

ANALIZA NIEZAWODNOŚCI WYBRANYCH MASZYN I URZĄDZEŃ W LINII ROZLEWNICZEJ PIWA*

*Monika Kamila Gorbacewicz, Elżbieta Skorupska
Zakład Techniki Ciepłej i Chłodnictwa, Politechnika Białostocka*

Streszczenie. Celem pracy była analiza niezawodności linii rozlewniczej do piwa firmy KRONES. Linię tworzy trzydzieści jeden urządzeń. Na podstawie badań awaryjności linii w latach 2006–2009 wyznaczono wskaźniki niezawodności dla monobloku, etykietarki i myjarki butelek. Przebieg wartości wskaźników niezawodności: współczynnik awaryjności, parametr strumienia uszkodzeń linii, średni czas postoju linii wskutek uszkodzeń, średni czas postoju linii między uszkodzeniami, współczynnik postoju linii, współczynnik gotowości linii – przedstawiono graficznie. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że najsłabszym ogniwem linii jest monoblok. Ponadto dokonano analizy i sporządzono drzewa błędów monobloku, etykietarki i myjarki butelek, co pozwala na otrzymanie minimalnych kombinacji zdarzeń pierwotnych, prowadzących do zajścia zdarzenia wierzchołkowego. Sporządzone drzewa błędów umożliwiają szybsze ustalenie przyczyn stanów niezdatności, co pozwala na skrócenie czasów postoju urządzenia i zwiększenie rzeczywistej zdolności przerobowej urządzenia.

Słowa kluczowe: obsługa, awaryjność, linia produkcyjna piwa, słabe ogniwo

Wprowadzenie

Analizy niezawodności dokonano w wielu gałęziach przemysłu spożywczego. Niezawodność obiektu technicznego jest to własność obiektu do zachowania zdolności do wykonywania określonych funkcji, w określonych warunkach i w określonym przedziale czasu (PN-N-50191:1993).

Istotne informacje o podnoszeniu bezpieczeństwa i niezawodności linii są przydatne przy analizie niezawodności urządzeń (Lewandowski i in., 1989). Przy badaniu niezawodności konieczne jest zastosowanie metod statystycznych w celu analizy miary niezawodności (Walanus, 2000). Analizując niezawodność urządzeń, spotykamy się z problemem za-

* Pracę wykonano w ramach pracy własnej Politechniki Białostockiej nr MB/WM/4/2012

urządzenia utrzymania ruchu linii produkcyjnej w przemyśle spożywczym (Rewolińska i in., 2008). Warto podkreślić, że obszar utrzymania ruchu jest ważny w całym przedsiębiorstwie produkcyjnym (Legutko, 2009). W 2011 roku przedstawiono budowę i wyniki badań awaryjności linii do formowania kęsów ciasta chlebowego (Jankowiak, 2011). Komputerowa analiza niezawodności, jak również optymalizacja odpornościowa zaczynają być stosowane nawet w zagadnieniach dotyczących projektowania konstrukcji samochodowych czy też w procesach głębokiego tłoczenia blach. Ciekawą, filozoficzną argumentację wyjaśniającą zalety sformułowania optymalizacji odpornościowej w stosunku do optymalizacji niezawodnościowej przedstawił Hurtado (2008). Za pierwszy ważny krok w kierunku współczesnych metod komputerowej analizy niezawodności konstrukcji należy uznać pracę Hasofera i Linda (1974). Zawarto w niej koncepcję lokalizacji tzw. punktu projektowego, to jest takiej realizacji zmiennych losowych z obszaru awarii, której odpowiada największa wartość funkcji gęstości prawdopodobieństwa. Linearyzacja funkcji granicznej w punkcie projektowym pozwalała otrzymać miarę niezawodności, która jest niezmiennicza ze względu na równoważne sformułowania warunku granicznego. Jest to tzw. wskaźnik niezawodności Hasofera-Linda. Ideę wskaźnika Hasofera-Linda wykorzystali w 1978 roku Rackwitz i Fiessler (Rackwitz, 1978). W pracy (Hohenbichler i Rackwitz, 1981) autorzy zaproponowali wykorzystanie w analizie niezawodności transformacji Rosenblatta (Rosenblatt, 1952) w celu transformacji zależnych zmiennych losowych do przestrzeni standardowej.

Przemysł spożywczy w Polsce w minionych latach podlegał bardzo dużej przemianie i unowocześnieniu. Wprowadzono złożone różnego rodzaju procesy produkcyjne i urządzenia. Dlatego też bardzo często niewielkie uszkodzenie wpływa na pogorszenie jakości, a nawet dyskwalifikację produktu, co powoduje duże straty finansowe. Nakłada to obowiązek zachowania wysokich parametrów niezawodności maszyn i urządzeń stosowanych w przemyśle spożywczym.

Podjęcie tej pracy wynika z konieczności posiadania wiarygodnego narzędzia do określania przyczyn stanów niezdatności maszyn linii rozlewniczych. Dogłębna analiza stanów niezdatności pozwoli na opracowanie wyników, które umożliwią poprawę funkcjonowania linii rozlewniczej, a przede wszystkim – zwiększenie jej wydajności i obniżenie kosztów eksploatacyjnych.

Cel i zakres pracy

Celem badań było wskazanie najbardziej awaryjnych maszyn w linii produkcyjnej piwa oraz ich podzespołów i części. Umożliwia to budowę optymalnego systemu utrzymania ruchu. Zakres pracy obejmuje analizę słabych ogniw w linii rozlewniczej piwa butelkowego poprzez wyznaczenie zależności współczynników niezawodności wybranych urządzeń (monobloku, myjarki butelek i etykieciarki) oraz analizę niezawodności z wykorzystaniem drzewa błędów.

Metodyka badań niezawodności linii do produkcji piwa

Badaniami objęto linię produkcyjną do piwa eksploatowaną od kwietnia 2006 r. do grudnia 2009 r. Przez okres przeprowadzanych badań linia pracowała siedem dni w tygodniu w systemie zmianowym.

Podstawowym źródłem informacji dotyczących awarii były karty serwisowe, karty pracy maszyny, karty analizy niezawodności, a także bezpośredni kontakt z serwisantem i obsługą linii. Uzyskane informacje dotyczą nazwy uszkodzonej maszyny w danej linii, rodzaju uszkodzenia, przebiegu odczytanego z licznika danej maszyny (liczba cykli), po którym wystąpiła awaria, daty jej wystąpienia, sposobu naprawy i czasu postoju linii. Na podstawie uzyskanych danych dla linii do produkcji piwa określono wskaźniki niezawodności i słabe ogniwa dla wybranych urządzeń: monobloku, myjarki butelek i etykieciarki.

Wskaźniki niezawodności

Za wskaźniki niezawodności badanych linii rozlewniczych przyjęto następujące wielkości (Paska i in., 2000; Migdalski, 1982; Rewolińska i in., 2008):

1. **Współczynnik awaryjności k_a** określa ilość awarii, jakie wystąpiły w trakcie eksploatacji urządzenia.

$$k_a = \frac{n_a}{N_o} \quad (1)$$

gdzie:

- N_a – liczba uszkodzonych obiektów linii,
- N_o – liczba obiektów tworzących linię.

2. **Parametr strumienia uszkodzeń linii ω** (lub intensywność uszkodzeń oznaczana jako $\lambda(t)$) określa prawdopodobieństwo uszkodzenia obiektu w przedziale czasu $(t, t+\Delta t)$ niezależnie od tego, czy w momencie t obiekt był sprawdzony czy też nie.

$$\omega = \frac{n_u}{N_o} \quad (2)$$

gdzie:

- n_u – liczba uszkodzeń wszystkich obiektów w linii.

3. **Średni czas postoju linii wskutek uszkodzeń $T_{p\acute{s}r}$ (s)** określa czas postoju obiektu.

$$T_{p\acute{s}r} = \frac{\sum t_{pi}}{n_u} \quad (s) \quad (3)$$

gdzie:

- t_{pi} – czas postoju linii wskutek i-tego uszkodzenia (s),

4. **Średni czas pracy linii między uszkodzeniami T_{rsr}** (s) jest wartością oczekiwaną zmiennej losowej T_{rsr} , określającej czas pracy obiektu między dwoma kolejnymi uszkodzeniami. Średni czas bezawaryjnej pracy jest więc określony wzorem:

$$T_{rsr} = \frac{T_c - \sum t_{pi}}{n_u} \quad (\text{s}) \quad (4)$$

gdzie:

T_c – czas eksploatacji linii (s),

5. **Współczynnik postoju linii k_p**

$$k_p = \frac{\sum t_{pi}}{T_c} \cdot 100 \quad (\%) \quad (5)$$

6. **Współczynnik gotowości linii k_g** , będący jednym z podstawowych wskaźników niezawodności, jest określany jako prawdopodobieństwo, że obiekt (system, podsystem) będzie w stanie sprawności w dowolnym momencie czasu t w przyjętym modelu niezawodności. W praktyce wskaźnik ten oznacza probabilistyczną ocenę dyspozycyjności obiektu, systemu bądź podsystemu w zakresie wykonywania danego zadania. Stacjonarna postać tego wskaźnika jest wyrażona wzorem:

$$k_g = \frac{T_c - \sum t_{pi}}{T_c} \cdot 100 \quad (\%) \quad (6)$$

Analiza uszkodzalności obiektów w linii do produkcji piwa

Wpływ poszczególnych obiektów wchodzących w skład linii produkującej piwo na jej awaryjność można ocenić na podstawie liczby uszkodzeń i czasu postojów obiektów, które one spowodowały.

Na podstawie obliczonych wskaźników niezawodności można wytypować słabe ogniwa, a więc obiekty, które:

- najczęściej ulegają uszkodzeniom,
- są przyczyną najdłuższych postojów.

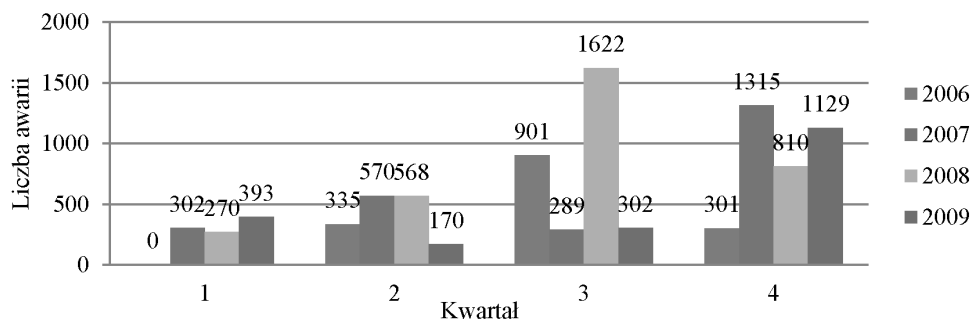
Za słabe ogniwo uznaje się taki obiekt, który spełnia następujące kryteria:

- ulega dwóm i więcej uszkodzeniom w przeliczeniu na czas pracy linii,
- udział czasu postoju linii z jego powodu wynosi co najmniej 10%.

Analiza słabych ogniw

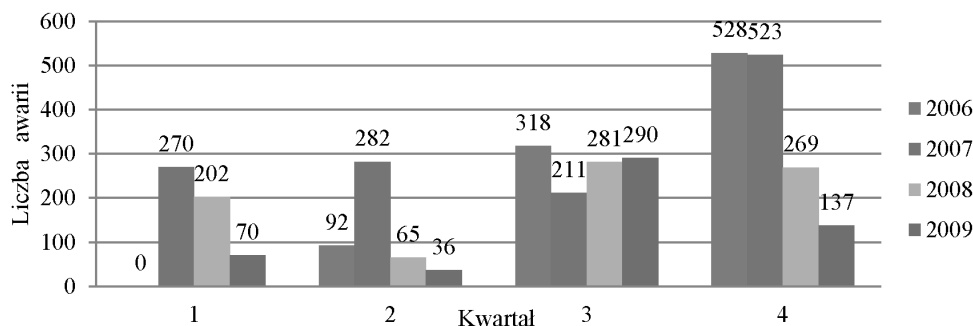
Na podstawie zebranych danych z kart pracy dla urządzeń wchodzących w skład linii produkcyjnej piwa Firmy KRONES dokonano porównania awarii urządzeń w latach 2006–2009. Na podstawie analizy ilości awarii powstałych w monobloku (rys. 1) stwierdzono wyraźny wzrost awarii urządzeń linii rozlewniczej w trzecim i czwartym kwartale. Wzrost

awarii w trzecim kwartale spowodowany jest tym, iż w tymże okresie linia rozlewnicza piwa produkuje bardzo dużą ilość piwa. W czwartym kwartale ilość awarii wzrasta w związku z tym, iż jest to okres napraw po intensywnym i wzmożonym okresie produkcji produktu, jakim w browarze jest okres letni. Rokiem krytycznym dla monobloku był rok 2008.



Rysunek 1. Liczba awarii powstałych w monobloku w latach 2006–2009
 Figure 1. Number of failures which occurred in the monoblock in 2006–2009

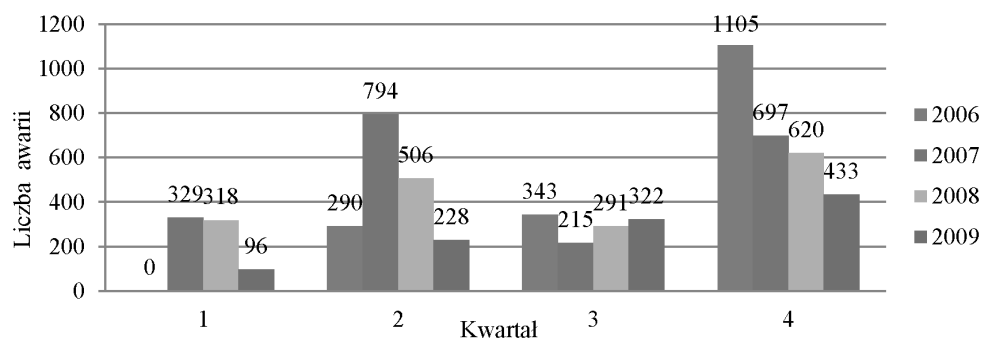
Na podstawie analizy ilości awarii myjarki (rys. 2) stwierdzono, iż najwięcej awarii w latach 2006–2009 stwierdzono w trzecim i czwartym kwartale roku. Najbardziej awaryjnym rokiem dla myjarki butelek był rok 2007. Wzrost awarii urządzeń podczas pracy linii wpływa na częste postoje linii rozlewniczej, co pociąga za sobą straty finansowe i eksploatacyjne.



Rysunek 2. Liczba awarii powstałych w myjarce butelek w latach 2006–2009
 Figure 2. Number of failures which occurred in the bottle washer in 2006–2009

Na podstawie analizy wykresu przedstawiającego ilość awarii powstałych w etykieciarence (rys. 3) stwierdzono, iż etykieciarka najbardziej zawodziła linię produkującą piwo w roku 2007; w czwartym kwartale każdego roku zauważalny jest wzrost awaryjności urządzenia. Gotowość etykieciarki do pracy waha się w granicach 96–97 %. Wzrost awarii

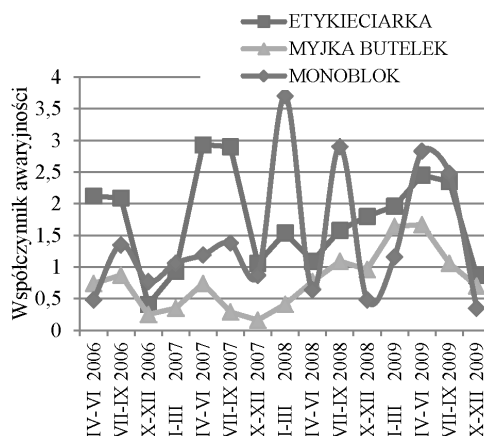
w czwartym kwartale w latach 2006–2009 spowodowany jest tym, iż w okresie letnim urządzenia linii rozlewniczej pracują w dużym natężeniu ruchu, co powoduje, że maszyny po tym okresie ulegają częstszym awariom niż w innych kwartałach.



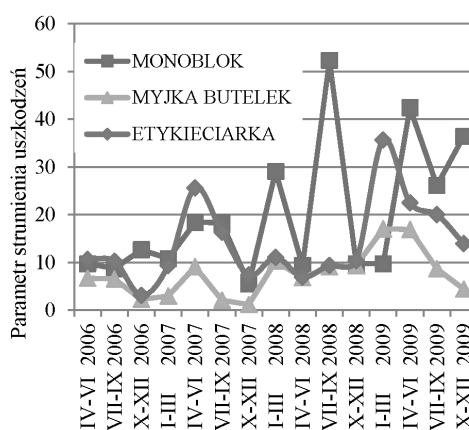
Rysunek 3. Liczba awarii powstałych w etykielarce w latach 2006–2009
 Figure 3. Number of failures which occurred in the labelling machine in 2006–2009

Analiza niezawodności wybranych urządzeń

Na podstawie otrzymanych wyników wskaźników niezawodności dokonano analizy niezawodności, obrazując to na wykresach (rys. 4–9).



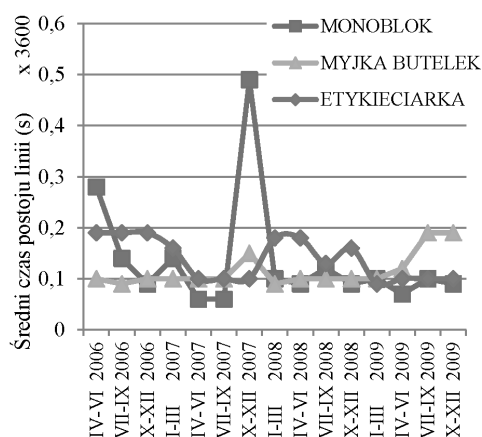
Rysunek 4. Współczynnik awaryjności linii rozlewniczej do piwa w funkcji czasu
 Figure 4. Coefficient of failure frequency of the beer bottling line as a function of time



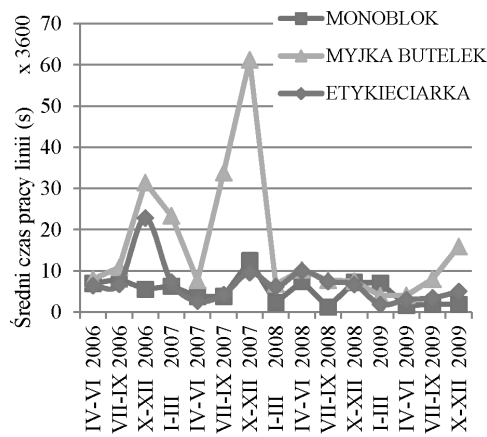
Rysunek 5. Parametr strumienia uszkodzeń linii rozlewniczej do piwa w funkcji czasu
 Figure 5. Failure stream parameter of the beer bottling line as a function of time

Na podstawie analizy krzywych (rys. 4) przedstawiających dane obliczonego współczynnika awaryjności stwierdzono, iż krzywa niezdatności monobloku ma charakter paraboliczny. Skoki linii obrazującej monoblok wynikają z tego, iż od roku 2007 do roku 2009 dochodziło do częstych niezdatności urządzenia do pracy. Krzywe etykieciarki i myjarki butelek od końca 2007 roku do końca 2009 obrazują podobny stan niezdatności urządzeń.

Na podstawie analizy krzywych (rys. 5) przedstawiających dane obliczonego wskaźnika stwierdzono, iż największemu strumieniowi uszkodzeń uległ monoblok. Krzywe etykieciarki i myjarki butelek obrazują podobny parametr strumienia uszkodzeń w funkcji czasu z wyjątkiem okresów IV–VI 2007, I–VI 2009 dla etykieciarki.



Rysunek 6. Średni czas postoju linii rozlewniczej do piwa w funkcji czasu
Figure 6. Average downtime of the beer bottling line as a function of time

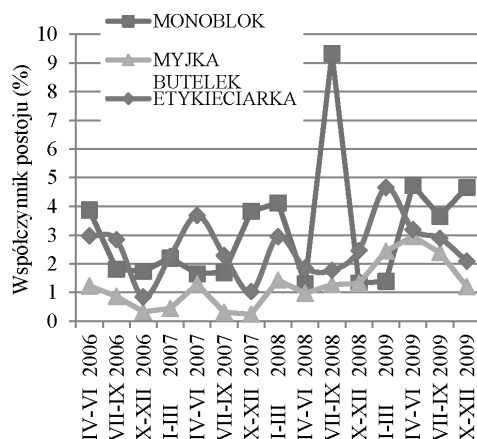


Rysunek 7. Średni czas pracy linii rozlewniczej do piwa w funkcji czasu
Figure 7. Coefficient of downtime of the beer bottling line as a function of time

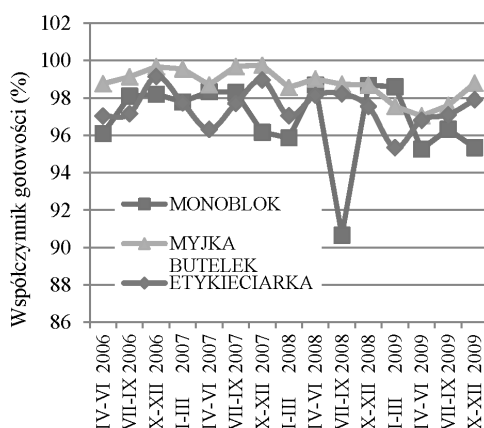
Na podstawie analizy krzywych (rys. 6) przedstawiających dane obliczonego średniego czasu postoju linii stwierdzono, iż krzywe urządzeń w zasadzie obrazują mało różniące się czasy postoju linii. Krzywa obrazująca czas postoju monobloku jako jedyna obrazuje od października do grudnia 2007 roku wzrost średniego czasu postoju linii.

Na podstawie analizy krzywych (rys. 7) przedstawiających średni czas pracy linii stwierdzono, iż w zasadzie krzywe obrazują niewiele różniące się średnie czasy pracy linii. Od X do XII 2006 roku krzywa czasu pracy etykieciarki obrazuje wzrost pracy linii do ponad dwudziestu godzin. Krzywa obrazująca myjarkę butelek w X–XII 2006 i VII–XII 2007 roku pokazuje znaczny wzrost średniego czasu pracy linii.

Na podstawie analizy krzywych (rys. 8) przedstawiających współczynnik postoju linii stwierdzono, iż najdłuższym przestojem wykazał się monoblok (ok.10%) w okresie od IV do XII 2008 roku. Krzywe obrazujące współczynnik postoju myjarki i etykieciarki mają podobny przebieg, lecz krzywa etykieciarki obrazuje większy udział procentowy postoju niż myjarki butelek.



Rysunek 8. Współczynnik postoju linii rozlewniczej do piwa w funkcji czasu
 Figure 8. Average operation time of the beer bottling line as a function of time



Rysunek 9. Współczynnik gotowości linii rozlewniczej do piwa w funkcji czasu
 Figure 9. Coefficient of readiness of the beer bottling line as a function of time

Na podstawie analizy krzywych (rys. 9) przedstawiających współczynnik gotowości urządzeń stwierdzono, iż krzywe gotowości maszyn obrazują prawie 100% ich gotowość. Krzywa współczynnika gotowości monobloku do pracy obrazuje wyraźny spadek gotowości do 95, a nawet 90%. Najlepszą gotowość do pracy obrazuje krzywa myjarki butelek, jej gotowość delikatnie spada poniżej 98% w połowie 2009 roku. Krzywa etykietarki ma charakter paraboliczny i jej zakres waha się od 95 do 99% gotowości.

Analiza niezawodności z wykorzystaniem drzewa błędów

Analiza drzewa błędów pozwala na otrzymanie minimalnych kombinacji zdarzeń pierwotnych, prowadzących do zajścia zdarzenia wierzchołkowego. Drzewa błędów są tworzone za pomocą symboli graficznych (tab. 1).

Na rysunku 10 przedstawiono drzewo błędów dotyczące stanu niezdatności oraz zdarzenia pierwotne monobloku. Opis drzewa błędów stanu niezdatności monobloku jest następujący: 1 – zmniejszona prędkość pracy urządzenia, 2 – problem z podnośnikiem butelek, 3 – duża ilość niedolanych butelek, 4 – usterka kapsłownicy, 5 – blokada ślimaka wprowadzającego butelki, 6 – drgania stołu monobloku, 7 – rozsprzęglony ślimak na wejściu na monoblok, 8 – awaria czujnika zbierania piany. Zdarzenia pierwotne, z jakimi mamy do czynienia w monobloku, to: x1 – drgania urządzenia, x2 – rozsprzęglony ślimak, x3 – uszkodzona przekładnia, x4 – zła obsługa urządzenia, x5 – luzy na wale, x6 – brak oleju w przekładni, x7 – awaria sondy, x8 – awaria zaworu, x9 – przeciekanie butelek na kranach, x10 – przenośnik nie podaje kapsli, x11 – rozregulowany czujnik podający kapsle, z1

Analiza niezawodności...








– awaria sprzęgła ślimaka, z2 – uszkodzenie przekładni, z3 – przeciążenie sprzęgła, z4 – zatarcie silnika, z5 – skrzywienie tulei podnośnika, z6 – awaria bloku zaworowego, z7 – zakłócenia wtyczki od czujnika obecności kapsli.

Tabela 1

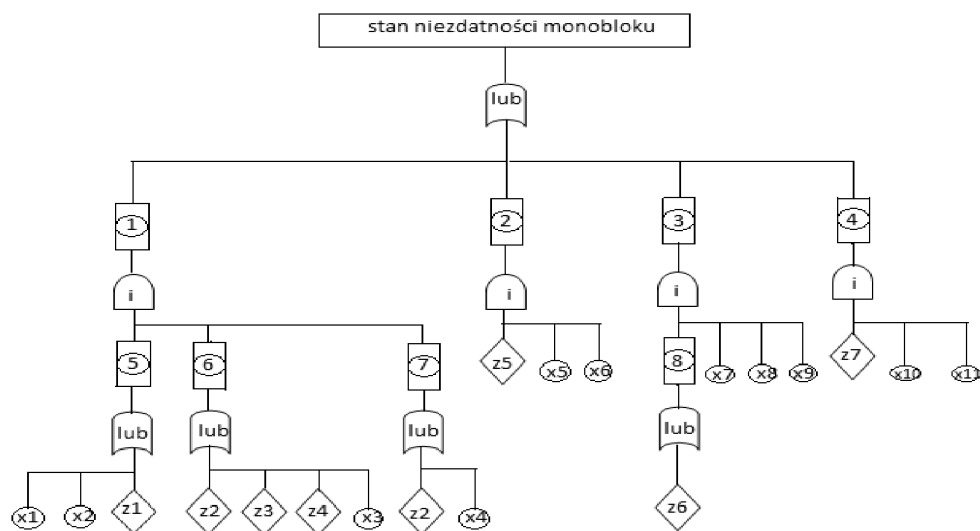
Najważniejsze symbole graficzne używane przy budowie drzewa błędów

Table 1

The most important graphic symbols used at the construction of the fault tree

Symbol	Nazwa symbolu	Symbol	Nazwa symbolu
	Zdarzenie wierzchołkowe lub pośrednie		Bramka logiczna LUB
	Zdarzenie pierwotne		Przeniesienie z
	Zdarzenie nierozwinięte		Przeniesienie do
	Bramka logiczna I		

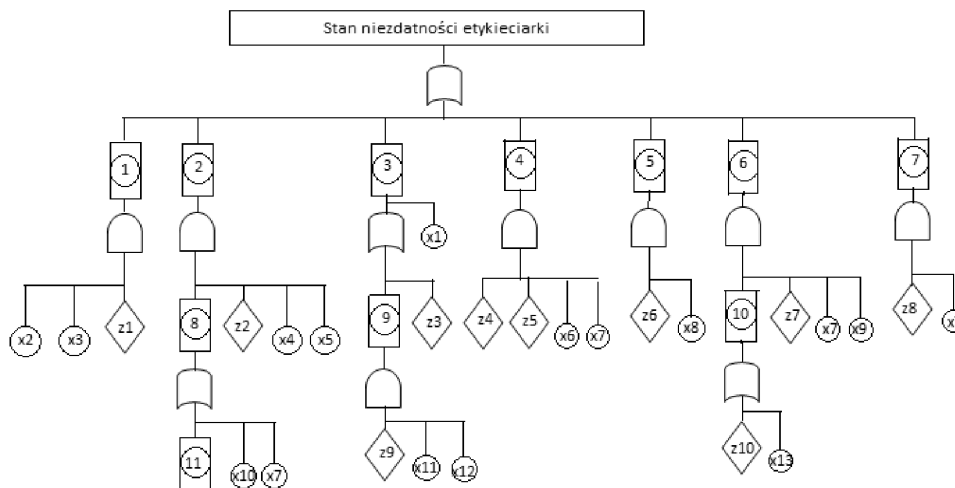
Na rysunkach 10–12 przedstawiono analizę drzewa błędów dla wybranych urządzeń: monobloku, myjarki butelek i etykieciarki w linii rozlewniczej piwa butelkowego.



Rysunek 10. Drzewo błędów dotyczące monobloku

Figure 10. Fault tree concerning a monoblock

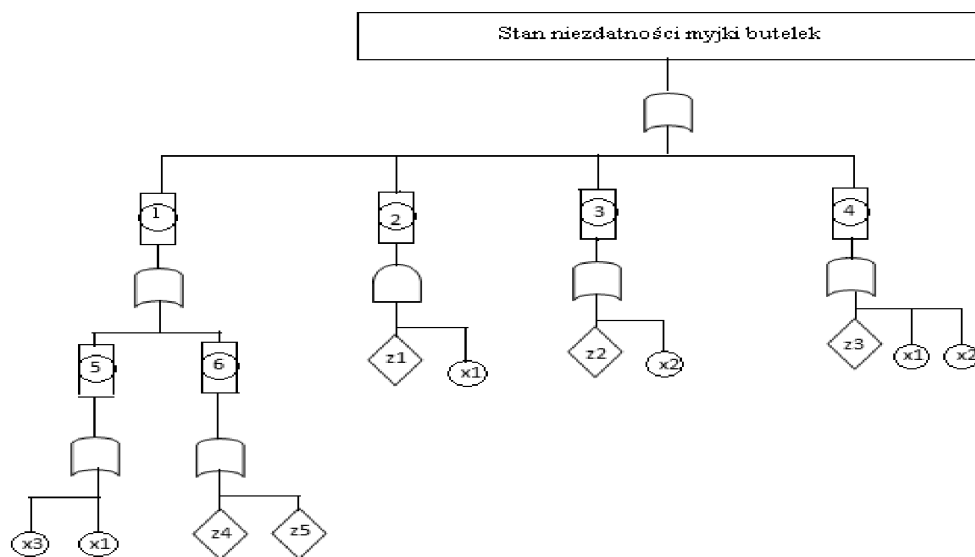
Na rysunku 11 przedstawiono drzewo błędów dotyczące stanu niezdatności oraz zdarzenia pierwotne etykietarki. Opis drzewa błędów stanu niezdatności etykietarki jest następujący: 1 – duża ilość etykiet wciągana do kleju, 2 – złe wybijanie daty na etykietce, 3 – uszkodzony kosz magazynu etykiet, 4 – duża ilość kleju na etykietach, 5 – łopatki upuszczają etykiety, 6 – Zakłócenia w pracy maszyny, 7 – zła praca zbiornika etykiet, 8 – złe klejone etykiety, 9 – uszkodzone etykiety, 10 – praca na zmniejszonych obrotach, 11 – duże zanieczyszczenie etykiet. Zdarzenia pierwotne, z jakimi mamy do czynienia w etykietarce, to: x1 – zły stan magnesu etykietarki, x2 – zły stan optyki, x3 – złe ustawienie sterownika i falownika, x4 – gwałtowny wzrost temperatury kleju, x5 – bardzo dużo kleju na etykietce, x6 –zalepiona paletka podająca klej, x7 – zła jakość etykiet, x8 – brak kleju, x9 – brak pustych butelek, x10 – nierówna praca transportu zasilającego, x11 – zły stan szczotek, x12 – uszkodzony wałek kleju, x13 – zła obsługa, z1 – awaria elektroniki, z2 – awaria pompy klejowej do etykiet, z3 – zerwane śruby mocujące szczotki, z4 – awaria bębna etykiet, z5 – awaria pompy klejowej, z6 – usterka łożyska na wałku, z7 – urwana śruba od bariery wjazdowej, z8 – awaria wózka popychacza, z9 – wyciek oleju z przekładni, z10 – pęknięta prowadnica etykiet.



Rysunek 11. Drzewo błędów dotyczące etykietarki
 Figure 11. Fault tree concerning a labelling machine

Na rysunku 12 przedstawiono drzewo błędów dotyczące stanu niezdatności oraz zdarzenia pierwotne myjarki butelek. Opis drzewa błędów stanu niezdatności myjarki butelek jest następujący: 1 – niezdatna pompa, 2 – duże opory przepływu cieczy, 3 – zła jakość cieczy, 4 – duże zanieczyszczenie kanałów, 5 – niezdatny silnik, 6 – uszkodzone łopatki. Zdarzenia pierwotne, z jakimi mamy do czynienia w analizowanym urządzeniu, to: x1 – zła

obsługa, x2 – duża twardość wody, x3 – błąd projektanta, z1 – duża ilość szkła w zbiorniku, z2 – zły stan układu usuwającego etykiety, z3 – zły stan filtra, z4 – korozja, z5 – kawitacja.



Rysunek 12. Drzewo błędów dotyczące myjarki butelek
Figure 12. Fault tree concerning a bottle washer

Wnioski

1. Dogłębna analiza stanów niezdatności urządzeń pozwoliła na opracowanie wyników, które umożliwią poprawę funkcjonowania linii rozlewniczej, a przede wszystkim – zwiększenie jej wydajności i obniżenie kosztów eksploatacyjnych.
2. Monoblok wykazuje wyraźne wzrosty średniego czasu postoju linii; przestój, jakim wykazało się urządzenie, wynosi około 10%.
3. Na podstawie analizy niezawodności monobloku stwierdzono, iż w latach 2007–2009 dochodziło do częstych niezdatności urządzenia do pracy. Monoblok ulegał największemu strumieniowi uszkodzeń. Współczynnik gotowości monobloku do pracy obrazuje wyraźny spadek gotowości do 95, a nawet 90%.
4. Urządzenia ulegały najczęściej uszkodzeniom w trzecim i czwartym kwartale roku, co spowodowane było dużym natężeniem ruchu urządzeń w okresie letnim i naprawami okresowymi po trzecim kwartale.

Literatura

- Borysewicz, M.; Furtek, A.; Potemski, S. (2000). *Poradnik metod ocen ryzyka związanego z niebezpiecznymi instalacjami procesowymi*. Otwock - Świerk, Instytut Energii Atomowej, ISBN 83-914809-0-9.
- Hasofer, A.M.; Lind, N.C. (January/February 1974). *Exact and invariant second moment code format*. Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 100, No. 1, pp. 111-121.
- Hohenbichler, M.; Rackwitz, R. (November/December 1981). *Non-normal dependent vectors in structural safety*. Journal of the Engineering Mechanics Division, Vol. 107 No. 6, ASCE, pp. 1227-1238.
- Hurtado, J. E. (2008). *Structural robustness and its relationship to reliability*. Tsompanakis, Y.; Lagaros, N. D.; Papadrakakis, M. (eds.). *Structural Design Optimization Considering Uncertainties, Structures and Infrastructures Series. 1*, Taylor and Francis, pp. 435-470.
- Jankowiak, P. (2011). Badanie niezawodności linii do formowania kęsów ciasta chlebowego. *Maszyny Robocze i Transport*. Poznań, *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej*, 64.
- Legutko, S. (2009). *Trendy rozwoju utrzymania ruchu urządzeń i maszyn*. *Eksploatacja i Niezawodność*, 2(42), 8-16.
- Lewandowski, J.; Kikiewicz, Z. (1989). *Eksploatacja i niezawodność obiektów technicznych o ciągłym procesie technologicznym*. Bydgoszcz, Akademia Techniczno-Rolniczna w Bydgoszczy.
- Migdalski, J. (red.). (1982). *Poradnik niezawodności – Podstawy matematyczne*. Warszawa.
- Paska, J.; Parciński G. (2000). *Wskaźniki niezawodnościowe i eksploatacyjne bloków energetycznych*. II International Congress of Diagnostics, 1, Warszawa.
- Rackwitz, R.; Fiessler, B. (1978). *Structural reliability under combined random load sequences*. *Computers and Structures*, (9), 484-494.
- Rewolińska, A.; Grzesik, J. (2008). Problemy zarządzania utrzymaniem ruchu linii produkcyjnej w przemyśle spożywczym, *Służby Utrzymania Ruchu*, 2, marzec.
- Rosenblatt, M. (1952). Remarks on multivariate transformation. *The Annals of Mathematical Statistics*, 23, 470-472.
- Walanus, A. (2000). *Statystyka w badaniu niezawodności*. StatSoft Polska Sp. z o.o. PN-N-50191:1993. *Słownik terminologiczny elektryk - Niezawodność, jakość usługi*.

ANALYSIS OF RELIABILITY OF SELECTED MACHINES AND DEVICES IN THE BEER BOTTLING LINE

Abstract. The objective of the paper was to analyse reliability of KRONES beer bottling line. The line is composed of thirty one devices. On the basis of failure frequency in 2006–2009 rates of reliability for monoblock, a labelling machine and a bottle washer were determined. The course of reliability rates value: failure frequency coefficient, parameter of line faults stream, average downtime of the line as a result of faults, average time of downtime of the line between faults, line downtime coefficient, line readiness coefficient were presented graphically. On the basis of the obtained results it was found that the monoblock is the weakest link. Moreover, analysis was carried out and fault trees of the monoblock, the labelling machine and the bottle washer were prepared, which allows obtaining the minimum combinations of original events leading to the vertical event. The prepared fault trees enable faster determination of the reasons of faults which allows shortening downtimes of the device and decreasing actual output capacity of the device.

Key words: operation, failure frequency, beer production line, weak link

Adres do korespondencji:

Elzbieta Skorupska; e-mail: e.skorupska@pb.edu.pl

Zakład Techniki Ciepłej i Chłodnictwa

Politechnika Białostocka

ul. Wiejska 45C

15-351 Białystok