

WPŁYW URABIANIA SELEKTYWNEGO NA EFEKTYWNOŚĆ EKSPLOATACJI WIELONACZYNIOWEJ KOPARKI KOŁOWEJ

IMPACT ON THE EFFECTIVENESS OF SELECTIVE MINING BUCKET WHEEL EXCAVATOR OPERATION

Stefan Wojciech Szepietowski - „Poltegor-Instytut” IGO, Wrocław

Przetworzono różne sposoby urabiania selektywnego wielonaczyniową koparką kołową i omówiono ich wpływ na efektywny czas pracy maszyny. Urabianie selektywne, w większości przypadków, wiąże się z pracą maszyny na zaniżonej wysokości stopnia. Zaproponowano metodę i dokonano oszacowania stopnia zmniejszenia wydajności efektywnej koparki w zależności od wysokości urabianego stopnia.

Słowa kluczowe: wielonaczyniowa koparka kołowa. urabianie selektywne

Changed different ways multivessel selective cutting BWE and discusses their impact on the effective time operation machine. Extracting selective, in most cases, is associated with the operation of the machine at the height of the slice of undere-stimation. Proposed a method and an estimate of the slice of reduction in the effective performance depending on the amount of excavators dredging slice.

Keywords: selective mining, bucket wheel excavator

Konsekwencją wyczerpywania się zasobów naturalnych jest eksploatacja złóż o coraz bardziej skomplikowanej budowie geologicznej [1]. W tych warunkach na froncie pracy wielonaczyniowej koparki kołowej mogą występować odmienne rodzaje skał i to o bardzo różnym położeniu. Wymusza to eksploatację koparki w warunkach określanych mianem urabiania selektywnego. Pod pojęciem tym rozumie się odrębne urabianie różnych rodzajów skał, zalegających na jednym froncie pracy koparki, w sposób pozwalający na ich oddzielne ładowanie na środki transportowe. Jest to szersze określenie od tego jakie, stosuje się w górnictwie podziemnym, gdzie pojęcie to odnosi się tylko do jednego przodka kombajnu.

Sposób pracy selektywnej wielonaczyniowej koparki zależy przede wszystkim od budowy geologicznej złoża, ale i również od przyjętej technologii pracy koparki kołowej. Generuje to szereg różnych sposobów urabiania selektywnego (rys. 1). Praca selektywna często wiąże się z obniżeniem wydajności efektywnej koparki i w przypadku odstawy urobku układem przenośników taśmowych, obniżeniem efektywnego czasu pracy, a taki system transportu najczęściej jest stosowany w dużych odkrywkach [2].

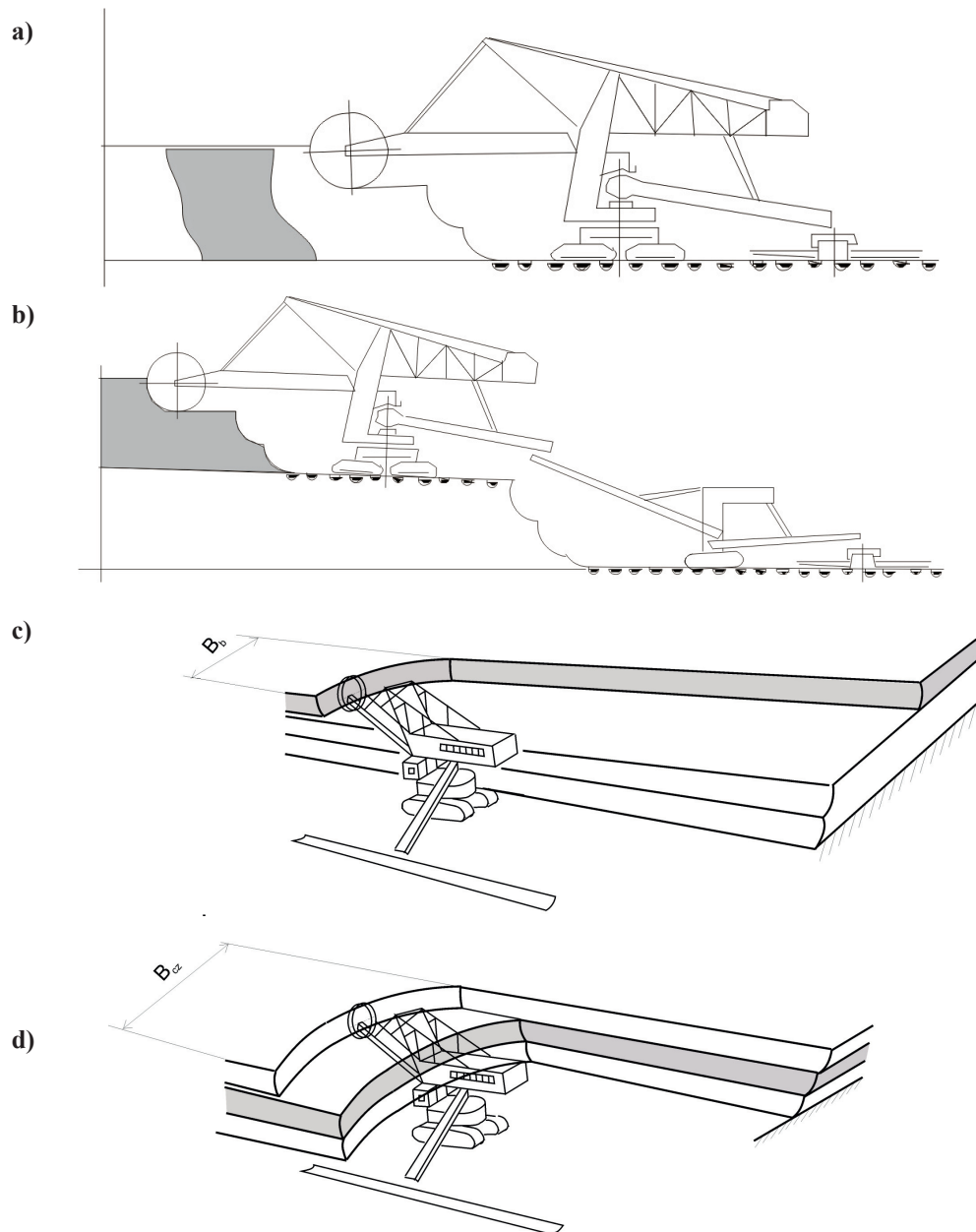
Pierwsze trzy sposoby urabiania selektywnego **a, b, c** (rys.1) charakteryzują się tym, że zmiana rodzaju urabianej przez koparkę skały następuje tylko w konkretnych miejscach jej frontu pracy. W przypadku ostatniego, z przedstawionych na rysunku 1, sposobów selektywnego urabiania, takie zmiany następują wzdłuż całego frontu pracy, przy każdej nowej zabierce. Urabianie zabierką boczną wymaga użycia koparki ze stosunkowo długim wysięgnikiem koła czerpakowego. Mimo to zaniżona, przy takiej technologii, szerokość zabierki może po-

wodować obniżenie wydajności efektywnej maszyny. Na ogół najmniejsze zakłócenia w pracy koparki kołowej występują, gdy w pewnych rejonach frontu na całej jego wysokości zalega inny rodzaj skały, niż na pozostałej jego długości (rys.1a). Wynikają one głównie z wymogu uniknięcia zanieczyszczenia kopaliny innymi skałami, co odbija się w zasadzie zaniżeniem wydajności koparki jedynie w tych rejonach pracy oraz z ewentualnego niedostatecznego dostosowania koparki do urabiania tego rodzaju skały.

Przeważnie wielonaczyniową koparką kołową urabiany jest stopień o wysokości w przybliżeniu równej promieniowi koła czerpakowego. Jednak podczas pracy selektywnej zachodzi niejednokrotnie konieczność pracy na znacznie zaniżonej wysokości stopnia. Zaniżona wysokość urabianego stopnia utrudnia wypełnienie czerpaka urobkiem, co prowadzi do zaniżenia wydajności efektywnej maszyny. Ponieważ nie ma to wpływu na czas ruchów manewrowych [5], zatem to zmniejszenie wydajności efektywnej będzie proporcjonalne do aktualnego stopnia wypełnienia czerpaków.

Teoretyczny stopień wypełnienia czerpaków w zależności od wysokości urabianego stopnia

W pracy [4] podano zasady i sposób obliczania objętości czerpaka, stosowny przy określaniu wydajności teoretycznej wielonaczyniowej koparki kołowej i analizie wydajności efektywnej. Metodę tę przyjęto również w analizie stopnia wypełnienia czerpaka w zależności od wysokości urabianego stopnia. Określona w ten sposób objętość urobku, zabierana przez czerpak, jest wielkością teoretyczną. Rzeczywista może



Rys.1. Sposoby urabiania selektywnego wielonaczyniową koparką kołową

a - miejscowe urabianie selektywne, **b** – urabianie selektywne podpiętrami, **c** – urabianie selektywne zabierką boczną, **d** – urabiana selektywnie zabierką czołową [6]

Fig. 1. Methods for the selective mining of bucket wheel excavators

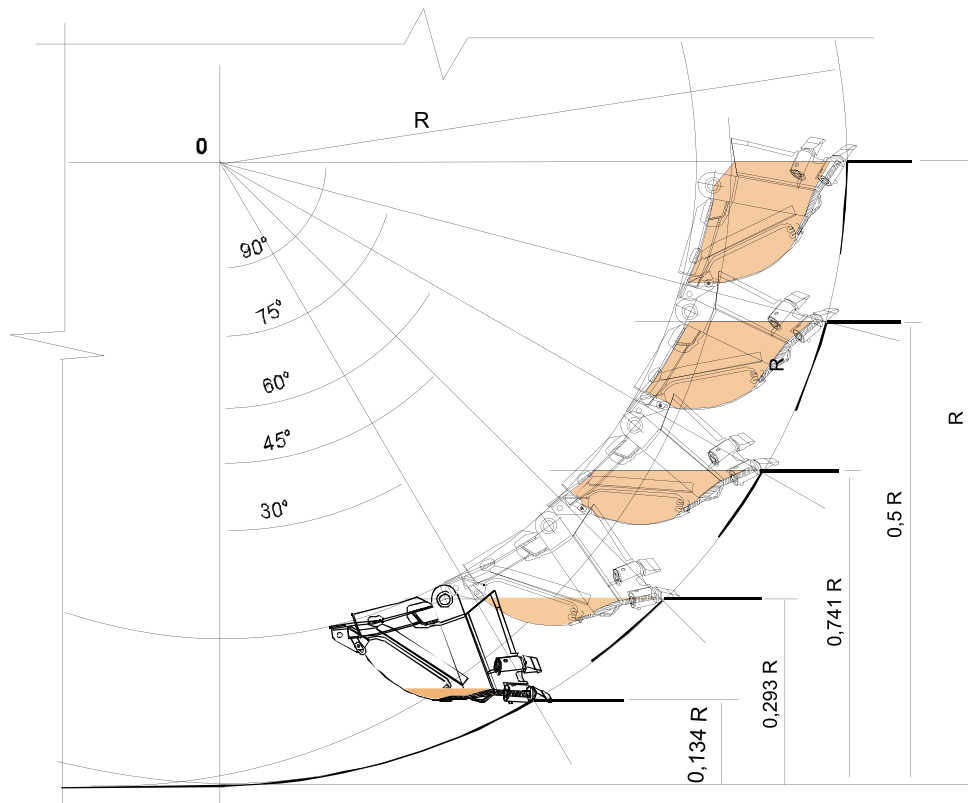
a - selective mining of local, **b** - selective mining of sub-bench, **c** - selective mining of side block, **d** - selective mining of frontal block [6]

być większa w wyniku przepełnienia czepaka, ograniczonego głównie wysypywaniem się urobku, które zasadniczo jest większe, im mniejszy jest kąt obrotu koła czepakowego w momencie wychodzenia czepaka z urabianego stopnia. Z tego względu, jako miarę wysokości stopnia, przyjęto ten kąt. Umożliwia to porównywanie wyników dla kół czepakowych o różnych średnicach. Przyjmuje się, że rzeczywiste wypełnienie czepaka może być 1,3 razy większe od teoretycznego [4]. Rysunek 2 obrazuje zmianę teoretycznego wypełnienia czepaka z wysokością urabianego stopnia na przykładzie koparki SRs 1200 z kołem czepakowym uzbrojonym w obecnie stosowane czepaki R9 w Kopalni Węgla Brunatnego Konin.

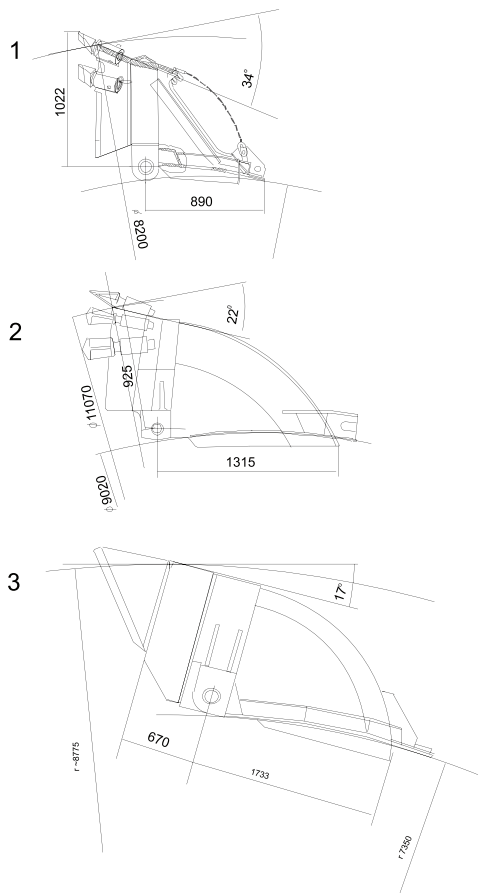
Do analizy stopnia wypełnienia czepaka wykorzystano czepaki z możliwie dużego zakresu wielkości rozmiarów i wydajności, stosowanych w kraju koparek: SRs1200 o wydajności teoretycznej 3550 m³/h, SRs 2000 o wydajności teoretycznej

6000 m³/h i SchRs 4600 o wydajności teoretycznej 9350 m³/h. Do tych koparek były i są stosowane czepaki o różnej konstrukcji, wybrano najbardziej różniące się formą (rys. 2). Stwarza to możliwości szerszego uogólnienia wyników badań.

Rezultaty obliczeń wpływu teoretycznego wypełnienia badanych czepaków, w zależności od wysokości urabianego stopnia, obrazuje rysunek 3. Wyniki uzyskane dla czepaków koparek SRs 2000 i SchRs 4600 prawie pokrywają się. Dla czepaków stosowanych do koparek SRs 1200 są nieco inne - mniejsze. Analiza kształtu czepaków wziętych do badań, wykazała, że różnice wyników spowodowane są nie wielkością czepaków, a przede wszystkim znacznie większym odchyleniem noża czepaków koparki SRs 1200 od trajektorii ruchu, niż pozostałych czepaków. Brak jest uzasadnienia merytorycznego na to aby stopień wypełnienia czepaka zależał od jego objętości. Wprawdzie z danych umieszczonych na rysunku 3 można



Rys. 2. Wpływ wysokości urabianego stopnia na teoretyczne wypełnienie czepaka urobkiem. Koparka SRs 1200 z czepakami R9
Fig 2. Effect of the height slice at the theoretical level bucket fill dredged material. BWE SRs 1200 in the buckets R9



Rys. 3. Czepaki wzięte do analizy stopnia wypełnienia
1 - czepak koparki SRs 1200, 2- czepak koparki SRs 2000,
3- czepak koparki SchRs 4600

Fig. 3. Buckets taken to analyze the degree of filling
1 - bucket excavator SRs 1200, 2- bucket excavator SRs 2000;
3 - bucket excavator SchRs 3 4600

przypuszczać, że statystycznie taka zależność może istnieć, ale jest to wynikiem istnienia ujemnej korelacji objętości z kątem odchylenia noża w badanych czepakach (rys. 2).

Wykresy na rysunku 3 sugerują, że wpływ wysokości urabianego stopnia na wypełnienie czepaka można zamodelować przez linię regresji w postaci paraboli. Obliczenia wykonane programem *STATISTICA PL* prowadzą do modelu w postaci:

$$W = -0,77 + 0,0319 K 0,000137 K^2 \pm 0,076 \quad (1)$$

gdzie: K - kąt obrotu koła czepakowego w momencie wyjścia czepaka z urabianego stopnia.

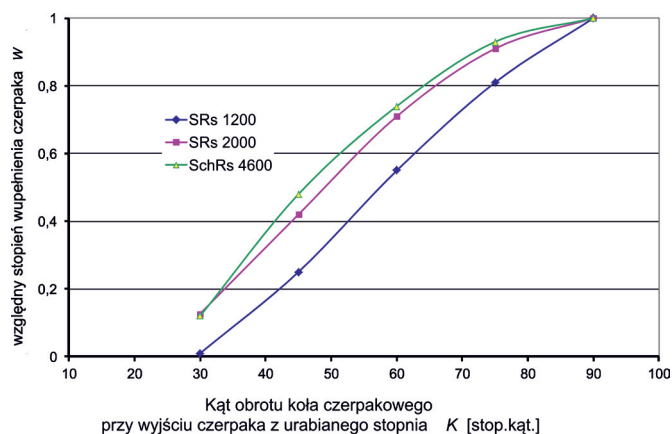
W - względny stopień wypełnienia czepaka.

Wysoka wartość współczynnika determinacji $R^2 = 0,953$ świadczy o statystycznie dobrym dopasowaniu modelu. Również test F Fishera - Snedecora wykazał istotność wszystkich współczynników regresji na poziomie $p < 0,05$. Jednak ten model nie spełnia w dostatecznym stopniu oczekiwań merytorycznych. Przede wszystkim wg modelu, zbyt szybko spada wypełnienie czepaka ze zmianą wysokości stopnia, gdy jest ona w pobliżu wartości równej promieniowi koła.

Doświadczenia wskazują, że w początkowym okresie zmniejszania się wysokości urabianego stopnia zmiany wypełnienia czepaków zachodzą wolniej, a poniżej pewnego punktu zachodzą szybciej. Sugeruje to przyjęcie modelu zależności teoretycznego wypełnienia czepaka w funkcji wysokości stopnia w postaci regresji segmentowej, składającej się z paraboli i linii prostej:

$$W = \begin{cases} a + b K & \text{dla } K \geq \kappa \\ a + c K + d K^2 & \text{dla } K < \kappa \end{cases} \quad (2)$$

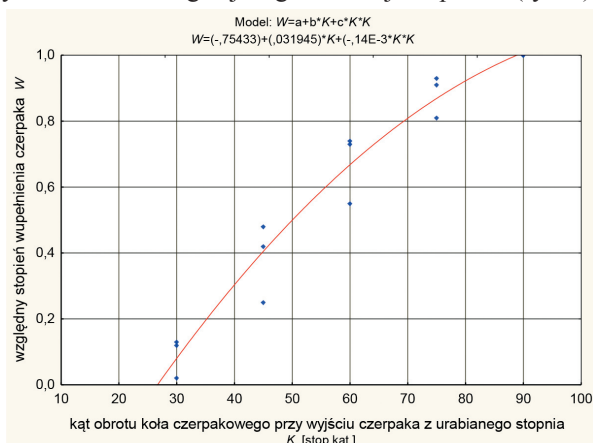
gdzie: a, b, c, d - parametry regresji, κ - przełamania



Rys. 4. Teoretyczny stopień wypełnienia czepaka w funkcji wysokości urabianego stopnia, mierzonego kątem obrotu koła czepakowego w momencie wychodzenia czepaka z urabianego stopnia

Fig. 4. The theoretical degree of filling of the bucket as a function of the amount of dredging slice, measured the angle of rotation of the bucket wheel at the time of leaving the bucket of dredging slice

Przeprowadzona estymacja programem STATISTICA wykazała że punkt przelamania jest w pobliżu wartości $\kappa = 65^\circ$. Zastosowana do symulacji parametrów modelu procedura Levenberga-Marquardta osiąga zbieżność już po trzech iteracjach. Wyniki oceny parametrów regresji zawiera tabela 1. Wszystkie parametry, za wyjątkiem ostatniego (d), są statystycznie wysoko istotne. Niemniej istotność tego parametru na poziomie p bliskim 0,05 dla badań technicznych jest wystarczająca. Zatem, estymowana linia regresji segmentowej ma postać (rys. 5):



Rys. 5. Model zależności $W=f(K)$ w postaci regresji parabolicznej
Fig. 5. Depending model $W=f(K)$ in the form of a parabolic regression

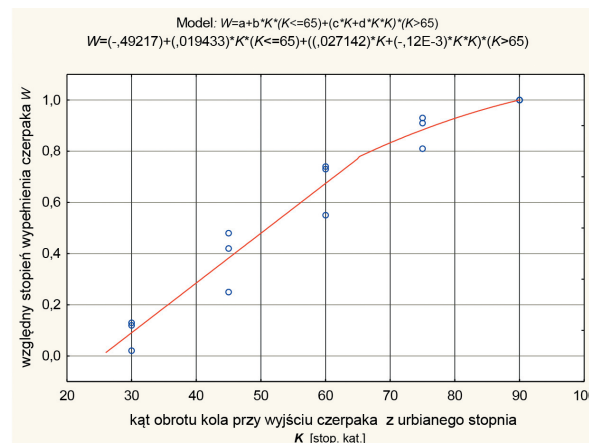
$$W = \begin{cases} -0,492 + 0,019 K & \text{dla } K \geq 65^\circ \\ -0,492 + 0,027 K - 0,02 K^2 & \text{dla } K < 65^\circ \end{cases} \quad (3)$$

Z analizy wariancji wynika, że otrzymana regresja jest również statystycznie wysoce istotna, bo aż na poziomie $p = 0,000001$, a

Tab. 1. Ocena parametrów regresji segmentowej (2)

Tab. 1. Rating sectional regression parameters (2)

Parametr	Ocena parametru	Błąd standardowy	Wartość statystyki t	p
a	-0,4921	0,0989	-4,9733	0.00042
b	0.0194	0,0021	9,1582	0.00000
c	0,0271	0,0050	5,4204	0.00021
d	-0,00012	0,00005	-2,1689	0,05087

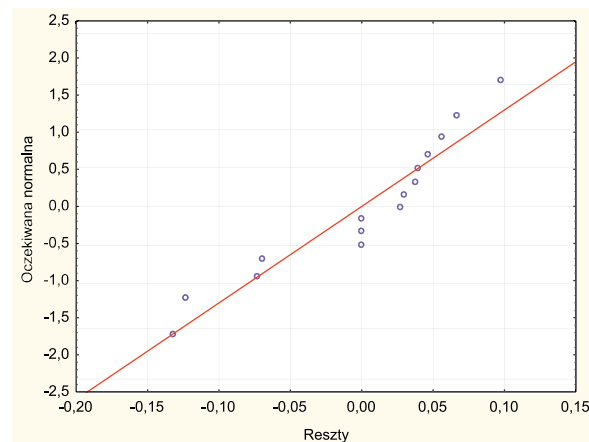


Rys. 6. Model zależności $W=f(K)$ w postaci regresji segmentowej
Fig. 6. Model according to $W=f(K)$ as a regression segmental

udział wariancji wyjaśnionej przez regresję w globalnej wartości wynosi 0,96. Statystyczna istotność otrzymanej regresji segmentowej jest zasadniczo taka sama jak i wcześniej rozważanej regresji parabolicznej ale jest merytorycznie bardziej poprawna.

Dla weryfikacji poprawności wnioskowania statystycznego wykonano dodatkowo wykres normalności reszt dla tej linii regresji (rys. 6).

Reszty układają się wzdłuż linii prostej z niewielkim odchyleniem od niej. Świadczy to o tym, że jeżeli rozkład reszt nie jest ściśle normalny to jednak odchylenia od niego są niewielkie, a procedury regresji są odporne na takie odstępstwo. Zatem ocena istotności parametrów regresji nie budzi zastrzeżeń.



Rys. 7. Wykres normalności rozkładu reszt
Fig. 7. Graph normal distribution of residual

Wpływ urabiania selektywnego na efektywny czas pracy układu KZT

Praca selektywna wielonaczyniowej koparki kołowej z podstawą urobku układem przenośników taśmowych może pociągać za sobą również zaniżenia efektywnego czasu pracy. Wiąże się to z koniecznością przesterowania układu transportowego na dostawę odmiennego rodzaju urabianej skały w inne miejsce składowania. Nie wymaga to opróżnienia całego ciągu transportowego od koparki (w zasadzie od koła czepakowego) aż do punktu przesterowywania układu transportowego, z jednego rodzaju urobku na inny, zanim koparka rozpocznie urabianie drugiego. Minimalny czas „postoju” koparki przy każdorazowej zmianie rodzaju przetransportowanego urobku, w przypadku nieprzerwanej pracy układu transportowego można określić zależnością:

$$t_{kp} = t_o + t_p \quad (4) \quad \text{Podsumowanie}$$

gdzie: t_{kp} - czas przerwy w pracy koła czerpakowego,
 t_o - czas potrzebny dla opróżnienia z urobku pierwszego (licząc od punktu przesterowania) członu układu transportowego,
 t_p - czas przesterowania układu transportowego.

Zatem, oszacowaniem dolnym wielkości straty efektywnego czasu pracy układu KTZ spowodowanej urabianiem selektywnym jest:

$$\Delta T_{ef} \geq T_{ef} v_p t_{kp} \quad (5)$$

gdzie: T_{ef} - efektywny czas pracy układu KTZ bez urabiania selektywnego, ΔT_{ef} - strata efektywnego czasu pracy spowodowana urabianiem selektywnym, v_p - częstotliwość przesterowania układu przenośników.

Znaczące zmniejszenie efektywnego czasu pracy występuje tylko przy urabianiu zabierką czołową (rys. 1d). Dlatego, przy tym sposobie urabiania, może okazać się uzasadnione zastosowanie dwóch, osobnych dla każdego rodzaju urobku, środków transportu. W przypadku innych sposobów urabiania selektywnego przesterowanie układu przenośników jest na tyle rzadkie, że spowodowana tym strata jest do pominięcia.

Urabianie wielonaczyniową koparką kołową wiąże się zasadniczo z pracą selektywną. Prowadzi to do zaniżenia wydajności efektywnej maszyny. To obniżenie wydajności można oszacować w oparciu o przedstawiony model zależności teoretycznego stopnia wypełnienia czerpaka urobkiem w funkcji wysokości urabianego stopnia, mierzonego kątem obrotu koła czerpakowego w momencie wyjścia czerpaka z urabianej calizny.

Urabianie selektywne zabierką czołową, przy transporcie urobku zespołem przenośników taśmowych, wymusza zmniejszenie efektywnego czasu pracy układu KTZ, ze względu na konieczność przesterowania układu przy każdorazowej zmianie rodzaju transportowanego urobku. Można tego uniknąć stosując dwa niezależne systemy odstawy urobku, niekoniecznie tego samego rodzaju. Przy innych sposobach urabiania selektywnego zmiany rodzaju urabianej skały są na tyle rzadkie, że nie mają istotnego wpływu na efektywny czas pracy.

Literatura

- [1] Kasztelewicz Z., Sikora M., Zajączkowski M., *Realny scenariusz strategii rozwoju działalności górnictwa węgla brunatnego w Polsce*. Przegląd Górniczy, 2014, LXX.2:45-51. ISSN 0033-216X
- [2] Kasztelewicz Z., Sikora M., Zajączkowski M., Patyka M., *Układy technologiczne w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego na świecie*. Przegląd Górniczy, 2014, LXX.10:85. ISSN 0033-216X
- [3] Koziół W., Kaczerewski T., *Diagnostyka procesu odkrywkowej eksploatacji złoża węgla brunatnego*. Przegląd Górniczy, 2014, LXX.10:41-45. ISSN 0033-216X
- [4] Kołkiewicz W., *Zastosowanie maszyn podstawowych w górnictwie odkrywkowym*, Katowice, Wyd. Śląsk, 1973
- [5] Kołkiewicz W., Szatan M., *Metody analizy i optymalizacji doboru parametrów układu „Wielonaczyniowa koparka kołowa - Front pracy”*, Red. Górnictwo Odkrywkowe, 2002, Wrocław: „Poltegor-Instytut”, 142 s, ISBN 83-913875-3-4
- [6] Dombrowski N. G., *Mnogokowszowe ekskawatory*, Wyd. „MASZINOSTROENE”, 1972



Kopalnia Pilawa Górna