



Sposób zwiększania biodegradowalności odpadów kawowych

Przedmiotem wynalazku jest sposób zwiększania stopnia biodegradowalności odpadów kawowych.

5

Przemysł kawowy odgrywa istotną rolę w gospodarce światowej. Rocznie na świecie przekształca się surowiec owoców drzewa kawowego w 9,5 milionów ton kawy. Bariści wyliczają, że jedna kawa pozostawia po sobie średnio 8–10 g odpadów. W Polsce powstaje 120 tys. ton rocznie odpadów kawowych, które można ponownie wykorzystać. Odpady kawowe (fusy kawowe) należą do grupy

10

odpadów lignocelulozowych i zawierają średnio (wagowo w przeliczeniu na suchą masę) 12,5% celulozy, 39% hemicelulozy oraz 24% ligniny. Wykorzystanie ich jako substratu do produkcji biopaliw wymaga zwiększenia stopnia biodegradowalności. W tym celu odpady kawowe należy poddać procesowi wstępnej obróbki.

15

Nieznany jest proces kawitacji hydrodynamicznej jako metoda zwiększania biodegradowalności odpadów kawowych.

20

Znane są natomiast metody wstępnej obróbki odpadów kawowych z wykorzystaniem reagentów chemicznych. W zgłoszeniu patentowym [JP2003200138A](#) opisano metodę obróbki fusów kawowych, która może skutecznie rozkładać fusy kawowe bez zużywania dużej ilości energii i w wystarczającym stopniu zapobiegać wytwarzaniu dioksyn. Sposób obejmuje proces wstępnej obróbki fusów kawowych przy użyciu kwasu lub zasady oraz proces fermentacji beztlenowej fusów kawowych.

25

Znane są także różne metody przekształcania odpadów kawowych (fusów z kawy). Zgodnie z opisem zgłoszenia patentowego [KR20170049826A](#) odpady kawowe można wykorzystać do produkcji pojemnościowej elektrody dejonizacyjnej. Sproszkowane odpady kawowe są poddawane obróbce cieplnej przez 30-90 minut w temperaturze 600-1000°C. Pojemnościowa elektroda dejonizacyjna zawierająca aktywowany odpadowy proszek kawowy ma szerokie pole powierzchni właściwej i rozkład porów. Ponadto zastosowanie aktywowanego sproszkowanego odpadu kawowego do pojemnościowego urządzenia do dejonizacji zwiększa wydajność i szybkość reakcji absorpcji i desorpcji.

30

Znana jest także metoda wzmacniania regenerowanego tworzywa sztucznego odpadami kawowymi scharakteryzowana w zgłoszeniu [CN115386164A](#). Regenerowane tworzywo sztuczne wzmocnione odpadami kawowymi jest przygotowywane co najmniej z 15-40 części odpadów kawowych, 60-90 części regenerowanego tworzywa sztucznego i 0,5-1 części bezwodnika maleinowego. Stosowany tradycyjnie hartujący materiał kompozytowy - włókno szklane jest zastępowany przez odpady kawowe w obecności bezwodnika maleinowego. Odpady z kawy wzmacniają łańcuch molekularny polipropylenu, dzięki czemu właściwości mechaniczne regenerowanego tworzywa sztucznego są znacznie lepsze, produkt jest stabilny pod względem wydajności a także bardziej opłacalny ekonomicznie i ekologicznie w porównaniu z technologią ulepszania chemicznego.

35

40

Opis zgłoszenia patentowego [CN115284690A](#) przedstawia technologię wytwarzania tkaniny z odpadów kawowych. Warstwę tkaniny uzupełnioną odpadami kawowymi przygotowuje się

z następujących surowców w częściach wagowych: 40 do 50 części pozostałości kawy, 10 do 20 części poliestru, 10 do 20 części włókna roślinnego i 5 do 10 części dodatku chemicznego. Technologia produkcji jest bezpieczna dla środowiska, odpady kawowe są przetwarzane na materiał przyjazny dla skóry.

5 Zgłoszenie patentowe CN116232365A opisuje sposób wykorzystania odpadów kawowych do produkcji degradowalnego materiału kompozytowego. Zgodnie ze sposobem ujawnionym w wynalazku, celuloza, hemiceluloza i lignina zawarte w odpadach kawowych nie muszą być ekstrahowane, odpady kawowe i włókna masy papierniczej są bezpośrednio rozpuszczane w roztworze zasady i mocznika, które zwiększają rozpuszczalność. Jest to sposób wysokowartościowego wykorzystania odpadów
10 kawowych; a przygotowany materiał kompozytowy jest degradowalny, ma dobre właściwości fizyczne i może być szeroko stosowany do produkcji materiałów opakowaniowych i im podobnych w dziedzinie przemysłu, rolnictwa i żywności.

 Zgodnie z opisem zgłoszenia patentowego KR20150104684A odpady kawowe można wykorzystać do wytwarzania formowanego węgla drzewnego. Formowany węgiel drzewny składa się
15 z: odpadów kawowych zawierających składnik lipidowy w ilości mniejszej lub równej 0,08 g na 1 g w odniesieniu do całkowitej masy oraz węgla. Dzięki temu znacznie zmniejsza się ilość dymu wytwarzanego podczas spalania takiego węgla.

 Zgłoszenie patentowe CN110106207A dotyczy sposobu wytwarzania bioetanolu z odpadów kawowych (fusów, łusek i skórek kawy). Odpady kawowe powstające po zużyciu ziaren kawy są
20 poddawane recyklingowi, bioetanol jest przygotowywany w reakcji termicznej. Otrzymany tą metodą bioetanol może być wykorzystany do częściowego zastąpienia paliwa samochodowego.

 Opis zgłoszenia patentowego CN114868856A ujawnia sposób przygotowania sfermentowanego napoju z użyciem zużytych odpadów kawowych (fusów) jako surowca. Sposób przygotowania obejmuje następujące etapy: etap A1, odzyskiwanie fusów kawowych powstających po
25 sporządzeniu napojów kawowych; A2 suszenie fusów kawowych, kruszenie suszonych fusów kawowych przy użyciu młyna w celu uzyskania proszku fusów kawowych i zbieranie fusów kawowych w proszku przesianych przez sito o oczkach 60-100; etap A3, dodanie wody destylowanej do zebranej mielonej kawy w proszku, równomierne wymieszanie z wodą i dostosowanie stosunku wody destylowanej do mielonej kawy w proszku. Uwalnianie efektywnych składników z fusów kawowych jest
30 efektem biotransformacji bakterii kwasu mlekowego.

 W zgłoszeniu patentowym CN114854123A opisano wynalazek dotyczący kompozycji żywicy na bazie poliolefiny zawierającej odpadowe fusy z kawy, jako materiału wnętrza pojazdu. Kompozycja zawiera żywicę na bazie poliolefiny, odpadowe fusy z kawy, modyfikowany polipropylen, wypełniacz
35 nieorganiczny, elastomer termoplastyczny i środek poślizgowy, przy czym odpadowe fusy z kawy zawierają wodę w ilości mniejszej niż około 2% wagowo odpadów ziarna kawy.

 Natomiast zgłoszenie CN114854132A dotyczy kompozycji żywicy na bazie poliolefiny, jako materiału wnętrza pojazdu, zawierającej poddane obróbce cieplnej odpadowe fusy z kawy. Kompozycja żywicy zawiera: żywicę opartą na poliolefinie, odpadowe fusy kawowe zawierające substancję lotną
40 w ilości mniejszej niż około 20% wagowo, modyfikowany polipropylen, wypełniacz nieorganiczny i elastomer termoplastyczny.

W opisie zgłoszenia KR20220052251A przedstawiono sposób wytwarzania kompozytu metal-węgiel z wykorzystaniem odpadów kawowych jako źródła węgla lub środka redukującego. Sposób wytwarzania kompozytu metal-węgiel z wykorzystaniem odpadów kawowych obejmuje: mieszanie tlenku metalu z wysuszonymi odpadami kawowymi w celu wytworzenia kompozytu tlenek mączki-
 5 odpady kawowe oraz obróbkę cieplną, karbonizację i redukcję wytworzonego kompozytu odpadowego tlenku mączki i kawy. Ponieważ proces karbonizacji kawy i proces redukcji tlenku metalu są przeprowadzane jednocześnie, czas obróbki jest skrócony, tym samym proces jest bardziej ekonomiczny.

Znane są także doniesienia literaturowe dotyczące wstępnej obróbki odpadów kawowych.
 10 Pereira i inni (2022a) w swoich badaniach zastosowali biologiczną obróbkę wstępną, która obejmuje wykorzystanie grzybów *Trametes versicolor* i *Paecilomyces variotii*. Badania miały na celu porównanie hydrolizy kwaśnej i zasadowej, a także ekstrakcji nadkrytycznym CO₂ z zastosowaniem w/w. grzybów. Obróbka wstępna biologiczna spowodowała, że odpady kawowe stały się bardziej dostępnym substratem dla mikroorganizmów prowadzących proces fermentacji kwaśnej.

15 Pereira i inni (2022b) w swojej pracy zastosowali kilka metod obróbki wstępnej odpadów kawowych (hydrolizę kwaśną, hydrolizę zasadową, metodę hydrotermalną, mikrofałę, ultradźwięki i ekstrakcję nadkrytycznym CO₂). Przydatność metod oceniano analizując uwalnianie cukrów i inhibitorów z odpadów kawowych oraz możliwości zastosowania tak przygotowanych substratów do fermentacji kwaśnej. Pomimo niskiej wydajności w ekstrakcji cukrów, prawie wszystkie metody obróbki wstępnej
 20 zwiększyły produkcję krótkołańcuchowych kwasów organicznych. Najlepsze wyniki uzyskano przy zastosowaniu kwaśnej hydrolizy jako metody wstępnej obróbki odpadów kawowych.

Ribeiro i inni (2023) zaproponowali zastosowanie alkalicznej obróbki wstępnej w wykorzystaniem NaOH. Badanymi zmiennymi operacyjnymi były: czas reakcji (60-240 min), temperatura (25-75 °C) i stężenie NaOH (0-2,5 M). Optymalne warunki uzyskano dla NaOH w stężeniu 0,625 M w temperaturze
 25 50°C i przy czasie reakcji wynoszącym 60 min.

Znane są również doniesienia literaturowe dotyczące innych metod postępowania z odpadami kawowymi. Pandey i Jeong (2022) opracowali zsyntetyzowaną elektrodę węglową z odpadów kawowych z domieszką azotu, która może być wykorzystana do produkcji elastycznych elektrod superkondensatorów. Yang i inni (2022) przeprowadzili badania dotyczące wpływu odpadów kawowych
 30 (fusów), zwłaszcza ich stężenia i wielkości cząstek, na właściwości mechaniczne, ognioodporność i wydzielanie toksycznych gazów przez kompozyty epoksydowe. Wyniki pokazują, że zmniejszenie rozmiaru cząstek odpadów kawowych z 46 µm do 16 µm może obniżyć szczytową szybkość emisji ciepła i całkowitą emisję ciepła z kompozytów epoksydowych odpowiednio o 52,0% i 33,7%, przewyższając skuteczność innych biopochodnych środków zmniejszających palność, takich jak jak
 35 chitozan, lignina czy trójwodorzan glinu. W pracy Pandey i Jeong (2023) wykazali, że odpady kawowe po karbonizacji i aktywacji KOH w temperaturze 600°C mogą być stosowane jako elektrokatalizatory wydzielania tlenu i wodoru.

Celem wynalazku jest zwiększenie biodegradowalności odpadów kawowych metodą kawitacji hydrodynamicznej i optymalizacja sposobu, umożliwiającą maksymalizację efektu uwalniania związków organicznych w postaci rozpuszczonej i minimalizację uwalniania kofeiny.

5 Istotą sposobu zwiększania biodegradowalności odpadów kawowych jest to, że odpady kawowe zawiesza się w stężeniu 1% suchej masy w nośniku, jakim są ścieki oczyszczone mechanicznie pochodzące z miejskiej oczyszczalni ścieków, a następnie kawituje się hydrodynamicznie przez okres od 5 do 45 min, korzystnie 20 min, pod ciśnieniem od 3 do 7 bar, korzystnie 5 bar, z użyciem wzbudnika kawitacji w postaci przegrody perforowanej w postaci płyty o grubości 10 mm z pojedynczym centralnym
10 otworem stożkowym o średnicy wlotu 3 mm i średnicy wylotu 10 mm.

Korzystnym skutkiem wynalazku jest to, że pozwala na zwiększenie biodegradowalności odpadów kawowych.

Sposób zwiększania biodegradowalności w przykładach wykonania zrealizowano z zastosowaniem stanowiska zaprojektowanego i wykonanego na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Lubelskiej (rysunek stanu techniki), które składało się ze zbiornika zasilającego 1 kawitator, pompy 2, kawitatora hydrodynamicznego 3, przepływomierza elektromagnetycznego 4, manometru 5, układu sterowania 6 i króćców do podłączenia przetworników ciśnienia 7.
15

20 Sposób zwiększania biodegradowalności odpadów kawowych zawieszonych w ściekach w przykładach wykonania polegał na tym, że do zbiornika zasilającego kawitator 1 wprowadzono 30 dm³ ścieków oczyszczonych mechanicznie pochodzących z miejskiej oczyszczalni ścieków „Hajdów” w Lublinie i wymieszano z 0,95 kg odpadów kawowych.

Ścieki oczyszczone mechanicznie w tym przykładzie posiadały następującą charakterystykę:
25 biologiczne zapotrzebowanie na tlen BZT₅ = 410-445 mg/dm³, chemiczne zapotrzebowanie na tlen ChZT = 825-842 mg/dm³ oraz stężenie zawiesiny ogólnej 202-218 mg/dm³.

Skład chemiczny ścieków nie miał wpływu na wydajność uwalniania substancji rozpuszczonych z odpadów kawowych.

Mieszaninę podawano za pomocą pompy 2 do kawitatora hydrodynamicznego 3 zaprojektowanego i wykonanego na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Lubelskiej (rysunek stanu techniki), ze wzbudnikiem kawitacyjnym w postaci płytki o grubości 10 mm. Płytkę posiadała pojedynczy centralny otwór stożkowy o średnicy wlotu 3 mm i średnicy wylotu 10 mm. Układ kawitacyjny pracował w obiegu cyrkulacyjnym przy zadanym ciśnieniu przez ustalony czas. Zapewniało to wielokrotne przejście strumienia przez strefę kawitacji. W pierwszej serii przykładów układ pracował pod ciśnieniem 3 bar.
30 W drugiej serii przykładów układ pracował pod ciśnieniem 5 bar. W trzeciej serii przykładów układ pracował pod ciśnieniem 7 bar. Przeprowadzona kawitacja spowodowała znaczący wzrost stężenia związków organicznych w formie rozpuszczonej (OWOr, ang. DOC) oraz wzrost stopnia biodegradowalności wyrażonego wskaźnikiem OWOr/OWO (ang. DOC/TOC). Stężenie OWOr oraz OWO określano stosując metodę pomiaru polegającą na utleniającym spalaniu próbki i analizie
35 w podczerwieni za pomocą analizatora węgla organicznego TOC-L_{CSH/CSN} firmy Shimadzu.
40

Przeprowadzona kawitacja spowodowała uwalnianie kofeiny przy ciśnieniu 5 i 7 bar. Stężenie kofeiny oznaczano stosując metodę chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią mas poprzez ekstrakcję ciecz-ciecz z wykorzystaniem dichlorometanu jako ekstraktanta, jako urządzenie wykorzystywano chromatograf gazowy GC-MS Agilent 8890/5977 B.

5

Poszczególne składniki i parametry dla realizacji przykładów przedstawiono w tabeli 1, w tabeli 2 oraz w tabeli 3.

Tabela 1 *Parametry i wyniki procesu dla pierwszej serii przykładów - przegroda o pojedynczym centrycznym otworze stożkowym 3/10 mm, ciśnienie 3 bar*

10

Przykład	-	1*	2	3	4	5	6
Czas kawitacji hydrodynamicznej	min	0	5	10	20	30	45
Ilość przejść strumienia przez strefę kawitacji	-	0	2,85	5,7	11,4	17,1	25,7
Stężenie OWOr	mg/dm ³	332	438	453	474	491	499
Stopień biodegradowalności OWOr/OWO	-	0,0006	0,0008	0,0009	0,0009	0,0010	0,0011
Wzrost stężenia OWOr	%	-	31,9	36,4	42,8	47,9	50,3
Wzrost stopnia biodegradowalności	-	-	1,33	1,5	1,5	1,67	1,83
Stężenie kofeiny	ppm	nd	nd	nd	nd	nd	nd

- *dotyczy mieszaniny przed kawitacją
- nd – poniżej granicy detekcji

Tabela 2 *Parametry i wyniki procesu dla drugiej serii przykładów - przegroda o pojedynczym centrycznym otworze stożkowym 3/10 mm, ciśnienie 5 bar*

15

Przykład	-	1*	2	3	4	5	6
Czas kawitacji hydrodynamicznej	min	0	5	10	20	30	45
Ilość przejść strumienia przez strefę kawitacji	-	0	3,65	7,3	14,6	21,9	32,85
Stężenie OWOr	mg/dm ³	329	454	471	515	545	585
Stopień biodegradowalności OWOr/OWO	-	0,0007	0,0010	0,0010	0,0011	0,0012	0,0013
Wzrost stężenia OWOr	%	-	37,9	43,2	56,5	65,7	77,8
Wzrost stopnia biodegradowalności	-	-	1,43	1,43	1,57	1,71	1,86
Stężenie kofeiny	ppm	nd	nd	nd	nd	4,80	6,12

- *dotyczy mieszaniny przed kawitacją
- nd – poniżej granicy detekcji

Tabela 3 *Parametry i wyniki procesu dla drugiej serii przykładów - przegroda o pojedynczym centralnym otworze stożkowym 3/10 mm, ciśnienie 7 bar*

Przykład	-	1*	2	3	4	5	6
Czas kawitacji hydrodynamicznej	min	0	5	10	20	30	45
Ilość przejść strumienia przez strefę kawitacji	-	0	4,3	8,55	17,1	25,65	38,4
Stężenie OWOr	mg/dm ³	249	414	435	468	519	570
Stopień biodegradowalności OWOr/OWO	-	0,0005	0,0009	0,0009	0,0010	0,0011	0,0013
Wzrost stężenia OWOr	%	-	66,3	74,7	87,9	108,4	128,9
Wzrost stopnia biodegradowalności	-	-	1,8	1,8	2	2,2	2,6
Stężenie kofeiny	ppm	nd	9,6	8,7	5,5	13,8	7,6

- *dotyczy mieszaniny przed kawitacją

5

- nd – poniżej granicy detekcji

RZECZNIK PATENTOWY

Maciej Nowicki
mgr inż. Maciej Nowicki
Nr wp. 3476

Wykaz oznaczeń:

- 1 - zbiornik zasilający kawitator,
- 2 - pompa,
- 3 - kawitator hydrodynamiczny,
- 4 - przepływomierz elektromagnetyczny,
- 5 - manometr,
- 6 - układ sterowania,
- 7 - króćce do podłączenia przetworników ciśnienia.