

APARATURA

BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Koncepcja niezawodności strumieniowo-systemowej na przykładzie branży piekarniczej

¹RADOSŁAW DROZD, ²JAN PIWNIK

POLITECHNIKA GDAŃSKA, WYDZIAŁ ZARZĄDZANIA I EKONOMII¹, COBRABID WARSZAWA²

Słowa kluczowe: niezawodność strumieniowo-systemowa

STRESZCZENIE:

W niniejszym artykule przedstawiono nową koncepcję niezawodności systemu technologicznego opartą na analizie relacji skojarzeń elementów strumieni energii, materii, informacji, czasu i finansów. Podano sposób specyfikacji strumieni i metodę ustalania wartości niezawodności relacji istotnych i wspomagających. Relacje istotne pomiędzy elementami strumieni systemu definiowano jako mające wartość niezawodności jeden w czasie. Relacje wspomagające mają zaś wartość pomiędzy zero i jeden. Relacje istotne określa się na podstawie badań, doświadczenia i wiedzy. Niezawodność strumieniowo-systemowa P_{ss} jest wielkością skalarną, to jest liczbą, której wartość zawiera się pomiędzy zerem i jednością. Wielkość P_{ss} charakteryzuje bezodmowną pracą całego systemu. Jej średnia wartość w czasie normowym t_n wyraża efektywność procesu produkcyjnego. Wielkość P_{ss} jest ilorazem ilości relacji istotnych do sumy relacji istotnych i wspomagających. Forma wyrażenia na P_{ss} wskazuje sposób optymalizacji procesu na drodze wzrostu ilości relacji istotnych pomiędzy komponentami strumieni wsadowych systemu. Koncepcję P_{ss} zastosowano w badaniach efektywności produkcyjnej piekarni X, działającej w ramach grupy MiMPBP. Analiza systemowa piekarni umożliwia istotny wzrost niezawodności procesu wypieku chleba po zastosowaniu robotyzacji. Koncepcja niezawodności strumieniowo-systemowej P_{ss} może być wykorzystana do analizy efektywności procesów technologicznych i optymalizacji w dowolnych procesach produkcyjnych. Wymaga to szczegółowej analizy systemowej takich procesów.

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

Keywords: system streaming reliability

ABSTRACT:

This article presents a new concept of technological system reliability based on the analysis of the relationship of associations of elements of energy streams, matter, information, time and finance. The method of stream specification and the method of determining the reliability values of significant and supporting relationships are given. Relevant relationships between elements of system streams were defined as having one-time reliability value. Supportive relationships have a value between zero and one. Relevant relationships are determined based on research, experience and knowledge. P_{ss} stream-system reliability is a scalar quantity, i.e. a number whose value lies between zero and unity. The size of P_{ss} characterizes the entire system without being denied. Its average value in standard time t_n expresses the efficiency of the production process. P_{ss} is the quotient of the number of significant relationships to the sum of the significant and supporting relationships. The form of expression on P_{ss} indicates how to optimize the process by increasing the number of relationships significant between the components of the system batch streams. The P_{ss} concept was used in research into the production efficiency of bakery X operating within the MiMPBP group. System analysis of the bakery allows a significant increase in the bread baking process reliability after using robotization. The concept of P_{ss} stream-system reliability can be used to analyze the efficiency of technological processes and optimization in any production processes. This requires a detailed system analysis of such processes.

1. WPROWADZENIE

Problematyka niezawodności dotyczy głównie struktury technicznej, fizycznej i organizacyjnej elementów systemu dobranej tak, że spełnia postawione zadania [2, 4].

Zwyczajowo rozróżnia się pojęcie niezawodności początkowej w momencie rozpoczęcia pracy i funkcji niezawodności wyróżniającej wpływ czasu pracy wyróżnionego elementu na jego niezawodność [1, 5].

Funkcję niezawodności konstruujemy na podstawie badań doświadczalnych i praktycznej wiedzy o pracy i własnościach systemu [3].

Działanie czynne systemu do pierwszej awarii, tj. odmowy, ma charakter losowy. Stąd niezawodność może być prawdopodobieństwem spełnienia ustalonych poleceń (zadań) nałożonych na elementy będące ze sobą w określonej relacji. Czynne działanie systemu jest zatem zbiorem współpracujących jego elementów.

W systemie z definicji nie może być elementów niewspółpracujących między sobą.

W każdym systemie, szczególnie produkcyjnym, występują: Φ_E strumienie energetyczne, Φ_M strumienie materialne (środków technicznych), Φ_I strumienie informatyczne, Φ_T strumienie czasu, Φ_F strumienie finansowe.

Działania systemu można utożsamiać ze zorganizowanym zbiorem relacji pomiędzy elementami wymienionych strumieni.

Znajomość praw prawdopodobieństw bezodmownej pracy w określonym czasie, funkcjonujących w systemie relacji pomiędzy elementami strumieni, może być podstawą do wyznaczenia niezawodności całego systemu. Zatem niezawodność może być jedną z metryzowalnych miar działania systemu.

Celem artykułu jest zademonstrowanie nowej koncepcji niezawodności, która odnosi się do całego systemu.

Niezawodność jest tu rozumiana jako jedna z reprezentacji operatora działającego na wymienione strumienie.

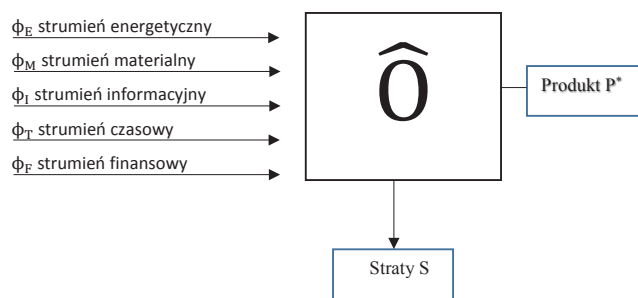
Miarą niezawodności będzie tu stosunek pewnej ilości relacji pomiędzy elementami strumieni, z prawdopodobieństwem spełnienia zadań o wartościach, do całkowitej ilości relacji zapewniającej efektywność systemu. Znajomość pewności działania relacji elementów o wartościach prawdopodobieństwa jeden otrzymujemy z badań doświadczalnych oraz praktycznej i teoretycznej wiedzy o naturze systemu.

W artykule prezentowana jest koncepcja niezawodności strumieniowo-systemowej oparta na przykładzie piekarni X, działającej w ramach grupy MiMPBP.

2. KONSTRUKCJA SYSTEMU TECHNOLOGICZNEGO (PRODUKCYJNEGO)

Systemem technologicznym nazywamy zbiór strumieni systemu: $\Phi_E, \Phi_M, \Phi_I, \Phi_T, \Phi_F$ i operatora \hat{O} , którego działanie na strumieniu daje produkt P^* i straty S .

Stąd inaczej systemem technologicznym jest zorganizowany zbiór relacji pomiędzy elementami strumieni, który prowadzi do powstania produktu P^* i nieuniknionych strat S . Relacje pomiędzy elementami strumieni stanowią działania systemu, które zostały przedstawione na Rysunku nr 1.



Rysunek 1 Struktura systemu badanej piekarni (opracowanie własne)

Symbolicznie możemy działania operatora \hat{O} wyróżnić jako:

$$\hat{O} [\Phi_E, \Phi_M, \Phi_I, \Phi_T, \Phi_F] \rightarrow P^* + S \quad (1)$$

Z podanych definicji systemu technologicznego, Rysunku nr 1 i wyróżnienia (1) wynika utożsamianie się systemu z działaniem. System technologiczny nie istnieje bez działania, to jest bez relacji pomiędzy elementami strumieni. Wymienione strumienie są zbiorami „wsadowymi” systemu i różnią się pomiędzy sobą rolą, formą, postacią i ilością elementów.

Strumień energii Φ_{iE} jest zbiorem i - elementów związanych z przetwarzaniem i transmisją energii elektrycznej, mechanicznej, cieplnej i innej niezbędnej do realizacjizadań projektu.

Strumień materii Φ_{jM} jest zbiorem j - elementów, gwarantujących pełne materialne zabezpieczenie realizacji celów projektu. Będą to surowce, maszyny i instalacje.

Strumień informacji Φ_{kI} jest zbiorem k - elementów odpowiednio zorganizowanych instrukcji, algorytmów, poleceń, wytycznych i takich segmentów najnowszej stosowanej wiedzy, które gwarantują najwyższą efektywność działania systemu technologicznego.

Strumień czasu Φ_{1T} jest zbiorem l - elementów przepisów algorytmów technologicznych dotyczących kolejności działań w czasie. Elementy Φ_{1T} określają czasy trwania poszczególnych operacji, zabiegów i innych czynności związanych z trwaniem działania.

Strumień Φ_{mF} finansowy jest zbiorem m - elementów określających koszty działania systemu i trendy koniunkturalne na zapotrzebowanie produktu P^* .

Relacje komponentów strumieni systemu technologicznego oznacza związek technologiczno-organizacyjno-ekonomiczny poszczególnych elementów tego samego strumienia lub innych strumieni, który zapewni ciągłe funkcjonowanie systemu.

Przykładowo w piekarni X , działającej w ramach grupy MiMPBP, mogą występować następujące relacje:

Miesiarka spiralna Φ_{2E} , mąka Φ_{1M} , woda Φ_{3M}

$$(\Phi_{2E}, \Phi_{1M}, \Phi_{3M})$$

Garownia Φ_{9E} , nagrzewnica Φ_{c1E} , woda Φ_{3M}

$$(\Phi_{9E}, \Phi_{c1E}, \Phi_{3M})$$

Numery elementów poszczególnych strumieni wzięto z tablicy specyfikacji struktury piekarni X pokazanej dalej w p. 5.

Prawdopodobieństwo bezodmownej pracy w czasie τ od 0 do t_n układu elementów w określonej ich relacji oznaczamy jako na przykład:

$$P_{[0,t_n]} (\Phi_{2E}, \Phi_{1M}, \Phi_{3M}),$$

$$P_{[0,t_n]} (\Phi_{9E}, \Phi_{c1E}, \Phi_{3M})$$

Ogólniej możemy oznaczać niezawodność w czasie $[0$ do $t_n]$ jako:

$$P_{[0,t_n]} (\Phi_{iE}, \Phi_{jM}, \Phi_{kI}, \Phi_{1T}, \Phi_{mF})$$

Powyższe oznaczenia dotyczą znajomości prawdopodobieństwa gotowości do bez odmownej pracy układu elementów relacji w czasie $t = 0$.

Na przykład $P_{t=0} (\Phi_{2E}, \Phi_{1M}, \Phi_{3M}) = 1$.

Oznacza to pełną sprawność do działania elementów wymienionej relacji na początku procesu produkcji.

3. NIEZAWODNOŚĆ STRUMIENIOWO-SYSTEMOWA P_{ss}

Niezawodność pracy relacji skojarzonych elementów strumieni systemu w czasie τ od 0 do t_n jest funkcją, stąd:

$P_{t_n} [0,t_n]$ określa wpływ czasu pracy zespołu skojarzonych elementów na jego niezawodność.

Wartość funkcji $P_{tn}[0,tn]$ zawiera się w przedziale od 0 do 1.

$$P_{tn}[0,tn] \in [0,1]$$

Stąd funkcja niezawodności $P_{tn}[0,tn]$ jest charakterystyką stochastyczną.

Niezawodność strumieniowo-systemową $P_{ss}[0,tn]$ określa prawdopodobieństwo bezodmownej pracy całego systemu technologicznego, to jest pełnego zbioru relacji komponentów.

Niezawodność strumieniowo-systemową $P_{ss}[0,tn]$ definiujemy jako iloraz sumy relacji istotnych do całkowitej sumy relacji istotnych i wspomagających. Zatem niezawodność strumieniowo-systemowa określa średnią wartość prawdopodobieństwa bezodmownej pracy systemu w czasie technologicznym $\tau \in [0,tn]$.

Miara liczbowa P_{ss} zawiera się pomiędzy jednością jako:

$$0 < P_{ss} < 1 \quad (4)$$

Wzór na P_{ss} ma postać

$$P_{ss} = \frac{\sum_{s=1}^r P_s^i[0,tn]}{\sum_{s=1}^r P_s^i[0,tn] + \sum_{s=1}^z P_s^w[0,tn]} \quad (5)$$

We wzorze (5) indeks s oznacza numer relacji, r oznacza ilość relacji istotnych, natomiast z ilość relacji wspomagających.

Wielkość P_{ss} nie jest funkcją niezawodności, lecz wielkością skalarną określającą średnie wartości niezawodności całego systemu w czasie $\tau \in [0,tn]$. Konstrukcja wzoru (5) na niezawodność strumieniowo-systemową daje też wskazówki odnośnie do optymalizacji struktury systemu. Ma to istotny związek z ilością relacji wspomagających, których wzrost obniża niezawodność, natomiast wzrost relacji istotnych podwyższa wartość niezawodności systemu.

Zatem wdrożenia i innowacje techniczne powinny podążać w kierunku wzrostu relacji istotnych, na przykład poprzez wprowadzenie robotyzacji.

4. RELACJE ISTOTNE I WSPOMAGAJĄCE

Niezawodność strumieniowo-systemowa (P_{ss}) jest jedną z metryzowalnych wielkości operatora systemu \hat{O} działającego na strumieniu energii, materii, informacji, czasu i finansów.

Niezawodność strumieniowo-systemowa jest stosunkiem liczby niezawodności istotnych skojarzeń i relacji elementów systemu do sumy relacji istotnych i wspomagających.

Relacje istotne dotyczą bezpośrednich relacji operatora systemu \hat{O} działającego kolejno na strumieniu energii, materii, informacji, czasu i finansów.

Natomiast relacje wspomagające dotyczą tylko tych relacji, które wspomagają proces relacji istotnych.

Relacje istotne charakteryzuje niezawodność o wartości jeden, natomiast wspomagające mają niezawodność pomiędzy zerem a jednością.

Badając i porównując relacje istotne pomiędzy poszczególnymi strumieniami, należy zawrzeć kilka kryteriów, które dominują na ich oddziaływanie. Można tu wymienić następujące cechy tych relacji:

1. Ścisłość. System powinien być określony, aby było wiadomo, co do niego należy, a co nie należy. Określenie systemu może być nawet bardzo ogólne, ale nie może być ogólnikowe.

2. Niezmiennność. Określenie systemu powinno być niezmiennie w całym toku rozważań. Jest niedopuszczalne, żeby jakieś elementy były czasem traktowane jako należące do systemu, czasem zaś jako nienależące.

3. Zupełność. Podział systemu na podsystemy powinien być zupełny. Znaczy to, że system nie może zawierać elementów nienależących do żadnego z jego podsystemów.

4. Rozłączność. Podział na systemy powinien być rozłączny. Znaczy to, że system nie może zawierać elementów należących do kilku systemów na raz. Przynależność jakichś elementów do jednego systemu musi więc być równoznaczna z tym, że na pewno nie należą do żadnego innego systemu.

5. Funkcjonalność. Systemy powinny być wyodrębniane ze względu na spełniane funkcje, a nie ze względu na oddzielność przestrzenną.

Relacje istotne $P_{[0,tn]}^i$ są to skojarzenia takich elementów wymienionych poprzednio komponentów strumieni produkcyjnych, których współpraca w czasie normowym technologicznie $\tau = (0, t_n)$ jest realizowana z wartością prawdopodobieństwa bezodmownej pracy jako:

$$P_{[0,tn]}^i = 1 \quad (2)$$

Niezawodność relacji istotnych o wartości równej jedności postulujemy, opierając się na badaniach: systemu, doświadczenia, dorobku, tradycji i najnowszych, zweryfikowanych praktyką technologiczną i inną wiedzą z uwzględnieniem elementów innowacyjnych.

Niezawodność pewnej części relacji istotnych możemy określić bez badań. Wiedza wynika tu z doświadczenia. Określenie tych z relacji istotnych, które nie wymagają specjalnych badań, wymaga wyjątkowo wysokich kompetencji profesjonalnej kadry inżynierskiej.

Relacje wspomagające $P^W_{[0,tn]}$ zawierają wartości prawdopodobieństwa bezodmownej pracy relacji elementów skojarzonych strumieni produkcyjnych w czasie technologicznym $[0,tn]$ jako:

$$0 < P^W_{[0,tn]} < 1 \quad (3)$$

Relacje wspomagające mają mieć charakter częściowo niezbędny, zapewniający ciągłość pełnej funkcjonalności systemu. Stąd relacje wspomagające dotyczą takich skojarzeń komponentów strumieni technologicznych, których odmowa pracy spowoduje tylko pogorszenie funkcjonowania systemu.

Zakłada się, że odmowa taka nie wpłynie na pracę systemu jako całości.

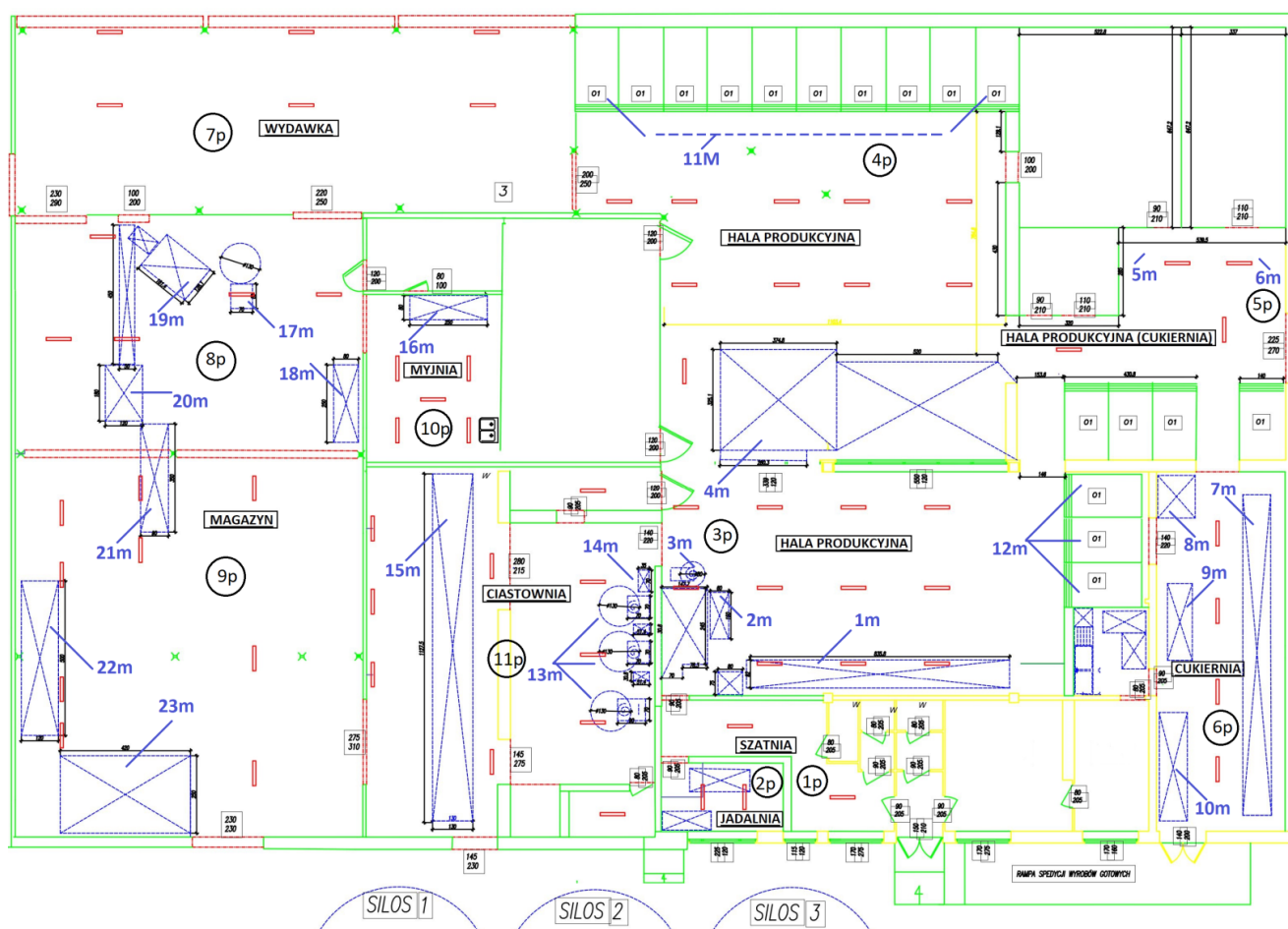
Zestaw pełnego zbioru relacji wspomagających systemu wymaga wysokich kwalifikacji personelu inżynierskiego.

5. ANALIZA NIEZAWODNOŚCI STRUMIENIOWO-SYSTEMOWEJ NA PRZYKŁADZIE PIEKARNI X, DZIAŁAJĄCEJ W RAMACH GRUPY MiMPBP

W celu ilustracji przydatności systemu obliczeń niezawodności strumieniowo-systemowej zakładu produkcyjnego poddano analizie piekarnię X, działającą w ramach grupy MiMPBP.

Analiza systemowa pokazała potrzebę wprowadzenia robotyzacji.

Schemat rozmieszczenia obiektów i hal produkcyjnych ilustruje przed robotyzacją – Rysunek 2 i po robotyzacji – Rysunek 3.



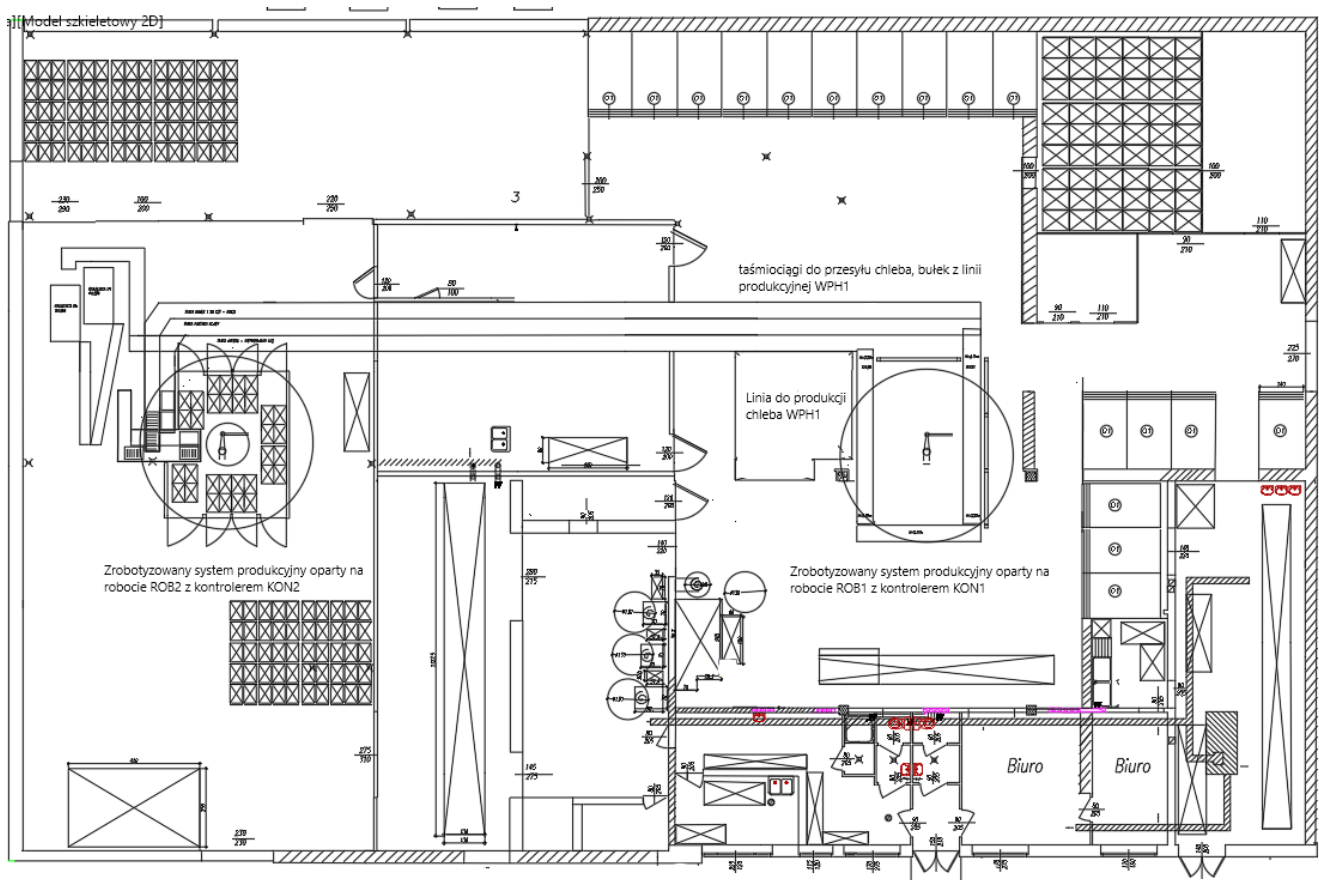
Rysunek 2 Schemat rozmieszczenia obiektów i hal produkcyjnych przed robotyzacją w piekarni X.

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań wykonanych w piekarni X

Tabela 1 Informacje do rysunku przedmiotowej piekarni X przed robotyzacją

Symbol	Pomieszczenie	Symbol	Maszyna
1p	Szatnia	1m	linia do butek
2p	Jadalnia	2m	stół roboczy
3p	hala produkcyjna 1	3m	miesiarka
4p	hala produkcyjna 2	4m	linia do chleba WPH1
5p	hala produkcyjna 3	5m	smażalnik
6p	Cukiernia	6m	pakowaczka
7p	Wydawka	7m	linia do laminacji wyrobów
8p	Magazyn 1	8m	ubijarka cukiernicza
9p	Magazyn 2	9m	stół roboczy
10p	Myjnia	10m	wałkownica do ciasta
11p	Ciastownia	11m	piecie termo-olejowe
		12m	piecie termo-olejowe
		13m	miesiarka
		14m	taboret gazowy
		15m	druga linia do chleba WPH2
		16m	stół roboczy
		17m	krajalnica do pieczywa
		18m	stół roboczy
		19m	krajalnica
		20m	krajalnica
		21m	klipsomat
		22m	chłodnia surowców
		23m	chłodnia surowców

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań wykonanych w piekarni X



Rysunek 3 Schemat rozmieszczenia obiektów i hal produkcyjnych po robotyzacji w piekarni X.

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań wykonanych w piekarni X

Struktura systemu produkcyjnego może czasami być objęta tajemnicą technologiczną.

W danym przypadku była wykonana szczegółowa specyfikacja technologiczna strumieni produkcyjnych.

Wybrane elementy pokazane są w tabelach nr 2, 3, 4, 5, 6.

Tabela 2 Elementy strumienia energii Φ_{iE} (fragment)

Oznaczenie	Numer elementu (I)	Nazwa komponentu	Rodzaj energii
Φ_{1E}	1	Miesiarka spiralna	mechaniczna
Φ_{2E}	2	Garownia	cieplna
Φ_{3E}	3	Piec termo-olejowy	gaz ziemny

Źródło: opracowanie własne

Tabela 3 Elementy strumienia masy Φ_{jM} (fragment)

Oznaczenie	Numer elementu (I)	Nazwa komponentu	Rodzaj materii
Φ_{1M}	1	Mąka pszenna chlebowa typ 750	środek sypki
Φ_{2M}	2	Woda	ciecz

Źródło: opracowanie własne

Tabela 4 Elementy strumienia informacji Φ_{kI} (fragment)

Oznaczenie	Numer elementu (I)	Nazwa komponentu	Rodzaj
Φ_{1I}	1	Instrukcja magazynowania składników	instrukcja
Φ_{2I}	2	Odmierzanie składników	pomiary

Źródło: opracowanie własne

Tabela 5 Elementy strumienia czasu Φ_{1T} (fragment)

Oznaczenie	Numer elementu (I)	Nazwa komponentu	Rodzaj
Φ_{1T}	1	Czas pracy silosa/ów	Czas technologiczny maszyny/maszyn
Φ_{2T}	2	Stygnięcie chleba	Czas technologii wyrobu

Źródło: opracowanie własne

Tabela 6 Elementy strumienia finansowego Φ_{mF} (fragment)

Oznaczenie	Numer elementu (m)	Nazwa komponentu	Rodzaj
Φ_{1F}	1	Koszty jednostkowe mąki	Koszty surowca
Φ_{2F}	2	Koszt eksploatacji garowni	Koszt eksploatacji maszyn

Źródło: opracowanie własne

Przykłady fragmentów strumieni odnoszą się do piekarni X, działającej w ramach grupy MiMPBP, przed i po robotyzacji.

Kolejno zastosowano tablice relacji istotnych i wspomagających.

Z badań wynika jednoznacznie, że w piekarni tradycyjnej ilość relacji istotnych wynosi $P^i = 1292$ i relacji wspomagających $P^w = 920$.

W piekarni zrobotyzowanej ilość relacji istotnych wynosi $P^i = 2756$ i relacji wspomagających $P^w = 573$.

Robotyzacja piekarni X zwiększyła ponad dwukrotnie ilość relacji istotnych.

Niezawodność strumieniowo-systemowa w piekarni tradycyjnej wynosi 58,41%.

$$P_{ss} = \frac{1292}{1292 + 920} = 0,5841$$

Niezawodność strumieniowo-systemowa w piekarni zrobotyzowanej ma wartość 82,79%.

$$P_{ss} = \frac{2756}{2756 + 573} = 0,8279$$

Robotyzacja piekarni istotnie podwyższa niezawodność procesu wypieku chleba i ma znaczący wpływ na podwyższenie efektywności produkcji i jakości wyrobów.

6. WNIOSKI

W pracy przedstawiono nową koncepcję niezawodności strumieniowo-systemowej (P_{ss}). Jest to wielkość skalarna, której wartość średnia zawiera się pomiędzy zerem a jednością.

Niezawodność strumieniowo-systemowa (P_{ss}) jest jedną z metryzowalnych wielkości operatora systemu \hat{O} działającego na strumieniu energii, materii, informacji, czasu i finansów.

Niezawodność strumieniowo-systemowa jest stosunkiem liczby niezawodności istotnych skojarzeń i relacji elementów systemu do sumy relacji istotnych i wspomagających.

Relacje istotne charakteryzuje niezawodność o wartości jeden, natomiast wspomagające mają niezawodność pomiędzy zerem a jednością.

Postuluje się znajomość relacji istotnych na podstawie ograniczonych badań, więcej zaś na doświadczeniu i wiedzy. Wymaga to zaawansowanych kwalifikacji kadry diagnozującej system produkcyjny.

Niezawodność strumieniowo-systemowa P_{ss} stanowi o stopniu bezdymnej pracy całości systemu technologicznego. Określenie P_{ss} w systemie dotyczy czasu normowego i nie wymaga dużych nakładów badawczych.

Struktura formy niezawodności strumieniowo-systemowej P_{ss} wykazuje drogi optymalizacji systemu względem jej wybranych efektywnych makrowskaźników. Struktura ta jednoznacznie potwierdza wzrost efektywności systemu na drodze powiększenia liczby relacji istotnych. Oznacza to wprowadzenie większej pewności bezodmownej pracy istotnych skojarzeń elementów strumieni, na przykład na drodze zastosowań robotów. Jest to jedna z dróg poprawienia innowacyjności procesów produkcyjnych. Przedstawiona w artykule analiza systemowa piekarni X działającej w ramach grupy MiMPBP,

oparta na strukturze wielkości P_{ss} , potwierdziła przydatność takiej „diagnostyki” do poprawienia efektywności procesu wypieku chleba. Stwierdzono tu jednoznacznie znaczący wzrost wielkości P_{ss} w piekarni z robotyzacją produkcji wypieku chleba. Przedmiotowy wzrost wielkości P_{ss} skutkuje też podwyższeniem jakości produktu. Pokazana struktura niezawodności strumieniowo-systemowej może być wykorzystana w dowolnych procesach technologicznych. Wymaga to szczegółowej analizy systemowej takich procesów.

LITERATURA

- [1] Kryszicki W., Bartos J., Dyczka W., Królikowska K., Wasilewski M., Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2019.
- [2] Migdalski J., Inżynieria niezawodności, Wyd. ATR Bydgoszcz i ZETOM Warszawa, 2018.
- [3] Plucińska A., Pluciński E., Probabilistyka. Rachunek prawdopodobieństwa. Statystyka matematyczna. Procesy stochastyczne, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2009.
- [4] Salamonowicz T. (red.), Metody badań przyczyn i skutków uszkodzeń. XXXIII Zimowa Szkoła Niezawodności, Wydawnictwo i Zakład Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2005.
- [5] Zdanowicz R., Modelowanie i symulacja procesów wytwarzania, Wydanie II, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.