ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2000
Seria: GÓRNICTWO z. 246 Nr kol. 1480

Marek JASZCZUK
Politechnika Śląska, Gliwice

WPŁYW TECHNOLOGII URABIANIA NA WYKORZYSTANIE POTENCJAŁU PRODUKCYJNEGO KOMBAJNU ŚCIANOWEGO DUŻEJ MOCY

Streszczenie. Wpracy omówiono wpływ technologii urabiania na wykorzystanie potencjalnych możliwości technicznych kombajnu dużej mocy oraz potencjału produkcyjnego ściany. Przedstawione relacje uzyskano na podstawie analizy wyników badań doświadczalnych kombajnu KSW-500 w warunkach eksploatacyjnych 11 ścian kompleksowo zmechanizowanych.

EFFECT OF MINING TECHNOLOGY ON THE UTILIZATION OF A LONGWALL HIGH-POWER SHEARER'S POTENTIAL

Summary. The paper deals with the effect of mining technology on the utilization of potential technical capabilities of a longwall high-power shearer as well as on the production capacity of a longwall face. Relationships determined on the basis of analysing the results of experimental tests of the KSW-500 shearer carried out under operational conditions on 11 faces characterised by all-out mechanisation.

1. Wstęp

Prawidłowy dobór kombajnu ścianowego wymaga rozpatrzenia wszystkich uwarunkowań związanych z pracą kombajnu w określonych warunkach górniczo-geologicznych i górniczo-technicznych danego przodku oraz wynikających z powiązania funkcjonalnego i współzależności parametrów technicznych podstawowych maszyn tworzących kompleks mechanizacyjny. W rezultacie przeprowadzonych działań projektowych, obejmujących:

- określenie danych wejściowych,
- sprecyzowanie kryterium celu technicznego oraz kryteriów uzupełniających,
- utworzenie pola możliwych rozwiązań,
- dokonanie optymalnego wyboru na podstawie przyjętych kryteriów,

uzyskuje się rozwiązanie, na które składają się: określony typ kombajnu, sprecyzowane parametry pracy, wyposażenie dodatkowe oraz technologia urabiania.

Zastosowanie określonej technologii urabiania kombajnem wynika z wymogów związanych z warunkami bezpieczeństwa i pracą w określonym otoczeniu naturalnym. O urabianiu dwustronnym lub wyborze jednej z odmian urabiania jednostronnego mogą decydować: zagrożenie metanowe, wysokość i nachylenie podłużne ściany, występowanie zjawiska samoczynnego odspajania górnych naroży pokładu, pofałdowanie spągu, czy stateczność stropu. W przypadku występowania czynników przeciwstawnych przy podejmowaniu decyzji priorytet mają względy bezpieczeństwa [4].

Specyfika poszczególnych technologii decyduje o doborze parametrów i wyposażenia dodatkowego kombajnu oraz o obciążeniu zewnętrznym kombajnu wpływającym na jego wydajność w warunkach eksploatacyjnych każdego przodku ścianowego.

O wykorzystaniu potencjalnych możliwości technicznych kombajnu ścianowego decyduje również dobór pozostałych maszyn stanowiących podstawowe wyposażenie techniczne przodka ścianowego: zestawów obudowy zmechanizowanej, przenośnika ścianowego i podścianowego, obudowy rejonu skrzyżowania ściana- chodnik.

2. Charakterystyka badań eksploatacyjnych

W celu ustalenia wpływu czynników technicznych i technologicznych na obciążenie zewnętrzne kombajnu ścianowego dużej mocy w różnych warunkach górniczo-geologicznych przeprowadzono badania eksperymentalne w warunkach eksploatacyjnych.

Badania zrealizowano w 11 ścianach kompleksowo zmechanizowanych w 7 kopalniach węgla kamiennego. Przeprowadzenie pomiarów w ścianach o wysokości 2,3÷4,0 m, o długości 132÷300 m, nachylonych podłużnie w zakresie 0÷30°, prowadzonych w pokładach, w których zalegał węgiel łatwo, średnio i trudno urabialny (wskaźnik kruchości F_k = 7÷45%) pozwoliło na ustalenie wpływu wybranych czynników na stan obciążenia kombajnu, przy zróżnicowanej szerokości zabioru (0,65÷0,95 m) w zakresie średnic organów 1700÷2000 mm. Charakterystyka przodków ścianowych objętych badaniami zawarta jest w pracy [6].

W celu wyeliminowania oddziaływania na uzyskane wyniki pomiarów istotnych, lecz trudno uchwytnych czynników związanych z budową samego kombajnu, zdecydowano się na przeprowadzenie pomiarów w odniesieniu do jednego rozwiązania technicznego kombajnu ścianowego. Dzięki temu uniknięto wpływu wynikającego z: różnej prędkości kątowej organów urabiających, niejednolitego ukształtowania i wymiarów ramion wychylnych oraz prześwitu sań kombajnowych, zróżnicowania mocy silników napędzających organy urabiające i ciągnik mechanizmu posuwu, różnorodnej procedury regulacji prędkości posuwu kombajnu. Ze względu na możliwość częściowego wykluczenia czynnika związanego z umiejętnościami i doświadczeniem kombajnisty przy sterowaniu ręcznym kombajnem podjęto decyzję o zawężeniu badanej populacji do kombajnów wyposażonych w mikroprocesorowy system automatycznego sterowania prędkością posuwu.

Na podstawie analizy nowoczesności zastosowanych rozwiązań technicznych, zakresów wysokości urabiania, stosowanych szerokości zabioru i średnic organów urabiających, prędkości posuwu kombajnu oraz uzyskiwanych wyników produkcyjnych i liczby kombajnów będących w ruchu w polskich kopalniach węgla kamiennego wybrano do badań kombajny KSW-500 i KGS-500 produkcji Zabrzańskich Zakładów Mechanicznych S.A. Są to kombajny z wąskimi ramionami o sumarycznej mocy silników napędowych 500 kW, które wyposażone w organy urabiające o średnicach w zakresie 1700÷2200 mm i zabiorze 0,65m, 0,75 m, 0,80 m, 0,95 m mogą pracować w ścianach o wysokości 1,95÷4,6 m. Kombajny wyposażane są dodatkowo w ładowarki osłonowe i mikroprocesorowy system automatyzacji i diagnozowania MAKS/Z-500. System MAKS stanowi układ wspomagania komputerowego skrzyni aparaturowej, które polega na ciągłej kontroli podstawowych parametrów pracy mechanizmów kombajnu i obwodów sterujących skrzyni aparaturowej oraz na monitorowaniu, ostrzeganiu i wyłączaniu kombajnu w przypadkach przekroczenia założonych dopuszczalnych wartości poszczególnych parametrów.

3. Analiza wykorzystania potencjału produkcyjnego kombajnu ścianowego

Na podstawie zarejestrowanych przebiegów czasowych parametrów pracy kombajnu wyznaczono szereg wskaźników charakteryzujących stan obciążenia zewnętrznego kombajnu, efektywność jego wykorzystania oraz energochłonność procesu urabiania w warunkach eksploatacyjnych poszczególnych przodków ścianowych [6].

W celu ustalenia wpływu technologii urabiania na wykorzystanie potencjalnych możliwości technicznych kombajnu przeanalizowano następujące wskaźniki: stopień wykorzystania wydajności teoretycznej, stopień wykorzystania mocy nominalnej, energochłonności oraz sprawności technologii.

Wskaźnik wykorzystania teoretycznej wydajności kombajnu jest wyznacznikiem wykorzystania potencjalnych możliwości technicznych kombajnu w danym przodku i obliczany jest w przypadku technologii urabiania jednostronnego tylko dla ruchu roboczego, a w przy zastosowaniu urabiania dwustronnego dla ruchu zgodnego lub przeciwnego do zwrotu odstawy odpowiednio z zależności:

$$k_Q = \frac{z_e * v}{z * v_{max}}, \tag{1}$$

gdzie: z_e – rzeczywista szerokość zabioru,

v prędkość posuwu kombajnu,

z nominalna szerokość zabioru organu urabiającego,

v_{max} maksymalna prędkość posuwu kombajnu.

Wskaźnik ten określa zatem rzeczywistą średnią wydajność kombajnu wynikającą z efektywnej szerokości zabioru i wartości średniej prędkości posuwu kombajnu przy urabianiu.

Wskaźnik energochłonności pracy kombajnu wyznacza się na podstawie kształtowania się energochłonności w poszczególnych przedziałach prędkości posuwu kombajnu i uzyskany rozkład częstości urabiania z określoną prędkością posuwu. Energochłonność pracy kombajnu w przyjętych przedziałach prędkości posuwu kombajnu oblicza się z zależności:

$$E_i = \frac{\overline{N}_i}{\overline{v}_i * H * z_e * \gamma}, \tag{2}$$

gdzie: $\overline{N}_i$ – wartość średnia poboru mocy w i–tym przedziale prędkości,

$\overline{v}_i$ – wartość średnia prędkości posuwu kombajnu w i–tym przedziale prędkości,

H – wysokość ściany,

z_e – rzeczywista szerokość zabioru,

γ – gęstość właściwa węgla.

Biorąc pod uwagę fakt, że kombajn w warunkach danej ściany urabia z prędkością w granicach danego przedziału z częstością, którą określić można na podstawie rozkładu prędkości posuwu kombajnu, energochłonność pracy kombajnu wyznacza się jako średnią ważoną wartości tego wskaźnika w poszczególnych przedziałach prędkości posuwu kombajnu (E_i) z uwzględnieniem częstości urabiania odpowiadającej temu przedziałowi (f_i):

$$E_f = \sum_{i=1}^{n} E_i * f_i, \tag{3}$$

gdzie n - liczba przyjętych przedziałów prędkości posuwu kombajnu.

Wartość wskaźnika sprawności technologii wyznaczana jest z następujących zależności:

- urabianie jednostronne

$$\eta_t = \frac{k_Q * L * \eta}{(L - l_k) * \left(1 + \frac{v_u}{v_m}\right) * (1 + p_z)}, \tag{4}$$

- urabianie dwustronne

$$\eta_t = \frac{2 * k_Q * L * \eta * \left(1 + \frac{z_p * v_p}{z_z * v_z}\right)}{(L - l_k) * \left(1 + \frac{v_z}{v_p}\right) * \left(1 + \frac{v_p}{v_z}\right) * (1 + p_z)}, \tag{5}$$

gdzie: L – długość ściany,

l_k – długość kombajnu z uwzględnieniem średnicy organów urabiających,

η – wskaźnik czystości wybierania złoża,

p_z – wskaźnik udziału operacji technologicznych,

v_m, v_u – prędkość posuwu kombajnu odpowiednio w tracie ruchu manewrowego i urabiania przy urabianiu jednostronnym,

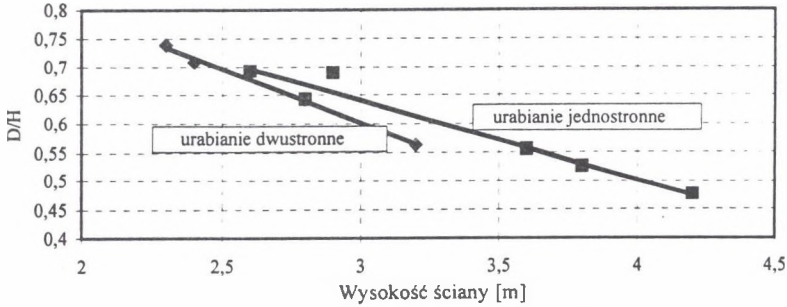
v_p, v_z – prędkość posuwu kombajnu odpowiednio przy zwrocie przeciwnym i zgodnym ze zwrotem odstawy przy urabianiu dwustronnym,

z_p, z_z – rzeczywista szerokość zabioru uzyskana odpowiednio przy zwrocie urabiania przeciwnym i zgodnym ze zwrotem odstawy.

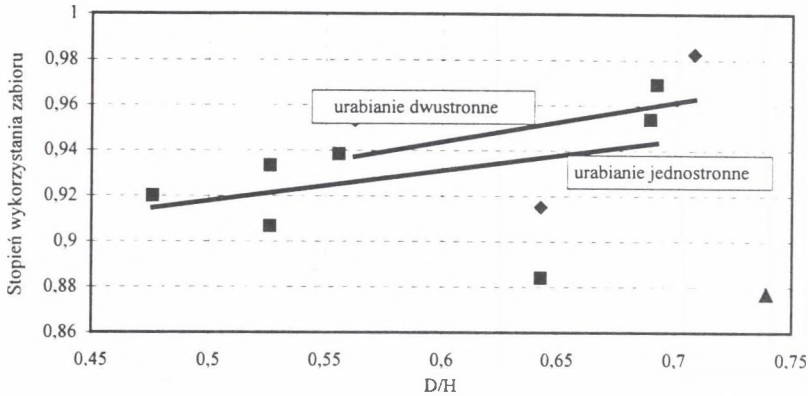
Pozwala ona na określenie, jaką część potencjalnego wydobycia dobowego, wynikającego z teoretycznej wydajności kombajnu w danych warunkach eksploatacyjnych i rzeczywistego czasu pracy kombajnu w ciągu doby, stanowi wydobycie dobowe możliwe do uzyskania przy zastosowaniu danej technologii urabiania. Na podstawie kształtowania się wartości tego wskaźnika można prześledzić wpływ poszczególnych czynników związanych z wykorzystaniem potencjalnej wydajności kombajnu, czasu trwania operacji przygotowawczo-zakończeniowych i długości ściany na możliwość uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia przy zastosowaniu danej technologii urabiania.

Kombajny objęte badaniami, wyposażone w organy urabiające o średnicach 1700–2000 mm, pracowały w ścianach o wysokości od 2,3 m do 4,2 m, przy czym urabianie dwustronne stosowano do wysokości 3,2 m, a urabianie jednostronne w zakresie 2,6÷4,2 m. Wynika to z faktu, że wraz ze wzrostem wysokości ściany intensywnieje zjawisko samoczynnego odspojenia górnych naroży pokładu, co w przypadku kombajnów nie wyposażonych w kruszarki kęsów, przy zwrocie urabiania przeciwnym do zwrotu odstawy, prowadzi do częstego zatrzymywania kombajnu w celu rozbijania dużych brył węgla. Z tego powodu w ścianach o wysokości powyżej 3 m zdecydowanie przeważa urabianie jednostronne o zwrocie zgodnym ze zwrotem odstawy.

Dobór średnic organów urabiających do określonej wysokości ściany decyduje o stanie obciążenia zewnętrznego kombajnu ścianowego wynikającego z przebiegu procesów: urabiania calizny i ładowania uzyskanego urobku. Na rys. 1 przedstawiono kształtowanie się relacji średnicy organu urabiającego i wysokości ściany (D/H) przy obu technologiach urabiania w przodkach o różnej wysokości. Charakterystyczny jest fakt, że przy tej samej wysokości ściany w przypadku urabiania jednostronnego stosowano większe średnice organów urabiających, co wynika z potrzeby zapewnienia korzystniejszych warunków ładowania urobku przy pracy kombajnu bez ładowarek osłonowych. Kombajny urabiające dwustronnie, z wyjątkiem ściany o najmniejszej wysokości, wyposażone były w ładowarki. Stosowanie ładowarek osłonowych zapewnia zdecydowanie większą skuteczność procesu ładowania urobku na przenośnik ścianowy, dzięki czemu przy urabianiu dwustronnym uzyskuje się lepsze wykorzystanie nominalnej szerokości zabioru przy tej samej relacji D/H (rys. 2). W przypadku obu technologii urabiania zwiększenie średnicy organu urabiającego przy określonej wysokości ściany powoduje uzyskanie większego zabioru, co może mieć jednak niekorzystny wpływ na wychód grubych sortymentów urobku.

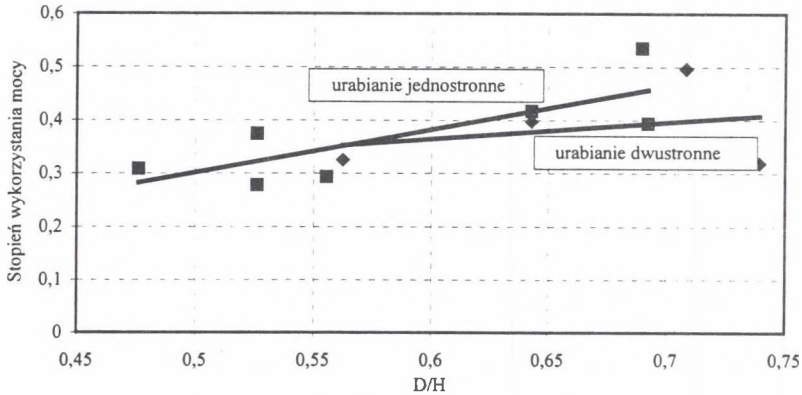


Rys.1. Zależność relacji D/H od wysokości ściany
Fig.1. Dependence of the relation D/H on a face height



Rys. 2. Wpływ relacji D/H na wykorzystanie mocy nominalnej kombajnu
Fig. 2. Effect of the relation D/H on utilization of the shearer's rated power

Dobór średnic organów urabiających ma także wpływ na wykorzystanie mocy nominalnej kombajnu przy obu technologiach urabiania (rys. 3), co wynika z faktu, że w kombajnach wyposażonych w automatyczny regulator prędkości posuwu o sumarycznym poborze mocy decyduje obciążenie obu silników głównych kombajnu. W przypadku stosowania ładowarek osłonowych (urabianie dwustronne) bardziej obciążony jest organ tylny urabiający warstwę przy spągu wyrobiska. Zwiększenie jego średnicy w mniejszym stopniu wpływa na zróżnicowanie obciążenia obu organów, co powoduje, że nachylenie linii trendu przy tej technologii jest nieznaczne. Większy wpływ na to zróżnicowanie ma kierunek obrotów organów urabiających i zwrot urabiania w stosunku do zwrotu odstawy [3, 6].



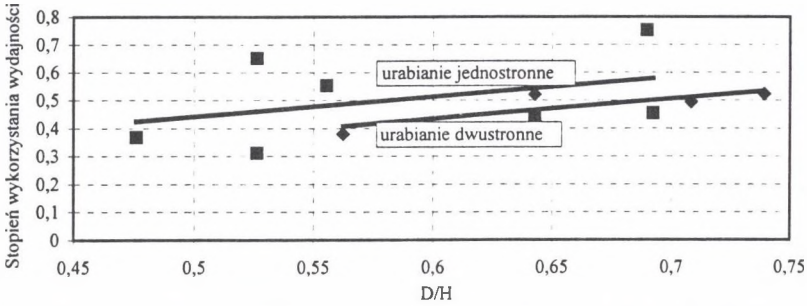
Rys. 3. Wykorzystanie zabioru nominalnego w funkcji relacji D/H
Fig. 3. Using of a nominal web as a funktion of the relation D/H

Natomiast przy urabianiu jednostronnym na zróżnicowanie obciążenia zewnętrznego obu organów, decydującego o poborze mocy, wpływ mają następujące czynniki. Przy zastosowaniu większej średnicy organów urabiających w ścianie o określonej wysokości (wzrost D/H) organ tylny urabia warstwę węgla o mniejszej wysokości. Stąd sumaryczne opory skrawania

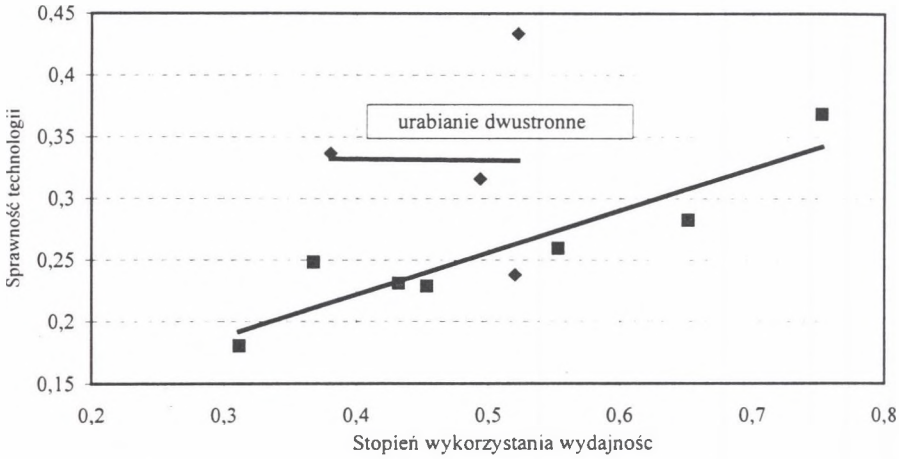
są mniejsze, a dzięki mniejszej ilości urobku przekazywanej na przenośnik maleją także opory ładowania, co sprzyja równomiernemu obciążeniu obu organów. Zmniejszenie wartości ilorazu D/H przy urabianiu jednostronnym wynika także z urabiania ścian o większej wysokości. Kombajny objęte programem badań wyposażone były w organy, których maksymalna średnica wynosiła 2 m, stąd w ścianach o większej wysokości zwiększała się grubość warstwy przyspągowej. Poza tym w ścianach o wysokości powyżej 3,5 m wzrasta intensywność zjawiska samoczynnego odspajania górnych naroży pokładu, co sprawia, że przekrój warstwy urabianej organem wyprzedzającym jest znacznie mniejszy od przekroju teoretycznego. W związku z tym przy urabianiu jednostronnym relacja D/H ma znacznie większy wpływ na wykorzystanie mocy nominalnej kombajnu.

Wykorzystanie mocy nominalnej w decydujący sposób wpływa na uzyskiwaną prędkość posuwu kombajnu przy urabianiu calizny węglowej, stąd rzeczywista wydajność kombajnu zdeterminowana tą prędkością oraz zabiorem efektywnym również zależy od relacji średnicy organu urabiającego i wysokości ściany (rys. 4). O tym, że wykorzystanie teoretycznej wydajności kombajnu przy urabianiu jednostronnym jest większe w porównaniu z urabianiem dwustronnym decyduje fakt, że w zdecydowanej większości badanych ścian zastosowano urabianie jednostronne o zwrocie zgodnym ze zwrotem odstawy. Przy tym zwrocie urabiania uzyskuje się większe prędkości posuwu kombajnu, co wynika z przebiegu ładowania urobku na przenośnik nie obciążony w tej części nosiwem [6]. W przypadku urabiania dwustronnego stopień wykorzystania wydajności wyznaczony jest jako wartość średnia dla obu zwrotów urabiania.

Na wydobycie uzyskiwane z danego przodka wpływ ma przebieg cyklu produkcyjnego w ścianie, na który składają się: operacja urabiania calizny, czynności przygotowawczo-zakończeniowe, a w przypadku urabiania jednostronnego także ruch manewrowy związany z ładowaniem urobku. Zgodnie z przedstawioną wcześniej definicją sprawność technologii jest wyznacznikiem wykorzystania potencjalnych możliwości produkcyjnych. Okazuje się, że pomimo lepszego wykorzystania teoretycznej wydajności kombajnu przy urabianiu jednostronnym większe wartości wskaźnika sprawności technologii uzyskano przy urabianiu dwustronnym (rys. 5). Przeprowadzona analiza wykazała, że wykorzystanie potencjału produkcyjnego ściany przy zastosowaniu urabiania jednostronnego na takim samym poziomie jak w przypadku urabiania dwustronnego wymaga użycia kombajnu o dwu zakresach prędkości posuwu [5].

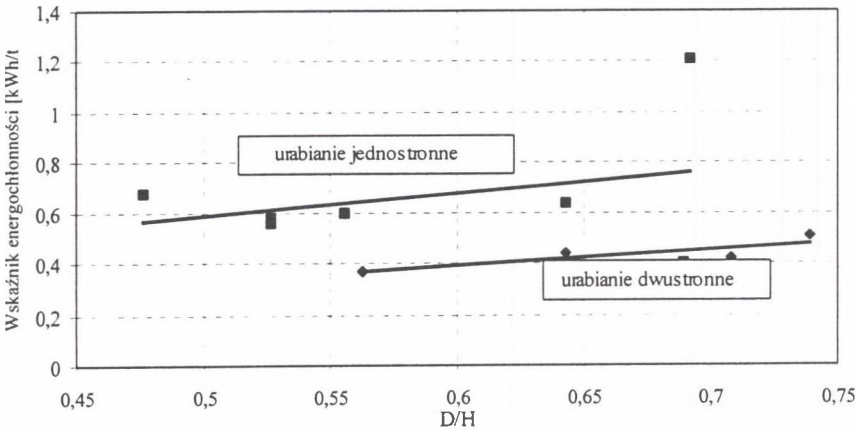


Rys. 4. Zależność stopnia wykorzystania wydajności teoretycznej kombajnu od relacji D/H
Fig. 4. Dependence of degree of the shearer's theoretical performance utilization on the relationship D/H



Rys. 5. Wpływ stopnia wykorzystania wydajności teoretycznej kombajnu na wykorzytanie potencjału produkcyjnego ściany
Fig. 5. Effect of degree of the shearer's theoretical performance utilization on making use of the productivity potential of a face

Jednym ze wskaźników służących do oceny poprawności doboru kombajnu do określonych warunków eksploatacyjnych jest energochłonność procesu urabiania skał węglowych kombajnem ścianowym [1]. Energochłonność związana z uzyskaniem 1 tony urobku liczona w przypadku urabiania jednostronnego z uwzględnieniem operacji urabiania i ruchu manewrowego jest zdecydowanie większa w porównaniu z urabianiem dwustronnym (rys. 6). Biorąc pod uwagę przyjęte wartości graniczne [2] za prawidłowy ze względu na kryterium energochłonności można uznać dobór kombajnu we wszystkich ścianach urabianych dwustronnie oraz tylko w jednej urabianej jednostronnie.



Rys. 6. Zależność energochłonności procesu pracy kombajnu od relacji D/H
Fig. 6. Dependence of specific energy consumption on the relation D/H

4. Podsumowanie

Ze względu na zjawisko samoczynnego odspajania górnych naroży pokładu w ścianach o wysokości powyżej 3 m zdecydowanie przeważa urabianie jednostronne o zwrocie zgodnym ze zwrotem odstawy. Specyfika poszczególnych technologii urabiania, wynikająca głównie z realizacji ładowania urobku na przenośnik ścianowy, sprawia, że w ścianach o tej samej wysokości przy urabianiu jednostronnym stosuje się organy urabiające o większych średnicach.

Relacja średnicy organu i wysokości ściany decyduje o efektywności wykorzystania zabioru kombajnu oraz jego mocy, a w konsekwencji i wydajności uzyskiwanej w warunkach danej ściany. Pomimo lepszego wykorzystania wydajności teoretycznej kombajnu przy urabianiu jednostronnym większą sprawność technologii, a tym samym i większe wydobycie uzyskuje się stosując urabianie dwustronne.

Energia wydatkowana na ładowanie urobku w trakcie ruchu manewrowego powoduje wzrost wartości wskaźnika energochłonności przy urabianiu jednostronnym, co sprawia, że w większości ścian urabianych jednostronnie energochłonność uzyskania 1 tony urobku węglowego jest znacznie większa w porównaniu z urabianiem dwustronnym.

LITERATURA

1. Dolipski M., Jaszczuk M., Sobota P.: A new method for determining specific energy consumption of a shearer. 28th Conference on Automation and Telecommunication in Mines and Processing Plants – Coal and Minerals. Szczyrk, czerwiec 2000
2. Dolipski M., Jaszczuk M., Sobota P.: Specific energy in aspect of correctness of a shearer application. Proceedings of the Seventh International Symposium of Mine Planning and Equipment Selection. Calgary, 6-9 October 1998. A.A.Balkema, Rotterdam 1998
3. Jaszczuk M.: Czynniki wpływające na zróżnicowanie obciążenia silników głównych kombajnów ścianowych dużej mocy. Maszyny Górnicze nr 82, CMG Komag, Gliwice 2000
4. Jaszczuk M.: Procedura prawidłowego doboru kombajnów ścianowych do określonych warunków eksploatacyjnych. Międzynarodowa konferencja Górnictwo 2000. Szczyrk, 23-24 listopada 1999.
5. Jaszczuk M.: Wskaźnik sprawności technologii kombajnowego systemu mechanizacyjnego. Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna: Kompleksy ścianowe do dużej koncentracji wydobycia w warunkach technicznej restrukturyzacji polskiego górnictwa. Szczyrk, 15-17 listopada 1999
6. Jaszczuk M.: Wpływ stanu obciążenia kombajnu ścianowego dużej mocy na możliwość uzyskania wysokiej koncentracji wydobycia. ZN Pol. Śl., s. Górnictwo, z. 240, Gliwice 1999

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Karol F.Reich

Abstract

The utilization of potential technical capabilities of a longwall shearer is conditioned by factors of technical, technological and organisational nature. Experimental tests of the KSW-500 shearer that were performed on 11 comprehensively mechanised longwall faces made it possible to define the influence of selected factors on the state of external load imposed on the shearer, which is determinant of the machine's capacity. It has been indicated in the paper that mining technology decides the diameter of cutting drums as being selected to suit a definite height of the face. The value of the quotient of a of cutting drums' diameter and a face height has an effect both on the utilization of theoretical performance of the shearer and on the utilization of its nominal power.

From an analysis of the course of efficiency of the technology has appeared that with the same degree of the utilization of theoretical performance a bi-directional mining allows the productivity potential of a face to be better utilised.

Besides, in case of unidirectional mining the specific energy consumption both during mining and during flitting was taken into account, is decidedly higher in comparison with bi-directional one.