

Krzysztof KRAUZE
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

METODA OCENY SPRAWNOŚCI PROCESU ŁADOWANIA FREZUJĄCYMI ORGANAMI ŚLIMAKOWYMI

Streszczenie. Analiza dostępnych informacji oraz konstrukcji stosowanych organów urabiających kombajnów ścianowych wykazała potrzebę analitycznego określenia zdolności ładujących tych elementów. Sformułowanie warunków brzegowych a następnie zależności umożliwiło opracowanie metody analitycznej oceny zdolności ładującej frezujących organów ślimakowych. Opracowana metoda pozwala określić wpływ parametrów konstrukcyjnych i kinematycznych frezującego organu ślimakowego na proces ładowania nim urobku oraz wyznaczyć najkorzystniejsze parametry maszyn i urządzeń współpracujących z kombajnem ścianowym. Pozwala to uniknąć problemów związanych z przejmowaniem urobku przez przenośnik ścianowy i hamowaniem postępu ściany przez obudowę ścianową. Możliwość oceny zdolności ładującej frezujących organów ślimakowych w powiązaniu z koniecznymi nakładami inwestycyjnymi, jakie należy ponieść na wyposażenie techniczne ściany, umożliwia użytkownikowi wybór najkorzystniejszego dla niego wariantu.

AN ANALYTICAL ASSESSMENT OF LOADING PROCESS FOR CUTTING ELEMENTS OF LONGWALL CUTTER-LOADER

Summary. An analysis of available information and design for cutting elements of longwall cutter-loaders has indicated that an analytical analysis of its loading capacity is required. An analytical method for assessment of worm cutting elements has been developed by establishing boundary conditions and appropriate relationships. The method enables an effect of design and kinematic parameters on loading efficiency to be determined and the most favourable parameters for longwall cutter-loader and downstream machinery to be found. Therefore, any problems related to mined coal loading onto longwall conveyors and retarding the mining progress due to longwall chocks can be avoided. By knowing the loading capacity for cutting elements and necessary investment expenditures for longwall equipment the user can choose the most suitable solution.

1. Wprowadzenie

Zestaw maszyn i urządzeń służący do mechanicznego urabiania węgla systemem ścianowym, nazywany kompleksem ścianowym, składa się głównie z trzech podstawowych ma-

szyn, pozwalających na urabianie i transport urobku oraz na zabezpieczenie wyrobiska. Odpowiedni dobór maszyny urabiającej (kombajn ścianowy, strug), środków transportu (przenośnik ścianowy, podścianowy) i obudowy (podporowe, osłonowe, osłonowo-podporowe), umożliwi uzyskanie założonego wydobycia (wydobycia dobowego), zgodnego z życzeniem użytkownika, czyli kopalni. Mając powyższe na uwadze można stwierdzić, że dobór maszyn i urządzeń kompleksu ścianowego polega na zestawieniu tych urządzeń tak, by przy uwzględnieniu warunków górniczo-geologicznych i organizacyjnych otrzymać założone wydobycie przy minimalnych kosztach własnych.

Szczególnie ważny jest w tym przypadku wybór maszyny urabiającej, zapoczątkowującej proces wydobycia węgla w ścianie. Maszyna urabiająca musi spełnić kryterium założonego wydobycia przy uwzględnieniu warunków panujących w wyrobisku ścianowym. Zagadnienie to sprowadza się do określenia parametrów ruchowych i energetycznych oraz wymiarów zewnętrznych maszyny urabiającej, spełniających oczekiwania użytkownika. W związku z tym, że w polskim górnictwie węglowym większość maszyn urabiających stanowią frezujące kombajny węglowe, konieczne jest uwzględnienie tego faktu poprzez opracowanie odpowiedniej metody umożliwiającej odpowiedni dobór parametrów kombajnu ścianowego do określonych warunków górniczo-geologicznych, przy uwzględnieniu założonego wydobycia.

Ważne również jest określenie parametrów ruchowych i wydajnościowych pozostałych urządzeń (przenośnik, obudowa) tak, by spełniły kryterium wydobycia dobowego.

Ustalenie parametrów maszyn i urządzeń kompleksu ścianowego pozwala określić zakresy parametrów frezujących organów ślimakowych, mogących spełnić kryterium wydobycia dobowego. Dlatego ważne jest, by w momencie doboru parametrów frezujących organów ślimakowych uwzględnić wszystkie czynniki mające wpływ na proces skrawania i ładowania tymi zespołami.

Proces skrawania jest procesem zapoczątkowującym cały proces urabiania (skrawanie, ładowanie) i dlatego ważne jest prawidłowe ustalenie parametrów tego procesu (organu). Proces ładowania zachodzący równoległe z procesem skrawania jest procesem pomocniczym, choć równie ważnym. Takie podejście do tego zagadnienia pozwala ustalić następującą procedurę, w której parametry procesu ładowania wynikają i są ograniczone procesem skrawania. Stwierdzenie to jest tym ważniejsze, że, jak to już wspomniano, proces skrawania jest stosunkowo dokładnie opisany w literaturze fachowej. Proces ładowania natomiast traktowany był marginalnie i z niewielkim powiązaniem z procesem skrawania [2, 4].

2. Wydobycie dobowe

Miarą efektywności procesu wydobycia z przodka ścianowego jest wielkość wydobycia dobowego, czyli stosunku ilości urobku wydobytego w ciągu doby pracy ściany. Zależność

określająca związki między wydobyciem dobowym a parametrami pracy ściany ma następującą postać [5, 6]:

$$V_s = \frac{H \gamma L Z T}{L \left(\frac{1}{v_p} + \frac{1}{v_m} \right) + t_p + t_o}, \quad (1)$$

gdzie:

- H - wysokość ściany,
- L - długość ściany,
- Z - zabiór maszyny urabiającej,
- γ - masa właściwa urabianej skały,
- T - dobowy czas pracy ściany,
- t_p - czas wykonania przekładki,
- t_o - czas organizacyjny pozostały dla pojedynczego skrawu,
- v_p - prędkość posuwu (robocza) maszyny urabiającej,
- v_m - prędkość manewrowa maszyny urabiającej.

Jeżeli przyjąć, że $v_p = k v_m$, to:

$$V_s = H \gamma Z T \frac{L v_p}{(1+k)L + (t_p + t_o)v_p}, \quad (2)$$

gdzie:

- $k = 0$, dla urabiania dwukierunkowego, $v_m = 0$,
- $0 < k \leq 1$, dla urabiania jednokierunkowego, $v_p \leq v_m$,
- $k > 1$, dla urabiania jednokierunkowego, $v_p > v_m$.

Z zależności (2) wynika, że parametry takie, jak: H , γ , Z i T mają wprost proporcjonalny wpływ na wydobyte dobowe. Użytkownik, czyli kopalnia, może w tym przypadku regulować wydobyte dobowe poprzez zmianę tych parametrów.

Wybór sposobu urabiania (dwu - lub jednokierunkowego) opisuje współczynnik k , który przyjmie wartość równą zero dla urabiania dwukierunkowego. Dla urabiania jednokierunkowego współczynnik k przyjmie wartości z przedziału $0+1$. Oznacza to, że prędkość manewrowa ma wartość równą lub większą od prędkości posuwu. Przedstawiany powyżej trzeci przypadek ($v_p > v_m$) jest pozbawiony zarówno uzasadnienia technicznego, jak i ekonomicznego. Najczęściej w praktyce $v_p = v_m$ ($k = 1$) lub $v_p = 0,5 v_m$ ($k = 0,5$). Drugi człon zależności (2) jest bardziej złożony. Biorąc pod uwagę jego mianownik można stwierdzić, że jest on najmniejszy dla $k = 0$ i dla jak najmniejszej sumy czasów t_p i t_o .

Na podstawie tych zależności w [5] zamieszczono następujące uwagi i wnioski:

- długość ściany L jest parametrem decydującym o wyborze pozostałych parametrów, takich jak prędkości posuwu v_p , sumy czasów $t_p + t_o$ i sposobu urabiania,
- dla krótkich ścian (około 100 m) wpływ prędkości posuwu v_p jest niewielki i nie powinno się tam stosować kombajnów o prędkościach posuwu powyżej 4 m/min,

- wzrost długości ściany (około 300 m) powoduje, że konieczne staje się zastosowanie dużych prędkości posuwu (do 10 m/min), krótkich czasów t_p i t_o (do 20 min) i urabiania dwukierunkowego,
- jeżeli zachodzi konieczność stosowania urabiania jednokierunkowego, to należy dążyć do zwiększenia prędkości manewrowej (minimum $v_m = 2 v_p$) oraz skrócenia czasów t_p i t_o (do 20 min).

Przedstawione uwagi winny być uwzględniane jednocześnie z warunkami górnictwymi, technicznymi i ekonomicznymi, jakie posiada użytkownik. Ma to szczególne znaczenie, gdyż uwarunkowuje wybór pozostałych urządzeń, takich jak przenośnik i obudowa.

3. Wpływ parametrów ruchowych obudowy ścianowej na prędkość posuwu kombajnu ścianowego [5]

Dobór obudowy ścianowej podyktowany jest głównie warunkami stropowymi i spagowymi oraz technicznymi parametrami ściany. Również ważne jest w tym przypadku uwzględnienie parametrów ruchowych (czas przekładki), które winny być odpowiednio dobrane. Zagadnienie powyższe sprowadza się do doboru takiego układu sterowania i zasilania, by czas przedstawiania pojedynczej sekcji był krótszy od czasu przejazdu kombajnu na jej długości.

$$t_{st} = \frac{t_{ob}}{v_p}, \quad (3)$$

gdzie t_{ob} - podziałka (szerokość) pojedynczej sekcji.

Dla prędkości $v_p = 5$ m/min i $t_{ob} = 1,5$ m czas ten wynosi 18 sek. Jeżeli prędkość wzrośnie do 10 m/min, to czas ten ulegnie skróceniu do wartości $t_{st} = 9$ sek. Skrócenie czasu przekładki jednej sekcji obudowy wymusza stosowanie odpowiedniego (droższego) układu sterowania i zasilania (większa wydajność).

4. Zdolność przejmowania urobku przez przenośnik ścianowy [5]

Wydajność przenośnika, moc napędów i prędkość łańcucha (typ przenośnika) muszą być tak dobrane, by przenośnik ścianowy był w stanie przejąć urobek od maszyny urabiającej. Zdolność przejmowania urobku przez przenośnik Q_{zp} jest iloczynem przekroju strugi urobku na przenośniku F_t i sumy (ruch przeciwny kombajnu i łańcucha) lub różnicy (ruch zgodny) prędkości łańcucha v_l i kombajnu v_p .

$$Q_{zp} = F_t (v_l \pm v_p) \quad (4)$$

Natomiast wydajność objętościowa kombajnu ścianowego Q_{ko} opisuje zależność

$$Q_{ko} = k_L H Z v_p k_r, \quad (5)$$

gdzie: k_r - współczynnik rozluźniania urobku ($k_r \geq 1$),

k_L - współczynnik uwzględniający wypad urobku z ociosu pod wpływem ciśnienia górotworu i załadowany bez udziału organu ($k_L \leq 1$).

Wymagane jest, by zdolność przejmowania urobku Q_{zp} była w przypadku różnicy prędkości v_f i v_p większa lub co najmniej równa Q_{ko}

$$Q_{zp} \geq Q_{ko} \quad (6)$$

Przekształcając odpowiednio zależności (4), (5) i (6) tak, by określić maksymalną wartość prędkości posuwu v_p dla wybranej wydajności przenośnika Q_f , można otrzymać następujące wyrażenie:

$$v_p \leq \frac{60 Q_f v_f}{3600 v_f \gamma H Z k_r k_L \pm Q_f}, \quad (7)$$

w którym znak plus dotyczy ruchu zgodnego, a znak minus ruchu przeciwnego. Okazuje się, że stosując poprzednie dane otrzymuje się dla ruchu zgodnego $v_{p \max} \leq 10$ m/min, a dla ruchu przeciwnego $v_{p \max} \leq 15$ m/min.

Z zależności (7) wynikają następujące wnioski:

- dla urabiania dwukierunkowego należy stosować różne prędkości posuwu, takie by w efekcie otrzymać żądane wydobycie dobowe.
- dla urabiania jednokierunkowego należy proces skrawania lub ładowania (w zależności od potrzeb) realizować w czasie tego ruchu, w którym wymagana jest mniejsza prędkość posuwu v_p .

5. Objętość wewnętrzna organu a jego wydajność urabiania

Objętość wewnętrzna organu V_o jest to swobodna przestrzeń między płatami ślimaka, w której urobek przemieszczany jest w kierunku przenośnika. Wielkość tej przestrzeni powinna być taka, by zapewnić przemieszczenie się i swobodny ruch węgla do punktu wyładunku. Jeżeli objętość przestrzeni między płatami ślimaka potraktować jako różnicę objętości walca o średnicy D , objętości walca piasty o średnicy d i objętości płatów, to dla organu o tzw. płatach normalnych objętość wewnętrzna V_o opisana jest zależnością [3, 4]:

$$V_o = 0,25 \pi (D^2 - k_{kp}) \cdot \left(Z_u - \frac{b}{\cos \alpha_2} \right), \quad (8)$$

a dla organu z płatami zachodzącymi:

$$V_o = 0,25 Z_u \left(D^2 - k_{kp} d^2 \right) \cdot \left(\pi - \frac{ib}{D \cos \alpha_2} \right), \quad (9)$$

gdzie:

Z_u - zabiór organu bez tarczy odcinającej (część urabiająco-ładująca),

D - średnica bębna organu,

k_{kp} - współczynnik uwzględniający inny kształt niż walcowy piasty,

d - średnica piasty organu,

b - grubość płata,

i - ilość płatów,

α_2 - kąt nawinięcia płata.

Natomiast wartość wydajności urabiania organu jest funkcją średnicy organu D_s , zabioru Z , prędkości posuwu v_p , obrotów n oraz współczynników k_r i k_L . Ogólną zależność na V_u należy rozpisac na organ przedni:

$$V_{up} = \frac{k_r k_L Z_p v_p D_{sp}}{n_p} \quad (10)$$

oraz tylny:

$$V_{ut} = \frac{k_r k_L (H - D_{sp}) Z_t v_p}{n_t} \quad (11)$$

Sumaryczna wydajność organu przedniego i tylnego V_u jest sumą V_{up} i V_{ut} .

$$V_u = V_{up} + V_{ut} = k_r k_L v_p \left[\frac{Z_p D_{sp}}{n_p} + \frac{(H - D_{sp}) Z_t}{n_t} \right] \quad (12)$$

Dla organów o tych samych parametrach zależność (12) przyjmie następującą postać:

$$V_u = \frac{k_r k_L Z v_p H}{n} \quad (13)$$

Warunkiem koniecznym, by organ prawidłowo ładował, jest:

$$\Delta = k_w V_o - V_u \geq 0, \quad (14)$$

gdzie k_w - współczynnik wypełnienia organu.

Uwzględniając spełnienie nierówności (14) należy rozpatrzyć przypadek pracy kombajnu z ładowarkami osłonowymi lub bez. Dla pracy kombajnu z organami z ładowarkami konieczne i wystarczające jest, by wydajność urabiania na jeden obrót organu przedniego była mniejsza od objętości $k_w V_o$:

$$\Delta = k_w V_{op} - V_{up} \geq 0 \quad (15)$$

Wtedy można z zależności (15) otrzymać wyrażenie określające dopuszczalną prędkość posuwu v_p .

$$v_p \leq \frac{k_w n_p V_{op}}{k_r k_L Z_p D_{sp}} \quad (16)$$

W przypadku pracy maszyny urabiającej bez ładowarek konieczne jest, by spełniona była następująca nierówność:

$$\Delta = k_w (V_{op} + V_{ot}) - (V_{up} + V_{ut}) \geq 0 \quad (17)$$

Postępując podobnie jak w przypadku zależności (15) można otrzymać wyrażenie na dopuszczalną prędkość posuwu v_p dla organów o różnych parametrach:

$$v_p = \frac{k_w n_p n_t (V_{op} + V_{ot})}{k_r k_L \left[\frac{Z_p D_{sp}}{n_t} + \frac{(H - D_{sp}) Z_t}{n_p} \right]} \quad (18)$$

lub o tych samych

$$v_p \leq \frac{2 k_w V_o n}{k_r k_L Z H} \quad (19)$$

Oczywiste jest, że zależności (14) i (16) przekształcać można dowolnie i określać odpowiednio inne potrzebne parametry organów, lecz najczęściej możliwe do zmiany jest, w rzeczywistej sytuacji, tylko ograniczenie prędkości posuwu.

Współczynnik wypełnienia organu k_w dla pracy kombajnu bez ładowarek osłonowych przyjmowany jest z praktyki przemysłowej i wynosi 0,3 tak dla obrotów nadsiębiernych, jak i podsiębiernych. W przypadku zastosowania ładowarek wartość tego współczynnika można podnieść. Jednak należy dążyć, co zostanie wyjaśnione później, by na etapie projektowania lub doboru organów stosować wartość k_w taką jak dla pracy bez ładowarek.

Zastosowanie ładowarek poprawia efekt ładowania przez niedopuszczenie do zostawiania urobku na spągu, a szczególnie miału. Jeżeli założyć, że tylko miął jest ładowany ładowarką, to musi się go zgromadzić odpowiednią ilość, by płaty mogły go przenieść na przenośnik. Sytuacja taka może zaistnieć, gdy założy się, że organ pracuje tak, jakby nie było ładowarki. W przeciwnym przypadku ilość urobku nagromadzonego w ładowarce jest większa i szybkość jego odprowadzenia decyduje o tym, czy opory ładowania wzrosną i o ile. W krańcowym przypadku może dojść do zadławienia organu. Jednocześnie w tej sytuacji następuje degradacja urobku, gdyż organ zaczyna pracować jak zagęszczarka. Dlatego też nie należy dopuszczać do tej sytuacji poprzez odpowiednie dobranie parametrów v_p , n , k_w i V_o .

Obliczone wartości maksymalnych prędkości posuwu z uwagi na ograniczenia wynikające z procesu ładowania dla dwóch średnic organów ($D_s = 1,4$ i $2,0$ m) z płatami normalnymi i zachodzącymi, przy zastosowaniu lub braku ładowarek oraz dla różnych współczynników k_w , wskazują, że wartości v_p są różne w stosunku do przyjętej maksymalnej prędkości posuwu ($v_p = 8$ m/min) i odzwierciedlają z praktyki górniczej stosowane prędkości [5, 6]. Pozwala to przypuszczać, że opory ładowania są również przyczyną obniżania prędkości posuwu przez

układ automatycznej regulacji maszyny urabiającej, szczególnie, gdy stosowane są ładowarki osłonowe. Jednocześnie, a to należy szczególnie podkreślić, przyjęcie niskiego współczynnika kw zapewnia uzyskanie procesu ładowania przy minimalnej recyrkulacji urobku i jego kruszenia oraz minimalnych oporach ładowania. Zwiększenie tego współczynnika pozwala stosować większe prędkości posuwu, lecz należy się liczyć z dużą degradacją urobku i wzrostem oporów ładowania.

6. Podsumowanie

Przeprowadzana identyfikacja procesu urabiania, a głównie procesu ładowania frezującym organem ślimakowym pozwoliła na analityczne ujęcie parametrów konstrukcyjnych i kinematycznych tego elementu, wpływających na ładowanie urobku. Otrzymane związki analityczne pozwalają na modelowanie procesu ładowania tak, by uzyskać wymagany stopień załadowania urobku dla określonych parametrów konstrukcyjnych i kinematycznych organu oraz współpracujących z kombajnem maszyn i urządzeń kompleksu ścianowego. Wymagania związane z założonym wydobyciem dobowym, procesem ładowania, zdolnością przejmowania urobku przez środki odstawy i szybkością zabudowy odsłoniętego stropu pozwalają na dobór maszyn i urządzeń kompleksu ścianowego [5, 6].

Jednocześnie, w przypadku istniejącej ściany, można ustalić analitycznie przyczynę niskiej sprawności ładowania i dokonać korekty parametrów organów lub kombajnu, obudowy czy przenośnika ścianowego.

LITERATURA

1. Bęben A.: Nowe ujęcie określenia wydajności urabiania dla bębnowego kombajnu ścianowego. *Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa*, nr 3, Katowice 1999
2. Jaszczuk M.: *Kombajnowe systemy mechanizacyjne*. Skrypty Uczelniane Politechniki Śląskiej, nr 1224, Gliwice 1986
3. Krauze K.: Objętość wewnętrzna organu a jego wydajność urabiania. *Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa*, nr 2, Katowice 1994
4. Krauze K.: Teoria procesu roboczego frezujących organów ślimakowych w skałach średnio zwięzłych. *Rozprawy i Monografie 36*, Wydawnictwo AGH, Kraków 1995
5. Krauze K.: Dobór ścianowych kombajnów węglowych w aspekcie uzyskania założonej wydajności. *Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa*, nr 6, Katowice 1999
6. Krauze K., Flaga S.: Dobór maszyn kompleksu ścianowego pod względem realizacji założonego wydobywania i minimalizacji nakładów na uzbrojenie ściany. *Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. CMG Komag, KBN, PARGWK, Szczyrk 1999*

Abstract

A set of special machinery and equipment for coal longwall mining, called a longwall complex, is generally comprised of three main machines for coal mining, hauling and working face protection. By appropriate sizing of mining machine (cutter-loader, shearer), means of conveyance (longwall alongside conveyor, bottom conveyor) and roof supports (chocks, shields) it is possible to reach a target output (day output) as required by the user, i.e. the coal mine. Therefore, it should be stated that the sizing of machinery and equipment for longwall complex consists in combining these equipment so that the target output is reached at minimum operating costs, while considering both mining and geological as well as organisational conditions.

The selection of mining machine that commencing coal mining is of utmost importance. A mining machine must meet the day output criterion, while taking into account specific working face conditions. The problem mentioned above is reduced to establishing such mining machine movement and power parameter as well as outer dimensions that meet the user's requirements. Since cutter-loaders prevail in Polish coal mining, it is necessary to develop an appropriate method enabling the cutter-loader parameters to be chosen according to specific mining and geological conditions and assumed day output.

It is also important to establish the operation and performance parameters for remaining longwall equipment (conveyor, chocks) so that the day output criterion is fulfilled.

By establishing the parameters of longwall machinery and equipment it is possible to determine the parameters of work cutting elements to meet the day output criterion, while considering all and any factors that have an effect on cutting and loading.

The cutting is the process that begins coal mining (cutting, loading) and therefore its parameters should be established properly. The loading that is carried out in parallel with the cutting is an auxiliary process of great importance too. Such approach to the problem mentioned above leads to a procedure in which the loading process parameters are determined from and constrained with the cutting process. This is of great importance as the cutting process has been described in detail in many papers, while the loading process has been analyzed marginally and separately with only minute references to the cutting process [4].

The attempts to describe the loading process in [4] led to theoretical relationships between the design and performance parameters of mining machine. In this paper the description mentioned above has been extended to include an assumption that mined coal could not be degraded in the loading process.