

Tadeusz GIZA

ZALEŻNOŚĆ SIŁY I ENERGII SKRAWANIA WĘGLA
OD STANU OSTRZA NOŻA

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych wpływu stępienia noży kombajnowych promieniowych na wartość siły i energii skrawania węgla. Dla przyjętego zakresu stępień ostrza (0-11,9 mm) stwierdzono zależność według wielomianu drugiego stopnia pomiędzy siłą skrawania i jednostkową energią skrawania a wielkością liniowego stępienia ostrza noża mierzoną na powierzchni przyłożenia.

1. Wstęp

Stan ostrza noża jest jednym z głównych czynników wpływających na wielkość sił działających na nóż. Prowadzone dotychczas badania laboratoryjne mające na celu wyjaśnienie wpływu zużycia ostrza na jego obciążenie dotyczyły zużycia ściernego (stępienia) i wykonywane były w zasadzie w skałach znacznie twardszych od węgla, takich jak: piaskowiec, łupki piaszczyste, dolomity i bloki cementowo-piaskowe. Zakres stosowanych stępień był nieduży i z reguły nie przekraczał 4 mm. Stwierdzono we wszystkich przypadkach [1,2,3,4,6], że siła docisku (pionowa) rośnie znacznie szybciej wraz ze wzrostem stępienia aniżeli siła skrawania (pozioma). Z badań przeprowadzonych w Wielkiej Brytanii w piaskowcu Darley Dale o wytrzymałości na ściskanie $55-85 \text{ MNm}^{-2}$ i wapieniu Portland o wytrzymałości na ściskanie 35 MNm^{-2} [2,3,4] wynika, że zużycie noża na powierzchni przyłożenia w granicach 2-2,5 mm powoduje 2-4-krotny wzrost sił skrawania i 5-10-krotny wzrost siły docisku. Tak duży wzrost docisku i skrawania przy stosunkowo nieznanym stępieniu ostrza (nóż o takim stępieniu uważany jest za dobry) należy tłumaczyć dużą wytrzymałością skały na ściskanie i wysokimi właściwościami ściernymi. Również Muschelknautz i Malbrecht [6] stwierdzają w swoich badaniach dominujący wpływ stępienia na siłę docisku.

W Związku Radzieckim tego rodzaju badania wykonano w piaskowcu, łupku piaszczystym i ilastym oraz dolomicie wapiennym [1]. Dla podanego poprzednio zakresu stępień siła skrawania rośnie ponad 2 razy dla piaskowca i blisko dwukrotnie dla łupka piaszczystego, a siła docisku odpowiednio 3,2 razy i około 4-krotnie. Porównując wartości bezwzględne sił uzyskane przy skrawaniu piaskowca angielskiego i radzieckiego okazuje się, że są one bardzo zbliżone do siebie i wynoszą około 2 kN dla siły skrawania i około 2,5 kN dla siły docisku przy stępieniu ostrza 2-2,5 mm. Badania

przewodzone w lupku ilastym i doleciło wapiennym dotyczyły zbyt małych stępień (0,6 mm) i z tego powodu nie mogą być porównywane. We wszystkich przypadkach stwierdzono liniową zależność pomiędzy zarejestrowanymi wartościami sił a stępieniem noża.

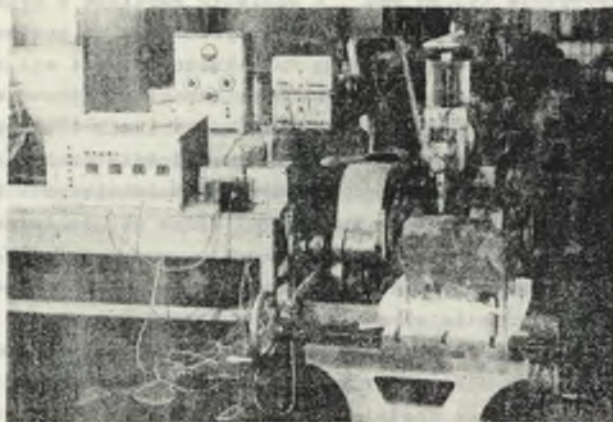
Wykonane w Instytucie Mechanizacji Górnictwa badania wpływu stępienia noży na siłę skrawania i jednostkową energię skrawania węgla prowadzono dla znacznie szerszego zakresu stępienia ostrza (0 - ~12 mm) niż to miało miejsce w badaniach zagranicznych.

Przyjęta w badaniach laboratoryjnych maksymalna wartość stępienia ostrza odpowiada w przybliżeniu średniej arytmetycznej wartości liniowego stępienia noży promieniowych pracujących na organach urabiających ścianowych kombajnów węglowych.

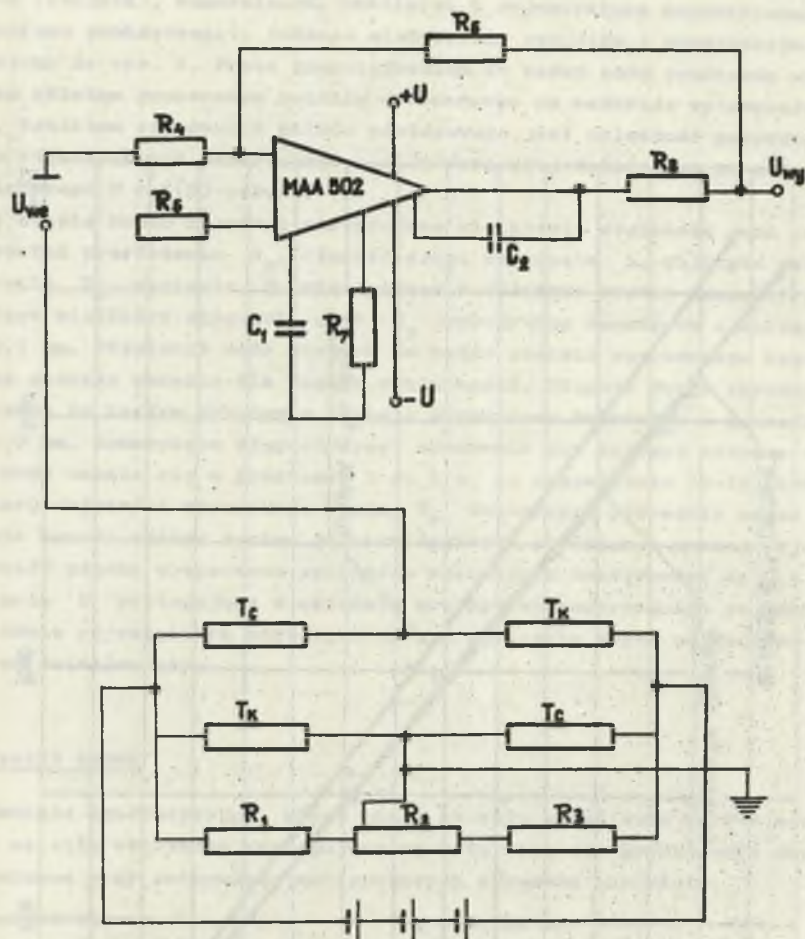
W wyniku przeprowadzonych pomiarów uzyskano zależność nieliniową pomiędzy siłą i energią skrawania węgla a stępieniem ostrza noża. W Polsce prace nad określeniem oporów skrawania węgla i energią właściwą urabiania nożami o zmiennej geometrii ostrza i różnym sposobie zbrojenia prowadzono w Instytucie Maszyn Górniczych, Przerobowych i Automatyki AGH [10, 11, 12, 13].

2. Stosowany układ pomiarowy i wielkości mierzone

Stanowisko, na którym prowadzono badania (rys. 1) składało się ze strugarki poprzecznej SZ400 o mocy 2,8 kW, noża pomiarowego i aparatury pomiarowo rejestrującej. Do badań wykorzystywano węgiel ze ściany 202 pokładu 414 kopalni "Andaluzja". Zwięzłość węgla mierzona według metody Protodikonowa mieściła się w granicach 1,16 - 1,28, a wartość średnia wynosiła $f_{gr} = 1,2$. Próbki węgla o wymiarach 0,3 x 0,3 x 0,3 m zatopiono w betonowych podstawach w celu umożliwienia prostego mocowania ich na stole strugarki.



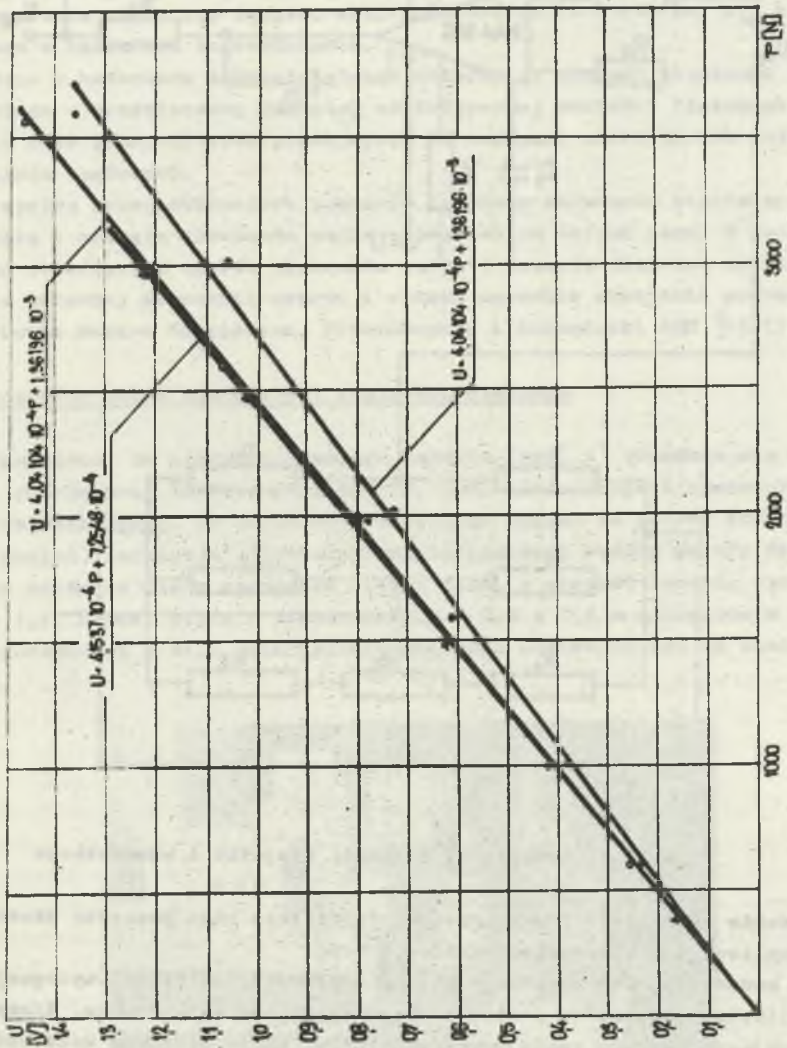
Rys. 1. Widok stanowiska pomiarowego



Rys. 2. Schemat elektryczny czujnika i wzmacniacza

Skrawania odbywało się przy zachowaniu stałego kąta pomiędzy płaszczyzną łopaty a kierunkiem skrawania noża.

W badaniach wykorzystywano metodę tensometrii naprężno-oporowej, która umożliwiła bezpośredni pomiar siły na elemencie skrawającym. Elementem skrawającym był nóż kombajnowy promieniowy NKP-P zbrojony wałeczkami z węglików spiekanych. Noże tego typu są stosowane zarówno w kombajnach ścianowych jak i obodnikowych. W celu zwiększenia sygnału w układzie pomiarowym, tj. odkształcenia liniowego noża, przekrój części korpusu noża został zmniejszony przez wybranie materiału. Na tak przygotowany nóż naklejono tensometry foliowe po dwa od strony powierzchni natarcia i przy-



Rys. 3. Wykres cechowania noży pomiarowych

łożenia. Cały układ pomiarowo-rejestrujący składał się z noża pomiarowego NKP-P (ozujnik), wzmacniacza, zasilacza i rejestratora magnetycznego (magnetofonu pomiarowego). Schemat elektryczny ozujnika i wzmacniacza przedstawiono na rys. 2. Przed przystąpieniem do badań noże pomiarowe wraz z całym układem pomiarowym zostały wycechowane na maszynie wytrzymałościowej. Wynikiem cechowania układu pomiarowego jest zależność pomiędzy napięciem rejestrowanym przez układ a siłą skrawania działającą na ostrze noża pomiarowego $U = f(P)$ rys. 3.

W czasie badań mierzono następujące wielkości: stępienie noża na powierzchni przyłożenia S_p , długość drogi skrawania l , objętość skrawanego węgla V_g , napięcie U występujące w układzie mostka tensometrycznego. Pomiar wielkości stępienia noży S_p wykonywano suwmiarką z dokładnością do 0,1 mm. Stępienie noży użytych do badań zostało spowodowane sztucznie i nie ulegało zmianie dla danego cyklu badań. Długość drogi skrawania l mierzono po każdym wykonanym skrawie przymiarem kreskowym z dokładnością do 1,0 mm. Sumaryczna długość drogi skrawania dla każdego stopnia stępienia noża wahała się w granicach 3 do 4 m, co odpowiadało 10-15 skrawom. Pomiaru objętości skrawanego węgla V_g dokonywano pośrednio przez wypełnienie bruzdy skrawu suchym drobnosiarnistym piaskiem o znanej objętości. Objętość piasku wyznaczono cylindrem miarowym z dokładnością do 0,5 cm³. Napięcie U występujące w układzie mostka tensometrycznego rejestrowano na taśmie rejestratora magnetycznego, a następnie zapis odtwarzano na papierze światłoczułym.

3. Wyniki badań

Badania laboratoryjne, które miały na celu określenie wpływu stępienia noża na siłę skrawania występującą na nożu oraz energoochłonność skrawania prowadzono przy zachowaniu następujących warunków skrawania:

głębokość skrawu	$g = 0,008 \text{ m}$,
podziałka skrawania	$t = 0,04 \text{ m}$,
średnia prędkość skrawania	$v = 0,47 \text{ m s}^{-1}$,
długość drogi pojedynczego skrawu	$l = 0,3 \text{ m}$.

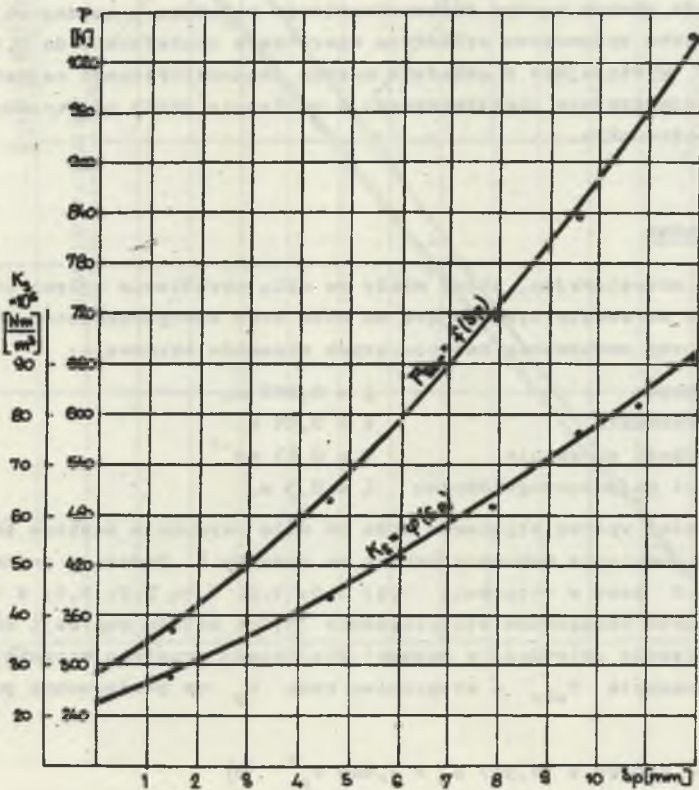
Wyniki badań wpływu stępienia noża na siłę skrawania zawiera tablica 1 oraz na jej podstawie wykonany wykres na rysunku 4. Badaniom poddano nóż ostry $S_p = 0$ oraz o stępieniu 1,5; 3,0; 4,6; 6,1; 7,9; 9,6; i 11,9 mm. Dane z pomiarów opracowano statystycznie [5,9] metodą regresji krzywoliniowej i uzyskano zależność w postaci wielomianu drugiego stopnia pomiędzy siłą skrawania P_{skr} a stępieniem noża S_p na powierzchni przyłożenia:

$$P_{skr} = 290,28 + 34,567 S_p + 2,426 S_p^2 \quad [N] \quad (1)$$

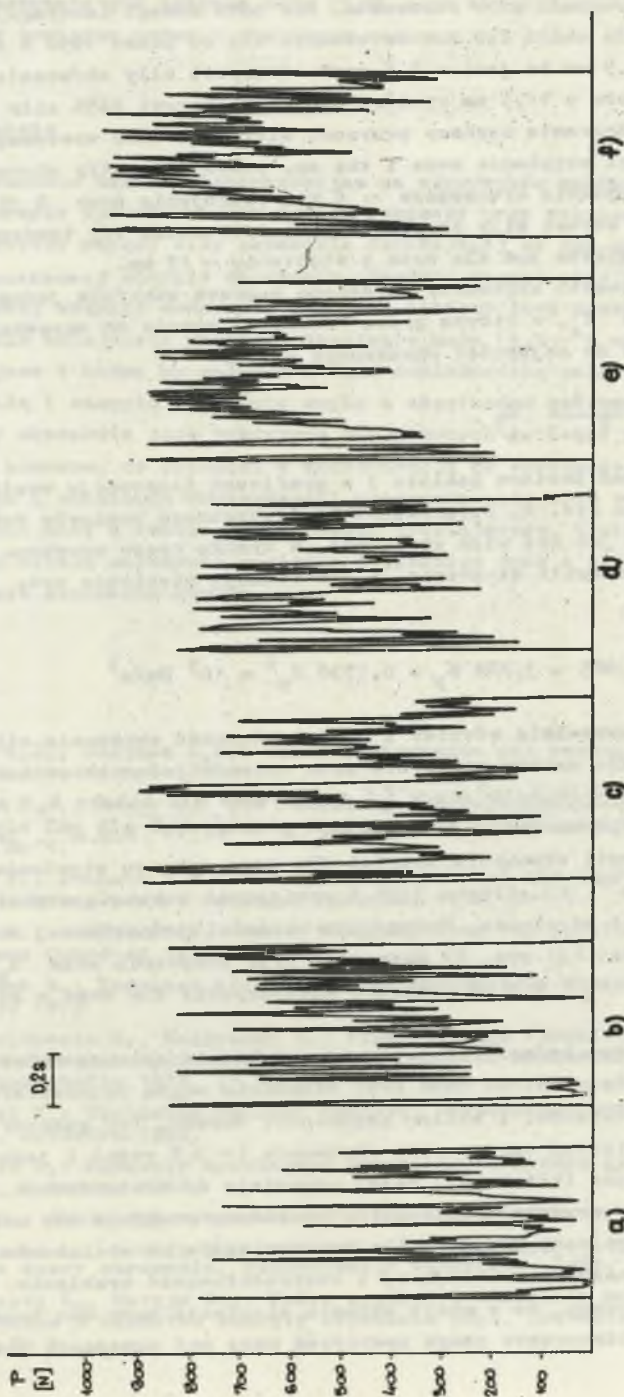
gdzie siła skrawania wyrażona jest w niutonach a stępienie noży na powierzchni przyłożenia w milimetrach.

Tablica 1

Stępienie noży S_p mm	0	1,5	3,0	4,6	6,1	7,9	9,6	11,9	Współ- czynnik korela- cji r^2
Średnia siła skrawania P_{skr} N	288,6	341,3	429,8	495,8	595,4	714,4	834,7	1051,4	0,9528
Jednostkowa energia skrawania $K_s \times 10^5$ Nm/m ³	22,43	27,07	38,06	43,62	51,32	61,30	76,44	91,94	0,9502



Rys. 4. Zależność siły skrawania P_{skr} i jednostkowej energii skrawania K_s od stępienia noża S_p



Rys. 5. Oscylogram siły skrawania dla różnych wartości stepienia ostrza

a - $S_p = 0$, b - $S_p = 1,5$ mm, c - $S_p = 3,0$ mm, d - $S_p = 4,6$ mm, e - $S_p = 6,1$ mm, f - $S_p = 7,9$ mm

Uzyskane w czasie badań wyniki wykazują istotny wpływ wartości stępienia noża na wartość siły skrawania. Dla noża nowego (ostrego) siła skrawania wynosiła około 290 N i zwiększyła się do ponad 1050 N dla noża o stępieniu 11,9 mm to jest $\sim 3,6$ razy. Przyrost siły skrawania spowodowany stępiem noża o 11,9 mm wyniósł 760 N co stanowi 263% siły skrawania nożem ostrym. Znacznie szybszy przyrost siły skrawania występuje dla większych wartości stępienia noża i tak np. podwojenie siły skrawania nastąpiło przy stępieniu wynoszącym ~ 6 mm, potrojenie przy $S_p \approx 10$ mm a czterokrotny wzrost siły skrawania przy zachowaniu tej tendencji (zależność 1) nastąpiłoby już dla noża o stępieniu ~ 13 mm.

Energochłonność skrawania określono poprzez wskaźnik jednostkowej energii skrawania K_s , w którym praca (energia) zużyta do skrawania węgla odniesiona jest do objętości uzyskanego urobku:

$$K_s = \frac{P_{skr} \cdot l_{\delta r}}{V_{\delta r}} \frac{Nm}{m^3} \quad (2)$$

Wyniki badań zawiera tablica 1 a graficzną ilustrację wyników badań jest wykres na rys. 4. Opracowania statystycznego pomiarów dokonano w taki sam sposób jak dla siły skrawania, w wyniku czego uzyskano zależność jednostkowej energii skrawania K_s w funkcji stępienia noża S_p w postaci:

$$K_s = 22,485 + 3,782 S_p + 0,1738 S_p^2 \times 10^5 \text{ Nm/m}^3 \quad (3)$$

Tak jak siła skrawania również i energochłonność skrawania silnie zależy od stanu zużycia ostrza noża. Dla noża ostrego jednostkowa energia skrawania wynosiła $\sim 22,4 \cdot 10^5 \text{ N.m.m}^{-3}$ i zwiększyła się blisko 4,1 razy dla noża o stępieniu 11,9 mm osiągając wartość $K_s \approx 92 \cdot 10^5 \text{ N.m.m}^{-3}$. Przyrost jednostkowej energii skrawania wyniósł dla tego zakresu stępienia około $69,6 \cdot 10^5 \text{ N.m.m}^{-3}$, tj. blisko 310% i występował znacznie szybciej dla większych wartości stępienia. Podwojenie wartości jednostkowej energii skrawania (zależność (3) rys. 4) nastąpiło przy stępieniu noża $S_p \approx 5$ mm, potrojenie przy $S_p \approx 8,5$ mm a wzrost czterokrotny dla noża o stępieniu $S_p \approx 11,5$ mm.

Przeprowadzone badania laboratoryjne wykazały znaczną zależność oporów skrawania od stanu ostrza noża przy skrawaniu węgla pojedynczym nożem z wyrównanej powierzchni i stałej głębokości skrawu. Tak znaczny dla stosowanego zakresu stępień wzrost siły skrawania ($\sim 3,6$ razy) i jednostkowej energii skrawania (blisko 4,1 razy) upoważnia do stwierdzenia, że w przypadku skrawania organem urabiającym, na którym znajduje się zespół noży stępienie ostrzy noży będzie miało istotny wpływ na obciążenie silnika elektrycznego maszyny urabiającej i energochłonność urabiania. W czasie badań zaobserwowano, że w miarę wzrostu stępienia noży dno bruzdy staje się gładze i błyszczące czego przyczyną może być powstania rozległej

strefy sprasowania pod ostrzem noża [7,8] oraz zwiększenie się współczynnika tarcia pomiędzy nożem a skrawanym węglem.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania laboratoryjne na stanowisku badawczym wyposażonym w pojedynczy nóż skrawający węgiel wykazały przy stępieniu noża 11,9 mm około 3,6-krotny wzrost siły skrawania działającej na nóż oraz 4,1-krotny wzrost jednostkowej energii skrawania. Zarówno wzrost siły skrawania jak i jednostkowej energii skrawania nie jest liniowy lecz przebiega według paraboli. Dla mniejszych wartości stępienia noża (4,5 - 6 mm) przyrosty te są mniejsze i można by założyć z dużą dokładnością zależność liniową pomiędzy siłą i energią skrawania węgla a stępieniem ostrza noża. Wzrost siły skrawania jest przyczyną zwiększonych nacisków pomiędzy nożem a uchwytem nożowym, co prowadzi w konsekwencji do szybszego zużycia uchwytów nożowych i obniżenia skuteczności mocowania noża oraz zwiększonego zapotrzebowania mocy w czasie pracy organu urabiającego. Wyniki badań nie wskazują na ścisłą zależność pomiędzy stępieniem noża a objętością uzyskanego w czasie skrawania urobku.

LITERATURA

- [1] Baron L.J., Glatman L.B.: Iznos instrumenta pri rezanii gornych porod. Nedra, Moskwa 1969.
- [2] Bourne V.J., Kenny P.: Die Bedeutung des hartmetallbestücten Schrammeisels für die schneidende Gewinnung in Grossebritannien. Glückauf 1975, Nr 1.
- [3] Kenny P., Johnson S.N.: The effect of wear on the performance of mineral outting tools. Colliery Guardian 1976, Nr 6.
- [4] Kenny P., Johnson S.N.: Non - blunting tool for outting coal and rock. Colliery Guardian 1977, Nr 10.
- [5] Łukaszek W.: Podstawy statystycznego opracowania pomiarów. Pol. Śl. Gliwice 1975.
- [6] Muschelknautz H., Malbrecht D.: Vergleichende Verschleiss und Spannkraftuntersuchungen an hartmetallbestücten Meisseln. Glückauf Forschungshefte 1978, 39 Nr 6.
- [7] Opolski T.: Urabianie calizny węglowej narzędziami skrawającymi. Śląsk, Katowice 1965.
- [8] Opolski T.: Elementy urabiające nowoczesnych maszyn górniczych. Śląsk, Katowice 1966.
- [9] Volk W.: Statystyka stosowana dla inżynierów. WNT, Warszawa 1973.
- [10] Kruszecki L., Losiak S., Losiak H.: Wpływ grubości i podziałki skrawów na opory skrawania. Mechanizacja Górnictwa, 1965, Nr 8.
- [11] Kruszecki L., Matyja St.: Wpływ prędkości skrawania na właściwe opory styżne i właściwą energię skrawania skał. Mechanizacja Górnictwa 1966, Nr 5.

- [12] Kruszecki L., Losiak S., Pawlik K.: Wpływ kąta skrawania oraz sposobu zbrojenia noży wrębowych twardymi spiekami na ekonomię wrębisnia. Przegł. Nauk.-Techn. AGH nr 19 ser. H, masz. 11, 1967.
- [13] Losiak S.: Ustalenie wpływu kąta wierzchołkowego i bocznego krawędzi tnącej noży wrębowych na opory urabiania węgla. Praca doktorska AGH, 1966

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Adam KLICH

Wpłynęło do Redakcji w sierpniu 1983 r.

ЗАВИСИМОСТЬ СИЛЫ И ЭНЕРГИИ РЕЗАНИЯ УГЛЯ
ОТ СОСТОЯНИЯ ОСТРИЯ НОЖА

Р е з ю м е

В работе представлены результаты лабораторных исследований влияния затупления радиальных комбайновых ножей на величину сил и энергии резания угля. Для принятого диапазона затупления острия (0-11,9 мм) показана зависимость в виде многочлена второй степени между силой резания и удельной энергией резания с одной стороны и величиной линейного затупления острия ножа, измераемого на задней грани, с другой стороны.

THE DEPENDENCE OF THE FORCE AND ENERGY OF THE MACHINING OF COAL
ON THE CONDITION OF THE TOOTH EDGE

S u m m a r y

In the paper are presented the results of laboratory studies on the effect of the dullness of the combine radial teeth on the value of the force and energy of coal machining. For the assumed range of the edge dullness (0-11,9 mm) a dependence has been ascertained according to a multinomial of the second degree, between the force of machining and the unit energy of machining, and the value of the linear dullness of the tooth edge measured on the flank face.