

# APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

## Wpływ robotyzacji na niezawodność procesu produkcyjnego w branży piekarniczej

RADOSŁAW DROZD

POLITECHNIKA GDAŃSKA, WYDZIAŁ ZARZĄDZANIA I EKONOMII

**Słowa kluczowe:** niezawodność procesu produkcyjnego, robotyzacja, koncepcja probabilistyczna

### STRESZCZENIE:

Celem artykułu jest ustalenie wpływu robotyzacji na niezawodność linii produkcyjnej mikro i małych przedsiębiorstw w branży piekarniczej na podstawie badań wykonanych w okresie 2016.01.02-2018.12.31. Autor przedstawił problematykę opomiarowania niezawodności zrobotyzowanego systemu produkcyjnego, wyszczególnił wszystkie maszyny po robotyzacji, oznaczając je odpowiednio w procesie, co było niezbędne do dalszych obliczeń. Następnie zostały przedstawione obliczenia niezawodności wybranego projektu systemu zrobotyzowanego (wersja robocza – TRAY), oparte na koncepcji probabilistycznej. W dalszej części artykułu został zaprezentowany schemat niezawodności zrobotyzowanego procesu produkcyjnego chleba z wykorzystaniem jednej linii WPH1 wraz z końcowymi wynikami, które wykazały, że po wprowadzeniu systemu zrobotyzowanego, niezawodność pracy maszyn na linii produkcyjnej chleba uległa poprawie o 6%.

## The influence of robotization on the reliability of the production process in the bakery industry

**Keywords:** reliability of the production process, robotization, probabilistic concept

### ABSTRACT:

The purpose of the article is to determine the impact of robotics on the reliability of the production line of micro and small enterprises in the baking industry, based on research carried out in the period 2016.01.02-2018.12.31. The author presented the issues of measuring the reliability of a robotic production system, specified all machines after robotization, marking them appropriately in the process, which was necessary for further calculations. Then, the reliability calculations of the selected robotic system design (working name – TRAY) based on the probabilistic concept were presented. The rest of the article presents a diagram of the reliability of the robotic bread production process using one WPH1 line together with the final results showed that after the introduction of the robotic system, the reliability of machines on the bread production line improved by 6%.

## 1. WPROWADZENIE

W dobie postępującej globalizacji, a także zwiększonej presji konkurencyjności ze strony rynku, istotnym kluczowym elementem mającym wpływ na kierunki rozwoju mikro i małych przedsiębiorstw branży piekarniczej (MiMPBP) staje się niespotykany dotąd postęp jakościowy w technice i technologii – zarówno na poziomie maszyn technologicznych, urządzeń realizujących operacje pomocnicze, jak też systemów komunikacji i sterowania systemami wytwórczymi.

Przełomowym momentem mającym wpływ jakościowy na znaczące zmiany kierunku robotyzacji linii produkcyjnych jest pojawienie się robotów przemysłowych w MiMPBP.

Robotyzacja jest znaczącym krokiem technologicznym dla MiMPBP. Decydujące korzyści z jej wdrożenia i zastosowania w procesach produkcyjnych przejawiają się przede wszystkim w aspektach bezpośredniego wpływu niezawodności na liniach produkcyjnych w branży piekarniczej [1].

Definicja niezawodności może obejmować różne wymagania opisane charakterystykami technicznymi, ekonomicznymi i socjologicznymi obiektów [4]. Wyróżnia się: – niezawodność techniczną, która uwzględnia charakterystyki techniczne, – niezawodność techniczno-ekonomiczną, która uwzględnia charakterystyki techniczne i ekonomiczne, – niezawodność globalną, która uwzględnia charakterystyki techniczne, ekonomiczne i socjologiczne obiektów [5].

W niniejszym artykule zostały przedstawione obliczenia niezawodności robotyzacji opartej na koncepcji probabilistycznej na przykładzie piekarni X, działającej w ramach grupy MiMPBP.

Autor, na bazie własnych badań (wykonanych w okresie 2016.01.02-2018.12.31), mając rzeczywiste dane z eksploatacji systemu zrobotyzowanego, ustalił jego wpływ na przebieg niezawodności w czasie procesu produkcyjnego dla jednej linii do produkcji chleba. Wpływ ten został ustalony na podstawie dostępnych modeli probabilistycznych takich jak: rozkład wykładniczy, rozkład Weibulla, rozkład gamma, rozkład normalny standaryzowany, rozkład logarytmiczno-normalny [2, 3].

## 2. ZESTAWIENIE CAŁOŚCI PARKU MASZYNOWEGO PIEKARNI X PO ROBOTYZACJI

Zestawienie tabelaryczne wszystkich maszyn wykorzystywanych na linii produkcyjnej po robotyzacji obejmuje Tabela 1. Przedstawia ona:

1. Zestawienie i podział maszyn (przed wprowadzeniem robotyzacji) w tradycyjnym systemie produkcyjnym.

2. Zestawienie dwóch zaprojektowanych zrobotyzowanych systemów obejmujących:

a) system zrobotyzowany do podawania tac (wersja robocza – TRAY) do zastosowania w branży piekarniczej w oparciu o wykorzystanie wielozadaniowego robota przemysłowego o szerokim zakresie działania ruchu (wersja robocza ROB1) z kontrolerem (wersja robocza KON1) do procesów wspomagających produkcję,

b) system zrobotyzowany do paletyzacji i depaletyzacji (wersja robocza – PACK) do zastosowania w branży piekarniczej w oparciu o wykorzystanie wielozadaniowego robota przemysłowego o szerokim zakresie działania ruchu (wersja robocza ROB2) z kontrolerem (wersja robocza KON 2) do procesów wspomagających produkcję wraz z systemem rentgenowskim (X-RAY), którego detektor będzie wykrywał w pieczywie zanieczyszczenia takie jak: metal, kamienie, szkło, tworzywa sztuczne, co spowoduje pełną eliminację wadliwego pieczywa.

**Tabela 1** Zestawienie wszystkich maszyn w piekarni X po robotyzacji i ich oznakowanie w procesie

Maszyna	Symbol (oznakowanie w procesie)
1. Zespół silosów (4 szt.)	A1, A2, A3, A4
2. Systemy dozowania (2 szt.)	B1, B2
3. Zespół miesiarek spiralnych (3 szt.)	C1, C2
4. Zespół dzierz wyjezdnych (7 szt.)	D1, D2, D3, D4, D5, D6
Linie do produkcji chleba (1 szt.)	WPH1
1. Zespół wywrotnic dzież (2 szt.)	E1, E2
2. Zespół dzielarek ssąco-tłoczących (2 szt.)	F1, F2
3. Zespół zaokrąglarek stożkowych (2 szt.)	G1, G2
4. Zespół międzygarowni (2 szt.)	H1, H2
5. Zespół wydłużarek do ciasta (2 szt.)	I1, I2
<b>Nowy system zrobotyzowany TRAY</b>	<b>TRAY</b>
Procesy odkładania kęsów na tace i wózki	
1. Zespół garowni	J1, J2
2. Zespół pieców termo-olejowych (17 szt.)	ZP 1-17
3. Proces wystygania	
4. Zespół krajalnic wraz z klipsownicami (2 szt.)	K1, K2
<b>Nowy system zrobotyzowany PACK + maszyna rentgenowska</b>	<b>PACK X-RAY</b>

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań wykonanych w piekarni X

### 3. KONCEPCJA PROJEKTU SYSTEMU ZROBOTYZOWANEGO DLA POTRZEB PRZEMYSŁU PIEKARNICZEGO

Z uwagi na ograniczenie maksymalnej liczby stron w niniejszym artykule autor przedstawi jedynie projekt systemu zrobotyzowanego TRAY wraz z obliczeniami.

Istotą projektu będzie adaptacja wielozadaniowego robota przemysłowego o szerokim zakresie ruchu ROB1, do procesów wspomagających produkcję (podawanie tac na potrzeby procesu produkcyjnego) oraz procesów towarzyszących takich jak mycie pojemników piekarskich i czyszczenie tac w badanej piekarni.

Koncepcja projektu systemu zrobotyzowanego TRAY będzie polegała na zaprojektowaniu innowacyjnego procesu podawania tac, do zastosowania w przemyśle piekarniczym, w oparciu o wykorzystanie wielozadaniowego robota przemysłowego o szerokim zakresie działania ruchu ROB1 z kontrolerem KON1 do procesów wspomagających produkcję m.in. poprzez: podawanie tac na potrzeby układania kęsów ciasta, podawanie tac z wypieczonymi wyrobami do ich rozładunku na transporter, mycie wózków z zastosowaniem lancy ciśnieniowej karcher osadzonej na nadgarstku robota (ciśnienie 200 barów), mycie pojemników piekarskich w strumieniu dyszy stacjonarnej a pobieranych i odkładanych z europalet, wyznaczenie obszaru bezpiecznego pod obsługę ręczną tac wydawanych przez robota, ewentualne funkcje dekorowania pieczywa i nadawania szczególnych funkcji (obsypywanie ziarnami, nacinanie kęsów ciast, nakładanie sosów).

### 4. ANALIZA NIEZAWODNOŚCI SYSTEMU ZROBOTYZOWANEGO TRAY

Analiza niezawodności systemu TRAY będzie polegała na wykorzystaniu modeli probabilistycznych przy wyliczeniach dla poszczególnych filarów systemu, którymi są:

1. Robot ROB1 wraz z kontrolerem KON1 – oznakowany w badaniach symbolem  $RK_{T1}$ .
2. Zestaw taśmociągów (3 kpl.) – oznakowany w badaniach symbolami:  $T_{T1}$ ,  $T_{T2}$ ,  $T_{T3}$ .
3. Czujniki zbliżeniowe (2 kpl.) nadajnik + odbiornik oraz 4 kpl. zbliżeńówek  
– oznakowane w badaniach symbolami:  $CZ_{T1}$ ,  $CZ_{T2}$ ,  $CZ_{T3}$ ,  $CZ_{T4}$ ,  $CZ_{T5}$ ,  $CZ_{T6}$ .

4. Kurtyna kwasoodporna ruchoma (odgradzająca prace robota od operatora)

– oznakowana w badaniach symbolem:  $K_{T1}$ .

5. Elektrozawory (4 kpl. na bramach + 3 kpl. na stole operatora)

– oznakowane w badaniach symbolami:  $E_{T1}$ ,  $E_{T2}$ ,  $E_{T3}$ ,  $E_{T4}$ ,  $E_{T5}$ ,  $E_{T6}$ ,  $E_{T7}$ .

6. Stół operatora (układanie kęsów, 4 poziomy – robot pracuje parami) – oznakowany w badaniach symbolem  $S_{T1}$ .

Podczas analizy struktury niezawodności projektowanego systemu zrobotyzowanego TRAY pojawiła się w badaniach lista uszkodzeń (błędów), które należy uwzględnić, dzieląc je na czynniki: ludzkie, energetyczne i techniczne.

Struktura systemu produkcyjnego może czasami być objęta tajemnicą technologiczną.

W danym przypadku była wykonana szczegółowa specyfikacja technologiczna strumieni produkcyjnych.

**Tabela 2** Zestawienie zdiagnozowanych i potencjalnych uszkodzeń w zakresie czynnika ludzkiego (operator)

– podczas wprowadzenia przez operatora wózków do gniazda TRAY są one błędnie wypoziomowane, co powoduje błędną synchronizację ich pozycji dla robota	<b>Czl-1</b>
– podczas wprowadzenia przez operatora wózków do gniazda TRAY tace są błędnie wypoziomowane, co powoduje błędną synchronizację ich pozycji dla robota	<b>Czl-2</b>
– nieautoryzowane wejście operatora w strefę pracy robota	<b>Czl-3</b>
– uszkodzenie mechaniczne przez operatora czujki/czujek zbliżeniowych	<b>Czl-4</b>
– uszkodzenie mechaniczne przez operatora elektrozaworu/elektrozaworów	<b>Czl-5</b>
– uszkodzenie mechaniczne przez operatora kurtyny	<b>Czl-6</b>
– uszkodzenie mechaniczne przez operatora jednego/wszystkich zestawów taśmociągów	<b>Czl-7</b>

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań wykonanych w piekarni X

**Tabela 3** Zestawienie zdiagnozowanych i potencjalnych uszkodzeń w zakresie czynnika energetycznego

– brak zasilania energii powoduje zatrzymanie pracy robota, a po włączeniu zasilania robot wraca do pozycji 0 (strata czasowa)	<b>Cze-1</b>
– brak zasilania energii powoduje u robota zagubienie synchronizacji pozycji na enkoderze	<b>Cze-2</b>
– brak zasilania energii powoduje zatrzymanie pracy wszystkich czujek zbliżeniowych	<b>Cze-3</b>
– brak zasilania energii powoduje zatrzymanie pracy wszystkich elektrozaworów	<b>Cze-4</b>
– brak zasilania energii powoduje zatrzymanie pracy kurtyny kwasoodpornej	<b>Cze-5</b>
– brak zasilania energii powoduje zatrzymanie pracy wszystkich taśmociągów	<b>Cze-6</b>

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań wykonanych w piekarni X

**Tabela 4** Zestawienie zdiagnozowanych i potencjalnych uszkodzeń w zakresie czynnika technicznego (komunikacyjnego robota)

czujnik nie wykrywa przeszkód (zabrudzenia, kalibracja)	<b>Czt-1</b>
odczyt czujnika jest losowy	<b>Czt-2</b>
robot wychodzi poza swoją wyznaczoną strefę pracy (zagrożenie życia operatora)	<b>Czt-3</b>
możliwość zatarcia serwonapędu w robocie spowodowana ponadnormatywnym udźwigniem	<b>Czt-4</b>
przeciążenie układu spowodowane podwyższoną temp. pracy robota	<b>Czt-5</b>
przeciążenie lub zatarcie silnika/silników w zestawie taśmociągów	<b>Czt-6</b>
przeciążenie lub zatarcie silnika w kurtynie	<b>Czt-7</b>
zakłócenia pracy w procesie otwierania i zamykania elektrozaworów	<b>Czt-8</b>

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań wykonanych w piekarni X

Wskazane czynniki zostaną odpowiednio przydzielone do analizy badawczej przy obliczaniu niezawodności systemu zrobotyzowanego TRAY. W niniejszym artykule autor przedstawił fragment z badań dotyczący tylko jednego filaru systemu – robota ROB1 wraz z kontrolerem KON1 – co zostało przedstawione w Tabeli nr 5.

**Tabela 5** Informacje dotyczące funkcjonowania robota ROB1 wraz z kontrolerem KON1

Nazwa maszyny	<b>Robot ROB1 wraz z kontrolerem KON1</b>
Czas pracy dzienny Czas pracy roczny (2018 r.)	8 godzin dziennie 8 h × 312 dni = 2496 h
Lista zdiagnozowanych uszkodzeń	Ogólny czas niesprawności (lata)
Czt-1	2017
Czt-2	2017
Czt-3	2017, 2018
Cze-1	Brak
Cze-2	2017, 2018
Czt-3	Brak
Czt-4	Brak
Czt-5	2018
Rok zakupu maszyny	2016
Symbol w procesie	<b>RK<sub>T1</sub></b>
Przewidywany czas bezawaryjnej pracy	3 lata – 18 000 godzin – okres badań (2016-2018)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań wykonanych w piekarni X

Poniżej zostały przedstawione obliczenia niezawodności dla robota ROB1 wraz z kontrolerem KON1.

#### Rozkład wykładniczy

t = liczba lat od startu pracy maszyny do końca 2018 roku × średnia liczba dni pracujących w roku × dzienna liczba przepracowanych godzin przez maszynę

$$t = 3 \times 312 \times 8 = 7488$$

E(t) = przewidywany czas bezawaryjnej pracy (wykonany dla 3 lat badania)

$$E(t) = \frac{1}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{1}{18000} = 0,00005555$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0,00005555 \cdot 7488} \approx \mathbf{0,6597}$$

E(t) średni czas pracy do uszkodzenia z uzyskanych danych

$$E(t) = 2496 (2017 \text{ r.}) + 4992 (2018 \text{ r.}) / 2 = \mathbf{3744}$$

$$\lambda = \frac{1}{3744} = 0,0002671$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0,0002671 \cdot 7488} \approx \mathbf{0,1353}$$

Dla rozkładu wykładniczego funkcji niezawodności R(t) przewidywany czas bezawaryjnej pracy maszyny wynosi 65,97%. Prawdopodobieństwo

sukcesu poprawnego funkcjonowania maszyny w przedmiotowej funkcji niezawodności E(t) wynosi 13,53%.

### Rozkład Weibulla

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

p	E(t) Przewidywany czas bezawaryjnej pracy	E(t) Średni czas pracy do uszkodzenia z uzyskanych danych
1	$R(t) = e^{-\left(\frac{7488}{18000}\right)^1} \approx 0,6597$	$R(t) = e^{-\left(\frac{7488}{3744}\right)^1} \approx 0,1353$
2	$R(t) = e^{-\left(\frac{7488}{18000}\right)^2} \approx 0,8411$	$R(t) = e^{-\left(\frac{7488}{3744}\right)^2} \approx 0,0183$
3	$R(t) = e^{-\left(\frac{7488}{18000}\right)^3} \approx 0,9305$	$R(t) = e^{-\left(\frac{7488}{3744}\right)^3} \approx 0,0003$

Dla rozkładu Weibulla funkcji niezawodności R(t) przewidywany czas bezawaryjnej pracy maszyny dla wskaźnika p-1 = 65,97%, p-2 = 84,11%, p-3 = 93,05%. Prawdopodobieństwo sukcesu poprawnego funkcjonowania maszyny w przedmiotowej funkcji niezawodności E(t) wynosi dla wskaźnika p-1 = 13,53%, p-2 = 1,83%, p-3 = 0,03%.

### Rozkład gamma

E(t) przewidywany czas bezawaryjnej pracy

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

p = 1      18 000 =  $\frac{1}{b}$       b = 0,00005555

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp(-bt) \sum_{i=0}^{p-1} \frac{(bt)^i}{i!} = 1 - \exp(-bt) \sum_{i=p}^{\infty} \frac{(bt)^i}{i!}$$

$R(t) = 1 - e^{-(0,00005555*7488)} * \left[ \frac{(0,00005555*7488)^1}{1} \right] \approx 0,7672$

p = 2      18 000 =  $\frac{2}{b}$       b = 0,00011111

$R(t) = 1 - e^{-(0,00011111*7488)} * \left[ \frac{(0,00011111*7488)^1}{1} + \frac{(0,00011111*7488)^2}{2} \right] \approx 0,4873$

p = 3      18 000 =  $\frac{3}{b}$       b = 0,00016666

$R(t) = 1 - e^{-(0,00016666*7488)} * \left[ \frac{(0,00016666*7488)^1}{1} + \frac{(0,00016666*7488)^2}{2} + \frac{(0,00016666*7488)^3}{6} \right] \approx 0,3252$

t) średni czas pracy uszkodzenia z uzyskanych danych

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp(-bt) \sum_{i=0}^{p-1} \frac{(bt)^i}{i!} = 1 - \exp(-bt) \sum_{i=p}^{\infty} \frac{(bt)^i}{i!}$$

p = 1      3744 =  $\frac{1}{b}$       b = 0,0002671

$R(t) = 1 - e^{-(0,0002671*7488)} * \left[ \frac{(0,0002671*7488)^1}{1} \right] \approx 0,7294$

p = 2      3744 =  $\frac{2}{b}$       b = 0,0005342

$R(t) = 1 - e^{-(0,0005342*7488)} * \left[ \frac{(0,0005342*7488)^1}{1} + \frac{(0,0005342*7488)^2}{2} \right] \approx 0,7804$

p = 3      3744 =  $\frac{3}{b}$       b = 0,0008013

$R(t) = 1 - e^{-(0,0008013*7488)} * \left[ \frac{(0,0008013*7488)^1}{1} + \frac{(0,0008013*7488)^2}{2} + \frac{(0,0008013*7488)^3}{6} \right] \approx 0,8499$

Dla rozkładu gamma funkcji niezawodności R(t) przewidywany czas bezawaryjnej pracy maszyny dla wskaźnika p-1 = 76,72%, p-2 = 48,73%, p-3 = 32,52%. Prawdopodobieństwo sukcesu poprawnego funkcjonowania maszyny w przedmiotowej funkcji niezawodności E(t) wynosi dla p-1 = 72,94%, p-2 = 78,04%, p-3 = 84,99%.

### Rozkład normalny

m = przewidywany czas bezawaryjnej pracy

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x-m)^2}{n}} \approx 14\ 309,62$$

dla n = 2, m = 18 000

x<sub>1</sub> = 2496, x<sub>2</sub> = 4994,

$yt = \frac{t-t_0}{\delta} = \frac{7488-18000}{14309,62} \approx -0,7346$

$y_0 = -\frac{t_0}{\delta} = -\frac{18000}{14309,62} \approx -1,2579$

$R(t) = \frac{1 - \phi(yt)}{1 - \phi(y_0)} = \frac{1 - (-0,7346)}{1 - (-1,2579)} \approx 0,7682$

m = średni czas pracy do uszkodzenia z uzyskanych danych

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x-m)^2}{n}} \approx 1249,01$$

dla n = 2, m = 3744

x<sub>1</sub> = 2496, x<sub>2</sub> = 4994,

$yt = \frac{t-t_0}{\delta} = \frac{7488-3744}{1249,01} \approx 2,9976$

$y_0 = -\frac{t_0}{\delta} = -\frac{3744}{1249,01} \approx -2,9976$

$R(t) = \frac{1 - \phi(yt)}{1 - \phi(y_0)} = \frac{1 - (-2,9976)}{1 - (-2,9976)} \approx 1$

Dla rozkładu normalnego funkcji niezawodności R(t) przewidywany czas bezawaryjnej pracy maszyny wynosi 76,82%. Prawdopodobieństwo



sukcesu poprawnego funkcjonowania maszyny w przedmiotowej funkcji niezawodności  $E(t)$  wynosi 100%.

### Rozkład logarytmiczno-normalny

$m$  = przewidywany czas bezawaryjnej pracy dla  $n = 2$ ,  $m = \ln 18\,000 \approx 9,80$ ,  $x = \ln 7488 \approx 8,92$   
 $x_1 = \ln 2496 \approx 7,8224$ ;  $x_2 = \ln 4994 \approx 8,5160$ .

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x-m)^2}{n}} \approx \mathbf{1,6673}$$

$$yt = \frac{t-t_0}{\delta} = \frac{8,92-9,80}{1,6673} \approx \mathbf{-0,5278}$$

$$y_0 = -\frac{t_0}{\delta} = -\frac{9,80}{1,6673} \approx \mathbf{-5,8778}$$

$$R(t) = \frac{1 - \phi(yt)}{1 - \phi(y_0)} = \frac{1 - (-0,5278)}{1 - (-5,8778)} \approx \mathbf{0,2221}$$

$m$  = średni czas pracy do uszkodzenia z uzyskanych danych

$x_1 = \ln 2496 \approx 7,8224$ ;  $x_2 = \ln 4994 \approx 8,5160$ ;

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x-m)^2}{n}} \approx \mathbf{0,3521}$$

$$yt = \frac{t-t_0}{\delta} = \frac{8,92-8,23}{0,3521} \approx \mathbf{1,9597}$$

$$y_0 = -\frac{t_0}{\delta} = -\frac{8,23}{0,3521} \approx \mathbf{-23,3741}$$

$$R(t) = \frac{1 - \phi(yt)}{1 - \phi(y_0)} = \frac{1 - (1,9597)}{1 - (-23,3741)} \approx \mathbf{0,0394}$$

Dla rozkładu logarytmiczno-normalnego funkcji niezawodności  $R(t)$  przewidywany czas bezawaryjnej pracy maszyny wynosi 22,21%. Prawdopodobieństwo sukcesu poprawnego funkcjonowania maszyny w przedmiotowej funkcji niezawodności  $E(t)$  wynosi 3,94%.

### 5. NIEZAWODNOŚĆ ZROBOTYZOWANEGO PROCESU PRODUKCYJNEGO CHLEBA Z WYKORZYSTANIEM JEDNEJ LINII WPH1

Na Rysunku 2 został przedstawiony przykład schematu zrobotyzowanego procesu produkcyjnego chleba z wykorzystaniem jednej linii WPH1.

Dane wejściowe zostały zaczerpnięte z własnych badań autora, wykonanych w okresie 2016.01.02-2018.12.31, do obliczenia niezawodności zrobotyzowanego procesu produkcyjnego chleba z wykorzystaniem całej jednej linii WPH1, tj.:

#### 1. Zespół silosów

$RA_1 = 0,9995$ ,  $RA_2 = 0,9995$ ,  $RA_3 = 0,9995$ ,  $RA_4 = 0,9995$ , tj. ( $RA = 0,9995$ )

#### 2. Systemy dozowania

$RB_1 = 0,9995$ ,  $RB_2 = 0,9995$ , tj. ( $RB = 0,9995$ )

#### 3. Zespół miasiarek spiralnych

$RC_1 = 0,9993$ ,  $RC_2 = 0,9993$ , tj. ( $RC = 0,9993$ )

#### 4. Zespół dzież wyjezdnych

$RD_1 = 0,9993$ ,  $RD_2 = 0,9993$ ,  $RD_3 = 0,9993$ ,  $RD_4 = 0,9993$ , tj. ( $RD = 0,9993$ )

Linia do produkcji chleba WPH1

$RE_1 = 0,9993$ ,  $RF_1 = 0,9993$ ,  $RG_1 = 0,9993$ ,

$RH_1 = 0,9993$ ,  $RI_1 = 0,9993$ , tj. ( $WPH_1 = 0,9993$ )

### 5. Nowo projektowany system zrobotyzowany TRAY

$RK_{T_1} = 0,9881$ ,  $RT_{T_1} = 0,9695$ ,  $RT_{T_2} = 0,9695$ ,

$RT_{T_3} = 0,9695$ ,  $RCZ_{T_1} = 0,9097$ ,  $RCZ_{T_2} = 0,9097$ ,

$RCZ_{T_3} = 0,9097$ ,  $RCZ_{T_5} = 0,9097$ ,  $RCZ_{T_6} = 0,9097$ ,

$RK_{T_1} = 0,9695$ ,  $RE_{T_1} = 0,9881$ ,  $RE_{T_2} = 0,9881$ ,

$RE_{T_3} = 0,9881$ ,  $RE_{T_4} = 0,9881$ ,  $RE_{T_5} = 0,9881$ ,

$RE_{T_6} = 0,9881$ ,  $RE_{T_7} = 0,9881$

#### 6. Proces odkładania kęsów (oznaczenie POK1) na tace i wózki

#### 7. Zespół garowni

$RJ_1 = 0,9993$ ,  $RJ_2 = 0,9993$ , tj. ( $RJ = 0,9993$ )

#### 8. Zespół pieców termo-olejowych

$RZP_1 = 0,9964$ ,  $RZP_2 = 0,9964$ ,  $RZP_3 = 0,9964$ ,

$RZP_4 = 0,9964$ ,  $RZP_5 = 0,9964$ ,  $RZP_6 = 0,9964$ ,

$RZP_7 = 0,9964$ ,  $RZP_8 = 0,9964$ ,

$RZP_9 = 0,9964$ ,  $RZP_{10} = 0,9964$

#### 9. Proces wystygania (oznaczenie PW)

### 10. Nowo projektowany system zrobotyzowany PACK

$RK_{P_1} = 0,9881$ ,  $T_{P_1} = 0,9695$ ,  $CZ_{P_1} = 0,9097$ ,

$CZ_{P_2} = 0,9097$ ,  $CZ_{P_3} = 0,9097$ ,  $CZ_{P_4} = 0,9097$ ,

$K_{P_1} = 0,9695$ ,  $E_{P_1} = 0,9881$ ,  $E_{P_2} = 0,9881$ ,

$E_{P_3} = 0,9881$ ,  $E_{P_4} = 0,9881$ ,  $E_{P_5} = 0,9881$ ,

$E_{P_6} = 0,9881$ ,  $E_{P_7} = 0,9881$ ,  $E_{P_8} = 0,9881$

#### 11. Zespół kralajnic wraz z klipsownicami

$RK_1 = 0,9993$ ,  $RK_2 = 0,9993$ , tj. ( $RK = 0,9993$ )

### 12. Nowo projektowany X-RAY

$RX-RAY = 0,9881$

Obliczenia niezawodności zrobotyzowanego procesu produkcyjnego chleba z wykorzystaniem jednej linii WPH1

Dane:

$[1-(1-RA_1) \times (1-RA_2) \times (1-RA_3) \times (1-RA_4)] \times$

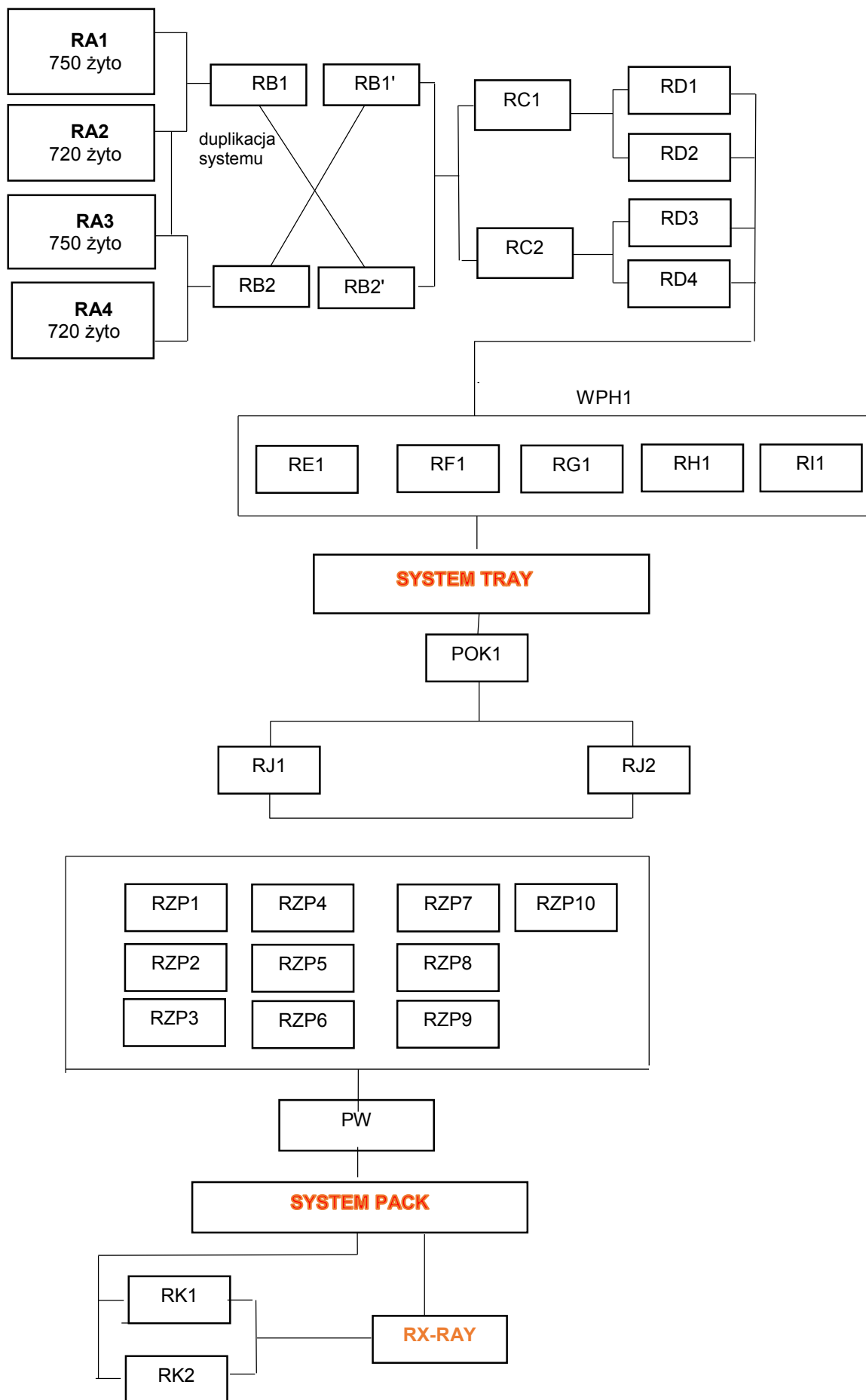
$[1-(1-RB_1) \times (1-RB_2)] \times$

$RC_1 \times [1-(1-RD_1) \times (1-RD_2)]$

$RC_2 \times [1-(1-RD_4) \times (1-RD_5)]$

$[1-(1-RE_1) \times (1-RF_1) \times (1-RG_1) \times (1-RH_1) \times (1-RI_1)]$

$[1-(1-RE_2) \times (1-RF_2) \times (1-RG_2) \times (1-RH_2) \times (1-RI_2)]$



**Rysunek 2** Schemat niezawodności zrobotyzowanego procesu produkcyjnego chleba z wykorzystaniem jednej linii WPH1.  
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań wykonanych w piekarni X

$$\begin{aligned}
& [1-(1-RK_{T1}) \times (1-RT_{T1}) \times (1-RT_{T2}) \times (1-RT_{T3}) \times \\
& (1-RCZ_{T1}) \times (1-RCZ_{T2}) \times (1-RCZ_{T3}) \times \\
& (1-RCZ_{T4}) \times (1-RCZ_{T5}) \times (1-RCZ_{T6}) \times (1-RK_{T1}) \times (1-RE_{T1}) \times \\
& (1-RE_{T2}) \times (1-RE_{T3}) \times (1-RE_{T4}) \times (1-RE_{T5}) \times (1-RE_{T6}) \times \\
& (1-RE_{T7})] \times \\
& [1-(1-RJ) \times (1-RJ2)] \times \\
& [1-(1-RZP1) \times (1-RZP2) \times (1-RZP3) \times (1-RZP4) \times \\
& (1-RZP5) \times (1-RZP6) \times (1-RZP7) \times (1-RZP8) \times \\
& (1-RZP9) \times (1-RZP10)] \times \\
& [1-(1-RK_{p1}) \times (1-RT_{p1}) \times (1-RCZ_{p1}) \times (1-RCZ_{p2}) \\
& \times (1-RCZ_{p3}) \times (1-RCZ_{p4}) \times (1-RK_{p1}) \times (1-RE_{p1}) \times (1-RE_{p2}) \\
& \times (1-RE_{p3}) \times (1-RE_{p4}) \times (1-RE_{p5}) \times (1-RE_{p6}) \times (1-RE_{p7}) \times \\
& (1-RE_{p7})] \\
& [1-(1-RK1) \times (1-RK2)] \times \text{RX-RAY} \\
& \text{Dalsza część obliczeń (podstawianie wyników)} \\
& [1-(1-0,9995) \times (1-0,9995) \times (1-0,9995) \times \\
& (1-0,9995)] \times \\
& [1-(1-0,9995) \times (1-0,9995)] \times \\
& 0,9993 \times [1-(1-0,9993) \times (1-0,9993)] \\
& 0,9993 \times [1-(1-0,9993) \times (1-0,9993)] \\
& [1-(1-0,9993) \times (1-0,9993) \times (1-0,9993) \times \\
& (1-0,9993)] \\
& [1-(1-0,9993) \times (1-0,9993) \times (1-0,9993) \times \\
& (1-0,9993)] \\
& [1-(1-0,9881) \times (1-0,9695) \times (1-0,9695) \times (1-0,9695) \times \\
& (1-0,9097) \times (1-0,9097) \times (1-0,9097) \times (1-0,9097) \times \\
& (1-0,9097) \times (1-0,9097) \times (1-0,9695) \times (1-0,9881) \times \\
& (1-0,9881) \times (1-0,9881) \times (1-0,9881) \times (1-0,9881) \times \\
& (1-0,9881) \times (1-0,9881)] \times \\
& [1-(1-0,9993) \times (1-0,9993)] \times \\
& [1-(1-0,9964) \times (1-0,9964) \times (1-0,9964) \times \\
& (1-0,9964) \times (1-0,9964) \times (1-0,9964) \times (1-0,9964) \times \\
& (1-0,9964) \times (1-0,9964) \times (1-0,9964)] \times \\
& [1-(1-0,9881) \times (1-0,9695) \times (1-0,9097) \times (1-0,9097) \times \\
& (1-0,9097) \times (1-0,9097) \times (1-0,9695) \times (1-0,9881) \times \\
& (1-0,9881) \times (1-0,9881) \times (1-0,9881) \times (1-0,9881) \times \\
& (1-0,9881) \times (1-0,9881)] \times
\end{aligned}$$

$$[1-(1-0,9993) \times (1-0,9993)] \times 0,9401$$

$$R = 0,9401$$

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że niezawodność procesu produkcyjnego chleba z wykorzystaniem zrobotyzowanej jednej linii WPH1 wynosi 0,9401. Wynik ten można zinterpretować tak, że w badanej piekarni niezawodność pracy maszyn na linii produkcyjnej po wprowadzeniu systemu zrobotyzowanego w przedmiotowej konfiguracji wynosiła 94,01%.

## 6. WNIOSKI

Badania autora, prowadzone w okresie 2016.01.02-2018.12.31, w badanej piekarni X wykazały:

a) niezawodność tradycyjnego procesu produkcyjnego chleba z wykorzystaniem jednej linii WPH1 ukształtowała się na poziomie 0,8804. Wynik ten wskazuje, że w badanej piekarni niezawodność pracy maszyn na linii produkcyjnej w przedmiotowej konfiguracji wynosiła 88,04%.

b) niezawodność procesu produkcyjnego chleba z wykorzystaniem zrobotyzowanej jednej linii WPH1 wynosiła 0,9401. Wynika z tego, że w badanej piekarni niezawodność pracy maszyn na linii produkcyjnej po wprowadzeniu systemu zrobotyzowanego w przedmiotowej konfiguracji wynosiła 94%.

Porównując oba wyniki, należy podkreślić poprawę niezawodności procesu produkcyjnego chleba w części zrobotyzowanej, o 6%. Przedmiotowe badania wskazują na wymierny wpływ robotyzacji na niezawodność obliczoną w oparciu o modele probabilistyczne w branży piekarniczej.

## LITERATURA

- [1] Bobrowski D., Probabilistyka w zastosowaniach technicznych, WNT, Warszawa 1986.
- [2] Krysicki W., Bartos J., Dyczka W., Królikowska K., Wasilewski M., Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2019.
- [3] Nadolny K. (red.), Podstawy modelowania niezawodności materiałów eksploatacyjnych, Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Poznań–Radom 1999.
- [4] Salamonowicz T. (red.), Metody badań przyczyn i skutków uszkodzeń. XXXIII Zimowa Szkoła Niezawodności, Wydawnictwo i Zakład Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2005.
- [5] Słowiński B., Podstawy badań i oceny niezawodności obiektów technicznych, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2002.