

podejściem do problemów opisu, jak i poziomem szczegółowości opisu, a także metodami wyznaczania różnych parametrów czy metryk jakości. Co więcej, pojawiają się też nowe organizacje standaryzujące tak, że ogrom prowadzonych prac stawia też pewną barierę w poszukiwaniu konsensusu. Z reguły standardy są na tyle ogólne, że przy rozwiązywaniu konkretnego problemu, czy opracowaniu konkretnego rozwiązania wymagają dalszych uszczegółowień. Zatem umiejętne wykorzystanie standardu wymaga zarówno ogromnej wiedzy, jak też dużych umiejętności. Można przy tym skorzystać z wiedzy przedstawicieli krajowych wchodzących w skład różnego typu międzynarodowych komitetów czy grup roboczych lub posłużyć się doradztwem firm specjalizujących się w tym zakresie. Istnieje też możliwość certyfikowania uzyskiwanych rozwiązań czy całej działalności firmy pod względem spełnienia (zgodności) z wymaganiami konkretnego standardu. W tych przypadkach najistotniejszą rolę odgrywa zbiór odpowiednio dobranych metryk [4].

## 5.2. Standardy jakości

### 5.2.1. Usługi telekomunikacyjne

Charakterystyka i opis jakości usług telekomunikacyjnych podlegał okresowym zmianom, które uwarunkowane były określoną technologią i architekturą dostępną na danym etapie rozwoju sieci telekomunikacyjnej [5, 6, 7, 8]. W historii telekomunikacji jakość miała swoje różne interpretacje i stosowane nazewnictwo, które było podyktowane konkretnymi rozwiązaniami praktycznymi oraz różnymi czynnikami mającymi wpływ na jakość usług. Można wyróżnić trzy główne okresy rozwoju sieci i związane z nimi pojęcia jakości. Są to sieci PSTN/ISDN/GSM, sieci BISDN/ATM i sieci IP/VoIP.

W przypadku sieci PSTN/ISDN/GSM mamy do czynienia z komutacją kanałów i siecią zorientowaną połączeniowo. To spowodowało rozróżnienie dwóch pojęć, tzn. jakości usług oznaczanej skrótem QoS (Quality of Services) i poziomu usług oznaczanego skrótem GoS (Grade of Services) (E.721). Jakość usług była określana jako całościowy efekt wykonania usługi, który określa stopień satysfakcji użytkownika korzystającego z tej usługi. Na jakość usług mają wpływ zarówno czynniki subiektywne jak i obiektywne, zatem uwzględnia ono szereg aspektów bezpośrednio lub pośrednio związanych z dostarczaniem usług przez usługodawcę. W skład tak rozumianej jakości usługi wchodzi wyróżniona grupa parametrów, której nadano nazwę GoS. Dotyczą one metryk z inżynierii ruchu telekomunikacyjnego, które są używane do określenia wystarczalności zasobów. Są to takie parametry jak prawdopodobieństwo strat oraz opóźnienie realizacji usług. W szczególności są to między innymi: straty całkowite (end to end), opóźnienie po wybieraniu, opóźnienie



sygnału odpowiedzi po zestawieniu połączenia, opóźnienie rozłączenia. Na ogół są to parametry związane ze zdarzeniami mającymi miejsce lub dotyczącymi czasu ich trwania w pierwszej i trzeciej fazie realizacji usługi. Wartości tych wielkości są zależne od liczby i wielkości zasobów. Stopień satysfakcji odbieranej przez użytkownika dotyczy także jakości realizacji drugiej fazy usługi, tzn. przenoszenia sygnału. W tym przypadku o jakości decydują rozwiązania techniczne bezpośrednio związane z funkcją transmisji, a konkretnie dla tej sieci bitowa stopa błędów (BER – Bit Error Rate).

Wprowadzenie technologii BISDN/ATM spowodowało potrzebę uzupełnienia dotychczasowych pojęć opisujących jakość (E.726). W przypadku GoS pozostały aktualne dotychczasowe parametry stosowane w przypadku usług zorientowanych połączeniowo. Natomiast nowa architektura realizacji drugiej fazy trwania usługi, tzn. komutacja i transmisja komórek ATM oraz stratne systemy kolejkowe, spowodowały konieczność opisu jakości przenoszenia komórek w tej fazie. Tak rozumiana jakość zależy także od ilości zasobów systemu, a tym samym wielkości ją opisujące są bezpośrednio związane z inżynierią ruchu. Istotne stały się trzy podstawowe wielkości (metryki): prawdopodobieństwo straty komórki, średni czas opóźnienia komórki i zmienność opóźnienia komórki. W zależności od wartości i zestawu tych parametrów wprowadzono pojęcie klas usług sieciowych. Każda klasa usług udostępniania użytkownikowi ściśle określone możliwości. Wielkości opisujące jakość drugiej fazy realizacji takich usług (połączenia) nazwano w tym przypadku jakością usług i oznaczono przez QoS. Warto zauważyć, że wprowadziło to zamieszanie ponieważ tym skrótem wcześniej (patrz poprzedni akapit), co prawda dość rzadko, oznaczano dotychczas jakość usług rozumianą jako całłościowy efekt wykonania usługi. Oczywiście specjaliści nie mieli problemu rozróżnienia czego dotyczy konkretnie skrót QoS, ponieważ wynikało to z kontekstu prowadzonych rozważań.

Z chwilą, gdy przyjęto, że docelową technologią w realizacji usług telekomunikacyjnych będzie technologia pakietowa z protokołem IP w warstwie sieciowej i zaproponowano technologię VoIP, postanowiono uporządkować nazewnictwo związane z zagadnieniami jakości. Otóż pierwotne pojęcie jakości usług, związane z całłościowym efektem wykonania usługi, który określa stopień satysfakcji odbieranej przez użytkownika korzystającego z tej usługi, oznaczono skrótem QoE (Quality of Experience) [8]. Natomiast wszystkie wielkości wynikające z inżynierii ruchu i dotyczące wykorzystania zasobów oznaczono przez QoS i często nazywa się je parametrami (metrykami) wydajnościowymi [9, 10]. Szczególnie odnosi się to do wcześniej omówionych parametrów opisujących GoS. Należy podkreślić, że w zależności od organizacji (ITU-T, ETSI, 3GPP, IETF), które dokonują klasyfikacji usług oraz opisu ich jakości mogą wystąpić różnice w interpretacji pewnych pojęć.



Najbardziej ogólne i wiodące podejście do problemu jakości usług reprezentuje organizacja ITU-T, która zawsze nadawała ton i kierunek specyfikacji i opisu jakości usług. Aktualnie ITU-T wypracowała stanowisko i dokumenty w których stara się prezentować globalne spojrzenie. Chodzi o znalezienie spójnego spojrzenia między usługobiorcą a usługodawcą. Zgodne z modelem przedstawionym w punkcie 5.1, chodzi o znalezienie równowagi między oczekiwaniami usługobiorcy oraz ofertą usługodawcy. Organizacja ta wyróżnia trzy kategorie, grupy parametrów, opisujące jakość usług. Są to (E.800):

- szybkość (speed) – określa czas lub tempo w jakim wykonywane są funkcje składające się na usługę,
- dokładność (accuracy) – określa w jakim stopniu te funkcje są wykonywane poprawnie (zgodnie z założeniami),
- niezawodność (dependability) – określa stopień pewności, że funkcje te będą wykonywane niezależnie od dwóch wymienionych poprzednio kategorii.

Podstawowymi parametrami charakteryzującymi szybkość są: opóźnienie i zmienność opóźnienia dotyczące realizacji różnych faz połączenia, a także przepływność (przepustowość) kanału wykorzystywanego dla przesyłania informacji. Przykładami tych parametrów (metryk) są: opóźnienie zestawienia połączenia, opóźnienie rozłączenia połączenia, średnie opóźnienie przesyłania pakietów, zmienność opóźnienia pakietów, przepływność kanału np. w Mbit/s. W przypadku dokładności możemy mówić o takich parametrach jak: prawdopodobieństwo straty połączenia, prawdopodobieństwo błędnego zestawienia połączenia, prawdopodobieństwo błędnego rozłączenia, prawdopodobieństwo straty pakietu, prawdopodobieństwo odebrania błędnego pakietu. Z kolei niezawodność związana jest z parametrami dotyczącymi obecności uszkodzeń w systemie. Przykładem tego typu parametrów jest czas niedostępności do usługi, prawdopodobieństwo nieudanych połączeń lub nieudanych rozłączeń.

W przypadku standardów organizacji ETSI zauważamy odwołanie do zaleceń ITU-T, przy czym ma tu miejsce większe uszczegółowienie rozpatrywanych kategorii czy grup parametrów charakteryzujących jakość usług. Zaliczamy do nich (EG 202 009-1):

- dostępność (availability) – określa możliwość skorzystania z usług wyrażoną poprzez dostępność do sieci, węzłów czy też łączy,
- wierność/dokładność (fidelity/accuracy) – określa zdolność sieci, węzłów i łączy do zapewnienia działania z zachowaniem narzuconych wymagań dotyczących funkcjonalności i przekazywanych informacji,
- szybkość/opóźnienie (speed/delay) – jest określane podobnie jak w zaleceniach organizacji ITU-T,



- wydajność (capability) – określa stan obciążenia sieci, węzłów i łączy przy zachowaniu wybranych parametrów, ustalając tym samym dopuszczalny obsługiwany ruch.

Wymienione cztery kategorie są głównymi, dla których opracowano w miarę precyzyjnie standardy opisu. Uzupełniającymi do tych kategorii są jeszcze cztery inne kategorie: niezawodność (reliability), elastyczność (flexibility), użyteczność (usability), bezpieczeństwo (security).

Każda z wymienionych kategorii może być rozważana na trzech poziomach: usługi, sieci i elementów sieci. Dla każdego z tych poziomów możemy wyróżnić określone zbiory parametrów jakości. Należy przy tym podkreślić, że istnieją ścisłe relacje między parametrami każdego z poziomów. I tak poziom usług zależy od poziomu sieci a ten z kolei od poziomu elementów sieci. Przykładami parametrów na poziomie sieci są: dla dostępności – współczynnik dostępności procesu obsługi usługi, dla wierności – współczynnik błędnych pakietów (IPER), współczynnik straconych pakietów (IPLR), dla opóźnienia – wielkość opóźnienia zestawienia połączenia, opóźnienia rozłączenia, opóźnienia od końca do końca (E2E – End to End) przesyłania pakietów (IPTD), zmienność opóźnienia (IPDV), zaś dla wydajności – tempo dostarczania pakietów w sieci.

Organizacja 3GPP bazuje na rozważaniach dotyczących jakości usług opracowanych przez ETSI i ITU-T z jednoczesnym ich dostosowaniem do potrzeb wynikających z dostępu radiowego, a w tym dla systemu GSM EDGE, systemu UMTS oraz systemu LTE (TS 123 107, TS 129 213). Preferowany jest punkt widzenia odbiorcy usług czyli użytkownika. Wychodząc z klasyfikacji usług sieciowych zaproponowanych przez ITU-T określono własny (prostszy) podział tych usług na klasy: konwersacyjna, strumieniowania, interaktywna, tła. Każda z nich opisana jest przez podstawowe parametry jakościowe, które są identyczne z już wyżej wymienionymi.

Internet Engineering Task Force (IETF) zajmuje się rozwojem sieci Internet zwracając szczególną uwagę na protokoły. Zagadnieniom jakości usług poświęca minimum uwagi akceptując w zasadzie prace dotyczące tego problemu ogłaszane przez ITU-T. IETF w propozycji architektury DiffServ (Differentiated Services – RFC 2475) zorientowana jest na klasy usług sieciowych (przenoszenia) i ich charakterystykę, przy czym przeprowadza odmienną klasyfikację. Klasy te wynikają z proponowanych grup PHB (Per Hop Behavior), tzn. EF – Expedited Forwarding (RFC 3246), AF – Assured Forwarding (RFC 2597) i BE – Best Effort. Natomiast dla usług udostępnianych użytkownikowi (odpowiednik teleusług w ITU-T) wyróżnia następujące klasy usług: telefoniczna, sygnalizacyjna, konferencji multimedialnych, uwarunkowanych czasowo, strumieniowania multimedialnych, transmisji wideo, małych opóźnień, danych, standardowa, o niskim priorytecie (RFC 4594). Każda z nich charakteryzowana jest przez określone parametry jakościowe takie jak



dopuszczalne opóźnienie pakietów (IPTD), zmienność opóźnienia pakietów (IPDV), prawdopodobieństwo strat pakietów (IPLR), wymagane przepływności.

Zarówno ITU-T jak i IETF dokonało klasyfikacji usług i przyporządkowało każdej klasie odpowiednie wartości parametrów opisujących jakość usług dla każdej klasy. W kolejnych tabelach zestawiono wprowadzone klasy usług oraz odpowiadające im wartości parametrów.

**Tabela 5.1.** Wymagania jakościowe dla klas usług w sieci IP według ITU-T (Y.1541)

parametr	sposób określania w sieci	klasy QoS					
		klasa 0	klasa 1	klasa 2	klasa 3	klasa 4	klasa 5
IPTD	górna granica wartości średniej IPTD	100ms	400ms	100ms	400ms	1s	U
IPDV	górna granica kwantylu IPTD rzędu 0.999 minus min. IPTD	50ms	50ms	U	U	U	U
IPLR	górna granica prawdopodobieństwa strat pakietu	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	U
IPER	górna granica prawdopodobieństwa błędnych pakietów	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	U

U – niewyspecyfikowane, niezdefiniowane

**Tabela 5.2.** Klasy usług i przykładowe aplikacje (Y.1541)

klasa QoS	Aplikacja (przykłady)	mechanizmy węzła	techniki sieciowe
0	uwarunkowana czasowo (real time), czułe na zmienność opóźnienia, wysoko interaktywne	oddzielne kolejki z klasami usług, scalanie ruchu (traffic grooming)	ruting z ograniczeniami i długość drogi
1	uwarunkowana czasowo (real time), czułe na zmienność opóźnienia, interaktywne		ruting z mniejszymi ograniczeniami i długość drogi
2	transakcje danych, wysoko interaktywne (sygnalizacja)	oddzielne kolejki, priorytetowe usuwanie pakietów	ruting z ograniczeniami i długość drogi
3	transakcje danych, interaktywne		ruting z mniejszymi ograniczeniami i długość drogi
4	o niskich stratach (krótkie transakcje, masowe dane, strumień video)	długie kolejki, priorytetowe usuwanie pakietów	dowolna droga/ścieżka
5	tradycyjne aplikacje sieci IP	oddzielne kolejki o najniższym priorytecie	dowolna droga/ścieżka



**Tabela 5.3.** Wymagania jakościowe dla usług w sieć IP według IETF

Grupy klas usług	Klasy usług	Kod DSCP*	Wymagania QoS		
			IPLR	IPTD	IPDV
CTRL (sterowanie)	Sterowanie siecią	110000	$1 \cdot 10^{-3}$	100ms	50ms
Real Time (uwarunkowana czasowo)	Telefonia	101110	$1 \cdot 10^{-3}$	100/350ms (lokalne/ zamiejscowe)	50ms
	Sygnalizacja	101000	$1 \cdot 10^{-3}$	100ms	U
	Konferencje multimedialne	100010	$1 \cdot 10^{-3}$	100ms	50ms
		100100			
		100110			
	Interaktywne uwarunkowane czasowo	100000	$1 \cdot 10^{-3}$	100/350ms (lokalne/ zamiejscowe)	50ms
	Video rozgłoszeniowe	011000	$1 \cdot 10^{-3}$	100ms	50ms
Non-Real Time/ Assured elastic (nieuwarunkowane czasowo/elastyczne gwarantowane)	Strumieniowanie multimedia	011010	$1 \cdot 10^{-3}$	1s niekrytyczne	U
		011100			
		011110			
	Dane o małym opóźnieniu	010010	$1 \cdot 10^{-3}$	400ms	U
		010100			
		010110			
	OAM (Operations, Administration and Maintenance) eksploatacja, administracja i utrzymanie	010000	$1 \cdot 10^{-3}$	400ms	U
	Dane o dużych przepływnościach	001010	$1 \cdot 10^{-3}$	1s niekrytyczne	U
		001100			
		001110			
Elastic (elastyczne)	Standard	000000	U	U	U
	Dane o niskim priorytecie	001000	U	U	U

DSCP\* – DiffServ Code Point

Niezależnie od przedstawionych różnych podejść do problemu jakości usług prezentowanych przez poszczególne organizacje, dla usługi mowy, która niezależnie od stosowanej technologii jest najważniejszą usługą telekomunikacyjną umożliwiającą bezpośrednią komunikację między ludźmi, ITU-T i ETSI zgodnie opracowało specjalne metody pomiaru i oceny jakości tej usługi. W ogólności można je podzielić na subiektywne i obiektywne. Metody subiektywne bazują na badaniu jakości poprzez wystawienie oceny przez ściśle określoną i przygotowaną grupę słuchaczy (P.800). Słuchacze wystawiają ocenę w zakresie od 1 do 5 a następnie jest obliczana wartość średnia i dlatego też nazywana jest ona Mean Opinion Score (MOS). Metody subiektywne były pierwszymi metodami jakie stosowano dla klasycznej



sieci telefonicznej PSTN. Z uwagi na konieczność udziału w tej metodzie przeszko-  
lonej i licznej ekipy, metody subiektywne są kosztowne i pochłaniają dużo czasu.  
Dlatego też zaproponowano i rozwijano metody obiektywne, które są tanie i proste  
w stosowaniu co nie oznacza, że użyte w nich algorytmy są proste. Ich istota pole-  
ga na wyznaczeniu różnicy między sygnałem odniesienia a sygnałem, który został  
poddany oddziaływaniu badanego systemu. W zależności od tego jak obliczana jest  
ta różnica a następnie określana jakość można wyróżnić kilka metod. Do podstawo-  
wych metod obiektywnych zaliczamy:

- PSQM – Perceptual Speech Quality Measure (P.861),
- PESQ – Perceptual Evaluation of Speech Quality (P.862),
- POLQA – Perceptual Objective Listening Quality Assessment (P.863).

Opracowane modele umożliwiają obliczenie parametru R, który przyjmuje war-  
tości od 0 do 100. Ponieważ oceny MOS i R są ze sobą bezpośrednio powiązane  
to można je wzajemnie przeliczać. Optymalnym rozwiązaniem byłoby opracowa-  
nie metody, która łączyłaby zalety zarówno metod subiektywnych, jak i obiektyw-  
nych. Wymaga to opracowania modelu narządów mowy i słuchu oraz ich otoczenia.  
Wyjściem naprzeciw takiej koncepcji jest opracowany E-model oceny jakości dla  
usługi mowa. W modelu tym uwzględniono wiele parametrów i czynników mają-  
cych wpływ na jakość. Określając te parametry i czynniki możemy bazując na tym  
modelu obliczyć jakość dla usługi mowa poprzez określenie parametru R a w kon-  
sekwencji także MOS. W dalszej części tego rozdziału (podrozdział 5.3.1) zostanie  
przybliżona idea E-modelu (G.107, G.108).

Każda nowo wdrażana technologia, jaką z pewnością jest VoIP, jest wykorzy-  
stywana w dwojaki sposób. Na początku w udostępnianych rozwiązaniach zapew-  
niana jest tylko podstawowa funkcjonalność konieczna dla dostarczenia usług  
użytkownikowi. Natomiast dodatkowa funkcjonalność do której włączane są sys-  
temy pomiaru oraz oceny jakości usług (tu rozumianej pierwotnie jako GoS i QoS  
a ostatecznie jako QoE) są opracowywane niejako w następnej kolejności. Tak jest  
także w przypadku technologii VoIP, która wymaga zrealizowania nowych syste-  
mów pomiarowych. Nie ma bowiem prostego przełożenia metodologii pomiarów  
oraz systemów pomiarowych z jednej technologii telekomunikacyjnej na drugą [11].  
Niektóre z parametrów jakości mimo takiego samego znaczenia dla użytkownika  
usługi wymagają całkowicie odmiennego podejścia do rozwiązania problemu oceny  
jakości [12, 13].

Rozdział szósty monografii będzie poświęcony prezentacji metodologii oraz  
koncepcji budowy systemów pomiarowych do określania parametrów opisujący  
QoE (GoS i QoS) dla technologii VoIP z protokołem SIP, który jest obecnie naj-  
popularniejszym protokołem w sieci dla tej technologii. W przypadku GoS prze-  
prowadzone rozważania bazują na podobnych rozwiązaniach co w sieci PSTN/



ISDN poprzez odpowiednią ich transformację dostosowaną do technologii pakietowej VoIP oraz przedstawiono nowe propozycje rozwiązań bezpośrednio wynikające z architektury VoIP. Natomiast w przypadku parametrów QoS wykorzystano zalecenia specjalnie opracowane dla tej technologii dla usługi mowa.

Należy podkreślić, że omawiane w rozdziale szóstym systemy pomiarowe były opracowywane także z punktu widzenia ich wykorzystania przez broker telekomunikacyjny. Broker ten przy podejmowaniu decyzji wyboru operatora do realizacji połączenia, uwzględnia także wartości parametrów opisujących QoE (GoS i QoS).

### 5.2.2. Usługi internetowe

Jakość usług internetowych może być rozumiana bardzo szeroko: od typowych parametrów usługi, jak czas wykonania, czy koszt jej wytworzenia, do gwarancji zyskania klienta oraz zapewnienia mu pewnej przewagi konkurencyjnej, czy zdobycie nowych rynków zbytu. Innymi słowy chodzi o zapewnienie sukcesu biznesowego nie tylko przedsiębiorstwom oferującym takie usługi, ale też firmom je wykorzystującym. Jakość usług można oceniać też z punktu widzenia ich producentów. Wówczas decydujące czynniki to także konkurencyjność czy zyskowość. Z kolei ocena jakości usługi z punktu widzenia konsumenta usług uwzględnia dodatkowo czynniki funkcjonalne, użytkowe, koszty eksploatacji, a także niezawodność realizacji czy łatwość obsługi, bądź ogólnie gwarancję jej poprawnego funkcjonowania.

W ramach tylko jednej organizacji ISO/IEC opracowano prawie 20 tysięcy standardów w ramach istniejących (około 300) komitetów i grup roboczych [14]. Dotyczą one wytwarzania zarówno różnych produktów jak i usług. Obowiązuje już nawet międzynarodowa klasyfikacja odnosząca się do opracowanych różnych standardów – ICS (International Classification for Standards). Określa ona między innymi poszczególne obszary związane z poszczególnymi standardami. Podobnie ma się rzecz w przypadku usług IT. Z uwagi na to, że tego typu usługa jest reprezentowana poprzez odpowiednie oprogramowanie, jej jakości nie można ograniczyć tylko do procesów wytwarzania, czy jakości funkcjonowania. Należy także uwzględnić czytelność kodu usługi, czy jego modułowość oraz modyfikowalność [15].

Standardy jakości stanowią niejako płaszczyznę porozumienia, określając bazy wytyczne co do jednolitego spojrzenia na rozwój usług, aplikacji, czy też systemów oraz wszystkich czynności związanych z tymi procesami. Standardy ubogacają platformę komunikacji pomiędzy zespołami jednej lub różnych firm. Eliminują czas niezbędny na poszukiwanie wspólnego stanowiska w wielu problemach inżynierskich. Innymi słowy umożliwiają usprawnienie organizacji i efektywne zarządzanie procesami wytwarzania, w tym wiarygodniejsze oszacowanie harmonogramu działań i wysokości niezbędnego budżetu realizowanego projektu. Dzięki istnieniu odpowiednich wytycznych i propozycji rozwiązań standardy jakościowe zmniejszają czas