pierwszą z różnicą, iż do płukania zwrotnego stosuje się sprężone powietrze do przesuwu tłoka znajdującego się w naczyniu permeatu, które wtłacza odpowiednią objętość permeatu do przestrzeni retentatu. Również w tym przypadku objętość przetłaczanej cieczy jak i częstość płukania zwrotnego ustalana jest arbitralnie.

Sposób regulacji separacji membranowej w bioreaktorze membranowym, w którym z reaktora zbiornikowego przy użyciu pompy retentat doprowadzany jest do modułu membranowego a permeat strumieniem o malejącej w czasie wartości na skutek przytykania się membrany jest z niego odprowadzany a ponadto w odstępach czasu przeprowadza się płukanie zwrotne membrany modułu membranowego według wynalazku charakteryzuje się tym, iż mając ustalony maksymalny czas prowadzenia separacji membranowej pomiędzy cyklami płukania zwrotnego prowadzi się separację, w której wypływający z modułu membranowego strumieniem o malejącej w czasie wartości permeat wprowadza się do zasobnika, z którego następnie odprowadza się go przy użyciu pompy strumieniem o stałej wartości, przy czym dla zapewnienia stałej wartości strumienia permeatu odprowadzanego z zasobnika, strumieniem o zmniejszającej się wartości do zasobnika wprowadza się permeat w stosunku do wartości wyprowadzanej w nadmiarze, który to nadmiar z zasobnika opróżniany jest w płukaniu zwrotnym, przy czym w sytuacji, gdy przy utrzymywaniu stałego w czasie strumienia permeatu odprowadzanego z zasobnika w ustalonym czasie maksymalnym zasobnik nie napełni się do zadanego poziomu uruchamia się opróżniające częściowo napełniony zasobnik płukanie zwrotne a następnie zwiększa się ciśnienie transmembranowe, które powoduje wzrost wartości strumienia wpływającego do zasobnika, natomiast gdy w czasie krótszym aniżeli w czasie ustalonego przedziału czasowego bezpośrednio poprzedzającego czas maksymalny zasobnik napełni się do zadanego poziomu wówczas uruchamia się opróżniające zasobnik płukanie zwrotne a następnie zmniejsza się ciśnienie transmembranowe, przy czym regulację według powyższych dwóch schematów prowadzi w sytuacjach, gdy zapełnienie zasobnika do zadanego poziomu i uruchamianie tym zapełnieniem płukanie zwrotne nie następuje w ustalonym przedziale czasu bezpośrednio poprzedzającym ustalony czas maksymalny oraz aż do osiągnięcia ustalonego maksymalnego albo możliwego do uzyskania ciśnienia transmembranowego. Płukanie zwrotne prowadzone jest zgromadzonym w zasobniku permeatem.

Bioreaktor membranowy zbudowany z reaktora zbiornikowego, który poprzez pompę kanałem retentatu przyłączony jest do wyposażonego w zawór regulacyjny ciśnienia transmembranowego modułu membranowego, do którego z kolei przyłączony jest kanał permeatu, w który wpięty jest system płukania zwrotnego, oraz kolejno za nim zawór zamykający oraz pompa według wynalazku charakteryzuje się tym, iż system płukania zwrotnego stanowi zasobnik, w którym przesuwnie zainstalowany jest tłok poruszany złączonym z nim napędem przy czym zasobnik wyposażony jest w zawór odpowietrzający oraz czujnik napełnienia który korzystnie tworzą dwie elektrody konduktometryczne, z których jedna zamocowana jest w dnie zasobnika a druga do denka tłoka. Zawór odpowietrzający przyłączony jest do zasobnika za pośrednictwem dwóch króćców z czego jeden zainstalowany jest pod górnym punktem zwrotnym tłoka, a drugi pod dolnym punktem zwrotnym tłoka.

Zaletą rozwiązania według wynalazku jest precyzyjne regulowanie procesu płukania zwrotnego a przez to ograniczenie strat permeatu jakie ma miejsce przy nie w pełni kontrolowanym a przez to zbyt częstym czy zbyt długim procesie płukania zwrotnego, zapewnienie prowadzenia separacji membranowej w niskim pożądanym reżimie ciśnieniowym oraz wyraźne ograniczenie zakłóceń w przebiegu reakcji wywołanych nierównomiernością przepływów.

Przedmiot wynalazku został uwidoczniiony na rysunku w postaci schematu.

Bioreaktor membranowy w przykładzie wykonania według wynalazku zbudowany jest z wyposażonego korzystnie w mieszadło 1 reaktora zbiornikowego 2, który poprzez pompę 3 kanałem retentatu 4 przyłączony jest do wyposażonego w zawór regulacyjny 5 ciśnienia transmembranowego modułu membranowego 6. Po stronie permeatu do modułu membranowego 6 przyłączony jest kanał permeatu 7 w który wbudowany jest system płukania zwrotnego 8, oraz kolejno za nim zawór zamykający 9 oraz pompa 10. System płukania zwrotnego 8 stanowi zasobnik 8a w którym przesuwnie zainstalowany jest tłok 8b poruszany złączonym z nim napędem 8c. Ponadto, do zasobnika 8a przyłączony jest zawór odpowietrzający 11 oraz czujnik napełnienia, który stanowią dwie elektrody konduktometryczne 12, z których jedna zamocowana jest w dnie zasobnika 8a a druga do denka tłoka 8b. Zawór odpowietrzający 11 przyłączony jest do zasobnika 8a za pośrednictwem dwóch króćców, z czego jeden zainstalowany jest pod górnym punktem zwrotnym tłoka 8b a drugi pod dolnym punktem zwrotnym tłoka 8b. Zainstalowany pod górnym punktem zwrotnym tłoka 8b króciec ma otwór wlotowy powyżej elektrody konduktometrycznej 12 tłoka 8b w górnej pozycji zwrotnej. Kanał permeatu 7 do zasobnika 8a zainstalowany jest poprzez króciec wlotowy permeatu i króciec wylotowy permeatu, które umiejscowione są w jego dnie. Ponadto, do reaktora zbiornikowego 2 zainstalowany jest kanał 13 do upustu nadmiaru

biomasy. Zawór regulacyjny 5 ciśnienia transmembranowego zainstalowany jest do modułu membranowego 6 poprzez umiejscowienie go na przewodzie wylotu 14 retentatu. Zawory 5, 9 i 11 pompy 3, 10 oraz mieszadło 1 połączone są ze sterownikiem 15, który automatycznie reguluje ich pracę.

Sposób regulacji separacji membranowej w bioreaktorze membranowym w przykładzie wykonana według wynalazku polega na tym, iż na wstępie ustala się maksymalny dopuszczalny czas pomiędzy poszczególnymi cyklami płukania zwrotnego oraz maksymalne dopuszczalne albo możliwe do uzyskania ciśnienie transmembranowe. Następnie rozpoczyna się proces separacji, w którym retentat z reaktora zbiornikowego 2 przy użyciu pompy 3 tłoczy się do modułu membranowego 6, w którym prowadzi się proces separacji. W przypadku gdy bioreaktor stanowi bioreaktor mikrobiologiczny z reaktora zbiornikowego 2 przyłączonym do niego kanałem 13 wyprowadza się nadmiar biomasy. Korzystnie biomasę miesza się przy użyciu mieszadła 1. Wstępnie ciśnienie transmembranowe w module membranowym 6 ustala się przy użyciu zainstalowanego na przewodzie wylotu 14 retentatu zaworu regulacyjnego 5. Z modułu membranowego 6 uzyskiwany permeat strumieniem o malejącej w czasie wartości na skutek odkładania się na powierzchni membrany pewnych ilości substancji obecnych w rozdzielanej mieszaninie prowadzony jest kanałem permeatu 7 do zasobnika 8a, w którym przesuwnie w jego osi wzdłużnej zainstalowany jest umiejscowiony w górnej pozycji tłok 8b uruchamiany przy płukaniu zwrotnym przyłączonym do niego napędem 8c. Zasobnik 8a wyposażony jest w zawór odpowietrzający 11 oraz czujnik jego napełnienia, który korzystnie tworzą dwie elektrody konduktometryczne 12, z których jedna zainstalowana jest w dnie zasobnika 8a a druga w denku tłoka 8b. Z zasobnika 8a podczas procesu separacji odprowadza się permeat strumieniem o stałej wartości przy użyciu pompy 10 wpiętej w kanał permeatu 7 przyłączony do umiejscowionego w dnie zasobnika permeatu 8a króćca wylotowego. W kanał permeatu 7 pomiędzy zasobnikiem 8a a pompą 10 wbudowany jest zawór zamykający 9. Dla zapewnienia stałego w czasie strumienia permeatu odprowadzanego z zasobnika 8a, strumień permeatu z modułu membranowego 6 do niego doprowadzany jest od niego nieznacznie większy co powoduje, iż w zasobniku 8a gromadzi się permeat, który z zasobnika 8a ruchem tłoka 8b w dół usuwany jest podczas płukania zwrotnego. Płukanie zwrotne realizowane jest poprzez dynamiczne wytłoczenie tłokiem 8b zakumulowanego w zasobniku 8a permeatu w kierunku modułu membranowego 6 do retentatu. Płukanie zwrotne prowadzi się przy zamkniętym zaworze odpowietrzającym 11 zasobnika 8a oraz zamkniętym zaworze 9 zainstalowanym na odcinku kanału permeatu 7 pomiędzy zasobnikiem 8a a pompą 10. Ponadto, korzystnie na czas płukania zwrotnego celem stabilizacji w tym obniżenia ciśnienia procesu płukania zwrotnego wyłącza się pompę 3 tłoczącą retentat do modułu membranowego 6. Po przeprowadzeniu płukania zwrotnego ponownie otwiera się zawory 9, 11 oraz wycofuje się tłok 8b do pozycji górnej i kontynuuje się proces separacji. Zawór odpowietrzający 11 przyłączony jest do zasobnika 8a za pośrednictwem dwóch króćców z czego jeden zainstalowany jest pod górnym punktem zwrotnym tłoka 8b, a drugi pod dolnym punktem zwrotnym tłoka 8b. Przy otwartym zaworze odpowietrzającym 11 w trakcie napełniania się zasobnika 8a permeatem powietrze usuwane jest z jego wnętrza króćcem usytuowanym pod górnym punktem zwrotnym tłoka 8b a w trakcie podnoszenia tłoka 8b powietrze zasysane jest do jego wnętrza króćcem usytuowanym pod dolnym punktem zwrotnym tłoka 8b. Powyższy proces separacji przebiega w sposób prawidłowy, gdy napełnienie się permeatem zasobnika 8a powodujące uruchomienie się płukania zwrotnego następuje w ustalonym przedziale czasu bezpośrednio poprzedzającym wyznaczony czas maksymalny a mianowicie, gdy zainstalowany w zasobniku 8a czujnik napełnienia z uwagi na osiągnięty poziom napełnienia zasobnika 8a w omawianym przedziale czasu wysyła sygnał do przeprowadzenia płukania zwrotnego. W przypadku, gdy czujnik stanowi elektrody konduktometryczne 12 wypełniające zasobnik 8a ciecz powoduje ich zwarcie, przepływ prądu i wysłanie sygnału do sterownika 15 do przeprowadzenia procesu płukania. Gdy zachodzi powyższa sytuacja układ nie wymaga ingerencji, działa prawidłowo, płukanie przeprowadzane jest we właściwych odstępach czasu. W przypadku natomiast, gdy przy utrzymywaniu stałego w czasie strumienia permeatu odprowadzanego z zasobnika 8a w ustalonym czasie maksymalnym zasobnik 8a nie napełni się do zadanego poziomu to znaczy nie nastąpi zwarcie elektrod, automatycznie po przekroczeniu tego czasu maksymalnego uruchamia się opróżniające częściowo napełniony zasobnik (8a) z permeatu płukanie zwrotne a następnie zwiększa się przy użyciu zaworu regulacyjnego 5 ciśnienie transmembranowe, skutkujące wzrostem wartości strumienia opuszczającego moduł membranowy 6. W przedstawionym przypadku układ nie pracował prawidłowo z uwagi, iż różnica pomiędzy strumieniem wypływającym z modułu membranowego 6 a strumieniem wypływającym z zasobnika 8a była zbyt mała. Regulację przeprowadza się tyle razy, aż płukanie zwrotne nastąpi w ustalonym przedziale czasu bezpośrednio

poprzedzającym ustalony czas maksymalny a uruchomienie płukania zwrotnego wywoła czujnik sygnalizujący napełnienie zasobnika 8a do zadanego poziomu. Natomiast, gdy w czasie krótszym aniżeli w czasie ustalonego przedziału czasowego bezpośrednio poprzedzającego czas maksymalny zasobnik 8a napełni się do zadanego poziomu, wówczas uruchamia się opróżniające zasobnik 8a płukanie zwrotne z permeatu a następnie zmniejsza się zaworem regulacyjnym 5 ciśnienie transmembranowe skutkujące obniżeniem wartości strumienia opuszczającego moduł membranowy 6. W powyższym przypadku układ również nie pracował prawidłowo z uwagi, iż różnica pomiędzy strumieniem wypływającym z modułu membranowego 6 a strumieniem wypływającym z zasobnika 8a była zbyt duża, zbyt szybko napełniał się zasobnik 8a. Podobnie jak powyżej regulację przeprowadza się tyle razy, aż płukanie zwrotne nastąpi w ustalonym przedziale czasu bezpośrednio poprzedzającym ustalony czas maksymalny, przy czym uruchomienie płukania zwrotnego wywoła czujnik sygnalizujący napełnienie zasobnika 8a do zadanego poziomu. Reasumując, regulację według powyższych schematów prowadzi się wielokrotnie w sytuacjach, gdy układ jako całość nie pracuje w sposób określony powyżej jako właściwy. Cykl płukania zwrotnego powinien zapewnić wymagany strumień odbioru permeatu przy krótszym od maksymalnego czasie między kolejnymi cyklami płukania zwrotnego. W praktyce występuje jednakże fouling odwracalny i fouling nieodwracalny, przez co wartość strumienia permeatu każdorazowo, bezpośrednio po zadziałaniu przepływu zwrotnego będzie niewiele mniejsza od wartości uzyskiwanej w poprzednim cyklu. Tak więc, ze względu na stałe powolne zmniejszanie się strumienia permeatu wychodzącego z modułu membranowego 6 w n-tym cyklu nie nastąpi napełnienie zasobnika 8a do pożądanej objętości w czasie zbliżonym do czasu maksymalnego. W takiej sytuacji zwiększanie strumienia poprzez zwiększanie ciśnienia transmembranowego prowadzi się do osiągnięcia ustalonego maksymalnego albo możliwego do uzyskania ciśnienia transmembranowego. Przy zajściu powyższej sytuacji proces powinien zostać przerwany a membrany powinny zostać poddane myciu chemicznemu lub innej regeneracji. Ustalony przedział czasu bezpośrednio poprzedzającego czas maksymalny może przykładowo stanowić 10%–20% ustalonego czasu maksymalnego. Przykładowo jeśli czas maksymalny ustalony się na 20 minut to przedział czasu bezpośrednio go poprzedzającego w którym ma nastąpić napełnienie zasobnika można ustalić na 2 minuty, czyli czas bezpośrednio poprzedzający czas maksymalny będzie wynosił od 18 do 20 minuty.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób regulacji separacji membranowej w bioreaktorze membranowym, w którym z reaktora zbiornikowego przy użyciu pompy retentat doprowadzany jest do modułu membranowego a permeat strumieniem o malejącej w czasie wartości na skutek przytykania się membrany jest z niego odprowadzany, a ponadto w odstępach czasu przeprowadza się płukanie zwrotne membrany modułu membranowego, **znamienny tym**, że mając ustalony maksymalny dopuszczalny czas prowadzenia separacji membranowej pomiędzy cyklami płukania zwrotnego prowadzi się separację, w której wychodzący z modułu membranowego (6) strumieniem o malejącej w czasie wartości permeat wprowadza się do zasobnika (8a) z którego następnie odprowadza się go przy użyciu pompy (10) strumieniem o stałej wartości, przy czym dla zapewnienia stałej wartości strumienia permeatu odprowadzanego z zasobnika (8a), strumieniem o zmniejszającej się wartości do zasobnika (8a) wprowadza się permeat, w stosunku do wartości wyprowadzanej w nadmiarze, który to nadmiar opróżniany jest w płukaniu zwrotnym, przy czym w sytuacji gdy przy utrzymywaniu stałego w czasie strumienia permeatu odprowadzanego z zasobnika w ustalonym czasie maksymalnym zasobnik (8a) nie napełni się do zadanego poziomu uruchamia się opróżniające częściowo napełniony zasobnik (8a) płukanie zwrotne a następnie zwiększa się ciśnienie transmembranowe, natomiast gdy w czasie krótszym aniżeli w czasie ustalonego przedziału czasowego bezpośrednio poprzedzającego czas maksymalny zasobnik (8a) napełni się do zadanego poziomu wówczas uruchamia się opróżniające zasobnik (8a) płukanie zwrotne a następnie zmniejsza się ciśnienie transmembranowe, przy czym regulację według powyższych dwóch schematów prowadzi się w sytuacjach gdy zapełnienie zasobnika (8a) do zadanego poziomu i uruchamianie tym zapełnieniem płukanie zwrotne nie następuje w ustalonym przedziale czasu bezpośrednio poprzedzającym ustalony czas maksymalny oraz aż do osiągnięcia ustalonego maksymalnego albo możliwego do uzyskania ciśnienia transmembranowego.

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że płukanie zwrotne prowadzone jest zgromadzonym w zasobniku (8a) permeatem.
3. Bioreaktor membranowy zbudowany z reaktora zbiornikowego, który poprzez pompę kanałem retentatu przyłączony jest do wyposażonego w zawór regulacyjny ciśnienia transmembranowego modułu membranowego, do którego z kolei przyłączony jest kanał permeatu w który wpięty jest system płukania zwrotnego, oraz kolejno za nim zawór zamykający oraz pompa, **znamienny tym**, że system płukania zwrotnego stanowi zasobnik (8a), w którym przesuwnie zainstalowany jest tłok (8b) poruszany złączonym z nim napędem (8c), przy czym zasobnik (8a) wyposażony jest w zawór odpowietrzający (11) oraz czujnik napętnienia, który korzystnie tworzą dwie elektrody konduktometryczne (12), z których jedna zamocowana jest w dnie zasobnika (8a) a druga do denka tłoka (8b).
4. Bioreaktor według zastrz. 3, **znamienny tym**, że zawór odpowietrzający (11) przyłączony jest do zasobnika (8a) za pośrednictwem dwóch króćców z czego pierwszy zainstalowany jest pod górnym punktem zwrotnym tłoka (8b), a drugi pod dolnym punktem zwrotnym tłoka (8b).

Rysunek

