

BADANIA ZUŻYCIA NOŻY STYCZNO-OBROTOWYCH

Jakub Gajewski, Józef Jonak

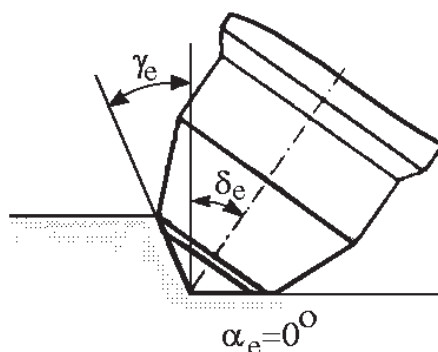
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Lubelska,
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: j.gajewski@pollub.pl

Streszczenie. Artykuł przedstawia analizę typowego procesu zużycia narzędzi obrotowych. Przedstawiono przykłady symetrycznego zużywania się narzędzi, jak również przypadki zużycia katastroficznego. Zaprezentowano badania narzędzi styczno-obrotowych zamontowanych na głowicy wielonarzędziowej. W prognozowaniu wpływu wartości wskaźnika zużycia na obciążenie noży, wykorzystano sztuczną sieć neuronową o strukturze perceptronu wielowarstwowego.

Słowa kluczowe: nóż styczno - obrotowy, zużycie, prognoza, sieć neuronowa.

WPROWADZENIE

Przesłanką do opracowania noży obrotowych było założenie, że ich ostrza, z uwagi na występujący obrót, będą się symetrycznie zużywać, zachowując tym samym w czasie eksploatacji pierwotny kształt. Efekt ten nazywamy samoostrzeniem się noży. Zagadnienie zużycia noży styczno-obrotowych jest jednak zjawiskiem bardziej złożonym.



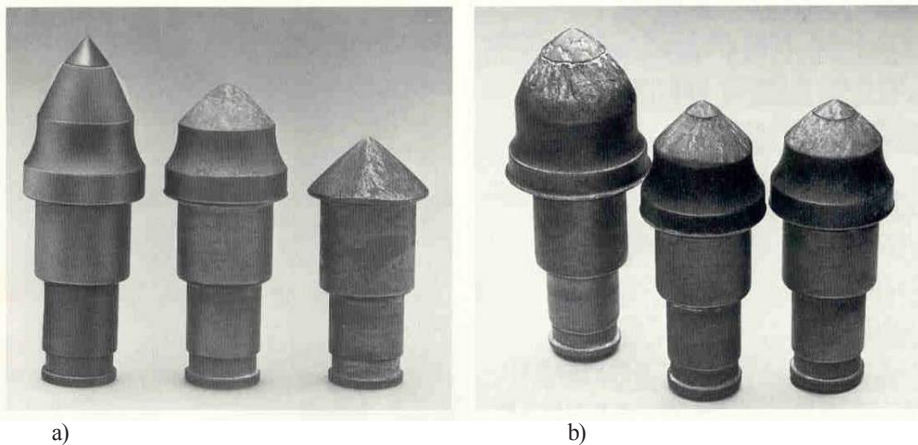
Rys. 1. Parametry geometryczne ostrza noża stożkowego podlegającego prawidłowemu zużywaniu się („samoostrzeniu”) [9]

Fig. 1. Geometrical parameters of cutting edge during regular wear (self-sharpening) [9]

W praktyce, zużycie tego rodzaju narzędzi często przebiega w sposób asymetryczny, prowadząc do znaczącego wzrostu ich obciążenia. Noże ulegają zaklinowaniu w uchwytach, co powoduje również znaczące trudności w prognozowaniu ich zużycia.

KLASYFIKACJA RODZAJÓW ZUŻYCIA

W konsekwencji procesu tępienia się tych noży, zmienia się kąt ostrza narzędzia, z konstrukcyjnego (najczęściej $\beta = 75^\circ\div 85^\circ$), na wynikający z jego ustawienia i bocznego wychylenia (kąty: $\delta = 45^\circ\div 50^\circ$, $\rho = 7^\circ\div 20^\circ$) względem skały. Zilustrowano to na rysunku 2 [6].



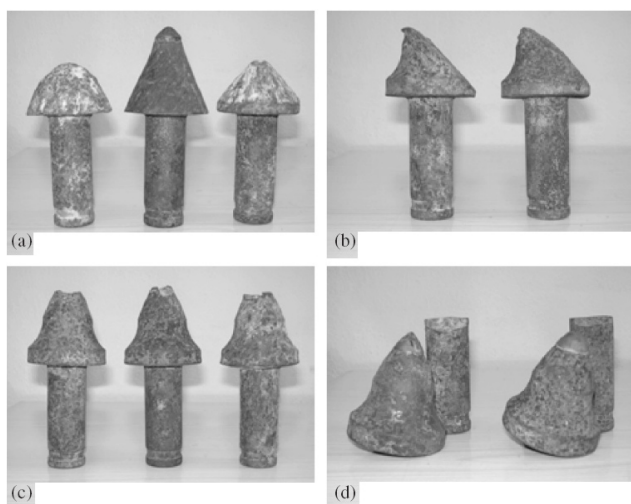
Rys. 2. Typowy przebieg zużycia obrotowego noża stożkowego [6]: a) klasyczne ścieranie, b) złożony mechanizm zużycia węgla

Fig. 2. Typical course of cutting edge wearing a) regular abrasion, b) complex carbide wear [6]

Wraz z postępującym zużyciem rośnie wartość kąta ostrza, maleje kąt natarcia oraz maleje, aż do zera, wartość roboczego kąta przyłożenia. Jak wynika z rysunku 2a, konsekwencją „samoostrzenia” się obrotowego noża stożkowego, jest jego ciągle skracanie. Po starciu wkładki z węgla spiekane, proces ten przebiega intensywniej. W rzeczywistych warunkach urabiania głowicą, kąt stożka może osiągać wartości około 110° i więcej (rys. 2). Fakt ten nie był dotychczas brany pod uwagę, o czym mogą świadczyć wartości kątów ostrzy noży obrotowych, stosowanych w badaniach laboratoryjnych i przemysłowych. Trudno więc jednoznacznie prognozować jaka będzie dynamika skrawania, jak i na ile wzrośnie obciążenie ostrza. Ponadto, z uwagi na znaczne skrócenie długości noża (nawet o 20mm), zmienia się kinematyka ostrza, maleje wartość prędkości skrawania (z uwagi na mniejszy promień trajektorii skrawania). Dla założonej wartości posuwu głowicy, będzie to skutkowało kolejną zmianą wartości kątów ostrza w układzie roboczym.

Funkcjonująca opinia, że noże takie same się ostrzą i mogą pracować (przy założeniu występowania ich obrotu) do momentu całkowitego zużycia wkładki z węgla WC-Co, może stanowić jednak pewną przesłankę co do kryterium zużycia tych noży.

Najbardziej charakterystyczne przypadki zużycia noży stożkowych, zaobserwowane w praktyce przemysłowej, ilustrują kolejne rysunki 3÷5.



Rys. 3. Charakterystyczne przypadki zużycia (zniszczenia) noży obrotowych [7]: a) zużycie symetryczne, b) asymetryczne, c) wykruszenie węglików, d) złamanie korpusu noża

Fig. 3. Typical case of rotating tool wear a) symmetrical b) asymmetrical c) carbide spalling d) tool break [7]

W wyniku procesów tribologicznych w strefie styku narzędzia ze skrawanym materiałem oraz wiórem dochodzi do zużycia. Powoduje to zmiany zarówno kształtu geometrycznego noża, jak również ubytek masy narzędzia. Można wyróżnić zużycie:

- ciągłe (narastające w czasie),
- skokowe.

Zużycie ciągłe polega na sukcesywnym ubywaniu materiału ostrza w trakcie skrawania. Zużycie skokowe polega z kolei na gwałtownym ubytku masy ostrza spowodowanej np. złamaniem wkładki lub wykruszeniem jej znacznej części.

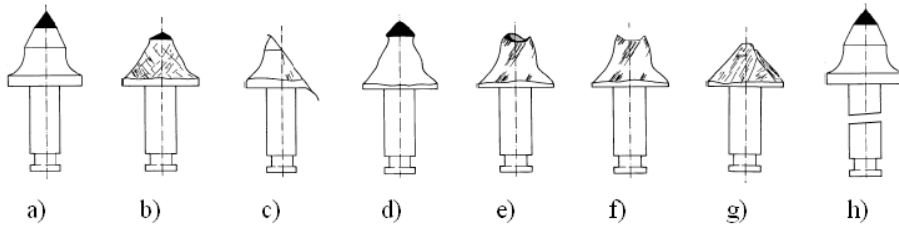
Oba rodzaje zużycia (lub wręcz jego uszkodzenia) zostały zaprezentowane na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Obserwowane formy zużycia noży obrotowych [12]

Fig. 4. Observe case of rotating tool wear [12]

Do celów prowadzonych badań, w pracy [10], dokonano specyfikacji rodzajowej zaobserwowanych form zużycia noży stożkowych, które to formy ilustruje rysunek 5(a) nowy nóż ostry, b) symetryczne zużycie (prawidłowe), c) zużycie asymetryczne, d) przyspieszone zużywanie korpusu noża, e) kruche złamanie płytki, f) wyrwanie płytki z korpusu, g) przyspieszone (katastroficzne) zużycie ostrza po zużyciu ściernym wkładki, h) złamanie chwytu noża).



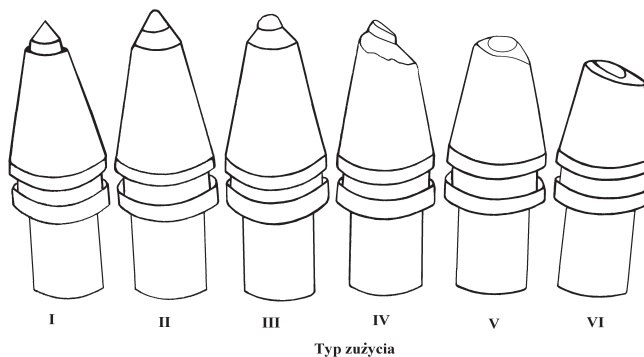
Rys. 5. Zdyskretyzowane formy zużycia noża stożkowego [10]

Fig. 5. Discrete forms of rotating tool wear [10]

Rysunek 4 dowodzi, iż każda z form zużycia ostrza, ma inne podłoże fizyczne. Część uszkodzeń powstaje z niewłaściwie prowadzonej eksploatacji (np. zbyt duże prędkości posuwu) inne zaś powstawać mogą już na etapie produkcji noży (np. zła technologia przeprowadzania operacji wlutowywania wkładki z węgla, w korpus noża).

Doświadczenia pokazują, iż zakładany obrót uzyskuje około połowa noży. W innych przypadkach ostrze podlega niesymetrycznemu tępieniu, co powoduje znaczne pogorszenie pracy narzędzia (m.in. zwiększają się wibracje, wzrasta zapylenie, wzrasta składowa normalna całkowitej siły na nóż, rosną moc i siła skrawania, wzrasta zapylenie w strefie skrawania, zwiększa się wydzielanie ciepła). Stąd prowadzi się szerokie badania w tematyce zapewnienia właściwego obrotu noża.

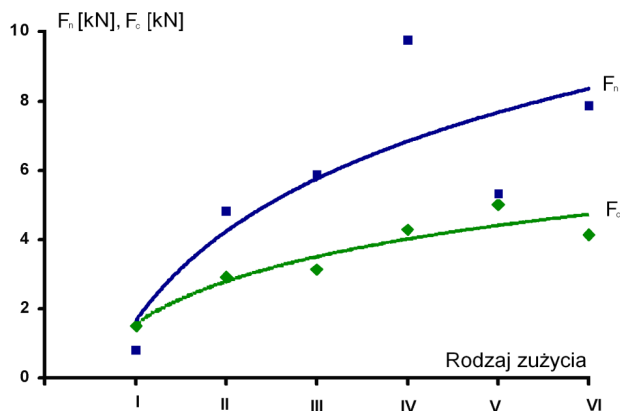
Z kolei, według [1], typowe etapy zużycia noża stożkowego sklasyfikować można w sześciu grupach, jak na rysunku 6.



Rys. 6. Etapy zużycia (I-III) i zniszczenia (IV-VI) noża stycznie- obrotowego [1]

Fig. 6. Rotating tangent tool wear stages [1]

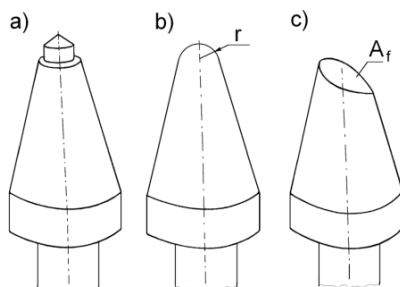
Rosnący stopień stępienia ostrza noża, skutkuje sukcesywnym wzrostem tak siły skrawania jak i siły docisku. Jak wynika z rysunku 7, bardziej intensywny przyrost, występuje w przypadku siły normalnej.



Rys. 7. Kształtowanie się obciążenia noża stycznie- obrotowego w kolejnych etapach zużycia ostrza (etapy wg rys. 6) [1]

Fig. 7. Tool load during wear stage process (Fig. 6.) [1]

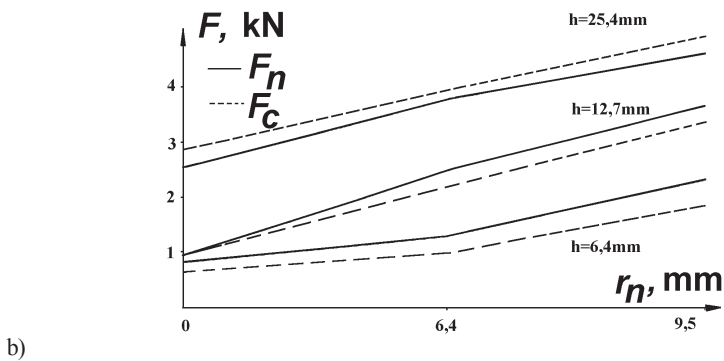
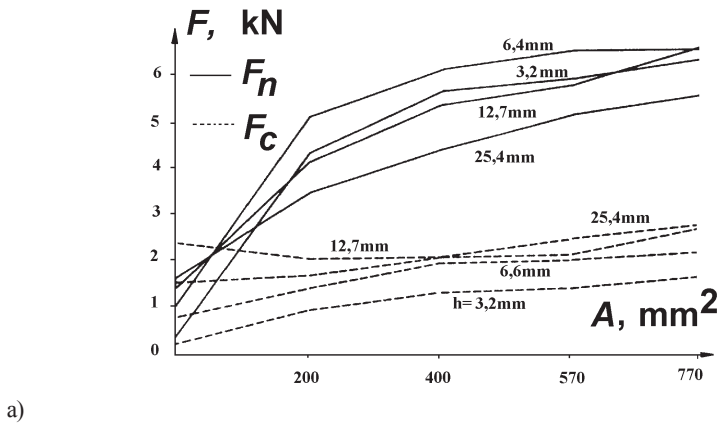
Inni autorzy [8] zwracają uwagę, że w przypadku noży obrotowych, istotne są właściwie dwie formy zużycia, tj. symetryczna, objawiająca się rosnącym promieniem zaokrąglenia ostrza (rys. 8b) oraz asymetryczna, objawiająca się rosnącą powierzchnią stycznego do trajektorii skrawania, starcia ostrza (rys. 8c).



Rys. 8. Symetryczne i niesymetryczne zużycie noża stożkowego [8]

Fig. 8. Symmetrical and asymmetrical rotating tool wear [8]

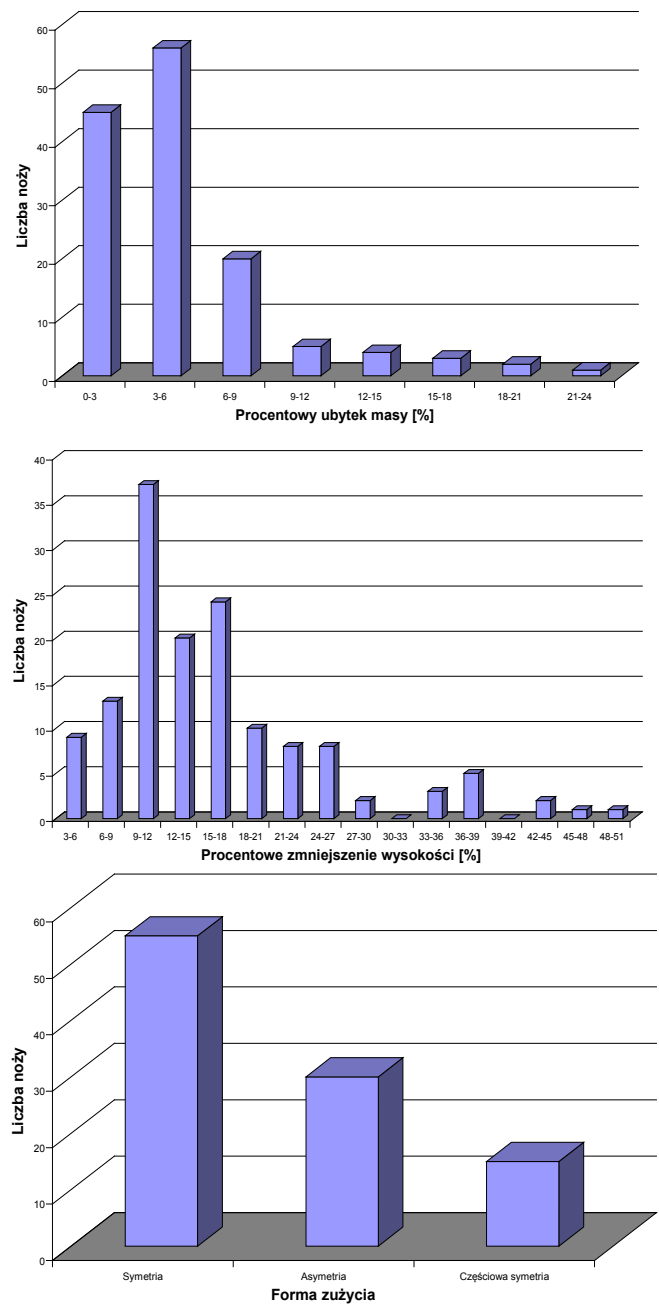
Jak wykazują badania [8], każdej z tych form zużycia ostrza, odpowiada inny schemat obciążenia ostrza, co przedstawiono na rysunku 9. W przypadku zużycia asymetrycznego (rys. 9a.), występuje bardzo gwałtowny przyrost siły docisku (F_n), podczas gdy wzrost siły skrawania, spowodowany rosnącym stępieniem ostrza, jest bardzo powolny. Z kolei w przypadku zużycia symetrycznego, obserwuje się stopniowy wzrost składowych sił na ostrzu, zachodzący prawie w tym samym tempie dla rozpatrywanych sił składowych. Ta informacja może być bardzo cenna, z punktu widzenia monitorowania stanu ostrza noża stożkowego, prowadzonego w rzeczywistych warunkach urabiania.



Rys. 9. Kształtowanie się obciążenia noża stożkowego zależnie od formy stępienia ostrza: a) dla stępienia asymetrycznego, b) dla stępienia symetrycznego [8]

Fig. 9. Tool load of different rotating tool wear type a) symmetrical wear b) asymmetrical wear [8]

Analizy częstości występowania określonego stopnia oraz formy zużycia narzędzi stożkowych przeprowadził np. Khair [7]. Wyniki tych analiz prezentuje rysunek 10.



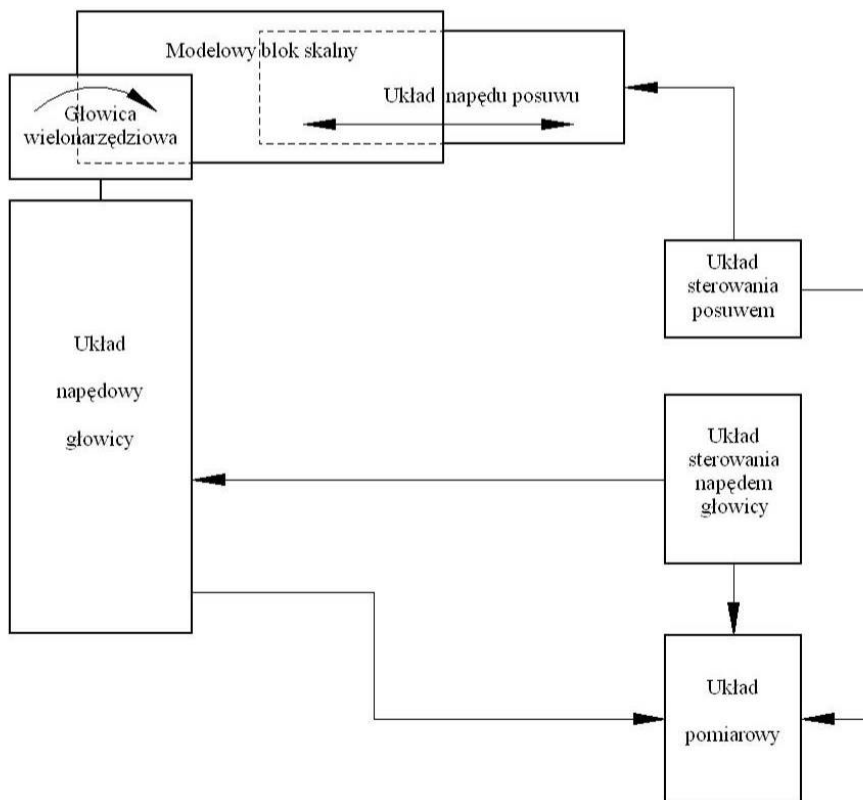
Rys. 10. Częstości występowania określonej formy oraz stopnia zużycia noży stożkowych z wkładkami z węglików spiekanych [7]

Fig. 10. Appearance of different stage and form rotating tool wear [7]

Z rysunku 10 wynika, że najliczniej występowała symetryczna forma zużycia, rzadziej natomiast asymetryczna. Podobnie, najczęściej występowało zużycie noży z $3 \div 6$ procentowym ubytkiem masy noża, lub odpowiednio $9 \div 12$ milimetrowym skróceniem ostrza.

BADANIA LABORATORYJNE

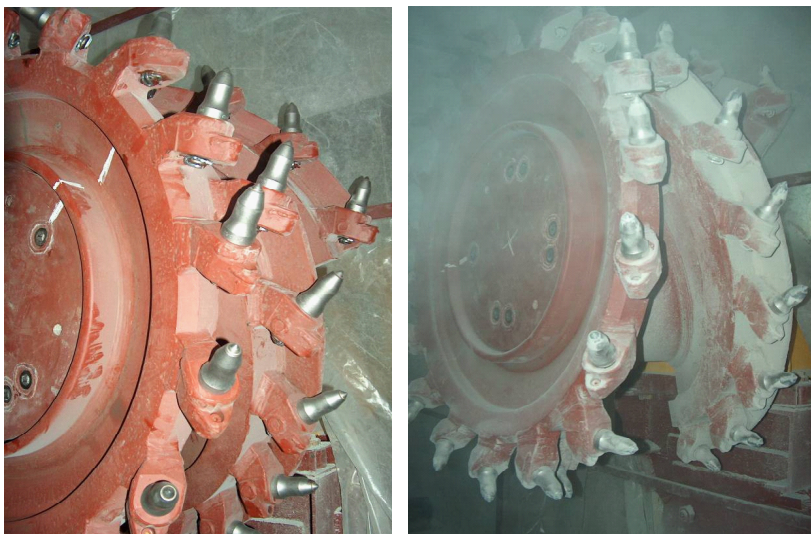
Przedstawione wyniki są częścią prowadzonych badań zużycia narzędzi górniczych [2-5]. Do badań noży styczno- obrotowych wykorzystano głowicę wielonarzędziową, o średnicy 1400mm. Schemat ideowy stanowiska badawczego zaprezentowany został na rysunku 11.



Rys. 11. Schemat ideowy stanowiska badawczego

Fig. 11. A scheme of test stand

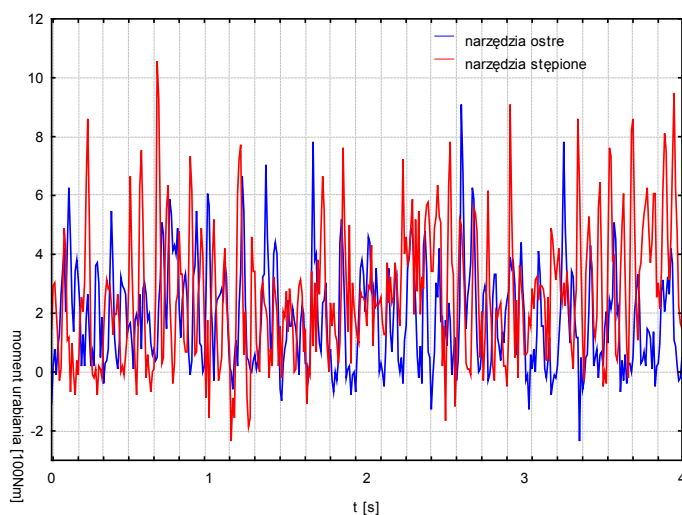
Na głowicy zamontowano 39 noży, w tym 18 na tarczy obcinającej, a pozostałe na trzech płatach. Narzędzia zamontowano równomiernie na obwodzie głowicy, co uwidocznione jest na rysunku 12.



Rys. 12. Głowica wielonarzędziowa do urabiania z zamontowanym zespołem noży obrotowych

Fig. 12. Multi-tool ripping head

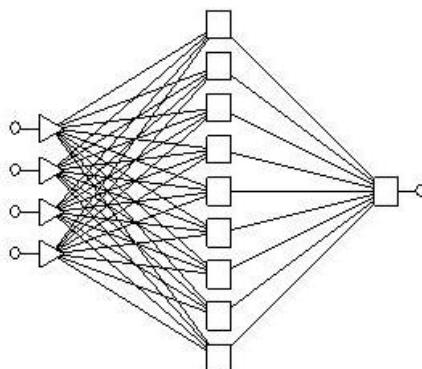
W wyniku badań, polegających na stopniowym tępieniu noży podczas urabiania modelowej bryły skalanej, pozyskano przebiegi czasowe momentu urabiania, które rejestrowano dla narzędzi ostrych oraz częściowo stępionych (rys. 13). W trakcie badań większość noży zużywała się w sposób symetryczny. Za kryterium zużycia przyjęto skrócenie ostrza o 2mm.



Rys. 13. Przebiegi czasowe momentu urabiania głowicą uzbrojoną w styczne noże obrotowe

Fig. 13. Time-graph of cutting head torque

W analizach oceny zużycia narzędzi posłużono się sztuczną siecią neuronową o strukturze perceptronu wielowarstwowego (rys.14). Jako zmienne wejściowe do sieci wykorzystano parametry statystyczne sygnału momentu urabiania: wartość średnią, wariancję, skośność oraz kurtozę.



Rys. 14. Schemat SSN o strukturze MLP 4-9-1

Fig. 14. A diagram of MLP 4-9-1

Zmienną wyjściową modelu sieci był stan ostrza, przyporządkowany do dwóch grup jako ostry lub stępiony. W tabeli 1 zamieszczono analizę wrażliwości działania perceptronu. Wskazuje ona, iż najistotniejszą zmienną wejściową była dla sieci wariancja sygnału momentu urabiania.

Tab. 1. Analiza wrażliwości sieci MLP, dla noży obrotowych

Tab. 1. Sensitivity analysis of MLP network

	Średnia	Wariancja	Skośność	Kurtoza
Iloraz	1,14	1,30	1,02	1,13
Ranga	2	1	4	3

Statystyki klasyfikacyjne, które przedstawia tabela 2, przedstawiają poprawność klasyfikacji poszczególnych przypadków przez sieć. Z uwagi na przyjęte kryterium zużycia (zaledwie dwumilimetrowe skrócenie ostrza), wyniki działania sieci są niejednoznaczne. Jednak w aspekcie obecnie stosowanych kryteriów oceny stanu ostrzy narzędzi podczas pracy, wykorzystanie modelu sieci neuronowej wydaje się obiecujące.

Tab. 2. Statystyki klasyfikacyjne (MLP)

Tab. 2. Statistics of classification MLP

	Narzędzia ostre	Narzędzia stępione
Wszystkie	22	22
Poprawnie	21	19
Niepoprawnie	1	3
Nieznane	0	0
Poprawnie %)	95,4	86,3

PODSUMOWANIE

Żużycie narzędzi styczno- obrotowych jest zjawiskiem złożonym, trudnym do jednoznacznego prognozowania. W praktyce brak jest jednoznacznych kryteriów zużycia tych rodzajów narzędzi. Celowym jest zatem opracowanie metody, która pozwoli na skuteczną ocenę stanu ostrzy narzędzi urabiających podczas urabiania.

LITERATURA

1. Barker R.H., Jones G.J., Hardman D.R.: An Assessment of Pick Wear and its Effect of Continuous Miner Performance. Chamber of Mines of So. Africa, Research report 10/81, January 1981.
2. Gajewski J.: Koncepcja oceny stanu ostrzy noży głowicy wielonarzędziowej do urabiania. *Eksploracja i Niezawodność* 2/2005, s. 23-25.
3. Gajewski J., Jonak J.: Utilisation of neural networks to identify the status of the cutting tool point. *Tunnelling and Underground Space Technology incorporating Trenchless Technology Research* 2006, Vol. 21, Is. 2, pp. 180-184.
4. Gajewski J., Jonak J.: Klasyfikacja sygnałów siły skrawania za pomocą sieci neuronowej, *Eksploracja i Niezawodność* 2/2004, s. 24-27.
5. Jonak J., Gajewski J.: Identification of ripping tool types with the use of characteristic statistical parameters of time graphs. *Tunnelling and Underground Space Technology incorporating Trenchless Technology Research* 2008, Vol. 23, Is. 1, pp. 18-24.
6. Katalog: Rundschafftmeissel. KRUPP WIDIA.
7. Khair A. W.: The Effects of Cutting Tool Design on Respirable Dust Generation. Proc. International Scientific and Technical Conference on Respirable Dust Hazard Control in the World Mining Industry, Szczyrk, Poland, Sept. 17-19, 1996, pp. 79-87.
8. Roepke W. W.: Coal cutting research slashes dust. *Coal Mining & Processing* 1983
9. Roxborough F.F.: Breaking coal and rock. *Australasian Coal Mining Practice* (chapter 9)
10. Thuro, K., Plinninger, R.J.: Geologisch-geotechnische Grenzfälle beim Einsatz von Teilschnittmaschinen. *Felsbau* 16 (1998), nr 5, s. 358-366, Essen (Glückauf).
11. Bilgin N., Tumac D., Feridunoglu C., Karakas A.R., Akgul M.: The performance of a road-header in high strength rock formations in Küçüksu tunnel. *Underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for the Future-* Erdem & Solak (eds). Taylor & Francis Group. London 2005.
12. Plinninger, R.J., Thuro, K., Bruehlheide, TH.: Geotechnische Auswirkungen von Inhomogenitäten im Keupersandstein auf Tunnelvortriebe der U-Bahn Nürnberg. *Berichte von der 12. Nat. Tag. Ing.-Geol.*, 12.-16. April 1999, Halle (Saale), Fachsektion Ingenieurgeologie, pp. 326-336.

RESEARCH ON ROTATING TANGENT CUTTERS WEAR

Summary. The article presents results of research on utilising artificial neural networks to identify point's status cutting tools used in multi-tool excavating heads of mechanical coal miners.

In the paper there is also presented basic problems related to elementary process occurring during rock excavating with the use of multi-tool head.

Key words: excavation, neural network.