

Kwantytatywna ocena jakości przyrządu pomiarowego

Jan Jagielski *

Artykuł przedstawia zagadnienia ilościowej oceny jakości użytkowej przyrządu pomiarowego. Podano usytuowanie jakości w teorii i praktyce oraz podstawowe definicje. Przedstawiono metodę oceny jakości bazującą na wiedzy użytkownika, wzorowaną na metodach inżynierii wiedzy. Metoda korzysta z zaawansowanych procedur statystycznych do obiektywizowania wyników badań. Uwzględnia podejście heurystyczne i podejście algorytmiczne.

Quantitative estimation of the the gauge quality. In the paper, issues of the quantitative estimation of the functional quality of the gauge are presented. The location of the quality in the theory and the practice and basic definitions is given. Method of the quality estimation based on the user knowledge, modelled on methods of the knowledge engineering is presented. Presented method use advantage of advanced statistical procedures to objectivating of results of research. Both the heuristic approach and the algorithmic approach are taken into account.

W latach siedemdziesiątych XX wieku zwrócono uwagę na konieczność kojarzenia nowoczesnej konstrukcji z wysoką jakością, niezawodnością i konkurencyjnie niską ceną. W zarządzaniu [1] pojawia się najbardziej zaawansowana metoda TQM (*Total Quality Management*), określana w Polsce jako „zarządzanie przez jakość” ukierunkowana na zaspokojenie potrzeb i oczekiwań klientów. TQM charakteryzuje się kompleksowym podejściem do spraw jakości w organizacji i jej otoczeniu. Występująca w nazwie metody jakość jako pojęcie systematycznie poszerza i ugruntowuje swoją pozycję w systemie pojęć oraz działań ułożonych w praktyce społecznej, gospodarczej i naukowej.

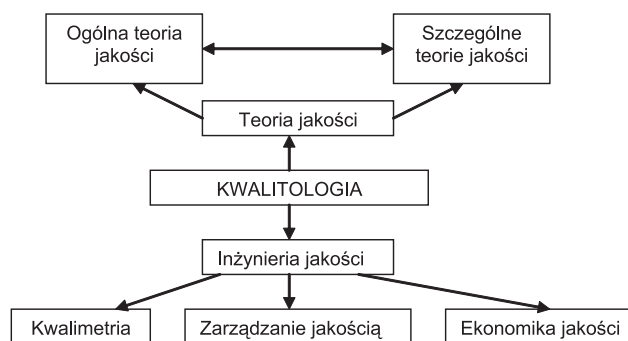
Zarządzanie przez jakość ma dostatecznie sformułowane założenia i filozofię koncepcji, ale wymaga rozwoju metodologii i instrumentarium. Zagadnieniami tymi zajmuje się kwalitologia.

wymienia się: matematykę, teorię systemów, cybernetykę, metrologię, nauki techniczne i przyrodnicze, nauki organizacji i zarządzania, inżynierię systemów działania, psychologię, socjologię i filozofię. Skutkiem takiego stanu rzeczy jest złożoność obiektu i kierunków badań powodująca, że kwalitologia nie jest nauką monolityczną (rys. 1).

W teorii jakości dominują aspekty poznawcze. Obejmuje ona system twierdzeń, praw i modeli objaśniających i opisujących zjawiska jakościowe. W inżynierii jakości dominują aspekty praktyczne i dostarcza ona narzędzi do sprawnego wykonywania zadań i osiągania celów jakościowych. Obszarem zainteresowania kwalimetrii jest budowa narzędzi liczbowego określania jakości i wątek ten zostanie rozwinięty w dalszej części artykułu. Bazową kategorią kwalitologii jest jakość.

Kwalitologia jako nauka o jakości

Do niedawna uwaga badaczy i praktyków zajmujących się jakością skupiała się na produkcji i analizowaniu wyrobów przemysłowych w kontekście procesów kontroli technicznej. Aktualnie [1] głównym obiektem badań kwalitologii są kompleksowo rozpatrywane organizacje wytwórcze. W kwalitologii intensyfikuje się zjawisko interdyscyplinarności polegające na korzystaniu z osiągnięć metodologicznych i aparatury pojęciowej wielu dyscyplin naukowych traktowanych jako pomocnicze. Wśród szerokiego spektrum nauk



Rys. 1. Składowe kwalitologii [1, s. 19]

* Dr hab. inż. Jan Jagielski prof. UZ – Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Metrologii Elektrycznej

Jakość

Dyskusje związane z naszym wejściem do Unii Europejskiej spowodowały, że jakość stała się kategorią bardzo popularną i często goszczącą na łamach literatury, czasopism, dyskusjach radiowych i telewizyjnych.

Współcześnie określenie jakości znajdujemy w przepisach prawa i standardach [1]. Norma PN-ISO 8402:1996¹ definiowała jakość jako ogół właściwości obiektu wiążących się z jego zdolnością do zaspokojenia potrzeb stwierdzonych i oczekiwanych. Według PN-EN ISO 9000:2001 jakość jest stopniem, w jakim zbiór inherentnych właściwości spełnia wymagania. Obie definicje opierają się na właściwościach zrelatywizowanych do potrzeb. W definicji pierwszej jakość jest zbiorem, a w drugiej jest stopniem. Sprowadza to pojęcie jakości do jednej właściwości pozwalającej hierarchizować przedmioty ze względu na ich jakość.

W odniesieniu do przyrządu pomiarowego zdolność spełniania wymagań wynika ze zbioru parametrów technicznych i nazywana jest jakością użytkową Q_u (*quality in use*) przyrządu pomiarowego. Oznacza ona stopień, w jakim przyrząd pomiarowy zaspokaja potrzeby określonych użytkowników w osiąganiu określonych celów pomiarowych ze skutecznością, efektywnością i satysfakcją w określonym kontekście użycia.

Ponadto możemy wyróżnić jakość projektową Q_p i jakość wykonania Q_w . Jakość projektowa będzie to stopień zgodności ustaleń zawartych w dokumentacji projektowej przyrządu ze specyfikacją wymagań. Jakość ta spełnia rolę jakości wzorcowej (modelowej). Jakość wykonania jest stopniem zgodności przyrządu z ustaleniami dokumentacji projektowej. W dalszej części artykułu zostanie rozwinięte modelowanie jakości użytkowej. Znajomość jakości daje wszechstronną wiedzę o istniejących przyrządach pomiarowych.

Modele jakości użytkowej przyrządu pomiarowego

Jeden z kierunków badań kwalimetrii [1] obejmuje operacje określania, pomiaru, optymalizacji i wartościowania jakości. Główna uwaga badaczy jest skupiona na opracowaniu syntetycznych wskaźników (modeli) do wartościowania jakości produktów. Nadaje to jakości charakter ilościowy, zgodnie z maksymą Galileusza – mierzyć to co mierzalne i uczynić mierzalnym to co niemierzalne.

Kwalimetria bazuje na pojęciu cechy, która jest elementem tego co przysługuje przedmiotowi. Cechę wyróżnia się na drodze procesu myślowego prowadzącego do odpowiedzi na pytanie: jaki jest przedmiot. Cecha jest też tworzywem do konstruowania innych abstraktów, do których należą modele jakości. Cechy są nośnikami porcji informacji o przedmiocie, któremu przysługują. Formuły cech powinny spełniać kryteria adekwatności, jednoznaczności, komunikatywności, logiczności

i zwięzłości. Dominujący w technice pomiar powoduje ścisły związek kwalimetrii z metrologią.

Model systemu pomiarowego [2] odzwierciedla zależności pomiędzy właściwościami metrologicznymi systemu a jego strukturą, rozwiązaniami układowymi i parametrami.

Model jakości pozwala wyrazić jakość w postaci pewnej wartości liczbowej niemianowanej. Funkcja modelowania F_m przyporządkowuje adekwatne kategorie jakościowe Q_k ocenianym przyrządom pomiarowym co możemy zapisać:

$$F_m : P \rightarrow Q_k$$

gdzie: P – zbiór ocenianych przyrządów pomiarowych.

Wracając do wcześniej przytoczonych definicji jakości, jako pewnego zbioru cech, możemy do jej zapisu użyć ogólnej formuły:

$$Q = f(c_1, c_2, \dots, c_n)$$

Symbol f oznacza pewne operacje, które na zbiorze cech należy wykonać.

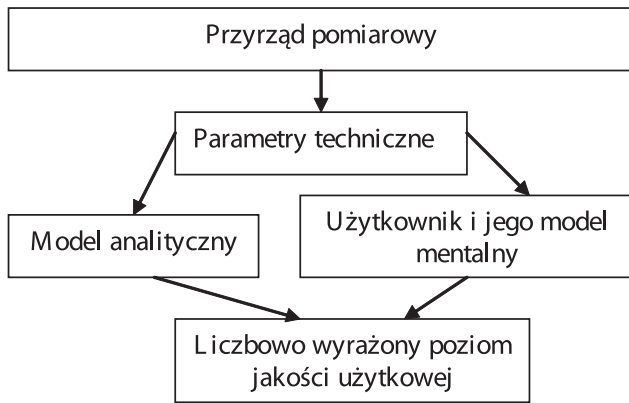
W ujęciu kwalimetrycznym będzie to formułowanie, porządkowanie i operowanie zbiorem cech. W zbiorze mogą występować cechy ilościowe (kwantytatywne), których stany mogą być wyrażane za pomocą liczb. Dla przyrządu pomiarowego będą to jego parametry techniczne podawane przez producenta. Dla przyrządu należącego do klasy multimetrów cyfrowych podręcznych przykładowo będą to [2]: zakresy pomiarowe, impedancja wewnętrzna, maksymalna rozdzielczość, dokładność podstawowa, wymiary, masa itp.

Mogą też występować cechy lingwistyczne, których stany mogą być wyrażone za pomocą słów, terminów, zdań oraz innych znaków określonego języka, np.: małe gabaryty, satysfakcjonująca precyzja, duża niezawodność, doskonała funkcjonalność. Każdej cesze lingwistycznej możemy też przypisać wartość liczbową z przyjętej szacunkowej skali nominalnej, np.: mała – 2, satysfakcjonująca – 3, doskonała – 5. Nadamy jej wtedy charakter cechy kwantytatywnej. Treść znaczeniowa stanów cech wynika z semantycznych założeń określonej dziedziny wiedzy i stosowanego języka.

Model jakości przyrządu pomiarowego może być funkcją analityczną przekształcającą wartości liczbowe zbioru parametrów w jedną wartość liczbową odpowiadającą poziomowi jakości. Model taki jest wskaźnikiem syntetycznym wykorzystującym cechę ilości do wyznaczania stanów cech kwantytatywnych i dokonywania formalnych operacji matematycznych. Do opisu liczbowego wykorzystuje się pomiar i obliczenia według algorytmów określonych w modelu analitycznym.

Strukturalna metoda budowy modeli systemów pomiarowych bazująca na analitycznych modelach sprzętowych elementów systemu jest opisana w monografii [3]. Modelowanie analityczne jest związane z koniecz-

¹ Normę tę w 2001 roku zastąpiła PN-EN ISO 9000:2001.



Rys. 2. Warianty ilościowego wyrażania jakości
Źródło: Opracowanie własne

nością pokonania wielu utrudnień na drodze zapewnienia wystarczającej wiarygodności i użyteczności.

W artykule zaproponowano podejście wzorowane na inżynierii wiedzy [4], w którym model analityczny możemy zastąpić modelem mentalnym utworzonym przez użytkownika w jego umyśle (rys. 2). Model mentalny nie występuje w postaci jawnej, a jest pewnego rodzaju systemem wartościowania stosowanym przez użytkownika. Pozwala przypisać jakości użytkowej przyrządu pomiarowego liczbę odzwierciedlającą ocenę jej poziomu. Ma tu miejsce szacunkowe, przybliżone i często relatywne wyznaczanie stanu jakości w postaci liczb.

Liczbowe określanie jakości oparte na wiedzy

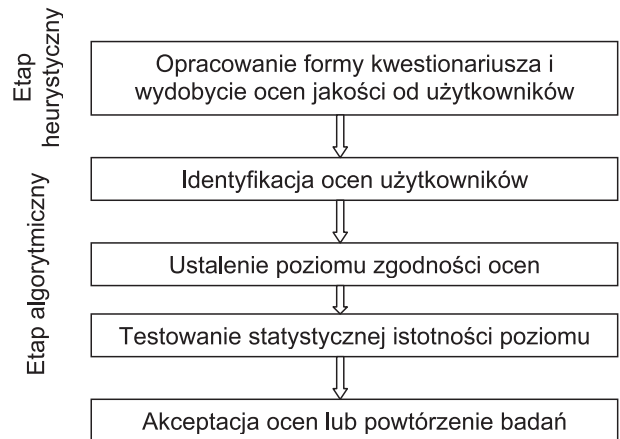
Wiedza pozwala użytkownikowi tworzyć model mentalny ocenianego przyrządu pomiarowego i występować jako swego rodzaju miernik podający wynik oceny jakości. Przyjęty przez użytkownika system wartościowania ma charakter indywidualnego, subiektywnego szacowania na podstawie przyjętych przesłanek racjonalnych. Subiektywny charakter ocen jakości możemy wyeliminować dzięki uwzględnieniu ocen grupy użytkowników i zastosowaniu metody szacunku ekspertów [4, 5]. Metoda (rys. 3) korzysta z kwestionariusza, jako narzędzia do uzyskania ocen jakości od użytkowników, i pozwala odpowiedzieć na pytania:

- Jaka jest ocena jakości przez grupę użytkowników?
- Na ile użytkownicy są w ocenach zgodni?
- Czy zgodność jest statystycznie istotna na założonym poziomie istotności α ?

Badanie ma dwa zasadnicze etapy:

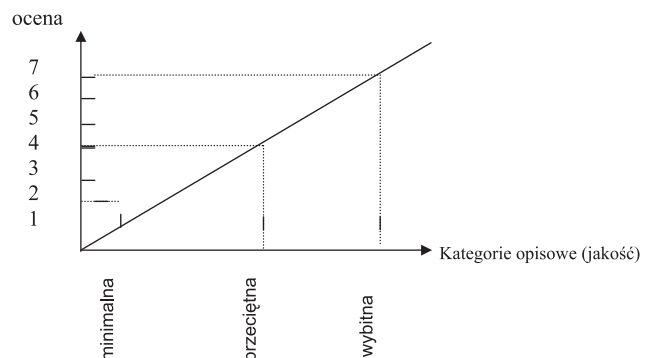
- etap heurystyczny, w którym opracowuje się formę kwestionariusza i przeprowadza się odpytywanie użytkowników
- etap algorytmiczny obejmuje bezpośrednią odpowiedź na sformułowane wcześniej pytania, opartą na aparacie matematyczno-statystycznym.

Na etapie heurystycznym użytkownicy korzystając



Rys. 3. Etapy oceny jakości metodą szacunku ekspertów
Źródło: Opracowanie własne

z kwestionariusza [6] i za pomocą własnych modeli mentalnych, dokonują ocen liczbowych jakości przyrządów pomiarowych. Narzędziem ułatwiającym rozwiązanie tego problemu jest skala szacunkowa nominalna (rys. 4) pozwalająca przyporządkować sądom o charakterze jakościowym wartości liczbowe i rejestrować szacowaną wielkość lub właściwość badanego przyrządu.



Rys. 4. Przykładowe kategorie opisowe i przypisane im liczby
Źródło: Opracowanie własne

Ocena jakości musi dotyczyć grupy przyrządów pomiarowych należących do tej samej klasy. Na przykład [2] w grupie multimetrów możemy wyróżnić klasę multimetrów analogowych, multimetrów cyfrowych podręcznych, multimetrów cyfrowych laboratoryjnych. Przykładowe oceny jakości dla klasy multimetrów cyfrowych podręcznych nadane przez pięciu użytkowników zawiera tabela 1.

Ocena względna jest stosunkiem oceny średniej do liczby 7, która jest oceną jakości wybitnej (rys. 4). Według użytkowników najlepszy jest przyrząd APPA 305, który spełnia wymagania jakości wybitnej w 94 %.

Otrzymane wartości liczbowe jakości pozwalają na wprowadzenie etapu algorytmicznego obiektywizującego procedurę badawczą. Zebrane za pomocą kwestionariusza oceny liczbowe poddane zostają operacjom statystycznym w celu określenia poziomu zgodności ekspertów w ocenie jakości.

Tabela 1. Przykładowe oceny jakości przyrządów pomiarowych

Nazwa przyrządu	Ocena 1	Ocena 2	Ocena 3	Ocena 4	Ocena 5	Ocena średnia	Ocena względna
APPA 109	6	6	5	7	5	5,8	0,82
APPA 305	7	7	6	6	7	6,6	0,94
APPA 97	5	5	7	4	6	5,4	0,77
Fluke 73	3	4	4	5	3	3,8	0,54

Skalom szacunkowym przysługuje status skal porządkowych i miarą rzetelności badań będzie wartość współczynnika korelacji między zbiorami oszacowań pochodzących od grupy użytkowników. Taką miarą zgodności opinii osób kompetentnych jest współczynnik zgodności W-Kendalla (*coefficient of concordance*) [5] obliczany wg wzoru:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12}n^2(m^3 - m) - n \sum_{j=1}^n T_j^2}$$

gdzie:

S – suma kwadratów odchyłeń od wartości przeciętnej rangi

T_j – poprawki na rangi związane

m – liczba specjalistów

n – liczba ocenianych przyrządów.

Współczynnik W jest wyrażany na skali porządkowej i przyjmuje wartość „0” przy braku zgodności i wartość równą „1” przy całkowitej zgodności. Wysoki wynik W interpretujemy jako fakt zgodności użytkowników co do kryteriów, jakimi kierowali się przy ocenie jakości. Nie oznacza to wcale, że ocena jest poprawna, lecz odpowiednie kompetencje pozwalają im stosować poprawne kryteria, a to z kolei pośrednio pozwala sądzić o poprawności ocen przy wysokiej wartości współczynnika W .

Sama znajomość współczynnika W-Kendalla nie jest wystarczająca. Należy przekonać się o jego statystycznej istotności na danym poziomie α . W tym celu dla przeprowadzonych badań należy postawić hipotezę zerową: H_0 – między ocenami ekspertów nie ma wystarczającej zgodności. Do testowania hipotezy wykorzystujemy test χ^2 , gdzie $\chi^2 = n\sqrt{(m-1)W}$ jest wartością obliczoną przy $p = m - 1$ stopni swobody. Hipoteza H_0 jest przyjmowana gdy $\chi^2 < \chi^2_{kr}$, zaś odrzucona dla $\chi^2 > \chi^2_{kr}$. Wartość krytyczna χ^2_{kr} jest wzięta z tablic [7] rozkładu χ^2 dla p stopni swobody. Odrzucenie hipotezy zerowej H_0 oznacza, że między ocenami występuje wystarczająca korelacja, czyli test jest istotny statystycznie.

Dla ocen z tabeli 1 mamy współczynnik $W = 0,6$. Odczytana z tablic wartość krytyczna χ^2_{kr} dla $p = 4$ stopni swobody wynosi: $\chi^2_{kr} = 13,28$ dla $\alpha = 0,01$ i $\chi^2_{kr} = 9,5$ dla $\alpha = 0,05$. Obliczona wartość statystyki $\chi^2 = 9,6$, dla poziomu istotności $\alpha = 0,01$, spełnia warunek $\chi^2 < \chi^2_{kr}$ przemawiający za przyjęciem hipotezy H_0 o braku wystarczającej korelacji między ocenami użytkowników. Dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$ hipoteza H_0 zostaje odrzucona. Z tego względu dla poziomu istotności $\alpha = 0,01$ wyniki nie mogą być uznane za reprezenta-

tywne dla całej grupy, ale możemy je uznać dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$. Powtarzając badania, możemy uzyskać wzrost współczynnika W . I tak dla wartości $W = 0,83$ zostanie spełniony warunek dla poziomu $\alpha = 0,01$. Program komputerowy realizujący opisaną procedurę pozwala przeprowadzić wszechstronne badania w różnych wariantach (rys. 5), w tym pominiętych w artykule.

Rys. 5. Wyniki obliczeń prezentowane przez program komputerowy
Źródło: Opracowanie własne

Podsumowanie

Przedstawiony sposób podejścia bazujący na wiedzy użytkownika eliminuje konieczność tworzenia złożonych algorytmów obliczeniowych i wprowadza obiektywne mechanizmy testowania zgodności poglądów. Procedura postępowania daje się łatwo automatyzować. Wyniki ocen jakości użytkowej powinny być podstawą do analizy jakości projektowej, jakości wykonania i testowania modeli analitycznych.

Bibliografia

- [1] Hamrol A., Mantura W.: *Zarządzanie jakością*. PWN Warszawa 2002.
- [2] Katalog firmy ELFA 2004.
- [3] Gajda J., Szyper M.: *Modelowanie i badanie symulacyjne systemów pomiarowych*. Wydawnictwo AGH Kraków 1998.
- [4] Jagielski J.: *Inżynieria wiedzy w systemach ekspertowych*. Lubuskie Wydawnictwo Naukowe. Zielona Góra 2001.
- [5] Churchill G. A.: *Badania marketingowe. Podstawy metodologiczne*. WNT Warszawa 2002.
- [6] Kaczmarek S.: *Badania marketingowe*. PWE, Warszawa, 2000.
- [7] Starzyńska W.: *Statystyka praktyczna*. PWN, Warszawa, 2000.