

Ocena jakości noży styczno-obrotowych oraz prognozowanie ich kosztów zużycia

Assessment of the quality of conical picks and forecasting the costs of their use



Prof. dr hab. inż. Krzysztof Krauze^{*)}



Dr inż. Kamil Mucha^{*)}



Dr inż. Tomasz Wydro^{*)}

Treść: W chwili obecnej wybór, przez użytkownika, noża styczno-obrotowego polega na sprecyzowaniu jego parametrów geometrycznych i materiałowych, uwzględniających miejsce i warunki jego pracy. Następnie dokonuje się wyboru, zazwyczaj na podstawie tylko jednego kryterium, jakim jest cena. Tym samym na etapie zakupu, jak i eksploatacji, nie prowadzi się oceny jakości noży i ich przydatności do konkretnej maszyny i urabianego minerału. Dlatego powstała metoda pozwalająca przeprowadzić takie badania, w których dokonuje się pomiarów parametrów geometrycznych noża, ustala się rodzaje materiałów korpusu noża i wkładki WC oraz szybkość zużycia (intensywność) na stanowisku laboratoryjnym. Szybkość zużycia (intensywność) opisana jest za pomocą wskaźnika C2, którego wartość im jest mniejsza, tym nóż wolniej się zużywa. Wskaźnik C2 został wykorzystany do prognozowania zużycia noży i określenia ich ceny jednostkowej oraz kosztów eksploatacyjnych. Pozwala to na precyzyjne określenie wymagań inwestycyjnych i prawidłowy wybór noża.

Abstract: Currently, the user's choice of a conical pick involves specifying its geometric and material parameters, taking into account the place and conditions of its work. The selection is then made, usually on the basis of solely one criterion, which is the price. Thus, at the stage of both purchase and operation, the quality of picks and their suitability for a specific machine and the processed mineral are not assessed. Therefore, a method was developed to enable conducting tests that determine the geometric parameters of a pick, the types of materials of the pick body and WC insert as well as the pick wear rate (intensity) in a laboratory workstation. The wear rate (intensity) is described by the C2 index - the smaller is its value, the slower is the pick's wear. The C2 index has been used to forecast the wear of picks and to determine their unit price and operating costs. This allows for precise determination of investment requirements and a proper selection of the pick.

Słowa kluczowe:

górnictwo, skrawanie, noże styczno-obrotowe, koszty

Keywords:

mining, rocks cutting, conical picks, costs

1. Wprowadzenie

Urabianie minerałów polega na oddzieleniu ich części od całości znanymi metodami górnictwymi, przy zastosowaniu odpowiedniej technologii i maszyn lub zestawu maszyn. Najogólniej metody te można podzielić na metody mechaniczne (frezowanie, struganie, kopanie, zrywanie, wiercenie)

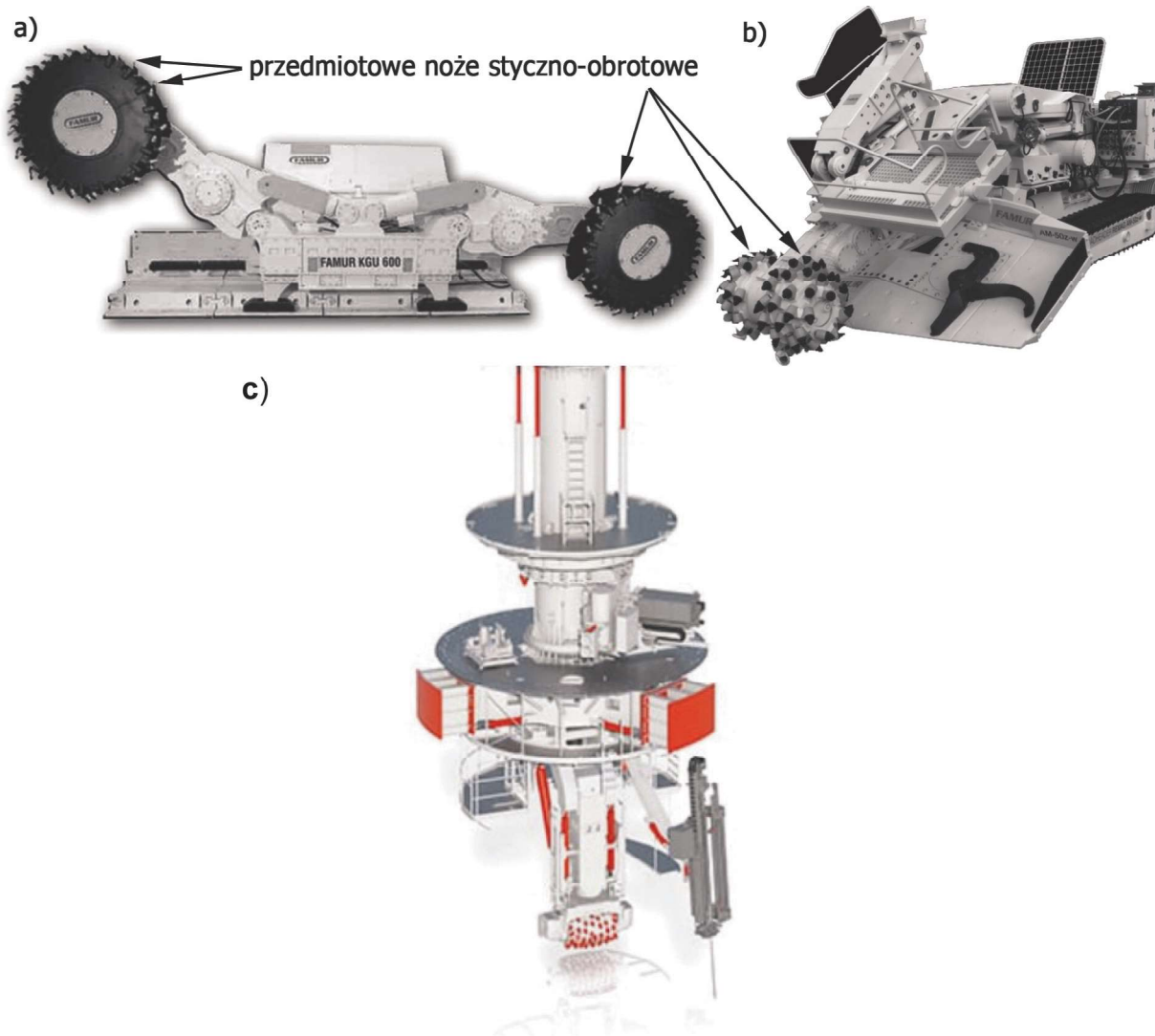
i niemechaniczne, przy czym te pierwsze znalazły zastosowanie praktyczne (Jonak 2002, Krauze 2002, Kotwica, Krauze 2007). Frezowanie, struganie czy wiercenie jest powszechnie stosowane przy pozyskiwaniu minerałów technologiami podziemnymi, a kopanie i zrywanie technologiami odkrywkowymi. Jedynie technologie otworowe wykorzystują tylko wiercenie.

Dla każdej metody i technologii eksploatacji (podziemna, odkrywkowa, otworowa) dedykowane są maszyny i urzą-

^{*)} AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

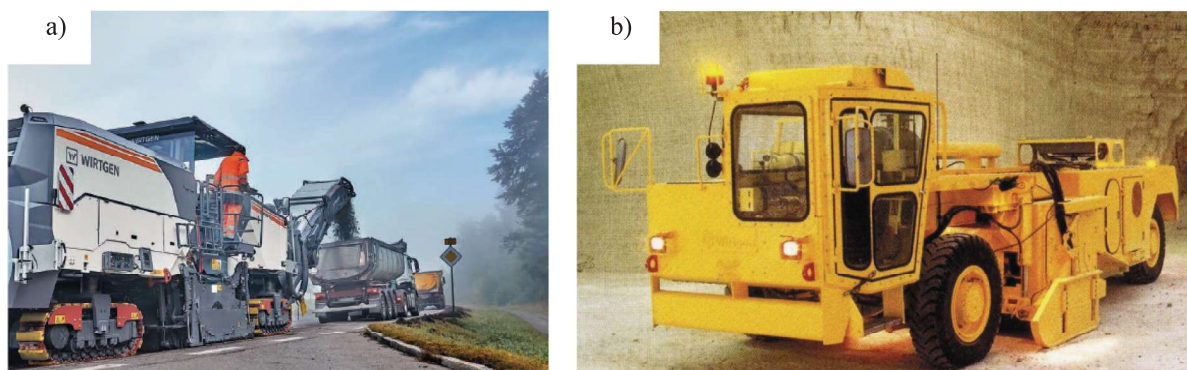
dzenia realizujące te procesy. W górnictwie podziemnym są to kombajny ścianowe, chodnikowe i szybowe (rys. 1) lub strugi, a w drogownictwie i górnictwie odkrywkowym frezarki (rys. 2), koparki i zrywarki. Maszyny te posiadają elementy lub zespoły urabiające nazywane organami urabiającymi. Najliczniejszą grupą organów urabiających są organy frezujące (rys. 3) wyposażone w narzędzia skrawające,

czyli noże promieniowe, styczne płaskie i styczno-obrotowe (rys. 4). Szczególnie te ostatnie znalazły szerokie zastosowanie w procesie urabiania minerałów naturalnych i sztucznych. Są powszechnie stosowane nie tylko w górnictwie podziemnym czy odkrywkowym, ale również w budownictwie (frezarki drogowe, głowice frezujące).



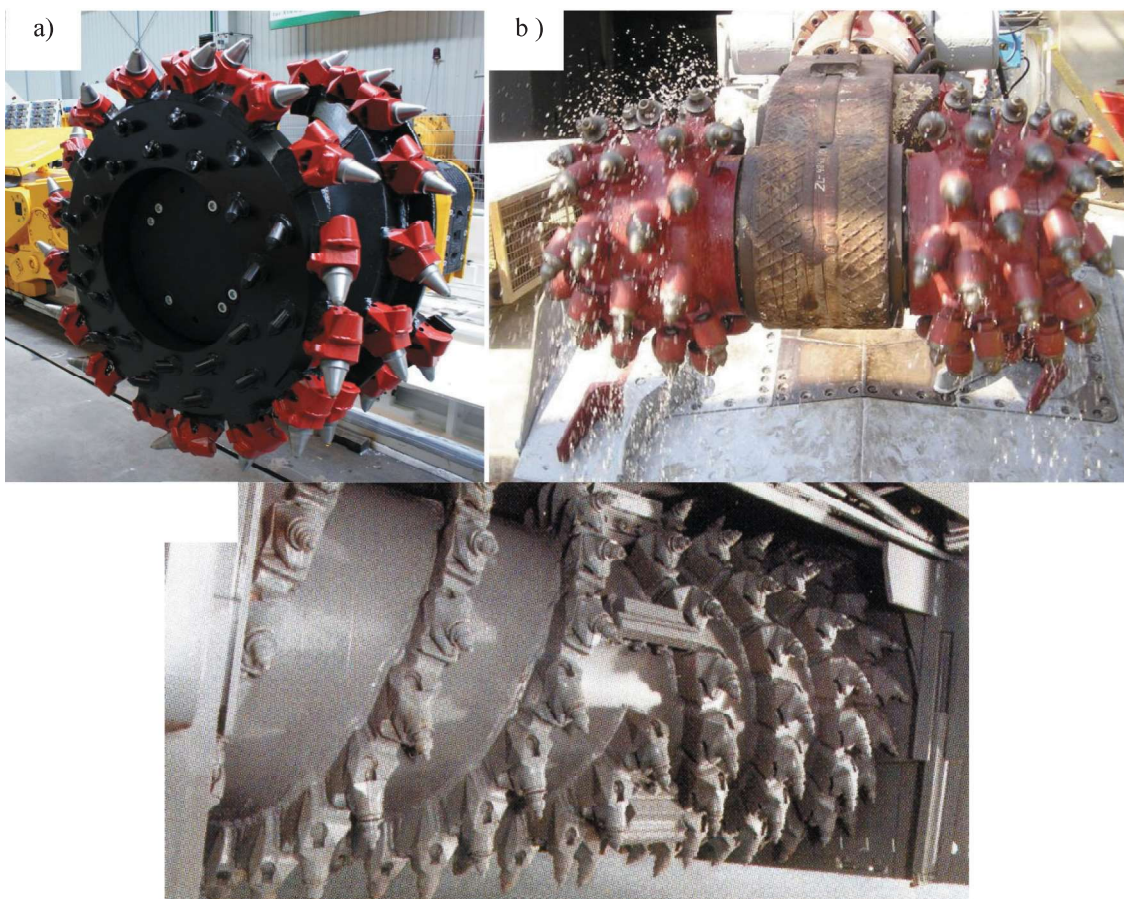
Rys. 1. Kombajny: a) ścianowy, b) chodnikowy, c) szybowy (Famur 2017, Herrenknecht 2019)

Fig. 1. Shearers: a) longwall shearer, b) roadheader, c) shaft-sinking roadheader (Famur 2017, Herrenknecht 2019)

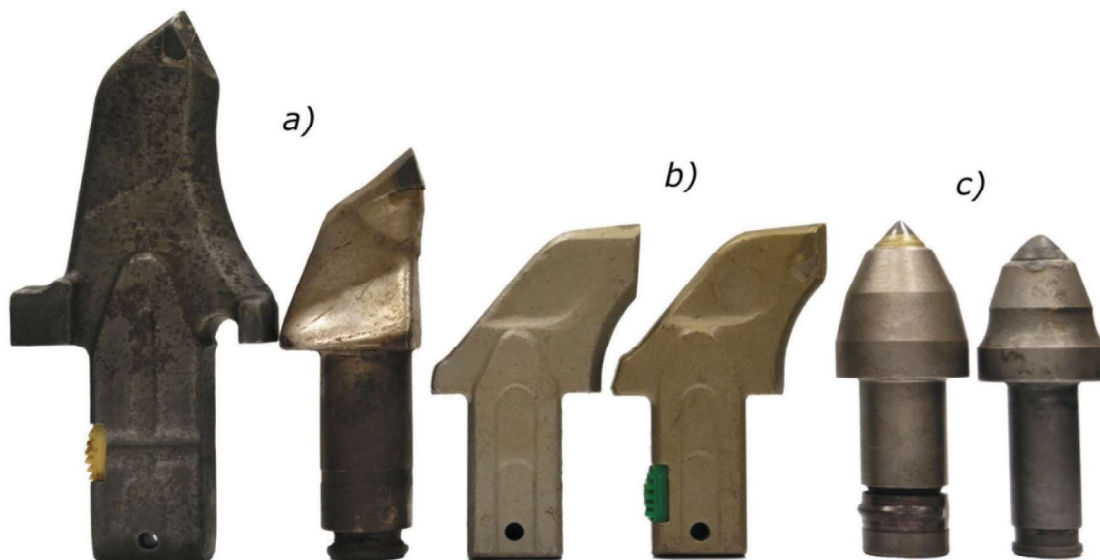


Rys. 2. Frezarki: a) drogowa, b) górnicza (Wirtgen 2020)

Fig. 2. Cutting machines: a) road cutter, b) mining cutting machine (Wirtgen 2020)



Rys. 3. Organy frezujące: a) kombajnu ścianowego, b) kombajnu chodnikowego, c) frezarki drogowej
 Fig. 3. Cutting heads of: a) longwall shearer, b) roadheader, c) road cutter



Rys. 4. Noże skrawające: a) stycznne płaskie, b) promieniowe, c) stycznno-obrotowe
 Fig. 4. Cutting picks: a) flat tangent, b) radial, c) conical

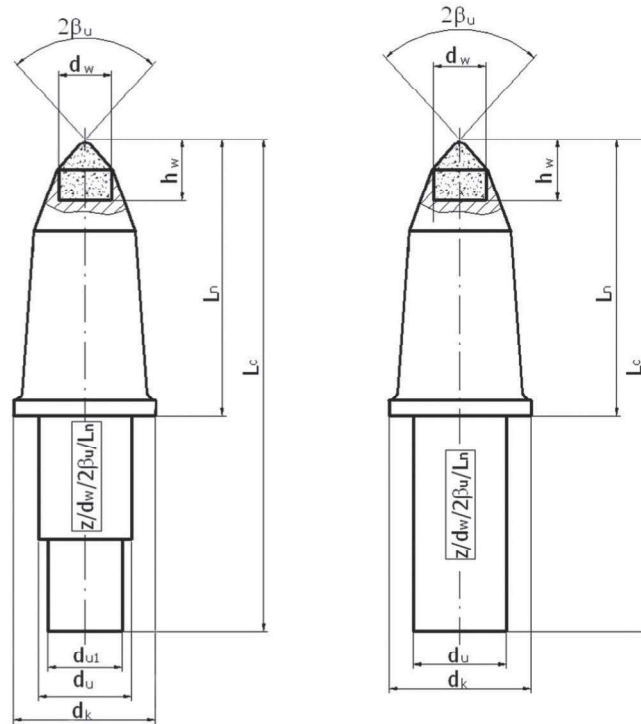
Noże stycznno-obrotowe, jak już wcześniej wspomniano, stosowane są powszechnie w organach urabiających ze względu na ich większą trwałość w porównaniu do noży promieniowych czy stycznnych płaskich. Zawdzięczają to specyficznej budowie, gdzie korpus noża jest bryłą obrotową, składającą się z części roboczej i chwytowej (rys. 5). Część robocza zbrojona

jest wkładką z WC, która stanowi ostrze noża.

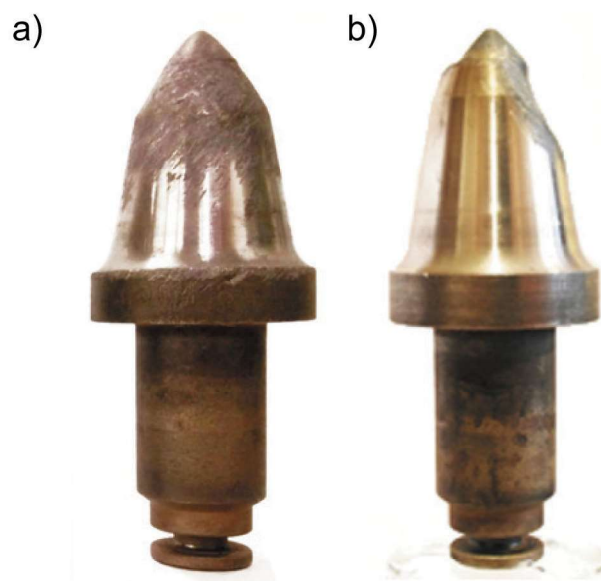
Nóż mocowany jest w uchwycie nożowym, zabudowanym na poboczniczy organu urabiającego i wraz z pozostałymi nożami tworzy układ nożowy. Zamocowanie obrotowe noża w uchwycie pozwala na stochastyczny jego obrót i symetryczne zużycie (rys. 6a). By proces ten mógł zaistnieć muszą

być spełnione określone warunki związane z ruchowymi kątami skrawania (rys. 7). W przeciwnym razie następuje blokowanie noża w uchwycie i jego niesymetryczne zużycie (rys. 6b). Dlatego tak ważny jest proces doboru parametrów konstrukcyjnych noży i uchwytów, uwzględniający parametry konstrukcyjne i kinematyczne organów i maszyny urabiającej (Jankowski 2005, Jonak 2002, Krauze 2002, Krauze

i in. 2002). Równolegle muszą być uwzględnione warunki górnico-geologiczne, a szczególnie właściwości urabianego minerału (opory urabiania, ścierność) (Biały 2005, Jonak 2002, Kotwica, Krauze 2007, Krauze 2002, Mucha 2019a, 2019b). Stąd użytkownik powinien stosować noże styczno-obrotowe o wymaganej jakości dla założonej wydajności urabiania i kosztów.

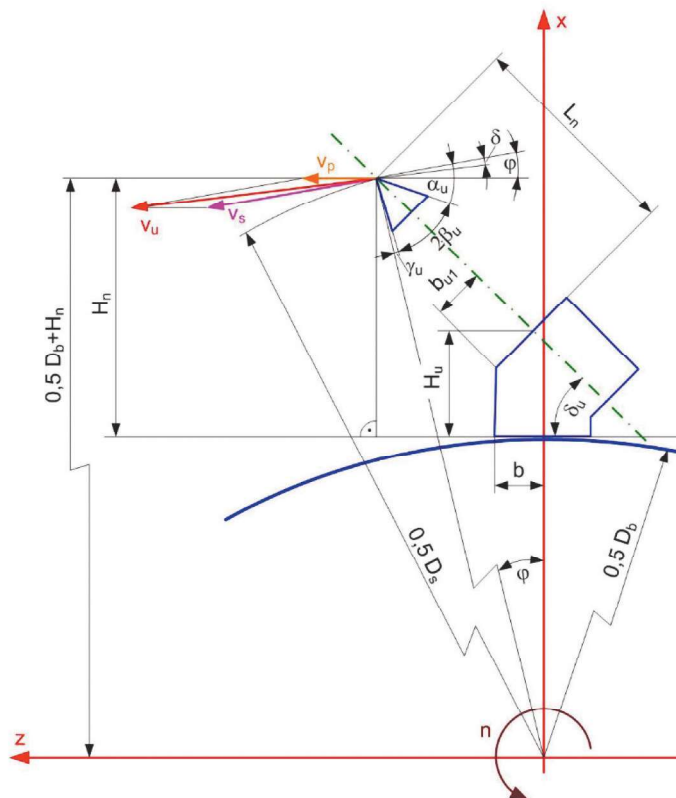


Rys. 5. Schemat noża styczno-obrotowego dwu- i jednostopniowego wraz z jego mierzonymi parametrami konstrukcyjnymi
 Fig. 5. Diagram of a one-stage and two-stage conical pick with its measured design parameters



Rys. 6. Zużyte noże styczno-obrotowe: a) prawidłowo (symetrycznie), b) nieprawidłowo (niesymetrycznie)

Fig. 6. Worn conical picks: a) properly (symmetrical), b) improperly (asymmetrical)



Rys. 7. Schemat noża styczno-obrotowego wraz z uchwytem na organie urabiającym dla analitycznego wyznaczania ruchowych kątów skrawania (Krauze, 1999 Krauze i in, 2002, Krauze i in. 2015)

Fig. 7. Diagram of a conical pick with a holder on the cutterhead for analytical determination of cutting angles (Krauze, 1999 Krauze i in, 2002, Krauze i in. 2015)

W tym przypadku wymagana jakość noży styczno-obrotowych związana jest z posiadaniem przez nie właściwych parametrów konstrukcyjnych (ruchowe kąty skrawania, wymiary, układ nożowy) oraz sposobem wykonania korpusu noża i ostrza w postaci wkładki WC z odpowiednich materiałów (technologią, skład chemiczny stali, gatunek WC, twardość korpusu noża i wkładki WC). Oczywistym jest, że z lepszą jakością noża związana jest wyższa jego cena. Ma to przełożenie na koszty inwestycyjne przy zakupie noży, lecz również na koszty związane z ich wymianą (koszty eksploatacyjne). Dlatego jakość noży należy rozpatrywać w aspekcie posiadania wymaganych parametrów konstrukcyjnych i materiałowych, ale również szybkości (intensywności) ich zużycia. Nabiera to szczególnego znaczenia przy zakupie noży oferowanych przez różnych producentów i przy różnych cenach. Dlatego w pierwszej kolejności użytkownik winien sprecyzować swoje wymagania i oczekiwania odnośnie parametrów konstrukcyjnych i materiałowych noży, a następnie określić sposób ich kontroli (Kotwica, Krauze 2007, Raport 2010, Krauze i in. 2012). Wtedy powstaje problem, który nóż spełnia jego wymagania i oczekiwania, a jego cena jest adekwatna do jego jakości, wartości i kosztów eksploatacyjnych oraz założonej wydajności urabiania. Stąd, jak to już wcześniej zaznaczono, należy ustalić sposób oceny jakości noży styczno-obrotowych, tak na etapie zakupu, jak i eksploatacji oraz procedurę ich wyboru w aspekcie kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych (Raport 2010, Krauze i in. 2012).

2. Badania stanowiskowe noży styczno-obrotowych

Wspomniany wcześniej problem związany z oceną jakości noży styczno-obrotowych rozwiązano opracowując metodę

oraz stosowaną procedurę prowadzenia eksperymentu (Raport 2010). Mając na uwadze prawidłową pracę noża styczno-obrotowego, uwzględniono w niej następujące elementy:

- pomiar parametrów geometrycznych całego noża oraz ostrza w postaci wkładki z WC,
- badania parametrów materiałowych korpusu noża,
- badania parametrów materiałowych ostrza,
- pomiar twardości części roboczej i chwytowej korpusu,
- pomiar twardości ostrza,
- określenie szybkości zużycia noża w warunkach laboratoryjnych.

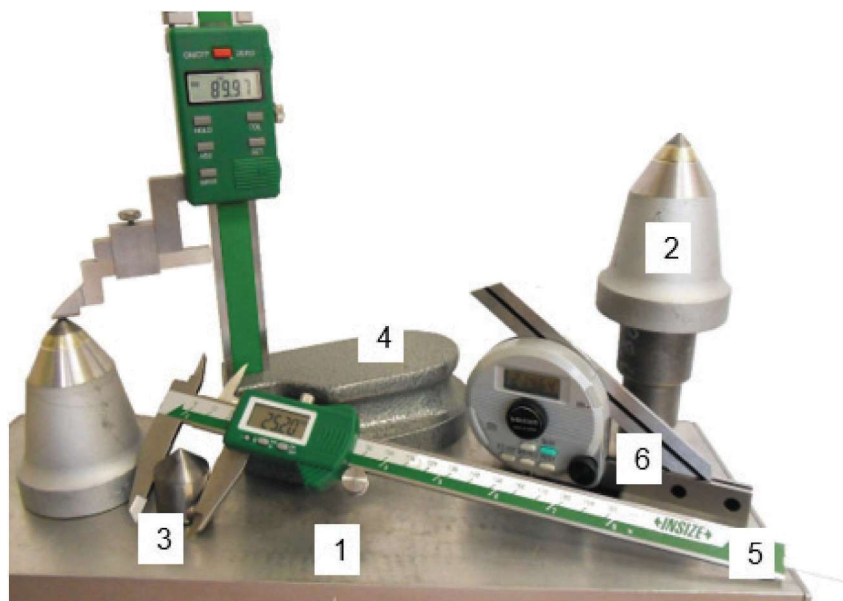
Dlatego przedmiotowe badania realizowane są w trzech etapach. Pierwszy etap to pomiar parametrów geometrycznych, drugi to badania materiałowe, a trzeci-pomiar szybkości zużycia noży styczno-obrotowych na stanowisku laboratoryjnym.

Badania parametrów geometrycznych przeprowadza się najpierw dla kompletnego noża, a następnie dla pozyskanej w procesie obróbki skrawaniem wkładki z WC.

Najważniejszymi wymiarami liniowymi i kątowymi noża styczno-obrotowego są (rys. 5):

- długość części roboczej L_n ,
- długość całkowita L_c ,
- średnica lub średnice części chwytowej d_w ,
- średnica kołnierza pierścienia oporowego d_k ,
- kąt ostrza (rozwarcia)wkładki $2\beta_w$,
- wysokość wkładki z węglika spiekanego h_w ,
- średnica wkładki z węglika spiekanego d_w .

Pomiaru wymiarów liniowych dokonuje się za pomocą wysokościomierza (niepewność pomiaru $\pm 40 \mu\text{m}$) oraz suwmiarki (niepewność pomiaru $\pm 30 \mu\text{m}$), pomiar kątów kątomierzem (niepewność pomiaru $\pm 2^\circ$). Rysunek 8 przedstawia noże na specjalnej podstawie pomiarowej wraz z wysokościomierzem.



Rys. 8. Przyrządy pomiarowe wymiarów liniowych i kątowych: 1 - stół traserski, 2 - nóż styczny-obrotowy, 3 - wkładka WC, 4 - wysokościomierz, 5 - suwmiarka, 6 - kątomierz

Fig. 8. Devices for measuring linear and angular dimensions: 1- surface plate, 2 - conical pick, 3 - WC insert, 4 - altimeter, 5 - calliper, 6 - protractor

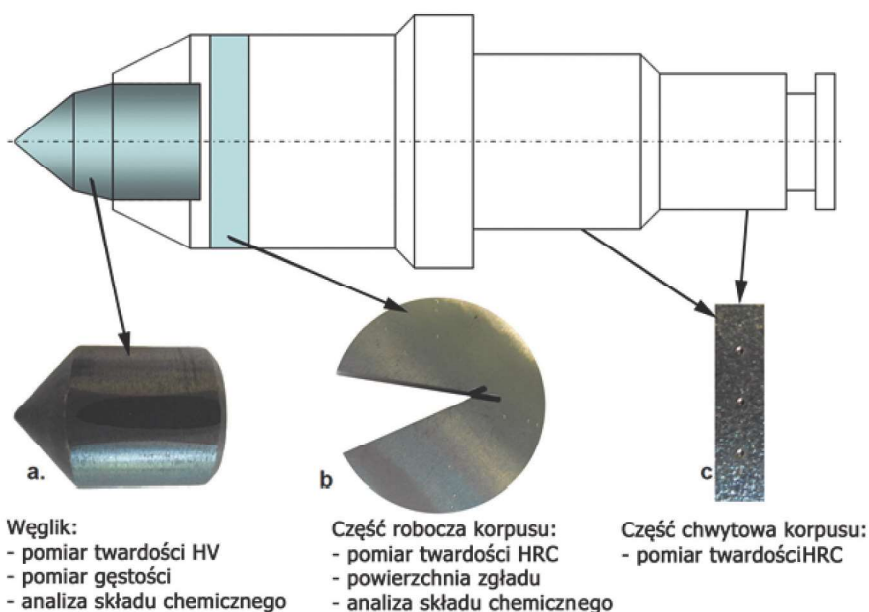
mierzem, suwmiarką oraz kątomierzem, za pomocą których dokonuje się powyższych pomiarów.

Określenie własności materiałów z jakich wykonany jest nóż styczny-obrotowy wymaga rozdzielenia korpusu, wykonanego ze stali, od ostrza wykonanego z węgla spiekanego. W następstwie tego, należy przeprowadzić badania dwóch różnych materiałów (rys. 9):

- materiału korpusu noża dla ustalenia składu chemicznego stali, twardości i obróbki cieplnej (badania metalograficzne),
- materiału wkładki z węgla spiekanego dla ustalenia zawartości kompozytu, gęstości i twardości.

Analizę składu chemicznego materiału korpusu noża wykonuje się metodą iskrową za pomocą urządzenia Foundry Master, natomiast pomiar twardości przeprowadza się zgodnie z polską normą PN-EN ISO 6507-1:1999, na próbce pobranej w pobliżu wkładki.

Wkładki z WC stosowane na ostrza noży styczny-obrotowych posiadają określony skład chemiczny oraz własności mechaniczne ważne z uwagi na proces urabiania. Należy jednak zaznaczyć, że wykonanie pomiaru wszystkich parametrów wkładki z WC, choć najkorzystniejsze, pociąga za sobą znaczny wzrost kosztów badań, przy stosunkowo niewielkim znaczeniu dla oceny zastosowania wkładki do urabiania okre-



Rys. 9. Nóż styczny-obrotowy z naniesionymi punktami pomiarowymi: a) pomiar wkładki WC, b) pomiar powierzchni zglądu, c) pomiar powierzchni części chwytowej

Fig. 9. Conical pick with measurement points marked: a) measurement of WC insert, b) measurement of specimen surface, c) measurement of handle surface

ślonej skały. Dlatego też, mając na względzie koszty badań oraz późniejszą ich aplikację, proponuje się dla danej wkładki z WC określanie analizy ilościowej, gęstości oraz twardości.

Analizę ilościową składu chemicznego węgla wykonuje się metodą rentgenospektralną, przy pomocy Mini Pa4 Analizatora EDXRF (*Energy Dispersive X-ray Fluorescence*), pomiar gęstości właściwej węgla wyznacza się metodą ważenia hydrostatycznego, natomiast twardość metodą Vicersa na twardościomierzu HPO-250.

Pomiar szybkości (intensywności) zużycia noży styczo-obrotowych ma na celu określenie ich trwałości. Pomiar ten musi być realizowany zawsze w tych samych warunkach, tak by wyniki były wiarygodne, powtarzalne i porównywalne. Pozwala to ocenić trwałość noża, ale również porównać w tym aspekcie różne noże.

Dla oceny trwałości noży styczo-obrotowych do badań przyjęto wskaźnik szybkości ich zużycia, oznaczony przez C2, definiowany jako łączny ubytek masy noża czy noży do objętości uzyskanego urobku (1).

$$C2 = \frac{\Delta m}{m} \cdot \frac{V_w}{V_{un}} [-] \quad (1)$$

gdzie:

C2 – wskaźnik szybkości zużycia noża na podstawie masy,

Δm – ubytek masy noża podczas badań (korpus wraz z ostrzem) [g],

m – masa noża przed badaniami [g],

V_w – objętość wzorcowa próbki [m³],

V_{un} – objętość próbki urobiona podczas badań [m³].

Przyjęta definicja parametru określającego trwałość noży oraz wymagania dotyczące badania szybkości ich zużycia skutkują koniecznością przyjęcia następującej metodyki badań:

- urobienie próbki cementowo-piaskowej o własnościach prawie izotropowych,
- urabianie poprzez frezowanie w warunkach laboratoryjnych,
- pomiar masy noża przed i po procesie urabiania,
- pomiar objętości urobku uzyskanego w czasie pracy badanych noży.

Realizacja badań laboratoryjnych wymaga przeprowadzenia ich na specjalnym stanowisku spełniającym wymagania przyjętej metodyki badań. Dlatego też przedmiotowe badania realizowane są na unikatowym stanowisku laboratoryjnym do badania procesu frezowania pojedynczymi narzędziami skrawającymi lub organami, należącym do Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie (rys. 10).

Stanowisko to składa się z dwóch podzespołów: napędu organu i układu posuwu bloku przeznaczonych do urabiania. Elementem roboczym jest specjalna tarcza z uchwytami noży styczo-obrotowych jednostopniowych i dwustopniowych.

Obroty organu oraz ruch prostoliniowy, posuwisto-zwrotny w płaszczyźnie poziomej, próbki skalnej umożliwiają realizację procesu urabiania poprzez frezowanie w czasie pracy na określony zabiór. Hydrauliczny mechanizm posuwu



Rys. 10. Stanowisko laboratoryjne do badania poprzez frezowanie lub wiercenie obrotowe pojedynczymi narzędziami skrawającymi lub organami: a) kabina operatora; b) betonowa próbka wraz z zespołem jej mocowania i posuwu oraz testowy organ urabiający; c) napęd organu

Fig. 10. Laboratory workstation for testing by cutting or rotary drilling with single cutting tools or heads: a) operator's cab, b) concrete sample with an assembly for its mounting and feed as well as a test cutting head; c) head drive

pozwała na przemieszczanie stołu wraz z blokiem. Obroty silnika regulowane są za pomocą układu sterowania zabudowanego w szafie sterowniczej, natomiast do regulacji wartości prędkości posuwu w czasie urabiania i zawrębiania wykorzystywany jest zasilacz hydrauliczny.

Na stole mechanizmu posuwu może być posadowiona próbka z minerału naturalnego lub sztucznego. W przypadku badania szybkości zużycia noży stycznno-obrotowych celowym jest urabianie skały sztucznej (próbki cementowo-piaskowej), która ma silne własności ścierne (Mucha 2019a, 2019b). Stanowisko wyposażone jest w układ pomiarowy, stanowiący jego integralną część (momentomierz, przetworniki ciśnienia, przetworniki drogi, komputer pomiarowy). Pozwala to na pomiar obciążenia elementu urabiającego oraz prędkości i ciśnienia w układzie posuwu, a tym samym na określenie oporów lub energochłonności procesu urabiania.

Noże ważone są zarówno przed, jak i po badaniach, za pomocą atestowanej wagi laboratoryjnej (działka legalizacyjna 1g). Uzyskany ubytek masy oraz objętość urobionej próbki skalnej służą do wyznaczenia wskaźnika C2. Należy zaznaczyć, że czym mniejsza wartość parametru C2 tym zużycie noża jest mniejsze. Realizacja badań laboratoryjnych jest w tym przypadku szczególnie polecana, lecz wymaga przeprowadzenia ich na specjalnym stanowisku, spełniającym wymagania przyjętej metodyki badań.

3. Cena noża stycznno-obrotowego oraz szybkość (intensywność) jego zużycia a wydajność urabiania

Opisana wcześniej metoda i sposób jej realizacji pozwala na sprawdzenie parametrów geometrycznych noża stycznno-obrotowego, własności materiałów korpusu i ostrza oraz szybkości (intensywności) zużycia, opisaną wskaźnikiem C2.

Zakładając, że parametry geometryczne i materiałowe noży stycznno-obrotowych mieszczą się w zakresie wymaganych wartości sprecyzowanych przez użytkownika, to nie oznacza to wcale, że będą miały te same wskaźniki C2, wyznaczone opisaną wcześniej metodą. Będą więc noże wolniej się zużywające n_{wz} o wskaźniku $C2_1$ oraz szybciej n_{sz} o wskaźniku $C2_2$. Wtedy wskaźnik $C2_1$ jest mniejszy od $C2_2$, a ich stosunek mniejszy od jedności.

$$C2_1 < C2_2, \quad \frac{C2_1}{C2_2} < 1 \quad (2)$$

Przyjmując, że koszt jednostkowy noży n_{wz} o wskaźniku $C2_1$, wynosi C_{n1} , a noży n_{sz} o wskaźniku $C2_2$, wynosi C_{n2} , to wymaganiem jest ustalenie, które noże należy wybrać do stosowania, gdy:

$$C_{n1}(C2_1) > C_{n2}(C2_2); C2_1 < C2_2 \quad (3)$$

$$C_{n1}(C2_1) = C_{n2}(C2_2); C2_1 < C2_2 \quad (4)$$

$$C_{n1}(C2_1) < C_{n2}(C2_2); C2_1 < C2_2 \quad (5)$$

$$C_{n1}(C2_1) < C_{n2}(C2_2); C2_1 = C2_2 \quad (6)$$

Jak łatwo zauważyć, to dla przypadków (nierówności) (4), (5) i (6) jednoznacznie można stwierdzić, że należy wybrać i stosować noże wolniej się zużywające n_{wz} , czyli lepszej jakości. Decyduje tu głównie wartość wskaźnika C2, który jest oczywiście mniejszy dla noży n_{wz} (4), (5) oraz cena (6).

Należy podkreślić, że przypadki (4), (5) i (6) mogą teoretycznie wystąpić, lecz jak to już wcześniej zaznaczono, noże wolniej się zużywające n_{wz} , czyli jakościowo lepsze, powinny mieć wyższą cenę jednostkową. Wtedy zasadnym i prawidłowym jest rozpatrywanie jedynie przypadku pierwszego (3).

Zakładając, że ilość zużytych i wymienionych na nowe noży n_{wz} wynosi n_1 , a dla noży n_{sz} wynosi n_2 , to koszty ich wymiany wynoszą odpowiednio:

$$\text{dla } n_{wz} = n_1 \quad K_{n1} = n_1 \cdot C_{n1}(C2_1) \quad (7)$$

$$\text{dla } n_{sz} = n_2 \quad K_{n2} = n_2 \cdot C_{n2}(C2_2) \quad (8)$$

Przyjmując, że przyrost zużycia noży jest związany ze wzrostem szybkości ich zużycia, to można zapisać dla $C2_2 > C2_1$, oraz ich stosunku większego od jedności ($C2_2/C2_1 > 1$), że:

$$n_2 = n_1 \cdot \frac{C2_2}{C2_1} \quad (9)$$

to wtedy:

$$K_{n2} = n_1 \cdot C_{n2}(C2_2) \cdot \frac{C2_2}{C2_1} \quad (10)$$

oraz różnicę kosztów wymiany noży ΔK_n

$$\Delta K_n = K_{n1} - K_{n2} = n_1 \cdot [C_{n1}(C2_1) - C_{n2}(C2_2) \cdot \frac{C2_2}{C2_1}] \quad (11)$$

ΔK_n może mieć wartość dodatnią, ujemną lub zerową. Dla wartości dodatniej należy stosować noże n_{sz} , a dla zerowej n_{wz} lub n_{sz} . Natomiast dla wartości ujemnej noże n_{wz} , jeżeli ich cena jednostkowa będzie mniejsza od ceny noży n_{sz} pomnożonej przez stosunek $C2_2$ do $C2_1$, czyli:

$$C_{n1}(C2_1) < C_{n2}(C2_2) \cdot \frac{C2_2}{C2_1} \quad (12)$$

Przyjmując cenę noża gorszej jakości C_{n2} równą 80 zł za sztukę i stosunek $C2_2$ do $C2_1$ równy 1,5, to cena noża lepszej jakości $C_{n1}(C2_1)$ nie może przekroczyć kwoty 120 zł.

Zależność (11) jest bardzo ważna dla wyboru noży pod warunkiem wyznaczenia, zgodnie z wcześniej opisaną metodą, wskaźników zużycia C2 dla minimum dwóch noży. Wtedy można zminimalizować koszty zakupu noży, przy uwzględnieniu ich ceny oraz szybkości (intensywności) ich zużycia. Z drugiej jednak strony, wzrost ilości wymienionych noży skutkuje zmniejszeniem wydajności urabiania.

Przyjmując, że objętość urobku w caliznie pozyskanego z jednego skrawu (cyklu) wynosi V_{uj} , a czas realizacji tego skrawu t_c , to w czasie dyspozycyjnym maszyny urabiającej T_d można wykonać n_c cykli i uzyskać urobek o objętości V_u .

$$n_c = \frac{T_d}{t_c} \quad (13)$$

$$V_u = V_{uj} \cdot n_c = V_{uj} \cdot \frac{T_d}{t_c} \quad (14)$$

Czas realizacji jednego skrawu (cyklu) t_c jest sumą czasu urabiania t_{c1} (czas wykonania jednego skrawu o długości L z prędkością v_p) oraz czasu operacyjnego t_{op} związanego między innymi z przeglądem maszyny urabiającej, a głównie noży.

$$t_c = t_{c1} + t_{op} = \frac{L}{v_p} + t_{op} \quad (15)$$

$$V_u = \frac{V_{uj} \cdot T_d \cdot v_p}{L + v_p \cdot t_{op}} \quad (16)$$

Mnożąc prawą stronę zależności (16) przez masę właściwą urabianej skały γ_w , uzyskuje się zależność na masę urobku M_u :

$$M_u = \gamma_w \cdot \frac{V_{uj} \cdot T_d \cdot v_p}{L + v_p \cdot t_{op}} \quad (17)$$

Jak wspomniano wcześniej, czas t_{op} jest w tym przypadku związany z czasem wymiany noża, czyli:

$$t_{op} = n \cdot t_{wn} \quad (18)$$

gdzie:

n – ilość noży do wymiany po wykonaniu jednego skrawu (cyklu), [szt.]

t_{wn} – czas wymiany pojedynczego noża, [s].

Należy jednak pamiętać, że czas ten może ulec zwiększeniu wynikającym z przyjętej technologii urabiania (ściana, chodnik, droga). Stosując oznaczenia jak wcześniej, to dla noży n_{wz} czas $t_{op} = t_{op1}$, a dla noży n_{sz} $t_{op} = t_{op2}$, a wtedy:

$$t_{op2} = n_2 \cdot t_{wn} = n_1 \cdot t_{wn} \cdot \frac{C2_2}{C2_1} \quad (19)$$

Objętość urobku pozyskanego przy wykorzystaniu noży n_{wz} wynosi V_{u1} , a dla noży n_{sz} , V_{u2} , stąd:

$$\Delta V_u = V_{u1} - V_{u2} > 0 \quad (20)$$

$$\Delta V_u = \frac{V_{uj} \cdot T_d \cdot v_p}{L + v_p \cdot n_1 \cdot t_{wn}} - \frac{V_{uj} \cdot T_d \cdot v_p}{L + v_p \cdot n_1 \cdot t_{wn} \cdot \frac{C2_2}{C2_1}} \quad (21)$$

Z zależności (21) wynika, że zmniejszenie objętości urobku ΔV_u wynika głównie ze stosunku $C2_2$ do $C2_1$. Im ten stosunek jest większy od jedności, tym ΔV_u jest większe.

Jeżeli cena jednostkowa urobku w odniesieniu do jego objętości wynosi C_{jur} to straty finansowe K_{suv} wynoszą:

$$K_{suv} = \Delta V_u \cdot C_{jur} \quad (22)$$

Podobnie odnosząc do masy:

$$K_{sum} = \gamma_w \cdot \Delta V_u \cdot C_{jum} \quad (23)$$

W przypadku, gdy K_{suv} lub K_{sum} są większe od kosztów wymiany noży ΔK_n , to wtedy należy stosować noże n_{wz} . W przeciwnym przypadku, gdy:

$$K_{suv} \text{ lub } K_{sum} \leq \Delta K_n \quad (24)$$

noże n_{sz} , jeżeli cena jednostkowa noża n_{ws} jest większa od:

$$C_{n1}(C2_1) \geq \frac{\Delta V_u \cdot C_{jur}}{n_1} + C_{n2}(C2_2) \cdot \frac{C2_2}{C2_1} \quad (25)$$

lub

$$C_{n1}(C2_1) \geq \frac{\gamma_w \cdot \Delta V_u \cdot C_{jum}}{n_1} + C_{n2}(C2_2) \cdot \frac{C2_2}{C2_1} \quad (26)$$

Z nierówności (12) oraz (25) lub (26) można oszacować maksymalną cenę jednostkową noża, którą warto zapłacić, by zminimalizować straty wynikające z różnej jakości noży. Łatwo zauważyć, że nierówność (12) uwzględnia jedynie wzrost zużycia noży, wynikający z ich jakości (wskaźnik C2). Natomiast nierówność (25) lub (26) uwzględnia jeszcze koszty (straty) związane ze zmniejszoną wydajnością. Dlatego w większości przypadków należy stosować noże lepszej jakości (jak najmniejszy wskaźnik C2), a w pozostałych przypadkach warunkiem jest cena noży lepszej jakości, która ograniczona jest maksymalną wartością, wynikającą ze wskaźnika C2 i ΔV_u (zależności 11, 25 i 26).

4. Zakończenie

W opisaną wcześniej metodzie oceny jakości noży styczo-obrotowych przyjęto trzyetapowy proces ich badania, polegający na pomiarze parametrów geometrycznych, materiałowych i szybkości zużycia, wyrażanej za pomocą wskaźnika C2. Parametr ten wskazuje jak odporny jest nóż na ścieranie i wyznaczany jest w tych samych warunkach dla każdego noża. Dlatego założono, że będzie on definiował również ilość zużytych noży w odniesieniu do noży

o najmniejszej wartości wskaźnika C2. W następstwie tego możliwe było zdefiniowanie różnych przypadków związanych ze wskaźnikiem C2 oraz ceną noża, jak również kosztami ich wymiany i zmniejszeniem wydajności urabiania. Ustalono, że w większości przypadków należy stosować noże lepszej jakości (najmniejsza wartość wskaźnika C2) bez ograniczeń cenowych. Są jednak takie przypadki, gdzie wybór noża zależy od jego ceny oraz strat w urabianiu.

W związku z powyższym, zaleca się stosowanie przedmiotowej metody i procedury do oceny jakości noży oraz ich wyboru.

Literatura

- BIAŁY W. 2005 - Dobór ścianowych maszyn urabiających oparty na wynikach badań właściwości mechanicznych urabianego materiału węglowego. „Przeгляд Górnicy” 2, s. 14-20.
- FAMUR 2017 - Systemy ścianowe i chodnikowe, <https://www.famur.com> dostęp 13.01.2017.
- HERRENKNECHT 2019 - Kombajny szybowe, <https://www.herrenknecht.com> dostęp 15.01.2019.
- JANKOWSKI Z. 2005 - Wpływ geometrii ustawienia noża styczo-obrotowego na opory urabiania. Praca doktorska, AGH University of Science and Technology, Kraków.
- JONAK J. 2002 - Urabianie skał głowicami wielonarzędziowymi. Wydawnictwo Naukowe „Śląsk”, Katowice.
- KOTWICA K., KRAUZE K. 2007 - Selection and underground tests of the rotary tangential cutting picks used in cutting heads of the longwall and roadway miners. Archives of Mining Sciences 52, 2, s. 195-217.
- KRAUZE K., BOŁOZ Ł., WYDRO T. 2012 - Ocena jakości noży styczo-obrotowych na podstawie badań laboratoryjnych. W: Problemy bezpieczeństwa w budowie i eksploatacji maszyn i urządzeń górnictwa podziemnego. Monografia, Łędziny.
- KRAUZE K. 2002 - Urabianie skał kombajnami ścianowymi. Wydawnictwo Naukowe „Śląsk”, Katowice.
- KRAUZE K., BOŁOZ Ł., WYDRO T. 2015 - Parametric factors for the tangential-rotary picks quality assessment. Archives of Mining Sciences 60, 1, s. 265-281.
- KRAUZE K., KLEMPKA R., JANKOWSKI Z. 2002 - Wpływ geometrii noża styczo-obrotowego na ruchowe kąty skrawania. W: Techniki Urabiania, Kraków-Krynica.
- KRAUZE K. 1999 - Zagadnienie ustawienia noży styczo-obrotowych na frezującym organie ślimakowym. Archiwum Górnictwa 44, 3, s. 337-349.
- MUCHA K. 2019a - The new method for assessing rock abrasivity in terms of wear of conical picks. W: New Trends in Production Engineering, 2 (1): s. 186-194; <https://doi.org/10.2478/ntpe-2019-0019>.
- MUCHA K. 2019b - Ścierność skał w aspekcie prognozowania zużycia noży kombajnowych. Praca doktorska, AGH University of Science and Technology, Kraków.
- Raport 2010 - Opracowanie specyfikacji techniczno-użytkowej noży kombajnowych oraz metodyki badań ich parametrów konstrukcyjnych, materiałowych i trwałości, stosowanych w kopalniach JSW S.A. [niepublikowane].
- WIRTGEN 2020 - Frezarki drogowe, <https://www.wirtgen-group.com> dostęp 13.08.2020.

Artykuł wpłynął do redakcji – lipiec 2020

Artykuł akceptowano do druku – 18.10.2020