

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **235081**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **418766**

(51) Int.Cl.  
**C10B 53/00 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **20.09.2016**

(54) **Sposób jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych oraz urządzenie do wysokoefektywnej jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:  
**26.03.2018 BUP 07/18**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:  
**18.05.2020 WUP 05/20**

(73) Uprawniony z patentu:

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,  
KRAKÓW, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**MIROSLAW KWIATKOWSKI, Kraków, PL**

(74) Pełnomocnik:

**recz. pat. Andrzej Rosa**

**PL 235081 B1**

## Opis wynalazku

### Dziedzina techniki:

Wynalazek dotyczy unikalnego rozwiązania wysoce efektywnej jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych. Wynalazek ten przeznaczony jest dla dziedziny techniki obejmującej karbonizację i aktywację materiałów odpadowych pochodzenia biomasowego (takich jak twarde gątki drewna, skorupy orzechów, pestki owoców itp.) oraz innych materiałów organicznych (takich jak węgle kamienne, tworzywa sztuczne, zużyte opony itp.) wykorzystywanych w procesach produkcji węgla aktywnych.

### Stan techniki:

Konieczność otrzymania wysokiej jakości adsorbentów węglowych w tym węgla aktywnych o ściśle określonych oraz powtarzalnych właściwościach adsorpcyjnych, powierzchniowych i mechanicznych, pociągają za sobą potrzebę nieustannego doskonalenia technologii ich produkcji. Jednym z najważniejszych etapów procesu otrzymywania węgla aktywnych jest karbonizacja, będąca procesem termicznej obróbki materiałów prowadzonym bez dostępu powietrza i bez udziału czynników chemicznych, w temp. 500–1000°C, w atmosferze gazów pirolitycznych lub gazu obojętnego tj. azotu lub argonu. W czasie procesu karbonizacji w wyniku wydzielania się z surowców lotnych substancji, następuje wzbogacenie materiału w pierwiastek C, a w rezultacie postępujących procesów polimeryzacji i polikondensacji powstaje coraz bardziej jednorodna struktura materiału. Od parametrów procesu karbonizacji w dużej mierze zależy powstanie pierwotnej struktury porowatej, która następnie jest jedynie rozwijana lub modyfikowana podczas procesu aktywacji który może być prowadzony także jednoetapowo, szczególnie w przypadku aktywacji chemicznej.

Z opisu patentowego nr KR200195634 z Korei Południowej, pt. *Charcoal and sap manufacturing machine*, znane jest rozwiązanie pieca do karbonizacji próżniowej materiałów pochodzenia biomasowego. Konstrukcja tego pieca opiera się w głównej mierze na nieruchomym naczyniu ciśnieniowym, w którym prowadzony jest w cyklicznie proces karbonizacji.

Z opisu patentowego nr JPH0733560 z Japonii, pt. *Carbon material coated with boron carbide and its production*, znana jest metoda otrzymywania materiału węglowego z naniesioną warstwą węglika boru, poprzez umieszczenie materiału węglowego w piecu indukcyjnym, do którego wprowadzane są ponadto argon i tlenek boru. Materiał węglowy ogrzewany jest do temperatury 1600–2100°C, w której następuje proces konwersji warstw powierzchniowych materiału węglowego do węglika boru.

Z opisu patentowego nr JP2002173684 Japonii, pt. *Apparatus for carbonization of waste material*, znane jest rozwiązanie pieca do karbonizacji materiałów odpadowych w trybie ciągłym. Budowa tego pieca opiera się na cylindrycznym korpusie wykonanym ze stali żaroodpornej obracającym się wokół osi poziomej. W korpusie tym zainstalowany jest przenośnik śrubowy, ułatwiający przesuwanie się wsadu. Wspomniany korpus obrotowy łączy się z rynną załadowniczą oraz portem rozładowania.

Z opisu patentowego nr CN102502625 z Chin, pt. *Method for producing activated carbon and byproduct of gas in single-step mode by using rotary activation furnace with sawdust*, znane jest rozwiązanie jednoetapowego tj. w jednoczesnym procesie karbonizacji i aktywacji, wytwarzania węgla aktywnego z trocin z użyciem pieca obrotowego. W piecu tym na skutek ciągłego ruchu obrotowego oraz nadmuchu powietrza lub w przypadku etapu aktywacji pary wodnej przez dno warstwy materiału za pomocą odpowiednich lanc, następuje fluidyzacja materiału karbonizowanego, co zwiększa skuteczność procesów karbonizacji i aktywacji oraz zwiększa się wydajność produkcji węgla aktywnego.

Z opisu patentowego nr CN203033937 z Chin, pt. *Carbonizing furnace*, znane jest rozwiązanie pieca do karbonizacji o konstrukcji opartej na prostej rurze koksowniczej umieszczonej w komorze pieca. W rozwiązaniu tym komora spalania jest umieszczona w dolnej części komory paleniskowej. Piec ten cechuje się prostą konstrukcją, dużymi możliwościami dostosowywania warunków pracy oraz relatywnie niskimi kosztami budowy i eksploatacji.

Z opisu patentowego nr CN201172626 z Chin, pt. *Internal and external thermal bonded two-stage continuous active carbon producing device*, znane jest rozwiązanie ciągłej produkcji węgla aktywnego z trocin i zrębów drewnianych w dwuetapowym procesie karbonizacji i aktywacji. W rozwiązaniu tym wykorzystywany jest piec składający się z dwóch komór tj. komory w której prowadzony jest proces karbonizacji oraz drugiej komory w której prowadzony jest proces aktywacji chemicznej z wykorzystaniem chlorku cynku.

Z opisu patentowego nr JP2000154012 z Japoni, pt. *Process and equipment for producing active carbon*, znane jest rozwiązanie procesu i urządzenia do produkcji węgla aktywowanego, w którym zaproponowany został piec obrotowy nachylony pod odpowiednim kątem, z wnętrzem składającym się z komory karbonizacji i aktywacji oddzielonych od siebie pionową stalową przegrodą. Piec ten ogrzewany jest za pomocą rury grzewczej wyposażonej w palnik.

Z opisu patentowego nr CN104357064 z Chin, pt. *Continuous carbonizing device for biomasses* znane jest rozwiązanie urządzenia do ciągłej karbonizacji biomasy, w którym proces karbonizacji prowadzony jest dwuetapowo. W zaproponowanym rozwiązaniu cylindry pieca zawierają przenośniki spiralne, służące do transportu materiału karbonizowanego, a gazy powstające w procesie karbonizacji, tj. w części drugiej pieca, kierowane są do spalania odpowiednimi rurami do pierwszej części. Z kolei energia cieplna wytworzona w procesie spalania, wykorzystywana jest drugiej części pieca do procesu karbonizacji.

Z opisu patentowego nr JPH11293258 z Japonii, pt. *Carbonization oven*, znane jest rozwiązanie, pieca do karbonizacji, w którym komorze rurowej pieca zamontowana jest spirala, przenosząca surowiec od strony portu ładowania pieca, aż do otworu wylotowego. Spirala ta wyposażona jest po stronie portu ładowania, w ostrza zeskrobyjące karbonizat ze ścianek pieca. Zaproponowane rozwiązanie zapewnia zmniejszenie przestrzeni montażowej oraz kosztów wytwarzania produktu finalnego.

Z opisu patentowego nr CN104327868 z Chin, pt. *External heating type pyrolysis carbonization furnace suitable for carbonizing treatment of sludge at medium temperature*, znane jest rozwiązanie, pieca do karbonizacji, w którym zastosowano urządzenie doprowadzające i obrotowy korpus cylindryczny, z umieszczonymi wewnątrz czerpakami wyposażonymi w zakończenia łańcuchowe, zapewniające kruszenie i mieszanie karbonizowanego wsadu, a co za tym idzie uzyskanie bardziej jednorodnego karbonizatu. W zaproponowanej koncepcji cylindryczny korpus wsparty jest na końcu i początku oraz w części środkowej.

Z opisu patentowego nr CN101899311 z Chin, pt. *Carbonization furnace for producing biomass charcoal*, znane jest rozwiązanie, pieca do ciągłej karbonizacji, w którym zastosowano obrotowy korpus pochylony w stosunku do podstawy i umieszczony na rolkach podtrzymujących, zakończony z jednej strony lejem załadowniczym a z drugiej wyladowczym.

W zaproponowanym rozwiązaniu w korpusie obrotowym pieca umieszczona jest współosiowo rura spalinowa, a wewnętrzna ściana korpusu pieca zaopatrzona jest w łopatki śrubowe, których zadaniem jest mieszanie materiału i przemieszczenie go wzdłuż komory pieca.

Z opisu patentowego nr CN203794633 z Chin, pt. *Horizontal activated carbon carbonization furnace*, znane jest rozwiązanie, pieca obrotowego do karbonizacji, w którym zastosowano odpowiednie czerpaki podobne do omawianego wcześniej rozwiązania, zamontowane we wnętrzu cylindra korpusu wewnętrznego których zadaniem jest mieszanie wsadu w celu otrzymania bardziej jednorodnego karbonizatu.

Z opisu patentowego nr CN105038821 z Chin, pt. *Rotary type carbonization furnace*, znane jest rozwiązanie, pieca obrotowego do karbonizacji, w którym w korpusie pieca zamontowany został wał śrubowy, celem którego jest zeskrobywanie przywierającego karbonizatu z wewnętrznej ścianki korpusu pieca. Rozwiązanie to pozwala na wyeliminowanie potrzeby czyszczenia komory pieca obrotowego, dzięki czemu możliwe jest prowadzenie produkcji w trybie ciągłym oraz zwiększa się żywotność komory pieca.

Z opisu patentowego nr CN102992317 z Chin, pt. *Carbonization activation furnace*, znane jest rozwiązanie, pieca obrotowego do karbonizacji, w którym zastosowano zewnętrzne ogrzewanie komory pieca, dzięki czemu można łatwiej kontrolować temperaturę procesu.

Z opisu patentowego nr WO2010047283, z Japonii, pt. *Apparatus for carbonization and method of carbonization*, znane jest rozwiązanie, pieca obrotowego do karbonizacji, charakteryzujące się tym, że posiada obrotowy korpus mający wlot, do którego dostarczana jest substancja organiczna za pomocą podajnika ślimakowego i wylot. Komora pieca ma zainstalowane na wewnętrznej powierzchni obwodowej, spiralne rozciągające się w kierunku wzdłużnym pieca i jedno lub więcej ostrzy mieszających.

Z opisu patentowego nr CN103614147 z Chin, pt. *Continuous spiral propulsion type carbonization furnace*, znane jest rozwiązanie, pieca do karbonizacji, charakteryzujące się tym, iż cylindryczny korpus pieca składa się z trzech regionów tj. regionu ze spiralą podającą i zagęszczającą materiał karbonizowany, regionu karbonizacji oraz obszaru chłodzenia. Zastosowane rozwiązanie pozwala na prowadzenie ciągłego procesu karbonizacji, przy relatywnie niskim zużyciu energii.

Z opisu patentowego nr WO2008043982 z Japonii, pt. *Carbonising and/or activating carbonaceous material*, znane jest rozwiązanie, obrotowego pieca do karbonizacji i aktywacji, w którym komora pieca nachylona pod kątem zapewniającym przesuwanie się materiału podzielona jest na 5–10 jazów, z pierścieniowymi zastawkami i prętami hakowymi, których zadaniem jest przesuwanie i mieszanie materiału. W procesie aktywacji dostarczana jest ponadto przeciwnie do ruchu materiału para wodna lub ditlenek węgla.

Z opisu patentowego nr WO9506698, z Japonii, pt. *Rotary heating chamber for solids*, znane jest rozwiązanie, obrotowego pieca do karbonizacji, w którym wzdłuż cylindrycznej komory pieca zainstalowano równolegle ułożone rury grzejne, z których część tworzy wsporniki zapewniające mieszanie karbonizowanego wsadu.

Z opisu patentowego US 20090218209 A1 ze Stanów Zjednoczonych, pt. *Thermolysis of organic waste in a ball furnace*, znane jest rozwiązanie pirolizy odpadów prowadzonej bez dostępu powietrza, charakteryzujące się tym iż do wsadu przesuwanego przenośnikiem ślimakowym wprowadzone są współprądowo kulki stalowe o średnicy przeważnie od 20 do 50 milimetrów. Kulki te ogrzewane są w zewnętrznym piecu gazowym, elektrycznym lub indukcyjnym, do temperatury od 600°C do 1100°C i następnie krążą w obiegu zamkniętym. Zastosowanie stalowych kulek zapewnia równomierne przenoszenie ciepła w całej masie odpadów oraz rozdrabnianie substancji organicznej wprowadzonej do pieca i koksującego się produktu finalnego procesu. Dzięki zastosowaniu stalowych kulek i ich nagłemu kontaktowi z odpadami następuje głównie produkcja gazu pirolitycznego zamiast karbonizatu. W zaproponowanym rozwiązaniu konstrukcja pieca jest odpowiednio uszczelniona, tak aby powietrze nie dostawało się do wnętrza pieca.

Z opisu patentowego US 2015/0053542 A1 ze Stanów Zjednoczonych, pt. *Method and apparatus for torréfaction of biomass materials*, znane jest rozwiązanie, metody i aparatura do toryfikacji biomasy w piecu obrotowym wypełnionym metalowymi kulkami, walcami lub sferoidami. Toryfikacja jest procesem wstępnego, cieplnego przetwarzania biomasy mającym za zadanie zbliżyć ją do właściwości węgla, a przede wszystkim poprawić jej przemialowość. Zadaniem elementów metalowych jest polepszenie wymiany ciepła oraz mielenie poddawanej toryfikacji biomasy.

W znanych rozwiązaniach procesów karbonizacji i aktywacji niejednokrotnie występują trudności z utrzymaniem odpowiedniej temperatury procesu i jednakowego czasu osiągnięcia założonej temperatury w całej objętości wsadu oraz jednakowych warunków odprowadzania produktów gazowych i doprowadzania strumienia gazu obojętnego lub aktywatora. W związku z tym procesy karbonizacji i aktywacji przebiegają z różnymi często niekontrolowanymi szybkościami, mechanizmami i wydajnościami w poszczególnych częściach wsadu. Problem ten szczególnie dotyczy rozwiązań komór pieców pracujących okresowo, tj. wymagających okresowego załadunku i rozładunku komory. Z kolei w przypadku procesów prowadzonych w sposób ciągły, występuje wiele problemów z utrzymaniem szczelności komory pieca, zapewniającej brak dostępu tlenu oraz zapewnieniem ciągłego dostarczenia i wyładowywania gotowego produktu, a także zapewnienia odpowiednich temperatur w poszczególnych częściach komory pieca.

Ponadto karbonizowane i aktywowane surowce w tym szczególnie biomasa, taka jak odpady drzewne oraz skorupy i pestki owoców cechują się niejednorodną budową, a ich parametry mechaniczne utrudniają mieszanie i homogenizację w stanie surowym w związku z powyższymi występującymi znaczące problemy z uzyskaniem jednorodnych i powtarzalnych partii produktu końcowego tj. węgla aktywnych.

Powyższe niedogodności zostały skutecznie wyeliminowane przez zaproponowane unikalne rozwiązanie wysokoefektywnej jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych opierające się na oryginalnej konstrukcji pieca obrotowego z umieszczonymi wewnątrz łopatkami mieszającymi oraz kulami stalowymi lub innymi elementami stalowymi mającymi właściwości toczne jak walce lub sferoidy, będących podobnie jak łopatki emitarami ciepła, ogrzewanego czterostrefowo indukcyjnie, wyposażonego także w system chłodzenia produktu finalnego, dyszę do podawania atmosfery obojętnej lub aktywatora, próżniową pompę rotacyjną do usuwania powietrza, gazów i par zabezpieczoną trójwarstwowym filtrem cząstek stałych i elektromembraną z plecionki stalowej, a także w śluzowe moduły załadowniczy i wyładowczy, umożliwiające pracę ciągłą przy zachowaniu szczelności konstrukcji.

Rozwiązanie to umożliwia jednorodną karbonizację oraz aktywację fizyczną i chemiczną materiałów o budowie niejednorodnej pochodzenia organicznego z wysoką efektywnością energetyczną i materiałową procesu oraz możliwością uzyskania produktu o jednakowych właściwościach w całej objętości wsadu.

## Figury

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania jest uwidoczniony na rysunkach, na którym:

Fig. 1a i 1b przedstawiają schemat urządzenia do wysokoefektywnej jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych według wynalazku, gdzie:

Fig. 1a – śluza załadownicza i wyładownicza w trybie wyładunku,

Fig. 1b – śluza załadownicza i wyładownicza w trybie załadunku,

Fig. 2 przedstawia dwa przekroje poprzeczne śluzy załadowniczej tj. w części głowicy załadowniczej oraz korpusu modułu załadowniczego i odprowadzania produktów gazowych, czyli odpowiednio w trybie załadunku i wyładunku oznaczone kolejno jako Załadunek i Wyładunek.

Fig. 3 przedstawia dwa przekroje poprzeczne komory wewnętrznej pieca tj. w części łopatek mieszających i elementów tocznych.

Fig. 4 przedstawia schematycznie realizowanie sposobu jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych według wynalazku.

## Istota

Sposób jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych, w którym karbonizowany lub aktywowany materiał ogrzewa się w odpowiedniej atmosferze a następnie ochładza obejmuje następujące etapy:

- a) za pomocą obrotowej śluzy wyładowniczej przez okno załadownicze do komory modułu załadowniczego wprowadza się surowiec, po czym
- b) w komorze modułu załadowniczego ogrzewanej indukcyjnie surowiec osusza się w temperaturze od 105°C do 110°C, po czym
- c) osuszony surowiec transportuje się do modułu komory pieca, gdzie
- d1) w pierwszej strefie grzewczej modułu komory pieca (B) ogrzewa się osuszony surowiec w temperaturze od 300°C do 450°C w atmosferze obojętnej lub próżni, gdzie następuje odgazowanie osuszonego surowca, a jednocześnie za pomocą łopatek, miesza się i przesypuje surowiec w celu intensyfikacji i homogenizacji przebiegu procesu oraz przesuwa się go jednocześnie do drugiej strefy grzewczej modułu komory pieca albo
- d2) w pierwszej strefie grzewczej modułu komory pieca ogrzewa się osuszony surowiec w temperaturze 450°C – 650°C w atmosferze pary wodnej lub ditlenku węgla i jednocześnie za pomocą łopatek miesza się i przesypuje surowiec oraz przesuwa się go do drugiej strefy grzewczej modułu komory pieca albo
- d3) w pierwszej strefie grzewczej modułu komory pieca ogrzewa się osuszony, zaimpregnowany lub zmieszany z aktywatorem, surowiec w temperaturze 450°C – 650°C w atmosferze obojętnej lub próżni i jednocześnie za pomocą łopatek miesza się i przesypuje surowiec oraz przesuwa się go do drugiej strefy grzewczej modułu komory pieca po czym
- e1) jeśli przeprowadzono etap d1) to ogrzewa się surowiec w temperaturze od 500°C do 1000°C w atmosferze obojętnej lub próżni, a także homogenizuje i mieli za pomocą elementów tocznych w celu uzyskania założonej klasy ziarnowej oraz przesuwa się go do trzeciej strefy grzewczej, albo
- e2) jeśli przeprowadzono etap d2) to ogrzewa się surowiec w temperaturze od 500°C do 1000°C w atmosferze pary wodnej lub ditlenku węgla, a także homogenizuje, uciera i mieli za pomocą elementów tocznych w celu uzyskania założonej klasy ziarnowej oraz przesuwa się go do trzeciej strefy grzewczej, albo
- e3) jeśli przeprowadzono etap d3) to ogrzewa się surowiec w temperaturze 500°C – 900°C, a także homogenizuje i mieli za pomocą elementów tocznych w celu uzyskania założonej klasy ziarnowej oraz przesuwa się go do trzeciej strefy grzewczej, po czym
- f1) jeśli przeprowadzono etap e1) ogrzewa się surowiec w temperaturze 500°C – 900°C w atmosferze obojętnej lub próżni, a za pomocą łopatek miesza się go i przesypuje oraz przesuwa do czwartej strefy tj. strefy chodzenia modułu komory pieca (B), albo
- f2) jeśli przeprowadzono etap e2) ogrzewa się surowiec w temperaturze 700°C – 900°C w atmosferze pary wodnej lub ditlenku węgla, a za pomocą łopatek miesza się go i przesypuje oraz przesuwa do strefy chodzenia modułu komory pieca, albo

- f3) jeśli przeprowadzono etap e3) ogrzewa się surowiec w temperaturze 500°C – 800°C w atmosferze obojętnej lub próżni, a za pomocą łopatek miesza się go i przesypuje oraz przesuwają do czwartej strefy tj. strefy chłodzenia modułu komory pieca (B), po czym
- g) chłodzi się surowiec z wykorzystaniem układu przewodzenia ciepła oraz chłodnicy rurowej do temperatury poniżej 100°C, a następnie
- h) za pomocą przenośnika ślimakowego przenosi się surowiec do obrotowej śluzy wyładowczej w module wyładowczym karbonizatu i transportuje się go na zewnątrz przez okno wyładowcze.

Korzystnie w etapie d3) stosuje się aktywator wybrany z grupy obejmującej jeden lub więcej związków wybranych spośród;  $H_3PO_4$ ,  $HNO_3$ ,  $H_2SO_3$ ,  $ZnCl_2$ ,  $KOH$ ,  $NaOH$ ,  $MgCl_2$  lub  $K_2CO_3$ .

Urządzenie do jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych według wynalazku zawiera moduł załadowczy i odprowadzania produktów gazowych, moduł komory pieca oraz moduł wyładowczy karbonizatu, przy czym moduł komory pieca podzielony jest na strefę ogrzewaną umieszczoną od strony modułu załadowczego oraz strefę chłodzenia umieszczoną od strony modułu wyładowczego, przy czym strefa ogrzewana podzielona jest na część wstępną, część środkową i część końcową, przy czym w korpusie zewnętrznym w strefie ogrzewanej zamocowane są wzbudniki (12).

W części wstępnej wzdłuż osi korpusu zewnętrznego do wewnętrznej ściany komory zamocowane są pierwsze łopatki, a do części korpusu zewnętrznego odpowiadającej części wstępnej zamocowany jest wzbudnik części wstępnej.

W części środkowej umieszczone są elementy toczne pokryte powłoką ceramiczną, które przemieszczają się swobodnie wewnątrz części środkowej, a do części korpusu zewnętrznego odpowiadającej części środkowej zamocowany jest wzbudnik części środkowej.

W części końcowej wzdłuż osi korpusu do wewnętrznej ściany korpusu wewnętrznego zamocowane są drugie łopatki, a do części korpusu odpowiadającej części końcowej zamocowany jest wzbudnik części końcowej.

W strefie chłodzenia umieszczony jest przenośnik ślimakowy zintegrowany ze skrobakami.

Korzystnie moduł załadowczy i odprowadzania produktów gazowych zawiera korpus modułu załadowczego, na górze którego zamontowana jest głowica załadowcza, w której to głowicy zamontowana jest szczelna śluza załadowcza obracająca się cyklicznie o 180°.

Korzystnie moduł załadowczy i odprowadzania produktów gazowych zawiera pompę rotacyjną o regulowanych obrotach o bardzo dużej wydajności zabezpieczoną trójwarstwowym filtrem cząstek stałych i elektromembraną z plecionki stalowej o bardzo gęstym splocie pobudzaną do drgań elektromagnesem.

Korzystnie każdy ze wzbudników posiada oddzielny tyrystorowy układ sterujący i niezależny układ zasilający.

Korzystnie korpus wewnętrzny pieca, podzielony jest na cztery strefy tj. trzy strefy grzania oraz strefę chłodzenia izolowane od siebie termicznie, dzięki czemu ogranicza się wymianę ciepła przez przewodzenie w korpusie wewnętrznym pieca, pomiędzy poszczególnymi strefami.

Korzystnie pomiędzy nieruchomym korpusie zewnętrznym pieca, a obrotowym korpusie wewnętrznym pieca 11 w strefach grzewczych umieszczony jest argon, który zapobiega nadmiernym stratom energii cieplnej na zewnątrz komory pieca.

Korzystnie w strefie chłodzenia pomiędzy korpusie wewnętrznym a korpusie zewnętrznym umieszczony jest układ przewodzenia ciepła.

Korzystnie w strefie chłodzenia na zewnątrz korpusu zewnętrznego zamocowana jest chłodnica rurowa o wysokiej wydajności z cieczą niskowrzącą zasilająca turbinę z generatorem elektrycznym.

Korzystnie elementami tocznymi są kule, walce lub sferoidy pokryte z zewnątrz warstwą ceramiczną odporną na ścieranie i wysokie temperatury oraz korozyjne działanie związków chemicznych.

Korzystnie przenośnik ślimakowy zawiera wydrążony wewnątrz wał, w którym zamocowana jest dysza przez którą wprowadzana jest atmosfera obojętna lub aktywator gazowo-parowy do komory wewnętrznej pieca.

Korzystnie do drugich łopatek od strony części środkowej zamocowana jest metalowa obręcz.

Korzystnie łopatki umieszczone są w stosunku do osi korpusu pod kątem od 7° do 15°.

Korzystnie przenośnik ślimakowy zintegrowany ze skrobakami, oczyszczany jest przez skrobaki końcowe.

Korzystnie moduł wyładowczy, składa się z obudowy komory wyładowczej, szczelnej obrotowej śluzy wyładowczej obracającej się cyklicznie o 180° i okna wyładowczego.

### Przykład wykonania sposobu

W komorze modułu załadowczego i odprowadzania produktów gazowych (1) po załadowaniu surowca za pomocą umieszczonej w głowicy załadowczej (2), obrotowej śluzy załadowczej (3), przez okno załadowcze (4), surowiec jest osuszany tzn. usuwana jest wilgoć przemijająca i higroskopijna w temperaturze 105°C – 110°C, a czas trwania osuszania dobierany jest w zależności od zawartości wilgoci w materiale karbonizowanym lub aktywowanym i jest limitowany szybkościami pozostałych procesów. Komora modułu załadowczego ogrzewana jest indukcyjnie za pomocą uzwojenia pierwotnego wzbudnika (8). Po wysuszeniu surowiec pierwotny transportowany jest do modułu komory pieca (B) przenośnikiem ślimakowym (9).

W pierwszej strefie grzewczej komory wewnętrznej pieca podczas procesu karbonizacji, w temperaturze 300°C – 450°C przebiegają procesy pękania wiązań wodorowych i odparowania frakcji lekkich tj. wody, ditlenku węgla, metanolu i metanu oraz proces odgazowania pierwotnego karbonizowanego materiału, w którym słabsze wiązania alifatyczne łączące związki aromatyczne ulegają rozpadowi, co w efekcie skutkuje powstawaniem mniejszych cząstek. Ponadto na skutek zachodzących reakcji następuje formowanie sztywnego szkieletu węglowego. Generowane są również wchodząca poprzeczne między makromolekularni, a dzięki powstającej sztywnej, usieciowanej strukturze węglowej obserwuje się powstanie pierwotnej porowatości materiału. Mieszanie wsadu przez łopatki i jego przesypywanie przez komorę pieca w tym etapie zapewnia równomierny przebieg procesu odgazowania dzięki zapewnieniu jednakowej temperatury i jednakowego dostępu gazu obojętnego w całej objętości oraz warunków do usuwania produktów gazowych.

W drugiej strefie grzewczej komory pieca przebiega pierwsza część właściwego procesu karbonizacji w temperaturze od 500°C – 1000°C, podczas którego zwiększa się stopień uwęglenia i aromatyzacji struktury na skutek eliminacji atomów wodoru i tlenu. Równocześnie przebiegają procesy homogenizacji, ucierania i mielenia wsadu dzięki umieszczeniu w tej strefie kul stalowych lub innych elementów tocznych tj. walców lub sferoid (14) o odpowiedniej wielkości dobieranej w zależności od właściwości surowca i oczekiwanych właściwości produktu końcowego. Dzięki mieleniu i ucieraniu w wysokiej temperaturze odgazowanego i wstępnie karbonizowanego surowca, wymagany jest mniejszy nakład energetyczny na proces mielenia dzięki czemu zapewniona jest większa efektywność tego procesu oraz większa jednorodność karbonizatu.

W trzeciej strefie grzewczej w temperaturze 500°C – 900°C prowadzony jest finalny etap procesu karbonizacji. W strefie tej umieszczone są analogicznie jak w strefie pierwszej łopatki pod odpowiednim kątem dobieranym w zależności od wielkości komory, prędkości obrotowej pieca i oczekiwanych właściwości produktu finalnego. Mieszanie karbonizatu przez łopatki i jego swobodne przesypywanie się przez komorę pieca zapewnia równomierny przebieg procesu karbonizacji dzięki zapewnieniu jednakowej temperatury i dostępu gazu obojętnego w całej objętości wsadu – w konsekwencji czego otrzymuje się jednorodny produkt końcowy.

Jednym z najważniejszych parametrów procesu karbonizacji, mającym duży wpływ na właściwości otrzymanego karbonizatu ma końcowa temperatura karbonizacji, co wynika z konieczności doprowadzenia odpowiedniej ilości energii, koniecznej do rozerwania wiązań chemicznych, oddestylowania lotnych produktów termicznego rozkładu materiału wejściowego oraz uporządkowania substancji węglowej. Wyższa temperatura procesu karbonizacji powoduje głębszy przebieg procesu, a tym samym uzyskuje się materiały o znacznie większej wytrzymałości mechanicznej.

Na stopień uporządkowania budowy karbonizatu wpływa także czas przetrzymywania surowca w końcowej temperaturze karbonizacji. W przypadku gdy temperatura końcowa procesu karbonizacji jest niższa od temperatury zakończenia reakcji rozkładu termicznego, charakterystycznej dla danego surowca, w miarę upływu czasu, następuje dalszy, powolny rozkład termiczny. Otrzymany w tych warunkach produkt wykazuje większą reaktywność w porównaniu do karbonizatu, w którym procesy porządkowania chemicznej budowy substancji węglowej i tworzenia krystalitów węglowych przebiegły do końca.

Z kolei gdy temperatura końcowa procesu karbonizacji jest wyższa od temperatury w której kończą się procesy termicznego rozkładu i następuje ostateczne ukształtowanie się struktury porowatej, to w miarę przedłużania czasu procesu następuje dalsze porządkowanie budowy wewnętrznej. Przy nadmiernym przedłużaniu czasu karbonizacji objętość najmniejszych porów maleje, a otrzymany w tych warunkach karbonizat wykazuje tym mniejszą reaktywność, im czas jego przetrzymywania w temperaturze końcowej był dłuższy.

Ważnym parametrem procesu karbonizacji jest także szybkość osiągnięcia temperatury końcowej. Szybki wzrost temperatury powoduje, że kolejne fazy rozkładu termicznego oraz wtórne reakcje produktów karbonizacji nakładają się, a co za tym idzie znacznie trudniejsze jest kontrolowanie procesu kształtowania się pierwotnej struktury porowatej karbonizatu. Przy szybkim wzroście temperatury utrudnione jest także uporządkowanie chemicznej budowy karbonizatu, co wiąże się z tym, że wspomniane procesy wymagają odpowiednio długiego czasu. Podczas stosowania dużych szybkości ogrzewania, w relatywnie krótkim czasie, z karbonizowanego materiału wydziela się znaczna ilość części lotnych, w wyniku czego powstają zazwyczaj pory o większych rozmiarach w porównaniu do mniejszych szybkości ogrzewania. Powolne ogrzewanie materiału sprzyja tworzeniu się mniejszych porów, jednak zbyt długi czas przetrzymywania karbonizatu w końcowej temperaturze karbonizacji, wpływa znacząco na zmniejszenie się jego powierzchni właściwej.

Szybkość ogrzewania surowca podczas procesu karbonizacji wpływa także na reaktywność karbonizatu, tzn. reaktywność karbonizatów otrzymanych przy dużej szybkości ogrzewania jest większa niż otrzymanych podczas wolnego wzrostu temperatury.

W zaproponowanym rozwiązaniu jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych, dzięki zastosowaniu sterowanego trójstrefowo ogrzewania indukcyjnego, łopatek mieszających, elementów toczonej oraz bezpośredniej strefy chłodzenia można z bardzo dużą precyzją sterować prędkością wzrostu temperatury, czasem karbonizacji oraz ustalić precyzyjnie końcową temperaturę karbonizacji w całej objętości karbonizowanej substancji oraz intensywność chłodzenia produktu finalnego.

Znaczący wpływ na przebieg procesu karbonizacji i na mechanizmy wtórnych reakcji produktów między sobą i ich reakcji ze stałym karbonizatem ma także atmosfera w której prowadzony jest proces. W przypadku gdy wydzielające się podczas procesu karbonizacji gazy i pary są szybko usuwane za pomocą przepływającego strumienia gazu obojętnego, to wydajność procesu jest mniejsza, a reaktywność karbonizatu jest z kolei jest większa. W zaproponowanym rozwiązaniu jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych, można precyzyjnie regulować proces usuwania gazów i par za pomocą pompy rotacyjnej o regulowanych obrotach oraz dostosowywać strumień wprowadzanego do komory pieca gazu obojętnego. Dzięki zastosowaniu łopatek mieszających wsad, zapewnione są jednakowe warunki odprowadzania gazów i par, a także jednakowy dostęp gazu obojętnego do powierzchni materiału w całej objętości wsadu i jednakowa temperatura.

Bardzo duży wpływ na przebieg procesu karbonizacji i właściwości uzyskanego karbonizatu ma także budowa chemiczna surowca. Wydajność karbonizacji surowców pochodzenia biomasowego jest znacznie większa w porównaniu do węgla kamiennych i brunatnych, a ponadto istnieje możliwość zachowania cech struktury pierwotnej tkanki roślinnej. Węgłe aktywne wytwarzane z surowców pochodzenia roślinnego cechują się także dużą zawartością węgla oraz mniejszą zawartością tlenu i wodoru oraz popiołu w porównaniu do adsorbentów otrzymywanych z węgla kamiennego i brunatnego.

W rezultacie karbonizacji powstaje struktura węglowa będąca zbiorem krystalitów o grafitopodobnej budowie, związanych za pomocą wiązań o charakterze alifatycznym. Parametry struktury porowatej karbonizatu, są niewystarczające dla większości procesów adsorpcyjnych, dlatego w celu uzyskania odpowiedniego rozwinięcia struktury porów, karbonizat poddaje się dalszemu procesowi obróbki tj. aktywacji.

Zaproponowany sposób jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych oraz urządzenie do wysokoefektywnej jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych może być wykorzystywane także do prowadzenia procesów aktywacji zarówno chemicznej jak i fizycznej.

Proces aktywacji fizycznej polega na częściowym zgazowaniu karbonizatu czynnikami utleniającymi tj. parą wodną lub ditlenkiem węgla rzadziej tlenem, ewentualnie mieszaniną wymienionych czynników, które to mogą być podawane do komory wewnętrznej pieca poprzez dyszę umieszczoną w wale przenośnika ślimakowego 17.

W pierwszej strefie grzewczej komory wewnętrznej pieca podczas prowadzenia procesu aktywacji fizycznej utrzymywana jest temperatura 450°C – 650°C, z kolei w drugiej strefie grzewczej komory pieca przebiega pierwsza część właściwego procesu aktywacji w temperaturze od 800°C – 1000°C, podczas którego nieuporządkowana substancja węglowa poddawana jest działaniu czynników utleniających tj. pary wodnej lub ditlenku węgla. W wyniku zachodzących reakcji powstają produkty gazowe i stopniowo przereagowuje substancja węglowa karbonizatu, a w jej miejsce powstają pory i jednocześnie zwiększa się powierzchnia właściwa aktywowanego materiału. W procesie aktywacji zachodzi wiele kolejno następujących etapów, tj. transport cząsteczek do powierzchni materiału aktywowanego, dyfu-



zja do wnętrza porów, chemisorpcja na powierzchni ziaren, właściwa reakcja chemiczna aktywatora z karbonizatem oraz desorpcja produktów reakcji z powierzchni ziaren.

W zaproponowanym rozwiązaniu jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych, przebiegają równocześnie procesy homogenizacji z częściowym mieleniem wsadu dzięki umieszczeniu w tej strefie kul stalowych lub innych elementów tocznych tj. walców lub sferoid (14) o odpowiedniej wielkości i wadze dobieranej w zależności od właściwości surowca, prędkości obrotowej komory pieca i wymaganych właściwości produktu finalnego.

W trzeciej strefie grzewczej w temperaturze 700°C – 900°C prowadzony jest finalny etap procesu aktywacji. Mieszanie materiału przez łopatki i jego swobodne przesypywanie zapewnia równomierny przebieg procesu w konsekwencji czego otrzymuje się jednorodny produkt końcowy tj. węgiel aktywny.

Największy wpływ na przebieg procesu aktywacji fizycznej ma temperatura, tj. w relatywnie niskich temperaturach szybkość reakcji chemicznej karbonizatu z aktywatorem jest mała, w związku z tym mała jest także szybkość całego procesu. Z drugiej strony w niskich temperaturach procesu aktywacji ustala się równowaga dynamiczna pomiędzy stężeniem utleniacza w porach, a jego stężeniem w przestrzeniach międzyziarnowych, dzięki czemu, otrzymuje się jednorodny produkt z równomiernym rozkładem porów w całej objętości ziaren. Z kolei wraz ze wzrostem temperatury może nastąpić niekontrolowane utlenienie, prowadzące do niepożądanego zmniejszenia objętości mikroporów na skutek wypalenia ścianek między sąsiednimi porami, czego rezultatem jest znaczące pogorszenie własności adsorpcyjnych i mechanicznych produktu finalnego. W bardzo wysokiej temperaturze szybkość reakcji utleniania staje się tak duża, że praktycznie cały utleniacz wchodzi w reakcję z karbonizatem tylko na jego zewnętrznej powierzchni w związku z tym nie następuje formowanie się struktury porowatej.

Szybkość procesu utleniania podczas aktywacji jest limitowana jest także reaktywnością karbonizatu i aktywatora, tzn. im większa jest reaktywność karbonizatu i aktywatora, tym niższa jest temperatura procesu, w której obserwuje się równomierne tworzenie się struktury porowatej. Proces formowania się struktury porowatej zależy także od natury samego aktywatora, tzn. zastosowanie jako aktywatora ditlenku węgla skutkuje najczęściej otrzymaniem materiałów o większej mikroporowatości w porównaniu do pary wodnej, która sprzyja powstawaniu struktur mezoporowatych.

W zaproponowanym rozwiązaniu możliwe jest także wytwarzanie węgla aktywnych w jednoetapowym procesie metodą aktywacji fizycznej bez uprzedniego odgazowania surowca, czyli procesu karbonizacji. W procesie jednoetapowej aktywacji, surowiec od początku styka się ze środkiem aktywującym, którym jest para wodna, ditlenek węgla lub tlen, w związku z tym zarówno procesy karbonizacji jak i aktywacji występują jednocześnie w tej samej temperaturze.

Do głównych zalet aktywacji fizycznej zalicza się stosunkowo niskie koszty wytwarzania węgla aktywnych oraz możliwość zachowania tekstury materiału pierwotnego. Podczas aktywacji fizycznej otrzymuje się jednak adsorbenty węglowe, których pole powierzchni właściwej zwykle nie przekracza 2000 m<sup>2</sup>/g, a ponadto obserwuje się znaczną utratę masy surowca dochodzącą aż do 70%.

Alternatywnym procesem wytwarzania węgla aktywnych w stosunku do metody aktywacji fizycznej jest metoda aktywacji chemicznej polegająca na jednoetapowym procesie, w którym następuje reakcja surowca z czynnikiem aktywującym którym może być: H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, KOH, NaOH, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> itd. Proces aktywacji chemicznej obejmuje impregnację surowca lub wymieszanie go z odpowiednią ilością aktywatora. Następnie zaimpregnowany chemicznie surowiec jest karbonizowany w atmosferze obojętnej.

W pierwszej strefie grzewczej komory wewnętrznej pieca podczas procesu aktywacji chemicznej utrzymywana jest temperatura 400°C – 450°C w której zaczyna się proces aktywacji, z kolei w drugiej strefie grzewczej komory pieca przebiega druga część procesu aktywacji chemicznej w temperaturze od 500°C – 900°C, a elementy toczne w tym kule, walce i sferoidy zapewniają homogenizację i częściowe mielenie oraz ucieranie wsadu. W trzeciej strefie grzewczej w temperaturze 500°C – 800°C prowadzony jest finalny etap procesu aktywacji. W strefie tej zapewniony jest jednakowy kontakt ziaren surowca z atmosferą gazową dzięki łopatomk mieszającym i przesypującym wsad.

Czynnikami, które wpływają na kształtowanie się struktury porowatej w procesie aktywacji chemicznej są: rodzaj surowca, temperatura procesu, atmosfera w jakiej prowadzi się proces aktywacji oraz stosunek masowy czynnika aktywującego do karbonizowanego surowca, wpływający szczególnie na jakość i rozkład wielkości porów. Stosowanie większego stosunku masowego skutkuje przeważnie uzyskaniem adsorbentów o większej pojemności porów i większej powierzchni właściwej.

Proces aktywacji chemicznej ma wiele zalet w porównaniu do procesu aktywacji fizycznej. Spośród zalet wymienia się to, iż aktywacja chemiczna ogranicza powstawanie smoły, dzięki czemu można uzyskać znacznie większą efektywność procesu. Ponadto w przeciwieństwie do aktywacji fizycznej, proces aktywacji chemicznej można przeprowadzić w niższych temperaturach i przy krótszych czasach, uzyskując jednocześnie bardziej mikroporowatą strukturę. Dzięki temu możliwe jest zmniejszenie energochłonności procesu produkcji, a co za tym idzie i jego kosztów. Aktywacja chemiczna ma jednak także wady, spośród których wymienia się między innymi konieczność dodatkowego etapu płukania, w celu usunięcia resztek aktywatora, możliwość pozostania zanieczyszczeń substancją aktywującą oraz dodatkowy znaczny koszt odczynników chemicznych. Coraz częściej w nowych technologiach wytwarzania węgla aktywnych stosuje się także kombinację zarówno metod aktywacji fizycznej jak i chemicznej, co umożliwia także zaproponowane urządzenie.

### **Przykład wykonania urządzenia**

Zgodnie z wynalazkiem zaproponowane urządzenie składa się z trzech zintegrowanych modułów tj. modułu załadowniczego i odprowadzania produktów gazowych A, modułu komory pieca B oraz modułu wyładowniczego C.

Moduł załadowniczego i odprowadzania produktów gazowych A składa się z korpusu modułu załadowniczego 1, na górze którego zamontowana jest głowica załadownicza 2, w której z kolei zamontowana jest obrotowa śluza załadownicza 3. Śluza 3 obraca się cyklicznie co  $180^\circ$ , dzięki czemu możliwe jest załadunek jej surowcem w jednym położeniu tj. w tym w którym ustawiona jest otworem w kierunku okna załadowniczego 4 oraz wyładunek po obrocie o  $180^\circ$  do drugiego położenia, w którym wylot śluzy skierowany jest do komory modułu załadowniczego (tak jak to przedstawiono na Fig. 1a i 1b oraz na Fig. 2). Załadunek śluzy 3 surowcem następuje gdy jest ona skierowana otwartą częścią w stronę okna załadowniczego 4. Gdy śluza zostanie napełniona, to obraca się o  $180^\circ$  i następnie surowiec ze śluzy wysypywany jest dzięki sile grawitacji do korpusu modułu załadowniczego i odprowadzania produktów gazowych 1. Po opróżnieniu śluzy 3 obraca się ona znów o  $180^\circ$ , kierując się otwartą częścią do okna załadowniczego 4, gdzie załadowana zostaje kolejną partią surowca. Prędkość poszczególnych cykli ładowania surowca do śluzy 3 i jego wyładunku jest odpowiednio regulowana.

Dzięki odpowiedniej konstrukcji śluzy 3 oraz odpowiednim uszczelnieniom, surowiec jest dostarczany do komory modułu załadowniczego 1, praktycznie bez rozszczelniania układu tj. bez dostępu powietrza atmosferycznego z zewnątrz i bez ulatniania się gazów i par oraz atmosfery obojętnej na zewnątrz urządzenia.

Za odprowadzanie produktów gazowych z poszczególnych procesów tj. suszenia, odgazowania, karbonizacji lub aktywacji oraz za usunięcie powietrza z układu odpowiada próżniowa pompa rotacyjna 5 o dużej wydajności i regulowanych obrotach, zabezpieczona trójwarstwowym filtrem cząstek stałych 6 i elektromembraną z plecionki stalowej 7 o bardzo gęstym splocie pobudzaną do drgań elektromagnesem. Zabezpieczenia te zapobiegają przedostawaniu się pyłów do wnętrza pompy próżniowej.

Moduł komory pieca B składa się z nieruchomego korpusu zewnętrznego 10 pieca i obrotowego cylindrycznego korpusu wewnętrznego 11 pieca, oddzielonych od siebie w części grzewczej warstwą argonu. Korpus wewnętrzny 11 składa się z czterech izolowanych termicznie części tworzących jednocześnie cztery strefy temperatury tj. trzy strefy grzewcze, w których uzyskuje się temperatury w procesie karbonizacji kolejno  $300\text{--}450^\circ\text{C}$ ,  $500\text{--}1000^\circ\text{C}$ ,  $500\text{--}900^\circ\text{C}$  (w procesie aktywacji fizycznej kolejno  $450^\circ\text{C} - 650^\circ\text{C}$ ,  $800^\circ\text{C} - 1000^\circ\text{C}$  i  $700^\circ\text{C} - 900^\circ\text{C}$  oraz aktywacji chemicznej odpowiednio  $400^\circ\text{C} - 450^\circ\text{C}$ ,  $500^\circ\text{C} - 900^\circ\text{C}$  i  $500^\circ\text{C} - 800^\circ\text{C}$ ) i jedną ostatnią chłodzenia o temperaturze niższej niż  $100^\circ\text{C}$ . Komora pieca ogrzewana jest indukcyjnie za pomocą układu trzech zestawów uzwojeń pierwotnych wzbudników (12) zasilanych i sterowanych osobno dla trzech ogrzewanych części pieca. Czwartha końcowa część pieca jest strefą chłodzenia karbonizatu w związku z tym nie ma w tej części zamontowanych wzbudników. W części chłodzenia jest natomiast zamontowany pomiędzy korpusem wewnętrznym 11 pieca a korpusem zewnętrznym 10 układ przewodzenia ciepła 18, wykonany w formie dwóch panewek z metalu o wysokiej przewodności termicznej i odporności na ścieranie, przylegających do powierzchni korpusów wewnętrznego i zewnętrznego (rozwiązanie podobne do konstrukcji łożysk ślizgowych). Można zastosować również inny układ przewodzenia ciepła, ale zaproponowany jest najbardziej optymalny biorąc pod uwagę bardzo wysoką temperaturę, obrotowy ruch komory pieca i wymaganą niezawodność. Ponadto w tej strefie na zewnątrz korpusu zewnętrznego 10 zainstalowana jest chłodnica rurowa 19,

o wysokiej wydajności z cieczą nisko wrzącą, zasilająca turbinę z generatorem elektrycznym (niepokazane na rysunkach Fig. 1a i 1b). Dzięki wspomnianemu układowi odzyskuje się znaczną część energii cieplnej i można zamienić ją na energię elektryczną.

W komorze pieca tj. w korpusie wewnętrznym 11 umieszczone zostały pierwsze łopatkki 13, ogrzewające, mieszające i przesypujące wsad w celu uzyskania jednakowej szybkości procesu w całej objętości wsadu i jego intensyfikacji oraz przesuwające go do przodu. W komorze wewnętrznej pieca umieszczono także elementy toczne 14, w tym przykładzie wykonania zastosowano stalowe kule. W innym przykładzie wykonania zamiast kul mogą być zastosowane walce, sferoidy lub inne elementy o właściwościach tocznych. Stalowe kule, walce i sferoidy powinny mieć średnicę od 100 do 300 mm. Średnica kul lub innych elementów tocznych oraz ich waga a także wielkość ewentualnie pustej przestrzeni w środku powinny być dobrane w zależności od prowadzonego procesu tj. karbonizacji lub aktywacji fizycznej i chemicznej, właściwości surowca i oczekiwanych właściwości produktu finalnego w tym klasy ziarnowej oraz od prędkości obrotowej komory wewnętrznej pieca 11 i czasu przebywania materiału w tej strefie. W innym przykładzie wykonania elementy toczne mogą mieć także różne wymiary.

Z uwagi na to, iż koncepcja jednoczesnego procesu karbonizacji oraz aktywacji wraz z homogenizacją i mieleniem oraz ucieraniem wsadu jest nowa to wpływ między innymi parametrów elementów tocznych na właściwości produktu końcowego należy określić na drodze eksperymentalnej lub na drodze obliczeniowej. W komorze wewnętrznej umieszczono również metalową obręcz oporową 15 wykonaną ze stopów łożyskowych nie mających właściwości ferromagnetycznych (np. brązu, żeliwa szarego lub proszków spiekanych). Celem metalowej obręczy 15 jest zapobieganie przetaczaniu się elementów tocznych 14 czyli kul, walców i sferoid, do końca pieca lub blokowania się między drugimi łopatkami 16. Drugie łopatkki 16 mają za zadanie ogrzewania, mieszania, przesypywania i przesuwania wsadu do przodu.

W ostatniej czwartej części komory wewnętrznej pieca będącej jednocześnie strefą chłodzenia produktu końcowego, zainstalowano drążony wewnątrz wał przenośnika ślimakowego 17 z zamontowaną dyszą przez którą wprowadza się atmosferę neutralną np. azot lub argon lub aktywator np. parę wodną lub ditlenek węgla oraz przenośnik ślimakowy 20 zintegrowany ze skrobakami, celem którego jest transport karbonizatu do modułu wyładowczego C. W końcowej części przenośnika ślimakowego 20 znajdującej się w komorze wyładowczej umieszczono dodatkowo skrobaki końcowe 21, zadaniem których jest usunięcie resztek karbonizatu z powierzchni przenośnika ślimakowego.

W pierwszej strefie grzewczej części komory pieca przebiegają procesy wydzielania par i gazów w temperaturach w przypadku procesu karbonizacji 300 – 450°C, a w przypadku aktywacji fizycznej w temperaturach 450°C – 650°C i chemicznej w temperaturach 400°C – 450°C. Zamontowane w tej strefie w komorze pieca łopatkki ogrzewają wspólnie z komorą wewnętrzną pieca, mieszają i przesypują wsad, który unoszony jest do góry a następnie swobodnie opada na dno komory, dzięki czemu zapewniony jest równomierny przebieg procesu w całej masie wsadu oraz zwiększenie wydajności procesu karbonizacji lub aktywacji. Łopatkki 13 ustawione są pod odpowiednim kątem dobieranym w zależności od wielkości komory pieca, jego prędkości obrotowej i właściwości fizykochemicznych surowca oraz oczekiwanych właściwości produktu finalnego, jednak nie większym niż 15° i nie mniejszym niż 7°.

W drugiej strefie grzewczej części komory pieca przebiega pierwsza część właściwego procesu karbonizacji podczas którego zwiększa się stopień uwęglenia i aromatyzacji struktury na skutek eliminacji atomów wodoru i tlenu w temperaturze od 500 – 1000°C, ewentualnie procesu aktywacji fizycznej lub chemicznej odpowiednio w temperaturach 800–1000°C lub 500–900°C. Równocześnie przebiegają procesy homogenizacji i mielenia wsadu dzięki umieszczeniu w tej strefie kul stalowych lub innych elementów tocznych 14 o odpowiedniej wielkości dobieranej w zależności od właściwości surowca, prędkości obrotowej komory wewnętrznej pieca 11 i oczekiwanych właściwości produktu końcowego. Elementy toczne pokryte są z zewnątrz cienką warstwą powłoki ceramicznej zabezpieczającej powierzchnię przed działaniem korozyjnym wydzielających się w procesie gazów w połączeniu z wysoką temperaturą oraz przed nadmiernym zużyciem mechanicznym tj. ścieraniem. Analogiczną powłoką pokryte są także wszystkie wewnętrzne elementy komory pieca.

W trzeciej strefie grzewczej w temperaturze od 500°C do 900°C prowadzony jest finalny etap procesu karbonizacji (ewentualnie aktywacji fizycznej w temperaturze 700°C–900°C lub aktywacji chemicznej w temperaturze 500°C–800°C). W strefie tej umieszczone są analogicznie jak w strefie pierwszej łopatkki 16 pod odpowiednim kątem dobieranym obliczeniowo i eksperymentalnie w zależności od wielkości komory, prędkości obrotowej pieca i oczekiwanych właściwości produktu finalnego

jednak nie większym niż 15° i nie mniejszym niż 7°. Etap ten zapewnia równomierny przebieg procesów karbonizacji lub aktywacji i w konsekwencji otrzymanie jednorodnego produktu finalnego tj. odpowiednio karbonizatu lub węgla aktywnego.

Metalowa obręcz 15 ma za zadanie zapobiegać niekontrolowanemu przetaczaniu się kul lub innych elementów tocznych w obszar łopatek. Dodatkowo mieszanie może zapewniać także strumień gazu obojętnego lub aktywatora gazowego kierowany z dyszy umieszczonej w wydrążonym wale 17 podajnika ślimakowego 19. Jednak strumień gazu obojętnego lub aktywatora nie powinien cofać cząstek karbonizatu w kierunku początku pieca, ani też zatrzymywać ruchu materiału od początku pieca do jego końca – w związku z tym powinien być odpowiednio dobrany, analogicznie jak konstrukcja samej dyszy.

W strefie chłodzenia produkt finalny schładzany jest do temperatury poniżej 100°C, dzięki zastosowaniu układu przewodzenia ciepła 18, wykonanego w formie dwóch panewek z metalu o wysokiej przewodności termicznej i odporności na ścieranie oraz chłodnicy rurowej 19 o wysokiej wydajności z cieczą nisko wrzącą, zasilającą turbinę z generatorem elektrycznym. Zadaniem przenośnika ślimakowego 20 z zamontowanymi pod odpowiednim kątem skrobakami jest usunięcie produktu z wnętrza pieca do komory modułu wyładowczego. Z reguły kąty natarcia skrobaków są w zakresie od 20° do 45°. Dodatkowe skrobaki 21 z kolei zapobiegają osadzaniu się i przywieraniu karbonizatu lub węgla aktywnego na ściankach przenośnika ślimakowego.

W zaproponowanym urządzeniu do wysokoefektywnej jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych zastosowano nowoczesne i energooszczędne ogrzewanie indukcyjne. Prąd przemienny przepływający przez uzwojenie pierwotne tj. wzbudniki 8 i 12, wytwarza w ściankach komory pieca 11, w łopatkach 13 i 16 oraz w stalowych kulach i innych elementach tocznych 14 umieszczonych w jej wnętrzu generuje zmienne w czasie pole magnetyczne. Wspomniane zmienne pole magnetyczne indukuje siłę elektromotoryczną także o wartości zmiennej w czasie. Z uwagi na zamknięty obwód wtórny, wyindukowana siła elektromotoryczna wymusza przepływ prądu elektrycznego o wartości zmiennej w czasie, który zamienia się w ciepło, zgodnie z prawem Joule'a.

Dzięki temu iż ścianki komory 11, łopatki 13 i 16 oraz elementy toczne 14 stanowią emiter ciepła to materiał karbonizowany lub aktywowany ogrzewany jest równomiernie. Ponadto dzięki zastosowaniu techniki indukcyjnej można precyzyjnie kontrolować wartości osiągniętej temperatury i czas jej wzrostu oraz czas przetrzymywania w końcowej temperaturze w poszczególnych strefach ogrzewania. Dzięki wspomnianej konstrukcji pieca unika się między innymi niebezpieczeństwa nadmiernego wypalenia karbonizatu lub pojawienia się problemu niecałkowitego przebiegu procesu w wyniku niedostarczenia wymaganej ilości energii. Ponadto dzięki zaproponowanemu systemowi ogrzewania można znacznie zwiększyć efektywność wykorzystania energii i skrócić czas cykli produkcyjnych.

Ostatnim modułem zaproponowanego urządzenia do wysokoefektywnej jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych jest moduł wyładowczy C, do którego transportowany jest przenośnikiem ślimakowym 20, wstępnie schłodzony karbonizat, tj. do temperatury poniżej 100°C. W obudowie komory wyładowczej umieszczona jest obrotowa śluza wyładowcza 23 o odpowiedniej konstrukcji wyposażona dodatkowo w odpowiednie uszczelnienia, dzięki której bez rozszczelniania układu tj. dostępu powietrza atmosferycznego lub wydostawania się gazów z wewnątrz układu transportowany jest na zewnątrz karbonizat przez okno wyładowcze 24.

### **Zastosowanie**

Zaproponowane rozwiązanie umożliwia otrzymywanie wysokiej jakości jednorodnych karbonizatów i węgla aktywnych o powtarzalnych parametrach w całej masie z niejednorodnych surowców pochodzenia organicznego takich jak odpady drzewne, węgiel kamienny i tworzywa sztuczne. Rozwiązanie to może być wykorzystywane do produkcji wysokiej jakości karbonizatów oraz ich aktywacji w jednoetapowych i dwuetapowych procesach aktywacji zarówno fizycznej jak i chemicznej w celu uzyskania ziarnistych lub pylistych węgla aktywnych, które mogą stanowić materiał do produkcji granulowanych węgla aktywnych lub ich monolitów.

Dostosowując rodzaj surowca, rodzaj metody produkcji i aktywatora, strumienia lub masy aktywatora, parametry obróbki termicznej w tym temperatury w poszczególnych strefach grzania pieca, szybkość ogrzewania i czas trwania poszczególnych etapów oraz temperaturę w strefie chłodzenia, wielkość komory pieca i jej prędkość obrotową, a także wielkość i wagę elementów tocznych oraz wielkości i kształt łopatek można w bardzo szerokim zakresie wpływać na strukturę porowatą produktu finalnego, tj. na stopień rozwinięcia powierzchni i rozkład rozmiarów porów oraz jego właściwości mechaniczne.

Ważnym czynnikiem wpływającym na właściwości produktu finalnego jest także atmosfera, w której prowadzony jest proces karbonizacji lub aktywacji oraz wielkość odpowiednio strumienia gazu obojętnego lub aktywatora.

#### Lista oznaczeń odsyłających

- A – moduł załadowniczy i odprowadzania produktów gazowych,
- B – moduł komory pieca, C - moduł wyładowniczy,
- I, II, III – strefy grzewcze, IV – strefa chłodzenia,
- 1 – komora modułu załadowniczego i odprowadzania produktów gazowych,
- 2 – głowica załadownicza,
- 3 – obrotowa śluza załadownicza,
- 4 – okno załadownicze,
- 5 – próżniowa pompa rotacyjna,
- 6 – trój warstwowy filtr cząstek stałych,
- 7 – elektromembrana z plecionki stalowej,
- 8 – uzwojenie pierwotne wzbudnika,
- 9 – przenośnik ślimakowy,
- 10 – nieruchomy korpusu zewnętrzny pieca,
- 11 – brotowy korpus wewnętrzny pieca,
- 12 – uzwojenia pierwotne wzbudników,
- 13 – pierwsze łopatkę ogrzewające, mieszające i przesuwające wsad do przodu,
- 14 – elementy toczne,
- 15 – metalowa obręcz oporowa,
- 16 – drugie łopatkę ogrzewające, mieszające i przesuwające wsad do przodu,
- 17 – wydrążony wał przenośnika ślimakowego z dyszą,
- 18 – układ przewodzenia ciepła,
- 19 – chłodnica rurowa,
- 20 – przenośnik ślimakowy zintegrowany ze skrobakami,
- 21 – skrobaki końcowe,
- 22 – obudowa komory wyładowniczej,
- 23 – obrotowa śluza wyładownicza,
- 24 – okno wyładownicze.

### Zastrzeżenia patentowe

1. **Sposób jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych**, w którym karbonizowany lub aktywowany materiał ogrzewa się w odpowiedniej atmosferze a następnie ochładza, **znamienny tym**, że obejmuje następujące etapy:
  - d) za pomocą obrotowej śluzy wyładowniczej (3) przez okno załadownicze (4) do komory modułu załadowniczego (1) wprowadza się surowiec, po czym
  - e) w komorze (1) modułu załadowniczego (A) ogrzewanej indukcyjnie surowiec osusza się w temperaturze od 105°C do 110°C, po czym
  - f) osuszony surowiec transportuje się do modułu komory pieca (B), gdzie
    - d1) w pierwszej strefie grzewczej (I) modułu komory pieca (B) ogrzewa się osuszony surowiec w temperaturze od 300°C do 450°C w atmosferze obojętnej lub próżni, gdzie następuje odgazowanie osuszonego surowca, a jednocześnie za pomocą łopatek (13), surowiec miesza się i przesypuje w celu intensyfikacji i homogenizacji przebiegu procesu oraz przesuwa się go do drugiej strefy grzewczej (II) modułu komory pieca (B) albo
    - d2) w pierwszej strefie grzewczej (I) modułu komory pieca (B) ogrzewa się osuszony surowiec w temperaturze 450°C – 650°C w atmosferze pary wodnej lub ditienu węgla i jednocześnie za pomocą łopatek (13) surowiec miesza się i przesypuje oraz przesuwa się go do drugiej strefy grzewczej (II) modułu komory pieca (B) albo
    - d3) w pierwszej strefie grzewczej (I) modułu komory pieca (B) ogrzewa się osuszony, zaimpregnowany lub zmieszany z aktywatorem, którym jest jeden ze związków chemicznych wybrany z grupy obejmującej: H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, ZnCl<sub>2</sub>, KOH, NaOH, MgCl<sub>2</sub> lub

- $K_2CO_3$ , surowiec w temperaturze 450°C – 650°C w atmosferze obojętnej lub późni i jednocześnie za pomocą łopatek (13) miesza się i przesypuje surowiec oraz przesuwają się go do drugiej strefy grzewczej (II) modułu komory pieca (B) po czym
- e1) jeśli przeprowadzono etap d1) to ogrzewa się surowiec w temperaturze od 500°C do 1000°C w atmosferze obojętnej lub próżni, a także homogenizuje i mieli za pomocą elementów tocznych (14) w celu uzyskania założonej klasy ziarnowej oraz przesuwają się go do trzeciej strefy grzewczej (III), albo
  - e2) jeśli przeprowadzono etap d2) to ogrzewa się surowiec w temperaturze od 500°C do 1000°C w atmosferze pary wodnej lub ditlenku węgla, a także homogenizuje, uciera i mieli za pomocą elementów tocznych (14) w celu uzyskania założonej klasy ziarnowej oraz przesuwają się go do trzeciej strefy grzewczej (III), albo
  - e3) jeśli przeprowadzono etap d3) to ogrzewa się surowiec w temperaturze 500°C – 900°C, a także homogenizuje i mieli za pomocą elementów tocznych (14) w celu uzyskania założonej klasy ziarnowej oraz przesuwają się go do trzeciej strefy grzewczej (III), po czym
  - f1) jeśli przeprowadzono etap e1) ogrzewa się surowiec w temperaturze 500°C – 900°C w atmosferze obojętnej lub próżni, a za pomocą łopatek (16) miesza się go i przesypuje oraz przesuwa do czwartej strefy tj. strefy chodzenia (IV) modułu komory pieca (B), albo
  - f2) jeśli przeprowadzono etap e2) ogrzewa się surowiec w temperaturze 700°C – 900°C w atmosferze pary wodnej lub ditlenku węgla, a za pomocą łopatek (16) miesza się go i przesypuje oraz przesuwa do strefy chodzenia (IV) modułu komory pieca (B), albo
  - f3) jeśli przeprowadzono etap e3) ogrzewa się surowiec w temperaturze 500°C – 800°C w atmosferze obojętnej lub próżni, a za pomocą łopatek (16) miesza się go i przesypuje oraz przesuwa do czwartej strefy tj. strefy chodzenia (IV) modułu komory pieca (B), po czym
  - g) chłodzi się surowiec z wykorzystaniem układu przewodzenia ciepła (18) oraz chłodnicy rurowej (19) do temperatury poniżej 100°C, a następnie
  - h) za pomocą przenośnika ślimakowego (20) przenosi się surowiec do obrotowej śluzy wyładowczej (23) w module wyładowczym karbonizatu (C) i transportuje się go na zewnątrz przez okno wyładowcze (24).
2. **Urządzenie do jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych** zawierające moduł załadowniczy i odprowadzania produktów gazowych (A), moduł komory pieca (B) oraz moduł wyładowczy karbonizatu (C), przy czym moduł komory pieca (B) podzielony jest na strefę ogrzewaną umieszczoną od strony modułu załadowniczego oraz strefę chłodzenia (IV) umieszczoną od strony modułu wyładowczego, przy czym strefa ogrzewana podzielona jest na część wstępną (I), część środkową (II) i część końcową (III), przy czym w korpusie zewnętrznym (10) w strefie ogrzewanej zamocowane są wzbudniki (12), **znamiennie tym**, że
- w części wstępnej (I) wzdłuż osi korpusu zewnętrznego (10) do wewnętrznej ściany komory (3) zamocowane są pierwsze łopatki (13), a do części korpusu zewnętrznego (10) odpowiadającej części wstępnej (I) zamocowany jest wzbudnik (12) części wstępnej, a
  - w części środkowej (II) umieszczone są elementy toczne (14) pokryte powłoką ceramiczną, które przemieszczają się swobodnie wewnątrz części środkowej (II), a do części korpusu (10) odpowiadającej części środkowej (II) zamocowany jest wzbudnik (12) części środkowej, a
  - w części końcowej (III) wzdłuż osi korpusu do wewnętrznej ściany korpusu wewnętrznego (11) zamocowane są drugie łopatki (16), a do części korpusu (10) odpowiadającej części końcowej (III) zamocowany jest wzbudnik (12) części końcowej, natomiast w strefie chłodzenia (IV) umieszczony jest przenośnik ślimakowy (20) zintegrowany ze skrobakami.
3. **Urządzenie do jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych** według zastrzeżenia 3, **znamiennie tym**, że moduł załadowniczy i odprowadzania produktów gazowych (A) zawiera korpus modułu załadowniczego (1), na górze którego zamontowana jest głowica załadownicza (2), w której to głowicy (2) zamontowana jest szczelna śluza załadownicza (3) obracająca się cyklicznie o 180°.

4. **Urządzenie do jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych** według zastrzeżenia 3, **znamiennie tym**, że moduł załadowniczy i odprowadzania produktów gazowych (A) zawiera pompę rotacyjną (5) o regulowanych obrotach i o bardzo dużej wydajności zabezpieczoną trójwarstwowym filtrem cząstek stałych (6) i elektromembraną (7) z plecionki stalowej o bardzo gęstym splocie pobudzaną do drgań elektromagnesem.
5. **Urządzenie do jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych** według zastrzeżenia 2, **znamiennie tym**, że każdy ze wzbudników (12) posiada oddzielny tyrystorowy układ sterujący i niezależny układ zasilający.
6. **Urządzenie do jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych** według jednego z poprzednich zastrzeżeń **znamiennie tym**, że korpus wewnętrzny pieca 11, podzielony jest na cztery strefy tj. trzy strefy grzania (I, II i III) oraz strefę chłodzenia (IV) izolowane od siebie termicznie, dzięki czemu ogranicza się wymianę ciepła przez przewodzenie w korpusie wewnętrznym pieca, pomiędzy poszczególnymi strefami.
7. **Urządzenie do jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych** według jednego z poprzednich zastrzeżeń, **znamiennie tym**, że pomiędzy nieruchomym korpusem zewnętrznym pieca 10, a obrotowym korpusem wewnętrznym pieca 11 w strefach grzewczych (I do III) umieszczony jest argon, który zapobiega nadmiernym stratą energii cieplnej na zewnątrz komory pieca.
8. **Urządzenie do jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych** według jednego z poprzednich zastrzeżeń, **znamiennie tym**, że w strefie chłodzenia (IV) pomiędzy korpusem wewnętrznym (11) a korpusem zewnętrznym (10) umieszczony jest układ przewodzenia ciepła (18).
9. **Urządzenie do jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych** według jednego z poprzednich zastrzeżeń **znamiennie tym**, że w strefie chłodzenia (IV) na zewnątrz korpusu zewnętrznego (10) zamocowana jest chłodnica rurowa (19) o wysokiej wydajności z cieczą niskowrzącą zasilająca turbinę z generatorem elektrycznym.
10. **Urządzenie do jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych** według jednego z poprzednich zastrzeżeń, **znamiennie tym**, że elementami tocznymi (14) są kule, walce lub sferoidy pokryte z zewnątrz warstwą ceramiczną odporną na ścieranie i wysokie temperatury oraz korozyjne działanie związków chemicznych.
11. **Urządzenie do jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych** według jednego z poprzednich zastrzeżeń, **znamiennie tym**, że przenośnik ślimakowy (20) zawiera wydrążony wewnątrz wał (17), w którym zamocowana jest dysza przez którą wprowadzana jest atmosfera obojętna lub aktywator gazowo-parowy do komory wewnętrznej pieca (11).
12. **Urządzenie do jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych** według jednego z poprzednich zastrzeżeń **znamiennie tym**, że do drugich łopatek (16) od strony części środkowej (II) zamocowana jest metalowa obręcz (15).
13. **Urządzenie do jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych** według jednego z poprzednich zastrzeżeń, **znamiennie tym**, że łopatki (13, 16) umieszczone są w stosunku do osi korpusu (10) pod kątem od 7° do 15°.
14. **Urządzenie do jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych** według jednego z poprzednich zastrzeżeń **znamiennie tym**, że przenośnik ślimakowy zintegrowany ze skrobakami (20), oczyszczany jest przez skrobaki końcowe (21).
15. **Urządzenie do karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych** według zastrzeżenia 2, **znamiennie tym**, że moduł wyładowniczy (C), składa się z obudowy komory wyładowniczej (22), szczelnej obrotowej śluzy wyładowniczej (23) obracającej się cyklicznie o 180° i okna wyładowniczego (24).

Rysunki

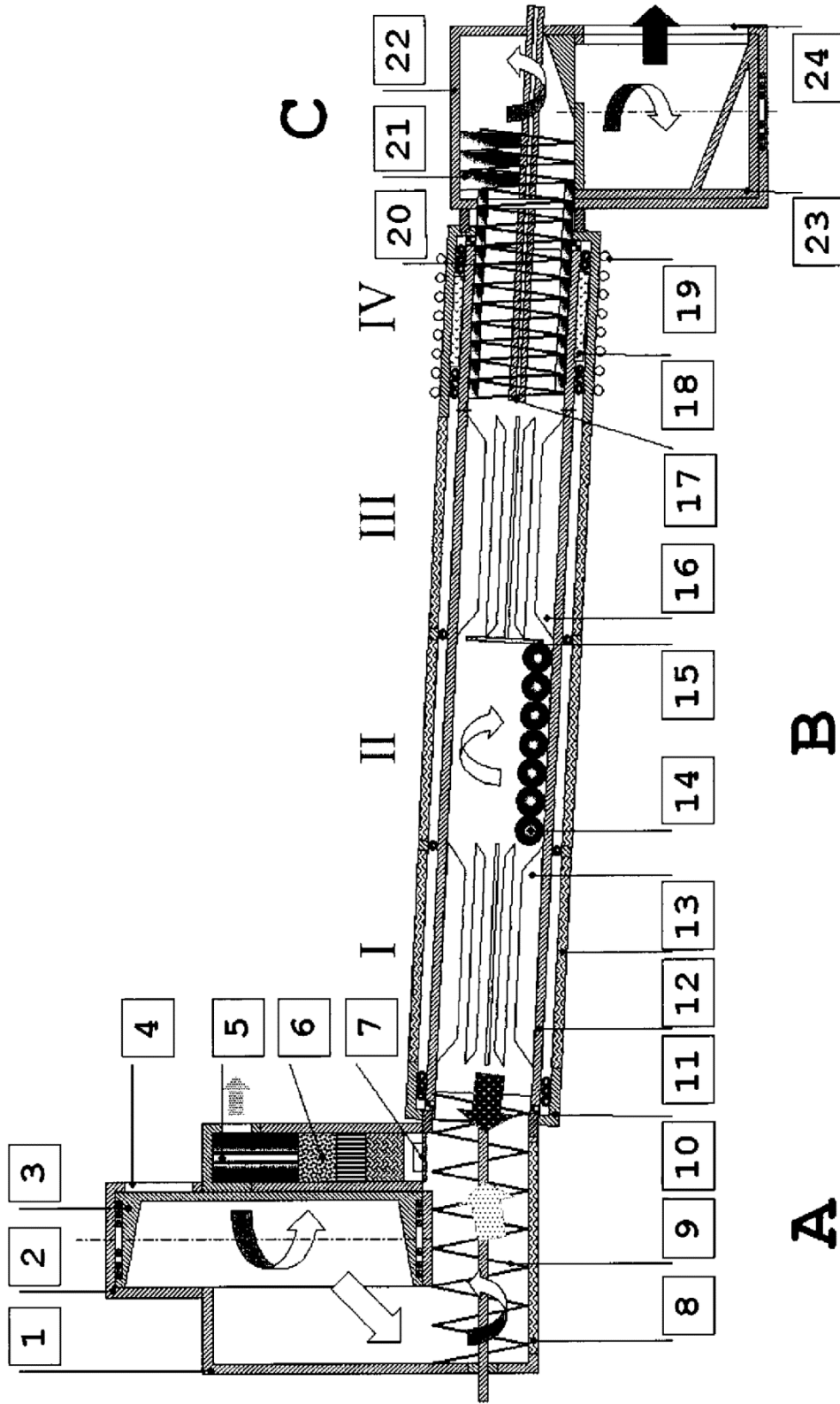


Fig. 1a



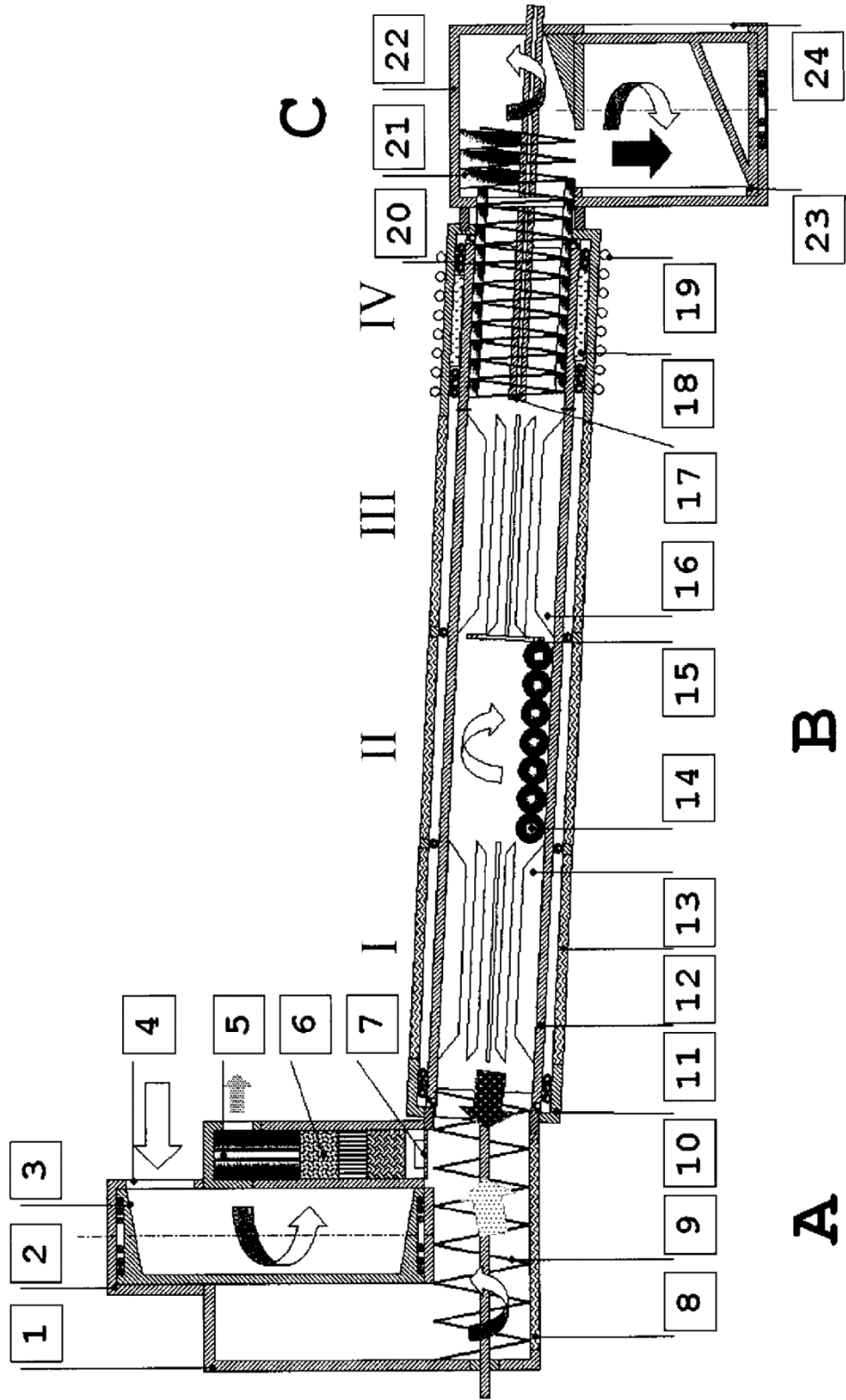


Fig. 1b

Fig. 2

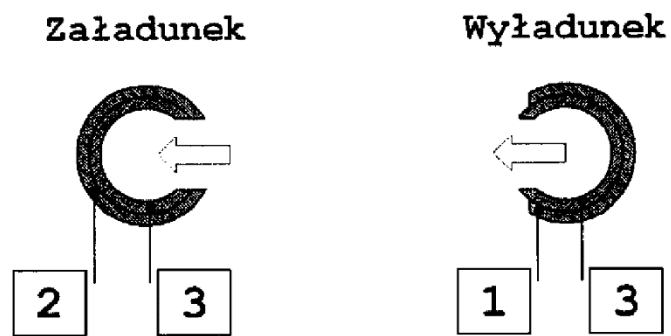
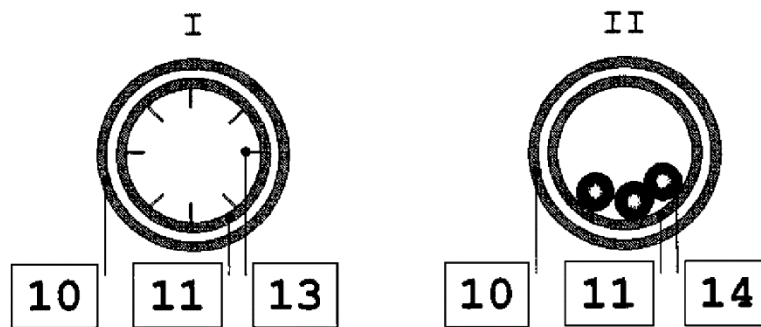


Fig. 3



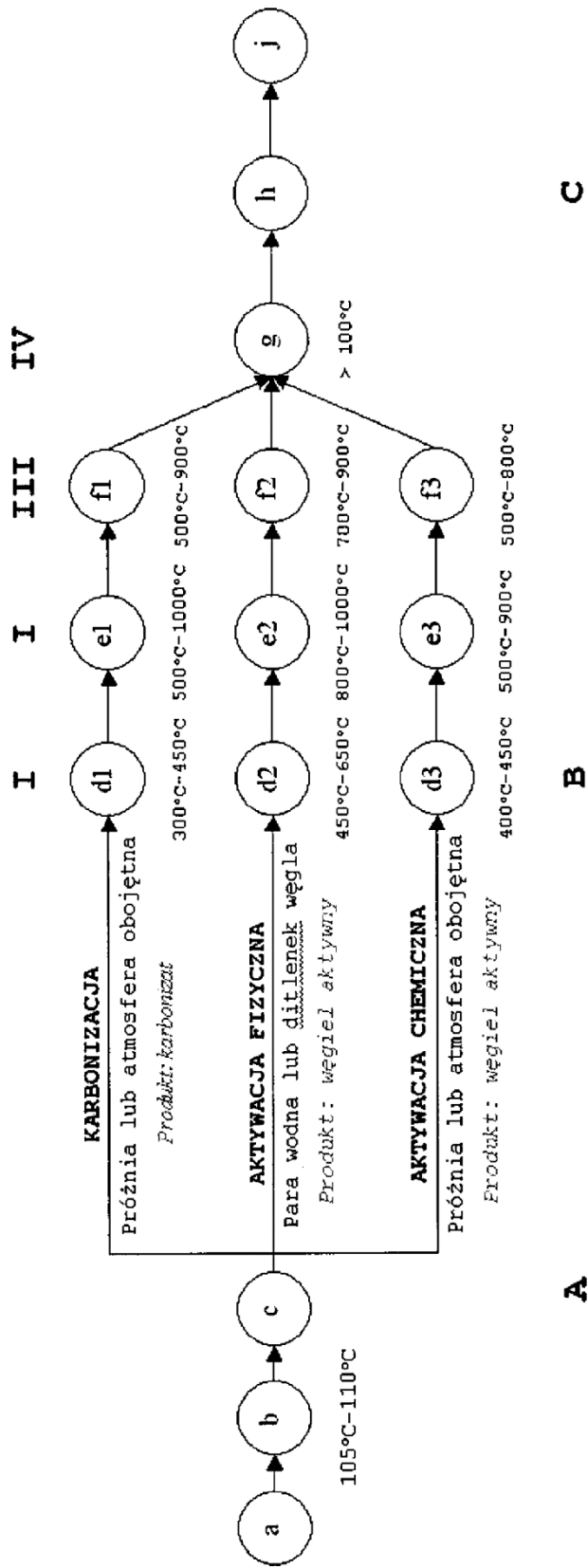


Fig. 4.