

Stefan Jan KOWALSKI, Andrzej PAWŁOWSKI

e-mail: stefan.j.kowalski@put.poznan.pl

Zakład Inżynierii Procesowej, Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej, Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

Aspekt energetyczny suszenia materiałów w stałych i okresowo zmiennych warunkach

Wstęp

Suszenie jest procesem pochłaniającym do około 20% całkowitej energii zużywanej w przemyśle. Coraz bardziej restrykcyjne regulacje dotyczące zrównoważonego rozwoju oraz rosnące koszty energii skłaniają do poszukiwania coraz bardziej efektywnych sposobów prowadzenia procesów suszenia, zarówno przez modernizację aparatury, jak też modyfikację samego procesu. Praca niniejsza wychodzi naprzeciw tym oczekiwaniom proponując zdynamizowanie procesu suszenia konwekcyjnego przez jego okresowe przyspieszanie i spowalnianie. Wykorzystując metodę emisji akustycznej (EA) do monitorowania przebiegu procesu można w kontrolowany sposób przyspieszać proces w tych okresach, gdy nie występuje zagrożenie destrukcji materiału i spowalniać w momentach, gdy deskryptory EA wykazują wzrost intensywności akustycznej świadczącej o zapoczątkowaniu mikropęknięć. Jak pokazują badania, [1], takie prowadzenie procesu może korzystnie wpływać na jakość materiałów suszonych, przy nieznacznym wydłużeniu procesu.

Celem tej pracy jest analiza efektów suszenia drewna w warunkach niestacjonarnych. Drewno jest materiałem niezwykle podatnym na pęknięcie podczas suszenia. W przemyśle drzewnym wykorzystuje się różne techniki suszenia, najczęściej suszenie konwekcyjne w różnych warunkach [2-5]. W większości prac, przy analizie efektów suszenia, pominięto istotny aspekt zużycia energii dla danej techniki suszenia.

W tej pracy przedstawiono efekty badań suszenia drewna w okresowo zmiennych warunkach pod kątem zużycia energii, czasu suszenia oraz jakości otrzymanego materiału. Procesy suszenia w warunkach niestacjonarnych porównano z procesami suszenia prowadzonymi w warunkach stacjonarnych, tj. bez zmian parametrów czynnika suszącego w trakcie procesu, aby wykazać korzyści tych pierwszych.

Badania

Badania prowadzono na drewnie orzecha włoskiego (*Juglans regia L.*) w suszarce konwekcyjnej firmy *Zalmed* wyposażonej w specjalny wlot pary bądź chłodnego powietrza, co umożliwiło zmiany parametrów czynnika suszącego w trakcie suszenia. Eksperymenty suszenia niestacjonarnego przeprowadzono z okresowymi zmianami, osobno temperatury i wilgotności. Suszenie w stałych warunkach przeprowadzono w temperaturze 100°C i odpowiadającej jej wilgotności równowagowej powietrza. Podczas suszenia w stałych warunkach wykorzystano aparaturę emisji akustycznej (EA) do monitorowania rozwoju mikro i makro pęknięć – efektów determinujących jakość końcową produktu suszonego. Śledząc deskryptory EA określano moment powstawania pęknięć i tym samym moment, w którym należało wprowadzić zmianę parametrów czynnika suszącego. W ten sposób, przy pomocy EA opracowano programy zmian zarówno wilgotności jak i temperatury powietrza suszącego w trakcie procesu. Podczas suszenia dokonywano w odstępach półminutowych pomiarów ubytku masy oraz zmian temperatury i wilgotności czynnika suszącego. Czujnik wilgotności i temperatury umieszczono w komorze blisko próbki, dzięki czemu można było dokładnie kontrolować parametry procesowe. Pomiaru energii dokonywano przy pomocy miernika energii elektrycznej w odstępach minutowych od momentu wstawienia próbki do nagrzanego uprzednio komory suszarki. Mierzono całkowite zużycie energii elektrycznej w procesie, tj. energii zużytej przez suszarkę i nawilżacz oraz pozostałe elementy wyposażenia suszarki. Jakość materiałów określana była wizualnie na podstawie oceny jakości powierzchni materiału, którą także fotografowano po każdym procesie.

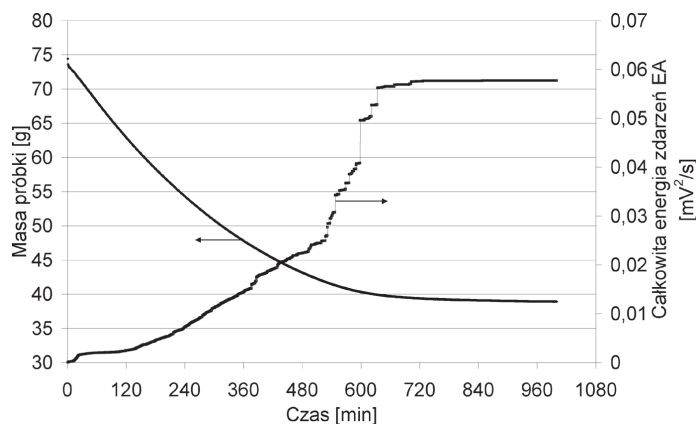
Wyniki

Poszczególne procesy suszenia porównywano zarówno pod względem kinetyki suszenia (krzywych suszenia) oraz jakości suszonego materiału i całkowitego zużycia energii podczas suszenia. Rys. 1 przedstawia krzywą suszenia dla procesu prowadzonego w stałych warunkach oraz krzywą przyrostu energii sygnałów EA. Na podstawie krzywej wzrostu energii EA ustalono okresy zmian zarówno temperatury jak i wilgotności czynnika suszącego.

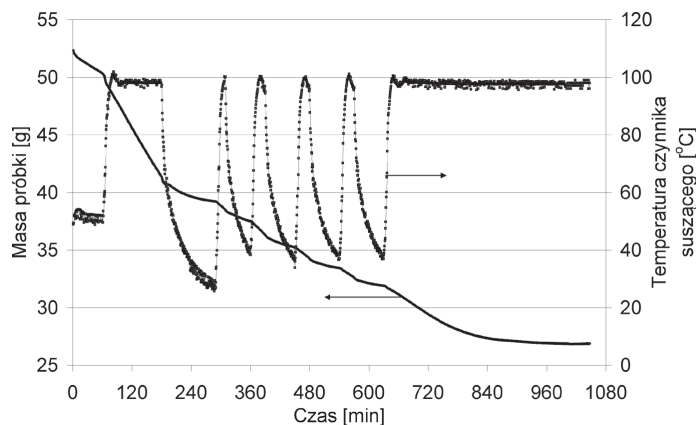
Stwierdzono, że dla procesu suszenia w warunkach stacjonarnych zużycie energii jest wprost proporcjonalne do czasu suszenia, a całkowita energia potrzebna na doprowadzenie materiału do wilgotności równowagowej w temperaturze 100°C wynosi 3,4 kWh. Niestety, materiał uzyskany w tym procesie był złej jakości.

Na rys. 2 pokazano proces niestacjonarny ze zmienną temperaturą czynnika suszącego oraz krzywą suszenia w takich warunkach.

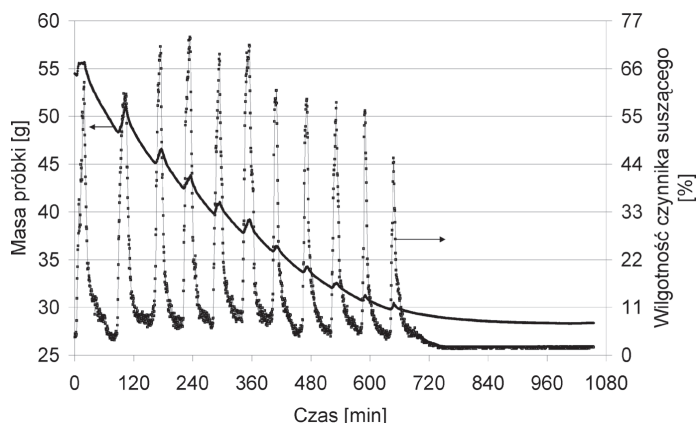
Jak widać na rys. 2, każde obniżenie temperatury powoduje spadek szybkości suszenia. Jednakże wprowadzenie w końcowej fazie procesu stałych warunków suszenia powoduje, iż czas suszenia wydłuża się minimalnie w stosunku do procesu prowadzonego w warunkach stacjonarnych przez cały okres suszenia. Sumaryczne zużycie energii podczas całego procesu ze zmienną temperaturą wyniosło 3,3 kWh, czyli było ono mniejsze niż w przypadku suszenia w warunkach stacjonarnych.



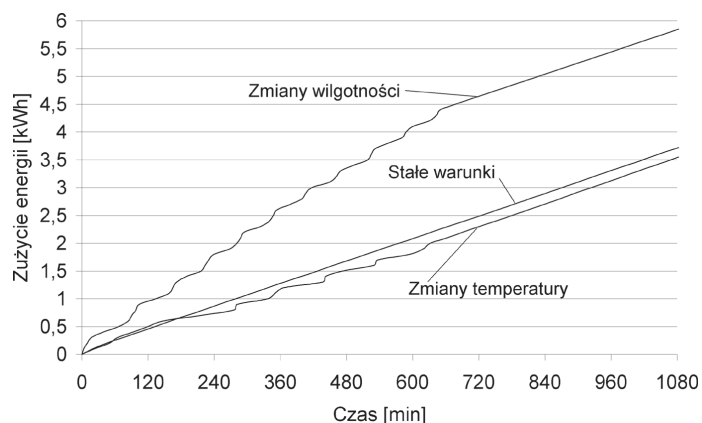
Rys. 1. Krzywa suszenia w stacjonarnych warunkach oraz deskryptor energii EA



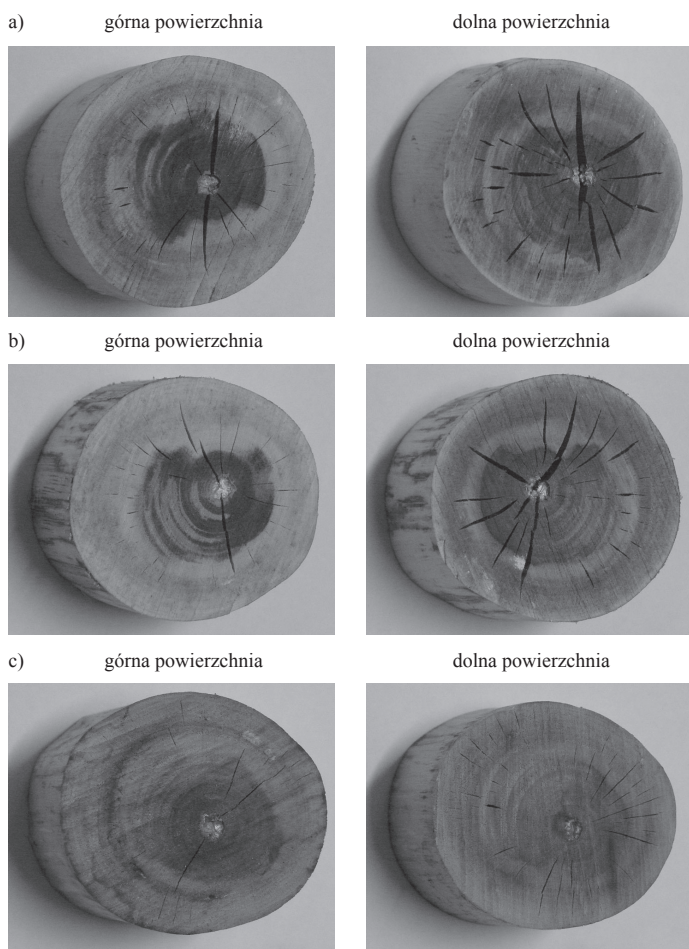
Rys. 2. Krzywa suszenia uzyskana w procesie ze zmienną temperaturą powietrza suszącego i przebieg zmian temperatury



Rys. 3. Krzywa suszenia dla procesu ze zmianami wilgotności czynnika suszającego oraz przebieg zmian wilgotności powietrza suszającego



Rys. 5. Porównanie krzywych zużycia energii w trakcie dla różnych warunków prowadzenia procesu



Rys. 4. Jakość otrzymanych próbek po suszeniu: a) w stałych warunkach, b) ze zmianami temperatury powietrza suszającego, c) ze zmianami wilgotności powietrza suszającego

Uzyskano też lepszą jakość drewna suszonego w tych warunkach, aczkolwiek była ona wciąż niezadowolająca.

Proces suszenia ze zmianami wilgotności czynnika suszającego był bardziej energochłonny od pozostałych. Kinetykę procesu suszenia ze

zmianami wilgotności i przebieg zmian wilgotności powietrza suszającego przedstawia rys. 3.

W trakcie tego procesu zużyto aż 5,6 kWh, jednak uzyskany materiał był nieporównywalnie lepszy niż drewno suszone w warunkach stacjonarnych, a także suszone w zmiennej temperaturze powietrza suszającego. Dla porównania jakości drewna suszonego w różnych warunkach, na rys. 4 przedstawiono fotografie próbek drewna po wysuszeniu.

Zestawienie porównawcze zużycia energii w każdym z procesów przedstawiono na rys. 5.

Rys. 5 uwiadamia o znacznym wzroście zużycia energii w procesie ze zmienną wilgotnością powietrza suszającego. Zwiększone zużycie energii w tym procesie wiąże się z wytworzeniem w nawilzaczu pary wodnej, służącej do nawilżania powietrza w komorze suszarniczej. Suszenie ze zmienną temperaturą powietrza jest natomiast najmniej energochłonne dzięki okresom, w których nie grzano komory, a element chłodzący wciągał chłodne powietrze zużywając niewielkie ilości energii. Dalsze obniżenie zużycia energii w tym procesie można byłoby uzyskać przez wydłużenie okresów schładzania komory suszarniczej, jednakże nie jest to opłacalne ze względu na wydłużenie procesu suszenia. Ponowne podniesienie temperatury wymaga dostarczenia zwiększonej ilości energii, ale jest krótkotrwałe.

Wnioski

Jak pokazują przedstawione wyniki, suszenie w okresowo zmiennych warunkach ma pozytywny wpływ na jakość materiału suszonego, przy niewielkim wydłużeniu czasu suszenia w stosunku do procesu stacjonarnego. Ten sam czas suszenia nie oznacza jednak takiego samego zużycia energii. Z punktu widzenia zużycia energii najlepszy wydaje się proces suszenia ze zmienną temperaturą powietrza. Jednakże, najlepszą jakość materiału uzyskuje się w procesie ze zmienną wilgotnością powietrza, który to proces jest najbardziej energochłonny. Obniżenie zużycia energii i otrzymanie dobrej jakości materiału suszonego można więc próbować uzyskać przez połączenie obu skrajnych energetycznie programów suszenia.

LITERATURA

- [1] S.J. Kowalski, A. Pawłowski: Chem. and Proc. Eng. **29**, 337 (2008).
- [2] X.J. Li, B.G. Zhang, W.J. Li: Drying Technology **26** (11), 1382 (2008).
- [3] V. Minea: Drying Technology **26** (11), 1373 (2008).
- [4] G. Lianhai: Drying Technology **25** (4), 547 (2007).
- [5] W. Cheng, T. Modrooka, Q. Wu, Y. Liu: Forest Produkt Journal **57** (11), 39 (2007).