

Jacek MAZURKIEWICZ, Paweł SZEWCZYK, Tomasz MROCZKA
Wydział Organizacji i Zarządzania, Politechnika Śląska, Zabrze
Andrzej MAGNER, PHS 'Huta Florian', Świętochłowice

AWARYJNOŚĆ W CIĄGŁEJ LINII PRODUKCYJNEJ

Streszczenie. Opracowanie dotyczy analizy częstości występowania awarii w rzeczywistym ciągłym układzie urządzeń produkcyjnych, sposobu analizowania dla różnych rozkładów częstości i związanych z tym powodów powstawania awarii.

BREAKDOWN OF A PRODUCTION LINE WORKING CONTINUOUSLY

Summary. This paper describes results of an analysis of breakdown frequencies in a real set of production devices working continuously as well as the manner of analysis for different frequency distributions and the reasons of the arising breakdowns.

1. Wprowadzenie

Produkcja potokowa lub wielkoseryjna związana jest zazwyczaj z ciągłymi liniami produkcji. Układ współpracujących maszyn wykonujących kolejne operacje zajmuje mniej miejsca, wymaga mniejszego transportu półproduktu, mniejszej ilości magazynów międzyoperacyjnych, jest widowiskowy, szczególnie gdy z początku linii podawany jest surowiec, a na końcu otrzymujemy gotowy produkt. Ten piękny obraz psuje sprawność linii. Jeżeli sprawność pojedynczego urządzenia czy maszyny wynosi 90%, czyli jako prawdopodobieństwo - 0,90, a w linii pracuje np. 30 takich urządzeń, to sprawność linii wynosi $0,9^{30} = 0,042$, czyli 4%. Sprawność w tym przypadku może być rozumiana jako

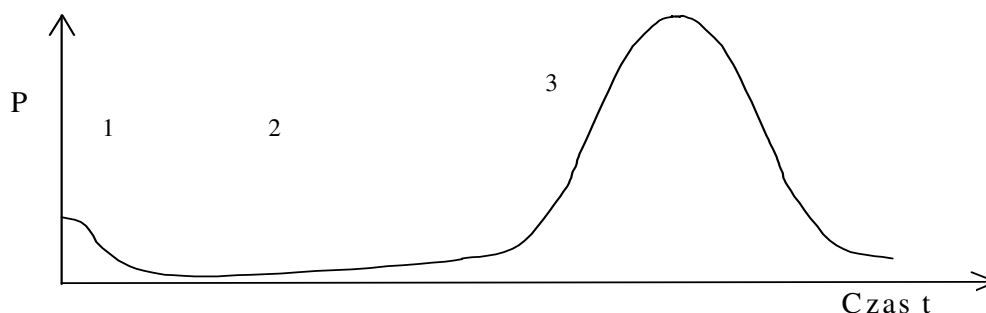
niezawodność, awaryjność, dokładność itp. Sposobem na tak małą sprawność układu jest wzrost sprawności pojedynczych urządzeń, np. 10-krotne zmniejszenie awaryjności daje efekt w postaci $0,99^{30} = 0,74$ sprawności linii. Oczywiście jest znaczne zwiększenie kosztów takich urządzeń.

Straty w tego typu liniach spowodowane są dodatkowo brakiem możliwości wyeliminowania materiału uszkodzonego w początkowych operacjach, np. podczas produkcji kręgów folii, taśm, czy tkanin, a ogólnie tam, gdzie występuje nieprzerwany ciąg materiału. Powstające wady mogą także być przyczyną awarii dalszych urządzeń. Awarie powodują więc wady, a wady mogą doprowadzić do dalszych awarii. Taki związek powoduje jeszcze mniejszą niż powyżej wyliczona sprawność linii. Podobne zaburzenia w produkcji występują podczas planowego zatrzymania czy uruchamiania linii. Długość wstęgi materiału w badanej linii produkcyjnej wynosi ok. 400 m, a co najmniej 2-,3-krotna długość jest potrzebna do ustabilizowania parametrów pracy po uruchomieniu. Należy zatem przejść na jak najkrótsze linie produkcyjne rozdzielone punktami kontrolnymi, magazynami międzyoperacyjnymi, które są stabilizatorami tempa produkcji, a także miejscami eliminacji wadliwej produkcji. W takich liniach nie następuje kumulowanie awarii, awarie są wcześniej wykrywane, nie powodują zatrzymania reszty linii, a wadliwy materiał nie podlega dalszej przeróbce i nie stwarza potencjalnego zagrożenia uszkodzenia innych urządzeń. Prawdopodobieństwo wystąpienia awarii zależne jest od wielu przyczyn zarówno ludzkich, jak i maszynowych, choć jedne jak i drugie są płycej lub głębiej związane z błędami popełnianymi przez pracownika obsługującego urządzenia, konstruktora czy wykonawcę. Prawdopodobieństwo wystąpienia awarii nie jest stałe i zmienia się z czasem eksploatacji. W początkowym okresie występuje zwiększona awaryjność spowodowana brakiem umiejętności pracownika montującego lub naprawiającego urządzenie, ale także zwiększona liczba kontroli rozpraszająca uwagę pracownika oraz zbytnia biurokracja odrywająca od zasadniczej pracy, która może być również tego przyczyną. Oczywiście, przyczyn może być więcej, a ich natura bardziej złożona. Tak powstałe wady są zazwyczaj bardzo istotne w pracy urządzenia i ujawniają się w początkowym okresie eksploatacji. Po tym okresie mamy do czynienia z najbardziej ustabilizowaną pracą urządzenia, trwającą aż do początków naturalnego wyeksploatowania. Z praktyki wiadomo, że w okresie naturalnego wyeksploatowania rozkład awaryjności jest zbliżony do rozkładu normalnego i zależny jest od dotychczasowej eksploatacji urządzenia i jednostkowych cech konstrukcyjno-wykonawczych. Rysunek 1 schematycznie przedstawia model zmiany gęstości prawdopodobieństwa powstania awarii w czasie eksploatacji urządzenia. Podobne zmiany awaryjności można obserwować w odniesieniu do ilości wykonanych wyrobów. Rozkład

analogiczny do poniższego otrzymamy badając okresy międzyawaryjne, międzynaprawcze urządzeń przemysłowych.

Analizowany model rozkładu awarii (rys. 1) kolejno uwzględnia:

1. awarie początkowe wynikłe ze źle wykonanej naprawy,
2. ustalony poziom awarii wynikłych głównie z czynników zewnętrznych,
3. wzrastający efekt oddziaływania średniej trwałości urządzenia.



Rys. 1 Model gęstości prawdopodobieństwa wystąpienia awarii.
Fig. 1. Density of probability distribution of breakdown; model.

2. Cel, zakres i baza pracy

Celem pracy było określenie przyczyn powstawania awarii, opierając się na analizie częstości ich występowania.

Opracowanie wykonano na podstawie analizy całorocznych wyników trójzmiannowej produkcji w linii ciągłej. Produkcja jest zasadniczo jednorodna, wykonywana bez większych zmian technologii od kilkunastu lat, nie licząc unowocześniania maszyn i wymiany na nowsze. Linia produkcyjna jest nowoczesna, jednak ze względu na swoją długość awarie mają bardzo istotne znaczenie. Zatrzymanie linii powoduje uszkodzenie produkcji będącej w toku, podobnie jest z jej uruchomieniem. Uwzględniając życzenie właścicieli linii, autorzy nie mogą ujawniać więcej danych na jej temat.

W pracy ograniczono się do oceny wyników badań awaryjności jednej dostępnej linii bez ambicji doskonalenia uogólnień w oparciu o poszerzoną analizę literaturową.

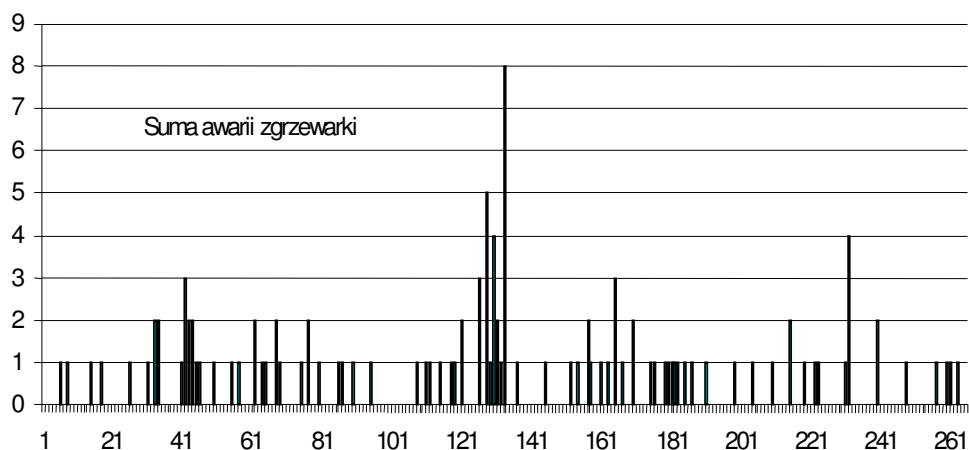
3. Omówienie wyników

Wielkość produkcji jest zależna od istniejących i przewidywanych zamówień, tak więc produkcja nie jest stała, a odpowiednie planowanie czasu remontów, pojedynczych napraw, czy koniecznych przestojów jest bardzo istotnym czynnikiem, kształtującym koszty. W badanym roku linia pracowała przez 265 dni, w tym liczba dni z awariami wynosiła 79. Analizowane awarie dotyczą tylko jednego z elementów badanej linii. Ocenę produkcji wykonano wybierając okresy o pełnych cyklach, a za najkrótszy przyjęto dobę. W rozpatrywanym przypadku kontrola końcowa jest wykonywana na bieżąco, co eliminuje błędy wynikłe z różnicy pomiędzy czasem produkcji i kontroli.

3.1. Częstość awarii

W odniesieniu do dni, w których linia pracowała, rozkład awarii przedstawiono na rys.2.

Widoczna duża liczba awarii występujących dzień po dniu lub w bardzo krótkich okresach czasu świadczy o małej efektywności pracy urządzenia. Jeszcze bardziej niebezpiecznym zjawiskiem są awarie powtarzające się kilkakrotnie w tym samym dniu. Porównując przewidywany rozkład prawdopodobieństwa awarii, rys.1, z rzeczywistą częstością ich występowania, rys.2, nie zauważa się żadnego podobieństwa. Szczególnie zaskakujący jest braku cykliczności, taktowany postojów i napraw.



Rysunek 2 Rozkład liczby awarii w badanym roku w funkcji kolejnego dnia pracy linii.

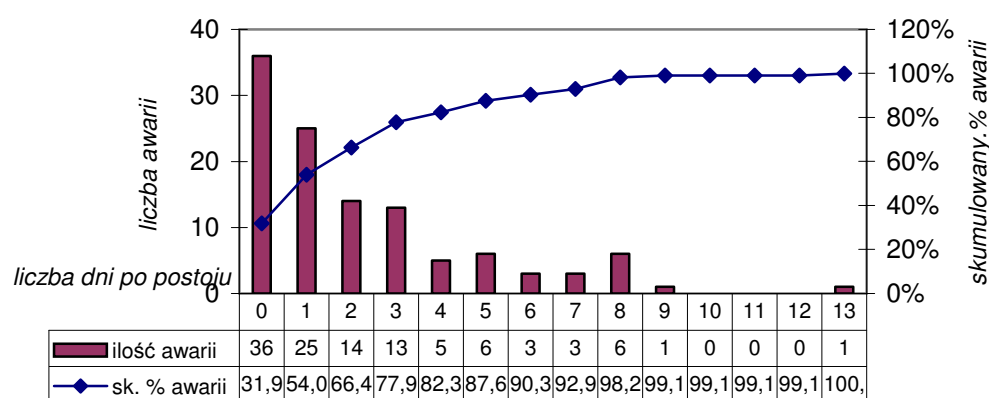
Fig. 2. Distribution of breakdown in function days of work

Przyczyny takiego rozkładu awarii mogą być różnorodne. Awarie powtarzające się w krótkich okresach czasu świadczą o niewłaściwie przeprowadzonej naprawie, źle dokonanej diagnostyce przyczyn czy niewłaściwie wykonanym przeglądzie urządzenia przed ponownym uruchomieniem. Prawdopodobieństwo wystąpienia co najmniej jednej awarii w wybranym dniu wynosi $79/265=0,30$. Gdy wystąpi ich więcej niż jedna, prawdopodobieństwo takiego

zdarzenia powinno być dużo mniejsze, a jeżeli zdarzenia są niezależne, to prawdopodobieństwo dwóch zdarzeń jest ich iloczynem i powinno wynosić 0,09.

W celu lepszego zobrazowania prawdopodobieństwa wystąpienia dalszych awarii w tym samym i następnym dniach, wykonano wykres ilości awarii w kolejnych dniach po naprawie pierwszej z nich - rys.3. Wykres ten prezentuje także skumulowane prawdopodobieństwo wystąpienia awarii do wybranego dnia licząc od poprzedniego postoju.

Prawdopodobieństwo ponownego wystąpienia awarii jest największe w dniu, w którym ją usunięto. Wynosi ono 36%, a łącznie z następnym dniem wynosi 54%, zaś po 5 dniach osiąga 90%. Tak duża awaryjność świadczy o znacznej ilości błędów popełnianych przy usuwaniu awarii.



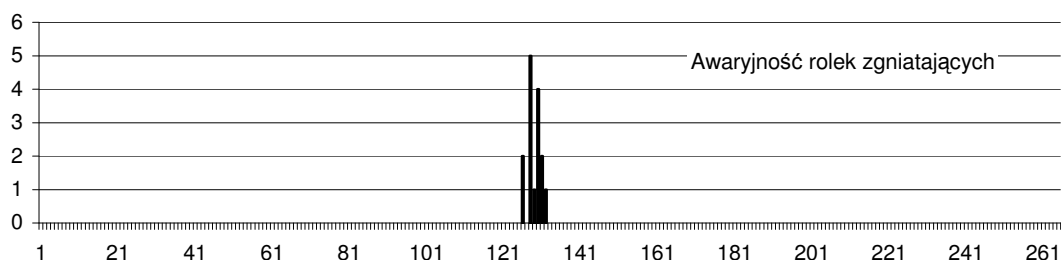
Rys. 3. Rzeczywista częstość awarii od czasowej odległości pomiędzy nimi.

Fig. 3. Real frequency of breakdown from temporary distance among them

Wymagana jest więc naprawa poprzednio wykonanej naprawy w celu usunięcia rzeczywistej przyczyny postoju, czyli dotyczy to etapu 1 z modelu występowania awarii, rys1.

3.2. Podział awarii

Rozkład awarii z rys. 2 jest w pełni losowy, co jest spowodowane awariami różnych podzespołów tego samego urządzenia. Analiza awarii ze względu na rodzaj podzespołu uwidocznia to dobitniej. W tym celu podzielono awarie na grupy dotyczące tych samych mechanizmów. Podział przyjęto zgodnie ze stosowanym w zakładzie opisem awarii. Wykonano przykładowe wykresy częstości awarii dla tak dokonanego podziału. Wyniki zaprezentowano na rysunkach nr 4-7. Wykresy wykonano we współrzędnych: oś pionowa - liczba awarii, oś pozioma - nr dnia pracy linii.



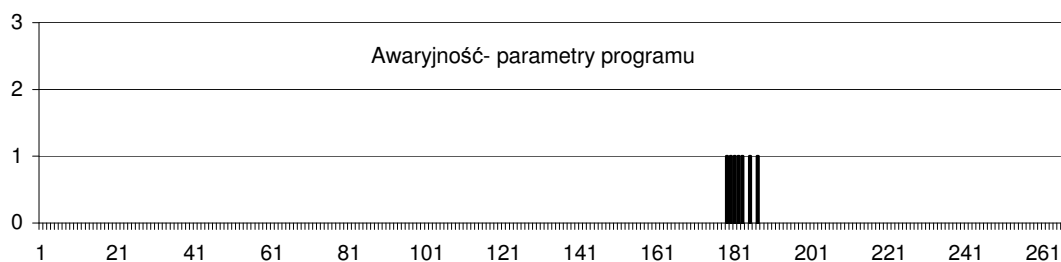
Rys. 4. Kolejno występujące awarie na przykładzie rolek zgniatających.

Fig. 4. Distribution of breakdown on example of drafting rolls.

Wykresy z rysunków 4 - 7 podzielono na trzy następujące grupy (ze względu na charakter i, jak się sądzi, związane z tym wnioskuje o przyczynach awarii):

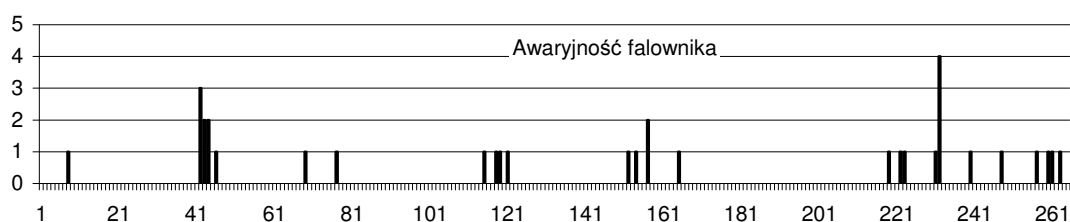
1. Wykresy, na których występuje w ciągu jednego dnia lub dzień po dniu ten sam rodzaj awarii, rys. 4.

Występujące kolejno po sobie tego samego typu awarie świadczą o całkowicie źle wykonanej naprawie lub, co jest bardziej prawdopodobne, źle postawionej diagnozie przyczyn awarii. W efekcie, po uruchomieniu następuje bardzo krótki okres pracy urządzenia. Tego typu awarie są usuwane na zasadzie prób i błędów, stąd znaczna ich liczba, a znalezienie faktycznej przyczyny awarii owocuje końcową naprawą, po której następuje długi okres bezawaryjnej pracy.



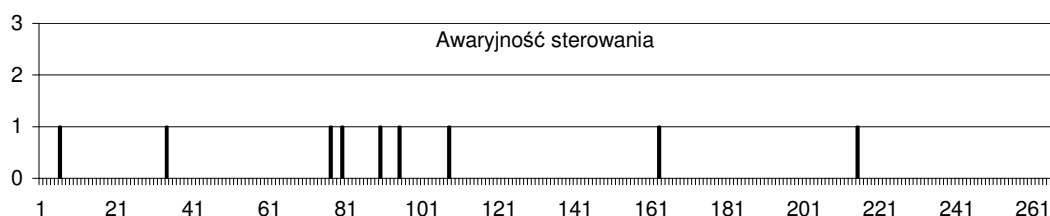
Rys. 5. Kolejno występujące awarie na przykładzie złych parametrów pracy programu.

Fig. 5. Distribution of breakdown on example of bad introduced data to program



Rys. 6. Kilka grup powtarzających się awarii na przykładzie falownika.

Fig. 6. Groups of multiple breakdowns



Rys. 7. Losowo powstające awarie na przykładzie sterowania.

Fig. 7. Random breakdowns

Tego typu awarie stanowią 49% wszystkich awarii. Ich eliminacja jest w znacznym stopniu możliwa, wprowadzając zasady szkolenia w oparciu o nabyte doświadczenie podczas pracy. Tego typu awarie stanowią 49% wszystkich awarii. Ich eliminacja jest w znacznym stopniu możliwa po wprowadzeniu zasady szkolenia w oparciu o nabyte doświadczenie podczas poprzednich napraw. Niezbędne jest w tym celu stworzenie katalogu awarii z ich objawami oraz sposobami diagnozowania, a także z elementami niezbędnymi do poprawnego wykonania remontów oraz ustalenia ich zakresu i terminów.

2. Wykresy, na których awarie tworzą kilka grup o odstępach małych wewnątrz grup i dużych pomiędzy grupami, rys. 5 i 6.

Awarie występujące w grupach rozciągniętych w czasie świadczą o długotrwałych kłopotach z wykryciem rzeczywistych przyczyn. Grupa ta stanowi 46% wszystkich awarii. Stosowane różnego typu środki naprawcze przedłużają okresy międzyawaryjne, ale dopiero ostatnia końcowa naprawa zapewnia dłuższy okres bezawaryjnej pracy. W obu powyższych grupach określanie przyczyn ma w znacznym stopniu charakter losowy. Widoczny wtedy staje się

brak efektywności diagnozowania i napraw. W tym także przypadku stworzenie katalogu awarii z objawami i sposobami naprawy oraz szkolenie grup utrzymania ruchu zasadniczo zmniejszyłoby częstość powstawania awarii.

3. Wykresy, na których awarie powtarzają się, lecz odstęp pomiędzy nimi jest na tyle duży i różny, że rozkład ich można ocenić jako losowy, rys. 7.

Trzecia grupa awarii jest najlepiej poznana, a występujące awarie na ogół poprawnie diagnozowane i naprawiane, bo dokonywane naprawy nie wymagają poprawek, a straty z tego typu przestojów są najmniejsze, gdyż awarie te stanowią 5% wszystkich awarii.

W praktyce, mogą często występować także przypadki mieszane, które wymagają indywidualnego przyporządkowania do prezentowanych grup.

4. Podsumowanie

Powstawanie wad jest ściśle związane z awaryjnością urządzeń produkcyjnych. Zarządzanie jakością w bardzo małym stopniu wprowadza elementy zarządzania tymi zdarzeniami. Szczególnie dla produkcyjnej linii ciągłej jest to niezbędny element.

W tym przypadku obserwacje częstości awarii dla badanej linii ciągłej wykazywały rozkład normalny, co w większości przypadków w analizach wadliwości traktowane jest jako procesy pod kontrolą. Jednak tak rozumiany rozkład normalny nie powinien usprawiedliwiać braku dalszych poszukiwań. Zgodnie z powyższym zastosowano rozbicie awarii na rodzaje, co zburzyło hipotezę o procesach pod kontrolą. Wtedy dopiero zauważono istotne różnice pomiędzy rozkładami poszczególnych rodzajów awarii. W badanym przykładzie awarie podzielono na grupy o podobnym rozkładzie, co, jak sądzi się, może wiązać się z podobnymi przyczynami ich powstawania. W większości awarie występowały seriami z bardzo krótkimi przerwami na normalną produkcję. W efekcie, w krótkim czasie po uruchomieniu następowało ponowne zatrzymanie i kolejna naprawa, tym razem poprzedniej naprawy. Taka kolejność zdarzeń jest typowa dla pierwszego etapu rozkładu prawdopodobieństwa awarii i wskazuje na źle wykonaną naprawę. Przyjęto zatem interpretację przyczyn awarii związaną z brakiem metodologii w tym zakresie, wynikłym także z braku dokładnego opisu lub kodowania awarii, ich symptomów i sposobów naprawy. Awarie o takim podłożu stanowią 95% wszystkich awarii badanej linii ciągłej i dzielą się następująco: 49% - awarie tego samego typu występujące jedna po drugiej oraz 46% - awarie występujące w grupach po kilka rozdzielone krótkimi okresami bezawaryjnej pracy. Pozostałe 5% uznano w niniejszych rozważaniach za awarie losowe dobrze rozeznane i poprawnie naprawiane. Są to awarie powstające rzadko i po jednokrotnej naprawie nie powtarzają się przez dłuższy okres czasu.

Abstract

Breakdown of a production device causes defects in the manufactured product. The analysis and management of breakdowns is particularly important in case of a continuously working production line. In this paper results of breakdown frequencies of a production line were analyzed. The experimentally observed breakdown events were separated into the three following groups:

1. identical breakdown events occurring in a short period of time,
2. breakdowns grouped with large time distances between the groups and short ones within the groups,
3. breakdowns of different frequencies and large time distances between them.

Breakdowns of the first group appear in 49% of cases while the second group contributes additional 46% of breakdowns. Thus, 95% of all noticed breakdowns should be managed by analyzing the true causes of their appearance and taking advantage of past experiences by the maintenance personnel. Only 5 % of breakdown events could be considered as appearing incidentally with a normal distribution of frequencies.