

PRACE NAUKOWE

Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu

RESEARCH PAPERS

of Wrocław University of Economics

Nr 454

**Ekonomika ochrony środowiska
i ekoinnowacje**



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
Wrocław 2016

Redakcja wydawnicza: Elżbieta Kożuchowska
Redakcja techniczna i korekta: Barbara Łopusiewicz
Łamanie: Małgorzata Myszkowska
Projekt okładki: Beata Dębska

Informacje o naborze artykułów i zasadach recenzowania
znajdują się na stronach internetowych
www.pracnaukowe.ue.wroc.pl
www.wydawnictwo.ue.wroc.pl

Publikacja udostępniona na licencji Creative Commons
Uznanie autorstwa-Użycie niekomercyjne-Bez utworów zależnych 3.0 Polska
(CC BY-NC-ND 3.0 PL)



© Copyright by Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
Wrocław 2016

ISSN 1899-3192
e-ISSN 2392-0041
ISBN 978-83-7695-621-3

Wersja pierwotna: publikacja drukowana

Zamówienia na opublikowane prace należy składać na adres:
Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
ul. Komandorska 118/120, 53-345 Wrocław
tel./fax 71 36 80 602; e-mail: econbook@ue.wroc.pl
www.ksiegarnia.ue.wroc.pl

Druk i oprawa: TOTEM

Spis treści

Wstęp.....	9
------------	---

Część 1. Współczesne problemy ekonomiki ochrony środowiska

Anna Bisaga: Zarządzanie funkcją środowiskową w rolnictwie – źródło nowych rent gospodarstw rolnych / The management of the environmental function in agriculture – the source of new pensions of agricultural households.....	13
Zbigniew Brodziński, Katarzyna Brodzińska: Uwarunkowania rozwoju rynku zielonych miejsc pracy na przykładzie podmiotów zajmujących się przetwórstwem biomasy na cele energetyczne / Conditions of green jobs market development based on the example of businesses processing biomass for energy purposes.....	22
Agnieszka Ciechelska: Analiza skuteczności i zrównowżenia polskiego systemu gospodarki odpadami komunalnymi / Analysis of the effectiveness and sustainability of the Polish municipal waste management system.....	31
Ilisio Manuel de Jesus, Natalia Sławińska: Kształtowanie się cen gruntów rolnych w Polsce na tle wybranych krajów Unii Europejskiej / Price formation of agricultural land in Poland on the background of selected countries of the European Union.....	45
Anna Dubel: Efektywność ekonomiczna inwestycji na obszarach szczególnego zagrożenia powodzią / Economic efficiency of investment on areas of special flood-related hazards.....	52
Piotr Jeżowski: Techniczne uwarunkowania rozwoju gospodarki niskoemisyjnej w Polsce / Technical conditions for development of the low emission economy.....	63
Waldemar Kozłowski: Ocena wskaźnikowa inwestycji infrastruktury wodno-kanalizacyjnej w aspekcie zrównoważonego rozwoju / Evaluation of investment ratio water supply and sewerage infrastructure in the context of sustainable development.....	79
Barbara Kryk: Rachunek korzyści ekologicznych z inwestycji termomodernizacyjnych na przykładzie spółdzielni mieszkaniowych województwa zachodniopomorskiego / Account of environmental benefits from thermo-modernization investment on the example of cooperative housing of West Pomeranian Voivodeship.....	92

Łukasz Kuźmiński, Łukasz Szalata, Bogusław Fiedor, Jerzy Zwoździak: Ocena zmienności ryzyka zagrożenia powodziowego w dorzeczu Odry na podstawie rozkładów półrocznych maksimum stanów wód / The rating of volatility of flood hazard risk in the basin of the Oder River based on biannual distributions of maximums of water levels.....	102
Romuald Ogrodnik: Wskaźniki efektywności działalności środowiskowej kopalń węgla kamiennego / Environmental performance indicators of hard coal mines.....	117
Jarosław Pawłowski: Zasadność ekoratingu samochodów osobowych / Ap- propriateness of eco-rating of passenger cars.....	131
Anna Śliwińska: Metodyka poszerzenia systemu i alokacji w ocenie cyklu życia procesów wielofunkcyjnych / System expansion and allocation methodology in a life cycle assessment of multi-functional processes.....	141

Część 2. Postęp techniczny a ekonomia środowiska oraz zasobów naturalnych

Sylwia Dziejcz: Ekoinnowacyjne zachowania zakupowe klientów / Eco-in- novative purchasing behavior of customers.....	159
Stanisław Famielec, Józefa Famielec: Ekonomiczne i techniczne uwarunko- wania procesów spalania odpadów komunalnych / Economic and techni- cal determinants of municipal solid waste incineration.....	174
Ryszard Jerzy Konieczny: Zapotrzebowanie energetyczne wiatrowego aera- tora pulweryzacyjnego wody w warunkach Jeziora Rudnickiego Wielkie- go / Energy demand of wind-driven pulverising aerator under conditions of Lake Rudnickie Wielkie.....	186
Małgorzata Rutkowska-Podolowska, Jolanta Pakulska: Nakłady inwesty- cyjne na gospodarkę odpadami / Capital expenditure on waste management	196
Małgorzata Rychlik, Bartosz Pieczaba, Karol Statkiewicz: Nawilżanie po- wietrza w komorze pulsofluidalnej / Air humidification in the pulsed fluid bed.....	208

Część 3. Społeczne aspekty gospodarowania zasobami środowiska

Joanna Gajda: Zarządzanie pracownikami pokolenia Y nowym wyzwaniem dla pracodawców / Sustainable management of Generation Y employees as a new challenge for employers.....	217
Katarzyna Gryga: Społeczna odpowiedzialność biznesu jako narzędzie zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstwa górniczego / Corporate social responsibility as a tool of sustainable development in mining company ...	229

Agnieszka Mikucka-Kowalczyk: Działania społecznie odpowiedzialne podejmowane przez KGHM Polska Miedź SA a koncepcja zrównoważonego rozwoju / Socially responsible actions taken by KGHM Polska Miedź SA vs. the concept of sustainable development.....	239
Sylwia Słupik: Rola partycypacji społecznej w kreowaniu lokalnego zrównoważonego rozwoju / The role of public participation in the creation of local sustainable development	252

Wstęp

Rozwój zrównoważony, a zwłaszcza implementacja opartej na nim strategii tworzy wiele wyzwań dla praktyki ochrony środowiska przyrodniczego i gospodarowania jego zasobami (w tym usługami). Pojawiają się one na wielu płaszczyznach, między innymi w postaci ekonomiki ochrony środowiska, którą uznać można za najwcześniejszą w polskiej literaturze, wywodzącą się jeszcze z sozologii, część badań nad nową proekologiczną strategią rozwoju społeczno-ekonomicznego, a także w formie studiów nad rolą postępu technicznego w ekonomii środowiska i zasobów naturalnych. Trzeci praktyczny wymiar problemów ochrony środowiska i korzystania ze środowiska przyrodniczego dotyczy – zyskującego na znaczeniu – aspektu społecznego. Powyższe grupy zagadnień pojawiły się w wielu opracowaniach przygotowanych i przedstawionych na konferencji.

Problemy ekonomiki ochrony środowiska przyrodniczego i gospodarowania jego zasobami przyjęły postać między innymi: (1) związków pomiędzy rolnictwem a środowiskiem przyrodniczym i gospodarowania glebą, (2) gospodarowania odpadami komunalnymi, (3) gospodarowania wodą i ściekami, (4) wyzwań niskiej emisji i termoizolacji budynków, (5) „zielonych” miejsc pracy, a także (6) zagrożonych inwestycji i ubezpieczeń ekologicznych czy (7) analizy wskaźników efektywności ekonomiczno-ekologicznej realizowanych przedsięwzięć.

Postęp techniczny jest kolejną, istotną płaszczyzną, na której pojawiają się i są rozwiązywane problemy praktyczne w zakresie ochrony środowiska przyrodniczego i użytkowania jego zasobów czy usług. Uczestnicy konferencji podjęli w tym zakresie między innymi takie zagadnienia, jak: (1) techniczne problemy gospodarowania odpadami, (2) techniczne wyzwania energetyki odnawialnej, a także: (3) ekoinnowacyjne zachowania konsumentów czy (4) ekoinnowacje w produkcji żywności.

Wymiar społeczny ochrony środowiska przyrodniczego i gospodarowania jego zasobami (w tym usługami) rozwija się szybko w ostatnich latach wraz ze zmianami w świadomości ekologicznej ludzi. Ta swoista „socjologia ekologiczna” pojawia się coraz częściej w badaniach naukowych i prezentowanych publikacjach. Wśród uczestników konferencji przyjęły one postać między innymi: (1) społecznej odpowiedzialności biznesu, (2) partycypacji obywatelskiej czy (3) ekologicznego zarządzania zespołami ludzkimi.

Zachęcając Czytelników do zapoznania się z przedstawionymi opracowaniami, wyrazić można dwa oczekiwania – interesującej lektury oraz nadziei, że ta niezwykle istotna, z punktu widzenia rozwoju zrównoważonego i trwałego, problematyka będzie się nadal szybko rozwijać, z korzyścią dla środowiska przyrodniczego i ludzkiej cywilizacji.

Agnieszka Becla

Magdalena Rychlik, Bartosz Pieczaba, Karol Statkiewicz

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
e-mail: magdalena.rychlik@ue.wroc.pl

NAWILŻANIE POWIETRZA W KOMORZE PULSOFLUIDALNEJ

AIR HUMIDIFICATION IN THE PULSED FLUID BED

DOI: 10.15611/pn.2016.454.17

JEL Classification: O31, O33

Streszczenie: W obliczu ocieplenia klimatu granica stosowania klimatyzacji do chłodzenia i ogrzewania lokali mieszkalnych i przemysłowych przesuwana się na północ, obejmując obszary, w których do niedawna nie była stosowana. Jakość powietrza tłoczonego do budynków ma kluczowe znaczenie nie tylko w kontekście samopoczucia ludności, ale także w kontekście procesów przemysłowych. Warunki bytowania i prowadzenia procesów przemysłowych określone są nie tylko przez czystość i wilgotność powietrza. Proces nawilżania powietrza nabiera więc coraz większego znaczenia. Praca dotyczy możliwości stosowania układu pulsofluidalnego do nawilżania powietrza przeznaczonego do stabilizacji warunków bytowania i prowadzenia procesów przemysłowych. Hydrodynamika układu pulsofluidalnego wskazuje na obniżenie zapotrzebowania gazu do wytworzenia warstwy fluidalnej o około 30%, w porównaniu z układem fluidalnym, co znacząco wpływa na zapotrzebowanie na energię. Wykonano badania eksperymentalne, które wskazują na dobrą strukturę złoża i rozprowadzania wody w całej objętości wypełnienia (opory zredukowane złoża sięgające wartości 0,8). Zawartość wilgoci w powietrzu wypływającym z komory zraszania stabilizuje się po godzinie prowadzenia procesu, rośnie wraz ze wzrostem temperatury oraz wysokością złoża nośnika. Wpływ intensywności nawilżania złoża jest niejednoznaczny i wymaga szerszych badań

Słowa kluczowe: nawilżanie powietrza, klimatyzacja, układ pulsofluidalny.

Summary: Humidification of air is one of the main factors that affects the quality of human being as well as quality of industrial products. In the time of climate changes and environmental consequences of human existence and industrial production, the economical air treatment has become meaningful. Air humidification in the pulsed fluid bed is an alternative to the classical methods of the humid air source and can be proceeded in the lower gas stream and energy consumption when compared to the fluid bed. Hydrodynamics study of the PFB (pulsed fluid bed) indicates that the gas consumption necessary to obtain the pulsed fluid bed can be about 30% lower than in the fluid bed. The preliminary experiments of air humidification were conducted and the results indicate that the bed quality and water distribution in the main chamber are good (reduced pressure drop reached 0.8). Water content in the exhausted air (dry basis) is increasing with the increase in the process temperature and bed height. The effect of water stream on the water content in the exhausted air is inconsistent and should be verified.

Keywords: humidification of air, air conditioning, the fluid bed.

1. Wstęp

Parametry powietrza mają niebagatelne znaczenie dla wygody bytowania ludności. W warunkach wysokiej wilgotności parowanie potu z powierzchni skóry ulega zmniejszeniu, a więc trudniejsze staje się utrzymanie odpowiedniej temperatury ciała. Jeśli temperatura otoczenia jest wyższa od temperatury skóry człowieka, chłodzenie ciała przez konwekcję staje się niemożliwe. W krótkim czasie skutkuje to uczuciem osłabienia i dyskomfortu. Zbyt suche powietrze z kolei może być przyczyną podrażnień śluzówek nosa, powodować trudności w oddychaniu czy też zakłócać sen. Szczególnie istotne jest nawilżanie powietrza w okresie zimowym. Przy wilgotności względnej 100% i w temperaturze -10°C zawartość wilgoci wynosi $1,77 \text{ gH}_2\text{O/kg}$ suchego powietrza. Ogrzewanie takiego powietrza bez nawilżania powoduje obniżenie wilgotności względnej do 12%, podczas kiedy zalecana wilgotność względna w pomieszczeniach bytowych wynosi 35–65% [Gorzakowski, Kozakiewicz 1998; Recknagel i in. 1994].

Poza codziennym nawilżaniem powietrza, należy wspomnieć o jego szerokim zastosowaniu w wielu gałęziach przemysłu. Wiele procesów przemysłowych może przebiegać efektywnie przy jednoznacznie określonych parametrach powietrza [Kobza, Kostyrko 2003]. Wilgotne powietrze towarzyszy wielu procesom chemicznym [Recknagel i in. 1994], co powoduje, że jego wytwarzanie staje się elementem wchodzącym w skład kosztów produkcji.

Tabela 1. Wymagane zakresy temperatur i wilgotności powietrza w różnych procesach przemysłowych

Gałąź przemysłu	Rodzaj zakładu	Temperatura t [$^{\circ}\text{C}$]	Wilgotność względna φ [%]
1	2	3	4
Futra	Suszenie Magazynowanie	43 5–10	55–65
Tworzywa sztuczne	Tworzywa sztuczne termoutwardzalne Powlekanie (owijanie) celofanem	27 24–27	25–30 45–65
Przemysł farmaceutyczny	Składowanie półproduktów Fabryka tabletek	21–27 21–27	30–40 35–50
Przemysł papierniczy	Hale maszyn Magazyn papieru	22–30 20–24	50–60 50–60
Muzea	Malarstwo	18–24	40–55
Zakłady mechaniczne	Biura, składanie, montaż Montaż precyzyjny	20–24 2–24	35–55 40–50
Przemysł gumowy	Składowanie Fabrykacja Wulkanizacja Materiały chirurgiczne	16–24 31–33 26–28 24–33	40–50 – 25–30 25–30

Tabela 1, cd.

1	2	3	4
Przemysł elektrotechniczny	Produkcja ogólna	21	50–55
	Produkcja termo- i hiostatów	24	50–55
	Produkcja z małymi tolerancjami	22	40–45
	Produkcja izolacji	24	65–70
Piekarnictwo	Magazyn mąki	15–25	50–60
	Magazyn drożdży	0–5	60–75
	Wytwarzanie ciasta	23–25	50–60
	Magazyn cukru	25	35
Drukowanie	Składowanie papieru	20–26	50–60
	Drukowanie	22–26	45–60
Browary	Pomieszczenie fermentacji	4–8	50–70
	Beczki ze słodem	10–15	80–85
Biblioteki	Magazyn książek	21–25	40–50
Przemysł cukierniczy	Składowanie (owoce suche)	1013	50
	Produkcja cukierków miękkich	21–24	45
	Produkcja cukierków twardych	24–26	30–40
	Wytwarzanie czekolady	15–18	50–55
	Wytwarzanie keksów i wafli	18–20	50
Przemysł tytoniowy	Magazynowanie tytoniu surowego	21–23	60–65
	Fabrykacja papierosów	21–24	55–65
	Pakowanie	23	65
Przemysł tekstylny	Bawełna:		
	Kąpiel	22–25	40–50
	Gręplarnia	22–25	50–55
	Przędzarka obrączkowa	22–25	40–45
	Przewijanie, skręcanie, strzyżenie i naciąganie osnowy	22–25	60–70
	Tkalnia	22–25	75–80
	Kondycjonowanie przędzy i tkaniny	22–25	90–95
	Włna: Przygotowanie	27–29	60
	Gręplowanie	27–29	65–70
	Przędzenie	27–29	50–60
	Tkanie	27–29	60–70
	Wyposażenie	24	50–60
	Jedwab: Przygotowanie	27	60–65
	Przędzenie	24–27	65–70
	Tkanie	24–27	60–75

Źródło: [Kobza, Kostyrko 2003; Recknagel i in. 1994; Statkiewicz 2009].

W urządzeniach klimatyzacyjnych następuje termodynamiczne uzdatnienie powietrza zewnętrznego do stanu, w jakim ma być nawiewane do pomieszczeń. Wyróżnia się kilka sposobów nawilżania powietrza [Kobza, Kostyrko 2003; Recknagel

i in. 1994], np. przez podgrzewanie wody i parowanie dyfuzyjne lub wyparowanie z otwartych zbiorników, bezpośrednie wdmuchiwanie pary wodnej do pomieszczeń lub kanałów doprowadzających, przez rozpylanie wirowe lub za pomocą komór ze złożem zraszającym. W komorach zraszania i komorach ze złożem zraszającym przepływające powietrze kontaktuje się z rozpyloną lub przepływającą wodą. Zachodzi wówczas równoczesna wymiana ciepła i masy. Jako wypełnienie zraszane stosuje się maty o dużych powierzchniach, wypełnienie z drobnych elementów, np. pierścienie Raschiga, ceramiczne kształtki, ażurowe kulki lub rurki z tworzywa sztucznego, siatki i tkaniny metalowe i z tworzyw sztucznych bądź wypełnienia pakietowe z tworzyw sztucznych tworzące wąskie kanaliki. Mała objętość wypełnienia i rozwinięta powierzchnia pozwala na redukcję długości komory zraszania i intensyfikację procesu wymiany ciepła i masy. Komory wypełnione pozwalają uzyskać stan powietrza bliski nasycenia przy 3–4-krotnie mniejszych gabarytach niż w komorach zraszanych bez wypełnienia [Statkiewicz 2009].

Wytworzenie warstwy pulsofluidalnej oparte jest na oddziaływaniu pulsującego strumienia gazu na rozdrobnioną fazę stałą spoczywającą na półce sitowej aparatu. Do upłynnienia złoża materiału wymagana jest określona wartość prędkości gazu. Prędkość ta nazywana jest dolną prędkością pulsofluidyzacji. Pod półką sitową aparatu znajdują się komory naporowe połączone przewodami z rozdzielaczem powietrza. W rozdzielaczu strumień powietrza kierowany jest sekwencyjnie (w kierunku P) do kolejnych przewodów za pomocą obrotowej tarczy. W komorze roboczej uzyskuje się w ten sposób pulsujący strumień gazu, a cząstki złoża wykazują drgania. Ciało stałe przesuwane w komorze w kierunku M. Ponieważ strumień powietrza jest kierowany jednocześnie do 1 lub maksymalnie 2 komór naporowych (1/3 lub 2/3 powierzchni półki sitowej), natężenie przepływu gazu potrzebne do fluidyzacji (zawieszenia cząstki w strumieniu przepływającego powietrza) jest o 40–50% niższe niż w przypadku pełnej fluidyzacji w tym samym aparacie. Dla rozwiniętego złoża fluidalnego zapotrzebowanie gazu może być o 30% niższe [Rychlik 2013].

Badania procesu suszenia w warstwie pulsofluidalnej [Olazar i in. 1992] wykazały, że efektywność suszenia jest od trzech do ośmiu razy większa niż w przypadku suszenia materiału w złożu nieruchomym. Sztabert [1978] podaje, że współczynniki wymiany ciepła były do 30% większe niż w układzie bez pulsacji strumienia gazu. Ponadto zaleca stosowanie materiałów gruboziarnistych, monodispersyjnych i poli-dispersyjnych, o małej różnicy wielkości ziarna.

Celem pracy jest przedstawienie nowej metody nawilżania powietrza w klimatyzacjach przemysłowych. Do procesu zaadaptowano układ pulsofluidalny z cyklicznie przemieszczanym strumieniem gazu.

2. Materiały i metody badawcze

Badania zostały wykonane w komorze roboczej aparatu pulsofluidalnego zaadaptowanej na komorę zraszania. Korzystano z trójkomorowego aparatu pulsofluidyza-

cyjnego o strefowej pulsacji poprzecznej. Stanowisko było wyposażone w zawór regulacyjny przepływu powietrza, kryzę pomiarową do pomiaru natężenia przepływu powietrza, nagrzewnicę gazu, tarczowy rozdzielacz gazu, aparat pulsofluidyzacyjny, cyklonowy łapacz pyłu, termometry oraz instalację kontrolno-pomiarową.

Materiałem poddawany zraszaniu, a następnie suszeniu w celu wytworzenia wilgotnego powietrza był granulatu polipropylenowy. Badania przeprowadzono dla dwóch średnic granulatu – $d_c = 4,33$ mm (różowego) i $d_c = 2,62$ mm (niebieskiego). Gęstość usypowa wynosiła odpowiednio dla suchego polipropylenu różowego: 544 kg/m^3 , a niebieskiego: $535,82 \text{ kg/m}^3$. Polipropylen przed użyciem został dokładnie osuszony. Do komory wprowadzano ilość granulatu zapewniającą uzyskanie zadanej wysokości złoża: 50, 100 lub 150 mm. Do zraszania materiału użyto dwóch pomp 335A.

Przed rozpoczęciem badań skalibrowano wskazania pomp. Temperatura prowadzenia procesu wynosiła 50 i 60°C. Uruchomiono wentylator i rozdzielacz powietrza. Regulowano przepływ powietrza tak, aby otrzymać początek drgań złoża (dolną prędkość pulsofluidyzacji). Układ pozostawiono na godzinę, co 15 minut kontrolując zachowanie złoża oraz monitorując poziom wody w zbiornikach zasilających pompy zraszające. Po godzinie przeznaczony na stabilizację warunków procesu dokonano kolejnego odczytu wartości wielkości mierzonych. Wilgotność powietrza określano na podstawie wskazań układu termometru suchego i mokrego i wykresu Molliera-Ramzina.

3. Wyniki badań

Hydrodynamika przepływu gazu przez warstwę złoża pulsofluidalnego jest szeroko opisana w literaturze. Przy wzroście natężenia przepływu gazu złoże pozostaje nieruchome do momentu zrównoważenia sił działających na cząstki w złożu. Prędkość powietrza, przy której zastępuje upłynnienie złoża, nazywa się dolną prędkością pulsofluidyzacji (w_{dpf}). Złoże pulsofluidalne wykazuje drgania materiału znajdującego się w komorze roboczej przy wzroście natężenia przepływu gazu aż do osiągnięcia górnej prędkości pulsofluidyzacji. Powyżej tej prędkości w złożu obserwuje się fontannowanie i burzliwą pracę złoża. Z punktu widzenia wykorzystania złoża do nawilżania powietrza najkorzystniejszą prędkością roboczą jest dolna prędkość pulsofluidyzacji, ponieważ złoże jest wtedy penetrowane przez gaz bez tworzenia pęcherzy i proces odprowadzania wilgoci z nośnika (polipropylenu) do powietrza może być prowadzony efektywnie. Pojawienie się dużych pęcherzy w złożu powoduje brak kontaktu fazy gazowej wewnątrz pęcherzy z fazą stałą. Hydrodynamikę złoża pulsofluidalnego można opisać ogólnie stosowanym modelem opisanym równaniem (1). Równanie pozwala wyznaczyć dolną prędkość pulsofluidyzacji w aparacie pulsofluidyzacyjnym dla wysokości złoża w zakresie: $50 < H_0 < 150$ mm i średnicy cząstki polipropylenu $2,61 < d_c < 4,33$ mm. Model wykazuje udział zmienności wyjaśnionej $R^2 = 0,988$.

$$Re_{dpf} = C \cdot Ar^A \cdot \left(\frac{H_0}{d_e}\right)^B \quad (1)$$

Tabela 2. Parametry równania modelu hydrodynamiki złoża pulsofluidalnego polipropylenu mokrego i suchego

Material	C	A	B
Polipropylen suchy	901,148	0,148	0,169
Polipropylen zwilżony	912,576	0,113	0,379

Legenda: C, A, B – parametry w równaniu (1).

Źródło: opracowanie własne.

Z opracowania danych eksperymentalnych wynika, że dla zwilżanego polipropylenu opory zredukowane (Δp_{red}) sięgają wartości 0,8, co wskazuje na bardzo dobrą strukturę złoża i dobre rozprawianie wody w całej objętości wypełnienia [Piecza-ba, Statkiewicz 2010].

Podczas eksperymentu dane dotyczące procesu nawilżania powietrza, umożliwiające wyznaczenie wilgotności względnej i zawartości wilgoci, rejestrowano natychmiast po uruchomieniu pomp wody i po godzinie prowadzenia procesu. Zawartość wilgoci w powietrzu opuszczającym komorę zraszania jest wyższa niż natychmiast po uruchomieniu aparatu. Zależność tę obserwowano we wszystkich przeprowadzonych eksperymentach. W ciągu godziny od rozpoczęcia pracy warunki procesu stabilizują się i nie wykazują dalszych zmian w zawartości wilgoci w powietrzu na wylocie z aparatu. Zawartość wilgoci w powietrzu opuszczającym komorę roboczą aparatu PFB rośnie wraz ze średnicą cząstki nośnika i temperatury procesu i wysokością złoża. Wpływ intensywności nawilżania (ustawień pomp zwilżających) jest niejednoznaczna. W przypadku mniejszych cząstek nośnika (polipropylenu niebieskiego) wilgotność powietrza opuszczającego komorę zraszania spada wraz z intensywnością nawilżania, a dla cząstek o większej średnicy (polipropylen różowy) rośnie. Zależność ta wymaga poszerzenia badań.

4. Podsumowanie

Nawilżanie powietrza stanowi jeden z wielu czynników wpływających na jakość życia i produktów procesów przemysłowych. Ze względu na ocieplenie klimatu i rosnące wymagania środowiskowe istotne stają się elementy związane z jego ekonomicznym wytwarzaniem oraz wykorzystaniem powietrza odpowiedniej jakości. Nawilżanie powietrza w układzie pulsofluidalnym gazu stanowi alternatywę dla tradycyjnych metod pozyskiwania wilgotnego powietrza i charakteryzuje się możliwością stosowania przy niższych natężeniach przepływu powietrza i niższym zużyciem energii.

Literatura

- Gaziński B. (red.), 2001, *Klimatyzacja: poradnik*, Systherm Serwis, Poznań.
- Gorczakowski A., Kozakiewicz A., 1998, *Nawilżanie powietrza w złożu ruchomym*, Prace Naukowe Instytutu Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej, nr 53, Wrocław.
- Kobza Z., Kostyrko K., 2003, *Metrologia mikroklimatu pomieszczenia i środowiskowych wielkości fizycznych*, cz.1 i 2, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole.
- Olazar M., San Jose M.J., Aguayo A.T., Arandes J.M., Bilbao J., 1992, *Stable operation conditions for gas-solid contact regimes in conical spouted beds*, Ind. Eng. Chem. Res., no. 31(7), s. 1784–1792.
- Pieczaba B., 2004, *Suszenie materiałów rozdrobnionych w układzie pulsofluidalnym ze strefową pulsacją wzdłużną*, praca doktorska, Politechnika Wroclawska, Wrocław.
- Pieczaba B., Statkiewicz K., *Opory przepływu powietrza w złożu pulsofluidalnym z cyklicznie przemieszczanym strumieniem gazu w komorze zraszanej*, Nauki Inżynierskie i Technologie 2, nr 92, s. 197–203.
- Recknagel H., Sprenger E., Hönman W., Schramek E.R., 1994, *Poradnik ogrzewanie i klimatyzacja z uwzględnieniem chłodnictwa i zaopatrzenia w ciepłą wodę*, wyd. 1, EWFE, Gdańsk.
- Rychlik M., 2013, *Residence time distribution in spouted bed dryer*, Materiały konferencyjne XIII Polish Drying Symposium, 5–6 września, Kołobrzeg, Poland.
- Statkiewicz K., 2009, *Nawilżanie powietrza w układzie pulsofluidalnym z cyklicznie przemieszczanym strumieniem gazu*, praca magisterska, Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu.
- Sztabert Z., 1978, *Technika pulsacyjna w procesach suszenia*, Materiały konferencyjne, III Sympozjum Suszarnictwa, Łódź.
- Zgorzalewicz J., Glaser R., 1989, *Hydrodynamika warstwy pulsofluidalnej materiałów gruboziarnistych*, Inżynieria Chemiczna i Procesowa, nr 1, s. 3–21.