

Dariusz Andrejko
Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych
Akademia Rolnicza w Lublinie

ZMIANY TEMPERATURY W NASIONACH FASOLI W TRAKCIE OGRZEWANIA PROMIENIAMI PODCZERWONYMI

Streszczenie

Ogrzewanie nasion promieniami podczerwonymi jest oparte na ich zdolności do absorpcji i następnie zamiany promieniowania elektromagnetycznego na ciepło. Zjawisko to, z uwagi na niewielką głębokość wnikania promieni podczerwonych, zachodzi tylko w wierzchnich warstwach materiału. Stąd też, celem badań było wyznaczenie rozkładu temperatur w nasionach o różnej wilgotności w trakcie ogrzewania promieniami podczerwonymi. W badaniach wykorzystano nasiona fasoli odmiany Piękny Jaś o wilgotności odpowiednio: 13.5, 15.0, 20.0, 22.0 i 26.0%. Surowiec o różnej wilgotności ogrzewano promieniami podczerwonymi rejestrując jednocześnie zmiany temperatury wewnątrz i na powierzchni nasion. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że wartość temperatury w nasionach ogrzewanych promieniami podczerwonymi uzależniana jest zarówno od miejsca jej pomiaru jak i wilgotności nasion. Najwyższą temperaturę zarejestrowano na powierzchni nasion, najniższą zaś między liścieniami. W miarę wzrostu wilgotności nasion wartości temperatur były niższe.

Słowa kluczowe: nasiona fasoli, promienie podczerwone, wilgotność

Wstęp

Wartość odżywcza surowców roślinnych nie jest wielkością stałą, lecz może ulegać zmianom z różnych przyczyn. Zmiany te z jednej strony mogą prowadzić do obniżenia jakości surowców, np. przez długotrwałe składowanie, a nawet do utraty przydatności odżywczej (np. w wyniku spleśnienia jako skutek przechowania w warunkach podwyższonej wilgotności). Z drugiej strony istnieje możliwość wykonania różnych zabiegów, które mogą znacznie poprawić wartość odżywczą. Jedną z metod poprawy wartości odżywczej i przydatności niektórych surowców może być obróbka termiczna, z wykorzystaniem promieniowania IR.

Najczęściej w trakcie obróbki termicznej ciepło przekazywane jest od nagrzanego czynnika (gorącego powietrza, wody, oleju, płyty grzejnej, itp.) do powierzchni materiału. Jednak wiele surowców może być ogrzewanych poprzez dostarczanie energii w formie fal elektromagnetycznych. Metoda ta jest oparta na zdolności materiału do absorpcji i następnie zamiany energii promieniowania elektromagnetycznego na ciepło [Ginzburg 1969].

Duże znaczenie w procesach termicznych prowadzonych z wykorzystaniem promieni podczerwonych ma wnikanie tych promieni do wnętrza materiałów (głębokość wnikania w materiał uzależniona jest od jego właściwości optycznych i długości fali) oraz zmiany zachodzące w ich obrębie. To złożone zagadnienie jest jeszcze w stadium badań, jednak można sądzić, że ogrzewanie produktów promieniami podczerwonymi należy rozpatrywać nie tylko jako proces intensywnej obróbki cieplnej, ale również szerszego oddziaływania na fizyczny, chemiczny i biologiczny charakter materiałów. Zagadnienia te nie są dotychczas w pełni wyjaśnione i wymagają dalszych intensywnych badań. Stąd też, na przykładzie nasion fasoli podjęto próbę opisu matematycznego zmian wartości temperatury w surowcach roślinnych ogrzewanych promieniami podczerwonymi.

Materiał i metody

Przygotowanie nasion do badań

Wilgotność przyjętych do badań nasion fasoli odmiany Piękny Jaś wynosiła średnio 13.5%. Jak wynika z danych literaturowych [Arntfield i in. 1997; Cenkowski, Sosulski 1997], przed przystąpieniem do obróbki termicznej promieniami podczerwonymi surowiec najczęściej poddawany jest kondycjonowaniu. Stąd też, nasiona fasoli dowilżano do różnych poziomów wilgotności (15.0, 20.0, 22.0 i 26.0%), dodając wyliczoną z odpowiednich proporcji masę wody. W celu wyrównania wymaganej wilgotności w całej masie, kondycjonowane próbki przechowywano (minimum 7 dni) w komorze chłodniczej w stałej temperaturze (5°C), poddając je wielokrotnemu utrząsaniu w ciągu dnia. Wyjmowano je z komory godzinę przed badaniami, celem wyrównania temperatury z temperaturą otoczenia.

Pomiar temperatury na powierzchni i wewnątrz nasion fasoli w trakcie ogrzewania promieniami podczerwonymi

Jako źródło emisji promieniowania podczerwonego wybrano ceramiczny promiennik podczerwieni typu ECS-1 o mocy 400 W, produkowany przez firmę ELCER. Jest to promiennik temperaturowy, zasilany energią elektryczną (230 V), mający w swoim składzie widmowym udział promieniowania widzialnego rzędu ułamka

procentu (promiennik ciemny), równomiernie ogrzewający wszystkie punkty płaszczyzny (promiennik płaszczyznowy). Średnia temperatura powierzchni żarnika wynosi, ok. 500°C, a długość fali $\lambda = 2,5-3,0 \mu\text{m}$ [ELCER 2000]. Temperaturę mierzono (w odstępach 1 s) na powierzchni i wewnątrz nasion, tj. 0.5, 4.5 i 8.5 mm pod ogrzewaną powierzchnią, wg metodyki Andrejko [2004].

Pomiar przepuszczalności promieniowania podczerwonego przez okrywy nasienne fasoli

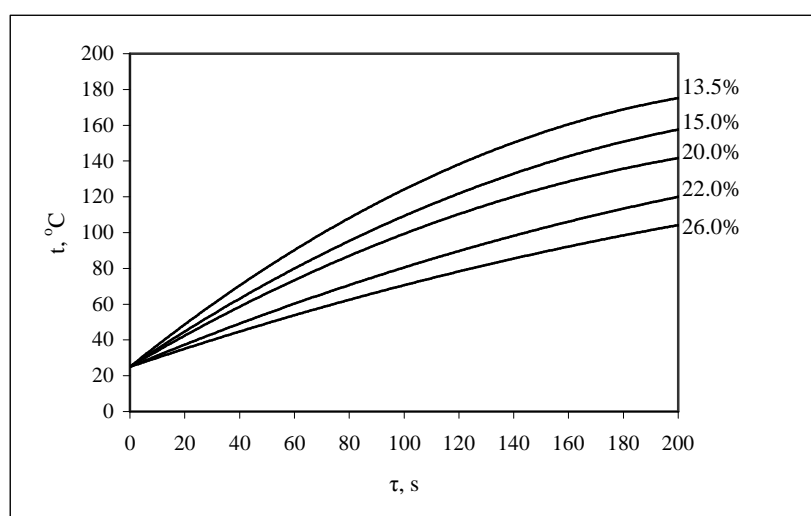
Do badań przepuszczalności promieni podczerwonych przez okrywy nasienne wykorzystano spektrometr podczerwieni SPECORD 75IR. Urządzenie to umożliwia wyznaczenie widma próbki poprzez analizę jej oddziaływania z tzw. interferogramem, uzyskanym w wyniku interferencji wiązki promieniowania źródła. Sygnał detektora, reprezentujący interferogram próbki, jest przetwarzany w jej widmo (czyli zależność absorbancji od długości fali) na drodze komputerowych obliczeń numerycznych (z zastosowaniem tzw. transformaty Fouriera). Jako źródła promieniowania wykorzystuje się lampy wolframowe lub żarniki emitujące ciągłe promieniowanie o rozkładzie zbliżonym do widma promieniowania ciała doskonale czarnego. Do detekcji promieniowania podczerwonego stosuje się detektory piroelektryczne i fotoprzewodzące.

Przed przystąpieniem do pomiarów wykonano stalowe pierścienie z wywierconymi centralnie otworami. Do ich powierzchni przyklejano okrywy nasienne fasoli. Tak przygotowany pierścień umieszczano w spektrometrze wraz z identycznym bez naklejonej okrywy w celu porównania transmisji promieni podczerwonych przez otwór niezastłonięty i przysłonięty, a następnie rozpoczynano pomiar. Jako wynik uzyskiwano wykres widma absorpcyjnego w podczerwieni okryw nasennych (w zakresie długości fali 2,5-25,0 μm), na podstawie którego odczytywano przepuszczalność promieni podczerwonych przez te okrywy (w %) [Andrejko 2004].

Wyniki

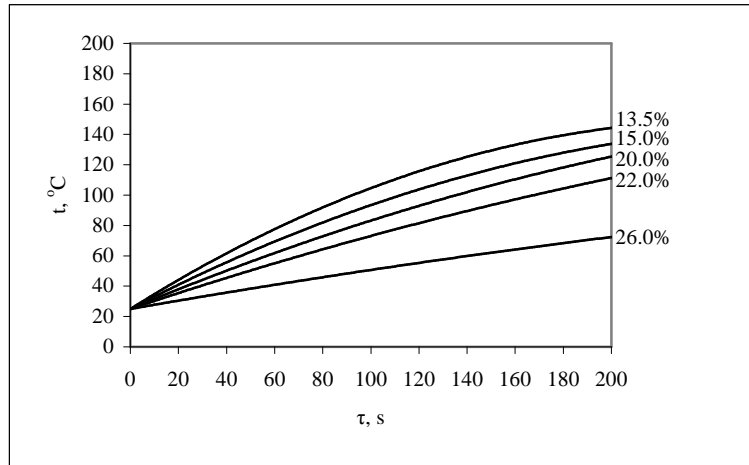
Intensywne ogrzewanie materiału jest efektem oddziaływania ciepła generowanego z mechanicznej energii drgań molekuł uzyskanej poprzez wnikanie promieni podczerwonych w głąb materiału. Jak już wspomniano we wstępie, zdolność wnikania promieni podczerwonych jest uzależniona od długości fali, jak również od budowy i właściwości ogrzewanego materiału. Stąd też, przy ustalonych warunkach termicznych procesu, o zdolności wnikania promieni podczerwonych w wewnętrzne struktury materiału będą decydowały jego właściwości fizyczne głównie te, które są ściśle związane z wilgotnością.

Na rysunkach 1-3 i w tabelach 1-3 przedstawiono zmiany wartości temperatury wewnątrz nasion fasoli o różnej początkowej wilgotności, w trakcie ich ogrzewania promieniami podczerwonymi. Najniższe wartości temperatury rejestrowano w nasionach fasoli o najwyższej początkowej wilgotności, wynoszącej 26.0%. Po obróbce trwającej 200 s wartość temperatury wewnątrz nasion wzrosła, w zależności od punktu pomiaru odpowiednio: 0.5 mm pod ogrzewaną powierzchnią od 25°C do ok. 105°C, 4.5 mm – od 25°C do ok. 70°C i 8.5 mm od 25°C do ok. 65°C. Znacznie wyższe wartości temperatury notowano podczas obróbki promieniami podczerwonymi nasion fasoli o mniejszej początkowej wilgotności, najwyższą temperaturę osiągnięto wewnątrz nasion o początkowej wilgotności 13.5% i po czasie ogrzewania 200 s. Wynosiła ona wtedy ok. 170°C na głębokości 0.5 mm, ok. 140°C – 4.5 mm i 135°C – 8.5 mm pod ogrzewaną powierzchnią. Obserwowane różnice wartości temperatury w nasionach o różnej wilgotności były statystycznie istotne na poziomie $\alpha < 0,05$. W tabelach 1-3 przedstawiono równania regresji opisujące zmiany wartości temperatury wewnątrz nasion fasoli o różnej początkowej wilgotności, w zależności od czasu ogrzewania promieniami podczerwonymi (do 200 s). Do matematycznego opisu tego zjawiska wykorzystano równania kwadratowe. Wysokie wartości współczynników determinacji R^2 świadczą o dobrym dopasowaniu równań do danych eksperymentalnych.



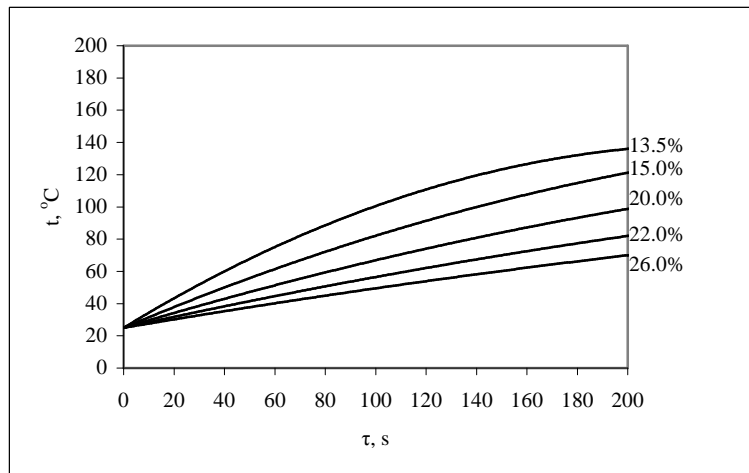
Rys. 1. Przebiegi krzywych zmian temperatury w funkcji czasu ogrzewania nasion fasoli promieniami podczerwonymi. Temperaturę rejestrowano 0.5 mm pod ogrzewaną powierzchnią nasion

Fig 1. Temperature change as function of time (0-200 sec) in bean seeds heated by infrared radiation. The temperature was registered 0,5mm below the seed surface



Rys. 2. Przebiegi krzywych zmian temperatury w funkcji czasu ogrzewania nasion fasoli promieniami podczerwonymi. Temperaturę rejestrowano 4,5 mm pod ogrzewaną powierzchnią nasion

Fig 2. Temperature change as function of time (0-200 sec) in bean seeds heated by infrared radiation. The temperature was registered 4,5mm below the seed surface



Rys. 3. Przebiegi krzywych zmian temperatury w funkcji czasu ogrzewania nasion fasoli promieniami podczerwonymi. Temperaturę rejestrowano 8,5 mm pod ogrzewaną powierzchnią nasion

Fig 3. Temperature change as function of time (0-200 sec) in bean seeds heated by infrared radiation. The temperature was registered 8,5mm below the seed surface

Tabela 1. Równania przebiegu krzywych zmian temperatury (t , °C) w funkcji czasu (τ , s) ogrzewania promieniami podczerwonymi nasion fasoli. Temperaturę mierzono 0.5 mm pod powierzchnią nasion: t_{max} – najwyższa temperatura uzyskana w zakresie czasu opisanego w dziedzinie, $t_o = const = 25^\circ C$ – początkowa temperatura procesu

Table 1. The temperature change equation (t , °C) in function of time (τ , s) in bean seed heated by infrared radiation. The temperature was measured 0.5 mm below the seed surface, t_{max} – the highest temperature observed in the time range, $t_o = const = 25^\circ C$ – initial process temperature

Wilgotność [%]	Równanie funkcji	Dziedzina funkcji τ [s]	t_{max} [°C]	R^2
13.5	$t = -2.4 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2 + 1.231 \cdot \tau + t_o$	$\tau = \langle 0; 250 \rangle$	183	0.972
15.0	$t = -1.8 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2 + 1.023 \cdot \tau + t_o$	$\tau = \langle 0; 250 \rangle$	168	0.983
20.0	$t = -1.6 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2 + 0.903 \cdot \tau + t_o$	$\tau = \langle 0; 250 \rangle$	151	0.973
22.0	$t = -0.8 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2 + 0.635 \cdot \tau + t_o$	$\tau = \langle 0; 300 \rangle$	144	0.973
26.0	$t = -0.6 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2 + 0.516 \cdot \tau + t_o$	$\tau = \langle 0; 400 \rangle$	135	0.987

Tabela 2. Równania przebiegu krzywych zmian temperatury (t , °C) w funkcji czasu (τ , s) ogrzewania promieniami podczerwonymi nasion fasoli. Temperaturę mierzono 4.5 mm pod powierzchnią nasion: t_{max} – najwyższa temperatura uzyskana w zakresie czasu opisanego w dziedzinie, $t_o = const = 25^\circ C$ – początkowa temperatura procesu

Table 2. The temperature change equation (t , °C) in function of time (τ , s) in bean seed heated by infrared radiation. The temperature was measured 4.5 mm below the seed surface, t_{max} – the highest temperature observed in the time range, $t_o = const = 25^\circ C$ – initial process temperature

Wilgotność [%]	Równanie funkcji	Dziedzina funkcji τ [s]	t_{max} , [°C]	R^2
13.5	$t = -2.0 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2 + 0.996 \cdot \tau + t_o$	$\tau = \langle 0; 200 \rangle$	144	0.9700
15.0	$t = -1.4 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2 + 0.824 \cdot \tau + t_o$	$\tau = \langle 0; 250 \rangle$	143	0.9938
20.0	$t = -0.8 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2 + 0.662 \cdot \tau + t_o$	$\tau = \langle 0; 250 \rangle$	141	0.9831
22.0	$t = -0.5 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2 + 0.531 \cdot \tau + t_o$	$\tau = \langle 0; 300 \rangle$	139	0.9792
26.0	$t = -0.2 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2 + 0.277 \cdot \tau + t_o$	$\tau = \langle 0; 550 \rangle$	117	0.9755

Tabela 3. Równania przebiegu krzywych zmian temperatury (t , °C) w funkcji czasu (τ , s) ogrzewania promieniami podczerwonymi nasion fasoli. Temperaturę mierzono 8.5 mm pod powierzchnią nasion: t_{max} – najwyższa temperatura uzyskana w zakresie czasu opisanego w dziedzinie, $t_o = const = 25^\circ\text{C}$ – początkowa temperatura procesu

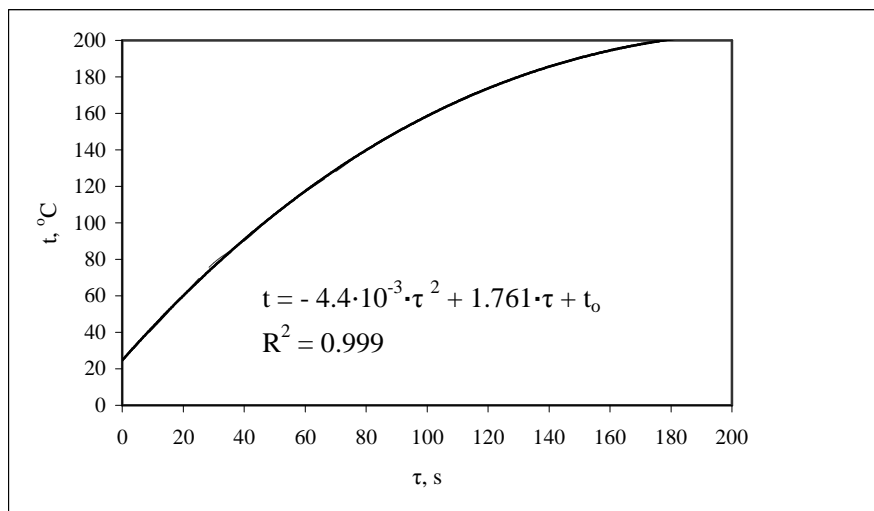
Table 3. The temperature change equation (t , °C) in function of time (τ , s) in bean seed heated by infrared radiation. The temperature was measured 8.5 mm below the seed surface, t_{max} – the highest temperature observed in the time range, $t_o = const = 25^\circ\text{C}$ – initial process temperature

Wilgotność [%]	Równanie funkcji	Dziedzina funkcji τ , s	t_{max} [°C]	R^2
13.5	$t = -2.0 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2 + 0.955 \cdot \tau + t_o$	$\tau = \langle 0; 200 \rangle$	136	0.9867
15.0	$t = -0.9 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2 + 0.661 \cdot \tau + t_o$	$\tau = \langle 0; 250 \rangle$	134	0.9959
20.0	$t = -0.5 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2 + 0.469 \cdot \tau + t_o$	$\tau = \langle 0; 350 \rangle$	128	0.9763
22.0	$t = -0.3 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2 + 0.345 \cdot \tau + t_o$	$\tau = \langle 0; 450 \rangle$	120	0.9799
26.0	$t = -0.2 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2 + 0.265 \cdot \tau + t_o$	$\tau = \langle 0; 600 \rangle$	112	0.9794

W trakcie ogrzewania nasion fasoli promieniami podczerwonymi mierzono również wartości temperatury na ich powierzchni (rys. 4). Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic wartości temperatur rejestrowanych na powierzchni nasion o różnej początkowej wilgotności. Niezależnie od poziomu początkowej wilgotności nasion temperatura na ich powierzchni rosła bardzo szybko i już po ok. 180 s osiągnęła wartość powyżej 200°C .

Przedstawione na rysunkach 1-3 i w tabelach 1-3 zależności świadczą o dużym znaczeniu wody zawartej w ogrzewanych promieniami podczerwonymi nasionach fasoli. Ogrzewanie wilgotnych nasion fasoli powoduje oczywiście wyparowanie znacznej części wody. Pod ciśnieniem 1 bar ciepło parowania jest bardzo duże i wynosi $2268 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ [Szargut 2000]. Im wilgotniejszy materiał, tym intensywniejsze parowanie, które hamuje wzrost jego temperatury.

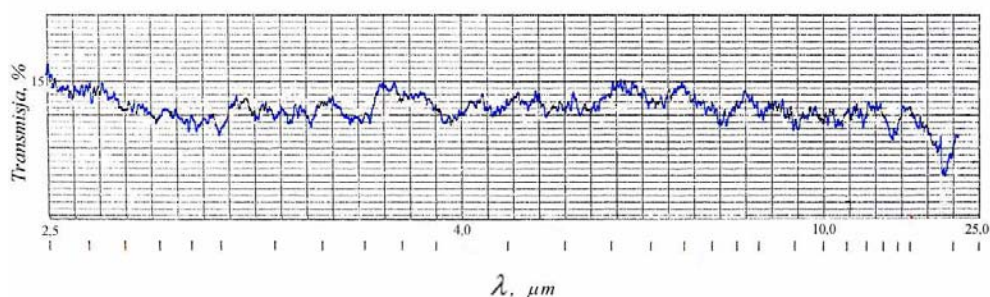
Porównując przebiegi krzywych na rysunkach 1-3 i 4 należy stwierdzić, że w trakcie ogrzewania nasion fasoli promieniami podczerwonymi wartości temperatury znacznie szybciej rosły na powierzchni pojedynczego nasienia aniżeli w jego wnętrzu (im dalej od ogrzewanej powierzchni tym temperatura rosła wolniej). Efekt ten był szczególnie widoczny w początkowym okresie trwania procesu. Występowanie, podczas ogrzewania promieniami podczerwonymi, znacznej różnicy temperatur pomiędzy powierzchnią i wnętrzem nasion może związane być z jego strukturą. Zasadniczą rolę w ochronie zarodka przed czynnikami zewnętrznymi odgrywa okrywa nasienna. Stanowi ona barierę zarówno dla chorobotwórczych mikroorganizmów jak i dla czynników atmosferycznych, wśród których jest i promieniowanie podczerwone wchodzące w skład widma słonecznego.



Rys. 4. Przebieg krzywej zmian temperatury w funkcji czasu ogrzewania nasion fasoli promieniami podczerwonymi. Temperaturę rejestrowano na ogrzewanej powierzchni nasion

Fig 4. Temperature change as function of time (0-200 sec) in bean seeds heated by infrared radiation. The temperature was registered on the heated bean seed surface

Na rysunku 5 przedstawiono przepuszczalność promieni podczerwonych (w zakresie długości fali $\lambda = 2,5 - 25,0 \mu\text{m}$) przez okrywę nasienną fasoli. Wyniki tych pomiarów potwierdzają znaczenie okryw nasiennych w ochronie cennego zarodka oraz związków chemicznych znajdujących się w liścieniach przed promieniami podczerwonymi.



Rys. 5. Przepuszczalność promieni podczerwonych przez okrywę nasienną fasoli odmiany Piękny Jaś

Fig 5. Transmission infra-red rays through the Piękny Jas bean seed cover

Przepuszczalność promieni podczerwonych przez okrywę nasion fasoli (nie stwierdzono różnicy pomiędzy mokrymi i suchymi okrywkami) była na poziomie ok. 15%. Pozostała część promieniowania została odbita lub pochłonięta przez okrywy nasienne, czego wymiernym efektem był szybki wzrost wartości temperatury na ich powierzchni.

Wnioski

1. Wartość temperatury w nasionach fasoli w trakcie ogrzewania promieniami podczerwonymi uzależniona jest od wilgotności nasion oraz miejsca pomiaru.
2. Wzrost wilgotności fasoli (od 13.5% do 26.0%) powoduje spadek wartości temperatur wewnątrz nasion w trakcie ich ogrzewania promieniami podczerwonymi. Nie stwierdzono wpływu wilgotności nasion na wartość temperatury na ich powierzchni.
3. Najniższa temperatura panuje w środku nasion (między liścieniami). Im bliżej powierzchni nasion temperatura rośnie i na powierzchni osiąga wartość maksymalną.
4. Różnice w wartości temperatur rejestrowanych na powierzchni i wewnątrz ogrzewanych promieniami podczerwonymi nasion fasoli spowodowane są małą przepuszczalnością okrywy nasiennej, przepuszcza ona ok. 15.0% promieni podczerwonych

Bibliografia

- Andrejko D. 2004. Zmiany właściwości fizycznych nasion soi pod wpływem promieniowania podczerwonego. Rozprawy Naukowe Akademii Rolniczej w Lublinie, z. 288.
- Arntfield S.D., Scalon M.G., Malcolmson L.J., Watts B., Ryland D., Savoie V. 1997. Effect of tempering and end moisture content on the quality of micronized lentils. *Food Res. Int.* 30(5), 371-380.
- Cenkowski S., Sosulski F. W. 1997. Physical and cooking properties of micronized lentils. *J. Food Proc. Eng.* 20(3), 249-264.
- ELCER s.c. 2000. Świątyniki Górne, Rzeszotany 98, materiały firmowe.
- Ginzburg A. S., 1969: Promieniowanie podczerwone w przemyśle spożywczym. WNT, Warszawa.
- Szargut J. 2000. Termodynamika. PWN, Warszawa.

TEMPERATURE CHANGES IN BEAN SEEDS HEATED WITH INFRARED RADIATION

Summary

Treating seeds with infrared light is based on their ability to absorb and change the electromagnetic radiation into heat. This phenomenon happens only in the superficial layer of the material as infrared radiation has a limited penetration ability. Thus, the aim of the research was to establish the temperature location in the material of different moisture content treated by infrared radiation. The Piekny Jas bean seed was used with moisture content of 13.5, 15.0, 20.0, 22.0 i 26.0%. The temperatures inside the bean and on the surface were measured. In the result it has been estimated that the temperature of the infrared heated seeds depends both on the part of the seed where the temperature is measured and its moisture content. The highest temperature was registered on the surface of the seeds, the lowest in between the cotyledons. Higher moisture content of the seed was accompanied by lower temperatures observed.

Key words: bean seed, infrared radiation, moisture content