

WITOLD BIAŁY
PATRYCJA HĄBEK

Narzędzia inżynierii jakości w analizie awaryjności ścianowych kompleksów wydobywczych

Przerwy spowodowane awaryjnością maszyn wpływają na efektywność procesu wydobywczego. Głównym zadaniem służb utrzymania ruchu w kopalniach węgla kamiennego jest zapewnienie ciągłości pracy eksploatowanych maszyn (urządzeń). Wymiernym efektem tych działań powinno być ograniczenie kosztów utrzymania ruchu maszyn (urządzeń), a tym samym obniżenie kosztów produkcji wydobywania węgla, czyli działania kopalni. W niniejszym artykule przeanalizowano dwa kompleksy ścianowe: kombajnowy oraz strugowy. Do analizy wykorzystano jedno z narzędzi inżynierii jakości – diagram Pareto–Lorenza. Narzędzie to pozwala pogrupować przyczyny awarii oraz wskazać, które z nich są najistotniejsze i które powinny być w pierwszej kolejności usuwane. Przeprowadzona analiza wskazała, jak istotny jest właściwy dobór maszyn (urządzeń) do istniejących warunków geologiczno-górnictwowych. Niewłaściwy dobór skutkuje wzrostem energochłonności procesu wydobywczego, przedwczesnym zużyciem czy zwiększonymi przerwami w pracy, które są spowodowane awariami.

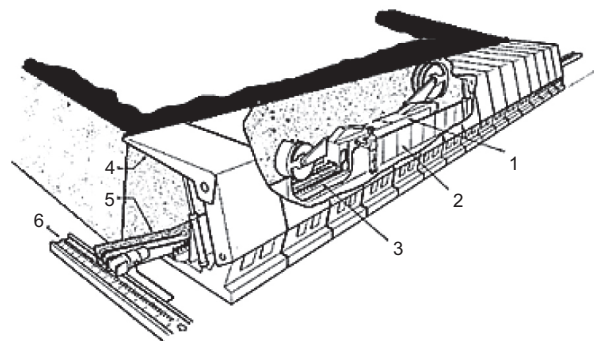
Słowa kluczowe: kompleksy ścianowe, awarie, wydobywanie, diagram Pareto–Lorenza

1. WSTĘP

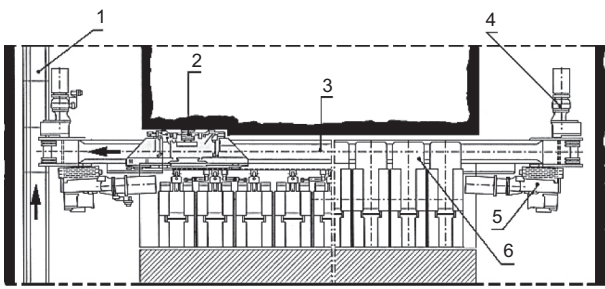
W górnictwie węglowym (tak światowym, jak i polskim), eksploatacja pokładów węglowych odbywa się systemami ścianowymi za pomocą maszyn urabiających pracujących na zasadzie skrawania. Dlatego też jednym z istotnych obszarów działalności kopalń jest eksploatacja maszyn i urządzeń niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania. Działanie to powinno polegać między innymi na kontroli racjonalnego oraz efektywnego użytkowania i obsługi maszyn i urządzeń w procesie ich eksploatacji [1–4]. Aktualnie w górnictwie polskim (również światowym), zastosowanie znalazły dwa systemy: kombajnowy (rys. 1) oraz strugowy (rys. 2). Proces urabiania w obu systemach jest identyczny, natomiast różnica polega na zainstalowanej w tym procesie maszynie urabiającej – kombajn lub strug. Pozostałe elementy systemu pozostają bez zmian.

Efektywność prawidłowo zaprojektowanego systemu mechanizacyjnego oraz jego niezawodność bezpośrednio rzutują na wynik ekonomiczny przedsiębior-

stwa. Rozwój technologiczny w górnictwie, zwiększająca się kompleksowość, wydajność oraz moc stosowanych maszyn i urządzeń górniczych stawia coraz większe wymagania kultury ich użytkowania. Urządzenia te muszą spełniać warunki energooszczędności, niezawodności, wysokiej trwałości oraz bezpieczeństwa pracy.



Rys. 1. Ścianowy kompleks kombajnowy:
1 – kombajn, 2 – zastawka, 3 – drabinka, 4 – ścianowa obudowa zmechanizowana, 5 – przenośnik zgrzeblowy ścianowy, 6 – przenośnik zgrzeblowy podścianowy [1]



Rys. 2. Ścianowy kompleks strugowy: 1 – przenośnik zgrzeblowy podścianowy, 2 – struga, 3 – przenośnik zgrzeblowy ścianowy, 4 – napęd przenośnika, 5 – napęd struga, 6 – ścianowa obudowa zmechanizowana [1]

Maszyny i urządzenia górnicze są złożonymi obiektami technicznymi, które powinny charakteryzować się odpowiednio wysoką trwałością i niezawodnością działania w stosunkowo długim czasie eksploatacji. Na określone kształtowanie się tych cech znaczny wpływ ma nie tylko sam proces ich projektowania, konstruowania i montażu, ale przede wszystkim (podczas szeroko rozumianego procesu użytkowania), prawidłowa dbałość o stan techniczny. Gwarancją uzyskania niezawodności i wysokiej trwałości urządzeń w czasie eksploatacji, jest stosowanie diagnostyki technicznej, która pozwala poprawnie określić stan techniczny maszyn. Stąd głównym zadaniem służb utrzymania ruchu w kopalni jest zapewnienie ciągłości pracy eksploatowanych (w danej chwili) urządzeń i maszyn. Konsekwencją tych działań jest ograniczenie kosztów utrzymania ruchu urządzeń i maszyn, co wiąże się z obniżeniem kosztów produkcji, czyli działania zakładu górniczego. W przypadku wystąpienia zakłóceń w tym procesie, generowane są ogromne straty.

W niniejszym artykule do oceny awaryjności urządzeń i maszyn górniczych wykorzystano jedno z tradycyjnych narzędzi zarządzania jakością – diagram Pareto–Lorenza [4, 5]. Za pomocą tego graficznego obrazu można przedstawić zarówno względny, jak i bezwzględny rozkład rodzajów błędów, problemów i przyczyn ich powstawania [6].

W procesie wydobywania kopaliny głównym elementem jest ciąg urabiania, w którym można wyróżzyć szczególnie trzy następujące po sobie etapy [1, 4]:

- proces urabiania,
- transport poziomy,
- transport pionowy.

Analizując ciąg urabiania, można stwierdzić, że mamy do czynienia z systemem szeregowym – awaria jednego z ogniw powoduje „wyłączenie” pozostałych elementów tego ciągu (rys. 3).



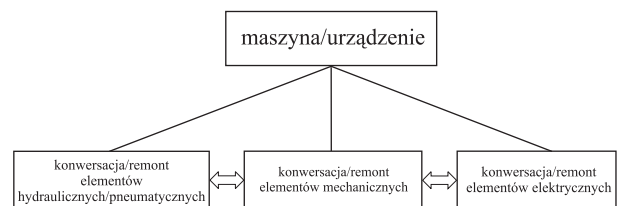
Rys. 3. Elementy składowe ciągu urabiania

2. UTRZYMANIE RUCHU CIĄGU URABIANIA

Utrzymanie ruchu maszyn czy urządzeń górniczych realizowane jest przez służby związane z kopalnią, jak również przez firmy zewnętrzne. W przypadku firm zewnętrznych, najczęściej są to producenci danej maszyny czy urządzenia.

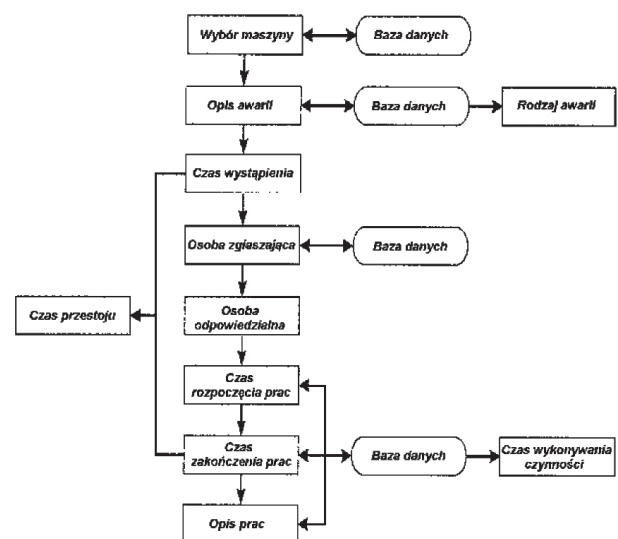
Każda maszyna czy urządzenie zainstalowane w kopalni, podlega działaniom konserwacyjno-naprawczym, które można rozłożyć na czynniki lokalizujące je w strukturze napraw i odpowiednio zlokalizować w strukturze napraw (rys. 4):

- remonty/konserwacja elementów hydraulicznych (pneumatycznych),
- remonty/konserwacja elementów mechanicznych,
- remonty/konserwacja elementów elektrycznych.



Rys. 4. Schemat blokowy struktury napraw

Model, za pomocą którego aktualnie rejestruje się dane o awariach maszyn/urządzeń górniczych w jednej z kopalń PGG, przedstawiono na rysunku 5.

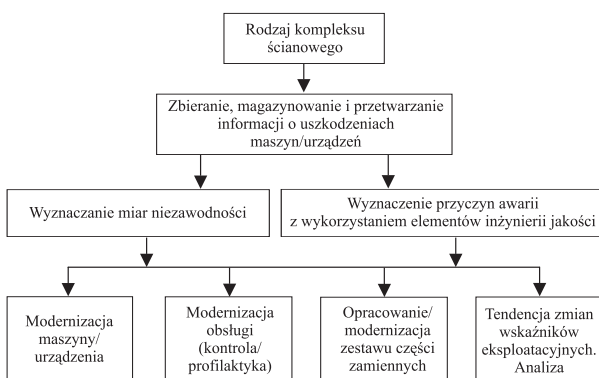


Rys. 5. Schemat rejestracji awarii maszyn/urządzeń w kopalni PGG

Na podstawie obserwacji można stwierdzić, że obecnie w polskich kopalniach węgla kamiennego nie został opracowany jednolity system zarządzania utrzymaniem ruchu maszyn górniczych tak w procesie eksploatacji, jak i remontów. System ten powinien uwzględniać [1]:

- obserwację, rejestrację oraz analizę poszczególnych czynności;
- harmonogramowanie czynności;
- sposób gromadzenia informacji o maszynach i urządzeniach;
- tryb uzgadniania zakresu prac serwisowych pomiędzy użytkownikiem a wytwórcą;
- kształtowanie właściwych kompetencji pracowników realizujących czynności z zakresu utrzymania ruchu;
- gromadzenie i przetwarzanie informacji prowadzenia prac z zakresu utrzymania ruchu.

Do monitorowania oraz kontroli maszyn/urządzeń ścianowego kompleksu wydobywczego można wykorzystać inżynierię jakości. Wykorzystanie elementów inżynierii jakości w większości przedsiębiorstw produkcyjnych ma na celu przedstawienie wystąpienia potencjalnych wad w wyrobie lub cyklu produkcyjnym. Wykorzystanie narzędzi zarządzania jakością pozwala na monitorowanie cyklu produkcyjnego, począwszy od fazy projektowej, przez produkcję, kończąc na etapie końcowym, czyli dostarczeniu gotowego wyrobu klientowi. Narzędzia inżynierii jakości do oceny skutków awarii przyczynią się w znaczący sposób do zmniejszenia strat, które są związane z nieplanowanymi przestojami (awariami). Stąd też uzasadnione wydaje się wykorzystanie narzędzi inżynierii jakości w procesie produkcyjnym (wydobywczym), co pozwoli na skuteczne zmniejszenie strat powstałych w wyniku awarii. Dlatego proponuje się włączenie elementów inżynierii jakości do wyznaczania przyczyn awarii w procesie wydobywczym (rys. 6).



Rys. 6. Inżynieria jakości w określaniu przyczyn awarii

Praktyczne zastosowanie wybranych elementów inżynierii jakości w procesie produkcyjnym (w tym

przypadku wydobywczym) pozwoli na zmniejszenie strat związanych z przestojami wynikającymi z awarii maszyn/urządzeń.

3. INŻYNIERIA JAKOŚCI A AWARYJNOŚĆ MASZYN/URZĄDZEŃ

Przez inżynierię jakości rozumie się kształtowanie, modelowanie oraz implementację systemów jakości według określonych standardów i norm, zarządzanie jakością, metody certyfikacji systemów jakości, metody akredytacji i audytu, sterowanie procesami, metrologię, prawne aspekty jakości oraz metody kompleksowego zarządzania jakością TQM.

Do dobrego skutecznego zarządzania jakością kadra zarządzająca potrzebne są informacje. Muszą być one rzetelne, aktualne i przede wszystkim prawdziwe. Zarządzanie przez jakość ma na celu udoskonalanie produktów i/lub usług – stwarzanie i ochrona ich jakości, tak aby zadowolić klienta. Jest to kompleksowa działalność, a w jej realizacji pomagają różnego rodzaju narzędzia i metody.

Narzędzia jakości są wykorzystywane do zbierania, przetwarzania informacji, do nadzorowania procesu zarządzania przez jakość, do wykrywania błędów, wad i nieprawidłowości w przebiegach procesów, produktach lub usługach. Pozwalają na wizualizację danych, monitorowanie i diagnozowanie procesów. Dzięki nim możemy sprawdzić efektywność podjętych działań. Są one instrumentami, które pozwalają na monitorowanie działań (procesów) w całym cyklu życia wyrobu.

Narzędzia zarządzania jakością dzielimy na tradycyjne, nowe oraz dodatkowe. Tradycyjne narzędzia są nazywane wielką siódmką (ang. *magnificent seven*). Są one najczęściej wykorzystywane i mają znaczenie podstawowe. Narzędzia te mogą być stosowane samodzielnie, ale często używa się ich jako składników metod zarządzania jakością. Jednym z tradycyjnych narzędzi zarządzania jakością jest diagram Pareto–Lorenza [7–9].

Diagram Pareto–Lorenza, nazywany również metodą ABC, prawem nierównomierności rozkładu lub prawem 20–80, używany jest w celu identyfikacji i oceny istotności analizowanych zagadnień. Identyfikowane są te problemy, które mimo stanowienia mniejszości względem liczebności pozostałych (20%) wywierają dominujący wpływ na rozpatrywane zagadnienie (80%).

Procedura przeprowadzania analizy według metody ABC sprowadza się do:

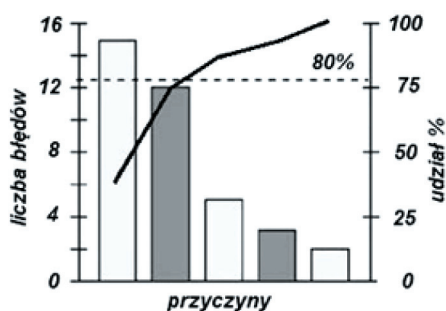
- identyfikacji rodzajów rozpatrywanych zagadnień (np. rodzajów wad);
- określenia przedziału czasowego (dzień, zmiana, rok itp.) w celu późniejszego porównywania efektów wprowadzonych zmian;

- ustalenia częstości występowania poszczególnych kategorii (np. przyczyn, wad);
- uszeregowania kategorii według malejącej częstości występowania, obliczenia częstości procentowych oraz skumulowanych;
- ustalenia skal na osi pionowej (najczęściej przyjmuje się bezwzględną częstość występowania oraz procent skumulowany) i poziomej (kategorie);
- naniesienia na wykres słupków odpowiadających częstości dla poszczególnych kategorii (wykres Pareto) i krzywej dla procentów skumulowanych (krzywa Lorenza), w kolejności od największego do najmniejszego nasilenia oddziaływania.

Omawiając metodę ABC, można stwierdzić, że niewielka liczba przyczyn odpowiada za większość występujących zjawisk. Zlikwidowanie tych 20% znacząco poprawia końcowy proces. Precyzyjna identyfikacja zjawisk pozwala w skuteczny sposób uniknąć przyczyn mało istotnych, ponieważ zasada Pareto opiera się na analizie nierównego rozkładu czynników decyzyjnych. Analiza Pareto (której wynikiem jest diagram Pareto–Lorenza) pozwala na uporządkowanie i przeanalizowanie wcześniej zebranych danych. Stosuje się ją wtedy, gdy naszym celem jest przeciwdziałanie:

- zjawiskom negatywnym o największej częstotliwości występowania,
- zjawiskom przysparzającym największych kosztów.

Diagram Pareto–Lorenza jest narzędziem umożliwiającym hierarchizację czynników wpływających na badane zjawisko. Jest on graficznym obrazem, pokazującym zarówno względny, jak i bezwzględny rozkład rodzajów błędów, problemów oraz ich przyczyn. Pozwala przedstawić dane na wykresie kolumnowym z uwydatnieniem elementów dających największy wkład do analizowanego problemu (rys. 7).



Rys. 7. Diagram Pareto–Lorenza

4. ANALIZA PROBLEMU

W przemyśle górniczym (wydobywczym) diagram Pareto–Lorenza znajduje zastosowanie do monitoro-

wania i kontroli urządzeń górniczych (maszyna urabiająca, przenośnik zgrzeblowy, przenośnik taśmowy, obudowa zmechanizowana), które stanowią ważny element procesu wydobywczego w kopalni [2]. W przypadku tych maszyn/urządzeń istotna jest ocena awaryjności i niezawodności, a także wskazanie, które z wykrytych przyczyn powodujących awaryjność powinny być jako pierwsze wyeliminowane.

Konstruowanie diagramu Pareto–Lorenza do kontroli i monitorowania maszyn/urządzeń górniczych dzieli się na następujące etapy:

- zbieranie informacji – czyli skompletowanie danych o awaryjności maszyn/urządzeń górniczych w poszczególnych etapach procesu wydobywczego;
- uszeregowanie zebranych danych – przyporządkowanie poszczególnych awarii do konkretnych maszyn/urządzeń górniczych, takich jak: maszyna urabiająca, przenośnik zgrzeblowy, przenośnik taśmowy, obudowa zmechanizowana;
- obliczenie skumulowanych wartości procentowych – ustalenie skumulowanych wartości procentowych dla poszczególnych wyróżnionych awarii;
- sporządzenie diagramu Pareto–Lorenza;
- interpretacja sporządzonego diagramu Pareto–Lorenza.

5. AWARYJNOŚĆ ŚCIAN WYDOBYWCZYCH

Jako że w procesie wydobywania węgla kamiennego (kopalni użytecznych) ciąg urabiania jest podstawowym elementem wpływającym na wielkość wydobycia, a tym samym na związane z tym procesem koszty przeanalizowano awaryjność tego podstawowego elementu (strugowego oraz kombajnowego) [1, 2, 6, 9]. Przeanalizowano awaryjność dwóch ścian wydobywczych w kopalniach węgla kamiennego w całym okresie ich eksploatacji (od momentu uruchomienia do zakończenia eksploatacji). Do analizy awaryjności ścianowego kompleksu strugowego zostało wykorzystane tradycyjne narzędzie zarządzania jakością – diagram Pareto–Lorenza.

Diagram Pareto–Lorenza skonstruowano, wykonując następujące czynności:

- zebrano dane związane z rodzajem awarii następujących urządzeń (maszyn) górniczych: maszyny urabiającej (struga, kombajnu), przenośników (zgrzeblowych, taśmowych), obudowy zmechanizowanej;
- przyporządkowano poszczególne awarie do konkretnych maszyn (urządzeń) górniczych;
- obliczono skumulowane wartości procentowe (ustalenie skumulowanych wartości procentowych dla poszczególnych wyróżnionych awarii).

6. ŚCIANOWY KOMPLEKS STRUGOWY

Wszystkie przerwy w pracy ściany, powstałe w ciągu całego okresu wydobywczego zostały zarejestrowane przez odpowiednie służby kopalni [10–12]. Jako miejsce wystąpienia awarii przyjęto urządzenie (maszynę), w którym wystąpiła przerwa w pracy. Miejsca awarii to:

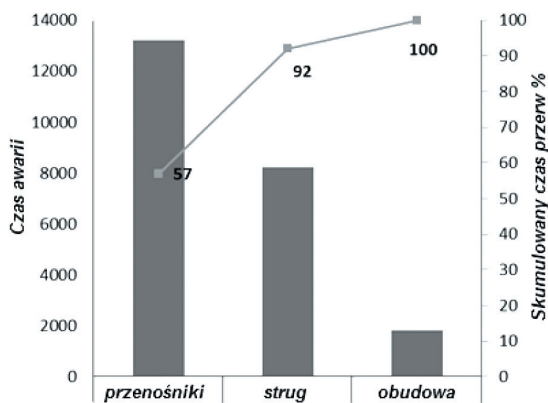
- przenośniki (ścianowy, podścianowy, taśmowy),
- strug,
- obudowa.

Uwaga: w przypadku przenośników taśmowych uwzględniano tylko awarie w transporcie oddziałowym z pominięciem odstawy głównej.

W tabeli 1 przedstawiono dane dotyczące przyczyn awarii, skumulowaną procentową liczbę poszczególnych maszyn/urządzeń, czasy awarii, jakie wystąpiły dla poszczególnych elementów kompleksu wydobywczego, procentową liczbę awarii oraz skumulowaną procentową liczbę awarii [5]. Natomiast na rysunku 8 przedstawiono diagram Pareto–Lorenza ukazujący awaryjność ścianowego kompleksu strugowego w analizowanej kopalni.

Tabela 1
Awaryjność ścianowego kompleksu strugowego

Przyczyna awarii	Skumulowana liczba SPIE [%]	Czas awarii min IA	Liczba awarii PIA [%]	Skumulowana liczba awarii SPIA [%]
Przenośniki	33,33	13 204	57	57
Maszyna urabiająca	66,66	8215	35	92
Obudowa	100	1822	8	100



Rys. 8. Diagram Pareto–Lorenza dla analizowanej ściany strugowej

7. ŚCIANOWY KOMPLEKS KOMBAJNOWY

Analiza ścianowego kompleksu kombajnowego przeprowadzona została na przykładzie jednej ściany,

w kopalni należącej do PGG S.A., w której zainstalowany był dwuramionowy kombajn wydobywczy.

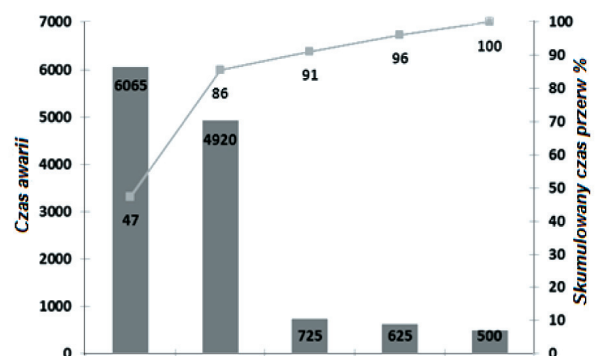
Czas pracy analizowanej ściany od momentu jej uruchomienia do zakończenia eksploatacji, wyniósł 92 dni. Wszystkie przerwy w pracy ściany, powstałe w ciągu całego okresu wydobywczego zostały zarejestrowane przez dyspozytora kopalni. Jako miejsce wystąpienia awarii przyjęto maszynę/urządzenie, w którym wystąpiła przerwa w pracy. Miejsca awarii to:

- kombajn,
- przenośniki (ścianowy, podścianowy, taśmowy),
- kruszarka,
- obudowa,
- inne.

Sumę wszystkich przerw w pracy kompleksu ścianowego przedstawia tabela 2 oraz diagram Pareto–Lorenza (rys. 9). Tabela 2 ilustruje liczbę oraz czasy przerw w pracy poszczególnych elementów ścianowego kompleksu kombajnowego. Pod względem liczby przerw wyraźnie widać, że największą awaryjność miały przenośniki, a tuż za nimi plasuje się kombajn (rys. 9). Natomiast na łączną sumę czasu przerw kompleksu ścianowego największy wpływ miały przerwy w pracy kombajnu, a następnie przenośników [10–12].

Tabela 2
Suma przerw w pracy kompleksu ścianowego

Przerwy w pracy elementu ścianowego kompleksu kombajnowego	Liczba przerw	Łączny czas przerw [min.]	Czas trwania wszystkich przerw [%]	Skumulowany czas przerw [%]
Kombajn	67	6065	47	47
Przenośnik	70	4920	39	86
Górnicza	14	725	5	91
Obudowa zmechanizowana	19	625	5	96
Inna	13	500	4	100
Suma		183	12 835	100



Rys. 9. Diagram Pareto–Lorenza dla ścianowego kompleksu kombajnowego

Z diagramu Pareto–Lorenza (rys. 9) wynika, że przerwy w pracy kombajnu i przenośników powodują największe przestoje w pracy kompleksu ścianowego – ich łączna suma wynosi 86%. Suma przerw zaliczonych do grupy: górnice, obudowa zmechanizowana i „inne”, a które nie powstały z winy człowieka i nie są związane ze zużyciem się poszczególnych elementów kompleksu ścianowego stanowi tylko 14%.

Analizując wykres Pareto–Lorenza, można stwierdzić, że najbardziej awaryjnym elementem ścianowego kompleksu kombajnowego okazała się maszyna urabiająca (kombajn 47%), następnie przenośnik (39%).

8. PODSUMOWANIE

Diagram Pareto–Lorenza pozwala przeanalizować przyczyny awarii oraz skutki dla kopalni, które są wynikiem powstawania przerw w pracy maszyn/urządzeń, mających największy wpływ na przestoje ciągu urabiania.

Analiza tych przyczyn powinna wykazać, czy awarie zostały spowodowane przez:

- czynnik ludzki (błędy w eksploatacji, konserwacji, obsłudze);
- spowodowane przez same urządzenia (błędy konstrukcyjne, wykonawcze);
- inne, które nie powstały w wyniku wcześniej wymienionych kryteriów, np. szczególnie trudnych warunków pracy.

Po przeprowadzeniu ww. analizy należy wskazać na działania, jakie powinny podjąć osoby obsługujące te urządzenia, aby zminimalizować przerwy w pracy mające istotny wpływ na wyniki ekonomiczne osiągnięte przez kopalnię.

W każdym z analizowanych systemów wydobywczych (strugowych, kombajnowych) wynika, że dwa elementy kompleksu wydobywczego powinny być poddane szczególnej analizie. Analiza powinna wskazać główne przyczyny wystąpienia awarii oraz na to, jakie należy podjąć działania zapobiegawcze, aby zdecydowanie zmniejszyć awaryjność tych elementów kompleksu wydobywczego.

W przypadku ścianowego kompleksu strugowego największą awaryjnością wykazały się przenośniki, w następnej kolejności strug. Natomiast w ścianowym systemie kombajnowym elementem, który powodował najdłuższe przerwy w pracy, był kombajn, następnie przenośniki.

Z analizy diagramu Pareto–Lorenza dla ścianowego kompleksu strugowego wynika, że największą liczbę awarii (92%) powodują dwa elementy kompleksu wydobywczego, a mianowicie: przenośniki (zgrzebłowe, taśmowe) oraz strug.

Biorąc pod uwagę procentowy udział tych dwu elementów kompleksu wydobywczego, na podstawie diagramu Pareto–Lorenza można stwierdzić, że łącznie 66,7% rodzajów maszyn/urządzeń, powoduje aż 92% awarii.

Najbardziej awaryjnym elementem w ścianowym systemie kombajnowym jest kombajn (47%) – dlatego w następnym etapie należałoby przeprowadzić szczegółową analizę awaryjności kombajnu.

Osoby monitorujące i kontrolujące pracę maszyn/urządzeń powinny w szczególny sposób zadbać o stan techniczny tych maszyn/urządzeń i starać się zapobiegać wystąpieniu awarii. Awaryjne poszczególnych maszyn górniczych, a zwłaszcza kombajnów ścianowych powodują duże straty dla kopalni, dlatego zasadne wydaje się zaproponowanie działań, które pomogłyby ograniczyć liczbę potencjalnych awarii tych maszyn. Aby więc nie dochodziło do częstych postojów, pracownicy związani z obsługą maszyn (urządzeń), powinni być często szkoleni w zakresie obsługi i eksploatacji, szczególnie w takich zagadnieniach, jak:

- przeznaczenie, budowa oraz zasada działania i zastosowanie systemu sterowania oraz diagnostyki;
- zasady działania i instalowania czujników systemu;
- struktura, budowa i zasada działania części składowych i podzespołów;
- metody instalacji, uruchamiania oraz obsługi;
- diagnostyki i analizy przyczyn awarii i ich usuwania;
- wytyczne eksploatacji;
- wymagania BHP.

Chociaż człowiek nie przyczynia się bezpośrednio do ww. awarii, to może skutecznie zapobiegać powstawaniu niektórych z nich. Można zmniejszyć czas ich usunięcia dzięki częstym szkoleniom personelu dotyczące usuwania skutków awarii. Należy również przeprowadzać szkolenia związane z właściwą konserwacją urządzeń (maszyn), co przyczyni się do przedłużenia bezawaryjnej pracy urządzeń (maszyn).

Awaryjność kompleksu wydobywczego (zarówno strugowego, jak i kombajnowego) w bezpośredni sposób przekłada się na efektywność, koncentrację wydobycia, co w ostateczności skutkuje wynikiem finansowym kopalni.

Podziękowania

Artykuł został sfinansowany ze środków pracy statutowej 13/030/BK_18/0039 realizowanej w Instytucie Inżynierii Produkcji na Wydziale Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej.

Literatura

- [1] Biały W.: *Górnictwo węgla kamiennego – wybrane problemy funkcjonowania. Monografia*, Wydawnictwo PKJS, Gliwice 2011.
- [2] Biały W.: *Innovative solutions applied in tools for determining coal mechanical properties*, „Management Systems in Production Engineering” 2015, 4: 202–209.
- [3] Łucki Z.: *Zarządzanie w górnictwie naftowym i gazownictwie*, TAIWPN Universitas, Kraków 2005.
- [4] Skotnicka-Zasadzień B., Biały W.: *An analysis of possibilities to use a Pareto chart for evaluating mining machines' failure frequency*, „Eksploracja i Niezawodność” 2011, 3: 51–55.
- [5] Peter F.: *Rethinking Pareto analysis maintenance applications of logarithmic scatterplots*, „Journal of Quality and Maintenance Engineering” 2001, 4: 252–263.
- [6] Franik T.: *Monitorowanie podstawowych parametrów procesów produkcyjnych w kopalni węgla kamiennego*, w: *Komputerowo zintegrowane zarządzanie*, t. 1, red. R. Knosala, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2009, s. 286–295.
- [7] Midor K.: *An analysis of the causes of product defects using quality management tools*, „Management Systems in Production Engineering” 2014, 4: 162–167.
- [8] Ziółkowski J., Łada J.: *Analiza ABC i XYZ w gospodarowaniu zapasami*, Wydawnictwo Społecznej Akademii Nauk, Łódź 2014.
- [9] Zasadzień M.: *Using the Pareto diagram and FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) to identify key defects in a product*, „Management Systems in Production Engineering” 2016, 4: 153–156.
- [10] Książki raportowe działu Głównego Mechanika ds. dołu.
- [11] Raporty dzienne dyspozytora głównego kopalni.
- [12] Projekt Techniczny Ściany.

dr hab. inż. WITOLD BIAŁY, prof. PŚ
dr hab. inż. PATRYCJA HĄBEK, prof. PŚ
Instytut Inżynierii Produkcji
Wydział Organizacji i Zarządzania
Politechnika Śląska
ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze
{wbialy, phabek}@polsl.pl