

	Organizatorzy:	<b>XXXVIII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKİ ŚCIERNEJ</b> <b>Łódź - Uniejów</b> 09-11.09.2015	
	Politechnika Łódzka Wydział Mechaniczny • Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn • Katedra Technologii Maszyn		

## Porównanie wyników badań stykowych dotyczących parametrów topografii CPS ściernic z CBN zmieniających się wraz z jej zużyciem w kontekście wyboru istotnych parametrów

The comparison of the results of the research concerning CBN grinding wheel topography parameters changing with the wheel wear in the context of the selection of important parameters

ANDRZEJ KAWALEC  
ANNA BAZAN  
MAREK KROK  
IRENEUSZ PIOTR CHMIELIK \*

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.368

W artykule zaprezentowano wyniki badań dotyczących wyboru parametrów topografii czynnej powierzchni ściernicy z CBN ze spoiwem galwanicznym, które mogłyby być przydatne w określaniu stopnia jej zużycia pod kątem oceny jej właściwości skrawnych.

**SŁOWA KLUCZOWE:** topografia powierzchni, klasyfikacja parametrów, zużycie ściernic

The paper presents the results of the research focused on choosing surface topography parameters that can be useful for predicting the level of galvanic grinding wheel wear and its cutting properties.

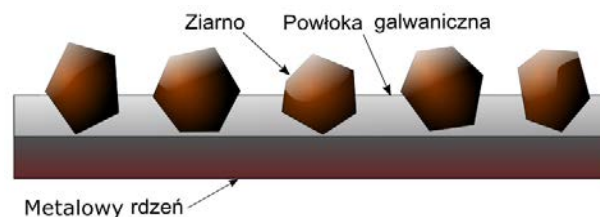
**KEYWORDS:** surface topography, parameter classification, grinding wheel wear

### Wstęp

Topografia ściernicy oraz parametry procesu szlifowania wpływają na interakcje jakie zachodzą między ściernicą a szlifowanym przedmiotem. Tym samym czynniki te decydują o przebiegu procesu szlifowania (wartościach sił skrawania, mocy szlifowania i temperatur w strefie skrawania) oraz na jego efekty, w tym na jakość powierzchni po szlifowaniu. Szczegółowa wiedza na temat topografii czynnej powierzchni ściernicy (CPS) może być przydatna do lepszego poznania i opisanie właściwości

skrawnych ściernicy na dowolnym etapie zużycia.

Ściernice ze spoiwem galwanicznym charakteryzują się pojedynczą warstwą ścierniwa osadzoną na metalowym rdzeniu i związaną z nim za pomocą niklowej powłoki galwanicznej (rys.1.). Ze względu na ograniczoną ilość ścierniwa występującą na ściernicy racjonalnym jest stosowanie na ścierniwo ziaren z materiałów supertwardych – regularnego azotku boru lub diamentu. Cennych informacji na temat stanu czynnej powierzchni ściernicy ze spoiwem galwanicznym oraz jej właściwości skrawnych mogą dostarczyć pomiary jej topografii [1, 2, 3] oraz monitorowanie zmian tej topografii, wynikających z procesu zużycia [4, 5]. Badania topografii ściernic ze spoiwem galwanicznym są tym istotniejsze, że ściernice te nie mogą być poddawane procesom obciągania w celu odnowienia ich właściwości skrawnych.



Rys. 1. Ściernica ze spoiwem galwanicznym

Opis topografii CPS nie jest zadaniem łatwym. Związane jest to z występowaniem na ściernicy bardzo dużej liczby krawędzi skrawających o niezdefiniowanej geometrii i losowym rozmieszczeniu. Z tych samych powodów

\* dr hab. inż. Andrzej Kawalec (ak@prz.edu.pl), mgr inż. Anna Bazan (abazan@prz.edu.pl), mgr inż. Marek Krok (mkrok@prz.edu.pl), dr inż. Ireneusz Piotr Chmielik (p.chmielik@taylor-hobson.pl)

topografia ściernicy musi być opisana za pomocą parametrów statystycznych, które powinny być skorelowane z właściwościami eksploatacyjnymi ściernicy [6].

Badacze wiązali już niektóre parametry topografii z określonymi właściwościami ściernic, np. określono, że parametr  $S_q$  zależy od wielkości ziaren ściernych [6, 7],  $S_{ds}$  może być powiązany z liczbą ziaren lub krawędzi skrawających na CPS przypadającą na jednostkę powierzchni [6, 7, 8],  $S_{sc}$  może dostarczać informacji na temat ostrości ziaren [6, 7, 9],  $S_{bi}$ ,  $S_{dr}$ ,  $S_k$  były wykorzystane do ilościowego opisu zużycia poprzez zalepienia CPS [10, 11]. Suma parametrów  $S_{ci}$  oraz  $S_{vi}$  powiązana została z przestrzenią na CPS dostępną dla tworzących się w trakcie szlifowania i gromadzących się wiórów [9]. Zwrócono uwagę, że parametry  $R_{pk}$  oraz  $R_k$  (które mają również swoje odpowiedniki wyznaczane dla topografii powierzchni) również niosą informację o zużyciu ściernicy [12].

Dotychczas opracowano dziesiątki parametrów struktury geometrycznej powierzchni, które zostały opisane w normach ISO i ASME [13, 14, 15,] oraz innych publikacjach [17, 18].

Parametry te w większości są zaimplementowane w różnych programach przeznaczonych do analizy topografii powierzchni. Bardzo liczny zestaw parametrów może być zatem względnie szybko obliczony dla dowolnej powierzchni. Duża liczba otrzymanych parametrów może powodować dezorientację przy analizie wyników oraz wydłużać jej czas. Z tych powodów istnieje potrzeba wyodrębnienia tych parametrów, które niosą istotne informacje z punktu widzenia przeprowadzanej analizy powierzchni [19, 20]. W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące wyboru parametrów, które mogą być przydatne w ocenie zużycia ściernic z CBN ze spoiwem galwanicznym oraz prognozowaniu ich właściwości ściernych.

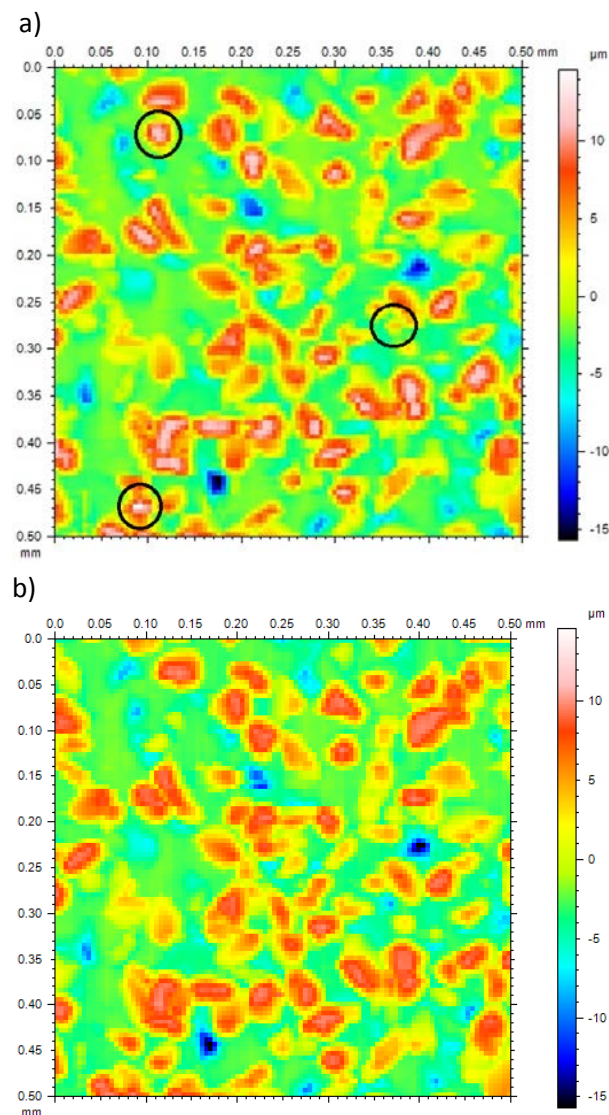
### Badania topografii czynnej powierzchni ściernic

Badaniom poddano ściernice z CBN ze spoiwem galwanicznym o numerze ziarna B25 (średnia wielkość ziarna  $d = 25 \mu\text{m}$ ). Wszystkie pomiary topografii ściernic przeprowadzono metodą stykową na profilometrze 3D Talyscan 150 z krokiem próbkowania w kierunkach X i Y równym  $5 \mu\text{m}$ , igłą pomiarową o promieniu zaokrąglenia  $2 \mu\text{m}$ .

Obróbkę danych pomiarowych oraz obliczenia parametrów topografii powierzchni przeprowadzono w programie TalyMap Platinum 7.0 [21]. Zestaw obliczanych parametrów zawierał parametry opisane w normach [15,16], publikacji [17] oraz inne parametry przedstawione w [21].

Badania zmian topografii zachodzących pod wpływem zużycia ściernic w wyniku przeprowadzenia procesu szlifowania miały na celu wyłonienie parametrów, które są najbardziej czułe na zużycie oraz mają największą zdolność do klasyfikowania ściernic jako nowe lub zużyte. Podczas badań przeprowadzono pomiar topografii łącznie 22 powierzchni o wymiarach  $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$  na czterech ściernicach. W przybliżeniu te same obszary ściernic były mierzone przed i po procesie szlifowania. Reprezentatywny fragment zmierzonej powierzchni przedstawiony jest na rys. 2. Na mapach topografii widoczne jest zmniejszenie wysokości ziaren na skutek ich zużycia ściernego i/lub mikrowykruszeń [5] oraz wyrwania niektórych ziaren ze spoiwa.

Dla każdej zmierzonej powierzchni obliczono zestaw parametrów topografii. Otrzymano w ten sposób 22 wartości każdego z obliczanych parametrów dla ściernic nowych oraz 22 wartości danego parametru dla ściernic zużytych. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej w oparciu o literaturę tematyczną [22, 23, 24]. W celu zbadania normalności rozkładu wartości danego parametru w grupie powierzchni nowych lub zużytych przeprowadzono test Shapiro-Wilka. Równość wariancji w badanych grupach zbadano za pomocą testu F. Ponieważ nie dla wszystkich parametrów wariancje w grupach były równe oraz rozkłady wartości normalne, do dalszych analiz wybrano testy nieparametryczne.

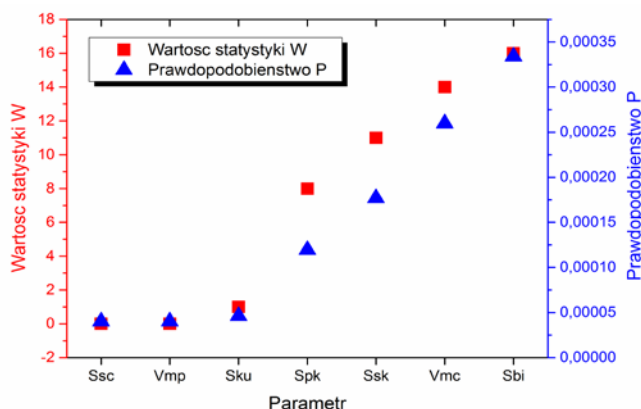


Rys. 2. Fragment zmierzonego obszaru na przykładowej ściernicy nowej (a) oraz tej samej ściernicy po szlifowaniu (b). Zaznaczono ziarna, które zostały wyrwane z osnowy

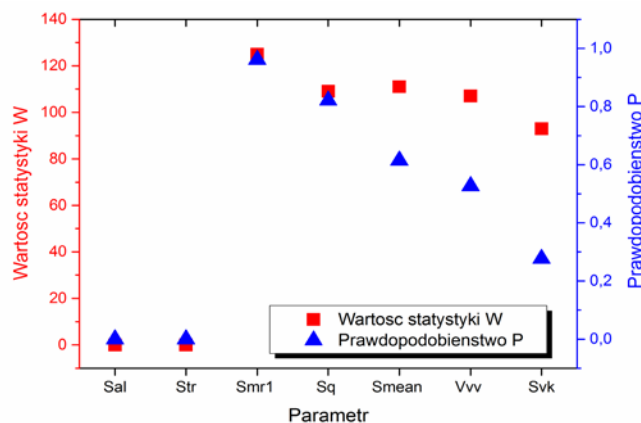
Parametry, które w największym stopniu zmieniły się wraz ze zużyciem, a zatem są najbardziej czułe na zużycie, wyłoniono na podstawie dwustronnego testu Wilcoxon dla prób zależnych. Hipoteza zerowa  $H_0$  testu Wilcoxon mówi, że obydwie badane grupy pochodzą z tej samej populacji. Wynikiem testu jest statystyka  $W$  oraz prawdopodobieństwo  $P$ . Jeżeli wartość  $P$  jest mniejsza od założonego poziomu istotności  $H_0$  należy odrzucić.

Parametr, który jest wrażliwy na zużycie, różnicuje dwie badane grupy, tj. powierzchnie przed i po procesie szlifowania, wobec tego dla takiego parametru powinni-

śmy odrzucić  $H_0$ . Za miarę "czułości" parametru na zużycie przyjęto wartość statystyki  $W$ . Wartość  $P$  jest skorelowana z  $W$  – im mniejsza wartość  $W$ , tym mniejsza jest wartość  $P$ , a zatem poziom istotności, z którym możemy przyjąć, że dwie grupy pochodzą z tej samej populacji. Z powyższego wynika, że parametry wrażliwe na zużycie cechują małe wartości  $W$  oraz  $P$ . Parametry o najmniejszych wartościach  $W$  i  $P$  – tj. parametry najbardziej czułe na zużycie – przedstawione są na rys. 3., natomiast parametry o największych wartościach  $W$  i  $P$  – najmniej zmieniające się wraz ze zużyciem przedstawia rys. 4. Wartość statystyki  $W$  dla parametrów  $Sal$  oraz  $Str$  wynosi 0. Wartość tej statystyki wynika jednak z faktu, że wartości tych parametrów niemal się nie zmieniają wraz ze zużyciem, dlatego zostały one zaliczone do parametrów o najmniejszej czułości na zużycie.



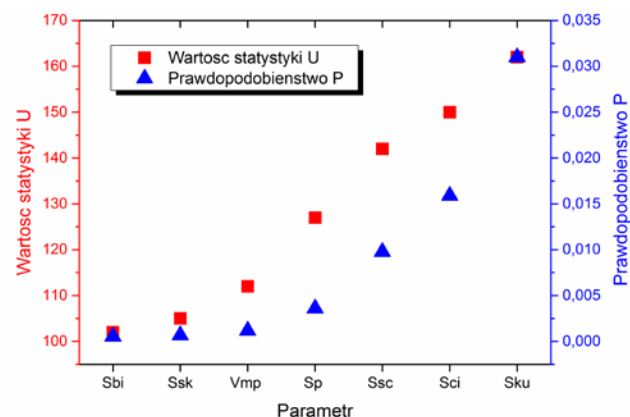
Rys.3. Wyniki testu Wilcoxona dla parametrów najbardziej wrażliwych na zużycie



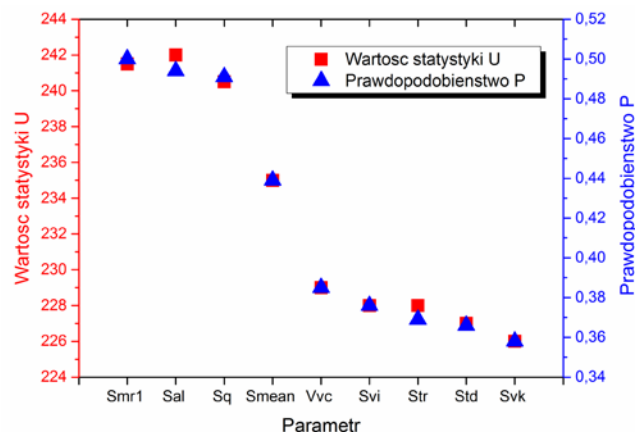
Rys.4. Wyniki testu Wilcoxona dla parametrów najmniej wrażliwych na zużycie

W badaniach nie przeprowadzono testów sprawdzających czy wartości parametrów topografii obliczone dla różnych ściernic są do siebie podobne, jak również czy mikrogeometria CPS wykazuje jednorodność w obrębie jednej ściernicy. Nie można więc założyć, że parametry, które w największym stopniu zmieniają się wraz ze zużyciem będą jednocześnie miały największą zdolność do klasyfikowania ściernic jako nowe lub zużyte. W celu wyłonienia parametrów o największych zdolnościach klasyfikacyjnych przeprowadzono test U-Manna (Manna-Withneya-Wilcoxona). Jest on odpowiednikiem testu Wilcoxona dla prób niezależnych. Na podstawie ww. testu możliwe było określenie, które parametry mają największą zdolność do klasyfikowania ściernic jako nowe lub zużyte. Wynikiem testu jest wartość statystyki  $U$  oraz prawdopodobieństwo  $P$ . Postępowanie w wyborze para-

metrów o największej i najmniejszej zdolności klasyfikacyjnej było analogiczne do działań podjętych przy analizie wyników testu Wilcoxona. Małe wartości  $U$  oraz  $P$  świadczą o dobrych zdolnościach klasyfikacyjnych (rys. 5.), duże wartości  $U$  i  $P$  cechują parametry, które nie różnicują ściernic na nowe i zużyte (rys. 6.).

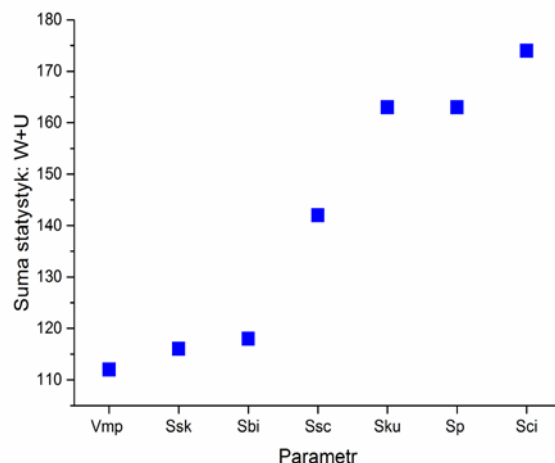


Rys.5. Wyniki testu U-Manna dla parametrów o dużej zdolności klasyfikacyjnej



Rys.6. Wyniki testu U-Manna dla parametrów o małej zdolności klasyfikacyjnej

Na podstawie sumy statystyk  $W$  oraz  $U$  wyłoniono parametry, które jednocześnie są najbardziej wrażliwe na zużycie i mają dobre właściwości klasyfikacyjne (rys. 7.).



Rys.7. Parametry o dużej czułości na zużycie oraz o dużej zdolności klasyfikacyjnej

## Podsumowanie

Parametry, które jednocześnie w największym stopniu zmieniły się pod wpływem zużycia ściernicy oraz które mogą służyć do klasyfikacji ściernicy jako nowej lub zużytej to parametry związane z krzywą udziału materiałowego  $V_{mp}$ ,  $S_{bi}$  i  $S_{ci}$ , parametry amplitudowe  $S_{sk}$ ,  $S_{ku}$  (opisujące kształt krzywej rozkładu wysokości) oraz  $S_p$ , a także parametr hybrydowy  $S_{sc}$ .

Powyższy zestaw parametrów potwierdza wniosek z analizy wizualnej map topografii, że zużycie ziaren zachodzi głównie poprzez ścieranie oraz mikrowyruszanie ziaren z CBN. Ze względu na zbyt małą rozdzielczość wykorzystywanej metody pomiarowej na mapach topografii nie można rozróżnić udziału tych dwóch form zużycia.

Dla ww. parametrów celowym byłoby przeprowadzenie szczegółowych badań dotyczących ustalenia optymalnego obszaru pomiarowego oraz liczby miejsc pomiarowych na CPS tak, aby ich reprezentatywne wartości można było uzyskać na podstawie jak najmniej kosztownych pomiarów.

Parametry, których wartości w najmniejszym stopniu zmieniły się na skutek zużycia to parametry związane z funkcją autokorelacji  $S_{al}$  oraz  $S_{tr}$ . Świadczy to tym, iż przestrzenne (poziome) charakterystyki CPS nie ulegają istotnym zmianom. Niewielkie zmiany wartości zaobserwowano dla parametrów, które opisują strefę wgłębień  $V_{vv}$  i  $S_{vk}$ . Wynioskować stąd można, że wyrwanie ziaren ze spoiwa zachodzi z intensywnością, która nie wpływa istotnie na ww. wartości parametrów topografii. Ponadto wióra oraz produkty zużycia ziaren są efektywnie usuwane ze strefy obróbki.

## LITERATURA

- Aspinwall D.K., Soo S.L., Curtis D.T., Mantle A.L., Profiled superabrasive grinding wheels for the machining of a nickel based superalloy. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 56(1), 335-338, 2007.
- Shi Z., Malkin S., Wear of Electroplated CBN Grinding Wheels. Journal of Manufacturing Science and Engineering, Trans ASME, 128(1), 110-118, 2005.
- Upadhyaya R. P., Malkin S., Thermal Aspects of Grinding With Electroplated CBN Wheels. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 126(1), 107-114, 2004.
- Bazan A., Kawalec A., Topografia czynnej powierzchni ściernicy z CBN ze spoiwem galwanicznym. Mechanik, vol. 8-9, 38-45, 2013.
- Shi Z., Malkin S., An investigation of grinding with electroplated (CBN) wheels. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 52(1), 267-270, 2003.
- Nguyen A.T., Butler D.L., Correlation of grinding wheel topography and grinding performance: A study from a viewpoint of threedimensional surface characterisation. Journal of Materials Processing Technology, Elsevier, 208(1-3), 14-23, 2008.
- Butler D.L., Blunt L.A., See B.K., Webster J.A., Stout K.J., The characterisation of grinding wheels using 3d surface measurement techniques. Journal of Materials Processing Technology, 127(2), 234-237, 2002.
- Blunt L., Ebdon S., The application of three-dimensional surface measurement techniques to characterizing grinding wheel topography. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 36(11):1207-1226, 1996.
- Yan L., Rong Y.M., Feng J., Zhou Z., Three-dimension surface characterization of grinding wheel using white light interferometer. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 55(1-4), 133-141, 2011.
- Kapłonek W., Nadolny K., Skaterometryczna ocena ściernic po procesie szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych materiałów trudnoobrabialnych. XXXIV Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Gdańsk, 39-52, 2011.
- Kapłonek W., Nadolny K., Zastosowanie skaterometrii laserowej oraz technik przetwarzania i analizy obrazu do oceny czynnej powierzchni ściernic z mikrokryształicznego korundu spiekanego. Podstawy i technika obróbki ściernic. XXXIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Łódź, 153-164, 2010.
- Leżański P., Lajmert P., Zastosowanie parametrów krzywej udziału materiałowego do oceny zużycia ściernicy. XXVII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Koszalin-Sarbinowo, 275-282, 2004.
- ISO 4287 Geometrical Product Specifications (GPS) -- Surface texture: Profile method -- Terms, definitions and surface texture parameters
- ISO 13565-2:1996 Geometrical Product Specifications (GPS) -- Surface texture: Profile method; Surfaces having stratified functional properties -- Part 2: Height characterization using the linear material ratio curve
- ISO 25178-2:2012 Geometrical product specifications (GPS) -- Surface texture: Areal -- Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters
- ASME B46:1 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay)
- Stout K. J., Sullivan P. J., Dong W. P., Mainsah E., Luo N., Mathia T., Zahouani H., The development of methods for the characterization of roughness on three dimensions. Publication no. EUR 15178 EN of the Commission of the European Communities, Luxembourg, 1994.
- Barbato G., Carneiro K., Cuppini D., Garnaes J., Gori G., Hughes G., Jensen C. P., Jørgensen J. F., Jusko O., Livi S., McQuoid H., Nielsen L., Picotto G. B., Wilkening G., Scanning tunneling microscopy methods for roughness and micro hardness measurements, Synthesis report for research contract with the European Union under its programme for applied metrology, 109 pages European Commission Catalogue number: CD-NA-16145 EN-C, Brussels Luxembourg, 1995.
- Kacalak W., Tandecka K., Lipiński D., Szafranec F., Socha E., Metody identyfikacji zmian stanu czynnej powierzchni ściernic w wyniku starcia, zalepiania lub wykruszania ziaren. Mechanik, 9, 193-199, 2014.
- Leach R., Characterisation of areal surface texture, Springer, 2013.
- TalyMap Platinum, Taylor Hobson Ltd, Leicester.
- Francuz P., Mackiewicz R., Liczby nie wiedzą, skąd pochodzą. Przewodnik po metodologii i statystyce nie tylko dla psychologów. Wydawnictwo KUL, 2007.
- Piłatowska M., Repetytorium ze statystyki. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.
- Dokumentacja biblioteki SciPy (<http://docs.scipy.org/>)