

Matematyczny model do oceny jakości mowy przesyłanej w sieciach telekomunikacyjnych

Maria J. Trzaskowska

Przedstawiono strukturę obiektywnego matematycznego modelu do oceny jakości transmisji mowy przez łącze telefoniczne. Model uwzględnia wiele obiektywnych czynników, wynikających z konfiguracji sieci oraz rodzaju elementów sieci, a także stosowanie w łączach zarówno nowych systemów transmisyjnych (GSM, DECT, systemy satelitarne), jak i nowych technologii (np. kodery o małej przepływności binarnej).

sieć, telekomunikacja, transmisja, jakość mowy, ocena jakości mowy

Wprowadzenie

W telefonii, czyli przy przekazywaniu mowy na odległość, jest istotna jakość odbieranych akustycznie wiadomości. Jak wiadomo, do porozumiewania się w zupełności wystarcza, gdy sieć telefoniczna przenosi sygnały o częstotliwościach od 300 Hz do 3400 Hz. Częstotliwość podstawowa tonu krztaniowego wynosi od kilkudziesięciu do kilkuset herców, co oznacza, że nie zawsze jest transmitowana przez sieć. Jednak wyniki subiektywnych badań wskazują, że nie ma to istotnego wpływu na jakość komunikacji. Jakość mowy transmitowanej przez łącze telefoniczne zależy bowiem zarówno od obiektywnych czynników (tj. parametrów technicznych urządzeń telekomunikacyjnych, za pośrednictwem których jest realizowane połączenie), jak i od subiektywnych czynników, związanych z cechami użytkowników sieci. W analogowych sieciach telefonicznych na jakość mowy wpływają: hałas otoczenia po stronie mówcy i słuchacza, tłumienie w torze przesyłowym oraz parametry urządzeń końcowych (telefonów) [10]. Współczesne sieci telefoniczne są prawie w całości cyfrowe. Analogowe są jedynie odcinki sieci od centrali do terminalu abonenta. W technice cyfrowej hałas otoczenia i tłumienie mają mniejsze znaczenie. Brane są natomiast pod uwagę inne czynniki, np. wzrost efektu pogłosu mówcy, opóźnienia wynikające ze stosowania cyfrowych technik transmisyjnych, czy użycie nowych algorytmów w kodowaniu mowy. Wraz ze wzrostem liczby różnego rodzaju usług telekomunikacyjnych występuje olbrzymia różnorodność konfiguracji sieci oraz kombinacji czynników, mających wpływ na jakość transmitowanej mowy.

O jakości mowy transmitowanej przez łącze telefoniczne świadczą te parametry, które umożliwiają identyfikowanie mówcy, decydują o naturalności brzmienia głosu mówcy, określają stopień swobody wymiany myśli i zrozumiałość przekazywanego tekstu oraz wpływają na natężenie uwagi rozmówców i częstość pytań zwrotnych. Do parametrów tych należą: głośność mowy, echo, opóźnienia, zniekształcenia głosu, zakłócenia w linii oraz hałas otoczenia.

Powszechność stosowania systemów telefonicznych do komunikacji głosowej implikuje stosowanie określonych metod i kryteriów oceny jakości mowy transmitowanej.

W Polsce, jak dotychczas, jakość przesyłania mowy jest oceniana na podstawie subiektywnych badań **wyrazistości logatomowej** według polskiej normy [9]. Powstały różne procedury wyznaczania współczynnika wyrazistości logatomowej [1]. W klasycznej metodzie [9] bierze udział grupa przeszkolonych osób (mówcy i słuchacze). Dopuszcza się, aby rolę mówcy spełniał komputer

odtworzący sygnał mowy wysokiej jakości. Istnieją również możliwości całkowicie obiektywnego pomiaru współczynnika wyrazistości logatomowej. Prace nad tym zagadnieniem trwają na Politechnice Wrocławskiej.

W Polsce subiektywną oceną przesyłania mowy łączami telefonicznymi zajmuje się wiele ośrodków naukowych, m.in. Politechnika Wrocławska, Politechnika Warszawska, Instytut Łączności w Warszawie i inne. Liczne doświadczenia z tych badań prowadzą do wniosku, że wysoka zrozumiałość nie zawsze świadczy o dobrej jakości transmisji mowy [8]. Dobrym przykładem może być mowa syntetyzowana. Zrozumiałość takiej mowy jest prawie identyczna jak mowy naturalnej, ale w odczuciu słuchaczy taka mowa brzmi sztucznie, „metalicznie” i można się spodziewać, że jej jakość zostanie oceniona jako niewystarczająca. Należy więc stwierdzić, że badania zrozumiałości mowy nie są wystarczające do oceny jakości łańcucha telefonicznego z punktu widzenia transmisji sygnałów mowy. Konieczne jest zatem wprowadzenie nowych metod i miar oceny jakości łącza telefonicznego.

Do prognozowania i szacowania jakości transmisji sygnału mowy przez łącze telefoniczne służą matematyczne modele [6, 7]. Na świecie są stosowane następujące modele: *Transmission Rating* (USA, Kanada), *Information Index* (Francja), *OPINE* (Japonia), *CATNAP 83* (Wielka Brytania). Z powodzeniem wykorzystują je znaczące administracje telekomunikacyjne. Jednak modele te nie uwzględniają zjawisk powstających w wyniku zastosowania nowych, cyfrowych technik transmisyjnych oraz algorytmów kodowania mowy. Obecnie, w dobie różnorodnych możliwości zarządzania siecią, stało się konieczne udostępnienie projektantom i operatorom sieci nowych narzędzi oraz metod oceny jakości mowy transmitowanej.

Europejski Instytut Standardów Telekomunikacji (ETSI) zaproponował nowy matematyczny model o nazwie model E [2, 3]. Model ten spełnia oczekiwania planistów i operatorów nowoczesnych sieci telefonicznych, uwzględnia bowiem obiektywne czynniki, wynikające z konfiguracji i rodzaju elementów sieci, zastosowanych technik transmisji oraz sposobów kodowania mowy, obniżających przepływność binarną, a także transmisję sygnału mowy za pośrednictwem różnych systemów komunikacji (np. DECT, GSM, wieloskokowych systemów satelitarnych i innych).

W Polsce nie ocenia się jakości łączy telefonicznych za pomocą modeli zarówno tych istniejących, jak i planowanych lub modernizowanych. Brak jest również odpowiednich norm i wymagań niezbędnych do pełniejszej oceny systemów oraz urządzeń telekomunikacyjnych pod względem jakości mowy transmitowanej. Obowiązujące w kraju dokumenty normalizacyjne obejmują ocenę jakości mowy transmitowanej przez łącze telefoniczne jedynie na podstawie współczynnika wyrazistości logatomowej.

Model E

Kanał telekomunikacyjny między ustami osoby mówiącej a uchem słuchacza składa się z wielu torów i elementów, tworzących łącze telefoniczne. Na jakość mowy transmitowanej przez to łącze mają wpływ następujące parametry i czynniki:

- rodzaje elementów końcowych (telefony stacjonarne, bezprzewodowe, mobilne): analogowe i cyfrowe,
- rodzaje elementów połączenia (centrale abonenckie, międzymiastowe): analogowe i cyfrowe,
- rodzaje elementów transmisji (łącza przewodowe, światłowodowe, radiowe),
- konfiguracja połączenia (długość połączenia, typ połączenia, rodzaje składników sieci),
- parametry mowy i słuchu człowieka,

- tłumienie transmisji mowy między mówcą i słuchaczem,
- charakterystyki częstotliwościowe urządzenia abonenckiego,
- tłumienie linii abonenckiej,
- tłumienie obwodów 4-przewodowych,
- efekt lokalny mówcy i słuchacza,
- echo,
- stabilność,
- czas transmisji,
- szum i zniekształcenia kwantyzacji,
- przesłuch.

Każdy z tych czynników w różnym stopniu wpływa na jakość mowy w łączy telefonicznym. Duże znaczenie mają również zainstalowane w łączy urządzenia i systemy specjalne, takie jak:

- urządzenia kontroli echa ECD (*Echo Control Devices*),
- kodery mowy o małej przepływności binarnej,
- urządzenia DCME (*Digital Circuit Multiplication Equipment*),
- systemy mobilne,
- systemy ATM (*Asynchronous Transfer Mode*).

Jakość transmisji mowy symuluje się, uwzględniając w modelu liczne parametry transmisyjne. W dokumentach ITU-T podano dopuszczalne limity dla najważniejszych indywidualnych parametrów transmisji. Ogromna różnorodność konfiguracji połączeń, a także rodzaje urządzeń i łączy tworzących połączenie telefoniczne powodują, że powstają bardzo różne kombinacje wpływów parametrów transmisji na jakość przesyłanej mowy. Te zagadnienia są przedmiotem zainteresowania zarówno specjalistów zajmujących się planowaniem transmisji, jak i operatorów sieci telefonicznych.

Jak już wspomniano, do szacowania jakości transmisji mowy przez łączy telekomunikacyjne służą matematyczne modele. Istnieje kilka modeli, służących do prognozowania jakości przesyłanej mowy [6]. Modele te są powszechnie stosowane do oceny jakości mowy transmitowanej przez kilka typowych konfiguracji łączy. Okazało się, że wyniki uzyskane za pośrednictwem poszczególnych modeli są zbliżone.

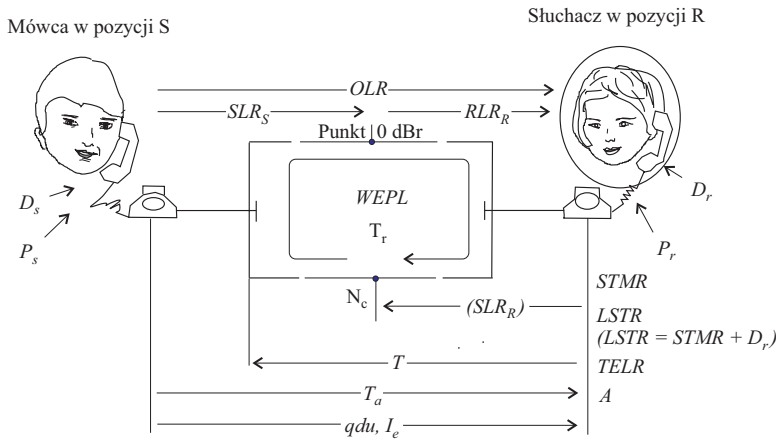
Można zapytać więc, dlaczego opracowano nowy model? Po pierwsze, dzisiaj specjaliści od planowania transmisji muszą wziąć pod uwagę kilka nowych ważnych czynników, wpływających na pogorszenie jakości transmisji mowy, których nie uwzględniono w poprzednich modelach. Po drugie, wyniki subiektywnych testów można łatwiej włączyć do nowego modelu. Stare modele należałoby transformować i aktualizować. Poza tym różne „dobre” cechy uzyskane ze starszych modeli mogą być włączone do nowego modelu. Takim modelem jest model E.

Fundamentalną zasadą modelu E jest koncepcja określona w modelu *OPINE*, która brzmi: „*Współczynniki psychologiczne (wrażenia obniżenia jakości mowy) są addytywne w skali psychologicznej*” [2].

Należy podkreślić, że z modelu *OPINE* wywodzi się miara jakości w subiektywnych testach MOS (*Mean Opinion Score*).

Struktura modelu E

W modelu E założono, że jakość mowy przesyłanej przez łącze telekomunikacyjne mierzy się w słuchawce telefonu słuchacza w pasmie częstotliwości od 300 Hz do 3400 Hz. Konfigurację połączenia i odpowiednie parametry przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Konfiguracja połączenia i parametry użyteczne w modelu E [3]

P_s – poziom hałasu otoczenia w miejscu mówcy, P_r – poziom hałasu otoczenia w miejscu słuchacza, D_s – współczynnik czułości mikrofonu w miejscu mówcy, D_r – współczynnik czułości mikrofonu w miejscu słuchacza, SLR_S – tłumienność głośności przy nadawaniu, RLR_R – tłumienność głośności przy odbiorze, OLR – całkowita tłumienność głośności, $STMR$ – tłumienność głośności efektu lokalnego w pozycji słuchacza, $LSTR$ – tłumienność głośności efektu lokalnego słuchacza, $TELR$ – tłumienność głośności echa mówcy, $WEPL$ – ważona strata ścieżki echa, T – średnie opóźnienie w jedną stronę, T_r – całkowite opóźnienie, T_a – bezwzględne opóźnienie od mówcy do słuchacza, q_{du} – jednostki zniekształceń kwantyzacji, I_e – współczynnik wynikający z zastosowania urządzeń specjalnych, A – współczynnik oczekiwania, N_c – moc szumu obwodu elektrycznego

Między mówcą znajdującym się w pozycji S a słuchaczem w pozycji R następuje komunikacja głosowa za pośrednictwem łącza telefonicznego. Model ten umożliwia ocenę jakości przesłanej mowy od ust mówcy do ucha słuchacza, postrzeganą przez użytkownika w pozycji R, który jest traktowany zarówno jako słuchacz, jak i mówca.

Współczynnik jakości transmisji R

W połączeniu telekomunikacyjnym parametry transmisji są uwzględnione we **współczynniku jakości transmisji R**, wskazującym na zadowolenie bądź niezadowolenie użytkowników. Zawiera on wskaźniki procentowe opinii: GOB (*Good Or Better*), POW (*Poor Or Worse*) oraz TME (*Terminating Early*) i/lub średnie punkty opinii MOS. Stopień satysfakcji lub braku zadowolenia użytkownika zależy zarówno od sposobu mówienia, jak i od stopnia koncentracji słuchacza w czasie rozmowy telefonicznej.

Współczynnik jakości transmisji R jest wyrażony za pomocą wzoru:

$$R = R_o - I_s - I_d - I_e + A, \tag{1}$$

gdzie:

- R_o – podstawowy współczynnik sygnał/szum SNR transmisji mowy w punkcie 0 dBr (rys. 1);
- I_s – współczynnik pogorszenia jakości transmitowanej mowy, reprezentujący zniekształcenia mowy podobne jak przy odbiorze zbyt głośnego sygnału mowy, przy nieoptymalnym efekcie lokalnym lub na skutek zniekształceń kwantyzacji;
- I_d – współczynnik pogorszenia jakości transmitowanej mowy, wywołanego echem odnoszącym się do sygnału mowy, tj. echo mówcy *TEL*R i echo słuchacza *WE*PL oraz trudności w porozumiewaniu się, spowodowane zbyt dużym bezwzględnym opóźnieniem (T_a);
- I_e – współczynnik pogorszenia jakości transmitowanej mowy, spowodowanego zastosowaniem w łączy specjalnych urządzeń, tj. koderów o małej przepływności binarnej, DCME, VPE (*Voice Packeting Equipment*) i innych; wpływ tych urządzeń na jakość mowy jest bardzo złożony i trudno jest go analizować, biorąc pod uwagę poszczególne parametry; współczynnik I_e związany z wpływem urządzeń zastosowanych w łączy telefonicznym na jakość mowy transmitowanej jest nowym pojęciem, nie był on zatem uwzględniany w starszych modelach;
- A – współczynnik oczekiwania, będący wielkością dodatnią, reprezentującą korzyści wynikające z używania różnych systemów transmisji mowy; w niektórych okolicznościach systemy radiowe mają znaczną przewagę nad systemami kabłowymi, pomimo gorszej jakości transmisji mowy; przykładem może być rozwój telefonii mobilnej w trudno dostępnych regionach, gdzie względy ekonomiczne okazały się ważniejsze niż jakość połączenia.

Współczynnik R_o

Współczynnik R_o można wyrazić następująco:

$$R_o = 15 - 1,5 (SLR + N_o), \quad (2)$$

gdzie:

- SLR – tłumienność głośności przy nadawaniu odniesiona do punktu 0 dBr najbliższej położonego miejsca R (rys. 1);
- N_o – całkowite szумы, także odniesione do punktu 0 dBr.

N_o otrzymuje się przez dodanie mocy:

- szumu obwodu elektrycznego N_c [dBm0p],
- równoważnego szumu obwodu N_{os} [dBm0p], spowodowanego hałasem otoczenia P_{os} [dB(A)] w pozycji S,
- równoważnego szumu obwodu N_{or} [dBm0p], spowodowanego hałasem otoczenia P_{or} [dB(A)] w miejscu R,
- hałasu tła N_{fo} [dBm0p], występującego w miejscu R.

Moc szumu elektrycznego obwodu N_c otrzymuje się przez dodanie mocy szumów generowanych przez różne źródła w łączy, wszystkie odniesione do punktu 0 dBr. Jeśli szum jest wytwarzany przez pewne źródło o poziomie N [dBmp] w punkcie o bezwzględnym poziomie mocy L [dBr], to odpowiada to poziomowi szumu $(N + L)$ [dBm0p] w punkcie 0 dBr.

Równoważny szum obwodu N_{os} [dBm0p], spowodowany hałasem otoczenia P_{os} [dB(A)] w miejscu S, wynosi:

$$N_{os} = P_{os} - SLR - D_s - 100 + 0,008 (P_{os} - OLR - D_s - 14)^2, \quad (3)$$

gdzie:

- OLR = $SLR + RLR$;
 D_s – współczynnik czułości mikrofonu D (w mikrofonie) w pozycji mówcy S
($D = LSTR - STMR$).

Równoważny szum obwodu N_{or} [dBm0p], spowodowany hałasem otoczenia P_{or} w miejscu słuchacza R, wynosi:

$$N_{or} = RLR - 121 + P_{ore} + 0,008 (P_{ore} - 35)^2, \quad (4)$$

gdzie:

- P_{ore} – efektywny hałas otoczenia [dB(A)] w pozycji R wyrażony wzorem (5):

$$P_{ore} = P_{or} + 10 \lg [1 + 10^{(10 - LSTR)/10}]. \quad (5)$$

Szum tła N_{fo} [dBm0p] odnosi się do szumu tła w miejscu R i wynosi:

$$N_{fo} = N_{for} + RLR. \quad (6)$$

Zwykle $N_{for} = -64$ dBmp.

Ostatecznie całkowity szum N_o [dBm0p] otrzymuje się przez dodanie mocy wszystkich źródeł szumu:

$$N_o = 10 \lg [10^{N_c/10} + 10^{N_{os}/10} + 10^{N_{or}/10} + 10^{N_{fo}/10}]. \quad (7)$$

Należy zaznaczyć, że we wzorze (7) nie uwzględniono szumu kwantyzacji.

Współczynnik I_s

Współczynnik I_s jest wyrażony następującą zależnością:

$$I_s = I_{olr} + I_{st} + I_q, \quad (8)$$

gdzie:

- I_{olr} – pogorszenie jakości transmitowanej mowy, spowodowane zbyt głośnym połączeniem, tj. wtedy, gdy tłumienność OLR jest zbyt mała;
 I_{st} – pogorszenie jakości transmitowanej mowy, spowodowane niewłaściwą wartością efektu lokalnego;
 I_q – pogorszenie jakości transmitowanej mowy, spowodowane przez szum kwantyzacji.

Należy podkreślić, że zniekształcenia spowodowane przez kodery o małej przepływności binarnej są reprezentowane przez współczynnik I_e .

Współczynnik I_{olr} można wyrazić następująco:

$$I_{olr} = 20 \left[\{1 + (X/8)^8\}^{1/8} - X/8 \right], \quad (9)$$

gdzie:

$$X = OLR + 0,2(64 + N_t), \quad (10)$$

$$N_t = N_o - RLR. \quad (11)$$

Współczynnik I_{st} można wyrazić następująco:

$$I_{st} = 10 \left[1 + \left\{ (STMR_o - 12) / 5 \right\}^6 \right]^{1/6} + 46 \left[1 + \left\{ STMR_o / 23 \right\}^{10} \right]^{1/10} + 36, \quad (12)$$

gdzie:

$$STMR_o = -10 \lg \left[10^{-STMR/10} + e^{-T/4} 10^{-TELR/10} \right], \quad (13)$$

T – średnie opóźnienie w jedną stronę [ms],

$TELR$ – tłumienność głośności echa mówcy [dB].

Współczynnik I_q wyraża się następująco:

$$I_q = 15 \lg \left[1 + 10^Y \right], \quad (14)$$

gdzie:

$$Y = (R_o - 100) / 15 + (46 - G) / 10, \quad (15)$$

$$G = 1,07 + 0,258 Q + 0,0602 Q^2, \quad (16)$$

$$Q = 37 - 15 \lg(qdu), \quad (17)$$

qdu – jednostki zniekształceń kwantyzacji.

Współczynnik I_d

Współczynnik pogorszenia jakości transmitowanej mowy, spowodowany opóźnieniami w łączy, wynosi:

$$I_d = I_{dte} + I_{dle} + I_{dd}, \quad (18)$$

gdzie:

I_{dte} – pogorszenie jakości transmitowanej mowy, spowodowane przez echo mówcy (parametry związane: tłumienność głośności echa mówcy $TELR$ i średnie opóźnienie echa – w jedną stronę);

I_{dle} – pogorszenie jakości transmitowanej mowy, spowodowane przez echo słuchacza (parametry związane: ważone tłumienie ścieżki echa $WEPL$ i opóźnienie dla echa – w obie strony);

I_{dd} – pogorszenie jakości transmitowanej mowy, spowodowane przez zbyt długie bezwzględne opóźnienie, występujące nawet po bardzo dobrym wyeliminowaniu echa.

Współczynnik I_{dte} oblicza się ze wzoru:

$$I_{dte} = \left[(R_{oe} - R_e) / 2 + \sqrt{(R_{oe} - R_e)^2 / 4 + 100} - 1 \right] (1 - e^{-T}), \quad (19)$$

gdzie:

$$R_{oe} = -1,5 \cdot (N_o - RLR), \quad (20)$$

$$Re = 80 + 2,5 (TERV - 14), \quad (21)$$

$$TERV = TELR - 40 \lg \frac{1 + T/10}{1 + T/150} + 6e^{-0,3T^2}. \quad (22)$$

Dla $T < 1$ ms echo mówcy powinno być rozważane jako efekt lokalny, wówczas $I_{dte} = 0$. Powyższe zależności mają zastosowanie wtedy, kiedy efekt lokalny zawiera się od $7 \text{ dB} < STMR < 15 \text{ dB}$.

Dla wartości $STMR$ mniejszych od 7 dB echo mówcy jest częściowo maskowane przez efekt lokalny, wówczas $TERV$ w równaniu (22) jest zastępowane przez $TERV_s$:

$$TERV_s = TERV + I_{st} / 2. \quad (23)$$

Dla większych wartości efektu lokalnego, tj. $STMR > 15 \text{ dB}$, echo mówcy jest bardziej zauważalne niż w normalnym zakresie wartości efektu lokalnego i wówczas w wyrażeniu (19) I_{dte} jest zastępowane przez I_{dtes} :

$$I_{dtes} = \sqrt{I_{dte}^2 + I_{st}^2}. \quad (24)$$

Współczynnik I_{dle} oblicza się ze wzoru:

$$I_{dle} = (R_o - R_{le}) / 2 + \sqrt{(R_o - R_{le})^2 / 4 + 169}, \quad (25)$$

gdzie:

$$R_{le} = 10,5 (WEPL + 7) (T_r + 1)^{-0,25}. \quad (26)$$

Współczynnik I_{dd} oblicza się ze wzoru (27).

Dla bezwzględnego opóźnienia sygnału od mówcy do słuchacza $T_a < 100$ ms współczynnik $I_{dd} = 0$.

Dla $T_a > 100$ ms współczynnik I_{dd} oblicza się według wzoru:

$$I_{dd} = 25 \left\{ \left(1 + X^6 \right)^{1/6} - 3 \left(1 + [X/3]^6 \right)^{1/6} + 2 \right\}, \quad (27)$$

gdzie:

$$X = \frac{\lg (T_a / 100)}{\lg 2}. \quad (28)$$

Współczynnik I_e

Współczynnik I_e stosuje się do urządzeń w skomplikowany sposób przetwarzających sygnał mowy, w szczególności do koderów o małej przepływności binarnej. Kodery te są reprezentowane w modelu przez współczynnik K . Natomiast gdy występuje kilka szeregowo połączonych koderów (takich samych lub różnych), wówczas całkowite pogorszenie jakości mowy wyraża współczynnik I_e , który jest sumą indywidualnych wartości K .

W tabelicy 1 podano przybliżone wartości współczynników K dla różnych typów kodeków według ETR 250 [2].

Tabl. 1. Wartości współczynników K

Koder	Przepływność binarna [kbit/s]	K
ADPCM	40	2
	32	7
	24	25
	16	50
LD-CELP	16	7
	12,8	20
VSELP	8	20
RPE-LTP	13	20
CELP+	6,8	25

Współczynnik oczekiwania A

Wartości A dla poszczególnych rodzajów systemów zestawiono w tablicy 2 według ETR 250 [2].

Współczynnik jakości transmisji R jest miarą jakości transmitowanej mowy w łączu telefonicznym wyznaczonym za pośrednictwem modelu E.

Wartości współczynników jakości transmisji R mogą zawierać się od 0 do 100, a nawet mogą być większe od 100, przy czym:

- współczynnik $R = 0$ reprezentuje skrajnie złą jakość połączenia,
- współczynnik $R = 100$ świadczy o bardzo wysokiej jakości transmisji połączenia.

Współczynnik R może być powiązany z innymi miarami jakości transmisji, takimi jak:

- procentowy wskaźnik użytkowników oceniających jakość połączenia jako dobrą lub bardzo dobrą GOB i słabą lub złą POW;
- procentowy wskaźnik użytkowników przedwcześnie przerywających połączenia z powodu złej jakości TME;
- średni wskaźnik opinii MOS.

Tabl. 2. Wartości współczynników A

Systemy komunikacji	A
System konwencjonalny (przewodowy)	0
System DECT i podobne	5
System GSM i podobne	10
Wieloskokowe systemy satelitarne	20

Model E, dzięki wyznaczeniu współczynnika jakości transmisji R , umożliwia ocenę reakcji użytkowników łączy telefonicznych na jakość mowy w postaci GOB, POW i TME przez uśrednienie funkcji błędu o rozkładzie normalnym:

$$GOB = 100 \operatorname{Erf} \left[\frac{R - 60}{16} \right] \% , \tag{29}$$

$$POW = 100 \operatorname{Erf} \left[\frac{45 - R}{16} \right] \% . \tag{30}$$

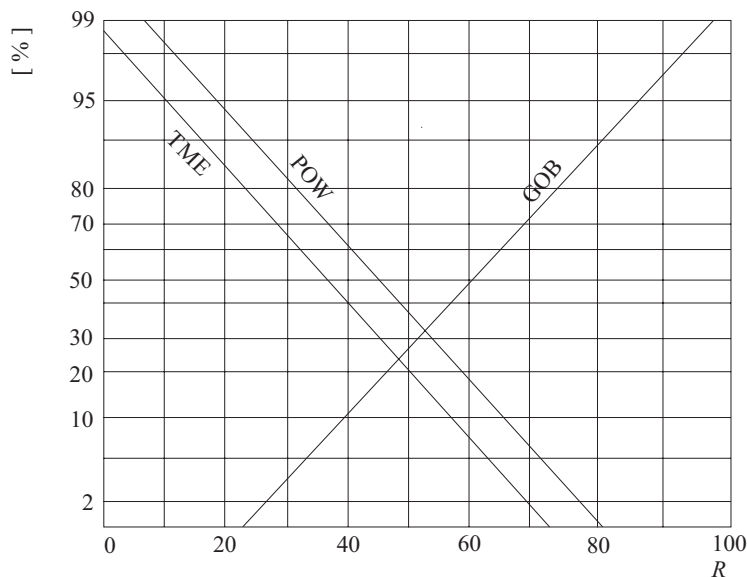
Wyrażenia dla GOB i POW pochodzą z aproksymacji średnich wartości krzywych, uzyskanych z subiektywnych testów wykonanych w Laboratoriach Bella. W modelu E wyrażenie TME występuje w publikacji [4] i ma postać:

$$TME = 100 \operatorname{Erf} \left[\frac{36 - R}{16} \right] \% , \tag{31}$$

gdzie:

$$\operatorname{Erf}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} dt . \tag{32}$$

Zależności GOB, POW i TME jako funkcje współczynnika R pokazano na rys. 2.

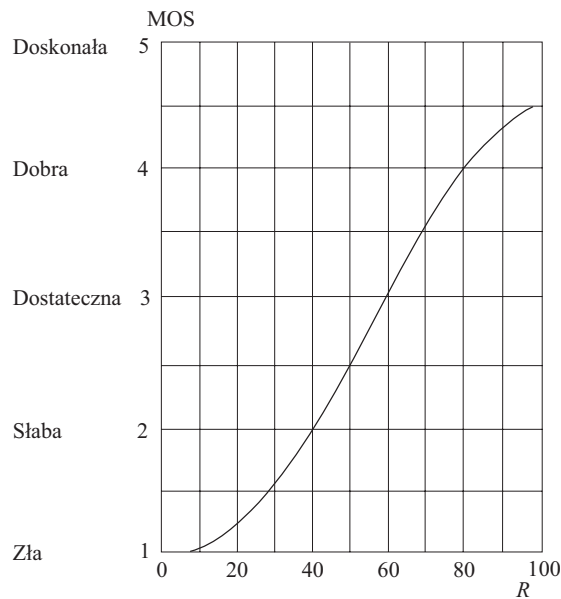


Rys. 2. Zależności wskaźników GOB, POW i TME oraz współczynnika jakości transmisji R , pochodzące z subiektywnych testów [2]

Związek między R a MOS opisano w [2]. Przedstawia się on następująco:

$$\begin{aligned} \text{dla } 0 < R < 100 & \quad \text{MOS} = 1 + 0,035 \cdot R + R(R - 60)(100 - R) 7 \cdot 10^{-6} , \\ \text{dla } R < 0 & \quad \text{MOS} = 1 , \\ \text{dla } R > 100 & \quad \text{MOS} = 4,5 . \end{aligned} \tag{33}$$

Na rys. 3 zaprezentowano graficznie zależność obliczonego MOS w funkcji R (wg ETR 250 [2]).



Rys. 3. Zależność wskaźników MOS od współczynnika R [2]

W tabelicy 3 podano przybliżoną szacunkową ocenę jakości sygnału mowy przesyłanego przez łącze telefoniczne, wyznaczoną za pośrednictwem modelu E. Dane te pochodzą z ETR 250 [2].

Tabl. 3. Tymczasowe wskaźniki jakości transmisji mowy
wyznaczone na podstawie modelu E

R	GOB	POW	TME	Jakość mowy
	[%]			
90	97	0	0	Bardzo dobra
80	89	0	0	Dobra
70	73	6	0	Odpowiednia
60	50	17	6	Dostateczna
45	17	50	27	Nieodpowiednia
35	6	73	50	Reklamacje klientów

WNIOSKI

U progu XXI wieku, kiedy świat zdominowały nowoczesne systemy telekomunikacyjne oraz wyrafinowane techniki kodowania mowy, a zarządzanie siecią staje się powszechne, obowiązująca w Polsce metoda subiektywnej oceny wyrazistości logatomowej stała się nieco archaiczna. Naturalną tendencją jest zatem poszukiwanie coraz doskonalszych narzędzi oceny jakości mowy. Takie nadzieje daje obiektywny model E.

Model E jest uniwersalny i można go stosować do różnych konfiguracji oraz rozmaitych rodzajów połączeń telefonicznych (sieci publicznej i prywatnych). W wyniku zastosowania modelu E uzyskuje się obiektywną miarę jakości w postaci współczynnika jakości transmisji R . Nie trzeba więc przeprowadzać kosztownych, żmudnych i obciążonych dużym błędem subiektywnych testów w badanych sieciach telefonicznych. Subiektywne oceny potencjalnych użytkowników sieci można oszacować na podstawie wartości współczynnika R (rys. 2 i 3).

Zasadniczym problemem jest uzyskanie danych do modelu E, tj. obiektywnie zmierzonych odpowiednich parametrów transmisyjnych łącza. W celach naukowych można wykonać symulacje połączeń telefonicznych w warunkach laboratoryjnych oraz zmierzyć potrzebne w modelu parametry. Prezentacja przykładów zastosowania modelu E przekracza ramy niniejszego artykułu i wymaga odrębnego, obszerniejszego omówienia.

Zdaniem Autorki, ponieważ w Polsce nie stosuje się żadnych modeli do oceny jakości transmitowanej mowy, należy w przyszłości rozpocząć prace, zmierzające do zastosowania modelu E w publicznej sieci telekomunikacyjnej. W rezultacie przyszłych badań należy ustalić też nowe kryterium oceny jakości mowy oparte na modelu E i wprowadzić je do krajowej normalizacji. Sprawując kontrolę nad jakością mowy w sieciach telefonicznych, Polska mogłaby dołączyć do krajów, które nie tylko modernizują swoje sieci, wprowadzają nowoczesne systemy komunikacji oraz zarządzania ruchem, ale również stosują nowoczesne narzędzia i miary oceny jakości transmisji mowy.

Bibliografia

- [1] CCITT: *Handbook on Telephony*. Geneva 1992
- [2] ETR 250: *Transmission and MultiplexingTM; Speech communication quality from mouth to ear for 3.1 kHz handset telephony across networks*. July 1996
- [3] ETSI EG 201 050 V1.2.2: *Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); Overall Transmission Plan Aspects for Telephony in Private Network*. 1999
- [4] Gruber J., Williams G.: *Transmission Performance of Evolving Telecommunication Networks*. Artech House, 1992
- [5] ITU-T P.11, Annex A: *Transmission Quality Index*. 1992
- [6] ITU-T Serie P, Sup. 3: *Models for predicting transmission quality from objective measurements*. 1992
- [7] Johannesson N.O.: *The ETSI computation model: A tool for transmission planning of telephone networks*. IEEE Communications Magazine, January 1997
- [8] Kula S., Trzaskowska M.J.: *Ocena łańcucha pod kątem jakości mowy kodowanej*. Pomiar w Telekomunikacji, 2000, nr 14, s. 11–28

- [9] PN-90/T-05100: *Analogowe łańcuchy telefoniczne. Wymagania i metody pomiaru wyrazistości logatomowej*. 1990
- [10] prPN-97/T-83001: *Aparaty telefoniczne elektroniczne ogólnego przeznaczenia dla analogowych łączy abonenckich – Wymagania i badania*. 1997

Maria J. Trzaskowska



Dr inż. Maria Jolanta Trzaskowska (1957) – absolwentka Wydziału Elektroniki Politechniki Wrocławskiej (1983); długoletni pracownik naukowy Instytutu Łączności w Warszawie (od 1983); autorka licznych publikacji; zainteresowania naukowe: akustyka telekomunikacyjna, ocena jakości mowy w telefonii.

e-mail: M.Trzaskowska@itl.waw.pl