

Ocena awaryjności kompleksów kombajnowych i strugowych

Assessment of the failure rates of shearer and plow system



*Łukasz Bołoz**



*Zbigniew Rak**



*Jerzy Stasica**



*Łukasz Herezy***

Treść: Zmechanizowane kompleksy strugowe i kombajnowe stosowane są do eksploatacji węgla kamiennego zalegającego w postaci pokładów o różnej miąższości. W zakresie pokładów cienkich i średnich kompleksy te stanowią rozwiązania konkurencyjne. Oba charakteryzują się pewnymi wadami i zaletami, które wynikają z ich konstrukcji i sposobu pracy, co zostało wykazane i przedstawione w wielu publikacjach. Jednak w zakresie porównania ich awaryjności brak jest odpowiednich wyników badań i analiz. Artykuł porusza zagadnienie awaryjności ścian wyposażonych w kompleksy ścianowe strugowe oraz kombajnowe, w kopalni węgla kamiennego LW Bogdanka. Analiza dotyczy okresu 13 miesięcy pracy kopalni, w którym zarejestrowano 2589 awarii. Analizę przeprowadzono dla wszystkich eksploatowanych w tym okresie ścian, czyli pięciu strugowych i pięciu kombajnowych, pracujących w sześciu różnych oddziałach. W analizowanym okresie ściany te pracowały łącznie przez 1484 dni. Analiza stanowi unikatowy materiał dotyczący awaryjności maszyn. Przeanalizowano niezależnie jedno i drugie rozwiązanie oraz dokonano porównania i szczegółowej analizy. Kompleksowa analiza wykazała, że awaryjność ścian wyposażonych w kompleksy strugowe jest zauważalnie wyższa od kombajnowych. Wynik analizy zaprzecza dotychczasowej opinii na temat awaryjności kompleksów strugowych i kombajnowych. Wniosek końcowy został bardzo dobrze uargumentowany i poparty twardymi danymi.

Abstract: Mechanised plow and shearer systems are used in the exploitation of hard coal deposits in the form of seams of various thickness. With regard to thin and medium seams, these complexes are competitive solutions. Both have certain advantages and disadvantages resulting from their design and method of operation, which has been demonstrated and presented in many publications. However, in terms of their failure rate comparison, there are no relevant research and analysis results. The article is concerned with the failure frequency of longwalls equipped with plow and shearer systems in the LW Bogdanka coal mine. The analysis covers a period of 13 months of the mine's operation, during which 2,589 failures were recorded. The analysis was conducted for all longwalls exploited in this period, i.e. five plow and five shearer systems working in six different blocks. In the analysed period, these longwalls worked for a total of 1,484 days. The analysis is a unique material regarding the failure rate of machines. Both solutions were analysed independently and subjected to detailed comparison. A comprehensive analysis has revealed that the failure rate of longwalls equipped with plow systems is noticeably higher than that of shearer ones. The analysis results contradict the previous opinion on the failure frequency of plow and shearer systems. The final conclusion has been very well argued and supported by hard data.

*) AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

**) Lubelski Węgiel „BOGDANKA” S.A.

Słowa kluczowe:

awaryjność maszyn, kompleksy strugowe, kompleksy kombajnowe, efektywny czas pracy, niezawodność maszyn

Keywords:

failure rate of machines, plow systems, shearer systems, effective working time, machine reliability

1. Wprowadzenie

Wydobywanie węgla kamiennego może być realizowane przy zastosowaniu różnych systemów eksploatacji. Węgiel kamienny zalegający w postaci pokładów najczęściej wydobywany jest systemami ścianowymi. Podstawowymi zaletami systemów ścianowych są: mała ilość robót przygotowawczych, niskie straty eksploatacyjne, duża koncentracja wydobycia, łatwe kierowanie stropem, możliwość pełnej mechanizacji robót, łatwy nadzór nad ruchem w ścianie. Ściana o określonej długości, wybiegu i wysokości wybierana jest za pomocą zmechanizowanego kompleksu ścianowego, wyposażonego w maszynę urabiająco-ładującą w postaci kombajnu ścianowego lub statycznego struga węglowego. W ścianie pracuje przenośnik zgrzeblowy ścianowy (pzs), który współpracuje z przenośnikiem zgrzeblowym podścianowym (ppz).

Technika kombajnowa jest odpowiednia do ścian o wysokości od 1,5 m, ze względu na szereg wad związanych z zastosowaniem kombajnów w pokładach cienkich. Najważniejszymi są brak pełnej automatyzacji, co wymusza konieczność podążania operatorów za kombajnem oraz jego sterowanie w ograniczonej przestrzeni i widoczności oraz proces zawrębiania znacznie ograniczający wydobywanie dobowe, które jest limitowane grubością pokładu. Należy zaznaczyć, że zastosowanie typowej dwuramionowej konstrukcji oraz procesu frezowania jako metody urabiania, pozwala na dostosowywanie wysokości urabiania do zmieniającej się grubości pokładu oraz urabianie węgla trudno urabialnych, skał towarzyszących i przerostów. Kombajn ścianowy porusza się z prędkością kilku do kilkunastu metrów na minutę i jednorazowo wybiera skraw o szerokości wynikającej z zabioru organu – zazwyczaj 0,8 m do 1,0 m. Zastosowanie frezowania umożliwia uzyskanie założonego wydobycia dobowego również w trudnych warunkach. Natomiast ze względu na niską prędkość posuwu oraz duży zabiór, technika kombajnowa charakteryzuje się akceptowalną wrażliwością wydobycia dobowego na okresowe przestoje. W przypadku występowania węgla lub skał trudno urabialnych zmniejszona zostaje prędkość posuwu maszyny przy zachowaniu urabiania na pełny zabiór. Zastosowanie obudowy zmechanizowanej z krokiem wstecz pozwala na szybkie zabezpieczenie stropu zaraz po przejściu kombajnu ścianowego.

Technika strugowa dobrze sprawdza się w pokładach niskich przy urabianiu węgla łatwo i średnio urabialnych, bez zaburzeń i przerostów. Głowica strugowa nie wymaga lokalnej obsługi przez operatora i porusza się w cyklu automatycznym. Głowica porusza się ze stałą prędkością około 3 – 3,5 m/s i jednorazowo wybiera skraw o szerokości wynikającej z głębokości skrawania nożami – zazwyczaj od 5 do 9 cm. Ciągła praca głowicy strugowej, wysoka prędkość i szybka przekładka przenośnika z głowicą pozawalają na uzyskanie założonego wydobycia dobowego. Jednak ze względu na niewielką głębokość skrawania technika strugowa charakteryzuje się dużą wrażliwością wydobycia dobowego na przestoje. Cechą charakterystyczną jest również duża wrażliwość na urabialność węgla i występowanie zaburzeń pokładu, które przekładają się na zmniejszenie głębokości skrawania, a tym samym wydobycia dobowego, a nierzadko zerwaniem

łańcucha napędowego. Ze względu na technologię pracy kompleksu strugowego oraz układ kolejnych sekcji obudowy ścianowej obserwuje się duże odsłonięcie stropu będące przyczyną obwałów.

Tak kompleksy strugowe, jak i kombajnowe są przedmiotem wielu artykułów (Biały 2017, Bołoz 2018a, Bołoz, Castañeda 2018, Bołoz 2020, Bołoz 2018b, Bołoz 2013, Bołoz, Biały 2020, Jedliński i in. 2022, Kotwica i in. 2021, Kotwica, Małkowski, 2019, Rak i in. 2020, Szurgacz i in. 2022).

Przedmiotowy artykuł dotyczy wyrobisk ścianowych kopalni Lubelski Węgiel Bogdanka S.A. W okresie objętym analizą eksploatacja odbywała się w 10 ścianach, z czego 5 wyposażonych było w strugowe kompleksy ścianowe, a kolejne 5 w kombajnowe kompleksy ścianowe. Możliwie jak najlepsze wykorzystanie kompleksów ścianowych skutkuje wysoką efektywnością eksploatacji. W praktyce stosowane są różne wskaźniki określające efektywność i uwzględniające szereg czynników, zwłaszcza awarie. Jednak oprócz awarii warto zwrócić uwagę na czas postoju, przezbrajania ściany oraz czynniki niezależne od analizowanego zestawu maszyn.

Znane są różne mierniki do oceny nadzoru nad maszynami, a wśród nich OEE, MTBF, MTTR, MTTF. Najbardziej popularnym wskaźnikiem parku maszynowego jest OEE – *Overall Equipment Effectiveness*. Wskaźnik MTTR – *Mean Time To Repair*, określa średni czas potrzebny na naprawę w momencie wystąpienia awarii. Wskaźnik MTBF – *Mean Time Between Failure* wskazuje jak często, ze statystycznego punktu widzenia, następuje uszkodzenie danej maszyny lub zespołu maszyn. W przedsiębiorstwach służy do określania harmonogramu przeglądów profilaktycznych. Wskaźnik rozumiany jest jako średni czas pracy pomiędzy awariami w określonym czasie. Wskaźnik MTBF jest sumą MTTR oraz MTTF (Antosz, Stadnicka 2015).

Awaryjność maszyn i urządzeń, w zależności od sposobu raportowania i dostępnych danych, może być opisana szeregiem wskaźników liczbowych. W analizowanym przypadku, przy wykorzystaniu dostępnych danych dotyczących występujących awarii, najodpowiedniejszym jest analiza średniego czasu trwania awarii. Czas trwania awarii w przeliczeniu na jeden dzień pracy kompleksu oraz w przeliczeniu na uzyskiwany rezultat w postaci ilości uzyskanego urobku, przy uwzględnieniu udziału skały płonnej, pozwala na porównanie ze sobą techniki kombajnowej oraz strugowej.

Obecnie w literaturze nie jest dostępne żadne opracowanie porównujące technikę strugową i kombajnową na przykładzie danych z miejsc pracy, które charakteryzowałyby się takimi samymi warunkami pracy. Znaleźć można jedynie pojedyncze opracowania mówiące o awaryjności różnych maszyn lub zespołów maszyn górniczych (Brodny, Tutak, 2022, Król i in. 2009, Paithankar, Chatterjee 2018, Skotnicka-Zasadzien, Biały, 2011, Zasadzien 2014), Zasadzien i Midor, 2015).

Głównym celem artykułu było dokonanie analizy porównawczej awaryjności maszyn kompleksów kombajnowych i strugowych pracujących w takich samych warunkach. Wyniki tej analizy pozwoliły na stwierdzenie, na podstawie odpowiednich wskaźników, że technika kombajnowa charakteryzuje się mniejszą awaryjnością (Bołoz i in. 2022)

2. Kopalnia węgla kamiennego LW Bogdanka S.A.

Kopalnia Lubelski Węgiel „Bogdanka” S.A. zlokalizowana jest w najbardziej zasobnej w węgiel części Lubelskiego Zagłębia Węglowego. Budowa geologiczna złoża Lubelskiego Zagłębia Węglowego znacznie różni się od złoża górnośląskiego. Istotne czynniki charakteryzujące budowę tego zagłębia to:

- gruby nadkład o miąższości około 700 m,
- prawie poziome zaleganie pokładów węgla i warstw skalnych,
- stosunkowo słabe skały towarzyszące pokładom węgla kamiennego,
- brak większych uskoków,
- zawadzone warstwy o dużym ciśnieniu wód oraz warstwa kurzawki.

Kopalnia Lubelski Węgiel „Bogdanka” S.A. prowadzi eksploatację w granicach obszaru górniczego „Puchaczów V” o powierzchni około 73 km². W obszarze tym spośród 18 bilansowych pokładów węgla kamiennego, znajdujących się pod nadkładem od 650 m do 730 m, do eksploatacji, wytypowano 8 pokładów o zasobach przemysłowych. Kopalnia posiada koncesję na eksploatację 4 pokładów oznaczonych numerami: 382, 385/2, 389 i 391. Aktualnie eksploatacja prowadzona jest w pokładach 385/2, 389 i 391. W tabeli 1 zestawiono podstawowe, istotne parametry analizowanych ścian, które były eksploatowane w okresie objętym przedmiotowymi badaniami.

3. Ogólna analiza awaryjności

Każdy spośród 10 kompleksów ścianowych w analizowanym okresie pracował różną ilość czasu oraz uzyskał inną ilość urobku. Udział skały płonnej zależał od lokalizacji ściany oraz zastosowanego wyposażenia technicznego. W związku z tym wyróżnić można szereg wielkości, które są charakterystyczne dla danego wyrobiska ścianowego, a mogą mieć wpływ na zaobserwowaną awaryjność maszyn. Najważniejszymi wielkościami, zestawionymi liczbowo i przedstawionymi graficznie na rysunku 1 i 2, odnoszącymi się do analizowanego okresu, są:

- liczba dni – sumaryczna liczba dni, w które pracował kompleks, [-],
- wydobyte netto – sumaryczna masa pozyskanego węgla, [Mg],
- dobowe wydobyte netto – średnia masa węgla w przeliczeniu na dobę, [Mg/d],
- wydobyte brutto – sumaryczna masa pozyskanego urobku, [Mg],

- dobowe wydobyte brutto – średnia masa urobku w przeliczeniu na dobę, [Mg/d],
- wydobyte kamienia – sumaryczna masa urobionego kamienia, [Mg],
- dobowe wydobyte kamienia – średnia masa urobionego kamienia w przeliczeniu na dobę, [Mg/d],
- udział kamienia – procentowy udział masowy kamienia w pozyskanym urobku brutto, [%].

Z czasem pracy silnie związane jest wydobyte sumaryczne. Sumaryczne wydobyte analizowane jako wartość brutto, netto oraz ilość urobionego kamienia zostało przedstawione na wykresie słupkowym, na rysunku 1. Ściany, które pracowały najkrócej wyraźnie wykazują najmniejsze wydobyte. Dodatkowo, dla interpretacji i oceny awaryjności znaczenie ma procentowy udział kamienia w uzyskanym urobku, dlatego też naniesiono wykres liniowy tej wartości. Wartość średnia wydobywania, przypadająca na jeden dzień, czyli wydobyte dobowe, w większym stopniu koreluje z rzeczywistym obciążeniem maszyn kompleksu w czasie pracy. W związku z tym dane te przedstawiono w postaci wydobywania dobowego. Wykres przedstawiony na rysunku 2 obrazuje różnicę w liczbie dni pracy każdej ze ścian. Po oznaczeniu ściany w nawiasie umieszczono symbol S dla ścian strugowych oraz K dla kombajnowych. Dwie ściany (kombajnowa i strugowa) pracowały około 50 dni, były one w trakcie rozruchu lub na ukończeniu wybiegu, a pozostałe znacznie dłużej. W rozważanym okresie występują znaczne różnice sumarycznego czasu pracy każdej ze ścian.

O ile najmniejsze wydobyte sumaryczne dla ścian pracujących najkrócej było naturalne, to jednak średnie wydobyte dobowe powinno być niezależne od czasu pracy. Należy zwrócić uwagę, że kompleksy, które były w rozruchu lub na ukończeniu wybiegu ściany, w analizowanym okresie wykazują mniejsze wydobyte dobowe. Jak widać z tego wykresu, zarówno większe wydobyte dobowe oraz mniejszy udział kamienia w urobku przemawia na korzyść kompleksów kombajnowych.

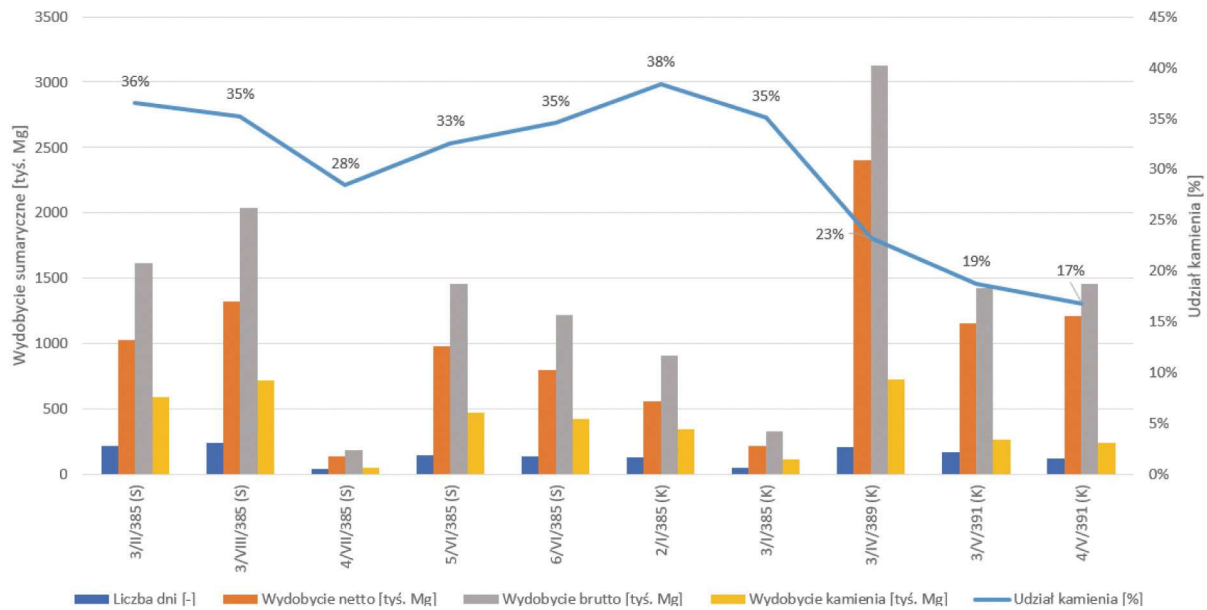
W analizowanym okresie awarie były na bieżąco raportowane i zestawiane w postaci tabel, w pliku Excel. Dla każdej awarii wpisywano oznaczenie ściany, określano datę i godzinę wystąpienia awarii, czas trwania w minutach, typ awarii, informacje szczegółowe dotyczące między innymi opisu i przyczyny oraz podany był kod typu awarii.

W LW Bogdanka awarie podzielone są na 883 typów awarii. Przy czym w pierwszej kolejności awarie dzielone są na trzy rodzaje: górnicze (G), elektryczne (E), mechaniczne (M). Każdy rodzaj awarii podzielony jest na obiekty, które wskazują czego dotyczy postój. Awarie górnicze podzielono na

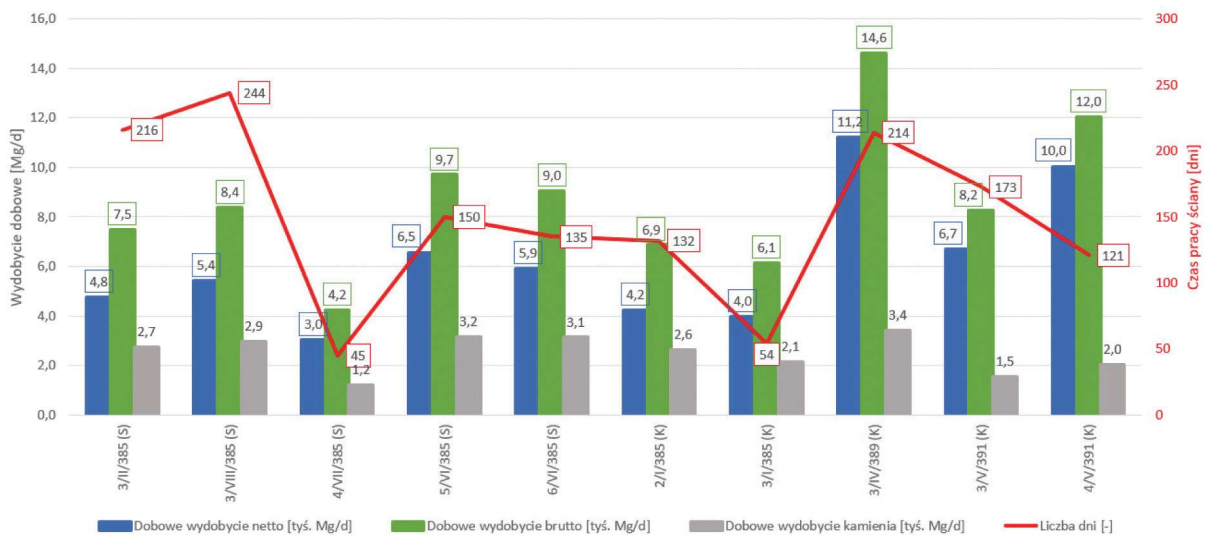
Tabela 1. Zestawienie parametrów analizowanych ścian LW Bogdanka

Tab. 1. List of parameters of the analysed longwalls in the LW Bogdanka mine

Lp.	Oddział	Ściana	Technika	Maszyna urabiająca	Grubość pokładu [m]	Długość ściany [m]	Wybieg ściany [m]
1	G-1	3/II/385	strugowa	GH1600 CAT4	1,20 – 1,70	314	1640
2	G-4	3/VIII/385	strugowa	GH1600 CAT2	1,40 – 2,00	305	3395
3	G-4	4/VII/385	strugowa	GHH1600 CAT3	1,35 – 1,95	305	4634
4	G-6	5/VI/385	strugowa	GH1600 CAT3+2	1,10 – 1,80	304	1820
5	G-6	6/VI/385	strugowa	GH1600 CAT3+2	1,40 – 2,00	305	1600
6	G-5	2/I/385	kombajnowa	JOY 4LS3	1,40 – 1,90	318	1600
7	G-5	3/I/385	kombajnowa	JOY 4LS3	1,40 – 2,10	318	1640
8	G-3	3/IV/389	kombajnowa	JOY 4LS22	1,40 – 2,70	296	2410
9	G-2	3/V/391	kombajnowa	JOY 4LS22	1,90 – 2,70	310	2450
10	G-2	4/V/391	kombajnowa	JOY 4LS22	1,90 – 2,70	311	1810



Rys. 1. Wydobycie sumaryczne oraz udział kamienia dla poszczególnych ścian
Fig. 1. Total output and waste rock share for individual longwalls



Rys. 2. Zestawienie wydobywania dobowego oraz sumarycznego czasu pracy dla ścian w analizowanym okresie czasu
Fig. 2. Summary of the daily output and total working time for longwalls in the analysed period of time

12 obiektów. Awaryje elektryczne podzielono na 11 obiektów. Podobnie awaryje mechaniczne podzielono na 11 obiektów. Każdy z obiektów posiada dodatkowe kategorie i podkategorie opisujące szczegółowo element, bądź skutek awarii. Najwięcej kategorii występuje w awariach elektrycznych, bo aż 503, następnie wśród awarii mechanicznych – łącznie 253, a najmniej wśród górniczych – jedynie 93. Struktura raportów awaryjności jest bardzo szczegółowa, przez co jest złożona i uciążliwa z punktu widzenia analizy porównawczej.

W analizowanych okresie czasu wszystkie 10 ścian pracowało łącznie 1484 dni. Ściany te wydobły 13 770 tys. Mg urobku brutto, w tym 9898 tys. Mg netto oraz 3962 tys. Mg skały pływnej. W tym czasie zarejestrowano 2589 awarii o łącznym czasie trwania 260 802 minuty. W związku z tym:

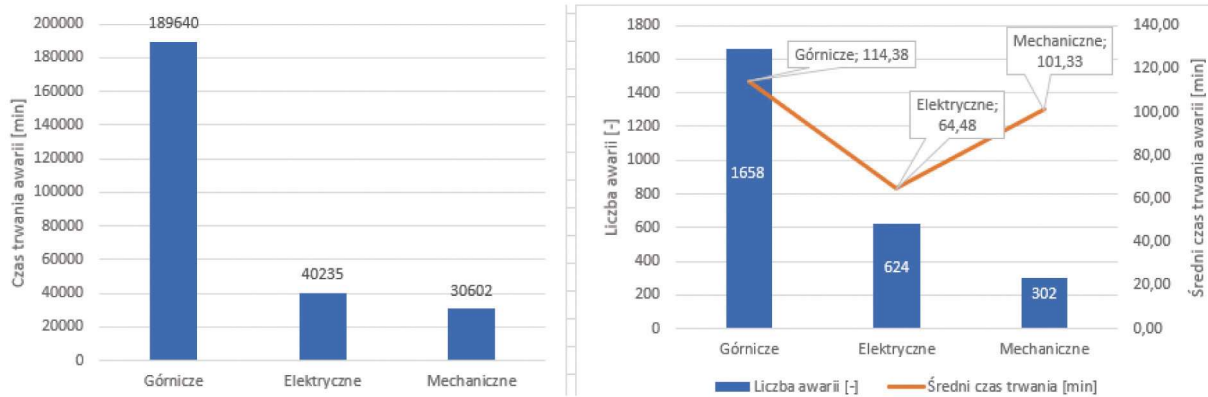
- średni czas trwania awarii wyniósł 100,73 minuty,
- średnio przypada 1,74 awarii na jeden dzień,
- średnio czas trwania awarii na 1 tys. Mg urobku brutto wynosi 18,94 min,

- średnio czas trwania awarii na 1 tys. Mg urobku netto wynosi 26,59 min,
- średnio czas trwania awarii na 1 tys. Mg kamienia wynosi 65,83 min,
- średnio przypada 0,19 awarii na 1 tys. Mg urobku brutto,
- średnio przypada 0,26 awarii na 1 tys. Mg urobku netto,
- średnio przypada 0,65 awarii na 1 tys. Mg urobku kamienia.

Awaryje z rozróżnieniem na górnicze, elektryczne i mechaniczne przedstawiają się w następujący sposób:

- górnicze – czas 189 640 minut, liczba 1658 awarii – średni czas awarii 114 min,
- elektryczne – czas 40 235 minut, liczba 624 awarii – średni czas awarii 64 min,
- mechaniczne – czas 30 602 minuty, liczba 302 awarii – średni czas awarii 101 min.

Na rysunku 3 przedstawiono sumaryczny czas trwania awarii dla poszczególnych rodzajów. Awaryje górnicze stano-



Rys. 3. Sumaryczny czas trwania, liczba oraz średni czas trwania awarii górniczych, elektrycznych i mechanicznych
Fig. 3. Total duration, number and average duration of mining, electrical and mechanical failures

wią prawie 73% czasu trwania wszystkich awarii, natomiast elektrycznie 15%, a mechaniczne 12%. Liczbowo również dominują awarie górnicze, które stanowią 64% liczby wszystkich awarii, natomiast elektryczne stanowią 24%, a mechaniczne 12%. Warto jednak zwrócić uwagę, że średni czas trwania awarii wskazuje na największą czasochłonność awarii górniczych. Awarie górnicze trwają o 10% dłużej niż średnia dla wszystkich awarii. Awarie mechaniczne również charakteryzują się długim czasem likwidacji, który porównywalny jest z wartością średnią dla wszystkich awarii. Natomiast awarie elektryczne trwają około 60% czasu średniego. Analiza ta dotyczy wszystkich obiektów we wszystkich ścianach przy uwzględnieniu podziału na awarie górnicze, elektryczne i mechaniczne.

4. Awaryjność według kategorii awarii

Ocena porównawcza awaryjności kompleksów strugowych i kombajnowych wymaga uwzględnienia takiego podziału przy analizie poszczególnych wskaźników. W związku z tym przeprowadzono analizę z uwzględnieniem podziału na ściany strugowe i kombajnowe. Ze względu na

różny czas pracy ścian oraz różną ilość wydobytego urobku operowano również na wskaźnikach opartych o jeden dzień pracy oraz 1 tys. Mg uzyskanego urobku.

Ściany kombajnowe w analizowanym okresie pracowały 694 dni, podczas których wydobyto 7247 tys. Mg urobku. Natomiast ściany strugowe pracowały 790 dni i uzyskały 6 523 tys. Mg urobku. Średnio kompleksy kombajnowe uzyskały 10 400 Mg/d natomiast strugowe 8300 Mg/d.

W tabeli 2. zestawiono liczbę oraz czas trwania awarii dla ścian kombajnowych oraz strugowych ogólnie (sumarycznie) oraz według rodzaju awarii (górnice, elektryczne, mechaniczne). Zestawienie uwzględnia kolejno wartości całkowite oraz wskaźniki średnie na jeden dzień pracy oraz na tysiąc Mg uzyskanego urobku. Natomiast w tabeli 3 przedstawiono procentową zależność awarii ścian strugowych w odniesieniu do ścian kombajnowych. Wartości przekraczające 100 % oznaczają, że kompleksy strugowe charakteryzowały się większymi wskaźnikami awaryjności niż kombajnowe. Natomiast wartości poniżej 100 % wskazują na mniejszą awaryjność kompleksów strugowych. Jedynie trzy wskaźniki w awariach mechanicznych przemawiają na korzyść kompleksów strugowych, pozostałe na korzyść kombajnowych.

Tabela 2. Wskaźniki awaryjności kompleksów kombajnowych i strugowych
Table 2. Failure rates of shearer and plow systems

	ogółem		górnice		elektryczne		mechaniczne	
	kombajn	strug	Kombajn	strug	kombajn	strug	kombajn	strug
liczba awarii [-]	990	1599	551	1107	267	354	169	132
czas awarii [min]	100137	160665	66956	122684	17936	22219	15160	15427
średni czas awarii [min]	101	100	122	111	67	63	90	117
liczba awarii [%]	38,2%	61,8%	33,2%	66,8%	43,0%	57,0%	56,1%	43,9%
czas awarii [%]	38,4%	61,6%	35,3%	64,7%	44,7%	55,3%	49,6%	50,4%
liczba awarii [1/d]	1,43	2,02	0,79	1,40	0,38	0,45	0,24	0,17
czas awarii [min/d]	144,3	203,4	96,5	155,3	25,8	28,1	21,8	19,5
liczba awarii [1/tyś. Mg]	0,137	0,245	0,076	0,170	0,037	0,054	0,023	0,020
czas awarii [min/tyś. Mg]	13,8	24,6	9,2	18,8	2,5	3,4	2,1	2,4

Tabela 3. Procent awarii ścian strugowych w stosunku do ścian kombajnowych
Table 3. Percentage of failures in longwalls in relation to shearer longwalls

Wskaźnik	ogółem	górnice	elektryczne	mechaniczne
liczba awarii [1/d]	142%	176%	116%	69%
czas awarii [min/d]	141%	161%	109%	89%
liczba awarii [1/tyś. Mg]	179%	223%	147%	87%
czas awarii [min/tyś. Mg]	178%	204%	138%	113%

Analizując wskaźniki opisujące liczbę awarii oraz czas trwania awarii, można stwierdzić, że ogółem awarie ścian strugowych są o około 40 % wyższe w przeliczeniu na jeden dzień oraz o około 80% wyższe w przeliczeniu na tysiąc Mg urobku niż dla ścian kombajnowych. Jedynie awarie mechaniczne, które stanowią najmniejszy udział awarii, dla niektórych wskaźników są na korzyść ścian strugowych.

5. Analiza awaryjności ścian kombajnowych

Liczbę oraz czas trwania awarii ścian kombajnowych zestawiono tabelarycznie w tabeli 4. W tabeli zamieszczono również średni czas trwania awarii dla poszczególnych obiektów oraz procentowy udział czasu trwania oraz liczby awarii w stosunku do wartości sumarycznych dla awarii ogółem. W celu uzyskania porównawczych wskaźników awaryjności obliczono również liczbę awarii oraz czas trwania awarii na jeden dzień pracy kompleksu oraz na tysiąc Mg uzyskanego urobku. Następnie liczbę awarii oraz średni czas trwania awarii przedstawiono na rysunku 4. Analogicznie na rysunku

5 przedstawiono czas trwania awarii i średni czas awarii. Informacje dotyczące istotności awarii dla danego obiektu przedstawiono za pomocą diagramów Pareto, tak dla liczby awarii, jak i dla czasu awarii, kolejno na rysunku 6 oraz 7.

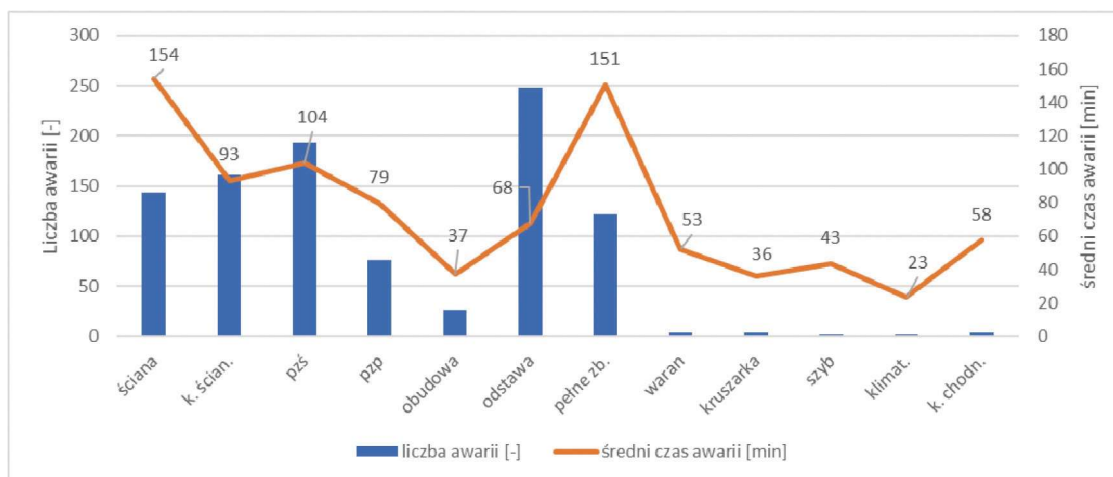
Podsumowując dane dotyczące awarii ścian kombajnowych według obiektów, można stwierdzić, że:

- Najczęściej awarie dotyczą kolejno następujących obiektów: odstawa, przenośnik ścianowy, kombajn ścianowy, postój ściany, pełne zbiorniki, które stanowią ponad 85% liczby wszystkich awarii.
- Najdłużej trwały awarie dotyczące kolejno, postoiu ściany, przenośnika ścianowego, pełnych zbiorników, odstawy i kombajnu ścianowego, które stanowią ponad 90% czasu trwania wszystkich awarii.
- Wśród istotnych awarii, średnio najdłużej trwają awarie dotyczące postoiu ściany (154 min), pełnych zbiorników (151 min), przenośnika ścianowego (104 min), kombajnu ścianowego (93 min) i odstawy (68 min).
- Awarie dotyczące kombajnu ścianowego stanowią 16% liczby awarii oraz 5% czasu awarii.

Tabela 4. Zestawienie informacji o czasie i liczbie awarii ścian kombajnowych

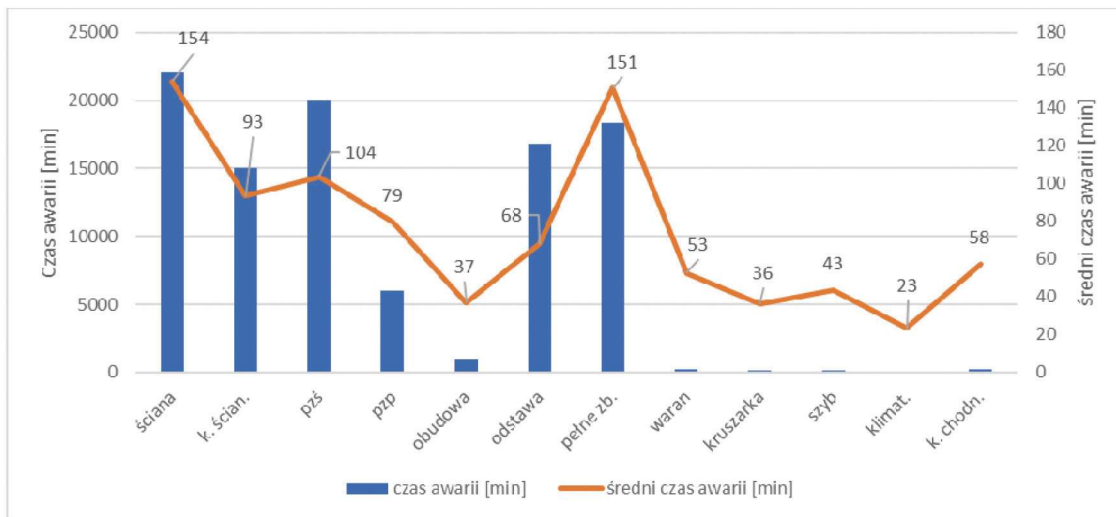
Table 4. Information on the time and number of failures of shearer longwalls

	ściana	k. ścian.	pżś	pżp	obudowa	odstawa	pełne zb.	waran	kruszaraka	szyb	klimat.	k. chodn.
liczba awarii [-]	143	161	193	76	26	248	122	4	4	3	3	4
czas awarii [min]	22047	15043	20012	6040	965	16797	18363	210	145	130	70	230
średni czas [min]	154	93	104	79	37	68	151	53	36	43	23	58
liczba awarii [%]	14,5%	16,3%	19,6%	7,7%	2,6%	25,1%	12,4%	0,4%	0,4%	0,3%	0,3%	0,4%
czas awarii [%]	22,0%	15,0%	20,0%	6,0%	1,0%	16,8%	18,4%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%
liczba awarii [1/d]	0,21	0,23	0,28	0,11	0,04	0,36	0,18	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
czas awarii [min/d]	31,8	21,7	28,8	8,7	1,4	24,2	26,5	0,3	0,2	0,2	0,1	0,3
liczba [1/tyś. Mg]	0,020	0,022	0,027	0,010	0,004	0,034	0,017	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001
czas [min/tyś. Mg]	3,0	2,1	2,8	0,8	0,1	2,3	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

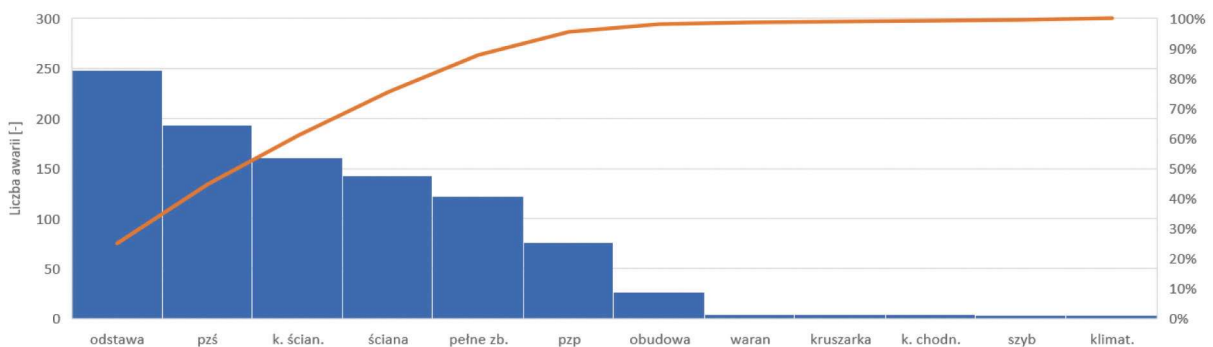


Rys. 4. Liczba awarii i średni czas trwania awarii ścian kombajnowych ogółem

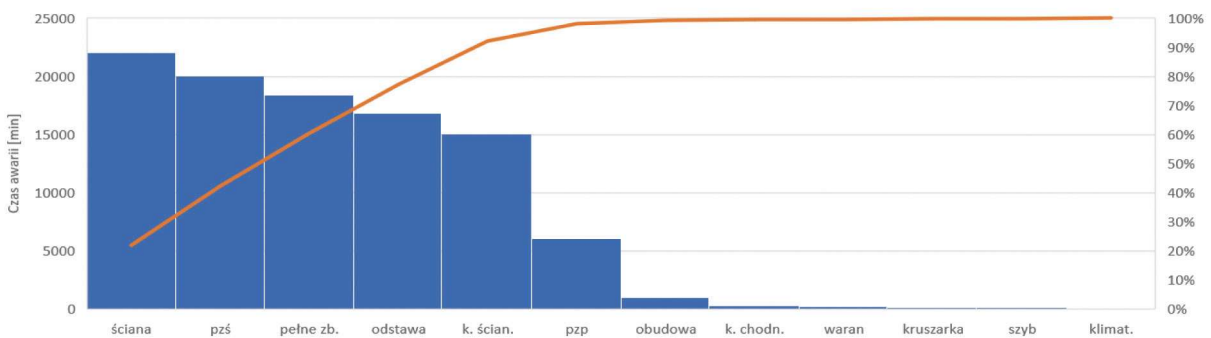
Fig. 4. Number of failures and average duration of failures of shearer longwalls in total



Rys. 5. Czas trwania awarii i średni czas trwania awarii ścian kombajnowych ogółem
 Fig. 5. Duration of failures and average duration of failures of shearer longwalls in total



Rys. 6. Diagram Pareto dla liczby awarii ścian kombajnowych ogółem
 Fig. 6. Pareto chart for the total number of shearer longwall failures



Rys. 7. Diagram Pareto dla czasu trwania awarii ścian kombajnowych ogółem
 Fig. 7. Pareto chart for the total duration of shearer longwall failures

6. Analiza awaryjności ścian strugowych

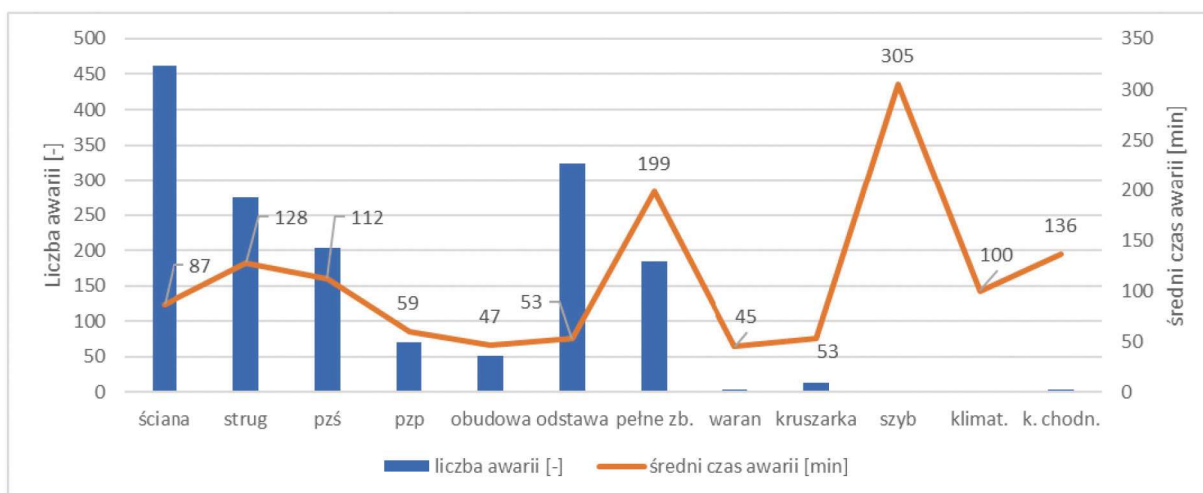
Liczbę oraz czas trwania awarii górniczych ścian strugowych zestawiono tabelarycznie w tabeli 5. W tabeli zamieszczono również średni czas trwania awarii dla poszczególnych obiektów oraz procentowy udział czasu trwania oraz liczby awarii w stosunku do wartości sumarycznych dla awarii ogółem. Analogicznie jak wcześniej obliczono również

liczbę awarii oraz czas trwania awarii na jeden dzień pracy kompleksu oraz na tysiacy Mg uzyskanego urobku. Następnie liczbę awarii oraz średni czas trwania awarii przedstawiono na rysunku 8. Analogicznie na rysunku 9 przedstawiono czas trwania awarii i średni czas awarii. Informacje dotyczące istotności awarii dla danego obiektu przedstawiono za pomocą diagramów Pareto, tak dla liczby awarii, jak i dla czasu awarii, kolejno na rysunku 10 i 11.

Tabela 5. Zestawienie informacji o czasie i liczbie awarii ścian strugowych

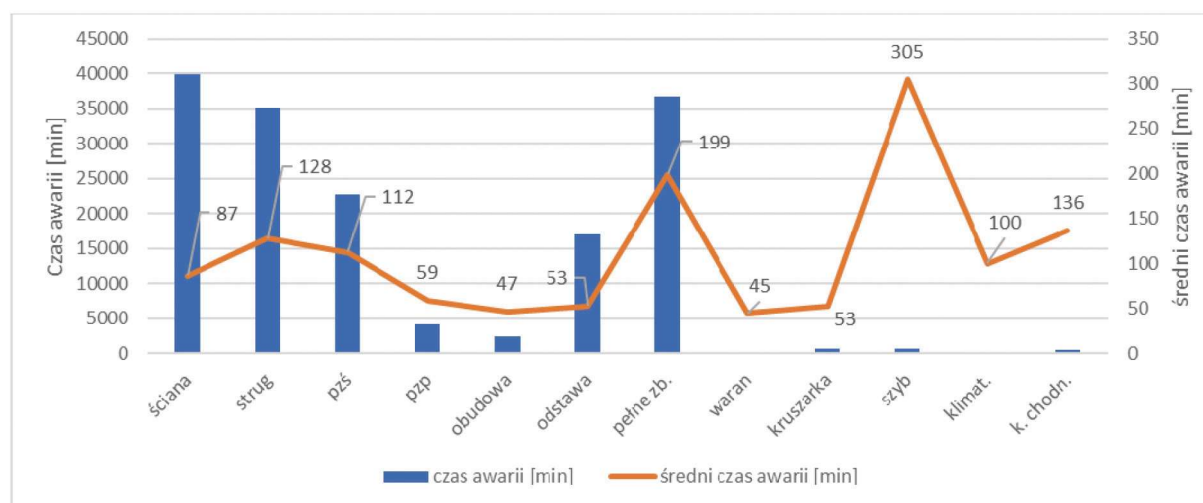
Tab. 5. Summary of information on the time and number of failures in plow longwalls

	ściana	strug	pżś	pzp	obudowa	odstawa	pełne zb.	waran	kruszarika	szyb	klimat.	k. chodn.
liczba awarii [-]	462	275	203	70	51	324	185	3	13	2	1	4
czas awarii [min]	39968	35114	22760	4160	2389	17094	36770	135	685	610	100	545
średni czas [min]	87	128	112	59	47	53	199	45	53	305	100	136
liczba awarii [%]	29,0%	17,3%	12,7%	4,4%	3,2%	20,3%	11,6%	0,2%	0,8%	0,1%	0,1%	0,3%
czas awarii [%]	24,9%	21,9%	14,2%	2,6%	1,5%	10,7%	22,9%	0,1%	0,4%	0,4%	0,1%	0,3%
liczba [1/d]	0,58	0,35	0,26	0,09	0,06	0,41	0,23	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01
czas [min/d]	50,6	44,4	28,8	5,3	3,0	21,6	46,5	0,2	0,9	0,8	0,1	0,7
liczba [1/tyś. Mg]	0,071	0,042	0,031	0,011	0,008	0,050	0,028	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001
czas [min/tyś. Mg]	6,1	5,4	3,5	0,6	0,4	2,6	5,6	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1



Rys. 8. Liczba awarii i średni czas trwania awarii ścian strugowych ogółem

Fig. 8. Number of failures and average duration of failures of plow longwalls in total



Rys. 9. Czas trwania awarii i średni czas trwania awarii ścian strugowych ogółem

Fig. 9. Duration of failures and average duration of failures of plow longwalls in total

Podsumowując dane dotyczące awarii ścian strugowych ogółem według obiektów, można stwierdzić, że:

- Najczęściej awarie dotyczą kolejno: postoiu ściany, odstawy, struga, przenośnika ścianowego i pełnych zbiorników, które stanowią ponad 90% liczby wszystkich awarii.
- Najdłużej trwały awarie dotyczące kolejno: postoiu ściany, pełnych zbiorników, struga, przenośnika ścianowego oraz odstawy, które stanowią prawie 95% czasu trwania wszystkich awarii.
- Wśród istotnych awarii, średnio najdłużej trwają awarie dotyczące pełnych zbiorników (199 min.), struga (128 min.), przenośnika ścianowego (112), postoiu ściany (87 min.) oraz odstawy (53 min.).
- Awarie dotyczące struga stanowią 17% liczby awarii oraz 22% czasu awarii.

7. Porównanie wskaźników awaryjności kompleksów

W ramach analizy awaryjności ścian strugowych oraz kombajnowych wyznaczono wskaźniki określające awaryjność poszczególnych obiektów w przeliczeniu na jeden dzień pracy ściany oraz tysiąc Mg urobku. Uwzględniając wnioski dotyczące istotności poszczególnych obiektów ulegających awarii, a zwłaszcza wykresy Pareto, dalszą analizę przeprowadzono porównawczo dla ścian strugowych i kombajnowych uwzględniając:

- maszynę urabiającą: K/S (kombajn / strug),
- przenośnik ścianowy: pzś,
- przenośnik podścianowy: pzp,
- obudowę: obudowa,
- postój ściany: ściana,
- odstawę: odstawa,

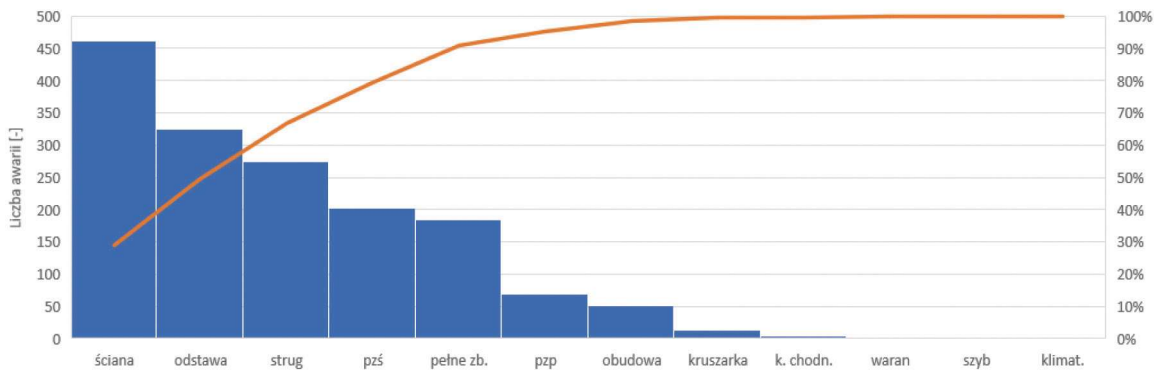
- pełne zbiorniki: pełne zb.

Poszczególne wskaźniki zebrano tabelarycznie w tabeli 6. W tabeli umieszczono kolejno obliczone wskaźniki, a następnie opracowano wykresy słupkowe porównujące awaryjność obiektów w ścianach kombajnowych (K) i strugowych (S). Dodatkowo w tabeli umieszczono obliczoną procentowo awaryjność obiektów ścian strugowych w stosunku do awaryjności ścian kombajnowych. Wartości dodatnie wskazują na większą awaryjność dla techniki strugowej, a ujemne wskazują na większą awaryjność dla techniki kombajnowej. Analiza sumaryczna wszystkich awarii dla kolejnych obiektów stanowi najważniejszy element porównania obu technik. Przeanalizowano następujące wskaźniki:

- liczba awarii na jeden dzień – rysunek 12,
- czas awarii na jeden dzień – rysunek 13,
- liczba awarii na tysiąc Mg urobku – rysunek 14,
- czas awarii na tysiąc Mg urobku – rysunek 15.

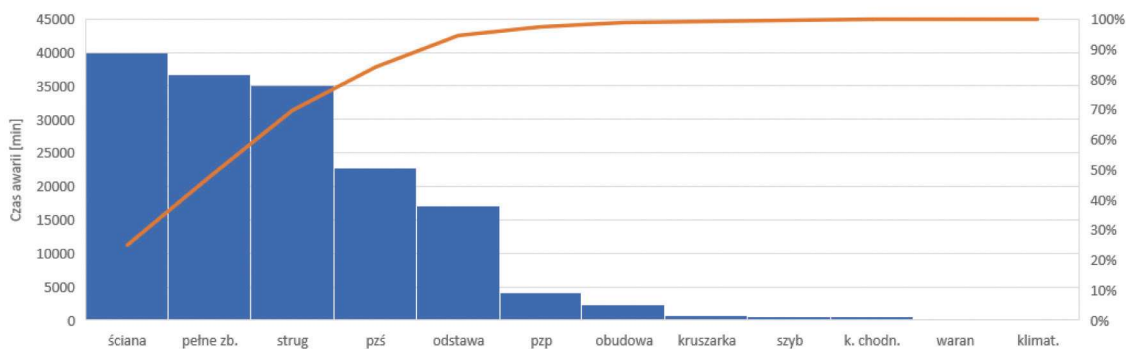
Wnioski z analizy porównawczej awarii:

- strug charakteryzuje się do 160% wyższą awaryjnością niż kombajn,
- przenośnik ścianowy charakteryzuje się porównywalną awaryjnością dla obu technik, z przewagą dla techniki kombajnowej,
- przenośnik podścianowy charakteryzuje się porównywalną awaryjnością dla obu technik, z przewagą dla techniki strugowej,
- obudowa ścianowa charakteryzuje się do ponad 180% wyższą awaryjnością dla techniki strugowej,
- postoje ściany charakteryzują się do prawie 260% wyższą awaryjnością dla techniki strugowej,
- odstawa charakteryzuje się porównywalną lub wyższą do prawie 50% awaryjnością w przypadku techniki strugowej,



Rys. 10. Diagram Pareto dla liczby awarii ścian strugowych ogółem

Fig. 10. Pareto chart for the total number of plow longwall failures

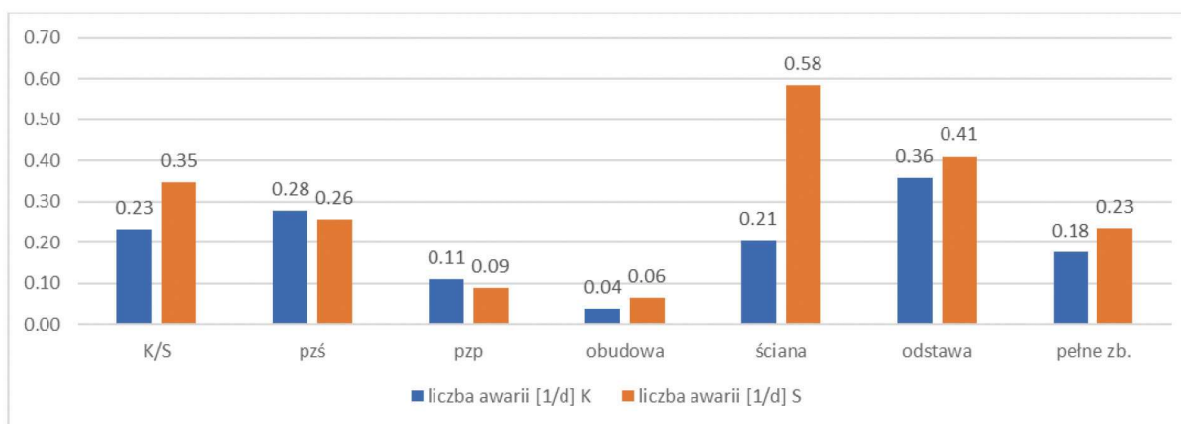


Rys. 11. Diagram Pareto dla czasu trwania awarii ścian strugowych ogółem

Fig. 11. Pareto chart for the total failure time/duration of failures of plow longwalls

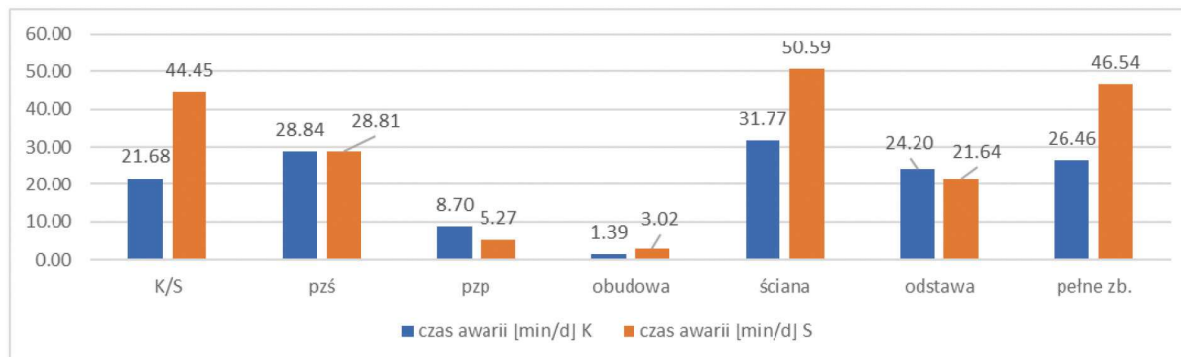
Tabela 6. Porównanie wskaźników awarii ogółem dla ścian kombajnowych i strugowych
Table 6. Comparison of the total failure rates for shearer and plow longwalls

		K/S	pzs	pzp	obudowa	ściana	odstawa	pełne zb.
liczba awarii [1/d]	K	0,23	0,28	0,11	0,04	0,21	0,36	0,18
	S	0,35	0,26	0,09	0,06	0,58	0,41	0,23
	%	50%	-8%	-19%	72%	184%	15%	33%
czas awarii [min/d]	K	21,68	28,84	8,70	1,39	31,77	24,20	26,46
	S	44,45	28,81	5,27	3,02	50,59	21,64	46,54
	%	105%	0%	-39%	117%	59%	-11%	76%
liczba awarii [1/tyś. Mg]	K	0,022	0,027	0,010	0,004	0,020	0,034	0,017
	S	0,042	0,031	0,011	0,008	0,071	0,050	0,028
	%	90%	17%	2%	118%	259%	45%	68%
czas awarii [min/tyś. Mg]	K	2,08	2,76	0,83	0,13	3,04	2,32	2,53
	S	5,38	3,49	0,64	0,37	6,13	2,62	5,64
	%	159%	26%	-23%	175%	101%	13%	122%



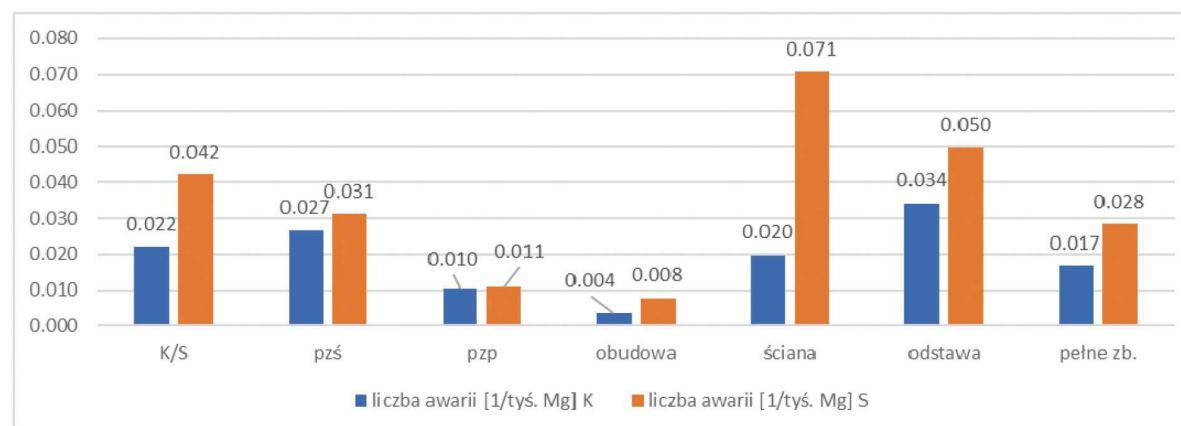
Rys. 12. Porównanie liczby awarii ogółem na jeden dzień pracy ściany

Fig. 12. Comparison the total number of failures per one day of longwall operation



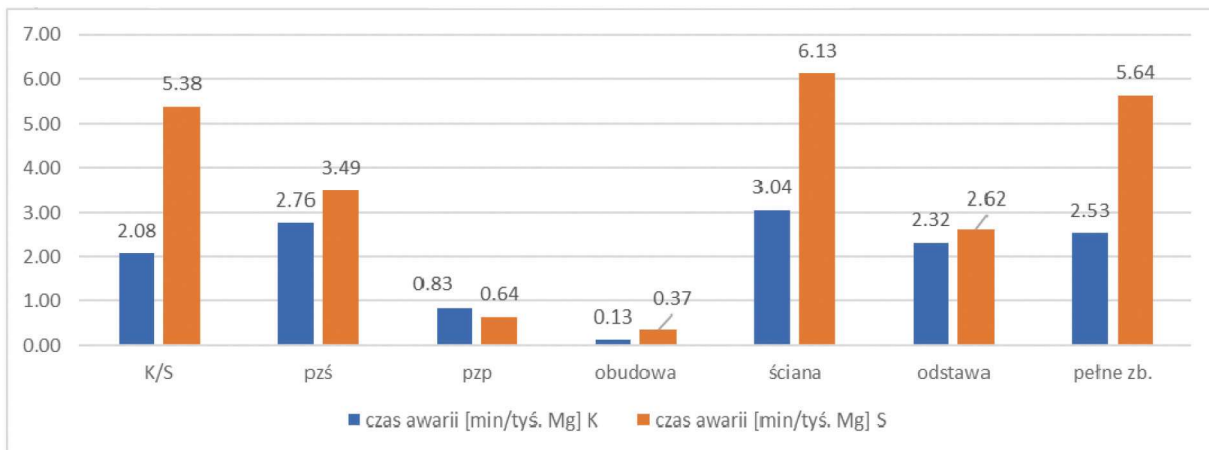
Rys. 13. Porównanie czasu trwania awarii ogółem na jeden dzień pracy ściany

Fig. 13. Comparison of the total duration of failures per one day of longwall operation



Rys. 14. Porównanie liczby awarii ogółem na tysiąc Mg urobku

Fig. 14. Comparison of the total number of failures per one thousand Mg of excavated material



Rys. 15. Porównanie czasu trwania awarii ogółem na tysiąc Mg urobku

Fig. 15. Comparison of the total failure duration per one thousand Mg of excavated material

- pełne zbiorniki dotyczą tylko awarii górniczych, stąd wnioski są identyczne.

Należy zaznaczyć, że awaria określona jako „ściana” (postój ściany) jest to grupa awarii, w których występują między innymi następujące zdarzenia: podkładanie pod przenośnik, wykładka/przygotowanie wnęk, skrót przenośnika taśmowego, opad stropu w ścianie, zaciśnięta ściana, zaciśnięty napęd, roboty strzałowe. W przyszłości zasadnym jest wprowadzenie osobnej kategorii, do której mogą zostać sklasyfikowane te awarie, które obiektywnie nie są zależne od kompleksu ścianowego. Dzięki temu awarie takie, nie obciążałyby wskaźników kompleksu ścianowego.

8. Podsumowanie

Dyspozycyjny czas pracy maszyn jest parametrem kluczowym w każdym przedsiębiorstwie wykorzystującym park maszynowy. Dostępność informacji o awaryjności poszczególnych typów maszyn ma kluczowe znaczenie w procesie podejmowania decyzji o zakupie.

Zmechanizowane kompleksy kombajnowe i strugowe są podstawowymi maszynami do eksploatacji węgla kamiennego zalegającego w postaci pokładów. Dla pokładów o cienkich i o średniej grubości stosować można obie techniki. Tak technika strugowa jak i kombajnowa charakteryzują się określonymi wadami i zaletami. Pomimo wielu dostępnych opracowań traktujących o zmechanizowanych kompleksach ścianowych, do tej pory nie było dostępne kompleksowe opracowanie przedstawiające porównanie awaryjności obu rozwiązań. Stąd przedmiotowe opracowanie stanowi unikatowy i cenny materiał. Należy wyraźnie podkreślić, że warunki górniczo-geologiczne w polskich kopalniach są wymagające i trudne, stąd są bardzo dobrym poligonem do testowania maszyn górniczych. W przeprowadzonych badaniach oba kompleksy urabiające pracowały w tej samej kopalni, co gwarantuje tę samą strukturę organizacyjną, taki sam poziom techniczny załóg oraz bardzo zbliżone warunki pracy maszyn. Należy podkreślić, że w kopalni LW Bogdanka stosowane są takie same procedury dotyczące raportowania maszyn dla całego zakładu.

Szczegółowa analiza wskaźników awaryjności dla obiektów charakteryzujących się największą liczbą awarii pozwoliła na sprecyzowanie szeregu wniosków. W analizie uwzględniono te obiekty, których awaryjność może zależeć od rodzaju zastosowanej techniki. Założono, że analiza ta pozwoli na określenie, czy zastosowana technika (kombajnowa, lub

strugowa) ma wpływ na liczbę i czas awarii związanych nie tylko z samą maszyną urabiającą, ale również z przenośnikami ścianowym i podścianowym, obudową ścianową, postojem ściany i odstawa. Uzyskane wyniki podważają dotychczasową opinię mówiącą o przewadze kompleksów strugowych nad kombajnowymi w tym aspekcie. Przeprowadzona analiza porównawcza awaryjności ścian, wskazuje na zauważalnie wyższą awaryjność ścian wyposażonych w kompleksy strugowe.

Literatura

- ANTOSZ K., STADNICKA D. 2015 - Evaluation measures of machine operation effectiveness in large enterprises: study results. *Eksplatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 17, 107–117. <https://doi.org/10.17531/ein.2015.1.15>
- BOŁOZ Ł. 2020 - Interpretation of the results of mechanical rock properties testing with respect to mining methods. *AMS* 25. <https://doi.org/10.46544/AMS.v25i1.8>
- BOŁOZ Ł. 2018a - Longwall shearers for exploiting thin coal seams as well as thin and highly inclined coal seams. *miag* 4 (534), 59. <https://doi.org/10.7494/miag.2018.2.534.59>
- BOŁOZ Ł. 2018b - Model tests of longwall shearer with string feed system. *Archives of Mining Sciences* 63, 61–74. <https://doi.org/10.24425/118885>
- BOŁOZ Ł. 2013 - Unique project of single-cutting head longwall shearer used for thin coal seams exploitation. *Archives of Mining Sciences* 58, 1057–1070. <https://doi.org/10.2478/amsc-2013-0073>
- BOŁOZ Ł., BIAŁY W. 2020 - Automation and Robotization of Underground Mining in Poland. *Applied Sciences* 10, 7221. <https://doi.org/10.3390/app10207221>
- BOŁOZ Ł., CASTAÑEDA L.F. 2018 - Computer-Aided Support for the Rapid Creation of Parametric Models of Milling Units for Longwall Shearers. *Management Systems in Production Engineering* 26, 193–199. <https://doi.org/10.1515/mspe-2018-0031>
- BOŁOZ Ł., RAK Z., STASICA J. 2022 - Comparative Analysis of the Failure Rates of Shearer and Plow Systems—A Case Study. *Energies* 15, 6170. <https://doi.org/10.3390/en15176170>
- BRODNY J., TUTAK M. 2022 - Applying Sensor-Based Information Systems to Identify Unplanned Downtime in Mining Machinery Operation. *Sensors* 22, 2127. <https://doi.org/10.3390/s22062127>
- JEDLIŃSKI Ł., SYTA A., GAJEWSKI J., JONAK J. 2022 - Nonlinear analysis of cylindrical gear dynamics under varying tooth breakage. *Measurement* 190, 110721. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.110721>
- KOTWICA K., STOPKA G., KALITA M., BAŁAGA D., SIEGMUND M. 2021 - Impact of Geometry of Toothed Segments of the Innovative KOMTRACK Longwall Shearer Haulage System on Load and Slip

- during the Travel of a Track Wheel. *Energies* 14, 2720. <https://doi.org/10.3390/en14092720>
- KOTWICA K., MAŁKOWSKI P. 2019 - Methods of Mechanical Mining of Compact-Rock—A Comparison of Efficiency and Energy Consumption. *Energies* 12, 3562. <https://doi.org/10.3390/en12183562>
- KRÓL R., ZIMROZ R., STOLARCZYK Ł. 2009 - Failure analysis of hydraulic systems used in mining machines operating in copper ore mine KGHM POLSKA MIEDZ S.A. *Mining Science* 128, 127–139.
- PAITHANKAR A., CHATTERJEE S. 2018 - Forecasting time-to-failure of machine using hybrid Neuro-genetic algorithm – a case study in mining machinery. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment* 32, 182–195. <https://doi.org/10.1080/17480930.2016.1262499>
- RAK Z., STASICA J., BURTAN Z., CHLEBOWSKI D. 2020 - Technical Aspects of Mining Rate Improvement in Steeply Inclined Coal Seams: A Case Study. *Resources* 9, 138. <https://doi.org/10.3390/resources9120138>
- SKOTNICKA-ZASADZIEN B., BIAŁY W. 2011 - An analysis of possibilities to use aparetto chart for evaluating mining machines' failure frequency. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 51, 51–55.
- SZURGACZ D., TRZOP K., GIL J., ZHIRONKIN S., POKORNÝ J., GONDEK H. 2022 - Numerical Study for Determining the Strength Limits of a Powered Longwall Support. *Processes* 10, 527. <https://doi.org/10.3390/pr10030527>
- ZASADZIEN M., 2014 - Using the pareto diagram and fmea (failure mode and effects analysis) to identify key defects in a product. *Management Systems in Production Engineering* 153–156. <https://doi.org/10.12914/MSPE-02-04-2014>
- ZASADZIEN M., MIDOR K. 2015 - Innovative application of quality management tools in a hard coal mine. Presented at the 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2015.
- Artykuł wpłynął do redakcji we wrześniu 2022 r.
Artykuł zaakceptowano do druku 10.10.2022 r.

Lukasz Bołoz dr inż. AGH w Krakowie, adiunkt w Katedrze Inżynierii Maszyn i Transportu (poprzednia nazwa Katedra Maszyn Górniczych Przeróbczych i Transportowych), broker Innowacji na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki.

Zbigniew Rak dr inż. AGH w Krakowie, adiunkt w Katedrze Inżynierii Górniczej i Bezpieczeństwa Pracy na Wydziale Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami.

Jerzy Stasica dr inż. AGH w Krakowie, adiunkt w Katedrze Inżynierii Górniczej i Bezpieczeństwa Pracy na Wydziale Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami.

Lukasz Herezy dr inż. Lubelski Węgiel „BOGDANKA” S.A. Specjalista z zakresu górnictwa podziemnego, nowych technologii, automatyzacji i digitalizacji górnictwa. Konsultant w zakresie optymalizacji procesów technologicznych. Lherezyx1@gmail.com

ICI JOURNALS MASTER LIST

Szanowni Państwo,

Uprzejmie informujemy, że czasopismo „Przeгляд Górnicy (ISSN: 0033-216X)” pozytywnie przeszło proces oceny i jest indeksowane w bazie ICI Journals Master List za rok 2021.

Na podstawie weryfikacji informacji z ankiety ewaluacyjnej oraz analizie wydań czasopisma z 2021 roku, wyznaczona została wartość wskaźnika Index Copernicus Value (ICV) za rok 2021.

ICV 2021 = 73.68

Wyznaczona ocena jest widoczna na liście czasopism ICI Journals Master List 2021 <https://journals.indexcopernicus.com/search/formjml> oraz w Paszporcie Państwa czasopisma <https://journals.indexcopernicus.com/search/details?id=28377&lang=pl>

Jednocześnie zapraszamy Państwa do skorzystania z dodatkowych możliwości wynikających z indeksacji czasopisma na liście ICI Journals Master List 2021:

Raport Szczegółowy z oceny

Prezentujący szczegóły przeprowadzonej oceny w formie pojedynczych kryteriów oraz ich grup wraz z uzyskanymi wartościami punktowymi, co pozwala na analizę przyznanej punktacji, a także identyfikację pojedynczych elementów, które Redakcja może poprawić wprowadzając niewielkie modyfikacje w działalności wydawniczej.

Ozdobny certyfikat

Certyfikat potwierdzający indeksację czasopisma. Przygotowany jest dla konkretnego czasopisma, zawiera jego numer ISSN, tytuł oraz rok indeksacji. Znajduje się w szklanej ramie i opatrzony jest identyfikacją wizualną ICI Journals Master List.

Logotyp Index Copernicus

Roczna licencja na korzystanie z Logotypu Index Copernicus, którym Redakcja może posługiwać się wydaniach drukowanych i elektronicznych. Zamieszczenie Logotypu w czasopiśmie wskazuje, że jest ono aktualnie indeksowane na międzynarodowej liście czasopism naukowych ICI Journals Master List, co pomaga budować markę czasopisma, zwiększa jego prestiż, a także wspiera jego promocję.

Zachęcamy do złożenia zamówienia telefonicznie lub on-line w systemie ICI World Of Journals. Aby dowiedzieć się więcej i poznać szczegóły oferty, prosimy o kontakt pod numerem telefonu +48 22 487 53 93 lub adresem e-mail: evaluation@indexcopernicus.com.

Z poważaniem,

Zespół Ewaluacji Czasopism Naukowych
Index Copernicus International
www.indexcopernicus.com