

Modernizacja komorowej suszarni drewna w celu ograniczenia zużycia energii

Dr inż. Anna Smockiewicz-Wojciechowska, mgr inż. Marta Sybis,
dr inż. Anna Szymczak-Graczyk, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,
Instytut Budownictwa i Geoinżynierii

1. Wprowadzenie

Problematyka związana z suszeniem drewna, w tym z właściwą eksploatacją suszarni, pozostaje wciąż aktualna, gdyż tylko właściwie wysuszony materiał nadaje się do dalszej obróbki. Suszenie drewna w odpowiednio zaprojektowanych suszarkach jest coraz bardziej efektywne dzięki wprowadzaniu nowych technologii, które cały czas ewoluują. Alternatywą dla typowych rozwiązań są między innymi suszarnie próżniowe działające w podciśnieniu. Naukowcy i projektanci coraz częściej proponują zastąpienie konwencjonalnych form suszenia nowoczesnymi technologiami, jak suszenie mikrofalowe, czy ultradźwiękowe [1, 2, 9, 12]. Nie zmienia to jednak faktu, że na rynku funkcjonuje bardzo dużo suszarni drewna opartych o tradycyjne rozwiązania konwekcyjnego suszenia w wilgotnym powietrzu i temperaturze sięgającej 90°C. Należy pamiętać, że suszenie jest procesem wysoce energochłonnym, dlatego szczegółowa analiza procesów suszenia jest więc bardzo istotna.

Poszukiwanie oszczędności w suszarnictwie realizowane jest dwutorowo. Po pierwsze dąży się do skrócenia czasu suszenia, poprzez lepszy opis samego procesu usuwania wilgoci z materiału. Oparciem dla takich rozwiązań są liczne badania prowadzone w skali laboratoryjnej oraz modele matematyczne pozwalające opisać zjawiska zachodzące podczas suszenia.

Drugim krokiem jest optymalizacja realizowanych procesów suszenia przez odpowiednie sterowanie medium suszącym. W literaturze naukowej można znaleźć wiele prac poświęconych tej tematyce [6, 7, 9].

Kolejne rozwiązania, prowadzące do oszczędzania zużywanej energii, polegają na zwiększeniu wydajności suszarni, a tym samym obniżeniu kosztów związanych z energią cieplną i elektryczną. Ograniczenie zużycia energii osiągnąć jest głównie przez unowocześnienie źródła ciepła oraz zastosowanie recyrkulacji powietrza, ale także poprzez modernizację samej komory suszarniczej. Poprawienie parametrów izolacyjnych przegród budowlanych, w tym ich szczelności oraz systemu wentylacji, pozwala obniżyć koszty funkcjonowania suszarni przy zachowaniu wysokiej jakości końcowego produktu.

W pracy opisano typowe zniszczenia komory suszarniczej powstałe w trakcie eksploatacji obiektu, które sukcesywnie obniżają wydajność urządzenia i podnoszą koszty jego funkcjonowania.

2. Proces suszenia drewna

Proces konwekcyjnego suszenia drewna należy do najczęściej stosowanych rozwiązań w suszarnictwie przemysłowym. Zachowanie drewna podczas suszenia zależy od panujących w suszarni warunków (temperatury, wilgotności względnej oraz prędkości przepływu powietrza), a także od właściwości samego materiału. Poszczególne rodzaje drewna różnią się pomiędzy sobą budową, składem chemicznym, gęstością, wilgotnością początkową, właściwościami mechanicznymi, a także inną skłonnością do odkształceń i pękania. Destrukcja suszonego materiału, a także związane z tym pogorszenie właściwości mechanicznych, stanowi podstawowy problem powstający podczas suszenia drewna. Jedynym sposobem uniknięcia tych trudności jest głębsze poznanie zachodzących wewnątrz materiału zmian i w oparciu o uzyskane informacje kontrolowanie przebiegu procesu suszenia dla zapewnienia odpowiedniej jakości drewna.

Suszenie polegające na usuwaniu wilgoci z materiału ma bowiem na celu polepszenie jego właściwości. Niestety drewno należy do materiałów trudno schnących ze względu na swą złożoną budowę. Problemem jest nie tylko anizotropowa struktura drewna, ale też zróżnicowana kurczliwość i wytrzymałość w poszczególnych kierunkach anatomicznych, co czyni drewno materiałem łatwo ulegającym destrukcji podczas suszenia. Drewno można zaliczyć do materiałów kapilarno-porowatych. Występującą w nim wodę można podzielić na wodę kapilarną, inaczej nazywaną wodą wolną, oraz wodę komórkową określaną jako związaną. Zmiana zawartości wody związanej zawsze wiąże się ze skurczem podczas suszenia lub pęcznieniem w czasie nawilżania. Odpowiedzią na nierównomierny skurcz materiału są naprężenia suszarnicze, które mogą doprowadzić do deformacji, a po przekroczeniu wartości krytycznej, do powstania pęknięć i zniszczenia suszonego drewna [8]. Z termodynamicznego punktu

widzenia podczas suszenia mamy do czynienia z wymianą ciepła i masy. Gorący czynnik suszący dostarcza do materiału ciepło, potrzebne do odparowania i wyprówdzenia wilgoci. Zawarta w materiale wilgoć w fazie ciekłej ulega przemianie fazowej w parę zarówno wewnątrz, jak i na powierzchni drewna. Suszenie jest więc procesem złożonym nie tylko ze względu na wymianę ciepła i masy, ale także ze względu na zmianę właściwości mechanicznych materiału [11].

Problem suszenia drewna jest więc nadal aktualny nie tylko w Polsce, ale w wielu krajach, gdzie istnieje rozwinięty przemysł drzewny. Wysokie koszty procesu przyczyniają się do ciągłego poszukiwania coraz nowocześniejszych rozwiązań, optymalnych ze względu na czas oraz zużycie energii, przy jednoczesnym niedopuszczeniu do zmian destrukcyjnych suszonego drewna. Aby nie dopuścić do zniszczenia suszonego materiału, należy bardzo starannie dobierać temperaturę, wilgotność i prędkość przepływu suszącego powietrza, a także odpowiednio regulować wszystkie parametry w suszarni. W związku z tym szerokim zainteresowaniem cieszą się prace dotyczące konstruowania nowoczesnych, w pełni zautomatyzowanych suszarni oraz modernizacji urządzeń już istniejących.

3. Budowa i zasada działania komorowej suszarni drewna

W praktyce przemysłowej rozróżniamy dwa podstawowe typy suszarni: komorowe i tunelowe.

Cechą charakterystyczną wszystkich suszarni komorowych jest fakt, że drewno pozostaje podczas suszenia w jednym miejscu. Dopiero po zakończonym procesie, wysuszoną tarcicę wyprowadza się z komory, a na jej miejsce wprowadza się nowe, wilgotne drewno.

Suszarnie komorowe dzielą się na konwencjonalne i kondensacyjne.

W suszarniach konwencjonalnych pod stropem właściwym umieszczony jest strop pozorny, nad którym zamontowane są grzejniki z rur bimetalowych, wentylatory osiowe oraz rura nawilżająca. Powietrze dostaje się do suszarki dzięki kominkom wlotowym. Suszarnie komorowe są zazwyczaj zbudowane z segmentów, które można powielić [4].

Suszarnie kondensacyjne są przeznaczone do suszenia w niskich temperaturach, w szczególności drewna wrażliwego, skłonnego do pęknięcia, a także grubych asortymentów drewna iglastego. W takich rozwiązaniach nad stropem są umieszczone wentylatory jednokierunkowe. Część powietrza mokrego, wypływającego ze sztapli, przepływa zaraz pod stropem pozornym, a część przepływa przez agregat chłodniczy. Strumienie łączą się ze sobą w jedną całość, powodując tym samym brak wymiany powietrza z otoczeniem oraz wyższą sprawność cieplną urządzenia [4].

Większość suszarni realizowana jest jako obiekty wolno stojące. Wewnątrz komory suszarniczej, ze względu na realizowane tam procesy, zachodzą znaczne wahania

temperatur i wilgotności. Nierzadko temperatura sięga nawet 100°C, a w okresie zimowym, podczas przestoju, może spadać poniżej zera. Takie warunki wymagają odpowiedniej konstrukcji przegród uwzględniającej niekorzystne warunki zewnętrzne i wewnętrzne, ze szczególnym uwzględnieniem problemu korozji [10].

Suszarnie pod względem budowy możemy podzielić na murowane i metalowe. Obecnie najpopularniejsze są konstrukcje metalowe. Szkielet jest utworzony z kratownic i słupów. Przegrody, czyli ściany i stropy, obudowane są od wewnątrz blachą aluminiową, a z zewnątrz blachą stalową, dodatkowo zabezpieczoną farbą antykorozyjną. Wypełnienie izolacyjne ścian oraz stropów stanowi niepalna wełna mineralna bądź pianka poliuretanowa o grubości około 100 mm.

Podstawowe wyposażenie suszarni stanowią urządzenia wentylacyjne (wentylatory, kanały wentylacyjne, kominy itp.), urządzenia grzewcze (nagrzewnice, armatura), układ nawilżający oraz automatyka sterująca. W suszarniach wykorzystuje się zazwyczaj wentylatory osiowe lub promieniowe umieszczone nad stropem pozornym. Zaletą wentylatorów osiowych jest ich lekka budowa, niski koszt i wysoka wydajność. Używa się ich praktycznie we wszystkich suszarniach komorowych jak i tunelowych. Wentylatory, niezależnie od typu, powinny być rozmieszczone w suszarni w taki sposób, aby obieg powietrza był równomierny w całej komorze [11].

W każdym z wymienionych tu typów suszarni podstawą procesu suszenia jest gorące powietrze. Niezbędnym elementem systemu grzewczego są więc grzejniki przekazujące ciepło cyrkulującemu powietrzu. Wymagane podczas suszenia drewna nawilżanie powietrza realizowane jest w przemyśle na dwa sposoby: za pomocą pary lub rozpylonej wody. Z kolei podczas suszenia drewna wrażliwego na zmianę zabarwienia, spowodowanego zanieczyszczoną wodą, efekt podwyższonej wilgotności można osiągnąć przez zamknięcie przepustnic w kominkach wentylacyjnych.

Prawidłowo działająca suszarnia powinna charakteryzować się wysoką termoizolacyjnością oraz szczelnością ograniczającą straty ciepła do minimum. Poza tym wskazana jest wysoka odporność na działanie substancji chemicznych wydzielających się z drewna podczas procesu suszenia. Wymagania te wynikają ze względów technologicznych, jak i ekonomicznych, a także konieczności zapewnienia trwałości urządzenia suszarniczego.

Właściwości poszczególnych suszarni mogą zostać z łatwością zmodyfikowane przez rozbudowę lub uszczuplenie wyposażenia w zależności od potrzeb klienta. Funkcjonujące w przemyśle suszarnie, przy nieodpowiedniej i niedbałej eksploatacji, są narażone na przyspieszony proces niszczenia. Pojawiają się wówczas problemy z utrzymaniem właściwych parametrów wewnątrz komory, ze wzrostem zużycia energii, a także uszkodzeniami w suszonej tarcicy. Omówiona w pracy modernizacja istniejącego obiektu ma za zadanie wskazać przyczyny spadku wydajności oraz możliwości jej zapobiegania.



Rys. 1. Elektryczne wilgotnościomierze służące do pomiaru wilgotności suszonej tarcicy

4. Ocena stanu technicznego badanej suszarni drewna

W minionych latach przy niskich cenach surowca i wysokich cenach urządzeń suszarniczych dążono do maksymalnego skrócenia czasu suszenia i pełnego wykorzystania możliwości suszarni. Obecnie na skutek wzrostu cen drewna preferowane są łagodne procesy suszenia. Usuwanie wilgoci z materiału prowadzone jest w niskich temperaturach, powodując tym samym wzrost czasu suszenia, ale dzięki temu otrzymany materiał jest najwyższej jakości. Podobnie pełna automatyzacja współczesnych suszarni pozwala dostosować wszystkie parametry medium suszącego do potrzeb klienta [5]. Niezależnie od wybranych wariantów suszenia, nowo stawiane, jak i istniejące suszarnie pozostają wrażliwe na uszkodzenia i zniszczenia związane z niewłaściwą eksploatacją. Współczesna kabina suszarnicza, w której realizowane są procesy suszenia drewna, musi zapewniać właściwe parametry powietrza suszącego, gwarantujące szybkie odprowadzenie wilgoci i tym samym

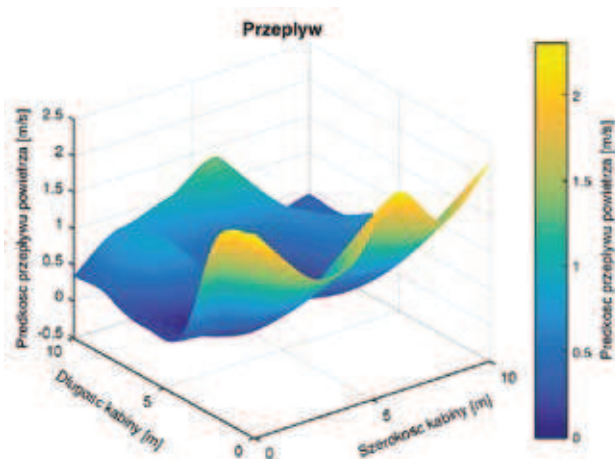
odpowiednie suszenie. Tylko właściwie zaprojektowany przepływ powietrza pozwala na uzyskanie wyrobów o odpowiedniej jakości przy jednoczesnym ograniczeniu zużycia energii.

Głównym celem pracy jest określenie stopnia zniszczenia komorowej suszarni drewna, skontrolowanie wydajności systemu wentylacyjnego oraz sprawdzenia szczelności istniejącej komory, tak aby polepszyć warunki pracy i doprowadzić do ograniczenia zużycia energii. Analizowana przemysłowa komora suszarnicza to konstrukcja samonośna typu In Comac, o wymiarach wewnętrznych 10 × 10 × 4 m, wykorzystywana do suszenia różnych rodzajów drewna w szerokim zakresie wilgotności. Kabina zbudowana jest z paneli ściennych wykonanych z dwóch warstw blachy stalowej, wewnątrz wypełnionych materiałem termoizolacyjnym. Bardzo dobra izolacyjność oparta jest na piance poliuretanowej.

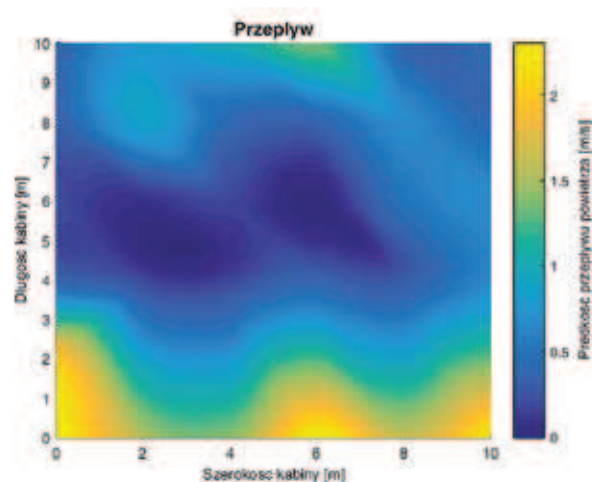
System wentylacyjny stanowią wentylatory osiowe, rewersyjne przystosowane do pracy w wysokiej temperaturze do 100°C i 100% wilgotności oraz zespół kominków



Rys. 2. Rozwój korozji w miejscach uszkodzeń, połączeń oraz podłączenia czujników wilgotności



Rys. 3. Rozkład prędkości przepływu powietrza w komorze suszarniczej zmierzony na poziomie 1 m nad podłogą



Rys. 4. Rozkład prędkości przepływu powietrza w komorze suszarniczej zmierzony na poziomie 1 m

nawiewno-wywiewnych, umieszczonych na dachu i tylnej ścianie obiektu. Wentylatory zamontowane na odpowiedniej konstrukcji wsporczej umieszczone są pomiędzy dachem a stropem pozornym. Instalację grzejną stanowią grzejniki wykonane z rur bimetalowych oraz rur zasilających. Drzwi skrzydłowe umieszczone są z przodu komory, ich zamykanie odbywa się za pomocą zatrzasków. Załadunek komory przeprowadza się za pomocą wózka widłowego. Praca komory jest zautomatyzowana. Sterowanie procesem suszenia przebiega w oparciu o pomiar wilgotności drewna. Do tego celu wykorzystywane są elektrody wilgotnościomierzy elektrycznych umieszczane na dowolnie wybranych sztukach tarcicy, umożliwiając tym samym ciągłą kontrolę wilgotność drewna (rys. 1).

Badania polegały na określeniu prędkości przepływu powietrza i jego strumienia oraz sprawdzeniu szczelności suszarni, która może mieć kluczowe znaczenie przy próbach ograniczenia zużycia energii.

Na podstawie wizji lokalnej komory suszarniczej stwierdzono brak jednego wentylatora (na rysunku 2 oznaczono kwadratową ramką) oraz mechaniczne uszkodzenie drugiego (na rysunku 2 oznaczono okręgiem). Natomiast kontrola stanu technicznego stropu pozornego wskazały na znaczny stopień zniszczenia, a w niektórych miejscach całkowite zerwanie blachy ostaniającej.

Do szczegółowych pomiarów wydajności systemu wentylacyjnego wykorzystano anemometr mierzący prędkość i strumień przepływającego powietrza. Wyniki badań przedstawiono w formie graficznej w formie rysunku 3D (rys. 3) oraz jego rzutu 2D (rys. 4), co znacznie ułatwia rozpoznanie obszarów o wymaganym przepływie powietrza oraz identyfikację, tzw. stref martwych, czyli miejsc, w których przepływ powietrza jest niewystarczający. Miejsca te zaznaczono kolorem niebieskim. W tych strefach przepływ powietrza jest poniżej wartości wymaganych w suszarniach i świadczy o niewystarczającej pracy wentylatorów. W środkowej części komory oraz tam, gdzie zlokalizowane były uszkodzone wentylatory,

prędkość powietrza spada nawet poniżej 1 m/s. Najbardziej intensywny przepływ powietrza zaobserwowano w tylnej części komory (obszar w kolorze żółtym).

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że w całej suszarni przepływ powietrza jest niewystarczający dla prawidłowej pracy urządzenia, co ma kluczowe znaczenie dla jakości suszonego asortymentu. Prędkość powietrza dostosowywana jest do rodzaju suszonego drewna, grubości tarcicy, sposobu jej ułożenia w komorze suszarniczej i ma decydujący wpływ na szybkość odprowadzania wilgoci. Niestety sprawność układów aerodynamicznych jest niewystarczająca. Zaniechanie konserwacji wentylatorów znacznie pogarsza warunki pracy komory, a w konsekwencji może prowadzić do awarii poszczególnych urządzeń.

Poza odpowiednią sprawnością wentylatorów konieczne jest utrzymanie również stropu pozornego w odpowiednim stanie. Na prezentowanym graficznym modelu przepływu powietrza wyraźnie widać, że uszkodzenia stropu zakłócają prace układu suszarniczego.

W ramach przeprowadzonych doświadczeń, obrazujących przepływ powietrza, w komorze rozprawiano parę wytworzoną przez wytwornicę dymu (rys. 3 i 4). Rozkład dymu podczas wentylowania kabiny potwierdził wcześniejsze wnioski dotyczące niewystarczającej wydajności wentylatorów. Za pomocą wytwornicy dymu wykonano również badanie szczelności suszarni. Przeprowadzone próby potwierdziły obecność miejsc, z których ciepłe powietrze z komory w sposób niekontrolowany wydostaje się na zewnątrz. Miejscami narażonymi na nieszczelności są wszystkie łączenia, miejsca wprowadzenia instalacji, a szczególnie znaczne wypaczenie drzwi wejściowych (rys. 5).

Wszelkie nieszczelności montażowe komory nie tylko pogarszają parametry pracy urządzenia, ale dodatkowo powodują wzrost zużycia energii cieplnej.

Kolejną formą oszczędzania energii cieplnej jest poprawa izolacyjności termicznej przegród: ścian, podłóg i stropów. Przeważająca liczba suszarni to obiekty



Rys. 5. Wypaczone drzwi wejściowe do komory suszarniczej będące przyczyną nieszczelności



Rys. 6. Uszkodzenia widoczne na wewnętrznej powierzchni ścian komory suszarniczej



wolno stojące, gdzie na skutek zachodzących procesów obserwuje się znaczne wahania temperatury i wilgotności. Izolacja na bazie pianki poliuretanowej zapewnia odpowiedni współczynnik przenikania ciepła, ale bardzo łatwo ulega uszkodzeniu podczas załadunku i wyładunku. Wszystkie uszkodzenia powodują nieciągłość materiału termoizolacyjnego i pogarszają właściwości termoizolacyjne przegród. Przykłady zniszczeń, które obniżają właściwości cieplne oraz stanowią miejsce rozwoju korozji, przedstawiono na rysunku 6.

Świeże drewno zawiera wilgoć nie tyle w postaci czystej wody, lecz roztworu różnych związków chemicznych, które mogą być agresywne dla środowiska. Konstrukcja komory suszarniczej oraz jej wyposażenie powinny być zatem odporne na korozję. Nieodpowiednio zabezpieczone wentylatory i elementy konstrukcji mogą ulec znacznemu uszkodzeniu. Korozja widoczna na ścianach niszczy poszycia przegród i pogarsza estetykę obiektu.

Jednym z podstawowych czynników wpływających na sprawność eksploatacyjną suszarni jest sposób formowania sztapli i pakietów. W sztaplach jednego wsadu powinno być drewno tego samego lub podobnego rodzaju, tych samych wymiarów, o jednakowym stopniu obróbki oraz zbliżonej wilgotności początkowej. Sztapele i pakiety wypełniają całą komorę. Niespełnienie tego warunku powoduje wydłużenie procesu suszenia oraz brak możliwości zapewnienia równomiernego rozkładu wilgoci [3]. W praktyce przemysłowej suszenie drewna zgodnie z wytycznymi, nie zawsze jest możliwe. W omawianym przypadku obsługa suszarni otrzymała tarcicę o różnej długości, starając optymalnie rozłożyć ładunek wewnątrz komory (rys. 8). Na zdjęciach jednak widać nie do końca przemyślany sposób załadunku suszarni, który może skutkować powstaniem korytarzy powietrznych utrudniających suszenie.



Rys. 7. Rozwój korozji w miejscach uszkodzeń, połączeń oraz podłączenia czujników wilgotności



Rys. 8. Nieekonomiczne rozmieszczenie suszonego drewna w komorze suszarniczej

5. Podsumowanie

Suszarnie drewna, tak jak wszystkie urządzenia techniczne, w trakcie eksploatacji ulegają systematycznemu niszczeniu. Liczne uszkodzenia powstają głównie na skutek nieprawidłowego użytkowania oraz zaniechań związanych z konserwacją. Prawidłowo pracująca komora suszarnicza powinna przede wszystkim zapewniać odpowiedni przepływ powietrza. Tylko właściwie eksploatowany układ wentylacyjny pozwala na szybkie usunięcie nadmiaru wilgoci z wnętrza komory i sprawne przeprowadzenie procesu suszenia.

Analiza pracy wybranej komory suszarniczej potwierdziła konieczność poprawy jej sprawności głównie przez modernizację kluczowego dla funkcjonowania komory systemu wentylacyjnego. Do kolejnych bardzo istotnych i potwierdzonych badaniami czynników wpływających na skuteczność pracy suszarni należą szczelność oraz dobre właściwości termoizolacyjne. W celu ograniczenia zużycia energii konieczne jest zapewnienie właściwego stanu technicznego obiektu. Naprawa systemu wentylacyjnego, uszkodzonych przegród oraz sposobu załadunku mogłaby poprawić parametry pracy urządzenia suszarniczego, zapewniając niskie zapotrzebowanie energii, krótki czas suszenia i wysoką jakość suszonego drewna.

Artykuł stanowi przedruk z monografii pt. „Rewitalizacja obszarów zurbanizowanych, Wałcz 2016”.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Antti A.L., Perré P., A microwave applicator for on line wood drying: Temperature and moisture distribution in wood, *Wood Science and Technology*, 33/2, 1999, str. 123–138
- [2] Dobrowolska E., Domański M., Osipiuk J., Steczowicz M., Wybrane zagadnienia suszenia tarcicy, SGGW, Warszawa, 2008
- [3] Glijer L., Suszenie i parowanie drewna, *Wieś Jutra*, 2005
- [4] Glijer L., Suszenie drewna i nie tylko, Wydawnictwo Wieś Jutra, 2011
- [5] Golak A., Suszenie jest zwyczajnie opłacalne, *Gazeta Przemysłu Drzewnego*, 2/181, 02, 2012
- [6] Kowalski S.J., Smoczkiwicz A., Identification of wood destruction during drying, *Ciencia y Tecnologia Maderas*, 6/02, 2004, str. 133–143
- [7] Kowalski S.J., Smoczkiwicz-Wojciechowska A., Stresses in dried wood. Modeling and experimental identification. *Transport In Porous Media An International Journal Special issue entitled, Drying of porous materials*, 2007, str. 66
- [8] Krzysik F., Sobczak K., *Suszenie drewna*, PWN, Warszawa 1970
- [9] Mujumdar A.S. ed., *Handbook of industrial drying*, fourth edition, Taylor & Francis Group, 2015
- [10] Rafalski J., Technologiczne podstawy projektowania suszarni komorowych, Instytut Technologii Drewna, Poznań 1970
- [11] Rządowski S., *Suszenie tarcicy w suszarkach*, Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 1967
- [12] Smoczkiwicz-Wojciechowska A., Rajewska K., Mikrofalowo-próżniowe suszenie drewna, *Aparatura Badawcza i Dydaktyczna*, 4/2012, str. 45–49