

**Dr inż. Bożena Skotnicka-Zasadzień**

**Dr hab. inż. Witold Biały, prof. nzw. w Pol. Śl.**

Institut Inżynierii Produkcji  
Politechnika Śląska  
Ul. Roosevelta nr 26, 41-800 Zabrze, Polska  
E-mail: bozena.skotnicka@polsl.pl  
wbialy@polsl.pl

## **Analiza możliwości wykorzystania narzędzia Pareto-Lorenza do oceny awaryjności urządzeń górniczych**

**Słowa kluczowe:** zarządzanie jakością, diagram Pareto-Lorenza, awaryjność urządzeń

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono ogólną klasyfikację narzędzi zarządzania jakością stosowanych w różnych gałęziach przemysłu. Spośród tych narzędzi został wybrany diagram Pareto-Lorenza, za pomocą którego przedstawiono analizę awaryjności urządzeń górniczych biorących udział w procesie wydobywczym kopalni. Analizie poddano kombajn, przenośnik zgrzeblowy, przenośnik taśmowy, kruszarkę oraz obudowę.

### **1. Wprowadzenie**

Większość kopalń węgla kamiennego posiada Zintegrowany System Zarządzania Jakością i tylko w ramach oceny funkcjonowania tego systemu, czasami stosowane są narzędzia zarządzania narzucone przez dokumentacje, a służące do oceny doskonalenia jakości w przedsiębiorstwie. Zmieniająca się sytuacja gospodarcza w kraju, konkurencja, a także coraz większe wymagania odbiorców (klientów) kopalni, wymuszają na kierownictwie poszukiwanie nowych sposobów na poprawę procesu produkcyjnego (wydobywczego) [10]. W procesie wydobywczym węgla kamiennego duże znaczenie ma monitorowanie urządzeń górniczych, a także analiza awaryjności maszyn i urządzeń biorących udział w tym procesie.

### **2. Charakterystyka narzędzi zarządzania jakością**

Narzędzia zarządzania jakością służą do zbierania i przetwarzania danych związanych z różnymi aspektami jakości. Najczęściej wykorzystywane są do nadzorowania (monitorowania) całego cyklu produkcyjnego, począwszy od projektowania, poprzez wytwarzanie, aż do kontroli po zakończonym procesie produkcyjnym. Narzędzia zarządzania jakością dzielą się na tradycyjne (stare) i nowe. W tabelach 1 i 2 przedstawiono zakres zastosowania tradycyjnych i nowych narzędzi zarządzania jakością.

Tabela 1. Zakres zastosowania starych narzędzi zarządzania jakością

<b>Narzędzie</b>	<b>Zakres stosowania</b>
Diagram przyczynowo skutkowy Ishikawy (diagram rybiej ości)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Do rozwiązywania problemów jakościowych, w których występuje rozbudowany łańcuch przyczyn</li><li>• Stanowi metodę rejestrowania pomysłów</li><li>• Odkrywa nieujawnione związki pomiędzy przyczynami</li><li>• Pomaga odkryć źródło problemu</li></ul>
Arkusze kontrolne	<ul style="list-style-type: none"><li>• Przy zbieraniu danych odnoszących się do częstotliwości, problemów i wad w trakcie procesu produkcyjnego i innych</li><li>• Przy zbieraniu danych</li><li>• Przy standaryzowaniu listy działań</li></ul>
Histogram	<ul style="list-style-type: none"><li>• Obrazowe przedstawienie przebiegu procesów lub zjawisk ekonomicznych w czasie</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wizualne przedstawienie informacji o przebiegu procesów</li> <li>• Pokazanie zmienności zjawisk lub stanów</li> </ul>
Diagram Pareto-Lorenza	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wyeliminowanie zjawisk o największej częstotliwości występowania</li> <li>• Wyeliminowanie przyczyn tworzenia największych kosztów</li> <li>• Analizowanie wagi i częstości występowania problemów</li> </ul>
Wykresy korelacji	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umożliwia graficzną prezentację siły relacji między zmiennymi</li> <li>• Do identyfikowania potencjalnych źródeł niezgodności</li> <li>• W celu stwierdzenia czy dwa skutki mogą być spowodowane tą samą przyczyną</li> </ul>
Karty kontrolne	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Do oceny stabilności procesu w długich okresach</li> <li>• Do określania czy w danym momencie proces jest pod kontrolą, czy nie</li> <li>• W celu zidentyfikowania obszarów możliwego doskonalenia</li> <li>• W celu zapobiegania produkcji wyrobów wadliwych</li> <li>• W celu sprawowania bieżącej kontroli nad procesem</li> </ul>
Schemat blokowy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• W celu zobrazowania następstwa czynności w procesie</li> <li>• Dla znalezienia powiązań pomiędzy czynnościami</li> <li>• Dla łatwiejszego określania następstwa wykonywanych działań</li> <li>• Stwarza możliwość łatwiejszej analizy przebiegu, eliminacji niepotrzebnych czynności</li> </ul>

Źródło: opracowanie własne na podstawie [9].

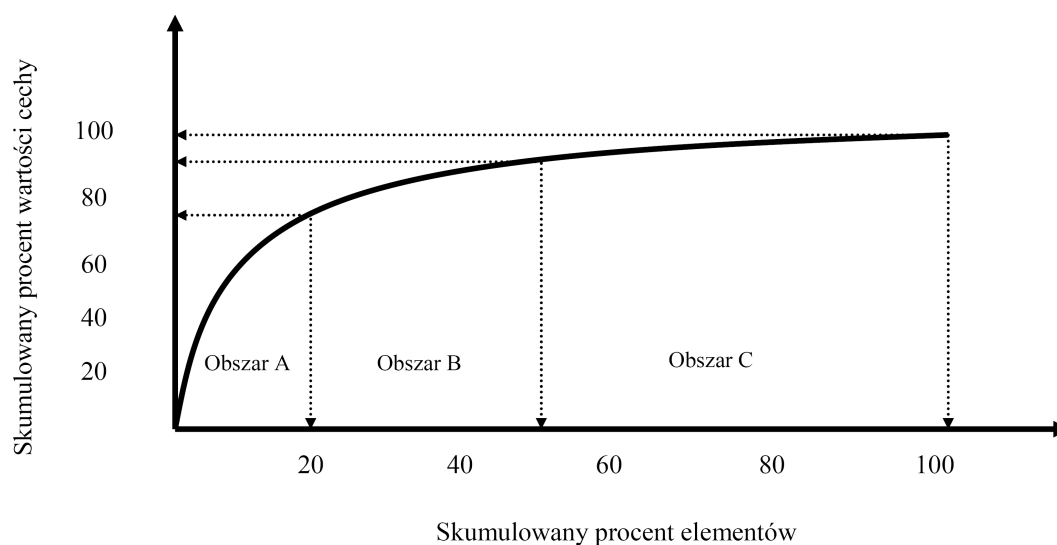
Tabela 2. Zakres zastosowania nowych narzędzi zarządzania jakością

Narzędzie	Zakres stosowania
Diagram relacji	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rozwiązanie trudności z określeniem współzależności skutku i przyczyny.</li> <li>• Wskazanie współzależności między przyczynami wywołującymi dany skutek.</li> <li>• Próbuje się odnaleźć zależności między przyczynami zarysowanymi w diagramie pokrewieństw.</li> </ul>
Diagram pokrewieństwa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizowane zagadnienia są zbyt obszerne lub zbyt chaotyczne, aby w prosty sposób mogły zostać zdefiniowane.</li> <li>• Konieczne jest poparcie dla określonego rozwiązania, koncepcji, projektu.</li> <li>• Celem jest wyjaśnienie i umotywowanie stanowiska.</li> <li>• Poszukiwane jest narzędzie pomocne po sesji burzy mózgów.</li> </ul>
Diagram systematyki	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chcemy rozwiązać konkretny problem (przypomina wtedy diagram Ishikawy).</li> <li>• Przedstawiamy kolejne etapy działań w analizowanym procesie.</li> </ul>
Diagram matrycowy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pomaga zrozumieć relacje między poszczególnymi grupami w diagramie.</li> <li>• Służy do komunikowania tych relacji.</li> </ul>
Matrycowa analiza danych	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poszukiwanie nisz rynkowych.</li> <li>• Analizy marketingowe.</li> <li>• Pokazanie istotnych zależności ze względu na wybrane cechy produktu.</li> </ul>
Wykres programowy procesu decyzji PDPC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Do badania ewentualnych sytuacji, które mogą zajść po wdrożeniu nowego planu działań, niosącego za sobą ryzyko niepowodzenia.</li> <li>• Podczas wdrażania skomplikowanych planów działań.</li> <li>• Podczas wdrażania planów z narzuconymi wymaganiami czasowymi.</li> </ul>
Diagram strzałkowy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planowanie całościowego projektu lub procesu z uwzględnieniem zadań i zasobów.</li> <li>• Analiza czasu realizacji projektu.</li> <li>• Przydzielanie zasobów na realizację projektu.</li> <li>• Monitorowanie realizacji projektu.</li> <li>• Ponowne planowanie przebiegu projektu przy uwzględnieniu zmian.</li> </ul>

Źródło: opracowanie własne na podstawie [9].

W tabeli 1 przedstawiono tradycyjne narzędzia zarządzania jakością i ich zakres zastosowania, natomiast w tabeli 2 przedstawiono nowe narzędzia zarządzania jakością oraz zakres ich zastosowania. W niniejszym artykule do oceny awaryjności urzędzeń górniczych wykorzystano jedno z tradycyjnych narzędzi zarządzania jakością – diagram Pareto-Lorenza.

Diagram Pareto-Lorenza jest narzędziem umożliwiającym uporządkowanie czynników wpływających na badane zjawisko. Za pomocą tego graficznego obrazu można przedstawić zarówno względny jak i bezwzględny rozkład rodzajów błędów, problemów i ich przyczyn (rys. 1) [5].



Rys. 1. Diagram Pareto-Lorenza

W diagramie Pareto-Lorenza pole pod wykresem zostało podzielone na trzy obszary:

- Obszar A – w przypadku 20% populacji grupujących 80% skumulowanych wartości cechy.
- Obszar B – w przypadku kolejnych 30% populacji grupujących następną 10% skumulowanych wartości cech.
- Obszar C – w przypadku pozostałej populacji 50% która grupuje 10% skumulowanej wielkości cechy.

W praktyce diagram Pareto-Lorenza znajduje zastosowanie do grupowania poszczególnych problemów i ich przyczyn, aby w pierwszej kolejności rozwiązać te problemy, które dla danego przedsiębiorstwa są najistotniejsze [11].

### 3. Analiza problemu

W przemyśle górniczym diagram Pareto-Lorenza znajduje zastosowanie do monitorowania i kontroli urządzeń górniczych (kombajn ścianowy, przenośnik zgrzeblowy, przenośnik taśmowy, kruszarki oraz urządzenia zasilania i sterowania), które stanowią ważny element procesu wydobywczego na kopalni. W przypadku tych urządzeń istotna jest ocena awaryjności i niezawodności, a także wykazanie które z wykrytych przyczyn powodujących awaryjność powinny być jako pierwsze wyeliminowane [4, 16].

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

- Zbieranie informacji (skompletowanie danych o awaryjności urządzeń górniczych w poszczególnych etapach procesu wydobywczego),
- Uszeregowanie zebranych danych (przyurządzenie poszczególnych awarii do konkretnych urządzeń górniczych takich jak: kombajn ścianowy, przenośnik zgrzeblowy, przenośnik taśmowy, kruszarka, obudowa zmechanizowana),
- Obliczenie skumulowanych wartości procentowych (ustalenie skumulowanych wartości procentowych dla poszczególnych wyróżnionych awarii),
- Sporządzenie diagramu Pareto-Lorenza,

- Interpretacja sporządzonego diagramu Pareto-Lorenza.

### 3.1. Charakterystyka awaryjności maszyn i urządzeń górniczych

Awarie występujące w kopalniach węgla kamiennego można podzielić ze względu na przyczyny ich powstania, na:

- górnicze, gdzie główną przyczyną są: wstrząsy górotworu, odpad stropu, pompowanie wody, rozbijanie brył, przekroczenie CH<sub>4</sub> itp. Ogólnie można stwierdzić, że są one niezawinione przez człowieka;
- techniczne powstają wówczas, gdy uszkodzeniu ulegną urządzenia i maszyny pracujące w procesie wydobywczym do takich maszyn zaliczamy: kombajny, przenośniki, zmechanizowane obudowy ścianowe oraz kruszarki;
- organizacyjne niezależne od panujących warunków górniczych i eksploatacji maszyn. Do tych awarii zaliczamy np.: brak doprowadzenia wody, brak zasilania elektrycznego.

Ze względu na rodzaj awarii, wyróżniamy:

- mechaniczne,
- elektryczne,
- hydrauliczne.

Dla dokładniejszej analizy zaistniałej awarii w danej maszynie górniczej można jeszcze dokonać podziału na konkretne miejsce powstania tej awarii np.: ramiona i organy urabiające, układy trakcyjne, układy hydrauliki, układ elektryczny oraz kadłub [3].

W polskim górnictwie węglowym eksploatacja pokładów węglowych odbywa się systemami ścianowymi za pomocą maszyn urabiających pracujących na zasadzie skrawania [1, 7, 8]. Dlatego też, jednym z istotnych obszarów działalności kopalń jest eksploatacja urządzeń (maszyn) [6]. Działanie to powinno polegać na między innymi na kontroli racjonalnego oraz efektywnego użytkowania i obsługiwanie urządzeń w procesie eksploatacji [14].

Systemy techniczne kopalń węgla kamiennego charakteryzują się:

- znacznym rozproszeniem,
- złożonością,
- ograniczeniem obszaru pracy wielkością wyrobisk podziemnych.

Głównym zadaniem służb utrzymania ruchu jest zapewnienie ciągłości pracy eksploatowanych (w danej chwili) maszyn i urządzeń. Konsekwencją tych działań jest ograniczenie kosztów utrzymania ruchu maszyn i urządzeń, a tym samym obniżenie kosztów produkcji, czyli działania zakładu górniczego. W przypadku wystąpienia zakłóceń w tym procesie generowane są ogromne straty [13].

W procesie wydobywania kopaliny, głównym elementem jest ciąg urabiania, w którym można wyszczególnić następujące etapy [2, 3]:

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

Śledząc ciąg urabiania możemy stwierdzić, że jest to system szeregowy. Awaria jednego z wymienionych ogniw powoduje „wyłączenie” pozostałych elementów tego ciągu.

Jako że, w procesie wydobywania węgla kamiennego (kopalni użytecznych) ciąg urabiania jest podstawowym elementem wpływającym na wielkość wydobywania, a tym samym związane z tym procesem koszty, przeanalizowano awaryjność tego podstawowego elementu [2, 3]. Przeanalizowano awaryjność wszystkich ścian pracujących na jednej z kopalń węgla kamiennego Kompanii Węglowej S.A. w roku 2009. W trakcie analizy wyróżniono około 400

rodzaje awarii. W tabeli 3 przedstawiono przykładowe awarie, które wystąpiły w urządzeniach (maszynach) górniczych.

Tabela 3. Przykładowe rodzaje awarii i przyczyny ich wystąpienia

Rodzaj awarii	Urządzenie	Przykładowe uszkodzenia
Awarie mechaniczne	Kombajn ścianowy	Uszkodzony kabel do kombajnu
		Uszkodzony układak kabla
		Wymiana układu zabezpieczającego
		Uszkodzona chłodnica dolnego ramienia KB
		Uszkodzony kabel wodny
Awarie elektryczne	Kombajn ścianowy	Brak sterowania
		Niesprawny elektrycznie kabel do KB
		Spalony bezpiecznik pompy hydraulicznej
Awarie hydrauliczne	Kombajn ścianowy	Uszkodzony wąż wodny do KB
		Uszkodzone uszczelnienie wodne górnej głowicy KB
		Wymiana węża wodnego
Awarie organizacyjne	Kombajn ścianowy	Brak wody do KB
		Brak prądu na ścianie
		Brak ciśnienia na ścianie
Awarie mechaniczne	Przenośnik zgrzeblowy	Brak sterowania
		Uszkodzone wkładka sprzęgłowa
		Zatarte łożysko prawej przekładni
Awarie elektryczne	Przenośnik zgrzeblowy	Uszkodzony zespół dławików na styczniku napędu górnego
		Uszkodzony panel sterujący
		Brak sterowania – uszkodzony bezpiecznik
Awarie organizacyjne	Przenośnik zgrzeblowy	Brak wody
		Brak zasilania
Awarie mechaniczne	Przenośnik taśmowy	Uszkodzone sprzęgło
		Wymiana przekładni
Awarie elektryczne	Przenośnik taśmowy	Brak sterowania
		Wymiana bezpiecznika
		Brak sterowania hamulca
Awarie organizacyjne	Przenośnik taśmowy	Brak prądu na odstawie
		Brak zasilania
Awarie mechaniczne	Kruszarki	Wymiana topników
		Urwany bijak
Awarie elektryczne	Kruszarki	Brak sterowania
		Brak zasilania
Awarie mechaniczne	Obudowa	Wymiana węża w magistrali ciśnieniowej
		Uszkodzony wąż
Awarie elektryczne	Obudowa	Brak sterowania pomp
Awarie organizacyjne	Obudowa	Uszczelnienie rurociągu

### 3.2 Praktyczne wykorzystanie diagramu Pareto-Lorenza do oceny awaryjności urządzeń górniczych

Do analizy awaryjności urządzeń górniczych wykorzystano jedno z tradycyjnych narzędzi zarządzania jakością – diagram Pareto-Lorenza. Diagram Pareto-Lorenza został skonstruowany według następujących etapów:

1. Zebrano dane związane z rodzajem awarii następujących urządzeń górniczych: kombajnów ścianowych, przenośników zgrzeblowych, przenośników taśmowych, kruszarek oraz obudów zmechanizowanych,
2. Przyporządkowano poszczególne awarie do konkretnych urządzeń górniczych,
3. Obliczono skumulowane wartości procentowe (ustalenie skumulowanych wartości procentowych dla poszczególnych wyróżnionych awarii), dokonano tego wykorzystując następujące wzory:

$$PIE_j = \frac{100}{IE} \quad (1)$$

$$SPIE_j = PIE_j + PIE_{j-1} \quad (2)$$

$$PIA_j = \frac{100 \cdot IA_j}{\sum_{i=1}^{IE} IA_j} \quad (3)$$

$$SPIA_j = PIA_j + PIA_{j-1} \quad (4)$$

gdzie:

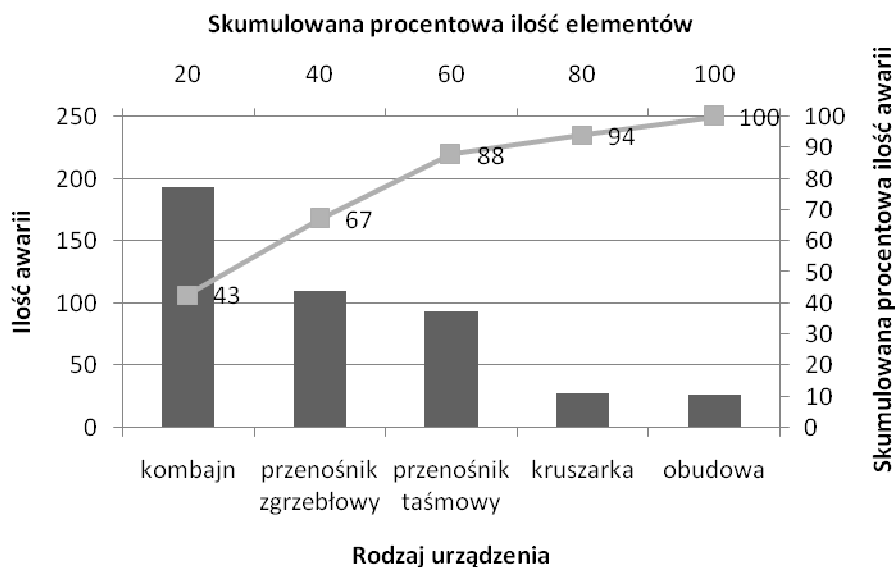
- $PIE_j$  – procentowa ilość elementów,
- $SPIE_j$  – skumulowana procentowa ilość elementów,
- $IE$  – liczba elementów,
- $PIA_j$  – procentowa ilość awarii,
- $SPIA_j$  – skumulowana procentowa ilość awarii,
- $IA$  – liczba awarii.

W tabeli 4 przedstawiono dane dotyczące rodzaju urządzeń górniczych, skumulowaną procentową ilość poszczególnych urządzeń, liczbę awarii jakie wystąpiły w poszczególnym urządzeniu, procentową ilość awarii oraz skumulowaną procentową ilość awarii.

Tabela 4. Awaryjność urządzeń górniczych

Numer urządzenia	Rodzaj urządzenia	Skumulowana procentowa ilość elementów	Liczba awarii	Procentowa ilość awarii	Skumulowana procentowa ilość awarii
j		SPIE	IA	PIA	SPIA
1	Kombajn ścianowy	20	193	43	43
2	Przenośnik zgrzeblowy	40	110	24	67
3	Przenośnik taśmowy	60	94	21	88
4	Kruszarka	80	28	6	94
5	Obudowa	100	27	6	100

Na rysunku 2, przedstawiono diagram Pareto-Lorenza dla awaryjności ciągu urabiania, w jednej z kopalń Kompani Węglowej S.A.



Rys. 2 Diagram Pareto-Lorenza

#### 4. Podsumowanie

Z analizy diagramu Pareto-Lorenza wynika, że największą ilość awarii (88%) powodują trzy urządzenia (maszyny) górnicze, a mianowicie:

- kombajny ścianowe,
- przenośniki zgrzeblowe,
- przenośniki taśmowe.

Pozostałe urządzenia takie jak: kruszarki i obudowy zmechanizowane powodują tylko 12% awarii.

Biorąc pod uwagę udział procentowy trzech znaczących urządzeń (maszyn) górniczych (kombajnów, przenośników zgrzeblowych i przenośników taśmowych) można stwierdzić, iż łącznie 60% rodzajów urządzeń (maszyn), powoduje aż 88% awarii.

Awaryjność kompleksu ścianowego ma wpływ na efektywność, koncentrację wydobywania w ostateczności przekłada się na wynik finansowy kopalni.

Ze wstępnych analiz (tabela 3), oraz prac [2, 3], wynika, że największy udział w awariach tych trzech urządzeń (maszyn) mają awarie mechaniczne. Wynika stąd, że te trzy rodzaje urządzeń (maszyn) górniczych powinny być poddane szczególnej analizie. Analiza powinna wskazać na główne przyczyny wystąpienia awarii oraz sposoby i środki a także działania zapobiegawcze jakie należy podjąć aby zdecydowanie zmniejszyć awaryjność tych elementów kompleksu wydobywczego. Osoby monitorujące i kontrolujące pracę kombajnów, przenośników zgrzeblowych, przenośników taśmowych powinny w szczególny sposób zadbać o stan techniczny tych urządzeń i starać się zapobiegać wystąpieniu awarii.

Autorzy w dalszych opracowaniach przedstawiają przyczyny awarii oraz skutki dla kopalni, jakie są wynikiem powstawania awarii tych urządzeń (maszyn), a które mają największy wpływ na przestoje ciągu urabiania, czyli maszyny urabiające (kombajny) oraz urządzenia odstawy (przenośniki zgrzeblowe oraz taśmowe).

#### Literatura

1. Biały W. Wybrane metody badania urabialności węgla. Eksploatacja i Niezawodność 2001; 5: 36-40.

2. Biały W, Bobkowski G. Możliwości wykorzystania narzędzi komputerowych w gospodarce remontowej kopalń węgla kamiennego. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* 2005; 4: 42-51.
3. Biały W. Awaryjność górniczych urządzeń technicznych w procesie wydobywczym. *Problemy Bezpieczeństwa w Budowie i Eksploatacji Maszyn i Urządzeń Górnictwa Podziemnego*. Praca zbior. pod red. K. Krauze. Łódź: Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego Sp. z o. o., 2010: 73-85.
4. Duży S. Elementy zarządzania jakością w procesie drążenia wyrobisk korytarzowych w kopalni węgla kamiennego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 2007; 23(Zeszyt Specjalny nr 2): 71-80.
5. Franik T. Monitorowanie podstawowych parametrów procesów produkcyjnych w kopalni węgla kamiennego. *Komputerowo zintegrowane zarządzanie*. Praca zbior. pod red. R. Knosali, Opole: Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2009: 286-295.
6. Jonak J. Use of artificial intelligence automation of rock cutting. *Journal of Mining Science* 2002; 3(38): 270-277.
7. Jonak J, Gajewski J. Wybrane problemy diagnostyki i monitorowania pracy górniczych przenośników taśmowych. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 2006; 4: 74-79.
8. Krauze K. Urabianie skał kombajnami ścianowymi. „Śląsk” sp. z o.o. Katowice: Wydawnictwo Naukowe, 2000.
9. Krzemień E. Zintegrowane zarządzanie – aspekty towaroznawcze: jakość, środowisko, technologia, bezpieczeństwo. Katowice: Wydawnictwo Śląsk, 2003.
10. Łucki Z. Zarządzanie w górnictwie naftowym i gazownictwie. Kraków: Wydawnictwo UNIVERSITAS, 2005.
11. Łuczak J, Matuszak-Flejszman A. Metody i techniki zarządzania jakością. *Kompendium wiedzy*. Poznań: Quality Progress, 2007.



12. Uzgören N, Elevli S, Elevel B, Önder U. Analiza niezawodności mechanicznych uszkodzeń koparek zgarniakowych. *Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 2008; 4: 23-29.
13. Orłacz J.: Wprowadzenie do zagadnień niezawodności i trwałości maszyn i urządzeń górniczych. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 1999.
14. Peter F. Rethinking Pareto analysis maintenance applications of logarithmic scatterplots. *Journal of Quality i Maintenance Engineering*, 2001; 4(7): 252-263.
15. Wang Z, Huang H-Z, Du X. Projektowanie niezawodności z wykorzystaniem kilku strategii utrzymania. *Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 2009; 4: 37-44.
16. Wolniak R, Skotnicka B. Metody i narzędzia zarządzania jakością – teoria i praktyka. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2007.