

O PROBLEMACH W KWALIFIKACJI ZDOLNOŚCI SYSTEMÓW POMIAROWYCH W BADANIACH CHROPOWATOŚCI POWIERZCHNI, ANALIZA NA PRZYKŁADZIE PRECYZYJNYCH CZĘŚCI W BRANŻY MOTORYZACYJNEJ

DOI: 10.24136/atest.2018.303

Data zgłoszenia: 30.08.2018. Data akceptacji: 25.09.2018.

W artykule omówione zostały problemy w kwalifikacji zdolności systemów pomiarowych w badaniach chropowatości powierzchni precyzyjnych części w branży motoryzacyjnej. Badania przeprowadzono zgodnie z planem pomiarów. Następnie w oparciu o zebrane wyniki dla wybranych parametrów SPG wykonano analizę i ocenę wskaźników zdolności zgodnie z procedurą 2 statystycznej kwalifikacji systemów pomiarowych (zgodne z normą MSA 2010 edycja 4, ARM, tolerancja). Analizie poddano dwa wyroby fragment cylindra i labiryntowych zaworów automatycznych skrzyń biegów. Analiza dała szereg informacji dotyczących błędów z punktu widzenia powtarzalności i odtwarzalności na zdolność systemu pomiarowego – analizy zostały wykonane na potrzeby płynące z przemysłu.

Słowa kluczowe: analiza zdolności systemów pomiarowych, system pomiarowy, błędy pomiarowe, chropowatość powierzchni, branża motoryzacyjna

WSTĘP

W branży motoryzacyjnej przy produkcji wielkoseryjnej tam gdzie wymagana jest wysoka wydajność oraz spełnienie zastrzonych tolerancji wymiarów, kształtu i wzajemnego położenia części znaczącą rolę odgrywają etapy kontroli. Przy uruchomieniu zlecenia na produkcję nowych części klienta określone są wymogi formalne jakie należy spełnić przed wysłaniem pierwszej sztuki wzorcowych wyrobów w raz współtowarzyszącą dokumentacją. Wymogi sprecyzowane są w dokumentacji PPAP.

Standardowo w zakres dokumentacji wchodzi:

1. Arkusz z inspekcji własności fizycznych składu chemicznego prefabrykatów produkcyjnych.
2. Arkusz z inspekcji pomiarów wszystkich cech geometrycznych określonych w dokumentacji konstrukcyjnej.
3. Arkusz badania zdolności systemów pomiarowych MSA.
4. Arkusz badania zdolności systemów produkcyjnych.
5. Dokumentacja technologiczna.

Odbiór maszyn i urządzeń produkcyjnych, ocena i nadzorowanie procesów oraz wyrobów w przypadku cech ilościowych dokonywane są na podstawie wartości pomiarowych uzyskanych z pomiarów wyrobów lub też parametrów procesów. Do tego celu wykorzystywane są przyrządy pomiarowe bądź odpowiednio przystosowane systemy pomiarowe. [1].

Problemem, na który warto zwrócić uwagę jest dokładne zbadanie procesu pomiarowego, w sensie jego zdolności. Metody i narzędzia statystyczne wykorzystywane w tym celu służą do oceny i interpretacji zmienności w systemie pomiarowym, czyli kontroli aktualnego stanu maszyny pomiarowej stosowanej przy nadzorowaniu produkowanych części. System pomiarowy jak każde inne narzędzie podczas eksploatacji może ulec zużyciu poprzez naturalne starzenie się lub przypadkowe uszkodzenie. Dlatego powinny być okresowo prowadzone badania, w celu potwierdzenia ich ciągłej przydatności w procesach kontrolnych [1].

1. STATYSTYCZNE METODY W KWALIFIKACJI SYSTEMÓW POMIAROWYCH

W celu zrozumienia metod statystycznych systemów pomiarowych należy zaznajomić się z definicjami, które są przydatne w przeprowadzaniu badań na określonym systemie pomiarowym. Środki kontrolne w wielu przedsiębiorstwach służą do oceny i nadzoru produkowanych wyrobów. Aby wiedzieć czy nasz wyrób jest wystarczająco dobry musimy zebrać dane na temat interesujących nas cech wyrobu, a następnie wykazać, że zebrane wartości są na tyle dokładne, że mieszczą się w tolerancji, którą dobierzemy z klasy IT. W dzisiejszych czasach przyrząd musi być badany w laboratorium pomiarowym, przy stałych warunkach przez wyszkolony personel, na wzorcach i standaryzowanych urządzeniach [3].

System pomiarowy to nie tylko urządzenie, którym sprawdzane są wyroby, wzorce, części i elementy tzw. nośniki cech, ale także otoczenie wpływające na proces pomiarowy. System pomiarowy jest sumą składników oprzyrządowania oraz środków pomocniczych, które mają ogromny wpływ na wykonany pomiar.

Przyczyny błędów pomiarowych które są nam znane dają dużo możliwości [2, 3]. Dzięki tej informacji wiemy że otrzymany wynik z pomiaru nie jest w pełni prawidłowy i że odbiega od rzeczywistego wymiaru mierzonej powierzchni. Przyczyny takich błędów pomiarowych [1]:

1. Wpływ otoczenia:
 - a. drgania,
 - b. wahania temperatur,
 - c. ciśnienie i względna wilgotność powietrza,
 - d. pola magnetyczne.
2. Błędy wprowadzone przez wzorce i przyrząd pomiarowy:
 - a. zużycie elementów oprzyrządowania,
 - b. nieliniowość wskazań,
 - c. nacisk pomiarowy,
 - d. błąd zerowania.
3. Personel:

- a. sposoby mocowania elementów,
 - b. błędy odczytów,
4. Błąd kształtu i położenia:
- a. własności powierzchni,
 - b. deformacja obrabianych elementów,
5. Błąd sposobu dokonywania pomiarów.

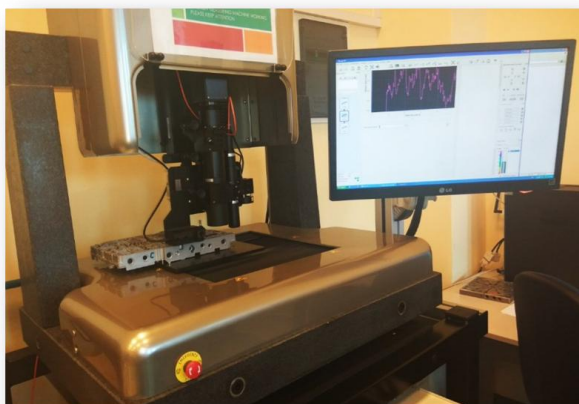
Mając świadomość ile czynników wpływa na wynik pomiaru [2] wiemy, że rzeczywista wartość odbiega od wartości, którą zarejestrowaliśmy za pomocą miernika. Dodatkowo nie mamy pewności czy wartość rzeczywista może znajdować się poniżej lub powyżej wartości uzyskanej w trakcie wykonanego pomiaru. Przedział ten nazywany jest niepewnością pomiarową.

Do przeprowadzenia badania zdolności systemów pomiarowych zgodnie z normą MSA 2010 edycja 4, należy skorzystać z takich procedur kontrolnych jak:

1. Procedura 1 - wyznaczenie niepewności pomiarów u oraz wskaźniki zdolności Cg, C_{gk}.
2. **Procedura 2 mająca na celu zbadanie powtarzalność, od-twarzalność i rozrzutu całkowitego (metoda GRR z wpływem użytkownika).**
3. Procedura 3, której celem jest określenie powtarzalności i roz-zrut całkowitego (bez wpływu użytkownika).

2. OPIS STANOWISKA

W Laboratorium Topografii Powierzchni Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie znajduje się urządzenie referencyjne AltiSurf A520 przedstawione na rys. nr 1.



Rys. 1 Urządzenie AltiSurf A520.

AltiSurf A520 jest to maszyna multi-sensoryczna, firmy Altimet. Posiada oprogramowanie AltiMap PREMIUM 6.2. Model ten posiada wiele możliwości doboru metod pomiaru Struktury Geometrycznej Powierzchni (optyczne i stykowe). Największy możliwy zakres to 200x200x200 mm (X,Y,Z). Osie pomiarowe są zmotoryzowane a ich prędkość maksymalna posuwu może osiągnąć nawet do 100 mm/s.

Urządzenie to posiada magazyn sensorów który zawiera:

1. czujnik oparty o wykorzystanie optycznego efektu konfokalnego,
2. czujnik interferencyjny światła chromatycznego,
3. czujnik optyczno-stykowy do pomiaru z małymi siłami nacisku tzw. microforce,
4. czujnik indukcyjny (stykowy) – rys. nr 2.



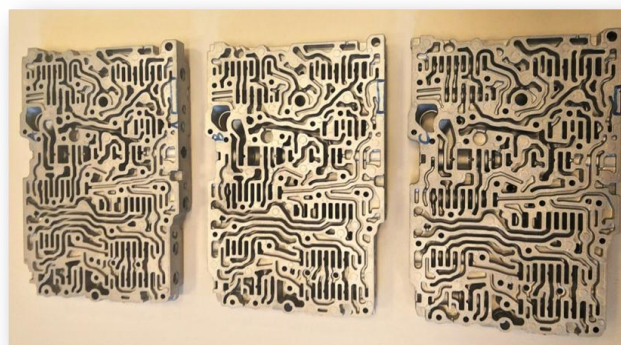
Rys. 2 Czujnik indukcyjny (stykowy).

Na rys. 2 przedstawiony jest czujnik indukcyjny który został wykorzystany do przeprowadzenia badań zdolności systemu pomiarowego.

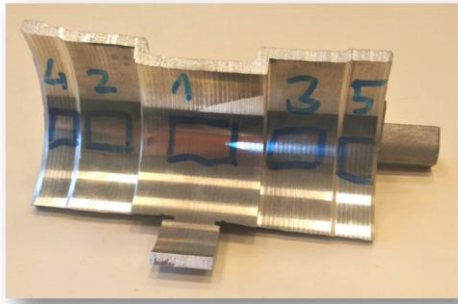
3. OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

Badania przeprowadzono zgodnie z planem pomiarów. Następnie w oparciu o zebrane wyniki dla wybranych parametrów struktury geometrycznej powierzchni wykonano analizę i ocenę wskaźników zdolności zgodnie z procedurami statystycznej kwalifikacji systemów pomiarowych (badanie zgodne z normą MSA 2010 edycja 4, ARM, tolerancja postępowania zgodne z procedurą 2).

Procedura 2 przeprowadzona była w składzie 3 operatorów, na jednym przyrządzie pomiarowym AltiSurf A520 w Laboratorium Topografii Powierzchni. Temperatura otoczenia wynosiła 19°C. Przed rozpoczęciem badania próbki były oczyszczone przy użyciu benzyny a następnie mocowane po kolei na maszynie. Każdy z operatorów miał za zadanie wykonać po 3 pomiary na pokrywach labiryntowych zaworów logicznych automatycznych skrzyń biegów A, B i C (rys. nr 3). Drugi obiekt badań stanowiła powierzchnia cylindra (małe wartości parametrów SGP), na której również wykonano po trzy pomiary (rys. nr 4). Każdy z operatorów po wykonaniu pomiaru musiał zdjąć mierzoną część i założyć kolejną w odpowiednio przygotowane miejsce na stole maszyny.



Rys. 3 Labirynty pokrywy zaworów logicznych do automatycznej skrzyni biegów.



Rys. 4 Fragment cylindra.

Wartości parametrów SGP i obliczenia służące wyznaczeniu wskaźników zdolności zgodnie Procedurą 2 dla **fragmentu cylindra** zostały przedstawione w tabeli 1, 2. Średnie dla otrzymanych wyników zebrano i przedstawiono w tab. nr 1.

Tab. 1. Średnia dla operatorów (1,2,3) wyznaczona na podstawie wyników z pomiarów fragmentu cylindra.

	Rp	Rz	Rc	Ra	Rq	Rdc	Rk	Rpk	Rvk
	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm
Op1	0,53	0,99	0,26	0,11	0,15	0,21	0,36	0,27	0,22
Op2	0,53	1,03	0,26	0,11	0,15	0,21	0,36	0,23	0,22
Op3	0,52	1,03	0,26	0,11	0,15	0,21	0,35	0,23	0,23
(xr) ⁻	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00

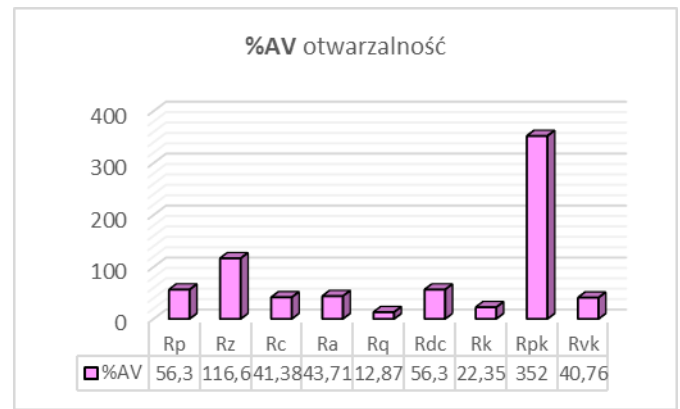
Obliczenia pola tolerancji T, EV, AV i R&R przy założeniu że:

1. $k_1 = 3,05$ dla 3 serii pomiarów, na poziomie ufności 99%.
2. $k_2 = 2,7$ dla 3 operatorów, na poziomie ufności 99%.

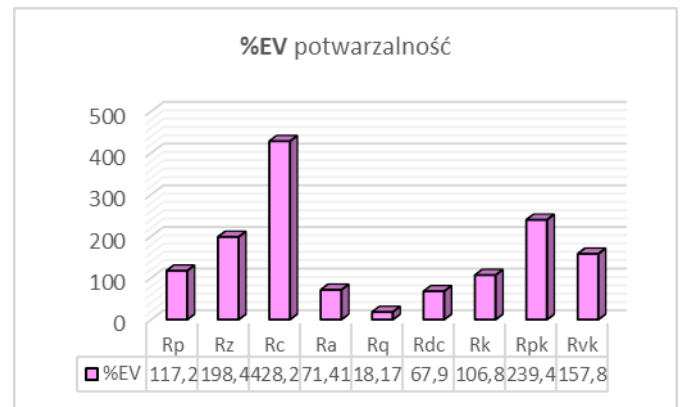
Tab. 2. Obliczenia T, EV, AV, R&R wyznaczone na podstawie wyników z pomiarów dla fragmentu cylindra – procedura 2.

	Rp	Rz	Rc	Ra	Rq	Rdc	Rk	Rpk	Rvk
	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm
średnia	0,53	1,01	0,26	0,11	0,15	0,21	0,36	0,24	0,22
USL	0,55	1,06	0,27	0,12	0,16	0,22	0,37	0,26	0,23
LSL	0,50	0,96	0,24	0,11	0,14	0,20	0,34	0,23	0,21
T	0,05	0,10	0,03	0,01	0,01	0,02	0,04	0,02	0,02
EV	0,062	0,201	0,11	0,008	0,0027	0,01	0,038	0,059	0,035
AV	0,03	0,118	0,011	0,005	0,0019	0,01	0,008	0,086	0,009
R&R	0,069	0,233	0,111	0,009	0,0033	0,02	0,039	0,104	0,036
%EV	117,2	198,4	428,2	71,41	18,17	67,9	106,8	239,4	157,8
%AV	56,3	116,6	41,38	43,71	12,872	56,3	22,35	352	40,76
%R&R	130	230,2	430,2	83,73	22,268	88,3	109,1	425,7	163

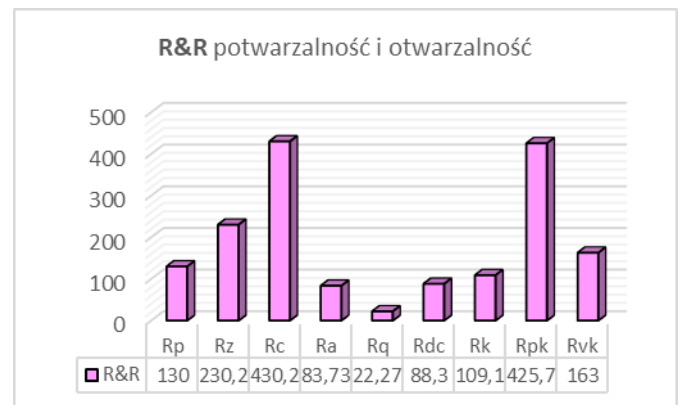
Dla lepszego zobrazowania uzyskanych wyników z obliczeń wskaźników rozrzutu zawartych w (tab. nr 2) wszystkie wyniki z obliczeń zostały przedstawione na wykresach (rys. 5, 6 i 7).



Rys. 5 Wskaźnik %AV (zmiennosc operatora) wyznaczony na podstawie przeprowadzonych badań na fragmencie cylindra.



Rys. 6 Wskaźnik %EV (zmiennosc przyrzadu) wyznaczony na podstawie przeprowadzonych badań na fragmencie cylindra.



Rys. 7 Wskaźnik %R&R wyznaczony na podstawie przeprowadzonych badań na fragmencie cylindra.

W badaniach jako wartość tolerancji przyjęto obszar o szerokości 10 procent wartości średniej zmierzonego parametru SGP gdzie $USL = \bar{X} + 5\% \bar{X}$; $LSL = \bar{X} - 5\% \bar{X}$. Na rysunkach nr 5, 6 i 7 można zauważyć znaczną niepewność wokół wartości rzeczywistej. Żaden z przedstawionych na wykresach parametrów nie mieści się w zakresie przedstawionym w tabeli 1. Jedynie parametr Rq (średnia kwadratowa rzędnych profilu) spełnia te wymagania na wykresach %EV, %AV i %R&R. Spośród tych trzech wykresów najlepiej cechuje się rozrzut dla operatora. Oznacza to, że najmniejszą niepewność ma wpływ operatora na pomiar. Jednak nie wszystkie

parametry na wykresie %AV mają małą wartość procentową rozrzutu wokół wartości rzeczywistej. Te parametry to Rpk i Rmr, których wartości wynoszą ponad 350%.

W podobny sposób te dwa parametry wyglądają na wykresie %R&R a zatem można powiedzieć, że parametr Rpk (zredukowana wysokość wzniesień) jest wrażliwy na wpływ operatora i otoczenia. Analizując parametry pionowe (wysokości wzniesień i głębokości wgłębień) przedstawione na wykresie (rys.7) można zauważyć dużą różnicę pomiędzy wartością parametru Rp, którego wartość procentowa wynosi 130% a parametrem Rc który jest trzykrotnie większy od tej wartości. Pomiedzy tymi wartościami plasuje się parametr Rz, którego wartość wynosi 230%. Taka różnica może wynikać z tego, iż parametr Rc (średnia wysokość elementu profilu) może być bardziej podatny na wpływ otoczenia niż parametry opisujące tylko jedno wgłębienie lub wzniesienie profilu. Duży wpływ na wskaźniki rozrzutu ma także materiał z jakiego jest wykonany przedmiot. Fragment cylindra ma niską chropowatość przez co jego wartości procentowe są większe niż na wyrobie o dużej chropowatości.

Badania przeprowadzone na **pokrywach labiryntowych zaworów logicznych do automatycznych skrzyń biegów** podobnie jak wcześniej zostały wykonane zgodnie z Procedurą 2 przedstawionych w tab. nr 3 – tu jednak przedmiot z założenia miał wysoką chropowatość. W ten sposób chciano sprawdzić jak przyrząd sprawdza się w górnych zakresach parametrów SGP spotykanych w dokumentacji konstrukcyjnej.

Tab. 3. Obliczenia T, EV, AV, R&R wyznaczone na podstawie wyników z pomiarów dla pokrywy labiryntowej – procedura 2.

	Rp	Rz	Rc	Ra	Rq	Rdc	Rk	Rpk	Rvk
	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm
Op1	13,08	25,29	15,23	4,59	5,72	9,63	15,79	6,11	5,71
Op2	13,06	25,33	15,34	4,59	5,72	9,60	15,84	6,07	5,70
Op3	13,06	25,35	15,44	4,59	5,72	9,59	15,91	6,07	5,66
(xr) ⁻	0,01	0,06	0,21	0,00	0,00	0,04	0,12	0,04	0,05

Obliczenia pola tolerancji T, EV, AV i R&R przy założeniu że:

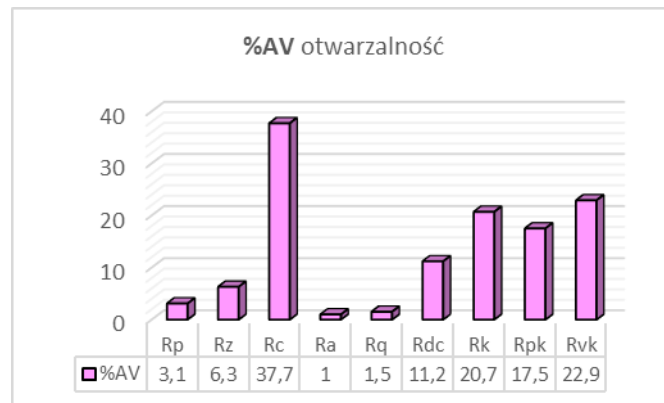
- k1 = 3,05 dla 3 serii pomiarów, na poziomie ufności 99%.
- k2 = 2,7 dla 3 operatorów, na poziomie ufności 99%.

Tab. 4. Obliczenia T, EV, AV, R&R wyznaczone na podstawie wyników z pomiarów dla pokrywy labiryntowej – procedura 2.

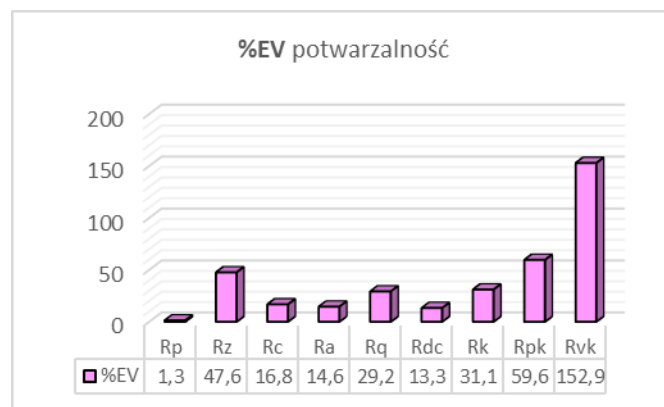
Nazwa	Rp	Rz	Rc	Ra	Rq	Rdc	Rk	Rpk	Rvk
	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm
średnia	13,07	25,32	15,33	4,59	5,72	9,61	15,85	6,08	5,69
USL	13,72	26,58	16,10	4,82	6,00	10,09	16,64	6,39	5,97
LSL	12,41	24,05	14,57	4,36	5,43	9,13	15,05	5,78	5,40
T	1,31	2,53	1,53	0,46	0,57	0,96	1,58	0,61	0,57
EV	0,017	1,206	0,257	0,067	0,167	0,128	0,493	0,3626	0,87
AV	0,04	0,159	0,578	0,005	0,008	0,107	0,327	0,1065	0,13
R&R	0,043	1,216	0,632	0,067	0,167	0,167	0,592	0,3779	0,879
%EV	1,3	47,6	16,8	14,6	29,2	13,3	31,1	59,6	152,9
%AV	3,1	6,3	37,7	1,0	1,5	11,2	20,7	17,5	22,9

%R&R	3,3	48,0	41,2	14,6	29,3	17,4	37,3	62,1	154,6
------	-----	------	------	------	------	------	------	------	-------

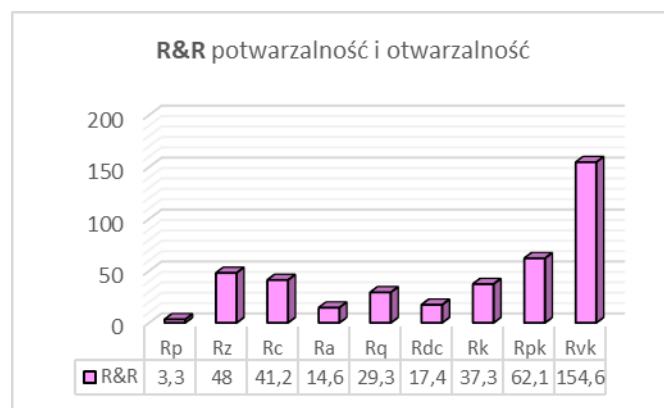
Na podstawie wykonanych obliczeń zawartych w (tab. nr 4) zostały sporządzone wykresy (rys. nr 8, 9, 10).



Rys. 8 Wskaźnik %AV (zmiennosc operatora) wyznaczony na podstawie przeprowadzonych badań na pokrywie labiryntu.



Rys. 9 Wskaźnik %EV (zmiennosc przyrzadu) wyznaczony na podstawie przeprowadzonych badań na pokrywie labiryntu.



Rys. 10 Wskaźnik %R&R wyznaczony na podstawie przeprowadzonych badań na pokrywie labiryntu.

Wnioskując na podstawie dwóch powyżej zamieszczonych wykresów można dostrzec duże podobieństwo w rozkładzie, są to wykresy %R&R i %EV (rys. nr 9, 10). Poddając je analizie możemy zauważyć że największą wartość procentową w obu przypadkach ma parametr Rvk (średnia głębokość wgłębień występujących poniżej profilu rdzenia chropowatości) a najniższą Rp.

Parametry takie jak Rp, Ra i Rdc mieszczą się w granicach zdolności a pozostałe parametry nie mają znacznie większych wartości w porównaniu do parametrów, otrzymanych na podstawie badania przeprowadzonego na fragmencie cylindra. Wynika to z dużej chropowatości pokrywy labiryntowej w porównaniu do chropowatości fragmentu cylindra, to znaczy, że im większa chropowatość powierzchni tym mniejszy wpływ otoczenie jest widoczny w wyniku pomiaru SGP, a co za tym idzie, przyrząd generuje mniejszą zmienność własną. Analizując wykres %AV możemy zauważyć, że jego wartości procentowe są najniższe w porównaniu do innych wykresów (rys. nr 8, 10) a jego najwyższy z parametrów pionowych ma wartość porównywalną z wartością na wykresie %R&R.

PODSUMOWANIE

Czynniki zewnętrzne mają duży wpływ na rozrzut otrzymanych cech wartości pomiarowych a im mniejsze są wartości wyników zbieranych w trakcie pomiarów (małe chropowatości, nawet w nanometrach) tym bardziej są podatne na ich wpływ. Dlatego też ilość pomiarów wykonanych na próbkach była tak duża, ponieważ im większa jest ilość prób tym większe prawdopodobieństwo, że otrzymane wyniki będą wiarygodne a wartość środkowa będzie zbliżona do wartości rzeczywistej.

Aby mieć pewność, że na otrzymane wyniki wpływ ma tylko otoczenie a nie maszyna pomiarowa, należało by przeprowadzić badania powtarzalności, odtwarzalności oraz zdolności systemu według specjalnie przygotowanego planu uwzględniającego zmienność wpływ warunków otoczenia.

Wyniki wskaźników zdolności otrzymanych po przeprowadzeniu badań na pokrywie labiryntowej zaworów logicznych automatycznej skrzyni biegów i fragmencie cylindra procedurą 2 nie dają satysfakcji z możliwości wykorzystania profilometrii stykowej w statystycznym nadzorowaniu nad produkcją. Warto jednak się skupić na niewielkiej wartości niepewności pomiarowej.

Analizując poszczególne wykresy można zauważyć że spośród trzech wskaźników %EV, %AV i %R&R najlepiej prezentuje się wskaźnik %AV (rozrzut dla operatora). Oznacza to, że najmniejszą niepewność na pomiar ma wpływ operatora. Drugą istotną rzeczą jest rodzaj mierzonej powierzchni (materiał), od której zależy zmienność wokół wartości rzeczywistej. Wnioskując na podstawie wykresów dało się zauważyć znaczną różnicę pomiędzy uzyskanymi wynikami przeprowadzonymi na fragmencie cylindra a pokrywie labiryntowej. Odnosi się to do różnic chropowatości materiału tych dwóch przedmiotów. Pokrywa labiryntowa jest piaskowana (duża chropowatość) i odznacza się mniejszą podatnością na wpływ otoczenia niż fragment cylindra (o małej chropowatości).

W przypadku pomiarów fragmentu cylindra należy stwierdzić, że dla wszystkich parametrów struktury geometrycznej powierzchni w tym przypadku przyrząd AltSurf A520 nie jest zdolny, co widoczne jest na rys. nr 7 gdyż wartość poszczególnych R&R>30%. Może to być spowodowane różnymi czynnikami wpływającymi z punktu widzenia błędów pomiarowych. Zaś dla pokrywy labiryntu mamy dwa parametry Rp, Ra i Rdc, które mieszczą się w warunkowej granicy zdolności maszyny pomiarowej. Pozostałe parametry R&R>30%. Powodem takiego stanu rzeczy jest najprawdopodobniej niewielki obszar dopuszczalnej zmienności parametrów SGP (USL-LSL), który potraktowano jako obszar z symetrycznymi granicami tolerancji. Podczas gdy w praktyce przemysłowej najczęściej parametry chropowatości nadzoruje się jako charakterystyki kontrolne z jedną granicą kontrolną naturalną (zazwyczaj LSL=0). W takiej sytuacji szerokość pasa tolerancji (USL-LSL), jest znacznie większa, co sprzyja uzyskaniu w trakcie kwalifikacji przyrządu pomiaro-

wego wyższych wskaźników zdolności Cg i Cgk. Powtórzenie takiej sytuacji (wprowadzenie naturalnej granicy tolerancji – poszerzenie tolerancji przy kwalifikacji zdolności miernika) powinna przyczynić się również do uzyskania mniejszych wartości parametru R&R w trakcie badania miernika procedura 2 mająca na celu zbadanie powtarzalności, odtwarzalności i rozrzutu z wpływem użytkownika

BIBLIOGRAFIA

1. Dietrich E., Schulze A.: *Metody statystyczne w kwalifikacji środków pomiarowych maszyn i procesów produkcyjnych*, Wydawnictwo Notika System, Warszawa 2000.
2. Bachtia-Radka E., Dudzińska S., Grochała D., Berczyński S.: Susceptibility of SPG parameters to the environment conditions and the method of acquisition of cloud of points with optical measuring systems applied. *Miesięcznik Naukowo Techniczny MECHANIK*, 2017, 108.8-9: 748-752.
3. Grochała D., Bachtia-Radka E., Dudzińska S.: Badania cech powierzchni z wykorzystaniem optycznych metod skaningowych – wymagania i pomiary zgodnie z wytycznymi serii PN-EN ISO 25178. *Przegląd spawalnictwa*, 2016, 88.8: 92-96.

The problems in in the qualification of measuring systems abilities in the investigation performance, the analysis on the example of precision workpieces in the automotive industry

The manuscript introduce the problems in the qualification of measuring systems abilities in the investigation in the surface roughness of precision workpieces in the automotive industry. The research were carried out in accordance with the measurement plan. Next, based on the collected results for selected SPG parameters, the analysis and assessment of the capacity indicators were carried out in accordance with the procedure 2 of statistical qualification of measurement systems (in accordance with the MSA 2010 standard edition 4, ARM, tolerance). Two products were analyzed of the cylinder fragment and labyrinth valves of automatic gearboxes. The analysis gave a series of information on errors from the point of view of reproducibility and recurrence on the ability of the measurement system - the analyzes were carried out for the needs of the automotive industry.

Keywords: *analysis of measurement system capabilities, measurement system, measurement errors, surface roughness, automotive industry*

Autorzy:

Inż. **Magdalena Garbaciak** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

mgr inż. **Emilia Bachtia-Radka** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Instytut Technologii Mechanicznej, emilia.bachtia-radka@zut.edu.pl

mgr inż. **Sara Dudzińska** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Instytut Technologii Mechanicznej, sara.dudzinska@zut.edu.pl

dr inż. **Daniel Grochała** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Instytut Technologii Mechanicznej, daniel.grochala@zut.edu