

11

OCENA JAKOŚCI NOŻY STYCZNO-OBROTOWYCH NA POTRZEBY ZAMÓWIEŃ PUBLICZNYCH

11.1 WSTĘP

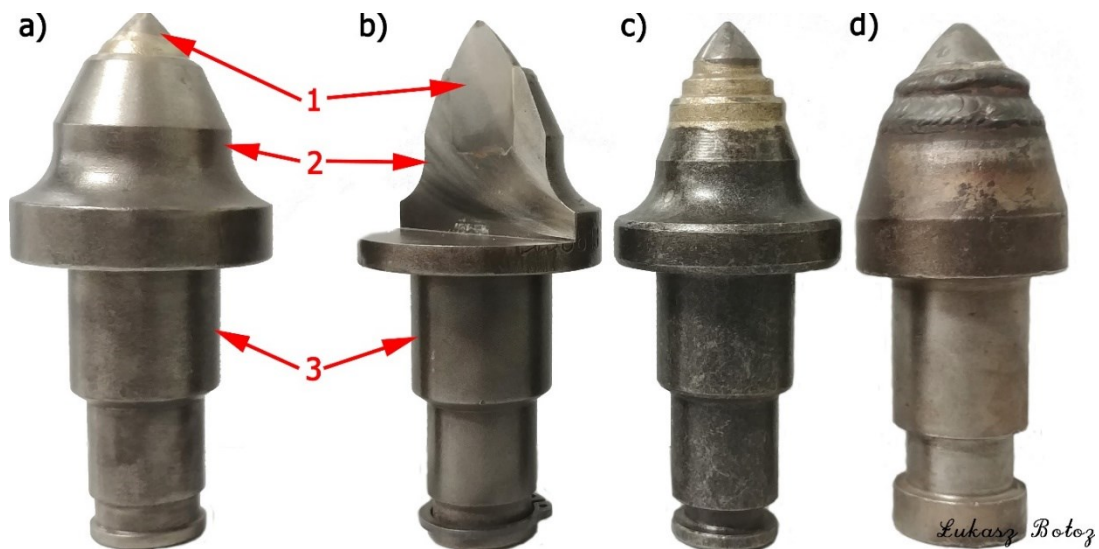
Noże stożkowe (conical picks) zwane w Polsce nożami stycznno-obrotowymi (tangential-rotary picks) są szeroko stosowanymi narzędziami w górnictwie, budownictwie i drogownictwie. W zależności od warunków pracy ich zużycie waha się od kilku do kilkudziesięciu na dobę dla jednej maszyny urabiającej, a ich cena waha się w okolicach kilkudziesięciu euro. Liczbowo najczęściej noże stosowanych jest w kopalniach podziemnych. Koszty jednej kopalni ponoszone na zakup noży stycznno-obrotowych szacowane są na kilka milionów euro rocznie. Użytkownicy dążą do stosowania najlepszych dostępnych noży, jednak wybór najkorzystniejszej oferty jest skomplikowany, ponieważ na jakość noża składa się wiele czynników. Przede wszystkim istotna jest odporność na zużycie ściernie oraz parametry geometryczne i materiałowe. Oferowane dla kopalń noże różnią się znacznie ceną, która jednak często nie jest adekwatna do ich trwałości. W związku z tym opracowano i wdrożono parametryczną ocenę jakości noży stycznno-obrotowych pozwalającą na wybór optymalnej oferty. Procedura wykorzystuje metody pomiarów i badań laboratoryjnych. Metodyka dotyczy również badań kontrolnych pozwalających na weryfikację jakości dostarczanych noży a w rezultacie utrzymanie jakości dostaw.

11.2 NOŻE STYCZNO-OBROTOWE

Eksploatacja wyrobisk ścianowych i chodnikowych w podziemnym górnictwie światowym odbywa się głównie za pomocą urabiania mechanicznego. Urabianie mechaniczne polega na bezpośrednim oddziaływaniu narzędziem urabiającym na caliznę skalną. Najbardziej rozpowszechnione jest urabianie skał przez frezowanie kombajnami oraz struganie strugami, które realizuje się narzędziami skrawającymi. Obecnie światowym standardem do zbrojenia organów frezujących są noże stycznno-obrotowe. Organy frezujące są najważniejszymi elementami maszyn urabiających a trwałość noży ma znaczenie dla kosztów eksploatacji, dyspozycyjnego czasu pracy

maszyny oraz energochłonności procesu. Spełnienie oczekiwań użytkowników zależne jest w znacznej mierze od prawidłowego doboru i jakości narzędzi skrawających. Nóż styczno-obrotowy podczas eksploatacji jest elementem będącym w kontakcie z urabianą calizną. To właśnie nóż bezpośrednio odpowiada za proces urabiania. Kształt i odpowiedni sposób mocowania noża w uchwycie pozwala na jego swobodny obrót, co skutkuje równomiernym zużywaniem się ostrza. Ze względu na warunki pracy oraz specyfikę maszyny urabiającej noże różnią się geometrią (kształt, wielkość, sposób mocowania), materiałami oraz sposobem zabezpieczenia korpusu przed zużyciem ściernym.

Standardowy nóż styczno-obrotowy, przedstawiony na rys. 11.1, zbudowany jest ze stożkowo ukształtowanej części roboczej, walcowego trzpienia będącego częścią chwytną noża oraz ostrza w postaci wkładki wykonanej z węglika spiekanego.



Rys. 1. Budowa i przykładowe rozwiązania noży styczno-obrotowych
a. budowa typowego noża, b. przekrój części roboczej noża, c. nóż pierścieniem z węglika spiekanego, d. nóż z powłoką trudnościeralną
1 – ostrze z węglika spiekanego, 2 – część robocza, 3 – część chwytna

Źródło: Opracowanie własne

Noże styczno-obrotowe są przedmiotem badań oraz prac rozwojowych prowadzonych w wielu ośrodkach na całym świecie. Badania te mają na celu głównie znalezienie rozwiązania o najwyższej odporności na zużycie ściernie. Badano noże, gdzie korpus zabezpieczony był przed zużyciem ściernym za pomocą powłok trudnościeralnych, napawania lub pierścieni z węglików spiekanych [3, 10]. Prowadzono prace w celu poznania mechanizmu zużycia ściernego noży [4], predykcji zużycia [6] lub możliwości wspomaganie procesu urabiania [7]. Badania przeprowadzono dla materiału węglika spiekanego [12] jak i dla kompletnego noża [4, 13] lub noży tworzących organ urabiający [9, 11]. Prowadzone były również prace wdrożeniowe mające na celu zastosowanie nowoczesnych narzędzi i organów do trudnych warunków [2, 8]. W rezultacie otrzymywano informację o jakościowym

i ilościowym zużyciu. Badania te miały charakter badawczy oraz lokalny i przydatne są jedynie w niewielkim stopniu dla użytkowników noży.

Dobrane do danych warunków nóż o określonych parametrach może być dostarczony użytkownikowi przez różnych producentów. Jednak producenci nie określają jakości oraz trwałości noży w sposób pozwalający na ich obiektywne porównanie i wybór najlepszego, jeszcze przed zakupem.

Przedsiębiorstwa górnicze, które zobowiązane są stosować procedury przetargów publicznych często używają ceny jako jedynego kryterium przy wyborze oferty noży. Jednak cena nie odzwierciedla jakości. Użytkownicy do tej pory nie posiadali odpowiedniej procedury pozwalającej ocenić jakość noży w sposób jednoznaczny i zastosować wyniki tej oceny jako kryterium przy wyborze optymalnej oferty. Dlatego też, mając na uwadze prawo zamówień publicznych, należało opracować taki sposób badania noży aby możliwe było jednoznaczne wybranie najlepszej oferty przy zachowaniu jak najniższej ceny.

Warto zwrócić uwagę, że zużycie noży styczno-obrotowych tak ilościowe jak i jakościowe odbiega od wyobrażenia o zużyciu części maszyn spotykanego w innych branżach. Na rys. 11.2 przedstawiono spotykane w praktyce przykładowe zużyte noże.



Rys. 11.2 Przykładowe formy zużycia noży styczno-obrotowych:
a i c - niesymetryczne, b, d, e - symetryczne

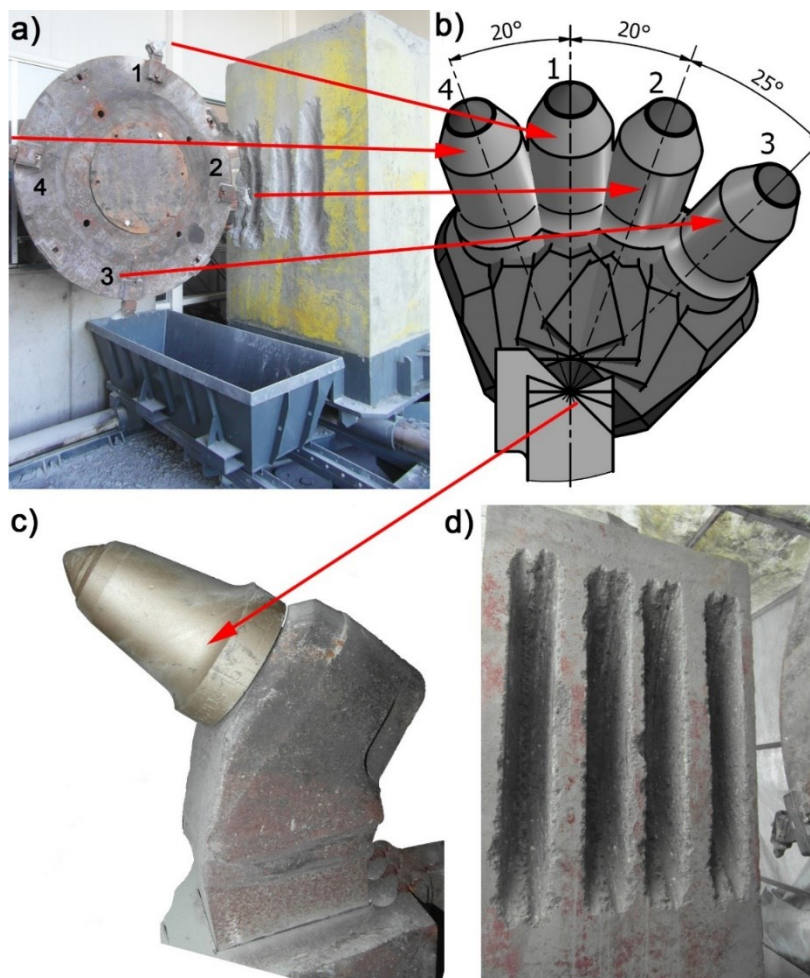
Źródło: Opracowanie własne

Rysunek 11.2a przedstawia nóż zużyty niesymetrycznie, które zniszczenie spowodowało zniszczenie uchwytu nożowego. Rysunek 11.2b nóż zużyty symetrycznie, pracujący zbyt długo. Rysunek 11.2c nóż zużyty niesymetrycznie, który dodatkowo odkształcił się plastycznie. Rysunek 11.2 d i e noże z napawaniem, pracujące prawidłowo w warunkach abrazyjnych, nadające się do dalszej eksploatacji. Aby zilustrować skalę zużycia, na zdjęcia noży naniesiono kształt noży fabrycznie nowych.

11.3 OCENA JAKOŚCI NOŻY STYCZNO-OBROTOWYCH

Prawidłowa i długotrwała praca, poprawnie dobranych noży stycžno-obrotowych zależy od parametrów geometrycznych korpusu noża oraz węgla spiekane, parametrów materiałowe korpusu noża oraz ostrza jak również trwałości całego noża. Badania przeprowadzano zgodnie z autorską procedurą przedstawioną w literaturze [9].

Trwałość noży jest najważniejszym elementem charakteryzującym ich jakość, jednak zalecane i stosowane w praktyce jest również kontrolowanie parametrów geometrycznych oraz materiałowych korpusu oraz wkładki. Badaniu podlegają najważniejsze wymiary, gdzie bardzo istotny jest kąt wierzchołka ostrza węgla spiekane. W zakresie badań materiałowych sprawdzane są gatunek stali oraz węgla spiekane oraz twardości w określonych miejscach korpusu oraz wkładki. Przedstawiona procedura została wdrożona w trzech polskich spółkach węglowych. Pomiar geometrii i własności materiałowych przeprowadzono stosując standardowe, znormalizowane metody. Badania szybkości zużycia przeprowadzono na unikatowym stanowisku badawczym (rys. 11.3).



Rys. 11.3 Stanowisko do badania szybkości zużycia, a. tarcza badawcza, b. rozmieszczenie noży, c. przykładowy nóż w uchwycie, d. próbka po badaniach

Źródło: Opracowanie własne

Badania te polegały na przeprowadzeniu frezowania sztucznej próbki betonowej nożami w warunkach kontrolowanych i pomiaru ubytku ich masy w trakcie tego procesu. Po wyznaczeniu masy noży przed i po badaniach oraz określeniu urobionej przez nie objętości calizny możliwe jest wyznaczenie wskaźnika charakteryzującego ich szybkość zużycia. Czym mniejsza wartość wskaźnika, tym wyższa trwałość noży. Szybkość zużycia noży, opisująca poszukiwaną trwałość, określić należy za pomocą jednego z następujących wzorów [9]:

$$C = \frac{\Delta m}{m} \cdot \frac{V_w}{V_u},$$

gdzie:

C – wskaźniki określające szybkość zużycia [-],

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

m – masa noża przed badaniami [g],

V_w – objętość wzorcowa/odniesienia próbki [m³],

V_u – objętość próbki urobiona podczas badań przez noże [m³],

11.4 PRZEDMIOT BADAŃ

W przedmiotowym artykule przedstawiono wyniki badań z jednego z przetargów, który dotyczył dostaw 371 640 sztuk noży w ciągu dwóch lat. Przetarg składał się z 14 zadań, czyli 14 różnych typów noży, które były przeznaczone dla 6 kopalń. Do przetargu w poszczególnych zadaniach udział zgłosiło udział 5 producentów. W tabeli 11.1 zestawiono kolejne zadania wraz z typem noża, liczbą sztuk oraz udziałem poszczególnych firm.

Tabela 11.1 Zestawienie podstawowych informacji o przedmiocie badań

Zadanie	Typ noża	Liczba sztuk	Udział w zadaniach				
			C	G	K	S	Y
1.	Ø 25/147/70/58/38	62 000	✓	✓	✓	✓	✓
2.	Ø 25/140/65/65/38-30	95 400	✓	✓	✓	✓	✓
3.	Ø 25/140/65/55/30	10 000	✓	✓	✓	-	✓
4.	Ø 22/145/65/48/30	15 000	✓	✓	✓	-	-
5.	Ø 22/170/90/48/30	15 000	✓	✓	✓	-	-
6.	Ø 22/145/65/52/30 PC	21 000	✓	✓	✓	-	-
7.	Ø 22/185/90/60/38	3 840	✓	✓	✓	-	-
8.	Ø 22/165/90/65/38-30	66 900	✓	✓	✓	-	-
9.	Ø 22/165/90/65/38-30 HZ	18 000	✓	✓	✓	-	-
10.	Ø 18/165/60/38-30 HZ	6 000	✓	✓	✓	-	-
11.	Ø 25/165/90/65/38-30 HZ	3 500	✓	✓	✓	-	-
12.	Ø 20/140/64/62/38-30 z powłoką	25 000	-	✓	✓	✓	-
13.	Ø 20/144/64/52/30 z powłoką	15 000	-	✓	✓	✓	-
14.	Ø 25/144/64/52/30	15 000	✓	✓	✓	✓	-

Źródło: [1]

Typ noża zapisany jest za pomocą wartości jego charakterystycznych wielkości jak średnica węglik, długość całkowita, długość części roboczej oraz średnica części chwytowej. Dodatkowo w typie noża podany jest rodzaj zabezpieczenia noża oraz ewentualna informacja o wymaganej powłoce trudnościeralnej. Liczba sztuk dotyczy wymaganej liczby noży, którą musi dostarczyć dostawca w ciągu dwóch lat. Udział oferentów w poszczególnych zadaniach przypisano używając symboli firm, kolejno C, G, K, S oraz Y.

W praktyce każdy z oferentów w przetargu dla jednego zadania dostarczał reprezentatywną próbkę składającą się z 22 sztuk noży. Zgodnie z procedurą 3 noże przeznaczano do badań geometrii, kolejne 3 do badań materiałoznawczych oraz 4 do badań szybkości zużycia. Pozostałe 12 noży stanowiło wzorzec do kontroli jakości. W sytuacji, gdy kopalnia miała podejrzenia dotyczące jakości dostarczanych noży, dostarczała 10 sztuk, które były sprawdzane w aspekcie parametrów geometrycznych (3 sztuki), materiałoznawczych (3 sztuki) oraz szybkości zużycia (4 sztuki) przez porównanie z nożami wzorcowymi (4 sztuki). Na podstawie wyników badań precyzowano wnioski potwierdzające lub odrzucające roszczenia kopalni. Procedurę reklamacyjną zastosowano jedynie kilka, co świadczy o utrzymywaniu wysokiej jakości noży przez producentów. Łącznie na potrzeby analizowanego przetargu wykonano badania 48 kompletów noży, czyli 1056 sztuk, z czego 576 stanowiło wzorzec w przypadku wystąpienia ewentualnych reklamacji.

11.5 WYNIKI OCENY JAKOŚCI NOŻY STYCZNO-OBROTOWYCH

Noże styczno-obrotowe w większości przypadków są toczone a ich ostrza są spiekane i lutowane do korpusów. Utrzymanie dokładności wymiarowej nie przysparza problemów i producenci zazwyczaj spełniają stawiane im wymagania. W analizowanym przypadku wyjątkiem była firma Y, która od niedawna podjęła się produkcji noży górniczych. W zadaniu pierwszym wszystkie noże firmy Y miały nieprawidłową długość oraz nieprawidłowy kąt ostrza, natomiast w zadaniu 2 i 3 wszystkie noże miały nieprawidłowy kąt ostrza.

Badania materiałoznawcze wykazały pojedyncze przypadki niespełnienia wymagań. Najczęściej przekroczona była dopuszczalna twardość części chwytowej noży, tak było w przypadku firmy C (zadanie 2, 8, 9), G (zadanie 11, 12), K (zadanie 6, 7, 8, 9, 10, 12), S (zadanie 1) oraz Y (zadanie 1, 2, 3). Sporadycznie zdarzały się przypadki nieznacznego przekroczenia zakresów zawartości węgla, chromu lub manganu, sytuacja taka miała miejsce w przypadku firmy G (zadanie 1, 2, 3, 4, 5), K (zadanie 1) oraz S (zadanie 1, 2, 13). Firma Y stosowała stal 42CrMo4 na korpusy noży, pozostałe firmy stosowały stal 35HGS. Firma Y stosowała węglik gatunku B40, natomiast pozostałe firmy gatunki B2, B20 oraz B23.

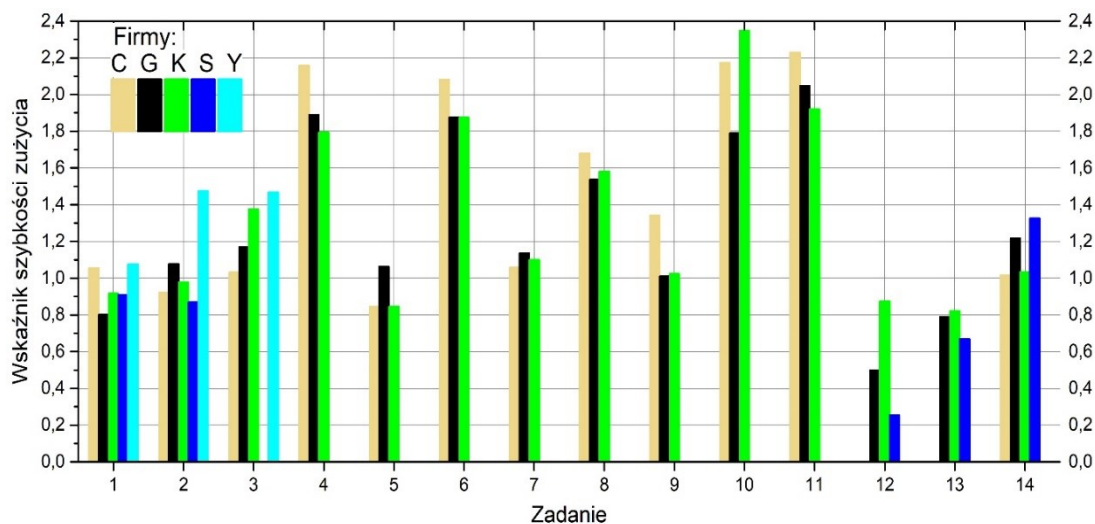
Badania trwałości przeprowadzono na próbce betonowej o wytrzymałości $R_c = 11,49$ MPa. Dla każdego zadania i każdego producenta badano 4 noże jednocześnie. Noże mocowano na tarczy badawczej o średnicy około 1850 mm i szerokości około 155 mm. Badania trwały 5 minut w czasie których noże urabiały 140 mm betonu.

Zużycie każdego noża wahało się średnio w okolicach 20-30 gramów, skrajnie od kilku gramów do nawet 70 gramów. Obliczone wartości wskaźnika szybkości zużycia przedstawiono tabelarycznie (tabela 11.2) oraz graficznie (rys. 11.4).

Tabela 11.2 Zestawienie wyników badania szybkości zużycia

Zadanie	C	G	K	S	Y
1.	1,055	0,801	0,916	0,910	1,076
2.	0,922	1,078	0,978	0,869	1,475
3.	1,032	1,170	1,376	-	1,468
4.	2,158	1,890	1,793	-	-
5.	0,845	1,063	0,846	-	-
6.	2,082	1,876	1,875	-	-
7.	1,058	1,136	1,099	-	-
8.	1,680	1,537	1,582	-	-
9.	1,343	1,010	1,024	-	-
10.	2,174	1,789	2,349	-	-
11.	2,230	2,047	1,920	-	-
12.	-	0,500	0,876	0,255	-
13.	-	0,790	0,822	0,670	-
14.	1,017	1,217	1,033	1,326	-
Wygrana:	4	4	3	3	0

Źródło: [1]



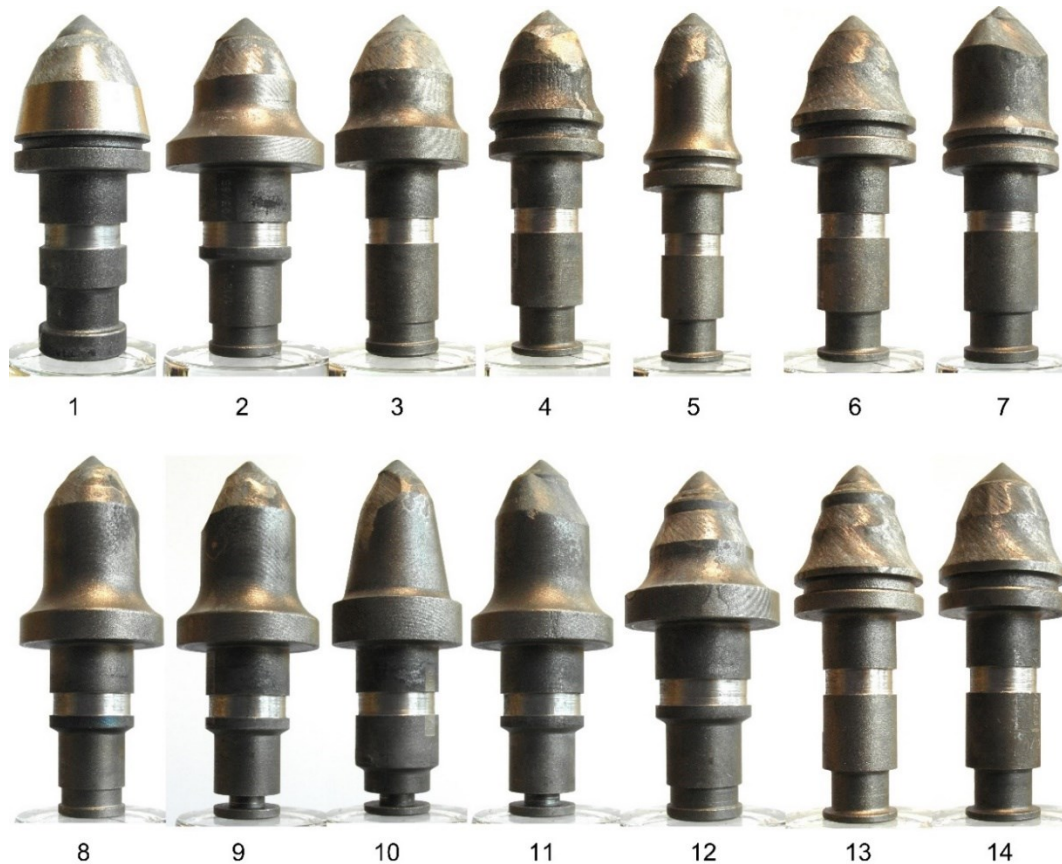
Rys. 11.4 Graficzne przedstawienie wyników badania szybkości zużycia noży

Źródło: Opracowanie własne

W tabeli 11.2 wyróżniono noże, które w danym zadaniu osiągnęły najwyższą trwałość.

Warto zwrócić uwagę na porównanie wyników pomiędzy poszczególnymi zadaniami. Charakterystyczne jest znacznie mniejsze zużycie noży z powłokami

trudnościami (zadanie 12 i 13). Widok przykładowych noży z każdego zadania od 1 do 14 (od lewej do prawej) przedstawiono na rysunku 11.5 [1].



Rys. 11.5 Przykładowe noże po badaniach wybrane z każdego zadania od 1 do 14

Źródło: Opracowanie własne

11.6 PODSUMOWANIE

Frezowanie nożami styczo-obrotowymi, zwłaszcza w górnictwie podziemnym stosowane jest na szeroką skalę. Prawidłowa praca noży styczo-obrotowych gwarantuje wysoką trwałość organów frezujących przy niskiej energochłonności procesu, małym zapyleniu oraz iskrzeniu. Technicznie producent nie ma możliwości podania trwałości swojego produktu w taki sposób, aby możliwe było porównanie przez użytkownika ofert różnych producentów między sobą. W związku z tym opracowano odpowiednią metodykę badań na potrzeby polskich spółek węglowych. Na podstawie analizy wyników badań składających z trzech etapów, przy uwzględnieniu ceny, możliwe jest wybranie optymalnej oferty oraz późniejsza kontrola jakości dostaw.

Wyniki badań parametrów geometrycznych, materiałowych oraz szybkości zużycia wskazują na wysoką jakość noży. Jedynie jeden producent nie dotrzymał wymagań dotyczących geometrii. Na skład materiałowy stali producent noży nie ma wpływu, stąd przyczyny sporadycznych przekroczeń norm należy poszukiwać u dostawcy materiału. W przypadku niektórych noży problemem było utrzymanie twardości części chwytowej w granicy $30 \text{ HRC} \pm 5 \text{ HRC}$ przy jednoczesnym zapewnieniu

twierdności części roboczej powyżej 45 HRC. Szybkość zużycia noży, która reprezentuje ich późniejszą trwałość dla poszczególnych producentów i zadań zmieniała się w bardzo dużym zakresie. W odniesieniu do najlepszego noża w każdym zadaniu, trwałość pozostałych oferowanych noży w tym zadaniu różniła się od 9% do ponad 243%. Natomiast najlepszy nóż wśród wszystkich zadań zużywał się wolniej od najgorszego o 821%. Należy zaznaczyć, że różnice w cenie oferowanych noży w ramach jednego zadania przekraczały sto procent. Stąd wybór optymalnej oferty, bez obiektywnej informacji o jakości jest trudny i pociąga za sobą konsekwencje finansowe. Przedstawione w artykule wyniki uzyskano w trakcie badań noży pięciu producentów działających na polskim rynku. Dzięki wdrożeniu przedmiotowych badań zarejestrowano ponad dwukrotny spadek zużycia noży.

Prace zrealizowano w ramach grantu dziekańskiego, umowa 15.11.130.838.

LITERATURA

1. Bołoz Ł. (2018). „Results of a study on the quality of conical picks for public procurement purposes”, in Proceedings of the international conference on Human safety in work environment: operating machinery and equipment: integrated management systems: quality - environment - safety, 23-27 october 2018, Gdańsk-Nynashamn-Sztokholm-Tallin-Sztokholm-Nynashamn-Gdańsk, pp. 687-693.
2. Bołoz Ł., Krauze K. (2018). Ability to mill rocks in open-pit mining. In: 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, Exploration and Mining, SGEM2018, Albena, Bulgaria, Volume 2, pp. 41-48.
3. Chang S., Lee, Chulho, Kang. (2017). Tae-HoEffect of hardfacing on wear reduction of pick cutters under mixed rock conditions. *Geomechanics and engineering*, 13(1), pp. 141-159.
4. Dewangan, Saurabh, Chattopadhyaya, Somnath, (2015). Critical Analysis of Wear Mechanisms in Cemented Carbide. *Journal of materials engineering and performance*, 24(7), pp. 2628-2636.
5. Dewangan, Saurabh; Chattopadhyaya, Somnath; Hloch, Sergej. (2015). Wear Assessment of Conical Pick used in Coal Cutting Operation. *Rock mechanics and rock engineering*, 48(5), pp. 2129-2139.
6. Gajewski J., Jedlinski L., Jonak J. (2013). Classification of wear level of mining tools with the use of fuzzy neural Network. *Tunnelling and underground space technology*, 35, pp. 30-36.
7. Kotwica K. (2011). The influence of water assistance on the character and degree of wear of cutting tools applied in roadheaders. *Archives of Mining Sciences*, 5(3), pp. 353-374.
8. Krauze K., Bołoz Ł. (2018). Disc unit dedicated to mine abrasive rocks and in particular copper ores. In: 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, Exploration and Mining, SGEM2018, Albena, Bulgaria, Volume 2, pp. 311-318.
9. Krauze K., Bołoz Ł., Wydro T. (2015). Parametric factors for the tangential-rotary picks quality assessment, *Archives of Mining Sciences*, 60(1), pp. 265-281.
10. Krauze K., Bołoz Ł., Wydro T., Mucha K. (2017). Durability testing of tangential-rotary picks made of different materials. *Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering*, 1, pp. 26-34.

11. Krauze K., Kotwica 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), pp. 195-217.
12. Nahak, Sakuntala; Dewangan, Saurabh; Chattopadhyaya, Somnath. (2015). Discussion on Wear Phenomena in Cemented Carbide. In: Global Challenges, Policy Framework & Sustainable Development for *Mining of Mineral and Fossil Energy Resources*. Dhanbad: GCPF, 11, pp. 284-293.
13. Songyong L., Huifu; J., Xiaohui L. (2017). Experimental research on wear of conical pick interacting with coal-rock. *Engineering failure analysis*, 74, pp. 172-187.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 02.2019

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 04.2019

OCENA JAKOŚCI NOŻY STYCZNO-OBROTOWYCH NA POTRZEBY ZAMÓWIEŃ PUBLICZNYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań jakości handlowych noży styczno-obrotowych na potrzeby realizacji procedur przetargowych zgodnie z prawem zamówień publicznych w Polsce. Przedstawione badania noży są jednymi z nielicznych, które w praktyce pozwalają na wybór oferty na podstawie obiektywnie wyznaczonych liczbowych wskaźników określających jakość produktu a nie jedynie na podstawie ceny. Dzięki temu zamawiający może decydować jaki udział w ocenie oferty stanowić ma cena a jaki jakość. Wymagane w przetargu parametry geometryczne oraz materiałowe, w przypadku braku spełnienia są podstawą do odrzucenia danej oferty noży. Parametrem liczbowym wpływającym na ocenę końcową oferty jest szybkość zużycia noży. Przedstawiono wyniki badań parametrów geometrycznych, materiałowych oraz szybkości zużycia 48 kompletów noży, przeprowadzone dla przetargu składającego się z 14 zadań. Przetarg przeprowadzono dla 6 kopalni podziemnych jednej ze spółek węglowych. Do wybranych zadań w przetargu swoją ofertę zgłosiło 5 producentów.

Słowa kluczowe: noże styczno-obrotowe, wybór oferty, przetargi publiczne, trwałość

QUALITY ASSESSMENT OF CONICAL PICKS FOR PUBLIC PROCUREMENT PURPOSES

Abstract: The article presents the results of a study on the quality of conical picks for the purposes of tender procedures in accordance with the public procurement law in Poland. The pick studies presented here are one of the few that in practice allow the selection of an offer based on objectively determined numerical indicators defining the quality of the product and not only on the basis of price. Thanks to this, the contracting party can decide the relevance of price and quality in their evaluation of a pick. The geometrical and material parameters required in a tender, if not met, are the basis for rejecting a given offer of picks. The numerical parameter influencing the final evaluation of the offer is the picks' rate of wear. The article presents the results of studies on geometric parameters, material parameters and the rate of wear of 48 sets of picks conducted for a tender consisting of 14 tasks. The tender was conducted for 6 underground mines of a coal company. Five producers submitted their offers for selected tasks in the tender.

Key words: conical picks, offer selection, public tenders, durability

dr inż. Łukasz Bołoz

AGH w Krakowie

Katedra Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych

al. Mickiewicza 30, Kraków, Polska

tel.: +48 696 077 220

e-mail: boloz@agh.edu.pl