

Józef JONAK

Katedra Mechanizacji Górnictwa Politechniki Lubelskiej

WPŁYW WYBRANYCH PARAMETRÓW NOŻY URABIAJĄCYCH NA EFEKTY URABIANIA SKAŁ

Streszczenie. W pracy przedstawiono analizę oddziaływania noży urabiających, o wypukłych kształtach ostrza, na caliznę. Główną uwagę zwrócono na noże stożkowe (obrotowe) oraz promieniowe o ostrzu "soczewkowym". Na podstawie obserwacji procesu skrawania skał (wapień, piaskowiec) zaproponowano fizyczny model oddziaływania omawianych noży na skałę. Stwierdzono, iż zdecydowanie korzystniejsze jest (z uwagi na uzyskiwane efekty) oddziaływanie noża promieniowego posiadającego ostrze o wypukłych kształtach i ostrych krawędziach tnących niż stożkowo zakończonemu nożu obrotowemu. Zaproponowano również empiryczną metodę obliczania sił działających na ostrze stożkowe.

THE INFLUENCE OF THE SELECTED CUTTING TOOL PARAMETERS ON THE ROCK CUTTING EFFECTS

Summary. The effect of convex rock cutting tools upon the body of coal has been analysed. Point attack tools and radial lenticle tools were of primary interest. On the basis of observation of the rock cutting process (limestone, sandstone) a physical model of the interaction between rock cutting tools and the rock itself has been proposed. It was concluded that the performance of a radial convex tool having sharp edges is essentially better than that of a point attack tool. Additionally, an empirical method of calculation of the forces acting upon point tools has been suggested.

ВЛИЯНИЕ ИЗБРАННЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТБОЙНОГО РЕЗЦА НА ЭФФЕКТ ОТБОЙКИ ПОРОДЫ

Резюме. В работе представлен анализ воздействия на массив отбойных резцов с выгуклыми лезвиями. Главное внимание обращается на вращающиеся конусные резцы, а также на резцы с линзовым лезвием. На основании наблюдений процесса резания пород (известняк, песчаник) предложено физическую модель воздействия этих резцов на породу. Установлено, что воздействие резца с выгуклым лезвием и острыми репеушими кромками намного выгоднее воздействия конусного резца. Предложен также эмпирический метод определения сил действующих на конусный резец.

1. WPROWADZENIE

Pomimo prowadzenia szeroko zakrojonych badań laboratoryjnych i eksploatacyjnych nad wykorzystaniem różnorodnych metod urabiania [1, 6, 17, 20, 25], do chwili obecnej przeważająca część pokładów węgla kamiennego i skał towarzyszących urabiania jest metodami mechanicznymi, głównie w procesie skrawania. Z kompleksu zaś zagadnień związanych z tym procesem najistotniejsze, jak się wydaje, jest doskonalenie narzędzi urabiających do opracowania jak najbardziej efektywnych. Jak wiadomo, skutki nieefektywnego skrawania to między innymi: nadmierne zużycie części maszyn, wysokie zużycie ostrza, zwiększona emisja pyłów, wysoka energochłonność urabiania oraz mały postęp i wydajność urabiania. Gębicki [11] sugeruje, iż udział energii zużywanej na odspojanie urobku od calizny może sięgać 67÷75% całkowitej energii niezbędnej do drażenia wyrobiska bądź urobienia pewnej masy urobku. W celu zapobieżenia tym niekorzystnym zjawiskom poszukuje się jak najbardziej optymalnych konstrukcji noży urabiających, zapewniających między innymi: dużą trwałość ostrza, możliwie największą wydajność urabiania, łatwość wymiany, współzamiennność i uniwersalność itd. Na podstawie licznie prezentowanych w literaturze światowej wyników różnorodnych badań można sądzić, iż opracowanie "idealnej" geometrii ostrza urabiającego (tj. pozwalającego uzyskiwać jak najmniejsze siły skrawania (P_s) i docisku (P_d) oraz jak najmniejszą jednostkową energię urabiania (E_j) z jednej strony oraz wysoką trwałość ostrza z drugiej strony) jest raczej niemożliwe, między innymi z uwagi na dużą rozpiętość właściwości skał. Robiąc zestawienie prezentowanych w literaturze wyników badań można stwierdzić, iż urabiające ostrze powinny charakteryzować następujące parametry:

- kąt natarcia [19, 21, 26, 29, 30, 31] z uwagi na wielkość sił P_s i P_d powinien być jak największy. Z uwagi na wielkość energii jednostkowej, powinien być nie mniejszy niż 25°, gdyż wtedy energia ta przyjmuje najmniejsze wartości i niewiele się zmienia. Z uwagi jednak na zużywanie się i wytrzymałość ostrza kąt ten nie może być zbyt duży. Należy

sądzić, iż w przypadku urabiania skał zwięzłych powinien on wynosić od (-10°) do (-5°) , gdyż poniżej tych wielkości obserwuje się gwałtowny wzrost sił P_s i P_d . W przypadku węgla łatwo urabialnych powinien on wynosić $20+30^\circ$ dla noży stycznych i $10+15^\circ$ dla noży promieniowych.

- kąt przyłożenia [3, 4, 19, 24, 26, 31] - sugeruje się, iż kąt ten powinien wynosić $6+7^\circ$, gdyż większe wartości w zasadzie nie wpływają na wielkość sił P_s i P_d , powodują natomiast zmniejszenie się wytrzymałości ostrza. Mniejsze wartości zaś sprzyjają zbyt szybkemu tępieniu ostrza. Znaleźć można jednak sugestie, iż kąt ten powinien wynosić 10° .

W przypadku bocznych kątów przyłożenia można stwierdzić, iż mieszczą się one w przedziale $3+5^\circ$ i jak się sugeruje, są to wielkości wystarczające w przypadku noży promieniowych. Dla noży stycznych kąt ten powinien być nieco większy i wynosić około 6° .

- kształt i szerokość krawędzi skrawającej [3, 4, 20, 29, 31] - z uwagi na uzyskiwany asortyment urobku oraz wielkość jednostkowej energii, szerokość powinna być jak największa.

Wzrost szerokości powoduje jednak wzrost siły docisku jak również sprzyja zwiększeniu powierzchni stępienia. W konsekwencji uzyskiwane efekty gwałtownie będą się pogarszać. W przypadku więc urabiania skał o słabych właściwościach ściernych oraz węgla łatwo urabialnych szerokość ta powinna być znacznie większa niż w przypadku skał działających ściernie i węgla trudno urabialnych.

Kształt krawędzi skrawającej zależy od przestrzennie (lub płasko) wyprofilowanych powierzchni przyłożenia i natarcia, gdyż jest ona wynikiem przecięcia się tychże powierzchni. Dlatego też analizę wpływu omawianego kształtu na uzyskane efekty należy prowadzić równoległe z analizą wpływu takich parametrów, jak kształt powierzchni natarcia i przyłożenia. Zagadnienia te najczęściej sprowadzają się do analizy wpływu kształtu rysu narzędzia, jaki uzyskuje się w wyniku rzutowania powierzchni natarcia na płaszczyznę prostopadłą do kierunku skrawania. Stąd też mówi się o prostokątnym lub owalnym kształcie krawędzi skrawającej. W związku z powyższym sugeruje się, iż z uwagi na zużycie najbardziej korzystny jest owalny kształt głównej krawędzi skrawającej (będącej w kontakcie z dnem bruzdy), przy bocznych krawędziach nieco odchylnych na boki.

- kształt powierzchni natarcia [2, 4, 5, 26] - występuje tutaj najwięcej kontrowersji. W jednakowym stopniu dotyczy to wpływu przestrzennego ukształtowania tej powierzchni tak na wielkość sił P_s i P_d , jak i jednostkowej energii E_j . Brak jest jednoznacznej odpowiedzi, która z form przestrzennego ukształtowania powierzchni natarcia (np. klinowa lub owalna), w stosunku do siebie lub płasko ukształtowanej powierzchni natarcia, jest korzystniejsza z uwagi na omawiane efekty oraz co jest tego przyczyną. Z uwagi jednak na zużycie stwierdzić można, iż tak klinowo, jak i owalnie ukształtowane powierzchnie są bardziej korzystne niż płaskie. Przy czym wydaje się również, iż kąt klinowo ukształtowanej powierzchni powinien wynosić około 120° . Brak jest jednak i tutaj jednoznacznej odpowiedzi, które ukształtowanie powierzchni natarcia, np. klinowe czy owalne jest bardziej korzystne.

- kształt powierzchni przyłożenia [4, 26] - powierzchnia ta, podobnie jak i natarcia, może być płaska lub przybierać formy przestrzenne (owalne lub klinowe). Z uwagi na wiel-

kość sił skrawania, kąt klinowo ukształtowanej powierzchni przyłożenia powinien być jak najmniejszy. Z uwagi zaś na jednostkową energię urabiania nie powinien on być jednak mniejszy od 120° , gdyż dla mniejszych kątów energia ta zaczyna gwałtownie rosnać. Równocześnie gwałtownie również rośnie zużycie ostrza. Zatem optymalna wartość tego kąta powinna wynosić około 120° . Istnieją jednak i inne sugestie, wg których z punktu widzenia odporności na zużycie najbardziej optymalny jest owalny kształt powierzchni przyłożenia.

Z powyższego zestawienia wynika, iż do skrawania skał o niezbyt silnych właściwościach ściernych (nie powodujących intensywnego tępienia ostrza) korzystnie byłoby stosować ostrze o płaskiej powierzchni natarcia i przyłożenia, stosunkowo szerokie i o stosunkowo dużych wartościach kątów natarcia i przyłożenia. Ostrze takie posiadać więc powinno kształty zbliżone do ostrza klasycznego noża klinowego.

W przypadku natomiast skrawania skał o silnych właściwościach ściernych ostrze powinno mieć nieco odmienne kształty. Biorąc pod uwagę ww. sugetie, np. powierzchnie przyłożenia i natarcia takiego ostrza powinny być kombinacją powierzchni klinowej oraz owalnej, co sprzyałoby zwiększeniu jego trwałości. Kąt natarcia w strefie najintensywniejszego skrawania i tarcia (w pobliżu dna bruzdy) powinien przyjmować wartości ujemne, co również sprzyałoby zwiększeniu jego trwałości. Powyżej zaś kąt ten powinien mieć wartość dodatnią, gdyż wtedy mniejsza jest siła skrawania. Szerokość ostrza powinna być jak najmniejsza w pobliżu dna bruzdy i wzrastać stopniowo w miarę oddalania się od wierzchołka ostrza. Mała szerokość ostrza w pobliżu dna bruzdy zabezpieczałaby przed intensywnym narastaniem powierzchni stępienia, a zatem i przed gwałtownym przyrostem dodatkowych sił tarcia związanych między innymi z parametrami tej powierzchni.

Z chwilą jednak opracowania ostrzy o przestrzennych formach powierzchni natarcia i przyłożenia, takich jak np. ostrze stożkowe czy "soczewkowe", powstało wiele kontrowersyjnych lub też sprzecznych opinii na temat efektów urabiania tymi nożami w porównaniu do uzyskiwanych np. przy skrawaniu klasycznymi nożami klinowymi.

Wspomniane ostrza mają pewne specyficzne cechy. np. ostrze stożkowe nie ma krawędzi skrawających (raczej można mówić o powierzchni skrawającej) oraz brak jest możliwości wyodrębnienia szerokości ostrza. Przejsie powierzchni natarcia w powierzchnię przyłożenia odbywa się niejako "samoistnie" z uwagi na stożkowy kształt. Ostrza takie zastosowano w nożach stycznych posiadających (lub nie) możliwość obrotu. W Polsce noże takie stosuje się głównie (i na dużą skalę) do zbrojenia organów urabiających maszyn chodnikowych.

Ostrze noża "soczewkowego" (np. ostrze noża Rapid 83) również zakończone jest wierzchołkiem oraz ma zmienną szerokość, jednak występuje w nim szereg ostrych krawędzi. Pomimo tych specyficznych cech wielu autorów analiz w omawianym temacie dokonuje szeregu uproszczeń, sprowadzając je do urabiania klasycznym nożem klinowym. Stąd też, jak należy sądzić, brak jest jednoznacznej interpretacji omawianych zjawisk jak i jednoznaczności wyników. Świadczą o tym choćby prace Evansa, który raz [10] sugeruje, iż wprowadzenie "punktowo" zakończonych ostrzy w miejsce klinowych powoduje pogorszenie uzyskiwanych efektów skrawania. Innym zaś razem [9] przekonuje, iż skrawaniu nożami klinowymi i stożkowymi towarzyszą te same zjawiska, a zatem i takie same efekty skrawania. Część autorów uważa [7, 8], iż "punktowe" działanie noża stoż-

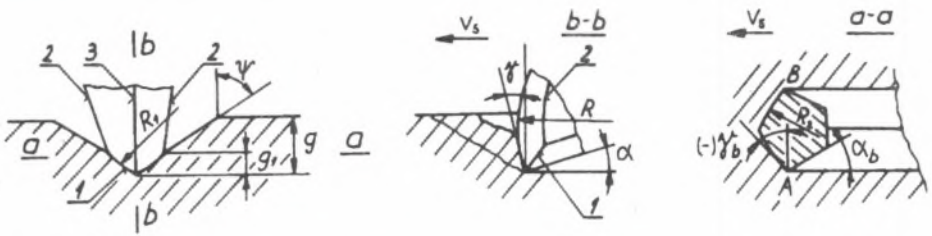
kowego umieszczonego stycznie wymaga znacznie mniejszej energii wglębienia niż noża płaskiego, umieszczonego promieniowo. Inni (np. [11]), iż jest wręcz odwrotnie. Spotykać można również twierdzenia [13], iż (z uwagi na różny przebieg zużywania się) omawiane noże w trakcie eksploatacji urabiają z jednakową siłą skrawania jednakowe ilości urobku, a w konsekwencji urabiają z jednakową jednostkową energią urabiania. Temu zaś z kolei przeczą wyniki badań np. [11], które ponadto (i co najistotniejsze) kwestionują dotychczas sugerowaną większą trwałość noży stożkowych w stosunku do noży o innych konstrukcjach.

Zakłada się ponadto, iż ostrze klinowe skrawa brzdę z dnem o szerokości ostrza, które powierzchnie boczne nachylone są pod kątem bocznego rozkruszania. W przypadku odpowiednio dużych kątów przyłożenia kontakt narzędzia ze skałą odbywa się w zasadzie wzdłuż głównej krawędzi skrawającej oraz powierzchni natarcia. Kontakt bocznych powierzchni ostrza ze skałą tak jak również tarcie głównej krawędzi skrawającej o dno brzdzy w zasadzie pomija się [10]. Podobnie rozważa się oddziaływanie na skałę ostrzy o "punktowym" zakończeniu (np. stożkowym). Jako najważniejsze zjawiska, które odróżniają ich pracę od noży klinowych [10, 26], podaje się: dużą koncentrację przekazywanej energii, łatwiejszą penetrację początkową spękań (dzięki ostremu wierzchołkowi) oraz możliwość bocznego intensywnego rozkruszania skały ułatwiającego proces skrawania.

Bliższa jednak analiza hipotetycznego przebiegu procesów skrawania tymi ostrzami pozwala zauważyć, iż zupełnie inne zjawiska powinny występować przy urabianiu ostrzem klinowym, inne zaś np. przy stożkowym czy "soczewkowym" (co nie jest bez znaczenia dla wielkości uzyskiwanych efektów skrawania). W przypadku ostrza "soczewkowego" można sugerować, iż przekrój skrawu będzie przyjmować kształt zbliżony do trójkąta. Stały kontakt krawędzi skrawających ostrza (główny i boczny) istnieć będzie do pewnej głębokości skrawu (g_1 , rys.1), zależnie (między innymi) od skrawanej skały oraz parametrów noża.

Oddziaływanie na skałę tak ukształtowanego ostrza, w miejscu gdzie urabiana skała nie ulega wykruszeniu (przekrój a-a, poprowadzony w dowolnej odległości od dna brzdzy, jednak mniejszej od g_1), można porównać do skrawania ostrzem o ujemnych kątach natarcia (przekrój a-a, punkty A, B), jednak posiadającego ostre krawędzie skrawające oraz dodatnie wartości kątów przyłożenia.

Sytuacja się nieco komplikuje, jeśli ostrzu nadać kształt stożkowy (rys.2). Kontakt bocznych powierzchni ostrza ze skałą, jak można przypuszczać, najbardziej intensywnie będzie przebiegać do pewnej głębokości skrawu g_1 (od której pojawią się boczne wykruszenia skały) i przebiegać będzie, nie jak poprzednio, wzdłuż ostrej krawędzi, lecz wzdłuż poboczniczy stożka nachylonego w kierunku skrawania pod kątem ustawienia noża. Dokonując jak poprzednio - dowolnego przekroju płaszczyzną równoległą do kierunku skrawania (przekrój a-a, rys.2.) w strefie, gdzie nie następuje boczne wykruszenie skały, uzyskuje się eliptyczny kształt przekroju ostrza. Wielkość tego przekroju zależy od parametrów ostrza, tj. kątów ostrza, ustawienia i obrotu, oraz od odległości od dna brzdzy, w jakiej przeprowadzony będzie rozpatrywany przekrój. Wzajemne oddziaływanie skały i ostrza na jego bocznych powierzchniach (przekrój a-a, wg osi symetrii punkty A, B) można więc porównać do oddziaływania na skałę tępym ostrzem (o dużym promieniu stępienia). Należy również zauważyć, iż ostrze to jest ostre w kierunku skrawania jedynie

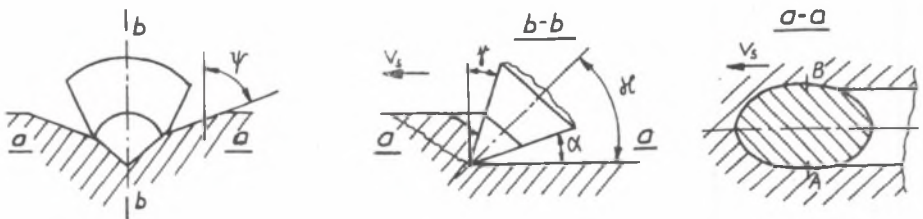


Rys.1. Przekrój skrawu uzyskiwanego nożem soczewkowym: 1 - główna krawędź skrawająca, 2 - boczna krawędź skrawająca, 3 - wyprzedzająca krawędź skrawająca
 Fig.1. Cut section obtained with a lenticle tool 1 - main cutting edge, 2 - side cutting edge, 3 - advance cutting edge

w przekroju osiowym. Z uwagi na specyficzną konstrukcję, w każdym innym przekroju można szukać analogii do oddziaływania ostrzem stępionym. Należy się więc spodziewać wbrew dotychczas prezentowanym opiniom, iż przebieg zjawisk towarzyszących urabianiu nożami o tak ukształtowanym ostrzach jak i uzyskiwane efekty będą inne niż przy urabianiu nożami o klasycznych ostrzach klinowych.

Tak więc przedstawione kontrowersje dotyczące między innymi:

- wpływu przestrzennie ukształtowanej powierzchni natarcia i przyłożenia oraz sposobu przejścia jednej powierzchni w drugą na uzyskiwane efekty skrawania,
- interpretacji zjawisk zachodzących podczas skrawania na styku skały i bocznych powierzchni ostrza posiadającego przestrzennie ukształtowane powierzchnie natarcia i przyłożenia,
- przypisywaniu na zmianę to nożom klinowym (o różnych konstrukcjach ostrzy), to stożkowym korzystniejszych efektów urabiania (szczególnie przy skrawaniu skał zwięzłych i działających ściernie), były przyczyną podjęcia badań [14] w prezentowanym temacie.



Rys. 2. Kształt brzozy uzyskiwanej przy skrawaniu nożem stożkowym
 Fig. 2. Groove shape obtained with a conical cutting tool.

2. OPIS BADAŃ I UZYSKANYCH WYNIKÓW

Celem badań była więc próba określenia wpływu wypukłych powierzchni natarcia i przyłożenia oraz istnienia ostrych krawędzi na tych powierzchniach jak i na ich styku na przebieg procesu skrawania, a w szczególności uzyskiwane efekty przy takich parametrach, jak kąt natarcia, przyłożenia i ostrza oraz wielkości rzutu powierzchni natarcia na płaszczyznę prostopadłą do kierunku skrawania (A_n) mających zbliżone wartości.

Cel ten zrealizowano na stanowisku badawczym, w warunkach laboratoryjnych, z wykorzystaniem tensometrycznej metody pomiaru sił i przy zastosowaniu odpowiednio wybranych noży i skał.

Dokonując wyboru noży kierowano się między innymi następującymi kryteriami:

- noże powinny posiadać wypukłe, przestrzenne formy powierzchni natarcia i przyłożenia, różnić się mogą istnieniem ostrych krawędzi na tych powierzchniach bądź na ich styku,
- kształt zarysu ostrzy noży w kierunku skrawania powinien być porównywalny (aby nie powstawały dodatkowe efekty zależne np. od proporcji szerokości noża do głębokości skrawania),
- wielkości rzutów powierzchni natarcia (zależne między innymi od podziałki i głębokości skrawania) na płaszczyznę prostopadłą do kierunku skrawania powinny być porównywalne,
- noże powinny posiadać zbliżone wartości kątów natarcia,
- noże powinny posiadać predyspozycje do urabiania skał zwięzłych, co jest niezbędne w przypadku maszyn chodnikowych.

Biorąc powyższe pod uwagę, do badań wybrano (rys.3):

- seryjnie produkowany nóż promieniowy typu Rapid 83 (NKP-s) zbrojony "soczewkowo" ukształtowanym węglikiem, posiadający boczne kąty przyłożenia $\alpha_0 = 3^\circ 30'$, kąt rozwarcia wycinków przestrzennych powierzchni tworzących powierzchnię natarcia równy 120° , kąt przyłożenia równy 10° oraz kąt natarcia równy (-10°) dla głębokości skrawania ≤ 12 mm oraz 15° dla głębokości większych.
- seryjnie produkowany nóż stożkowy typu AM 50/ ϕ 18 o kącie ostrza równym 96° oraz kącie przyłożenia i natarcia równym (-3°) (mierzonych w przekroju osiowym noża),
- laboratoryjny nóż stożkowy o kącie ostrza noża (stożka) równym 76° oraz kącie przyłożenia i natarcia równym 7° (mierzonych w przekroju osiowym noża).

Przyjęto, iż kąt ustawienia noży stożkowych wynosić będzie 45° , a kąt bocznego wychYLENIA (obrotu) 0° .

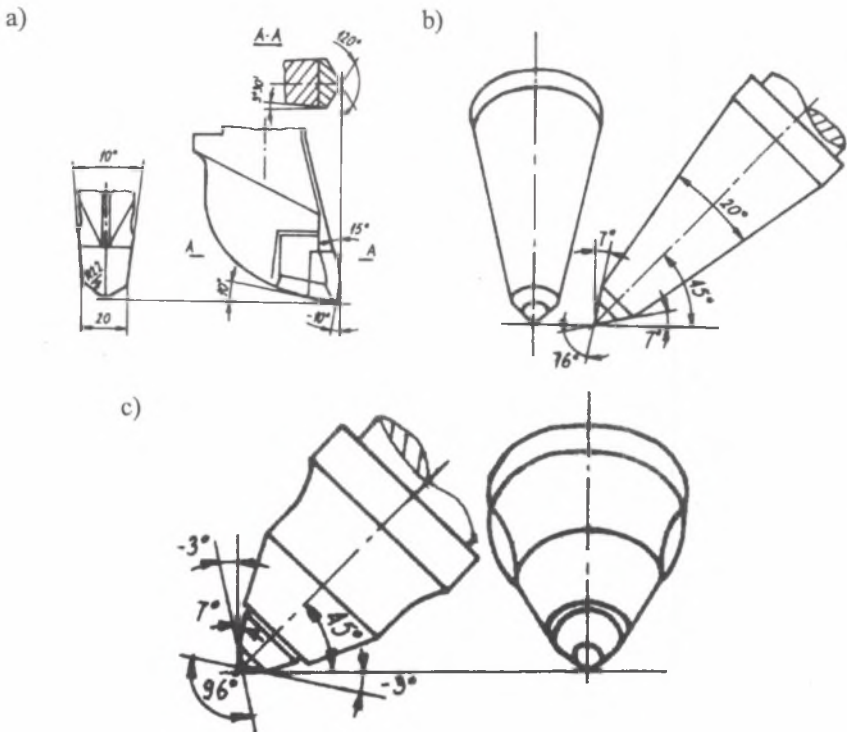
W celu uzyskania możliwie powtarzalnych wyników, nadających się do jednoznacznego wnioskowania, należało skrawać skały o strukturze jak najbardziej jednolitej, pozbawionej wyraźnej łupności i uławicenia. Pod względem zwięzłości oraz parametrów wytrzymałościowych powinny one odpowiadać skałom, najczęściej spotykanym w Polsce przy eksploatacji górniczej.

Opierając się na tych kryteriach wybrano do badań skały:

- wapień drobnziarnisty pochodzący z kamieniołomu Pińczowskich Zakładów Kamienia Budowlanego w Pińczowie,

- piaskowiec drobnoziarnisty, jasnoszary o spoiwie ilasto-krzemiankowym, w skali makroskopowej charakteryzujący się jednorodną strukturą, z brakiem wyraźnych płaszczyzn osłabionej spójności.

W badaniach właściwości skał ograniczono się tylko do określenia masy właściwej skał oraz wytrzymałości skały na jednoosiowe ściskanie (oprócz wytrzymałości na rozciąganie i ścieranie skały, najistotniejsze kryterium przy doborze maszyn chodnikowych).



Rys.3. Parametry noży użytych do badań: a) soczewkowego, b) laboratoryjnego, c) typu AM 50

Fig.3. Parameters of tools used in the experiment: a) lenticle tool, b) laboratory tool, c) AM 50 tool

Pozostałe parametry przyjęto za Centralnym Laboratorium Surowców Chemicznych w Krakowie.

Do realizacji badań wykorzystano stanowisko badawcze, w skład którego wchodziły:

- siłomierz tensometryczny,
- strugarka poprzeczna SP-800, o mocy 7 kW,

- komplet uchwytów do mocowania skrawanych próbek,
- elektromagnetyczny znacznik odcinka pomiarowego,
- nóż do wyrównywania powierzchni próbki.

Siłomierz tensometryczny połączony był elektrycznie z aparaturą wzmacniająco-rejestrującą, którą stanowiły:

- wzmacniacz sygnałów elektrycznych typu TT-6c,
- oscylograf pętlicowy prod. radzieckiej typu NO-30A.

Na podstawie danych literaturowych, chrakteru pracy, stosowanych i uzyskiwanych przez kombajny chodnikowe parametrów skrawania, możliwości wykorzystanej do badań strugarki oraz siłomierza tensometrycznego, przyjęto następujące parametry skrawania:

- podziałkę $t = 20, 40, 60$ (mm),
- głębokość $g = 6, 12, 18$ (mm),
- prędkość skrawania $V_s = 0,6$ (m/s).

Tak dobrane parametry mieszczą się więc w przedziale parametrów skrawania uzyskiwanych przez kombajny chodnikowe.

Długość skrawu pomiarowego wynosiła 0,2 m przy całkowitej długości skrawu (równej długości próbki) wynoszącej 0,45 m.

Jak już wspomniano, metodą tensometryczną mierzono siłę skrawania i docisku. W trakcie badań określono masę uzyskiwanego urobku celem wyznaczenia jednostkowej energii urabiania zależnie od typu noża, urabialnej skały i parametrów skrawania. Aby umożliwić przeprowadzenie pełniejszej analizy, dla każdego z noży wyznaczono wielkości rzutu powierzchni natarcia na płaszczyznę prostopadłą do kierunku skrawania (A_n) zależnie od podziałki i głębokości skrawania.

Skrawaniu poddawane były bloki skalne owymiarach 0,6 x 0,45 x 0,3 m. Przed rozpoczęciem każdej serii pomiarów powierzchnia bloku była równana, a w odległości od brze-

Tablica 1

Właściwość	Skała	
	Wapień	Piaskowiec
Doraźna wytrzymałość na ściskanie R_c (MPa)	7,4	37,5
Stosunek R_c / R_t	8,1	15÷40
Masa właściwa (Mg/m ³)	1,64	2,85
Kąt tarcia wewnętrznego (°)	20÷45	32÷36
Kąt tarcia o stal - ρ_s (°)	20÷45	30

gu próbki, odpowiadającej wielkości $t/g = 10$, wykonywano skraw próbny (nie brany do analizy) o głębokości równej zaplanowanej serii pomiarów. Dopiero wtedy przystępowano do wykonania serii pomiarów o zaplanowanych parametrach skrawania.

W trakcie badań zwracano również uwagę na kształt odpajanych brył skalnych, zachowanie się odpajanej przed ostrzem skały, sposób oddziaływania bocznych powierzchni narzędzia na niewykruszoną skałę oraz cechy uzyskiwanej bruzdy. Celem pełniejszego poznania niektórych zjawisk prowadzono również modelowe próby skrawania tymi nożami silnie wysuszonego mydła.

W wyniku badań stwierdzono, iż przy skrawaniu np. nożem Rapid 83, przy większych podziałkach i głębokościach skrawania, dno otrzymywanej bruzdy, maksymalnie do wysokości 6÷7 mm, zależnie od parametrów skrawania, odpowiadało zarysowi narzędzia. Dopiero powyżej tej głębokości zaznaczał się wpływ kąta bocznego rozkruszania. Zauważono również, iż dno i boki bruzdy były podobne do uzyskiwanych w klasycznym procesie skrawania ostrym narzędziem, tj. pokryte były delikatną warstewką rozdrobnionej skały. Całość urobku, w tym i miał, wypchane były głównie ku górze bruzdy. W pobliżu wierzchołka ostrza zauważyć było można "przyklejoną" do powierzchni natarcia "zastoinę" ze zmiażdżonej skały.

Przebieg skrawania nożami stożkowymi różnił się zasadniczo od opisanego procesu skrawania nożem Rapid 83. Najistotniejszym zjawiskiem towarzyszącym skrawaniu piaskowca nożem AM 50/φ18 było powstawanie za nożem silnego iskrzenia. Na dnie i bokach bruzdy można było zauważyć "wstęge" sprasowanego miału (rys. 4). Przed wierzchołkiem ostrza noża dało się zauważyć występowanie strefy zmiażdżonej skały (rys. 5, biała plama przed ostrzem, ślad zmiany struktury materiału).

Próbom wycofania narzędzia (po zebraniu urobku z wykonanego skrawu), bez jego podnoszenia do góry, towarzyszyły znaczne opory tarcia noża o powierzchnie bruzdy.

Podobnie jak w przypadku skrawania nożem Rapid 83, skrawaniu z dużymi podziałkami i głębokościami towarzyszyło odpajanie brył w kształcie trójkąta lub olwału (rys. 6).

Przekrój skrawu przyjmował kształt trójkąta. Dno bruzdy, zależnie od parametrów skrawania, odwzorowywało kształt ostrza wynikający z jego kąтового ustawienia oraz stożkowego kształtu. Zjawisko to występowało maksymalnie do głębokości 7÷8 mm od dna bruzdy. Wytworzony przed ostrzem miał wypychany był nie tylko do góry lecz również, wciskany był pod ostrze i między ostrze a boczne powierzchnie bruzdy.

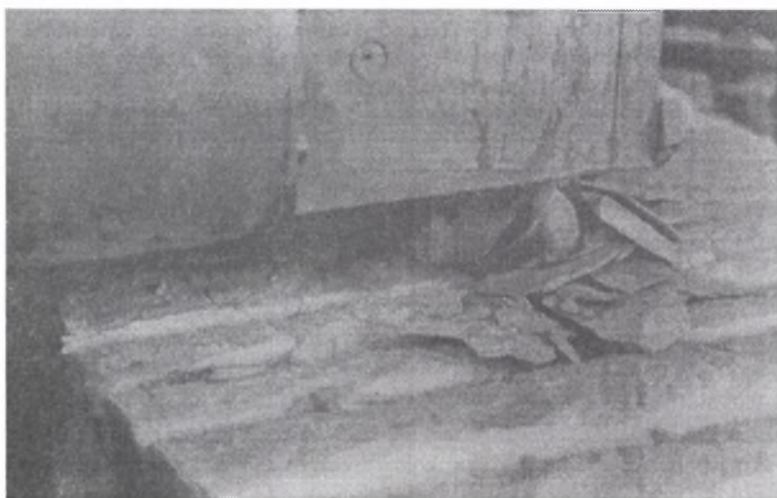
Skrawanie nożem laboratoryjnym przebiegało w sposób zbliżony do obserwowanego przy nożu AM 50. Intensywność iskrzenia i miażdżenia skały była jednak zdecydowanie mniejsza, jednak i w tym przypadku boczne powierzchnie bruzdy były pokryte cienką warstewką zmiażdżonej skały. Świadczy to o "spływie" miału w kierunku boków, stożkowo ukształtowanej powierzchni natarcia, gdzie następnie ulegał on miażdżeniu między ostrzem a nie wykruszoną skałą.

3. WYNIKI BADAŃ

W tablicach 2-7 przedstawiono parametry skrawania oraz średnie wartości wyników dla każdej serii pomiarów. Każda seria pomiarów zazwyczaj składała się z 7 pomiarów. Jednostkową energię urabiania wyznaczono z zależności:

$$E_j = \frac{\bar{P}_s \cdot l \cdot \rho}{m} ; \frac{\text{Nm}}{\text{m}^3} \text{ lub } \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \quad (1)$$

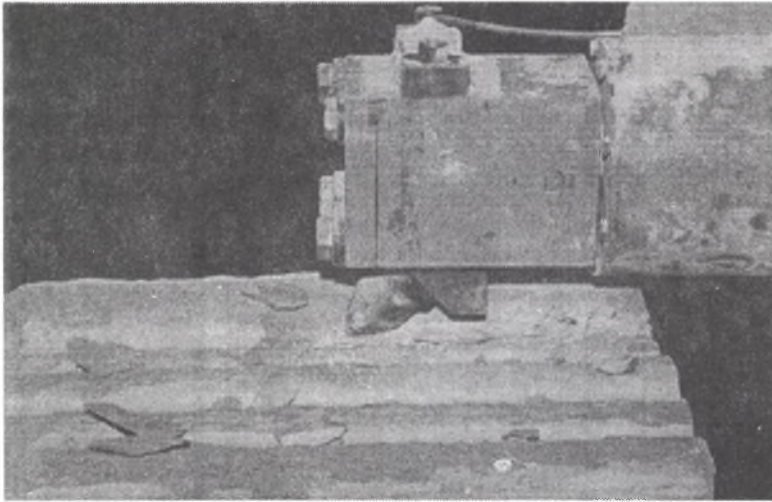
gdzie: \bar{P}_s - średnia wartość siły skrawania na długości odcinka pomiarowego, kN
 l - długość odcinka pomiarowego, m
 ρ - masa właściwa skały, Mg/m^3
 m - masa urobku uzyskanego z odcinka pomiarowego, g



Rys. 4. Miażdżenie miazdu przez ostrze noża AM 50
 Fig. 4. Fine Coal crushing by AM 50 cutting tool

Biorąc pod uwagę charakter rozkładu uzyskanych wyników na wstępnie sporządzanych wykresach korelacyjnych oraz z uwagi na występowanie w badaniach dwóch zmiennych tj. podziałki skrawania t oraz głębokości skrawania g , do opisu rozpatrywanych zależności - celem ułatwienia porównań - zaproponowano funkcję regresji wielorakiej nieliniowej typu potęgowej w postaci:

$$y = A t^a g^b$$



Rys. 5. Objawy występowania strefy sprasowania przed ostrzem noża AM 50 (ślady zmian struktury materiału, biała plama przed ostrzem)

Fig. 5. Manifestation of press zone occurrence ahead of AM 50 cutting tool (traces of material structure changes, white spot ahead of the cutting tool)

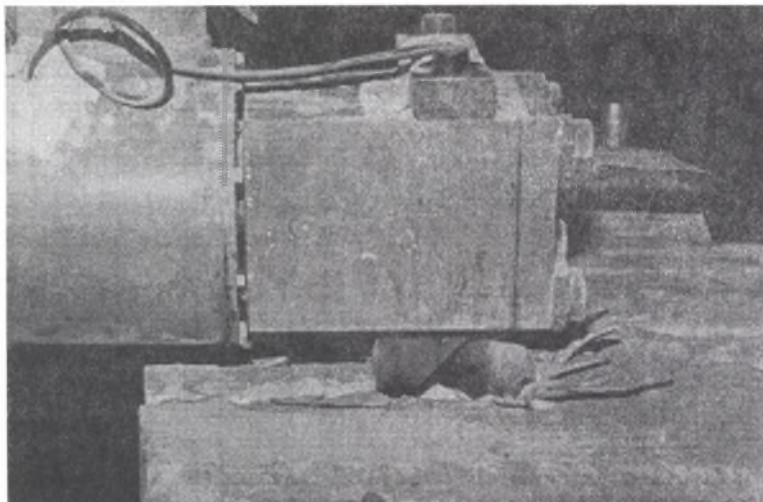
Wykorzystując komputer wyznaczono współczynnik regresji wielorakiej, wykładniki potęgowe oraz współczynnik korelacji wielorakiej R dla poszczególnych zależności. Użyte wyniki zamieszczono w tablicy 8 i 9.

W celu ułatwienia interpretacji omawianych zależności po dokonaniu odpowiednich podstawień (za t) oraz przeliczeń zagadnienia sprowadzono do rozważań na płaszczyźnie, co ilustrują wykresy zbiorcze (rys. 7÷11). Są to rysunki przykładowe i obejmują one jedynie przebieg określonych zależności uzyskanych przy skrawaniu piaskowca z $t = 60$ mm.

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, iż w przyjętym zakresie parametrów skrawania i dla badanych skał korzystniejsze jest skrawanie nożem soczewkowym (Rapid 83) w stosunku do noża stożkowego typu AM 50/ $\phi 18$ ponieważ:

- siła skrawania była około 2÷8 razy mniejsza przy skrawaniu piaskowca oraz 1,3÷2 razy mniejsza przy skrawaniu wapienia,
- siła docisku była mniejsza odpowiednio 4,4÷13,1 razy przy skrawaniu piaskowca i 1,18÷2 przy skrawaniu wapienia,
- jednostkowa energia urabiania była 2,37÷5,1 5 raza mniejsza przy skrawaniu piaskowca oraz 1,25÷1,67 przy skrawaniu wapienia.

Dysproporcje są bardziej wyraźne gdy, weźmie się pod uwagę nóż Rapid 83 oraz laboratoryjny. Nóż laboratoryjny, pomimo że miał najmniejszą powierzchnię (A_n) (0,62÷0,82 powierzchni noża Rapid) oraz stosunkowo duże dodatnie wartości kątów natarcia i przyłożenia (7°), skrawał np. piaskowiec z 1,3÷3,3 raza większą siłą skrawania, 1,9÷4,5 raza większą siłą docisku i z 1,19÷2,58 raza większą jednostkową energią urabiania niż nóż Rapid 83.



Rys. 6. Efekt oddziaływania na caliznę (piaskowiec) noża AM 50

Fig. 6. Effect of AM 50 cutting tool on the rock body (sandstone)

Biorąc pod uwagę wyniki uzyskane przy skrawaniu nożami stożkotwymi stwierdzono, iż skrawanie nożem AM 50/ ϕ 18 jest znacznie mniej korzystne niż laboratoryjnym, ponieważ :

- siła skrawania była około 2 razy większa, przy skrawaniu piaskowca i około 1,3 raza większa przy skrawaniu wapienia,
- siła docisku była większa 3÷4 razy przy skrawaniu piaskowca i około 2 raza przy skrawaniu wapienia,
- proporcja P_d/P_s była większa około 1,5 raza przy piaskowcu i około 1,7 raza przy wapieniu,
- jednostkowa energia urabiania była około 2 razy większa przy urabianiu piaskowca i 1,3 raza przy wapieniu.

4. FIZYCZNA INTERPRETACJA UZYSKANYCH WYNIKÓW

Znaczną rozpiętość uzyskanych wyników tłumaczyć można różnym przebiegiem procesów skrawania podczas urabiania poszczególnymi nożami. W szczególności dotyczy to wpływu niektórych parametrów i noży na powstanie i zachowanie się strefy sprasowania oraz na przebieg zjawisk zachodzących na styku bocznych powierzchni ostrza oraz nie-ykruszonej skały.

Tablica 2

Parametry oraz średnie wartości wyników skrawania piaskowca nożem Rapid 83

t	g	t/g	A_n	P_s	P_d	P_d/P_s	m	E_j
m m	m m		mm ²	k N	k N		g	Nm/m ³ x 10 ⁶
60	6	10,00	65	1,28	0,85	0,66	33,28	22,06
40	6	6,66	65	1,05	0,75	0,71	29,23	20,56
20	6	3,33	65	0,79	0,55	0,66	29,92	15,09
60	12	5,00	195	3,20	1,89	0,59	184,05	10,04
40	12	3,33	195	2,35	1,45	0,61	138,92	9,90
20	12	1,66	185	2,05	1,34	0,64	84,03	14,01
60	18	3,33	325	5,23	2,98	0,57	317,58	9,39
40	18	2,22	325	4,18	2,65	0,63	226,73	10,58
20	18	1,11	300	4,07	2,63	0,65	142,18	16,27

Tablica 3

Parametry oraz średnie wartości wyników skrawania piaskowca nożem AM 50/φ18

t	g	t/g	A_n	P_s	P_d	P_d/P_s	m	E_j
m m	m m		mm ²	k N	k N		g	Nm/m ³ x 10 ⁶
60	6	10,00	60	7,09	10,39	1,47	40,23	101,02
40	6	6,66	60	6,79	9,83	1,45	41,70	93,15
20	6	3,33	60	6,02	8,36	1,39	42,13	81,71
60	12	5,00	220	10,06	13,90	1,38	148,07	38,78
40	12	3,33	220	9,10	12,24	1,34	142,68	36,52
20	12	1,66	195	8,70	10,27	1,18	96,01	51,68
60	18	3,33	380	11,99	16,53	1,38	304,86	22,45
40	18	2,22	380	10,31	14,47	1,40	242,46	24,26
20	18	1,11	300	9,00	11,68	1,30	161,53	32,28

Tablica 4

Parametry oraz średnie wartości wyników skrawania piaskowca nożem laboratoryjnym

t	g	t/g	A _n	P _s	P _d	P _d /P _s	m	E _J
m m	m m		mm ²	k N	k N		g	Nm/m ³ x 10 ⁶
6 0	6	10,00	4 0	3,92	3,35	0,86	41,33	54,40
4 0	6	6,66	4 0	3,61	3,17	0,88	45,09	45,64
2 0	6	3,33	4 0	3,15	2,74	0,87	41,27	43,59
6 0	12	5,00	140	5,28	4,93	0,93	159,57	18,84
4 0	12	3,33	140	4,16	4,03	0,97	147,56	16,10
2 0	12	1,66	140	3,66	3,40	0,93	90,72	22,97
6 0	18	3,33	255	6,81	6,06	0,89	290,55	13,35
4 0	18	2,22	255	5,76	5,18	0,90	253,93	12,72
2 0	18	1,11	245	4,74	4,24	0,89	156,49	17,25

Tablica 5

Parametry oraz średnie wartości wyników skrawania wapienia nożem laboratoryjnym

t	g	t/g	A _n	P _s	P _d	P _d /P _s	m	E _J
m m	m m		mm ²	k N	k N		g	Nm/m ³ x 10 ⁶
6 0	6	10,00	4 0	0,96	0,52	0,53	23,30	13,45
4 0	6	6,66	4 0	0,89	0,47	0,52	22,23	13,10
2 0	6	3,33	4 0	0,83	0,46	0,55	29,76	9,27
6 0	12	5,00	140	1,82	0,76	0,42	83,18	7,18
4 0	12	3,33	140	1,68	0,69	0,41	82,90	6,67
2 0	12	1,66	140	1,09	0,51	0,47	62,11	5,71
6 0	18	3,33	255	3,23	0,39	0,39	195,57	5,41
4 0	18	2,22	255	2,61	0,37	0,37	169,55	5,05
2 0	18	1,11	245	1,92	0,49	0,49	111,19	5,67

Tablica 6

Parametry oraz średnie wartości wyników skrawania wapienia nożem Rapid 83

t	g	t/g	A _n	P _s	P _d	P _d /P _s	m	E _j
m m	m m		mm ²	k N	k N		g	Nm/m ³ x 10 ⁶
60	6	10,00	65	0,71	0,36	0,51	24,95	9,33
40	6	6,66	65	0,63	0,34	0,54	22,98	9,05
20	6	3,33	65	0,58	0,34	0,6	24,87	7,61
60	12	5,00	195	1,7	0,56	0,33	84,31	6,62
40	12	3,33	195	1,45	0,46	0,32	89,18	5,32
20	12	1,66	185	1,09	0,44	0,4	72,32	4,96
60	18	3,33	325	2,67	0,69	0,26	166,38	5,27
40	18	2,22	325	2,13	0,62	0,29	181,34	3,85
20	18	1,11	300	1,44	0,51	0,35	115,6	4,09

Tablica 7

Parametry oraz średnie wartości wyników skrawania wapienia nożem AM 50/φ18

t	g	t/g	A _n	P _s	P _d	P _d /P _s	m	E _j
m m	m m		mm ²	k N	k N		g	Nm/m ³ x 10 ⁶
60	6	10,00	60	1,36	1,23	0,91	27,76	16,10
40	6	6,66	60	1,26	1,17	0,93	27,77	14,97
20	6	3,33	60	0,99	0,94	0,95	24,82	13,09
60	12	5,00	220	2,84	2,13	0,75	110,53	8,00
40	12	3,33	220	2,40	1,70	0,71	100,92	7,80
20	12	1,66	195	1,59	1,31	0,82	80,34	6,52
60	18	3,33	380	3,94	2,29	0,58	185,84	6,93
40	18	2,22	380	2,77	1,78	0,64	181,26	4,99
20	18	1,11	300	1,91	1,48	0,78	123,76	5,07

Tablica 8

Zależności empiryczne uzyskane dla skrawania wapienia na podstawie przyjętego modelu

Typ noża Zależność	Rapid 83	R	Laboratoryjny	R	AM 50/φ18	R
$P_s=f(t,g)$	$0,0247t^{0,381}g^{1,056}$	0,99	$0,0448t^{0,361}g^{0,927}$	0,97	$0,0519t^{0,492}g^{0,775}$	0,98
$P_d=f(t,g)$	$0,0751t^{0,175}g^{0,175}$	0,98	$0,0591t^{0,243}g^{0,687}$	0,94	$0,136t^{0,357}g^{0,47}$	0,97
$P_d/P_s=f(t,g)$	$3,096t^{-0,203}g^{-0,567}$	0,99	$1,257t^{-0,127}g^{-0,237}$	0,9	$2,629t^{-0,135}g^{-0,308}$	0,95
$m=f(t,g)$	$0,658t^{0,171}g^{1,678}$	0,99	$0,647t^{0,187}g^{1,655}$	0,98	$0,515t^{0,283}g^{1,166}$	0,99
$E_j=f(t,g)$	$12,285t^{0,211}g^{-0,622}$	0,98	$23,093t^{0,17}g^{-0,73}$	0,96	$0,0519t^{0,211}g^{-0,889}$	0,99

Tablica 9

Zależności empiryczne uzyskane dla skrawania piaskowca na podstawie przyjętego modelu

Typ noża Zależność	Rapid 83	R	Laboratoryjny	R	AM 50/φ18	R
$P_s=f(t,g)$	$0,0269t^{0,342}g^{1,338}$	0,99	$0,598t^{0,28}g^{0,42}$	0,96	$1,684t^{0,177}g^{0,417}$	0,98
$P_d=f(t,g)$	$0,0296t^{0,265}g^{1,227}$	0,99	$0,499t^{0,28}g^{0,46}$	0,99	$1,934t^{0,263}g^{0,358}$	0,99
$P_d/P_s=f(t,g)$	$0,972t^{-0,058}g^{-0,091}$	0,79	$0,831t^{0,0002}g^{0,034}$	0,43	$1,155t^{0,086}g^{-0,061}$	0,78
$m=f(t,g)$	$0,203t^{0,508}g^{1,81}$	0,98	$0,722t^{0,38}g^{1,53}$	0,98	$0,811t^{0,318}g^{1,563}$	0,99
$E_j=f(t,g)$	$74,699t^{-0,161}g^{-0,473}$	0,74	$479,61t^{-0,1}g^{-1,12}$	0,97	$1198,476t^{-0,144}g^{-1,146}$	0,98

R - współczynnik korelacji wielorakiej

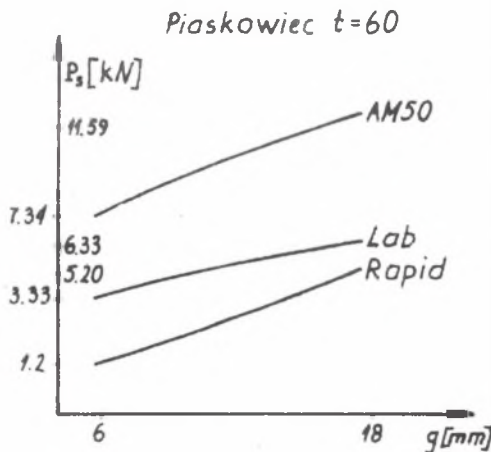
 P_s [kN], t [mm], g [mm] P_d [kN]

m [g] - ilość masy uzyskiwanej z odcinka pomiarowego, L = 0,2 m

 E_j [MJ/m³]

Stąd też istniejące w ostrzu noża Rapid (rys. 12) ostre krawędzie skrawające pozwalają na łatwiejsze, niż w nożu stożkowym, oddzielenie brył urobku od calizny wzdłuż powierzchni skrawania (przyjmującej kształt zarysu ostrza i powstającej w wyniku zmiany jego położenia w trakcie skrawania). Wymienione krawędzie oraz dodatnie wartości bocznych kątów przyłożenia powodują, iż kontakt bocznych powierzchni ostrza ze skałą, w zasadzie ogranicza się do krawędzi skrawających bądź niewielkiej przyległej im strefy. Pomimo ujemnego kąta natarcia miał ze strefy sprasowania wciskany jest ku górze bruzdy (przerwane strzałki-rys. 12) wzdłuż powierzchni natarcia. Procesowi temu sprzyja duży promień krzywizny (~ 34 mm) wycinków przestrzennej powierzchni, które tworzą powierzchnię natarcia oraz duży ($\sim 120^\circ$) kąt "kliny" jaki te wycinki tworzą. Powstaje więc zespół zjawisk, które powodują, iż w strefie gdzie nie następują boczne wykruszenia skały, urobek jest jakby garnięty przed ostrzem i wypychany do góry. Skutkiem zaś istnienia ujemnego kąta natarcia było obserwowane w trakcie badań zjawisko przywierania do ostrza (w popliżu wierzchołka) części sprasowanego miału i tworzenie się zastoiny.

Bardziej złożone zjawiska zachodzą przy urabianiu nożem stożkowym np. laboratoryjnym (rys. 13). Eliptyczny zarys przekroju, ostrza sprawia, iż pojawia się tutaj tendencja do wciskania miału między boczne powierzchnie ostrza a niewykruszoną skałę. Równocześnie zaś (niejako "samoistnie" przejście powierzchni natarcia w powierzchnię przyłożenia powoduje, iż kontakt bocznych powierzchni ostrza z niewykruszoną skałą odbywa się na znacznej powierzchni, zależnie od parametrów ostrza i parametrów skrawania. Można tutaj mówić o pewnej analogii do oddziaływania silnie stępionego ostrza o dużym promieniu stępienia. Dzieje się tak z uwagi na specyficzny kształt ostrza oraz pomimo, iż ostrze było technicznie ostre. Istnieje tutaj właściwie jeden (osiowy) i w dotychczas pre-



Rys. 7. Zależność siły skrawania P_s od głębokości skrawu g dla poszczególnych noży ($t = 60$ mm, piaskowiec)

Fig. 7. Dependence of the cutting force (P_s) on cut depth g for the particular tools ($t = 60$ mm, sandstone)

zentowanych analizach jedynie brany pod uwagę przekrój, w którym narzędzie można traktować jako ostre.

W konsekwencji więc na boczne powierzchnie stożkowego ostrza działać będą znaczne siły nacisku (N) oraz związane z nim duże siły tarcia (T) ostrza o niewykruszona skałę. W efekcie również rozpraszanie dostarczanej do ostrza energii jest duże i zachodzi głównie w procesie sprężystego odkształcenia, miażdżenia skały oraz tarcia ostrza o skałę.

W przypadku wykorzystanego do badań noża AM 50/ ϕ 18 (rys. 14) opisane zjawiska potęgują się z uwagi na większy kąt stożka oraz ujemny kąt przyłożenia (w przekroju osiowym), zmienia się również kształt bruzdy. Pojawia się dodatkowo tendencja do wciśnięcia miąta pod ostrze oraz silne odkształcenia i miażdżenie skały w tej strefie.

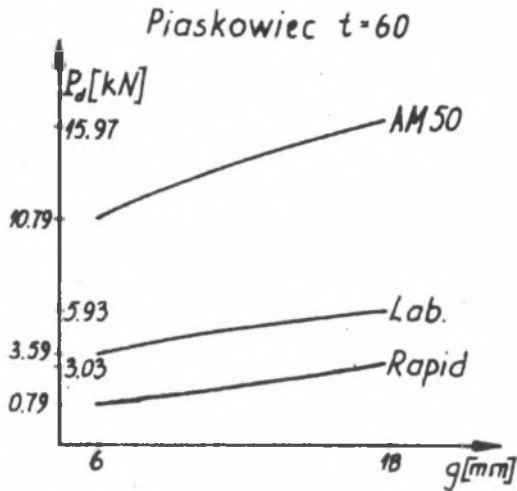
Strefa kontaktu bocznych powierzchni ostrza ze skałą będzie tutaj największa z rozpatrywanych przypadków. Stąd też siły nacisku i tarcia oraz rozpraszanie energii będą tutaj największe.

5. PODSUMOWANIE

Na podstawie dokonanych obserwacji oraz uzyskanych wyników badań można stwierdzić, iż decydującym czynnikiem powodującym, że nóż Rapid 83 skrawał najefektywniej spośród badanych noży, był fakt posiadania przez ten nóż wypukłych powierzchni natarcia i przyłożenia w powiązaniu z istnieniem ostrych krawędzi na tych powierzchniach i na ich styku. Istotne znaczenie ma tutaj ostra krawędź na powierzchni natarcia (powodująca powstawanie efektu działania klina), a zwłaszcza wynikłe ze sposobu ukształtowania powierzchni natarcia i przyłożenia ostre boczne krawędzie skrawające. Czynniki te powodują, iż w trakcie skrawania ułatwione jest wyciskanie ku powierzchni bruzdy urobionej skały oraz korzystniejsze jest wnikanie ostrza w skałę. Ostre krawędzie boczne oraz istniejące kąty przyłożenia (tylny i boczne) stwarzają warunki do zachowania w trakcie skrawania właściwego luzu między ostrzem a powierzchnią uzyskiwanej bruzdy. W stosunku do stycznych noży o ostrzach stożkowych powoduje to istotne zmniejszenie siły tarcia o powierzchnię i dno bruzdy (co obserwowano w trakcie badań) oraz zapobiega miażdżeniu skały między nożem a powierzchnią bruzdy

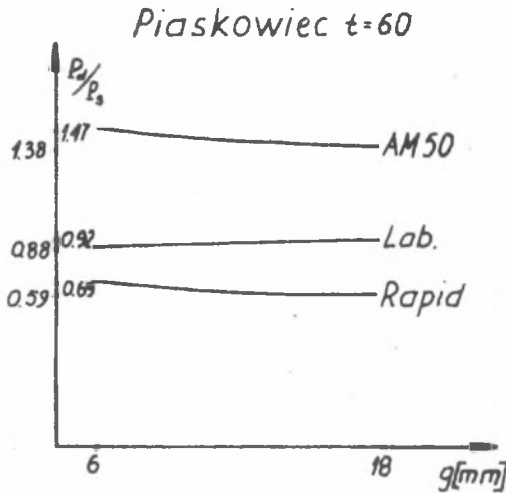
W stosunku do badań prowadzonych w innych ośrodkach, [13, 28] uzyskane wyniki pozwalają w sposób jednoznaczny określić różnice w uzyskiwanych efektach skrawania omawianymi nożami oraz ułatwiają interpretację zjawisk towarzyszących tym procesom. Natomiast przedstawione w publikacjach [7, 8, 25] sugestie, iż punktowe działania noża stożkowego umieszczonego stycznie wymaga znacznie mniejszej energii wgłębiania niż promieniowe, w świetle przedstawionych wyników nie znajdują potwierdzenia.

Uzyskane wyniki dostarczają ponadto cennych spostrzeżeń odnośnie do stosowania i konstrukcji samych noży stożkowych. Z badań wynika, iż za nieuzasadnione należy uznać stosowanie noży stożkowych o kątach ostrza (stożka) większych od 90° (przy kącie ustawienia bliskim 45°). Pomimo iż nóż AM 50/ ϕ 18 posiadał około 1,2 większą powierzchnię (A_n) od noża laboratoryjnego, skrawał on średnio aż z dwukrotnie większą siłą skrawania,



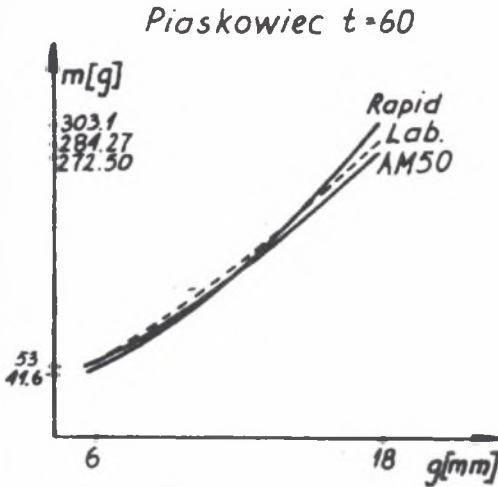
Rys. 8. Zależność siły docisku P_d od głębokości skrawu g dla poszczególnych noży ($t = 60$ mm, piaskowiec)

Fig. 8. Dependence of normal force (P_d) on cut depth g for the particular tools ($t = 60$ mm, sandstone)



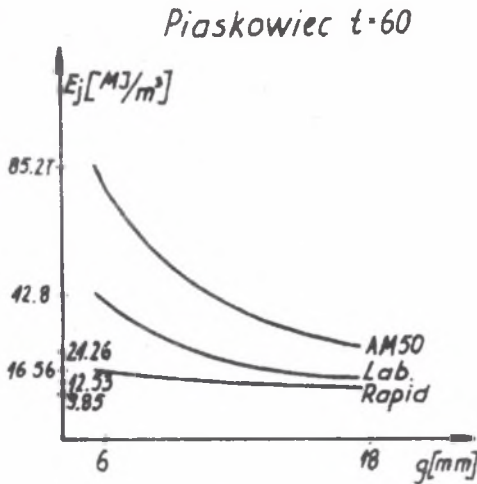
Rys. 9. Zależność proporcji P_d/P_s od głębokości skrawania g

Fig. 9. Dependence of P_d/P_s proportion on cut depth g



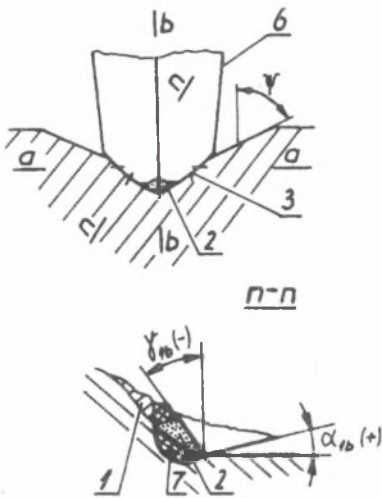
Rys. 10. Zależność uzyskiwanej z odcinka pomiarowego masy urobku (m) od głębokości skrawania g

Fig. 10. Dependence of output mass obtained from measuring length on cutting depth g



Rys. 11. Przebieg zmian jednostkowej energii urabiania E_j w funkcji zmiany głębokości

Fig. 11. Course of unit cutting energy change E_j with respect to cut depth change



Rys. 12. Oddziaływanie ostrza "soczewkowego" na skałę

- 1 - odspajany "wiór",
- 2 - strefa zmiażdżonej skały,
- 3 - główna krawędź skrawająca,
- 4 - wyprzedzająca krawędź skrawająca,
- 5 - przywarta do ostrza zmiażdżona skała,
- 6 - boczna krawędź skrawająca,
- 7 - hipotetyczny kształt strefy sprasowania

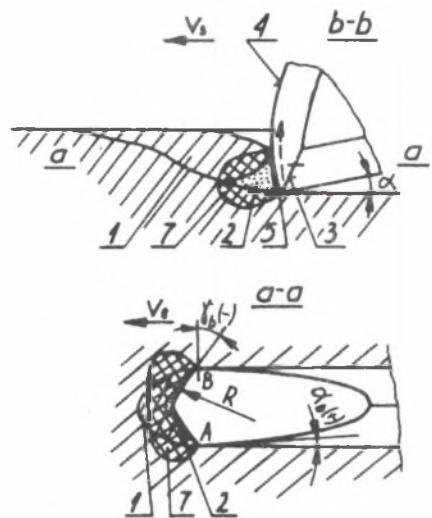
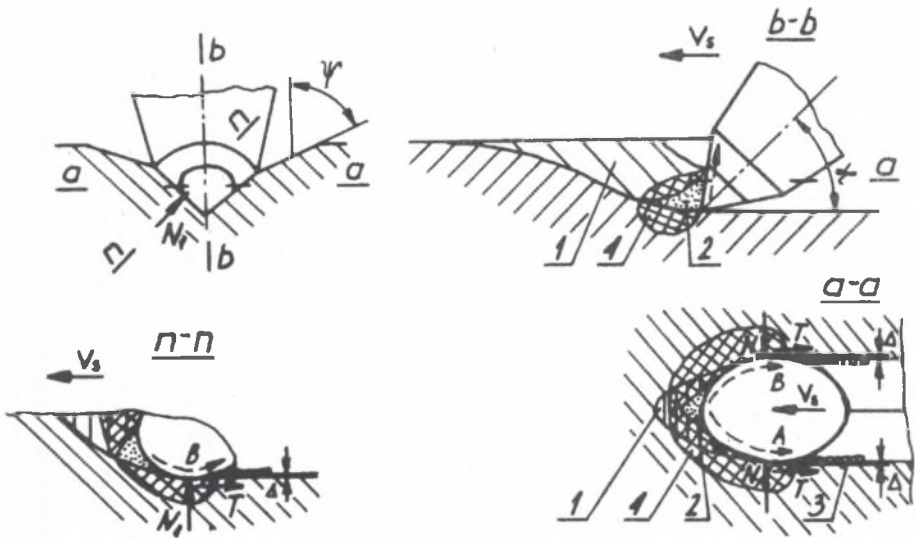


Fig. 12. Effect of lenticle tool on rock

- 1 - loosened "chip",
- 2 - crushed rock zone,
- 3 - main cutting edge,
- 4 - advance cutting edge,
- 5 - crushed rock sticking to the cutting edge,
- 6 - side cutting edge,
- 7 - hypothetical shape of press zone

prawie trzykrotnie większa siła docisku oraz prawie dwukrotnie większą jednostkową energią urabiania. Z danych literaturowych wynika, iż optymalna wielkość kąta przyłożenia dla noży stożkowych wynosi 10° . Aby taki kąt uzyskać np. dla noża AM 50/ ϕ 18 (o kącie stożka 96°) należałoby zastosować kąt ustawienia równy 58° , a w konsekwencji powstały kąt natarcia miałby wartość około (-16°) . Gwałtownie pogorszyłyby się wtedy efekty skrawania. Zastosowanie natomiast mniejszych kątów ustawienia powodowałoby zmniejszenie kąta przyłożenia oraz efekty opisane powyżej. Już z tej krótkiej analizy wynika, jak ważne jest (w przypadku noży stożkowych) zachowanie odpowiedniej wielkości kątów, a zwłaszcza ruchomych kątów przyłożenia.

Dodatkowym czynnikiem przemawiającym za nieuzasadnionym stosowaniem większych wartości kątów stożka jest przebieg zużywania się tego typu ostrza. Z publikacji [18, 23, 25] wynika, iż najszybciej, używa się wierzchołek narzędzia. Stopniowo dochodzi do tego, iż w granicznych, obserwowanych przypadkach kąt wierzchołkowy ostrza stożkowego wzrasta nawet do 120° . W konsekwencji siła docisku gwałtownie rośnie i może osiągnąć nawet pięciokrotną wartość siły skrawania. Dzieje się tak między innymi dlate-



Rys. 13. Oddziaływanie na skałę ostrza stożkowego (nóż laboratoryjny)
 1 - odpajana bryła skalna,
 2 - zmiądzłona część strefy sprasowania,
 3 - skała wprasowana w boczne powierzchnie bruzdy

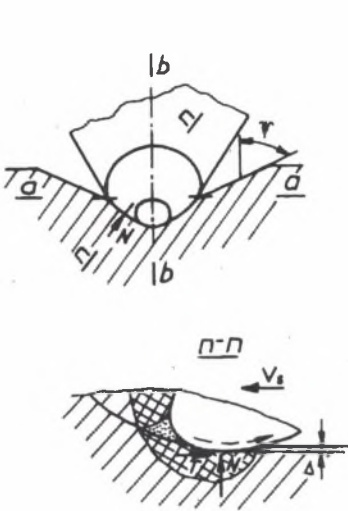
Fig. 13. Effect of conical cutting tool on rock (laboratory tool)
 1 - loosened rock,
 2 - crushed part of press zone,
 3 - rock pressed into side surface grooves

go, iż wskutek stępienia powstaje ujemny kąt przyłożenia. Stosowanie więc stożka większego od 90° jest jakby sztucznie przyspieszonym tępieniem ostrza, co w części potwierdzają niniejsze badania.

Podsumowując powyższe rozważania należy stwierdzić, iż z uwagi na uzyskiwane wartości sił i jednostkową energię urabiania korzystniejsze byłoby zastosowanie organu (np. podłużnego) wyposażonego w badane noże promieniowe. Przy sygnalizowej ostatnio w literaturze [11] większej trwałości noży promieniowych typ Rapid 83 w stosunku do noży AM 50 pozwoli to na znaczną poprawę procesu urabiania skał przy użyciu chodnikowych maszyn urabiających.

Wreszcie poruszyć tutaj należy jeszcze jedno zagadnienie tj. słuszności (w świetle zaprezentowanych badań) stosowania do obliczania sił działających na ostrze stożkowe dotychczasowych wzorów empirycznych lub teoretycznych. Dla przykładu w tablicy 10 podano wartości sił skrawania obliczone ze wzoru podanego przez Roxborougha [27]:

$$P_s = 2R_r g b \cdot \frac{\sin l/2 \cdot (\pi/2 - \gamma)}{1 - \sin l/2 \cdot (\pi/2 - \gamma)} \quad (2)$$



Rys. 14. Oddziaływanie na skałę ostrza noża AM 50/φ18
 1 - zmiążdżona przywarta do ostrza skała,
 2 - zmiążdżona część strefy sprasowania,
 3 - odpajana bryła urobku,
 4 - wprasowana w bruzdę zmiążdżona skała,
 5 - strefa sprasowania

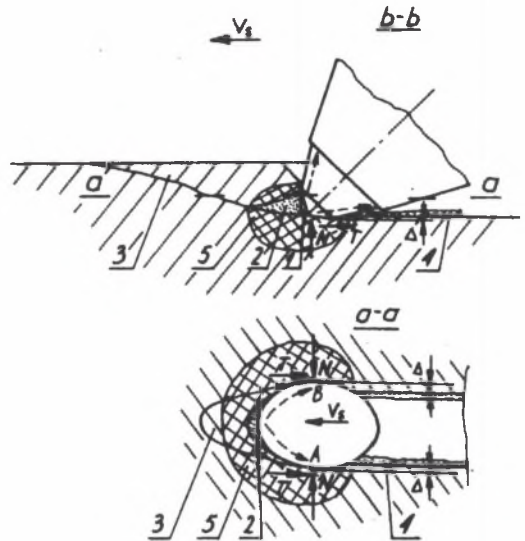


Fig. 14. Effect of AM50/φ18 tool on rock
 1 - crushed rock sticking to the cutting edge,
 2 - crushed part of press zone,
 3 - loosened rock,
 4 - crushed rock pressed into the groove,
 5 - press zone

Obliczeń dokonano dla parametrów wytrzymałościowych skał podanych w tablicy 1. Dla piaskowca wartość R_c wyznaczono pośrednio, korzystając ze średniej wartości stosunku R_c/R_t . Z uwagi na zmianę szerokości ostrzy w trakcie zwiększania się głębokości skrawu obliczeń dokonano dla maksymalnej szerokości jaką dane ostrze posiadało przy głębokości skrawu $g = 18$ mm oraz dla średniej szerokości ostrza (b') wyznaczonej z zależności:

$$b' = \frac{A_n}{g} \quad (3)$$

Wyznaczone wartości sił zestawiono z wynikami uzyskanymi przy skrawaniu z $t = 60$ mm i $g = 18$ mm. Jak widać z tego zestawienia największe rozbieżności występują dla ostrzy stożkowych, najmniejsze dla noża Rapid 83. Bliższe praktyce są zwykle wzory empiryczne [15]. W świetle niniejszych badań nie można ich jednak bezpośrednio stosować.

wać do noży stożkowych. Jak się wydaje, celowe byłoby natomiast zaproponowanie obliczanie sił działających na ostrze stożkowe z zależności:

$$P_s = A_s \cdot g^a \cdot t^b \cdot k_\beta \cdot k_\kappa \cdot k_v \quad (4)$$

gdzie :

P_s - siła skrawania ostrzem stożkowym,

A_s - wskaźnik skrawalności skały wyznaczony przy skrawaniu nożem o określonych parametrach ostrza, w tym przy jego określonym i bocznym wychyleniu, dla wykonywania skrawu otwierającego z określoną głębokością skrawania,

g, t - parametry skrawania,

a, b - wykładniki potęgowe,

Tablica 10

Wartości sił skrawania uzyskane w trakcie dań oraz z obliczeń wg [27] dla $g = 18 \text{ mm}$,
 $t = 60 \text{ m}$, $b' = A_n/g$ (średnia szerokość noża)

Urabiana skała	Typ noża	Szerokość noża [mm]	Siła skrawania [kN]	
			z badań	z obliczeń
Wapień	Rapid 83	$b_{18}=23$	2,67	2,48
		$b'=18,1$	--	1,95
	Laboratoryjny	$b_{18}=23$	3,23	1,49
		$b'=14,17$	--	0,92
	AM50/ ϕ 18	$b_{18}=32$	3,94	2,10
		$b'=21,11$	--	1,37
Piaszkowiec	Rapid 83	$b_{18}=2,3$	5,23	3,69
		$b'=18,1$	--	2,90
	Laboratoryjny	$b_{18}=23$	6,81	2,22
		$b'=14,17$	--	1,37
	AM50/ ϕ 18	$b_{18}=32$	11,99	3,12
		$b'=21,11$	--	2,04

- k_p - współczynnik uwzględniający wpływ zmiany kąta stożka (w stosunku do wzorcowego) na wielkość siły skrawania,
- k_x - współczynnik uwzględniający wpływ zmiany kąta ustawienia noża (w stosunku do wzorcowego) na wielkość siły skrawania,
- k_v - współczynnik uwzględniający wpływ zmiany kąta bocznego wychylenia noża (obrotu) w stosunku do wzorcowego, na wielkość siły skrawania.

Niezbędne jednak tutaj będzie przeprowadzenie dużej liczby pomiarów celem wyznaczenia poszczególnych współczynników.

WNIOSKI

1. Skrawając nożami o ostrzach “soczewkowych” z wypukłymi powierzchniami natarcia i przyłożenia posiadającymi ostre krawędzie na tych powierzchniach i na ich styku uzyskuje się znaczne zmniejszenie sił skrawania i docisku oraz jednostkowej energii urabiania w stosunku do ostrzy stożkowych.
2. Przejście powierzchni natarcia w powierzchnię przyłożenia wzdłuż krawędzi należy uznać za korzystne, gdyż ogranicza ono w sposób istotny strefę kontaktu bocznych powierzchni ostrza i niewykruszonej skały.
3. Główna oraz boczne krawędzie skrawające ułatwiają oddzielanie urobku od calizny. Ich istnienie powoduje między innymi, iż mniejszy jest udział miażdżenia skały w procesie urabiania.
4. Istniejąca, wyprzedzająca krawędź skrawająca ułatwia wnikanie ostrza w skałę w początkowej fazie elementarnego cyklu skrawania.
5. Cofnięcie wierzchołka ostrza “soczewkowego” należy uznać za właściwe z uwagi na mniejsze zużywanie się ostrza.
6. Wypukły zarys przekroju, jaki ma w kierunku skrawania ostrze “soczewkowe”, należy uznać za korzystniejszy od zarysu “eliptycznego” uzyskiwanego w ostrzach stożkowych z uwagi na kierunek wyciskania miału powstałego ze zmiażdżonej części strefy sprasowania.
7. Z uwagi na uzyskiwane efekty skrawania nóż Rapid 83 jak i noże o zbliżonych parametrach należy preferować nie tylko przy urabianiu trudno urabialnych węgla ale również zwięzłych skał towarzyszących.

LITERATURA

- [1] Artingstall G., Moodie K. - The cutting and Fracturing of Rocks by High - pressure Water Jets. Mining Engineer, July 1973.
- [2] Barker J.S. - A laboratory investigation of rock cutting using large picks. Int. J. Rock Mech. Mining Sci, Vol.1, s. 519 ÷ 534, Pergamon Press 1964.
- [3] Bieron A.J. - Riezanije uгля. Gosgortiechizdat, 1962.
- [4] Bieron A.J., Pozin E.Z., Ton W.W. - Issledowanie i wybor effjektivnego rjezuszczjego instrumenta dlja sznjekoych ispołniteljnych organow. Institut Gornogo Dieła, Moskwa 1969.
- [5] Bourne W.J., Kenny P. - Die Bedeutung des hartmetallbestückten Schrammeissels für die Schanidende Gewinnung in Grossbritannien. Glückauf, 1975, nr 1.
- [6] Coban W., Dziech A., Michałek J. - Wdrażanie technologii urabiania węgla za pomocą organów z dyskami urabiającymi w KWK "Silesia". Mech. i Aut. Górnictwa, 1985, nr 5.
- [7] Eichbaum R., Schwaak A. - Vergleichende Untersuchungen von Schrämwälzen unterschiedlicher Meißelbestückung und lange auf der Zeche Friedrich Heinrich, Glückauf nr 22, 1976.
- [8] Eichbaum R., Bendlmayer H. - Schneidende Gewinnung mit Rund - und Flachmeißeln, Glückauf nr 16, 1977.
- [9] Evans J. - Basic Mechanics of the Point - Attack Pick. Colliery Guardian, May 1984.
- [10] Evans J., Pomeroy C.D. - The Strength, Fracture and Workability of Coal. Oxford. Pergamon Press 1966.
- [11] Gębicki Z., Palik J. - Energochłonność procesu urabiania kombajnami chodnikowymi. Prace Naukowe Instytutu Konstrukcji i Eksplotacji Maszyn Pol. Wrocław. nr 42, Seria Konferencje nr 7, 1984.
- [12] Hebel G., Hemmer W., Lemmes F. - Der Einsatz von Schramwälzen bei fallendem Verhieb. Glückauf nr 21, 1986.
- [13] Hurt K.G., Laidlow D.D. - Laboratory composition Of three rock cutting tools. Tunnels and Tunneling, May 1979.
- [14] Jonak J. - Badania stanowiskowe wpływu wybranych parametrów noży urabiających na efekty urabiania skał. Biblioteka Politechniki Śląskiej w Gliwicach, 1991, Rozprawa doktorska (niepublikowana).
- [15] Krauze K. - Analiza metod wyznaczania oporów skrawania noży zamocowanych na organie ślimakowym kombajnu ścianowego. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 1989, nr 1
- [16] Krauze K. - Wyniki badań urabiania węgla dyskiem niesymetrycznym, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 2, 1985.
- [17] Łopata A., Łopata H. - Ocena możliwości stosowania techniki wibracyjnej do urabiania skał twardych. III Konferencja "Problemy urabiania i przeróbki skał", AGH Kraków 1982.

- [18] Mertens V. - Verbesserung der Schneidtechnik von Teilschnitt Vortriebsmaschinen. Glückauf nr 18, 1979.
- [19] O'Dogherty M.J. - A laboratory examination of the effect of rake angle and back clearance angle. MRE Report Nr 2217, 1962.
- [20] Opolski T. - Urabianie mechaniczne i fizykalne skał. Wyd. "Śląsk", Katowice 1982.
- [21] Opolski T., Bąkiewicz S. - Badanie laboratoryjne przebiegów skrawania skał. Prace ITiEM Pol. Lub. , Mechanika B-3, 1980.
- [22] Opolski T., Błędowski T., Bąkiewicz S. - Der Eintuss des spanwikels bei der Gesteinszerspannung. Glückauf Forsch. HS, 1981.
- [23] Paszkowski Z. - Wpływ wybranych własności skał oraz parametrów ruchowych na trwałość noży obrotowych stosowanych w kombajnach głowicowych. Praca Doktorska. Politechnika Śląska.
- [24] Pechalt F. - La rabotage, Document. interieur CERCHAR no 1735, Mai 1967.
- [25] Plum D. - Entwicklungen an Schrälwalzen und Valzenschräladern. Glückauf 1987, nr 17.
- [26] Pomeroy C.D. - Breakage of coal by wedge action, Col. Guardian. Nov. 21, 28, 1963.
- [27] Roxborough F.F. - Cutting rock with Picks. The Mining Engineer, June 1973.
- [28] Roxborough F.F., Pedroncelli E.J. - A practical evaluation of some coal - cutting theories Using a continuous miner. The Mining Engineer, September 1982.
- [29] Roxporough F.F., Phillip. H.R. - Experimental studies on the excavation of rock using picks.
- [30] Sann B. - Die Mechanik des Hobeles. Glückauf - Forschungshefte. October 1973.
- [31] Valantin A. - Machine a attaque ponctuelle. Etude de la destruction de la roche, travail des pics. Revue de l'Industrie Minerale - Mine, Mai 1972.

Recenzent: **prof. dr inż. Włodzimierz Sikora**

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1991 r.

Abstract

In the introductory part of the article a review was made of the opinions that are accepted by different authors as the optimum with relation to cut tools shapes and their parameters. Attention was drawn some existing discrepancies or inexactitudes in the interpretation of all the effects of the flank and attack surface shapes on the cutting results.

As a consequence, detailed analysis of the problem was realized on the examples of a wedge "lenticle" tool and a conical tool (fig.1, fig.2).

On this ground it was found that, on account of the particular conical tool construction in every section different from the axial one, the effects of this tool work on the rock body can be compared to the effectes of a very blunt tool work. In this connexion it was found that, in spite of the existing opinions, the course of the occurrences which accompany the

cutting with a tool shaped in this way the edges and all the effects are different from those in situations when the classical wedge tools are used. These guesses were confirmed by a laboratory experiment in which cuttings of limestone (compressive $R_c=7.4$ MPa) and sandstone ($R_c=37.5$ MPa) samples were done (table 1) using the tools shown in fig.3. When investigating it was ascertained that the courses obtained with a conical cutting and Rapid 83 tools are different. The most important occurrence that accompanied the cutting of sandstone with AM50/φ18 tool was strong sparking behind the tool. In the bottom and side of the groove a pressed stone "ribbon" was observed which was the effect of rock dust squeezing out in the direction of sides and conical shaped attack surface directions where that dust was next crushed between the cutting edge and unspalling rock (fig.13, fig.14). The results obtained during the experiment are shown in figures 7-11 and tables 2-7.

It may be seen that according to the cutting rock type and the cutting parameters, a conical cutting tool load is about several times bigger than the same load of a wedge lenticle tool (Rapid 83).

On account of the big differences obtained in the calculation of a conical cutting tool the author suggests the use of another formula, that is no 4 for such a tool type calculations. Usage of this formula requires further experiments to designate all individual coefficients. Finally, it was found that when cutting by means of convex flank and attack surface tools, having sharp edges on then surfaces and on their joints, we can get considerable reduction of the cutting tool load and also of a elementary cutting energy in comparison with conical cutting tools, for example.

The edgewise attack surface transformation to a flank one can be acknowledged as profitable, because it limits the contact loss between side tool surface and unspalling rock.