

KOMPUTEROWO WSPOMAGANA ANALIZA JAKOŚCI WYROBÓW NA PRZYKŁADZIE MASZYN TECHNOLOGICZNYCH

Józef GAWLIK, Anna KIELBUS

Streszczenie: Ciągłe doskonalenie i dopasowywanie się do oczekiwań jakościowych klientów jest koniecznością dla konkurujących na rynku przedsiębiorstw i łączy się m.in. z umiejętnym wykorzystywaniem narzędzi i technik statystycznych w analizach rynkowych, procesów, jakości wyrobów, przyczyn braków i niezgodności oraz badaniu innowacyjności. W artykule przedstawiono analizę jakości wyrobów (na przykładzie obrabiarek CNC), przy wykorzystaniu narzędzia do wspomaganie podejmowania decyzji, jakim jest aplikacja MAJA.

Słowa kluczowe: funkcja strat jakości, aplikacja MAJA, obrabiarki CNC.

1. Charakterystyka wyrobów przemysłu maszynowego

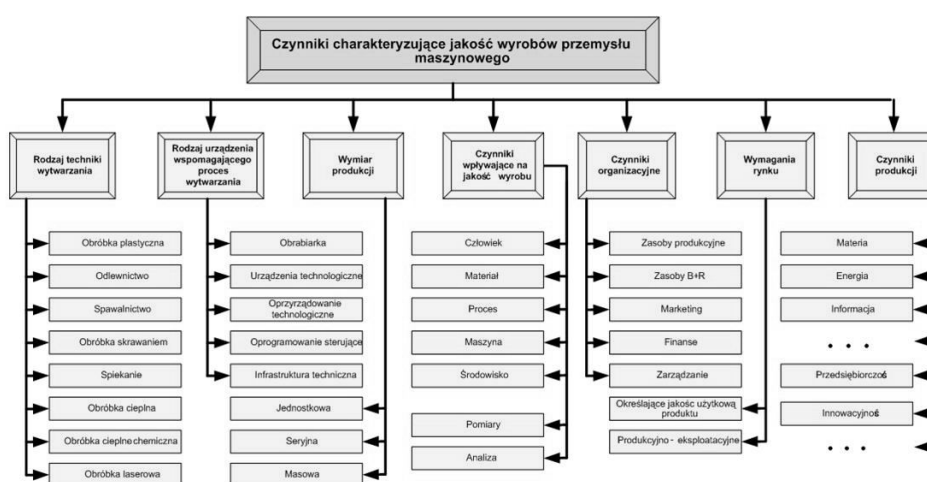
W dobie konkurencji, rywalizujące ze sobą przedsiębiorstwa branży przemysłu maszynowego produkujące: maszyny górnicze, maszyny włókiennicze, urządzenia hutnicze, maszyny budowlane, maszyny papiernicze i drukarskie, silniki, obrabiarki, itd., zmuszone są do ciągłego rozwoju poprzez wyznaczanie sobie nowych celów, dostosowywanie do zmieniającego się otoczenia oraz do upatrywania w tych zmianach szans dla profilu swojej działalności. Istotą podejmowanych działań jest zapewnienie, akceptowalnej przez klientów – odbiorców, jakości produktów przy możliwie najmniejszych kosztach przedsiębiorstwa.

Wykonanie serii wyrobów o identycznych parametrach nie jest możliwe. Wynika to z oddziaływania czynników bezpośrednio wpływających na jakość wyrobów technicznych. Przykładowo, dla obrabiarek sterowanych numerycznie (CNC), są to między innymi: niedokładności maszyn i urządzeń technologicznych, niesztynności przedmiotów obrabianych, ich nagrzewanie się podczas obróbki, brak wymaganych kwalifikacji personelu oraz problemy generowane przez oprogramowanie sterujące maszyną, jak również czynniki niejako kreujące jakość wyrobów tj.: dostępność zasobów, wymagania rynku, innowacyjność itp.. Konieczne jest zatem dążenie do minimalizacji różnic w jakości wyrobów poprzez identyfikowanie odchyleń i odpowiednie projektowanie systemu wytwórczego.

Do podstawowych czynników wpływających na jakość wyrobów przemysłu maszynowego można zaliczyć (rys. 1):

- rodzaj techniki wytwarzania wyrobu,
- rodzaj urządzenia wspomagającego proces wytwarzania,
- rozmiar produkcji (jednostkowa, seryjna, masowa),
- czynniki wpływające na dokładność pracy maszyny zależne m.in. od lokalizacji, zasobów przedsiębiorstwa,

- czynniki organizacyjne, charakteryzujące przedsiębiorstwo i jego politykę rynkową,
- wymagania rynku dyktowane zarówno przez postęp technologiczny (patenty, wynalazki, innowacje) jak również panujące trendy produkcyjno-eksploatacyjne dotyczące ilości terminów dostawy, kosztów i cen, warunków wytwarzania, materiałów, pomieszczeń i warunków klimatycznych oraz innych warunków zależnych od rodzaju produktu. Należą także do nich cechy określające jakość użytkową produktu, a dotyczące funkcjonowania urządzeń, bezpieczeństwa użytkowania, transportu i przechowywania, niezawodności, trwałości, wygody użytkowania.
- czynniki produkcji, zużywane w procesie produkcyjnym.



Rys. 1. Czynniki charakteryzujące jakość wyrobów przemysłu maszynowego

2. Analiza jakości w aplikacji MAJA

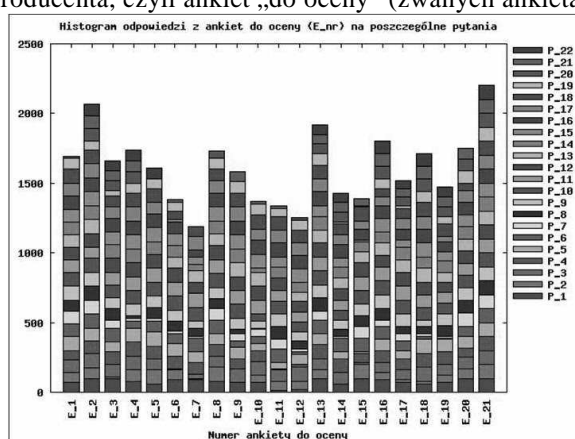
Właściwe zarządzanie przedsiębiorstwem, umożliwiające rozwój innowacyjnych produktów, a co za tym idzie osiągnięcie zysku, wymaga prowadzenia badań i analiz wdrażanych innowacji. Uzasadnia to konieczność oceny podejmowanych decyzji, wyboru wariantów proponowanych rozwiązań technicznych i technologicznych oraz uwzględnienia różnorodnych kryteriów ich oceny [1]. Podjęcie decyzji - spośród wielu możliwości - wymaga wykorzystania zaawansowanych narzędzi do gromadzenia i przetwarzania danych, a następnie przetwarzania informacji w wiedzę, wykorzystywaną do analizy procesów biznesowych.

W celu wyodrębnienia cech produktu, istotnie wpływających na jakość oraz oszacowania strat z tytułu niedotrzymania jakości pożądanej przez klientów (odbiorców produktu) zaproponowana została metodyka wykorzystująca funkcję strat jakości Taguchi'ego, pozwalająca określić jakość (od strony strat generowanych przez parametry, których wartości znajdują się na niezadowolającym poziomie) poszerzona o analizę

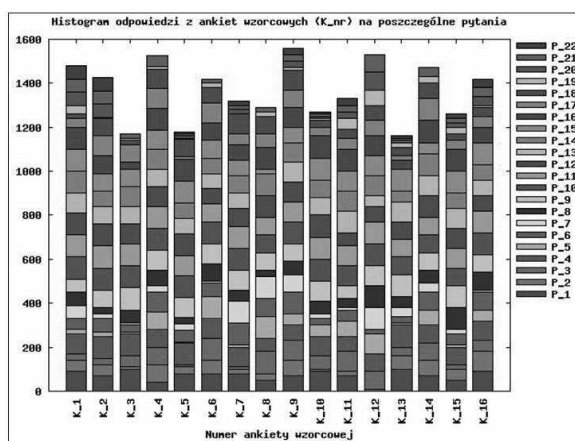
statystyczną i planowanie doświadczeń, umożliwiające skrócenie czasu tej analizy, a jednocześnie redukującą koszty. Uszeregowanie parametrów wpływających na jakość i innowacyjność produktu spełniającego oczekiwania klienta oraz klasyfikacja producentów dążących do zapewnienia pełnej satysfakcji klienta jest wspomagana przez zaprojektowaną aplikację MAJA [2]. Badanie obrabiarek CNC przeprowadzono dla 22 parametrów wyłonionych przy użyciu Strategicznej Karty Wyników, następnie diagramu Ishikawy i panelu ekspertów (PE).

2.1. Analiza wstępna

Analiza istotności parametrów w aplikacji MAJA realizowana była na danych składowanych w systemie bazodanowym, skatalogowanych jako informacje z ankiet od klienta będących ankietami „wzorcowymi” (zwanych ankietami „A”) oraz ankiet od producenta, czyli ankiet „do oceny” (zwanych ankietami „B”).



Rys. 2a. Histogram istotności parametrów na podstawie ankiet B

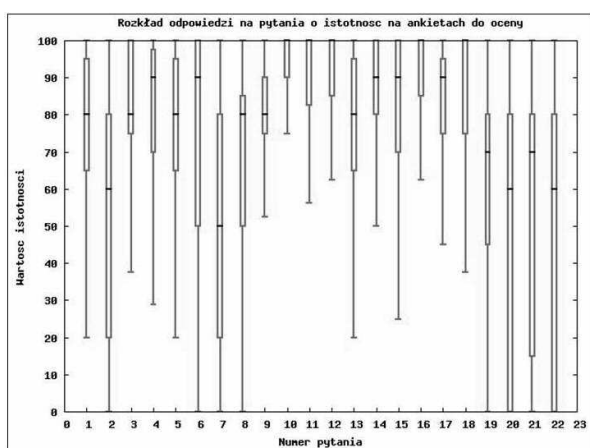


Rys. 2b. Histogram istotności parametrów na podstawie ankiet A

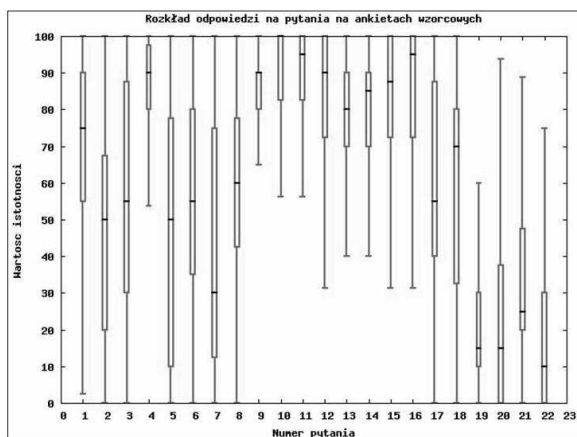
Dla jednego badania Aplikacja MAJA generuje kilkanaście różnorodnych tabel i wykresów, pomocnych w podejmowaniu decyzji cząstkowych oraz końcowych. Jednym z nich jest histogram odpowiedzi na istotność pytań/parametrów według ankietowanych A (skrótowy numer ankiety E_nr), pozwalający wyłonić respondentów, którzy w całym zakresie oceny istotności pytań (parametrów) byli bardziej krytyczni (tj. na tle całego wykresu niski słupek całkowity dla sumy odpowiedzi na pytania) lub mniej krytyczni (tj. na tle całego wykresu wysoki słupek całkowity dla sumy odpowiedzi na pytania). Dla badania obrabiarek CNC w Polsce najmniej krytyczni producenci oznaczeni są jako: E_2, E_13 i E_21, natomiast najbardziej krytycznym okazał się E_7 (rys.2a). Analogicznie analizowane są dane odbiorcy (klienta).

Dla analizowanego badania najmniej krytycznymi odbiorcami obrabiarek CNC są K_4, K_9 i K_12, natomiast najbardziej krytycznymi są jako K_3, K_5, K13.

Pomocnym wykresem jest wykres typu pudełko-wąsy pokazujący rozkład odpowiedzi ankietowanych, sporządzany na podstawie obliczonych kwartyli. W ramach wykresu



Rys. 3a. Rozkład odpowiedzi na pytania o istotność na podstawie ankiet B



Rys. 3b. Rozkład odpowiedzi na pytania o istotność na podstawie ankiet A.

widoczny jest odstęp międzykwartylowy (*IQR* – *InterQuartile Range*), czyli odległość między I, a III kwartylem, wyznaczająca granice pudełka, pozwalająca określić, czy odpowiedź jest: statystycznie poprawna, statystycznie typowa lub statystycznie nietypową oraz czy wszyscy ankietowani odpowiadali w bardziej skoncentrowanych granicach wartości, czy ich odpowiedzi różniły się między sobą (im mniejsze pudełko to ankietowani mieli podobne zdanie w ocenie istotności danego parametru; dla bardzo rozciągniętego pudełka, zdanie poszczególnych ankietowanych w zakresie oceny istotności danego parametru było bardzo różne).

Na rysunku 3a widoczne jest duże zróżnicowanie rozkładu odpowiedzi ankietowanych B na poszczególne pytania. Największy rozrzut odpowiedzi notowany jest dla parametrów 20, 21, 22 (odporność na pod względem wilgotności, temperatury i ciśnienia otoczenia), co może wskazywać na niską ogólną istotność tych pytań.

Najwyższą wagę dla producentów mają natomiast pytania 10, 11, 12, 16 (klasa dokładności, powtarzalność, niezawodność, bezpieczeństwo pracy), które cechują się najwęższymi pudełkami położonymi przy granicy maksymalnych odpowiedzi, a dodatkowo mediana leży na linii maksymalnej, dopuszczalnej odpowiedzi, czyli ponad połowa odpowiedzi na te pytania wskazuje na wartość maksymalną.

Dla parametru 18 (sprawność serwisu) notuje się dużą skośność tzn. w obrębie pudełka dla tego pytania mediana przesunięta jest ku wartościom zbliżonym do III kwartyla i bardzo wysokim ocenom zarazem, co wskazuje, że połowa ankietowanych

oceniła istotność tego parametru bardzo wysoko, natomiast druga połowa nie mogła się zdecydować i wartości oscylowały od małych do wysokich. Ponadto z wykresu wynika, że ankietowani A nisko oceniają istotność parametrów nr 19, 20, 21 i 22 (prostota montażu, odporność na pod względem wilgotności, temperatury i ciśnienia otoczenia).

Badanie przemysłu maszynowego obrabiarek CNC w Polsce przeprowadzono wykorzystując progi unifikacji, przedstawione w tabeli 1.

Tab. 1. Progi unifikacji dla „Badania przemysłu maszynowego obrabiarek CNC w Polsce”

Unifikacja manualna	Jeżeli $L_w \leq 5$, to $L_u = 0$, Jeżeli $5 < L_w \leq 15$, to $L_u = 1$, Jeżeli $L_w > 15$ to $L_u = 2$.
Unifikacja współczynnika zdefiniowanego	Jeżeli $L_w \leq 4$, to $L_u = 0$, Jeżeli $4 < L_w \leq 9$, to $L_u = 1$, Jeżeli $L_w > 9$ to $L_u = 2$.
Unifikacja automatyczna	Jeżeli $L_w \leq 2$, to $L_u = 0$, Jeżeli $2 < L_w \leq 6$, to $L_u = 1$, Jeżeli $L_w > 6$ to $L_u = 2$.

W celu weryfikacji uzyskanych wyników podczas analizy zunifikowanej odległości ankietowanego B od średniego ankietowanego A, zastosowano trzy metody unifikacji:

- unifikacji manualnej, dla której ręcznie określa się progi unifikacji,
- unifikacji współczynnika zdefiniowanego, dla której progi zostały ustalone eksperymentalnie w wyniku analiz danych o różnym charakterze,
- unifikacji automatycznej, dla której progi obliczono na podstawie rozkładu kwartyli dla L_w (ważonej funkcji strat jakości).

Wyniki po unifikacji na podstawie jednej z trzech metod unifikacji (progów obliczonych z rozkładu kwartyli dla L_w), przedstawia tabela 2.

Tab. 2. Zunifikowana odległość ankietowanego B od średniego ankietowanego A, na podstawie progów wynikających z rozkładu kwartyli dla L_w

Operacja	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_10	p_11	p_12	p_13	p_14	p_15	p_16	p_17	p_18	p_19	p_20	p_21	p_22	
E-B1-2007-01																					1		1
E-B1-2007-02																							
E-B1-2007-03									1	1													
E-B1-2007-04								1	1														
E-B1-2007-05	1							1	1												1		
E-B1-2007-06								1	1												1		1
E-B1-2007-07				1								1									1	1	1
E-B1-2007-08				1					1														1
E-B1-2007-09										1											1		1
E-B1-2007-10				1																	1		1
E-B1-2007-11										1						1					1		1
E-B1-2007-12								1					1	1									1
E-B1-2007-13																							
E-B1-2007-14	1								1				1										
E-B1-2007-15										1											1		1
E-B1-2007-16														1									
E-B1-2007-17				1					1														
E-B1-2007-18	1							1	1		1												
E-B1-2007-19									1						1	1	1						
E-B1-2007-20										1													1
E-B1-2007-21																							

(Parametry unifikacji obliczone automatycznie)

Legenda (przedziały unifikacji L_u):

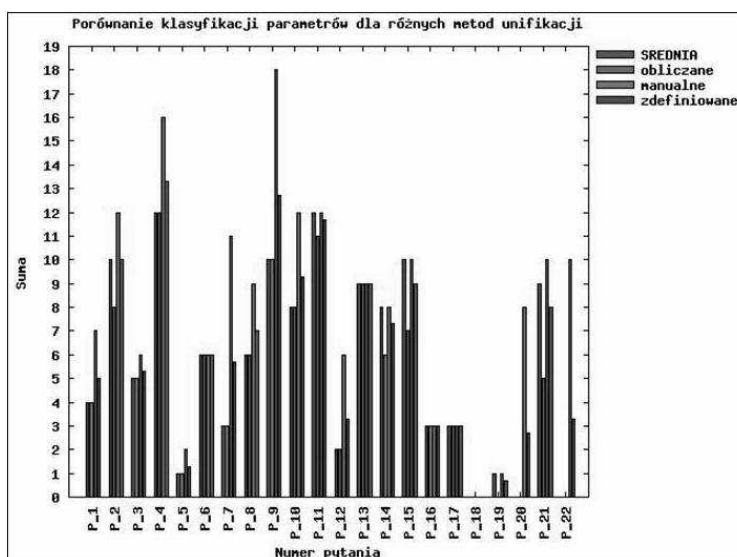
- od 0 do 2: Zgodność oczekiwań wynikających z ankiet A z istotnością według B
- od 2 do 6: Należy zwrócić uwagę - częściowa niezgodność
- od 6 do 22: Brak zgodności oczekiwań wynikających z ankiet A z istotnością według B

Tabela 2 dotyczy ocen rozbieżności oczekiwań, co do istotności dla poszczególnych parametrów między klientami a producentami, a także klasyfikacji producentów w największym stopniu spełniających oczekiwania klientów. Na podstawie danych z tabeli 2. budowane są wykresy klasyfikujące producentów i parametry.

Wysnuto wniosek, że pomimo przyjęcia różnych kryteriów przekształcenia L_w (tabela 1), wyniki po unifikacji są podobne.

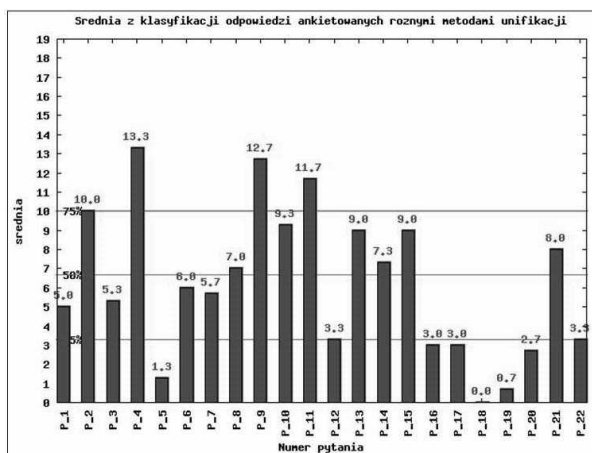
2.2. Klasyfikacja parametrów

Efektom końcowym opracowanej metody jest prezentacja wykresu słupkowego klasyfikacji parametrów (rys. 4.), jako średniej arytmetycznej z ocen cząstkowych. Im wyższa wartość oceny danego parametru (rys 5), tym może on generować większe straty, w przypadku niespełnienia wymagań stawianych przez klientów. Dodatkowo wykres posiada linie 25%, 50% i 75% pozwalające wyłonić odpowiednią ilość parametrów do dalszej analizy.



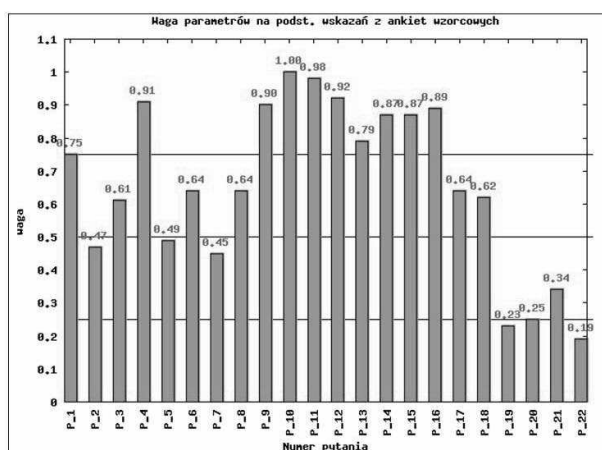
Rys. 4. Histogram klasyfikacji parametrów dla różnych metod unifikacji L_w

W ramach badania przemysłu maszynowego na przykładzie obrabiarek CNC, przyjęto, że parametr może generować istotne straty, gdy jego wartość przekracza 50% z maksimum w tej ocenie. Stąd wniosek, że należy przyrzeć się parametrom oznaczonym jako P_2, P_4, P_8, P_9, P_10, P_11, P_13, P_14, P_15 i P_21 (rys.5).



Rys.5. Średnia wartość klasyfikacji istotności parametrów dla wszystkich metod unifikacji

Porównując wyniki rys. 5 i rys.6. (dotyczącego wag bezwzględnych parametrów) oraz przyjmując, że istotne są parametry, dla których waga bezwzględna jest większa od 0.5, można stwierdzić, że parametr P_2 (masa) został sklasyfikowany jako potencjalnie przynoszący straty w razie jego zaniedbania. To jego waga bezwzględna nie spełnia obranego warunku, dlatego zostaje odrzucony z listy najistotniejszych parametrów.



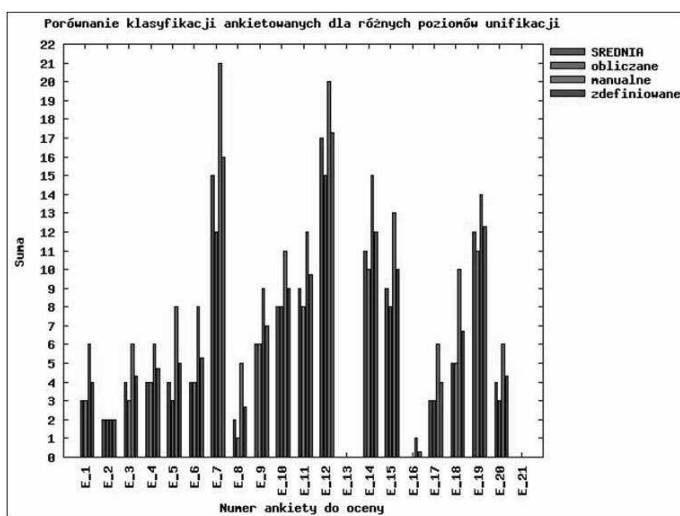
Rys.6. Obliczona bezwzględna waga parametrów dla odpowiedzi z ankiet A

Podobne wnioski można wysnuć, co do parametru P_21 (odporność na temperaturę). Zatem, w ramach Badania przemysłu maszynowego obrabiarek CNC w Polsce otrzymano następującą listę parametrów, które mogą przynieść największe straty, jeśli nie zostaną spełnione wymagania rynku:

- P_4 – poziom drgań,
- P_8 – moc,
- P_9 – wydajność,
- P_10 – klasa dokładności,
- P_11 – powtarzalność,
- P_13 – sprawność,
- P_14 – trwałość,
- P_15 – indywidualizacja rozwiązań wg potrzeb klienta.

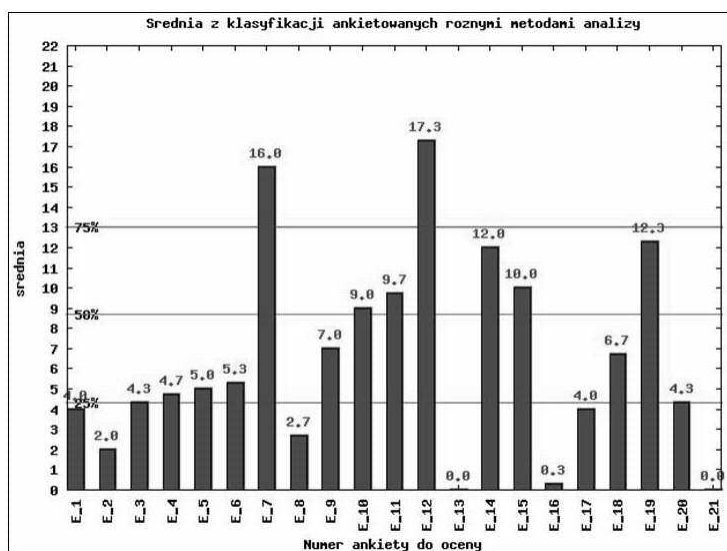
2.3. Klasyfikacja producentów

Podobnie jak dla klasyfikacji parametrów, aby porównać wyniki klasyfikacji producentów powstałe po analizie trzema metodami unifikacji (rys. 7), przedstawiono wykres średniej arytmetycznej dla klasyfikacji producentów wg trzech wspomnianych metod (rys. 8). Im wyższa wartość oceny (średniej) dla danego producenta, tym bardziej, ankietowany produkt (lub produkty) tego producenta mogą odbiegać od oczekiwań rynku.



Dla badania przemysłu maszynowego obrabiarek CNC w Polsce przyjęto kryterium selekcji tj. przekroczenie wartości średniej powyżej linii 50%. Stwierdzono, że producenci, oznaczeni jako E_7, E_10, E_11, E_12, E_14, E_15 i E_19, powinni zweryfikować swoje założenia produktowe i dostosować się (jeśli jest to możliwe) do wymagań rynku.

Rys.7. Histogram klasyfikacji ankietowanych dla różnych metod unifikacji L_w

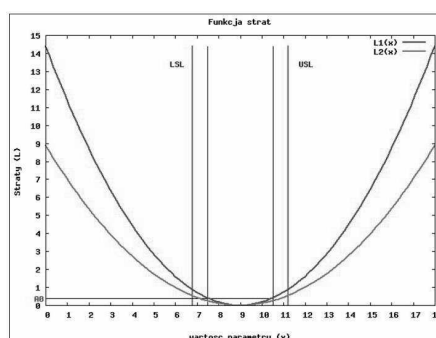


Rys. 8. Średnia wartość klasyfikacji producentów z różnych metod unifikacji

2.4. Szacowanie strat

Aplikacja MAJA wyposażona jest w dodatkowy moduł do szacowania strat, analizujący niezależnie od opracowanej metody badań oceny istotności i klasyfikacji producentów. Aby dokonać szacowania strat, należy wybrać badanie, parametr oraz producenta, a następnie wprowadzić odpowiednie współczynniki (Rys. 9.).

Rys.9. Elementy systemu MAJA – „Szacowanie strat” – wprowadzanie współczynników



Rys.10. Szacowanie strat dla parametru „poziom drgań”

Po wprowadzeniu wymaganych współczynników, dokonywane są obliczenia poszczególnych wartości charakterystycznych dla metody Taguchi oraz kreślone są dwa wykresy na jednej płaszczyźnie, odpowiadające następującym funkcjom utraty jakości:

$$L_1(x) = k_{L1}(x - x_{doc})^2 \quad (1)$$

$$L_2(x) = k_{L2}(x - x_{doc})^2 \quad (2)$$

gdzie: k_{L1} – współczynniki strat obliczane na podstawie parametrów wprowadzonych przez użytkownika,

k_{L2} – współczynniki strat obliczane na podstawie danych ze statystyk opisowych (StDevAvg).

3. Podsumowanie

Wykorzystanie połączenia metod związanych z planowaniem doświadczeń oraz badań statystycznych może być wykorzystane w wieloparametrowych analizach z wielu dziedzin nauki i praktyki biznesowej. Uniwersalność, ale również: brak ograniczeń na wielkość badanej próby, dowolność w budowaniu ankiet i swoboda w konfiguracji wielu części składowych materiału, który ma być poddany analizom; mnogość tabel i wykresów na każdym etapie analizy pozwalający na ich wykorzystanie do podejmowania decyzji cząstkowych (lokalnych), jak również przedstawienie skumulowanych klasyfikacji wspomagających ocenę końcową, to niektóre z cech aplikacji MAJA [3].

Aplikacja MAJA (Monitoring-Analiza-Jakość-Administracja) jest narzędziem do wspomaganie oceny jakości wyrobów/produktów z punktu widzenia producenta i klienta tak, aby dostarczyć informacji o reakcji klientów na oferowany wyrób, danych do analiz prognostycznych. Jest również pomocnym narzędziem monitoringu zmian tendencji na rynku poprzez automatyczne zapisywanie analiz i raportów w bazie danych. Głównym założeniem programu, jest sklasyfikowanie zadanych mu parametrów oraz sklasyfikowanie producentów/ekspertów (pod względem ocenianego projektu) tak, aby użytkownik miał pełny obraz oceny parametrów i respondentów [2].

Dodatkowo, na podstawie klasyfikacji poszczególnych parametrów, ich wartości ocen dla danego produktu oraz wyznaczonej funkcji strat jakości, dokonuje się oszacowania strat z tytułu złej jakości produktu spowodowanej niedostosowaniem wybranego parametru w ocenie producenta względem klienta.

Literatura

1. Gawlik J., Kiełbus A., Motyka S.: Poradnik dla Beneficjentów Ostatecznych - Opracowanie wieloparametrowego systemu monitoringu i oceny efektywności wdrażania Regionalnej Strategii Innowacji Województwa Małopolskiego i innowacyjnych projektów, będących jej składowymi. Sekcja Poligrafii Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2007.
2. Kiełbus A.: Wielokryterialna ocena jakości wyrobów przemysłu maszynowego. Praca doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków, 2007.
3. Gawlik J., Kiełbus A.: Metody i narzędzia w analizie jakości wyrobów. Sekcja Poligrafii Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2008.

Prof. dr hab. inż. Józef GAWLIK
Dr inż. Anna KIEŁBUS
Katedra Inżynierii Procesów Produkcyjnych
Politechnika Krakowska
31-864 Kraków, Al. Jana Pawła II 37
tel.(+12) 374 37 43
e-mail: j.gawlik@chello.pl
akielbus@poczta.onet.pl