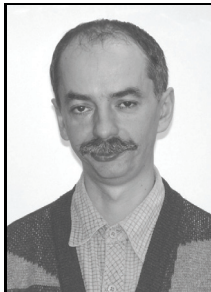


Dariusz TOMKIEWICZ, Marek KIEDROWICZPOLITECHNIKA KOSZALIŃSKA
ul. Raclawicka 15/17, 75-620 Koszalin**Zastosowanie środowiska Matlab do estymacji parametrów termodynamicznych złoża ziarna**

Dr inż. Dariusz TOMKIEWICZ

Pracuje jako adiunkt w Katedrze Automatyki Politechniki Koszalińskiej. Stopień doktora nauk technicznych w dziedzinie Budowa i Eksploatacja Maszyn, specjalność Automatyka i Robotyka uzyskał w 2000 roku. W zakresie jego zainteresowań znajdują się modelowanie i identyfikacja obiektów, inteligentne układy pomiarowe, algorytmy sztucznej inteligencji, sterowanie układami o parametrach rozłożonych.

e-mail: dariusz.tomkiewicz@tu.koszalin.pl

Mgr inż. Marek KIEDROWICZ

Absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej (2008). Od roku 2008 doktorant na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej. Prowadzi badania nad optymalizacją procesu przechowywania w silosach zbożowych oraz zastosowaniem MES do opisu zjawisk zachodzących podczas procesu przechowywania. Odybł liczne staże w ramach programów LLP-Erasmus i CEEPUS. Zainteresowania naukowe to: automatyka, kontrola jakości, rolnictwo, rachunkowość, środki ochrony roślin.

e-mail: marek.kiedrowicz@tu.koszalin.pl**Streszczenie**

Artykuł przedstawia sposób estymacji parametrów termodynamicznych złoża ziarna (ciepło właściwe, współczynnik przewodzenia ciepła). Informacja o zmianie temperatury złoża ziarna jest obecnie najczęściej stosowanym wskaźnikiem umożliwiającym wykrywanie ognisk zwiększonej aktywności życiowej ziarna spowodowanych przez rozwijające się w złożu pasożyty i procesy życiowa ziarna. W przypadku, gdy chcemy zautomatyzować proces lokalizacji ognisk zwiększonej aktywności, konieczne jest posiadania dokładnego modelu rozkładu temperatury w złożu ziarna. W celu identyfikacji parametrów modelu zbudowano stanowisko badawcze i przeprowadzono doświadczenie. Dane uzyskane podczas doświadczenia zostały wykorzystane podczas procesu estymacji parametrów. Do estymacji wykorzystano środowisko Matlab wraz z toolboxami PDE Toolbox i Optimization Toolbox. Wyniki uzyskane podczas procesu estymacji porównano z danymi pomiarowymi i stwierdzono poprawność zastosowanej metodyki. Zastosowanie środowiska Matlab umożliwiło automatyzację procesu wyznaczania wartości parametrów modelu.

Słowa kluczowe: złożo ziarna, modelowanie, estymacja parametrów, monitorowanie.

Estimation of grain bulk thermodynamic parameters in Matlab environment**Abstract**

This paper presents a method for estimation of grain bulk thermodynamic parameters (specific heat, thermal conductivity). Information about the change of the grain bed temperature is currently the most widely used as an indicator capable of detecting hot spots caused by local intensification of grain biological processes or by developing parasites in the bed. In a system of automatic hot spot localization, it is necessary to have an accurate model of propagation of the grain bed temperature. At the first stage of investigations a research stand was built and a series of experiments was carried out. The data obtained from the experiments were used during the process of estimating the parameters. To estimate model parameters, the Matlab environment with toolboxes: PDE Toolbox and Optimization Toolbox was used. The estimation procedure had the following stages. First, the silo geometry and initial and boundary conditions were worked out using the PDE Toolbox. At the next stage a program in Matlab environment was developed. It allowed simulating the heat propagation in the silo. After simulation, the matrix describing the change of heat distribution in the tank was obtained. From the matrix the temperature values corresponding to the position of temperature sensors were taken and compared with those obtained from the experiments. The optimization procedure (Nelder – Mead method) from Optimization Toolbox was used to find optimal values of the model parameters. Due to the Matlab environment, the process of determining the model parameter values can be automated.

Keywords: bed of grain, modelling, parameter estimation, monitoring.

1. Wstęp

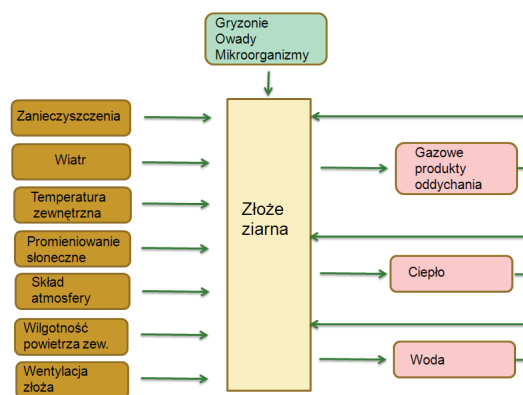
Uprawa roślin zbóż jest jedną z najważniejszych działalności rolniczych, dzięki której możliwe jest wyżywienie ludzkości.

Uprawa roślin zbożowych jest uprawą sezonową, w której po etapie zbiorów należy zmagazynować zebrane ziarno tak, aby mogło być wykorzystywane do celów konsumpcyjnych. Ziarniaki zboża są żywymi organizmami, które aktywnie reagują na zmianę warunków środowiskowych i w przypadku niewłaściwych warunków przechowywania może dojść intensyfikacji procesów życiowych prowadzących do utraty masy ziarna i jego jakości lub zarażenia złoża pasożytami, których rozwój prowadzi do częściowego lub całkowitego zniszczenia magazynowanego w złożu.

W przypadku przechowywania ziarna zboża czynnikami wpływającym na możliwość bezpiecznego składowania i na które mamy wpływ przed okresem składowania jest wilgotność ziarna, temperatura ziarna, uszkodzenia mechaniczne ziarniaków oraz zanieczyszczenia.

Straty jakościowe ziarna zbóż w Polsce powstałe na skutek złego przechowywania dotyczą szacunkowo ponad połowy masy ziarna zbieranego. Zachodzi więc konieczność zredukowania strat do jak najmniejszej wartości

Jedną z bardziej popularnych metod przechowywania zboża jest jego składowanie w silosach. Przechowywanie w silosach ma szereg zalet związanych z wygodą ich użytkowania, dbania o jakość zgromadzonego materiału i manipulowania zgromadzonymi zapasami zboża.



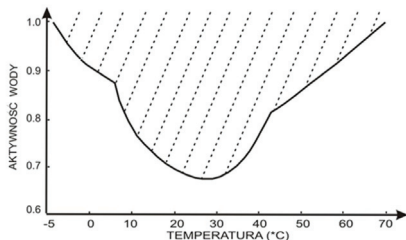
rys. 1. Czynniki wpływające na proces przechowywania zboża w silosach
Fig. 1. Factors influencing the process of grain storage in silos

Czynnikami wpływającymi, na jakość zboża podczas jego przechowywania w silosach są: zewnętrzne warunki atmosferyczne (temperatura i wilgotność powietrza, nasłonecznienie silosu i wiatr powodujące miejscowe nagrzania lub ochłodzenie ścian silosu), stopień zanieczyszczeń powodujący zwiększenie oporów przepływu powietrza i umożliwiający rozwój mikroflory, pasożytniczych owadów i gryzoni. Ważnym czynnikiem jest również skład atmosfery wewnątrz silosu. Zmienia się on na skutek działania procesów zachodzących wewnątrz złoża tak samo jak temperatura i wilgotność powietrza. Aby powstrzymać niekorzystne procesy wewnątrz

złoża stosuje się aktywne wietrzenie ziarna (zmianę parametrów atmosfery wewnątrz zbiornika), dzięki któremu można zmienić temperaturę i skład powietrza wewnątrz zbiornika (rysunek 1).

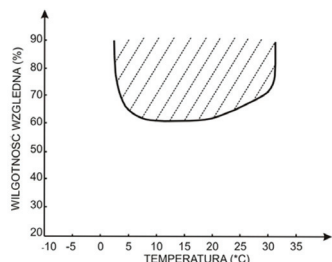
Podczas przechowywania ziarna nawet wówczas, gdy jego wilgotność miała na początku okresu składowania wartość umożliwiającą jego długotrwałe składowanie może dojść do pogorszenia jego parametrów jakościowych. Spowodowane to jest przemieszczaniem się wody wewnątrz złoża ziarna. Na skutek różnicy temperatur wewnątrz zbiornika spowodowanych poprzez zewnętrzne warunki atmosferyczne, np. punktowe nasłonecznienie ścian zbiornika dochodzi do ruchu powietrza w jego wnętrzu. Woda zawarta w ziarnie w miejscach, gdzie panuje wyższa temperatura przechodzi do powietrza. W obszarach zbiornika, w których temperatura jest niższa powietrze ochładza się powodując zwiększenie wilgotności względnej, co sprzyja rozwojowi organizmów pasożytniczych i prowadzi do zwiększenia wilgotności ziarna. W miejscach, w których wilgotne powietrze styka się z chłodnymi ścianami zbiornika może dojść do skroplenia pary wodnej i miejscowego nawilżenia ziarna.

Zbyt duża wilgotność ziarna sprzyja występowaniu i nasilaniu się rozwoju mikroorganizmów i szkodników, co w znaczący sposób wpływa na jego przechowywanie i jakość [5]. Zarodniki grzybów przenoszące się z powietrzem, kielkują już w momencie, gdy wilgotność przechowywanego ziarna przekroczy 15%. Proces ten nasila się wraz ze wzrostem wilgotności ziarna od 18-20% i sprzyja temu duża wilgotność powietrza, większa od 65%. Wielkością wiążącą w sobie zawartość wody w ziarnie oraz wilgotność powietrza jest aktywność wody. Orientacyjny zakres korzystnych warunków dla rozwoju zarodników grzybów w zależności od temperatury i aktywności wody ziarna przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Zakres korzystnych warunków dla rozwoju grzybów [3]
Fig. 2. Scope of favorable conditions for fungal growth [3]

Na samym początku rozwój grzybów jest niezauważalny i niewyczuwalny, w późniejszej fazie powoduje on stopniowy, konsekwentny wzrost wilgotności i temperatury ziarna oraz przyspiesza rozwój mikroorganizmów. Podobne zależności zachodzą w przypadku pojawienia się w złożu owadów. Najkorzystniejsze warunki dla ich rozwoju to temperatura w zakresie od 5°C do 35°C i zakres wilgotności względnej powietrza powyżej 65% (rysunek 3).



Rys. 3. Zakres korzystnych warunków dla rozwoju owadów i roztoczy [3]
Fig. 3. Scope of favorable conditions for insects and mites development [3]

Proces rozwoju pleśni, owadów i gryzoni w złożu ziarna nie zachodzi równomiernie w całej objętości zbiornika, lecz rozwija się w tzw. ogniskach. Organizmy osiedlają się w miejscach, gdzie występują dla nich najdogodniejsze warunki bytowe (temperatura, wilgotność, dostępność pokarmu), następnie na skutek wydzielenia na zewnątrz produktów ich metabolizmu (temperatura, woda

i inne) zwiększa się w tym obszarze aktywność życiowa złoża ziarna objawiająca się zwiększoną intensywnością oddychania złoża. Oddychanie w warunkach wystarczającej ilości tlenu prowadzi do utraty masy ziarna oraz do powstawania dwutlenku węgla oraz ciepła, które z kolei korzystnie wpływa na rozwój atakujących złożo organizmów. W miejscach takich dochodzi do powstania dodatniego sprzężenia, rozwój koloni organizmów pasożytniczych prowadzi do zwiększenia aktywności życiowej zboża, a to z kolei korzystnie wpływa na rozwój atakujących przechowywane zboże organizmów. Kolonia pasożytniczych organizmów stopniowo zwiększa zajmowany przez nią obszar powodując rozrastanie się ogniska i stopniowo opanowuje ona cały obszar magazynowanego ziarna.

Wszystkie te zmiany, jakie zachodzą w trakcie przechowywania powstrzymać można poprzez utrzymywanie właściwej temperatury oraz wilgotności powietrza w całej jego objętości przez okres składowania [6]. W przypadku braku nadzoru nad stanem ziarna może dojść po pewnym czasie do jego uszkodzenia. Istnieje więc konieczność opracowania systemu umożliwiającego wczesne wykrywanie ognisk zwiększonej intensywności procesów życiowych.

Ogniska zwiększonej intensywności procesów życiowych można zidentyfikować w złożu poprzez to, że następuje w nich zmiana koloru ziarna, zlepianie ziaren, zwiększenie temperatury, zwiększona produkcja mikotoksyn, dwutlenku węgla i pary wodnej i innych substancji gazowych. Następują również zmiany chemiczne w ziarniakach, a co za tym idzie zmiana smaku i zapachu, obniżenie zdolności kiełkowania.

W przemyśle istnieją urządzenia służące do wykrywania ognisk zwiększonej intensywności procesów życiowych w złożu ziarna zboża. Najczęściej systemy monitorowania złoża ziarna wykorzystują zjawisko zwiększonej temperatury ziarna w miejscu, w którym następuje zwiększona aktywność biologiczna w złożu. Systemy te umożliwiają obserwowanie zmian temperatury złoża w różnych jego punktach. Komercyjnie można zakupić systemy równomiernie rozłożonych czujników temperatury, które można umieścić w silosie wraz z systemami wizualizacji i rejestracji zmierzonych wartości temperatury.

Obsługa silosu w momencie wykrycia nadmiernego wzrostu temperatury w pewnym obszarze zbiornika może zareagować i w porę zlikwidować powstające zagrożenie dla jakości przechowywanego zboża. Ważnym czynnikiem jest czas reakcji obsługi im będzie on krótszy tym straty będą mniejsze. Czas reakcji zależy od prędkości, z jaką ciepło od ogniska zwiększonej intensywności procesów życiowych przemieszcza się przez złożo ziarna do miejsca, w którym ulokowane są czujniki temperatury. Analiza danych z czujników i podjęcie decyzji o dotyczącego działania związanego z zabezpieczeniem złoża ziarna zależy od doświadczenia obsługi zdobytego w czasie pracy na obiekcie (za niepokojący objaw przyjmując się miejscowy wzrost temperatury od 3°C do 4°C).

W układach, w których proces decyzyjny został zautomatyzowany, konieczne jest posiadanie modelu matematycznego transportu ciepła w złożu, aby móc oszacować położenie i wielkość ogniska. Parametry modelu ze względu na różnorodność właściwości ziarna muszą zostać estymowane dla konkretnej partii materiału. Konieczna jest zatem procedura umożliwiająca wyznaczenie współczynników modelu, w tym współczynnika transportu ciepła, który odpowiada za prędkość przewodzenia ciepła w złożu.

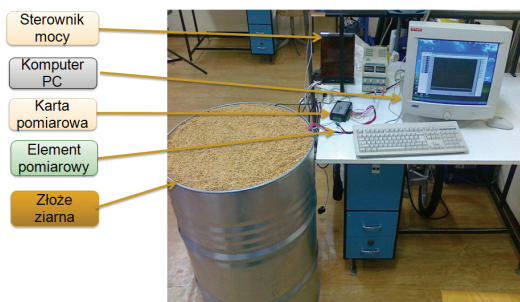
2. Stanowisko badawcze

W celu identyfikacji parametrów modelu matematycznego opisującego transport ciepła w złożu ziarna zbudowano stanowisko badawcze.

Stanowisko badawcze (rysunek 3) składało się ze zbiornika cylindrycznego wykonanego z blachy ocynkowanej o grubości 0,9 mm. Wysokość zbiornika wynosiła 0,88 m a średnica 0,58 m.

W zbiorniku umieszczono ziarno pszenicy odmiany Bombona o klasie jakości C/1 udostępnione dzięki uprzejmości Hodowli Ziemiaka Zamarte Sp. z o.o. Objętość złoża ziarna była równa 0,23 m³. Wilgotność ziarna wynosiła 14,4%. W części centralnej

zbiornika umieszczono grzałkę elektryczną. Moc grzałki można było w sposób ciągły zmieniać dzięki zastosowaniu sterownika mocy typu RI3-111.



Rys. 4. Stanowisko badawcze
Fig. 4. The research stand

W złoże ziarna umieszczono osiem czujników temperatury LM35. Czujniki były umieszczone w perforowanych kapturkach tak aby nie mogły stykać się bezpośrednio z ziarnem. Umożliwiało to pomiar temperatury powietrza w przestrzeniach, międzyziarnowych. Sześć czujników było rozmieszczonych w jednej linii, horyzontalnie po obu stronach grzałki. Odległość czujników od grzałki wynosiła 0,1 m i 0,2 m. Dwa czujniki znajdowały się przy ścianach zbiornika i mierzyły jej temperaturę. Jeden z czujników temperatury znajdował się na grzałce. Wartość temperatury z tego czujnika była wykorzystywana przez układ sterowania, którego celem było utrzymywanie temperatury grzałki na stałym poziomie. Jeden z pozostałych czujników służył do pomiaru temperatury w odległości 0,1 m nad grzałką, a drugi do pomiaru temperatury powietrza zewnętrznego. Czujniki były podłączone do karty pomiarowej LabJack U6. Wyjście analogowe tej karty służyło jako źródło sygnału sterującego dla sterownika mocy. W środowisku LabView napisano aplikację umożliwiającą wizualizację zmian wartości temperatury, rejestrację danych do pliku oraz sterowanie temperaturą grzałki. Dane były zbierane z krokiem czasowym równym 60 s.

3. Metodyka badań

Przeprowadzono serię doświadczeń. W trakcie doświadczeń temperatura grzałki znajdującej się w złoże ziarna była utrzymywana na stałej wartości równej 38°C. Doświadczenia trwały około dwadzieścia cztery godziny. Zboże w początku doświadczenia miało temperaturę 18°C. Pod wpływem strumienia ciepła wydzielanego przez grzałkę stopniowo temperatura zboża się podnosiła. Przykładowe wyniki doświadczenia pokazano na rysunku 5.

Wartości temperatur uzyskane z doświadczenia wprowadzono do środowiska Matlab. Do modelowania i symulacji transportu ciepła w złoże ziarna wykorzystano PDE Toolbox, który jest częścią środowiska Matlab. PDE Toolbox umożliwia: przeprowadzenie procesu symulacji modelu za pomocą okna graficznego lub własnego programu napisanych w środowisku MATLAB, symulacja jest przeprowadzona z zastosowaniem Metody Elementów Skończonych (MES), możliwe jest modelowanie zjawisk 2-D, toolbox zapewnia możliwość symulowania zjawisk opisanych równaniami hiperbolicznymi i parabolicznymi oraz umożliwia wprowadzenie dwóch typów warunków brzegowych Neumanna i Dirichleta, zapewnia możliwość zastosowania funkcji z pozostałych Toolboxów Matlabaa [1].

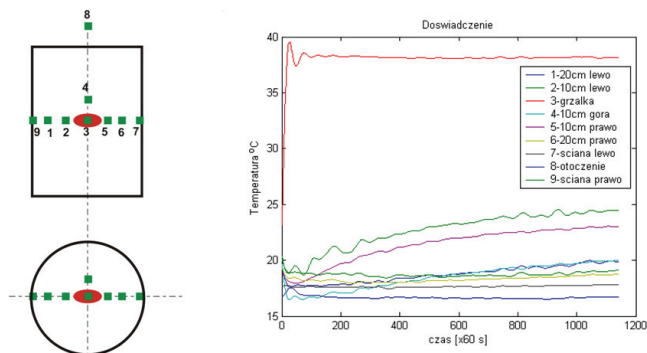
$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla(k \nabla T) = 0 \quad (1)$$

gdzie: A - pole powierzchni, C - ciepło właściwe, k - współczynnik przewodzenia ciepła, T - temperatura złoże ziarna, t - czas, ρ - gęstość.

Dzięki zastosowaniu współrzędnych cylindrycznych można było problem zredukować do dwóch wymiarów przestrzennych [4]. Model ten możemy przyjąć, jeżeli zostaną przyjęte następujące założenia upraszczające:

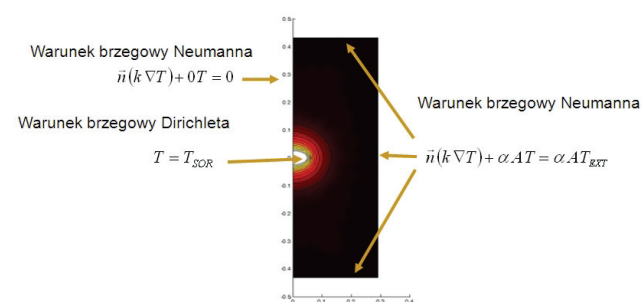
- Jedynym mechanizmem transportu energii cieplnej w złoże ziarna jest przewodzenie.
- Materiał umieszczony w zbiorniku można traktować jako materiał jednorodny.
- Zjawiska związane z transportem ciepła w silosie ze względu na symetrię można uprościć do dwóch zmiennych przestrzennych.
- Współczynnik przewodzenia ciepła jest stały.
- Gęstość złoże ziarna jest stała.
- Ciepło właściwe złoże ziarna jest stałe.
- W złoże nie jest generowane ciepło.

Dla uproszczenia dodatkowo rozpatrywano tylko połowę zbiornika. Przyjęto następujące warunki brzegowe: założono, że przez ścianki zbiornika przenieść strumień ciepła proporcjonalny do różnicy temperatur ścianki zbiornika i temperatury otaczającego powietrza (warunek brzegowy Neumanna).



Rys. 5. Wyniki doświadczenia
Fig. 5. Experiment results

Na krawędzi będącej osią symetrii zbiornika założono, że wartość strumienia ciepła będzie równa zero (idealna izolacja). Na krawędzi elementu grzejnego zadana stałą wartość temperatury równą temperaturze grzałki (warunek brzegowy Dirichleta) [2]. Warunki brzegowe przyjęte podczas symulacji przedstawiono na rysunku 6.



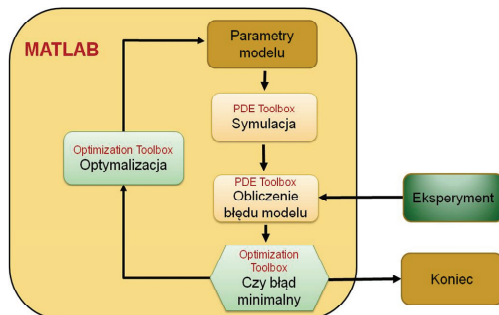
Rys. 6. Zadane warunki brzegowe dla zbiornika ze zbożem
Fig. 6. Boundary conditions for the grain bin

Do estymacji parametrów modelu wykorzystano procedury optymalizacyjne znajdujące się Optimization Toolbox. Zastosowano metodę nieliniowego simpleksu Nelder – Meada umożliwiającą znalezienie rozwiązania dla zadania programowania nieliniowego.

Procedura estymacji przebiegała w następujących etapach. Po opracowaniu geometrii silosu i zadaniu warunków początkowych i brzegowych korzystając z PDE Toolbox oraz Optimization Toolbox opracowano program w środowisku Matlab, który umożliwił przeprowadzenie symulacji rozkładu temperatury, porów-

nianie wartości temperatur otrzymanych z modelu z wartościami otrzymanymi z doświadczenia.

Procedura estymacji parametrów modelu była powtarzana aż do momentu osiągnięcia wartości temperatury w punktach przestrzennych modelu odpowiadającym położeniu czujników, aby błąd pomiędzy wartością wyliczoną i zmierzoną był minimalny. Procedurę przerywano w momencie, w którym błąd estymacji nie ulegał znaczącej redukcji (rysunek 7).



Rys. 7. Procedura estymacji parametrów modelu
Fig. 7. Procedure of model parameter estimation

4. Wyniki i wnioski

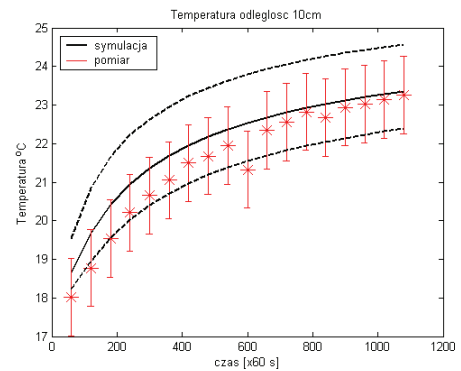
W modelu matematycznym opisującym zmianę temperatury w złożu jako funkcję czasu i wymiarów przestrzennych występują parametry, których dokładna wartość nie jest znana. Wartość tych parametrów zależy nie tylko od czasu ale od gatunku zboża, jego odmiany, historii przechowywania, warunków atmosferycznych w okresie wegetacji i wielu innych czynników. Wartości temperatury z modelu porównano z wartościami zmierzonymi podczas doświadczenia stosując jako miarę dopasowania średni błąd kwadratowy. W następnym etapie zastosowano procedury minimalizacji funkcji błędu. Wyliczone przez optymalizator wartości parametrów (ciepło właściwe i współczynnik przewodzenia ciepła) wprowadzono ponownie do modelu symulacyjnego i przeprowadzono symulację uzyskując rozkład temperatury w zbiorniku.

Dzięki procesowi estymacji parametrów modelu możliwe jest ich wyznaczenie dla konkretnego procesu. Uzyskane wyniki zostały przedstawione na rysunku 8 dla punktu w przestrzeni w którym znajdowały się czujniki temperatury oddalone od grzałki na odległość 0,1m. Na rysunku 9 przedstawiono dane pomiarowe i wyniki symulacji dla punktu w przestrzeni, w którym znajdowały się czujniki temperatury oddalone o 0,2 m. od grzałek.

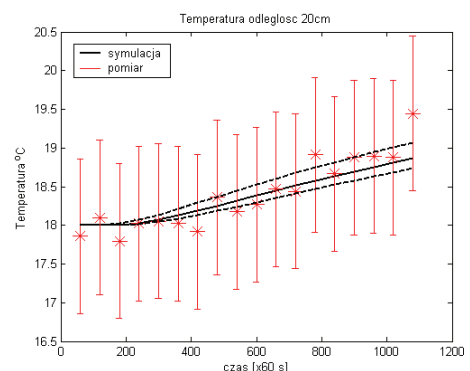
Na obu wykresach dane uzyskane z doświadczenia zostały przedstawione w postaci gwiazdek wraz z zakresem niepewności pomiaru temperatury. Czarna ciągła linia przedstawia wartości temperatury uzyskane w wyniku symulacji, linia czarna przerywana przedstawia wartości temperatury uzyskane w wyniku symulacji dla punktów w przestrzeni znajdujących się o jeden centymetr bliżej źródła ciepła niż czujnik oraz jeden centymetr dalej niż czujnik tzn. dla czujnika w odległości 0,1 m będą to wartości 0,09 m i 0,11 m a dla czujnika znajdującego się w odległości 0,2 m analogicznie 0,19 m oraz 0,21 m. Linie przerywane ilustrują wartość gradientu temperatury w rozpatrywanym punkcie oraz wrażliwość procesu estymacji na niedokładności w usytuowaniu czujnika.

Na wykresach kształty linii obrazujących zmiany temperatury w czasie uzyskane w wyniku symulacji oraz na podstawie danych pomiarowych są zbliżone. Możemy, zatem uznać, że głównym mechanizmem transportu ciepła w złożu ziarna jest zgodnie z założeniem upraszczającym przewodzenie. Przewodność ciepła złoża ziarna jest mała. Po osiemnastu godzinach doświadczenia temperatura złoża w odległości 0,2 m od źródła ciepła wzrosła

o 0,5°C przy początkowej różnicy temperatury pomiędzy ziarnem a grzałką wynoszącą 20°C.



Rys. 8. Zmiana temperatury w czasie w odległości 0,1m od źródła ciepła
Fig. 8. Temperature change over time in a distance of 0.1 m from the heat source



Rys. 9. Zmiana temperatury w czasie w odległości 0,2 m od źródła ciepła
Fig. 9. Temperature change over time in a distance of 0.2 m from the heat source

Współczynniki tego modelu ze względu na charakter procesu należy estymować dla konkretnego materiału, w przeciwnym wypadku model może nie spełniać kryterium dokładności.

W przypadku estymacji parametrów rozkład temperatury jest wrażliwy na zmianę rozkładu czujników. Wrażliwość ta maleje z odległością czujników od źródła ciepła.

Autorzy dziękują Ministerstwu Nauki i Szkolnictwa Wyższego za sfinansowanie badań (Grant NN313 211337) „Zastosowanie adaptacyjnego modelu wymiany ciepła i masy do monitorowania i sterowania procesami suszenia i przechowywania ziarna”

5. Literatura

- [1] Anonymous. 1998. Partial Differential Equation For Use with MATLAB, User's Guide.
- [2] Lorenc M.: Zastosowanie modelowania numerycznego do prognozowania rozkładu temperatur w obiektach sakralnych ogrzewanych ciepłym powietrzem, PAK 2010 nr 05.
- [3] Navarro S., Noyes R.: The Mechanics and Physics of Modern Grain Aeration Management, CRC Press, 2002.
- [4] Pabis S., Jayas D., Cenkowski S.: Grain Drying Theory and Practice, John Wiley & Sons, 1998.
- [5] Ryniecki A., Szymański P.: Dobrze przechowywane zboże. Poradnik. Mr INFO, 2002.

otrzymano / received: 09.02.2011

przyjęto do druku / accepted: 04.04.2011

artykuł recenzowany