



РАЗРАБОТВАНЕ НА СИСТЕМА ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИ ПАРАМЕТРИ НА ХЛЯБ ПРИ ОХЛАЖДАНЕ

Златин Златев

Резюме: Анализът на публикуваните резултати отнасящи се до проследяване процеса на охлаждане на хляб показва, че съществува необходимост от осъществяването на по-задълбочен анализ на известните методи и досега прилагани подходи, което да доведе до подобряване и улесняване на процеса с цел внедряване в автоматизирани системи за измерване. Изградена е опитна постановка, с която могат да бъдат измервани температура, маса и електрическо съпротивление по повърхността и в средината на хляба при охлаждане. Направен е сравнителен анализ и са избрани модели, които с достатъчна точност описват изменението на технологични параметри при охлаждане на хляб. Определени са топлинните загуби. Получените резултати потвърждават и допълват тези от достъпните литературни източници. Разработването на ясна процедура и техническо средство за измерване ще направи възможно приложението в производствената практика на предложени не-сложен, метод за характеризирание изменението на основни технологични параметри при охлаждане на хляб.

Ключови думи: Хляб, Охлаждане,

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR OBTAINING TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF BREAD ON COOLING

Zlatin Zlatev

Abstract: The analysis of published results on tracking the bread cooling process shows that there is a need for a more in-depth analysis of the known methods and hitherto applied approaches that will lead to the improvement and facilitation of the process for introduction into automated measurement systems. An experimental setup has been developed to measure temperature, mass and electrical resistance on the crust and in the bread crumb when cooled. A comparative analysis has been made and models have been selected which, with sufficient precision, describe the change in technological parameters when cooling bread. Heat losses are determined. The results obtained confirm and complement those from available literature sources. The development of a clear procedure and a technical measuring instrument will make it possible to apply in the production practice the proposed non-complex method for characterizing the change of basic technological parameters in the cooling of bread.

Keywords: Bread, Cooling, Heat losses, Models, Technological parameters

Топлинни загуби, Модели, Технологични параметри

1. Въведение

В процеса на производство на хляб възникват проблеми, свързани с охлаждането и съхранението му, преди разпространение в търговската мрежа. Изискванията за микробиологична безопасност включват пакетирането на хляба в полиетиленови или в отделни случаи хартиени пликосе. Това е възможно след охлаждане на хляба. Скоростта на охлаждане е критичен показател. Бавното охлаждане на продукта намалява производителността на технологичния процес за производство на хляб. По-бързото охлаждане води до изпаряване на голямо количество влага, което намалява добива на продукта. Високото съдържание на влага и високите температури при пакетиране (над 30°C) създават условия за развитие на плесен.

Степента на охлаждане на хляба е от значение при нарязването му. Този процес е възможен при температура на средината под 36°C [9].

В достъпната литература [6, 13, 14, 15, 16, 17, 18] са налични множество публикации, свързани с анализ на топлинни и масо-обменните процеси при охлаждане на хляба след изпичане. По-малко са публикациите, свързани със създаване на модели, описващи охлаждането на хляба.

Целта на статията е да се предложат метод и модели за проследяване процеса на охлаждане на хляб.

2. Изложение

Технологията за производство на хляб е труден и продължителен процес [7]. Процесите на топлинни и масо-пренасяне при приготвянето на хляба се получават по време на подготовката и

1. Introduction

The quality of the eggs is related to consumer preferences and is assessed by a group of methods giving the main features - freshness, weight, size and shape, as well as its elements – egg white, yolk and shell. From the user's point of view, the egg weight is an essential characteristic.

Bread production involves problems related to cooling and storage before commercial distribution. Micro-biological safety requirements include the packaging of bread in polyethylene or, in some cases, paper bags. This is possible after cooling the bread. The cooling rate is a critical indicator. Slow cooling of the product reduces the productivity of the bread process. Faster cooling leads to evaporation of large amounts of moisture, which reduces the yield of the product.

High moisture content and high packing temperatures (over 30°C) create mold development conditions.

The degree of cooling of the bread is important in cutting it. This process is possible at a medium temperature below 36°C [9].

In the available literature [6,13,14,15,16,17,18] there are many publications related to analysis of the heat and mass-exchange processes when cooling the bread after baking. Fewer are the publications related to creating models that describe the cooling of bread.

The aim of the article is to offer a method and models for tracking the bread cooling process.

2. Exposure

Bread technology is a difficult and lengthy process [7]. The processes of heat and mass transfer in the

изпичането му, както и при охлаждане на изпечения продукт. В достъпната литература са публикувани научни статии за математическото моделиране на процесите на охлаждане на хляб.

В таблица 1 е представен сравнителен анализ на данни, посочени в достъпната литература за изменение на основни технологични параметри на хляб при естествено охлаждане.

Освен посочените в таблицата параметри, в [17] анализират изменението на съдържанието на вода в хляба при охлаждане. Съдържанието на вода в кората достига 12%, а в средината 33%. Наблюдава се нарастване на съдържание на вода в кората и намаляване в средината.

preparation of the bread are obtained during the preparation and roasting, as well as the cooling of the baked product.

Scientific papers on mathematical modeling of bread cooling processes are published in the available literature.

Table 1 presents a comparative analysis of the data reported in the available literature for change of the basic technological parameters of bread under natural cooling.

In addition to the parameters listed in the table, in [17] they analyze the change in the water content of bread in cooling. The water content in the crust reaches 12% and in the crumb 33%. There is an increase in the water content of the crust and a decrease in the crumb.

Таблица 1.

Параметри при охлаждане на хляб

Table 1.

Parameters of bread cooling

Измерван параметър	Диапазон на изменение	Инфлексна точка	Време за установяване на процеса	Време за достигане на T=30°C в средината	Източник
T _{crumb} , °C	140-50 °C	75 °C	30 min	30 min	[17]
T _{crust} , °C	58-40 °C	50 °C	30 min	30 min	
m, g	Намаляване с 2 % от началната маса	Няма данни	Няма данни	-	[17]
T _{crumb} , °C	98-22 °C	52 °C	100 min	65 min	[13]
T _{crust} , °C	Няма данни	Няма данни	Няма данни	Няма данни	
m, g	Няма данни	Няма данни	Няма данни	-	
T _{crumb} , °C	95-22 °C	50 °C	100 min	70 min	[16]
T _{crust} , °C	Няма данни	Няма данни	Няма данни	Няма данни	
m, g	Намаляване на масата с 33 g	Няма данни	Няма данни	-	
T _{crumb} , °C	Няма данни	Няма данни	139 min	Няма данни	[15]
T _{crust} , °C	Няма данни	Няма данни	Няма данни	Няма данни	
m, g	Намаляване на масата с 33,7 g	69 g	Няма данни	-	
T _{crumb} , °C	98-21 °C	35 °C	170 min	140 min	[14]
T _{crust} , °C	60-21 °C	60 °C	170 min	52 min	
m, g	Намаляване с 4 % от общата маса	52 g	170 min	-	

За проследяване и моделиране на

In order to track and model the

изменението на основни технологични параметри при охлаждане на хляб са разработени контактни и безконтактни методи.

Стойкова и колектив [18] разработват лазерна система за безконтактно измерване на параметри на хляб. Работата е продължена от Любенова и колектив [11], които използват метода за проследяване и моделиране на процеса на охлаждане а хляба.

Анализът на публикуваните резултати отнасящи се до проследяване процеса на охлаждане на хляб показва, че съществува необходимост от осъществяването на по-задълбочен анализ на известните методи и досега прилагани подходи, което да доведе до подобряване и улесняване на процеса с цел внедряване в автоматизирани системи за измерване и управление.

От направения анализ на литературните източници се установи, че основните технологични параметри, които се проследяват при охлаждане на хляб са:

- ✓ Температура на кората;
- ✓ Температура на средината;
- ✓ Изменение на масата на хляба;
- ✓ Съдържание на влага.

Предложените в литературата аналитични методи за определяне съдържанието на влага в хляба се базират на многостъпкови процедури, изискващи нарушаване целостта на продукта и отнемат значително време за обработка. В следствие на това тези методи са неприложими при автоматизиране на процеса по проследяване на охлаждането на хляб.

Необходимо е да се проведат допълнителни изследвания за анализ на процеса на охлаждане на хляб в наши условия, за продукт, приготвен по утвърдени Български стандарти [1,3,4,5], както и да се създаде инструментариум,

change of basic technological parameters in bread cooling, contact and non-contact methods have been developed.

Stoykova et al. [18] developed a laser system for non-contact measurement of bread parameters. The work is continued by Lyubenova and colleagues [11], which use the method for tracking and modeling the cooling process of the bread.

The analysis of published results on tracking the bread cooling process shows that there is a need for a more in-depth analysis of the known methods and hitherto applied approaches that will lead to the improvement and facilitation of the process for introduction into automated measurement systems and management.

From the analysis of the literary sources it has been found that the basic technological parameters that are monitored during cooling of bread are:

- ✓ Crust temperature;
- ✓ Temperature of the crumb;
- ✓ Change of bread mass;
- ✓ Moisture content.

The analytical methods proposed in the literature to determine the moisture content of the bread are based on multistage procedures requiring product integrity disturbance and considerable processing time. As a result, these methods are inapplicable in automating the process of bread cooling tracking.

Further research is needed to analyze the bread cooling process in our conditions for a product prepared according to established Bulgarian standards [1,3,4,5], and to create tools to allow rapid measurement of basic

който да позволи бързо измерване на основни технологични параметри при охлаждане на хляб.

3. Материал и методи

Хлябът е приготвен по технология, съобразно УС 02/2011 [1]. Съставът му е представен в таблица 2.

Таблица 2.

Състав на хляб

<u>Продукт</u> Product	<u>Количество, %</u> Quantity
Брашно тип 500 Flour type 500	100
Питейна вода Water	56
Дрожди хлебопекарни (мая за хляб) Yeast	2
Сол, готварска йодирана Salt	1,5

Хлябът е приготвен в битова хлебопекарна Gorenje BM 1200 BK (Gorenje Group), настроена на програма 1, 900 g, степен на изпичане „средно“, време на процеса 2 h и 58 min.

Приготвени са 5 хляба, с маса, 3 часа след изпичане $690 \text{ g} \pm 3\%$. Охлаждането на хляба е при околна температура $19\text{-}21^\circ\text{C}$ и относителна влажност на въздуха $49\text{-}51\% \text{RH}$.

За целите на настоящата работа е изградена опитна постановка, с която могат да бъдат измервани маса, температура и съпротивление по дву-електродна система (фигура 1).

technological parameters when cooling bread.

3. Material and methods

The bread is prepared according to the technology, described in an established standard 02/2011 [1]. Its composition is presented in Table 2.

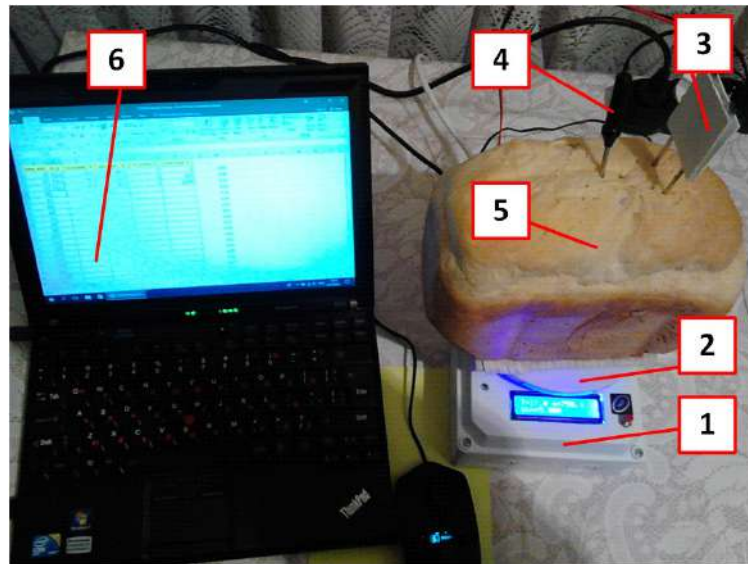
Table 2.

Bread content

The bread is prepared in a household bakery Gorenje BM 1200 BK (Gorenje Group), set at program 1, 900 g, baking "middle", process time 2 h and 58 min. 5 breads, with mass, 3 hours after baking $690 \text{ g} \pm 3\%$ were prepared.

The cooling of the bread is at an ambient temperature of $19\text{-}21^\circ\text{C}$ and a relative humidity of $49\text{-}51\% \text{RH}$.

For the purposes of the present work, an experimental setup has been developed to measure mass, temperature and electrical resistance in a two-electrode system (Figure 1).

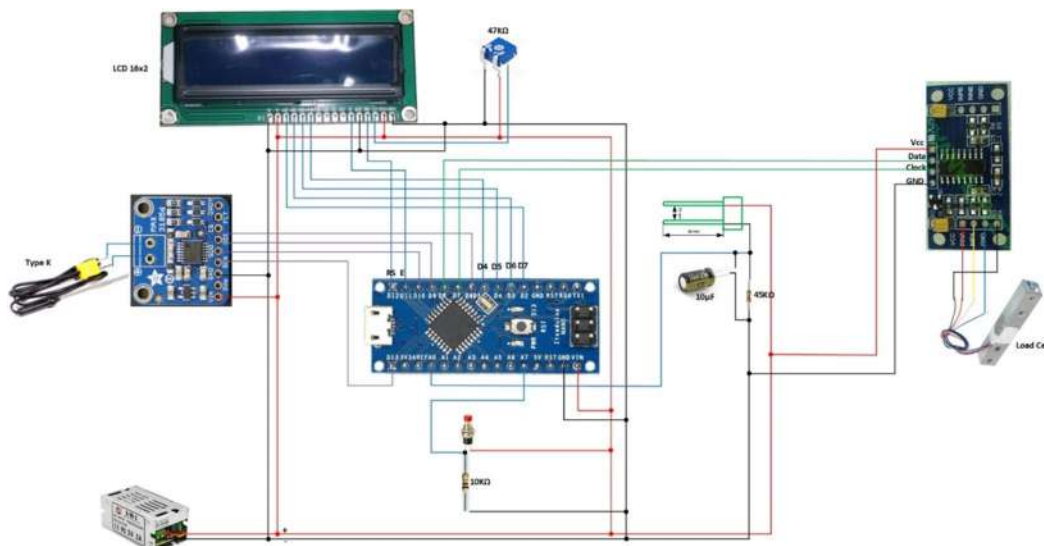


а) Общ вид

a) general view

1-измервателна система; 2-везна; 3-сензор за съпротивление; 4-сензор за температура; 5-измервана проба; 6-персонален компютър

1-measurement system; 2-scale; 3-electrical resistance sensor; 4-temperature sensor; 5-measured sample; 6-personal computer



б) Схема принципна

b) principle schematic

Фиг.1. Опитна постановка за измерване на основни технологични параметри при охлаждане на хляб

Fig. 1. Laboratory setup for measuring the main process parameters during the cooling of the bread

Опитната постановка е изградена с едноплатков микроконтролер, трансмитери за температура и тензорезистор, двуелектродна клетка. Данните от измерванията се визуализират на двуредов дисплей.

Едноплатков микрокомпютър. Използван е Arduino Nano – съвместим модул (Захранване Ком ООД) – Ардуино

The experimental set-up is built with a single-chip microcontroller, temperature transmitters and a load cell. Measurement data is displayed on a two-line display.

Single-board microcontroller. Arduino Nano - Compatible Module (Power Supply Com Ltd) - Arduino

базирана микроконтролерна платка за разработки и изграждане на прототипи, съвместима по функции с Arduino Nano. Изградена е с микроконтролер ATmega328P и USB-сериен порт конвертор CH340G. Работи с тактова честота 16MHz, поддържа UART, I²C и SPI интерфейси и има 20 I/O порта, от които до 8 аналогови входа и до 6 PWM изхода. Микроконтролерът е зареден с Arduino Nano буутлоудър и се програмира с Arduino IDE, през вградения USB-сериен порт конвертор. Захранва се с напрежение 5V от USB конектора или от външен захранващ източник DC 6V-12V, свързан на пин VIN. Работното напрежение на входно/изходните портове е 5V.

Дисплей. Дисплеят е LCD 16x2. Размери 80x36x11mm, двуредов, с по 16 знака на ред. Използва стандартен HD44780 базиран контролер, има син фон и бяла подсветка.

Трансмитер за тензорезистор. Използван е Модул двуканален 24-bit ADC HX711AD. Захранващо напрежение DC 2,6-5,5V. Модулът разполага с два независими диференциални входа с вграден нискошумящ усилвател с програмируемо усилване. Използван е тензорезистор за максимално натоварване 7 kg и резолюция 0,1g, със захранващо напрежение DC 3-10V.

Трансмитер за температура. Използван е универсален усилвател за термодвойка. Усилвател MAX31856 (Adafruit Industries, LLC) – универсален за термодвойка с два извода. Поддържани термодвойки с два извода тип: K, J, N, R, S, T, E, B. Захранване и работно напрежение на интерфейса DC 3V-5V. Интерфейс SPI, 4-проводен. Обхват от -210°C до +1800°C в зависимост от термодвойката. Точност в диапазон ± 2 ± 6 °C в зависимост от термодвойката.

based microcontroller board for development and prototyping, compatible with functions with Arduino Nano. It is built with the ATmega328P microcontroller and the CH340G USB-serial port converter. It operates at a clock rate of 16MHz, supports UART, I²C and SPI interfaces and has 20 I/O ports, up to 8 analogue inputs and up to 6 PWM outputs. The microcontroller is loaded with Arduino Nano bootloader and programmed with Arduino IDE through the built-in USB-serial port converter. It is powered by a voltage of 5V from the USB connector or an external power supply DC 6V-12V connected to the VIN pin. The operating voltage of the I/O ports is 5V.

Display. The display is LCD 16x2. Dimensions 80x36x11mm, two-line, 16 characters per line. It uses a standard HD44780 based controller, has a blue background and a white backlight.

Load cell transmitter. Two-channel 24-bit ADC HX711AD Module was used. Supply voltage DC 2.6-5.5V. The module has two independent differential inputs with a built-in low-noise amplifier with programmable gain. A 7-kg load-cell strain gauge is used and a 0.1g resolution with a DC 3-10V charging voltage.

Temperature transmitter. A versatile thermocouple amplifier is used. Amplifier MAX31856 (Adafruit Industries, LLC) - universal thermocouple with two terminals. Supported thermocouples with two terminals type: K, J, N, R, S, T, E, B. Supply and operating voltage of the DC 3V-5V interface. Interface SPI, 4-conductor. Range from -210°C to +1800°C depending on the thermocouple. Accuracy within ± 2 ± 6 °C depending on the thermocouple.

Резолюция: до 0,0078125°C. Използвана е термодвока тип К с два извода и обхват от -10 до +400°C, монтирана в защитен кожух с работна дължина 80mm.

Resolution: up to 0.0078125°C. A K-type thermocouple with two terminals and a range of -10 to + 400°C, mounted in a protective housing with a working length of 80mm, is used.

Измерване на съпротивление. За измерване съпротивлението на кората и средината на хляба е използвана дву-електродна схема, представена на фигура 2. Посочени са основните й размери и принципна схема за свързване към микроконтролер. С R_c е означено измереното съпротивление на хляба, то е свързано в схема делител със съпротивление 45 kΩ. Между входа на контролера и маса е свързан кондензатор с капацитет 10 μF.

Electrical resistance measurement. For measuring the resistance of the bread crust and crumb, a two-electrode scheme is used, shown in Figure 2. Its main dimensions and schematics are described for connection to a microcontroller. With R_c is the measured resistance of the bread, it is connected in a divider circuit with a resistance of 45 kΩ. A capacitor 10 μF is connected between the input of the controller and the table.

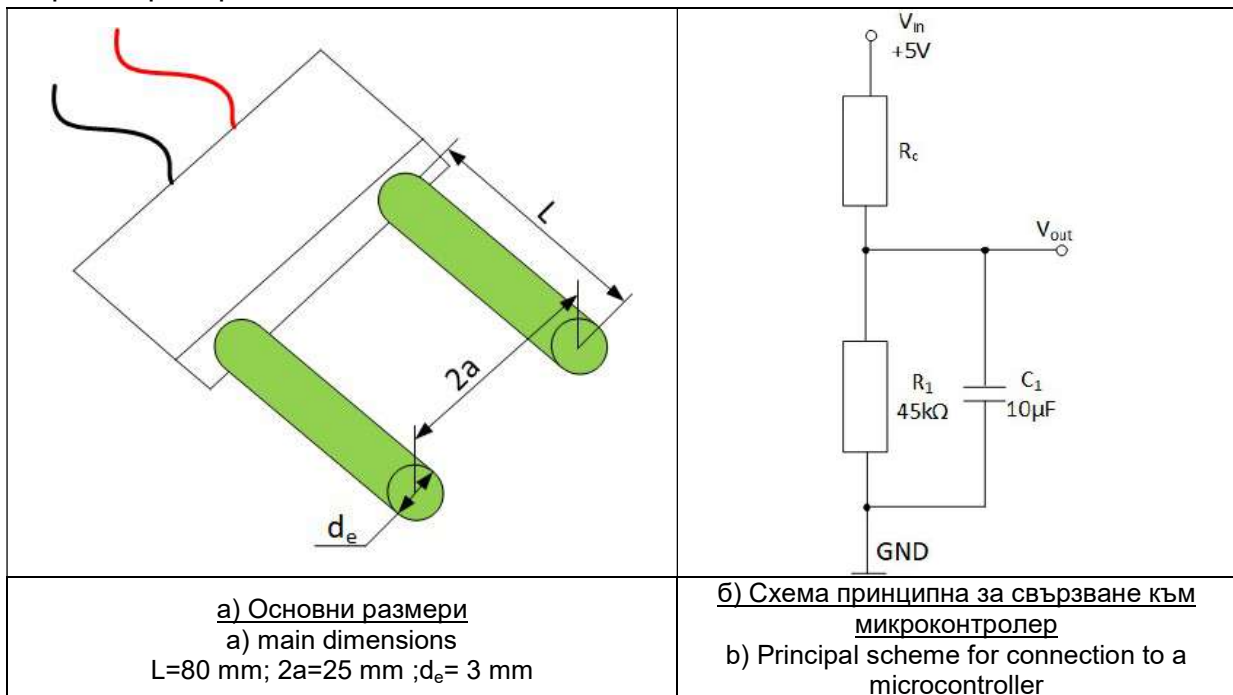
Измереното съпротивление на хляб може да се опише чрез:

The measured resistance of bread can be described by:

$$R_c = \frac{R_1 V_{in}}{V_{out}} - R_1 \tag{1}$$

където R_c е измереното съпротивление на хляба; $R_1=45\text{ k}\Omega$; V_{in} – захранващо напрежение DC 5V; V_{out} – напрежение, измерено на входа на микроконтролера.

where R_c is the measured resistance of the bread; $R_1 = 45\text{ k}\Omega$; V_{in} - supply voltage DC 5V; V_{out} - voltage measured at the input of the microcontroller.



Фиг.2. Измервателна клетка за съпротивление на хляб

Fig.2. Measurement cell for electrical resistance of bread

Аналоговият вход за измерване на съпротивление се прочита на два пъти с изчакване 10ms между измерванията с цел стабилизиране на показанието на системата. Същата процедура е приложена при измерване масата на хляба. Програмният код за реализиране на този алгоритъм е представен в приложение 1.

Модели описващи изменението на технологични параметри при охлаждане на хляб. За получаване на моделите е използван CurveFitting Toolbox в Matlab. Моделите са оценени с коефициент на определеност R^2 , сума от квадратите на грешките (SSE), корен от средно-квадратичната грешка (RMSE) [2,8,12,20].

Анализ на чувствителността на моделите. Анализът на чувствителността има за цел да определи доколко изходните величини на модела се влияят от умерени промени на входните величини на модела. Изследването на чувствителността може да осигури обща оценка за точността на модела, когато се използва за оценка на алтернативни модели, както и подробна информация за преодоляване на грешките при различни стойности на параметрите [10,12,19]. Използван е опростен детерминистичен подход, при който получените параметри на модела се задават с $\pm 10\%$ от техните стойности. Анализират се графики на модула на грешките при повишени и понижени стойности на параметрите на моделите. Ако изходните величини на модела се различават значително, тогава изходът е чувствителен към спецификацията на входните разпределения и следователно те трябва да бъдат прецизно определени.

Определяне на топлинни загуби при охлаждане на хляб. Хлябът е апроксимиран към паралелепипед с

The analog input for resistance measurement is read out twice with a wait of 10ms between measurements to stabilize the system display. The same procedure is applied when measuring the bread weight. The program code for implementing this algorithm is presented in Appendix 1.

Models describing the change of technological parameters when cooling bread. The CurveFitting Toolbox in Matlab was used to obtain the models. The models are rated with a coefficient of determination R^2 , a sum of squared errors (SSE), root mean, squared errors (RMSE) [2,8,12,20].

Models sensitivity analysis. The sensitivity analysis is designed to determine how far the output dimensions of the model are influenced by moderate changes to the input dimensions of the model. The sensitivity test can provide a general assessment of the accuracy of the model when used to evaluate alternative models as well as detailed information to overcome the errors at different parameter values [10,12,19]. A simplified deterministic approach was used in which the model parameters obtained were set by $\pm 10\%$ of their values. Charts of the error module are analyzed at elevated and decreased values of the model parameters. If the output variables of the model differ significantly, then the output is sensitive to the specification of the input distributions and therefore they must be precisely defined.

Determination of heat losses during cooling of bread. The bread is approximated to a parallelepiped

размери на страните $a \times b \times c$. В таблица 3 са нанесени основни параметри за определяне на топлинни загуби при охлаждане на хляб.

with dimensions of the $a \times b \times c$ sides. Table 3 gives basic parameters for determining heat loss when cooling bread.

Table 3.
Параметри за определяне топлинни загуби при охлаждане на хляб

Table 3.
Parameters for determining heat losses when cooling the bread

<u>Параметър</u> Parameter	<u>Формула</u> Formula	<u>Описание</u> Description
<u>Топлинни загуби от конвекция</u> Heat losses from convection q_{conv} , W	$q_{conv} = -hA_{loaf}(\theta_{loaf} - \theta_{amb})$	h - <u>коэффициент на конвекция</u> convection coefficient, w/m^2K A_{loaf} - <u>площ на хляба</u> , loaf area, m^2 θ_{loaf} - <u>начална температура на хляба</u> , initial bread temperature, $^{\circ}C$ θ_{amb} - <u>околна температура</u> , ambient temperature, $^{\circ}C$
<u>Топлинни загуби от излъчване</u> Heat losses from radiation q_{rad} , W	$q_{rad} = -\epsilon_{loaf}\sigma A_{loaf}T_{loaf}^4$	ϵ_{loaf} - <u>константа</u> , constant σ - <u>константа</u> , constant T_{loaf} - <u>начална температура на хляба</u> , initial bread temperature, K
<u>Общи топлинни загуби</u> Total heat loss q_{total} , W	$q_{total} = q_{conv} + q_{rad}$	-
<u>Средна температурна разлика</u> Mean temperature difference $\Delta\theta$, $^{\circ}C$	$c = \frac{\theta_w - \theta_{amb}}{\theta_{loaf} - \theta_{amb}}$ $\Delta\theta = \begin{cases} \frac{\theta_{loaf} + \theta_w}{2} - \theta_{amb}, & c \geq 0,7 \\ \ln \left[\frac{\theta_{loaf} - \theta_{amb}}{\theta_w - \theta_{amb}} \right], & c < 0,7 \end{cases}$	c - <u>критерий за избор на разлика</u> , Difference Selection Criterion θ_w - <u>желана температура на средината на хляба</u> , a desired temperature of the bread crumb, $^{\circ}C$

4. Резултати и дискусия

4. Results and discussion

Наравен е анализ на изменението на температурите и електрическото съпротивление на хляб, произведен по утвърден в България стандарт. Тези параметри са измерени за средината и кората, както и промяната на масата на хляба при естествено охлаждане.

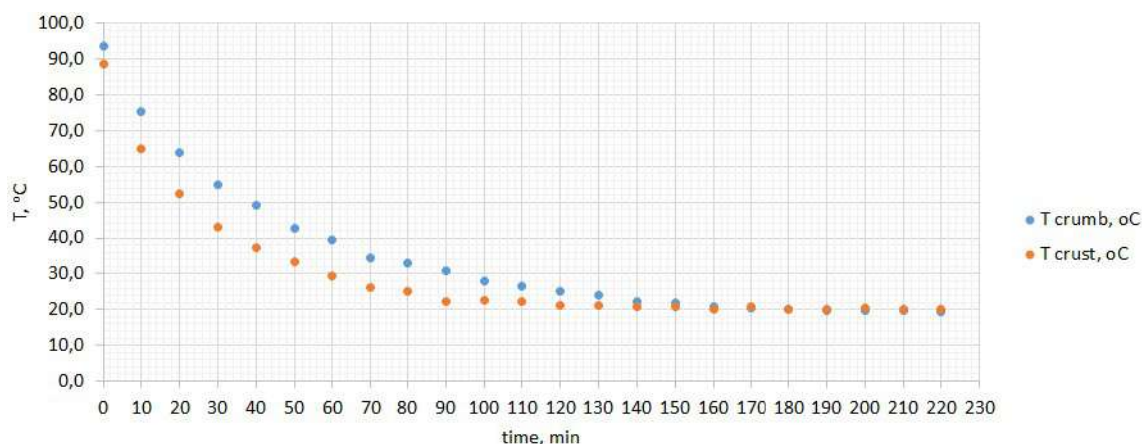
An analysis of the temperature variation and the electrical resistance of bread produced according to a validated in Bulgarian standard is obtained. These parameters are measured for the crumb, crust, as well as the change in the bread mass in natural cooling.

На фигура 4 са представени графики за изменението на температурите в средината и кората на хляба. Изменението на температурата в средината е в диапазона $93-19,5^{\circ}C$. Инфлексната точка на процеса е при $50^{\circ}C$. Времето за установяване на процеса е 170 min. Времето за достигане на $30^{\circ}C$ в средината е 90 min.

Figure 4 shows graphs for temperature variations in the bread crumb and crust. The temperature change in the crumb is in the range $93-19,5^{\circ}C$. The process's inflection point is at $50^{\circ}C$. The process setting time is 170 min. The time to reach $30^{\circ}C$ in the

Температурата на кората се изменя в диапазона 87-19,5°C. Инфлексната точка е при 45°C. Времето за установяване е 90 min.

crumb is 90 minutes. The temperature of the crust varies within the range 87-19,5°C. The inflection point is at 45°C. The setting time is 90 min.



Фиг.4. Изменение на температури на средина и кора

Fig.4. Crumb and crust temperatures changes

В таблица 4 са представени резултати за четири анализирани модели, описващи изменението на температурата в средината на хляба. С достатъчна точност опитните данни описва рационалния модел.

Table 4 presents results for four analyzed models describing the change in temperature in the bread medium. With sufficient accuracy, the experimental data describes the rational model.

Таблица 4.

Table 4.

Модели, описващи изменението на температурата в средината във времето

Models describing crumb temperature change over time

Основен модел General model	Коефициенти (с 95% доверителен интервал) Coefficients (with 95% confidence bounds)	Точност на описанието Goodness of fit
<p>Експоненциален Exponential</p> $f(x) = a \cdot \exp(b \cdot x) + c \cdot \exp(d \cdot x)$ <p>където x е нормирано чрез средна стойност 110 и стандартно отклонение 67.82 where x is normalized by mean 110 and standard deviation 67.82</p>	<p>a = 3 (1.73, 4.269) b = -1.87 (-2.089, -1.651) c = 23.52 (21.79, 25.25) d = -0.1548 (-0.2181, -0.09148)</p>	<p>SSE: 12.62 R-square: 0.9986 RMSE: 0.8149</p>
<p>Полиномен Polynomial</p> $f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$	<p>p1 = -1.615e-05 (-2.022e-05, -1.208e-05) p2 = 0.007637 (0.006272, 0.009001) p3 = -1.221 (-1.349, -1.094) p4 = 88.27 (85.11, 91.44)</p>	<p>SSE: 85.19 R-square: 0.9904 RMSE: 2.117</p>
<p>Сума от синуси Sum of sine</p> $f(x) = a1 \cdot \sin(b1 \cdot x + c1) + a2 \cdot \sin(b2 \cdot x + c2)$	<p>a1 = 408.5 (-1.733e+05, 1.741e+05) b1 = 0.002437 (-1.535, 1.54) c1 = 2.698 (-270.6, 276) a2 = 94.09 (-2.59e+04, 2.609e+04) b2 = 0.01005 (-0.6077, 0.6278) c2 = 4.676 (-74.97, 84.32)</p>	<p>SSE: 202.2 R-square: 0.9772 RMSE: 3.449</p>
<p>Рационален Rational</p> $f(x) = (p1 \cdot x^2 + p2 \cdot x + p3) / (x^2 + q1 \cdot x + q2)$	<p>p1 = 868.4 (-1.123e+05, 1.141e+05) p2 = -1.316e+05 (-1.778e+07, 1.752e+07) p3 = 8.372e+07 (-1.095e+10, 1.111e+10) q1 = 1.9e+04 (-2.482e+06, 2.52e+06) q2 = 8.953e+05 (-1.171e+08, 1.189e+08)</p>	<p>SSE: 4.585 R-square: 0.9995 RMSE: 0.5047</p>

В таблица 5 са представени резултати за четири анализирани модели, описващи изменението на температурата на кората на хляба. С достатъчна точност опитните данни описва рационалния модел.

Table 5 presents results for four analyzed models describing the change in bread crust temperature. With sufficient accuracy, the experimental data describes the rational model.

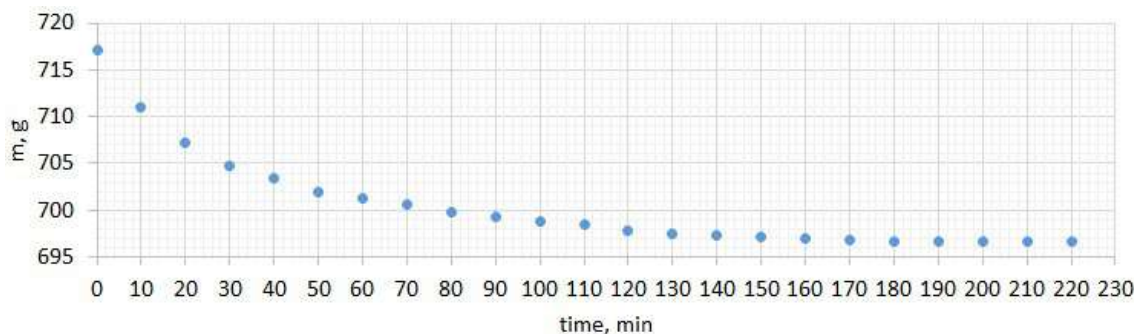
Таблица 5. Модели, описващи изменението на температурата на кората във времето

Table 5. Models describing crust temperature change over time

<u>Основен модел</u> General model	<u>Коефициенти (с 95% доверителен интервал)</u> Coefficients (with 95% confidence bounds)	<u>Точност на описанието</u> Goodness of fit
<p><u>Експоненциален</u> Exponential</p> <p>$f(x) = a \cdot \exp(b \cdot x) + c \cdot \exp(d \cdot x)$</p> <p>където x е нормирано чрез средна стойност 110 и стандартно отклонение 67.82 where x is normalized by mean 110 and standard deviation 67.82</p>	<p>a = 1.058 (0.6862, 1.429)</p> <p>b = -2.537 (-2.741, -2.334)</p> <p>c = 21.08 (20.21, 21.96)</p> <p>d = -0.03963 (-0.08308, 0.003823)</p>	<p>SSE: 12.77</p> <p>R-square: 0.9981</p> <p>RMSE: 0.8197</p>
<p><u>Гаусов</u> Gaussian</p> <p>$f(x) = a1 \cdot \exp(-((x-b1)/c1)^2) + a2 \cdot \exp(-((x-b2)/c2)^2)$</p>	<p>a1 = 5.166e+19 (-9.284e+22, 9.295e+22)</p> <p>b1 = -2208 (-9.91e+04, 9.468e+04)</p> <p>c1 = 343.9 (-7247, 7935)</p> <p>a2 = 3.539e+05 (-1.458e+10, 1.458e+10)</p> <p>b2 = -3.016e+04 (-1.279e+08, 1.279e+08)</p> <p>c2 = 9709 (-2.045e+07, 2.047e+07)</p>	<p>SSE: 13.29</p> <p>R-square: 0.998</p> <p>RMSE: 0.8843</p>
<p><u>Полиномен</u> Polynomial</p> <p>$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$</p>	<p>p1 = -2.264e-05 (-2.853e-05, -1.675e-05)</p> <p>p2 = 0.009867 (0.007894, 0.01184)</p> <p>p3 = -1.363 (-1.547, -1.179)</p> <p>p4 = 80.24 (75.66, 84.82)</p>	<p>SSE: 178.1</p> <p>R-square: 0.9729</p> <p>RMSE: 3.061</p>
<p><u>Рационален</u> Rational</p> <p>$f(x) = (p1 \cdot x^2 + p2 \cdot x + p3) / (x + q1)$</p>	<p>p1 = 0.07121 (0.0573, 0.08512)</p> <p>p2 = -4.058 (-7.344, -0.7716)</p> <p>p3 = 2635 (2412, 2857)</p> <p>q1 = 29.8 (27.1, 32.51)</p>	<p>SSE: 6.097</p> <p>R-square: 0.9991</p> <p>RMSE: 0.5665</p>

Анализирано е изменението на масата на хляба при охлаждане. Тя се изменя в диапазона 718-697g, което показва намаляване с 3% от началната маса. Времето за установяване на процеса е 170 min. Инфлексната точка е при 705g (фигура 5).

The change of bread mass on cooling is analyzed. It varies in the range 718-697g, indicating a decrease of 3% of the starting mass. The process setting time is 170 min. The inflection point is at 705g (Figure 5).



Фиг. 5. Изменение на маса

Fig. 5. Mass changes

В таблица 6 са представени резултати

Table 6 presents results for four

за четири анализирани модели, описващи изменението на масата на хляба. С достатъчна точност опитните данни описва втория рационален модел.

analyzed models describing the change in bread mass. With sufficient accuracy, the experimental data describes the second rational model.

Таблица 6.

Table 6.

Модели, описващи изменението на масата във времето

Models describing mass change over time

<u>Основен модел</u> General model	<u>Коефициенти (с 95% доверителен интервал)</u> Coefficients (with 95% confidence bounds)	<u>Точност на описанието</u> Goodness of fit
Рационален Rational $f(x) = (p1*x^2 + p2*x + p3) / (x + q1)$	p1=0.001614 (-0.002841, 0.006068) p2 = 693.2 (692.1, 694.3) p3 = 2.086e+04 (1.846e+04, 2.326e+04) q1 = 29.09 (25.73, 32.44)	SSE: 0.6459 R-square: 0.9989 RMSE: 0.1844
Рационален Rational $f(x) = (p1*x^2 + p2*x + p3) / (x^2 + q1*x + q2)$	p1 = 693.6 (693.3, 693.8) p2 = 7945 (-9777, 2.567e+04) p3 = -3.597e+05 (-8.612e+05, 1.418e+05) q1 = 10.5 (-15.05, 36.04) q2 = -501.6 (-1201, 197.6)	SSE: 0.6546 R-square: 0.9989 RMSE: 0.1907
Експоненциален Exponential $f(x) = a*exp(b*x) + c*exp(d*x)$ където x е нормирано чрез средна стойност 110 и стандартно отклонение 67.82 where x is normalized by mean 110 and standard deviation 67.82	a = 0.2545 (0.108, 0.401) b = -2.57 (-2.907, -2.234) c = 698.2 (697.8, 698.5) d = -0.001887 (-0.002428, -0.001347)	SSE: 2.362 R-square: 0.9961 RMSE: 0.3526
Полиномен Polynomial $f(x) = p1*x^3 + p2*x^2 + p3*x + p4$	p1 = -5.095e-06 (-6.876e-06, -3.313e-06) p2 = 0.002303 (0.001706, 0.0029) p3 = -0.3463 (-0.4021, -0.2906) p4 = 714.7 (713.3, 716.1)	SSE: 16.3 R-square: 0.9733 RMSE: 0.9263

Направено е моделиране на данните за изменение на съпротивлението на кората. Върху данните за средината не са направени изследвания.

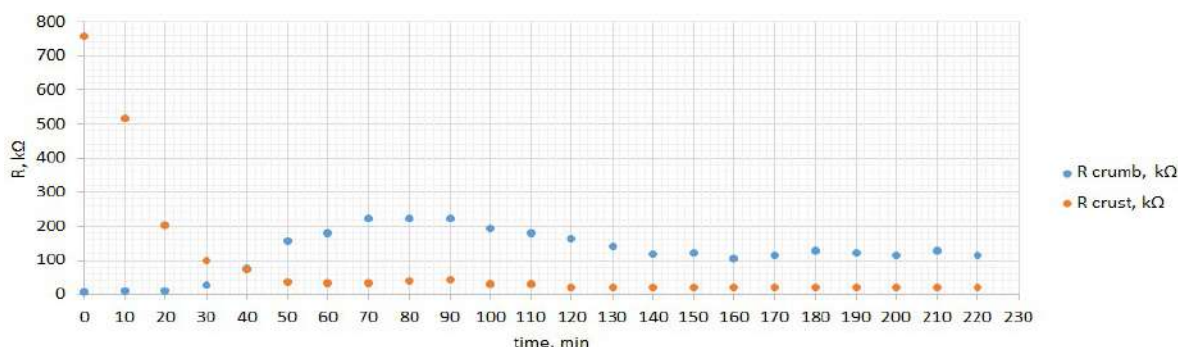
It has been modeling data to amend the resistance of the crust. No studies have been made on the data on the crumb.

На фигура 6 са представени опитните данни, получени при измерване на съпротивлението в средината и кората на хляба.

Figure 6 shows the experimental data obtained by measuring the resistance in the bread crumb and crust.

Получените резултати за изменението на съпротивлението в средината и кората на хляба, което може да бъде използвано като косвен показател за изменението на влагата на хляба при охлаждане, потвърждават посочените в [17]. Съдържанието на вода в кората достига 12%, а в средината 33%. Наблюдава се нарастване на съдържание на вода в кората и намаляване в средината.

The results obtained for the variation of the resistance in the bread crumb and crust, which can be used as an indirect indicator of the change in bread moisture upon cooling, confirm those shown in [17]. The moisture content in the bark reaches 12% and the average 33%. There is an increase in the moisture content of the crust and a decrease in the crumb.



Фиг. 6. Изменение на съпротивления на кора и средина

Fig. 6. Crumb and crust electrical resistance changes

Методът за измерване на влага, който използват авторите е изсушаване на част от пробата за 24 часа и тегловно определяне на влагосъдържанието. Методът е разрушителен и изисква множество проби за проследяване на този процес.

The moisture measurement method used by the authors is to dry part of the sample for 24 hours and to determine the moisture content by weight. The method is destructive and requires multiple samples to track this process. A similar dependence is also experienced when changing the electrical resistance in these areas of bread when cooling. This measurement does not require additional samples for analysis and all measurements (temperature and weight) can be made for each bread individually.

Подобна зависимост се получава и при изменение на съпротивлението в тези области на хляба при изстиване. При това измерване не са необходими допълнителни проби за анализ и всички измервания (за температура и тегло) могат да бъдат правени за всеки хляб поотделно.

Table 7 presents results for four analyzed models describing the change in electrical resistance in the bread crumb. With sufficient accuracy, the experimental data describes the rational model.

В таблица 7 са представени резултати за четири анализирани модели, описващи изменението на съпротивлението в средината на хляба. С достатъчна точност опитните данни описва рационалния модел.

Таблица 7.

Table 7.

Модели, описващи изменението на съпротивлението на кората във времето

Models describing crust electrical resistance change over time

<u>Основен модел</u> General model	<u>Коефициенти (с 95% доверителен интервал)</u> Coefficients (with 95% confidence bounds)	<u>Точност на описанието</u> Goodness of fit
<u>Експоненциален</u> Exponential $f(x) = a \cdot \exp(b \cdot x) + c \cdot \exp(d \cdot x)$ <u>където x е нормирано чрез средна стойност 110 и стандартно отклонение 67.82</u> where x is normalized by mean 110 and standard deviation 67.82	a = 0.8665 (-0.1252, 1.858) b = -4.185 (-4.887, -3.482) c = 19.51 (3.515, 35.5) d = 0.09472 (-0.8091, 0.9986)	SSE: 1.175e+04 R-square: 0.9835 RMSE: 24.87
<u>Полиномен</u> Polynomial $f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$	p1 = -0.0003442 (-0.0004776, -0.0002108) p2 = 0.1389 (0.0942, 0.1836) p3 = -16.93 (-21.11, -12.76) p4 = 620.8 (517, 724.5)	SSE: 9.142e+04 R-square: 0.872 RMSE: 69.37

<p><u>Рационален</u> Rational $f(x) = (p1*x^2 + p2*x + p3) / (x^2 + q1*x + q2)$</p>	<p>p1 = 18.86 (11.07, 26.65) p2 = -87.24 (-1168, 993.4) p3 = 7.268e+04 (4.416e+04, 1.012e+05) q1 = -5.271 (-6.032, -4.51) q2 = 95.89 (58.28, 133.5)</p>	<p>SSE: 593.7 R-square: 0.9992 RMSE: 5.743</p>
<p><u>Сума от синуси</u> Sum of sine $f(x) = a1*sin(b1*x+c1) + a2*sin(b2*x+c2)$</p>	<p>a1 = 1.089e+04 (-1.401e+08, 1.401e+08) b1 = 0.00183 (-28.9, 28.9) c1 = 2.889 (-3982, 3988) a2 = 2344 (-8.168e+06, 8.173e+06) b2 = 0.008905 (-6.218, 6.236) c2 = 5.065 (-831.5, 841.6)</p>	<p>SSE: 1.216e+05 R-square: 0.8298 RMSE: 84.56</p>

Оценена е чувствителността на получените модели. Резултатите от тази оценка са представени в таблица 8.

За да се оцени в каква степен рационалният модел описва с достатъчна точност процеса на изменение на технологичните параметри са използвани резултатите за тези процеси и методика за критерий на Стюдънт, който при разполагаемите данни има степени на свобода $df=n-1$, където n е броя на опитните данни. Използвани са данни, които не са прилагани при търсене на подходящ модел, който да опише опитните данни.

Изчислената стойност на критерия на Стюдънт е $t_{calculated}$, критичната стойност при степени на свобода $df=44$ е $t_{critical}$. Тъй като изчислената стойност на критерия е по-малка от критичната, то рационалният модел е адекватен и може да бъде използван за проследяване на изменението на технологични параметри при охлаждане на хляб.

Таблица 8.

Резултати за оценка чувствителността на получените модели

Показател Parameter	Модел Model	e max	df	$t_{calculated}$	$t_{critical}$
m	$f(x) = (p1*x^2 + p2*x + p3) / (x^2 + q1*x + q2)$	25%	4/4	0,002	1,68
Tcrumb	$f(x) = (p1*x^2 + p2*x + p3) / (x^2 + q1*x + q2)$	4%	4/4	0,014	1,68
Tcrust	$f(x) = (p1*x^2 + p2*x + p3) / (x + q1)$	14%	4/4	0,01	1,68
Rcrust	$f(x) = (p1*x^2 + p2*x + p3) / (x^2 + q1*x + q2)$	20%	4/4	0	1,68

The sensitivity of the models obtained is evaluated. The results of this assessment are presented in Table 8. In order to assess the extent to which the rational model describes with sufficient accuracy the process of changing the technological parameters, the results for these processes and the Student criterion method are used, which at the available data have degrees of freedom $df=n-1$, where n is the number of the experimental data. Data was used that was not applied when searching for a suitable model to describe experimental data.

The calculated value of the Student criterion is $t_{calculated}$, the critical value at degrees of freedom $df = 44$ is $t_{critical}$. Because the calculated value of the criterion is less than critical, then the rational model is adequate and can be used to track the change in bread process technology parameters.

Table 8.

Results for the sensitivity of the models obtained

При определяне на топлинните загуби на хляба, той е апроксимиран до паралелепипед със страни 0,22x0,12x0,10 m. Коефициентът на конвекция $h=10 \text{ W/m}^2\text{K}$. Площта на хляба $A_{\text{loaf}}=0,122 \text{ m}^2$. Константите са $\sigma=0,121$ $\epsilon_{\text{loaf}}=0,76$. Началната температура в средината на хляба е $T_{\text{loaf}}=393\text{K}$ (120°C). Околната температура е $\theta_{\text{amb}}=20^\circ\text{C}$. Желаната температура в средината на хляба е $\theta_w=30^\circ\text{C}$. Критерият за избор на разлика $c=0,1$ и и изчисленията са за случая $c<0,7$. В таблица 9 са нанесени резултатите от направените изчисления.

Определени са загубите на маса. Тя намалява с 20,55 g или с 3% спрямо началната.

Таблица 9.

Резултати от определяне на топлинни загуби при охлаждане на хляб

<u>Загуби от конвекция</u> Convective heat loss	<u>Загуби от излъчване</u> Heat loss by radiation	<u>Общи загуби</u> Total heat loss	<u>Температурна разлика</u> Temperature difference
$q_{\text{conv}}, \text{ W}$	$q_{\text{rad}}, \text{ W}$	$q_{\text{total}}, \text{ W}$	$\Delta\theta, ^\circ\text{C}$
-121,79	-127,18	-248,97	39,09

Получените резултати за изменение на температурата в средината на хляба съответстват на тези, докладвани в [14]. Времето за достигане на околна температура е 170 min. В сравнение със същия автор времето за достигане на 30°C в средината на хляба е по-малко - получено 90 min, а докладвано от автора 140 min.

Изменението на съпротивлението в средината и на кората на хляба съответстват на посоченото изменение на съдържанието на влага от [17]. Необходими са следващи изследвания за определяне на връзка между тези два показателя с цел създаване на експресен метод за измерване съдържанието на влага при охлаждане на хляб.

Изменението на масата на хляба е 3%. Този резултат е близък до докладваните от [14] и [17], където се

When determining the heat losses of bread, it is approximated to parallelepiped with sides of 0,22x0,12x0,10 m. Convection coefficient $h = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$. Bread area $A_{\text{loaf}} = 0,122 \text{ m}^2$. The constants are $\sigma=0,121$ $\epsilon_{\text{loaf}}=0,76$. The initial temperature in the bread crumb is $T_{\text{loaf}}=393\text{K}$ (120°C). The ambient temperature $\theta_{\text{amb}}=20^\circ\text{C}$. The wanted temperature in bread crumb is $\theta_w=30^\circ\text{C}$. The criterion for selecting a difference of $c=0,1$ and the calculations are for the case of $c<0,7$.

Table 9 lists the results of the calculations made. Mass losses are determined. It decreases by 20,55 g or by 3% relative to the initial one.

Table 9.

Results of determining heat losses when cooling bread

<u>Общи загуби</u> Total heat loss	<u>Температурна разлика</u> Temperature difference
$q_{\text{total}}, \text{ W}$	$\Delta\theta, ^\circ\text{C}$
-248,97	39,09

The results of the change in temperature in the bread crumb correspond to those reported in [14]. The time to reach ambient temperature is 170 minutes. Compared to the same author, the time to reach 30°C in the bread medium is less – 90 min received, and reported by the author 140 min.

The change of electrical resistance in the bread crumb and crust corresponds to the mentioned variation in the moisture content of [17].

Further research is needed to establish a link between these two parameters in order to create an express method for measuring the moisture content of bread cooling.

The change in bread mass is 3%. This result is close to that reported by [14] and [17], where it states that this

посочва, че това изменение при естествено охлаждане е в рамките на 2-4% от началната.

5. Заключение

Предложената експериментална постановка за проследяване на процеса на охлаждане на хляб може да бъде използвана за снемане на кинетични криви за този процес.

Изследвани и анализирани са модели, описващи с достатъчна точност изменението на технологични параметри при охлаждане на хляб, приготвен по технология съгласно утвърден в България стандарт.

Направеният анализ на коефициент на определеност и грешките SSE и RMSE показват, че опитните данни се описват с достатъчна точност с рационален модел. За тези модел е получена обобщена крива на изменение на технологични параметри на хляб при естествено охлаждане.

Получените резултати допълват с данни за хляб, приготвен по Българска технология известните от достъпни литературни източници за обективна оценка на процеса охлаждане на хляб.

Ефективността на получените модели е доказана чрез проверка за тяхната адекватност при изменение на коефициентите им в диапазона $\pm 10\%$. Това определя възможността те да се използват за анализиране на процеса на охлаждане на хляб.

Определените технологични показатели съответстват с тези, докладвани в достъпната литература. При естественото охлаждане на хляб, произведен по Български утвърден стандарт се наблюдават ниски стойности на температурните загуби и не-голяма загуба на маса – до 3%.

Разработването на ясна процедура и

change in natural cooling is within 2-4% of the initial.

5. Conclusion

The proposed experimental setup for tracking the bread cooling process can be used to capture kinetic curves for this process.

Models studied, which describe with sufficient precision the change of technological parameters in bread cooling prepared according to technology according to a standard approved in Bulgaria, have been investigated and analyzed.

The analysis of coefficient of determination, SSE and RMSE determines that the experimental data is described with sufficient accuracy with a rational model. For these models, a summary curve of variation in bread process parameters was obtained under natural cooling.

The results obtained are supplemented with data on bread, prepared by Bulgarian technology, known from accessible literature sources for objective assessment of the bread cooling process.

The efficiency of the obtained models is proven by checking their adequacy by changing their coefficients in the range $\pm 10\%$. This determines the possibility that they can be used to analyze the process of cooling the bread.

The specified technological indicators correspond to those reported in the available literature. In the natural cooling of bread produced according to a Bulgarian approved standard, low values of temperature losses and a mass loss of 3% are observed.

The development of a clear

техническо средство за измерване ще направи възможно приложението в производствената практика на предложения не-сложен, метод за характеризирание изменението на основни технологични параметри при охлаждане на хляб.

Приложение 1. Програма в Arduino IDE на система за проследяване охлаждането на хляб

procedure and a technical measuring instrument will make it possible to apply in the production practice the proposed non-complex method for characterizing the change of basic technological parameters in the cooling of bread.

Appendix 1. Program in the Arduino IDE of a Bread cooling measurement system

<pre>#include "HX711.h" #define DOUT 8 #define CLK 7 HX711 scale(DOUT, CLK); #include <Adafruit_MAX31856.h> // Use software SPI: CS, DI, DO, CLK //CS-D6 DI-D9 DO-D10 CLK-D13 Adafruit_MAX31856 max = Adafruit_MAX31856(6,9,10,13); #include <LiquidCrystal.h> const int rs = 12, en = 11, d4 = 5, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2; LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7); int tar; void setup() { lcd.begin(16, 2); lcd.clear(); scale.set_scale(); scale.tare(); //Reset the scale to 0 long zero_factor = scale.read_average(); //Get a baseline reading //Serial.print("Zero factor: "); //This can be used to remove the need to tare the scale. Useful in permanent scale projects. //Serial.println(zero_factor); pinMode(tar, INPUT); max.begin(); max.setThermocoupleType(MAX31856_TCTYPE_ K); Serial.begin(9600);} void loop() { //scale scale.set_scale(146135); //Adjust to this calibration factor float m=scale.get_units()*0.453592*1000; int numsamples1=10; float samples1[numsamples1]; float average1 = 0.00; for (int i=0; i< numsamples1; i++) { samples1[i] = m;delay (10);samples1[i] = m;} for (int i=0; i< numsamples1; i++) { average1 += samples1[i];} float m1 = average1/numsamples1; //Thermocouple Type K float tcj= max.readCJTemperature(); float ttk= max.readThermocoupleTemperature();</pre>	<pre>//resistance 1 float rs1=45000.0;//pulldown resistor float r1=analogRead(A0); int numsamples2=10; float samples2[numsamples2]; float average = 0.00; for (int i=0; i< numsamples2; i++) { samples2[i] = r1;delay (10); samples2[i] = r1;} for (int i=0; i< numsamples2; i++) { average += samples2[i];} r1 = average/numsamples2; float rt1=rs1*((1023/r1)-1); //float rt1=r1*(5.0/1023.0); //scale tare tar=analogRead(A7); int ta=tar; if(Serial.available()) {char temp = Serial.read(); if(temp == 't' ta == 1023) scale.tare(); m1=0.0;} if(ta == 1023) scale.tare(),m1=0.0; Serial.print(m1, 1); Serial.print("\t"); Serial.print(ttk, 1); Serial.print("\t"); Serial.print(rt1/1000,3); Serial.print("\t"); Serial.print(ta); Serial.print("\t"); Serial.println(); // Turn on the display: lcd.display(); // Print a message to the LCD. lcd.setCursor(0,0); // Sets the cursor to col 0 and row 0 lcd.print("T="); // Prints Sensor Val: to LCD lcd.print(ttk,1); // Prints value on Potpin1 to LCD lcd.print(" "); lcd.print("m="); lcd.print(m1, 1); lcd.setCursor(0,1); // Sets the cursor to col 1 and row 0 lcd.print("R="); // Prints Sensor Val: to LCD lcd.print(rt1/1000,3); // Prints value on Potpin1 to LCD lcd.setCursor(9,1); if(ta == 1023) lcd.clear(),m1=0.0;//scale tare delay(600);}</pre>
---	--

6. Литература**6. References**

- [1] Approved standard "Bulgaria", "White bread", No 02/2011. (in Bulgarian)
- [2] Baycheva, S. (2016). Application of devices of measurement of color in analysis of food products. *Innovation and entrepreneurship – Applied scientific journal*, Vol.4, No.4, ISSN 1314-9253, pp.43-59
- [3] BNS 3264: 1991 / Amendment 1: 1992, White bread type "Stara Zagora" (discontinued).
- [4] BNS 3264: 1991 / Amendment 2:1997, White bread type "Stara Zagora" (discontinued).
- [5] BNS 3264: 1991, White bread type "Stara Zagora" (discontinued).
- [6] Danin, V., A. Pastukhov. (2009). Mechanism of natural drying of bakery products. Struggle against mass loss of product, *Scientific journal of NIU ITMO. A series of "Processes and Apparatuses of Food Production"*, pp.1-8. (in Russian)
- [7] Georgieva, A., I. Dimov. (2013). Qualitative indicators of wheat bread enriched with buckwheat flour, *Food processing industry magazine*, vol. 3, ISSN 1311-0179, pp.44-49.
- [8] Zhelyazkova, M., I. Taneva. (2016). Statistical modeling of the process syneresis of the production of yogurt with water extract of *Rosa canina*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, vol. 5, iss. 2, part C, ISSN 2278-4136, pp.204-206.
- [9] Nakov, G., N. Ivanova, S. Damyanova, V. Stamatovska, L. Necinova. (2017). Public opinion surveys of consumers for manner of labeling the food product in the Republic of Macedonia. *Ukrainian Food Journal*, vol. 6, No.1, ISSN 2313-5891, pp.154-164.
- [10] Ivanova, D., N. Valov, V. Stoyanov, I. Valova. (2011). Modeling the kinetic curves of apricot drying, *Proceedings of the University of Rousse*, vol. 52, ser.3.1, pp.170-174. (in Bulgarian)
- [11] Lyubenova, T., E. Stoykova, E. Nacheva, B. Ivanov, I. Panchev, V. Sainov. (2013). Monitoring of bread cooling by statistical analysis of laser speckle patterns, *Proceedings Volume 8770, 17th International School on Quantum Electronics: Laser Physics and Applications*, 87700S.
- [12] Mladenov, M., S. Penchev, M. Deyanov. (2015). Complex assessment of food products quality using analysis of visual images, spectrophotometric and hyperspectral characteristics. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, ISSN: 2277-3754, Vol. 4, Iss.12, pp.23-32.
- [13] Monteau, J-Y. (2008). Estimation of thermal conductivity of sandwich bread using an inverse method, *Journal of Food Engineering*, vol. 85, pp.132-140.
- [14] Pastukhov, A. (2015). Automatic control and maintaining of cooling process of bakery products, *Agronomy Research*, vol. 13, No. 4, pp.1031-1039.
- [15] Pastukhov, A., G. Tucker, K. Niranjana. (2011). Model development for fresh baked bread natural and forced cooling, 11th International congress on engineering and food may 22-26, 2011 Athens – Greece.
- [16] Pastukhov, A., V. Danin. (2011). Model development for fresh baked bread natural and forced cooling, *FOODBALT 2011*, pp.209-214.

-
- [17] Primo-Martín, C., H. de Beukelaer, R. Hamer, T. van Vliet. (2008). Fracture behaviour of bread crust: Effect of bread cooling conditions, Journal of Food Engineering, vol. 89, pp.285-290.
- [18] Stoykova, E., B. Ivanov, M. Shopova, T. Lyubenova, I. Panchev, V. Sainov. (2011). Dynamic laser speckle for non-destructive quality evaluation of bread, Proceedings of SPIE, Vol. 7747, pp.77470L-1-77470L-8.
- [19] Tasev, G., K. Krastev. (2011). Exploration of mathematical model for optimization of frequency of diagnosis of the elements of machines. Proceedings of The 11th International Conference, Reliability and statistics in transportation and communication, Latvia, ISBN 978-9984-818-34-4, pp.115-119.
- [20] Vasilev, M., I. Taneva, M. Velikova, R. Mihova. (2016). Interpreting sensory data of cheese "Krema" by Principal component analysis. ARTTE Vol. 4, No. 2, ISSN 1314-8796, pp.139-144.

Контакти

гл. ас. д-р инж. Златин Златев
Тракийски университет
факултет „Техника и технологии“ – Ямбол
е-mail: zlatin.zlatev@trakia-uni.bg

Contacts:

Assist. prof. Zlatin Zlatev, PhD, Eng.
Trakia University
Faculty of Technics and technologies
38 Graf Ignatiev str., 8602
Yambol, Bulgaria
е-mail: zlatin.zlatev@trakia-uni.bg