Górnictwo i Geoinżynieria • Rok 34 • Zeszyt 4 • 2010

Wiesław Kozioł, Andrzej Ciepliński*, Łukasz Machniak**

ANALIZA PORÓWNAWCZA EFEKTYWNOŚCI PRACY MASZYN PODSTAWOWYCH W KOPALNIACH WĘGLA BRUNATNEGO — PROBLEMY Z UNIFIKACJĄ WSKAŹNIKÓW

1. Wstęp

W okresie stosowania silnej konkurencji i globalizacji gospodarki światowej pozycja firm, a zwłaszcza przedsiębiorstw górniczych, w dużym stopniu uzależniona jest od kosztów produkcji wydobycia kopalin, które z kolei w znacznym stopniu zależą od efektywności wykorzystania (eksploatacji) środków trwałych, w tym szczególnie maszyn i urządzeń podstawowych w przypadku kopalń odkrywkowych węgla brunatnego.

W literaturze efektywność w przedsiębiorstwie definiuje się jako zdolność do realizacji strategii firmy i osiągania zamierzonych celów. Według definicji PN-EN ISO 9000:2000 przez efektywność rozumie się miarę określającą relację między osiągniętymi wynikami a wykorzystanymi zasobami. Z powyższego wynika, że pojęcie efektywności w złożonym procesie produkcji nie jest pojęciem jednoznacznym. Realizowane działania mogą być efektywne z jednego punktu widzenia i nieefektywne z drugiego.

Biorąc jednak pod uwagę efektywność wykorzystania obiektów technicznych, a szczególnie podstawowych układów wydobywczych należy rozróżnić techniczną i ekonomiczną efektywność pracy, która jest skutkiem jakości eksploatacji (wykorzystania) tych układów i poszczególnych maszyn i urządzeń.

Wskaźniki efektywności technicznej określają w jakim stopniu w danych warunkach wykorzystane zostały możliwości produkcyjne i technologiczne maszyn podstawowych, zaś wskaźniki efektywności ekonomicznej przedstawiają skuteczność zarządzania majątkiem i zasobami ludzkimi oraz skuteczność zarządzania kosztami.

Efektywność techniczna wykorzystania układów wydobywczych ma szczególne znaczenie w górnictwie węgla brunatnego, gdzie wysokie koszty środków trwałych, duże na-

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

kłady inwestycyjne na budowę kopalni oraz duży udział kosztów stałych w kosztach wydobycia węgla wymagają osiągania odpowiednio dużej koncentracji wydobycia oraz wydajności maszyn i urządzeń. Główny wpływ na efektywność eksploatacji górniczej (wydobywania węgla brunatnego) mają sprawności procesów urabiania węgla i nadkładu, uzależnione od stopnia wykorzystania podstawowego majątku produkcyjnego to jest wielonaczyniowych koparek, zwałowarek i przenośników taśmowych. Z tych też powodów w górnictwie węgla brunatnego zawsze, a ostatnio szczególnie, dużą wagę przywiązuje się do analizy i oceny wskaźników efektywności pracy koparek podstawowych i zwałowarek. Szczególnie analizuje się czasy pracy i osiągane ich wydajność oraz odpowiednio obliczone syntetyczne wskaźniki czasu pracy i wydajności.

W kopalniach czynnych na podstawie najbardziej prawdopodobnych wskaźników efektywności pracy maszyn podstawowych wygodnie jest określać prognozowane zdolności wydobywcze układów technologicznych K-T-Z. Ostatnio w niektórych kopalniach próbuje się wykorzystać te wskaźniki do oceny zasadności potrzeby odnowy maszyn podstawowych w celu realizacji przyjętej strategii rozwoju. W pracy przedstawione zostaną niektóre, ważniejsze problemy z tym związane.

2. Wskaźniki technicznej efektywności wykorzystania podstawowych koparek i zwałowarek

W górnictwie węgla brunatnego realizacja procesu urabiania charakteryzowana jest przez szereg parametrów i wskaźników produkcyjnych (eksploatacyjnych) do których zalicza się:

— ilość wydobytego węgla (W), m^3, Mg,
— kubaturę (objętość) zdjętego (N) i zezwałowanego (Z) nadkładu, m^3,
— kubaturę lub ilość wydobytych mas (nadkład + węgiel), m^3,
— efektywny czas pracy, godz.,
— uzyskaną (rzeczywistą) wydajność maszyn podstawowych, m^3/godz.,
— czas trwania postoi, godz.

Wskaźniki te teoretycznie można określić dla dowolnych przedziałów czasowych w zależności od sposobów rejestrowania danych. W praktyce górniczej obiektywną miarą ilości wydobytych mas są raporty miesięczne wyników pracy koparek zawierające dane z pomiarów geodezyjnych (tzw. odbiorów) o ilości wyeksploatowanego węgla i/lub nadkładu i czasie pracy koparek.

Na tej podstawie można określić rzeczywistą średnią miesięczną wydajność maszyn. Zliczając dane z raportów miesięcznych można dokonać dalszych uśrednień w skali kwartału, roku, itd. Tak więc ocena wyników pracy koparek w krótszych niż miesiąc interwałach czasowych może być jedynie szacunkowa ze względu na dokładność pomiarów.

Do oceny technicznej efektywności pracy maszyn podstawowych stosuje się trzy główne wskaźniki statystyczne:

1) wskaźnik wykorzystania czasu kalendarzowego:

$$E_T = \frac{T_{pr}}{T_{kal}}, \quad \left[\frac{\text{godz.}}{\text{godz.}}\right] \tag{1}$$

2) wskaźnik wykorzystania wydajności teoretycznej maszyn lub układu technologicznego:

$$E_Q = \frac{Q_r}{Q_o}, \quad \left[\frac{\frac{\text{m}^3}{\text{godz.}}}{\frac{\text{m}^3}{\text{godz.}}}\right] \tag{2}$$

3) wskaźnik efektywności całkowitej:

$$E_C = E_T \cdot E_Q = \frac{T_{pr}}{T_{kal}} \cdot \frac{Q_r}{Q_o}, \quad \left[\frac{\text{godz.}}{\text{godz.}} \cdot \frac{\frac{\text{m}^3}{\text{godz.}}}{\frac{\text{m}^3}{\text{godz.}}}\right] \tag{3}$$

gdzie:

T_{pr} — czas pracy efektywnej, rejestrowany w okresie analizowanej jednostki kalendarzowej, m-c, rok, itp.,

T_{kal} — liczba godzin w analizowanym czasie kalendarzowym (np. w roku 8760 godz.),

Q_r — wydajność rzeczywista (uzyskana), m_3 calizny/godz.

Q_0 — wydajność teoretyczna, określona w dokumentacji techniczno-ruchowej, m^3/godz.

Wskaźniki te określa się w liczbach niemianowanych lub w procentach.

Przedstawione trzy wzory są nieskomplikowane i wydaje się, że nie powinno być żadnych problemów z ich stosowaniem i porównywaniem obliczonych wskaźników. Jednak tak nie jest, co zostanie przedstawione w dalszej części artykułu.

3. Problemy z obliczeniami wskaźników i stosowaniem analizy porównawczej technicznej efektywności pracy podstawowych koparek i zwałowarek

Problemy z stosowaniem analizy porównawczej (*benchmarking*) procesów produkcyjnych wynikają głównie ze sposobu i kryteriów rejestrowania wskaźników wyjściowych oraz

sposobu obliczania wskaźników syntetycznych. Problem ten dotyczy zwłaszcza *benchmarkingu* zewnętrznego czyli oceny porównawczej wskaźników dla różnych kopalń. Jak się bowiem okazuje różnice w rejestrowaniu parametrów wyjściowych i zestawianiu danych w poszczególnych kopalniach są znaczne co w efekcie ma wpływ na końcowe wartości wskaźników efektywności, które przyjmuje się do dalszej analizy i porównań. Z tego też względu w pracy [2] przedstawiono propozycję zunifikowanej metody obliczania i oceny efektywności pracy koparek, jak się okazuje jednak propozycje te nie są wystarczające a zamieszczone przykłady oparte są na dość przypadkowych danych.

Podstawowe problemy z rejestrowaniem i inwentaryzacją danych a następnie obliczaniem wskaźników dotyczą:

1) Określenia najbardziej miarodajnych historycznych okresów do analizy porównawczej;
2) Wyboru właściwych przedziałów czasowych uśredniania (rok, miesiąc, itd.);
3) Wyboru odpowiednich sposobów uśredniania syntetycznych wskaźników (średnie ważone, średnie arytmetyczne) i przyjęcia ujednoliconych dla porównywalnych procesów wag (do obliczania średnich ważonych, jako wagi mogą być przykładowo stosowane: czas pracy maszyn, wydajność teoretyczna, wydajność efektywna, wielkość wydobycia itp.);
4) Sposobu pomiaru (rejestrowania) efektywnego czasu pracy koparek i zwałowarek. W praktyce dla koparek wyróżnić można trzy różne przypadki:
   — rejestrator czasu pracy wskazuje czas równoczesnego ruchu zespołu urabiającego i mechanizmu posuwu;
   — rejestrator wskazuje czas ruchu zespołu urabiającego obciążonego, przy czym umownie przyjmowane jest obciążenie graniczne, powyżej którego rejestrowany jest czas pracy koparki, np. 30% obciążenia nominalnego;
   — rejestrator wskazuje całkowity czas ruchu zespołu urabiającego koparki, w tym również ruchu jałowego bez obciążenia.

   Zakres mierzonego czasu pracy ma bezpośredni wpływ na wartość obliczanej wydajności uzyskanej zwanej wydajnością rzeczywistą, ma również wpływa na wskaźniki wykorzystania efektywności czasu pracy i wydajności. W zależności od przyjętej zasady rejestracji czasu pracy i wydajności relacje wskaźników czasu pracy i wydajności w analizowanych kopalniach mogą być zróżnicowane.
5) Sposobu określania wydajności efektywnej (uzyskanej) i wydajności teoretycznej koparek i zwałowarek. O ile wydajność uzyskana (rzeczywista) obliczana jest na ogół w m^3 calizny, gdyż wynika ona z objętości calizny z obmiaru geodezyjnego, to wydajność teoretyczna koparek zgodnie z normą podawana jest w materiale spulchnionym. Dla ujednolicenia mian obydwu parametrów wydajność ta powinna być podzielna przez współczynnik spulchnienia (k_s) lub też obliczany wskaźnik wykorzystania wydajności należy pomnożyć przez współczynnik spulchnienia, którego wartość w zależności od urabianego górotworu mieści się w dość szerokim przedziale od 1,2 do 1,5. Nie uwzględnienie współczynnika spulchnienia we wzorze 2 i 3 wpływa na zmniejszenie wartości wskaźników E_Q i E_C o 20 do 50%.

W zależności od sposobu pomiaru parametrów i obliczania wskaźników efektywności ich wartości mogą być różne i w znacząco różny sposób mogą przedstawiać wykorzystanie i efektywność pracy maszyn podstawowych.

4. Przykłady obliczeniowe

4.1. Inwentaryzacja danych archiwalnych i sposoby obliczania wskaźników

Warto w tym miejscu zwrócić uwagę na pewne aspekty oceny efektywności technicznej pracy maszyn podstawowych w oparciu o zdefiniowane wzorami 1, 2 i 3 wskaźniki wykorzystania czasu, wydajności i efektywności całkowitej. Kluczowym problemem w ocenie wykorzystania czasu pracy koparki jest określenie przyczyn postojów i ich odpowiednie uwzględnienie w przypisywanym jej czasie kalendarzowym. Ma to szczególne znaczenie dla ustalania zasad obiektywnego *benchmarkingu* zewnętrznego ponieważ wpłynie na wartości współczynników wykorzystania i rezultaty końcowe analizy. Dla zilustrowania problemu posłużymy się przykładem pracy koparki w jednej z kopalń. Koparka ta w ciągu roku uzyskała wyniki produkcyjne, które w układzie miesięcznym zestawiono w tabeli 1.

Na podstawie zacytowanych danych łatwo zauważyć, że przez dwa miesiące koparka nie pracowała. Pytanie brzmi jakie było wykorzystanie tej maszyny w ciągu roku skoro w odnotowanych miesiącach osiągnęła wyniki takie jak w zamieszczonej tabeli? Należy w pierwszej kolejności ustalić czy w wierszach 5 i 6 powinny widnieć zera czy powinny one pozostać niewypełnione.

Otrzymujemy dwie różne wersje tej tabeli w postaci tabel 2 i 3.

W każdym z tych przypadków uzyskujemy różne odpowiedzi. Problem tylko pozornie jest jednoznaczny zważywszy, że *benchmarking* w tym przypadku preferuje jak najwyższe wskaźniki wykorzystania. Pewno w niektórych kopalniach wystąpi naturalna skłonność do posłużenia się tabelą w wersji II do opisu wyników dla okresu rocznego, ale być może nie we wszystkich.

Gdyby do analizy wyników wieloletniej pracy koparki użyć zestawienia rocznego wyników jej pracy czyli sum przepracowanego czasu i wydobycia w miesiącach to byłoby to równoznaczne z przypisaniem do całego roku wyników uzyskanych jedynie w 10 miesiącach, ale czy w czasie kalendarzowym całego roku a czy tylko 10 miesięcy. Przekłada się to bezpośrednio na ocenę efektywności całkowitej.

Podobnie będzie wyglądał problem średniorocznej wydajności koparki. W tym przypadku można się posłużyć trzema wartościami. Może to być średnia arytmetyczna wyników miesięcznych (według tabeli wersja I Q_{rm} = 778,3 m^3/godz., a według tabeli wersja II Q_{rm} = 934,0 m^3/godz.) lub średnia ważona wydajności miesięcznych (wagą jest zarejestrowany czas pracy koparki w miesiącu), co daje w wyniku wartość 910,9 m^3/godz., niezależnie od wersji tabeli wyjściowej i co wydaje się poprawne. Tym nie mniej tym trzem wartościom wydajności koparki odpowiadają trzy wartości wskaźnika wykorzystania wydajności teoretycznej.

TABELA 1

Przykładowe wskaźniki pracy koparki w okresie roku

Numer miesiąca	T_m, [h]	W_m, [m^3]	T_k, [h]	Q_t, [m^3/h]	Q_{rm}, [m^3/h]	E_{Tm}, [%]	E_{Qm}, [%]	E_{Cm}, [%]
1	291,7	233 321	744	3 500	799,9	39,2	22,9	9,0
2	263,9	127 879	672	3 500	484,6	39,3	13,8	5,4
3	337,2	313 705	744	3 500	930,3	45,3	26,6	12,0
4	255,3	215 603	720	3 500	844,5	35,5	24,1	8,6
5								
6								
7	96,1	118 356	744	3 500	1 231,6	12,9	35,2	4,5
8	267,7	296 918	744	3 500	1 109,1	36,0	31,7	11,4
9	277	282 983	720	3 500	1 021,6	38,5	29,2	11,2
10	256	202 962	744	3 500	792,8	34,4	22,7	7,8
11	189,6	202 924	720	3 500	1 070,3	26,3	30,6	8,1
12	281,5	297 110	744	3 500	1 055,5	37,8	30,2	11,4

T_m — czas pracy w masie, W_m — wydobycie masy, T_k — czas kalendarzowy, Q_t — wydajność teoretyczna, Q_{rm} — wydajność rzeczywista w masie, E_{Tm} — wskaźnik wykorzystania czasu kalendarzowego, E_{Qm} — wskaźnik wykorzystania wydajności teoretycznej, E_{Cm} — wskaźnik efektywności całkowitej.

TABELA 2

Wskaźniki efektywności rocznej koparki obliczone wg wersji I (uwzględniającej koparkę w procesie produkcyjnym we wszystkich miesiącach roku)

Numer miesiąca	T_m, [h]	W_m, [m^3]	T_k, [h]	Q_t, [m^3/h]	Q_{rm}, [m^3/h]	E_{Tm}, [%]	E_{Qm}, [%]	E_{Cm}, [%]
1	291,7	233 321	744	3 500	799,9	39,2	22,9	9,0
2	263,9	127 879	672	3 500	484,6	39,3	13,8	5,4
3	337,2	313 705	744	3 500	930,3	45,3	26,6	12,0
4	255,3	215 603	720	3 500	844,5	35,5	24,1	8,6
5	0	0	744	3 500	0	0	0	0
6	0	0	720	3 500	0	0	0	0
7	96,1	118 356	744	3 500	1 231,6	12,9	35,2	4,5
8	267,7	296 918	744	3 500	1 109,1	36,0	31,7	11,4
9	277	282 983	720	3 500	1 021,6	38,5	29,2	11,2
10	256	202 962	744	3 500	792,8	34,4	22,7	7,8
11	189,6	202 924	720	3 500	1 070,3	26,3	30,6	8,1
12	281,5	297 110	744	3 500	1 055,5	37,8	30,2	11,4
W roku	2 516,0	2 291 761	8 760	3 500	910,9	28,7	26,0	7,5

TABELA 3

Wskaźniki efektywności rocznej koparki obliczone wg wersji II (uwzględniającej pracę koparki tylko w 10 miesiącach analizowanego roku)

Numer miesiąca	T_m, [h]	W_m, [m^3]	T_k, [h]	Q_t, [m^3/h]	Q_{rm}, [m^3/h]	E_{Tm}, [%]	E_{Qm}, [%]	E_{Cm}, [%]
1	291,7	233 321	744	3 500	799,9	39,2	22,9	9,0
2	263,9	127 879	672	3 500	484,6	39,3	13,8	5,4
3	337,2	313 705	744	3 500	930,3	45,3	26,6	12,0
4	255,3	215 603	720	3 500	844,5	35,5	24,1	8,6
5								
6								
7	96,1	118 356	744	3 500	1231,6	12,9	35,2	4,5
8	267,7	296 918	744	3 500	1109,1	36,0	31,7	11,4
9	277	282 983	720	3 500	1021,6	38,5	29,2	11,2
10	256	202 962	744	3 500	792,8	34,4	22,7	7,8
11	189,6	202 924	720	3 500	1070,3	26,3	30,6	8,1
12	281,5	297 110	744	3 500	1055,5	37,8	30,2	11,4
W 10 m-ch	2 516,0	2 291 761	7 296	3 500	910,9	34,5	26,0	9,0

Bez przyjęcia jednolitej procedury postępowania stwarza to możliwości dość swobodnego posługiwania się wynikami, co nie daje pewności obiektywnej oceny.

Reasumując powyższe można stwierdzić, że analizując wskaźniki wykorzystania koparek w oparciu o podstawowe dane miesięczne najbardziej obiektywną miarą oceny w tradycyjnie przyjmowanych do analizy okresach rocznych będą średnie ważone wyników miesięcznych, przy czym miesięczny wskaźnik wykorzystania czasu powinien być ważony kalendarzowym czasem miesiąca a wskaźnik wydajności teoretycznej czasem pracy koparki w miesiącu, co jest równoznaczne z przyjęciem do analizy tabeli w wersji II.

Kolejny problem dotyczy określenia wskaźników eksploatacyjnych dla grupy koparek pracujących w danym okresie czasu np. w ciągu roku. Aby go zilustrować posłużymy się ponownie przykładem. W kopalni w ciągu roku pracowało 5 koparek, które osiągnęły wyniki eksploatacyjne zamieszczone w tabeli 4 (dane w tabeli odnośnie czasu pracy koparki, jej wydobycia i czasu kalendarzowego są sumami wyników osiągniętych w kolejnych miesiącach analizowanego roku).

Na podstawie zamieszczonych danych należy określić przeciętne dla grupy wskaźniki eksploatacyjne w roku. Konsekwentnie posługując się definicjami wskaźników wykorzystania (wzory 1 do 3) konieczne jest wyznaczenie czasu pracy grupy i odpowiadającego temu czasu kalendarzowego oraz wyznaczenie wydajności rzeczywistej grupy i jej wydajności teoretycznej.

Na pytanie o przeciętną rzeczywistą wydajność całej grupy można odpowiedzieć dwojako. Albo temu wskaźnikowi przypiszemy sumę rzeczywistych wydajności koparek z grupy (jak w tabeli 4) otrzymując wartość 7440,3 m^3/godz. albo będzie to iloraz łącznego wydobycia masy przez wszystkie koparki i przeciętnego czasu pracy wszystkich koparek czyli średnia arytmetyczna indywidualnych czasów pracy, która w tym przypadku wynosi 2900,2 godz., a wówczas wydajność grupy wyniesie 8295,3 m^3/godz. Jest to wartość znacząco się różniąca od sumy uzyskanych wydajności.

Wskaźnik wykorzystania czasu pracy również może mieć dwie wartości bowiem trzeba zdecydować czy kalendarzowym czasem dla grupy jest suma tych czasów kalendarzowych, w których koparka pracowała (jak w tabeli) czy suma rocznych czasów kalendarzowych czyli wartość 43920 godz. (5 × 8784 godz.). W pierwszym przypadku E_T = 34,8% a w drugim E_T = 33,0%.

Podobnie będzie ze wskaźnikiem wykorzystania wydajności teoretycznej grupy koparek. O ile wydaje się bezdyskusyjne przyjęcie sumy wydajności teoretycznych koparek w grupie do scharakteryzowania wydajności teoretycznej grupy o tyle pozostaje problem wydajności rzeczywistej grupy. W rezultacie otrzymujemy dwie wartości wskaźnika E_Q, 43,5 lub 39%.

W efekcie końcowym wskaźnik efektywności całkowitej zawiera się w przedziale 15,1 do 12,9% (bez uwzględnienia współczynnika k_s).

Możliwe jest jeszcze inne podejście do problemu syntetycznych wskaźników wykorzystania grupy maszyn. Mogłaby to być wartość średnia wskaźników uzyskiwanych przez poszczególne maszyny grupy.

TABELA 4

Przykładowe zestawienie rocznych wyników pracy koparek

Lp. koparki	T_m, [h]	W_m, [m^3]	T_k, [h]	Q_t, [m^3/h]	Q_{rm}, [m^3/h]	E_{Tm}, [%]	E_{Qm}, [%]	E_{Cm}, [%]
1	4 674,3	12 150 671	8 784	4 200	2 599,5	53,2	61,9	32,9
2	2 519,5	3 081 608	8 040	3 500	1 223,1	31,3	34,9	11,0
3	1 652,7	1 822 736	7 320	3 500	1 102,9	22,6	31,5	7,1
4	3 152,8	3 445 470	8 784	3 500	1 092,8	35,9	31,2	11,2
5	2 501,5	3 557 117	8 784	4 370	1 422,0	28,5	32,5	9,3
Razem	14 500,8	24 057 603	41 712	19 070	7 440,3			

Nasuwa się przy tym pytanie co lepiej scharakteryzuje pracę maszyn: średnia arytmetyczna czy średnia ważona. Odwołując się do przykładowych danych zawartych w tabeli 4 można zauważyć, że jedna z maszyn (nr 1) osiągnęła znacząco lepsze wyniki niż pozostałe. Czy powinno to znaleźć odzwierciedlenie w globalnym wyniku pracy grupy maszyn, jeśli tak to do uśredniania wskaźników należy zastosować średnią ważoną, ale z jaką wagą? Ponieważ nie ustalono procedury uśredniania wybór wag zależy jedynie od wykonującego obliczenia. W rezultacie na podstawie danych z tabeli 4 można uzyskać wyniki uśredniania pokazane w tabeli 5.

TABELA 5

Przykładowe średnie wskaźniki wykorzystania koparek w zależności od sposobu uśredniania

Rodzaj uśredniania	E_{Tm}, [%]	E_{Qm}, [%] bez k_s	E_{Qm}, [%] z k_s	E_{Cm}, [%] bez k_s	E_{Cm}, [%] z k_s
Na podstawie łącznych wyników koparek w grupie ($\sum T_k$ = 41712 godz., Q_{rmg} = 8295 m^3/godz.	34,8	43,5	58,7	15,1	20,4
Na podstawie łącznych wyników koparek w grupie ($\sum T_k$ = 43920 godz., Q_{rmg} = 7440 m^3/godz.	33,0	39,0	52,7	12,9	17,4
Średnia arytmetyczna wyników maszyn w grupie	34,3	38,4	51,8	14,3	19,3
Średnia ważona, waga T_m	37,9	42,0	56,7	17,4	23,5
Średnia ważona, waga W_m	42,0	47,4	64,0	21,6	29,2
Średnia ważona, waga T_k	34,8	38,7	52,2	14,6	19,7
Średnia ważona, waga Q_O	34,7	39,0	52,7	14,7	19,8

Znaczne różnice w wartościach uzyskanych wskaźników dowodzą konieczności ustalenia jednolitej procedury obliczania syntetycznych wskaźników wykorzystania maszyn w kopalniach.

W przedstawionym przykładzie do oceny wskaźnika wykorzystania wydajności teoretycznej i wskaźnika efektywności całkowitej wykorzystano wyniki obmiarów geodezyjnych masy urobionej wciągu miesiąca tj. bez uwzględnienia współczynnika spulchnienia urobku. Tak więc zgodnie z uwagami zamieszczonymi na wstępie wartości wskaźników E_{Qm} i E_{Cm} zawarte w tabeli 5 winny być pomnożone przez jego wartość co skutkuje nowym zestawem znacznie większych wskaźników wykorzystania koparek.

Omawiane wątpliwości rozciągają się również na określanie przeciętnych wskaźników wykorzystania koparek w dłuższych okresach czasu np. 10 lat i więcej. Wiąże się to ściśle z próbą określenia wartości referencyjnych wskaźników wykorzystania maszyn dla kopalni. Wydaje się, że nie może to być jedna wartość dla wszystkich kopalń, bowiem byłoby to równoznaczne z założeniem jednakowych warunków we wszystkich kopalniach i jednolitych

planów wydobywczych w sytuacji kiedy kopalnie są częścią zespołów górniczo-energetycznych a ich praca oprócz uwarunkowań wewnętrznych determinowana jest między innymi zapotrzebowaniem na energię elektryczną i możliwościami produkcyjnymi elektrowni. Zmiany tego zapotrzebowania nie wpływają jednak równomiernie na wszystkie kopalnie.

Dla obiektywnego zastosowania metody *benchmarkingu* zewnętrznego należałoby się odnosić do kopalń o zbliżonych warunkach geologiczno-górniczych z uwzględnieniem uwarunkowań zewnętrznych niezależnych od kopalni (np. bieżące zapotrzebowanie na węgiel).

Uwzględniając powyższe uwarunkowania należałyby się zatem zastanowić nad sposobem doboru okresu czasu do analiz porównawczych wyników produkcyjnych kopalń. Czy koniecznie muszą to być te same okresy czasu i który okres w działalności kopalni należy uznać za miarodajny do porównań. Do tego celu niezbędna jest znajomość warunków eksploatacji oraz ograniczeń wewnętrznych i zewnętrznych wpływających na te wyniki w możliwie długim okresie lat ubiegłych. Dzięki temu można by wydzielić okresy najbardziej reprezentatywnej i efektywnej pracy układu technologicznego kopalni w danych warunkach geologiczno-górniczych. Niestety pozyskanie informacji z kopalń napotyka na trudności natury formalnej i technicznej ponieważ takie zapisy często już nie istnieją lub są niekompletne.

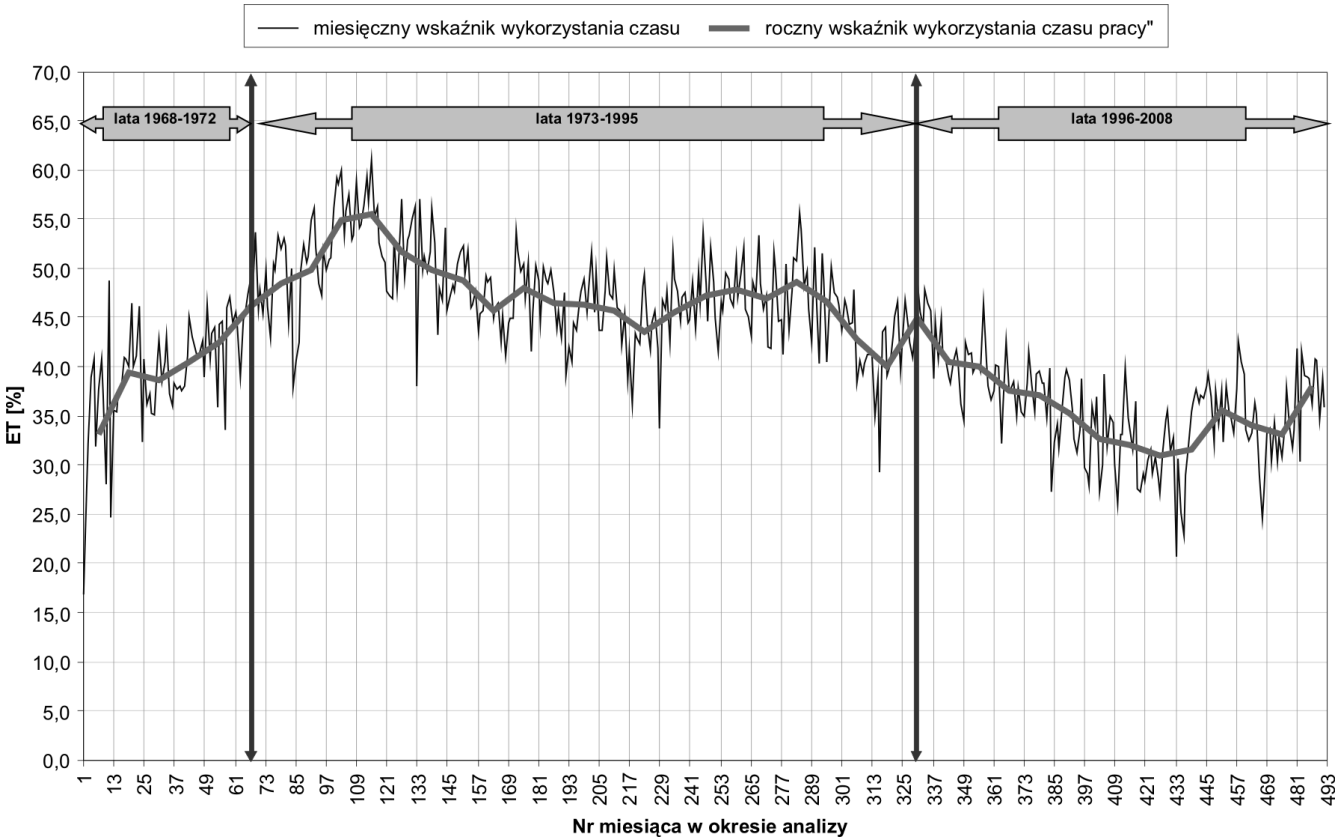
Przykładowo w historii eksploatacji jednej z kopalń można wyróżnić trzy charakterystyczne przedziały czasu:

1) okres do 1973 roku, w którym kopalnia początkowo wydobywała niewielkie ilości węgla, a następnie — od przełomu lat 50. i 60. ubiegłego wieku była sukcesywnie rozbudowywana odpowiednio do potrzeb dostaw węgla do nowobudowanej etapami elektrowni;
2) lata l973–1995, gdy proces rozbudowy kopalni uległ stabilizacji a wydobycie węgla było dostosowane do zainstalowanej mocy;
3) lata l996–2008, gdy urabianie masy uległo radykalnej redukcji ze względu na gruntowną modernizację elektrowni i związane z tym przedsięwzięciem zmniejszenie dostaw węgla, a kopalnia realizowała w tym czasie trudny proces przechodzenia ze zwałowania zewnętrznego nadkładu na zwałowanie wewnętrzne.

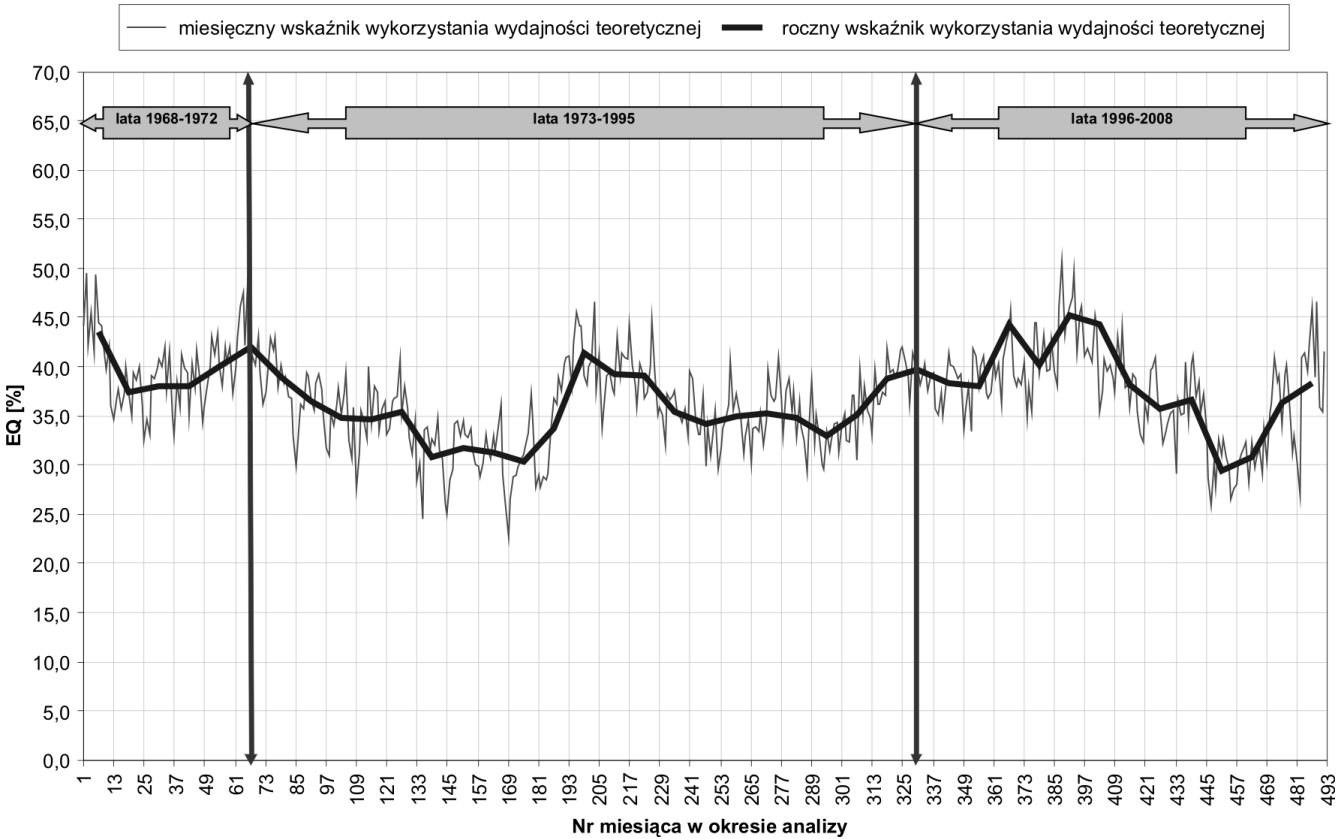
W każdym z tych okresów kopalnia uzyskiwała inne charakterystyczne wskaźniki wykorzystania koparek.

Kształtowanie się miesięcznych i rocznych wskaźników wykorzystania czasu kalendarzowego, wskaźnika wykorzystania wydajności teoretycznej i wskaźnika efektywności całkowitej maszyn podstawowych w kopalni pokazano na rysunkach 1, 2 i 3.

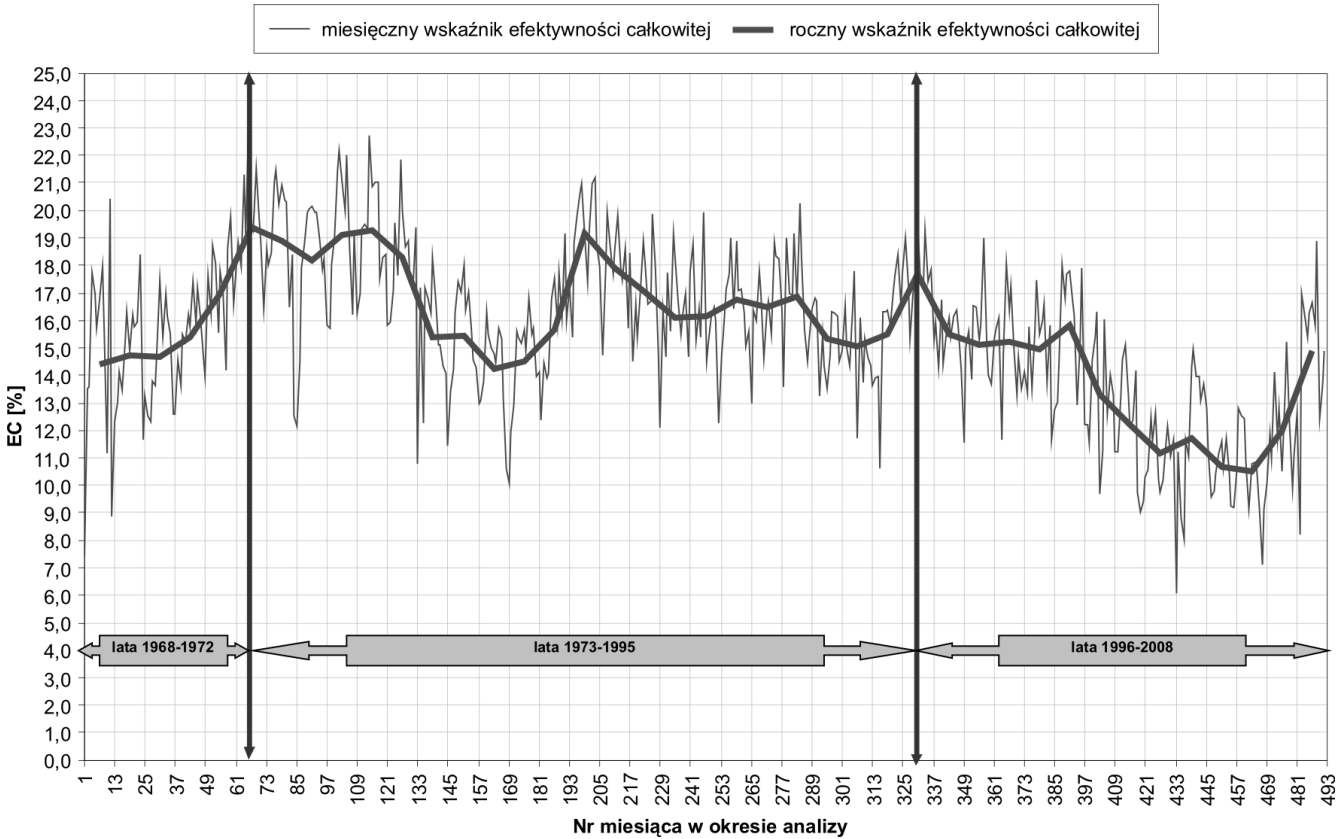
Na wykresach widoczne jest wyraźne zróżnicowanie wartości wskaźników i to zarówno w skali miesiąca jak i roku. Skala tego zróżnicowania jest dość znaczna, szczególnie w przypadku analizy miesięcznych wyników pracy koparek Daje się również zauważyć wyraźny długookresowy spadkowy trend wskaźnika wykorzystania czasu i efektywności całkowitej przy generalnie utrzymującym się wskaźniku wykorzystania wydajności teoretycznej. Szczególnie wyraźny spadek efektywności całkowitej nastąpił w latach 1996–2006, przy czym w następnych latach tendencja ta uległa odwróceniu.



Rys. 1. Przykładowe kształtowanie się miesięcznego i rocznego współczynnika wykorzystania czasu koparek w wydzielonych okresach analizy w jednej z kopalń węgla brunatnego



Rys. 2. Przykładowe kształtowanie się miesięcznego i rocznego współczynnika wykorzystania wydajności teoretycznej koparek w wydzielonych okresach analizy w jednej z kopalń węgla brunatnego



Rys. 3. Przykładowe kształtowanie się miesięcznego i rocznego współczynnika efektywności całkowitej koparek w wydzielonych okresach analizy w jednej z kopalń węgla brunatnego

TABELA 6

Minimalne, maksymalne i średnie wartości wskaźników efektywności pracy koparek podstawowych w jednej z kopalń

Lata	Wartości miesięczne						Wartości roczne					
	E_T, [%]		E_Q, [%]		E_C, [%]		E_T, [%]		E_Q, [%]		E_C, [%]	
	min.	maks.	min.	maks.	min.	maks.	min.	maks.	min.	maks.	min.	maks.
1968–1972	16,8	48,7	32,5	49,6	7,4	20,4	33,1	42,4	37,4	43,6	14,4	17,0
średnio	39,0		39,4		15,3		38,8		39,4		15,2	
1973–1995	29,3	61,0	22,7	49,1	10,1	23,3	40,0	55,6	30,3	42,1	14,2	19,4
średnio	47,5		35,7		16,9		47,4		35,7		16,9	
1996–2008	20,7	46,4	19,6	50,7	6,0	19,0	31,0	44,9	29,5	45,2	10,5	17,7
średnio	35,3		37,6		13,3		35,3		38,1		13,3	
1968–2008	16,8	61,0	19,6	50,7	6,0	23,3	31,0	55,6	29,5	45,2	10,5	19,4
średnio	42,6		36,7		15,6		42,5		36,9		15,6	

Syntetycznym obrazem tego zróżnicowania są minimalne, maksymalne i średnie wskaźniki wykorzystania maszyn w skali miesięcznej i rocznej uzyskane w wydzielonych okresach (tab. 6). Wartości średnie wskaźników miesięcznych i rocznych są zbliżone, co oznacza, że w długich okresach czasowych średnie miesięczne wskaźniki efektywności maszyn podstawowych charakteryzują również średnią efektywność pracy w roku.

Warto zauważyć, że w analizowanych 492 miesiącach koparki uzyskały wskaźnik wykorzystania czasu E_T większy od 40% w 316 miesiącach (64% czasu), wskaźnik wykorzystania wydajności E_Q większy od 35% w 314 miesiącach (64% czasu) a wskaźnik efektywności całkowitej E_C większy od 15% w 306 miesiącach (62% czasu).

Z danych wynika (tab. 6), że najkorzystniejszym okresem w kopalni były lata 1973–1995 kiedy zapotrzebowanie elektrowni i wydobycie węgla było największe. Okres ten można przyjąć jako tzw. miarodajny do analiz porównawczych, a obliczone wskaźniki wykorzystania maszyn podstawowych należy wnioskować jako referencyjne dla kopalni. Przyjęcie zaś do analizy danych z okresu kiedy zapotrzebowanie elektrowni na węgiel było niskie np. lata 2005–2006 byłoby błędem.

W tabeli następnej (tab. 7) zestawiono syntetyczne wskaźniki efektywności technicznej pracy koparek w poszczególnych charakterystycznych okresach z uwzględnieniem i bez uwzględnienia w obliczeniach współczynnika rozluzowania, który dla analizowanej kopalni przyjęto w wysokości 1,35. Po uwzględnieniu tego współczynnika wskaźniki wykorzystania wydajności (E_Q) i efektywności całkowitej (E_C) są znacząco wyższe — o 35%.

TABELA 7

Średnie wskaźniki wykorzystania koparek podstawowych w zależności od okresu analizy (bez uwzględnienia i z uwzględnieniem współczynnika spulchnienia)

Średnie wskaźniki	E_T, [%]	E_Q, [%]		E_C, [%]	
		bez k_s	z k_s	bez k_s	z k_s
1968–1972	39,0	39,4	53,2	15,3	20,7
1973–1995	47,5	35,7	48,2	16,9	22,8
1996–2008	35,3	37,6	50,8	13,3	18,0
1968–2008 (cały okres)	42,6	36,7	49,5	15,6	21,1

4.2. Analiza porównawcza poszczególnych kopalń

W dalszej części dokonano analizy porównawczej (*benchamrking* zewnętrzny) procesu produkcyjnego w polskich kopalniach węgla brunatnego w latach 1977–2005.

W celu porównania wskaźników efektywności dla poszczególnych kopalń węgla brunatnego oczywiście wskaźniki te należy obliczyć według jednolitych (zunifikowanych) zasad.

Obliczenia wykonano w dwóch wariantach, różniących się pomiędzy sobą, sposobem naliczania danych produkcyjnych:

1) Wariant I (tab. 8) — wyniki produkcyjne (czas pracy, urobiona masa) naliczano w okresach rocznych. Sumowano wyniki produkcyjne koparek pracujących w danym roku kalendarzowym. Wydajność teoretyczną obliczono jako sumę wydajności teoretycznych koparek realizujących proces urabiania w danym roku kalendarzowym. Następnie dla każdego roku policzono syntetyczne wskaźniki wykorzystania wydajności teoretycznej, czasu kalendarzowego oraz efektywności całkowitej.

2) Wariant II (tab. 9) — wyniki produkcyjne (czas pracy, urobiona masa) naliczane były dla każdej koparki oddzielnie. Sumowano wyniki produkcyjne poszczególnych koparek w analizowanym okresie. Czas kalendarzowy liczony był jako suma czasów kalendarzowych, w których koparka pracowała. Następnie dla każdej koparki policzono syntetyczne wskaźniki wykorzystania wydajności teoretycznej, czasu kalendarzowego oraz efektywności całkowitej

Dla tak obliczonych wskaźników, wykorzystując różne sposoby ich uśredniania, obliczono je w ujęciu globalnym, dla poszczególnych kopalń (tab. 10).

Można zauważyć, że pomiędzy wariantami, dla tego samego sposobu uśredniania wskaźników występują dość znaczne różnice, np. dla kopalni 2, różnica pomiędzy wskaźnikiem E_{Qm}, obliczonym jako średnia arytmetyczna, wynosi 5,2%, co w odniesieniu do wartości wskaźnika stanowi ponad 10%. Podobne różnice uzyskano dla wskaźników łącznych (E_{Cm}) dla różnych sposobów uśredniania. Różnice w ramach poszczególnych kopalń byłyby jeszcze większe, gdyby na etapie zestawiania bazy danych nie dokonano wstępnego ujednolicenia poszczególnych wskaźników.

Przyjęto również, że przy obliczaniu wskaźników wykorzystania wydajności nie uwzględnia się współczynnika spulchnienia. Gdyby zgodnie z normą uwzględnić ten współczynnik to wskaźniki E_{Qm} i E_{Cm} byłyby wyższe o 30–35% w zależności od średnich wartości współczynnika spulchnienia w poszczególnych kopalniach.

Bez przyjęcia jednolitej procedury postępowania stwarza to możliwości dość swobodnego posługiwania się wynikami, co nie daje pewności obiektywnej oceny. Chcąc porównać uzyskiwane wskaźniki w kopalni *X*, z wskaźnikami z innej kopalni *Y*, bazując tylko na wartościach końcowych tych wskaźników, bez możliwości samodzielnego ich obliczenia z wykorzystaniem spójnej procedury, możemy uzyskać zupełnie skrajne obrazy analizy porównawczej efektywności pracy maszyn podstawowych (tab. 11).

W porównaniach tych (dla poszczególnych kopalń) przyjęto jednolity okres analizy, co jak wcześniej wykazano nie zawsze jest słuszne, gdyż często wyniki eksploatacyjne kopalń węgla brunatnego uzależnione są od czynników zewnętrznych (między innymi od zapotrzebowania elektrowni na węgiel) i w analizach powinny być uwzględnione tzw. okresy miarodajne np. charakterystyczne okresy dziesięcioletnie.

TABELA 8

Zestawienie przykładowych wyników oraz wskaźników produkcyjnych naliczanych według Wariantu I

Rok	Liczba koparek pracujących, [szt.]	T_m, [godz.]	W_m, [tys. m^3]	T_k, [godz.]	Q_{tm}, [m^3/godz.]	Q_{rm}, [m^3/godz.]	E_{Tm}, [%]	E_{Qm}, [%]	E_{Cm}, [%]
1977	8	38 948,7	46 955 443	8 760	27 800	1 205,6	55,6	34,7	19,3
1978	8	36 196,0	44 546 676	8 760	27 800	1 230,7	51,6	35,4	18,3
1979	8	34 237,3	36 655 735	8 760	27 800	1 070,6	48,9	30,8	15,1
1980	8	34 218,2	37 767 817	8 784	27 800	1 103,7	48,7	31,8	15,5
1981	9	36 271,6	40 098 858	8 760	32 170	1 105,5	46,0	30,9	14,2

TABELA 9

Zestawienie przykładowych wyników oraz wskaźników produkcyjnych naliczanych według Wariantu II

Koparka	Liczba koparek pracujących, [szt.]	T_m, [godz.]	W_m, [tys. m^3]	T_k, [godz.]	Q_{tm}, [m^3/godz.]	Q_{rm}, [m^3/godz.]	E_{Tm}, [%]	E_{Qm}, [%]	E_{Cm}, [%]
1	102 411,4	497 955,7	245 448	9 350	4862,3	52,0	41,7	21,7	102 411,4
2	95 213,1	486 556,3	236 688	9 350	5110,2	54,7	40,2	22,0	95 213,1
3	78 900,1	422 314,7	219 168	9 350	5352,5	57,2	36,0	20,6	78 900,1
4	88 869,1	548 183,8	192 864	11 000	6168,4	56,1	46,1	25,8	88 869,1
5	85 731,9	452 677,8	184 080	11 000	5280,2	48,0	46,6	22,4	85 731,9

TABELA 10

Wartości syntetycznych wskaźników efektywności pracy koparek wielonaczyniowych w kopalniach węgla brunatnego

Sposób uśredniania	Waga	Wariant I											
		E_{qm}, [%]				E_{tm}, [%]				E_{Cm}, [%]			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Średnia arytmetyczna	–	36,2	49,7	45,2	54,7	40,7	38,4	36,6	38,5	14,7	19,1	16,5	21,1
Średnia ważona	W_m	36,6	49,6	47,4	55,8	40,7	39,1	37,2	38,7	14,9	19,4	17,6	21,6
Średnia ważona	T_m	36,2	49,3	45,9	54,8	41,2	39,2	37,1	38,8	14,9	19,4	17,0	21,3
Średnia ważona	Q_{rm}	36,7	50,2	46,7	55,8	40,2	38,0	36,9	38,4	14,7	19,1	17,2	21,4
Średnia ważona	O_{tm}	36,6	49,4	45,9	55,1	39,5	38,7	36,7	38,4	14,4	19,1	16,8	21,2
Sposób uśredniania	Waga	Wariant II											
		E_{qm}, [%]				E_{tm}, [%]				E_{Cm}, [%]			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Średnia arytmetyczna	–	38,1	44,5	50,2	54,9	38,9	38,8	37,8	39,0	14,8	17,3	19,6	21,4
Średnia ważona	W_m	37,3	48,4	46,7	54,8	39,2	41,5	40,9	40,8	14,6	21,1	19,1	22,4
Średnia ważona	T_m	35,8	45,0	49,9	54,3	39,4	39,5	38,9	40,4	14,1	17,8	19,4	22,0
Średnia ważona	Q_{rm}	40,3	47,9	47,9	54,8	38,6	41,2	40,4	40,0	15,5	19,7	19,4	21,9
Średnia ważona	O_{tm}	38,7	46,4	42,2	53,3	38,8	41,0	41,8	40,1	15,0	19,0	17,6	21,4

1, 2, 3, 4 — oznaczenia analizowanych kopalń.

TABELA 11

Porównanie wskaźnika efektywności całkowitej w kopalni 1 i 2 bez uwzględnienia współczynnika spulchnienia

Kopalnia	Porównanie I		Porównanie II	
	Wariant, sposób uśredniania	E_{Cm}, [%]	Wariant, sposób uśredniania	E_{Cm}, [%]
KWB 1	W_{II}, Q_{rm}	15,5	W_{II}, T_m	14,1
KWB 2	W_{II}, średnia arytmetyczna	17,3	W_{II}, W_m	21,2

Zgadzając się z ogólnym założeniem benchmarkingu zewnętrznego jako jednego ze sposobów poprawy efektywności działalności firm (kopalni), poprzez wzajemne porównywanie syntetycznych wskaźników pracy i poszukiwanie wzorców i najlepszych praktyk, z uwagi na trudności w uzyskiwaniu odpowiednich danych z kopalń, a zwłaszcza kopalń zagranicznych, bardzo ostrożnie należy podchodzić do analiz porównawczych wskaźników pracy maszyn podstawowych (koparek i zwałowarek) w kraju i za granicą.

5. Podsumowanie

W kopalniach węgla brunatnego podstawowy wpływ na efektywność pozyskiwania węgla i jego konkurencyjność z innymi surowcami energetycznymi mają procesy urabiania węgla i nadkładu, w dużym stopniu uzależnione od stopnia wykorzystania podstawowego majątku produkcyjnego, którym są maszyny podstawowe (wielonaczyniowe koparki, zwałowarki) oraz ciągi technologiczne przenośników taśmowych. Z tych też względów w kopalniach węgla brunatnego i w skupiających je organizacjach gospodarczych zawsze, a ostatnio szczególnie, dużą wagę przywiązuje się do analizy i oceny wskaźników efektywności technicznej pracy (czas pracy, wydajność) podstawowych wielonaczyniowych koparek i zwałowarek.

W pracy przedstawiono część problemów wiążących się z rejestrowaniem i inwentaryzacją danych wyjściowych (czas pracy, wydobycie, wydajność) a następnie obliczaniem wskaźników syntetycznych. Brak unifikacji procedury inwentaryzacji danych i ich obliczeń wpływa na duże zróżnicowanie syntetycznych wskaźników co zilustrowano na przykładach obliczeniowych.

Zgadzając się z ogólnym założeniem *benchmarkingu* zewnętrznego, jako jednego ze sposobów wyznaczania kierunków poprawy działalności kopalń, poprzez porównywanie syntetycznych wskaźników pracy i poszukiwanie wzorców i najlepszych praktyk, z uwagi na trudności w uzyskiwaniu odpowiednich danych z kopalń a szczególnie kopalń zagranicznych, do analiz tylko wskaźników końcowych (syntetycznych) bez wnikania w procedury zestawiania i obliczeń należy podchodzić z dużą ostrożnością i krytycyzmem.

LITERATURA

[1] *Borkowski S., Selejdak J., Salamon Sz.*: Efektywność eksploatacji maszyn i urządzeń. Sekcja Wydawnictw Wydziału Zarządzania Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2006

[2] *Brzeg K., Waroch M., Rainczuk M.*: Propozycja zunifikowanej metody oceny efektywności urabiania koparkami wielonaczyniowymi w kopalniach węgla brunatnego. IV Międzynarodowy Kongres Górnictwa Węgla Brunatnego. PGE KWB Bełchatów 2009

[3] *Kasztelewicz Z.*: Węgiel brunatny. Optymalna oferta energetyczna dla Polski. Wyd. Górnictwo Odkrywkowe, Bogatynia-Wrocław 2007

[4] *Kasztelewicz Z., Kozioł K.*: Wydajność i czas pracy koparek wielonaczyniowych w kopalniach węgla brunatnego w Polsce. Górnictwo i Geoinżynieria. Kwart. AGH, Rok 31 z2. UWN-D AGH. Kraków 2007

[5] *Kijewska A.*: Benchmarking — wdrażanie najlepszych praktyk — szansa poprawy działalności przedsiębiorstwa. Przegląd Górniczy Nr 9/2009. SITG Katowice 2009

[6] *Kozioł W.*: Ocena wpływu czynników złożowych na sprawność selektywnej eksploatacji węgla brunatnego. Górnictwo Odkrywkowe 1-3/1986. Wrocław 1986

[7] *Kaczarewski T., Nowak J.*: Warunki bezpieczeństwa eksploatacji złoża „Turów" w aspekcie zagrożeń geotechnicznych. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska Nr 12(184)2009. WUG — Katowice, 2009

[8] *Nieć M.*: Jak statystyka może geologa na manowce sprowadzić. IV Sympozjum, Zastosowania metod matematycznych w geologii. AGH Kraków 1978