

Niezawodność linii produkcyjnych

Aleksander Nicał, Elżbieta Szmigiera, Kostiantyn Protchenko, Krzysztof Kaczorek

1. Pojęcie ciągłości i intensywności w procesie produkcyjnym

Uzyskanie założonego poziomu wydajności produkcyjnej procesu produkcyjnego, a tym samym linii produkcyjnej, w stosunku do teoretycznej wydajności produkcyjnej wynikającej z przyjętych parametrów organizacyjnych zależy od poziomu niezawodności działania tego procesu [2]. W pierwszej kolejności konieczne jest zdefiniowanie pojęć ciągłości i intensywności w kontekście procesu produkcyjnego.

Ciągłość procesu produkcyjnego jest nieprzerwanym w czasie ciągiem działań produkcyjnych, w wyniku których uzyskuje się w jednostce czasu przewidywaną liczbę gotowych wyrobów [2]. Wszelkiego rodzaju przerwy stanowią o nieciągłości procesu produkcyjnego, przy czym nieciągłości mogą mieć charakter:

- planowany – dni wolne od pracy, okresy przeznaczone na konserwację linii produkcyjnej; uwzględnia się je przez zdefiniowanie efektywnego funduszu pracy w ciągu roku;
- losowy, wynikający z materializacji czynników zewnętrznych – brak dostaw materiałów i/lub półfabrykatów, przerwy w dostawie mediów, nieprzewidziane absencje załogi; poziom nieciągłości losowej można wyznaczyć statystycznie jako stosunek sumy czasu postojów losowych w ciągu roku do planowanego funduszu czasu pracy.

Opisany powyżej charakter przerw procesu produkcyjnego dotyczy linii produkcyjnych, gdyż są one miejscem, na których odbywa się prowadzenie tych procesów.

Przez pojęcie intensywności procesu produkcyjnego należy rozumieć stosunek realnie uzyskanej wydajności procesu w okresach pełnej jego ciągłości do wydajności teoretycznej, wyznaczonej na podstawie parametrów organizacyjnych [2]. Wśród czynników mogących wpływać na redukcję intensywności procesu produkcyjnego wymienić można m.in. niższą sprawność linii produkcyjnych oraz siły roboczej, niskiej jakości materiały i półprodukty. W zależności od założonego modelu organizacji procesu produkcyjnego zawodność linii produkcyjnej i całego procesu może być mniejsza lub większa. Wpływ powiązań podsystemów produkcyjnych wyraża się tak, że im ściślejsze powiązania, tym większa zawodność linii produkcyjnej [20]. Zależność ta obowiązuje także w odwrotną stronę: im układ maszyn i stanowisk produkcyjnych przyjmuje bardziej luźne powiązania, tym ryzyko zawodności jest mniejsze. Procesy produkcyjne zorganizowane według metody czynnościowo-stacjonarnej oraz przedmiotowo-stacjonarnej z luźnymi powiązaniem podsystemów produkcyjnych charakteryzować się będą na ogół dość niskim poziomem zawodności. Modele przedmiotowo-potokowe ze sztywnymi powiązaniem będą się natomiast odznaczać relatywnie wysokim poziomem

zawodności. Dobierając odpowiednią metodę produkcji, należy uwzględnić, że układy niezawodne są na ogół drogie w zakupie i tańsze w eksploatacji, układy o większym ryzyku zawodności są natomiast tańsze w zakupie, ale jednocześnie droższe w eksploatacji [4].

2. Pojęcie niezawodności, wskaźnika zdatności funkcyjnej

Interpretacji pojęcia zawodności procesu produkcyjnego można dokonać na podstawie prawdopodobieństwa tego, że proces nie będzie spełniał funkcji, do których został powołany, co dodatkowo będzie oznaczać prawdopodobieństwo strat [21]. Niezawodnością jest natomiast prawdopodobieństwo tego, że proces produkcyjny będzie spełniał funkcje, do których został powołany, co dodatkowo oznaczać będzie prawdopodobieństwo braku wystąpienia strat. Wartości poziomu niezawodności oraz zawodności mieszczą się w przedziale od 0 do 1. Ich wzajemna zależność jest zdefiniowana według wzoru:

$$N + Z = 1 \quad (1)$$

gdzie:

N – niezawodność linii produkcyjnej;

Z – zawodność linii produkcyjnej.

Powyższy wzór służy do analizy niezawodności działania linii produkcyjnej prefabrykatów budowlanych, jednak nie opisuje szczegółowo problemu awaryjności urządzeń wchodzących w skład linii produkcyjnej. W celu zdefiniowania poziomu awaryjności tych urządzeń wprowadzono wskaźnik zdatności funkcyjnej, obliczany według wzoru [5]:

$$P_d = \frac{T_p}{T_{hd}} \quad (2)$$

gdzie:

P_d – wskaźnik zdatności funkcyjnej;

T_p – rzeczywisty czas pracy urządzeń;

T_{hd} – planowany czas pracy urządzeń.

Wskaźnik ten wyraża niezawodność maszyny lub urządzenia wchodzącego w skład linii produkcyjnej.

3. Struktury niezawodnościowe

Układy techniczne, w tym linie produkcyjne do prefabrykatów w budownictwie, ze względu na strukturę niezawodnościową mogą być zorganizowane jako: szeregowo (rys. 1), równoległe (rys. 2) lub szeregowo-równoległe [22].

Obliczenie prawdopodobieństwa niewystąpienia uszkodzenia N_{ss} przed czasem t dla struktury szeregowej wykonuje się według wzoru [23]:

$$N_{ss} = N_1 \cdot N_2 \cdot N_3 \cdot N_4 \cdot N_5 \cdot N_6 \dots \cdot N_n \quad (3)$$

gdzie:

N_{ss} – prawdopodobieństwo niewystąpienia uszkodzenia w strukturze szeregowej;

$N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, \dots, N_n$ – prawdopodobieństwo niewystąpienia uszkodzenia dla kolejnych urządzeń.

W strukturze szeregowej usterka jednego urządzenia i/lub maszyny powoduje niezdatność do pracy całej linii złożonej z n urządzeń i/lub maszyn. W przeciwieństwie do struktury szeregowej struktura równoległa charakteryzuje się tym, że usterka jednego elementu nie powoduje niezdatności do pracy całej linii złożonej z n urządzeń i/lub maszyn [24].

Obliczenie prawdopodobieństwa niewystąpienia uszkodzenia N_{sr} przed czasem t dla struktury równoległej wykonuje się według wzoru [23]:

$$N_{sr} = 1 - (1 - N_1) \cdot (1 - N_2) \cdot (1 - N_3) \cdot (1 - N_4) \cdot \dots \cdot (1 - N_n) \quad (4)$$

gdzie:

N_{sr} – prawdopodobieństwo niewystąpienia uszkodzenia w strukturze równoległej.

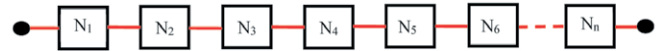
Przez odpowiednie, odniesione do rozpatrywanego modelu niezawodnościowego, przekształcenie powyższych wzorów wyznacza się niezawodność struktury szeregowo-równoległej [25].

4. Histogramy powstawania uszkodzeń i analiza niezawodności na przykładzie linii do produkcji sprężonych żerdzi wirowanych

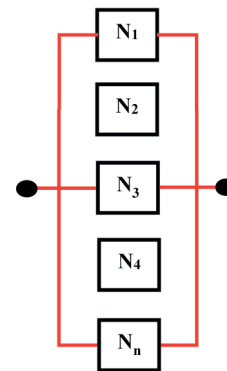
Obliczenie wskaźnika zdatności funkcyjnej poprzedza analiza występującej liczby zakłóceń i awarii maszyn oraz urządzeń. Gromadzenie tych danych następuje w funkcji czasu, na ogół przez kolejne miesiące w roku, a do ich zobrazowania służą histogramy. Kolejnym czynnikiem koniecznym do uwzględnienia jest czas wyłączenia urządzenia i maszyny z użycia, wyrażony na ogół w godzinach (tabela 1).

Tabela 1. Wykaz zakłóceń suwnicy na linii produkcyjnej strunobetonowych wirowanych żerdzi elektroenergetycznych

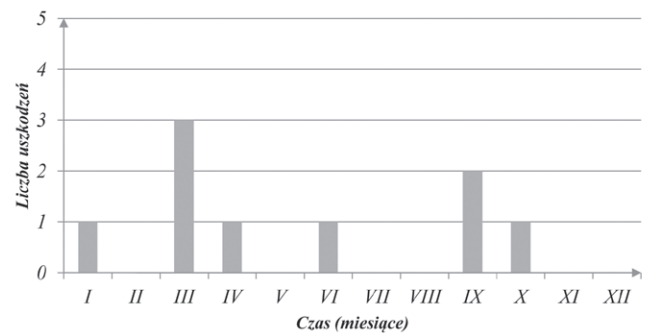
Nazwa linii	Linia potokowa do produkcji strunobetonowych wirowanych żerdzi elektroenergetycznych			Okres obserwacji	01.01.2020–31.12.2020
Lp.	Bezpośrednia przyczyna przestoju	Liczba przestojów	Liczba godzin przestoju	Wskaźnik zdatności funkcyjnej P_d	Uwagi
1	Awaria napędu pomostu	1	5,0	0,995	Usterki usunięte w wytwórni
2	Uszkodzenie kabla zasilającego	1	1,5		
3	Awaria układu jezdnego	1	2,5		



Rys. 1. Szeregową strukturą niezawodnościową



Rys. 2. Równoległą strukturą niezawodnościową

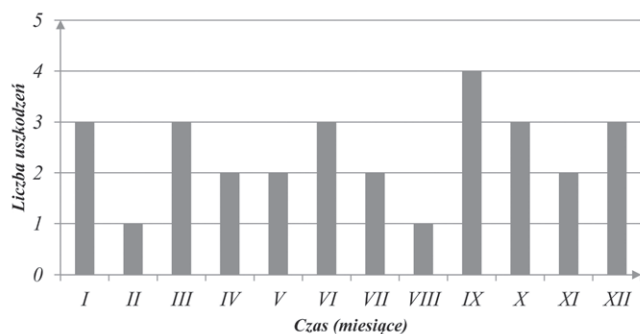


Rys. 3. Przykładowy histogram powstania uszkodzeń dla wirówki rolkowej

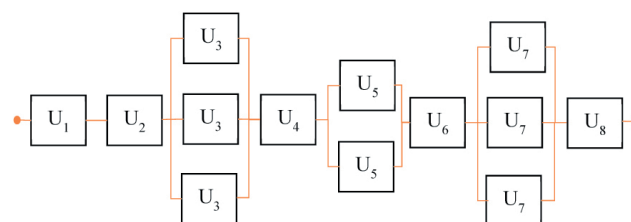
Przykład histogramu dla wybranego urządzenia produkcyjnego pokazano na rys. 3. Przykładowe zestawienie zbiorcze, stanowiące sumę algebraiczną ogółu uszkodzeń dla wszystkich maszyn w układzie technicznym linii produkcyjnej, przedstawia histogram na rys. 4. Wykaz przykładowych wskaźników zdatności funkcyjnej P_d dla pozostałych maszyn oraz wyznaczoną wartością niezawodności całego układu technicznego N_{ssr} przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wykaz wskaźników zdadności funkcyjnej i niezawodności dla linii produkcyjnej strunobetonowych wirowanych żerdzi elektroenergetycznych

Lp.	Nazwa maszyny na linii produkcyjnej	Oznaczenie maszyny na schemacie	Wskaźnik zdadności funkcyjnej P_d	Wskaźnik niezawodności linii produkcyjnej N_{srr}
1	Wózek transportowy z mieszanką betonową	U_1	0,995	0,976
2	Suwnica I	U_2	0,995	
3	Wirówka	U_3	0,991	
4	Przeznosnik rolkowy	U_4	0,994	
5	Zasilanie komór grzewczych	U_5	0,992	
6	Agregat chłodzący formy	U_6	0,997	
7	Agregat smarujący	U_7	0,990	
8	Suwnica II	U_8	0,995	



Rys. 4. Przykładowy histogram powstawania uszkodzeń dla linii produkcyjnej strunobetonowych żerdzi wirowanych



Rys. 5. Układ maszyn w strukturze szeregowo-równoległej linii produkcyjnej strunobetonowych wirowanych żerdzi elektroenergetycznych

Na podstawie danych zawartych w tabeli dobrano szeregowo-równoległy układ niezawodnościowy linii produkcyjnej. W przypadku urządzeń o najniższej wartości wskaźnika zdadności funkcyjnej P_d zdecydowano się na strukturę równoległą. W tym celu zostały zastosowane urządzenia rezerwowe (bliźniacze), tak aby awaryjność układu mogła być zminimalizowana. Optymalna struktura niezawodnościowa powinna być dobierana dla danej linii produkcyjnej ze względu na odmienny rodzaj i liczbę zastosowanych urządzeń. W tym celu należy m.in.:

- przeprowadzić analizę funkcjonalną elementów układu;
- zapoznać się z dokumentacją techniczno-ruchową maszyn, urządzeń i układu;
- przeprowadzić inwentaryzację z obserwacji pracy układu (dla układów istniejących);
- zrobić przegląd materiałów i kart informacyjnych zebranych od projektantów, producentów i użytkowników maszyn oraz urządzeń wchodzących w skład układu.

Korzystając z danych zawartych w tabeli 2, na rys. 5 przedstawiono układ maszyn dla przykładowej linii produkcyjnej strunobetonowych żerdzi wirowanych.

Niezawodność układu obliczona została na podstawie następującego wzoru:

$$N_{srr} = P_d^{U1} \cdot P_d^{U2} \cdot [1 - (1 - P_d^{U3})^3] \cdot P_d^{U4} \cdot [1 - (1 - P_d^{U5})^2] \cdot P_d^{U6} \cdot [1 - (1 - P_d^{U7})^3] \cdot P_d^{U8} \quad (5)$$

gdzie:

N_{srr} – prawdopodobieństwo niewystąpienia uszkodzenia w strukturze szeregowo-równoległej;

$P_d^{U1}, P_d^{U2} \dots P_d^{Un}$ – wskaźnik zdadności funkcyjnej kolejnych maszyn. ■

Bibliografia dostępna pod linkiem: nis.com.pl/bibliografia.html

Fragment pochodzi z książki: *BIM w prefabrykacji. Nowoczesne metody wspomaganie i automatyzacji*, Aleksander Nicał, Elżbieta Szmigiera, Kostiantyn Protchenko, Krzysztof Kaczorek, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2021