

Grażyna HOŁODNIK-JANCZURA\*

## BADANIE JAKOŚCI PRODUKTU INFORMATYCZNEGO METODĄ WARTOŚCIOWANIA

Porównano istniejące modele jakości oprogramowania. Na podstawie listy znamion jakości produktów materialnych zauważono potrzebę uzupełnienia tych modeli o brakujące aspekty jakości. Ze względu na zbiorczy charakter jakości, do badania jakości produktu informatycznego zaproponowano model wielokryterialny. Opisano proces badania jakości, korzystając z metod stosowanych w inżynierii jakości. Przedstawiono metodę kwantyfikowania stanów kryteriów i metodę stopniowania ważności kryteriów. Zamieszczono przykład, ilustrujący opracowany schemat postępowania. Do istotnych trudności w zastosowaniu metod ilościowych zaliczono dobór właściwych kryteriów i atrybutów jakości oraz możliwość wykonywania pomiarów tych atrybutów.

Słowa kluczowe: *kategoria jakości, kryterium, miara, model, ważność*

### Wstęp

Pojęcie jakości w odniesieniu do produktu informatycznego (oprogramowania „z półki”) jest trudne do sformułowania i stanowi przedmiot badań teoretycznych i empirycznych. Trudność ta wynika nie tylko ze specyfiki samego produktu, ale także z procesu jego tworzenia. Zagadnienie jakości oprogramowania jeszcze bardziej komplikuje tempo zmian, jakie obserwuje się w wielu organizacjach. One głównie powodują, że dobry produkt szybko traci wymagany poziom jakości.

Wychodząc od dwóch aksjomatów jakości: jakość nie jest wielkością bezpośrednio mierzalną i jest właściwością zbiorczą, proponuje się, w analogii do inżynierii jakości wyrobów, zastosowanie odpowiednich metod wartościowania, pozwalających na automatyzację wielu, wielokrotnie wykonywanych obliczeń, ułatwiających prowadzenie badań i formułowanie ocen jakości.

---

\* Instytut Organizacji i Zarządzania, Politechnika Wroclawska, ul. Smoluchowskiego 25, 50-372 Wrocław, e-mail: Grazyna.Holodnik-Janczura@pwr.wroc.pl

Metody wartościowania stosowane w inżynierii jakości wyrobów zachęcają do podjęcia wysiłku w celu sprawdzenia możliwości ich wykorzystania w odniesieniu do produktów informatycznych. Zasadnicza różnica polegająca na niematerialności produktów informatycznych wydaje się uniemożliwiać tego rodzaju postępowanie, ponieważ w samej definicji<sup>1</sup> wytwarzania wyrobów istnieje wymóg przekształcania materii, którego spełnienia nie można oczekiwać w przypadku tworzenia oprogramowania i bazy danych, gdzie przekształcanie materii odbywa się, ale na różnych poziomach abstrakcji. Powstaje zatem pytanie, czy podejście do zagadnień jakości produktów materialnych i niematerialnych powinno być całkowicie różne?

Okazuje się, że zarówno definicje jakości, jak i oceny jakości produktu nie zależą od tego, czy produkt jest materialny czy niematerialny. W obu przypadkach jakość nie jest bezpośrednio mierzalna i jest pojęciem wymagającym bliższego określenia. Dla każdego produktu są istotne aspekty jakości, ustalone wcześniej dla produktów materialnych jako znamiona jakości. Określają one jakość produktów, takich jak: pojazdy, narzędzia pracy, urządzenia pomiarowe, czy sprzęt gospodarstwa domowego, ale i programu komputerowego. Cechy jakości natomiast, w zależności od rodzaju produktu, mogą mieć różny poziom ważności.

Podobnie wygląda zagadnienie opisywalności cech składających się na jakość produktu. Najczęściej są to właściwości zbiorcze, wymagające dookreślenia. Dookreślanie polega na przedstawianiu kryteriów oceny jakości. W przypadku potrzeby uzyskania oceny obiektywnej, konieczna jest jej postać ilościowa. O ile dla produktów materialnych istnieją fizyczne miary, które łatwiej jest zastosować do mierzenia atrybutów jakości, o tyle w przypadku produktu informatycznego zagadnienie to jest trudniejsze. Proste miary fizyczne, jak liczba bajtów czy linii kodu źródłowego programu, przedstawiające aspekt materialny produktu informatycznego, mają niewielkie znaczenie dla oceny jego jakości. Istotne aspekty jakości wymagają poszukiwania adekwatnych do celu badania miar. Stąd też za zasadniczy element wyróżniający podejście do jakości produktów materialnych i produktu informatycznego uważa się aspekt mierzalności. Jednakże nie z powodu jego znaczenia, ponieważ w obu przypadkach jest tak samo ważny, ale trudności w doborze właściwych miar.

## 1. Modele jakości oprogramowania

### 1.1. Porównanie wybranych modeli

Subiektywna interpretacja pojęcia jakości wymaga, aby dla otrzymania obiektywnego opisu przyjąć za podstawę uniwersalny model jakości. Celem analizy wybranych

---

<sup>1</sup> Wytwarzanie to proces świadomego przekształcania materii w wytwory zaspokajające określone potrzeby społeczne [10, s. 47].

modeli, spośród wielu opisanych w literaturze przedmiotu, było sprawdzenie możliwości zastosowania, w badaniach jakości oprogramowania, metod znanych w inżynierii jakości wyrobu.

W omawianych modelach (tab. 1) przyjęto zasadę określania składników jakości oprogramowania za pomocą złożonych charakterystyk (tab. 2) oraz atrybutów zewnętrznych i wewnętrznych. Między nimi zachodzą relacje, które pozwalają określić wpływ atrybutów wewnętrznych na zewnętrzne, co w przypadku badania jakości oprogramowania może być wykorzystane np. do przewidywania jakości produktu końcowego na podstawie mierzonych atrybutów jakości wewnętrznej.

**Tabela 1.** Liczba charakterystyk występujących w wybranych modelach jakości oprogramowania

Model	Liczba charakterystyk/podcharakterystyk
McCalla (1977)	11/25
Boehma (1978)	7/12
Boeinga (1987)	15/27
FURPS (1987)	5/26
CUPRIMDA (1989)	8
ISO/IEC 9126 (1991, 2001)	6/27
Dromeya (1995)	4/7

W modelu McCalla [11] oprogramowanie z perspektywy użytkownika jest badane ze względu na trzy wymiary: działanie, poprawianie oraz różne aspekty dotyczące zmian w środowisku. Są to zewnętrzne atrybuty jakości wysokiego poziomu, charakteryzujące się brakiem możliwości bezpośredniego mierzenia. Stąd wprowadzono 25 atrybutów niższego poziomu, nazwanych kryteriami jakości. Jednakże wiele z tych kryteriów jakości wymaga dalszej dekompozycji, w celu doprowadzenia do możliwości bezpośredniego ich mierzenia. Atrybuty mierzalne, nazywane metrykami jakości, znajdują się na czwartym poziomie tego drzewa.

W modelu Boehma [3] korzeń drzewa jest nazwany jakością ogólną. Składnikami tej jakości są użyteczność, pielęgnowalność oraz przenośność. Punkt widzenia użytkownika został określony przez użyteczność, pozostałe dwa składniki sformułowano natomiast z punktu widzenia wytwórcy zainteresowanego łatwością modyfikowania i rozumienia kodu. Na poziomie pierwszym pojawiają się atrybuty zewnętrzne, zwane składnikami pośrednimi. Poziom następny zawiera 12 składników, nazwanych podstawowymi, które odpowiadają atrybutom wewnętrznym. I tutaj, podobnie jak u McCalla, dopiero czwarty poziom wskazuje na atrybuty mierzalne.

Model Boeinga [5] składa się z dwóch poziomów: na pierwszym określono 15 atrybutów zewnętrznych, a na drugim 27 atrybutów wewnętrznych. Jednakże nie

wszystkie, z nazwanych atrybutami wewnętrznymi, są bezpośrednio mierzalne, np. dokumentacja czy szkolenia, dlatego zastosowanie tego modelu wiąże się z ustaleniem mierzalnych atrybutów na kolejnym poziomie.

**Tabela 2.** Przykładowe charakterystyki i ich podcharakterystyki wyróżnione w modelu ISO/IEC 9126 [7]

Funkcjonalność	Wydajność
⇒ odpowiedniość	⇒ szybkość działania
⇒ dokładność	⇒ wykorzystanie zasobów
⇒ współdziałanie	⇒ zgodność wydajności
⇒ zabezpieczenie	
⇒ zgodność funkcjonalna	

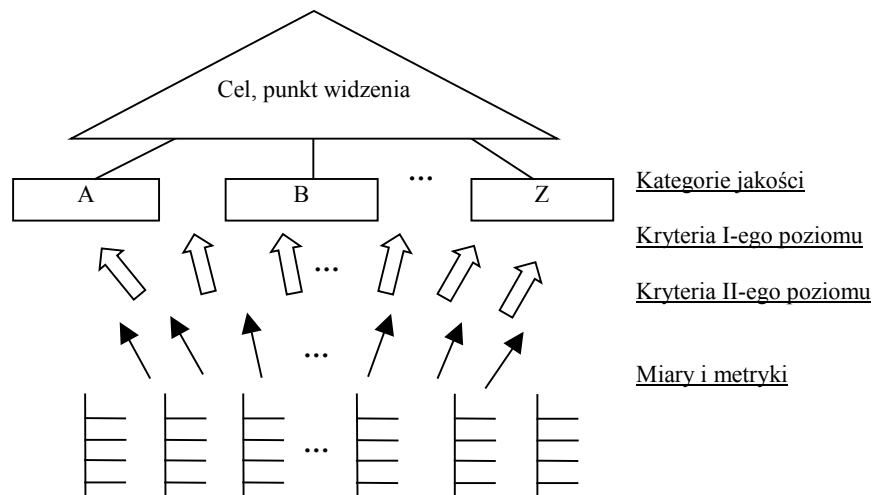
Model ISO/IEC 9126 [7], opracowany w 2001 roku, stanowi rozszerzenie modelu z roku 1991, opracowanego na bazie modelu McCalla. Jego podstawą jest zestaw sześciu charakterystyk, przeniesionych z wcześniejszej wersji tej normy. Wprowadzono trzy nowe pojęcia: jakość wewnętrzną, zewnętrzną i użytkową. Dla każdej z nich określono odpowiednie zestawy spośród 27 podcharakterystyk. Zewnętrzne podcharakterystyki odzwierciedlają efekt użycia oprogramowania, stanowiącego istotną część systemu komputerowego i są wynikiem jakości atrybutów wewnętrznych tego oprogramowania. Dla jakości użytkowej określono cztery charakterystyki, podkreślając jej uzależnienie od jakości wewnętrznej i zewnętrznej.

W podsumowaniu opisanych pokrótce modeli jakości stwierdza się występowanie cech wspólnych: punkt widzenia, złożoność pojęcia jakości, złożoność charakterystyk, problem mierzalności atrybutów, występowanie zależności między charakterystykami i podcharakterystykami. Zauważone różnice dotyczą natomiast: rodzaju specyfikowanych charakterystyk, liczebności charakterystyk na różnych poziomach, kwalifikacji atrybutów na wewnętrzne i zewnętrzne. Modele te stanowią wzorce, które dostarczają istotną pomoc przy określaniu zestawu charakterystyk jakości. Jednakże, z wyjątkiem modelu ISO/IEC 9126, nie rekomendują metryk, bez których ilościowe podejście do badania jakości nie jest możliwe.

## 1.2. Wielokryterialny model jakości oprogramowania (WMJO)

Opisane modele wskazują na istniejące trudności w znalezieniu uniwersalnego opisu zagadnienia jakości. Zaproponowano model (rys. 1) obejmujący aspekty istotne dla badania jakości oprogramowania dostarczanego klientowi, nazwany Wielokryterialnym Modelem Jakości Oprogramowania (WMJO) wraz z ogólną postacią funkcji jakości. Pojęcie „wielokryterialny” ma na celu wskazanie złożonej i subiektywnej

natury jakości. Jakość nie występuje jako pojedyncza właściwość. Jak pokazują opisane modele, jest odwrotnie. Istnieje wiele różnorodnych czynników jakości, często o różnym znaczeniu dla odbiorcy (zainteresowanego) jakości.



Rys. 1. Schemat wielokryterialnego modelu jakości oprogramowania (WMJO)

Znajdujące się w najwyższym punkcie modelu pojęcia „cel” i „punkt widzenia” podkreślają, że zestaw kryteriów jakości będzie zależny od ich sformułowania. Założenie to jest zbliżone z zasadą koncepcji Goal–Question–Metric (GQM) Basilego [1, 2] i innych badaczy jakości oprogramowania, którzy zalecają, by rozważania o jakości rozpocząć od określania celu zajmowania się tym zagadnieniem. Celem może być wybór lepszego produktu, ale i chęć doskonalenia jakości wytwarzania produktu. W obu przypadkach mówi się o lepszym produkcie, ale z innego punktu widzenia; w pierwszym cel jest formułowany przez klienta, w drugim przez producenta. Uważa się więc, że w modelu należy uwzględnić nie tylko cel, ale również źródło jego pochodzenia, czyli zainteresowanego jakością. W razie potrzeby zapewnienia satysfakcji klienta ten cel i punkt widzenia klienta będzie decydował o rodzaju badanych aspektów jakości.

Wziąwszy pod uwagę różnorodność celów i przynajmniej trzy punkty widzenia jakości, które w przypadku produktu informatycznego reprezentują: wytwórca, klient i użytkownik oprogramowania, proponuje się model uwzględniający tę różnorodność za pomocą odpowiedniego wariantu modelu. Każdy wariant jest otrzymywany w wyniku kombinacji różnych kategorii jakości, oznaczonych ogólnie A, B, ..., Z. Wprowadzone do modelu WMJO kategorie jakości są odpowiednikami znamion jakości, występujących w inżynierii jakości wyrobu. Należą do nich: przydatność, poprawność, użyteczność, doznaniowość, opłacalność i sozologiczność [10, s. 14]. Odwoła-

nie się do istniejącej i stosowanej od wielu lat systematyki jakości wyrobów pozwala na ujęcie w badaniach jakości produktu informatycznego tych samych aspektów jakości, jakie są stosowane w odniesieniu do innych wyrobów. Zauważalna wśród klientów produktu informatycznego tendencja traktowania go podobnie do innych produktów uprawnia do przyjęcia analogicznego postępowania również w badaniach jakości. W konkretnym zastosowaniu modelu WMJO można zatem przyjąć następujące kategorie jakości: przydatność, poprawność, użyteczność, doznaniowość, opłacalność i sozologiczność.

Na pierwszym poziomie modelu WMJO, w odróżnieniu do innych modeli, umieszczono nie charakterystyki, lecz kategorie jakości. Dopiero niższe poziomy modelu przedstawiają kryteria jakości, odpowiadające wymaganiom jakości. Ze względu na ich złożoną strukturę stanowią one zbiór kryteriów I i II poziomu, otrzymanego z podziału kryteriów wyższego poziomu. Wprowadzenie dwupoziomowego układu kryteriów zostało przeniesione na zasadzie podobieństwa do charakterystyk i podcharakterystyk w opisanych wyżej modelach.

Biorąc pod uwagę konstrukcję modelu WMJO, można zapisać, że jakość produktu informatycznego jest funkcją o postaci

$$J = f(J_A, J_B, \dots, J_Z), \quad (1)$$

gdzie  $J_A, J_B, \dots, J_Z$  odpowiadają jakości odpowiednio kategorii A, B, ..., Z. Jakość każdej z tych kategorii jest funkcją kryteriów jakości

$$J_A = f(k_1, k_2, \dots, k_n) \quad (2)$$

gdzie  $n$  – liczba kryteriów jakości.

Ze względu na różne punkty widzenia jakości, np. wytwarzającego, klienta czy użytkownika oprogramowania, funkcja jakości (1) czy funkcja danej kategorii jakości (2) mogą stanowić różne kombinacje kategorii i kryteriów.

Przeprowadzona analiza charakterystyk modeli jakości oprogramowania, w porównaniu z kryteriami jakości występującymi w inżynierii jakości wytwarzania wyrobów, pokazała, że nie obejmują one takich jej aspektów znaczeniowych, jak opłacalność i sozologiczność (tab. 3). Wobec tego, wzorując się na zbiorach charakterystyk i podcharakterystyk tych modeli, zastosowanie modelu WMJO wiąże się z uzupełnieniem brakujących kryteriów, np. koszt nabycia, koszt eksploatacji czy wpływ używanego oprogramowania na psychikę człowieka.

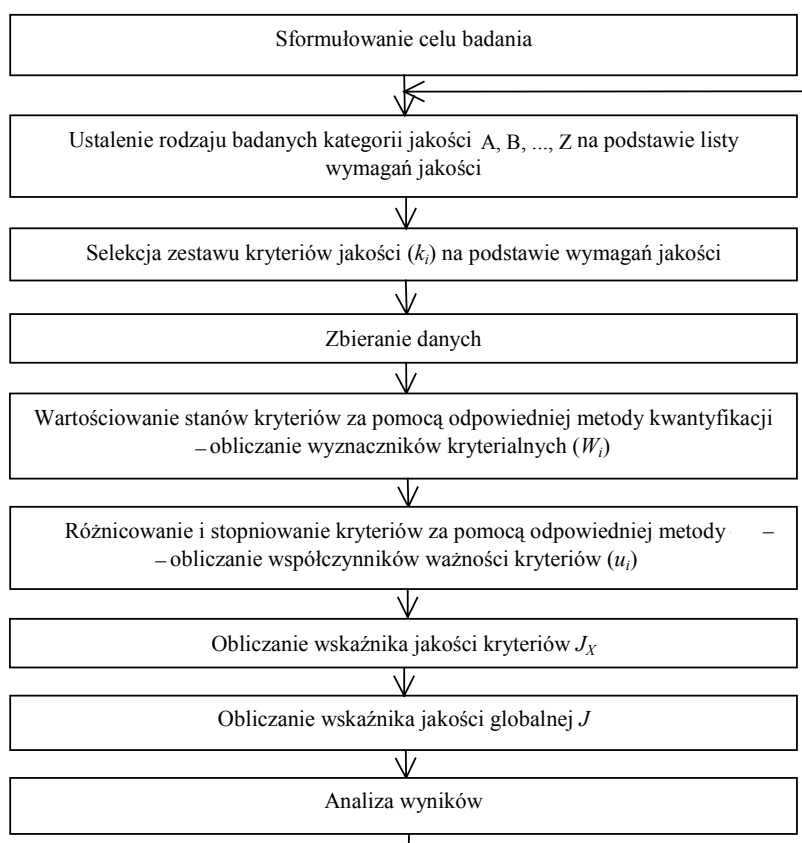
**Tabela 3.** Powiązania charakterystyk z grupami znaczeniowymi

Model	Grupy znaczeniowe w inżynierii jakości					
	Przydatność	Poprawność	Użyteczność	Doznaniowość	Opłacalność	Sozologiczność
McCalla	brak	poprawność	użyteczność	brak	brak	brak
Boehma	brak	jako dokładność	użyteczność	brak	brak	brak
Boeinga	kompletność	poprawność	użyteczność	brak	brak	brak
ISO/IEC 9126	funkcjonalność	jako dokładność	użyteczność	atrakcyjność	brak	brak

## 2. Metoda wartościowania stanów kryteriów

### 2.1. Etapy postępowania

Wiadomym jest, że jakość nie jest bezpośrednio mierzalna, ale jej poziom jest możliwy do określenia za pomocą wskaźników liczbowych, wyrażających stany badanych kryteriów. Metoda wartościowania, inaczej kwantyfikacji, przedstawia postępowanie mające na celu określenie ilościowego poziomu jakości, których podstawą jest analiza stanów kryteriów jakości. W inżynierii jakości wyrobów wśród metod wartościowania wyróżnia się metody odbiorów jakościowych i metody analizy jakości [10, s. 121]. Jedną z nich, metoda uśrednionych znamion jakości, może być stosowana zarówno do porównywania jakości, jak i badania elementów struktury jakości we wszystkich fazach cyklu życia produktu. Postępowanie zgodnie z tą metodą zostało ujęte w postaci uproszczonego schematu (rys. 2).



Rys. 2. Etapy działań w metodzie wartościowania

Do opisu wprowadzono potrzebę powtarzalności badań, pozwalającą na otrzymywanie w kolejnych iteracjach pogłębionych informacji o czynnikach jakości, co jest szczególnie przydatne na etapie stopniowania ważności kryteriów.

## 2.2. Normowanie stanów

Wartość i jednostka miary przedstawia stan bezwzględny dowolnej wielkości fizycznej. W praktyce mierzenia, kiedy występuje potrzeba porównania różnych cech danego obiektu, to możliwość wystąpienia dwóch różnych miar wymaga ich standaryzacji. Stąd też w metodzie wartościowania za obowiązującą zasadę przyjmuje się rozpatrywanie stanów względnych. Stan względny otrzymywany jest przez obliczenie stosunku zredukowanej wartości stanu bezwzględnego do całkowitego przedziału zmienności dla tej wielkości. Wówczas, niezależnie od jednostki miary, otrzymuje się wielkość stanu względnego  $s$ , jako liczbę niemianowaną na skali jednościowej, sprawdzoną do wartości  $0 \leq s \leq 1$  [10, s. 103–115].

Do zalet tej zasady należy zaliczyć jednoznaczność interpretacji różnych czynników. Unormowana wielkość stanu kryterium odpowiada natężeniu jego oddziaływania na jakość i jest przedstawiana za pomocą wyznacznika kryterialnego, obliczanego w zależności od sposobu jego oddziaływania (tab. 4). Wartości wyznacznika kryterialnego mieszczą się w zakresie od 0 do 1 i stanowią wartości niemianowane. Wyznacznik ten jest reprezentacją kryterium w dalszych analizach jakości.

Tabela 4. Reguły obliczania wyznacznika kryterialnego [10]

Wartość zredukowana ( $r$ )	$r = h - h_{\min}$			
	$h$ – wartość zmierzona, $h_{\min}$ – wartość minimalna			
Stan względny ( $s$ )	$S = r/p$ $p = h_{\max} - h_{\min}$ $h_{\max}$ – wartość maksymalna			
Sposób oddziaływania na jakość	Miniment	Maksyment	Optyment	
			Wartości rosnące	Wartości malejące
Wyznacznik kryterialny ( $W_i$ )	$W_i = 1-s$	$W_i = s$	$W_i = 2s$	$W_i = 2(1-s)$

## 3. Kwantyfikacja kryteriów i wskaźnik jakości

### 3.1. Mierzalność kryteriów jakości

Kategorie jakości i ich kryteria wyróżnione w WMJO nie są proste do wyrażenia za pomocą mierzalnych atrybutów. Analiza kryteriów ze względu na potrzebę ich



mierzenia wykazała, że stanowią one właściwości pojedyncze lub zbiorcze, które mogą być badane za pomocą czynników zarówno mierzalnych, jak i niemierzalnych. Istotą metod wartościowania jest konieczność dokonania takiej transformacji stanów kryteriów niemierzalnych, która pozwoli na ich wyrażenie za pomocą odpowiedniej wielkości liczbowej<sup>2</sup>.

Standard ISO/IEC 9126 określa przykładowe atrybuty mierzalne [8]. Dla charakterystyk funkcjonalności ( $F$ ) oraz wydajności ( $W$ ) wybrano odpowiednio po dwa atrybuty w celu ilustracji omawianego postępowania, uwzględniono również rekomendowane przez standard metryki tych atrybutów (tab. 5).

**Tabela 5.** Przykładowe kryteria i ich metryki wg standardu ISO/IEC 9126 [8]

Kryterium jakości	Metryka zewnętrzna	Formuła mierzenia	Skala	Miara
Kontrolowalność dostępu	Możliwość kontrolowania dostępu do systemu	$X = A/B$ A – liczba wykrytych typów nielegalnych operacji B – liczba wyspecyfikowanych typów nielegalnych operacji	Absolutna	A – liczba B – liczba X – liczba
Zgodność funkcjonalna	Zgodność funkcjonalności z regulaminami, standardami i konwencjami	$X = 1 - A/B$ A – liczba pozycji zgodności funkcjonalnej niezaimplementowanej B – całkowita liczba pozycji zgodności	absolutna	A – liczba B – liczba X – liczba
Czas odpowiedzi	Czas potrzebny do wykonania zadania	$0 < T$ T – czas na uzyskanie wyniku	proporcjonalna	T – liczba jed. czasu
Błędy związane z urządzeniami I/O	Częstość występowania problemów I/O w trakcie działania	$X = A/T$ A – liczba komunikatów lub awarii systemu T – czas działania użytkownika podczas obserwacji	proporcjonalna	A – liczba T – liczba jed. czasu X – liczba/czas

Wyróżnia się skale: nominalną, stopniowania, interwałową, proporcjonalną i bezwzględną, dla których istnieją odpowiednie reguły mierzenia i możliwości stosowania analiz arytmetycznych [8].

<sup>2</sup> Przykładowo, zagadnienie mierzenia wielkości oprogramowania ze względu na jego niematerialny charakter wiąże się z rozwiązywaniem podobnego problemu poszukiwania mierzalnych atrybutów. Do mierzalnych atrybutów wielkości oprogramowania należą np. LOC, DSI, miary Halsteada, liczba cyklo-matyczna McCabe'a, punkty funkcyjne, miary Chidamera i Kemerera. Podczas testowania programu stosuje się miary przedstawiające część programu, która została przetestowana, np. liczba linii kodu, liczba instrukcji czy też liczba wykrytych błędów.

Ze względu na sposób oddziaływania na jakość, kryteria *kontrolowalność dostępu* i *zgodność funkcjonalna* są maksymentami, a *czas odpowiedzi* i *błędy związane z urządzeniami I/O* są minimentami. Wyniki obliczeń dla wyznaczników kryterialnych otrzymane za pomocą metody relatywizacji (tab. 4) pokazano w tabeli 6.

**Tabela 6.** Obliczanie wyznacznika kryterialnego

	Kryterium jakości ( $k_i$ )			
	Kontrolowalność dostępu	Zgodność funkcjonalna	Czas odpowiedzi	Błędy związane z urządzeniem I/O
Sposób oddziaływania na jakość	Maksymet	Maksymet	Miniment	Miniment
Wartość minimalna	0	0	20 s	0/60 min
Wartość maksymalna	1	1	60 s	2/60 min
Wartość zmierzona	3/10	80/100	50 s	1/60 min
Wartość zredukowana			30 s	1/60 min
Stan względny (s)	3/10	8/10	3/4	1/2
Wyznacznik kryterialny ( $W_i$ )	3/10	8/10	1/4	1/2

### 3.2. Współczynniki ważności kryteriów jakości

Prowadzone badania wpływu poszczególnych czynników jakości na satysfakcję klienta wskazują na różny ich poziom, zależny od rodzaju oprogramowania, jego złożoności, ale także od rodzaju klienta. Dla dużego przedsiębiorstwa ważniejsze będą atrybuty sieci komputerowej, przetwarzania w czasie rzeczywistym, wydajności i niezawodności, dla małej firmy natomiast prostota działania, łatwość użytkowania, instalowalność i zrozumiała dokumentacja [10, s. 5].

Pojęcie ważności, podobnie do jakości, jest pojęciem abstrakcyjnym i nie może być bezpośrednio mierzone. Dlatego i tutaj jest wymagany proces wartościowania. Wartościowanie ważności badanego zestawu kryteriów jest łatwiejsze z uwzględnieniem kryteriów ważności. W inżynierii jakości kryteria ważności zostały podzielone na uniwersalne i specyficzne. Kryteria uniwersalne powinny odpowiadać podstawowym cechom jakości produktu, jak np. bezpieczeństwo, niezawodność, atrakcyjność, przyjazność, natomiast specyficzne – szczegółom dotyczącym kryteriom jakości, jak np. sposób oddziaływania badanego kryterium na stan zbiorczy jakości (np. grupy kryteriów, jednej lub kilku kategorii jakości), tempo zmienności badanego czynnika w czasie, sposób wyznaczania stanu względnego, czy związek danego kryterium z kosztami.

Obliczanie współczynników ważności badanych kryteriów z zastosowaniem kryteriów ważności jest prowadzone w dwóch etapach [10, s. 157–159]. W pierwszym, za pomocą analizy informacyjności, ustala się sekwencję kryteriów ważności, a w drugim oblicza zredukowany współczynnik ważności badanych kryteriów jakości. Okre-

ślenie informacyjności, zawartej w danym zestawie kryteriów względem kryteriów ważności, powinno być poprzedzone badaniem poziomu wiedzy dostarczanej przez każde z badanych kryteriów. Najwyższą lokatę otrzymuje kryterium najistotniejsze dla danego zestawu, a najniższą najmniej ważne.

Stopniowanie ważności przykładowych kryteriów przeprowadzono za pomocą omawianej metody, pamiętając, że jej podstawą jest punktowanie wiedzy dostarczanej przez te kryteria o kryteriach ważności. W celu ilustracji metody przedstawiono przykład, w którym przyjęto za kryteria ważności: bezpieczeństwo (B), koszt (K), niezawodność (N), skuteczność (S), trafność (T), użyteczność (U), pielęgnowalność (M). Za zbiór badanych kryteriów przyjęto charakterystyki zawarte w tabeli 5. Liczby lokalizacyjne (miejsce kryterium w sekwencji) ustalono w zależności od sumy przyznanych punktów<sup>3</sup> ( $i_i$ ) dla każdego kryterium (tab. 7).

**Tabela 7.** Ustalenie sekwencji kryteriów ważności

Lp.	Kryterium jakości ( $k_i$ )	Kryteria ważności						
		B	K	M	N	S	T	U
1	Kontrolowalność dostępu	5	0	0	0	0	0	0
2	Zgodność funkcjonalna	0	0	0	0	0	5	4
3	Czas odpowiedzi	0	0	0	0	5	0	3
4	Błędy związane z urządzeniem I/O	0	0	0	4	2	0	1
Suma punktów		5	0	0	4	7	5	8
Liczby lokalizacyjne		4	0	0	5	2	3	1

W przykładzie (tab. 7) występuje siedem kryteriów ważności, zatem liczby lokalizacyjne powinny wskazywać na kolejność w zakresie od 1 do 7. Ze względu na dość ograniczony zestaw badanych kryteriów (4), dwa kryteria ważności (K, M) będą z dalszego postępowania wyeliminowane, ponieważ nie mają tutaj swoich reprezentantów, na co wskazuje suma punktów o wartości zero. Każdej liczbie lokalizacyjnej odpowiada stopień ważności ( $l_i$ ), który przyznaje się zaczynając od kryterium na pierwszej pozycji lokalizacyjnej do ostatniej, najwyższy stopień – lokalizacja nr 1, najniższy – dla pozycji ostatniej. Liczba kryteriów wyznacza najwyższy stopień; i tak w przypadku siedmiu kryteriów ważności lokalizacji nr 1 odpowiada stopień o wartości 7, kryterium na pozycji ostatniej – wartość 1. W przykładzie stopnie ważności zostały rozdzielone w zakresie od 5 do 1 ze względu na wyeliminowane dwa kryteria.

W drugim etapie, dla każdego z badanego zestawu kryterium jakości, oblicza się zredukowany poziom ważności (tab. 8). W pierwszym kroku dla każdego kryterium oblicza się sumę ( $S_i$ ) iloczynów poziomu informacyjności i stopnia ważności

<sup>3</sup> Punkty oznaczają odpowiedni stopień związku badanego kryterium z uniwersalnym kryterium: 0 oznacza brak związku, 1 – w znikomym stopniu, 2 – w małym stopniu, 3 – dostrzegalny, 4 – wyraźny, 5 – bardzo wyraźny.

$$S_i = \sum_j^m i_j l_j, \quad (3)$$

gdzie:

- $i_j$  – informacyjność  $i$ -tego kryterium jakości względem  $j$ -tego kryterium ważności,
- $l_j$  – stopień ważności  $j$ -tego kryterium ważności.

Sprowadzenie współczynnika jakości do skali jednościowej przeprowadza się najpierw wyznaczając  $\min S_i$ , a następnie obliczając tzw. zredukowany poziom ważności  $u_i$  według wzoru

$$u_i = \frac{\min S_i}{S_i}. \quad (4)$$

Otrzymane wartości  $u_i$  pozwalają na ilościowe wyrażenie różnorodnej natury czynników jakości oraz pełnią rolę współczynników ważności w równaniu wskaźnika jakości.

**Tabela 8.** Obliczanie współczynników ważności badanych kryteriów

Lp.	Kryterium jakości $k_i$	Kryteria ważności wg ustalonej sekwencji					$S_i$	Zredukowany poziom ważno- ści $u_i$
		U	S	T	B	N		
		Stopień ważności ( $l_j$ )						
		5	4	3	2	1		
1	Kontrolowalność dostępu	0	0	0	10	0	10	1,00
2	Zgodność funkcjonalna	20	0	15	0	0	35	0,29
3	Czas odpowiedzi	15	20	0	0	0	35	0,29
4	Błędy związane z urządzeniem I/O	5	8	0	0	4	17	0,59

### 3.3. Obliczanie wskaźnika jakości

Przedstawiony ogólny wzór funkcji jakości (1) jest wyrażeniem zależności globalnego wskaźnika jakości od wskaźników jakości zbioru badanych kryteriów, grupowanych np. według kategorii jakości. Wskaźnik jakości kategorii (grupy) kryteriów jest opisany ogólną postacią funkcji (2). Do ilościowego wyrażenia wartości tych funkcji proponuje się metodę uśrednionych znamion jakości [10, s. 134], stosowaną w inżynierii jakości podczas wieloaspektowych analiz jakości. Wyniki otrzymanych wskaźników pozwalają na porównanie intensywności oddziaływania badanych grup kryteriów na jakość produktu.

Korzystając z obliczonych wyznaczników kryterialnych ( $W_i$ , tab. 6) oraz współczynników ważności ( $u_i$ , tab. 8), obliczono wartość wskaźników jakości (tab. 9) określających funkcjonalność  $J_F$  oraz wydajność  $J_W$  według wzoru [10, s. 136]:

$$J_X = \frac{\sum_{i=1}^n W_i^{q_i} u_i}{\sum_{i=1}^n u_i}, \quad (5)$$

gdzie:

$J_X$  – wskaźnik jakości badanej grupy kryteriów,

$W_i$  – wyznacznik kryterialny dla  $i$ -tego kryterium,

$q_i$  – wykładnik potęgowy wyrażający specyfikę wpływu  $i$ -tego kryterium na wyróżnik jakości badanej grupy,

$u_i$  – współczynnik ważności  $i$ -tego kryterium,

$n$  – ilość kryteriów badanych.

Otrzymane wskaźniki informują o poziomie jakości, otrzymanym na jednościowej skali stanów względnych, czyli w zakresie wartości 0–1. Wskazują na nasilenie oddziaływania badanych aspektów jakości – pierwsza grupa na poziomie 0,53; a druga 0,37. W obliczeniach przyjęto wykładnik potęgowy  $q_i = 1$ .

**Tabela 9.** Obliczanie wskaźnika jakości grupowej

Kryterium jakości	Wyznacznik kryterialny	Współczynnik ważności kryterium
Kontrolowalność dostępu	0,30	1,0
Zgodność funkcjonalna	0,80	0,29
Wskaźnik jakości $J_F = 0,53$		
Czas odpowiedzi	0,25	0,29
Błędy związane z urządzeniem I/O	0,50	0,59
Wskaźnik jakości $J_W = 0,37$		

Gdy grupa kryteriów stanowi zbiór o jednakowej ważności, wówczas wszystkie wartości współczynników ważności  $u_i = 1$ , a wyznacznik jakości stanowi średnią arytmetyczną wyznaczników badanych kryteriów. Wzór (5) przyjmuje więc postać

$$J_X = n^{-1} \sum_{i=1}^n W_i. \quad (6)$$

Biorąc pod uwagę sposób obliczania  $J_X$ , grupowe wskaźniki jakości są średnimi ważonymi lub średnimi arytmetycznymi wyznaczników kryterialnych.

Do obliczania wskaźnika jakości globalnej, gdzie argumentami funkcji jakości są otrzymane wskaźniki jakości kategorii, proponuje się zastosowanie wyrażenia postaci [10, s. 137]

$$J = k \frac{(\alpha J_A^a + \beta J_B^b + \dots + \zeta J_Z^z)}{\alpha + \beta + \dots + \zeta}, \quad (7)$$

gdzie:

- $J_A, J_B, \dots, J_X$  – wskaźniki jakości badanej kategorii,
- $k$  – współczynnik stanu kryterium uznanego za krytyczne,
- $a, b, \dots, z$  – wykładniki potęgowe uwzględniające specyfikę wpływu wskaźników jakości uwzględnionych kategorii na jakość globalną,
- $\alpha, \beta, \dots, \zeta$  – współczynniki ważności uwzględnionych kategorii jakości.

Wyrażenie (7), podobnie jak wyrażenie (5), w przypadku jednakowej ważności kategorii, stanowi średnią arytmetyczną wskaźników uwzględnionych kategorii jakości. W przypadku zróżnicowanego poziomu ważności postać wyrażenia (7) przedstawia natomiast średnią ważoną. Przyjęcie odpowiedniego wyrażenia dla opisu stopnia wpływu danych kategorii na jakość globalną powinno być uzależnione od rzeczywistego charakteru tych relacji. Można stwierdzić, na podstawie analizy publikowanych badań, że istnieją różne poziomy wpływu poszczególnych kategorii jakości na jakość globalną produktu informatycznego. Najczęściej charakter tych relacji jest przedstawiany za pomocą współczynników ważności (np. współczynniki otrzymane za pomocą analizy regresji [4]).

## Podsumowanie

Przeprowadzone rozważania pokazały, że mimo różnic, jakie dzielą produkty informatyczne od wyrobów materialnych, istnieje możliwość stosowania tej samej metody wartościowania. Trudności nie stanowi wykorzystanie istniejących podstaw teoretycznych, lecz dobór właściwych kryteriów i atrybutów jakości, a także dostęp do wyników pomiaru tych atrybutów.

Możliwość uwzględnienia wpływu na jakość produktu cech o różnym znaczeniu i naturze, mierzalnych i niemierzalnych, dodatkowo cech bezpośrednio nieporównywalnych, jest podstawowym warunkiem metody badania jakości, ponieważ otrzymywana jakość zależy od wpływu takich różnorodnych czynników. Przedstawiona metoda uśrednionych znamion jakości spełnia te warunki i daje możliwość prowadzenia takich badań. Pozwala na uwzględnienie dowolnej liczby kryteriów, kryteriów o różnym poziomie wpływu. Ułatwia też analizę jakości ze względu na kategorie jakości – możliwość grupowania kryteriów. Żmudne obliczenia w praktycznym zastosowaniu metody powinno ułatwić opracowanie w dowolnym arkuszu kalkulacyjnym szablonu dla podanych formuł.

W dalszych pracach zamierza się prowadzić badania dotyczące wyboru metod najlepiej odpowiadających specyfice różnych klas produktów informatycznych. Za

podstawowe zagadnienie uważa się za zapewnienie reprezentacji wszystkich aspektów jakości w postaci kategorii jakości, następnie określenie kryteriów ważności dla poszczególnych dziedzin zastosowań, które mogłyby zostać uznane za uniwersalne. Dzięki temu można ustalić wzorce kryterialne dla trudnego etapu różnicowania ważności zarówno kryteriów, jak i kategorii jakości.

### Bibliografia

- [1] BASILI V.R., WEISS D., *A methodology for collecting valid software engineering data*, IEEE Trans. on Software Engineering, SE-10(6), 1984, s. 728–38.
- [2] BASILI V.R., ROMBACH H.D., *The TAME Project: Towards improvement – oriented software environments*, IEEE Trans. on Software Engineering, SE-14(6), 1988, s. 758–73.
- [3] BOEHM B.W., BROWN J.R., KASPAR J.R. et al., *Characteristics of Software Quality*, TRW Series of Software Technology, Amsterdam, North Holland 1978.
- [4] CAVANO J. P., MCCALL J.A., *A Framework for the Measurement of Software Quality*, Proc. ACM Software Quality Assurance Workshop, listopad 1978, s. 133–139.
- [5] DEUTSCH M.S., WILLIS R.R., *Software Quality Engineering: A Total Technical and Management Approach*, Prentice-Hall 1988.
- [6] FENTON N.E., PFLEEGER S.L., *Software Metrics: A Rigorous & Practical Approach*, International Thomson Computer Press 1996.
- [7] ISO/IEC 9126-1, *Software Engineering – Product quality, Part I – Quality model*, ISO/IEC 2001.
- [8] ISO/IEC TR 9126-2, 3, 4, *Software Engineering – Product quality*, ISO/IEC 2003.
- [9] KAN S.H., *Metrics and Models in Software Quality Engineering*, A-W Pub. Comp. 1995.
- [10] KOLMAN R., *Sterowanie jakością wytwarzania*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej 1994.
- [11] MCCALL J.A., RICHARDS P.K., WALTERS G.F., *Factors in Software Quality*, RADCS TR-77-369, 1977.

### Audit of software quality by valuing method

A possibility of a software quality estimation becomes a necessity as the software costs gradually increase. Quality measurement methods are being sought in accordance with customer's and developer's needs. These methods may contribute to an improvement of the quality of the delivered software product. Quantitative methods are regarded as most useful apart from widely used descriptive ones. A repetitive application of the above methods will allow us to get credible coefficients of validity of quality criteria that are at issue.

The existing models of software quality were compared. A need of supplementing the above models with a lacking aspects of quality was noticed in the existing models. A multicriterial model of the software product was proposed because of a collective character of the quality. The process of audit of the software quality was described on the basis of methods applied in an engineering of the quality

A method of quantifying the states of criteria and a method of graduating the validity of criteria were also presented. The procedure has been illustrated by means of an example. The selection of proper criteria and attributes as essential difficulties in use of quantitative methods as well as the possibility of executing measurements of these attributes have been included.

Keywords: *category of quality, criterion, measure, model, validity*