

APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Wykorzystanie termowizji w monitoringu procesu suszenia drewna

IWONA GAJEWSKA¹, GRZEGORZ KIBITLEWSKI², ANNA KRUPA¹, JAN PIWNIK¹

**¹PAŃSTWOWA WYŻSZA SZKOŁA ZAWODOWA W SUWAŁKACH
INSTYTUT BUDOWNICTWA**

Uwaga: co z autorem²

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki monitoringu procesu suszenia drewna za pomocą kamery termowizyjnej. Analiza parametrów technicznych w tym procesie, przede wszystkim temperatury i wilgotności, ma istotny wpływ na polepszenie właściwości produktu końcowego. Zastosowanie kamery termowizyjnej pozwala na optymalizację technologii suszenia drewna i oszczędność wykorzystywanej do tego energii.

The usage of infrared radiation to monitor the process of wood drying

ABSTRACT

The article presents the results of the monitoring process of wood drying with a thermo camera. The analysis of technical parameters in this process, primarily temperature and humidity have an important impact on improving the properties of the finished product. The application of thermo camera allows to optimize the technology of wood drying and to save the used energy.

1. WPROWADZENIE

Termowizja jest metodą diagnostyczną, która staje się coraz bardziej popularna i stale zyskuje nowe pola zastosowań. W wielu dziedzinach takich jak budownictwo, ciepłownictwo czy energetyka wykonywanie badań termowizyjnych jest już powszechne, a nawet uznawane za niezbędne. Metoda ta polega na zdalnej i bezdotykowej ocenie rozkładu temperatury na powierzchni badanego obiektu. Opiera się na obserwacji i zapisie rozkładu promieniowania w paśmie podczerwieni wysyłanego przez każdy obiekt, którego temperatura jest wyższa od zera bezwzględnego¹ i przekształceniu tego promieniowania na światło widzialne. Dzięki termowizji można określić rozkład temperatury na całej powierzchni badanego obiektu jednocześnie w wielu punktach. Wyniki tych pomiarów są prezentowane w postaci jednego kolorowego termogramu, który jest obrazem zarejestrowanych pól temperatury w każdym punkcie powierzchni badanych obiektów. System termowizyjny jest więc rodzajem termometru, który w sposób nieinwazyjny pozwala mierzyć temperaturę na odległość w wielu miejscach jednocześnie [1,2,3]. Umożliwia to wykrywanie wad technologicznych, uszkodzeń oraz monitoring parametrów technicznych.

Termowizja może mieć również zastosowanie w monitoringu procesu suszenia drewna, co było celem przeprowadzonych badań.

Drewno jest tworzywem anizotropowym i higroskopijnym a jego własności mechaniczne zależą od kształtowania się jego wilgotności. Wykorzystanie drewna w sposób optymalny pod względem technicznym zależy od jego wilgotności a co za tym idzie odpowiedniego wysuszenia. W praktyce suszenie drewna odbywa się w suszarce i polega na utrzymaniu w komorze odpowiednich parametrów termodynamicznych, czyli przede wszystkim temperatury i wilgotności. W większości suszarni proces sterowania opiera się na automatycznym odczycie parametrów suszenia. Pomiar temperatury i wilgotności odbywa się najczęściej za pomocą sond – czyli półprzewodnikowych czujników, lub czujników rezystancyjnych, dlatego też zależność rezystancji od wilgotności odwzorowuje dokładność pomiaru i ma duży wpływ na ostateczną wartość.

Biorąc pod uwagę sposoby pomiaru podstawowych parametrów określających stopień suchości

drewna, należy podkreślić, iż szczególnie trudna jest ocena temperatury drewna metodą klasyczną w czasie jego podgrzewania lub chłodzenia (np. tuż po wyjęciu z suszarni). Urządzeniem umożliwiającym zobrazowanie rozkładu pól różnych temperatur na obserwowanej niejednorodnej powierzchni (np. drewno z sękiem) jest kamera termowizyjna. Za pomocą kamery termowizyjnej można bezkontaktowo zobrazować rozkłady temperatur w oparciu o pomiar mocy promieniowania podczerwonego emitowanego przez poszczególne elementy powierzchni. Dzięki temu możliwe jest np. unaocznienie kierunków przepływu ciepła na dużych powierzchniach co może przyczynić się do zwiększenia wydajności procesu suszenia drewna przy jednoczesnym zachowaniu określonych parametrów produktu końcowego.

2. METODA BADAŃ

Do przeprowadzenia badań użyto kamery termowizyjnej Therma CAM E300, wchodzącej w skład stanowiska badawczego. Parametry techniczne kamery przedstawiono na Rysunku 1. [4,5]

Badania zostały przeprowadzone w suszarce konwekcyjnej typu „NARDI” Zakładu Drzewnego „IM-BUD” w Suwałkach.

Suszarnia do drewna typu NARDI przeznaczona jest do suszenia tarcicy i półfabrykatów z drewna iglastego i liściastego do żądanej wilgotności końcowej, oraz sterylizacji drewna [6]. Na Rysunku 2 przedstawiono schemat całego kompleksu suszarniczego typu „Nardi”.

Suszarka posiada budowę segmentową – komory. Konstrukcja nośno szkieletowa wykonana jest z wręgów z kształtownika aluminiowego. Obudowa suszarki, ściany boczne stropowe, szczytowe i drzwi wykonane są z kaset wyłożonych blachą aluminiową [6].

Do każdego segmentu (komory) przyporządkowany jest zespół grzewczo-wentylacyjny, zbudowany z wentylatorów osiowych (napędzanych silnikami elektrycznymi), przystosowany do kierującej strumień powietrza i grzejnika [6].

Oprócz tego całość komory wyposażona jest w zespół kominków wentylacyjnych – przepustnic sterowanych automatycznie (którymi następuje wymiana powietrza), oraz w rozbudowaną instalację elektryczną [6]. Ruch powietrza w suszarce jest poprzeczny w stosunku do ułożonego materiału na wózku szynowym. Instalacja grzewcza zasilana jest gorącą wodą. Ponadto w komorze suszarni znajduje się instalacja nawilżająca zasilana wodą o ciśnieniu 0,2MPa [6]. Komora po stronie szczy-

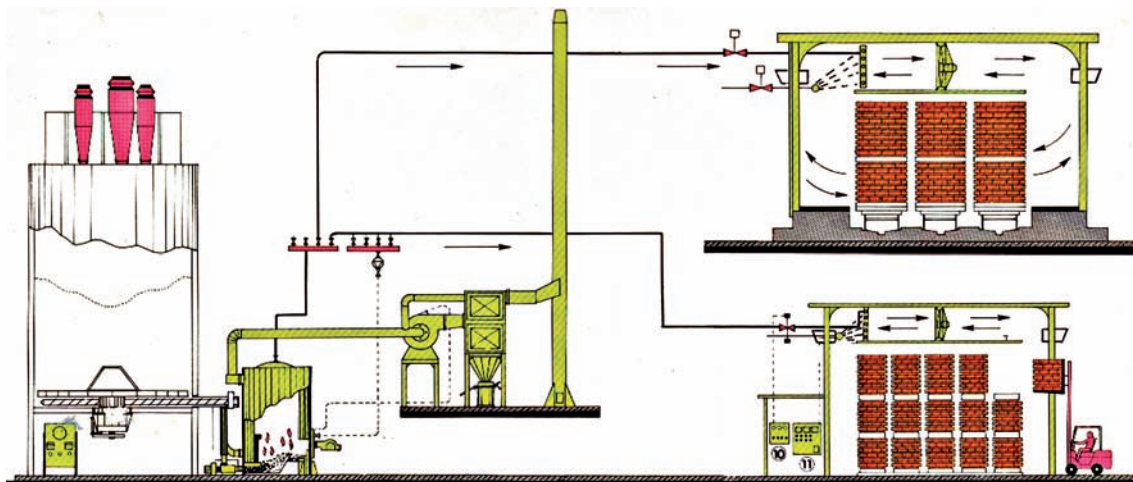
¹Zero absolutne (temperatura zera bezwzględnego) jest to temperatura w której wszystkie elementy układu termodynamicznego uzyskują najniższą z możliwych energii, temperatura ta wynosi ok. -273,15 °C = 0 K.

<p>ZOBRAZOWANIE</p> <p>Pole widzenia/min. ogniskowa 23°x17°/0.3 m</p> <p>Czułość termiczna 0.10°C przy 30°C</p> <p>Częstotliwość obrazu 50 Hz</p> <p>Ostrość regulacja ręczna</p> <p>Rodzaj detektora matryca niechłodzonych detektorów mikrobolometrycznych (FPA), 320 x 240 pikseli</p> <p>Zakres widmowy 7.5-13µm</p> <p>PREZENTACJA</p> <p>Wyjście wideo PAL lub NTSC, standardowy sygnał composite video RCA</p> <p>Wyświetlacz kolorowy LCD 2.5", 16 000 kolorów</p>	
	<p>ZAPIS OBRAZU</p> <p>Typ wbudowana pamięć FLASH (do 80 obrazów)</p> <p>Format plików standard JPEG</p> <p>LASER LOCATIRTM</p> <p>Klasyfikacja klasa 2</p> <p>Typ półprzewodnikowa dioda laserowa A1</p> <p>GainP: 1 mW/635 nm czerwona</p> <p>INTERFEJSY</p> <p>USB Transfer obrazu do PC</p> <p>Kabel RS-232 (opcja) Transfer obrazu do PC</p> <p>Wyjście wideo zespolony sygnał wideo RCA</p>
<p>POMIAR</p> <p>Zakres temperaturowy -20°C do +500°C</p> <p>Dokładność ±2°C, ±2%</p> <p>Powtarzalność ±1°C, ±1%</p> <p>Tryb pomiarowy Ruchomy punkt, maksymalna, minimalna i średnia temperatura w obszarze, alarm barwny</p> <p>Emisyjność od 0.1 do 1.0, odbicia od tła</p>	
	<p>PARAMETRY ŚRODOWISKOWE</p> <p>Zakres temperatur pracy -15°C do +45°C</p> <p>Zakres temperatur przechowywania ... -40°C do +70°C</p> <p>Wilgotność Przy pracy i przechowywaniu 20% do 80%, bez kondensacji</p> <p>Obudowa IP54IEC359</p> <p>Udary (w czasie pracy) 25g, IEC 68-2-29</p> <p>Wibracje (w czasie pracy) 2g, IEC 68-2-6</p>

Rysunek1. Zestawienie podstawowych parametrów technicznych kamery termowizyjnej Therma CAM E300 [4,5]

towej zamknięta jest ścianką szczytową z przesuwanymi drzwiami. Na przeciwległej ścianie (z tyłu) znajdują się małe drzwi nazywane drzwiczkami inspekcyjnymi, którymi można wejść do komory w czasie pracy zachowując przy tym procedury bez-

pieczeństwa [6]. Komora wyposażona jest w układ pomiarowo kontrolny niezbędny do prowadzenia procesu suszenia. Układ pomiarowy zamontowany jest w komorze, natomiast urządzenia kontrolne i sterujące znajdują się w szafie sterowniczej.



Rysunek 2. Schemat całego kompleksu suszarniczego typu „NARDI” [6]

Elektroniczne sterowanie umożliwia indywidualne ustawianie, zapamiętywanie programów oraz zarządzanie komorą [6].

Obiektem badań były kłody sosnowe o grubości 45mm. w czasie 17-sto dniowego cyklu suszenia. Ponieważ proces suszenia nie przebiega jednako-wo na całej długości belki, do pomiaru wybrano następujące pola:

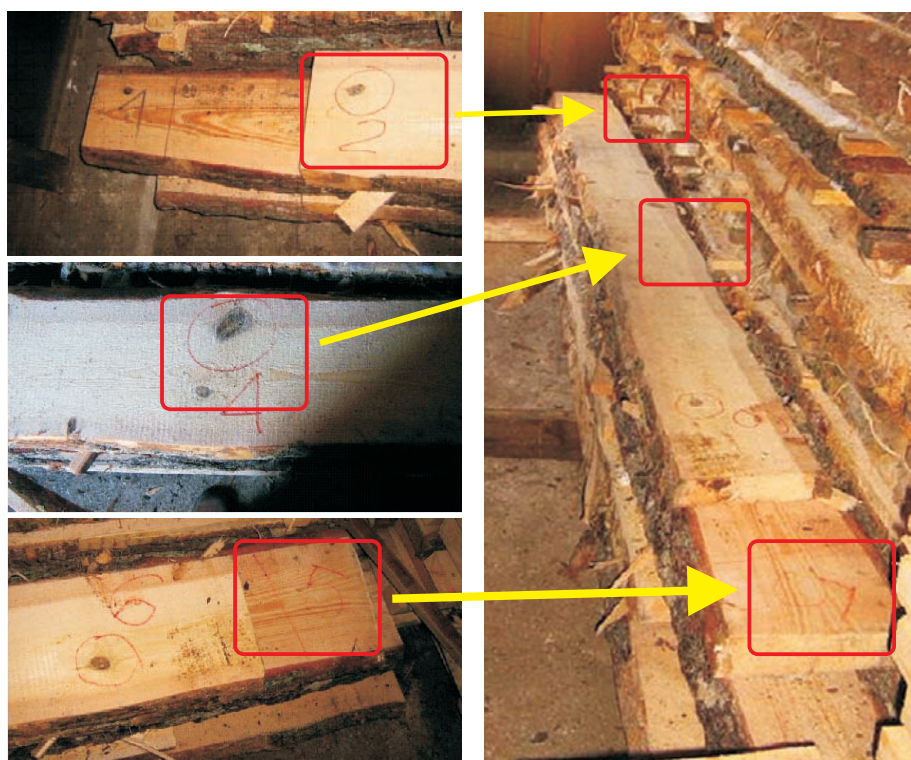
- pole pomiarowe 2 – lewy brzeg kłody z sękiem,
- pole pomiarowe 4 – środkowa część kłody z sękiem,
- pole pomiarowe 5 – prawy brzeg kłody.

Na Rysunku 3 przedstawiono usytuowanie punktów pomiarowych.

Przebieg zmian temperatury oraz wilgotności drewna rejestrowano codziennie w czasie 17-sto dniowego cyklu suszenia na stanowisku pomiarowym składającym się z kamery termowizyjnej Therna CAM E300 oraz wilgotnościomierza do drewna WRD-50.

Dodatkowo w trakcie badań kamerą termowizyjną mierzono również temperaturę ścianek bocznych komory suszarniczej w celu określenia strat ciepła z otoczeniem. Tu także wytyczono pola pomiarowe (Rys. 4 i 5), a wyniki pomiarów przedstawiono w formie termogramów.

Cały proces suszenia przebiegał w sposób auto-matyczny, po wcześniejszym zaprogramowaniu (zadaniu) odpowiednich danych dla załadowanego



Rysunek 3. Usytuowanie punktów pomiarowych



Rysunek 4. Pole pomiarowe 7



Rysunek 5. Pole pomiarowe nr 8

do komory suszarniczej drewna. Udział operatora ograniczał się do określenia gatunku i grubości drewna, temperatury komory oraz żądanej wilgotności końcowej. Jednostka programująca dzięki wbudowanemu mikroprocesorowi poprzez urządzenie sterujące utrzymywała przewidziane przez program odpowiednie wartości temperatury suszenia oraz wilgotność powietrza w komorze, w zależności od aktualnej wilgotności drewna. System kontroli suszenia automatycznie porównywał parametry zadane (nastawy) w stosunku do danych przekazanych z komory za pośrednictwem czujników i sond. Na podstawie tych danych programator regulował pracę, tj. ustalał temperaturę suszenia, prędkość przepływu powietrza, oraz wilgotność względną w komorze.

3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Analizując termogramy oraz wyniki badań możemy scharakteryzować pod względem termodynamicznym proces suszenia drewna.

Pierwszą fazą całego cyklu jest nagrzewanie (pomiar 1÷3). W tej fazie drewno od swojej temperatury początkowej T_0 podgrzewane jest do temperatury T_k , niezbędnej do następnej fazy – suszenia. Wzrost temperatury następuje dość szybko w sposób kontrolowany. W tym czasie wilgotność drewna zmniejsza się najszybciej w porównaniu do całego cyklu. Wraz ze wzrostem temperatury następuje szybkie odparowanie wody z wilgotnej powierzchni drewna. Faza podgrzewania jest fazą ciężką, która ma duży wpływ na powodzenie dalszego procesu suszenia. Nieodpowiedni wzrost temperatury może spowodować zasklepienie komórek i pęknięcia na powierzchni drewna.

Na Rysunku 6 przedstawiono termogramy otrzymane podczas fazy nagrzewania (pomiar 3).


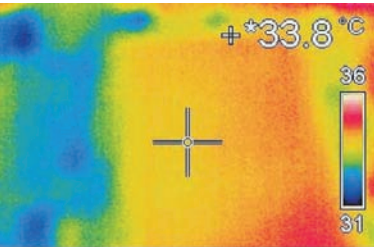
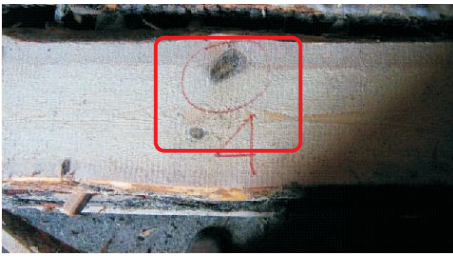
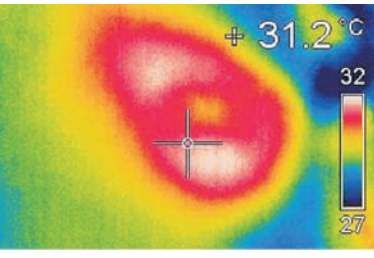
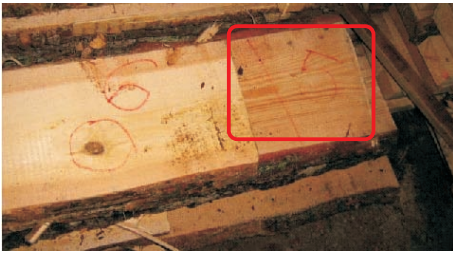

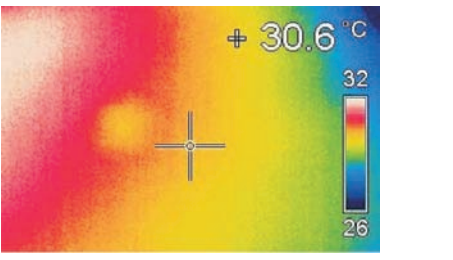



Po uzyskaniu odpowiedniej ustalonej temperatury następuje pierwsza faza suszenia (pomiar 4÷6). Temperatura komory stabilizuje się, natomiast temperatura drewna powoli wzrasta. Jednocześnie rozpoczyna się ruch wody kapilarnej w drewnie. W wyniku ciśnień kapilarnych i kondensacji woda odprowadzana jest w kierunku powierzchni drewna. Prowadzi to do gwałtownego wzrostu wilgotności. Zaparowanie komory suszarniczej w znacznym stopniu utrudnia pomiar kamerą termowizyjną. Na Rysunku 7 przedstawiono termogramy otrzymane podczas pierwszej fazy suszenia (pomiar 6).

Po pierwszej fazie suszenia następuje druga faza suszenia (pomiar 7÷16). Temperatura drewna wzrasta szybciej niż w pierwszej fazie, aż do osiągnięcia wartości T_{koniec} (temperatura komory pomiar 16 – $T_{\text{koniec}} = 70^{\circ}\text{C}$) przewidzianej dla zakończenia suszenia. Jest to najważniejsza faza cyklu roboczego. Podczas jej trwania usuwa się z drewna duże ilości wilgoci zawarte we włóknach drewna. W fazie tej wilgotność drewna o różnej wartości początkowej doprowadzona jest do wilgotności określonej przez użytkownika. Klimat komory jest monitorowany na bieżąco, aby uniknąć ewentualnych szkód i jednocześnie zagwarantować odpowiednią prędkość suszenia.


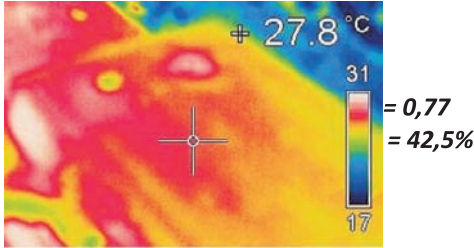
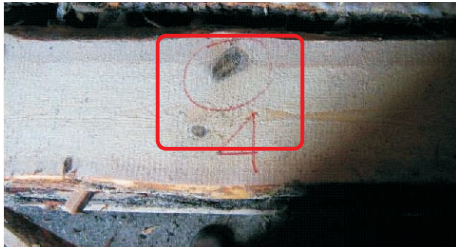
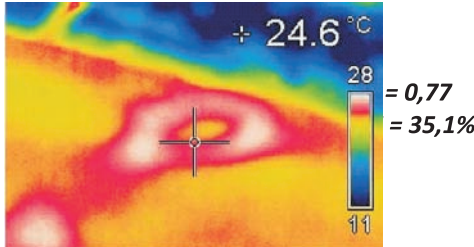

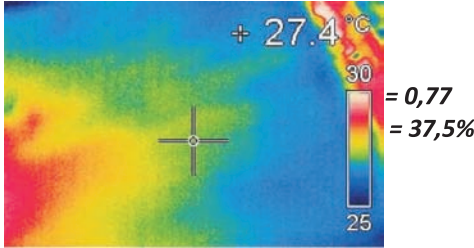
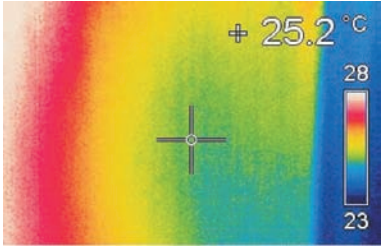


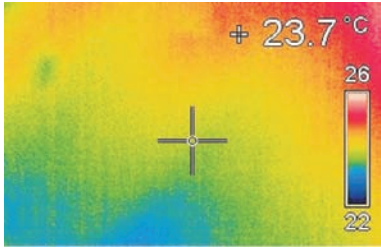
Na Rysunku 8 przedstawiono termogramy otrzymane podczas drugiej fazy suszenia (pomiar 14).

Po osiągnięciu przez komorę temperatury kończącej proces suszenia T_{koniec} (temperatura komory pomiar 16 – $T_{\text{koniec}} = 72^{\circ}\text{C}$), oraz zadanej wilgotności drewna następuje ostatni etap suszenia – kondycjonowanie (pomiar 17). Kondycjonowanie jest to proces zmierzający do zredukowania stresu wywołanego suszeniem, jak również nadmierną różnicą w wilgotności między powierzchnią a jej rdzeniem przy zbyt szybkim suszeniu. Ma on na celu ograniczenie utraty wilgoci w drewnie, a polega on na pozostawieniu drewna przez odpowiedni czas w nasyconej atmosferze, tak by doprowadzić do ponownego otwarcia się porów. Podczas tej fazy temperatura w komorze maleje, podczas gdy wilgotność drewna może wzrosnąć. Na Rysunku 9 przedstawiono termogramy otrzymane podczas fazy kondycjonowania (pomiar 17).


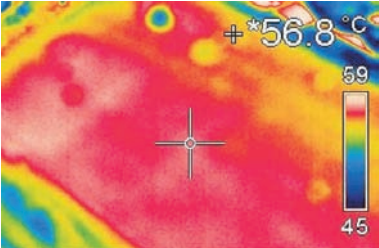
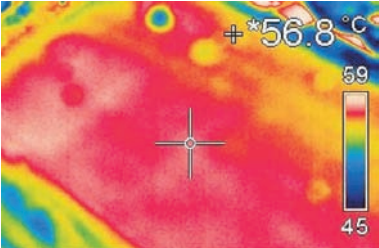
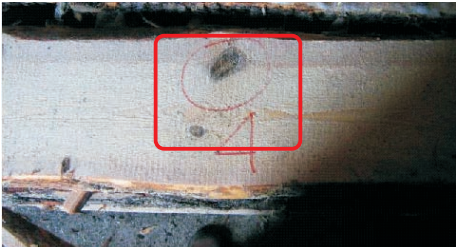
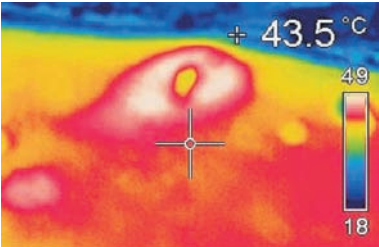
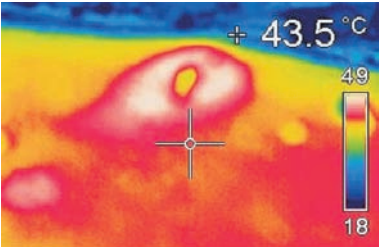

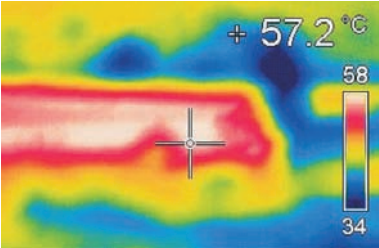
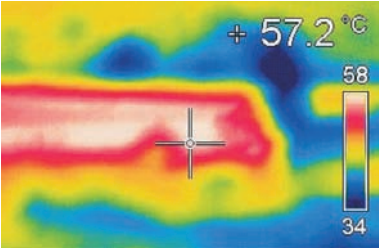
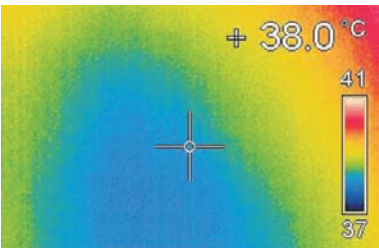





Na Rysunkach od 10 do 12 w formie diagramów zestawiono wyniki badań obrazujące zmianę temperatury i wilgotności na poszczególnych polach pomiarowych.

POMIAR 3	FAZA CYKLU – NAGRZEWANIE DZIEŃ 3
<p>PARAMETRY KOMORY</p> <p>$^{\circ}\text{C} = 52^{\circ}\text{C}$ $\text{UGL}\% = 8,2\%$ $\text{H}_2\text{O} = 29,1\%$</p>	<p>„$^{\circ}\text{C}$” – temperatura w komorze „UGL%” – wilgotność równoważna UGL w komorze „$\text{H}_2\text{O}\%$” – średnia wilgotność drewna w komorze U – wilgotność bezwzględna drewna zmierzona wilgotnościomierzem WRD-50 e – współczynnik emisyjności</p>
<p>POLE POMIAROWE 2 LEWY BRZEG KŁODY Z SĘKIEM</p>	
	 <p>$e = 0,77$ $U = 39,5\%$</p>
<p>POLE POMIAROWE 4 ŚRODKOWA CZĘŚĆ KŁODY Z SĘKIEM</p>	
	 <p>$e = 0,77$ $U = 26,6\%$</p>
<p>POLE POMIAROWE 5 PRAWY BRZEG KŁODY</p>	
	 <p>$e = 0,77$ $U = 33,2\%$</p>
<p>POLE POMIAROWE 7 ŚCIANA BOCZNA MIĘDZYKOMOROWA</p>	
	
<p>POLE POMIAROWE 8 ŚCIANA BOCZNA ZEWNĘTRZNA</p>	
	


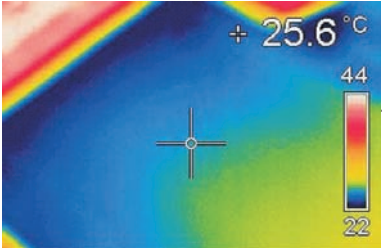
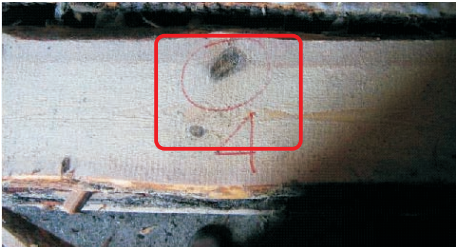
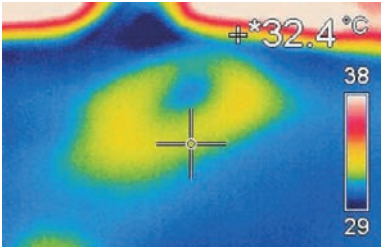

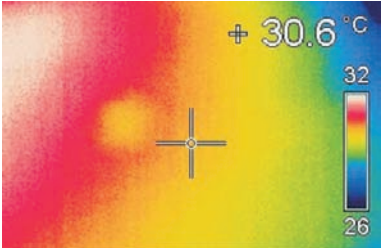




Rysunek 6. Termogramy trzeciego pomiaru bali sosnowych i ścianek bocznych komory podczas fazy nagrzewania

POMIAR 6	FAZA CYKLU – SUSZENIE DZIEŃ 6
<p>PARAMETRY KOMORY</p> <p>$^{\circ}\text{C} = 49^{\circ}\text{C}$ $\text{UGL}\% = 13,5\%$ $\text{H}_2\text{O} = 42\%$</p>	<p>„$^{\circ}\text{C}$” – temperatura w komorze „UGL%” – wilgotność równoważna UGL w komorze „$\text{H}_2\text{O}\%$” – średnia wilgotność drewna w komorze U – wilgotność bezwzględna drewna zmierzona wilgotnościomierzem WRD-50 e – współczynnik emisyjności</p>
<p>POLE POMIAROWE 2 LEWY BRZEG KŁODY Z SĘKIEM</p> 	
<p>POLE POMIAROWE 4 ŚRODKOWA CZĘŚĆ KŁODY Z SĘKIEM</p> 	
<p>POLE POMIAROWE 5 PRAWY BRZEG KŁODY</p> 	
<p>POLE POMIAROWE 7 ŚCIANA BOCZNA MIĘDZYKOMOROWA</p> 	
<p>POLE POMIAROWE 8 ŚCIANA BOCZNA ZEWNĘTRZNA</p> 	

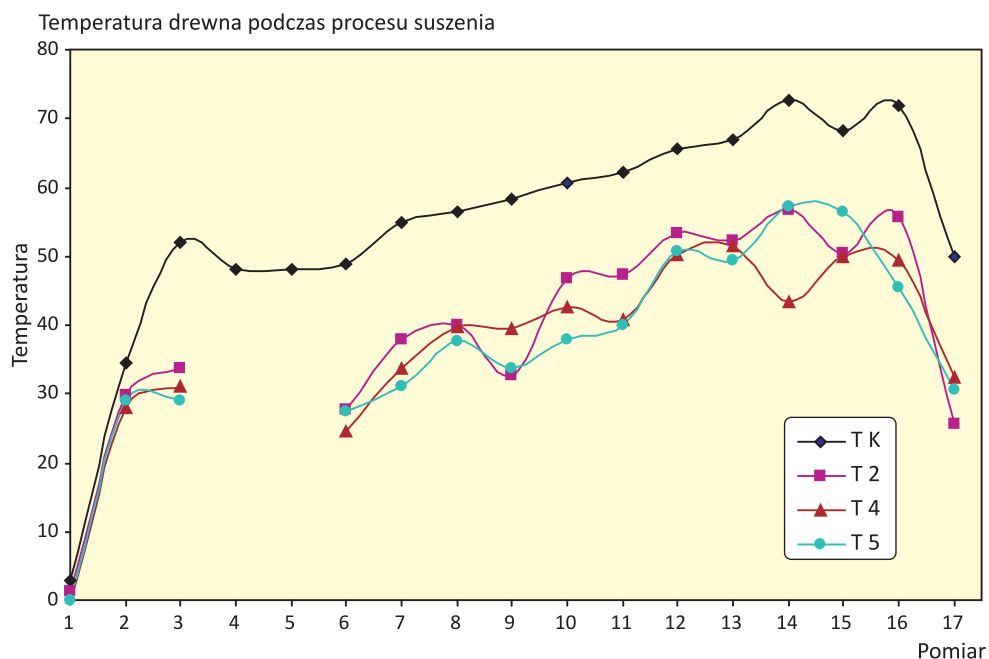
Rysunek 7. Termogramy szóstego pomiaru bali sosnowych i ścianek bocznych komory podczas pierwszej fazy suszenia

POMIAR 14	FAZA CYKLU – SUSZENIE DZIEŃ 14
<p>PARAMETRY KOMORY</p> <p>$^{\circ}\text{C} = 72,6^{\circ}\text{C}$ $\text{UGL}\% = 4,4\%$ $\text{H}_2\text{O} = 15,4\%$</p>	<p>„$^{\circ}\text{C}$” – temperatura w komorze „UGL%” – wilgotność równoważna UGL w komorze „$\text{H}_2\text{O}\%$” – średnia wilgotność drewna w komorze U – wilgotność bezwzględna drewna zmierzona wilgotnościomierzem WRD-50 e – współczynnik emisyjności</p>
<p>POLE POMIAROWE 2 LEWY BRZEG KŁODY Z SĘKIEM</p>  	 <p>+ 56.8 °C = 0,77 = 13,5%</p>
<p>POLE POMIAROWE 4 ŚRODKOWA CZĘŚĆ KŁODY Z SĘKIEM</p>  	 <p>+ 43.5 °C = 0,77 = 15,7%</p>
<p>POLE POMIAROWE 5 PRAWY BRZEG KŁODY</p>  	 <p>+ 57.2 °C = 0,77 = 12,3%</p>
<p>POLE POMIAROWE 7 ŚCIANA BOCZNA MIĘDZYKOMOROWA</p>  	
<p>POLE POMIAROWE 8 ŚCIANA BOCZNA ZEWNĘTRZNA</p>  	 <p>+ 38.9 °C = 0,77 = 12,3%</p>

Rysunek 8. Termogramy czternastego pomiaru bali sosnowych i ścianek bocznych komory podczas drugiej fazy suszenia

POMIAR 17	FAZA CYKLU – KONDYCJONOWANIE DZIEŃ 17
<p>PARAMETRY KOMORY</p> <p>$^{\circ}\text{C} = 50^{\circ}\text{C}$ $\text{UGL}\% = 3,6\%$ $\text{H}_2\text{O} = 8,7\%$</p>	<p>„$^{\circ}\text{C}$” – temperatura w komorze „$\text{UGL}\%$” – wilgotność równoważna UGL w komorze „$\text{H}_2\text{O}\%$” – średnia wilgotność drewna w komorze U – wilgotność bezwzględna drewna zmierzona wilgotnościomierzem WRD-50 e – współczynnik emisyjności</p>
<p>POLE POMIAROWE 2 LEWY BRZEG KŁODY Z SĘKIEM</p> 	 <p>+ 25.6 °C = 0,77 = 8%</p>
<p>POLE POMIAROWE 4 ŚRODKOWA CZĘŚĆ KŁODY Z SĘKIEM</p> 	 <p>+ *32.4 °C = 0,77 = 9,5%</p>
<p>POLE POMIAROWE 5 PRAWY BRZEG KŁODY</p> 	 <p>+ 30.6 °C = 0,77 = 6,9%</p>
<p>POLE POMIAROWE 7 ŚCIANA BOCZNA MIĘDZYKOMOROWA</p>  <p>+ *25.6 °C 27 23</p>	
<p>POLE POMIAROWE 8 ŚCIANA BOCZNA ZEWNĘTRZNA</p> 	 <p>+ *27.2 °C 30 25</p>

Rysunek 9. Termogramy siedemnastego pomiaru bali sosnowych i ścianek bocznych komory podczas fazy kondycjonowania



Rysunek 10. Zmiana temperatury drewna w trakcie procesu suszenia
 Oznaczenia: TK – temperatura komory; T2 – temperatura w polu pomiarowym nr 2;
 T4 – temperatura w polu pomiarowym nr 4; T5 – temperatura w polu pomiarowym nr 5

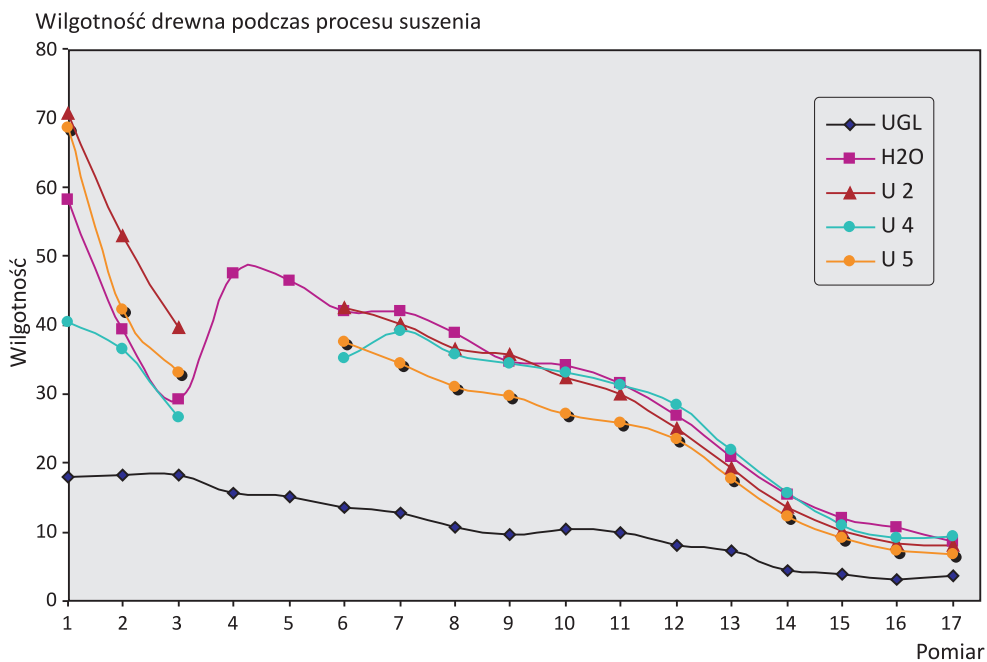
4. PODSUMOWANIE

Suszenie drewna podobnie jak każdy inny proces technologiczny polega na doborze parametrów pracy urządzenia technologicznego. Aby mógł on przebiegać prawidłowo, musimy posiadać dokładne dane z każdego ze stadiów (etapów) pracy. W urządzeniach pracujących w trybie zautomatyzowanym, proces pomiaru i sterowania pracą urządzenia jest ściśle ze sobą powiązany i stanowi jedną całość, podobnie suszarka do drewna w której przeprowadzono badania. Jednostka centralna steruje całym procesem suszenia na podstawie pomiarów szeregu czujników i sond umieszczonych w komorze. Należy podkreślić, że ich prawidłowy odczyt rzutuje na dalszą pracę komory. Jednak wszystkie te czujniki i sondy dokonują pomiaru punktowego. W celu osiągnięcia bardziej rzetelnych i realnych danych można zwiększać ilość czujników lub zastosować inną metodę pomiarową jaką jest termowizja.

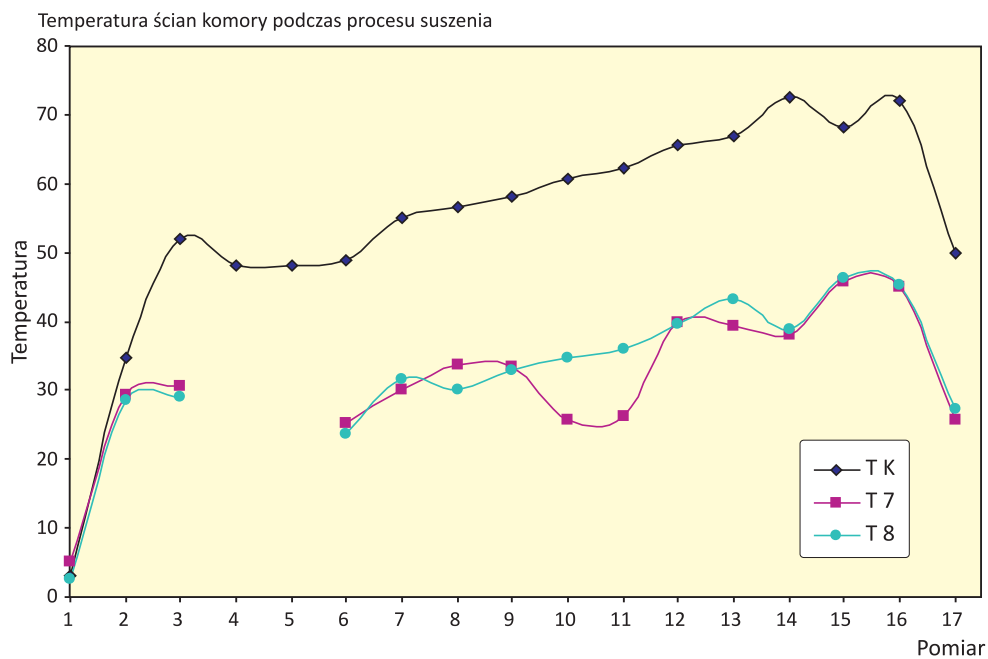
Termowizja umożliwia pomiar temperatury w wielu miejscach jednocześnie i co najważniejsze na odległość i bezinwazyjnie. Na podstawie termogramu możemy dokładnie określić kierunek przepływu energii cieplnej np. w badanej belce drewnianej. Jednym z warunków dokładności pomiarów temperatur powierzchni w trakcie ich wykonywania jest emisyjność badanego obiektu. Przy pomocy kamery termowizyjnej mamy możliwość obserwacji zmian pól temperatury zachodzące na powierzchni belki, jak też na ściankach bocznych komory co może posłużyć do ulepszenia całego procesu suszenia, a przede wszystkim do oszczędności energii cieplnej. Na podstawie termogramów i danych temperatury w suszarni oraz znajomości współczynników wymiany ciepła, możliwe jest określenie całego bilansu energetycznego komory i strat ciepła przez ściany suszarni. Przeprowadzenie termomodernizacji suszarni w trakcie optymalizacji procesu pozwala ograniczyć zużycie energii i polepszyć jakość wyrobu.

LITERATURA

- [1] Rudowski G.: Termowizja i jej zastosowanie. Warszawa, WKiŁ, 1978.
- [2] Strona internetowa: <http://termowizja.w.interia.pl>.
- [3] Strona internetowa: <http://www.egoterm.com.pl>.
- [4] Instrukcja obsługi kamery termowizyjnej Therma CAM E300.
- [5] Strona internetowa: <http://www.flir.com.pl>.
- [6] Instrukcja obsługi suszarni NARDI.



Rysunek 11. Zmiana wilgotności drewna w trakcie procesu suszenia
 Oznaczenia: UGL – wilgotność równoważna w komorze; H2O – wilgotność średnia drewna w komorze; U2,U4, U5 - wilgotność w polach pomiarowych nr 2, 4 i 5



Rysunek 12. Zmiana temperatury ścian bocznych komory w trakcie procesu suszenia
 Oznaczenia: TK – temperatura komory; T7 – temperatura w polu pomiarowym nr 7, T8 – temperatura w polu pomiarowym nr 8