

# APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

## Rola robotyzacji w podwyższaniu jakości pieczywa w branży piekarniczej

*RADOSŁAW DROZD*  
POLITECHNIKA GDAŃSKA

**Słowa kluczowe:** jakość pieczywa, robotyzacja, niezawodność

### **STRESZCZENIE:**

Celem artykułu jest przedstawienie roli robotyzacji w podwyższaniu jakości pieczywa. Ma ona ścisły związek z niezawodnością pracy maszyn i warunkami higieniczno-sanitarnymi, maszyny do produkcji pieczywa powinny być bowiem utrzymywane w pełnej sprawności technicznej i niezawodnościowej, co także wpływa zasadniczo na jakość wypieków.

Autor, uczestnicząc w Programie Operacyjnym Inteligentny Rozwój 2014-2020 w jednej z piekarni wyodrębnił czynniki, które mają wpływ na jakość pieczywa w branży piekarniczej w kontekście robotyzacji linii produkcyjnej i dokonał ich podziału na trzy grupy funkcjonujące w procesie wytwórczym, tj. czynniki surowcowe, czynniki związane z procesem technologicznym oraz czynniki organizacyjno-techniczne.

## The role of robotisation in improving bakery product quality

**Keywords:** quality of bread, robotisation, reliability

### **ABSTRACT:**

The article aims to present the role of robotisation in increasing the bakery product quality, as it is closely linked to machine reliability, as well as hygienic and sanitary conditions. All machines employed in the production process ought to be maintained at full production potential and reliability, which also has a fundamental influence on the final product's quality.

While participating in the 2014-2020 Smart Growth Operational Programme in a bakery, the author isolated factors influencing bakery product quality within the context of production line robotisation. He grouped the factors into three categories present within the production process, i.e., related to raw materials, technological processes, and organisational-technical aspects.

## 1. WPROWADZENIE

Branża piekarnicza stanowi integralną część sił wewnętrznych regionu warunkujących jego rozwój, mając charakter głównie lokalny i regionalny. Lokalny rynek jest przecież dla przedsiębiorstw piekarniczych podstawowym źródłem zaopatrzenia w surowce, a także podstawowym rynkiem zbytu. Zasadniczym składnikiem diety każdego Polaka jest pieczywo, które przy racjonalnym podejściu może pełnić nieocenioną rolę regulatora pracy ludzkiego przewodu pokarmowego i stanowić znaczące źródło dziennego zapotrzebowania energetycznego organizmu (ok. 25-30%)[1]. Pieczywo (chleb i bułki) było, jest i prawdopodobnie jeszcze długo pozostanie w Polsce, produktem o pierwszoplanowym znaczeniu żywieniowym.

Zmiana standardu życia, wywołana wzrostem rozwoju gospodarczego, ma oczywiście wymiar pozytywny, postrzegana jest jednak czasami jako czynnik sprzyjający występowaniu wielu chorób. Przyczyn otyłości, nadciśnienia, chorób serca czy też cukrzycy doszukuje się w nieodpowiednich nawykach żywieniowych. Świadomość nieracjonalnego odżywiania wpływa na oczekiwania społeczne w stosunku do producentów żywności.

Branża piekarnicza jest definiowana jako zbiór przedsiębiorstw piekarniczych oferujących pieczywo [2]. Stanowi ona integralną część sił wewnętrznych regionu, warunkujących jego rozwój, zachowując swój głównie lokalny i regionalny charakter. Lokalny rynek jest dla przedsiębiorstw piekarniczych podstawowym źródłem zaopatrzenia w surowce, a także podstawowym rynkiem zbytu.

Wzrost wymagań społecznych dotyczących jakości pieczywa stworzył konieczność nowych rozwiązań systemowych, w których jakość staje się celem strategicznym.

O jakości pieczywa decyduje określony zespół cech:

1. Wartość odżywcza – określona ogólnym składem chemicznym.
2. Smakowitość – uwarunkowana głównie składem i jakością użytych surowców.
3. Zdrowotność – definiowana jako brak zagrożeń dla zdrowia konsumenta.
4. Atrakcyjność – określana kształtem, barwą i opakowaniem.
5. Trwałość – zapewniająca przechowywanie bez zmian jakości.
6. Świeżość – utożsamiana z elastycznością, zapachem i smakiem [3, 4].

## 2. CZYNNIKI, KTÓRE MAJĄ WPŁYW NA JAKOŚĆ PIECZYWA

Autor, uczestnicząc w Programie Operacyjnym Inteligentny Rozwój 2014-2020, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Tytuł projektu „Prace B+R nad opracowaniem innowacyjnej zrobotyzowanej linii do produkcji piekarniczej i cukierniczej” jako kierownik B+R, wyodrębnił w swych badaniach czynniki, które mają wpływ na jakość pieczywa w branży piekarniczej [5]. Czynniki te zostały podzielone na trzy grupy funkcjonujące w procesie wytwórczym, a następnie na podgrupy, co przedstawia poniższe zestawienie:

I. Grupa czynników surowcowych, a w niej:

1. Jakość użytych surowców do produkcji.
2. Prawdopodobnie ustalone normy wydajności pieczywa.
3. Receptury /skład surowcowy/.

II. Czynniki związane z procesem technologicznym, tj.:

1. Dobór i stabilność optymalnych parametrów procesu.
2. Kontrolowana wydajność procesu, w tym:
  - kontrola poszczególnych faz procesu wytwórczego,
  - kontrola międzyoperacyjna jakości półproduktów.

III. Czynniki organizacyjno-techniczne, uwzględniające:

1. Warunki higieniczno-sanitarne.
2. Funkcjonalność i niezawodność maszyn produkcyjnych.
3. Postęp techniczny /robotyzacja/.

Z zestawienia wynika, że postęp techniczny, do którego należy zaliczyć również coraz większą robotyzację, jest jednym z czynników wpływających na jakość pieczywa. Nie wpływa on wprawdzie bezpośrednio na jego jakość, w przeciwieństwie do użytych surowców do produkcji czy receptury, jednak bez wszystkich wyodrębnionych przez autora czynników ostateczna jakość pieczywa nie spełniałaby wymogów stawianych przez konsumentów. Tylko zastosowanie odpowiednich działań pro jakościowych w całym łańcuchu produkcyjnym daje gwarancję osiągnięcia zamierzonego celu[6].

W literaturze przedmiotu brak opracowań dotyczących roli robotyzacji w podwyższaniu jakości wypieku. Można napotkać tylko nieliczne artykuły określające wpływ czynników z grupy surowco-

wej na jakość pieczywa. Stąd właśnie zainteresowanie autora przedstawionym tematem.

### 3. WPŁYW ROBOTYZACJI NA PODWYŻSZANIE JAKOŚCI PIECZYWA

Robotyzacja to wprowadzenie do procesu produkcyjnego manipulatorów robotów i urządzeń towarzyszących (np. podajniki, palety) w celu wykonywania operacji procesu z ograniczonym udziałem lub bez udziału człowieka [9, 10]. Właśnie w branży piekarniczej istnieje problem niedoboru pracowników w stosunku do potrzeb, dlatego też we współczesnych piekarniach robotyzacja jest jedną z najbardziej skutecznych metod zwiększania efektywności procesu produkcyjnego. Robotyzacja to powtarzalność, dokładność oraz zdecydowanie zwiększona wydajność procesów, które w zasadniczy sposób wpływają na jakość dostarczanego do handlu pieczywa.

Roboty są coraz prostsze w użyciu, stają się też relatywnie tańsze mimo bogatszego wyposażenia. Producenci artykułów spożywczych coraz częściej dostrzegają, że roboty nie męczą się, są uważne i dokładne oraz nie nudzą się i nie denerwują wykonując monotonne czynności przy taśmie produkcyjnej. W przemyśle spożywczym roboty najczęściej wykorzystywane są do przenoszenia artykułów spożywczych (bezpośrednio lub w opakowaniu) oraz do paletyzacji [11]. W Europie dostrzega się również inne zalety robotyzacji, takie jak uelastycznienie procesu wytwarzania, podwyższanie standardu i jakości artykułów spożywczych oraz poprawę bezpieczeństwa pracy [12].

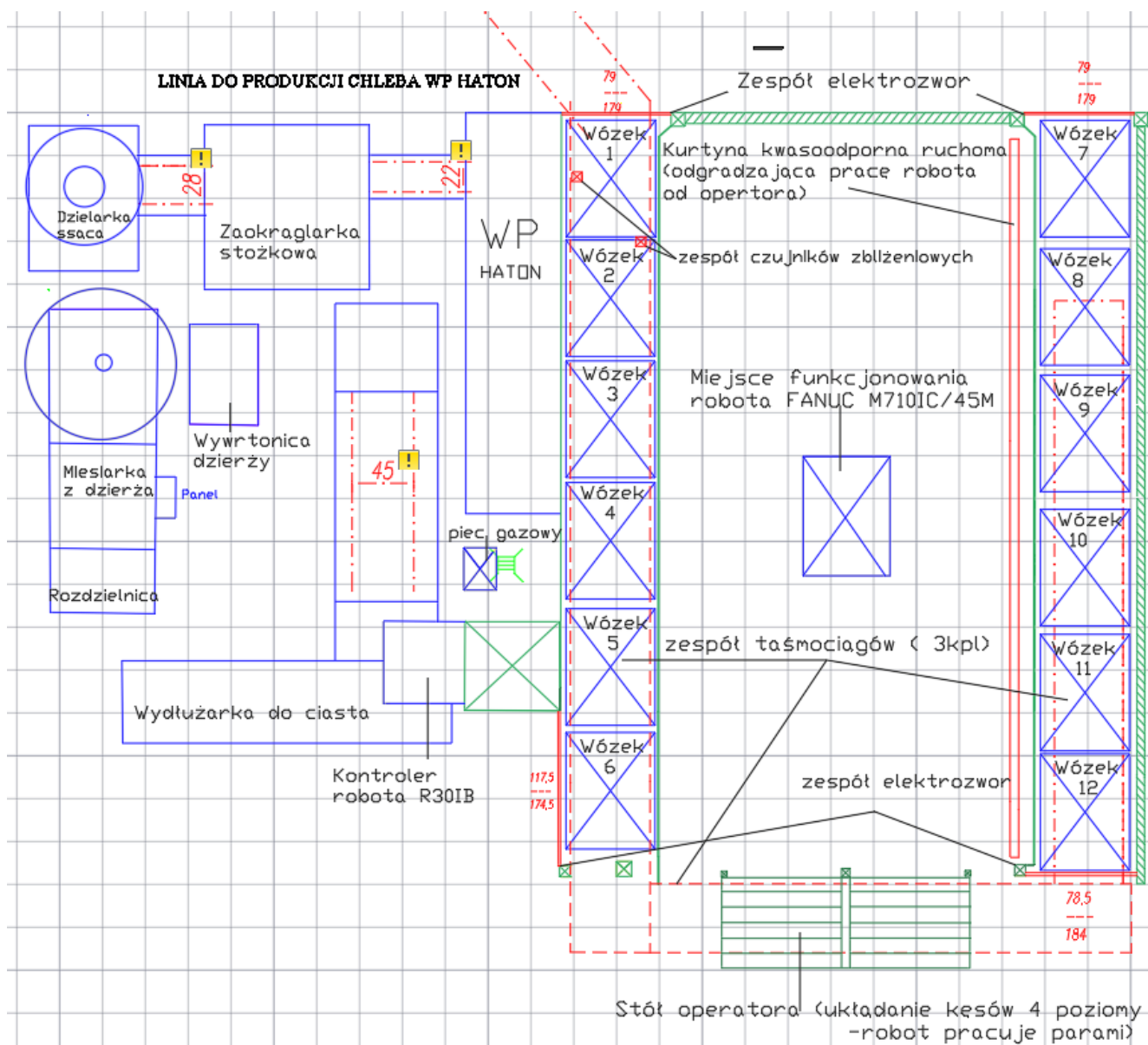
Dzięki rozwojowi robotyzacji pracownik piekarni może być zastępowany w pracach monotonnych, wymagających dużego wysiłku fizycznego oraz takich, które są wykonywane w trudnych warunkach środowiskowych, co zmniejsza zasadniczo pole jego błędów. Instalacja robotów w piekarniach wpływa też na poprawienie standardów higienicznych, przez co zmniejsza się ryzyko zatrucia wśród klientów z powodu spożycia produktów niewłaściwej jakości. Ponadto roboty powodują ograniczenie zapylenia pomieszczeń w piekar-

niach. To ważne, ponieważ pył mączny w połączeniu z wysoką wilgotnością i temperaturą powietrza stwarza warunki do rozwoju drobnoustrojów (zarodniki pleśni) i szkodników, takich jak prusaki, wołki, rozkruszki czy mole.

Warunki higieniczno-sanitarne w piekarniach są bardzo istotne, gdyż wiążą się z zapewnieniem bezpieczeństwa zdrowotnego. W szczególności dotyczą one maszyn, urządzeń, pracowników i pomieszczeń. Bezpieczeństwo zdrowotne jest obecnie wymogiem ujętym w ramy prawne [13]. Aby wytworzyć pieczywo dobrej jakości należy je wyprodukować w warunkach spełniających określone normy higieniczne, do czego przyczynia się również robotyzacja.

Autor, uczestnicząc w Programie Operacyjnym Inteligentny Rozwój 2014 -2020 w badanej piekarni X, zaprojektował m.in. rozmieszczenie zrobotyzowanego systemu produkcyjnego opartego na wielozadaniowym robocie przemysłowym ROB1 z kontrolerem KON1 dla innowacyjnych procesów znacząco poprawiających jakość pieczywa (patrz rysunek nr 1). Przedstawiony schemat rozmieszczenia zrobotyzowanego systemu produkcyjnego opartego na robocie ROB1 z kontrolerem KON1 w piekarni X miał być odpowiedzialny za realizację następujących zadań:

- a) podawanie tac na potrzeby układania kęsów ciasta,
- b) podawanie tac z wypieczonymi produktami do ich rozładunku na transporter, funkcje dekorowania pieczywa i nadawania szczególnych funkcji (obsypywanie ziarnami, nacinanie kęsów ciast, nakładanie sosów), a także przyczynić się do znaczącej poprawy jakości pieczywa w zakresie:
  - a) atrakcyjności – poprzez nacinanie regularnych kęsów ciast, co ma wpływ na kształt pieczywa,
  - b) smakowitości – poprzez obsypywanie ciast różnymi dodatkami (głównie ziarnami), które poprawiają walory smakowe,
  - c) zdrowotności – poprzez spełnianie określonych norm higienicznych,
  - d) świeżości – poprzez podwyższenie sprawności technicznej linii produkcyjnych.



**Rysunek 1** Schemat rozmieszczenia zrobotyzowanego systemu produkcyjnego opartego na robocie ROB1 z kontrolerem KON1 w piekarni X  
(Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań wykonanych w piekarni)

#### 4. NIEZAWODNOŚĆ PRACY MASZYN PRODUKCYJNYCH, A ASPEKT JAKOŚCI PIECZYWA

Jakość pieczywa jest wartością złożoną, trudną do prostego zdefiniowania. Obejmuje zespół cech, spośród których klient najbardziej ceni świeżość. Celem zapewnienia konsumentom świeżego pieczywa dostawy tego produktu do handlu odbywają się codziennie. W związku z tym maszyny do produkcji pieczywa powinny być utrzymywane w pełnej sprawności technicznej i niezawodnościowej.

W dalszej części artykułu zostały przedstawione przykładowe wyniki badań niezawodności pracy robota przemysłowego ROB1 z kontrolerem KON1 do procesów wspomagających procesy produkcyjne – mające zasadniczy wpływ na poprawę jakości pieczywa (Tab. 1).

**Tabela 1** Zestawienie informacji dotyczących funkcjonowania robota ROB1 wraz z kontrolerem KON1.  
(Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań wykonanych z piekarni X)

<b>Charakterystyka robota ROB1 wraz z kontrolerem KON1</b>	<b>Parametry dotyczące funkcjonowania robota z kontrolerem</b>
Czas pracy dzienny	7h
Czas pracy roczny w 2020 r.	7h*312dni = 2184h
<i>Lista zdiagnozowanych uszkodzeń zespołu</i>	<i>Ogólny czas niesprawności maszyny(lata)</i>
1. Podczas wprowadzenia przez operatora wózków do gniazda są one błędnie wypoziomowane, co powoduje błędną synchronizację ich pozycji dla robota.	2018 (12x1 dzień - 12x0,5godziny),
	2019 (8x1 dzień - 8x0,5godziny),
	2020 (6x1 dzień - 6x0,5godziny),
2. Podczas wprowadzenia przez operatora wózków do gniazda tace są błędnie wypoziomowane, co powoduje błędną synchronizację ich pozycji dla robota.	2018 (4x1 dzień - 4x0,5godziny),
	2019 (4x1 dzień - 4x0,5godziny),
	2020 (3x1 dzień - 3x0,5godziny),
3. Nieautoryzowane wejście operatora w strefę pracy robota.	2018 (3x1 dzień - 3x0,5godziny),
	2019 (1x1 dzień - 1x0,5godziny),
	2020 (1x1 dzień - 1x0,5godziny),
4. Brak zasilania energii powoduje zatrzymanie pracy robota a po włączeniu zasilania robot wraca do pozycji 0 ( strata czasowa)	2018 (2x1 dzień - 2x0,5godziny),
	2019 (2x1 dzień - 2x0,5godziny),
	2020 (2x1 dzień - 2x0,5godziny),
5. Brak zasilania energii powoduje u robota zagubienie synchronizacji pozycji na enkoderze.	2018 (6x1 dzień - 6x0,5godziny),
6. Robot wychodzi poza swoją wyznaczoną strefę pracy ( zagrożenie życia operatora).	2018 (6x1 dzień - 6x0,5godziny),
7. Możliwość zatarcia serwonapędu w robocie spowodowane ponadnormatywnym udźwigniem	2018 (2x1 dzień - 2x4godziny),
	2019 (2x1 dzień - 2x1godzina),
	2020 (2x1 dzień - 2x1godzina),
8. Przeciążenie układu spowodowane podwyższoną temperaturą pracy robota	2018 (2x1 dzień - 2x1godzina).
Rok zakupu maszyny	2017
Symbol w procesie	RK <sub>T</sub>
Czas bezawaryjnej pracy	3 lat = 6508h
Zakładany czas bezawaryjnej pracy	3 lat = 20000 godzin

Poniżej zostały przedstawione obliczenia przewidywanego czasu bezawaryjnej pracy dla robota ROB1 wraz z kontrolerem KON1, wykonane dla rozkładu wykładniczego wg wzoru:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

gdzie:

t – obecny czas bezawaryjnej pracy zespołu,  
E(t) – przewidywany czas bezawaryjnej pracy zespołu,  
R(t) – funkcja niezawodności, jako prawdopodobieństwo działania zespołu zgodnie z jego przeznaczeniem w wyznaczonym okresie

$$E(t) = \frac{1}{\lambda} [\text{godz.}], \text{ gdzie } \lambda = \frac{1}{20000} = 0,00005$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0,00005 * 6508} \approx 0,7222$$

Dla rozkładu wykładniczego funkcji niezawodności R(t) przewidywany czas bezawaryjnej pracy robota ROB1 wraz z kontrolerem KON1 wynosi 72,22%.

Rozkład Weibulla został skonstruowany dla wskaźników p=1, p=2, p=3 wykorzystując wzór

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^p}$$

dla określenia przewidywanego czasu bezawaryjnej pracy robota ROB1 wraz z kontrolerem KON1.

$$p=1 \quad R(t) = e^{-\left(\frac{6508}{20000}\right)^1} \approx 0,7222$$

$$p=2 \quad R(t) = e^{-\left(\frac{6508}{20000}\right)^2} \approx 0,8995$$

$$p=3 \quad R(t) = e^{-\left(\frac{6508}{20000}\right)^3} \approx 0,9661$$

Dla rozkładu Weibulla funkcji niezawodności R(t) przewidywany czas bezawaryjnej pracy robota ROB1 wraz z kontrolerem KON1 wynosi dla wskaźnika: p=1 – 72,22%, p=2 – 89,95%, p=3 – 96,61%.

Rozkład Gamma został skonstruowany dla wskaźników p=1, p=2, p=3 wykorzystując wzór

$$E(T) = \frac{p}{b}$$

dla określenia przewidywanego czasu bezawaryjnej pracy robota ROB1 wraz z kontrolerem KON1. Funkcja niezawodności została obliczona ze wzoru  $R(t) = 1 - F(t)$ .

$$p=1 \quad 20000 = \frac{1}{b} \quad b = 0,00005$$

$$R(t) = 1 - e^{(-0,00005 * 6508)} * \left[ \frac{(0,00005 * 6508)^1}{1} \right] \approx 0,7650$$

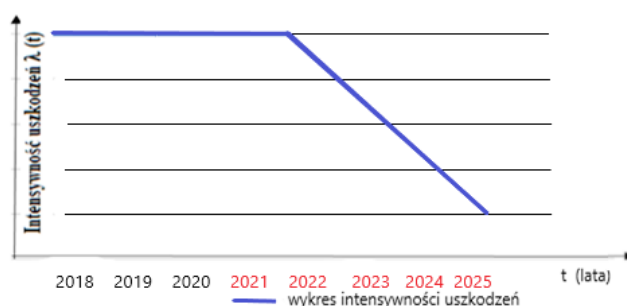
$$p=2 \quad 20000 = \frac{2}{b} \quad b = 0,0001$$

$$R(t) = 1 - e^{(-0,0001 * 6508)} * \left[ \frac{(0,0001 * 6508)^1}{1} + \frac{(0,0001 * 6508)^2}{2} \right] \approx 0,5216$$

$$p=3 \quad 20000 = \frac{3}{b} \quad b = 0,00015$$

$$R(t) = 1 - e^{(-0,00015 * 6508)} * \left[ \frac{(0,00015 * 6508)^1}{1} + \frac{(0,00015 * 6508)^2}{2} + \frac{(0,00015 * 6508)^3}{6} \right] \approx 0,3944$$

Dla rozkładu Gamma funkcji niezawodności R(t) przewidywany czas bezawaryjnej pracy robota ROB1 wraz z kontrolerem KON1 wynosi dla wskaźnika: p=1 – 76,50%, p=2 – 52,16%, p=3 – 39,44%. Na Rysunku 2 został przedstawiony wykres intensywności uszkodzeń dla badanego wielozadaniowego robota przemysłowego o szerokim zakresie działania ruchu ROB1 z kontrolerem KON1 do procesów wspomagających produkcję dla okresu 2018-2020 r. wraz z przewidywaną symulacją ich pracy na okres 2021-2025.



**Rysunek 2** Wykres intensywności uszkodzeń dla robota przemysłowego ROB1 z kontrolerem KON1 w latach 2018-2025 (Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań wykonanych z piekarni X)

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Jakość pieczywa jest wartością złożoną, trudną do prostego zdefiniowania. Obejmuje zespół 6 cech, spośród których klient najbardziej ceni sobie świeżość. Celem zapewnienia klientom pieczywa dobrej jakości maszyny do produkcji pieczywa powinny być zawsze w pełni sprawne technicznie i niezawodne.

Robotyzacja ma ścisły związek z warunkami higieniczno-sanitarnymi, ale warunki te dotyczą nie tylko maszyn i urządzeń, lecz także pracowników i pomieszczeń. Roboty w piekarniach ograniczają dodatkowo zapylenie pomieszczeń, bowiem pył mączny w połączeniu z wysoką wilgotnością i temperaturą powietrza stwarza warunki do rozwoju drobnoustrojów i szkodników.

Dzięki rozwojowi robotyzacji pracownik piekarni może być zastępowany w pracach monotonna, wymagających dużego wysiłku fizycznego oraz takich, które są wykonywane w trudnych warunkach środowiskowych, co zmniejsza zasadniczo pole jego błędów. Przykładowo, wprowadzenie robotów do linii produkcyjnych w piekarni X wpłynęło na poprawę jakości pieczywa w zakresie:

- atrakcyjności – poprzez nacinanie regularnych kęsów ciast, co ma wpływ na kształt pieczywa,
- smakowitości – poprzez obsypywanie ciast różnymi dodatkami (głównie ziarnami), które poprawiają walory smakowe,

- zdrowotności – poprzez spełnianie określonych norm higienicznych,

- świeżości – poprzez podwyższenie sprawności technicznej linii produkcyjnej.

Trzeba również podkreślić, że roboty nie męczą się, nie nudzą i nie denerwują, są uważne i dokładne przy monotonna pracach na linii produkcyjnej. Ponadto nie wnoszą zagrożenia chorobowego, co ma istotne znaczenie w przemyśle spożywczym. Robotyzacja w piekarniach to niezawodność, precyzja działania oraz zdecydowanie zwiększona wydajność procesów, które w zasadniczy sposób wpływają na ilość i jakość pieczywa dostarczanego do handlu.

Niniejszy artykuł jest adresowany do jednostek z branży piekarniczej, które mają zamiar wprowadzić robotyzację. Można w nim znaleźć wskazania, jak robotyzacja może wpłynąć na zwiększenie wydajności i efektywności funkcjonowania maszyn, ponadto daje też możliwość zapoznania się z ustaleniami autora odnośnie wpływu robotyzacji na podwyższanie jakości pieczywa.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Gambuś H., Litwinek D., *Pieczywo – dlaczego warto jeść i jakie wybierać*, Kraków: Wydział Technologii Żywności Uniwersytetu Rolniczego, 2011.
- [2] Gorynia M., Jankowska E., Maślak E., *Branża jako przedmiot badań w ekonomii*, [w:] *Gospodarka Narodowa*, nr 3/2003.
- [3] Zakład Badawczy Przemysłu Piekarskiego, *Piekarstwo – receptury, normy, porady i przepisy prawne*, Warszawa: Handlowo – Usługowa Spółdzielnia „Samopomoc Chłopska”, 2002.
- [4] Balon U., Dziadkowiec J. M., Sikora T., *Cechy jakości żywności a decyzje zakupowe polskich konsumentów soków owocowych*, Kraków: Uniwersytet Ekonomiczny, Katedra Zarządzania Jakością, 2016.
- [5] Drozd R., *Model funkcjonalny wpływu czynników na jakość produktu w branży piekarniczej*, [w:] *Aparatura Badawcza i Dydaktyczna*, nr 3/2020.
- [6] Grudowski P., *Podstawy ustalania zakresu systemu zarządzania jakością*, [w:] *Q jakości*, nr 3/2004.
- [7] Drozd R., *Niezawodność maszyn produkcyjnych w branży piekarniczej – zagadnienia teoretyczne i praktyczne*, [w:] *Aparatura Badawcza i Dydaktyczna*, nr 3/2019.
- [8] Drozd R., *Wpływ robotyzacji na niezawodność procesu produkcyjnego w branży piekarniczej*, [w:] *Aparatura Badawcza i Dydaktyczna*, nr 3/2019.
- [9] Hawryluk P., *Automatyzacja i robotyzacja procesów produkcji – trudność czy konieczność*, [w:] *Transport Przemysłowy i Maszyny Rolnicze*, t. 1, Wrocław: HMR – TRANS Sp. z o.o., 2019, s. 74-75.
- [10] Kaczmarek W., Panasiuk J., *Roboty w typowych procesach i aplikacjach*, [w:] *Automatyka*, zeszyt nr 6/2015.
- [11] Barczyk J., *Robotyzacja w przemyśle spożywczym*, [w:] *Pomiary Automatyka Robotyka*, nr 1/2007.
- [12] Kaczmarek W., Panasiuk J., *Rynek robotyki – trendy i przegląd nowych rozwiązań*, [w:] *Control Engineering Polska*, nr 5(109), 2014.
- [13] *Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. o warunkach zdrowotnych żywności i żywienia* (Dz. U. 2001 r., nr 63, poz. 634 z późn. zm.).