

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 243753 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **434353**

(22) Data zgłoszenia: **2020.06.17**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2021.12.20 BUP 38/2021**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.10.09 WUP 41/2023**

(51) MKP:

B01F 23/232 (2022.01)

B01F 25/312 (2022.01)

C02F 3/12 (2023.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**SZUSTER MIROSŁAW SZUSTER
CONSULTING, Naramice, PL
PRZEDSIĘBIORSTWO INŻYNIERII
ŚRODOWISKA EKOWODROL
SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Koszalin, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**MIROSŁAW SZUSTER, Naramice, PL
JOLANTA SZUSTER, Koszalin, PL**

(74) Pełnomocnik:

Magdalena Tagowska, Warszawa, PL

(54) Tytuł:

**Sposób mieszania cieczy z gazem, w gazoszczelnym multireaktorze rurowym
oraz urządzenie do mieszania cieczy z gazem w postaci multireaktora rurowego**

PL 243753 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób mieszania cieczy z gazem, w gazoszczelnym multireaktorze rurowym oraz urządzenie do mieszania cieczy z gazem w postaci multireaktora rurowego. Ujawniony niniejszym jest multireaktor rurowy do mieszania płynów, z których co najmniej jeden jest w postaci gazu lub wydziela gaz, zwłaszcza do wprowadzania gazów procesowych do obrabianych cieczy, zarówno do natleniania wody, jak i ścieków oraz osadów ściekowych. Ponadto, multireaktor rurowy może mieć zastosowanie w technologiach uzdatniania wody i dezynfekcji ścieków z użyciem ozonu i/lub nadtlenu wodoru. Multireaktor rurowy można również wykorzystać w istniejących oczyszczalniach ścieków, jak i do natleniania wody w różnych zbiornikach (jeziora, stawy hodowli ryb).

Jeżeli proces mieszania cieczy z gazem procesowym na to pozwala, to wtrysk mieszaniny cieczy i gazu wprowadza się do rurociągu tłocznego (np. wody pitnej czy też ścieków) na przewodzie obejściowym, ale wtedy pojawia się problem szybkiego rozwarstwiania się gazu od cieczy i niepełnego przereagowania na styku ciecz-gaz. Dotyczy to zwłaszcza rurociągów tłocznych cieczy i reaktorów ułożonych zasadniczo horyzontalnie, których średnica jest większa niż 150 mm. Znane są z opisów patentowych nr US7779864 oraz nr US9931602 rozwiązania, zwłaszcza do ozonowania wody, wykorzystujące zwężki Venturiego celem wprowadzania ozonu do cieczy na przewodzie bocznym, a następnie wtryskiwanie mieszaniny cieczy i ozonu do rurociągu tranzytowego parami dysz ustawionymi współosiowo. W tego typu rozwiązaniach gaz szybko oddziela się od cieczy, a dodatkowe zabiegi mechaniczne przedstawione w opisie zgłoszeniowym wynalazku nr US2014083952 są drogie w zakupie i eksploatacji oraz zwiększają nakłady energetyczne. Zastosowane dodatkowe siatki rozpraszające, jak to ujawniono w opisie patentowym nr US9931602, nie mogą być zastosowane w reaktorach służących do napowietrzania ścieków.

W innym rozwiązaniu reaktora rurowego ujawnionym w opisie patentowym US9227852, przedstawiono rozwiązanie reaktora rurowego, w którym w rurociąg wtryskuje się gaz (ozon i nadtlenek wodoru) w różne punkty rurociągu i w różnych miejscach jego przewodów obejściowych, a po każdym takim wtrysku zmieszana ciecz z gazem przepuszcza się przez mieszacz statyczny. To rozwiązanie, ze względu na duży stopień skomplikowania i koszty, może mieć zastosowanie praktyczne tylko w użyciu ozonu i nadtlenu wodoru. Ze względu na użycie w nim mieszaczy statycznych, rozwiązanie to nie może być użyte w instalacjach oczyszczania ścieków i w tlenowej obróbce osadów ściekowych.

Urządzenia strumienicowe są proste i dość tanie w budowie, ale ich sprawność w zasysaniu gazu do cieczy jest niewielka i maleje dość szybko wraz ze wzrostem przeciwności na ich wylocie. Transfer masy w układzie ciecz-gaz zależy od pola powierzchni poprzecznej dyszy napędowej strumienicy (iniektora) oraz od prędkości przepływu przez tę dyszę. Im mniejsza średnica dyszy napędowej oraz im większa prędkość przepływu przez tę dyszę, tym lepszy jest transfer masy w układzie ciecz-gaz. Jednak dysze napędowe iniektora o średnicy przelotu np. 10 mm nie są do zaakceptowania w zastosowaniu tych urządzeń w reaktorach tlenowych oczyszczalni ścieków czy też nie są odpowiednie w zastosowaniu dla reaktorów stabilizacji osadów ściekowych, gdyż szybko blokują się częściami stałymi ścieków występujących w tych reaktorach i wymagają dość wysokich ciśnień cieczy napędowej na ich wlocie. Akceptowalnymi średnicami przelotu dysz napędowych iniektorów w zastosowaniu ich np. w reaktorach biologicznych oczyszczalni ścieków jest średnica przelotu dyszy ok. 20 mm i więcej. Jednak wtedy w samej strumienicy uzyskuje się niższy wskaźnik poboru tlenu z powietrza (kg O₂/kWh). Ta zależność związana jest z faktem, że obwodowa część strumienia napędowego iniektora jest bardziej zaangażowana w dyspersję gazu w cieczy niż jej rdzeń. Wraz ze wzrostem średnicy strumienia napędowego, przekrój poprzeczny strumienia zwiększa się z kwadratem jego średnicy, a jego obwód liniowo, co powoduje, że mniejsza część energii kinetycznej strumienia napędowego jest wykorzystywana do dyspersji gazu w cieczy. Aby się z tym problemem uporać, stosuje się wewnątrz dysz napędowych różne łopatki skręcające zawirowujące strumień cieczy napędowej, jak np. we wtryskiwaczach znanych z opisu patentowego US5863128 albo spłaszcza się wyloty dysz napędowych i dysz przejmujących, jak np. w rozwiązaniu przedstawionym w zgłoszeniu patentowym US2017015573. W tego typu rozwiązaniach istnieje potrzeba wytworzenia drobnych pęcherzyków na wylocie z iniektorów, dlatego stosuje się małe przeloty dysz, które okresowo czyści się w przepływie wstecznym, a jeśli to nie pomaga, to się je czyści ręcznie, co wymaga opróżnienia zbiornika procesowego. Ze względu na malejącą sprawność w zasysaniu powietrza przez iniektory wraz z głębokością ich zanurzenia, w tego typu rozwiązaniach, jak i w znanym rozwiązaniu z opisu patentowego nr US6719903, iniektory zasila się dmuchawami lub sprężarkami, co poprawia sprawność tych urządzeń. Zastosowanie rozwiązania ujawnionego w opisie

patentowym nr US6719903, celem wysokiego stopnia wykorzystania tlenu procesowego, wymaga stosowania wysokich komór reakcji, a ponadto stosowania środków do mechanicznej destrukcji powstającej w procesie termofilowej stabilizacji tlenowej piany i kożucha. Dokładnie przedstawiono to w opisie patentowym US6168717.

W jeszcze innych rozwiązaniach, jak to ujawniono w opisie patentowym nr US4162971, za dyszą napędową wstawia się przeszkody rozpraszające rdzeń napędowego strumienia cieczy, aby zwiększyć tym samym transfer tlenu do strumienia napędowego. Wyżej wymienione rozwiązania są problematyczne w zastosowaniu do obróbki ścieków, ze względu na możliwość blokowania się dysz częściami stałymi. Same te urządzenia strumienicowe nie są wystarczające, aby zapewnić odpowiedni transfer gazu do obrabianej cieczy, a zwłaszcza do ścieków. Za pomocą strumienic wtryskuje się mieszaninę cieczy i gazu do reaktorów o odpowiednio dobranej pojemności w zależności od realizowanego procesu. Ponowne wprowadzanie wydzielonego z cieczy gazu do cieczy, celem uzyskania większego stopnia wykorzystania gazu w procesie, wymaga zastosowania urządzeń mechanicznych, co przedstawiono w amerykańskim opisie patentowym US2014083952 oraz w reaktorze kaskadowym znanym z niemieckiego zgłoszenia patentowego nr DE2032535. W reaktorze tym zastosowano gazoszczelny strop, pod który wprowadza się na jednym końcu gaz bogaty w tlen, a celem jego maksymalnego wykorzystania wprowadza się go kilkakrotnie spod stropu z powrotem do cieczy za pomocą dmuchaw, co jest rozwiązaniem kosztownym i generującym dodatkowe koszty eksploatacyjne. Ponadto, wprowadzany gaz na jednym końcu może dość swobodnie przepływać do drugiego końca pod stropem, gdzie ma swoje ujście, co niweluje nieco efekt kaskadowego, ponownego wprowadzania gazu do cieczy, celem jego maksymalnego wykorzystania. Innym rozwiązaniem stosowanym do natleniania ścieków czystym tlenem, jest rozwiązanie znane z opisu patentowego nr US9181106, w którym zastosowano zmodernizowane rozwiązanie stożka Speece. Rozwiązanie to cechuje się dobrym wykorzystaniem tlenu w procesie, ale wymaga dużych kubatur reaktora, gdyż proces intensywnego natleniania oparty na zjawisku fali uderzeniowej, odbywa się w dość małej objętości w stosunku do objętości reaktora, a cały proces wymaga dość skomplikowanego systemu sterowania procesem, gdyż ten proces łatwo jest „zgasić” i ponownie zainicjować. W zgłoszeniu patentowym wynalazku nr DE102007034133, przedstawiono pewną optymalizację procesu oczyszczania ścieków w reaktorach przepływowych optymalizującą ilość dostarczonego powietrza do reaktorów w procesach nityfikacji, tak, aby w całej objętości reaktora utrzymać optymalne stężenie rozpuszczonego tlenu na poziomie 2 gram na metr sześcienny. Pomysł ten polega na tym, aby do pierwszych komór reaktora dostarczać więcej tlenu niż do tych ostatnich, gdyż doprowadzane na początku ścieki mają wyższe zapotrzebowanie na tlen, niż te na końcu reaktora. Wymaga to jednak użycia dość skomplikowanej aparatury kontrolno-sterującej. Ponadto, rozwiązanie to nie rozwiązuje do końca problemu wysokiego stopnia wykorzystania tlenu, gdyż takie reaktory są stosunkowo płytkie (ok. 4–5 m wysokości) i w procesie jednokrotnego przejścia powietrza przez tę warstwę cieczy wykorzystują niekiedy poniżej 30% tlenu z powietrza.

W opisie zgłoszeniowym wynalazku WO2019243571, ujawniono instalację ozonowania wody w postaci komór połączonych w sposób kaskadowy z drobnopęcherzykowym wprowadzaniem ozonu. Celem, jeszcze dłuższego zatrzymania pęcherzyków ozonu w wodzie, mimo kaskadowego połączenia komór, wprowadzono specjalne przeszkody poprzeczne umożliwiające wywoływanie dużych wirów zatrzymujących dłużej pęcherzyki ozonu w wodzie, co jest również związane z lepszą wymianą masy gaz-ciecz, podobnie jak w urządzeniu przedstawionym w opisie patentowym nr JPS523571. Aby nie stosować dodatkowych urządzeń zwracających ozon do części dolnych kolejnych komór w rozwiązaniu ujawnionym WO2019243571, stosuje się komory o dość dużej wysokości, co generuje wysokie koszty inwestycyjne i energetyczne.

Zaistniała więc potrzeba opracowania takiego rozwiązania reaktora, który odznaczałby się prostotą wykonania, nieskomplikowaną budową i który mógłby być łączony szeregowo/kaskadowo, aby w maksymalnym stopniu wykorzystać gaz procesowy bez użycia dodatkowych urządzeń mechanicznych. Powinien też, poprzez łączenie kaskadowe poszczególnych komór reakcji i ich wielkość, umożliwiać stosowanie różnych gazów procesowych z różnymi wymaganymi czasami reakcji, jak powietrze, czysty tlen, czy też ozon, który reaguje ok. 15 krotnie szybciej niż tlen, a jego czas połowicznego rozpadu wynosi w cieczach ok. 20 minut. Aby nowe rozwiązanie miało uniwersalne zastosowanie, powinno być odporne na zatykania dysz częściami stałymi oczyszczonych mechanicznie ścieków, czy też osadów ściekowych, oraz umożliwiać jego zastosowanie w podwyższonych temperaturach. Zastosowanie nowego rozwiązania np. w komorach tlenowej stabilizacji osadu powinno odznaczać się odpornością na części flotujące, bez użycia dodatkowych urządzeń mechanicznych.

Celem niniejszego wynalazku jest rozwiązanie ww. niedogodności dzięki odpowiedniemu wykorzystaniu zjawiska zwanego paradoksem hydrodynamicznym, opisanym równaniem Bernoulliego, do skonstruowania innowacyjnego multireaktora.

Sposób mieszania cieczy z gazem, w gazoszczelnym multireaktorze rurowym, w którym zmieszana ciecz z gazem, w postaci strumienia napędowego, doprowadza się do części przedniej, przy dnie lub w kierunku dna, głównej komory mieszania multireaktora rurowego, a nasyconą gazem cieczą, jako główną część strumienia napędowego, odprowadza się z części tylnej głównej komory mieszania multireaktora rurowego i doprowadza się ją do co najmniej jednej dodatkowej komory mieszania multireaktora rurowego, przy czym, dodatkowa komora mieszania lub zespół dodatkowych komór mieszania ma co najmniej dwukrotnie mniejsze pole przekroju poprzecznego od pola przekroju poprzecznego głównej komory mieszania multireaktora rurowego, w którym to sposobie mieszanie nierozpuszczonego w cieczy gazu i części cieczy z głównej komory mieszania zasysa się, pod wpływem energii kinetycznej głównej części strumienia napędowego dopływającej do dodatkowej komory mieszania dzięki połączeniu obejściowemu, wyprowadzonemu ze stropu głównej komory mieszania multireaktora rurowego i doprowadzonemu do dodatkowej komory mieszania, zgodnie z równaniem Bernoulliego, przy czym co najmniej jedna dodatkowa komora mieszania posiada, na swym dopływie zwężającą się w stronę odpływu dyszę strumieniową, w której prędkość przepływu, na dopływie do niej, jest co najmniej trzykrotnie mniejsza niż wynosi prędkość na odpływie z dyszy strumieniowej.

Korzystnie prędkość strumienia przepływu na odpływie z dyszy strumieniowej zawiera się w zakresie od 4 m/s do 20 m/s, a prędkość przepływu przez dodatkową komorę mieszania, przed wlotem do dyszy strumieniowej, zawiera się w granicach od 1 m/s do 5 m/s.

Korzystnie, prędkość strumienia przepływu na odpływie z dyszy strumieniowej zawiera się w zakresie od 6 m/s do 12 m/s, a prędkość przepływu przez dodatkową komorę mieszania, przed wlotem do dyszy strumieniowej zawiera się w granicach od 1,2 m/s do 4 m/s.

Do wywołania dużych wstecznych wirów w głównej komorze mieszania, mieszanie nierozpuszczonego w cieczy gazu oraz cieczy zasysa się spod stropu części przedniej głównej komory mieszania multireaktora rurowego i doprowadza się do dodatkowej komory mieszania za pomocą połączenia obejściowego.

W urządzeniu według wynalazku do mieszania cieczy z gazem, multireaktor rurowy wyposażony jest w główną komorę mieszania posiadającą część przednią, część tylną, dno i strop, przy czym do części przedniej głównej komory mieszania wprowadzona jest dysza strumienia napędowego, znajdująca się przy dnie głównej komory mieszania, a z tylnej części głównej komory mieszania wyprowadzona jest dodatkowa komora mieszania, przy czym dodatkowa komora mieszania ma co najmniej dwukrotnie mniejsze pole przekroju poprzecznego od pola przekroju poprzecznego głównej komory mieszania multireaktora rurowego. Urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że od strony części tylnej głównej komory mieszania (tj. po stronie wyprowadzenia dodatkowej komory mieszania), w dodatkowej komorze mieszania, zainstalowana jest dysza strumienia napędowego, skierowana swym zwężającym się końcem w stronę wylotu z dodatkowej komory mieszania, a od stropu głównej komory mieszania odprowadzone jest co najmniej jedno połączenie obejściowe połączone drugim swym końcem, z dodatkową komorą mieszania, w której na wlocie znajduje się dysza strumieniowa.

Korzystnie, do pierwszej z głównych komór mieszania, dołączona jest komora ssąca, w której znajduje się dysza strumienia napędowego połączona z pompą przewodem zasilającym, przy czym od góry, do komory ssącej przyłączony jest przewód pneumatyczny z zainstalowaną na nim dmuchawą lub sprężarką.

W innym wykonaniu do dyszy strumienia napędowego, dołączona jest komora mieszająca z wprowadzonym do niej, na drugim końcu, przewodem zasilającym, na którym zainstalowana jest pompa, a od góry, do komory mieszającej wprowadzony jest przewód pneumatyczny z zainstalowaną na nim dmuchawą lub sprężarką, przy czym przewód pneumatyczny może być również połączony ze zbiornikiem gazu.

Najkorzystnie, dla wywołania dużych wstecznych wirów przez asymetryczną strugę cieczy w głównej komorze mieszania, połączenie obejściowe wyprowadzone jest ze stropu, przy części przedniej głównej komory mieszania, a intensywność przepływu przez połączenie obejściowe jest regulowana zaworem przeponowym regulacyjnym.

W jednym z wykonania, połączenie obejściowe, w płaszczyźnie pionowej, posiada pofalowania intensyfikujące mieszanie się cieczy z gazem i zamontowaną na nim zasuwę. Korzystnie multireaktory

rurowe zespolone w sposób kaskadowy połączone są z rurociągiem tłocznym za pomocą przewodów obejściowych.

Równie korzystnie multireaktory rurowe zespolone w sposób kaskadowy połączone są z reaktorem procesowym, za pomocą przewodów obejściowych, przy czym koniec wylotowy przewodu obejściowego wyposażony jest w zespół dysz.

Bardzo korzystnie ciągi technologiczne multireaktorów rurowych zespolone w sposób kaskadowy, połączone są za pomocą przewodu obejściowego z zainstalowaną na nim pompą recyrkulacji i połączone na wlocie z kolektorami zasilającymi oraz kolektorami gazowymi i na wylocie z kolektorami odbiorczymi.

Podstawową zaletą sposobu według wynalazku, jest to, że wykorzystując równanie Bernoulliego, w kombinacji z wieloma komorami reakcji mieszających ciecz z gazem, udało się opanować taki proces mieszania cieczy z gazem, który nie wymaga skomplikowanych urządzeń mechanicznych i wymaga praktycznie jednego źródła napędowego, jakim jest strumień cieczy. Ponadto, sposób ten jest bardzo uniwersalny i może być użyty zarówno do gazów szybko reagujących jak ozon, jak i skrajnie wolno reagujących jak powietrze. W zastosowaniach dla gazów, takich jak ozon, sposób według wynalazku może wykazać się szybkim czasem reakcji i wysokim stopniem ich wykorzystania. Praktycznie nie ma tu żadnych ograniczeń, oprócz energetycznych.

Urządzenie według wynalazku charakteryzuje się dużą modułowością budowy i skalowalnością w procesach projektowych. W procesach obróbki termofilowej osadów ściekowych wykazuje się dużą odpornością na awarie i świetnie radzi sobie z problemem samoistnego niszczenia piany i kożucha. Może mieć także zastosowanie w oczyszczaniu ścieków, zwłaszcza przemysłowych, ze względu na możliwość wykorzystania czystego tlenu w wysokim stopniu.

Przedmiot wynalazku jest dokładniej pokazany w przykładach wykonania na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia schematycznie multireaktor rurowy w przekroju wzdłużnym w układzie kaskadowym, w pierwszym przykładzie wykonania, Fig. 2 przedstawia schematycznie multireaktor rurowy w przekroju wzdłużnym, w drugim przykładzie wykonania połączony z innym reaktorem, a Fig. 3 przedstawia schematycznie multireaktor rurowy w przekroju wzdłużnym w układzie kaskadowym w drugim przykładzie wykonania włączonym bocznikowo do rurociągu tłocznego, Fig. 4 przedstawia schematycznie multireaktor rurowy w przekroju wzdłużnym w układzie kaskadowym z pierwszego przykładu wykonania, włączonym bocznikowo do innego zbiornika procesowego, natomiast Fig. 5 przedstawia schematycznie multireaktor rurowy w przekroju wzdłużnym w układzie kaskadowym w różnych wykonaniach, Fig. 6 przedstawia w rzucie przestrzennym w widoku trzy ciągi technologiczne multireaktora rurowego w układzie kaskadowym dla trzech ciągów technologicznych w różnych odmianach, Fig. 7 przedstawia schematycznie multireaktor rurowy w przekroju wzdłużnym w układzie kaskadowym, jak z pierwszego przykładu wykonania, lecz z wykorzystaniem konstrukcji jak na Fig. 2 w układzie kaskadowym, jak to przedstawiono na Fig. 6. Fig. 8 przedstawia szczegół „A” multireaktora rurowego w powiększeniu z Fig. 7, a Fig. 9 przedstawia szczegół „B” multireaktora rurowego w powiększeniu z Fig. 7, natomiast Fig. 10 przedstawia schematycznie multireaktor rurowy w układzie kaskadowym z pierwszego przykładu wykonania włączony bocznikowo do komory nityfikacyjnej oczyszczalni ścieków.

Multireaktor, według wynalazku, jest przedstawiony schematycznie na rysunkach. Na Fig. 1 przedstawiony jest multireaktor rurowy 1 w pierwszym przykładzie wykonania, w połączeniu kaskadowym, posiadający główną komorę mieszania 2 w postaci poziomo położonego cylindrycznego zbiornika. Główna komora mieszania 2 posiada część przednią 2.1, część tylną 2.2, dno 2.3 i strop 2.4. Do części przedniej 2.1, przy dnie 2.3, wprowadzona jest dysza strumienia napędowego 3, a z części tylnej 2.2 głównej komory mieszania 2 wyprowadzona jest dysza strumienicowa 4, której wlot leży po stronie głównej komory mieszania 2 natomiast po stronie wylotu przyłączona jest dodatkowa komora mieszania 5.

Z dodatkowej komory mieszania 5 wyprowadzone jest połączenie obejściowe 6 połączone hydraulicznie ze stropem 2.4 głównej komory mieszania 2, w pobliżu jej części przedniej 2.1. Na połączeniu obejściowym 6 może być zamontowany zawór przeponowy regulacyjny 7. Do dyszy strumienia napędowego 3, która jest umieszczona w komorze ssącej 8, stanowiącej komorę mieszania gazu z cieczą, na wlocie do pierwszego multireaktora rurowego 1, doprowadzony jest strumień cieczy przewodem zasilającym 9 za pomocą pompy 10, przy czym do komory ssącej 8 doprowadzony jest również strumień gazu przewodem pneumatycznym 11 zasilany dmuchawą 12.

Działanie multireaktora rurowego 1 w pierwszym przykładzie wykonania w układzie kaskadowym, jak na Fig. 1, różni się od multireaktora rurowego 1 z drugiego przykładu wykonania, jak na Fig. 2 tym,

że posiada dysze strumienicowe 4 wspomagające zasysanie gazu do dodatkowej komory mieszania 5 oraz do komory ssącej 8. W multireaktorze rurowym 1 z drugiego przykładu wykonania, jak na Fig. 2, w miejscu komory ssącej 8 znajduje się komora mieszająca 13. Ponadto, w tym konkretnym przypadku, jak na Fig. 2, multireaktor rurowy 1 nie jest połączony z tego samego typu reaktorem, tylko innym reaktorem procesowym 14. Działanie multireaktora rurowego 1, jak na Fig. 1, polega na tym, że ciecz pod wpływem ciśnienia wytwarzanego przez pompę 10, dostaje się do komory ssącej 8 poprzez dyszę strumienicową 4. Pod wpływem dużej energii kinetycznej wyływającej przez dyszę strumienicową 4 strumienia cieczy, do komory ssącej 8 zasysany jest gaz przewodem pneumatycznym 11, który w tym przypadku, zasilany jest dodatkowo dmuchawą 12, celem poprawienia wydajności zasysania gazu przez układ strumienicowy. Następnie, zmieszany strumień cieczy ze strumieniem gazu, dostaje się do dyszy strumienicowej 4 umieszczonej na początku dodatkowej komory mieszania 5, gdzie ponownie generowany jest strumień napędowy 15 o dużej energii kinetycznej, co, dzięki asymetrycznemu wprowadzeniu strumienia napędowego 15 do głównej komory mieszania 2, generuje, oprócz silnych turbulencji, duże wsteczne wiry 16. Aby jeszcze bardziej zintensyfikować te duże wsteczne wiry 16, w głównej komorze mieszania 2, połączono strop 2.4 głównej komory mieszania 2, w pobliżu jej części przedniej 2.1, z dodatkową komorą mieszania 5, połączeniem obejściowym 6. Zgodnie bowiem z równaniem Bernoulliego i z tak zwanym paradoksem hydrodynamicznym, powoduje to zasysanie gazu oraz części cieczy spod stropu 2.4 głównej komory mieszania 2 do przedniej części dodatkowej komory mieszania 5, poprzez połączenie obejściowe 6, co wywołuje zdecydowanie silniejsze duże wsteczne wiry 16, dzięki asymetrycznej strudze cieczy 17 względem strumienia napędowego 15. W układzie kolejnych połączeń kaskadowych multireaktorów rurowych 1, te zjawiska powstawania intensywnych dużych wstecznych wirów 16 powtarzają się. Takie zawracanie cieczy i gazu powoduje, że w wirach tych powstają dość silne siły ścinające na granicy faz gaz-ciecz, co powoduje szybką dyfuzję i reakcję cieczy z gazem. Również w samym połączeniu obejściowym 6 powstają zjawiska intensywnej wymiany masy ciecz-gaz. Ze względu na te zjawiska można używać dysz strumienia napędowego 3, jak i dysz strumienicowych 4 o większych przekrojach przelotu, gdyż intensywna dyfuzja gazu do cieczy odbywa się jednocześnie w dużych wstecznych wirach 16, w dodatkowej komorze mieszania 5, jak i w połączeniu obejściowym 6, czyli w obszarze silnych turbulencji, co czyni tę technologię uniwersalną i łatwą do sterowania. Intensywność w wywoływaniu dużych wstecznych wirów 16 można regulować np. za pomocą zaworów przeponowych regulacyjnych 7, dławiąc nimi przepływ przez połączenie obejściowe 6. Wywoływanie dodatkowych dużych wstecznych wirów 16 powoduje wolniejsze uwalnianie nieprzereagowanego z cieczą gazu, przy czym odbywa się to za pomocą tylko jednego strumienia napędowego 15 cieczy, na początku układu kaskadowego multireaktorów rurowych 1. Ponadto, dodatkowy przepływ cieczy i gazu połączeniem obejściowym 6 powoduje, że można zwiększyć przepływ przez główną komorę mieszania 2 i jednocześnie ponownie wprowadzić nierozpuszczony w cieczy gaz do układu multireaktora rurowego 1, bez użycia dodatkowych urządzeń mechanicznych.

Na Fig. 2 przedstawiono pojedynczy multireaktor rurowy 1 w drugim przykładzie wykonania, w którym, na wlocie, zamiast komory ssącej 8, jest zainstalowana komora mieszająca 13, a na wylocie z głównej komory mieszania 2 do dodatkowej komory mieszania 5 brak jest dyszy strumienicowej 4 z Fig. 1. Celem wprowadzenia silnych turbulencji przepływu w połączeniu obejściowym 6, połączenie to jest wykonane jako pofalowane w płaszczyźnie pionowej multireaktora rurowego 1. W przeciwieństwie do wykonania uwidocznionego na Fig. 1, multireaktor rurowy 1 w drugim przykładzie wykonania posiada komorę mieszającą 13, nie mającą funkcji ssania gazu. Wylot dyszy strumienia napędowego 3 z dodatkowej komory mieszania 5 jest połączony z reaktorem procesowym 14.

Działanie multireaktora rurowego 1, z drugiego przykładu wykonania, różni się tym, że nie posiada układu strumienicowego na wlocie, gdyż komorę ssącą 8 zastąpiono komorą mieszającą 13, natomiast w miejscu wprowadzenia połączenia obejściowego 6 na wlocie do dodatkowej komory mieszania 5, brak jest dyszy strumienicowej 4. W tym przypadku również można uzyskać różnicę ciśnień zdolną do zawracania gazu i cieczy spod stropu 2.4 głównej komory mieszania 2 multireaktora rurowego 1 zgodnie z równaniem Bernoulliego, gdyż przekrój poprzeczny cylindrycznego zbiornika 19 jest dużo większy niż przekrój poprzeczny dodatkowej komory mieszania 5. Intensywne mieszanie cieczy z gazem w dodatkowej komorze mieszania 5 uzyskuje się dzięki efektowi fali uderzeniowej wywołanej nagłym zwężeniem przekroju dodatkowej komory mieszania 5 przez dyszę strumienia napędowego 3. Aby jeszcze bardziej zintensyfikować mieszanie się cieczy z gazem w połączeniu obejściowym 6, połączenie to pofalowano w płaszczyźnie pionowej, w której przy przepływie przez nią cieczy i gazu powstają miejscowe

minireaktory, stwarzające warunki do dobrego wymieszania się cieczy z gazem. Celem regulacji przepływu albo jego odcięcia, na połączeniu obejściowym 6 zastosowano zasuwę 18. Doprowadzenie gazu do multireaktora rurowego 1 może odbywać się za pomocą przewodu pneumatycznego 11 z zainstalowaną na nim dmuchawą 12 lub sprężarką, albo też można realizować z wykorzystaniem skroplonego w zbiorniku 19 gazu, np. tlenu.

W drugim przykładzie wykonania, jak to uwidoczniło na Fig. 2, multireaktor rurowy 1 nie musi być połączony kaskadowo z innym multireaktorem rurowym 1 tego samego typu, lecz z innym reaktorem procesowym 14. W zastosowaniu tego multireaktora rurowego 1, w procesach stabilizacji tlenowej osadów, nie trzeba stosować dodatkowych urządzeń do niszczenia piany i kożucha, gdyż w dodatkowej komorze mieszania 5 kożuch i piana łatwo ulegają destrukcji.

Na Fig. 3 pokazano multireaktor rurowy 1 w układzie kaskadowym, jak w pierwszym przykładzie wykonania na Fig. 1, z tą tylko różnicą, że na wlocie posiada komorę mieszającą 13 zamiast komory ssącej 8 i nie posiada dysz strumienicowych 4. Jego działanie jest podobne, ale korzystniejsze energetycznie, choć okupione mniejszą intensywnością mieszania w dodatkowej komorze mieszania 5 i w połączeniu obejściowym 6. Multireaktor rurowy 1, np. w układzie kaskadowym, może być wpięty bocznikowo za pomocą przewodu obejściowego 20 z rurowciągiem tłocznym 21 wody lub ścieków, jak to przedstawiono na Fig. 3, celem obróbki przepływającej cieczy przez wprowadzanie do niej powietrza, czystego tlenu, ozonu czy też nadtlenu wodoru.

Na Fig. 4 przedstawiono multireaktor rurowy 1 w układzie kaskadowym, jak w pierwszym przykładzie wykonania. Ten zespół reaktorów kaskadowych może pracować np. przy podwyższonym ciśnieniu, tak, aby przesylić ciecz gazem i taką mieszaninę rozpuszczonego w cieczy gazu wprowadzić za pomocą przewodu obejściowego 20 i zespołu dysz 22 do reaktora procesowego 14.

Na Fig. 5 zilustrowano multireaktor rurowy 1 w przekroju wzdłużnym w różnych wykonaniach opisanych wcześniej, w układzie kaskadowym. Ten typ reaktora nadaje się szczególnie do montowania go w płaszczyźnie pionowej w kontenerze. Gaz ze źródła gazu może być doprowadzony nie tylko na wlocie układu kaskadowego multireaktorów rurowych 1, ale także w inne miejsca. Również połączenia obejściowe 6 mogą spełniać określone cele procesowe i być wprowadzane w różne miejsca. Ich działanie jest podobne jak w poprzednio przedstawionych rozwiązaniach, z tym, że przedstawione wielowariantowo.

Fig. 6 przedstawia w rzucie przestrzennym w widoku trzy ciągi technologiczne multireaktora rurowego 1, jak na Fig. 2 w różnych odmianach. Trzy ciągi technologiczne multireaktora rurowego 1 zasilane są dopływającymi ściekami lub wodą z jednego kolektora zasilającego 23 i jednego kolektora gazowego 24, których mieszanina zawracana jest częściowo poprzez kolektor odbiorczy 25 za pomocą pompy recyrkulacji 26. Każdy multireaktor rurowy 1 posiada trzy zespoły dodatkowych komór mieszania 5 i związanych z nimi tyle samo połączeń obejściowych 6, co uwidoczniło na Fig. 7, przy czym w odmiennych wykonaniach połączenia obejściowe 6 mogą się łączyć we wspólne kolektory ssące 27. Można więc łączyć multireaktory rurowe 1 szeregowo w sposób kaskadowy i równolegle w niezależne ciągi technologiczne, przy tylko jednym źródle napędowym, co ułatwia eksploatację całego obiektu. Łatwa jest tym samym skalowalność danego projektu, dostosowująca się do potrzeb ilościowych, jak i jakościowych zadań jakie przed nim będą stały, ze względu na modułowość budowy i powtarzalność elementów konstrukcyjnych. Takie połączenia kaskadowe mają jeszcze inną zaletę, np. podczas ozonowania wody, gdyż szybki przerzut nieprzereagowanego gazu do następnych reaktorów ogranicza powstawanie bromianów, których zawartość w wodzie pitnej jest niepożądana.

Na Fig. 7 przedstawiono multireaktor rurowy 1, jak z pierwszego przykładu wykonania, lecz z wykorzystaniem konstrukcji, którą przedstawiono na Fig. 2, w układzie kaskadowym, jak to przedstawiono przestrzennie na Fig. 6. Działanie tego multireaktora rurowego 1 jest podobne, ale zamiast połączenia go na wlocie z reaktorem procesowym 14, połączony jest z następnym multireaktorem rurowym 1, jak to np. zilustrowano na Fig. 6. Nie pokazano wszelkich otworów czy włączów rewizyjnych.

Fig. 8 przedstawia szczegół „A” multireaktora rurowego 1 w powiększeniu z Fig. 7, zwłaszcza zespołu dodatkowej komory mieszania 5, z pokazaniem szczegółów dysz, zwłaszcza dyszy obejściowej 28, intensyfikującej turbulencje na granicy faz ciecz-gaz oraz zasuwy 18, umożliwiającej odcięcie przepływu między multireaktorami rurowymi.

Fig. 9 przedstawia szczegół „B” multireaktora rurowego 1 w powiększeniu z Fig. 7, z pokazaniem szczegółów dyszy strumieniowej 3 i dyszy strumienicowej 4 oraz zasuwy 18 umożliwiającej odcięcie przepływu między multireaktorem rurowym 1, a kolektorem zasilającym 23 i kolektorem gazowym 24.

Na Fig. 10 przedstawiono multireaktor rurowy 1 w układzie kaskadowym z pierwszego przykładu wykonania połączonego bocznikowo z reaktorem procesowym 14 oczyszczalni ścieków, gdzie KD oznacza komorę defosfatacji, KDN oznacza komorę denitryfikacji, KN oznacza komorę nityfikacji, a OS osadnik wtórny. Reaktor procesowy 14 posiada recyrkulację zewnętrzną napędzaną pompą recyrkulacji 26, która zawraca osad z osadnika wtórnego OS do strumienia dopływowego ścieków i wraz z nim przepływa przez komorę defosfatacji KD, komorę denitryfikacji KDN, komorę nityfikacji KN, a następnie dopływa do osadnika wtórnego OS, skąd osad jest ponownie recyrkulowany. W komorze denitryfikacji KDN zainstalowana jest pompa 10, która pompuje ścieki z tej komory do multireaktora rurowego 1 w układzie kaskadowym, połączonego z pompą 10 przewodami obejściowymi 20, przy czym przewód obejściowy 20 na wylocie z multireaktora rurowego 1 zakończony jest zespołami dysz 22. Działanie takie opisane zostało dla rozwiązania z Fig. 4, przy czym recyrkulację wewnętrzną uzyskano dzięki podpiętrzaniu się ścieków w komorze nityfikacji KN, w takcie pompowania ścieków pompą 10 z komory denitryfikacji KDN.

Średnica wewnętrzne dysz D_n strumienia napędowego 3 i średnice wewnętrzne D_s dysz strumienicowych 4 zawierają się w zakresie od 20 mm do 60 mm, korzystniej od 25 mm do 50 mm. Średnice wewnętrzne D_r głównych komór mieszania 2 zawierają się w granicach od 150 mm do 3000 mm, a ich długości L od 1000 mm do 6000 mm, natomiast średnice wewnętrzne D_m dodatkowych komór mieszania 5 zawierają się w granicach od 50 mm do 150 mm, a ich długości L od 200 mm do 2000 mm, korzystniej od 400 mm do 1000 mm. Średnice wewnętrzne D_b połączeń obejściowych 6 zawierają się w granicach od 25 mm do 100 mm, przy czym dysze obejściowe 28 montuje się dla tych większych średnic rur obejściowych 6 (powyżej 50 mm), a ich średnice wewnętrzne D_{bn} nie są mniejsze niż 25 mm.

Prędkość przepływu, na dopływie do dyszy strumienicowej, jest co najmniej trzykrotnie mniejsza niż wynosi prędkość na odpływie z dyszy strumienicowej 4.

Prędkość strumienia przepływu na odpływie z dyszy strumienicowej 4 zawiera się w zakresie od 4 m/s do 20 m/s, a korzystniej 6 m/s do 12 m/s. Prędkość przepływu przez dodatkową komorę mieszania 5, przed wlotem do dyszy strumienicowej 4 zawiera się w granicach od 1 m/s do 5 m/s, a korzystniej od 1,2 m/s do 4 m/s.

WYKAZ OZNACZEŃ

1. multireaktor rurowy
2. główna komora mieszania
- 2.1. część przednia
- 2.2. część tylna
- 2.3. dno
- 2.4. strop
3. dysza strumienia napędowego
4. dysza strumienicowa
5. dodatkowa komora mieszania
6. połączenie obejściowe
7. zawór przeponowy regulacyjny
8. komora ssąca
9. przewód zasilający
10. pompa
11. przewód pneumatyczny
12. dmuchawa
13. komora mieszająca
14. reaktor procesowy
15. strumień napędowy
16. wsteczne wiry
17. asymetryczna struga cieczy
18. zasuwa
19. zbiornik
20. przewód obejściowy
21. rurociąg tłoczny

22.	zespół dysz
23.	kolektor zasilający
24.	kolektor gazowy
25.	kolektor odbiorczy
26.	pompa recyrkulacji
27.	kolektor ssący
28.	dysza obejściowa
KD –	komora defosfatacji
KDN –	komora denitryfikacji
KN –	komora nitryfikacji
OS –	osadnik wtórny
Dn –	średnica; dyszy strumienia napędowego 3
Ds –	średnica; dyszy strumienicowej 4
Db –	średnica; połączenia obejściowego 6
Dm –	średnica; dodatkowej komory mieszania 5
Dr –	średnica; głównej komory mieszania 2
Dbn –	średnica; dyszy obejściowej 28
L –	długość głównej komory mieszania 2
1 –	długość dodatkowej komory mieszania 5

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób mieszania cieczy z gazem, w gazoszczelnym multireaktorze rurowym, w którym zmieszana ciecz z gazem, w postaci strumienia napędowego, doprowadza się do części przedniej, przy dnie lub w kierunku dna, głównej komory mieszania multireaktora rurowego, a nasyconą gazem ciecz, jako główną część strumienia napędowego, odprowadza się z części tylnej głównej komory mieszania multireaktora rurowego i doprowadza się ją do co najmniej jednej dodatkowej komory mieszania multireaktora rurowego, przy czym, co najmniej jedna dodatkowa komora mieszania lub zespół dodatkowych komór mieszania ma co najmniej dwukrotnie mniejsze pole przekroju poprzecznego od pola przekroju poprzecznego głównej komory mieszania multireaktora rurowego, **znamienny tym**, że mieszaninę nierozpuszczonego w cieczy gazu i części cieczy z głównej komory mieszania (2) zasysa się, pod wpływem energii kinetycznej głównej części strumienia napędowego (15) dopływającej do dodatkowej komory mieszania (5) dzięki połączeniu obejściowemu (6), wyprowadzonemu ze stropu (2.4) głównej komory mieszania (2) multireaktora rurowego (1) i doprowadzonemu do dodatkowej komory mieszania (5), zgodnie z równaniem Bernoulliego, przy czym co najmniej jedna dodatkowa komora mieszania (5) posiada, na swym dopływie zwężającą się w stronę odpływu dyszę strumienicową (4), w której prędkość przepływu, na dopływie do niej, jest co najmniej trzykrotnie mniejsza niż wynosi prędkość na odpływie z dyszy strumienicowej (4).
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że prędkość strumienia przepływu na odpływie z dyszy strumienicowej (4) zawiera się w zakresie od 4 m/s do 20 m/s, a prędkość przepływu przez dodatkową komorę mieszania (5), przed wlotem do dyszy strumienicowej (4) zawiera się w granicach od 1 m/s do 5 m/s.
3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że prędkość strumienia przepływu na odpływie z dyszy strumienicowej (4) zawiera się w zakresie od 6 m/s do 12 m/s, a prędkość przepływu przez dodatkową komorę mieszania (5), przed wlotem do dyszy strumienicowej (4) zawiera się w granicach od 1,2 m/s do 4 m/s.
4. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że do wywołania dużych wstecznych wirów (16) w głównej komorze mieszania (2), mieszaninę nierozpuszczonego w cieczy gazu oraz cieczy zasysa się spod stropu (2.4) części przedniej (2.1) głównej komory mieszania multireaktora rurowego (1) i doprowadza się do dodatkowej komory mieszania (5) za pomocą połączenia obejściowego (6).
5. Urządzenie do mieszania cieczy z gazem, w postaci multireaktora rurowego, wyposażonego w główną komorę mieszania posiadającą część przednią, część tylną, dno i strop, przy czym

do części przedniej głównej komory mieszania wprowadzona jest dysza strumienia napędowego, znajdująca się przy dnie głównej komory mieszania, a z tylnej części głównej komory mieszania wyprowadzona jest co najmniej jedna dodatkowa komora mieszania, przy czym dodatkowa komora mieszania ma co najmniej dwukrotnie mniejsze pole przekroju poprzecznego od pola przekroju poprzecznego głównej komory mieszania multireaktora rurowego, **znamiennie tym**, że od strony części tylnej (2.2) głównej komory mieszania (2), w co najmniej jednej dodatkowej komorze mieszania (5), zainstalowana jest dysza strumienia napędowego (3), skierowana swym zwężającym się końcem w stronę wylotu z dodatkowej komory mieszania (5), przy czym od stropu (2.4) głównej komory mieszania (2) odprowadzone jest co najmniej jedno połączenie obejściowe (6) połączone drugim swym końcem, z dodatkową komorą mieszania (5), w której na jej wlocie znajduje się dysza strumieniowa (4).

6. Urządzenie według zastrz. 5, **znamiennie tym**, że do głównej komory mieszania (2) dołączona jest komora ssąca (8), w której znajduje się dysza strumienia napędowego (3), połączona z pompą (10) przewodem zasilającym (9), a od góry, do komory ssącej (8) wprowadzony jest przewód pneumatyczny (11) z zainstalowaną na nim dmuchawą (12) lub sprężarką.
7. Urządzenie według zastrz. 5, **znamiennie tym**, że do dyszy strumienia napędowego (3), dołączona jest komora mieszająca (13) z wprowadzonym do niej, na drugim końcu, przewodem zasilającym (9), na którym zainstalowana jest pompa (10), a od góry, do komory mieszającej (13), wprowadzony jest przewód pneumatyczny (11) z zainstalowaną na nim dmuchawą (12) lub sprężarką, przy czym przewód pneumatyczny (11) może być również połączony ze zbiornikiem (19) gazu.
8. Urządzenie według zastrz. 5, **znamiennie tym**, że do wywołania dużych wstecznych wirów (16) przez asymetryczną strugę cieczy (17) w głównej komorze mieszania (2), połączenie obejściowe (6) wyprowadzone jest ze stropu (2.4), przy części przedniej (2.1) głównej komory mieszania (2), a intensywność przepływu przez połączenia obejściowe (6) jest regulowana zaworem przeponowym regulacyjnym (7).
9. Urządzenie według zastrz. 8, **znamiennie tym**, że połączenie obejściowe (6), w płaszczyźnie pionowej, posiada pofalowania intensyfikujące mieszanie się cieczy z gazem i zamontowaną na nim zasuwę (18).
10. Urządzenie według zastrz. 5, **znamiennie tym**, że multireaktory rurowe (1) zespolone w sposób kaskadowy połączone są z rurociągiem tłocznym (21) za pomocą przewodów obejściowych (20).
11. Urządzenie według zastrz. 5, **znamiennie tym**, że multireaktory rurowe (1) zespolone w sposób kaskadowy połączone są z reaktorem procesowym (14), za pomocą przewodów obejściowych (20), przy czym koniec wylotowy przewodu obejściowego (20) wyposażony jest w zespół dysz (22).
12. Urządzenie według zastrz. 5, **znamiennie tym**, że ciągi technologiczne multireaktorów rurowych (1) zespolone w sposób kaskadowy połączone są za pomocą przewodu obejściowego (20) z zainstalowaną na nim pompą recyrkulacji (26) i połączone na wlocie z kolektorami zasilającymi (23) oraz kolektorami gazowymi (24) i na wylocie z kolektorami odbiorczymi (25).

Rysunki

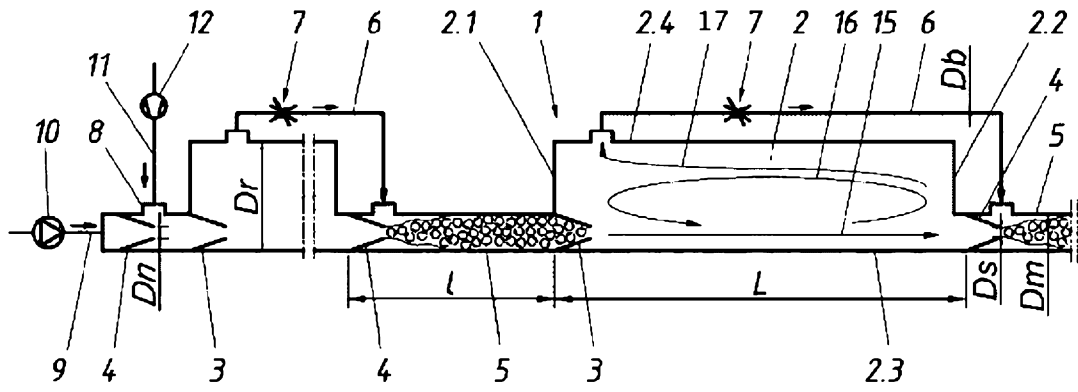


Fig.1

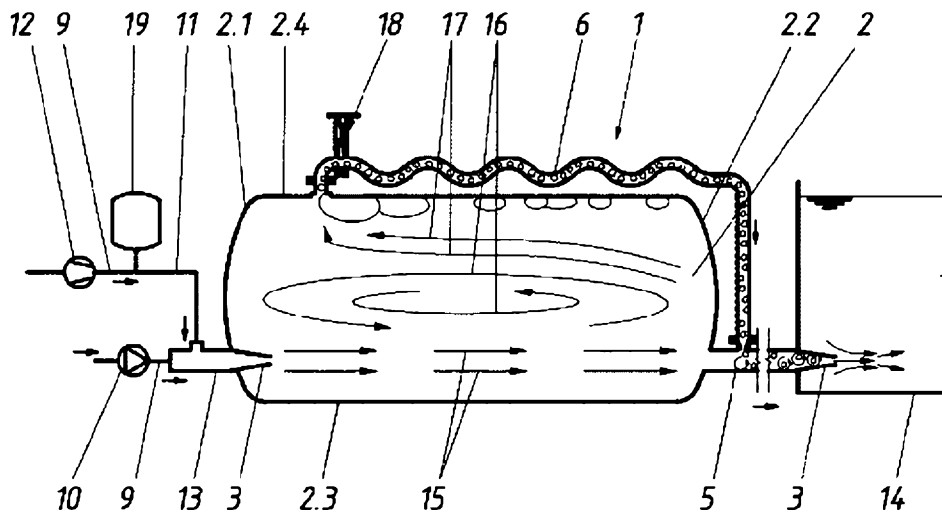


Fig.2

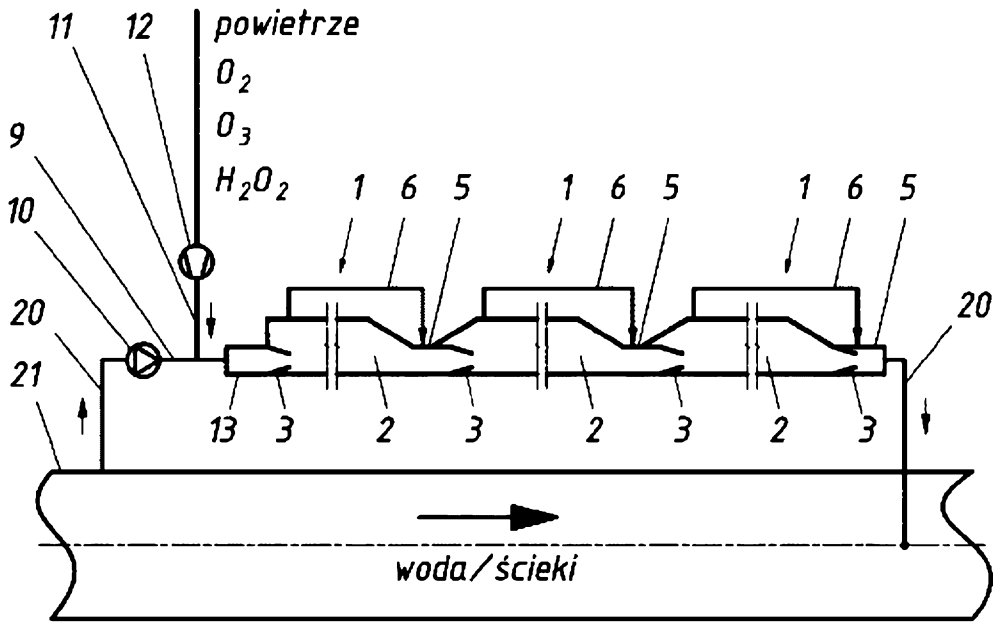


Fig.3

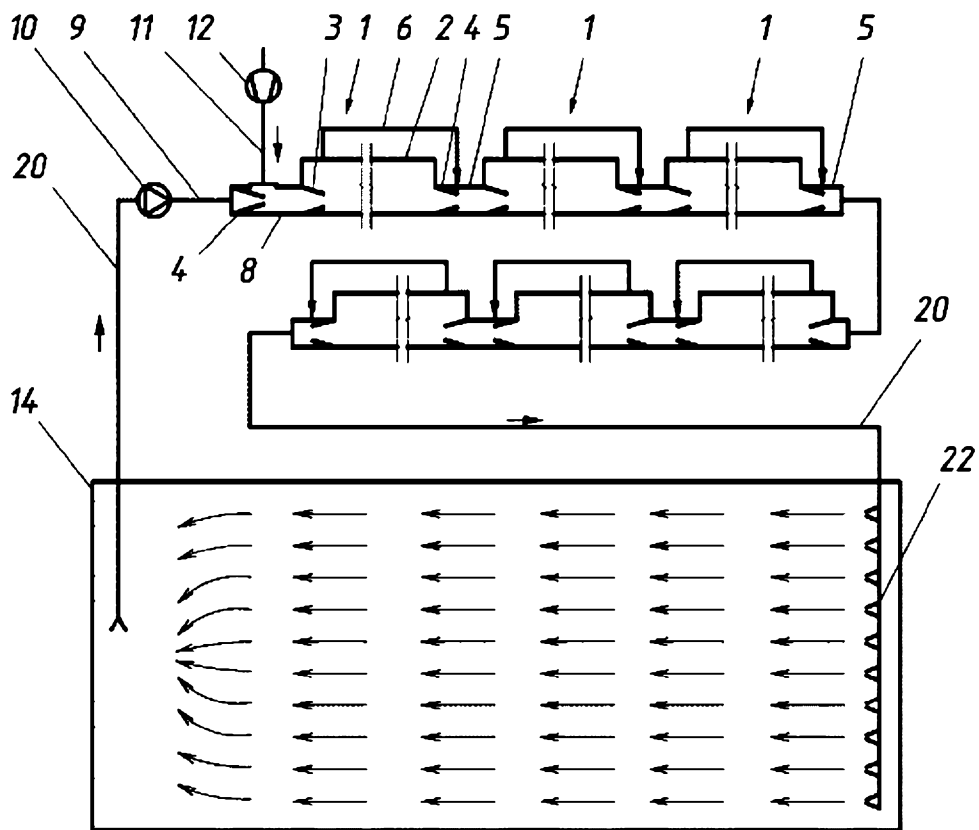


Fig.4

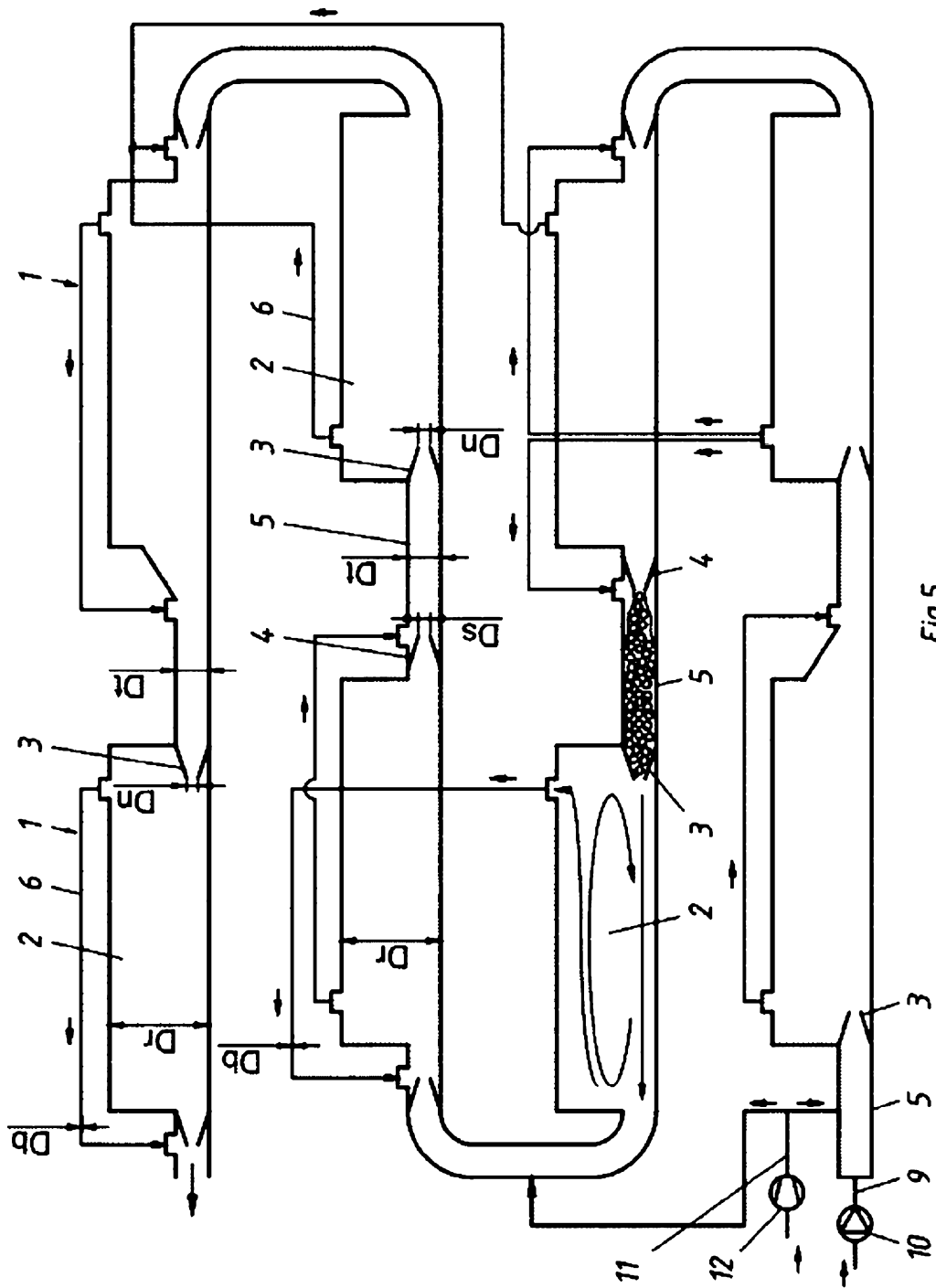


Fig.5

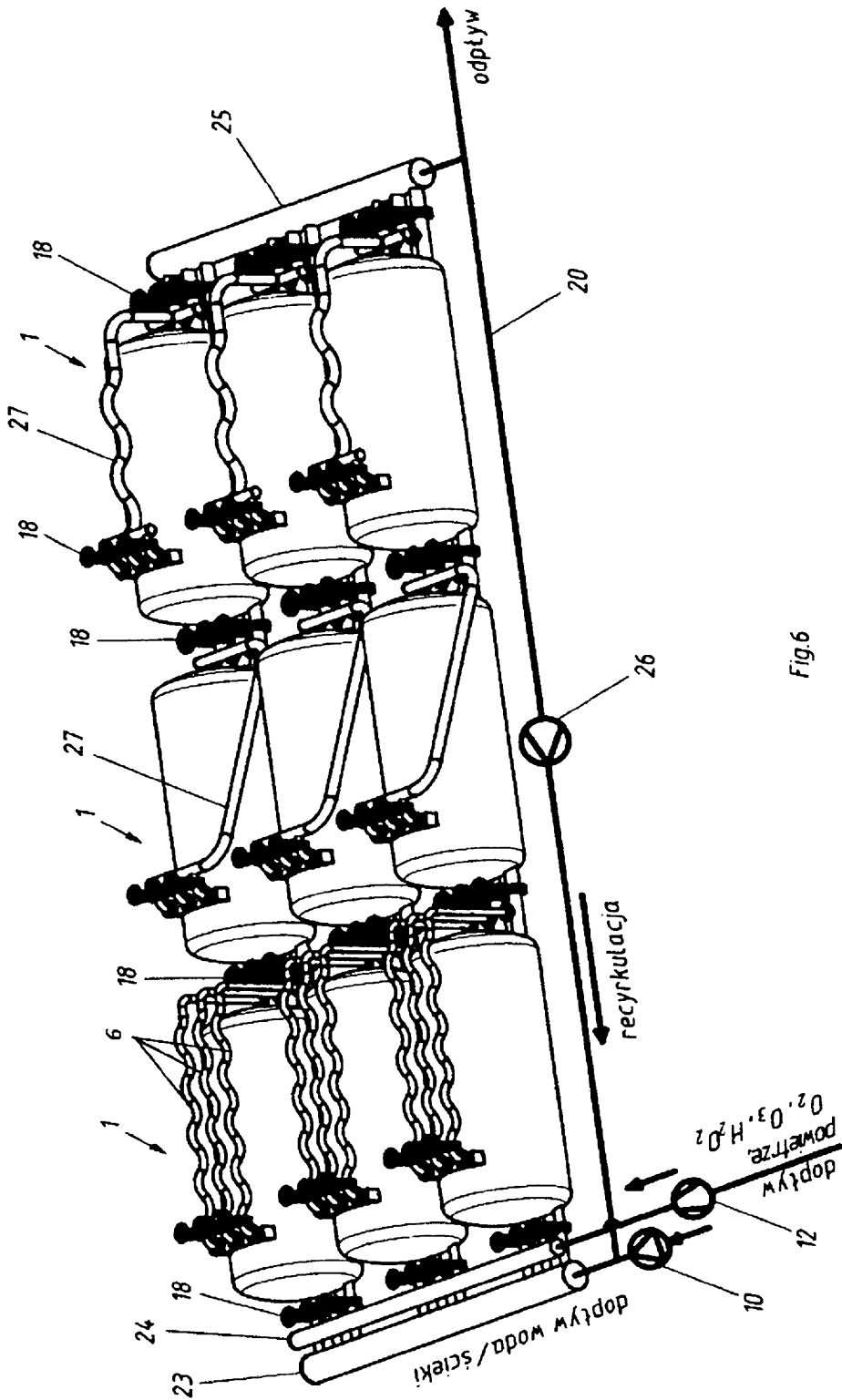


Fig.6

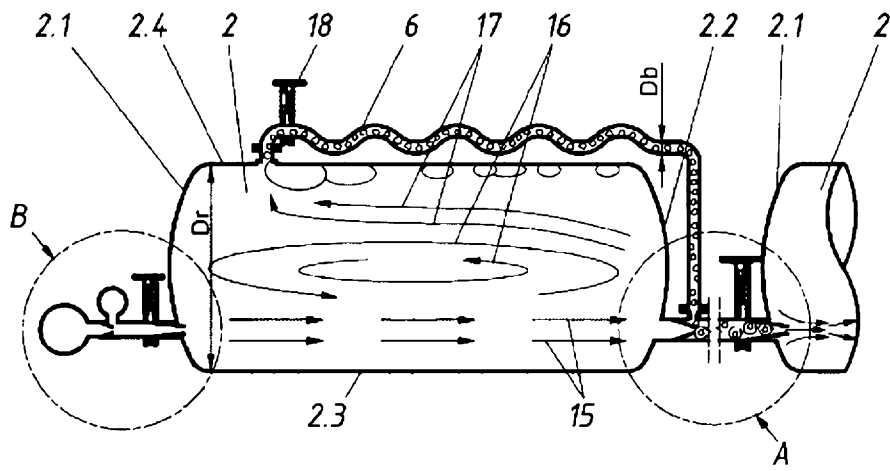


Fig. 7

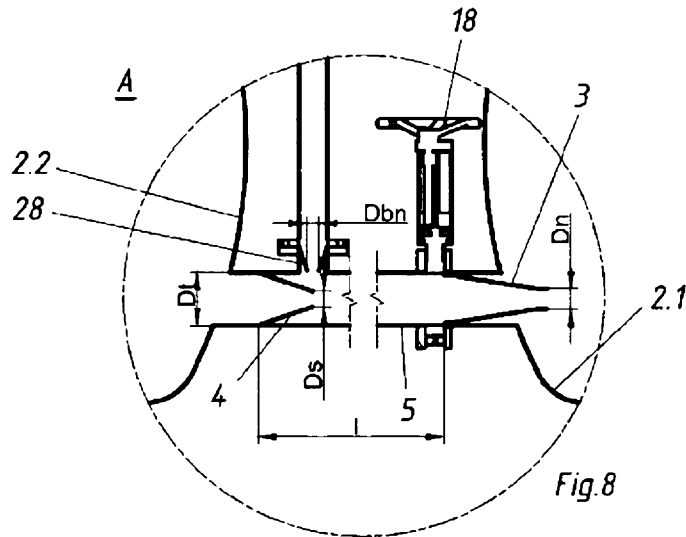


Fig. 8

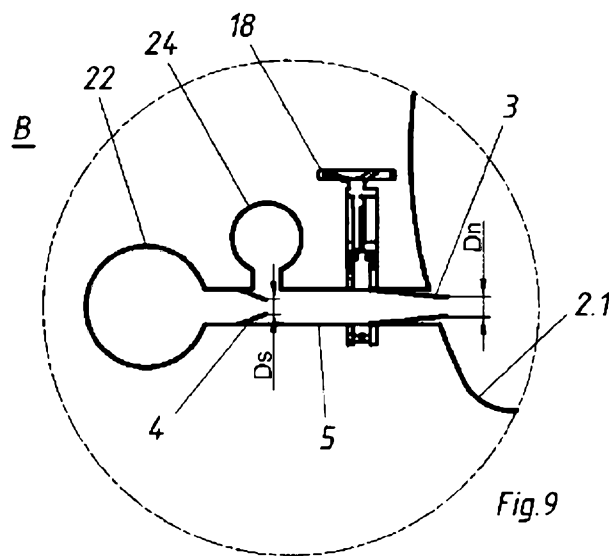


Fig. 9

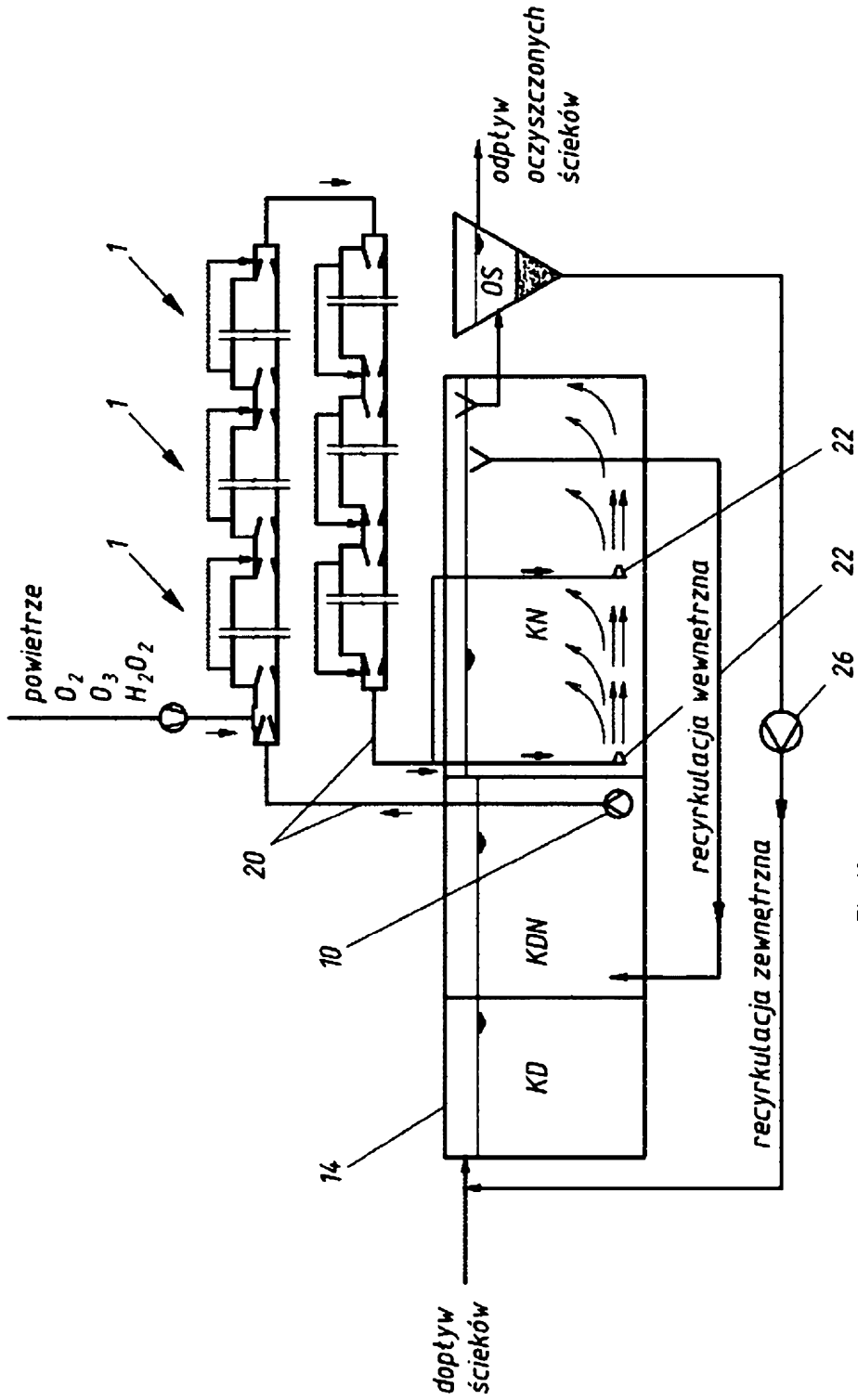


Fig.10