



## Karta miar efektywności jako narzędzie oceny pracy kompleksu ścianowego

### Performance measures report card as a tool for evaluate the work of longwall system

Mgr inż. Rafał Polak<sup>\*)</sup>

**Treść:** W artykule podjęto problematykę oceny pracy kompleksów ścianowych. W tym celu przedstawiono propozycje karty miar efektywności, która może być podstawą szybkiej i miarodajnej oceny przebiegu eksploatacji zmechanizowanych systemów wydobywczych. Zastosowanie opisanego narzędzia umożliwia wielokryterialne porównanie poszczególnych przodków ścianowych oraz identyfikację kluczowych obszarów strat skutkujących ograniczeniem produkcji. Wzór budowy karty rozszerzony został o opis uzupełniających technik analizy danych. Jak starano się dowieść, zaproponowane narzędzia oceny efektywności mogą być z powodzeniem wykorzystane w celach optymalizacyjnych, stanowiąc wymierne wsparcie w obszarze zarządzania produkcją przedsiębiorstw górniczych.

**Abstract:** The paper presents the issues of assess the performance of longwall systems. For this purpose, puts forward proposals of performance measures card, which may be useful for a rapid and reliable assessment of progress exploitation of mechanized mining systems. The use of the described tool enables multi-criteria comparisons between longwalls and identify key areas of loss resulting reduction in production. Conception of the card was extended by a description of additional data analysis techniques. Proposed assessment tools can be successfully used for the purposes of optimization, providing support in the area of production management in mining companies.

#### Słowa kluczowe:

techniki analizy danych, zmechanizowany system wydobywczy, kompleks ścianowy, miary efektywności, karta oceny efektywności

#### Key words:

data analysis techniques, mining equipment, longwall system, performance measures, evaluation card

## 1. Wprowadzenie

Zagadnienie oceny efektywności pracy podstawowych środków produkcji stosowanych w górnictwie podziemnym w opinii autora wciąż budzi pewne kontrowersje. Argumentować to można faktem, że czynność ta stanowi preludeum do szeroko pojętej optymalizacji. Odnośnie tego ostatniego działania zasadniczo możemy mieć do czynienia z dwoma hipotetycznymi sytuacjami:

- procesy użytkowania wyposażenia są realizowane w sposób optymalny,
- istnieje obszar wymagający potencjalnego usprawnienia.

Podjęcie problematyki oceny efektywności i optymalizacji, wynika bowiem w prostej linii z domniemania, że mamy do czynienia z drugą sytuacją, mianowicie istnieje możliwość poprawy realizowanych procesów produkcyjnych. Stan ten w innym ujęciu postrzegany być może jako zorganizowane działanie zmierzające do udowodnienia niegospodarności lub nieudolności właściciela majątku, co sprawia, że jest to temat również złożony jak i drażliwy.

W ostatnich latach tematyce optymalizacji w górnictwie poświęconych zostało szereg publikacji m.in. [2, 3, 4, 5, 7]. Zainteresowanie tym tematem nie powinno budzić zdziwienia, biorąc pod uwagę specyfikę branży. Optymalizacja stano-

wić powinna stały element ciągłego procesu doskonalenia działalności operacyjnej w nieustannie zmieniających się warunkach mikro i makro otoczenia prowadzonej działalności. Zagadnienie to dodatkowo zyskuje na znaczeniu, zważając na to, że w obecnej sytuacji rynkowej przedsiębiorstwa górnicze są zdeterminowane by poprawić efektywność wykorzystania podstawowego majątku produkcyjnego we wszystkich możliwych aspektach. W związku z czym, wdrożenie nawet uproszczonych metod oceny w obszarze użytkowania podstawowych maszyn i urządzeń górniczych wydaje się już nie tyle uzasadnione, co konieczne. W myśl zasady „nie możesz zarządzać czymś, czego nie da się zmierzyć”, by rozpocząć ten proces, należy wdrożyć określone techniki pomiarowe, mające za zadanie dostarczyć użytecznych decyzyjnie informacji.

Technika opisana w pracy zakłada zastosowanie karty miar efektywności, jako podstawowego narzędzia umożliwiającego śledzenie, ocenę i wielowymiarową analizę efektywności zmechanizowanych systemów wydobywczych. Funkcjonalność karty zaprezentowano, posługując się przykładem kompleksu ścianowego, stanowiącego ciąg współpracujących ze sobą maszyn i urządzeń m.in.:

- obudowy zmechanizowanej,
- kombajnu ścianowego lub struga,
- przenośnika ścianowego,
- przenośnika podścianowego,
- kruszarki,
- urządzeń pomocniczych.

<sup>\*)</sup> IGSMiE PAN w Krakowie

Potencjalny wachlarz zastosowania opisanych narzędzi może być istotnie szerszy, obejmując przykładowo wozy odstawcze lub ładowarki oponowe stosowane w górnictwie rud miedzi. Wybór kompleksu ścianowego jako podstawowego przedmiotu uwagi w głównej mierze podyktowany jest faktem ich powszechnego wykorzystania w sektorze górnictwa podziemnego, co w bieżącej sytuacji rynkowej koncentruje uwagę bezpośrednio wokół kwestii oceny efektywności użytkowania tegoż obiektu.

## 2. Koncepcja karty miar efektywności

W chwili obecnej brakuje w branży powszechnie funkcjonujących, jednorodnych standardów oceny efektywności pracy zmechanizowanych kompleksów wydobywczych. Poszczególne przedsiębiorstwa stosują nieco inny zestaw danych, różnice obejmują również ich szczegółowość, źródło oraz jakość. Wynika to po części z faktu, że poza nielicznymi przypadkami, m.in. samojezdnych maszyn górniczych stosowanych w KGHM PM S.A., branża nie wdraża metod wspomagających zarządzanie parkiem maszynowym, opartych na filarach takich jak m.in. TPM (ang. *Total Productive Maintenance*). Jakikolwiek standardy informacyjne umożliwiające porównanie poszczególnych przedsiębiorstw w wymiarze w jakim obecnie funkcjonują, w większości wynikają z przepisów regulujących działalność górnictwa i gospodarczą. W aspekcie tematu pracy szczegółowy opis zakresu informacji gromadzonych przez przedsiębiorstwa górnicze nie jest nader istotny. W znacznym uproszczeniu wyszczególnić w tym zakresie należy następujące, ewidencjonowane cyklicznie informacje:

- pomiary rejestrowane zdalnie lub lokalnie przez różnorodne systemy techniczne,
- zmianowe i dobowe raporty produkcyjne,
- rejestry zdarzeń (awarii),
- miesięczne koszty operacyjne,
- dokumenty mierniczo-geologiczne (m.in. odbiory i profile geologiczne).

Szczegółowo dla kompleksu ścianowego oznacza to ewidencję:

- zmianowego wydobycia lub postępu przodka ścianowego,
- dobowego lub miesięcznego czasu pracy kombajnu,
- miesięcznych kosztów działalności w układzie rodzajowym i procesowym z dekretacją według miejsc powstawania,
- incydentów (awarii i zatrzymań eksploatacji),
- pomiarów mierniczo-geologicznych (miesięcznych odbiorów).

W dalszej kolejności najczęściej analizom poddawane są dane miesięczne, co pozwala wprowadzić niezbędne korekty wynikające z naturalnych ograniczeń doraźnych raportów zgłaszanych drogą telefoniczną oraz faktu, że poszczególne informacje posiadają różny wymiar dekretacji czasowej. Tego typu działanie pozwala na przeprowadzenie uogólnionej regresji kosztów i wyników produkcyjnych w kontekście stosowanego wyposażenia, organizacji produkcji i uciążliwości warunków środowiska pracy, lecz w żaden sposób nie pozwala na szczegółową klasyfikację i identyfikację przyczyn powstawania poszczególnych strat.

Problematyka rejestracji i statystyki strat zgodnie ze strategią TPM [1, 8, 9], wskazuje bezpośrednio na potrzebę identyfikacji poziomu strat sporadycznych – m.in. awarii, oraz strat chronicznych – niemal zawsze obecnych, powtarzających się i mocno rozproszonych w organizacji. Oznaczenie tych pierwszych nie stanowi większego problemu, sprowadza się bowiem do wdrożenia i przestrzegania ustandaryzowa-

nych reguł ewidencji incydentów. Określenie nasilenia strat powtarzalnych, stanowi znacznie bardziej skomplikowane zagadnienie. Wiedza na ten temat podobnie jak same straty, jest bowiem silnie rozproszona w organizacji, w dodatku istnieje najczęściej w postaci subiektywnych przekonań i obiegowych opinii.

Aby uzyskać nową wartość, konieczne jest doprowadzenie do efektu synergii danych rejestrowanych w poszczególnych obszarach m.in.: kontroli operacyjnej i utrzymania ruchu, raportowania produkcji, księgowości, przy zachowaniu możliwie jak najbardziej precyzyjnego okresu czasowej dekretacji danych. W myśl zasady „Garbage In, Garbage Out” (ang. „Śmieć na wejściu, śmieć na wyjściu”) determinacja w zakresie wykorzystania szczegółowych informacji prowadzić powinna w rezultacie do ogólnej poprawy ich jakości. Jest to możliwe chociażby przez wdrożenie bardziej precyzyjnych metod weryfikacji jakości danych, jak m.in. ocena korelacji pomiędzy zmianowym czasem pracy kompleksu a wydobyciem.

Karta miar efektywności pracy sporządzana w formie raportu, umożliwić powinna dekompozycję ekonomicznej efektywności przedsięwzięcia wydobywczego związanego z użytkowaniem wyposażenia. W praktyce zadanie to sprowadza się do wielowymiarowej klasyfikacji stanu w jakim w danym czasie znajduje się obiekt. Klasyfikacja ta korespondować może z różnymi stopniami aktywności w wymiarze kosztowym, jak i naturalnym łańcuchem tworzenia wartości dodanej [11]. W celu oceny systemów wydobywczych wskazać w tym zakresie można następujące, zunifikowane poziomy opisu:

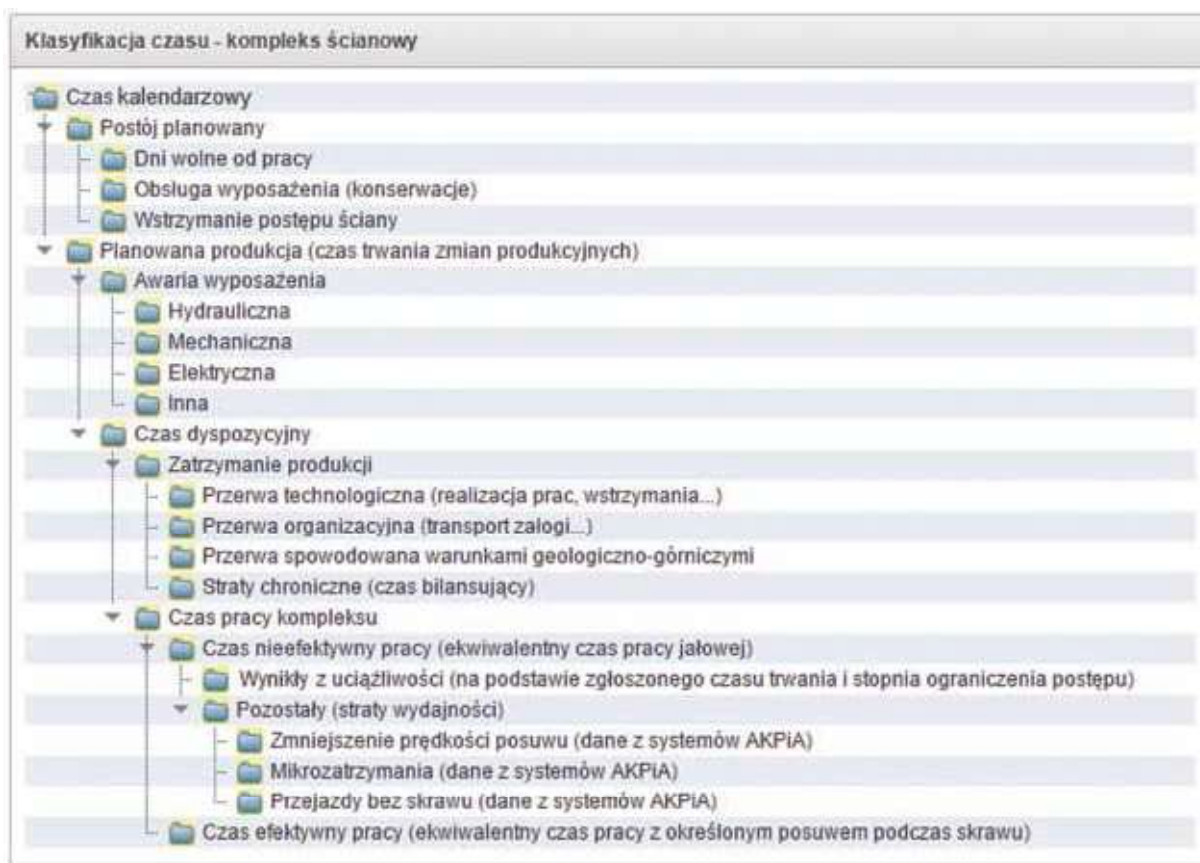
- dostępność produkcyjna (dni robocze),
- dyspozycyjność techniczna i technologiczna (awarie i zatrzymania),
- dyspozycyjność organizacyjna (czasowe obłożenie zmian produkcyjnych),
- postoje podczas zmian produkcyjnych,
- praca jałowa (czas pracy bez wykonywania użytecznych operacji),
- wydajność produkcyjna,
- jakość produkcji,
- wartość produktu,
- koszt produkcji.

Przykładowa struktura pozwalająca na bardzo precyzyjną klasyfikację stanu w jakim znajduje się kompleks ścianowy została zaprezentowana na rysunku 1.

Wykorzystanie w praktyce układu zamieszczonego na ilustracji jest dość kłopotliwe, karta miar efektywności powinna bowiem być możliwa do oszacowania na podstawie danych, które są powszechnie ewidencjonowane w poszczególnych przedsiębiorstwach.

## 3. Przykład karty dla kompleksu ścianowego

Kompleks ścianowy to wyposażenie znajdujące się na początku łańcucha produkcji, stąd też jego niezakłócone i efektywne działania w znacznym stopniu determinuje rentowność produkcji całej kopalni. Obiekt ten użytkowany jest w sposób ciągły w skrajnie niekorzystnym środowisku o zdewersyfikowanym nasileniu uciążliwości, co na ogół wywiera znaczący wpływ na przebieg jego pracy. Co najmniej część obaw związanych z oceną efektywności pracy kompleksów ścianowych wynika z przeświadczenia, że poszczególnych przodków i kopalń nie można ze sobą porównywać z racji na specyficzne różnice. Stwierdzenie to jest silnie uzasadnione, jednak należałoby zaznaczyć, że porównań nie można wykonywać w sposób uproszczony i nieprzemysłany.



Rys. 1. Hierarchia klasyfikacji stanu pracy kompleksu ścianowego (opracowanie własne)

Fig. 1. Operating states classification tree of longwall system (own elaboration)

Właściwe podejście do oceny pracy kompleksu ścianowego powinno skutkować identyfikacją poziomów efektywności, na których porównanie jest miarodajne lub daje możliwość odniesienia strat bezpośrednio do czynników, które je wywołują. Propozycja wieloaspektowego układu, zwymiarowanego w funkcji czasu o analogicznej budowie jak wskaźnik OEE (ang. *Overall Equipment Effectiveness*) zaprezentowana została we wcześniejszych pracach autora m.in. [10]. Modyfikując budowę opisanego wskaźnika, wyznaczyć można szereg użytecznych decyzyjnie miar efektywności. W takim ujęciu karta miar efektywności pracy kompleksu ścianowego posiadać może budowę przedstawioną w tablicy 1.

Zaprezentowana karta jest prosta w budowie oraz możliwa w pełni do przygotowania na bazie danych ewidencjonowanych obecnie przez przedsiębiorstwa górnicze.

Pierwsza kolumna metryki (W1) zawiera uporządkowane w przestrzeni przyczynowej miary względne, których kolejny iloczyn w wierszach 1-11 tworzy wartość drugiej kolumny (W2). Zabieg ten ma za zadanie uprościć interpretację wpływu poszczególnych miar efektywności na końcowy wynik ekonomiczny (rentowność) oraz uwidocznic częste przypadki korelacji poszczególnych miar efektywności. Trzecia kolumna metryki stanowi miejsce na zamieszczenie stosownych komentarzy oraz wykresów pomocniczych, takich jak: wykres pareto, wykres korelacji (m.in. W1 i W2 dla poszczególnych tygodni obserwacji), lub rozkłady wartości (m.in. osiągniętej wydajności produkcyjnej). Miary ujęte w karcie stanowią:

- klasyfikację czasu (wiersze 1-7),
- miary wydajności (wiersze 8-9),
- miary jakości (wiersz 10),
- miary ekonomiczne (wiersz 11-12).

Ponieważ elementy kolumny W2 stanowią iloczyn kolejnych elementów kolumny W1, przy wskaźnikach nr 1-7, mieszczących się w przedziale  $<0, 1>$  skutkuje to ciągłym ubytkiem czasu, począwszy od dostępnego czasu kalendarzowego, a skończywszy na czasie wydobywania (co dodatkowo umożliwi zilustrowanie na wykresie strumieniowym). Przy czym czas zawarty w kolumnie W2 obejmować może dowolny okres m.in.: kwartał, miesiąc, tydzień, stanowić może czas średniodobowy lub po prostu kolejny bezwymiarowy współczynnik, który podzielony przez dowolną z miar W1 umożliwi jej wyeliminowanie. Przykładowo: bezwymiarowy współczynnik W2 w wierszu nr 7 podzielony przez miarę W1 w wierszu 1 i pomnożony przez 24 dostarczy informacji na temat średniego czasu wydobywania w dni robocze. Iloczyn wskaźników W1 z wiersza 4,5,6,7,8 jest jednoznaczny z średnim postępowaniem na 1 godzinę trwania zmiany roboczej. Współczynnik W1 w wierszu 3 pomnożony przez liczbę zmian w funkcjonującym systemie pracy (przy założeniu równego czasu ich trwania) dostarczy informacji na temat średniej liczby zmian z produkcją w dzień roboczy. Tym samym, dostarczając 12 elementarnych informacji, możliwe jest uzyskanie bardzo wielu kombinacji, których śledzenie może przebiegać według scenariusza od ogółu do szczegółu.

Zaproponowany układ wskaźników dodatkowo wspomagać może funkcję prognozowania. Zmieniając jeden z ujętych parametrów, wprost ocenić można w jaki sposób wpłynie to na wynik końcowy. Przykładowo umożliwia to odpowiedź na pytanie: o ile zwiększy się czas wydobywania i postęp dobowy w przypadku skrócenia czasu transportu załogi o 15 minut, przy założeniu niezmienności pozostałych miar efektywności lub zastosowaniu empirycznych lub teoretycznych charakterystyk.

**Tablica 1. Propozycja karty miar efektywności sporządzona dla kompleksu ścianowego (opracowanie własne)**  
**Table 1 Proposition of performance measures report card for longwall system (own elaboration)**

Lp.	Wskaźnik względny (W1)	Wskaźnik bezwzględny (W2)	Kategoria strat (S)
1	Dni robocze [%]	Dni robocze [h] (w wymiarze średniodobowym lub dniach)	Dni wolne od pracy
2	$\frac{\text{Czas dni z wydobyciem}}{\text{Czas dni roboczych}}$ [%]	Dni z wydobyciem [h] (w wymiarze średniodobowym lub dniach)	Czas nieplanowanego postoju skutkujący zatrzymaniem produkcji (uzupełnienie wykresem pareto przyczyn zatrzymań)
3	$\frac{\text{Czas zmian z wydobyciem}}{\text{Czas dni z wydobyciem}}$ [%]	Czas zmian z wydobyciem (dobowy) [h]	
4	$\frac{\text{Czas obłożony przez załogę podczas zmian z wydobyciem}}{\text{Czas zmian z wydobyciem}}$ [%]	Czas gotowości załogi produkcyjnej (dobowy)[h]	Czas postoju organizacyjnego (chroniczny)
5	$\frac{\text{Czas dyspozycyjności podczas zmian z wydobyciem}}{\text{Czas obłożony przez załogę w zmiany z wydobyciem}}$ [%]	Czas gotowości i dyspozycyjności do pracy (dobowy) [h]	Czas nieplanowanego postoju skutkujący wstrzymaniem produkcji podczas zmiany produkcyjnej
6	$\frac{\text{Czas pracy kompleksu podczas zmian z wydobyciem}}{\text{Czas dyspozycyjności podczas zmian z wydobyciem}}$ [%]	Czas pracy kompleksu (dobowy)[h]	Czas postoju i wykonywania prac towarzyszących wydobyciu
7	$\frac{\text{Czas wydobywania podczas zmian z wydobyciem}}{\text{Czas pracy kompleksu podczas zmian z wydobyciem}}$ [%]	Czas wydobywania (dobowy) [h]	Czas pracy kompleksu bez wydobywania (m.in. przerwy technologiczne i realizacja innych czynności)
8	$\frac{\text{Postęp}}{\text{Czas wydobywania podczas zmian z wydobyciem}}$ [m/h]	Postęp przodka (dobowy) [m]	Straty wydajności produkcji (mikro-zatrzymania, zmniejszony posuw lub zabiór)
9	$\frac{\text{Wydobycie brutto}}{\text{Postęp}}$ [Mg/m]	Wydobycie z oddziału brutto (dobowe) [Mg]	Straty wydajności wynikające m.in. z miąższości pokładu
10	$\frac{\text{Wydobycie netto}}{\text{Wydobycie brutto}}$ [%]	Wydobycie z oddziału netto (dobowe) [Mg]	Straty wynikające z przerostów, zaburzeń pokładu i zastosowanej technologii wydobywania (np. przybierka spągu)
11	Wartość surowca [zł/Mg]	Przychód z oddziału (dobowy) [zł]	Wartość kopaliny w złożu eksploatowanym przez oddział
12	Koszt jednostkowy dla oddziału [zł/Mg]	Koszt oddziału (dobowy) [zł]	Koszt eksploatacji w oddziale

Zastosowany tabelaryczny układ karty pozwala na szybką identyfikację poziomu ponoszonych strat w przestrzeni wytypowanych dwunastu miar efektywności, umożliwiając analizę kolejnych wskaźników w danej kolumnie. Przygotowując opisaną kartę indywidualnie dla każdego z analizowanych obiektów w poszczególnych polach zamieszczona być może:

- wartość liczbowa miary (bardzo ograniczone zastosowanie),
- wykres zagregowany w funkcji czasu – tygodniowy lub miesięczny,
- rozkład populacji miar właściwy dla wszystkich analizowanych obiektów (wykres uporządkowany) z wyraźnym zaznaczeniem pozycji analizowanego przypadku.

Doświadczenia związane z przygotowaniem i zastosowaniem opisaney karty wskazują, że dwa ostatnie układy stanowiąc mogą niezwykle pomocne narzędzie, umożliwiające błyskawiczną ocenę efektywności pracy wyposażenia produkcyjnego

w wielu równoległych aspektach, podsumowanych miarami ekonomicznymi (wiersze 11 i 12). Zestawienie analogicznych danych w jednej linii znacząco przyspiesza ocenę wartości, w szczególności: analizę wzajemnej korelacji kolejnych miar i trendów czasowych dla wykresów zagregowanych w czasie oraz błyskawiczną analizę słabych i mocnych stron analizowanego obiektu, w przypadku zastosowania wykresów uporządkowanych z zaznaczoną wartością i pozycją obiektu w grupie. W przypadku wykorzystania karty do oceny wielu obiektów w dłuższym czasie, szczególne zastosowanie znajduje obserwacja rozkładów (m.in. dystrybuanty) wydzielonych grup obserwacji spełniających zadane kryteria. Opisany układ pozwala wprost zidentyfikować miary efektywności, których zmienność ma zasadniczy wpływ na wynik końcowy (m.in. dobowe wydobywanie netto) oraz ich rozkład dla przedsięwzięć wydobywczych realizowanych w określonych warunkach geologiczno-górnictwowych, organizacyjnych i technicznych.



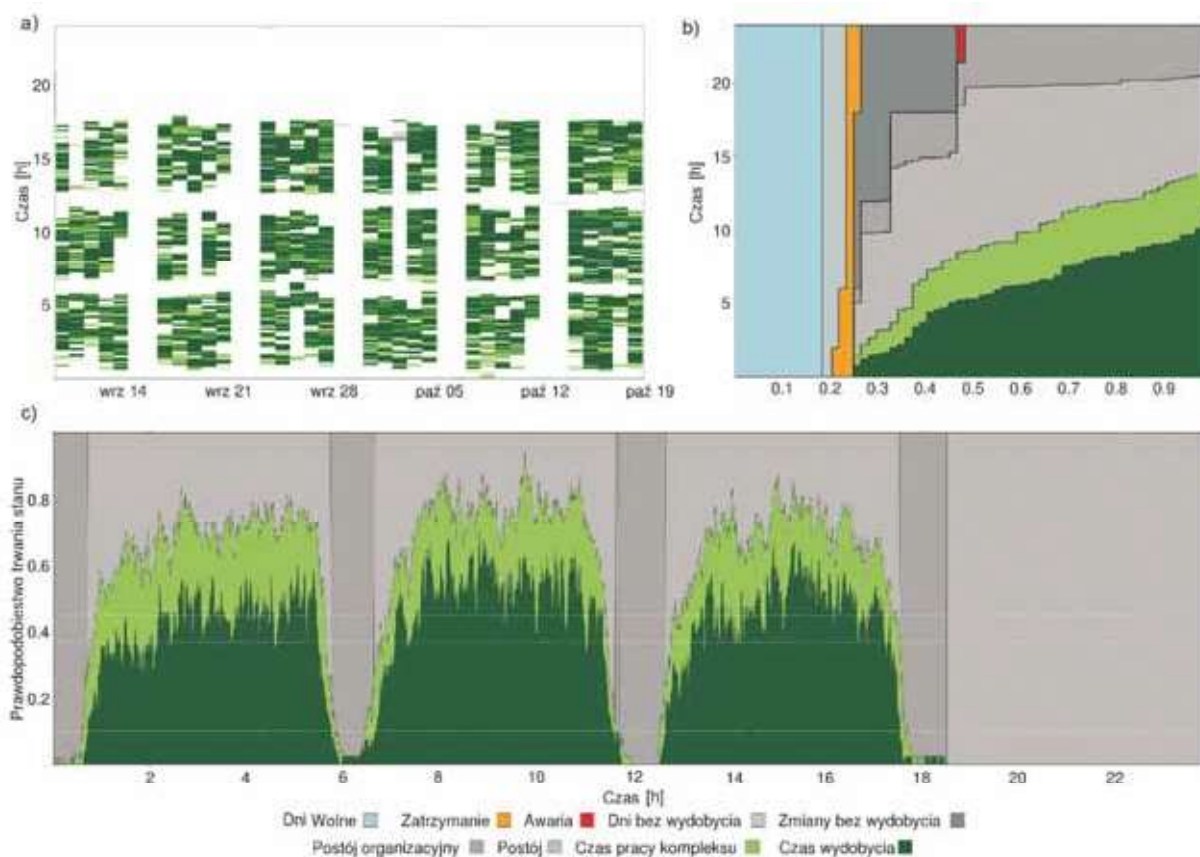
#### 4. Uzupełniające techniki analizy danych

Istotne uzupełnienie karty miar efektywności stanowić powinien wykaz parametrów związanych z szeroko pojętą uciążliwością warunków pracy, oraz wykresy o znaczeniu analitycznym. Do podstawowych typów posiadających największą przydatność opisową zaliczyć można:

- wykres jednostkowego postępu i/lub wydajności wydobywania
  - dystrybuanta,
  - przebieg w funkcji czasu,
- wykres postępu i/lub wydobywania zmianowego oraz dobowego
  - dystrybuanta,
  - dystrybuanty wartości dobowych dla różnej ilości zmian produkcyjnych,
  - przebieg w funkcji czasu,
  - wartości poszczególnych obserwacji w funkcji czasu wydobywania
- wykres czasu trwania klasyfikowanych stanów
  - wykres kołowy,
  - wykres zagregowany dla czasu,
  - dystrybuanta czasów dobowych,
  - wykres skumulowany i uporządkowany na poziomie doby,
  - wykres 3D w układzie czas zegarowy – czas kalendarzowy,

- wykres zagregowany dla czasu zegarowego,
- wykres długości trwania cyklu wydobywania i przerw pomiędzy kolejnymi cyklami
  - dystrybuanta,
  - wykres pudełkowy dla kolejnych okresów czasu,
- wykres względnych i bezwzględnych miar efektywności
  - wykres w funkcji czasu,
  - wykres strumieniowy,
  - wykres typu heat map,
  - wykres wartości równoległych (tzw. „sieć rybacka”),
  - wykres wzajemnej korelacji dla kolejnych obserwacji (m.in. tygodnia),
- wykres pareto podstawowych przyczyn zatrzymań,
- dystrybuanta rozkładu czasów MTBF (ang. *Mean Time Between Failures*) i MTTR (ang. *Mean Time To Repair*),
- wykres mocy i prędkości urabiania w dwuwymiarowej płaszczyźnie ściany (długość, wybieg),
- wykres korelacji wyników produkcyjnych ścian w obrębie kopalni, w tym w szczególności w przypadku wspólnych dróg odstawy i ciągnięcia urobku.

Ze względu na ilość i różnorodność metod szczegółowej analizy danych, na rysunku 2 oraz 3 zaprezentowano jedynie wybrane przykłady wykresów wspomagających ocenę przebiegu użytkowania kompleksu ścianowego. Szczegółowy opis i przykład zastosowania opisanych wykresów ze względu na obszerność zagadnienia, stanowić powinien przedmiot odrębnej pracy.



Rys. 2. Czasowe charakterystyki przebiegu użytkowania kompleksu ścianowego: a) wykres stanu pracy w układzie czas zegarowy – czas kalendarzowy, b) skumulowany, uporządkowany wykres stanu pracy zagregowany na poziomie dni, c) wykres stanu pracy kompleksu zagregowany w wymiarze czasu zegarowego (opracowanie własne)

Fig. 2. Time characteristics of usage a longwall system: a) machine status in hours - calendar time system, b) cumulative, ordered status chart aggregated in days, c) operating states of the longwall system aggregate at hours (own elaboration)

Rysunek 2 a) zawiera zapis stanu pracy kompleksu ścianowego w układzie czas godzinowy – czas kalendarzowy. Tego rodzaju wykres jest wyjątkowo użyteczny, pozwala bowiem na początkowym etapie analizy ocenić wstępnie:

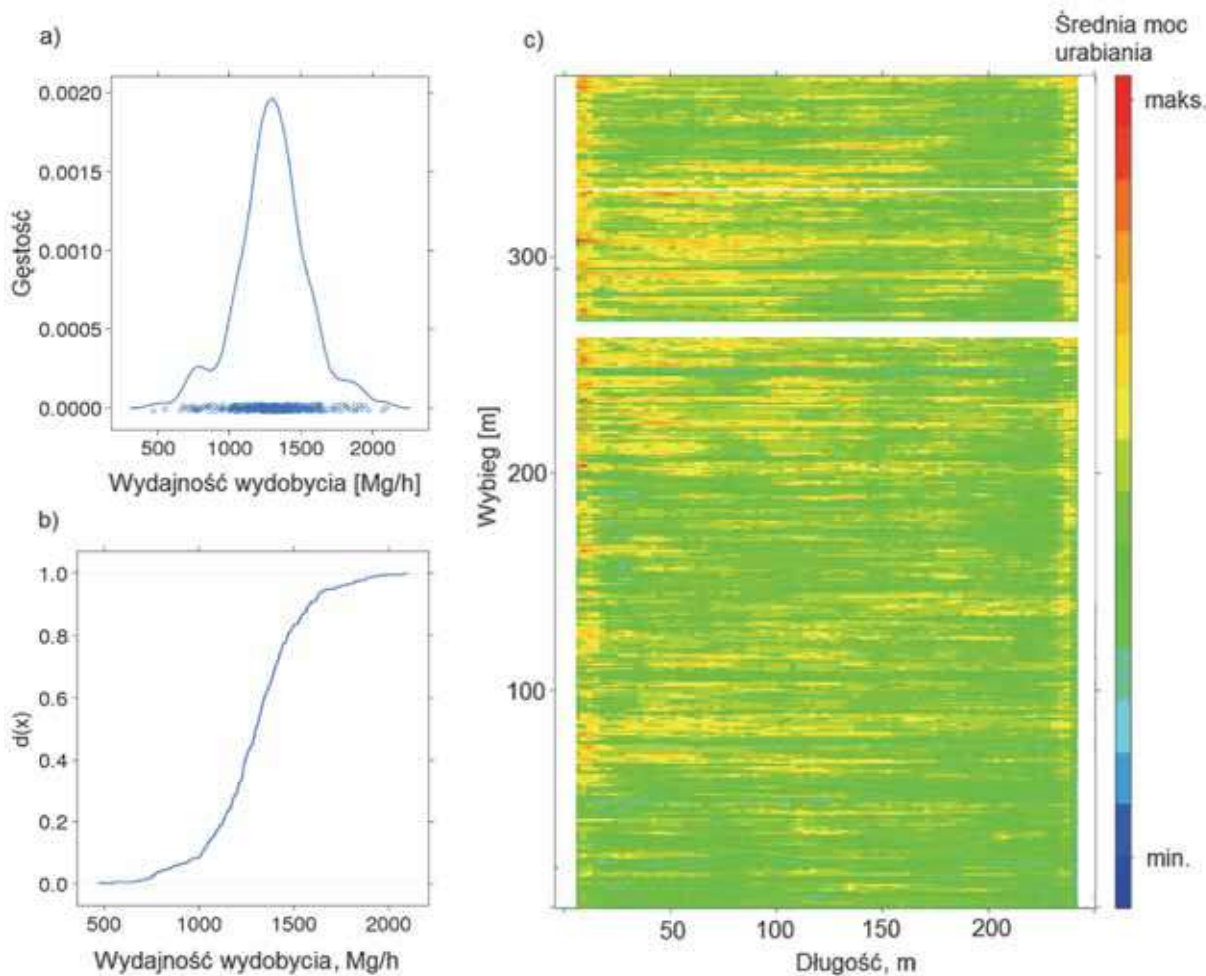
- sposób organizacji i przebieg produkcji (dni wolne od pracy, dni bez produkcji, liczba zmian produkcyjnych ogółem, średnia liczba zmian z produkcją),
- poziom strat organizacyjnych (chronicznych, występujących pomiędzy zmianami),
- występowanie strat sporadycznych (awarie i zatrzymania),
- przybliżoną wartość i rozkład dobowego czasu pracy kompleksu ścianowego,
- średni czas trwania cyklu produkcyjnego oraz przerw produkcyjnych.

W dalszej części, klasyfikując czas według stanów wskazanych na rysunku 2, sporządzony być może uporządkowany wykres zaprezentowany na rysunku 2 b). Budowa wykresu wykorzystuje miary efektywności opisane uprzednio w karcie, i polega na cyklicznym kumulowaniu zagregowanych dla doby kolejnych mierników efektywności i uporządkowywaniu ich według wartości. Wykres ten dostarcza informacji zbliżonej jak dystrybuenta poszczególnych miar efektywności, przy czym ich zestawienie na jednej płaszczyźnie pozwala m.in. dodatkowo zidentyfikować w jakich warunkach wystąpiły

straty o charakterze sporadycznym, m.in. czy był to dzień z wydobyciem oraz jaka część zatrzymań obejmowała całą dobę. Na rysunku zauważyć można, że nie wszystkie zmiany w dni robocze, które charakteryzowały się brakiem wydobycia mają podany powód zatrzymania, ewidencja zatrzymań traktowana więc być powinna wyłącznie jako informacja uzupełniająca.

Rysunek 2 c) przedstawia zagregowany w funkcji czasu przekrój zmian produkcyjnych, co pozwala na identyfikację strat chronicznych o charakterze organizacyjnym (m.in. zmiana załogi).

Na rysunku 3 zobrazowano zmienność parametrów dynamicznych, takich jak wydajność produkcyjna (rys. 3 a) i 3 b)) oraz moc pobierana przez organy urabiające (rys. 3 c)) wybranego kompleksu ścianowego. Dane obejmują ok. 400 m wybiegu i pochodzą z systemu automatyzacji pracy kompleksu oraz wagi tensometrycznej zabudowanej na drodze odstawy taśmowej urobku. Kształt rozkładu wydajności jest zbliżony do rozkładu gaussa z wartością średnią na poziomie ok. 1300Mg/h i współczynnikiem zmienności na poziomie ok. 19%. Analogiczne wykresy jak 3c wykonane być mogą dla parametrów takich jak m.in. prędkość posuwu kombajnu, lub średni czas cyklu pracy (detekcja miejsc występowania mikro-zatrzymań).



Rys. 3. Dynamiczne charakterystyki przebiegu użytkowania kompleksu ścianowego: a) gęstość rozkładu wydajności wydobywania, b) dystrybuenta wydajności wydobywania, c) wykres średniej mocy urabiania w funkcji długości i wybiegi ściany (opracowanie własne)

Fig. 3. Dynamic characteristics of usage a longwall system: a) the density of production performance extraction, b) empirical cumulative distribution function of production performance, c) average power use in 2D wall geometry (own work)

## 5. Podsumowanie i wnioski

Punktem wyjścia do przeprowadzenia pełnowartościowej analizy efektywności pracy zmechanizowanych systemów wydobywczych jest właściwa dekompozycja łańcucha tworzenia wartości dodanej, z bezpośrednim zaadresowaniem poszczególnych kategorii strat produkcyjnych i ekonomicznych. Proces eksploatacji podstawowego wyposażenia stosowanego w górnictwie to nieustanne poszukiwanie optymalnych rozwiązań zarówno pod względem technicznym, jak i organizacyjnym. Stąd też prawidłowa identyfikacja czynników wpływających na spadek efektywności pracy podstawowego majątku produkcyjnego odgrywa decydujące znaczenie zarówno w kontekście redukcji kosztów inwestycyjnych i operacyjnych, jak również z perspektywy zwiększenia produkcji i poprawy jej jakości.

Wszelkie systemy działające w oparciu o wykorzystanie technik informatycznych, pozwalają obecnie na ewidencję i raportowanie wyjątkowo obszernych struktur informacyjnych, co sprzyja powstaniu chaosu informacyjnego. Zdaniem autora, za wyłączeniem osób zajmującymi się stricte procesami analizy danych, cykliczne raportowanie rozbudowanego zbioru informacji w celach zarządczych, niesie ze sobą wiele zagrożeń. Przyczynić się może bowiem do:

- „rozmycia” użyteczności decyzyjnej istotnych wskaźników,
- problemów z interpretacją przyczynowo-skutkową i łączeniem informacji,
- pogorszenia jakości danych (niskie wykorzystanie), a w efekcie utratą wiarygodności.

W pracy starano się wyselekcjonować możliwie najmniejszy zakres informacji, zachowując spójność oraz jednolite zasady budowy wskazanych 12 wskaźników i ich ewentualnych kombinacji. Opracowana karta miar efektywności, chociaż na pozór bardzo prosta, może stanowić wymierne narzędzie wsparcia w zakresie identyfikacji potencjalnych obszarów usprawnień. Jej praktyczne wykorzystanie w przyszłości może pomóc w sposób ustandaryzowany śledzić i interpretować zmienność poszczególnych miar efektywności pracy systemów wydobywczych w aspekcie czasu, jednostek i struktur produkcyjnych, stosowanego wyposażenia, metod organizacji pracy, warunków naturalnych oraz występujących uciążliwości. Informacje te wspomagać mogą elementarny cykl decyzyjny [6] oraz procesy ciągłego doskonalenia działalności operacyjnej, jako elementarnego przedsięwzięcia

zmierzającego do budowy perspektyw dalszego funkcjonowania przedsiębiorstw sektora górniczego.

*Niniejszy artykuł jest efektem realizacji pracy statutowej: „Zastosowanie strategii TPM oraz analizy kosztów cyklu życia obiektów energomechanicznych w optymalizacji procesów zarządzania podstawowymi środkami produkcji kopalń”.*

## Literatura

1. Ahuja I.P.S., Khamba J.S.: Total productive maintenance: literature review and directions. *International Journal of Quality&Reliability Management* Vol. 25 No. 7, 2008.
2. Brzychczy E.: Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Część 1. Podstawowe definicje i założenia. *„Gospodarka Surowcami Mineralnymi”* 2006, t. 22, z. 3.
3. Brzychczy E.: Tradycyjne metody optymalizacji a nowoczesna heurystyka w wybranych zagadnieniach modelowania robót górniczych w kopalniach węgla kamiennego. *„Gospodarka Surowcami Mineralnymi”* 2008, t. 24, z. 2/1.
4. Franik T.: Próba optymalizacji nakładów czynników produkcji w górnictwie węgla kamiennego z wykorzystaniem programowania nieliniowego. *„Gospodarka Surowcami Mineralnymi”* 2007, t. 23, z. 3.
5. Kowalski A., Sobol-Wojciechowska J., Szwancyber Ł., Śliwiński P.: Komputerowe techniki symulacyjne do optymalizacji procesu odstawy urobku w kopalniach KGHM „Polska Miedź” SA., *Wiadomości Górnicze* 2013, nr 64.
6. Lisowski A.: Górnictwo węgla kamiennego w Polsce: krytyczna ocena sposobu przeprowadzenia rynkowej transformacji i dyskusja problemów wciąż oczekujących na rozwiązanie 2006-2013. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2013.
7. Magda R., Franik T., Woźny T.: Bilans czasu pracy załogi w systemie organizacyjnym uwzględniającym ciągłą pracę zakładu wydobywczego. *„Gospodarka Surowcami Mineralnymi”* 2005, t. 21, z. 2.
8. Nakajima, S.: TPM Development Program. Productivity Press, 1989.
9. Nakajima, S.: Introduction to TPM. Productivity Press, 1984.
10. Polak R.: Adaptacja kluczowych miar efektywności strategii TPM w warunkach kopalni węgla kamiennego. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, 2014, nr 87.
11. Polak R.: Dynamiczny szacunek kosztów cyklu życia maszyn i urządzeń górniczych – przykład zastosowania dla kompleksu ścianowego. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, 2015, nr 90.