

WYNIKI BADAŃ PROCESU URABIANIA ZABIERKI KOPARKĄ SchRs 4000.37,5

THE RESULTS OF STUDIES ON MINING PROCESS IN EXAMPLE OF EXCAVATOR SchRs 4000.37,5

Anna Nowak-Szpak, Adam Bajcar, Andrzej Strempek - Poltegor - Instytut IGO, Wrocław

W artykule przedstawiono prace wykonywane w ramach projektu pt.: „Mechatroniczny system sterowania, diagnostyki i zabezpieczeń w maszynach górnictwa odkrywkowego” mające na celu opracowanie i zastosowanie rozwiązań, umożliwiających wdrożenie zoptymalizowanego procesu urabiania kopalin oraz zbierania nadkładu, a w efekcie zwiększenie wydajności koparek.

Przedstawiono, na wybranym przykładzie sposób pozyskiwania danych dla wielowymiarowego zbioru informacji o przebiegu w rzeczywistych warunkach procesu generowania przez koparkę strumienia urobku, a także uzyskiwania materiałów doświadczalnych pozwalających na jakościową i ilościową ocenę przebiegu procesu generowania strumienia urobku przez koparkę pracującą w złożonym procesie technologicznym.

Słowa kluczowe: górnictwo odkrywkowe, koparka kołowa, parametry górniczo-geologiczne, sterowanie wydobyciem

Research activities conducted in the framework of the project “Mechatronic systems for technological processes control and enhancement of large machines exploitation safety” within task No 5 “Mechatronic system of wheel excavator steering” aiming at elaboration and application of solutions, which enable implementation of optimized mineral resources processing and overburden removal, resulting in the increase of excavators efficiency, have been presented in the paper.

On chosen example, method of data collection for multi-dimensional set of information about the real world process of generating an output stream by the excavator and method obtaining experimental data allowing for qualitative and quantitative assessment of the process of generating an output stream by the excavator working in a complex process have been presented.

Key words: open cast mining, bucket wheel excavator, mining and geological parameters, excavation steering

Wstęp

W projekcie pt.: „Mechatroniczny system sterowania, diagnostyki i zabezpieczeń w maszynach górnictwa odkrywkowego” w zadaniu nr 5 pt.: „Mechatroniczny system sterowania koparką kołową” realizowanym przez konsorcjum naukowe reprezentowane przez Poltegor-Instytut prowadzone są prace nad możliwością zastosowania efektywniejszych metod i środków sterowania procesami w eksploatacji odkrywkowej złóż zwłaszcza głębokozalegających i zaburzonych. Całokształt czynników warunkujących problemy i efekty tego procesu tworzy przestrzeń realizacji procesu roboczego koparki.

Do opisanie tej przestrzeni konieczne jest wprowadzenie analogowo-numerycznych modeli pięt. Jako dane wejściowe modelu posłużyć mają odwzorowane na podstawie badań terenowych pomiary przepływu strumienia urabianych mas, czasu przejścia z jednego stopnia na kolejny oraz równoczesnych ruchów manewrowych wykonywanych przez mechanizm zwodzenia wysięgnika urabiającego i dojazdu koparki. Parametry te mają charakter indywidualny, różny dla każdego z typów maszyn oraz warunków pracy, dlatego do ich określenia konieczne jest przeprowadzenie badań terenowych, w trakcie których wykonane są obmiary zabierki i stopni oraz obmiary

Introduction

In project, „The mechatronic system of steering, diagnostics and protections of primary machines in opencast mining” in task of No. 5 pt.: „The mechatronic steering system of bucket wheel excavator” being realized by scientific consortium represented by Poltegor- Institute, works on the possibility of use more efficient use of methods and means of process control in opencast deposits especially deeply situated and disturbed are conducted. The whole of factors determining problems and effects of this process creates a realization space of the excavators working process. To describe this, it is necessary to introduce the analog-numerical floors models. Input data used to create the model are mined masses flow, times of transition from one level to the next and simultaneous movements performed by boom control mechanisms. These parameters are individual, different for each type of equipment, and working conditions, which is why it is necessary to determine them by field research during which they are made and measurements of blocks, degrees, and the width and thickness of the chip. In addition, used are data recorded in a central coordination center such as:

- measurements of the transit time between the steps and blocks,

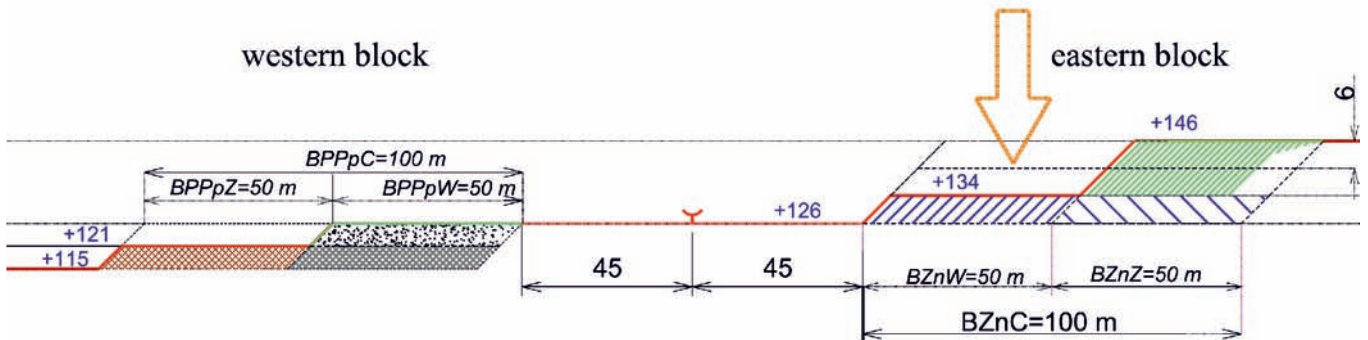
szerokości i grubości wióra. Ponadto wykorzystywane są rejestrowane w centralnym ośrodku koordynacji ruchu:

- pomiary czasu przejścia, pomiędzy stopniami i zabierkami,
- pomiary elektryczne i mechaniczne urządzeń oraz elementów konstrukcyjnych koparki (m.in. prąd pobierany przez napędy przez koła czepakowego, mechanizmu zwodzenia, napędu gąsienic przy dojazdach do czoła zabierki prędkość itd.).

Opracowane i zweryfikowane modele tworzą podstawę dla pakietu technologicznych programów identyfikacyjno-symulacyjnych, tworzących system pozwalający na identyfikację i przeprowadzanie analiz prognozowanych efektów produkcyjnych koparek w określonych warunkach ich realizacji.

Badania terenowe na froncie ustabilizowanym

W listopadzie 2011 r. przeprowadzono badania terenowe w zabierce koparki SchRs 4000.37,5, zatrudnionej w piętrze eksploatacyjnym typu złożonego z czterema podpiętrami: dwoma nadpoziomowymi i dwoma podpoziomowymi. Pomiary wykonano w trakcie urabiania „zabierki bliższej” w podpiętrze nadpoziomowym górnym. Omawianą sytuację przedstawia przekrój poprzeczny na rysunku 1.



Rys 1. Przekrój poprzeczny piętra w rejonie badań
Fig. 1. The cross-section of levels in the area of researches

Badania przeprowadzone zostały w cyklu dobowym. Wykonano dwa skany, w którym pierwszy odwzorowuje początkowy stan zabierki w momencie rozpoczęcia rejestracji parametrów pracy koparki, drugi natomiast obrazuje stan zabierki kończącej rejestrację parametrów pracy koparki.

Ustawienia fototachimetru skanującego dobrano w taki sposób, aby skanowany obiekt był w pełni widoczny. Ze względu na cel wykonywanych pomiarów konieczne było uzyskanie punktów odwzorowujących charakterystyczne załamania czoła zabierki. Pomiary wykonano z różnych odległości i pod różnym kątem. Dla zapewnienia pełnego obrazu zabierki skanowanie prowadzono również z dwóch lub trzech stanowisk pomiarowych znajdujących się zarówno na poziomie pracy koparki jak i na poziomie wyższym. Rozwiązanie to wydłuża czas pomiaru o czas przejazdu z jednego poziomu na drugi oraz często wymaga powtórzenia określenia współrzędnych, jednak pozwala na uniknięcie tzw. „martwych stref” w skanowaniu zabierki.

Dodatkowo, podczas wykonywania obmiarów, rejestrowano godzinę wykonania obmiarów, aby zestawić go z rejestrowanymi parametrami pracy koparki. Współrzędne punktów przyjętych do badań były określane poprzez dowiązanie założonego lokalnego układu odniesienia do członów przenośników taśmowych, co pozwoliło na jego połączenie z planem robót górniczych wykonanym według kopalnianej sieci punktów w układzie lokalnym Belchatów „W”.

- electrical and mechanical measurements of equipment and components of excavator (including the current drawn by the bucket wheel drives, slewing mechanism, caterpillar drive etc.)

Developed and revised models form the basis for the package of programs for identification and simulation, creating a system for the identification and analysis of the projected effects of excavator production in certain conditions.

Field investigations on stabilized front

In November 2011, the fieldwork was carried out in block of SchRs 4000.37,5 excavator, engaged in operating a floor composed of four sublevels: two upper and two lower. Measurements were carried out during the closer block excavation in the upper sublevel composed of loams, sands and clays. This situation is presented in a cross-section in Figure 1.

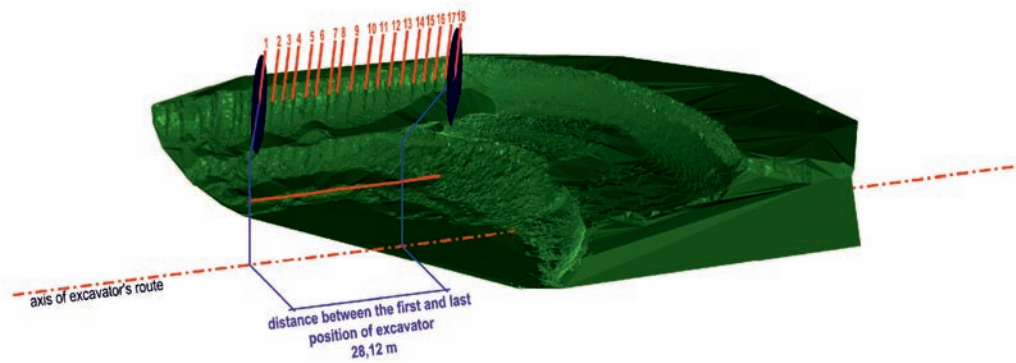
Investigations were conducted in 24 hour cycle. Two scans were performed in which the first was initial state of block at the start of registration of excavator's parameters, while the second shows the state of block at the end of registration.

Phototacheometer's scan settings were chosen in such a

way that the scanned object was fully visible. Due to the purpose of the measurements it was necessary to obtain a characteristic break points imaging face of block. Measurements were executed with different distances and angles. To provide a complete picture of block scans were also carried out with two or three measuring stations located both at the level of the excavator as well as higher one. This solution extends the measurement time for travel time from one level to another, and often requires re-define the coordinates, however it allows to avoid „dead zones” in scans of the block.

Additionally during measurements exact time was recorded for purposes of comparing it with excavator's parameters recorded in central coordination center. Coordinates of the points adopted for the study were identified through linking of established local reference system to the segments of conveyor belts, allowing for its connection to the mining plan.

Captured by scanning views of blocks very closely mimic the views of the escarpment face and therefore allow to specify the details allowing for reconstruction of block's geometrical parameters. As a result of the use of the photo tacheometer a point cloud was obtained showing the face of block and giving dimensions of curves and bulges, whose interpretation allowed the spatial identification of block and chip parameters. Figure 2 shows a front view of the scanned slope obtained on the second day of measurements. Because measurements were made in



Rys. 2. Widok zeskanowanej skarpy czołowej uzyskany w drugim dniu pomiarów, z interpretacją ilości urabianych pasm w tarasie pierwszym
 Fig. 2 View of scanned front slope obtained on the second day of measurements, interpretation of the number of mined bands on the first terrace

Uchwycone w wyniku skanowania widoki zabierki bardzo dokładnie odwzorowują widoki skarpy czołowej w związku z czym pozwalają na określenie szczegółów pozwalających na odtworzenie parametrów geometrycznych zabierki. W wyniku wykorzystania tachimetru skanującego uzyskano chmurę punktów obrazujących czoło zabierki z uwidocznieniem krzywizn i wypukłości, których interpretacja pozwoliła na identyfikację przestrzenną zabierki i określenie parametrów wióra. Na rysunku 2 przedstawiono widok zeskanowanej skarpy czołowej uzyskany w drugim dniu pomiarów. Ponieważ pomiary zabierki wykonane zostały w odstępie dobowym, możliwe było określenie postępu zabioru w ciągu 24 godzin. Na podstawie odwzorowanych na skarpie bocznej widocznych zmian kierunków obrotu wysięgnika możliwe było określenie ilości podjazdów. Dla określenia długości poszczególnych podjazdów, a tym samym stanowiska koparki podczas urabiania każdego z pasm, mierzono czas każdego z podjazdów.

Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe modele numeryczne zabierki, na podstawie których określone zostały parametry pionowo-poprzeczne i poziome oraz parametry pionowo-podłużne, dla zastosowania tworzonego w Poltegor-Institut oprogramowania mechatronicznego systemu sterowania wielonaczyniowymi koparkami kołowymi.

Po zakończeniu cyklu pomiarów kopalnia udostępniła chwi-

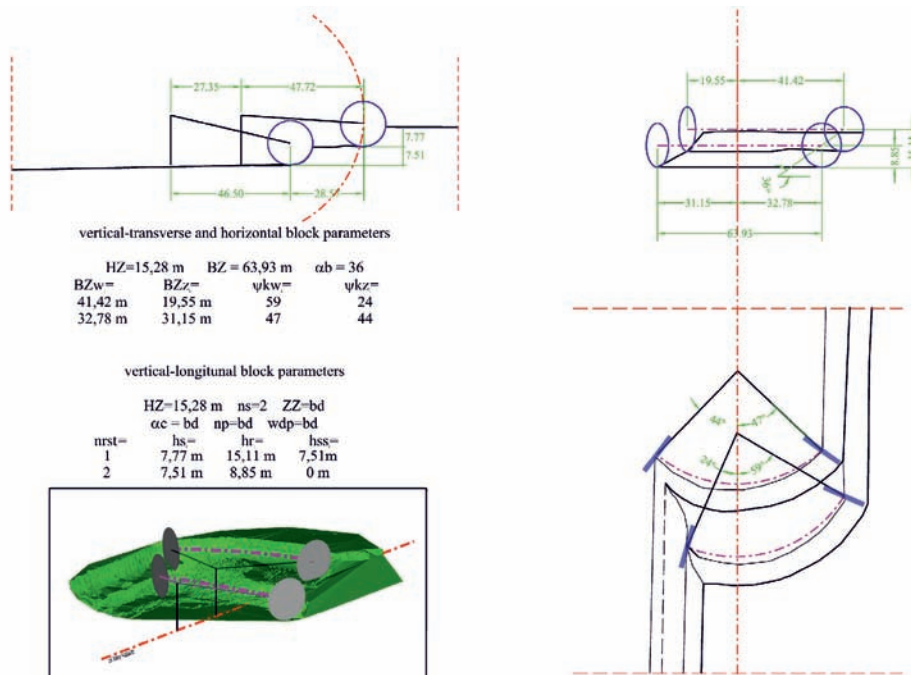
daily intervals, it was possible to determine the progress in block within 24 hours. Based on the mapped on side slope visible marks of boom direction changes it was possible to determine the number of approaches. To determine the length of the individual approach, and thus the position of excavator during mining of each band time of each approach was measured.

Following are examples of blocks numerical models, based on the parameters that define the lateral and vertical-horizontal and vertical-longitudinal parameters for use in created in Poltegor-Institute mechatronic control system of bucket wheel excavators.

At the end of the measurement cycle, the mine has provided momentary (at intervals min 15 sec.) operating parameters of excavator recorded in COKR department (PGE KWB Belchatow) for the time interval when scans were made.

The statistical distribution of indicators during stable mining

The actual time of the excavator works in analyzed period was 18 h 07 min and 15 seconds and represented 93% of the period. Figure 4 shows effective work time and length of breaks of K45 excavator. The total time of the excavator work consists of 41 periods of work with a length of 1 minute 30 seconds to 2



Rys 3. Przykładowy model analogowy zabierki, wykonany na podstawie pomiarów tachimetrem skanującym
 Fig 3 An example of an analogue block's model made on the basis of scanned measurements

Tab. 1. Objętość nadkładu w zabierze

Tab. 1 The volume of overburden in block

Wyszczególnienie Description	Wysokość stopnia [m] Step height [m]			Odległość między stanowiskiem początkowym i końcowym koparki w danym stopniu [m] Distance between the start and end position of excavator in the step [m]	Objętość zdjętego nadkładu [tys.m ³] Volume of the removed overburden [tys.m ³]
	Dzień 1 Day 1	Dzień 2 Day 2	Średnio Average		
Stopień 1 Step 1	7,31	7,77	7,54	28,12	40,8
Stopień 2 Step 2	7,16	7,51	7,34	15,56	14,0
Razem piętro Level total	14,47	15,28	14,88	-	54,8

lowe (w odstępach 15 sek.) parametry pracy koparek rejestrowane w dziale COKR (PGE KWB Bełchatów) dla przedziału czasu pomiędzy wykonanymi skanowaniami.

Rozkład statystyczny wskaźników urabiania w pracy ustabilizowanej

Rzeczywisty czas pracy koparki w analizowanym okresie wynosił 18 h 07 min i 15 sek. i stanowił 93% analizowanego okresu. Na rysunku 4 przedstawiono udział efektywnego czasu pracy koparki i długości przerw dla koparki K45. Na całkowity czas pracy koparki składa się 41 okresów pracy o długości od 1 min 30 sek. do 2 h 02 min i 15 sek. Blisko 50% zmierzonych długości nieprzerwanej pracy zawiera się w przedziale od 6 min do 30 min. Pomimo, że obliczona średnia arytmetyczna dla zbioru określona została na poziomie 26 min 31 sekund, wartość mediany zbioru jest znacznie mniejsza i wynosi 13 min i 30 sek.

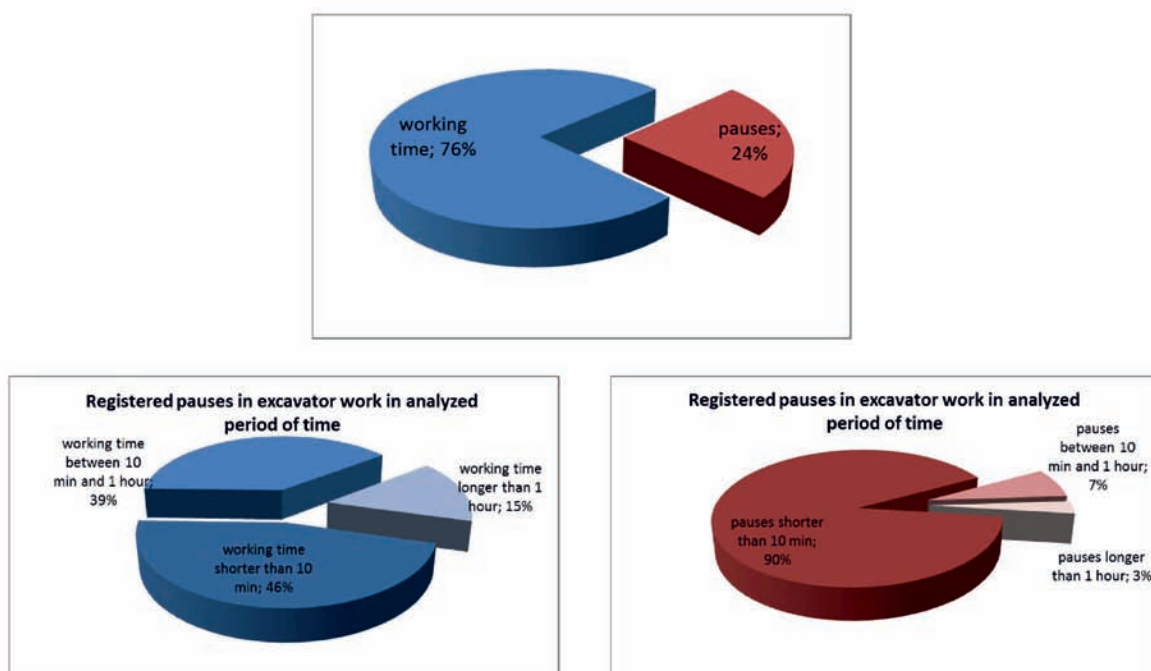
Największy udział zarejestrowanych przerw w pracy koparki (90%) wynosił nie dłużej niż 10 min. Należy zaznaczyć, że połowa tych wyników zawiera się w granicach od 1 min 54 sek. do 5 min. Wartość mediany dla postojów koparki wynosi 5 min, przy obliczonej średniej arytmetycznej 8 min 35 sekund.

Wyjściową wielkością procesu urabiania górotworu pozwa-

hours 02 minutes and 15 seconds. Nearly 50% of the measured times of continuous operation is in the range of 6 minutes to 30 minutes. Although the arithmetic average calculated for the set was determined at 26 minutes 31 seconds, the median value of the set is significantly less, and is 13 minutes and 30 seconds.

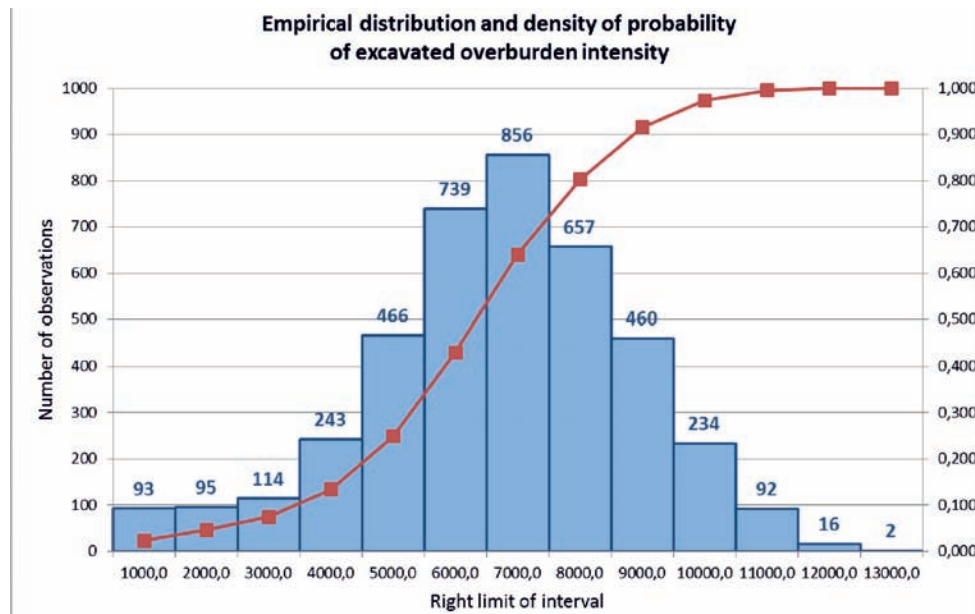
The largest share of registered excavator breaks (90%) had a length of no longer than 10 minutes. It should be noted that half of these results is in the range of 1 minute 54 seconds to 5 minutes. Median value of excavator downtime is 5 minutes, the calculated arithmetic average is 8 minutes 35 seconds.

Output indicator of mining process that allows assessing the effectiveness of extraction is the intensity of the masses stream flow. Collection of stream intensity values of mined masses obtained from measurements in a defined period of time determines the distribution of the instantaneous efficiency of mining processes. Preliminary analysis carried out showed that the process determining variability of the flow of excavated material for all of the data is composed of two basic processes, the first of which reaches maximum near zero production rate and second reaches maximum in the range of 6000-7000 [m³ / h]. Because data registration was made also during breaks in work of excavator it was assumed that records with zero in value of efficiency and other measures (m al. Effective power and speed



Rys. 4 Efektywny czas pracy i czas przerw w pracy koparki SchRs 4000.37,5 w czasie od godz. 11:19 08.11.2011 do 11:19 09.11.2011

Fig. 4 Effective working time and downtime of excavator SchRs 4000.37,5 over a period 08/11/2011 11:19 to the 09/11/2011 11:19



Rys. 5. Histogram wydajności chwilowych uzyskiwanych podczas pracy koparki K-45 na froncie ustabilizowanym
Fig. 5. The histogram of the momentary capacity of the excavator K-45 on stabilized front

lającą na ocenę efektywności wydobywania mas. Zbiór wartości natężenia strumienia urabianych utworów skalnych, uzyskany w wyniku pomiarów w zdefiniowanym odcinku czasu, określa rozkład wydajności chwilowej procesów urabiania. Przeprowadzona wstępna analiza wykazała, że proces określający zmienność natężenia przepływu urobku dla całości danych składa się z dwóch procesów podstawowych, z których pierwszy osiąga maksimum w pobliżu wydajności równej zero, a drugi przyjmuje maksimum w przedziale 6000-7000 [m³/h]. Ponieważ rejestracja danych miała miejsce również podczas przerw w pracy maszyny uznano, że rekordy o zerowej wydajności i z zerowymi wartościami pozostałymi rejestrowanymi miernikami (m. in. mocy czynnej i prędkości obrotowej) należy wyłączyć z dalszych analiz.

Otrzymany histogram chwilowego natężenia przepływu urobku przyjmuje postać zbliżoną do normalnego rozkładu gęstości. Potwierdza on duży rozrzut wartości rzędnych natężenia strumienia urabianej masy, całkowity rozstęp analizowanych prób wynosi 12255,10 m³/h, przy czym największe zagęszczenie rzędnych odzwierciedlających natężenie przepływu urobku zawiera się w granicach 6000-7000 m³/h (21%). Również rozstęp kwartylny wynoszący 2637 m³/h wskazuje na stosunkowo dużą koncentrację wyników wokół wartości średnich. Obliczona wartość średnia (6217 m³/h) jest zbliżona do wartości mediany (6323 m³/h).

Zmienność wydobywania prześlędzono również pośrednio poprzez analizę rejestrowanych wartości prądów silnika koła podczas skrawania oraz chwilowych wartości prędkości obrotowej.

Powyższa analiza, jak wspomniano wcześniej, odnosi się do cyklu dobowego. Ze względu na występowanie częstych przerw w pracy koparki, należy przypuszczać, że otrzymane wydajności są zaniżone. Powoduje to również pewne przekłamanie w określonym prawdopodobieństwie występowania określonych przedziałów wartości wydajności. Takim błędem szczególnie obciążony jest przedział pierwszy 0-1000 m³/h, którego wartość, nawet po usunięciu przedziału punktowego = 0, jest zakłócony.

W niezakłóconym postojami przebiegu realizacji przepływu urabianego nadkładu, wydajność koparki powinna przebiegać w charakterystyczny cykliczny sposób odpowiadający pracy koparki

of the turntable) should be excluded from further analysis.

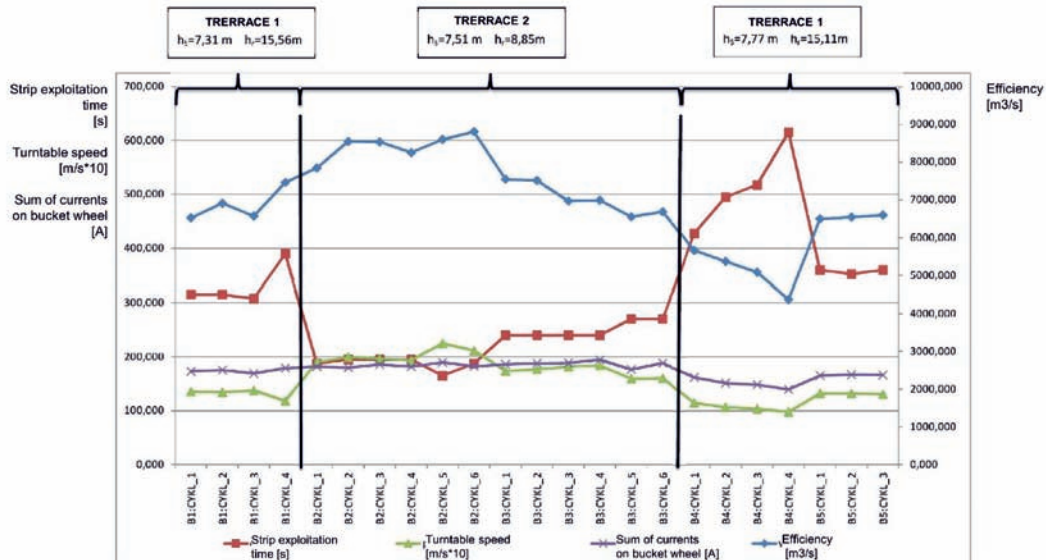
The resulting histogram of the instantaneous flow of excavated material takes the form similar to the normal density distribution. It confirms large dispersion of values of mined masses flow. The total spacing of the analyzed samples is 12255.10 m³ / h. The greatest concentration of the flow of excavated material is in the range 6000-7000 m³ / h (21%). Also quartile deviation 2637 m³ / h indicates a relatively high concentration around the average values of the results. The calculated average value (6217 m³ / h) is close to the median (6323 m³ / h).

Output variability was also indirectly investigated by analyzing the recorded value of the wheel motor current during cutting and the instantaneous speed of the turntable.

The above analysis, as mentioned, refers to the daily cycle. Due to the occurrence of frequent interruptions in the work of excavator, it can be assumed that the resulting capacities are understated. This also results in some distortions that are likely to occur within a certain interval of performance values. With such a distortions is especially burdened first interval 0-1000 m³ / h, the values of which, even after the removal of point-interval = 0, are disturbed.

In undisturbed with pauses realization of mined overburden flow, excavator performances should proceed in a manners consistent with the cyclical characteristic of the excavator individual Statistical description of the separate realization sections corresponding to the work of the excavator on individual terraces allows the assessment of the mining processes and comparison the outputs with each other. Interpretation of the results in relation to geological and mining parameters allows designating a representative parameter, which could be repeatedly reflected in long term measuring period.

Among recorded data were selected 24 bands (12 cycles) corresponding to the operation in the first terrace and 20 bands (10 cycles) corresponding to the second terrace operation Their length was determined on the basis of peaks designated by the registered decrease of mining output, which coincided with the peaks of increased machine speed and current peaks on bucket wheel. The obtained average values of operational measures in selected groups of data are shown in the graph. (Fig. 6).



Rys. 6 Uśrednione wartości mierników eksploatacyjnych w wydzielonych cyklach pomiarowych
 Fig. 6 Average values of operating indicators in separate measurements cycles

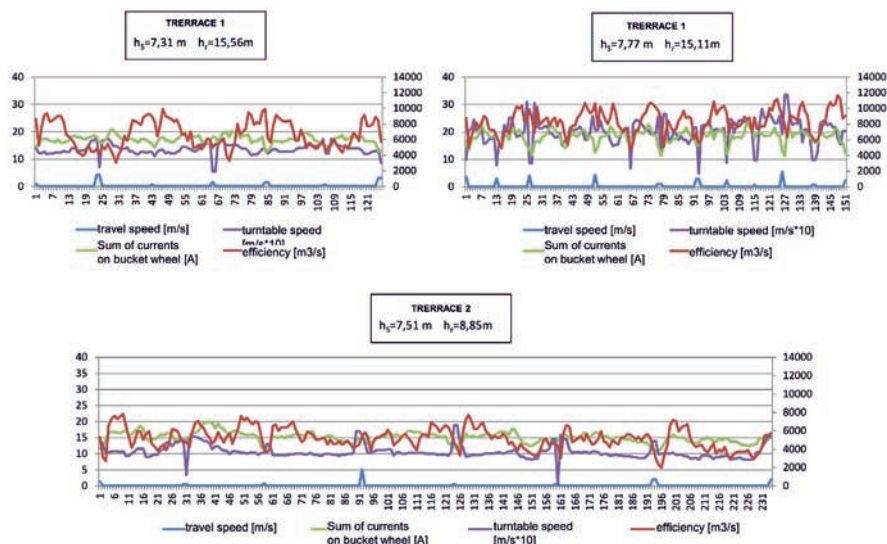
poszczególnymi tarasami.

Statystyczny opis wydzielonych przekrojów realizacyjnych odpowiadających pracy koparki na poszczególnych tarasach pozwala na ocenę przebiegu procesu urabiania i porównanie poszczególnych realizacji między sobą, a interpretacja wyników w odniesieniu do parametrów geologiczno-górnictwowych umożliwia wyznaczenie reprezentatywnych parametrów, które mogłyby mieć swoje wielokrotne odbicie w całym wielodobowym okresie pomiarowym.

Z zarejestrowanych danych wyselekcjonowano 24 pasma (12 cykli) odpowiadające pracy w pierwszym tarasem oraz 20 pasma (10 cykli) odpowiadające pracy drugim tarasem. Ich długość określono na podstawie pików wyznaczonych przez zarejestrowany spadek wydajności urabiania, który pokrywał się z pikami zwiększenia prędkości jazdy maszyny oraz pikami sumy prądów mocy koła. Uzyskane średnie wartości mierników eksploatacyjnych w wyselekcjonowanych grupach danych przedstawiono na wykresie (rys. 6).

Na rysunku 7 przedstawiono przykładowy uzyskany obraz graficzny empirycznych realizacji procesu urabiania po dekompozycji na cykle pomiarowe. Są to zsynchronizowane analogowe odwzorowania przebiegu mierzonych wielkości pozwalające na analizę i wykazanie występujących w tym okresie prawidłowości i zakłóceń.

Figure 7 shows an example of obtained graphic image of empirical implementation of the mining process after decomposition to measurement cycles. These are synchronized analog projections of course of measured values. These allow for analyzing and demonstrating regularities and interferences occurred during that period.



Rys. 7 Przykłady zsynchronizowanych odwzorowań mierzonych wielkości w wyselekcjonowanych grupach danych
 Fig. 7 Examples of synchronized projections of measured values in selected data groups

Podsumowanie

Rezultatem przeprowadzonych pomiarów było uzyskanie wielowymiarowego zbioru informacji o przebiegu w rzeczywistych warunkach procesu generowania przez koparkę strumienia urobku.

W wyniku przeprowadzonych badań terenowych uzyskano materiały doświadczalne pozwalające na jakościową i ilościową ocenę przebiegu procesu generowania strumienia urobku przez koparkę pracującą w złożonym procesie technologicznym.

Określenie stopnia zakłóceń występujących w procesie generowania urobku przez koparkę pracującą na froncie niestabilizowanym, w odniesieniu do panujących warunków pozwoli na zwiększenie wiarygodności zakładanych planów wydobywczych koparek.

Summary

The result of the measurements is a multi-dimensional set of information about the progress of the stream output generated by excavator in actual conditions.

As a result of field studies an experimental data was obtained. These allow for qualitative and quantitative assessment of the process of generating a stream excavated by the excavator working in a complex process.

Determining the level of disturbances in output stream generated by the excavator working on non-regular front in relation to the prevailing conditions will increase the reliability of the assumed mining plans for excavators.

Praca została wykonana w ramach projektu pt.: „Mechatroniczny system sterowania, diagnostyki i zabezpieczeń w maszynach górnictwa odkrywkowego” współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka.

The activities have been performed in the framework of the project entitled: “The mechatronic system of steering, diagnostics and protections of primary machines in opencast mining” co-financed by the European Regional Development Fund within the Operational Programme - Innovative Economy.

Literatura / References

- [1] Kołkiewicz W., *Opracowanie technologicznego modelu frontu wydobywczego odkrywki z zastosowaniem metod mechatroniki i modelowania symulacyjnego*, praca niepubl. wykonana w ramach realizacji projektu pt.: „Mechatroniczny system sterowania, diagnostyki i zabezpieczeń w maszynach górnictwa odkrywkowego”, Wrocław 2009
- [2] Kołkiewicz W., *Opracowanie modeli procesów roboczych kół urabiających wielonaczyniowych koparek kołowych oraz modeli identyfikujących uwarunkowania i ograniczenia technologiczne w realizacji tych procesów*, praca niepubl. wykonana w ramach realizacji projektu pt.: „Mechatroniczny system sterowania, diagnostyki i zabezpieczeń w maszynach górnictwa odkrywkowego”, Wrocław 2010
- [3] Strempsiński A., Bajcar A., Nowak-Szpak A., *Identyfikacja wzajemnych zależności i uwarunkowań między współpracującymi w ciągu wydobywczym zespołami*, praca niepubl. wykonana w ramach realizacji projektu pt.: „Mechatroniczny system sterowania, diagnostyki i zabezpieczeń w maszynach górnictwa odkrywkowego”, Wrocław 2011