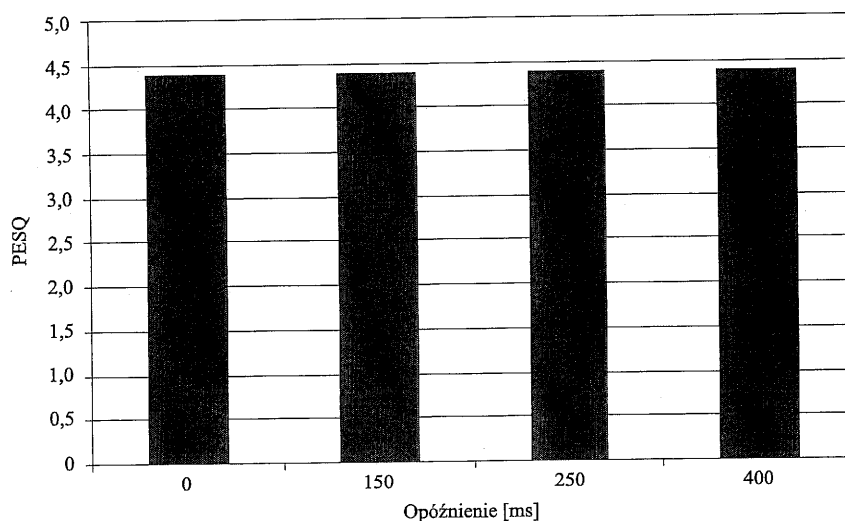


Pomiary przeprowadzono dla 4 podstawowych parametrów jakościowych sygnałów pakietowych.

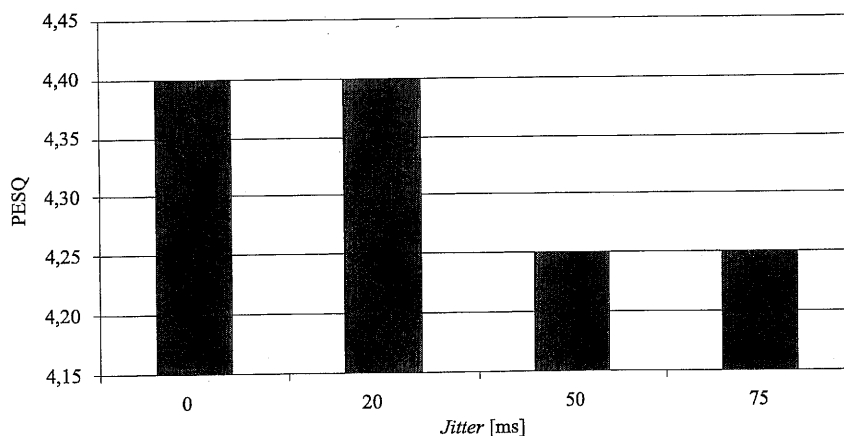
Analiza wyników. Otrzymane wyniki przedstawiono w postaci wykresów (rys. 6–9). Pokazują one wpływ poszczególnych parametrów na jakość transmisji mowy.

Zgodnie z metodą badania PESQ, przyrząd podaje wartości stałego opóźnienia pakietów (rys. 6), ale są one pomijane w obliczeniach PESQ. W E-modelu [14] przyjmuje się, że opóźnienie stałe do 150 ms nie degraduje jakości transmisji mowy.



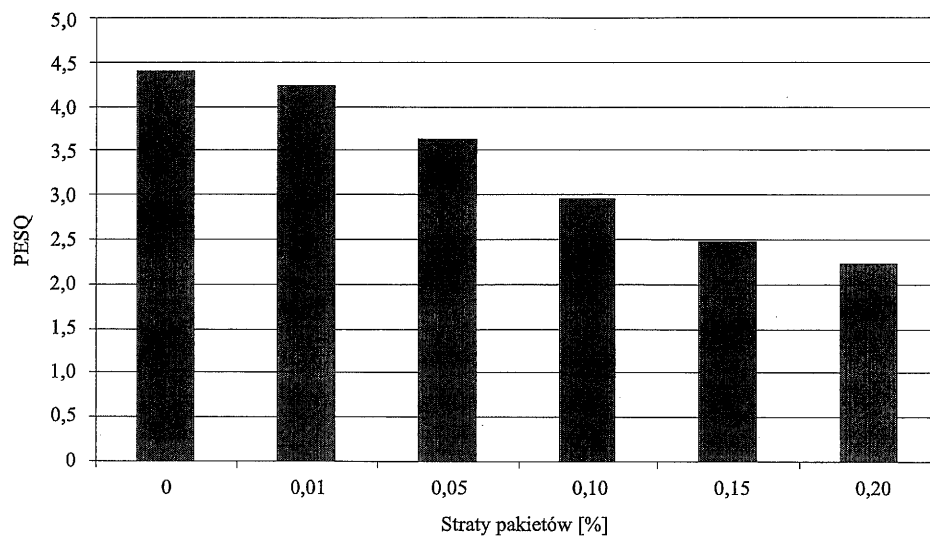
Rys. 6. Wartości PESQ w funkcji opóźnienia pakietów

Jitter o niewielkiej wartości nie powoduje zauważalnego spadku jakości transmisji mowy, gdyż jest on buforowany, o większych wartościach średnich (50 – 75 ms) zaś powoduje zauważalny, chociaż nie- zbyt duży spadek jakości mowy (rys. 7). Zwiększenie pojemności bufora jest możliwe i powoduje zwiększenie odporności systemu na *jitter*, ale równocześnie zwiększa opóźnienie stałe.

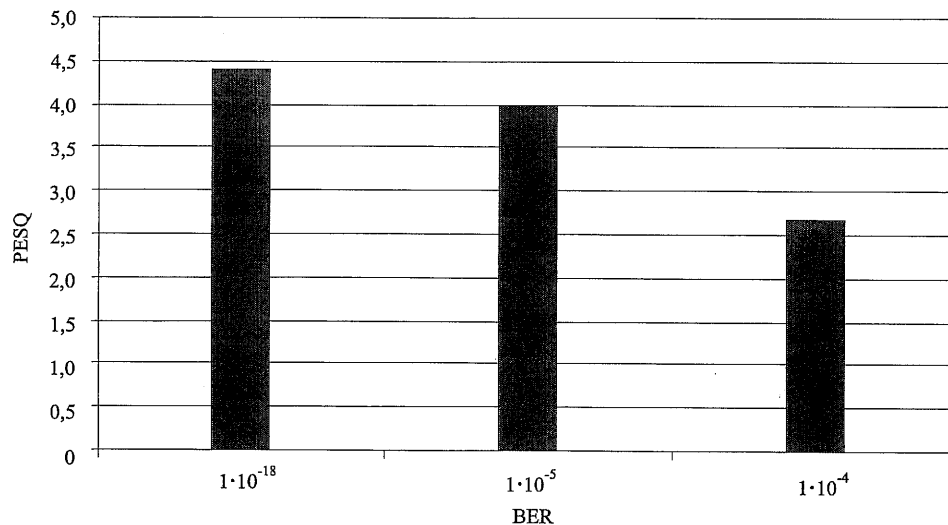


Rys. 7. Wartości PESQ w funkcji wartości średniej jittera

Niewielkie straty pakietów (do 1%) powodują minimalny spadek jakości mowy. Jednak ich wzrost wyraźnie pogarsza jakość transmisji mowy, a przy stratach przekraczających 10% wartość PESQ spada poniżej 3,0, co może być już nieakceptowane przez większość użytkowników (rys. 8).



Rys. 8. Wartości PESQ w funkcji strat pakietów



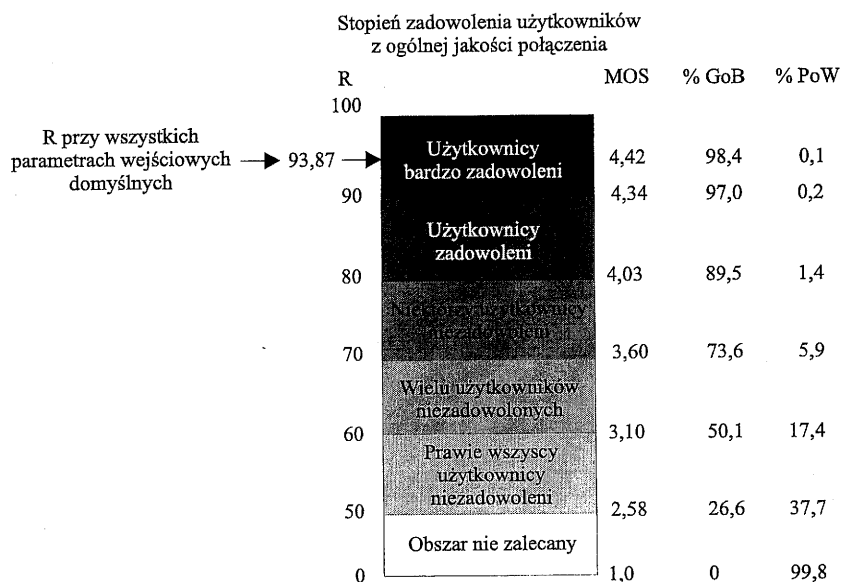
Rys. 9. Wartości PESQ w funkcji bitowej stopy błędów (BER)

Straty pakietów i bitowa stopa błędów (*Bit Error Rate* – BER) są parametrami najsilniej wpływającymi na jakość transmisji mowy. Stwierdzono, że niewielka stopa błędów nie powoduje zauważalnego spadku jakości mowy, występuje on dla stopy błędów równej $1 \cdot 10^{-5}$, a przy dalszym zwiększaniu stopy błędów spada gwałtownie (rys. 9).

Propozycje wartości wskaźnika jakości mowy

Parametry jakościowe sieci nowej generacji powinny być ustalane w fazie tworzenia założeń i wymagań na sieć. W odniesieniu do jakości transmitowanej mowy należy kierować się zaleceniem ITU-T G.107 [15], definiującym E-model.

E-model umożliwia obserwowanie różnicy w jakości, wynikającej z parametrów transmisji sygnałów i kompresji sygnału. Ten komputerowy model może być narzędziem dla planistów oraz operatorów nowoczesnych sieci telefonicznych, pomagającym w ocenie jakości połączenia. Dostarcza on bowiem informacji, jaki procent użytkowników sieci będzie zadowolony z usługi transmisji mowy od początku do końca. Jest to jednak ocena jakości tylko do celów planowania oraz projektowania sieci telefonicznych i nigdy nie będzie ona odwzorowaniem faktycznej opinii użytkowników.



Rys. 10. Skala jakości E-modelu zdefiniowana w zaleceniu ITU-T G.109 [16]

Ze względu na złożoność sieci telekomunikacyjnych, przy jej planowaniu wiele parametrów transmisji powinno być rozpatrywanych nie tylko osobno, ale również w powiązaniu z innymi parametrami. Wartość wyjściowa modelu jest opisywana przez skalarny współczynnik jakości transmisji R, na podstawie którego można też wywnioskować teoretyczną ocenę reakcji użytkownika, np. określić procent użytkowników, oceniających modelowaną łączność jako *dobrą* lub *bardzo dobrą* (GoB) albo jako *słabą* lub *złą* (PoW) – por. rys. 10. Poza tym współczynnik R można uzależnić niemalże od każdego pojedynczego parametru transmisji i tym samym oszacować wielkość zmian w jakości połączenia, spowodowanych wartością danego parametru.

Szeroki zakres uwzględnianych czynników sprawia, że E-model [14], [17] stanowi bardzo dobre narzędzie do prognozowania jakości mowy. Głównie używają go planiści i projektanci sieci, a nie bezpośrednio operatorzy. Niestety, wymaga bardzo dużej liczby danych wejściowych, a tym samym kosztownych pomiarów. Mapę poziomu zadowolenia klientów przedstawiono w zaleceniu ITU-T G.107 [15].

Jako w pełni zadowolający poziom jakości transmisji mowy przyjmuje się wartości MOS (PESQ) powyżej 4,0 i taka średnia wartość pomiarów powinna być w sieci PSTN/ISDN oraz VoIP, pracujących z protokołem ITU-T G.711. Dla sieci ISDN można oczekiwać osiągnięcia wartości MOS ok. 4,4.

Podane wartości powinny dotyczyć jedynie usługi telefonii oferowanej w ramach usługi powszechnej i usługi publicznie dostępnej. Nie odnoszą się do systemów, do których nie można zestawiać połączeń z sieci PSTN, np. tzw. komunikatorów, takich jak Skype, oraz innych systemów wydzielonych. Systemy takie nie są objęte działaniami regulacyjnymi, zresztą w wielu przypadkach jest to niemożliwe ze względu na siedzibę dostawcy usługi poza granicami UE.

Dostawca usługi/operator VoIP często nie jest dostawcą sieci, która może być dostarczona przez innego dostawcę/operatora na podstawie umowy zawartej z użytkownikiem. W takim przypadku dostawca/operator usługi VoIP może odpowiadać tylko za parametry usługi dostarczanej przez własne oraz dzierżawione przez niego urządzenia i sieci.

Proponując wymagania dotyczące jakości transmisji mowy, należy uwzględnić wiele czynników ekonomicznych, fizjologicznych i kulturowych. Należy pamiętać, że:

- zapewnienie jakości transmisji mowy większej niż to jest niezbędne, powoduje zbędne koszty;
- koszt podniesienia jakości transmisji mowy zależy w dużym stopniu od stosowanych technologii;
- trzeba uwzględniać również dostępność innych usług realizowanych w pasmie akustycznym kanału.

Wydaje się, że przede wszystkim należy rozgranaczyć jakość transmisji zapewnianej przez systemy stacjonarne i mobilne. Użytkownik telefonii mobilnej godzi się na gorszą jakość transmisji mowy w zamian za dodatkowe usługi i funkcjonalność. Natomiast trudniej jest skłonić użytkownika sieci stacjonarnej do zgody na gorszą jakość (często godzi się dopiero w przypadku znacznej różnicy w cenie). Należy pamiętać też o tym, że użytkownik podświadomie będzie oczekiwał takiej jakości transmisji mowy, jaka kojarzy mu się z używanym obecnie terminalem.

Z analizy wyników badań i dokumentów źródłowych, np. [18], wynika, że **dla sieci stacjonarnej podstawowa średnia wartość MOS (PESQ) powinna być powyżej 4,0.**

Wyniki prowadzonych pomiarów potwierdzają, że jest to możliwe dla sieci VoIP z zastosowaniem kodeka G.711. Wyniki testów symulacyjnych oraz podane w [18] świadczą o tym, że rozwiązanie to zapewnia:

- wysoką jakość transmitowanej mowy;
- małe opóźnienia wnoszone przez łańcuch telekomunikacyjny;
- dużą odporność na straty pakietów i błędy transmisji;
- transparentny kanał 300 – 3400 Hz, zapewniający realizację wszystkich usług, podobnie jak w sieci PSTN, przez przesyłanie dowolnych sygnałów akustycznych.

Ostatni warunek jest szczególnie istotny przy migracji użytkowników klasycznych systemów telefonii, stosujących kanał PCM64, do innych, np. pracujących w systemach VoIP. Wiadomo, że w sieciach są używane różne urządzenia, takie jak centralki alarmowe, w których zastosowano niestandardowe sygnały akustyczne. Nie będą one prawidłowo pracować w sieciach z kompresją głosu.

Z prowadzonych badań wynika, że przy zastosowaniu kodeka G.711 zakłócenia, takie jak *jitter* o wartości nie przekraczającej pojemności bufora, straty pakietów poniżej 1% oraz elementowa stopa błędów mniejsza niż 10^{-5} , nie powodują dokuczliwego spadku jakości transmisji mowy.

Można dopuścić, dla pewnych przypadków, niższą wartość MOS. Dotyczyć to może, np. połączeń międzynarodowych, przy których użytkownik może opcjonalnie rezygnować z wysokiej jakości w zamian za niższą cenę. Zaleca się jednak, aby nawet wtedy średnia wartość wskaźnika wynosiła co najmniej 3,6.

Dla sieci mobilnej sytuacja jest bardziej złożona. Ograniczenia dostępnego pasma częstotliwości i inne powodują, że trzeba wykorzystywać kodeki z silną kompresją pasma. W systemie GSM są dodatkowe mechanizmy, poprawiające warunki odbioru sygnału radiowego i tym samym zmniejszające zniekształcenia sygnału mowy, takie jak:

- przeplot sygnału wyjściowego kodeka;
- *hooping* (skakanie), czyli zmiany częstotliwości.

Pomimo stosowania tych mechanizmów występują duże zakłócenia odbieranego sygnału mowy. Potwierdzają to nawet pomiary wykonywane w zasadzie w optymalnych warunkach, tzn. w niedużej odległości od stacji bazowej oraz stałej lokalizacji terminalu.

Proponowane wartości wskaźnika jakości głosu MOS (PESQ) dla sieci VoIP i GSM przedstawiono w tablicy 4.

Tabl. 4. Proponowane wartości wskaźnika jakości głosu MOS (PESQ)

Rodzaj sieci	Propozycje wartości wskaźnika MOS (PESQ)	Uwagi
Sieć VoIP z podstawowym kodekiem G.711	Wartość średnia > 4,0	Warunki standardowe
Sieć VoIP w przypadkach opcjonalnych	> 3,6 dla 90% połączeń ¹⁾	Opcjonalnie, jeżeli użytkownik wybierze usługę o niższej cenie, np. tańsze połączenia międzynarodowe.
Połączenia do sieci mobilnej GSM z podstawowym kodekiem EFR	> 3,6 dla 80% połączeń ²⁾	Wartość zalecana. Jakość głosu powinna być akceptowana przez większość użytkowników. W dużym stopniu zależy od części połączeń realizowanych z kodekiem HR.
Połączenia do sieci mobilnej GSM z podstawowym kodekiem FR	> 3,1 dla 80% połączeń ³⁾	Wartość nie zalecana, natomiast tryb stosowany przez operatorów w warunkach przeciążenia sieci. Z uwagi na parametry kodeka FR jakość mowy nie będzie akceptowana przez wielu użytkowników.
<p>Uwagi:</p> <p>Zgodnie z zaleceniem ITU-T G.107 [15] warunek oznacza, że co najmniej:</p> <p>¹⁾ 66,3% (czyli 73,6% z 90%) użytkowników uzna jakość połączeń za dobrą (GoB), a nie więcej niż 15,3% (czyli 5,9% z 90% + 10%) za złą (PoW);</p> <p>²⁾ 58,9% (czyli 73,6% z 80%) uzna jakość połączeń za dobrą (GoB), a nie więcej niż 24,7% (czyli 5,9% z 80% + 20%) za złą (PoW);</p> <p>³⁾ 40,8% (czyli 50,1% z 80%) uzna jakość połączeń za dobrą (GoB), a nie więcej niż 33,9% (czyli 17,4% z 80% + 20%) za złą (PoW).</p>		

Podsumowanie

Tradycyjne sieci PSTN gwarantowały nie jakość dla poszczególnych usług a parametry kanału transmisyjnego, które powinny tę jakość zapewnić. Wprowadzenie innych technik transmisji sygnałów i zaawansowane metody kompresji sygnału mowy wymusiły rozwój pomiarów jakości usług. Zachodzi również potrzeba określenia wymagań dotyczących jakości transmisji mowy w sieciach stacjonarnych i mobilnych, zadowolających użytkowników.

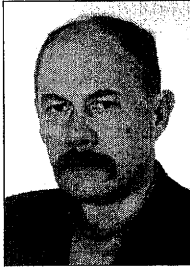
Podstawowym celem, jaki musi realizować sieć telekomunikacyjna, jest zapewnienie usług na odpowiednim, akceptowanym przez abonenta poziomie. Szczególnie usługa głosowa, ze względu na wymóg przesyłania mowy w czasie rzeczywistym, jest narażona na degradację przez czynniki zakłócające, charakterystyczne dla sieci pakietowych. Analiza jakości transmitowanej mowy, za pomocą metod obiektywnych, umożliwia oszacowanie jakości pracy elementów sieci w zestawionym łańcuchu telekomunikacyjnym, zwłaszcza źródła zniekształceń.

Bibliografia

- [1] ITU-T Rec. P.800 (08/1996): *Methods for subjective determination of transmission quality*
- [2] Karjalainen M.: *A new auditory model for the evaluation of sound quality of audio systems*. W: Materiały z konferencji *IEEE ICASSP*, Tampa, USA, 1985, s. 608–611
- [3] Beerend J. G., Stemerding J. A.: *A Perceptual speech quality measurement based on psychoacoustic sound representations*, J. Audio Eng. Soc., vol. 42, pp. 115–123, March 1994
- [4] ITU-T Rec. P.861 (08/1996): *Objective quality measurement of telephone band (300–3400 Hz) speech codecs*
- [5] Atkinson, D. J.: *Proposed Annex A to Recommendation P.861*. ITU-T Study Group 12 Contribution 24 (COM 12-24-E), Dec. 1997
- [6] *PAMS Usage Guidelines*. PsyTechnics Group, British Telecommunications, Febr. 2000
- [7] ITU-T Rec. P.862 (02/2001): *Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs* plus Amendment 2 (11/2005), Revised Annex A – *Reference implementations and conformance testing for Recommendations P.862, P.862.1 and P.862.2*
- [8] ITU-T Rec. P.862.1 (11/2003): *Mapping function for transforming P.862 raw result scores to MOS-LQO*
- [9] ITU-T Rec. P.563 (05/2004): *Single-ended method for objective speech quality assessment in narrow-band telephony applications*
- [10] *Ustawa z dnia 16 lipca 2004 r. „Prawo telekomunikacyjne”*. Dz.U., 2004, nr 171, poz. 1800 z późniejszymi zmianami
- [11] ITU-T Rec. P.50 (09/1999): *Artificial voices*
- [12] ETSI EG 202 057-2 V1.3.1 (2009–02): *Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements; Part 2: Voice telephony, Group 3 fax, modem data services and SMS*
- [13] ITU-T Rec. G.711 (11/1988): *Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies*
- [14] Trzaskowska M. J.: *Ocena jakości sygnału mowy w oparciu o model E w zastosowaniu do krajowej sieci telefonicznej*. Praca doktorska, Warszawa, Instytut Łączności, 2000

- [15] ITU-T Rec. G.107 (07/2002): *The E-model: A computational model for use in transmission planning*
- [16] ITU-T Rec. G.109 (09.1999): *Definition of categories of speech transmission quality*
- [17] ITU-T Rec. G.108 (09/1999): *Application of the E-model: A planning guide*
- [18] TIA Telecommunications Systems Bulletin Telecommunications – IP Telephony Equipment – Voice Quality Recommendations for IP Telephony TSB-116-A (Revision of TSB-116), March 2006

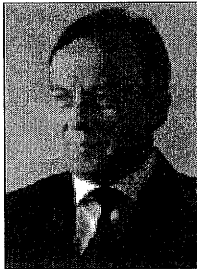
Ryszard Kobus



Mgr inż. Ryszard Kobus (1951) – absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Warszawskiej (1975); długoletni pracownik Instytutu Łączności w Warszawie (od 1975); ekspert Komitetu Technicznego CEN/TC 331 w zakresie usług pocztowych i zastępca przewodniczącego PKN/KT 259 ds. Poczty; współautor wielu opatentowanych rozwiązań; zainteresowania naukowe: telekomunikacja, badania jakości usług telekomunikacyjnych, badania jakości usług pocztowych, normalizacja.

e-mail: R.Kobus@itl.waw.pl

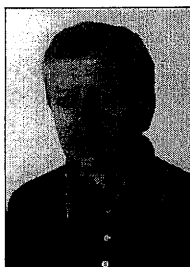
Marian Kowalewski



Doc. dr hab. inż. Marian Kowalewski (1951) – absolwent WSOWŁ (1975); nauczyciel akademicki, pracownik naukowy i prorektor ds. dydaktyczno-naukowych w Wyższej Szkole Oficerskiej Wojsk Łączności (1975–1997); pracownik naukowy Instytutu Łączności w Warszawie (od 1997), zastępca dyrektora ds. naukowych i ogólnych IŁ (1997–2004), kierownik projektu TETRA w IŁ (od 2002); organizator oraz współorganizator wielu seminariów i konferencji naukowych; autor wielu podręczników i skryptów akademickich, artykułów, prac naukowo-badawczych dotyczących problematyki telekomunikacyjnej; zainteresowania naukowe: planowanie i projektowanie oraz efektywność systemów telekomunikacyjnych.

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

Bogdan Mucha



Mgr inż. Bogdan Mucha (1958) – absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Warszawskiej (1982); długoletni pracownik Instytutu Łączności w Warszawie (od 1982); zainteresowania naukowe: jakość usługi głosowej w sieciach łączności elektronicznej, badania jakości usług telekomunikacyjnych.

e-mail: B.Mucha@itl.waw.pl