

Mieszalnik hydrauliczny cieczy

Przedmiotem wynalazku jest mieszalnik hydrauliczny cieczy, który może być wykorzystywany do uzyskiwania mieszanin jednorodnych substancji ciekłych w atmosferze gazu.

5 1. Stan techniki mieszania

Proces mieszanie jest niezbędny wtedy, gdy należy zintensyfikować wymianę ciepła i masy, aby osiągnąć lepszą efektywność procesu oraz gdy należy uzyskać mieszaninę. W literaturze dotyczącej mieszania można wyróżnić podział na dwie zasadnicze grupy urządzeń wykorzystywanych do mieszania cieczy:

- 10 • posiadające elementy ruchome zanurzone w cieczy mieszanej – mieszadła, śmigła, pompy, itp.
- nieposiadające elementów ruchomych – mieszalniki pneumatyczne, statyczne, strumieniowe, ultradźwiękowe, wibracyjne.

Mieszalniki nieposiadające elementów ruchomych (MNPER)
15 wykorzystywane są zasadniczo wtedy, gdy:

- struktura substancji w fazie mieszanej (ciekłej) mogłaby ulec degradacji ze względu na istnienie dużych sił ścinających,
- należy ograniczyć ilość elementów ruchomych ze względów bezpieczeństwa, np. możliwość wytworzenia ładunku elektrostatycznego, iskry zapłonowej,
- 20 • należy ograniczyć ilość elementów ruchomych ze względów konstrukcyjnych, procesowych i wydłużenia okresów między otwarciem zbiornika lub braku możliwości otwarcia takiego aparatu,
- konieczne jest dostarczanie gazu do mieszaniny ciekłej mogącej zawierać ciała stałe, np. napowietrzanie ścieków.

25 Mieszanie pneumatyczne wykonywane jest przy pomocy różnego rodzaju bełkotek lub innego rodzaju dystrybutorów gazu zanurzonych w cieczy, która ma być mieszana. Realizowanie procesu odbywa się najczęściej doprowadzając gaz pod ciśnieniem za pomocą pojedynczej rurki (Holland & Chapman, 1966; Kamiński, 1991; Ramm, 1976), przewodem, centrycznie pod mieszadło. Często
30 przewód zakończony jest różnego rodzaju dyszami lub bełkotkami (Błasiński &

Młodziński, 1976; Ramm, 1976), które mogą występować w formie perforowanych rur przyjmujących kształt spiralny (Hiruta et al., 1997) lub pierścieniowy (Hiruta et al., 1997). Często spotykanym rozwiązaniem jest dostarczanie powietrza przez otwór w dnie zbiornika (Frijlink, Bakker, & Smith, 35 1990) lub układ wielu otworów rozmieszczonych w sposób regularny (Pawęcznyk, 1977). Nowoczesnymi konstrukcjami podprowadzającymi gaz są dyfuzory membranowe (Gawroński, 1999). W tym procesie doprowadzany gaz miesza ciecż poprzez zintensyfikowanie turbulencji w całej objętości między dystrybutorem a lustrem ciecży. Główną wadą mieszania pneumatycznego w 40 odniesieniu do substancji niebezpiecznych jest to, że te substancje, często korozyjne, toksyczne czy też radioaktywne mogą znajdować się w gazach wylotowych. Mieszanie pneumatyczne wykorzystywane jest w aparatach typu airlift oraz innych procesach o charakterze biologicznym (Espinosa-Solares, Morales-Contreras, Robles-Martínez, García-Nazarięga, & Lobato-Calleros, 45 2008; Karcz, 2013; Shigeo & Fumitake, 2009)

Różne sposoby mieszania układów dwufazowych (gaz i ciecż) mogą być stosowane razem uzupełniając się wzajemnie, jak to ma miejsce w przypadku połączenia typowego mieszania pneumatycznego z mieszaniem mechanicznym.

Znany jest w technice mieszalnik strumieniowy, w którym mieszanie 50 wytwarzane jest poprzez wtrysk strumienia ciecży przez dyszę o odpowiedniej konstrukcji (Bałdyga, Bourne, & Dubuis, 1995). Podawana ciecż jest dodatkowym składnikiem lub też jest to zassana ciecż z aparatu zbiornikowego. Z tego względu mieszanie strumieniowe w porównaniu do pneumatycznego nie powoduje wytwarzania gazów wylotowych i samo w sobie nie wywołuje tak 55 dużych sił ścinających jak mieszanie mechaniczne, ale wymaga przetłaczania ciecży przez układy pompowe. Dodatkowo ma ograniczone zastosowanie wynikające z wielkości dyszy. W zależności od sposobu umieszczenia dyszy w zbiorniku można uzyskać różne charakterystyki przepływu (Patwardhan, 2003). Przykłady analizy różnorodnych konstrukcji i zastosowań są szeroko opisane w 60 literaturze (Bałdyga et al., 1995; Forney & Nafia, 1998; Patwardhan, 2003; Xu & Huang, 2012).

Podobna do mieszania strumieniowego, co do zasady, jest metoda pulsacyjnego mieszania strumieniowego (z ang. fluidic jet pulse mixing). W pulsacyjnym mieszaniu strumieniowym wykorzystuje się także dysze, tylko, ciecz
65 jest na przemian zasysana i wtryskiwana przez dyszę. Zasysanie cieczy za pośrednictwem dyszy do zasobnika odbywa się poprzez pompę strumieniową, która powoduje w pierwszym cyklu pracy wytworzenie podciśnienia, a następnie poprzez doprowadzenie sprężonego gazu następuje wtrysk cieczy. Zasadę działania pulsacyjnego mieszania strumieniowego przedstawiono w pracy (Kent
70 & Hylton, 1998). Zwiększenie ciśnienia powoduje wytrysk cieczy i obniżenie poziomu cieczy w zasobniku, a nadmiar gazu jest odprowadzany na zewnątrz zbiornika. Metoda ta została z powodzeniem wykorzystana w mieszaniu szlamów i zawiesin w zbiornikach wielkogabarytowych. Metoda pulsacyjnego mieszania strumieniowego znalazła także zastosowanie w mieszaniu ciekłych odpadów
75 nuklearnych (*Innovative Technology Summary Report: AEA FluidicPulse Jet Mixer, DOE/EM-0447, 1999*). Istotną zaletą tej metody jest możliwość zastosowania tej metody w aparatach zbiornikowych wyposażonych w elementy strukturalne czy też gazy łatwopalne.

Patent US 8.469.583 (VanOsdol, 2013) przedstawia urządzenie, które
80 nazywa „radial flow pulse jet mixer”, które służy do mieszania cząstek stałych w cieczy, wytwarzając w ten sposób zawiesinę. Konstrukcja tego urządzenia, a w szczególności jego dna, umożliwia wytworzenie wtrysku przy przepływie z przestrzeni zewnętrznej do wewnętrznej. Wtrysk ten umożliwia poderwanie
85 cząsteczek ciała stałego z dna, poprzez schodzący przepływ pierścieniowy (z ang. dwoncoming flow annulus) i wytworzenie strumienia w przestrzeni środkowej. W tym rozwiązaniu mieszanie odbywa się poprzez zwiększanie ciśnienia w przestrzeni zewnętrznej, a następnie powrót do normalnego ciśnienia. Nie ma tutaj obecnego przepływu w obie strony, tj. z przestrzeni wewnętrznej do zewnętrznej.

W patencie US6036357 (“Submarine-type liquid mixer,” 2000)
90 przedstawiono konstrukcję służącą do mieszania cieczy lepkich z wykorzystaniem elementu posiadającego ujemną wyporność, ale uzyskujący dodatnią po doprowadzeniu gazu, który porusza się w cieczy. Element o ujemnej wyporności

uzyskuje wyporność doprowadzenie do niego gazu, co powoduje jego uniesienie. Natomiast opróżnienie tego elementu z gazu za pomocą specjalnego elementu, 95 powoduje jego opadanie. Podnoszenie i opadanie powoduje mieszania substancji znajdującej się w zbiorniku.

Rozwiązanie według wynalazku ma zbliżoną charakterystykę konstrukcji do komór fermentacyjnych. Niemniej jednak w przypadku komór fermentacyjnych brak jest podstawowej funkcji mieszalnika, jakim jest mieszanie substancji w 100 całej objętości mieszaniny znajdującej się w aparacie. Dodatkowo uzyskuje się mieszanie w skali mikro, o charakterze lokalnym, spowodowane opadaniem cząstek materiału ulegającego fermentacji o różnej wielkości. Istnieją rozwiązania techniczne komór fermentacyjnych, których zadaniem jest produkcja biogazu z odpadów organicznych. Dotychczas znane rozwiązania fermentorów z 105 współśrodkowymi komorami zwanymi układem "kombi" prezentują rozwiązania firm Wabio ("Materiały reklamowe firmy WABIO Technologie Sp. z o.o. ul. Wolności 5/11 01-018 Warszawa," 2014) i VSP ("Verfahren System Pfefferkorn (VSP)," 2014). Rozwiązania te bazują na wspólnym pomysle przetłaczania fermentującego materiału między współśrodkowymi komorami z komory 110 zewnętrznej do wewnętrznej i na odwrót. Zamysł pracy polega na rozdzieleniu przepływu na dwie fazy. Faza powolnej destabilizacji poziomów w komorze zewnętrznej i wewnętrznej zachodzi dzięki zwiększeniu nadciśnienia produkowanego biogazu w zbiorniku zewnętrznym. Faza wyrównania poziomów ma za zadanie dynamiczne przetłoczenie substratu z komory wewnętrznej do 115 zewnętrznej celem wytworzenia zawirowań w komorze zewnętrznej. W obu przedstawionych systemach dochodzi do permanentnego odprowadzania wytworzonego biogazu z komory zewnętrznej. Systemy komór fermentacyjnych VSP i Wabio charakteryzuje się destabilizacją poziomów cieczy w komorach, co następuje dzięki wytworzeniu nadciśnienia przez biogaz produkowany w 120 objętości komory zewnętrznej. Nie następuje w ciągu pracy, destabilizacja poziomów cieczy w wyniku wzrostu ciśnienia biogazu produkowanego w komorze wewnętrznej. Komora wewnętrzna odprowadza wytworzony biogaz w sposób ciągły. System komór wyposażony jest w układ kierownic

przymocowanych do wspólnego dna. Zadaniem kierownic jest wytworzenie
 125 zawirowań w komorze zewnętrznej podczas dynamicznego wyrównania ciśnień
 między komorami. Efekt zawirowań w komorze wewnętrznej uzyskuje się
 podczas powolnego przetłaczania dzięki tym samym kierownicom na dnie
 zbiornika. Różnice w układzie fermentora VSP lub Wabio oraz autorskiego
 mieszalnika hydraulicznego cieczy należy sprecyzować jako:

- 130
- brakiem elementów kierujących przepływ umieszczonych na dnie aparatu
 zbiornikowego,
 - intensyfikację procesu mieszania w dwóch kierunkach (przetłaczanie do i z
 komór) na zasadzie wykorzystania różnicy ciśnień między komorą zewnętrzną
 a wewnętrzną, a nie wyłącznie nadciśnienia wytworzonego biogazu w komorze
 135 zewnętrznej komór fermentacyjnych,
 - zamknięcie wypływu gazów z komory wewnętrznej w czasie pracy
 mieszalnika.

Wyżej przedstawione przykłady znane w stanie techniki nie pozwalają na:

- 140
- efektywne mieszanie cieczy w całej jej objętości znajdującej się w aparacie
 zbiornikowym bez wykorzystania elementów ruchomych zanurzonych w
 mieszaninie, dysz lub dystrybutorów gazu,
 - efektywne mieszanie cieczy zawierających substancje mogące ulec
 mechanicznej degradacji przy znaczących i długotrwałych naprężeniach,
 - w pełni bezpiecznego mieszania substancji palnych, łatwopalnych i
 145 wybuchowych poprzez zawarcie elementów ruchomych co jest
 charakterystyczne dla wielkogabarytowych mieszalników mechanicznych,
 - nie wytworzenie oparów gazowych w wyniku mieszania pneumatycznego.

2. Istota rozwiązania

Istotą rozwiązania według wynalazku jest mieszalnik hydrauliczny cieczy
 150 zawierający pionową obudowę zewnętrzną, umieszczony w obudowie
 zewnętrznej współśrodkowo element wewnętrzny zbiornikowy oraz połączony z
 układem doprowadzającym ciecz i gaz, w którym odległość dowolnego punktu na
 powierzchni wewnętrznej obudowy zewnętrznej, za wyjątkiem powierzchni
 poziomych wewnętrznych tej obudowy, oraz punktu na powierzchni zewnętrznej

- 155 elementu wewnętrznego zbiornikowego, za wyjątkiem powierzchni poziomych tego elementu, jest większa od zera. Natomiast wewnętrzny element zbiornikowy z układem doprowadzającym gaz przyłączony jest do górnej powierzchni wewnętrznego elementu zbiornikowego. Dodatkowo w dolnej części elementu wewnętrznego zbiornikowego poniżej linii cieczy występuje przestrzeń
- 160 umożliwiająca przepływ pierścieniowy cieczy pomiędzy przestrzenią powierzchni wewnętrznej obudowy zbiornika i zewnętrznej elementu wewnętrznego zbiornikowego oraz przepływu tłokowego w elemencie wewnętrznym zbiornikowym. Korzystnym jest, kiedy w przestrzeni umożliwiającej przepływ cieczy pomiędzy przestrzeniami zbiorników obudowy zewnętrznej i elementu
- 165 wewnętrznego zbiornikowego wyznaczana jest krawędź dolna elementu wewnętrznego, która jest równoległa lub skośna do powierzchni wewnętrznej obudowy zewnętrznej, przy czym odległość pomiędzy krawędzią a powierzchnią jest większa od zera. Ponad to korzystnym jest, kiedy powierzchnie wewnętrzne obudowy zewnętrznej oraz elementu wewnętrznego zbiornikowego stykające się z
- 170 cieczą roboczą mają kształt skręconego cylindra wyznaczonego na podstawie obroconych krzywych zamkniętych, wypukłych i różniczkowalnych. Dodatkowo korzystnym jest, kiedy na powierzchni wewnętrznej obudowy, powierzchni zewnętrznej elementu wewnętrznego zbiornikowego, lub powierzchni wewnętrznej elementu wewnętrznego zbiornikowego znajduje się co najmniej
- 175 jedna przegroda prostopadła lub skośna do kierunku przepływu. Znamienne dla wynalazku jest możliwość jego użytkowania w trybie pracy ciągłej, półciągłej, półokresowej i okresowej.

Rozwiązanie według wynalazku pozwala:

- wyeliminować problem odprowadzania ładunków elektrostatycznych z aparatu
- 180 w czasie procesu mieszania,
- wyeliminować okresowe otwierania zbiornika w celu inspekcji stanu mieszadła, wału i uszczelnienia w porównaniu do mieszalników mechanicznych,
 - wyeliminować okresowe otwierania zbiornika w celu inspekcji stanu dyszy
- 185 w porównaniu do mieszalników strumieniowych i membranowych lub innych

- dystributorów gazu w porównaniu do mieszalników pneumatycznych,
- ograniczyć do minimum powstawania dodatkowych oparów i gazów odlotowych w porównaniu do mieszalników pneumatycznych,
 - dobierając odpowiednie warunki pracy, tj. wielkość szczeliny oraz szybkość zmiany poziomu cieczy, ograniczyć destrukcje cząsteczek wielkocząsteczkowych wrażliwych na siły ścinające występujące przy mieszadłach oraz przy samej dyszy,
 - wyeliminować powstawanie leja oraz ograniczyć powstawania fal na powierzchni cieczy i aerozoli w porównaniu do mieszalników mechanicznych, pneumatycznych i strumieniowych,
 - ograniczenie kosztów przeglądu ze względu na brak częstej konieczności otwierania aparatu,
 - ograniczenie kosztów związanych z wypompowywaniem mieszaniny cieczy, gdyż możliwe jest wykorzystanie poduszki gazowej do opróżnienia aparatu z cieczy.

3. Przykłady realizacji

Wynalazek w przykładzie realizacji pokazano na fig. 1 który przedstawia przykład wykonania mieszalnika hydraulicznego MH1 w przekroju wzdłuż osi L3 oraz w przekroju prostopadłym do osi L3 w miejscu A-A. Natomiast na fig. 2 przedstawiono w sposób szczegółowy przekrój prostopadły do osi L3 elementu wewnętrznego zbiornikowego 4 w mieszalniku MH1.

Na fig. 3 przedstawiono przykład realizacji mieszalnika hydraulicznego MH2, w którym element wewnętrzny zbiornikowy 4 znajduje się całkowicie wewnątrz obudowy.

Na fig. 4 przedstawiono przekrój wzdłuż osi L1 lub L2 przedstawiający powierzchnię stykającą się z cieczą. Powierzchnią stykającą się z cieczą jest część powierzchni 3a, 5a lub 6a znajdująca się poniżej linii cieczy.

Na fig. 5 przedstawiono przekrój prostopadły do L1 lub L3 przykładu realizacji elementu wewnętrznego 4: E4-1.

215 Na fig. 6 znajduje się przekrój przez element wewnętrzny 4 w przykładzie realizacji E4-2, gdzie przekrój powierzchni zewnętrznej elementu wewnętrznego zbiornikowego (5a) ma kształt owalu, a przekrój powierzchni wewnętrznej tego elementu (6a) ma kształt kulisty.

220 Na fig. 7 znajduje się przekrój przez element wewnętrzny 4 w przykładzie realizacji E4-3, gdzie przekrój powierzchni zewnętrznej (5a) i wewnętrznej (6a) elementu wewnętrznego zbiornikowego mają kształty owalu.

Fig. 8 przedstawia przykład realizacji mieszalnika hydraulicznego MH3 z umieszczonymi przegrodami zaburzającymi przepływ pierścieniowy.

225 Na fig. 9 przedstawiono schemat technologiczny do mieszania hydraulicznego, w którym uwzględniono także system kontrolno-sterujący, układ dostarczający oraz odbierający gaz.

Fig. 10 przedstawia schemat cyklu mieszania hydraulicznego w mieszalniku uwzględniający charakterystyczne zmiany wysokości cieczy w obudowie i elemencie wewnętrznym zbiornikowym aparatu w czasie.

230 Na fig. 11 przedstawiono schemat zbudowanego rozwiązania konstrukcyjnego mieszalnika hydraulicznego cieczy.

Natomiast na fig. 12 znajduje się wykres obrazujący zmianę wysokości słupa cieczy w mieszalniku hydraulicznym cieczy sterowanego zmianami ciśnienia zadanego w teście wykonanym na przykładzie wykonania MH4.

235 3.1. Przykład realizacji mieszalnika hydraulicznego cieczy MH1

Mieszalnik hydrauliczny cieczy według wynalazku w przykładzie wykonania MH1 przedstawiono na rysunku, na którym fig. 1 pokazuje przekrój mieszalnika hydraulicznego wzdłuż osi symetrii urządzenia L3 oraz przekrój A-A prostopadły do osi L3. W skład MH1 wchodzi dwa główne elementy konstrukcyjne:

- Obudowa zewnętrzna 1 posiadająca powierzchnię zewnętrzną 2 i powierzchnię wewnętrzną 3. W powierzchni wewnętrznej można wyróżnić powierzchnie: ścian 3a, dna dolnego 3b i dna górnego 3c.
 - Element wewnętrzny zbiornikowy 4 znajdujący się wewnątrz obudowy zewnętrznej 1. Element 4 posiada powierzchnię zewnętrzną 5 i wewnętrzną 6.
- 245

W powierzchni wewnętrznej 6 można wyróżnić powierzchnię ścian 6a oraz powierzchnię dna górnego 6b. W powierzchni zewnętrznej 5 wyróżnia się powierzchnię ścian 5a i powierzchnię dennicy górnej 5b. W przykładzie wykonania MH1 element 4 ma kształt wydrążonego cylindra o grubości g_4 , jego przekrój przedstawiono na fig. 2, i nie posiada dna dolnego. Element 4 zakończony jest od dołu krawędzią 10.

W obudowie zewnętrznej 1 od strony powierzchni wewnętrznej 3 można wyróżnić trzy przestrzenie:

- Przestrzeń gazową 7, w której znajduje się gaz między powierzchnią wewnętrzną 3 a powierzchnią zewnętrzną 5 i jest ograniczony od dołu powierzchnią międzyfazową ciec-z-gaz 13z;
- Przestrzeń cieczy 8, w której znajduje się ciecz między powierzchnią wewnętrzną 3 a powierzchnią zewnętrzną 5 i jest ograniczony od góry powierzchnią międzyfazową ciec-z-gaz 13z;
- Przestrzeń wspólną cieczy 9, w której znajduje się ciecz między powierzchnią wewnętrzną 3 a powierzchnią 15 wyznaczoną przez krawędź 10 elementu 4.

W elemencie 4 od powierzchni wewnętrznej 6 można wyróżnić dwie przestrzenie:

- Przestrzeń gazową 11, w której znajduje się gaz między powierzchnią wewnętrzną 6 i jest ograniczony od dołu powierzchnią międzyfazową ciec-z-gaz 13w;
- Przestrzeń cieczy 14, w której znajduje się ciecz ograniczona powierzchnią 6, powierzchnią międzyfazową gaz-ciecz 13w od góry i powierzchnią wyznaczoną przez krawędź 10 elementu 4.

Elementy 1 i 4 są bryłami obrotowymi, które posiadają odpowiednio oś symetrii L1 dla elementu 1 i L2 dla elementu 4. Osie L1 i L2 są prostopadłe do wektora siły ciężkości. Osie L1 i L2 pokrywają się ze sobą, tworząc wspólną oś L3 urządzenia.

Obudowa zewnętrzna 1 posiada w sobie otwory pozwalające na wykonanie przyłączy C1, C2 i C3 przedstawionych na fig. 1. Połączenie C1 umożliwia wprowadzenie i odebranie mieszaniny ciekłej z MH1, połączenie C2 umożliwia

doprowadzenie i odprowadzenie gazu z przestrzeni 7, połączenie C3 umożliwia doprowadzenie i odprowadzenie gazu z przestrzeni 11. Powierzchnia dna dolnego 3b jest powierzchnią płaską prostopadłą do wektora siły ciężkości.

- 280 Krawędź 10 jest częścią integralną elementu 4, która powstaje na styku powierzchni 15 prostopadłej do osi L2 i końca elementu 4. Powierzchnia 15 w przykładzie wykonania MH1 jest powierzchnią płaską i prostopadłą do wektora siły ciężkości. Długość odcinka linii prostej mający początek na krawędzi 10 a koniec na powierzchni 3b, i będący równoległy do osi L2 nazywany jest
- 285 wysokością szczeliny 16. Wysokość szczeliny 16 jest w tym rozwiązaniu taka sama w całej przestrzeni między krawędzią 10 a powierzchnią 3b. Odległość między powierzchnią 5a a powierzchnią 3a jest zwana odległością pierścieniową 17. Odległość pierścieniowa mierzona jest na dowolnej powierzchni równoległej do powierzchni 15 przechodzącej przez powierzchnie 3a i 5a.
- 290 Przedstawione cechy konstrukcyjne wynalazku w jego przykładzie realizacji MH1 pozwalają na kreowanie przepływu pierścieniowego cieczy z obudowy 1 do elementu wewnętrznego zbiornikowego 4, poprzez przestrzeń wspólną 9 i odwrotnie, a przepływ ten objawia się zmianą wysokości cieczy przestrzeni 8, oznaczonej H, i przestrzeni 14, oznaczonej h, i jest wywołany zmianą różnicy
- 295 ciśnień w przestrzeniach 7 i 11. Istotą procesu mieszania hydraulicznego jest generowanie naprzemiennej różnicy wysokości cieczy H i h, co powoduje wytworzenie przepływu przez szczelinie 16 oraz przepływu o charakterze pierścieniowym w przestrzeni 8 i przestrzeni 14. Przepływ pierścieniowy uzyskiwany jest w przestrzeni 8, a przepływu tłokowego w przestrzeni 14. Na
- 300 przemienne generowanie przepływu z przestrzeni 8 do 14 i z 14 do 8 pozwala na generowanie takich zaburzeń w mieszaniu cieklej i zmiany profili prędkości przepływu cieczy, które pozwalają uzyskać pożądany stopień wymieszania. Do zmiany ciśnienia wykorzystywany jest system dostarczający i odbierający gaz, a czas i miejsce dostarczenia i odbierania gazu jest sterowane przez system
- 305 pomiarowo-kontrolny.

3.2. Przykład realizacji mieszalnika hydraulicznego cieczy MH2

Przykład realizacji mieszalnika hydraulicznego cieczy MH2 przedstawiony na fig. 3 wyróżnia się umieszczeniem elementu wewnętrznego zbiornikowego 4 całkowicie wewnątrz obudowy 1; a połączenie C3 łączy się tylko z elementem 4
 310 przechodząc przez element 1. MH2 wyróżnia się istnieniem połączenia C4 umożliwiającego cieczy do i z przestrzeni 14 z zewnątrz, takie połączenie C4 oraz połączenie C1 umożliwia pracę ciągłą, okresową i półciągłą urządzenia. Ponad to powierzchnia 5b w przekroju płaszczyzny równoległej do osi L3 i przechodzącej przez L3 ma kształt krzywej otwartej wypukłej i różniczkowalnej, który
 315 umożliwia swobodny spływ cieczy. Powierzchnia 6b w przekroju płaszczyzny równoległej do osi L3 i przechodzącej przez L3 ma kształt krzywej otwartej wypukłej i różniczkowalnej. W przekroju B-B urządzenia MH2 widoczne są elipsa i okrąg, co umożliwia powstanie nierównomiernego przepływu pierścieniowego w przestrzeni 8. Dodatkowe zaburzenie w przepływie, a co za
 320 tym idzie lepsze wymieszenie w krótszym czasie powoduje nie równomierna wielkość szczeliny 16.

3.3. Przykład realizacji powierzchni stykającej się z cieczą

Kształt istotnych powierzchni stykającej się z cieczą, takich jak 3a, 5a lub 6a może przybierać kształt w przekroju przedstawionym na fig. 4. Krawędź tego
 325 przekroju powstaje, gdy w płaszczyźnie prostopadłej do osi L1, L2 lub L3 krawędź krzywej zamkniętej wypukłej i różniczkowalnej jest obracana i podnoszona w płaszczyźnie prostopadłej do osi L1, L2 lub L3. Znamienne dla takiego ukształtowania płaszczyzny powierzchni stykającej się z cieczą przedstawioną na fig. 4. jest to, że będzie on powodował skręcenie przepływu
 330 pierścieniowego lub tłokowego w stosunku do wektora grawitacji.

3.4. Przykład realizacji elementu wewnętrznego 4

Integralnym elementem mieszalnika hydraulicznego jest element wewnętrzny zbiornikowy 4 urządzenia, który został przedstawiony na fig. 5, fig. 6 i fig. 7 w przekrojach prostopadłych do osi L2.

335 W przypadku wykonania E4-1, przedstawionego na fig. 5, krawędź
wynikająca z przekroju prostopadłego do urządzenia i odpowiadająca powierzchni
5a ma kształt okręgu, a krawędź wynikająca z powierzchni wewnętrznej elementu
wewnętrznego 6a ma kształt krzywej zamkniętej wypukłej i różniczkowalnej.
Takie ukształtowanie elementu wewnętrznego skutkuje zmienną grubością g4
340 elementu i umożliwia wytworzenie zaburzeń w przepływie pierścieniowym
poprzez zmienną drogę płynu przepływającego z przestrzeni wewnętrznej cieczy
do przestrzeni zewnętrznej cieczy, jak i odwrotnie.

W przypadku wykonania E4-2, przedstawionego na fig. 6, krawędź
wynikająca z przekroju prostopadłego do urządzenia i odpowiadająca powierzchni
345 5a ma kształt krzywej zamkniętej wypukłej i różniczkowalnej, a krawędź
wynikająca z powierzchni wewnętrznej elementu wewnętrznego 6a ma kształt
okręgu. Takie ukształtowanie elementu wewnętrznego skutkuje zmienną
grubością g4 elementu i powoduje wytworzenie zaburzeń w przepływie tłokowym
poprzez zmienną drogę płynu przepływającego z przestrzeni zewnętrznej cieczy
350 do przestrzeni wewnętrznej cieczy, jak i odwrotnie.

W przypadku wykonania E4-3, przedstawionego na fig. 7, krawędzie
wynikające z przekroju prostopadłego do urządzenia i odpowiadające
powierzchniom 5a i 6a mają kształt krzywych zamkniętych wypukłych i
różniczkowalnych. Takie ukształtowanie elementu wewnętrznego skutkuje
355 zmienną grubością g4 elementu i umożliwia wytworzenie zaburzeń w przepływie
tłokowym i pierścieniowym.

3.5. Przykład realizacji mieszalnika hydraulicznego cieczy MH3

Przykład realizacji mieszalnika hydraulicznego cieczy MH3 przedstawiony
na fig. 8 posiada umieszczone poprzecznie do drogi przepływu pierścieniowego
360 elementy zaburzające przepływ zwane przegrodami i oznaczone numerem 19.
Elementy zaburzające przepływ przymocowane są do powierzchni wewnętrznej
3a, powierzchni zewnętrznej 5a i powierzchni wewnętrznej 6a. Zastosowanie
elementów zaburzających jest szczególnie porządane przy dużych średnicach
aparatów oraz znaczącej lepkości cieczy.

365 Znamienne dla przykładu realizacji mieszalnika hydraulicznego cieczy MH3 jest brak krawędzi 10 i istnienie otworów 20 umożliwiających przepływ bezpośrednio z przestrzeni 8 do 14, i na odwrót.

3.6. Przykład realizacji procesu mieszania hydraulicznego

Mieszalnik hydrauliczny cieczy przedstawiony na schemacie technologicznym fig. 9 wyposażony w:

1. systemu sterowania 101, który ma charakter układu pomiarowo-kontrolnego. System 101 wykorzystuje do sterowania MH informacje otrzymywane z:
 - urządzenia pomiarowego ciśnienia gazu w obudowie 1 – P1 i/lub urządzenia mierzącego wysokość słupa cieczy w elemencie 1 – L1;
 - 375 • urządzenia pomiarowego ciśnienia w elemencie wewnętrznym zbiornikowym 2 – P2 i/lub urządzenia mierzącego wysokość słupa cieczy w elemencie wewnętrznym zbiornikowym 2 – L2;
2. urządzeń odcinających dopływ gazu (102, 103, 104, 105). Takimi urządzeniami mogą być sterowalne pneumatycznie zawory kulowe.
- 380 3. systemu dostarczającego gaz pod odpowiednim ciśnieniem i z danym natężeniem przepływu 106;
4. połączeń umożliwiających dostarczenie i odebranie cieczy z przestrzeni 8, 9 i/lub 14, które odpowiednio przedstawiono na fig. 9 jako przewody 116, 117 i 118.

385 Mieszalnik hydrauliczny może wykorzystywać także:

1. System odprowadzający gaz 107, który współdziała z systemem 106 w celu minimalizacji strat gazu lub optymalizacji zużywanej energii na tłoczenie gazu.
2. Ciśnieniowych zaworów bezpieczeństwa PR-1 i PR-2.
3. Układ komunikacyjny między systemem 101 a systemem 106 i 107.
- 390 4. Układ sterujący 101 otrzymujący sygnały:
 - SL1, który niesie informację o poziomie cieczy w elemencie 1,
 - SP1, który niesie informację o ciśnieniu w elemencie 1,
 - SL2, który niesie informację o poziomie cieczy w elemencie 4,
 - SP2, który niesie informację o ciśnieniu w elemencie 4,

395 5. Układ sterujący 101 wysyłający:

- sygnał S102 do urządzenia odcinającego 102 stanowiące o otwarciu i zamknięciu urządzenia 102,
- sygnał S103 do urządzenia odcinającego 103 stanowiące o otwarciu i zamknięciu urządzenia 103,
- 400 • sygnał S104 do urządzenia odcinającego 104 stanowiące o otwarciu i zamknięciu urządzenia 104,
- sygnał S105 do urządzenia odcinającego 105 stanowiące o otwarciu i zamknięciu urządzenia 105.

Układ sterujący 101 posiada właściwość umożliwiającą działanie według
405 algorytmu, który powoduje cykliczny i określony w czasie przepływ cieczy z przestrzeni 14 do 8 poprzez 9 i z 8 poprzez 9 do 14, wywołując w ten sposób przepływ pierścieniowy, odpowiednio, z wewnątrz, oznaczony FAI i z zewnątrz oznaczony FAO na fig. 9.

Cykl pracy mieszania hydraulicznego instalacji przedstawionej na fig. 9
410 został przedstawiony na fig. 10. W stanie spoczynku urządzenia, w czasie t_0 , tj. wyrównania ciśnień, w obudowie zbiornika 1 i elemencie wewnętrznym 4 znajduje się ciecz na takim samym poziomie, a w pozostałych przestrzeniach 7 i 11 znajduje się gaz pod takim samym ciśnieniem. W czasie t_1 następuje taka
415 zmiana ciśnienia gazu w przestrzeni 7 i 11 poprzez doprowadzenie lub odprowadzenie gazu, co powoduje zwiększenie poziomu cieczy w przestrzeni 14 do h_1 i obniżenie poziomu cieczy w przestrzeni 8 do H_1 . Taka zmiana ciśnienia powoduje przepływ pierścieniowy FAO z przestrzeni 8 poprzez przestrzeń
wspólną 9 do przestrzeni 14. Po osiągnięciu poziomu h_1 i H_1 następuje czas relaksacji układu tr_1 , w którym nie następują żadne zmiany ciśnień ani wysokości
420 cieczy, i który może wynosić zero. Następnie w czasie t_2 , następuje taka zamiana ciśnienia gazu w przestrzeni 7 i 11 poprzez doprowadzenie lub odprowadzenie gazu, co powoduje zmniejszanie poziomu z h_1 do h_2 i zwiększenie z H_1 do H_2 . Po osiągnięciu poziomu h_2 i H_2 następuje czas relaksacji układu tr_2 , który może
425 wynosić zero. W kolejnym etapie, czas t_3 , następuje taka zmiana ciśnień gazu w przestrzeni 7 i 11 poprzez doprowadzenie lub odprowadzenie gazu, która

powoduje zmniejszenie poziomu cieczy w przestrzeni 14 do h_3 i zwiększenie poziomu cieczy w przestrzeni 8 do H_3 . Taka zmiana ciśnienia powoduje przepływ pierścieniowy FAI z przestrzeni 14 poprzez przestrzeń wspólną 9 do przestrzeni 8. Po osiągnięciu poziomu h_3 i H_3 następuje czas relaksacji układu tr_3 , który może
 430 wynosić zero. Po czasie tr_3 , w czasie t_4 , następuje taka zmiana ciśnień gazu w przestrzeni 7 i 11 poprzez doprowadzenie lub odprowadzenie gazu, co powoduje zwiększenie poziomu cieczy w przestrzeni 14 do h_4 i zmniejszenie poziomu cieczy w przestrzeni 8 do H_4 . Znamienne jest to, że proces mieszania hydraulicznego cieczy może być prowadzony w sposób cykliczny od czasu t_1 do
 435 tr_4 , przez dowolnie długi czas w zależności od wymagań procesowych. Proces mieszania hydraulicznego może składać się z dowolnej liczby cykli, które mogą różnić się ustawieniami między sobą poszczególnych czasów ($t_1, t_2, t_3, t_4, tr_1, tr_2, tr_3, tr_4$), wysokości ($H_1, H_2, H_3, H_4, h_1, h_2, h_3, h_4$) oraz ciśnień w przestrzeniach 7 i 11 odpowiadającym poszczególnym czasom ($t_1, t_2, t_3, t_4, tr_1, tr_2, tr_3, tr_4$). W okresach czasu relaksacji ($tr_0, tr_1, tr_2, tr_3, tr_4$) nie ma przepływu
 440 typu FAO ani FAI. Czasy relaksacji mogą być sobie równe lub zmieniać się w czasie prowadzenia procesu mieszania hydraulicznego cieczy.

Mieszalnik hydrauliczny może działać w sposób okresowy, półokresowy lub ciągły. Mieszalniki hydrauliczne cieczy mogą pracować pojedynczo lub w
 445 bateriach w zależności od wymagań procesowych.

Przykład realizacji MH4 potwierdza ideę działania mieszalnika oraz jego odpowiednią konstrukcję. Konstrukcja MH4 została przedstawiona na fig. 11. W przeprowadzonym teście na konstrukcji MH4, wysokości cieczy, którą stanowiła woda, H_0 i h_0 wynosiły 15 cm. W czasie t_0 wprowadzono 15 ml niebieskiego
 450 barwnika (20% r-r wodny ultramaryny) do górnej części przestrzeni 14, po odczekaniu ok. 75 s, barwnik dotarł do krawędzi 10 i wtedy rozpoczęto cykl, którego parametry przedstawiono na rys. 12. Parametrami, którymi sterował system 101 było zadane ciśnienie w przestrzeni 7 – P1 oraz ciśnienie w przestrzeni 11 – P2. Ciśnienie zadane P1 wynosiło 400 hPa, ciśnienie zadane P2 wynosiło 150 hPa a ciśnienie P0 było równe ciśnieniu atmosferycznemu.
 455 Poszczególne ciśnienia odpowiadały odpowiednim wysokością $H_1 = 8$ cm,

460 $h_3 = 5 \text{ cm}$ i $H_2 = h_2 = H_4 = h_4 = 15$. W tabeli 1 zestawiono zaobserwowaną wizualnie wysokości barwnika Hb w przestrzeni 8 w czasie mieszania hydraulicznego t. W czasie t_0 , t_2 i t_4 wysokość barwnika w przestrzeni 14 hb była równa 15 cm, czyli od powierzchni międzyfazowej 13w przestrzeni 14 do powierzchni 15. Całkowite wymieszanie osiągnięto wtedy, gdy zaobserwowana wysokość barwnika Hb była równa wysokości powierzchni międzyfazowej gaz – ciecz 13z w obudowie 1 w czasie t_4 , tj. gdy Hb było równe H_0 . Całkowite wymieszanie osiągnięto po 499 s.

t [s]	Nr cyklu	Hb [cm]	Hb [cm]
0	1	0	15
26	1	5	15
48	2	10	15
80	3	11	15
129	5	14	15
242	9	14,5	15
499	19	15	15

465

Tabela 1. Wyniki obserwacji mieszania barwnika z wodą w mieszalniku hydraulicznym

3.7. Zastosowania mieszalnika hydraulicznego

Mieszalnik hydrauliczny może być stosowany w procesach, w których:

- 470
- występują substancje palne i wybuchowe,
 - występują substancje palne o niskiej przewodności elektrycznej,
 - występują substancje posiadające zdolność do akumulacji ładunków elektrycznych,
 - występują substancje, które ulegają degradacji w przepływie ścinającym,
- 475
- niepożądane są elementy ruchome kontaktujące się z mieszaną cieczą.

REKTOR
POLITECHNIKI POZNAŃSKIEJ
prof. dr hab. inż. Tomasz Łodygowski