

**INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
w Warszawie**

**OCENA JAKOŚCI SYGNAŁU MOWY
W OPARCIU O MODEL E
W ZASTOSOWANIU DO KRAJOWEJ SIECI
TELEFONICZNEJ**

Rozprawa doktorska

mgr inż. Marii Jolanty Trzaskowskiej

**Promotor pracy:
prof. dr hab.inż. Andrzej Dąbrowski**

**Warszawa
2000**

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
BIBLIOTEKA NAUKOWA
Nr S-10245

SPIS TREŚCI

DEFINICJE.....	4
WYKAZ SYMBOLI I OZNACZEŃ	9
1. WPROWADZENIE	11
2. ZAKRES I TEZY ROZPRAWY	13
3. PARAMETRY TRANSMISJI.....	14
3.1 Konfiguracje sieci.....	16
3.2 Parametry mowy i słuchu człowieka.....	19
3.3 Tłumienie w transmisji mowy pomiędzy mówcą i słuchaczem	22
3.3.1 Charakterystyka częstotliwościowa aparatu telefonicznego.....	27
3.3.2 Tłumienie linii abonenckiej	30
3.3.3 Tłumienie obwodów 4-przewodowych.....	31
3.4 Efekt lokalny mówcy i słuchacza.....	32
3.5 Echo	34
3.6 Stabilność	38
3.7 Czas transmisji	39
3.8 Szum i zniekształcenia kwantyzacji	40
3.9 Przesłuch	44
4. URZĄDZENIA I SYSTEMY SPECJALNE.....	46
5. MODEL E.....	50
5.1 Wprowadzenie.....	50
5.2 Struktura <i>Modelu E</i>	51
5.2.1 Współczynnik R_0	53
5.2.2 Współczynnik I_s	55
5.2.3 Współczynnik I_d	566
5.2.4 Współczynnik I_e	57
5.2.5 Współczynnik „oczekiwania” A	58
5.2.6 Współczynnik Jakości Transmisji R	58
6. TESTY SUBIEKTYWNE	61
6.1 Metoda badania wyrazistości logatomowej.....	62
6.2 Metoda uśrednionej opinii słuchaczy <i>MOS</i>	63
6.3 Procedura wyznaczania współczynnika I_e	67
7. BADANIA SUBIEKTYWNE WYRAZISTOŚCI LOGATOMOWEJ.....	69
7.1 Zespół badań subiektywnych.....	69
7.2 Pomieszczenia pomiarowe	69
7.3 Symulacja połączenia telefonicznego.....	69
7.4 Procedura wyznaczania subiektywnej oceny W_L	71

8. ZASTOSOWANIE <i>MODELU E</i>	72
8.1 Przykłady obliczeń współczynnika jakości transmisji R ..	84
8.2 Wyznaczenie przybliżonych zależności $W_L=f(R)$ i $W_L=f(MOS)$	91
8.3 Ustalenie obiektywnego kryterium oceny R	94
9. PODSUMOWANIE WYNIKÓW.....	95
10 WNIOSKI.....	98
11. NORMY I WYMAGANIA	100
12. LITERATURA.....	113
ZAŁĄCZNIK .1.....	105
ZAŁĄCZNIK 2.....	115

DEFINICJE

wg PN-IEC 50(701) [47], Pr.PN-IEC 50(704) [48], PN-IEC 50(714) [49],
IEC 50(722) [50]

dB - jednostka poziomu sygnału elektrycznego mocy, napięcia lub prądu wyrażonego jako:

$$L = 10 \lg \frac{P}{P_o} = 10 \lg \frac{\frac{U^2}{R}}{\frac{U_o^2}{R}} = 20 \lg \frac{U}{U_o} = 20 \lg \frac{I}{I_o} [dB]$$

gdzie:

L-poziom mocy, napięcia i prądu,

P, U, I- wartości mocy [W], napięcia [V], prądu [A],

P_o, U_o, I_o- wartości odniesienia mocy [W], napięcia [V], prądu [A]

dBm- jednostka bezwzględnego poziomu mocy sygnału elektrycznego wyrażonego jako:

$$L_m = 10 \lg \frac{P}{P_o} = 10 \lg \frac{P[mW]}{1[mW]} [dBm]$$

W elektroakustyce częściej operuje się *bezwzględnym poziomem napięcia* wyrażonego jako:

$$L_m = 20 \lg \frac{U}{U_o} = 20 \lg \frac{U}{\sqrt{P_o R_o}} = 20 \lg \frac{U}{\sqrt{10^{-3} 600}} = 20 \lg \frac{U[V]}{0,775[V]} [dBm]$$

gdzie:

U- wartość skuteczna porównywanego napięcia sygnału w [V],

U_o- napięcie odniesienia w [V],

P_o – moc odniesienia równa 1mW,

R_o – rezystancja odniesienia równa 600Ω lub *R_o=Z_o*

W przypadku gdy mamy do czynienia z impedancją odniesienia (w postaci zespolonej), wówczas wartość odniesienia jest równa modułowi impedancji dla częstotliwości odniesienia równej 1020 Hz.

dBmp- jednostka wartości sygnału szumu, obliczona lub zmierzona z uwzględnieniem stosownej wagi, właściwej zarówno percepcji akustycznej ucha ludzkiego, jak również czułości typowej słuchawki telefonicznej. Indeks „p” oznacza uwzględnienie wagi psfometrycznej.

dBr – jednostka względnego poziomu mocy lub napięcia sygnału obliczanego według wzoru:

$$L_r = 20 \lg \frac{U_1}{U_2} [dB_r]$$

gdzie:

U_1, U_2 – porównywane wartości skuteczne napięć wyrażone w tych samych jednostkach.

Echo – niepożądany sygnał dochodzący do danego punktu inną drogą niż normalnie. Echo powstaje wskutek odbicia lub propagacji sygnału drogami pośrednimi, o dostatecznie dużej wielkości i opóźnieniu, aby był postrzegany w tym punkcie, jako wyraźne powtarzanie sygnału bezpośredniego.

Efekt lokalny (aparatu telefonicznego) – odtwarzanie przez wkładkę słuchawkową dźwięków oddziałujących na związany z nią mikrofon i przekazywanych bez zauważalnego opóźnienia przez układ antylokalny aparatu telefonicznego.

Efekt lokalny mowy – efekt lokalny wytworzony przez głos osoby mówiącej do mikrofonu aparatu telefonicznego.

Efekt lokalny szumu otoczenia – efekt lokalny wytworzony przez szum otoczenia.

Elementy końcowe są to urządzenia abonenckie do transmisji mowy tj. wszystkie rodzaje analogowych i cyfrowych telefonów stacjonarnych, telefony bezprzewodowe oraz telefony mobilne.

Elementy połączenia są to wszystkie typy urządzeń takie jak: centrale abonenckie, międzymiastowe analogowe i cyfrowe w sieciach publicznych i prywatnych.

Elementy transmisji są to różnego rodzaju łącza pomiędzy *Elementami Połączenia i do Elementów Końcowych*. Mogą to być tradycyjne łącza przewodowe, światłowodowe i radiowe. Poprzez te łącza mogą być transmitowane *sygnały mowy analogowe i/lub cyfrowe*.

Głośność jest subiektywną cechą wrażenia słuchowego, najlepiej jest więc określać ją w odniesieniu do głośności o ustalonej częstotliwości 1000 Hz. Jednostką głośności jest „fon”, który jest głośnością tonu odniesienia o poziomie natężenia (intensywności dźwięku) 40 dB.

Jakość transmisji głosu jest umowną wielkością służącą do scharakteryzowania łańcucha telefonicznego lub jakiegokolwiek jego części pod względem zdolności do wiernego przesyłania słownych wiadomości. Jakość transmisji głosu jest postrzegana przez użytkowników telefonu, uwzględnia ich oczekiwania i określone potrzeby odnośnie działania systemu telekomunikacyjnego.

Kodek układ przetworników A/C i C/A, który przeprowadza konwersję płynących od abonenta sygnałów analogowych na postać cyfrową i odwrotnie.

Kodek PCM (koder-dekoder PCM) to zestaw kodera i dekodera w modulacji kodowo-impulsowej działający w dwóch przeciwnych kierunkach transmisji jest umieszczony w jednym urządzeniu.

Łącze telefoniczne – zestaw dwóch kanałów telefonicznych umożliwiający obukierunkową transmisję telefoniczną

Modulacja PCM – przetwarzanie analogowo-cyfrowe sygnału dokonywane za pomocą operacji próbkowania, kwantowania i kodowania.

Obniżenie jakości transmitowanego sygnału mowy jest to niepożądana zmiana sygnału mowy powodująca pogorszenie jakości transmisji telefonicznej. Takie obniżenie jakości może być wywołane szumem, zniekształceniami, opóźnieniem i innymi zjawiskami.

Psofometr – przyrząd przeznaczony do pomiaru napięcia psofometrycznego szumu łącza. Psofometr zawiera filtr (układ ważący), którego charakterystyki są różne w zależności od typu łącza: telefoniczne, radiofoniczne. Wagi psofometryczne odpowiadają w przybliżeniu wpływowi napięć zakłócających o różnych częstotliwościach na ucho.

Przepływność cyfrowa binarna- liczba elementów binarnych przesyłanych w ciągu sekundy.

„*Punkt 0 dB_r*” jest to specjalny punkt odniesienia w obwodzie sieci telefonicznej, w którym sinusoidalny sygnał odniesienia o $f=1020$ Hz ma poziom 0 dBm. Poziomy sygnałów przechodzących przez „*punkt 0 dB_r*” *nie ważonych* oraz z wagą psofometryczną są wyrażane odpowiednio w dBm0 i dBm0p.

Sieć telefoniczna – sieć telekomunikacyjna przeznaczona przede wszystkim do telefonii. Sieć telefoniczna składa się z: *Elementów Końcowych*, *Elementów Połączenia* oraz *Elementów Transmisji*.

Sztuczny głos – złożony dźwięk emitowany zazwyczaj przez sztuczne usta o widmie mocy sygnału akustycznego odpowiadającym widmie przeciętnego głosu ludzkiego.

Sztuczne ucho – urządzenie przeznaczone do kalibracji słuchawek zawierające wzorcowy mikrofon do pomiaru ciśnienia akustycznego i sprzęgacz akustyczny i mające impedancję akustyczną równą w przybliżeniu impedancji przeciętnego ucha ludzkiego w danym paśmie częstotliwości.

Sztuczne usta – urządzenie zawierające głośnik umieszczony w obudowie i mające właściwości kierunkowe i promieniowania równe w przybliżeniu odpowiednim właściwościom ust ludzkich.

Szum otoczenia – całkowity szum akustyczny w sąsiedztwie osoby telefonującej. Szum ten wynika ze złożenia dźwięków pochodzących od wielu źródeł, bliskich i dalekich i może zakłócać rozmowę telefoniczną.

Sygnał mowy – sygnał na ogół elektryczny reprezentujący mowę lub inne dźwięki z zakresu częstotliwości akustycznych.

Średni wskaźnik opinii MOS jest to wartość średnia dla danego systemu telefonicznego wskaźników opinii wyznaczonych przez wszystkich uczestników eksperymentu subiektywnego.

Telefonia – rodzaj telekomunikacji przeznaczony głównie do wymiany informacji w postaci mowy.

Telefonomia jest to technika obiektywnych pomiarów elektroakustycznych i badań subiektywnych do oceny jakości transmisji zestawu łączy telefonicznych.

Tłumiennosc Głosności LR jest miarą skuteczności transmisji telefonicznej w planowaniu transmisji. Metoda *LR* jest obiektywnym pomiarem ważonej elektroakustycznej straty głośności mowy (w dB) pomiędzy pewnymi interfejsami w sieci telefonicznej. Gdy łącze pomiędzy interfejsami jest podzielone na części, suma tłumienności głośności poszczególnych części jest całkowitą tłumiennością.

Wskaźnik opinii to wartość na zdefiniowanej uprzednio skali opinii, jaką słuchacz przyporządkowuje swojej ocenie jakości telefonicznego systemu transmisyjnego. Skala zawiera na ogół pięć wartości ocen: bardzo dobra (5), dobra (4), dostateczna (3), mierna (2), niedostateczna (1). Wskaźniki opinii są wyznaczane podczas badań subiektywnych jakości łącza telefonicznego lub jego części.

WYKAZ SYMBOLI I OZNACZEŃ wg ETR 250 [2]

- ATM** (ang. *Asynchronous Transfer Mode*) - asynchroniczny rodzaj transmisji
- DCME** (ang. *Digital Circuit Multiplication Equipment*) - cyfrowe obwody mnożące
- DECT** (ang. *Digital European Cordless Telephony*) – cyfrowa telefonia bezprzewodowa
- ERP** (ang. *Ear Reference Point*) – punkt odniesienia ucha ludzkiego (lub sztucznego ucha)
- ETSI** (ang. *European Telecommunications Standards Institute*) – Europejska Organizacja Standardów telekomunikacyjnych
- FDM** (ang. *Frequency Division Multiplexing System*) - system multipleksowy z podziałem częstotliwości
- GOB** (ang. *Good Or Better*) – opinia słuchacza o jakości połączenia „*dobra* lub *bardzo dobra*”
- GSM** (ang. *Global System Mobile*) – system telefonii komórkowej (ruchomej)
- IEC** (ang. *International Telecommunications Union*) – Międzynarodowa Organizacja Telekomunikacyjna
- IRS** (ang. *Intermediate Reference System*) – pośredni system odniesienia
- LELR** (ang. *Listener Echo Loudness Rating*) – tłumienność głośności echa słuchacza
- LR** (ang. *Loudness Rating*) – tłumienność głośności
- LSTR** (ang. *Listener Side Tone masking Rating*) – efekt lokalny słuchacza
- MNRU** (ang. *Modulated Noise Reference Unit*) – układ odniesienia modulowanego szumu
- MOS** (ang. *Mean Opinion Score*) – średni wskaźnik opinii
- MRP** (ang. *Mouth Reference Point*) – punkt odniesienia ust ludzkich lub sztucznych ust
- NCP** (ang. *Network Connection Point*) – punkt połączenia sieci
- OLR** (ang. *Overall Loudness Rating*) – całkowita tłumienność głośności łącza telefonicznego

- OLL** (ang. *Open Loop Loss*) – strata otwartej pętli
- POW** (ang. *Poor Or Worse*) – opinia słuchacza o jakości połączenia „słaba lub zła”
- PCM** (ang. *Pulse Code Modulation*) – modulacja impulsowo-kodowa
- qdu** (ang. *quantizing distortion unit*) – jednostka zniekształceń kwantyzacji
- RLR** (ang. *Receive Loudness Rating*) – tłumienność głośności przy odbiorze
- SLR** (ang. *Sending Loudness Rating*) – tłumienność głośności przy nadawaniu
- SNR** (ang. *Signal-to Noise quantization Ratio*) – stosunek sygnału do skwantyzowanego szumu
- STMR** (ang. *Side Tone Masking Rating*) – efekt lokalny mówcy
- TBR** (ang. *Technical Basic for Regulation*) – norma ETSI jako podstawa do CTR
- TCL** (ang. *Terminal Coupling Loss*) – strata sprzężenia urządzenia końcowego
- TELR** (ang. *Talker Echo Loudness Rating*) – tłumienność głośności echa mówcy
- TME** (ang. *Terminating Early*) – przedwczesne zakończenie rozmowy telefonicznej
- TRP** (ang. *Transmission Reference Point*) – punkt odniesienia transmisji
- TDM** (ang. *Time Division Multiplex*) – system multipleksowy z podziałem czasu
- WEPL** (ang. *Weighted Echo Path Loss*) – ważona strata ścieżki echa
- XRLR** (ang. *Crosstalk Receive Loudness Rating*) – tłumienność głośności przesłuchu

1. WPROWADZENIE

W telefonii, gdzie mamy do czynienia z przekazem mowy na odległość istotna jest jakość odbieranych akustycznie wiadomości.

Jak wiadomo, do normalnego porozumiewania się w zupełności wystarcza, gdy sieć telefoniczna przenosi dźwięki o częstotliwościach z zakresu 300 Hz do 3400 Hz. Częstotliwość podstawowa tonu krztaniowego wynosi od kilkudziesięciu do kilkuset Hz, co oznacza, że nie zawsze jest transmitowana przez sieć. To jednak stwierdzono doświadczalnie, że nie ma to istotnego wpływu na jakość komunikacji słownej pomiędzy osobami.

Jakość mowy transmitowanej poprzez łącze telefoniczne zależy zarówno od czynników obiektywnych tj. parametrów technicznych urządzeń telekomunikacyjnych, za pośrednictwem których jest realizowane połączenie, jak i od czynników subiektywnych związanych z cechami użytkowników sieci [61], [63].

W analogowych sieciach telefonicznych na jakość mowy mają wpływ hałas otoczenia po stronie mówcy i słuchacza, tłumienie w torze przesyłowym oraz parametry urządzeń końcowych (telefonów) [8]. Współczesne sieci telefoniczne są prawie w całości cyfrowe. Analogowe są już tylko odcinki sieci od centrali do terminala abonenta. W technice cyfrowej hałas otoczenia i tłumienie mają mniejsze znaczenie. Brane są pod uwagę inne czynniki tj. wzrost efektu pogłosu mówcy, opóźnienia wynikające ze stosowania cyfrowych technik transmisyjnych, jak również z użycia nowych algorytmów w kodowaniu mowy [37],[38].

Wraz ze wzrostem różnego rodzaju usług telekomunikacyjnych mamy do czynienia z olbrzymią różnorodnością konfiguracji sieci, a co się z tym wiąże z bardzo wieloma kombinacjami czynników mających wpływ na jakość transmisji mowy.

„Pomiary jakości” mowy transmitowanej poprzez łącze telefoniczne powinny uwzględniać następujące subiektywne cechy: identyfikacja mówcy, naturalność brzmienia głosu mówcy, stopień swobody wymiany myśli, zrozumiałość przekazywanego tekstu, natężenie uwagi osób odbywających rozmowę telefoniczną, częstość pytań zwrotnych, głośność mowy, echo, opóźnienia, zniekształcenia głosu, zakłócenia w linii oraz hałas otoczenia.

Powszechność stosowania systemów telefonicznych do komunikacji głosowej implikuje określone metody i kryteria oceny jakości mowy transmitowanej.

W Polsce jak dotychczas jakość łącza telefonicznego, lub jego części pod względem przesyłania mowy jest oceniana na podstawie subiektywnych badań *wyrazistości logatomowej* według Polskiej Normy PN-90/T-05100 [1]. Wiele ośrodków naukowych w kraju tj. Politechnika Wroclawska, Politechnika Warszawska, Instytut Łączności w Warszawie, prowadzą badania związane z oceną subiektywną łączy telefonicznych (lub ich części). Stosowane są różne metody. W metodzie klasycznej [1] bierze udział grupa przeszkolonych osób (mówcy i słuchacze). Dopuszcza się aby rolę mówcy spełniał wysokiej klasy komputer [51, [67]. W metodzie „z wyborem” zaproponowanej przez naukowców z Politechniki Wroclawskiej [60],[65],[67] słuchacz ma do wyboru 10 wersji logatomów wyświetlonych na ekranie komputera. Kilku słuchaczy

jednocześnie wybiera według nich najwłaściwszy logatom. Istnieją również możliwości całkowicie obiektywnego pomiaru współczynnika wyrazistości logatomowej. Prace nad tym zagadnieniem trwają na Politechnice Wrocławskiej.

Liczne doświadczenia z zakresu oceny subiektywnej łączy telefonicznych prowadzą do wniosku, że wysoka zrozumiałość nie zawsze świadczy o dobrej jakości łączy pod względem transmisji mowy [62]. Dobitnym przykładem jest mowa syntetyzowana. Zrozumiałość takiej mowy jest prawie identyczna jak mowy naturalnej. W odczuciu słuchaczy taka mowa brzmi sztucznie, „metalicznie” i można się spodziewać, że jakość tej mowy zostanie oceniona jako niewystarczająca.

Można więc stwierdzić, że badania zrozumiałości mowy nie są wystarczające by w pełni ocenić jakość łańcucha telefonicznego pod względem transmisji sygnałów mowy. Konieczne jest zatem wprowadzenie nowych metod i miar oceny jakości łączy telefonicznego.

Do prognozowania i szacowania jakości transmisji głosu poprzez łączy telefoniczne służą modele matematyczne [45], [64]. Na świecie są stosowane następujące modele: „*Transmission Rating*” (USA), „*Information Index*” (Francja), „*Opine*” (Japonia), „*CATNAP 83* (Anglia). Są one z powodzeniem stosowane przez znaczące administracje telekomunikacyjne [46].

Jednak modele te nie uwzględniają zjawisk powstających w wyniku zastosowania nowych, cyfrowych technik transmisyjnych oraz algorytmów kodowania mowy. Obecnie w dobie szerokich możliwości zarządzania siecią stało się koniecznością udostępnienie projektantom i operatorom sieci nowych narzędzi i metod oceny jakości mowy transmitowanej.

Europejski Instytut Standardów Telekomunikacji (ETSI) opracował zgodnie z oczekiwaniami planistów i operatorów sieci i opracował nowy matematyczny model o nazwie *E-Model* [2],[52]. W modelu brane są pod uwagę obiektywne czynniki wynikające z konfiguracji i rodzaju elementów sieci, zastosowanych technik transmisji i sposobów kodowania mowy, obniżających przepływność informacyjną głosu. Model E uwzględnia również dostęp użytkowników do różnych systemów komunikacji np. DECT, GSM, wieloskokowych systemów satelitarnych i innych.

W Polsce nie ocenia się jakości łączy telefonicznych za pomocą jakichkolwiek modeli, zarówno tych istniejących jak i w fazie planowania nowych lub modernizowania starszych sieci. Brak jest również odpowiednich norm i wymagań niezbędnych do pełniejszej oceny systemów i urządzeń telekomunikacyjnych pod względem jakości mowy transmitowanej. Obowiązujące dokumenty normalizacyjne w kraju umożliwiają ocenę jakości mowy transmitowanej poprzez łączy telefoniczne jedynie na podstawie *współczynnika wyrazistości logatomowej* [1].

W wyniku analizy literatury światowej, dokumentów normalizacyjnych (ETSI, ITU-T) oraz polskich wymagań z zakresu oceny jakości mowy w sieciach telefonicznych stwierdzono, że nigdzie nie publikowano wyników łączących ocenę subiektywną *wyrazistości logatomowej* W_L z inną miarą oceny, a w szczególności ze *współczynnikiem jakości transmisji* R w oparciu o *Model E*.

W niniejszej rozprawie zostanie zastosowany *Model E* do oceny jakości sygnału mowy w połączeniu zestawionym w laboratorium, a odzwierciedlającym rzeczywiste łącze krajowe.

Celem niniejszej rozprawy jest znalezienie związku pomiędzy dotychczas stosowaną subiektywną oceną jakości sygnału mowy w łańcuchu telefonicznym - *współczynnikiem wyrazistości logatomowej W_L* , a nową obiektywną miarą w postaci *współczynnika oceny transmisji R* wyznaczonego w oparciu *Model E*.

2. ZAKRES I TEZY ROZPRAWY

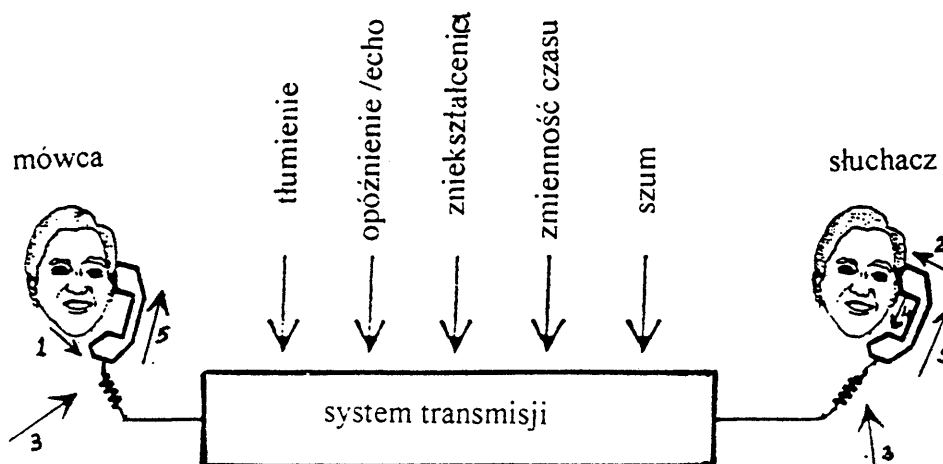
W niniejszej rozprawie została przedstawiona struktura *Modelu E* i szczegółowo omówiono zjawiska występujące podczas transmisji mowy. Przedstawiono również najważniejsze współczynniki uwzględnione w *Modelu E*, reprezentujące różnego rodzaju zniekształcenia mowy w łączy telefonicznym. Przeprowadzono subiektywne badania *wyrazistości logatomowej* 75 połączeń telefonicznych zasymulowanych i zrealizowanych w warunkach laboratoryjnych z udziałem zespołu badań subiektywnych Instytutu Łączności. Przeprowadzono również obiektywne pomiary parametrów telefonometrycznych tych 75 połączeń za pośrednictwem skomputeryzowanego zestawu pomiarowego duńskiej firmy Bruel & Kjaer. Obiektywne wyniki pomiarów posłużyły następnie do obliczeń *współczynników jakości transmisji R* oraz wyznaczenia miary subiektywnej w postaci *średniego wskaźnika opinii MOS*.

Tezy rozprawy postawiono następująco:

1. Można wyznaczyć statystycznie wiarygodną zależność pomiędzy subiektywną oceną *wyrazistości logatomowej W_L* , a obiektywną miarą jakości mowy transmitowanej w postaci *współczynnika jakości transmisji R* wyznaczonego za pośrednictwem *Modelu E*.
2. Można wyznaczyć statystycznie wiarygodną zależność pomiędzy subiektywną oceną *wyrazistości logatomowej W_L* , a *średnim wskaźnikiem opinii MOS* wyznaczonym przy pomocy *Modelu E*.

3. PARAMETRY TRANSMISJI

Kanał telekomunikacyjny utworzony pomiędzy ustami mówiącego abonenta, a uchem słuchacza składa się z wielu torów i elementów tworzących łącze telekomunikacyjne. Na rysunku 1 przedstawiono schematycznie parametry i czynniki mające wpływ na jakość połączenia telefonicznego.



1. Ciśnienie dźwięku wytwarzane przez mówcę,
2. Tor akustyczny transmisji głosu pomiędzy słuchawką mikrotelefonu i bębenkiem ucha słuchacza,
3. Hałas otoczenia,
4. Strata (tłumienie) na drodze pomiędzy słuchawką i mikrofonem mikrotelefonu słuchacza,
5. Strata (tłumienie) na drodze pomiędzy mikrofonem i słuchawką.

Rysunek 1

Parametry i czynniki mające wpływ na jakość połączenia telefonicznego

Sieć telekomunikacyjna składa się z trzech zasadniczych części:

- elementów końcowych (telefony: stacjonarne, bezprzewodowe i mobilne)
- elementów połączenia (centrale abonenckie, międzymiastowe)
- elementów transmisji (łącza: przewodowe, światłowodowe i radiowe).

Każdy z tych elementów w pewnym stopniu przyczynia się do pogorszenia jakości przesyłanego sygnału mowy.

Na jakość transmisji mowy w urządzeniach końcowych mają wpływ następujące czynniki:

- parametry transmisyjne telefonów tj. tłumienności głośności *SLR* i *RLR* aparatów telefonicznych,
- sprzężenia akustyczne ludzkich ust z uchem *STMR* i *LSTR*,

- charakterystyki skuteczności częstotliwościowej traktu nadawczego i odbiorczego,
- zniekształcenia nieliniowe sygnału mowy wprowadzane przez urządzenia końcowe,
- kodowanie i dekodowanie sygnału mowy,
- sprzężenia radiowe.

Czynniki centralowe mające wpływ na jakość mowy to:

- odbicia sygnałów podczas przejścia z linii 4-przewodowej na 2-przewodową i podczas odwrotnego procesu (zjawisko echa),
- szum obwodowy,
- kodowanie i dekodowanie sygnałów mowy (w centralach cyfrowych).

Na jakość transmisji analogowych sygnałów mowy w łączach mają wpływ:

- tłumienie łączy,
- zmiana kształtu charakterystyki częstotliwościowej,
- szумы elektryczne.

W przypadku transmisji cyfrowych sygnałów mowy w łączu powstają:

- opóźnienia sygnałów w łączach radiowych i satelitarnych,
- szum kwantyzacji.

Ważnym zagadnieniem z punktu widzenia jakości transmisji sygnałów mowy jest zarówno transmisja mowy przez różnego rodzaju łącza, jak również technika zwielokrotniania polegająca na tworzeniu kilku kanałów komunikacyjnych w jednym łączu. Obecnie w analogowych sieciach telefonicznych stosowane są różne techniki np. multipleksowanie z podziałem częstotliwości FDM (ang. *Frequency Division Multiplexing*). Źródłem zniekształceń sygnałów mowy jest szum, czas transmisji i opóźnienie grupowe. Systemy multipleksowania z podziałem czasu TDM (ang. *Time Division Multiplex*) stosują modulację kodowo-impulsową PCM do tworzenia kilku kanałów w jednym łączu. Głównym czynnikiem mającym wpływ na jakość transmisji w tych systemach jest czas transmisji.

W nowoczesnych urządzeniach stosuje się specjalne algorytmy kodowania, ażeby zmniejszyć szybkość transmisji bitowej każdego kanału komunikacyjnego. Takie algorytmy stosowane są np. w urządzeniach DCME (ang. *Digital Circuit Multiplication Equipment*).

Systemy te przyczyniają się do generowania dodatkowych zniekształceń wywołanych szumem kwantyzacji i opóźnieniami. Te z kolei wynikają z zastosowania technik pakietyzacyjnych np. techniki ATM (ang. *Asynchronous Transfer Mode*).

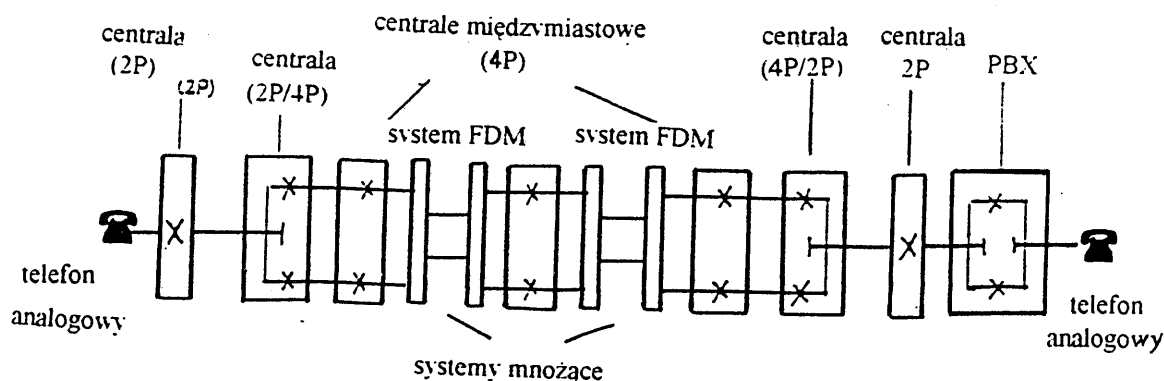
3.1 Konfiguracje sieci

Obok zniekształceń wynikających z zastosowania różnych elementów sieci (urządzenia końcowe, centrale, łącza), główny wpływ na jakość transmisji głosu ma konfiguracja sieci telekomunikacyjnej. Zniekształcenia całego łańcucha telekomunikacyjnego są spowodowane zniekształceniami poszczególnych elementów sieci. W istniejących sieciach telefonicznych mamy do czynienia z dużą różnorodnością konfiguracji sieci telekomunikacyjnych. Ze względu na bardzo dużą liczbę możliwych konfiguracji dalej zostaną przedstawione tylko cztery z możliwych konfiguracji.

Konfiguracje sieci zależą od:

- *długości połączenia*, czy jest to połączenie krótkie (połączenia lokalne), o średniej długości (połączenia międzymiastowe), czy długie (połączenia regionalne i międzynarodowe),
- *typu połączenia* (pełne cyfrowe, pełne analogowe, analogowo-cyfrowe)
- *rodzaju składników sieci* (elementy końcowe, centrale, łącza), stosowanych w różnych sieciach publicznych i prywatnych.

Na rysunkach od 2 do 5 przedstawiono cztery reprezentatywne przykłady konfiguracji sieci najczęściej spotykanych w rzeczywistych łączach telekomunikacyjnych. Rysunek 2 przedstawia typową konfigurację sieci telekomunikacyjnej dla pełnego analogowego połączenia.

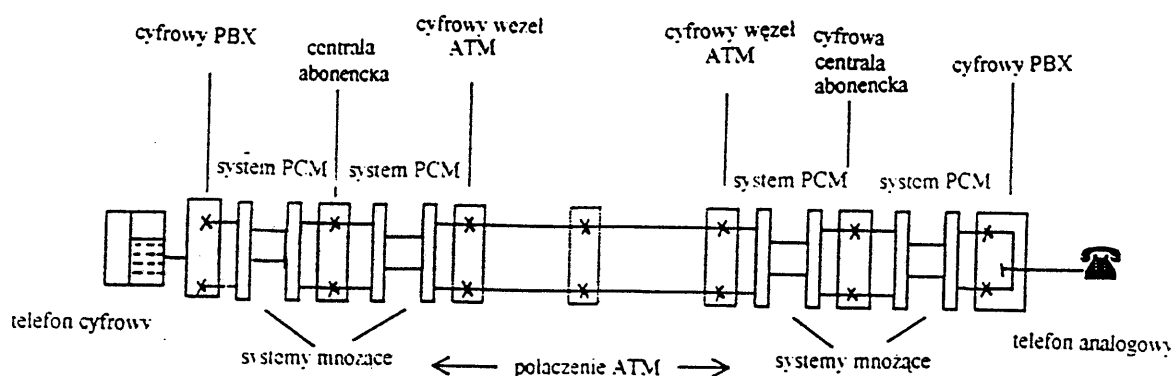


Rysunek 2

Przykład pełnego połączenia analogowego

Najważniejszym parametrem w tej konfiguracji, decydującym o jakości transmisji mowy jest *całkowita tłumienność głośności OLR*. Na obniżenie tej jakości ma również wpływ szum i charakterystyka skuteczności częstotliwościowej toru telekomunikacyjnego, zjawisko odbicia sygnałów mowy podczas przejścia z linii 4-przewodowej na 2-przewodową i w procesie odwrotnym.

Na rysunku 3 przedstawiono przykład połączenia telefonu cyfrowego z telefonem analogowym za pośrednictwem techniki ATM



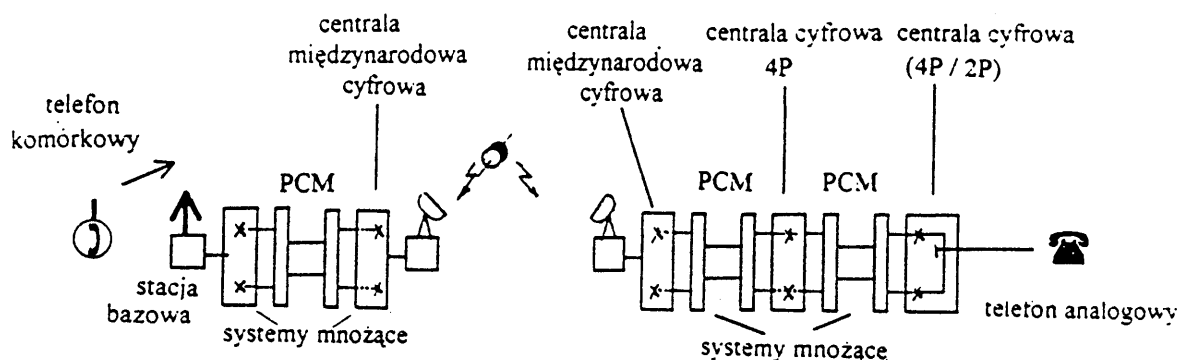
Rysunek 3

Przykład konfiguracji połączenia telefonu cyfrowego z telefonem analogowym za pośrednictwem techniki ATM

W tej konfiguracji główne zniekształcenia powstają z powodu występowania zjawiska efektu lokalnego mówcy w telefonie cyfrowym. Wynika to w głównej mierze z czasu transmisji sygnału dodatkowo powiększonego przez układy pakietyzacyjne ATM. Na poziom zniekształceń ma również wpływ zjawisko odbicia sygnału w odległych hybrydach końcowych.

Na rysunku 4 podano przykład konfiguracji połączenia telefonu komórkowego (wg standardu GSM) z telefonem analogowym poprzez łącze satelitarne.

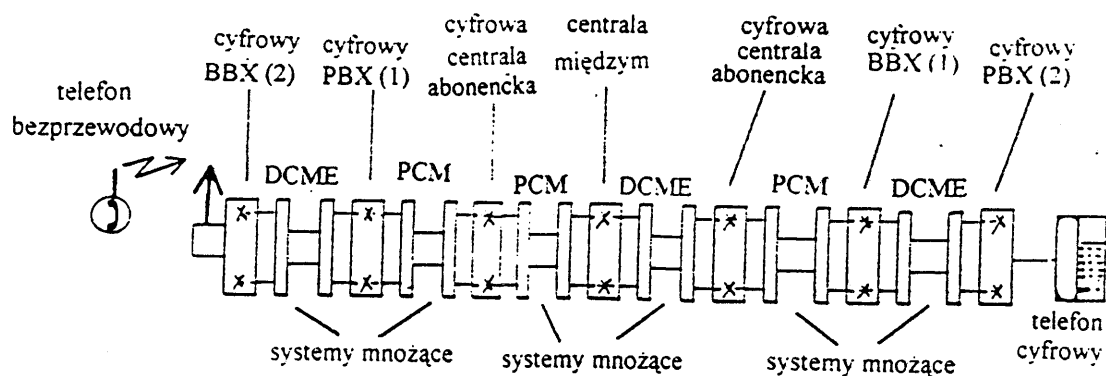
W tej konfiguracji na jakość mowy transmitowanej ma istotny wpływ czas transmisji w jedną stronę (opóźnienie) pomiędzy abonentami.



Rysunek 4

Przykład konfiguracji połączenia telefonu komórkowego (wg standardu GSM) z telefonem analogowym poprzez łączy satelitarne

Ostatnio na świecie ze względów ekonomicznych obserwuje się wzrost zastosowań cyfrowych systemów zwielokrotniających DCME zarówno w sieciach publicznych jak i w prywatnych. Są to urządzenia, w których stosowane są specjalne algorytmy kodowania zmniejszające szybkość transmisji bitów. Przykład konfiguracji, w której wykorzystywane są urządzenia DCME przedstawiono na rysunku 5.



Rysunek 5

Przykład konfiguracji połączenia telefonu bezprzewodowego z telefonem cyfrowym poprzez urządzenia DCME

Technika ta powoduje dodatkowy wzrost czasu transmisji sygnałów mowy, a więc pogłębia się efekt opóźnienia.

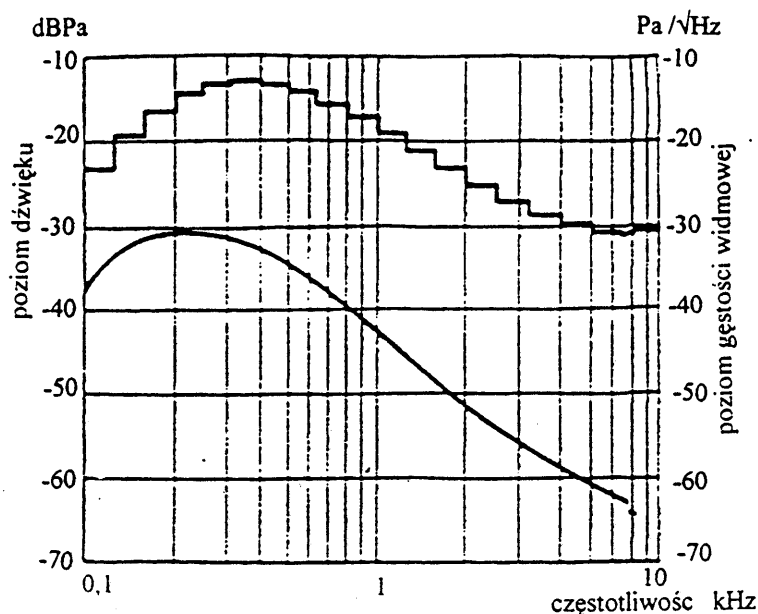
3.2 Parametry mowy i słuchu człowieka

Dźwięki mowy powstają na skutek drgań strun głosowych (napinanie i zwalnianie) podczas przepływu powietrza z płuc. Drgające powietrze przechodzi przez usta i nos. Na brzmienie głosu mają wpływ: budowa strun głosowych, kształt podniebienia i jamy nosowej, ustawienie języka, zębów i warg.

Mowa ludzka ma dwie zasadnicze cechy. Pierwsza reprezentuje indywidualne właściwości głosu mówcy, który jest scharakteryzowany przez ton krtaniowy niższy u mężczyzn (średnio 120 Hz), a wyższy u kobiet (średnio 240 Hz) oraz przez sposób wypowiedzania głosek. Ta cecha informuje słuchacza *kto mówi*. Druga cecha zależy od wypowiedzanej treści i informuje *co mówi* dana osoba. W teorii mowy struny głosowe są traktowane jako generator częstotliwości akustycznych, a trakt głosowy jako zespół filtrów. Mowa więc składa się z pewnej liczby dźwięków o określonym brzmieniu, które umożliwiają wyrażenie i przekazywanie myśli drogą akustyczną. Liczne badania pozwoliły na ustalenie wartości poziomu ciśnienia akustycznego mowy. Średni poziom ciśnienia akustycznego dźwięków mowy w odległości 1 m wynosi -30 dB względem 1 Pa.

Dla celów telefonii Zalecenie ITU-T P.79 [33] podaje poziom ciśnienia dźwięku w punkcie *MRP* (ang. *Mouth Reference Point*) i wynosi $-4,7$ dB względem 1 Pa. Poziom ten nazywany jest „normalnym poziomem mowy” i stosowany jest w pomiarach laboratoryjnych.

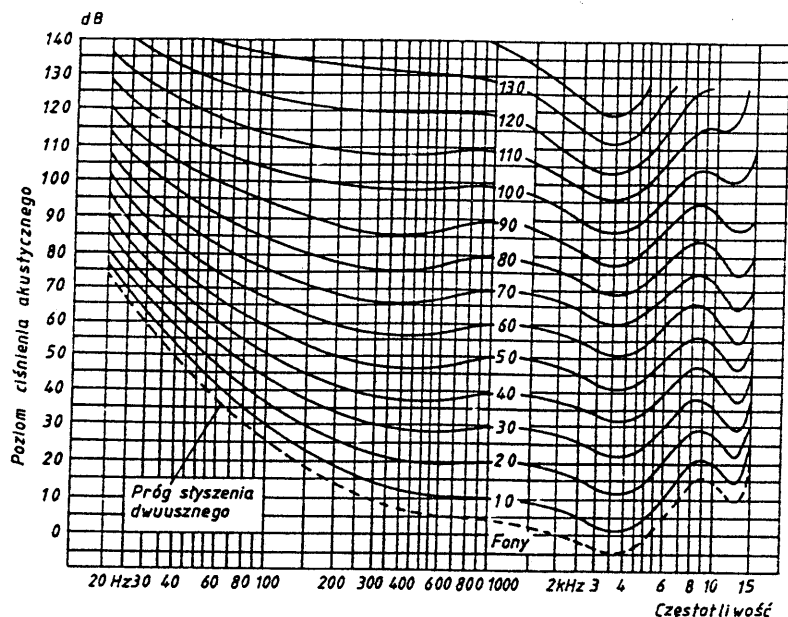
W praktyce, użytkownicy telefonów różnią się poziomem głosu, a także w różny sposób trzymają mikrofon względem własnych ust. Dlatego dopuszcza się wahanie poziomu mowy około 4 dB wokół wartości średniej. Widma częstotliwościowe głosów różnych ludzi są bardzo zróżnicowane. Dla celów pomiarów laboratoryjnych w Zaleceniu ITU-T P.50 [3] zostało wprowadzone pojęcie sztucznego głosu, który symuluje długoterminowy rozkład widma przeciętnego głosu ludzkiego – rys.7.



Rysunek 7

Długoterminowe widmo przeciętnego głosu ludzkiego symulowanego przez „sztuczny głos”

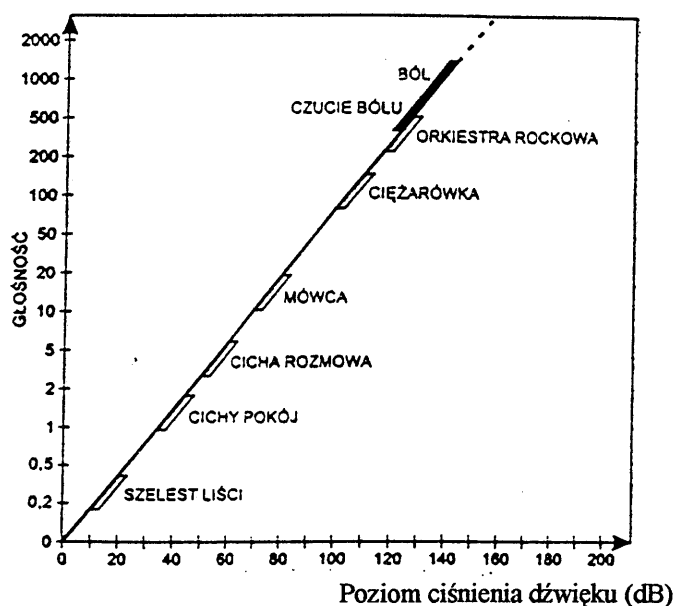
Przebiegi akustyczne wytwarzane przez źródła dźwięku są odbierane przez człowieka i przetwarzane na wrażenia słuchowe za pomocą organu słuchu. Ucho jest organem bardzo czułym i elastycznym. Z jednej strony potrafi ono reagować na niezmiernie słabe dźwięki, z drugiej zaś strony potrafi wytrzymać uderzenia bardzo silnych fal dźwiękowych. Ucho ma również właściwości selektywne i jest w stanie wyodrębnić jeden określony głos w hałasującym tłumie. Zakres częstotliwości słyszalnych jest ograniczony budową anatomiczną ucha. Najmniejszą częstotliwością słyszalną przez człowieka jest 16 Hz, a największą zaś 17-18 kHz. Podobnie istnieją granice związane z natężeniem dźwięku. Dźwięki słabe są w ogóle niesłyszalne, natomiast dźwięki bardzo silne powodują ból ucha, a nawet mogą doprowadzić do uszkodzenia błony bębenkowej. Zakres od wartości ciśnień akustycznych dźwięków, przy których ucho zaczyna odbierać wrażenia dźwiękowe do ciśnień wywołujących wrażenie bólu wyznaczają granice słyszalności. Głośność dźwięku jest zależna od jego natężenia (intensywności) i częstotliwości. Głośność jest wrażeniem subiektywnym, najlepiej jest więc określać ją w odniesieniu do głośności tonu o ustalonej częstotliwości. Za ton odniesienia przyjęto dźwięk o częstotliwości 1000 Hz. Na rysunku 8 przedstawiono krzywe jednakowego poziomu głośności wg ISO 226 [4].



Rysunek 8

Krzywe jednakowego poziomu głośności - wg [4].

Tę rodzinę charakterystyk zwanych *krzywymi jednakowego poziomu głośności* otrzymano na podstawie wielu pomiarów subiektywnych dwuosobnego odbioru dźwięków w warunkach pola swobodnego. Badania te polegały na porównaniu tonu odniesienia 1000 Hz o poziomie ciśnienia 40 dB i czasie trwania 0,5 sekundy z tonami o innych częstotliwościach i poziomach ciśnienia. Zależność głośności od poziomu ciśnienia dźwięku przedstawia rysunek 9 – wg ISO 226 [4].



Rysunek 9

Zależność poziomu głośności od poziomu ciśnienia dźwięku – wg [4].

Jednostką poziomu głośności jest *fon*. Jest to poziom głośności tonu odniesienia 1000 Hz o poziomie ciśnienia 40 dB. *Fon* jest liczbowo równy decybelowi tylko dla tonu 100 Hz.

W telefonii mamy do czynienia ze słuchaniem jedno-usznym w warunkach pola rozproszonego w ograniczonym paśmie częstotliwości od 300 Hz do 3400 Hz. Przy słuchaniu jedno-usznym wrażenie głośności jest mniejsze niż przy dwuusznym. Dla ustalonego dźwięku w polu swobodnym próg czułości będzie o 3 dB wyższy niż przy słuchaniu dwuusznym. Często dźwiękom mowy towarzyszą dźwięki o charakterze bardzo złożonym tj. hałas uliczny, muzyka, hałas wentylatorów i urządzeń biurowych. Wówczas wrażenie głośności jest skomplikowanym zjawiskiem i zależy ono od wielu czynników.

Dla celów telefonometrii doświadczalnie wyznaczono tzw. „normalny poziom słyszenia”, który zgodnie z Zaleceniem P.79 ITU-T wynosi -18 dB względem 1 V w punkcie odniesienia *ERP* (ang. *Ear Reference Point*).

3.3 Tłumienie w transmisji sygnału mowy pomiędzy mówcą i słuchaczem

Elektroakustyczna droga sygnału mowy od abonenta mówiącego do abonenta słuchającego poprzez łącze telekomunikacyjne składa się z kilku części. Każda z nich w różnym stopniu wpływa na całkowitą tłumienność połączenia. Początek łańcucha telefonicznego stanowi *punkt odniesienia ust MRP*, natomiast koniec tego toru określa *punkt odniesienia ucha ERP*. Obydwa pojęcia są zdefiniowane w Zaleceniu ITU-T P.64 [5].

W telefonii, gdzie źródłem dźwięku jest przede wszystkim głos ludzki gdzie pasmo częstotliwości jest ograniczone od 300 Hz do 3400 Hz znaleziono prosty model odpowiedni do oszacowania wrażeń głośności w postaci ważonych elektroakustycznych strat tzw. *tłumienności głośności LR*, pomiędzy pewnymi interfejsami w sieci telekomunikacyjnej. To podejście jest bardziej praktyczne niż posługiwanie się wartościami bezwzględny poziomu głosu. W Zaleceniu ITU-T P.79 [33] są stosowane następujące oznaczenia tych elektroakustycznych strat odniesionych do poszczególnych interfejsów w sieci - rys.10:

- *OLR całkowita tłumienność głośności* pomiędzy ustami abonenta mówiącego, a uchem abonenta słuchającego.
- *SLR tłumienność głośności przy nadawaniu* pomiędzy ustami abonenta mówiącego i elektrycznym interfejsem sieci.
- *RLR tłumienność głośności przy odbiorze* pomiędzy elektrycznym interfejsem, a uchem abonenta słuchającego.

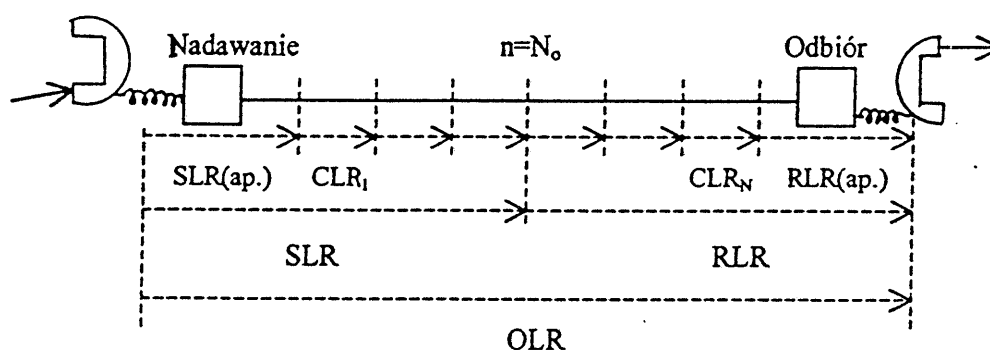
- *CLR* tłumienność głośności obwodu pomiędzy dwoma elektrycznymi interfejsami w sieci.

Uwaga 1.

W telefonometrii w zakresie pomiaru tłumienności głośności mówca i słuchacz są reprezentowani odpowiednio przez „sztuczne usta” i „sztuczne ucho”. Konstrukcje i parametry elektroakustyczne tych urządzeń są dokładnie opisane w Zaleceniach ITU-T P.51[6] i P.57 [7].

Uwaga 2.

W planie transmisji model *LR* jest stosowany na przykład, jeśli obwód pomiędzy interfejsami jest podzielony na sekcje, suma tłumienności głośności wnoszonych przez poszczególne sekcje równa się całkowitej tłumienności głośności *OLR*.



Rysunek 10

Rozkład tłumienności głośności w połączeniu telefonicznym.

Ważone tłumienie elektroakustyczne pomiędzy punktami *MRP* i *ERP* jest opisane przez całkowitą tłumienność głośności (*OLR*), które jest sumą tłumienności głośności aparatów telefonicznych przy nadawaniu (*SLR*) i odbiorze (*RLR*) oraz tłumienności głośności obwodów elektrycznych (*CLR*) – patrz rys.10 i wzór 1.

$$OLR = SLR + RLR + CLR \quad (1)$$

Jak wspomniano w planie transmisji tłumienność głośności jest obiektywnym pomiarem ważonych elektroakustycznych strat pomiędzy pewnymi interfejsami w sieci telekomunikacyjnej.

$$SLR = SLR(ap) + \sum_{n=1}^{No} CLR_n \quad (2)$$

$$RLR = RLR(ap) + \sum_{n=No+1}^N CLR_n \quad (3)$$

Tłumiennosc głośności obwodu CLR równa jest stracie głośności obwodów dla częstotliwości odniesienia 1020 Hz. Zasada ta obowiązuje dla nieobciążonych linii abonenckich oraz gdy obwód ma płaską charakterystykę skuteczności częstotliwościowej. Tłumiennosc głośności kabla abonenckiego można oszacować według relacji:

$$CLR = K\sqrt{RC} \quad [\text{dB/km}] \quad (4)$$

gdzie:

R jest rezystancją kabla w Ω/km ,

C jest pojemnością kabla w nF/km ,

$K=0,015$ dla kabli zakończonych rezystancją 600 Ω ,

$K=0,016$ dla kabli zakończonych impedancją.

Dla zapewnienia odpowiedniej jakości transmisji mowy wystarczający jest zakres częstotliwości od 300 Hz do 3400 Hz. Jak wspomniano w punkcie 3.2 ucho może być traktowane jako zespół filtrów pasmowo-przepustowych rozmieszczonych równomiernie na logarytmicznej skali częstotliwości (tzw. pasma krytyczne). Ta koncepcja jest wykorzystana w modelu LR . Jeśli sygnał akustyczny w pewnym paśmie częstotliwości przewyższa próg słyszalności, to odpowiedni filtr wytwarza sygnał wyjściowy. To oznacza, że sygnału wyjściowego nie ma, gdy sygnał akustyczny nie przekracza progu słyszalności. Sygnały z poszczególnych filtrów są dodawane i w ten sposób zostaje zasymulowane wrażenie głośności.

Dla poziomów ciśnień dźwięków mowy, głośność nie może być wyrażona w żadnym razie jako proste dodawanie mocy, ani napięcia, lecz jako suma logarytmów wartości wyjściowych filtrów. Procedura ta może być zapisana równością (5), która obejmuje poziomy dźwięków od bardzo niskich do normalnych.

Wielkość LR jest równaniem reprezentującym tłumienność głośności

$$LR = L_0 \frac{10}{m} \cdot \lg \left[\sum_{i=1}^N K_i \cdot 10^{-0,1mL} \right] \quad (5)$$

gdzie:

L_0 jest wartością stałą zależną od tego jaka tłumienność głośności jest obliczana,

N jest liczbą odpowiednich filtrów pasmowo przepustowych,

i jest numerem filtru o i -tej częstotliwości środkowej f_i ,

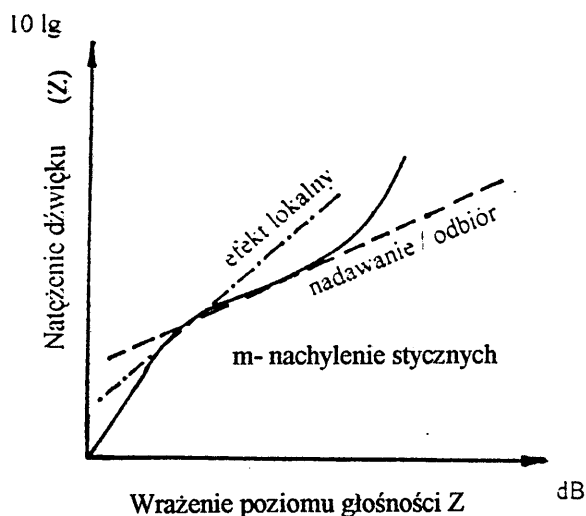
(Zwykle częstotliwości f_i są wybrane z 1/3 oktawowymi odstępami zaczynając od 200 Hz do 4000 Hz, czyli $N=14$),

L_i jest tłumieniem w dB sygnału o częstotliwości f_i ,

K_i jest współczynnikiem wagowym dla częstotliwości f_i ,

m jest nazywany „współczynnikiem wzrostu głośności”

Wartość współczynnika m wynika z relacji pomiędzy bodźcem akustycznym, a jego wrażeniem słuchowym. Doświadczenia psychoakustyczne Webera i Fechnera w odniesieniu do wrażeń słuchowych doprowadziły do wniosku, że odczuwalny poziom głośności jest proporcjonalny do logarytmu wywołującego to wrażenie natężenia dźwięku. Na rysunku 11 zilustrowano prawo Webera-Fechnera.



Rysunek 11
Prawo Webera-Fechnera

Jest to zależność nieliniowa i może być aproksymowana przez linie proste styczne do przebiegu funkcji w szerokim zakresie poziomów. W telekomunikacji przyjęto taką szerokość pasma częstotliwości (300 Hz - 34000 Hz), że współczynnik m jest niezależny od częstotliwości i poziomów dźwięków mowy spotykanych podczas normalnej rozmowy telefonicznej.

Według Zalecenia ITU-T P.79 [33] wartość współczynnika dla poziomów spotykanych w telefonii przy nadawaniu i odbiorze wynosi $m=0,175$ oraz dla efektu lokalnego $m=0,225$.

Współczynniki W_i we wzorze (5) mają takie właściwości, że w rozpatrywanym zakresie częstotliwości ich suma równa się 1 - wzór (6).

$$\sum_{i=1}^N K_i = 1 \quad (6)$$

Współczynniki K_i wyrażają:

- widmo głosu „przeciętnego” mówcy,
- zdolność percepcji słuchowej „przeciętnego” słuchacza,
- skuteczność częstotliwościową „nominalnego” toru dla określonych tłumienności głośności LR (w trybie nadawania lub odbioru).

Interesującym wydaje się być fakt, że dla małych wartości m i umiarkowanego rozrzutu wartości L_i wzór 5 można przekształcić do prostej postaci:

$$LR = L_o + \sum_{i=1}^N K_i L_i \quad (7)$$

Ta liniowa aproksymacja uzasadnia dlaczego całkowita tłumienność głośności OLR jest sumą tłumienności głośności poszczególnych części połączenia (wzór 1). Jeżeli wartość m jest około 0,2, a rozrzut wartości L_i jest mniejszy niż 10-15 dB, to zależność (7) może być przedstawiona następująco:

$$LR = \frac{10}{m} \lg \left[\sum_{i=1}^N 10^{\frac{-m}{10}(W_i + L_i)} \right] \quad (8)$$

Wartości współczynników L_o i K_i mogą być zastąpione wartością W_i w wykładniku, gdzie

$$W_i = L_o + \frac{m}{10} \lg \left[\frac{1}{K_i} \right] \quad (9)$$

W Zaleceniu ITU-T P.79 [33] podano w tabelach współczynniki wagowe do obliczania tłumienności głośności LR przy nadawaniu, odbiorze, połączenia i całkowitą LR (tabela A.2/P.79) oraz współczynniki wagowe do obliczania $STMR$ (tabela B.2/P.79).

Jak wcześniej wspomniano różne elementy sieci (urządzenia końcowe, centrale, łącza) w różnym stopniu wpływają na całkowitą charakterystykę skuteczności częstotliwościowej.

Największy wpływ mają charakterystyki mikrotelefonów przy nadawaniu i odbiorze, tłumienie analogowych linii abonenckich oraz tłumienie obwodów 4-przewodowych.

Należy zauważyć, że charakterystyki mikrotelefonów mogą się zmieniać w zależności od tego jak mówca trzyma mikrotelefon względem ust. Ten fakt znajduje odzwierciedlenie w przebiegu charakterystyki częstotliwościowej na nadawanie. Przyjmuje się za normalne odchylenie około 4 dB od wartości nominalnej $-4,7$ dBPa.

Na kształt charakterystyk częstotliwościowych przy odbiorze duży wpływ ma szczelność pomiędzy uchem ludzkim i słuchawką mikrotelefonu. Szczególnie ma to znaczenie w zakresie niższych częstotliwości-rys.14.

Z drugiej strony mamy do czynienia ze stratami w 4-przewodowach częściach połączenia, składających się z systemów *FDM* i *PCM*. Podobnie jak w centralach cyfrowych wymaga się, aby te systemy pracowały w ograniczonym zakresie tłumień. Ucho ludzkie nie jest zbyt czułe nawet na duże zmiany całkowitej skuteczności częstotliwościowej, dlatego potrzebna jest kontrola tłumienia 4-przewodowego łącza, aby zabezpieczyć sieć przed zjawiskiem niestabilności.

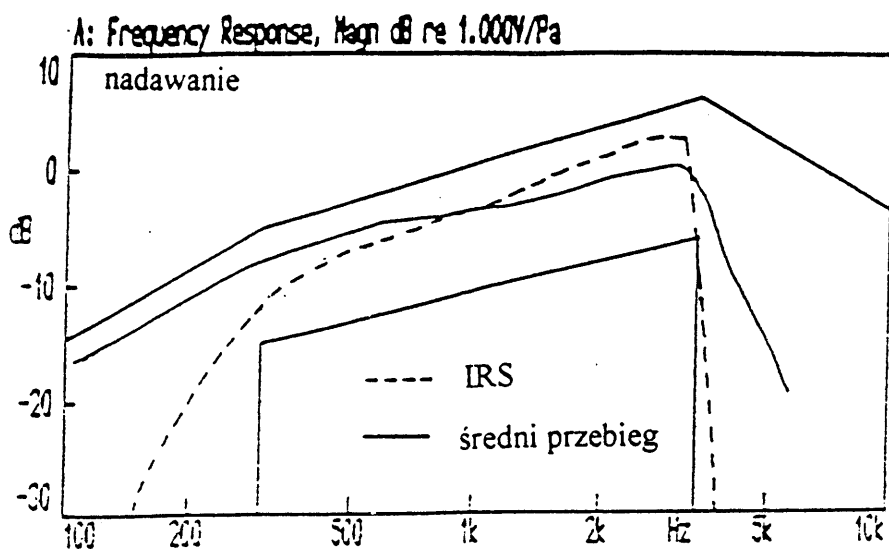
Całkowita skuteczność częstotliwościowa jest równa sumie skuteczności częstotliwościowych poszczególnych części łącza.

2-przewodowe części obwodu składające się z pętli 4-przewodowej mogą mieć różne charakterystyki skuteczności częstotliwościowej w dwóch kierunkach, które poza tym zależą od skuteczności częstotliwościowej urządzeń końcowych.

3.3.1 Charakterystyka częstotliwościowa aparatu telefonicznego.

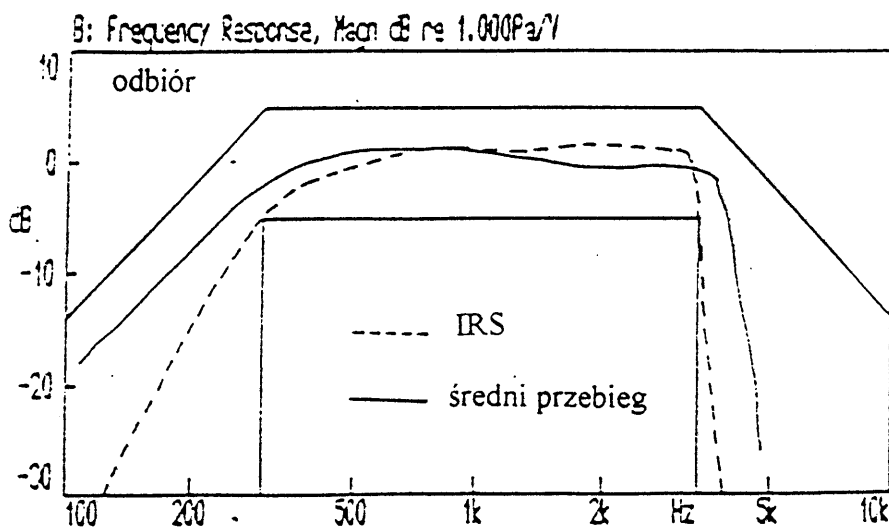
Charakterystyki skuteczności częstotliwościowej telefonu przy nadawaniu i odbiorze są mierzone stosownie do wymagań ITU-T P.64 [8] i P.65 [9].

W ramach badań homologacyjnych prowadzonych w *Instytucie Łączności* zmierzono wiele typów aparatów telefonicznych, z których wybrano wyniki pomiarów 5 typów aparatów polskich i 5 zagranicznych dopuszczonych do stosowania w państwowej sieci telefonicznej. Na rysunkach 12 i 13 przedstawiono uśrednione charakterystyki częstotliwościowe (przy nadawaniu i odbiorze) 10 telefonów oraz dla porównania przebiegi aparatu stanowiącego pośredni wzorzec odniesienia *IRS* w zakresie częstotliwości 300-3400 Hz.



Rysunek 12

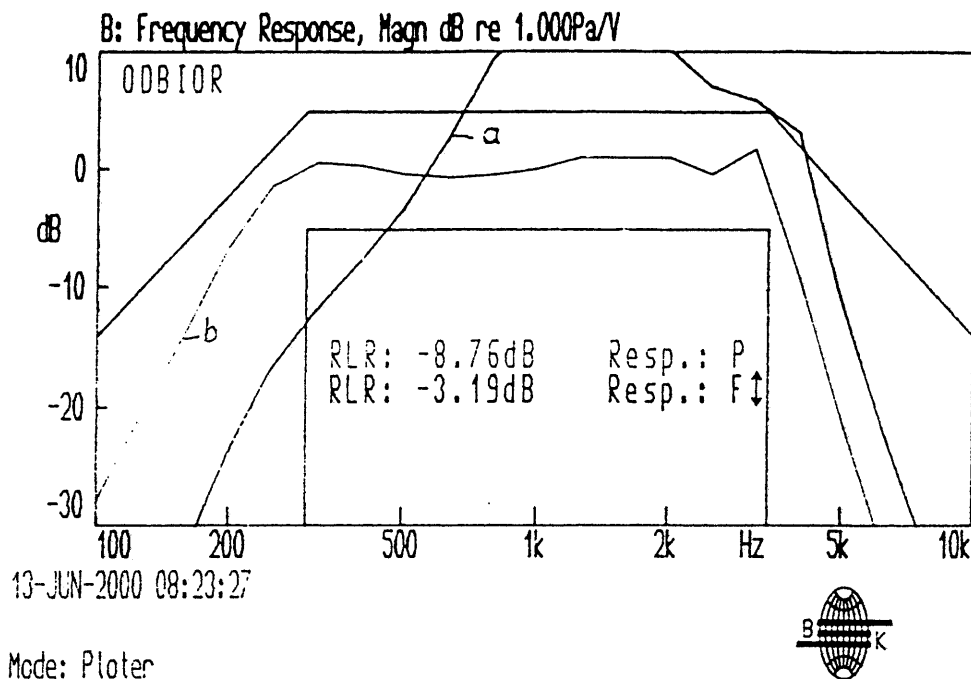
Charakterystyka częstotliwościowa przy nadawaniu: aparatu IRS i uśredniona charakterystyka 10 aparatów telefonicznych (polskich i zagranicznych).



Rysunek 13

Charakterystyka częstotliwościowa przy odbiorze aparatu IRS i uśredniona charakterystyka 10 aparatów telefonicznych (polskich i zagranicznych).

Należy dodać, że charakterystyki odbiorcze są mierzone w warunkach laboratoryjnych, gdy muszla słuchawkowa szczelnie przylega do sztucznego ucha. W rzeczywistości nie ma idealnej szczelności pomiędzy słuchawką, a uchem ludzkim. Ten rodzaj nieszczelności może spowodować bardzo duże i różne zniekształcenia tłumieniowe - rys.14.



Rysunek 14

Przykład wpływu nieszczelności akustycznej pomiędzy standardową muszlą słuchawkową (o pojemności $V= 4,5 \text{ cm}^3$) a uchem na charakterystykę odbiorczą:

- w warunkach normalnego użytkowania,
- w warunkach dużej szczelności (przy pomiarach laboratoryjnych).

Rysunek 14 odnosi się do konwencjonalnego odbiornika słuchawki telefonicznej. Odbiorniki z dużą impedancją akustyczną będą powodować większe tłumienie niższych częstotliwości, natomiast odbiorniki z małą impedancją akustyczną charakteryzują się lepszą skutecznością odbioru w zakresie niskich częstotliwości. . Dla słuchawek wykorzystywanych w połączeniach telefonicznych, w których stosowane są różne typy koderów mowy o małej przepływności informacyjnej, tak jak to ma miejsce w telefonii komórkowej, bardziej płaska charakterystyka skuteczności częstotliwościowej przy nadawaniu w porównaniu z przebiegiem uzyskiwanym przy użyciu aparatu IRS, może w rezultacie dać nieznaczną poprawę jakości transmisji mowy.

3.3.2 Tłumienie linii abonenckiej

Analogowe linie abonenckie składają się prawie wyłącznie z nieobciążonych kabli. Tłumienie kabli zależy od ich parametrów własnych, od ich obciążeń i długości. Metody obliczenia charakterystyk tłumienności częstotliwościowej są znane i łatwo jest je implementować programowo.

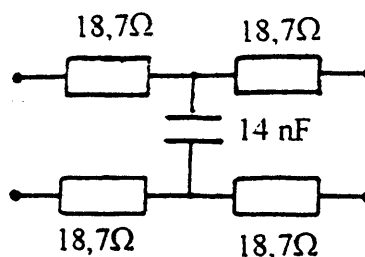
W aneksie do krajowego planu transmisji KPT-92 pkt. 4 [10] podano, że do pomiarów telefonometrycznych powinna być używana linia sztuczna odwzorowująca tor kablowy (miedziany) typu XTKMX z żyłami o średnicy przekroju \varnothing 0,4 mm. Średnie parametry jednostkowe powyższego kabla dwuprzewodowego są następujące:

- Rezystancja jednostkowa $R_j = 271 \Omega/\text{km}$,
- Pojemność jednostkowa $C_j = 50 \text{ nF}/\text{km}$,
- Indukcyjność jednostkowa $L_j = 0,6 \text{ mH}/\text{km}$,
- Tłumienność jednostkowa $A_j = 1,78 \text{ dB}/\text{km}$,
- Impedancja falowa $Z_j = 919,0 \exp.+j44,5$.

Nominalne parametry elementu linii o tłumienności falowej 0,5 dB dla częstotliwości 1020 Hz są następujące:

- długość $l_n = 0,280 \text{ km}$,
- rezystancja $r_n = 75,88 \Omega$,
- pojemność $c_n = 14 \text{ nF}$.

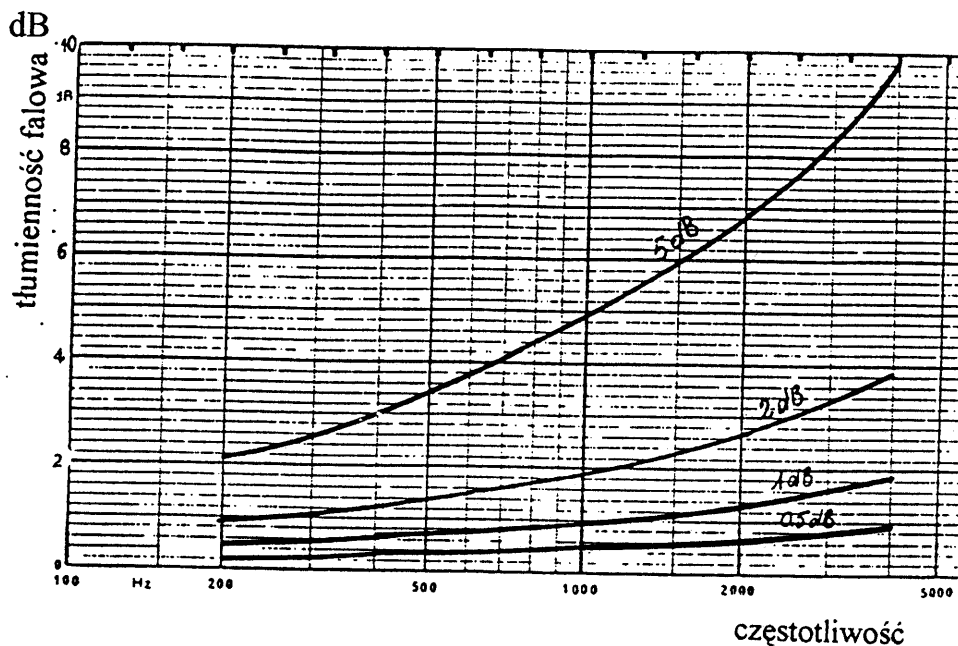
Struktura elementu sztucznej linii odzwierciedlającego odcinek rzeczywistej linii jest zasymulowana przez czwórnik typu H –rys. 15.



Rysunek 15

Czwórnik typu H odzwierciedlający jeden segment rzeczywistej linii tłumienności falowej 0,5 dB.

Na rysunku 16 przedstawiono tłumienności falowe linii sztucznej symulującej nieobciążony kabel \varnothing 0,4 mm Cu typu *XTKMX*, w funkcji częstotliwości.



Rysunek 16

Tłumienność falowa linii sztucznej symulującej nieobciążone kable o długościach od 0,28 km do 2,8 km

3.3.3 Tłumienie obwodów 4-przewodowych

W przeszłości obwody 4-przewodowe mogły być kształtowane przez dużą liczbę systemów analogowych FDM w układzie posobnym. Dla takich konfiguracji bezpośrednio dodawano tłumienności w pasmach przepustowych. Aby zabezpieczyć się przed zbyt małym tłumieniem (nawet ujemnym) otwartej pętli, które w rezultacie może spowodować gwizdy i niestabilność obwodu, konieczne było ograniczenie tłumienia do 0,5 dB przypadające na obwód. Takie same warunki narzucono, gdy pewna liczba systemów PCM (jako tzw. „wyspy cyfrowe”) były wzajemnie połączone z systemami analogowymi. W wyniku tego jest bardzo łatwo osiągnąć oczekiwane zakresy tłumień w pasmach przepustowych. Obecnie w nowoczesnych sieciach, gdzie mamy do czynienia z cyfrowymi obwodami, ma miejsce faktycznie tylko jeden proces: kodowania i dekodowania sygnału mowy. Należy dodać, że tłumienie w pasmach przepustowych obwodów 4-przewodowych jest ściśle kontrolowane.

Wpływ tych obwodów na całkowitą tłumienność głośności od ust mówcy do ucha słuchacza jest praktycznie taki sam jak w idealnym filtrze w paśmie od 300 Hz do 3400 Hz.

Wpływ tłumienia linii 4-przewodowej dla transmisji głosu może być pominięty pod warunkiem, że tłumienie obwodu z otwartą pętlą jest wystarczająco duże.

3.4 Efekt lokalny mówcy i słuchacza

Podczas rozmowy telefonicznej abonent mówiący, słyszy własny głos w słuchawce swojego mikrofonu. Transmisja własnego głosu jest nazywana *efektem lokalnym mówcy STMR*, natomiast transmisja hałasu otoczenia jest nazywana *efektem lokalnym słuchacza LSTR*. Zjawisko efektu lokalnego wprowadzono do łącza telefonicznego, aby jak najwierniej odzwierciedlić abonentowi warunki w jakich odbywa się naturalna rozmowa.

Efekt lokalny mówcy STMR jest to tłumienność głośności pomiędzy ustami abonenta mówiącego, a jego uchem (słuchawką) poprzez ścieżkę elektryczną układu antylokalnego.

Efekt lokalny słuchacza LSTR jest to tłumienność głośności pomiędzy źródłem hałasu otoczenia (mierzonego w pozycji mikrofonu w mikrofonie), a uchem abonenta (słuchawką) poprzez ścieżkę elektryczną układu antylokalnego.

Efekt lokalny jest zjawiskiem, w którym dźwięki przechwytywane przez mikrofon mikrofonu aparatu telefonicznego są przesyłane do jego słuchawki poprzez tzw. układ antylokalny z nieznacznym opóźnieniem, mniejszym niż kilka milisekund. Efekt lokalny mówcy odnosi się do przechwyconego własnego głosu mówcy i jest scharakteryzowany przez *tłumienność głośności efektu lokalnego STMR*.

Efekt lokalny słuchacza odnosi się do odebranego hałasu otoczenia i jest scharakteryzowany przez *tłumienność głośności efektu lokalnego słuchacza LSTR*.

Tłumienności głośności dla STMR i LSTR można obliczyć z zależności:

(10)

$$LR = \frac{10}{m} \lg \left[\sum_{i=1}^N 10^{\frac{-m}{10}(w_i + L_i)} \right]$$

gdzie:

$m = 0,225$ (według Zalecenia ITU-T P.79[33]),

N jest liczbą odpowiednich filtrów pasmowo przepustowych,

i jest numerem filtru o i -tej częstotliwości środkowej f_i ,

(Zwykle częstotliwości f_i są wybrane z 1/3 oktawowymi odstępami od 200 Hz do 4000 Hz, czyli $N=14$),

L_i jest tłumieniem w dB sygnału o częstotliwości f_i poprzez elektryczny układ antylokalny. Nie jest brana pod uwagę droga akustyczna, jak również przenoszenie głosu poprzez elementy mechaniczne,

W_i jest współczynnikiem wagowym dla częstotliwości f_i (współczynniki te podano w tabeli 3 w ITU-T P.79 [33]).

W przypadku przekroczenia skuteczności układu antylokalnego w wyniku wzrostu zniekształceń nieliniowych efektu lokalnego mamy do czynienia z bardzo nieprzyjemnymi efektami dźwiękowymi. Dlatego dokument *ETSI TBR 8* p.8.2.5.3[11] ogranicza poziom zniekształceń efektu lokalnego i stąd nie powinien on przekraczać 10 % przy wejściowym sygnale akustycznym o poziomie $-4,7$ dBPa).

Gdy telefon jest podłączony do sieci telekomunikacyjnej, to wówczas istnieje następujący związek pomiędzy *STMR* i *LSTR* - wzór 11

$$D = LSTR - STMR \quad (11)$$

Współczynnik D stanowi różnicę czułości mikrofonu (w mikrofonie) dla dźwięków mowy i hałasu otoczenia. Współczynnik D zależy wyłącznie od wzoru i konstrukcji mikrofonu tj. od kształtu mikrofonu i obwodu elektrycznego mikrofonu. Dla liniowych obwodów mikrofonowych współczynnik D zależy od poziomu dźwięków mowy (bezpośrednio oddziałujących na mikrofon w mikrofonie).

Dla obwodów mikrofonowych wprowadzających zniekształcenia nieliniowe współczynnik D może zależeć od poziomu dźwięków mowy i dlatego wprowadza się tłumienie hałasu otoczenia.

Dla typowych mikrofonów z liniowym układem mikrofonowym współczynniki D mają następujące wartości:

- dla typowych kształtów mikrofonów i normalnej długości $D = 3$ dB,
- dla krótkich mikrofonów $D = 0$ dB,
- dla bardzo krótkich mikrofonów $D = -3$ dB (jak w przypadku telefonów komórkowych).

Należy zauważyć, że dla mikrotelefonów o „normalnym kształcie” z liniowymi obwodami mikrofonowymi współczynnik D może być oszacowany równością (12)-wg ETR 250 [2].

$$D = 33 - 20 \lg(d) + 20 \lg(45/d) \quad (12)$$

gdzie:

d jest odległością ust mówcy od mikrofonu w [mm].

Formuła ta zastosowana do mikrotelefonów bardziej odbiegających kształtem od konwencjonalnego mikrotelefonu, może wprowadzić duży błąd obliczenia współczynnika D . Wzrost wartości współczynnika D może nastąpić na skutek wzrostu zniekształceń nieliniowych obwodu mikrofonu, tak jak w przypadku zastosowania mikrofonów węglowych. Wówczas współczynnik D zależy od poziomu hałasu otoczenia i jego wpływ będzie zauważalny dla użytkownika. Na przykład dla typowego mikrotelefonu z mikrofonem węglowym współczynnik D zawiera się od 6 dB do 8 dB dla szumu o poziomie 60 dB(A) z widmem Hotha. Także mikrofony z liniowymi mikrofonami kierunkowymi mogą osiągać duże wartości D , gdyż użytkownicy mają duże trudności z utrzymaniem mikrofonu w odpowiedniej pozycji względem własnych ust. Generalnie abonenci preferują aparaty z mikrofonami o liniowej charakterystyce, gdyż te zapewniają odpowiednią jakość mowy transmitowanej.

W telefonometrii współczynnik D powinien być mierzony zgodnie z Zaleceniem ITU-T P.64.[8].

3.5 Echo

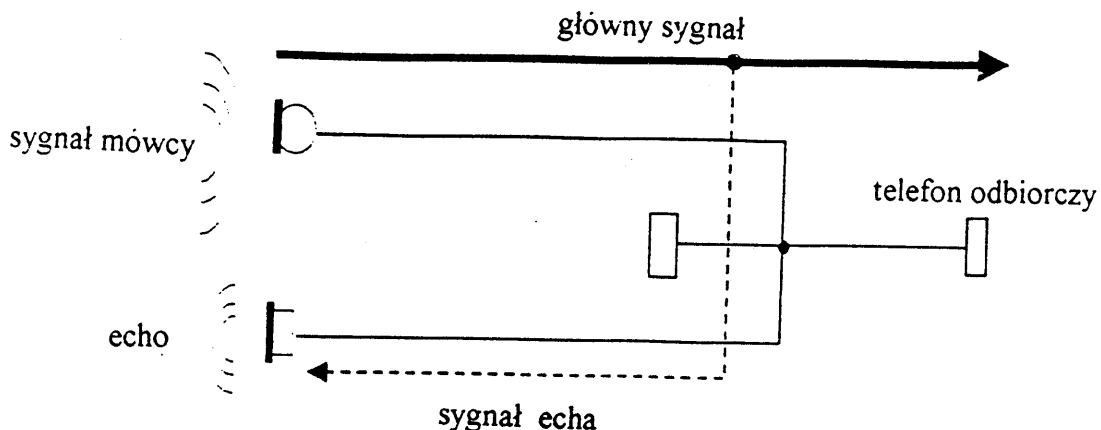
W cyfrowych łączach telefonicznych głównym czynnikiem obniżającym jakość mowy jest opóźnienie transmisji oraz echo. Zjawisko echa powstaje w skutek odbicia lub przenoszenia się sygnałów mowy drogami pośrednimi, co w efekcie słuchacz postrzega jako powtarzanie sygnału bezpośredniego.

Te zjawiska znane są jako „*echo mówcy*” i „*echo słuchacza*”.

Echo mówcy scharakteryzowane jest przez *łumiennosc głośności echa mówcy TELR*, w efekcie mówca słyszy w słuchawce swój własny głos jako echo. W sytuacjach, gdy mamy do czynienia z odbiciami sygnału spowodowanymi np. niedopasowaniem impedancji oraz, gdy są zauważalne opóźnienia sygnału to mówca i słuchacz mają subiektywne wrażenie istnienia przeszkadzającego echa wpływającego na jakość odbioru mowy.

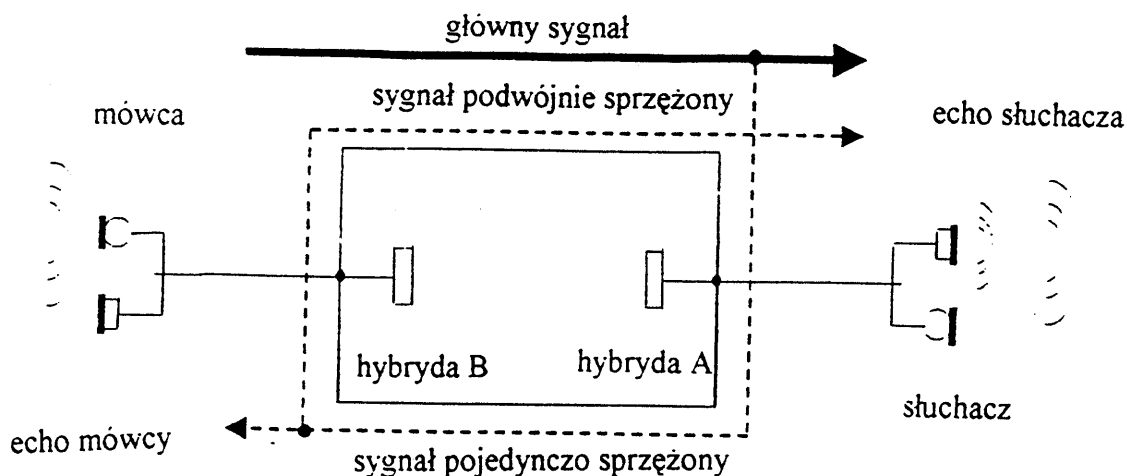
Łumiennosc głośności echa mówcy TELR jest to strata głośności głosu mówcy docierająca do jego ucha jako opóźnione echo.

Na rysunku 17 wyjaśniono zjawisko powstania echa mówcy.



Rysunek 17
Zjawisko echa mówcy

W przeciwieństwie do echa mówcy, gdy w danym połączeniu telefonicznym występuje zamknięta pętla 4-przewodowa (rysunek 18), sygnał mówcy jest sprzężony nie tylko z urządzeniem końcowym słuchacza (hybryd B), ale także z aparatem mówcy (hybryd A), dlatego też podwójnie sprzężony sygnał będzie dodatkowo dochodził do słuchawki mikrotelefonu słuchacza później niż sygnał oryginalny. Ten opóźniony sygnał jest nazywany *echem słuchacza*.



Rysunek 18
Zjawisko echa słuchacza

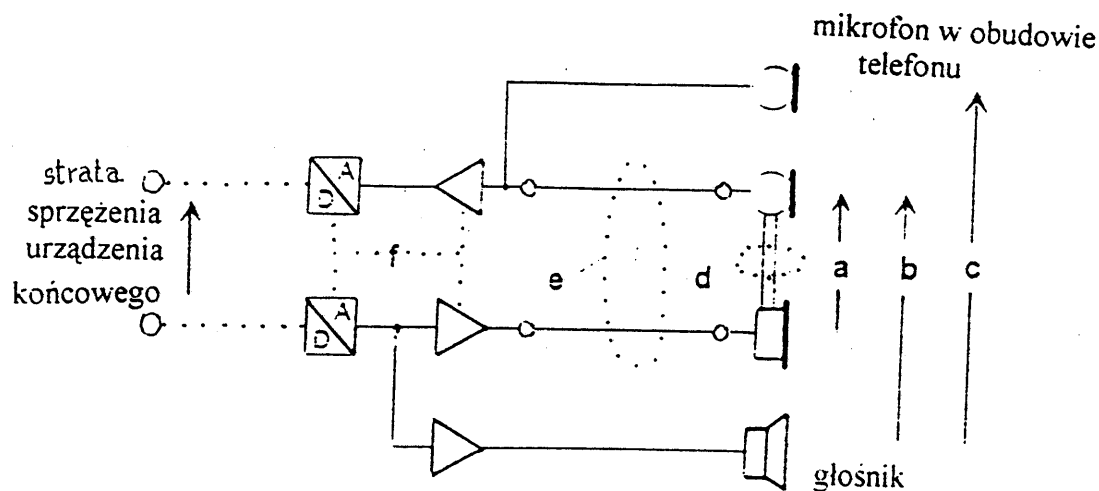
Tłumienność głośności echa słuchacza LELR jest to strata głośności głosu mówcy docierająca do ucha słuchacza jako opóźnione echo.

Echo słuchacza scharakteryzowane przez parametr *WEPL*. Słuchacz słyszy echo odebranej mowy. Duże opóźnienie powoduje znaczne pogorszenie warunków odbioru. Jeśli wartość *WEPL* jest zbyt mała istnieje ryzyko powstania niestabilności połączenia, co może objawiać się powstawaniem nieprzyjemnych dla ucha efektów akustycznych (*gwizdów*).

W nowoczesnych cyfrowych sieciach zjawisko echa stało się jednym z głównych powodów osłabienia jakości transmisji mowy.

Opóźnienia powstają głównie w urządzeniach stosowanych przy zamianie łączy 4-przewodowych na 2-przewodowe i odwrotnie. Urządzenia te nazywane są hybrydami. Hybrydy w sieci, powodują także specyficzne straty w kierunku nadawczym i odbiorczym pomiędzy końcami łączy 4-przewodowych i 2-przewodowych. Tłumienie to nazywa się stratą transhybrydową *TRH* (ang. transhybrid loss).

Dodatkowe opóźnienia powstają w obrębie urządzeń końcowych, a ściślej w ścieżce akustycznej aparatów telefonicznych. Zjawisko to wyjaśniono na rys. 19.



Rysunek 19

Sprzężenia akustyczne w cyfrowym aparacie telefonicznym

Znaczenie tych sprzężeń wzrasta, gdy cyfrowe aparaty telefoniczne, stanowią jedyną źródło echa w pełnym łączy telekomunikacyjnym.

W telefonach cyfrowych można rozróżnić kilka torów sprzężenia (rysunek 19). Pierwszy tor to droga akustyczna pomiędzy słuchawką i mikrofonem tradycyjnego mikrofonu (*ścieżka a*), głośnikiem a mikrofonem (*ścieżka b*) oraz pomiędzy głośnikiem i mikrofonem w telefonach typu „*handsfree*” (*ścieżka c*). W czasie uaktywnionej funkcji „głośnego mówienia” zarówno *ścieżka a* i *b* (droga akustyczna pomiędzy głośnikiem i mikrofonem aparatu stacjonarnego) są w tym samym czasie aktywne. Inne drogi, takie jak mechaniczne sprzężenia wewnątrz mikrofonu (*ścieżka d*), sprzężenie pojemnościowe pomiędzy przewodami w sznurze (*ścieżka e*) i sprzężenie zasilania kodeków i wzmacniaczy (*ścieżka f*) mogą mieć dodatkowy wpływ na wielkość echa. Wszystkie możliwe typy sprzężeń są określone jednym mianem *strata sprzężenia urządzenia końcowego TCL* (ang. *Terminal Coupling Loss*) i są odniesione do wejścia i wyjścia telefonu cyfrowego. Podobne rodzaje sprzężeń akustycznych występują w analogowych aparatach telefonicznych współpracujące z 2-przewodowym interfejsem (w tym przypadku nie istnieje *ścieżka f*). W tych interfejsach różne drogi sprzężeń będą oddziaływać na ich impedancję wejściową i staną się źródłem sygnałów powracających (odbitych) stosownie do skali niedopasowania. Sprzężenia poprzez hybrydy lub drogi akustyczne aparatów telefonicznych mają istotny wpływ na kształt charakterystyki skuteczności częstotliwościowej łącza. Wielkość echa mówcy jest charakteryzowana przez *tlumiennosc głošności echa mówcy TELR* wyrażoną wzorem (13)

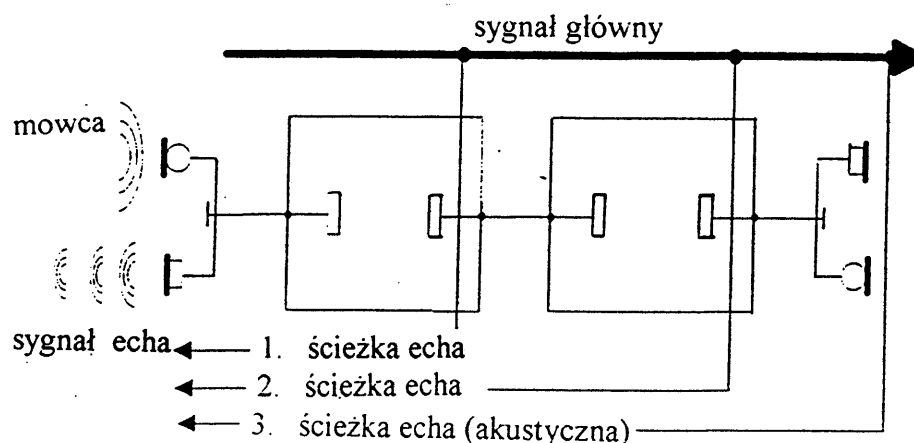
$$TEL R = EL + SLR + RLR \quad (13)$$

gdzie, *SLR* i *RLR* są stratami głošności telefonu mówcy, odniesionego do interfejsu 4-przewodowego, w którym powstaje strata echa *EL*. (Zalecenie ITU-T G.122 [12] omawia szerzej to zagadnienie.

Na poprzednich rysunkach 17 i 18 wyjašniono powstawanie zjawiska echa w wyniku stosowania hybryd do przekształcania łącza 4-przewodowego na 2-przewodowe. Te mieszane łącza mogą w wielu przypadkach zawierać więcej niż jedną pętlę 4-przewodową.

Z kolei na rysunku 20 wyjašniono zjawisko powstawania zwielokrotnionego echa mówcy w połączeniu zawierającym dwie pętle 4-przewodowe. W tym przypadku istnieją trzy różne ścieżki echa mówcy, włącznie ze ścieżką akustyczną słuchacza. Wynika z tego, że dodawane są zwielokrotniane echa mówcy w jego aparacie i w efekcie zwiększone jest echo słuchacza.

W praktyce, zwykle każda z różnych ścieżek echa jest rozpatrywana oddzielnie z uwzględnieniem jej wpływu na współczynnik MOS , który będzie podstawowym elementem w planowaniu jakości transmisji sygnału mowy w łączy telekomunikacyjnym.



Rysunek 20

Zwielokrotne echo mówcy

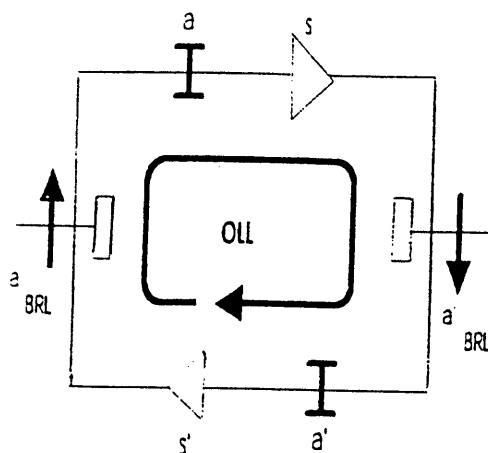
W praktyce, zwykle każda z różnych ścieżek echa jest rozpatrywana oddzielnie z uwzględnieniem jej wpływu na współczynnik MOS , który będzie podstawowym elementem w planowaniu jakości transmisji sygnału mowy w łączy telekomunikacyjnym. Może to być zrealizowane stosując np. model matematyczny do wyznaczania jakości transmisji obliczając współczynniki MOS dla każdej pętli, stosując opóźnienie transmisji i $TELR$

3.6 Stabilność

Oprócz efektów echa mówcy i echa słuchacza, mogą powstać zjawiska wprowadzające łącze w stany niestabilne.

Gdy łącze zawiera dwie hybrydy składające się z zamkniętych 4-przewodowych pętli, to wewnątrz nich mogą w pewnych warunkach powstać oscylacje zwane *gwizdami*.

W połączeniu mieszanym (analogowo-cyfrowym) międzymiastowym i międzynarodowym, gdzie mamy do czynienia z pętlą 4-przewodową w dwóch hybrydach końcowych występują wzmocnienia i tłumienia włącznie z równoważną tłumiennością niedopasowania a_{BRL} (ang. *Balance Return Losses*)- rysunek 21



Rysunek 21

Ilustracja stanu stabilności pętli 4-przewodowej

Kiedy suma wszystkich strat i wzmocnień jest równa lub mniejsza niż 0 dB to wtedy osiągnięty zostanie punkt, w którym łącze jest w stanie niestabilnym.

Suma wszystkich strat i wzmocnień w pętli odpowiednia dla stabilności jest nazywana *stratą otwartej pętli OLL*. Jeśli parametr ten jest bliski 0 dB (powstają *gwizdy*), zniekształcenia transmisji mowy mogą znacznie wzrosnąć. Dlatego aby uniknąć tych efektów jest wymagany pewien margines stabilności.

3.7 Czas transmisji

Wzrost zastosowań techniki cyfrowej jest rezultatem dodatkowych opóźnień właściwych procesom obróbki cyfrowej sygnałów i zastosowaniom techniki kodowania o małej przepływności informacyjnej (bitowej).

Aneks B do Zalecenia ITU-T G.114 [27] zawiera wyniki testów subiektywnych w zależności od czasu transmisji sygnału mowy. Rozróżnia się następujące zakresy czasu transmisji:

- od 0 do 25 ms - występuje w połączeniach narodowych w średniej wielkości krajów.
- od 25 do 150 ms - jest akceptowalny dla większości zastosowań, również przy zastosowaniu urządzeń kontroli echa.
- od 150 do 400 ms występuje najczęściej w połączeniach satelitarnych. Mogą wystąpić trudności w prowadzeniu normalnej płynnej rozmowy (obserwuje się wrażenie przerywania rozmowy), głównie z powodu silnego oddziaływania wzajemnego rozmów. W tych sytuacjach powinno się stosować skuteczne urządzenia do eliminacji echa (stosownie do ITU-T G.165 [25]), co powinno być koniecznie uwzględnione w krajowym planie transmisji.
- powyżej 400 ms należy unikać w ogólnym planie transmisji.

Dla celów planowania nie ma obecnie danych na temat przydziału czasu transmisji dla części narodowych i międzynarodowych całego połączenia.

W wielu krajach europejskich stosownie do obszaru geograficznego, maksymalny czas transmisji stosowany w sieciach publicznych pomiędzy punktami NCP wynosi od 15 ms do 25 ms.

Dla terminali lub sieci prywatnych podłączonych do sieci publicznych, maksymalna wartość czasu transmisji powinna wynosić od 45 ms do 55 ms.

3.8 Szum i zniekształcenia kwantyzacji

Szum obwodu elektrycznego bywa czynnikiem ograniczającym jakość połączeń długodystansowych. W nowoczesnych sieciach cyfrowych szum obwodu elektrycznego nie stanowi obecnie większego problemu. Chociaż szum w różnych formach oddziałuje na percepcję i wpływa na ocenę jakości połączenia. Niemniej jednak hałas otoczenia (pomieszczenia), może być „przechwycony” zarówno po stronie nadawczej, jak i odbiorczej i przekształcony w równoważny szum obwodu.

W połączeniu telefonicznym występują następujące źródła szumu:

- szum obwodu,
- szum kwantyzacji,
- szum otoczenia,
- szum indukowany w liniach abonenckich,
- szumy niestacjonarne.

Konwencjonalne obwody PCM są źródłem zniekształceń kwantyzacji scharakteryzowanymi przez wartości q_{du} (ETR 250 [2]).

Oslabienie jakości spowodowane stosowaniem koderów mowy o małej przepływności binarnej nie może być dobrze wyznaczone na podstawie wartości q_{du} . Bardzo obiecująca wydaje się być metoda proponowana w *Modelu E*, gdzie wprowadzony został tzw. *współczynnik zniekształceń urządzeń (Ie)*.

Nowe systemy łączności, takie jak. ATM, ruchome systemy radiowe, DCME wprowadzają do sieci telefonicznej równoważny szum obwodu niezależnie od tego, czy są to systemy stacjonarne, czy ruchome, jak również powstają szumy spowodowane hałasami otoczenia t.j. ruch uliczny, hałas biurowy, hałasy wewnątrz pojazdów. Te wpływy w połączeniu ze zniekształceniami spowodowanymi przez urządzenia specjalne t.j. kodery o małej przepływności binarnej, aktywne detektory mowy, urządzenia eliminujące echo, tłumiki echa, ograniczniki szumu itp. oraz przez nieprzewidywalne i przypadkowe błędy w kanale transmisyjnym mogą być postrzegane przez użytkowników jako hałasy o charakterze impulsowym lub ciągłym.

Obecnie nie ma, żadnej zalecanej przez międzynarodowe organizacje metody pomiaru takiego niestacjonarnego szumu.

Hałas jest bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na jakość mowy w odległych połączeniach z systemami FDM.

W Zaleceniu ITU-T G.222 [14] podano wymagania dotyczące poziomu szumu wytwarzanego przez systemy nośne do 2500 km. Poziom tego szumu wynosi -50 dBm_{0p}. W Zaleceniu CCITT 143 [15] podano, że całkowity poziom szumu generowanego przez łańcuch sześciu międzynarodowych obwodów nie powinien przekroczyć wartości -43 dBm_{0p} odniesionej do poziomu pierwszego obwodu łańcucha.

To ograniczenie dla szumu występującego w postaci pojedynczych tonów powinno być o 10 dB mniejsze, niż moc szumu mierzonego psfometrycznie w obwodzie. Aby uniknąć możliwości usłyszenia tego szumu zalecany jest dodatkowy margines 5 dB. Dopuszczalne granice poziomu szumu wąskopasmowego powinny być bardziej ostre niż limity dla szumu szerokopasmowego.

Zalecenie ITU-T G.712 [16] zawiera szczegółowe wymagania odnośnie szumu kanałowego dla par koderów PCM 64 kbit/s. Poziom szumu ten nie powinien przekroczyć wartości -65 dBm_{0p}.

Zniekształcenia kwantyzacji wyrażają szum skorelowanych sygnałów. Dla systemów PCM poziom tego szumu jest określony przez liczbę q_{du} .

W tabelicy 1 podano planowane wartości q_{du} dla różnych technik kodowania procesów wg Zalecenia ITU-T G.113 [17].

Tablica 1 Planowane wartości q_{du} (wg Zalecenia ITU-T G.113 [17])

Typ koderów	q_{du}
Para koderów PCM 8-bitowych (wg ITU-T G.711[36]) pomiędzy analogowymi interfejsami	1
32 kbit/s ADPCM (wg ITU-T G.726[37] i G.727[38]) i 16 kbit/s LD-CELP	3,5
Dodatkowe zniekształcenia kwantyzacji ścieżki cyfrowej	0,7
Konwersja PCM/ADPCM/PCM (wg ITU-T G.726[37] i G.727[38])	2,5

Uwaga:

Dla koderów mowy o małej przepływności binarnej koncepcja q_{du} nie jest właściwa. Dla nich stosuje się współczynniki osłabienia jakości mowy I_e wyznaczone wg ETR 250 [2].

Połączenie telefoniczne składa się z kilku połączonych posobnie obwodów. Gdy sygnał mowy przechodzi przez łańcuch telefoniczny to dodawane są do niego szumy występujące w różnych członach tego łańcucha. Poziomy szumy są umownie wyrażone w dBm0p. Na końcu tego łańcucha całkowity szum wynosi:

$$N_c = 10 \lg \{ \sum 10^{N_i/10} \} \quad [\text{dBm0p}] \quad (14)$$

gdzie

N_i jest poziomem szumu (w dBm0p) wytwarzanym przez i -ty człon łańcucha.

Czasami wygodnie jest rozważać całkowity szum obwodu jako wytwarzany przez pojedyncze fikcyjne źródło szumu o poziomie N_c [dBm0p] w punkcie 0 dBr, który jest nazywany *równoważnym szumem w punkcie 0 dBr*.

Względny poziom szumu na wyjściu obwodu wynosi L_r [dBr], a bezwzględny poziom szumu N_a na wyjściu obwodu wynosi:

$$N_a = (N_c + L_r) \quad [\text{dBmp}] \quad (15)$$

Szum otoczenia jest zwykle charakteryzowany przez wartość w dB(A), która jest średnią zważoną częstotliwościowo mocą i może być zmierzona przez specjalne mierniki poziomu dźwięku wyposażone w filtr typu A.

W tabelicy 2 zestawiono przykładowe wartości poziomów hałasu w dB(A), jakie można spotkać w życiu codziennym.

Tablica 2: Przykłady różnych hałasów otoczenia

Hałasy otoczenia	dB(A)	dBPa(A)
Dolna granica słyszalności	0	-94
Dolna granica mowy zrozumiałej	15	-79
Ciche biuro	20	-74
Biuro z włączonym wentylatorem	40	-54
Hałas w sypialni, powyżej którego trudno jest zasnąć	40	-54
Hałas w biurze nie powodujący zmęczenia	45	-49
Hałas na zewnątrz nie powodujący zmęczenia	55	-39
Normalna rozmowa	55	-39
Ruch uliczny	70...80	-24...-14

1	2	3
Granica hałasu otoczenia powyżej którego rozmowa telefoniczna jest utrudniona	70	-24
Młot pneumatyczny	90	-4
Koncert muzyki rockowej	100	6
Start i lądowanie samolotu	125	31
Granica bólu uszu	130	36

Hałas otoczenia może być „przechwycony” przez mikrofon telefonu zarówno po stronie nadawczej, jak i odbiorczej połączenia i może być przekształcony w równoważny szum obwodu. Podstawowymi parametrami związanymi z całkowitym szumem obwodu wytwarzany w punkcie 0 dBr są:

- P_{os} [dB(A)] szum otoczenia w pozycji mówcy (strona nadawcza),
- P_{or} [dB(A)] szum otoczenia w pozycji słuchacza (strona odbiorcza),
- SLR [dB] tłumienność głośności przy nadawaniu odniesiona do punktu 0 dBr,
- RLR [dB] tłumienność głośności przy odbiorze odniesiona do punktu 0 dBr,
- D [dB] współczynnik czułości mikrotelefonu
- $LSTR$ [dB] efekt lokalny słuchacza.

Uwaga:

Współczynnik D jest ważoną średnią czułością mikrotelefonu (w dB), który jest różnicą pomiędzy dźwiękami głównymi (głosem) i dźwiękami zakłócającymi (hałas otoczenia)-pkt 3.4.

Równoważny szum obwodu N_{os} , odniesiony do punktu 0 dBr, wynikający z hałasu P_{os} [dB(A)] po stronie mówcy wynosi [16]:

$$N_{os} = P_{os} - SLR - D_s - 100 + 0,008(P_{os} - OLR - D_s - 14)^2 \quad [\text{dBm0p}] \quad (16)$$

gdzie:

$$OLR = SLR + RLR$$

Równoważny szum obwodu N_{or} , odniesiony do punktu 0 dBr, spowodowany szumem P_{or} [dB(A)] w pozycji słuchacza wynosi [17]:

$$N_{or} = RLR - 121 + P_{or} + 0,008(P_{or} - 35)^2 \quad [\text{dBm0p}] \quad (17)$$

P_{ore} jest efektywnym szumem otoczenia spowodowanym zwiększoną mocą P_{or} poprzez układ antylokalny słuchacza.

$$P_{ore} = P_{or} + 10 \lg [1 + 10^{(10-LSTR)/10}] \quad [\text{dBm0p}] \quad (18)$$

Te źródła szumu są dodawane do innych źródeł szumu obwodu zgodnie z zależnością (14)

Urządzenia zasilające i linie trakcyjne mogą wytwarzać w liniach abonenckich charakterystyczne „brzęczenia” (częstotliwość 50 Hz lub jej harmoniczne). Mechanizm ten zależy częściowo od stopnia niezrównoważenia w stosunku do potencjału ziemi obwodu abonenta.

Zalecenia ITU-T G.123 [18] podają, że psfometryczna wartość skuteczna e.m.f (obwodu otwartego) linii końcowych, do których jest podłączony telefon, nie powinna przekraczać 1 mV.

Przyjmując, że impedancja urządzenia abonenckiego wynosi 600Ω i że napięcie jest zmniejszone o połowę, gdy aparat jest włączony, to poziom szumu indukowanego w linii abonenckiej wynosi -64 dBmp .

3.9 Przesłuch

W nowoczesnych urządzeniach przesłuch nie powinien stwarzać żadnych problemów. Jakkolwiek w wyjątkowych okolicznościach zachodzi potrzeba sprawdzenia, czy tłumienie przesłuchu jest wystarczająco duże.

Wpływ przesłuchu na subiektywne wrażenia słuchaczy jest rozważany w Zaleceniach CCITT P.16 [19] i G.105 [20].

W aneksie A do Zalecenia CCITT G.134 [21] określono metody pomiaru przesłuchu, natomiast w Zaleceniu CCITT G.151 [22] podano wymagania dla przesłuchu.

Subiektywny wpływ przesłuchu na słuchacza jest określony przez *tłumienność głośności przesłuchu odbiorczego XRLR*. Jest to strata głośności spowodowana zakłóceniami elektrycznymi interfejsu przenikająca do ucha abonenta ścieżką przesłuchu.

Na rysunku 22 (CCITT P.16 [19]) podano zależność *tłumienności głośności przesłuchu odbiorczego XRLR* jako funkcję szumu obwodowego N_e . Jeden przebieg reprezentuje średnią krzywą progową słyszalności, a drugi średnią krzywą progową zrozumiałości.

W aneksie A do Zalecenia ITU-T G.111 [23] podano wzór na obliczenie ważonego tłumienia przesłuchu w paśmie mowy [19]:

$$L_x = 1,4 = 10 \cdot \lg \left\{ \int_{500}^{2000} 10^{\frac{L}{10}} \right\} \cdot \frac{df}{f} \quad [\text{dB}] \quad (19)$$

gdzie:

L jest tłumieniem przesłuchu zależnym od częstotliwości.

W wielu przypadkach tłumienie przesłuchu L_x jest bliskie tłumieniu dla częstotliwości 1020 Hz.

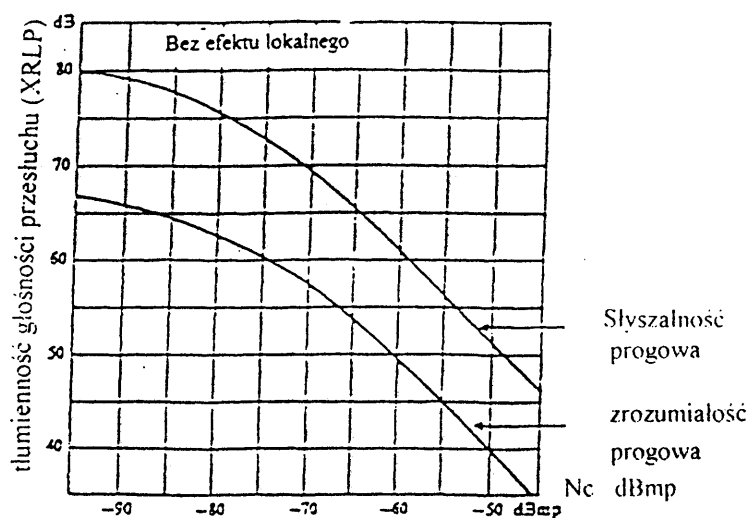
W Zaleceniu CCITT P.16 [27] zjawisko przesłuchu jest odniesione do urządzeń końcowych.

Tłumienność głośności odbioru przesłuchu w punkcie 0 dBr wynosi:

$$XRLR = L_x + RLR \quad (20)$$

gdzie

RLR jest tłumiennością głośności odniesioną także do punktu 0 dBr.



Rysunek 22

Wartości progowe $XRLR$ (odniesione do punktu 0 dBr).

4. URZĄDZENIA I SYSTEMY SPECJALNE

Urządzenia eliminacji echa

Niepożądane zjawiska z jakimi mamy do czynienia w cyfrowych sieciach telekomunikacyjnych wymagają zastosowania w łączach specjalnych urządzeń do eliminacji echa *ECD* (ang. *Echo Control Devices*) według Zalecenia CCITT G.164 [24], G.165 [25].

Urządzenia do eliminacji echa są stosowane w celu usunięcia zjawiska echa w połączeniu telefonicznym, gdy średni czas transmisji w jedną stronę przekracza 25 ms, głównie ma to miejsce w połączeniach międzynarodowych.

Zadaniem tych urządzeń jest stłumienie lub kompensacja sygnałów sprzężonych w obrębie ścieżki sygnału echa, bez wprowadzania innych zniekształceń mających wpływ na jakość mowy. Od kilku lat w użyciu są tłumiki echa i bardziej nowoczesne urządzenia do eliminacji echa.

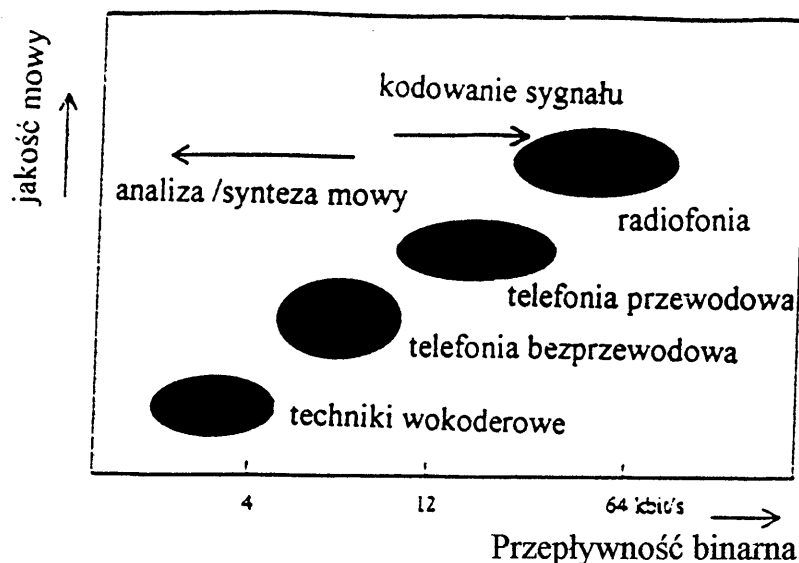
Kodery mowy o małej przepływności informacyjnej

W wielu zastosowaniach, na przykład komunikacja mobilna, usługi przechowywania głosu, dostępna pojemność kanału jest ograniczona. Również ze względów ekonomicznych dąży się do użycia jak najmniejszej liczby bitów do kodowania mowy. Poza tym rozwój w ostatnich latach wielu nowych typów usług spowodował, że w ślad za tym zjawiskiem nastąpił rozwój nowych technik i algorytmów kodowania mowy, wykorzystujące bardzo małe szybkości przesyłania bitów.

Rozróżniamy następujące techniki i algorytmy kodowania mowy:

- Kodery mowy o małej przepływności binarnej,
- Algorytm ITU-T PCM, według CCITT G.711, CCITT G.721, G.723, G.726, G.727, G.722, G.728 .
- Algorytm ADPCM, według ITU-T G.763, G.764, G.728,
- Algorytm LRE,
- Algorytm ETSI według I-ETS 300 036, I-ETS 300 037, I-ETS 300 038 , I-ETS 300 039, I-ETS 300 040.

Na rysunku 23 przedstawiono schematycznie zależność jakości od przepływności binarnej.



Rysunek 23

Zależność jakości mowy od szybkości jej kodowania [2]

Wzrost stopnia kompresji sygnału mowy (zmniejszenie przepływności binarnej) najczęściej wiąże się z subiektywnie postrzeganym pogorszeniem jej jakości.

W procesie kodowania i dekodowania mowy są wprowadzane różnego rodzaju zniekształcenia. W przypadku technik parametrycznych są one spowodowane niedokładnością estymacji parametrów jak również ich zmian w czasie. Najczęściej mamy tu do czynienia ze skokową ich zmianą lub niedokładnościami odwzorowań zmian przy przechodzeniu z „okna w okno”. Najważniejszym zadaniem jest dokładne określenie rodzaju i parametrów pobudzenia traktu głosowego. W technikach kodowania przebiegu czasowego i technikach hybrydowych występują dodatkowo błędy kwantyzacji.

Błędy spowodowane kodowaniem i dekodowaniem mowy są jednym z najważniejszych czynników mającym wpływ na jakość mowy transmitowanej w łączu cyfrowym.

Urządzenia DCME

W celu powiększenia pojemności połączeń systemów transmisji cyfrowej, tam gdzie wymagana jest wysoka wydajność obsługi ruchu na przykład w połączeniach długodystansowych stosowane są urządzenia *DCME*. Zalecenie ITU-T G.763 [39] dotyczy procesu kodowania w urządzeniach *DCME* stosując technikę ADPCM (40,32,24 lub 16 kbit/s).

Systemy mobilne

Obecnie na świecie systemy radiokomunikacji ruchomej są najbardziej dynamicznie rozwijającymi się systemami telekomunikacyjnymi. Najbardziej popularnym systemem komórkowym na świecie jest cyfrowy system GSM.

Zalecenie ITU-T G.174 [41] ustala, że jakość mowy w mobilnych systemach komunikacyjnych powinno być porównywalne do urządzeń PSTN i ISDN. Zalecenia ITU-T G.173[40] i G.174[41] podają ogólne wymagania dla publicznych sieci mobilnych nie odnosząc się do konkretnych systemów.

Systemy GSM odnośnie transmisji sygnałów mowy powinny spełniać następujące wymagania:

- niewielka przepływność strumienia binarnego, co pozwala na efektywne wykorzystanie zasobów radiowych,
- jakość transmisji mowy w dobrych warunkach transmisyjnych porównywalna z jakością uzyskiwaną w systemach analogowych w tych samych warunkach,
- ograniczanie transmisji w momentach, gdy abonent jest chwilowo nieaktywny w czasie trwania połączenia.

Mobilne urządzenia końcowe mogą pracować w niesprzyjających warunkach akustycznych tj. hałas uliczny, hałas wewnątrz jadącego pojazdu, biura itp. Zalecenie ETSI TBR 9 [26] określa europejskie normy dla mobilnych urządzeń końcowych. Na jakość transmisji mowy w systemach mobilnych mają wpływ następujące czynniki:

- opóźnienie i echo (ITU-T G.174 [41]),
- strata stabilności (ITU-T G.122[42]),
- zniekształcenia kwantyzacji (ITU-T G.173[40]),
- obcinanie czasowe,
- szum tła,
- błędy losowe bitów,
- działanie kodera mowy.

Poniżej podano niektóre przykłady systemów komunikacji mobilnej:

- Analogowe komórkowe: TACS, NMT450, NMT900, RC2000, itp.
- CT2: telefonia bezprzewodowa MKII, CAI wg I-ETS 300 131,
- DECT wg ETS 300 175,
- DSC 1800 -UK,
- DCT 900,
- GSM wg I-ETS 300 020 i TBR 9

W tablicy 3 podano wartości czasu transmisji w jedną stronę i szybkości transmisji kilku systemów komunikacji mobilnej [2].

Tabela 3: Czasy transmisji w jedną stronę oraz przepływności binarne różnych systemów

System	Czas transmisji w jedną stronę [ms]	Koder mowy	Przeptywność binarna [kbit/s]
CT2CAI	2,5	ADPCM	32
DAMPS	Okolo 95	VSELP	8
DECT	14	ADPCM	32
DCS 1800	Okolo 95	RPE-LTP	13
DCT 900	20	ADPCM	32
GSM	Okolo 95	RPE-LTP	13
TFTS	Okolo 95	MPLPC	9,6

Systemy ATM

System ATM została uznana przez instytucje standaryzacyjne oraz producentów sprzętu telekomunikacyjnego za telekomunikacyjny system przyszłości. ATM jest systemem pakietowym urządzeń przełączających, umożliwiającą budowę nowoczesnych sieci. ATM umożliwia przesyłanie danych komputerowych, głosu, obrazu, realizację wideo-konferencji i innych usług określanych jako *multimedia*. Inne systemy pakietowe takie jak np. protokół ITU-T X 25 nie mają zastosowania w przypadku transmisji głosu.

System ATM stosuje pakiety o bardzo krótkiej długości zwane komórkami. Komórka ATM zawiera 53 bajty (5 bajtów na adres i 48 bajtów zajmuje pole informacyjne). System ATM jak każdy system cyfrowy wprowadza do łącza opóźnienia. W tablicy 4 wyszczególniono opóźnienia wnoszone przez poszczególne składniki w systemie ATM podczas transmisji głosu.

Tablica 4: Opóźnienia podczas transmisji głosu w systemie ATM [2].

Składnik opóźnienia	Opóźnienie [ms]
Pakietyzacja	6,0
Kompensacja odchylenia opóźnienia komórki	2,0
Przełączanie ATM (4 x 0,25 ms)	1,0
Połączenie krzyżowe SDH (10 x 0,05 ms)	0,5
Opóźnienie propagacji	5,0
Centrala (2 x analog./cyfrowe)	2,0
Całkowite opóźnienie w jedną stronę	16,5

5. MODEL E

5.1 Wprowadzenie

Jakość transmisji głosu może być symulowana przez parametry transmisji. W Zaleceniach ITU-T podano limity dla najważniejszych indywidualnych parametrów transmisji. Ogromna różnorodność konfiguracji połączeń, a także rodzaje urządzeń i łączy tworzących połączenie telefoniczne powoduje, że mamy do czynienia z bardzo różnymi kombinacjami wpływów parametrów transmisji na jakość przesyłania głosu. Te zagadnienia są przedmiotem zainteresowania specjalistów zajmujących się planowaniem transmisji, jak również operatorów sieci publicznych i prywatnych. Do szacowania jakości transmisji głosu poprzez łącza telekomunikacyjne służą modele matematyczne.

W opracowaniu CCITT Sup.3 [45] przedstawiono kilka różnych, zagranicznych modeli służących do prognozowania jakości transmisji. Są to następujące modele:

- *Transmission Rating (Bellcore)*,
- *CATNAP 83 (BT, Anglia)*,
- *Information Index (Francja)*,
- *OPINE (NTT, Japonia)*,
- *Transmission Quality Index (model wg Zalecenia ITU-T P.11 [28])*.

Modele te były szeroko stosowane do szacowania jakości mowy transmitowanej dla kilku typowych konfiguracji łączy, a wyniki uzyskane za pośrednictwem poszczególnych modeli były zbliżone.

Można zapytać więc, dlaczego opracowano nowy model ?

Po pierwsze, dzisiaj specjaliści od planowania transmisji zmuszeni są wziąć pod uwagę kilka nowych ważnych czynników wpływających na osłabienie jakości transmisji głosu, a których nie zawierają poprzednie modele.

Po drugie, wyniki testów subiektywnych można łatwiej włączyć do nowego modelu. Stare modele należałoby transformować i aktualizować.

Poza tym różne „dobre” cechy pozyskane ze starszych modeli mogą być włączone do *Modelu E*.

Fundamentalną zasadą *Modelu E* jest koncepcja określona w *modelu OPINE*, która brzmi:

„Współczynniki psychologiczne (wrażenia obniżenia jakości mowy) są addytywne w skali psychologicznej”

Z modelu *OPINE* wywodzi się miara jakości w testach subiektywnych *MOS*. Miarą jakości transmisji w tym modelu jest współczynnik P (21):

$$P = P_0 - OPI \quad (21)$$

$$OPI = PI(EL) + PI(N) + PI(AD) + PI(EC) + PI(ST) \quad (22)$$

gdzie:

P_0 reprezentuje podstawowy współczynnik sygnał/szum *SNR* (odnosi się do przypadku braku jakichkolwiek czynników obniżających jakość mowy)

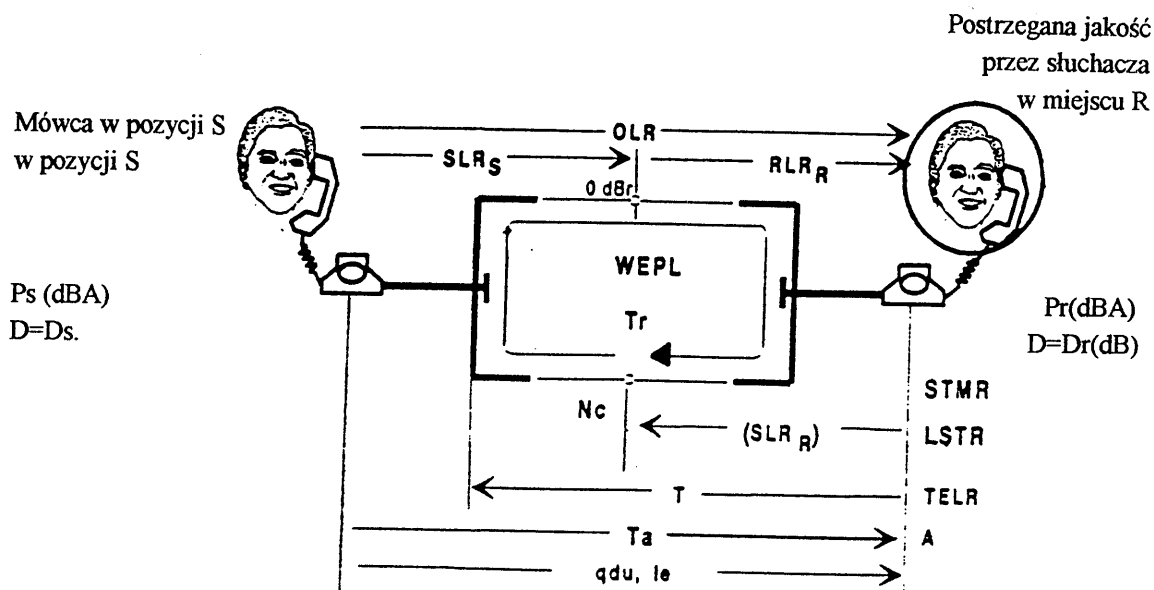
PI jest nazywany wskaźnikiem działania dla różnych zniekształceń transmisji:

- $PI(EL)$ - efektywna strata lub wzrost głośności mowy,
- $PI(N)$ – hałas podczas trwania rozmowy,
- $PI(AD)$ -zniekształcenia mowy z powodu zniekształceń charakterystyki skuteczności częstotliwościowej,
- $PI(EC)$ – obniżenie jakości spowodowane echem mówcy,
- $PI(ST)$ – obniżenie jakości mowy spowodowane zjawiskiem efektu lokalnego.

Wartości *MOS* są uzyskiwane ze współczynnika P przez zastosowanie matematycznej procedury związanej z funkcją błędu rozkładu normalnego Gaussa. *Model Bellcore Transmission* jest starszy niż *model OPINE* i jest rozmaicie prezentowany. Jednakże analizy matematyczne pokazują, że może być on sprowadzony do bardzo podobnej struktury, takiej jak struktura *modelu OPINE* tzn. zniekształcenia mogą być zapisane jako elementy odejmowane od wartości podstawowej (niezniekształconej). Także subiektywne oceny użytkowników są uzyskiwane przez uśrednienie funkcji rozkładu normalnego. To udowadnia, że prawidłowa jest zasada addytywności wrażeń osłabienia transmisji mowy w skali psychologicznej. W *Modelu E* stosuje się tę samą zasadę.

5.2 Struktura *Modelu E*

Model *E* zakłada, że jakość przesyłanej mowy przez łącze telekomunikacyjne mierzy się w słuchawce telefonu słuchacza w paśmie częstotliwości od 300 do 3400 Hz. Konfigurację połączenia i odpowiednie parametry przedstawiono na rysunku 24



Rysunek 24

Podstawowa konfiguracja połączenia telefonicznego *Modelu E* [52] pomiędzy mówcą znajdującym się w pozycji *S* (nadawanie), a słuchaczem w pozycji *R* (odbior) następuje komunikacja głosowa za pośrednictwem łącza telefonicznego. Model ten ocenia jakość komunikacji mowy od ust mówcy do ucha słuchacza postrzeganą przez użytkownika w pozycji *R* traktowanego zarówno jako słuchacza i mówcę.

W połączeniu telekomunikacyjnym parametry transmisji zawarte są we *współczynniku jakości transmisji R*, który jest położony na zadowolenie, bądź niezadowolenie użytkowników tj. procenty opinii 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* wyrażony jest wzorem (23):

$$R = R_o - I_s - I_d - I_e + A \quad (23)$$

gdzie :

- R_o* reprezentuje w szczególności podstawowy współczynnik sygnał/szum SNR transmisji głosu w punkcie 0dBr,
- I_s* reprezentuje osłabienia jakości transmisji występujące jednocześnie z sygnałem mowy, podobne do tego, jakie występuje przy odbiorze zbyt głośnego sygnału mowy, przy nieoptymalnym efekcie lokalnym lub powstające na skutek zniekształceń kwantyzacji,
- I_d* reprezentuje osłabienia jakości transmisji wywołane echem odnoszącym się do sygnału mowy, tj. echo mówcy TELR i echo słuchacza WEPL i trudności

komunikacyjne spowodowane zbyt długim bezwzględnym opóźnieniem (T_a),

Ie reprezentuje osłabienia jakości transmisji spowodowane przez zastosowanie w łączu specjalnych urządzeń tj.: niektóre kodeki o małej przepływności binarnej, DCME, VPE i innych. Wpływ tych urządzeń na jakość mowy jest bardzo złożony i trudno jest go analizować biorąc pod uwagę indywidualne parametry.

Uwaga:

Współczynnik *Ie* związany z wpływem urządzeń zastosowanych w łączu telefonicznym na jakość mowy transmitowanej jest nowym pojęciem. W starszych modelach nie był on uwzględniany.

A jest nazywany *współczynnikiem oczekiwania (dostępu)* i ma wartość dodatnią, która reprezentuje korzyści, wynikające z dostępu do pewnych systemów nad użytkowaniem konwencjonalnych systemów telefonii przewodowej.

W pewnych okolicznościach systemy radiowe mają pewną przewagę nad systemami kablowymi, pomimo gorszej jakości transmisji mowy.

Przykładem może być rozwój telefonii mobilnej w trudno dostępnych regionach, gdzie decydują względy ekonomiczne wzięty górze nad jakością połączenia.

Uwaga:

Wszystkie poniżej przedstawione wzory oraz wartości współczynników *Ie* i *A* pochodzą z dokumentu ETSI ETR 250 [2].

5.2.1 Współczynnik *Ro*

Wyrażenie na współczynnik *Ro* jest następujące:

$$R_o = 15 - 1,5 (SLR + N_o) \quad (24)$$

gdzie:

SLR jest tłumiennością głośności przy nadawaniu odniesioną do punktu 0 dBr najbliższej położonego miejsca *R* – rys 24.

No stanowi całkowity (globalny) poziom szumu także odniesione do punktu 0 dBr. *No* otrzymuje się przez dodanie mocy:

- Szumu elektrycznego obwodu *Nc* [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 .

Szum elektryczny obwodu N_c otrzymuje się przez dodanie mocy szumu z różnych źródeł w połączeniu, wszystkie odniesione do punktu 0 dBr. Jeśli szum jest wytwarzany przez pewne źródło N [dBmp] w punkcie o bezwzględnym poziomie L [dBr] to odpowiada to poziomowi szumu $(N+L)$ [dBm0p] w punkcie 0 dBr).

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

$$N_{os} = P_{os} - SLR - D_s - 100 + 0,008 (P_{os} - OLR - D_s - 14)^2 \quad [\text{dBm0p}] \quad (25)$$

gdzie: $OLR = SLR + RLR$

D_s jest współczynnikiem D ($D=LSTR-STMR$) mikrotelefonu w pozycji mówcy S ,

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

$$N_{or} = RLR - 121 + P_{ore} + 0.008 (P_{ore} - 35)^2 \quad [\text{dBm0p}] \quad (26)$$

gdzie:

P_{ore} jest efektywnym hałasem otoczenia spowodowanym zwiększenie się P_{or} przez efekt lokalny słuchacza $LSTR$ w pozycji R

$$P_{ore} = P_{or} + 10 \lg [1 + 10^{(10-LSTR)/10}] \quad [\text{dB(A)}] \quad (27)$$

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

$$N_{fo} = N_{for} + RLR \quad [\text{dBm0p}] \quad (28)$$

Zwykle $N_{for} = -64$ dBmp

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

$$N_o = 10 \lg [10^{N_c/10} + 10^{N_{os}/10} + 10^{N_{or}/10} + 10^{N_{fo}/10}] \quad [\text{dBm0p}] \quad (29)$$

Uwaga:

We wzorze (29) nie uwzględniono szumu zniekształceń kwantyzacji.

5.2.2 Współczynnik I_s

Współczynnik I_s jest wyrażony następującą zależnością:

$$I_s = I_{olr} + I_{st} + I_q \quad (30)$$

I_{olr} reprezentuje obniżenie jakości transmisji spowodowane zbyt głośnym połączeniem, tj. wtedy, gdy OLR jest zbyt mały,

I_{st} reprezentuje obniżenie jakości transmisji spowodowane niewłaściwą wartością efektu lokalnego,

I_q reprezentuje osłabienie jakości spowodowane przez zniekształcenia kwantyzacji.

Uwaga.

Zniekształcenia spowodowane przez kodery o małej przepływności binarnej są reprezentowane przez współczynnik I_e .

Współczynnik I_{olr}

Wyrażenie na współczynnik I_{olr} jest następujące:

$$I_{olr} = 20 [\{ 1 + (X/8)^8 \}^{1/8} - X/8] \quad (31)$$

gdzie:

$$X = OLR + 0,2(64 + N_t) \quad (32)$$

$$N_t = N_o - RLR \quad (33)$$

Współczynnik I_{st}

Wyrażenie na współczynnik I_{st} jest następujące:

$$I_{st} = 10 [1 + \{(STMR_o - 12)/5\}^6]^{1/6} + 46 [1 + \{STMR_o / 23\}^{10}]^{1/10} + 36 \quad (34)$$

gdzie:

$$STMR_o = -10 \lg [10^{-STMR/10} + e^{-T/4} 10^{-TELR/10}] \quad (35)$$

Współczynnik I_q

Współczynnik I_q wyraża się następująco:

$$I_q = 15 \lg [1 + 10^Y] \quad (36)$$

gdzie

$$Y = (R_o - 100) / 15 + (46 - G) / 10 \quad (37)$$

$$G = 1,07 + 0,258Q + 0,0602Q^2 \quad (38)$$

$$Q = 37 - 15 \lg(qdu) \quad (39)$$

5.2.3 Współczynnik I_d

Współczynnik pogorszenia jakości mowy spowodowany opóźnieniami w łączy wynosi:

$$I_d = I_{dte} + I_{dle} + I_{dd} \quad (40)$$

gdzie:

I_{dte} reprezentuje osłabienie jakości powodowane przez echo mówcy. Parametrami związanymi są *tłumienność głośności echa mówcy TELR* i średnie opóźnienie echa (w jedną stronę).

I_{dle} reprezentuje pogorszenie transmisji spowodowane echem słuchacza.

Parametrami związanymi są *ważone tłumienie ścieżki echa WEPL* i opóźnienie dla echa (w obie strony).

I_{dd} reprezentuje osłabienie transmisji przez zbyt długie bezwzględne opóźnienie, które występuje nawet wówczas, gdy bardzo dobrze wyeliminowane zostanie echo.

Współczynnik I_{dte}

Wzór na obliczenie I_{dte} jest następujący:

$$I_{dte} = (R_{oe} - R_e) / 2 + \sqrt{(R_{oe} - R_e)^2 / 4 + 100} - 1 (1 - e^{-T}) \quad (41)$$

gdzie:

$$R_{oe} = -1,5 \cdot (N_o - RLR) \quad (42)$$

$$R_e = 80 + 2,5(TERV - 14) \quad (43)$$

$$TERV = TELR - 40 \lg \frac{1 + T/10}{1 + T/150} + 6e^{-0,3T^2} \quad (44)$$

Dla $T < 1$ ms echo mówcy powinno być rozważane jako efekt lokalny wówczas $I_{dte} = 0$

Powyższe zależności mają zastosowanie wtedy, kiedy efekt lokalny jest w zakresie dopuszczalnych granic t.j. $7 < STMR < 15$.

Dla wartości $STMR$ mniejszych od 7 dB echo mówcy jest częściowo maskowane przez efekt lokalny wówczas $TERV$ w równaniu (43) zastąpione jest przez $TERVs$:

$$TERVs = TERV + Ist/2 \quad (45)$$

Dla większych wartości efektu lokalnego, tj. $STMR > 15$ echo mówcy jest bardziej zauważalne, niż w normalnym zakresie wartości efektu lokalnego i I_{dle} .

W wyrażeniu (41) I_{dle} jest zastąpione przez I_{dtes} :

$$I_{dtes} = \sqrt{I_{dle}^2 + I_{st}^2} \quad (46)$$

Współczynnik I_{dle}

Współczynnik I_{dle} oblicza się ze wzoru

$$I_{dle} = (R_o - R_{le})/2 + \sqrt{(R_o - R_{le})^2/4 + 169} \quad (47)$$

gdzie:

$$R_{le} = 10,5 (WEPL + 7) (Tr + 1)^{-0,25} \quad (48)$$

Współczynnik I_{dd}

Dla $T_a < 100$ ms współczynnik $I_{dd} = 0$

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

$$I_{dd} = 25 \{ (1 + X^6)^{1/6} - 3(1 + [X/3]^6)^{1/6} + 2 \} \quad (49)$$

gdzie:

$$X = \frac{\lg(T_a/100)}{\lg 2} \quad (50)$$

5.2.4 Współczynnik I_e

Współczynnik I_e stosuje się do urządzeń przetwarzających skomplikowany sygnał mowy, w szczególności dotyczy on koderów o małej przepływności binarnej. Kodery te są reprezentowane przez współczynnik K . W sytuacjach kiedy mamy do czynienia z kilkoma posobnie połączonymi koderami (takich samych lub różnych różnych), całkowite obniżenie jakości mowy reprezentowane przez współczynnik I_e , który jest sumą indywidualnych wartości K .

W tablicy 5 podano przybliżone wartości współczynników K różnych kodeków wraz z ich przepływnościami informacyjnymi według ETR 250 [2].

Tablica 5: Wartości współczynników K

Koder	[kb/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

5.2.5 Współczynnik „oczekiwania” A

Wartości A dla poszczególnych rodzajów systemów zestawiono w tablicy 6- według ETR 250 [2].

Tablica 6: Wartości współczynników A

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

5.2.6 Współczynnik jakości transmisji R

Współczynnik jakości transmisji R jest miarą jakości transmisji 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.

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

Współczynnik R może być przeniesiony na różne „pomiaru jakości” reprezentujące szacunki statystyczne:

1. Procent użytkowników oceniających jakość połączenia jako: *dobrą* lub *bardzo dobrą* *GOB* i *słabą* lub *złą* *POW*,
2. Procent użytkowników przedwcześnie przerywających swe połączenia z powodu złej jakości transmisji: *TME*,
3. Średni wskaźnik opinii *MOS*.

Model E, dzięki wyznaczeniu współczynnika jakości transmisji *R* pozwala na oszacowanie reakcji użytkowników łączy telefonicznych na temat jakości mowy w postaci *GOB*, *POW* i *TME* przez uśrednienie funkcji błędu o rozkładzie normalnym. Procedura oszacowania tych reakcji jest następująca: Wyznaczenie współczynnika *R* przez uśrednienie funkcji o rozkładzie normalnym (51):

$$E(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-t^2/2} dt \quad (51)$$

Wtedy

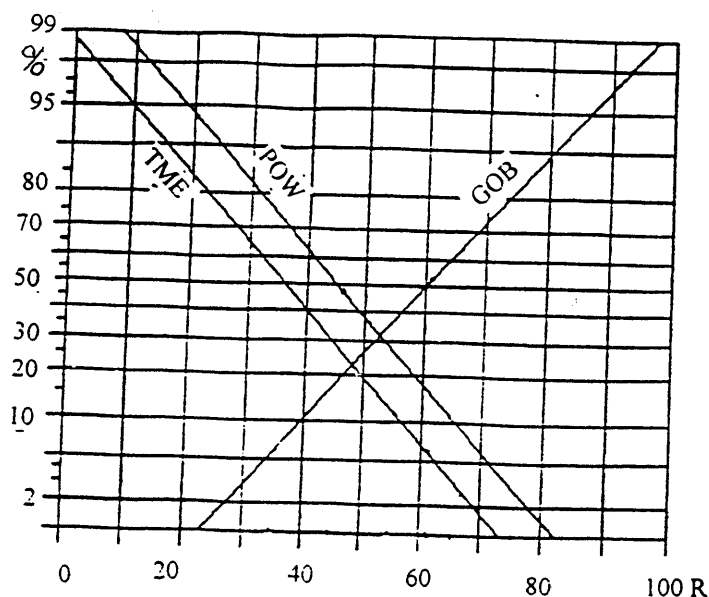
$$GOB = 100E\left[\frac{R-60}{16}\right]\% \quad (52)$$

$$POW = 100E\left[\frac{45-R}{16}\right]\% \quad (53)$$

Wyrażenia dla *GOB* i *POW* pochodzą z aproksymacji średnich wartości krzywych uzyskanych z testów subiektywnych wykonanych w Laboratoriach Bella. W *Modelu E* wyrażenie *TME* pochodzi z publikacji „Transmission Performance of Evolving Telecommunications Networks” [29] i ma postać:

$$TME = 100E\left[\frac{36-R}{16}\right]\% \quad (54)$$

Zależności *GOB*, *POW* i *TME* jako funkcje współczynnika *R* podano na rysunku 25.

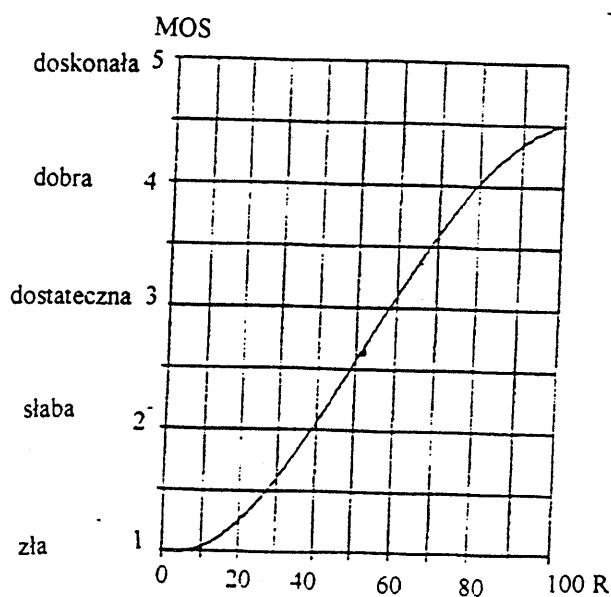


Rysunek 25
Przebiegi $GOB(R)$ i $POW(R)$
pochodzące z testów subiektywnych [2]

Wyrażenie MOS w skali od 1 do 5 pochodzi z Aneksu [28] i przedstawia się następująco:

$$\begin{aligned} \text{Dla } 0 < R < 100 \quad MOS &= 1 + 0,035 \cdot R + R(R-60) (100 - R) 7 \cdot 10^{-6}, \\ \text{Dla } R < 0 \quad MOS &= 1, \\ \text{Dla } R > 100 \quad MOS &= 4,5. \end{aligned} \quad (55)$$

Na rysunku 26 pokazano zależność obliczonego MOS jako funkcję R (wg ETR 250 [2]).



Rysunek 26
Zależność MOS od współczynnika R

W tablicy 7 podano przybliżoną szacunkową jakość sygnału mowy przesyłanego przez łącze telefoniczne wyznaczone za pośrednictwem *Modelu E*. Dane te pochodzą z ETR 250 [2].

Tablica 7: Tymczasowe wskaźniki jakości transmisji mowy wyznaczone na podstawie *Modelu E*

R	GOB %	POW %	TME %	Jakość mowy
90	97			bardzo dobra
80	89			dobra
70	73	6		odpowiednia
60	50	17	6	dostateczna
45	17	50	27	nieodpowiednia
35	6	73	50	klienci będą reklamować

6. TESTY SUBIEKTYWNE

Testy subiektywne powinny być przeprowadzone w określonych, kontrolowanych warunkach. Laboratoria badawcze dążą do zapewnienia warunków testu z jakimi w rzeczywistości spotykają się użytkownicy. Jakkolwiek warunki laboratoryjne są sztucznie stworzone i pomiar jakości jest obciążony niewielkim błędem. Tylko pomiar w rzeczywistych warunkach, tzn. podczas aktualnie realizowanych połączeń jest źródłem uzyskania wiarygodnych wyników.

W badaniach subiektywnych napotyka się kilka podstawowych trudności: opinie o jakości transmitowanej przez łącze telefoniczne mowy czasami znacznie różnią się w zależności od ankietowanych osób, zależą od czasu, okoliczności, a nawet od kondycji psychofizycznej użytkownika telefonu. Na opinie te ma również wpływ sposób formułowania pytania. Należy również zauważyć, że przeciętni użytkownicy nie oceniają świadomie jakości mowy transmitowanej poprzez łącze, lecz przyjmują ją jako jedyną możliwą. Jednak, gdy jakość transmisji głosu spada poniżej pewnego progu, klienci reagują zdenerwowaniem i składają reklamacje u operatora sieci. Najbardziej korzystną sytuacją z punktu widzenia wiarygodności wyników byłoby ankietowanie przeszkolonej licznej grupy użytkowników telefonów tuż po przeprowadzonej rozmowie telefonicznej. Wówczas parametry techniczne zestawionego połączenia byłyby mniej lub bardziej znane.

Zdecydowanie bardziej oszczędną metodą są testy subiektywne przeprowadzane w laboratorium. Wymagają one mniejszej liczby uczestników testów, niższych kosztów i są mniej czasochłonne. Badania laboratoryjne mają jeszcze dodatkową zaletę - rezultaty testów subiektywnych mogą być

porównywane z wynikami uzyskanymi w innych laboratoriach badawczych zajmujących się jakością transmisji mowy w sieciach telekomunikacyjnych.

Rozróżnia się następujące metody subiektywnej oceny jakości transmisji mowy w łączach telefonicznych:

- *Metoda badania wyrazistości logatomowej,*
- *Metoda uśrednionej opinii słuchaczy MOS.*

6.1 Metoda badania wyrazistości logatomowej

Miarą zrozumiałości mowy transmitowanej przez tor złożony z dwóch miejscowych układów telefonicznych, połączonych ze sobą jest *wyrazistość logatomowa*. Określana jest jako procent odebranych prawidłowo bezsensownych sylab (jedno- lub wielosegmentowych) w stosunku do ogólnej liczby nadawanych logatomów.

Badanie wyrazistości logatomowej wykonuje się według procedury i w warunkach środowiskowych podanych w Polskiej Normie PN-90/T-05100 [1] (dla analogowych łańcuchów telefonicznych) oraz w PrPN-V-90002 [43] (dla cyfrowych łańcuchów telefonicznych).

Badania wyrazistości logatomowej przeprowadza się w rzeczywistych warunkach pracy całego łańcucha telefonicznego (bądź jego elementów) lub w warunkach sztucznie stworzonych w laboratorium. Badania pojedynczych elementów łańcucha wykonuje się wstawiając je w odpowiednie miejsce łańcucha wzorcowego.

Ocenę wykonuje się w dwóch odizolowanych akustycznie pomieszczeniach, w których poziom tła nie przekracza 35 dB(A). Jeśli dla danego łańcucha nie wymaga się specjalnych warunków akustycznych, badanie wyrazistości należy przeprowadzić, gdy w pomieszczeniu odbiorczym generowany jest szum z widmem Hotha i poziomie 60 dB(A).

W teście bierze udział grupa przeszkolonych osób (minimum 5 osób) o prawidłowym słuchu i dobrej emisji głosu (bez wad wymowy w języku polskim). Każdorazowo przed badaniem wyrazistości grupa odsłuchowa przeprowadza trening korzystając z co najmniej dwóch 100-logatomowych list. Niektóre laboratoria wykorzystują wysokiej klasy komputer, który pełni rolę mówcy, spełniając wymagania normy [57]. Odebrane logatomy są notowane w specjalnym arkuszu pomiarowym i sprawdzane przez eksperta. Następnie jest obliczana średnia wartość wyrazistości logatomowej W_L według wzoru (56):

$$W_L = \frac{1}{NK} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K W_{n,k} \quad (56)$$

gdzie:

N - liczba słuchaczy,

K - liczba odczytanych list logatomów,

$W_{n,k}$ - wyrazistość logatomowa dla k -tej listy i n -tego słuchacza, tj. wyrażony w procentach stosunek liczby prawidłowo odebranych logatomów do liczby logatomów odczytanych,

Wyniki oceny subiektywnej wyrazistości logatomowej są umieszczane w protokole badań, którego wzór znajduje się w normach [1] i [43].

Liczne badania subiektywne wyrazistości logatomowej łańcuchów telefonicznych doprowadziły do wniosku, że wysoka zrozumiałość nie świadczy o dobrej jakości łącza telefonicznego. Inaczej mówiąc badania wyrazistości nie są wystarczające by w pełni ocenić jakość połączenia telefonicznego pod względem transmisji mowy.

W Polsce obowiązujące dokumenty normalizacyjne oceniają jakość mowy transmitowanej jedynie na podstawie wyników badań wyrazistości logatomowej, a te nie dają pełnej oceny jakości łańcucha telefonicznego pod względem przesyłania mowy.

Konieczne jest więc wprowadzenie nowych metod i miar jakości. Taką miarą jest *Współczynnik Oceny R* obliczany według *Modelu E*.

W niniejszej rozprawie zostanie szacunkowa zależność, odzwierciedlająca związek pomiędzy *współczynnikiem wyrazistości logatomowej W_L* (wyznaczonym subiektywnie) i *współczynnikiem oceny jakości R* (obliczonym na podstawie obiektywnie zmierzonych parametrów transmisyjnych łącza telefonicznego).

6.2 Metoda uśrednionej opinii słuchaczy MOS

Miarą jakości transmisji mowy w całym badanym łańcuchu telefonicznym jest uśredniona opinia słuchaczy MOS.

Procedury przeprowadzenia badań subiektywnych łączy telefonicznych oraz kryteria oceny są opisane w Zaleceniach ITU-T P.80 [29], P.82 [34], P.83 [31]. Rozróżnia się dwa rodzaje testów subiektywnych, których rezultatem jest *uśredniona opinia słuchaczy* (uczestników eksperymentu) o realizowanym połączeniu telefonicznym. Są to:

- testy konwersacyjne (połączenie w obie strony),
- testy słuchowe (połączenie w jedną stronę).

Subiektywne testy konwersacyjne badanego łańcucha telefonicznego polegają na swobodnej rozmowie uczestników testu, po czym oceniają dane łącze w skali jakości od 1 do 5. Testy konwersacyjne mogą być przeprowadzone za pośrednictwem rzeczywistej sieci, jak i w warunkach laboratoryjnych.

Ocena subiektywna w laboratorium ma tę przewagę nad testami polowymi, że można w sposób kontrolowany wprowadzać w łącze określone zniekształcenia transmisji mowy i badać ich wpływ na ogólne subiektywne wrażenie jakości. Uczestnicy testu konwersacyjnego w laboratorium powinni znajdować się w oddzielnych pomieszczeniach w pobliżu stanowiska, z którego eksperyment jest nadzorowany. Kubatura pomieszczenia nie powinna być mniejsza niż 20 m^3 , o czasie pogłosu nie większym niż 500 ms.

Natomiast dla testowania łańcuchów telefonicznych zakończonych aparatami głośno-mówiącymi i z głośnym odsłuchem, wymagana jest większa kubatura pomieszczenia, co najmniej 30 m³.

Poziom hałasu wewnątrz nie powinien przekraczać 35 dB(A). Inne warunki akustyczne imitujące hałasy występujące w pomieszczeniach biurowych, w sklepach, na dworcach lotniczych i kolejowych, wewnątrz stojącego lub jadącego pojazdu itp. są realizowane za pośrednictwem 2÷4 głośników umieszczonych w pokojach, w których przeprowadzane są testy (widma tych hałasów zawierają tabele A.1 i A.2 w Zaleceniu ITU-T P.80 [29])

Uczestnicy eksperymentu konwersacyjnego reprezentują zwykłą grupę użytkowników telefonów (kobiety i mężczyźni) mającą dobry słuch. Osoby te nie powinny przez ostatnie 6 miesięcy brać udziału w podobnych badaniach. Zaleca się, aby w eksperymencie konwersacyjnym brały udział 24 osoby (12 par), wtedy zapewniona jest wystarczająca dokładność badania.

Laboratorium musi mieć możliwość realizacji połączeń telefonicznych zbliżonych do tych, z jakimi spotykamy się w rzeczywistych warunkach tzn. stosuje się aparaty telefoniczne, których się powszechnie używa, zapewniona jest symulacja centrali telefonicznej, gdy jest potrzeba wykorzystuje się sztuczne linie abonenckie odzwierciedlające tłumienności kabli prowadzonych od abonenta do centrali, wprowadzane są zniekształcenia podobne do tych jakie wprowadzają urządzenia PCM itd.

Zakres warunków testu powinien być wystarczająco szeroki, aby uczestnicy oswoili się z transmisją mowy, którą można by ocenić jako doskonałą, jak i bardzo złą. W czasie sesji treningowej uczestnicy powinni mieć zaprezentowane co najmniej trzy warunki transmisji. Uczestnicy testu powinni być bardzo dokładnie zapoznani z przebiegiem eksperymentu i ze sposobem określania swojej opinii o jakości odbieranej mowy.

Subiektywne testy słuchowe polegają na słuchaniu mowy nagranej i transmitowanej za pośrednictwem badanego łącza telefonicznego. Po wysłuchaniu materiału testowego uczestnicy dokonują oceny jakości transmisji mowy w skali ocen od 1 do 5.

W testach dla zapewnienia wystarczającej dokładności oceny powinno brać udział 30 słuchaczy. ITU-T w Zaleceniu P.80[29] zaleca, aby w trakcie sesji treningowej liczba warunków połączenia wynosiła około 6.

Warunki akustyczne w pokoju odsłuchowym powinny być zbliżone do tych, jakie są wymagane w testach konwersacyjnych. Dopuszcza się udział większej liczby osób równocześnie słuchających tego samego połączenia. Wówczas wymiary pomieszczenia muszą być odpowiednio większe z zachowaniem wymaganych parametrów akustycznych pokoju. Stanowiska odsłuchowe powinny być oddzielone ekranami, aby słuchacze nie dzielili się między sobą opiniami o teście. Materiał testowy stanowi pięć krótkich zdań oznajmiających lub pytających w danym języku (czas trwania około 20 s). Nagrywane są głosy mężczyzn i kobiet (z dobrą dykcją) na wysokiej klasy cyfrowych urządzeniach rejestrujących. Taśma źródłowa z nagraniem materiałem testowym jest następnie odtwarzana zgodnie z procedurą eksperymentu.

Uczestnicy eksperymentu słuchowego korzystają ze specjalnie skonstruowanego mikrofonu, w którym w miejsce mikrofonu podłączony jest rezystor symulujący moduł impedancji mikrofonu dla dźwięków o częstotliwości 1 kHz. Uczestnicy testu powinni być bardzo dokładnie zapoznani z przebiegiem eksperymentu i ze sposobem określania swojej opinii o jakości odbieranej mowy. Wadą testów słuchowych jest to, że ze swej natury nie nadają się do oceny opóźnień, echa, efektu lokalnego i zakłóceń, które oddziałują na sygnał mowy w trakcie połączenia. Zarówno w testach konwersacyjnych jak i słuchowych uczestnicy mają do dyspozycji te same kategorie i kryteria oceny. Rozróżnia się następujące kategorie oceny jakości mowy transmitowanej poprzez łącze telefoniczne:

- *Bezwzględne kategorie oceny*

- A. Doskonała,
- B. Dobra,
- C. Dość dobra,
- D. Słaba,
- E. Zła.

- *Kategoria natężenia słuchu*

- A. Całkowity relaks,
- B. Niewielka uwaga,
- C. Umiarkowana uwaga,
- D. Znaczny wysiłek słuchowy,
- E. Brak zrozumienia, duża uwaga.

- *Kategoria głośności*

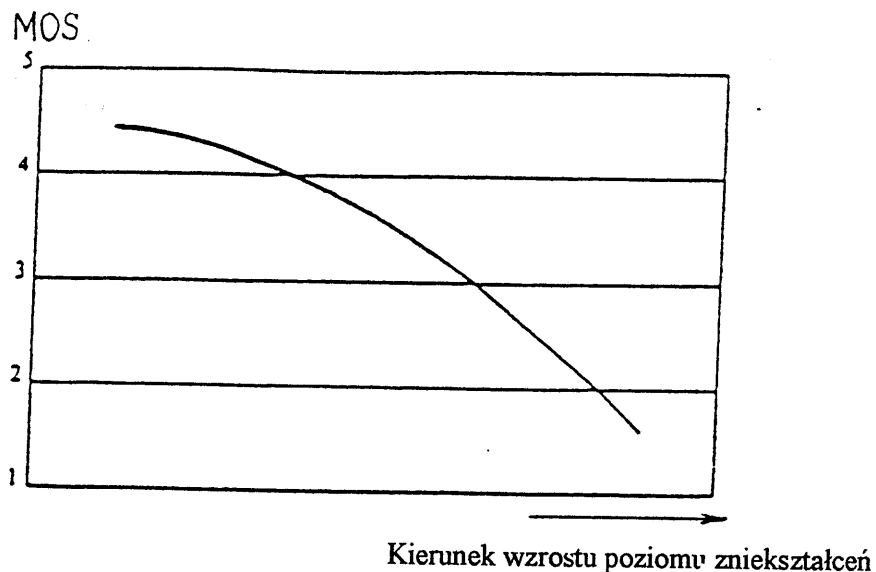
- A. Znacznie głośniejsze niż potrzeba,
- B. Głośniejsze niż potrzeba,
- C. Głośność taka jak potrzeba,
- D. Ciszej niż potrzeba,
- E. Znacznie ciszej niż potrzeba.

Dodatkowe informacje o jakości transmisji mowy można otrzymać zadając pytanie po zakończeniu testu np. „Czy miałeś jakieś trudności w odbiorze podczas testu?” Uczestnik testu odpowiada „Tak” lub „Nie”.

W ramach każdej kategorii ocenom A, B, C, D, E są przyporządkowane wagi liczbowe odpowiednio 5, 4, 3, 2, 1.

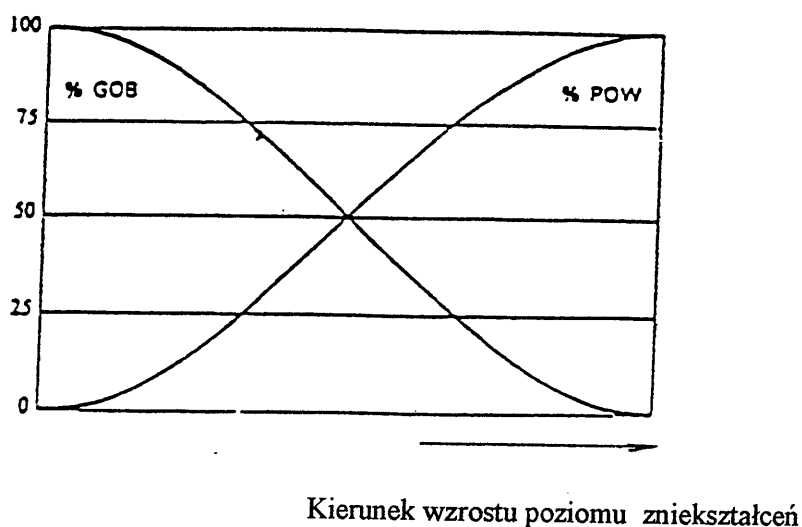
W każdym eksperymencie, w danej kategorii, suma ocen wszystkich uczestników testu podzielona przez liczbę osób stanowi wartość MOS.

Średnia ocena MOS słuchaczy może być wykreślona jako funkcja zniekształceń transmisji mowy (tłumienie, echo, czas transmisji, efekt lokalny itd.) -rys 27.



Rysunek 27
Wpływ zniekształceń transmisji na *MOS* [57].

Jakość połączenia telefonicznego często prezentowana jest jako procent użytkowników oceniających w kategoriach jakości: *dobra* lub *bardzo dobra* (*GOB*), a także *słaba* lub *zła* (*POW*). Zależność tych kategorii od wzrostu zniekształceń przedstawiono na rysunku 28.



Rysunek 28
Wpływ zniekształceń mowy na procent użytkowników oceniających łącze jako *GOB* lub *POW* [57].

Wartości *MOS* otrzymane z badań subiektywnych są często prezentowane w statystyce jako poziom ufności tego konkretnego badania. Jednak zalecana jest duża ostrożność w definiowaniu warunków testu i w interpretacji wyników.

Wartość *MOS* z danego testu nie powinna być wzięta jako wartość bezwzględna, lecz uwzględniająca wartość odniesienia. „*Krzywa odniesienia*” zależy od osób biorących udział w teście subiektywnym. W teście wymaga się oceny pogorszenia jakości o znanej naturze. Stosując to odniesienie wartości *MOS* testu mogą być znormalizowane i wtedy wyniki z różnych testów laboratoryjnych mogą być porównywane.

Gdy oceny subiektywne przeprowadzane są przez różne zespoły testujące to muszą być dokładnie zdefiniowane warunki odniesienia. Wówczas dla tych samych urządzeń lub procesów i w takich samych warunkach pomiarowych, rozrzut wartości *MOS* nie powinien przekraczać 0,5 punktu. W ramach tego samego doświadczenia dopuszczalny rozrzut wartości *MOS* może wynosić 0,7 punktu.

Testy konwersacyjne i odsłuchowe można wykonywać zarówno w warunkach polowych (rzeczywistych) jak i w laboratorium.

Do oceny jakości usługi telefonicznej w rzeczywistej sieci służy kwestionariusz przedstawiony w Zaleceniu ITU-T E.125 [44], natomiast skrócony zestaw pytań znajduje się w ITU-T P.82 [30]. Pełny kwestionariusz zawiera 16 szczegółowych pytań kierowanych zarówno do użytkowników sieci krajowych, jak i realizujących połączenia międzynarodowe.

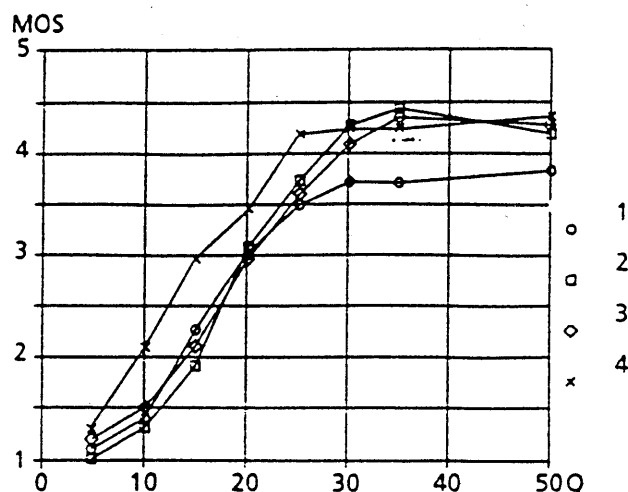
Wypełniony zbiór kwestionariuszy stanowi interesujący materiał zarówno dla operatorów sieci, jak i dla osób zajmujących się modernizacją starszych sieci jak i dla planistów zupełnie nowych łącz.

6.3 Procedura wyznaczania współczynnika I_e

Generalnie powinno unikać się szacowania jakości przesyłanej mowy za pomocą *MOS*, gdyż metoda ta zawiera więcej czynników względnych niż wartości bezwzględnych. Jakkolwiek koncepcja *MOS* jest bardzo praktyczna przy określaniu nowych typów zniekształceń transmisji np. spowodowanych zastosowaniem w łączu koderów mowy lub zespołu koderów o małej przepływności binarnej. Koncepcja *MOS* jest przydatna do oszacowania współczynników reprezentujących transmisyjne zniekształcenia wnoszone przez takie urządzenia jak wspomniane kodery mowy, systemy DSI, DCME, VPE i inne.

Wiele laboratoriów badawczych na świecie zaangażowanych w testy subiektywne łącz telefonicznych stosuje metodę *MOS* do wyznaczania współczynnika I_e (pkt 5.2.4), będącego miarą zniekształcenia mowy z powodu stosowania w łączu koderów mowy. Testy te wykonuje się zgodnie z zaleceniami ITU-T P.80 [29] i P.83 [31].

Do subiektywnej oceny wpływu procesów cyfrowych w telefonii służy wąskopasmowy układ *MNRU* wg Zalecenia ITU-T P.810 [34]. Za pośrednictwem tego układu przeprowadza się „kalibrację” zespołu badań subiektywnych. Polega ona na uzyskaniu oceny *MOS* członków ekipy odsłuchowej w układzie *MNRU* dla odpowiednich wartości Q (Q jest stosunkiem mocy sygnału mowy do zmodulowanego szumu). W rezultacie otrzymuje się „krzywą odniesienia zespołu” *MOS* jako funkcję Q . Na rysunku 29 przykładowo przedstawiono takie krzywe otrzymane podczas testowania kodeka LD-CELP 8 kb/s w czterech różnych laboratoriach międzynarodowych..



Rysunek 29
Krzywe „kalibracji” czterech zespołów testujących

Krzywa wartości MOS w funkcji Q może być wygładzona przez odpowiedni dobór stałych A , B , C , Q_m -wzór 57

$$MOS = 1 + A + B \tanh\{(Q - Q_m)/C\} \quad (57)$$

Stosując krzywą kalibracji, można wartościom MOS badanego kodera przyporządkować wartości Q , obliczoną wg wzoru (58):

$$Q = Q_m + C/2 \ln\{(B - A - 1 + MOS)/(B + A + 1 - MOS)\} \quad (58)$$

Następnie wartości Q są przekształcane na szukane współczynniki I_e . Odpowiednia wartość I_e jest otrzymana z zależności:

gdzie:
$$I_e = 15 \lg\{1 + 10^{-1/3} 10^{(46-G)/10}\}, \quad (59)$$

$$G = 1,07 + 0,258 Q + 0,0602 Q^2 \quad (60)$$

Każdy typ kodera jest powiązany ze specyficznym parametrem K równym współczynnikowi I_e .

Współczynnik I_e kilku posobnie połączonych koderów jest równy sumie współczynników K poszczególnych koderów.

$$I_e = K = \sum K_i \quad (61)$$

Dla n identycznych koderów współczynnik obniżenia jakości mowy zespołu koderów wynosi:

$$I_e = n K \quad (62)$$

Badaniom subiektywnym powinny podlegać zarówno kodery standardowe (ze znanymi współczynnikami K) jak i nowe typy koderów. Według podanej powyżej procedury zostały wyznaczone współczynniki K przedstawione w tablicy 5 (pkt 5.2.4) [2].

7. BADANIA SUBIEKTYWNE WYRAZISTOŚCI LOGATOMOWEJ

Pomiar *współczynnika wyrazistości logatomowej* łączy telefonicznych zestawionych w laboratorium w Instytucie Łączności wykonano według procedury opisanej w Polskiej Normie PN-90/T-05100 [1].

7.1 Zespół badań subiektywnych

W skład zespołu badań subiektywnych wchodziło pięć osób (3 mężczyźni i 2 kobiety), mających prawidłowy słuch i poprawną wymowę w języku polskim. Badania audiometryczne słuchu uczestników testu wykonano w IŁ za pośrednictwem Audiometru typ: AUG-64 A. Umownie osoby te oznaczono dużymi literami: **A** (S.O), **B** (M.T), **C** (M.S), **D** (A.T), **E** (A.R).

Uwaga:

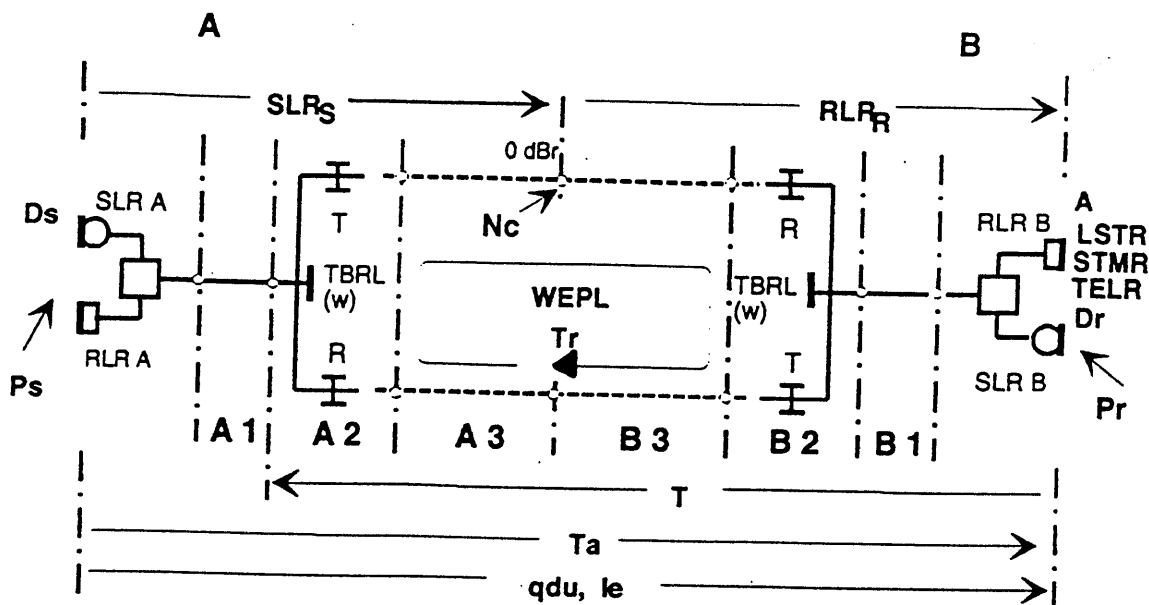
W nawiasach znajdują się inicjały osób biorących udział w badaniach subiektywnych *wyrazistości logatomowej*

7.2 Pomieszczenia pomiarowe

Testy subiektywne *wyrazistości logatomowej* wykonuje się w dwóch odizolowanych akustycznie i optycznie pomieszczeniach. Jeden pokój pełni funkcję pomieszczenia nadawczego, w którym poziom hałasu nie przekracza 35 dB(A). Na stanowisku pomiarowym mówcy znajduje się mikrofon pomiarowy typ 4144 wraz z Akustycznym Miernikiem Poziomu typ.2603 firmy Bruel & Kjaer służące do kontroli poziomu mowy osoby „nadającej” logatomy. Drugi pokój jest pomieszczeniem odbiorczym, w którym poziom szumu własnego nie przekracza 35 dB(A). Zgodnie z wymaganiami zawartymi w normie [1] w miejscu odbioru panował szum o widmie Hoth'a i poziomie ciśnienia akustycznego wynoszącym 60 dB(A).

7.3 Symulacja połączenia telefonicznego w laboratorium.

W laboratorium w Instytucie Łączności zasymulowano łańcuch telefoniczny w konfiguracji przedstawionej na rysunku 30.



Rysunek 30

Konfiguracja łącza telefonicznego zasymulowanego w laboratorium w Instytucie Łączności wraz z istotnymi parametrami.

Zrealizowano 75 połączeń analogowych aparatów telefonicznych za pośrednictwem linii sztucznych oznaczonych na rysunku 30 jako część A1 i B1, symulatorów central abonenckich w postaci układów zasilających przedstawionych na rysunku 31-część A2 i B2 oraz łącza między-centralowego, które reprezentuje trakt cyfrowy łącza- część A3 i B3.

Uwaga.

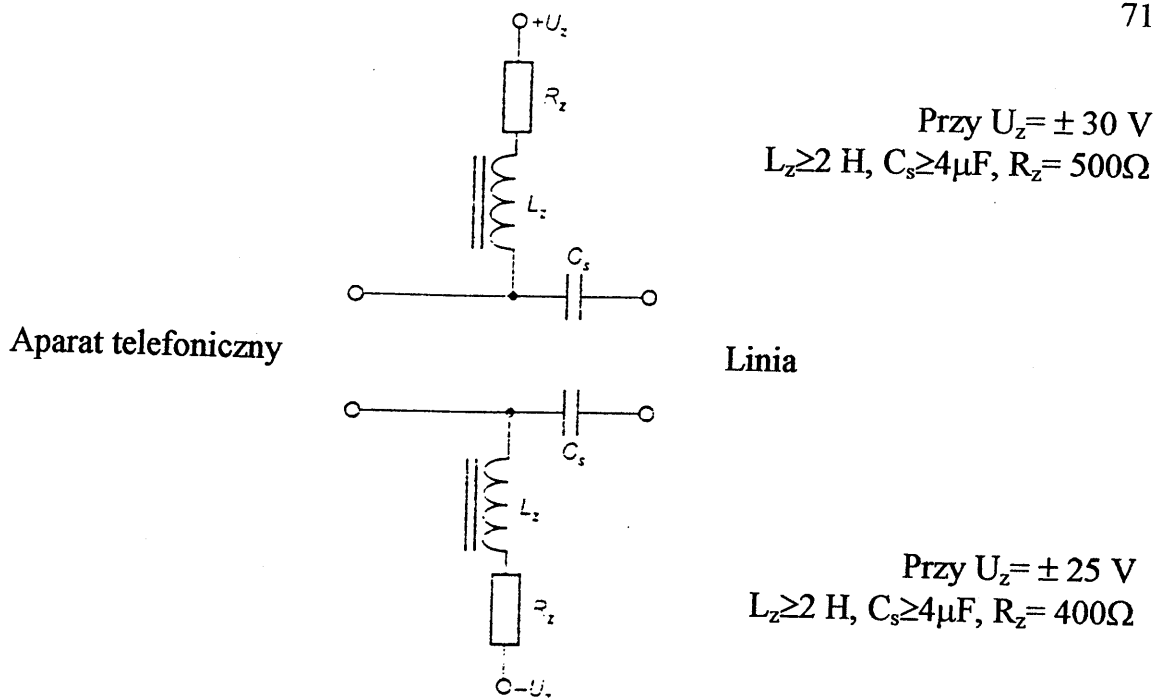
Przyjęto, że *punkt odniesienia*, w którym poziom sygnału mowy wynosi 0 dBm znajduje się w części cyfrowej połączenia-rys.30

Linia sztuczna abonencka odwzorowuje tor kablowy typu *XTKMX* z żyłami o średnicy przekroju $\varnothing 0,4$ mm o tłumienności falowej 8,5 dB i 17 dB, co odpowiada linii o długości 4,8 km i 9,6 km.

Uwaga.

Układ linii abonenckiej (struktura H) wraz z jej parametrami przedstawiono w pkt 3.3.3 niniejszej rozprawy,

Symulatory centrali abonenckiej w postaci układu zasilającego przedstawionego na rys.31.



Rysunek 31
 Układ Zasilający (wg PN-98/T-83001 [8])

7.4 Procedura wyznaczania subiektywnej oceny współczynnika wyrazistości logatomowej W_L

Przed badaniem każdorazowo grupa odsłuchowa przeprowadzała trening z użyciem dwóch 100 logatomowych list.

Nadawanie logatomów odbywało następująco: mówca równym głosem o poziomie 94 dB(A) wypowiadał następujące słowa:

„SYLABA – (odpowiedni) LOGATOM – ODBIÓR”

Słuchacz w ciągu 3 do 5 sekund notował usłyszany logatom, po czym słuchał kolejnych itd.

Mówca odczytywał daną listę 100-logatomową kolejno słuchaczom. Odebrane logatomy były notowane w specjalnym arkuszu pomiarowym i sprawdzane. Wyniki badań wyrazistości logatomowej są zanotowane w protokołach badań.

Dla danego połączenia, kiedy odczytywana była ta sama (dana) 100-logatomowa lista, uzyskano cztery wyniki badań wyrazistości logatomowej wówczas W_L obliczana jest ze wzoru (56).

Wykonano badania wyrazistości logatomowej 75 połączeń zrealizowanych w warunkach laboratoryjnych za pośrednictwem aparatów telefonicznych dostępnych w Instytucie Łączności z racji przeprowadzanych badań homologacyjnych. Część z tych urządzeń nie spełnia wymagań Polskiej Normy [8]. Dodatkowo pogorszenie jakości transmisji mowy uzyskano stosując sztuczne linie abonenckie o długości około 5 km (po każdej stronie), a nawet w kilku przypadkach użyto linie dwukrotnie dłuższe (o tłumienności falowej około 17 dB po stronie nadawczej lub odbiorczej).

Konfiguracje tych połączeń przedstawiono w tablicy 8.- Załącznik 1

Ze względu na dużą ilość wyników subiektywnych badań *wyrazistości logatomowej* W_L zestawionych w tablicy 9 przeniesiono ją do Załącznika 1.

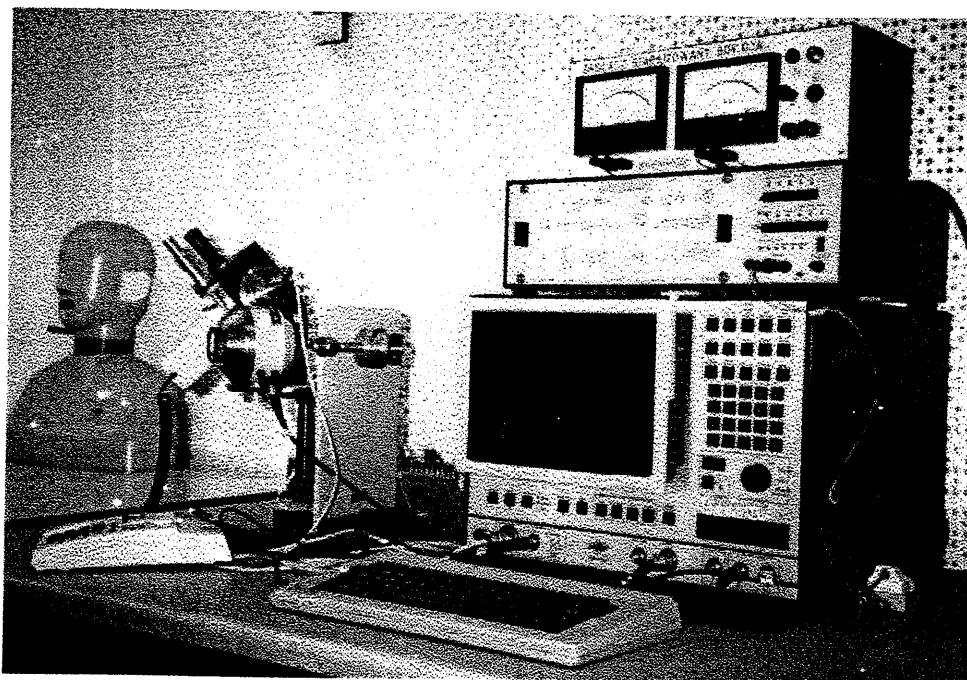
8. ZASTOSOWANIE MODELU E

W Rozdziale 5 niniejszej rozprawy przedstawiono strukturę Modelu E oraz podano zależności matematyczne do obliczenia poszczególnych współczynników reprezentujących czynniki wpływające na obniżenie jakości mowy. W tym rozdziale zostaną przedstawione przykłady obliczenia *współczynników jakości transmisji* R wybranych połączeń telefonicznych zrealizowanych w laboratorium. Niniejsze połączenia telefoniczne charakteryzują się następującymi parametrami, których uwzględnienie wymaga *Model E*.

- Czas transmisji wynosi $T=25$ ms,
- Opóźnienie sygnału w obie strony $T_r=0$ ms,
- Bezwzględne opóźnienie sygnału od mówcy do słuchacza wynosi $T_a=25$ ms,
- Zniekształcenia kwantyzacji w łączu między-centralowym, który stanowi trakt cyfrowy $q_{du}=0,7$,
- Współczynnik „oczekiwania” (dostępu) dla łącza stacjonarnego wynosi $A=0$,
- Współczynnik zniekształceń aparatów bezprzewodowych zawierających koder mowy typ ADPCM 32kb/s wynosi $I_e=7$,
- Współczynnik mikrotelefonów $D=3$ dB dla konwencjonalnych wzorów oraz dla mikrotelefonów krótkich (w aparatach bezprzewodowych) $D=0$ dB,
- Ważona tłumienność echa $WEPL=20$ dB.

Dane do obliczeń pochodzą z obiektywnych pomiarów parametrów telefonometrycznych toru telefonicznego t.j. SLR , RLR , OLR , $STMR$, $LSTR$, $TELR$ oraz warunków środowiskowych t.j. poziom hałasu w pomieszczeniu nadawczym P_{os} w $dB(A)$ i w pokoju odsłuchowym P_{or} w $dB(A)$.

Do pomiaru parametrów transmisyjnych toru wykorzystano skomputeryzowany zestaw pomiarowy, którego zasadniczym urządzeniem jest Analizator Akustyczny typ 2012 wraz z oprogramowaniem *Special Calculation* typ 7661 firmy Bruel & Kjaer-rys. 32.



Rysunek 32
Zestaw do obiektywnego pomiaru tłumienności głośności LR łącza
firmy Bruel & Kjaer.

W skład zestawu wchodzi:

- Sztuczna głowa typ 4905 (symulator ust typ 4227, sztuczne ucho typ 4185),
- Interfejs telefoniczny typ 5906/WH 2517,
- Sztuczna linia abonencka (o tłumiennościach od 0 dB do 8,5 dB i 17 dB),
- Ploter graficzny typ 2319.

Konstrukcje sztucznych ust i sztucznego ucha spełniają wymagania Zaleceń ITU-T P.51[6] i P.57[7].

Interfejs telefoniczny zapewnia odpowiednie warunki zasilania urządzeń abonenckich oraz automatycznie steruje procesem pomiarowym.

Zestaw z Analizatorem Akustycznym typ 2012 zapewnia pobudzenie akustyczne i elektryczne o wymaganych poziomach-patrz pkt 3.2.

Ze względu na ograniczoną objętość pracy, w Załączniku 2 przedstawiono wyniki pomiarów tylko kilku wybranych połączeń. W tablicy 10 zestawiono wartości liczbowe obiektywnie zmierzonych parametrów niezbędnych do obliczenia współczynników jakości transmisji R_{75} zrealizowanych połączeń telefonicznych.

Tablica 10

Lp	Numer połączenia	Ds. (dB)	SLR (dB)	OLR (dB)	Dr (dB)	RLR (dB)	STMR (dB)	LSTR (dB)	TELR (dB)
1	1.	0	11,85	13,79	3	1,94	15,86	18,84	32,9
2	2.	3	9,44	8,64	3	-0,8	10,79	13,79	39,9
3	3.	3	7,22	9,16	3	1,94	15,84	18,84	27,84
4	4.	3	9,44	8,21	3	-1,23	8,31	11,31	33,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	6.	3	9,44	7,32	3	-2,12	7,2	11,2	35,14
7	7.	3	11,51	13,45	3	1,94	15,84	18,84	38,8
8	8.	3	9,44	12,77	3	3,33	11,24	14,24	36,34
9	9.	3	9,44	13,06	3	4,16	22,2	25,2	34,94
10	10.	3	13,7	15,64	3	1,94	15,84	18,84	41,7
11	11.	3	9,05	10,99	3	1,94	15,84	18,84	31,1
12	12.	3	9,44	7,49	3	-1,95	13,5	16,5	22,43
13	13.	3	10,58	12,52	3	1,94	15,84	18,84	38,7
14	14.	3	9,44	13,55	3	4,11	16,6	19,6	32,14
15	15.	3	9,44	13,44	3	4,0	15	18	32,24
16	16.	3	14,84	16,78	3	1,94	15,84	18,84	43,0
17	17.	3	9,44	13,56	3	4,12	8,68	11,68	39,04
18	18.	3	12,32	14,26	3	1,94	15,84	18,84	39,5
19	19.	3	9,44	2,93	3	-6,51	16,9	19,9	28,54
20	20.	3	7,8	9,74	3	1,94	15,84	18,84	25,3
21	21.	3	9,44	6,18	3	-3,26	15,35	18,35	30,14
22	22.	3	8,71	10,65	3	1,94	15,84	18,84	24,3
23	23.	3	11,1	13,04	3	1,94	15,84	18,84	37,0
24	24.	3	9,44	11,24	3	1,8	13,54	16,54	33,0
25	25.	3	9,44	9,42	3	-0,62	13,5	16,5	40,14
26	26.	3	9,42	11,36	3	1,94	15,84	18,84	33,2
27	27.	3	13,72	15,66	3	1,94	15,84	18,84	45,9
28	28.	3	9,44	17,62	0	8,18	24	24	26,82
29	29.	3	9,44	10,83	0	1,39	19,7	19,7	33,34
30	30.	0	12,3	14,24	3	1,94	15,84	18,84	37,7
31	31.	0	11,59	13,53	3	1,94	15,84	18,84	36,4
32	32.	3	9,44	10,25	0	0,81	18,74	18,74	35,84
33	33.	3	9,44	7,18	0	-2,26	13,76	13,76	35,18
34	34.	0	9,63	11,57	3	1,94	15,84	18,84	31,4
35	35.	3	5,76	7,7	3	1,94	15,84	18,84	24,5
36	36.	3	9,44	4,2	3	-5,24	3,53	6,53	36,14
37	37.	3	9,44	17,01	3	7,57	5,36	8,36	28,94
39	38.	3	12,34	14,28	3	1,94	15,84	18,84	43,9
39	39.	3	9,44	11,92	0	2,48	13,48	13,48	33,04
40	40.	0	11,46	13,4	3	1,94	15,84	18,84	35,8
41	41.	3	9,44	8,69	3	-0,75	3,43	6,43	23,14
42	42.	3	4,41	6,35	3	1,94	15,84	18,84	27,7
43	43.	3	18,84	20,78	3	1,94	15,84	18,84	39,94
44	44.	3	9,44	6,54	3	-2,9	6,53	9,53	21,25
45	45.	3	9,44	8,63	3	-0,81	19,4	22,4	32,54
46	46.	3	10,58	12,52	3	1,94	15,84	18,84	33,7
47	47.	3	9,44	8,02	3	-1,42	7,19	10,9	24,14
48	48.	3	20,51	22,45	3	1,94	15,84	18,84	43,09
49	49.	3	0,44	4,66	3	-4,78	9,31	12,31	21,34
50	50.	3	18,48	20,42	3	1,94	15,84	18,84	37,7
51	51.	3	9,44	11,4	3	1,97	17,3	20,3	34,54
52	52.	3	23,03	24,97	3	1,94	15,84	18,84	49,0
53	53.	3	9,44	5,12	3	-4,32	16,33	19,33	32,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
54	54.	3	15,19	17,13	3	1,94	15,84	18,84	34,87
55	55.	3	9,44	13,46	3	4,02	19,7	22,7	32,54
56	56.	3	21,95	23,89	3	1,94	15,84	18,84	49,97
57	57.	3	9,44	8,99	3	-0,45	6,34	9,34	24,54
58	58.	3	5,95	7,89	3	1,94	15,84	18,84	29,5
59	59.	3	9,44	7,49	3	-1,95	13,5	16,5	22,44
60	60.	3	9,05	10,99	3	1,94	15,84	18,84	29,5
61	61.	3	9,44	9,85	3	0,41	10,98	13,98	47,74
62	62.	3	14,48	16,42	3	1,94	15,84	18,84	38,9
63	63.	3	10,37	12,34	3	1,94	15,84	18,84	20,33
64	64.	3	9,44	7,15	3	-2,29	4,05	7,05	33,14
65	65.	3	29,46	33,1	3	3,64	18,95	21,05	64,9
66	66.	3	30,02	33,66	3	3,64	18,05	21,05	59,8
67	67.	3	29,46	31,72	3	2,26	12,73	15,73	50,85
68	68.	3	29,46	31,4	3	1,94	15,84	18,84	55,4
69	69.	3	9,44	20,87	3	11,43	19,7	22,7	32,38
70	70.	3	9,44	15,54	3	6,1	8,86	11,86	24,14
71	71.	3	30,02	31,96	3	1,94	15,84	18,94	60,12
72	72.	3	23,55	25,49	3	1,94	15,84	18,84	51,2
73	73.	3	9,44	13,08	3	3,64	18,5	21,53	34,87
74	74.	3	9,44	11,7	3	2,26	12,73	15,73	37,7
75	75.	3	28,33	30,3	3	1,94	15,84	18,84	54,59

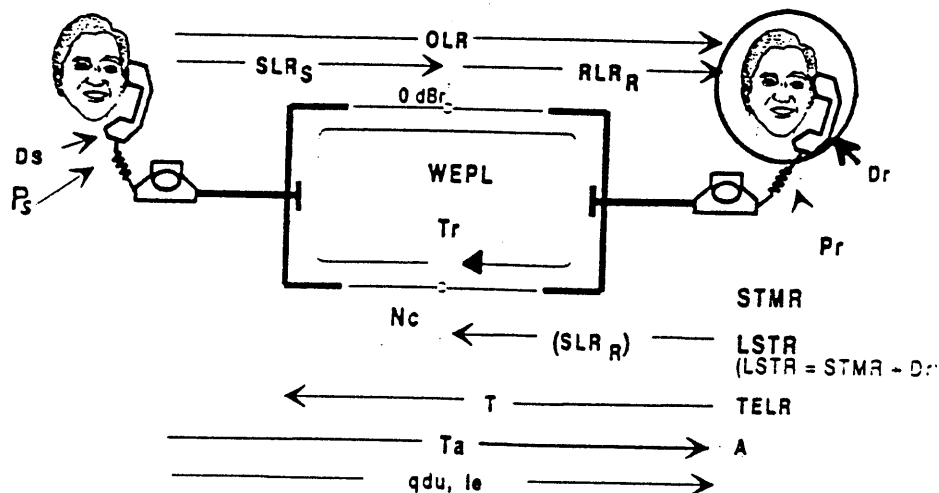
8.1 Przykłady obliczeń współczynników jakości transmisji R

Pierwszy przykład

Przykład obliczenia współczynnika R dla połączenia zrealizowanego w warunkach laboratoryjnych, zestawionego za pośrednictwem następujących urządzeń:

- W pozycji S (mówcy) analogowy aparat telefoniczny typ KX-TS15PD-W,
- Sztuczna linia (abonenta mówiącego) o tłumienności 8,5 dB,
- Symulator centrali abonenckiej – rys.31,
- Linia między centralowa-trakt cyfrowy o tłumienności 0 dB- „punkt 0 dBr”,
- Symulator centrali abonenckiej – rys.31,
- Sztuczna linia (abonenta słuchającego) o tłumienności 8,5 dB,
- W pozycji R (słuchacza) analogowy aparat telefoniczny typ Euroset 812

Na rysunku 33 przedstawiono konfigurację połączenia i stosowne parametry przydatne w *Modelu E*.



$P_s = 35 \text{ dB(A)}$
 $D = D_s = 3 \text{ dB}$
 $SLR = 9,44 \text{ dB}$

$N_c = -70 \text{ dBm0p}$
 $N_{for} = -64 \text{ dBmp}$
 $OLR = 8,64 \text{ dB}$
 $I_e = 0, A = 0, q_{du} = 0,7$

$P_r = 60 \text{ dB(A)}$
 $D = D_r = 3 \text{ dB}$
 $RLR = -0,8 \text{ dB}$
 $STMR = 10,79 \text{ dB}$
 $LSTR = 13,79 \text{ dB}$
 $TELR = 40 \text{ dB}$
 $WEPL = 20 \text{ dB}$
 $T = 25 \text{ ms}$
 $Tr = 0 \text{ ms}$
 $Ta = 25 \text{ ms}$

Rysunek 33

Konfiguracja połączenia aparatu telefonicznego typ KX-TS15PD-W z aparatem typ Euroset 812 i parametry niezbędne w zastosowaniu *Modelu E*.

1. Współczynnik jakości transmisji R jest wyrażony wzorem (23) pkt 5.2

$$R = R_o - I_s - I_d - I_e + A$$

1.1 Współczynnik R_o reprezentuje podstawowy współczynnik sygnał/szum SNR transmisji głosu w punkcie 0 dBr - rys 33.

Wyrażenie na współczynnik R_o jest następujące:

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

gdzie:

SLR jest tłumiennością głośności przy nadawaniu odniesioną do punktu 0 dBr najbliższego w miejscu R - rys 33.

N_o jest poziomem całkowitego szumu także odniesionym do punktu 0 dBr, który otrzymuje się przez dodanie mocy:

- Szumu elektrycznego obwodu 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 ,
- Hałas tła N_{fo} dBm0p występujący w miejscu R .

Obliczenie całkowitego poziomu szumu N_o w [dBm0p]

Całkowity poziom szumu N_o otrzymuje się przez dodanie mocy wszystkich składników szumu:

$$N_o = 10 \lg [10^{N_c/10} + 10^{N_{os}/10} + 10^{N_{or}/10} + 10^{N_{fo}/10}] \text{ [dBm0p]}$$

- Równoważny poziom szumu obwodu N_{os} spowodowany hałasem otoczenia P_{os} dB(A) w miejscu S wynosi:

$$\begin{aligned} N_{os} &= P_{os} - SLR - D_s - 100 + 0,008 (P_{os} - OLR - D_s - 14)^2 = \\ &= 35 - 9,44 - 3 - 100 + 0,008 (35 - 8,64 - 3 - 14)^2 = -76,74 \text{ dBm0p} \end{aligned}$$

- Równoważny poziom szumu obwodu N_{or} spowodowany hałasem otoczenia P_{or} dB(A) w miejscu słuchacza R wynosi:

$$N_{or} = RLR - 121 + P_{ore} + 0,008 (P_{ore} - 35)^2 \text{ [dBm0p]}$$

gdzie:

P_{ore} jest efektywnym poziomem hałasu otoczenia spowodowanym zwiększeniem się P_{or} przez efekt lokalny słuchacza $LSTR$ w pozycji R

$$P_{ore} = P_{or} + 10 \lg [1 + 10^{(10 - LSTR)/10}] = 60 + 10 \lg [1 + 10^{(10 - 13,79)/10}] = 61,52 \text{ dB(A)}$$

$$\begin{aligned} N_{or} &= RLR - 121 + P_{ore} + 0,008 (P_{ore} - 35)^2 = \\ &= -0,8 - 121 + 61,52 + 0,008 (61,52 - 35)^2 = -54,65 \text{ dBm0p} \end{aligned}$$

- Poziom szum tła N_{fo} dBm0p odnosi się do szumu tła w miejscu R i wynosi:

$$N_{fo} = N_{for} + RLR = -64 - 0,8 = -64,8 \text{ dBm0p}$$

- Szum elektryczny obwodu N_c otrzymuje się przez dodanie mocy szumu różnych źródeł w połączeniu, wszystkie odniesione do punktu 0 dBr.

Szum elektryczny rozpatrywanego połączenia telefonicznego wynosi -70 dBm0p .

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

$$\begin{aligned} N_o &= 10 \lg [10^{N_c/10} + 10^{N_{os}/10} + 10^{N_{or}/10} + 10^{N_{fo}/10}] = \\ &= 10 \lg [10^{-70/10} + 10^{-76,74/10} + 10^{-54,65/10} + 10^{-64,8/10}] \text{ dBm0p} = \\ &= 10 \lg 38,81 \cdot 10^{-7} = -54,1 \text{ dBm0p}. \end{aligned}$$

Obliczenie współczynnika R_o

$$R_o = 15 - 1,5 (SLR + N_o) = 15 - 1,5(9,44 - 54,1) = 82$$

$$\underline{R_o = 82}$$

1.2 Współczynnik I_s

Wzór na współczynnik I_s jest następujący:

$$I_s = I_{olr} + I_{st} + I_q$$

- Obliczenie współczynnika I_{olr}

Współczynnik I_{olr} reprezentuje obniżenie jakości transmisji spowodowane zbyt głośnym połączeniem tj. wtedy gdy OLR jest zbyt mały.

Wyrażenie na współczynnik I_{olr} jest następujące:

$$I_{olr} = 20 [\{ 1 + (X/8)^8 \}^{1/8} - X/8]$$

gdzie:

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

$$N_t = N_o - RLR = -54,1 - (-0,8) = -53,3 \text{ dBmp},$$

$$X = 13,4 + 0,2(64 - 53,3) = 10,78,$$

$$I_{olr} = 20 [\{ 1 + 10,78/8^8 \}^{1/8} - 10,78/8] = 0,25.$$

$$\underline{I_{olr} = 0,25}$$

- Obliczenie współczynnika I_{st}

Współczynnik I_{st} reprezentuje obniżenie jakości transmisji spowodowane niewłaściwą wartością efektu lokalnego,

Wyrażenie na współczynnik I_{st} jest następujące:

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

gdzie:

$$STMR_o = -10 \lg [10^{-STMR/10} + e^{-T/4} 10^{-TELR/10}] = 10 \lg [10^{-10,79/10} + e^{-25/4} 10^{-40/10}]$$

$$= 10,79 \text{ dB}$$

$$I_{st} = 10 [1 + \{(10,79 - 12)/5\}^6]^{1/6} - 46 [1 + \{10,79/23\}^{10}]^{1/10} + 36 = 10 - 46 + 36 = 0$$

$$\underline{I_{st} = 0}$$

- Obliczenie Współczynnika I_q

Współczynnik I_q reprezentuje osłabienie jakości spowodowane przez zniekształcenia kwantyzacji wytwarzane przez systemy PCM, ścieżki cyfrowe itp.

Zniekształcenia spowodowane przez systemy ADPCM i kodery o małej przepływności binarnej są reprezentowane przez współczynnik I_e .

Wyrażenie na współczynnik I_q jest następujące:

$$I_q = 15 \lg [1 + 10^Y]$$

gdzie

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

$$G = 1,07 + 0,258Q + 0,0602Q^2,$$

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

$$Q = 37 - 15 \lg(0,7) = 34,7$$

$$G = 1,07 + 0,258 * 34,7 + 0,0602 * 34,7^2 = 82,52$$

$$Y = (82 - 100)/15 + (46 - 82,52)/10 = -4,8$$

$$I_q = 15 \lg [1 + 10^{-4,8}] = 1,03 * 10^{-4}$$

$$\underline{I_q = 1,03 * 10^{-4}}$$

Zatem Współczynnik I_s wynosi

$$I_s = I_{otr} + I_{otr} + I_q$$

$$I_s = 0,25 + 0 + 1,03 * 10^{-4} = 0,25$$

$$I_s = 0,25$$

1.3 Współczynnik I_d

Współczynnik I_d spowodowany opóźnieniami w łączu telefonicznym i wynosi:

$$I_d = I_{dte} + I_{dle} + I_{dd}$$

- Obliczenie współczynnika I_{dte}

Współczynnik I_{dte} reprezentuje osłabienie jakości powodowane przez echo mówcy. Parametrami związanymi są tłumienność głośności echa mówcy TELR i średnie opóźnienie dla echa (w jedną stronę).

Wzór na obliczenie I_{dte} jest następujący:

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

gdzie:

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

$$R_e = 80 + 2,5(TERV - 14),$$

$$TERV = TELR - 40 \lg \frac{1 + T/10}{1 + T/150} + 6e^{-0,3T^2} = 40 - 19,08 = 20,92$$

$$R_e = 80 + 2,5(20,92 - 14) = 97,3$$

$$R_{oe} = -1,5(-54,1 + 0,8) = 79,95$$

$$I_{dte} = [(79,95 - 97,3) / 2 + \sqrt{(79,95 - 97,3)^2 / 4 + 100} - 1] (1 - e^{-25}) = -8,67 + 13,24 - 1 = 3,56$$

$$\underline{I_{dte} = 3,56}$$

Obliczenie współczynnika I_{dle}

Współczynnik I_{dle} reprezentuje pogorszenie transmisji spowodowane przez echo słuchacza. parametrami związanymi są ważne tłumienie echa WEPL i opóźnienie dla echa (w obie strony).

Współczynnik I_{dle} oblicza się następująco:

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

gdzie:

$$R_{le}=10,5(WEPL+7) (T+1)^{-0,25}=10,5(20+7) (0+1)^{-0,25}=283,5$$

$$I_{dle}=(82-283,5)/2+\sqrt{(82-283,5)^2/4+169}=0,835$$

$$\underline{I_{dle} = 0,835}$$

- Obliczenie współczynnika I_{dd}

Współczynnik I_{dd} reprezentuje osłabienie transmisji spowodowane zbyt długim bezwzględny opóźnieniem, które występuje nawet wówczas, gdy bardzo dobrze zostanie wyeliminowane echo.

Dla $T_a < 100$ ms $\underline{I_{dd}=0}$

Zatem współczynnik I_d wynosi:

$$I_d = I_{dte} + I_{dle} + I_{dd}$$

$$I_d=3,56+0,835+0=4,39,$$

$$\underline{I_d=4,39}$$

1.4 Współczynnik I_e

Współczynnik I_e reprezentuje osłabienie jakości transmisji spowodowane przez zastosowanie w łączu np. koderów mowy o małej przepływności informacyjnej. Ze względu na brak w rozważanym połączeniu urządzeń zawierających kodery mowy lub innych systemów $I_e=0$

$$\underline{I_e=0}$$

1.5 Współczynnik oczekiwania A

Jest to wielkość dodatnia, która reprezentuje korzyści, wynikające z dostępu do pewnych systemów nad użytkowaniem konwencjonalnych systemów telefonii przewodowej.

Według Tabeli 6 współczynnik A dla połączenia stacjonarnego wynosi $A=0$

$$\underline{A=0}$$

1.6 Współczynnik jakości transmisji R

$$R=R_o-I_s-I_d-I_e+A=82-0,25-4,39-0+0=77,36$$

$$\underline{R=77,36}$$

Współczynnik jakości transmisji R może być reprezentowany przez:

- Subiektywną miarę MOS ,
- Procent słuchaczy oceniających jakość połączenia jako *dobrą* lub *bardzo dobrą* GOB w %,
- Procent słuchaczy oceniających jakość połączenia jako *słabą* lub *złą* POW w %,
- Procent użytkowników przerywających przedwcześnie połączenie ze względu na skrajnie złą jakość.

Na podstawie rysunku 26 wyznaczono wartość MOS dla $0 < R < 100$

$$\underline{MOS=3,87}$$

Zaś z zależności (55) wyznaczono wartości:

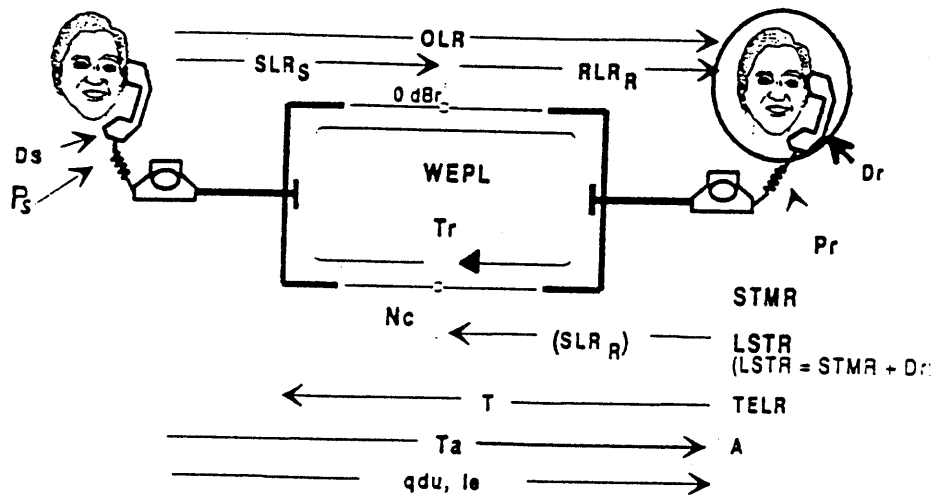
$$\begin{aligned} \underline{GOB} &= 85 \% \\ \underline{POW} &= 3 \% \\ \underline{TME} &= 0 \% \end{aligned}$$

Przykład drugi

Przykład obliczenia współczynnika jakości transmisji R dla połączenia zrealizowanego w warunkach laboratoryjnych, zestawionego za pośrednictwem następujących urządzeń:

- W pozycji S (mówcy) aparat telefoniczny bezprzewodowy typ C-1000 z koderem mowy typu ADPCM o szybkości informacyjnej 32 kb/s,
- Sztuczna linia (abonenta mówiącego) o tłumienności 8,5 dB ,
- Symulator centrali abonenckiej –rys.31,
- Linia międzycentralowa o tłumienności 0 dB- „punkt 0 dBr”,
- Symulator centrali abonenckiej – rys.31,
- Sztuczna linia abonenta słuchającego o tłumienności 8,5 dB ,
- W pozycji R (słuchacza) analogowy aparat telefoniczny typ KX-TS15PD-W

Na rysunku 34 przedstawiono konfigurację połączenia i stosowne parametry przydatne w *Modelu E*.



$$\begin{aligned}
 N_c &= -70 \text{ dBm} / 0 \text{ p} \\
 N_{\text{for}} &= -64 \text{ dBm} / \text{p} \\
 \text{OLR} &= 13,4 \text{ dB} \\
 I_e &= 7, A = 0, q_{du} = 1
 \end{aligned}$$

Hałas otoczenia w pozycji (S)
 $P_s = 35 \text{ dB(A)}$
 $D = D_s = 0 \text{ dB}$
 $SLR = 11,46 \text{ dB}$

Hałas otoczenia w pozycji (R)
 $P_r = 60 \text{ dB(A)}$
 $D = D_r = 3 \text{ dB}$
 $RLR = 1,94 \text{ dB}$
 $STMR = 15,84 \text{ dB}$
 $LSTR = 18,84 \text{ dB}$
 $TELR = 35,8 \text{ dB}$
 $WEPL = 20 \text{ dB}$
 $T = 25 \text{ ms}, T_r = 0 \text{ ms}, T_a = 25 \text{ ms}$

Rysunek 34

Przykład konfiguracji połączenia telefonicznego aparatu bezprzewodowego z koderem mowy typ ADPCM (32 kb/s) z aparatem KX-TS15PD-W

1. Współczynnik jakości transmisji R jest wyrażony wzorem (23) pkt 5.2

$$R = R_o - I_s - I_d - I_e + A$$

1.2 Współczynnik R_o reprezentuje podstawowy współczynnik sygnał/szum SNR transmisji głosu w punkcie 0 dBr - rys 33.

Wyrażenie na współczynnik R_o jest następujące:

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

gdzie:

SLR jest tłumiennością głośności przy nadawaniu odniesioną do punktu 0 dBr najbliższego w miejscu R - rys 33.

N_o stanowi całkowity poziom szumu także odniesiony do punktu 0 dBr.

Poziom szumu N_o otrzymuje się przez dodanie mocy:

- Poziomu szumu elektrycznego obwodu N_c [dBm0p],

- Równoważnego poziomu szumu obwodu N_{os} [dBm0p] spowodowanego hałasem otoczenia P_{os} [dB(A)] w pozycji S ,
- Równoważnego poziomu szumu obwodu N_{or} [dBm0p] spowodowanego hałasem otoczenia P_{or} [dB(A)] w miejscu R ,
- Poziom hałasu tła N_{fo} [dBm0p] występujący w miejscu R .

Obliczenie całkowitego szumu N_o w dBm0p

Całkowity poziom szumu N_o otrzymuje się przez dodanie mocy wszystkich źródeł szumu:

$$N_o = 10 \lg [10^{N_c/10} + 10^{N_{os}/10} + 10^{N_{or}/10} + 10^{N_{fo}/10}] \text{ [dBm0p]}$$

- Równoważny poziom szumu obwodu N_{os} spowodowany hałasem otoczenia P_{os} dB(A) w miejscu S wynosi:

$$\begin{aligned} N_{os} &= P_{os} - SLR - D_s - 100 + 0,008 (P_{os} - OLR - D_s - 14)^2 = \\ &= 35 - 11,46 - 0 - 100 + 0,008 (35 - 13,4 - 0 - 14)^2 = -75,99 \text{ dBm0p} \end{aligned}$$

- Równoważny poziom szumu obwodu N_{or} spowodowany hałasem otoczenia P_{or} dB(A) w miejscu słuchacza R wynosi:

$$N_{or} = RLR - 121 + P_{ore} + 0,008 (P_{ore} - 35)^2 \text{ dBm0p}$$

gdzie:

P_{ore} jest efektywnym poziomem szumu otoczenia spowodowanym zwiększeniem się P_{or} przez efekt lokalny słuchacza $LSTR$ w pozycji R

$$P_{ore} = P_{or} + 10 \lg [1 + 10^{(10 - LSTR)/10}] = 60 + 10 \lg [1 + 10^{(10 - 18,84)/10}] = 60,53 \text{ dB(A)}$$

$$\begin{aligned} N_{or} &= RLR - 121 + P_{ore} + 0,008 (P_{ore} - 35)^2 = \\ &= 1,94 - 121 + 60,53 + 0,008 (60,53 - 35)^2 = -53,32 \text{ dBm0p} \end{aligned}$$

- Poziom szum tła N_{fo} dBm0p odnosi się do szumu tła w miejscu R i wynosi:

$$N_{fo} = N_{for} + RLR = -64 + 1,94 = -62,06 \text{ dBm0p}$$

- Poziom szumu elektrycznego obwodu N_c otrzymuje się przez dodanie mocy szumu różnych źródeł w połączeniu, wszystkie odniesione do punktu 0 dBr. Poziom szumu elektrycznego rozpatrywanego połączenia telefonicznego wynosi -70 dBm0p.

Ostatecznie całkowity poziomy szumu N_o otrzymuje się przez dodanie mocy wszystkich źródeł szumu:

$$\begin{aligned} N_o &= 10 \lg [10^{N_c/10} + 10^{N_{os}/10} + 10^{N_{or}/10} + 10^{N_{fo}/10}] = \\ &= 10 \lg [10^{-70/10} + 10^{-75,99/10} + 10^{-53,32/10} + 10^{-62,06/10}] \text{ dBm0p} = \\ &= 10 \lg 54,03 * 10^{-7} = -52,67 \text{ dBm0p} \end{aligned}$$

Obliczenie współczynnika R_o

$$R_o = 15 - 1,5 (SLR + N_o) = 15 - 1,5(11,46 - 52,67) = 76,8$$

$$\underline{R_o = 76,8}$$

1.2 Współczynnik I_s

Wzór na współczynnik I_s jest następujący:

$$I_s = I_{olr} + I_{st} + I_q$$

- Obliczenie współczynnika I_{olr}

Współczynnik I_{olr} reprezentuje obniżenie jakości transmisji spowodowane zbyt głośnym połączeniem tj. wtedy gdy OLR jest zbyt mały.

Wyrażenie na współczynnik I_{olr} jest następujące:

$$I_{olr} = 20 [\{ 1 + (X/8)^8 \}^{1/8} - X/8]$$

gdzie:

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

$$N_t = N_o - RLR = -52,67 - 1,94 = -54,61 \text{ dBmp}$$

$$X = 13,4 + 0,2(64 - 54,61) = 15,27$$

$$I_{olr} = 20 [\{ 1 + 15,27/8^8 \}^{1/8} - 15,27/8] = 0,04$$

$$\underline{I_{olr} = 0,04}$$

- Obliczenie współczynnika I_{st}

Współczynnik I_{st} reprezentuje obniżenie jakości transmisji spowodowane niewłaściwą wartością efektu lokalnego,

Wyrażenie na współczynnik I_{st} jest następujące:

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

gdzie:

$$STMR_o = -10 \lg [10^{-STMR/10} + e^{-T/4} 10^{-TELR/10}] = 10 \lg [10^{-15,84/10} + e^{-T/4} 10^{-35,8/10}]$$

$$= 15,84 \text{ dB}$$

$$I_{st} = 10 [1 + \{(15,84 - 12)/5\}^6]^{1/6} - 46 [1 + \{15,84/23\}^{10}]^{1/10} + 36 = 10,31 - 46,11 + 36 = 0,2$$

$$\underline{I_{st} = 0,2}$$

- Obliczenie współczynnika I_q

Współczynnik I_q reprezentuje osłabienie jakości spowodowane przez zniekształcenia kwantyzacji wytwarzane przez systemy PCM, ścieżki cyfrowe itp. Zniekształcenia spowodowane przez systemy ADPCM i kodery o małej przepływności binarnej są reprezentowane przez współczynnik I_e .

Wyrażenie na współczynnik I_q jest następujące:

$$I_q = 15 \lg [1 + 10^Y]$$

gdzie

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

$$G = 1,07 + 0,258Q + 0,0602Q^2,$$

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

$$Q = 37 - 15 \lg(0,71) = 34,7.$$

$$G = 1,07 + 0,258 * 34,7 + 0,0602 * 34,7^2 = 82,52$$

$$Y = (76,8 - 100)/15 + (46 - 82,52)/10 = -5,2$$

$$I_q = 15 \lg [1 + 10^{-5,52}] = 4,2 * 10^{-5}$$

$$\underline{I_q = 4,2 * 10^{-5}}$$

Zatem współczynnik I_s wynosi

$$I_s = I_{olr} + I_{st} + I_q$$

$$I_s = 0,04 + 0,2 + 4,2 * 10^{-5} = 0,24$$

$$\underline{I_s = 0,24}$$

1.3 Współczynnik I_d

Współczynnik I_d spowodowany opóźnieniami w łączu telefonicznym i wynosi:

$$I_d = I_{dte} + I_{dle} + I_{dd}$$

- Obliczenie współczynnika I_{dte}

Współczynnik I_{dte} reprezentuje osłabienie jakości powodowane przez echo mówcy. Parametrami związanymi są Tłumienność Głośności Echa Mówcy TELR i średnie opóźnienie dla echa (w jedną stronę).

Wzór na obliczenie I_{dte} jest następujący:

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

gdzie:

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

$$R_e = 80 + 2,5(TERV - 14),$$

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

$$TERV = 35,8 - 40 \frac{1 + 25/10}{1 + 25/150} + 6 \cdot e^{-0,3(25)^2} = 35,8 - 19,08 = 16,72$$

$$R_e = 80 + 2,5(16,72 - 14) = 86,8$$

$$R_{oe} = -1,5(-52,67 - 1,94) = 81,96$$

$$I_{dte} = [(81,96 - 86,8) / 2 + \sqrt{(81,96 - 86,8)^2 / 4 + 100} - 1] (1 - e^{-25}) = 6,83$$

$$\underline{I_{dte} = 6,83}$$

Obliczenie współczynnika I_{dle}

Współczynnik I_{dle} reprezentuje pogorszenie transmisji spowodowane przez echo słuchacza. parametrami związanymi są wężone tłumienie echa WEPL opóźnienie dla echa (w obie strony).

Współczynnik I_{dle} oblicza się następująco:

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

gdzie:

$$Rle = 10,5(WEPL+7) (T+1)^{-0,25} = 10,5(20+7) (0+1)^{-0,25} = 283,5$$

$$Idle = (76,8 - 283,5) / 2 + \sqrt{(76,8 - 283,5)^2 / 4 + 169} = 0,81$$

$$\underline{Idle = 0,81}$$

- Obliczenie współczynnika I_{dd}

Współczynnik I_{dd} reprezentuje osłabienie transmisji spowodowane zbyt długim bezwzględnym opóźnieniem, które występuje nawet wówczas, gdy bardzo dobrze zostanie wyeliminowane echo.

Dla $Ta < 100$ ms

$$\underline{I_{dd} = 0}$$

Zatem współczynnik I_d wynosi:

$$I_d = I_{de} + I_{dle} + I_{dd}$$

$$I_d = 6,84 + 0,81 + 0 = 7,65$$

$$I_d = 7,65$$

1.4 Współczynnik I_e

Współczynnik I_e reprezentuje osłabienie jakości transmisji spowodowane przez zastosowanie w łączu np. kodeków mowy o małej przepływności informacyjnej. W tabelicy 5 zestawiono wartości K charakterystyczne dla różnych typów koderów mowy i dla różnych przepływności informacyjnych. W aparacie telefonicznym (bezprowadowym) typ C-1000 znajduje się koder mowy typ ADPCM o szybkości 32kb/s. Dla tego kodera współczynnik $K = I_e = 7$

$$\underline{I_e = 7}$$

1.5 Współczynnik oczekiwania A

Jest to wielkość dodatnia, która reprezentuje korzyści, wynikające z dostępu do pewnych systemów nad użytkowaniem konwencjonalnych systemów telefonii przewodowej.

Według Tabeli 6 Współczynnik A dla połączenia stacjonarnego wynosi $A = 0$

$$\underline{A = 0}$$

1.6 Współczynnik jakości transmisji R

$$R = R_o - I_s - I_d - I_e + A = 76,8 - 0,24 - 7,65 - 7 + 0 = 61,9$$

$$\underline{R = 61,9}$$

Współczynnik może być reprezentowany przez:

- Subiektywną miarę MOS,
- Procent słuchaczy oceniających jakość połączenia jako dobrą lub bardzo dobrą GOB w %,
- Procent słuchaczy oceniających jakość połączenia jako słabą lub złą POW w %,
- Procent użytkowników przerywających przedwcześnie połączenie ze względu na skrajnie złą jakość.

Na podstawie rysunku 26 wyznaczono wartość MOS dla $0 < R < 100$

$$\underline{MOS = 3,195}$$

Zaś z zależności (55) obliczono wartości:

$$\underline{GOB = 55 \%}$$

$$\underline{POW = 14 \%}$$

$$\underline{TME = 5 \%}$$

Ze względu na ograniczoną objętość pracy przedstawiono przykładowe obliczenia współczynnika transmisji R i wyznaczono wartości MOS , GOB , POW , TME tylko dla dwóch wybranych połączeń telefonicznych.

Takie obliczenia wykonano dla pozostałych 73 połączeń, a wyniki umieszczono w Tablicy 11.

Tablica 11: Wyniki ocen subiektywnych współczynnika wyrazistości logatomowej (W_L), obiektywnej miary w postaci współczynnika jakości transmisji (R) oraz oceny MOS , GOB , POW oraz TME .

L.p.		W_L [%]	R	MOS	GOB [%]	POW [%]	TME [%]
1	1	90	74,45	3,8	83	3,5	0
2	2	90,25	76,23	3,87	85	3	0
3	3	82,5	67,6	3,48	68	8	2,5
4	4	84	67,1	3,46	68	8	3
5	5	81,25	66,05	3,4	65	9	3,5
6	6	84,25	74,29	3,8	80	4	0
7	7	83,7	71,2	3,65	75	5	1,5
8	8	83,5	69,6	3,57	74	6	1,8
9	9	80,75	59,7	3,1	50	17	7

10	10	84,75	64	3,3	60	12	4
11	11	81,5	70,9	3,64	75	6	1
12	12	69	53,45	2,76	32	32	13
13	13	84,75	72,75	3,72	80	4	0
14	14	79,25	62	3,2	53	15	5
15	15	76,5	64,5	3,32	60	12	3,5
16	16	84,75	68,8	3,6	71	7	2
17	17	80	68,72	3,54	70	7	2
18	18	87,75	70,5	3,6	75	6	1,8
19	19	80,5	64,6	3,33	61	11	3,5
20	20	57,5	47,7	2,47	20	47	20
21	21	80,25	70	3,6	73	7	1,8
22	22	70,25	53,63	2,76	35	30	16
23	23	78,25	59,37	3,07	49	19	7
24	24	81,25	68,2	3,5	70	7,5	2
25	25	86	77,4	3,91	87	2	0
26	26	80,25	70,4	3,6	75	6	1,8
27	27	84,25	70,6	3,63	73	6	1,8
28	28	0	40	1,87	7,5	100	97
29	29	78	64,5	3,33	60	11	4
30	30	84	69,94	3,65	72	6	1,7
31	31	73,75	58,4	3,02	48	20	8
32	32	73,75	62,9	3,25	58	13	4
33	33	83,75	70,55	3,61	73	6	1,8
34	34	84	60,84	3,14	52	16	6
35	35	74,75	58	3,0	48	19	8
36	36	84,75	72,5	3,65	78	4	1,5
37	37	59,25	49,86	2,74	26	38	19
38	38	76,75	63,45	3,28	57	13	4
39	39	75,75	60,55	3,13	50	18	7
40	40	82,25	61,9	3,195	55	14	5
41	41	67	52,9	2,73	35	30	13
42	42	83,75	62,24	3,24	54	15	5
43	43	80	60,8	3,14	52	16	7
44	44	62	51,3	2,6	29	35	18
45	45	83,75	67,7	3,48	68	8	3
46	46	86	69,42	3,57	75	6	1,8
47	47	68,5	52,2	2,78	30	35	17
48	48	78	60,4	3,11	50	18	7
49	49	63	52,63	2,71	30	35	17
50	50	75,5	60,17	3,1	51	18	19
51	51	78	69,35	3,57	72	7	1,8
52	52	70	57,11	2,95	71	25	9
53	53	90,5	74,17	3,78	80	3,5	0
54	54	70,25	62,5	3,23	56	14	4,5
55	55	76,5	59,72	3,09	50	19	7,5

56	56	70,5	58,84	3,04	45	20	8
57	57	68	53,46	2,77	35	31	14
58	58	86,75	67,7	3,35	69	8	2,5
59	59	66,5	53,12	2,74	35	30	15
60	60	80,25	62,7	3,19	55	15	5
61	61	87	77,89	3,94	87	2	0
62	62	77,75	66,8	3,45	67	8	3
63	63	85,25	66,16	3,4	65	9	3,5
64	64	86	66,38	3,41	68	9	3
65	65	20	43,7	2,25	15	52	31
66	66	11	42,7	2,19	14	55	32
67	67	46	46,16	2,18	19	48	28
68	68	51	48,2	2,48	25	40	21
69	69	65	52	2,68	30	35	17
70	70	55	48,7	2,5	25	40	21
71	71	53	48,5	2,49	25	40	21
72	72	72	55,8	2,9	40	25	11
73	73	78	62,4	3,22	65	15	5
74	74	86,5	73,5	3,75	80	4	0
75	75	58	50	2,58	26	38	19,5

8.2 Wyznaczenie przybliżonych zależności $W'_L=f(R)$ i $MOS'=f(W_L)$

Dyskretne wartości opisujące związki pomiędzy wyrazistością logatomową W_L a współczynnikiem oceny R i miarą subiektywną MOS są zestawione w tablicy 11.

Dla opisu zależności między współczynnikami R i W_L właściwa jest koncepcja klasycznego *modelu regresji*, który w sposób analityczny wyjaśnia kształtowanie się wartości zmiennej losowej W_L pod wpływem zmiennej R . Głównym składnikiem modelu regresji jest funkcja regresji, której analityczną postać określa się na podstawie zbioru par wartości (R_i, W_{Li}) , $i=1..75$ -(tablica 11). Można je zaznaczyć na płaszczyźnie otrzymując wykres rozrzutu punktów empirycznych. Wykonanie takiego wykresu jest rutynową czynnością poprzedzającą estymację parametrów modelu regresji. Na jego podstawie dokonuje się wyboru analitycznego typu funkcji regresji. (Rozmieszczenie punktów na tym wykresie informuje o tym z jakim rodzajem regresji mamy do czynienia). W tym przypadku jest to regresja nieliniowa. Przyjęto, że funkcją aproksymującą jest wielomian trzeciego stopnia.

$$W'_L(R) = a_0 + a_1 R + a_2 R^2 + a_3 R^3 \quad (63)$$

Do estymacji parametrów klasycznego *modelu regresji nieliniowej* wykorzystuje się *metodę najmniejszych kwadratów (MNK)*.

Według tej metody funkcję $W'_L=f(R)$ uważa się za najlepsze przybliżenie dyskretnych związków $W_L=f(R)$ gdy suma:

$$S = \sum_{i=1}^{75} [W_L(R_i) - W'_L(R_i)]^2 \quad (64)$$

osiąga najmniejsze wartości w porównaniu z innymi funkcjami, spośród których wybiera się poszukiwane przybliżenie

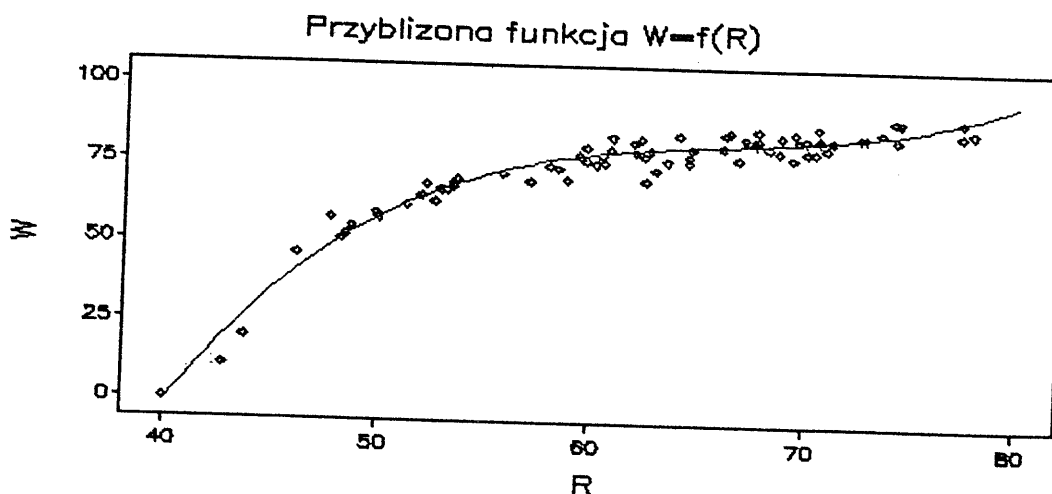
Zagadnienie estymacji parametrów nieliniowej funkcji regresji na podstawie wyników z losowej próby sprowadza się do doboru takich wartości współczynników wielomianu trzeciego stopnia, aby jego wykres (parabola sześcienna) możliwie dobrze „pasował” do punktów na wykresie rozrzutu punktów (R_i, W_{Li}) , $i=1..75$.

Wyrażenie S będące funkcją: a_0, a_1, a_2, a_3 przyjmuje wartości ekstremalne (minimum), gdy pochodne cząstkowe względem tych niewiadomych są równe zero. Przez porównanie powyższych pochodnych do zera otrzymujemy układ czterech równań.

Do znalezienia wartości parametrów a_0, a_1, a_2, a_3 zastosowano profesjonalne narzędzie do analizy statystycznej danych w postaci oprogramowania *SAS/LAB*. W wyniku statystycznej analizy modelu otrzymano przybliżoną zależność (65)

$$W'_L = -1112,5 + 53,13 R - 0,79 R^2 + 0,004 R^3 \quad (65)$$

Wykres rozrzutu wraz z przebiegiem funkcji, będącej najlepszym przybliżeniem dyskretnych związków między W_L i R przedstawiono na rysunku 35.



Rysunek 35
Przybliżona zależność $W'_L=f(R)$

Model: $W = -1112.5 + 53.127 * R - 0.793 * R^{**2} + 0.004 * R^{**3}$

R	W	95% Prediction Interval (CLI)	Type
40	-2.07825	-10.5949 : 6.438355	Minimum pred. response
77.89	91.04551	83.31876 : 98.77226	Maximum pred. response
62.0744	79.52348	72.51612 : 86.53084	Mean of R

Prognozowana wartość W_L dla średniej wartości współczynnika oceny $R=62,0744$ wynosi 79,52348.

Granice ufności wyznaczające pas, który z prawdopodobieństwem ok.95% zawiera wykres nieznaną, prawdziwej zależności $W_L=f(R)$. Granice te wyznaczono dla trzech wartości $R_{min}=40$, $R_{sr}=62,07$, $R_{max}=77,89$.

Podobnie dla opisu zależności między współczynnikami W_L i MOS zastosowano *model regresji nieliniowej*. Przyjęto, że funkcją aproksymującą jest wielomian trzeciego stopnia.

$$MOS'(W_L) = b_0 + b_1 W_L + b_2 W_L^2 + b_3 W_L^3 \quad (66)$$

Do estymacji parametrów klasycznego *modelu regresji nieliniowej* wykorzystuje się *metodę najmniejszych kwadratów (MNK)*. Według tej metody funkcję $MOS'=f(W_L)$ uważa się za najlepsze przybliżenie dyskretnych związków $MOS=f(W_L)$ gdy suma:

$$S = \sum_{i=1}^{75} [MOS(W_{Li}) - MOS'(W_{Li})]^2 \quad (67)$$

osiąga najmniejsze wartości w porównaniu z innymi funkcjami, spośród których wybiera się poszukiwane przybliżenie

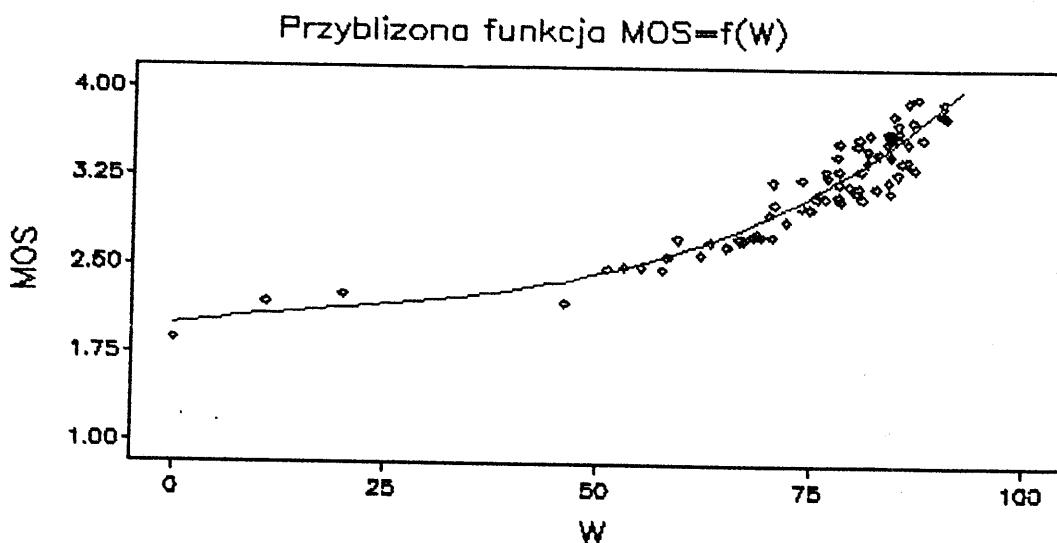
Zagadnienie estymacji parametrów nieliniowej funkcji regresji na podstawie wyników z losowej próby sprowadza się do doboru takich wartości współczynników wielomianu trzeciego stopnia b_0, b_1, b_2, b_3 , aby jego wykres (parabola sześcienna) możliwie dobrze „pasował” do punktów na wykresie rozrzutu punktów (W_{Li}, MOS_i) , $i=1..75$.

Wyrażenie S będące funkcją: b_0, b_1, b_2, b_3 przyjmuje wartości ekstremalne (minimum), gdy pochodne cząstkowe względem tych niewiadomych są równe zero. Przez porównanie powyższych pochodnych do zera otrzymujemy układ czterech równań. Podobnie jak poprzednio w celu znalezienia wartości parametrów b_0, b_1, b_2, b_3 zastosowano profesjonalne narzędzie do analizy statystycznej danych w postaci oprogramowania *SAS/LAB*.

W wyniku statystycznej analizy modelu otrzymano przybliżoną zależność $MOS'(W_L)$:

$$MOS = 1,98 + 0,01W - 0,0002 W^2 + 356 * 10^{-8} W^3 \quad (68)$$

Wykres rozrzutu wraz z przebiegiem funkcji aproksymującej dyskretnie związki między MOS i W_L przedstawiono na rysunku 36.



Rysunek 36
Przybliżona zależność $W_L=f(MOS)$

Model: $MOS = 1.9837 + 0.0097*W - 0.0002*W**2 + 356E-8*W**3$

W	MOS	95% Prediction Interval (CLI)	Type
0	1.983673	1.547414 : 2.419933	Minimum prd. response
90.5	3.890131	3.548236 : 4.232025	Maximum prd. response
74.05267	3.069862	2.740235 : 3.399488	Mean of W

Prognozowana wartość MOS dla średniej wartości wyrazistości logatomowej W_L równej 74,05267 wynosi 3,069862.

Granice ufności wyznaczające pas, który z prawdopodobieństwem ok.95% zawiera wykres nieznaną, prawdziwą zależność $MOS=f(W_L)$. Granice te wyznaczono dla trzech wartości $W_{min}=0$, $W_{sr}=74,05$, $W_{max}=90,5$.

8.3 Ustalenie obiektywnego kryterium oceny R

W związku z tym, że znany już jest przybliżony związek pomiędzy współczynnikiem wyrazistości logatomowej W_L i współczynnikiem jakości transmisji R (wg Modelu E) można podjąć próbę ustalenia obiektywnego kryterium oceny jakości mowy transmitowanej przez łącze telefoniczne. Oczywiście kryterium to odnosi się do tej samej konfiguracji połączenia rozważanej w rozprawie.

Polska Norma PN-90/T-05100 [1] podaje wymaganie jakie jest stawiane łańcuchom telefonicznym, w których wyrazistość logatomowa powinna wynosić co najmniej 80 % tzn. łańcuch telefoniczny mieści się w I klasie jakości oznaczającej rozumienie przesyłanej mowy bez najmniejszego wysiłku.

Korzystając z przybliżonej zależności przedstawionej na rysunku 35 można stwierdzić, że połączeniu o wyrazistości logatomowej równej 80 % odpowiada ocena obiektywna w postaci współczynnika jakości transmisji R równa w przybliżeniu 72.

9. PODSUMOWANIE WYNIKÓW

W ramach niniejszej rozprawy wykonano następujące czynności:

1. Zrealizowano 75 stacjonarnych połączeń telefonicznych w warunkach laboratoryjnych (tablica 8-Załącznik 1). W tym celu użyto różnych analogowych aparatów telefonicznych dostępnych w Instytucie Łączności w Warszawie z racji prowadzonych badań homologacyjnych. Część aparatów spełnia wymagania Polskiej Normy [8] i mogą być dołączane do krajowej sieci telefonicznej. Celowo wybierano do eksperymentu urządzenia abonenckie, których parametry telefonometryczne zdecydowanie nie spełniają norm krajowych [8]. Tak więc były aparaty telefoniczne o zbyt dużej tłumienności głośności w trybie nadawczym i odbiorczym, charakteryzujące się zbyt dużym lub bardzo małym tłumieniem efektu lokalnego mowy, jak i aparaty wyraźnie niedopasowane do rezystancji centrali abonenckiej 600Ω . Duża część telefonów posiadała spore zniekształcenia nieliniowe w torze nadawczym i odbiorczym (powyżej 15 %), jak również niektóre miały zbyt duży poziom szumów odbiorczych. Aby dodatkowo obniżyć jakość odbioru telefonicznego włączono w tor sztuczne linie abonenckie (po obu stronach łącza) o długości około 5 km, a w kilku przypadkach użyto linii o długości prawie 10 km. Te celowe działania w kierunku ograniczenia jakości mowy w łączu telefonicznym (złej jakości aparaty i długie linie) przyniosły efekty w postaci bardzo słabych ocen w badaniach subiektywnych (w skrajnym przypadku współczynnik wyrazistości logatomowej W_L był bliski zeru), jak również złych wyników pomiaru obiektywnych parametrów telefonometrycznych..
Te zabiegi poszukiwania aparatów złej jakości, jak również urządzeń końcowych o bardzo dobrych parametrach transmisyjnych miały na celu wykonanie ocen i pomiarów łączy w jak najszerszym zakresie jakości mowy.
2. Wykonano badania subiektywne *współczynnika wyrazistości logatomowej (W_L)* 75 połączeń telefonicznych. Zastosowano metodę klasyczną opisaną w Polskiej Normie [1] dotyczącą badań łańcuchów analogowych. W każdym połączeniu jeden mówca odczytywał tę samą listę logatomową czterem słuchaczom, którzy notowali swoje wyniki - tablica 9 (Załącznik 1).
3. Wykonano obiektywne pomiary parametrów telefonometrycznych połączeń za pośrednictwem skomputeryzowanego zestawu firmy Brüel & Kjaer, którego zasadniczym urządzeniem jest *Analizator Akustyczny typ 2012* wraz z oprogramowaniem *Special Calculation 7661*-wyniki pomiarów zestawiono w tablicy 10.
Należy dodać, że Instytut Łączności w Warszawie jako jedyna placówka naukowo-badawcza w Polsce posiada akredytację Polskiego Centrum Badań i Certyfikacji na procedury pomiarowe parametrów telefonometrycznych łączy telefonicznych.

4. Zastosowano *Model E* do zestawionych połączeń telefonicznych i obliczono *współczynniki jakości transmisji R*. - tablica 11.
W oparciu o *Model E* oszacowano prognozowane opinie o jakości mowy użytkowników sieci telefonicznej w postaci ocen *MOS, GOS, POW* i *TME* - tablica 11.
5. Wyznaczono za pośrednictwem programu statystycznego *SAS/LAB* przybliżone zależności:
 - $W_L' = f(R')$ - związek pomiędzy dotychczas stosowaną miarą subiektywną w postaci *wyrazistości logatomowej współczynnika W_L* , a obiektywnie wyznaczonymi w oparciu o *Model E* *współczynnikiem jakości transmisji R*.
 - $MOS' = f(W_L')$ - związek pomiędzy dwiema miarami subiektywnymi : *MOS* pochodzącą z modelu *OPINE*, oraz W_L - *współczynnikiem wyrazistości logatomowej*.
6. Przedstawiono propozycję nowego obiektywnego kryterium oceny jakości transmisji *R* sygnału mowy w łączu telefonicznym (w rozpatrywanej konfiguracji) wyznaczonego za pośrednictwem *Modelu E*.

Analiza uzyskanych wyników doprowadziła do następujących wniosków.

1. Jak na ten konwencjonalny system transmisji telefonicznej uzyskane wartości *Współczynników Jakości R* są poniżej oczekiwań. Jest to przede wszystkim spowodowane dosyć niesprzyjającymi warunkami akustycznymi w pomieszczeniu odbiorczym. Procedura badawcza *współczynnika wyrazistości logatomowej* wymaga, ażeby w pomieszczeniu odbiorczym był szum o widmie Hoth'a i o poziomie 60 dB(A). Czynniki ten ma dosyć zasadniczy wpływ na wartość równoważnego poziomu szumu obwodu *Nor* oraz pośrednio na wartość *Współczynnika Ro*, który reprezentuje podstawowy stosunek sygnał/szum (*SNR*) transmisji głosu w punkcie 0 dBr. Na wartość współczynnika *Ro* mają również wpływ bezpośrednio tłumienność głośności przy nadawaniu (*SLR*) oraz pośrednio tłumienność głośności przy odbiorze (*RLR*). W przypadku gdy tłumienność głośności na nadawanie (*SLR*) była większa, to współczynnik *Ro* miał mniejszą wartość, a to znaczyło, że stosunek sygnał/szum *SNR* mowy w punkcie odniesienia łącza *NCP* był mały. Słuchacze takie połączenie oceniali jako „ciche”.
2. W przypadku połączeń bardzo głośnych tzn., gdy całkowita tłumienność głośności *OLR* jest zbyt mała (poniżej 8 dB) zanotowano znaczny wzrost składnika zniekształceń *I*, wyrażonych wartością współczynnika I_{olr} . Słuchacze pytani o wrażenia po odbytej sesji odsłuchowej oceniali odbieraną mowę jako wyraźnie zniekształconą. Potwierdzają to wyniki pomiarów zniekształceń nieliniowych przy odbiorze.

3. Na ogólne wrażenie jakości ma również wpływ tłumienność głośności efektu lokalnego. Zbyt małe (poniżej 7 dB) i zbyt duże (powyżej 15 dB) tłumienie mowy w ścieżce elektrycznej układu antylokalnego powoduje wzrost wartości składnika I_{st} . Z jednej strony zbyt małe tłumienie efektu lokalnego wytwarza wrażenie, że abonent słyszy własny głos zbyt głośno i na dodatek jest on zniekształcony. W przypadku zbyt dużego tłumienia efektu lokalnego abonent prawie nie słyszy swojego głosu co sprawia, że rozmowa telefoniczna staje się mniej naturalna.
4. Na jakość mowy transmitowanej przez łącze telefoniczne ma wpływ występujące zjawisko echa, którego źródłem jest sprzężenie pomiędzy sygnałem bezpośrednim i jego echem (pkt 3.5). W analogowych łączach stacjonarnych mamy do czynienia z odbiciami sygnału spowodowanymi niedopasowaniem impedancji urządzenia końcowego do rezystancji 600Ω . Echo to jest scharakteryzowane tłumiennością głośności echa mówcy $TELR$. Zauważono, że im większy jest $TELR$ tzn. lepsze jest dopasowanie urządzenia abonenckiego do rezystancji 600Ω , tym mniejsza jest wartość współczynnika I_{de} odzwierciedlającego istnienie efektu echa. Potwierdzają to badania obiektywne tłumienności dopasowania (rys Z3 i Z7-Załącznik 2). Gdy telefon po stronie odbiorczej był niedopasowany do 600Ω tzn. miał małą wartość tłumienności dopasowania w paśmie 300 Hz do 3400 Hz znacznie poniżej wymaganych wartości (kryterium jest zaznaczone na rys. Z3 i Z7-Załącznik 2) zaobserwowano wzrost wartości współczynnika I_{de} odpowiedzialnego za istnienie zniekształceń mowy w wyniku istnienia echa. Efekt ten był zauważony przez słuchaczy podczas badań subiektywnych.
5. W rozpatrywanych połączeniach stacjonarnych nie występowały zjawiska wynikające z istnienia echa słuchacza. W związku z tym składnik w postaci współczynnika I_{de} nie miał istotnego wpływu na wartość ogólnego Współczynnika R .
6. W zestawionych łączach przewodowych, gdzie bezwzględne opóźnienie od mówcy do słuchacza wynosi 25 ms, (mniejsze niż 100 ms) współczynnik I_{dd} jest równy zero.
7. Niewielkie zniekształcenia kwantyzacji, wynikające z symulacji w miejscu linii między centralowej traktu cyfrowego ($q_{du}=0,7$) spowodowały, że współczynnik I_q jest bliski zera i nie wpływa na wartość R .
8. Brak w łączu koderów mowy o małej przepływności binarnej (poza dwoma przypadkami telefonów bezprzewodowych C-1000) sprawił, że współczynnik $I_e=0$,
9. W związku z tym, że rozpatrywano łącze stacjonarne (przewodowe) współczynnik oczekiwania A był równy zero.

Wybór konfiguracji łącza był podyktowany dostępem w Instytucie Łączności do unikalnej w skali kraju aparatury pomiarowej, pozwalającej obiektywnie zmierzyć parametry transmisyjne łącza. Parametry te są niezbędne w zastosowaniu *Modelu E*.

Przyjęta koncepcja umożliwiła doświadczalne znalezienie związków pomiędzy współczynnikiem wyrazistości logatomowej W_L , a nową obiektywną miarą oceny R uzyskaną dzięki zastosowaniu *Modelu E*.

10. WNIOSKI

Za podjęciem tematyki pełniejszej oceny jakości krajowych łączy telekomunikacyjnych pod względem transmisji sygnału mowy przemawiał fakt, że w Polsce jakość całego łańcucha telefonicznego (lub jego części) szacuje się tylko na podstawie wyników badań subiektywnych wyrazistości logatomowej. Krajowe dokumenty normalizacyjne nie podają kryteriów odzwierciedlających pełniejszą ocenę jakości mowy transmitowanej poprzez sieć telekomunikacyjną. Rezultaty badań kilku ośrodków naukowych w kraju zajmujących się oceną subiektywną łączy telefonicznych doprowadziły do wniosków, że badania wyrazistości logatomowej są niewystarczające.

U progu XXI wieku, kiedy świat zdominowały nowoczesne systemy telekomunikacyjne, stosowane są wyrafinowane techniki kodowania mowy, jak również powszechne stało się zarządzanie siecią, metoda subiektywnej oceny wyrazistości logatomowej stała się nieco archaiczna. Naturalną tendencją stało się poszukiwanie coraz doskonalszych narzędzi oceny jakości mowy. Takie nadzieje daje obiektywny *Model E*.

Model E jest uniwersalny i można go stosować do różnych konfiguracji i rozmaitych rodzajów elementów połączenia telefonicznego (sieci publicznej i prywatnych). W wyniku zastosowania *Modelu E* uzyskuje się obiektywną miarę w postaci współczynnika jakości transmisji R . Nie trzeba więc przeprowadzać kosztownych, żmudnych i obarczonych dużym błędem testów subiektywnych w badanych sieciach telefonicznych. Oceny subiektywne potencjalnych użytkowników sieci można oszacować na podstawie wartości współczynnika R - tablica 11. Zasadniczym problemem jest uzyskanie danych do *Modelu E* tj. obiektywnie zmierzonych odpowiednich parametrów transmisyjnych łącza..

W celu udowodnienia tezy rozprawy zastosowano model w stosunku do jednej konfiguracji łącza zrealizowanego w laboratorium, symulującego rzeczywiste połączenie w krajowej sieci publicznej.

Uzyskana doświadczalnie przybliżona zależność pomiędzy dotychczasową miarą W_L i współczynnikiem R zachęca do postawienia nowego pełniejszego kryterium jakości łącza telefonicznego pod względem transmisji sygnału mowy.

Ze względu na to, że w Polsce nie stosuje się żadnych modeli do oceny jakości transmisji, wydaje mi się, że należałoby w przyszłości rozpocząć prace zmierzające do zastosowania *Modelu E* w publicznej sieci telekomunikacyjnej.

W celu zdobycia danych do modelu należy nawiązać kontakt i podjąć współpracę z operatorami krajowymi zarówno sieci stacjonarnych (państwowych i prywatnych) jak i mobilnych.

W rezultacie wielu badań należy ustalić nowe kryterium oceny jakości mowy w oparciu o *Model E* i wprowadzić je do krajowej normalizacji.

Sprawując kontrolę nad jakością mowy w sieciach telefonicznych (publicznych i prywatnych) Polska może dołączyć do krajów, które nie tylko modernizują swoje sieci, wprowadzają nowoczesne systemy komunikacji i zarządzania ruchem, ale również stosują nowoczesne narzędzia i miary oceny jakości mowy.

11. NORMY I WYMAGANIA

- [1] PN-90/T-05100: „Analogowe łańcuchy telefoniczne. Wymagania i metody pomiaru wyrazistości logatomowej”, 1990.
- [2] ETR 250: „Transmission and Multiplexing TM; Speech communication quality from mouth to ear for 3,1 kHz handset telephony across networks”. July, 1996.
- [3] ITU-T P.50 : “Artificial voices”, 1993.
- [4] ISO 226: “Accoustics – Normal equal-loudness level contours”, 1987.
- [5] ITU-T P.64: “Determination of sensitivity/frequency characteristics of local telephone systems”, 1993.
- [6] ITU-T P.51: „Artificial Mouth”, 1996.
- [7] ITU-T P.57: „Artificial Ears”, 1996.
- [8] prPN-97/T-83001: „Aparaty telefoniczne elektroniczne ogólnego przeznaczenia dla analogowych łączy abonenckich”- Wymagania i badania, 1997.
- [9] ITU-T P.65: “ Objective instrumentation for the determination of loudness ratings”. 1993.
- [10] Krajowy Plan Transmisji KPT-92, 1992.
- [11] ETSI TBR 8: “ISDN, Telephony 3.1 kHz Teleservice, Attachment Requirements for Handset”, 1994.
- [12] ITU-T G 122: “Influence of national systems on stability, talker echo in international connections”. 1993.
- [13] ITU-T G.165: “Echo cancellers”. 1993.
- [14] ITU-T G.222: “Noise objectives for design of carrier-transmission systems of 2500 km”. 1988.
- [15] ITU-T G. 143 : “Circuit noise and the use of compandors”. 1988.
- [16] ITU-T G.712 : “Transmission performance characteristics of pulse code modulation”. 1992.
- [17] ITU-T G.113 : “Transmission impairments”. 1993.
- [18] ITU-T G.123 : “Circuit noise in national networks”. 1988.

- [19] ITU-T P.16 : “Subjective effects of direct crosstalk; tresholds of audibility and intelligibility”.1988.
- [20] ITU-T G.105:“Hypothetical reference connection for crosstalk studies”.1988.
- [21] ITU-T G.134:”Linear crosstalk”.1988.
- [22] ITU-T G.151: “General performance objectives applicable to all modern international circuits and national extension circuits.1988.
- [23] ITU-T G.111:“Loudness ratings (LRs) in an international connection”.1993.
- [24] ITU-T G.164 : “Echo suppressors”.1988.
- [25] ITU-T G.165: “Echo cancellers”.1993.
- [26] TBR 9:“European digital cellular telecommunications system; Attachment requirements for Global System for Mobile communication GSM) mobile stations; Telephony”,1994.
- [27] ITU-T G 114:“One-way transmission time”.1993.
- [28] ITU-T P.11:“Effect of transmission impairments”.1993
- [29] ITU-T P.80:“Methods for subjective determination of transmission quality”.1993.
- [30] ITU-T P.82 :“Method for evaluating of service from the standpoint of speech transmission quality”.1988.
- [31] ITU-T P.83 :“Subjective performance assessment of telephone-band and wideband digital codecs”. 1993.
- [32] ITU-T P.84 : “Subjective listening test method for evaluating digital circuit multiplication and packetized voice systems”.1993
- [33] ITU-T P.79 : “Calculation of loudness ratings for telephone sets”.1993
- [34] ITU-T P.81 : “Modulated noise reference unit (MNRU)”.1993
- [36] ITU-T G.711:„Pulse Code Modulation (PCM) of voice frequencies”.1993.
- [37] ITU-T G.726 „General aspects of digital transmission systems: terminal equipments Adaptive Differential 40,32,24,16 kbit/s. Pulse Code Modulation (ADPCM)”,1993.

- [38] ITU-T G.727: „General aspects of digital transmission systems: 5-, 4-, 3-, and 2- bits sample embedded Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM)”, 1993.
- [39] ITU-T G.763: „Digital circuit multiplication equipment using ADPCM (Rec.G.726) and digital speech interpolation”. 1993.
- [40] ITU-T G.173: „Transmission planning aspects of the speech service in digital public land mobile networks”. 1988
- [41] ITU-T G.174: „Transmission performance objectives for terrestrial digital wireless systems using portable terminals to access the PSTN” 1988
- [42] ITU-T G.122: „Influence of national systems on stability and talker echo in international connections” 1988.
- [43] pr PN-V-90002: „Cyfrowe łańcuchy telefoniczne – wymagania i metody pomiaru”, 1998
- [44] ITU-T E.125: „Inquiries among users of the international telephone service,” 1998
- [45] ITU-T Serie P, Sup.3, „Models for predicting transmission quality from objective measurements”, 1992,
- [46] ITU-T P.11, Annex A, „Transmission Quality Index”, 1992,
- [47] PN-IEC 50(701) „Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki. Telekomunikacja, kanały i sieci”. 1988,
- [48] IEC 50 (704) „International Electrotechnical Vocabulary. Teletransmission” .1992
- [49] PN-IEC 50(714) „Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki. Komutacja i sygnalizacja w telekomunikacji”. 1998
- [50] IEC 50(722) „International Electrotechnical Vocabulary. Telephony”. 1992.
- [51] CCITT „Handbook on Telephonometry”, 1992
- [52] ETSI EG 201 050 V1.2.2: „Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); Overall Transmission Plan Aspects for Telephony in Private Network”. 1999

12. LITERATURA

- [60] Brachmański S., Baściuk K., „Ocena jakości transmisji mowy w kanałach telekomunikacyjnych metodą subiektywnego pomiaru wyrazistości logatomowej”, Krajowe Sympozjum Telekomunikacji'98, Tom A, Bydgoszcz, 1998, s.161-168
- [61] M.J.Trzaskowska: „Badania urządzeń końcowych - Pomiary telefoniczne”, referat wygłoszony na Krajowym Sympozjum Telekomunikacji'98, Bydgoszcz, 1998,
- [62] S.Kula, M.J.Trzaskowska, „Ocena łańcucha pod kątem jakości mowy kodowanej” – Pomiary w Telekomunikacji (TPSA), 2000,
- [63] M. J. Trzaskowska, W. Zadrożny, „Kryteria oceny głośności transmisji w aparatach telefonicznych na podstawie nowej metody wskaźników głośności”, Biuletyn Informacyjny IŁ, nr 8/94, 1994,
- [64] N.O.Johannesson, „The ETSI computation model: A tool for transmission planning of telephone networks”, IEEE Communications Magazine, January 1997,
- [65] K.Baściuk, S.Brachmański, „The automation of subjective measurements of logatom intelligibility”, The 102nd Convention AES, Munch, 1997, Preprint 4407 (A5),
- [66] K.Baściuk, S.Brachmański, W.Majewski, O.Olaczek, J.Żuk, „Ocena jakości transmisji mowy w kanałach telekomunikacyjnych, cz.IV, Merytoryczny raport końcowy, Politechnika Wrocławska, Wrocław 1998.
- [67] S.Brachmański, Zautomatyzowane stanowisko do subiektywnych pomiarów wyrazistości logatomowej z wyborem, Mat.XLI OSA, Wrocław, 1994
- [68] J. Gruber, G. Williams: „Transmission Performance of Evolving Telecommunications Networks”, (Artech House 1992).
- [69] Z.Żyszkowski: „Miernictwo akustyczne”. Warszawa, WNT 1987,
- [70] Z.Żyszkowski: „Podstawy elektroakustyki”, Warszawa, WNT 1984,
- [71] W.Borodziejewicz, K.Jaszczalik: „Cyfrowe przetwarzanie sygnałów” Warszawa, WNT 1987.

- [72] M.J.Trzaskowska :”Kalibrator akustyczny”, Referaty Problemowe Instytutu Łączności nr 67/86
- [73] M.J.Trzaskowska:”Ocena subiektywna łączy telefonicznych”, KST-2000, Bydgoszcz,.2000.
- [74] K.Shenoi,”Digital Signal Processing i Telecommunication, Prentice Hall,1995.
- [75] J.Józwiak, J.Podgórski: „Statystyka od podstaw”,PWE,Warszawa, 1998.

ZAŁĄCZNIK 1

Tablica 8: Konfiguracje połączeń (ad. pkt 7.4)

L.p	Umowny numer połączenia telefonicz.	Typ aparatu nadawczego w miejscu S	Thumienność linii abonenckiej abonenta A w dB	Symulator centrali aparatu mówcy Wg.rys.31	Symulator centrali aparatu słuchacza wg rys.31	Thumienność linii abonenckiej abonenta B w dB	Typ aparatu odbiorczego w miejscu R
1	1	Euroset 812	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
2	2	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	Euroset 812
3	3	Lotos 403	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
4	4	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	Lotos 403
5	5	Casio 1015	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
6	6	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	Casio 1015
7	7	TR-007	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
8	8	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	TR-007
9	9	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	TR-301
10	10	TR-301	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
11	11	351T10D	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
12	12	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	351T10D
13	13	OND-8942P	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
14	14	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	OND-8942P
15	15	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	Berberys
16	16	Berberys	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
17	17	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	Jaskier
18	18	Jaskier	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
19	19	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	Derby 300
20	20	Derby 300	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
21	21	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	Derby 200
22	22	Derby 200	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
23	23	Frezja	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
24	24	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	Frezja
25	25	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	Casio 1025
26	26	Casio 1025	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
27	27	Plantronics (ap. nagłowny)	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
28	28	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	Plantronics (ap. nagłowny)
29	29	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	Gigaset 3010 (aparat bezprzew.)
30	30	Gigaset 3010 (ap.bezprzew.)	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
31	31	Gigaset 3015 (ap.bezprzew.)	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
32	32	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	Gigaset 3015 (ap. bezprzew.)
33	33	Kala(ap.bezprzew.)	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
34	34	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	Kala (aparat bezprzew.)

35	35	Dalia 410	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
36	36	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	Dalia 410
37	37	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	Skyway
38	38	Skyway	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
39	39	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	C-1000 (ap. Bezprzew.)
40	40	C-1000 (ap.bezprzew.)	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
41	41	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	NR 208
42	42	NR 208	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
43	43	Styline II	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
44	44	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	Styline II
45	45	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	C-800
46	46	C-800	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
47	47	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	TT-198T
48	48	TT-198T	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
49	49	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	TT-058T
50	50	TT-058T	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
51	51	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	TT-017T/P
52	52	TT-017T/P	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
53	53	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	TT-098T/PML
54	54	TT-098T/PML	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
55	55	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	TT-018T/P
56	56	TT-018T/P	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
57	57	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	NR 200
58	58	NR 200	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
59	59	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	SET
60	60	SET	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
61	61	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	Kent
62	62	Kent	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
63	63	Triumph	8,5	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
64	64	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	8,5	Triumph
65	65	TT-018T	17	+	+	17	TT-098T
66	66	TT-198T	17	+	+	17	TT-098T
67	67	TT-018T	17	+	+	17	TT-058T
68	68	TT-018T	17	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
69	69	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	17	TT-018T
70	70	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	17	TT-198T
71	71	TT-198T	17	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
72	72	TT-098T	17	+	+	8,5	KX-TS15PD-W
73	73	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	17	TT-098T
74	74	KX-TS15PD-W	8,5	+	+	17	TT-058T
75	75	TT-058T	17	+	+	8,5	KX-TS15PD-W

Tablica 9
Wyniki badań współczynnika wyrazistości logatomowej W_L (ad.pkt 7.4)

Lp.	Umowny numer połączenia telefonicznego	Lista Logatom.	Mówca	Sluchacz	W_{Li}	$\sum W_{Li}/4$
1	1	5	A	B	87	90
				C	91	
				D	89	
				E	93	
2.	2.	6	A	B	86	90,25
				C	89	
				D	92	
				E	94	
3.	3.	22	B	A	80	82,5
				C	84	
				D	85	
				E	81	
4.	4.	21	B	A	82	84
				C	84	
				D	85	
				E	85	
5.	5.	12	A	B	79	81,25
				C	83	
				D	82	
				E	81	
6.	6.	11	A	B	86	84,25
				C	85	
				D	82	
				E	84	
7.	7.	15	A	B	82	83,75
				C	85	
				D	84	
				E	84	
8	8	16	A	B	86	83,5
				C	82	
				D	83	
				E	83	
9	9	5	C	A	79	80,75
				B	84	
				D	80	
				E	80	
10	10	4	C	A	82	84,75
				B	86	
				D	87	
				E	84	

11	11	21	A	B	81	81,5
				C	84	
				D	80	
				E	81	
12	12	22	A	B	68	69,25
				C	71	
				D	72	
				E	66	
13	13	23	A	B	87	84,75
				C	83	
				D	85	
				E	84	
14	14	24	A	B	81	79,25
				C	78	
				D	78	
				E	80	
15	15	14	A	B	75	76,5
				C	78	
				D	77	
				E	76	
16	16	13	A	B	86	84,75
				C	87	
				D	83	
				E	82	
17	17	9	B	A	82	80
				C	78	
				D	79	
				E	81	
18	18	10	B	A	86	87,75
				C	85	
				D	89	
				E	90	
19	19	12	C	A	78	80,5
				B	82	
				D	83	
				E	79	
20	20	11	C	A	60	57,5
				B	58	
				D	56	
				E	56	
21	21	13	C	A	80	80,25
				B	81	
				D	78	
				E	82	

22	22	14	C	A	69	70,25
				B	68	
				D	72	
				E	72	
23	23	12	A	B	80	78,25
				C	81	
				D	77	
				E	75	
24	24	11	A	B	84	81,25
				C	82	
				D	80	
				E	79	
25	25	13	A	B	85	86
				C	83	
				D	87	
				E	89	
26	26	14	A	B	78	80,25
				C	82	
				D	77	
				E	84	
27	27	8	A	B	85	84,25
				C	83	
				D	83	
				E	86	
28	28	7	A	B	0	0
				C	0	
				D	0	
				E		
29	29	23	B	A	77	78
				C	79	
				D	81	
				E	75	
30	30	24	B	A	86	84
				C	83	
				D	84	
				E	83	
31	31	19	A	B	70	73,75
				C	72	
				D	76	
				E	74	
32	32	20	A	B	72	73,75
				C	76	
				D	74	
				E	73	

33	33	17	A	B	83	83,75
				C	87	
				D	82	
				E	83	
34	34	18	A	B	81	84
				C	86	
				D	87	
				E	82	
35	35	23	B	A	78	74,75
				C	73	
				D	72	
				E	76	
36	36	23	B	A	79	84,75
				C	86	
				D	87	
				E	87	
37	37	7	A	B	58	59,25
				C	62	
				D	60	
				E	57	
38	38	8	A	B	78	76,75
				C	75	
				D	80	
				E	74	
39	39	17	A	B	76	75,75
				C	74	
				D	78	
				E	75	
40	40	18	A	B	86	82,25
				C	82	
				D	80	
				E	81	
41	41	8	A	B	65	67
				C	69	
				D	64	
				E	70	
42	42	7	A	B	85	83,75
				C	81	
				D	82	
				E	86	
43	43	9	A	B	87	85,75
				C	86	
				D	86	
				E	84	

44	44	10	A	B	64	62
				C	60	
				D	62	
				E	62	
45	45	17	A	B	85	83,75
				C	82	
				D	85	
				E	83	
46	46	18	A	B	88	86
				C	85	
				D	87	
				E	84	
47	47	1	A	B	66	68,5
				C	71	
				D	67	
				E	70	
48	48	2	A	B	77	78
				C	75	
				D	81	
				E	79	
49	49	2	A	B	64	63
				C	62	
				D	61	
				E	65	
50	50	3	A	B	74	75,5
				C	76	
				D	79	
				E	73	
51	51	5	A	B	78	78
				C	77	
				D	77	
				E	80	
52	52	6	A	B	72	70
				C	68	
				D	73	
				E	67	
53	53	11	A	B	92	90,5
				C	91	
				D	90	
				E	89	
54	54	12	A	B	74	70,25
				C	70	
				D	69	
				E	68	

55	55	12	A	B	79	76,5
				C	74	
				D	76	
				E	77	
56	56	11	A	B	74	70,5
				C	71	
				D	68	
				E	69	
57	57	1	A	B	66	68
				C	68	
				D	70	
				E	68	
58	58	2	A	B	87	86,75
				C	84	
				D	88	
				E	89	
59	59	3	B	A	70	66,5
				C	68	
				D	64	
				E	64	
60	60	4	B	A	78	80,25
				C	82	
				D	81	
				E	80	
61	61	24	B	A	79	87
				C	89	
				D	89	
				E	91	
62	62	23	B	A	76	77,75
				C	78	
				D	78	
				E	79	
63	63	25	A	B	86	85,25
				C	87	
				D	84	
				E	84	
64	64	26	A	B	86	86
				C	88	
				D	86	
				E	84	
65	65	1	C	A	22	20
				B	18	
				D	19	
				E	21	

66	66	2	C	A	8	11
				B	9	
				D	14	
				E	13	
67	67	3	B	A	22	20
				C	18	
				D	19	
				E	21	
68	68	4	B	A	8	11
				C	9	
				D	14	
				E	13	
69	69	7	A	B	68	65
				C	62	
				D	63	
				E	67	
70	70	8	A	B	59	55
				C	53	
				D	52	
				E	56	
71	71	5	A	B	56	53
				C	49	
				D	55	
				E	52	
72	72	6	A	B	75	72
				C	71	
				D	69	
				E	73	
73	73	11	C	A	78	78,25
				B	79	
				D	76	
				E	80	
74	74	12	C	A	88	86,5
				B	85	
				D	86	
				E	87	
75	75	17	A	B	61	58,5
				C	58	
				D	57	
				E	58	

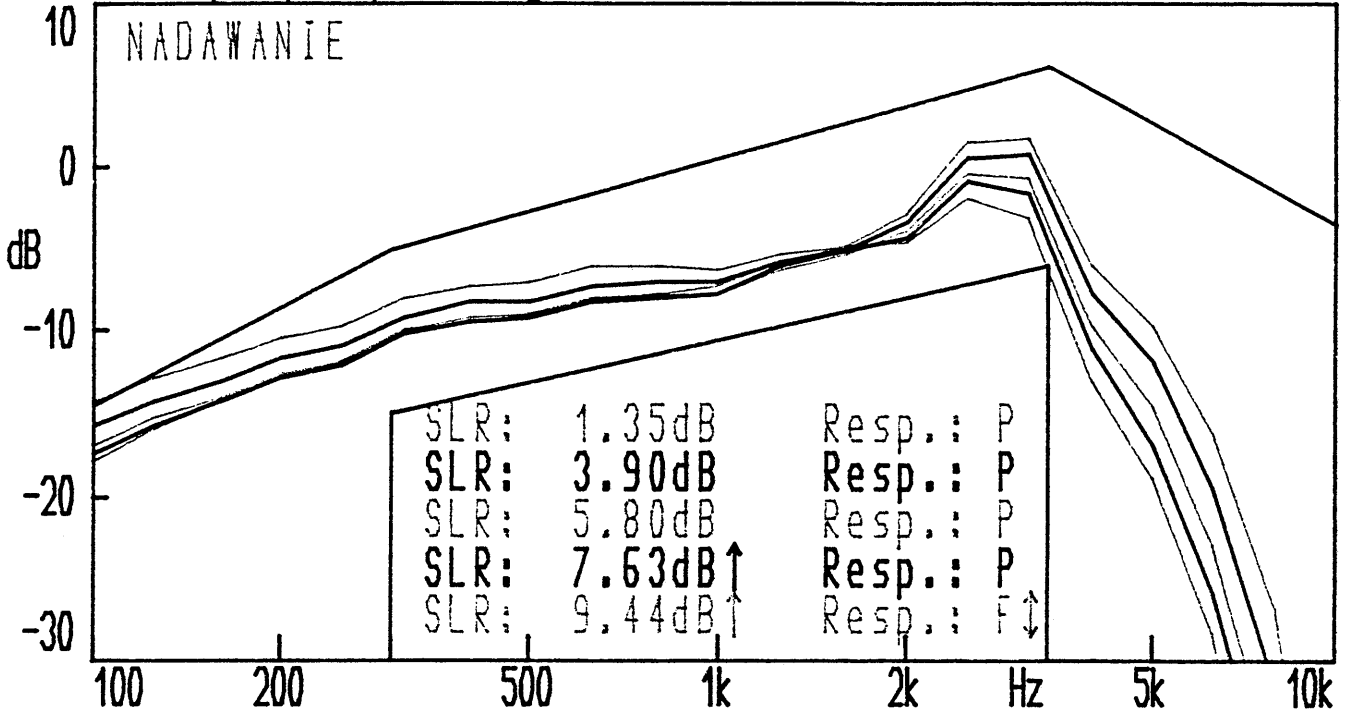
ZAŁĄCZNIK 2

Ze względu na ograniczoną objętość pracy w Załączniku przedstawiono tylko wyniki badań parametrów telefonometrycznych łączy, gdy po stronie nadawczej był aparat telefoniczny typ KX-TS15PD-W, a po stronie odbiorczej znajdował się aparat typ Euroset 812 i odwrotnie. Przedstawiono wyniki pomiarów następujących parametrów:

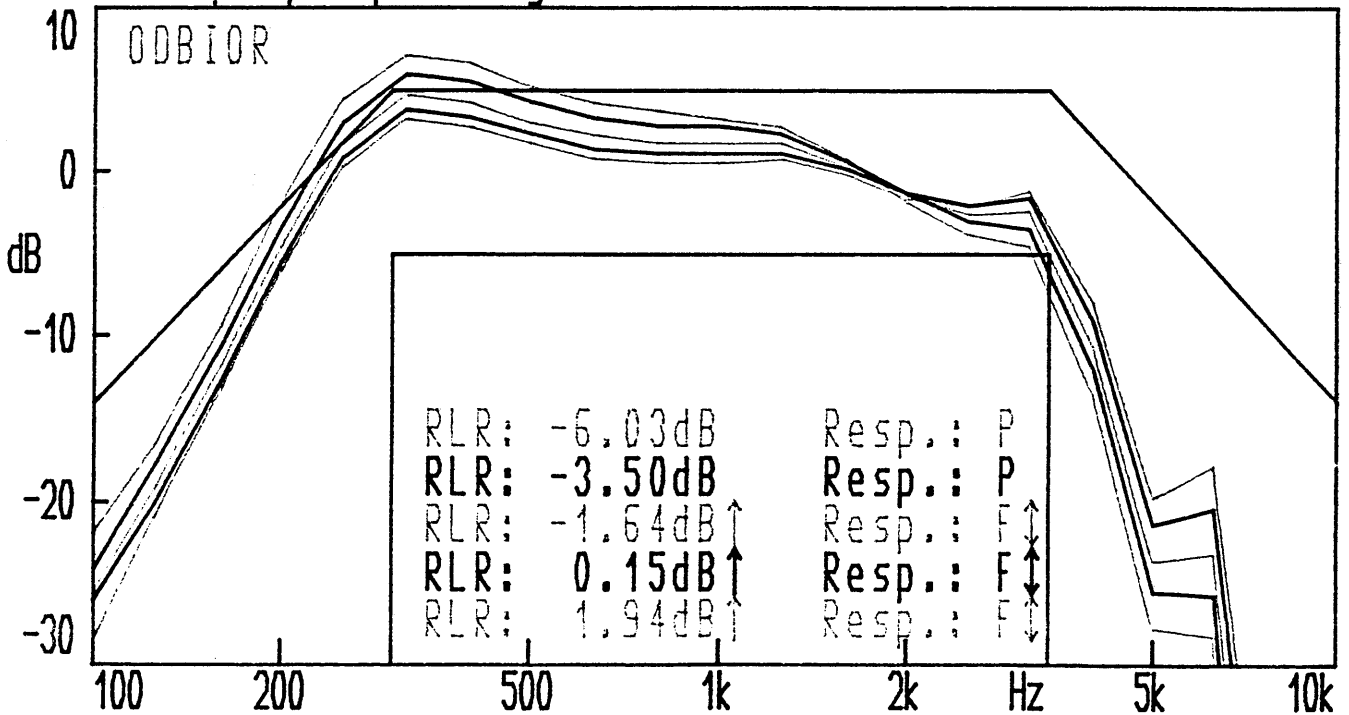
- Tłumienności głośności na nadawanie i na odbiór (rys.Z1 i Z5),
- Charakterystyk częstotliwościowych na nadawanie i na odbiór (rys.Z1 i Z5),
- Tłumienności efektu lokalnego mowy (rys.Z2 i Z6),
- Tłumienności niedopasowania aparatu do 600Ω (rys.Z3 i Z7),
- Zniekształceń nieliniowych przy nadawaniu i przy odbiorze (rys.Z4 i Z8).

POMIARY TELEFONOMETRYCZNE : Nadawanie i Odbior. KX-TS15PD-W

A: Frequency Response, Magn dB re 1.000V/Pa

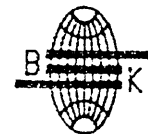


B: Frequency Response, Magn dB re 1.000Pa/V



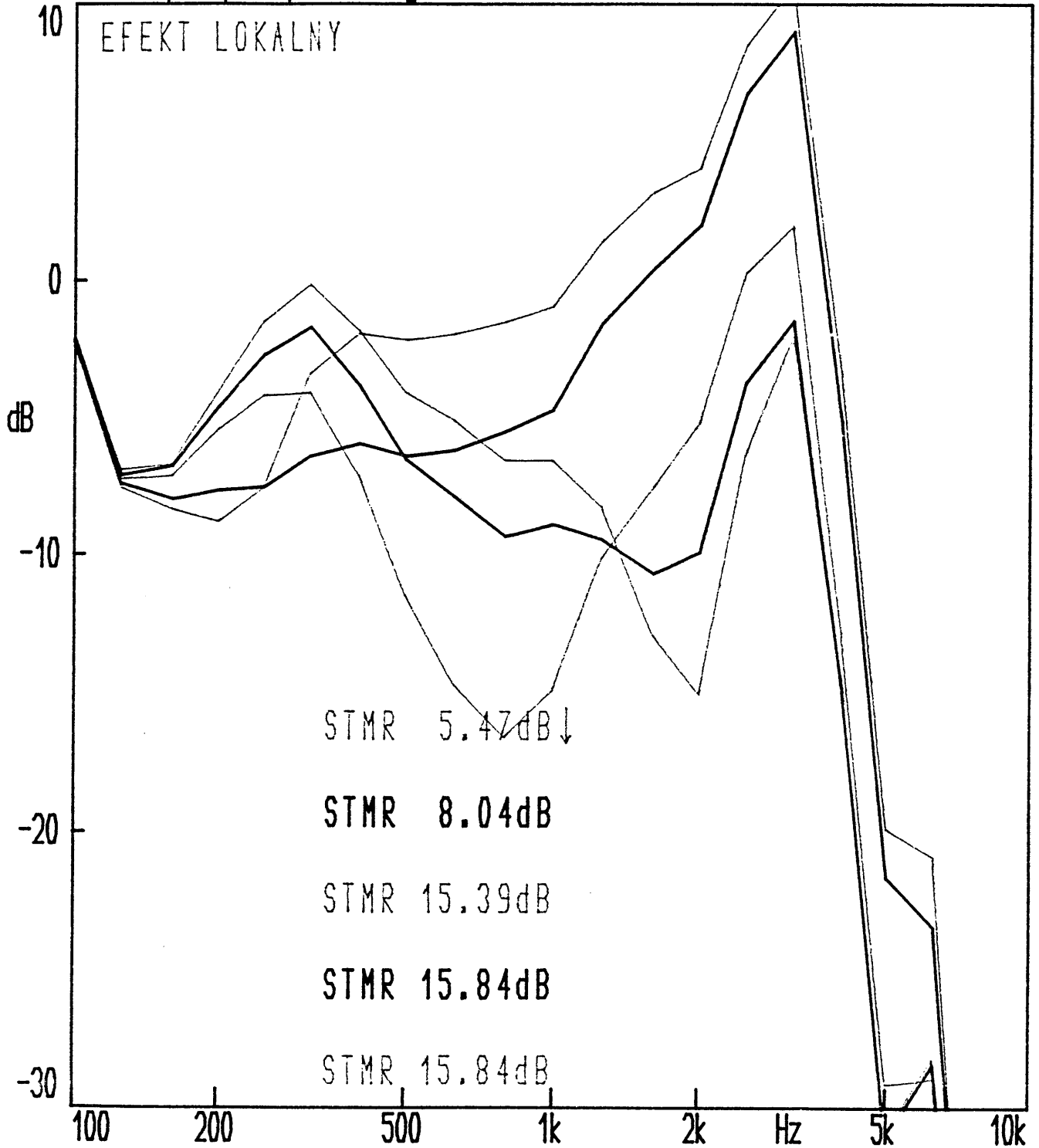
9-MAR-2000 09:45:27

ode: Ploter



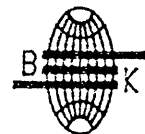
POMIARY TELEFONOMETRYCZNE : EFEKT LOKALNY. KX-TS15PD-W

A: Frequency Response, Magn dB re 1.000Pa/Pa



19-MAR-2000 09:54:10

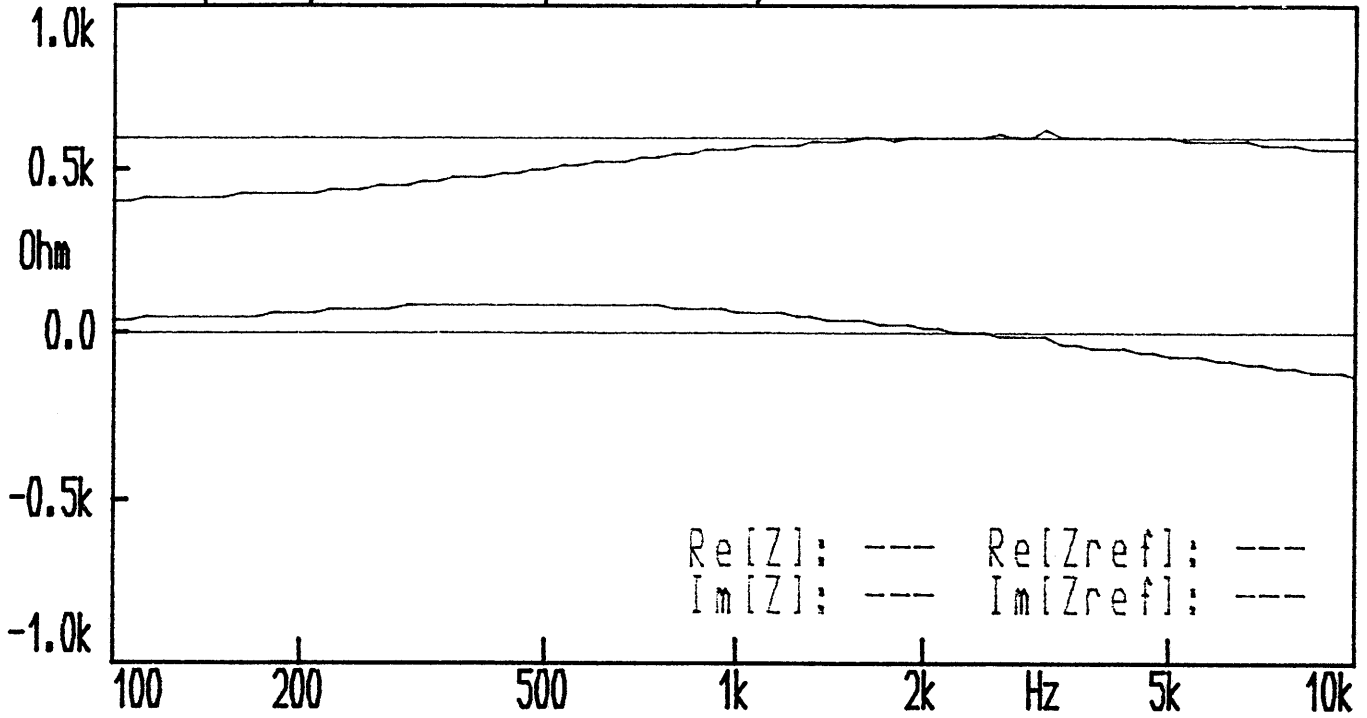
lode: Ploter



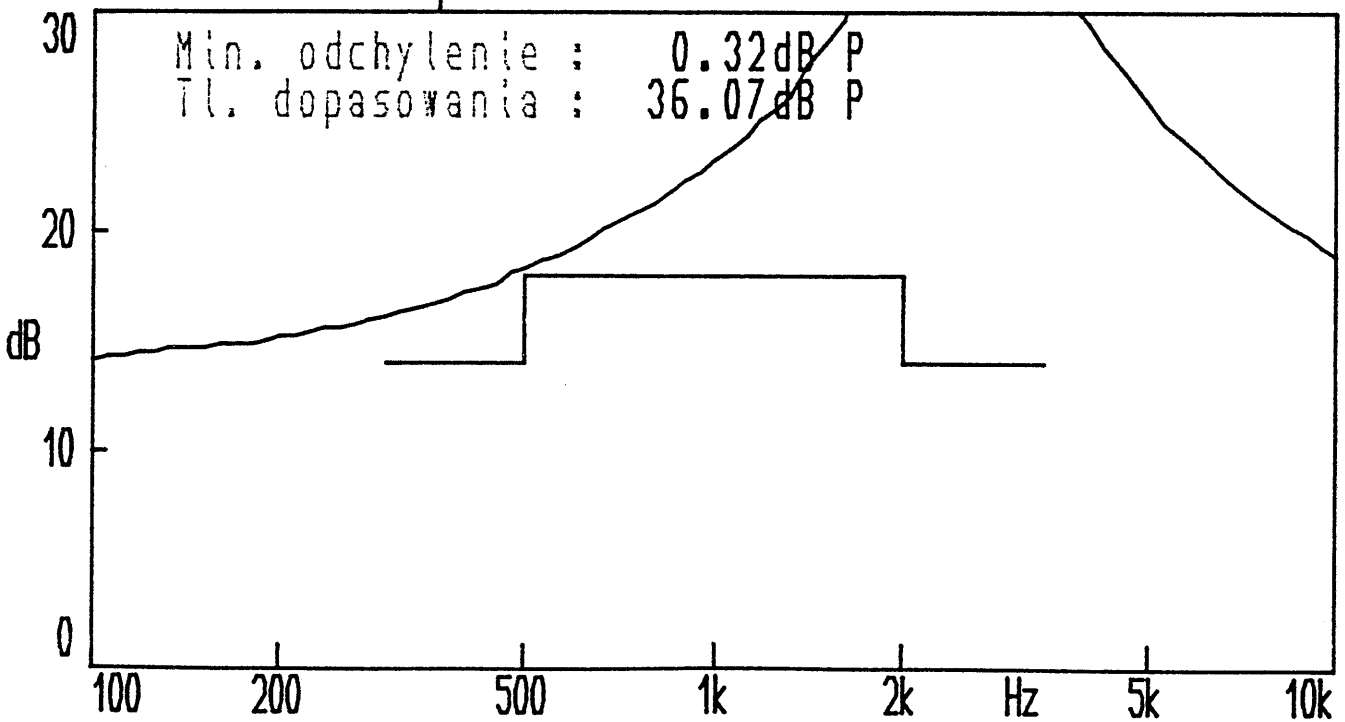
Z 2

Pomiary impedancji i tłumienności dopasowania ap. tel. KX-TS15PD-W
 X: Y: ZA:6.0000 No Curve

A: Impedancja, część rzeczywista i urojona.



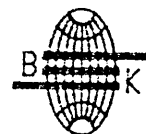
B: Tłumiennosc niedopasowania.



19-MAR-2000 10:01:51

lode: Ploter

Z 3



ZNIEKSZTALCENIA NIELINEARNE NA NADAWANIE I ODBIOR KX-TS15PD-W

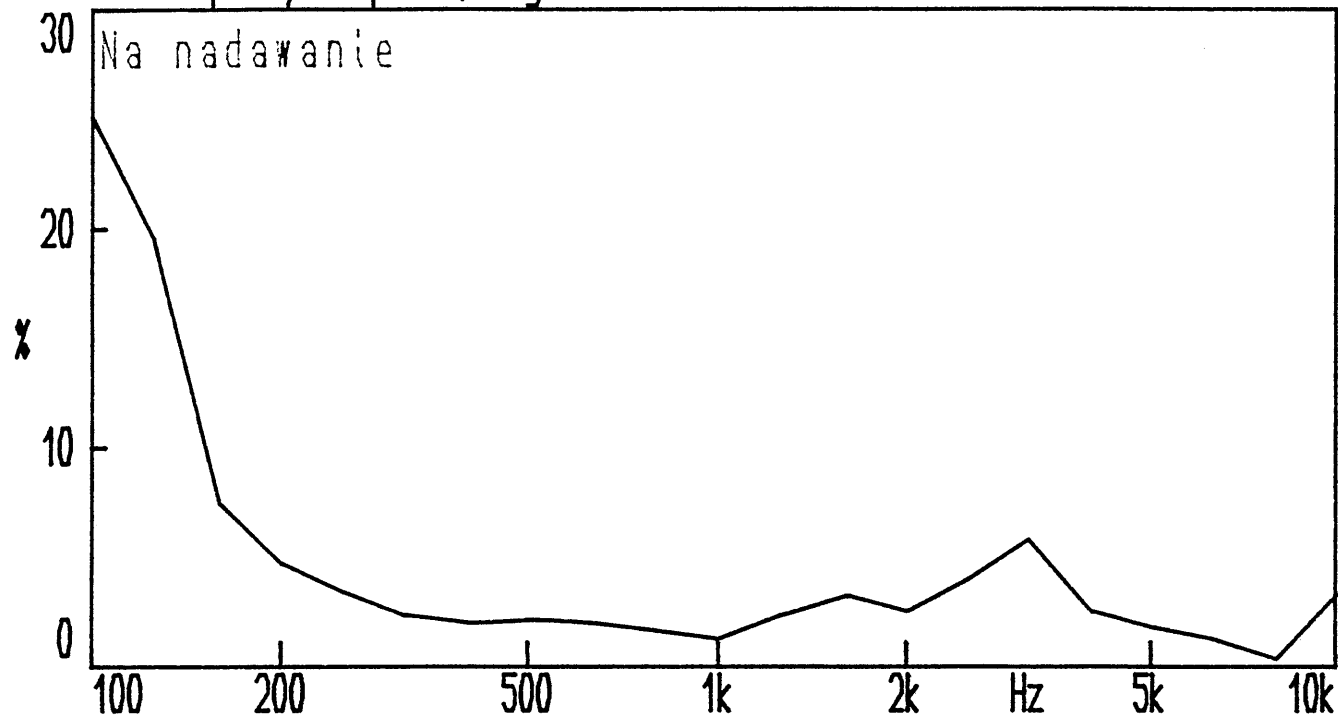
X:

Y:

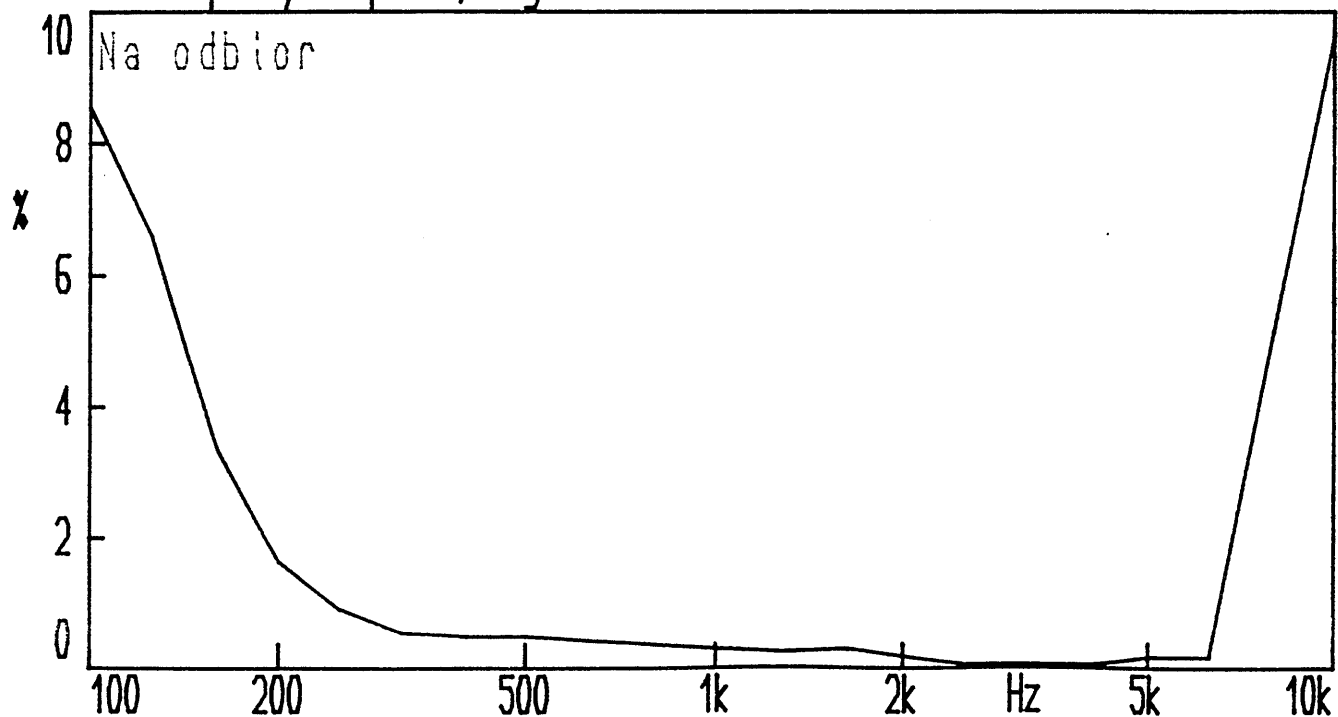
ZA:7.0000

No Curve

A: Frequency Response, Magn



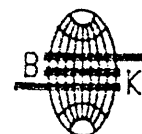
B: Frequency Response, Magn



19-MAR-2000 10:10:17

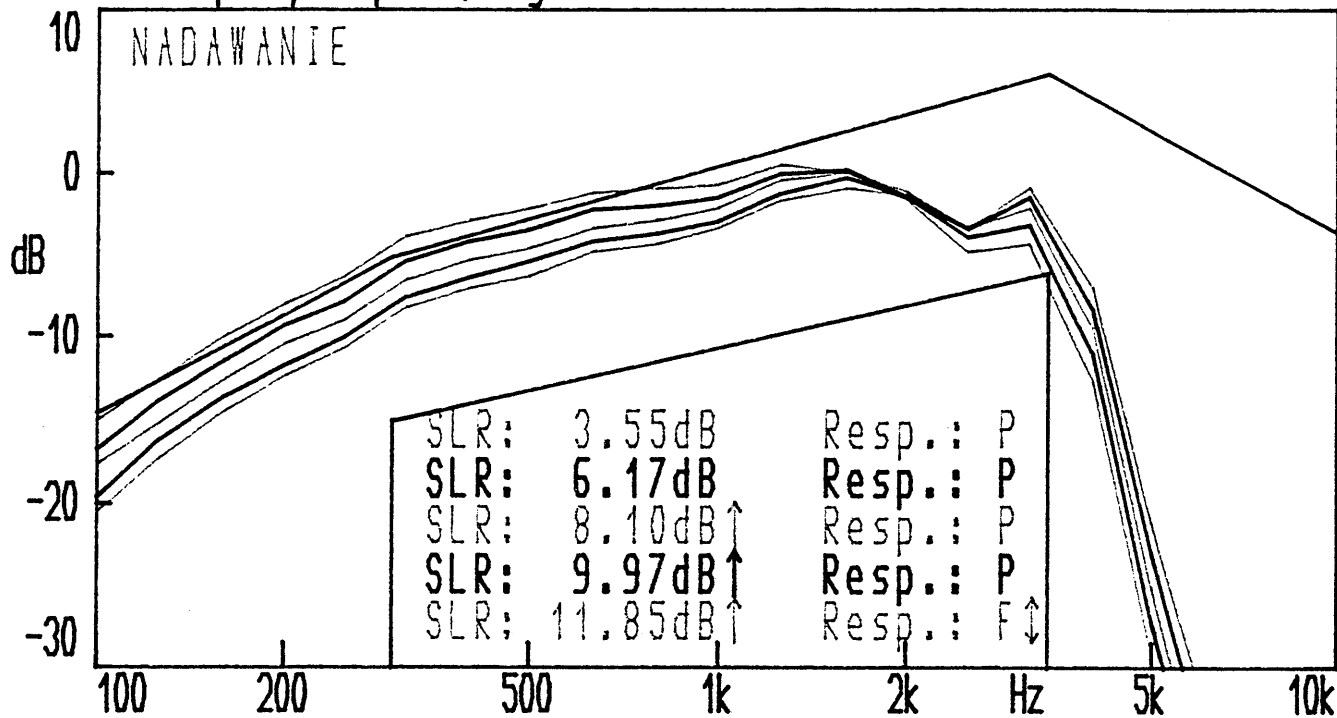
Iode: Ploter

Z 4

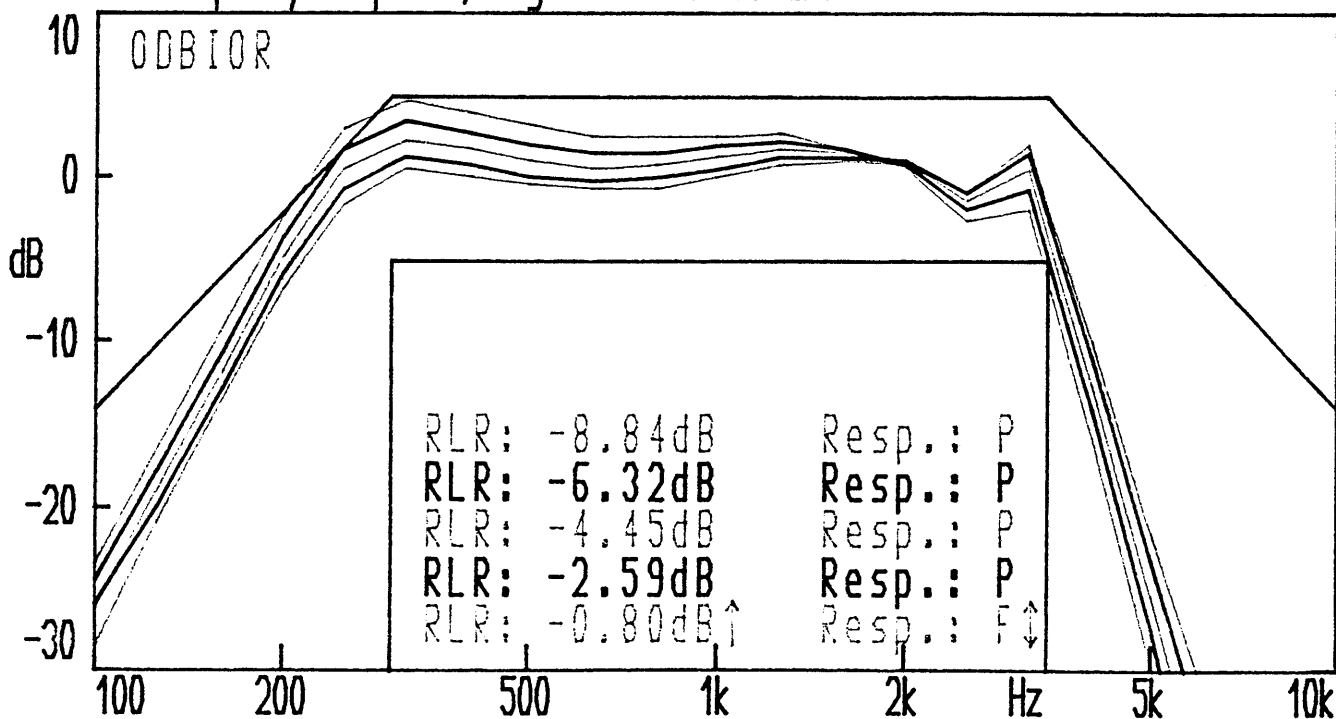


POMIARY TELEFONOMETRYCZNE : Nadawanie i Odbior. Euroset 812

A: Frequency Response, Magn dB re 1.000V/Pa



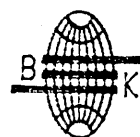
B: Frequency Response, Magn dB re 1.000Pa/V



09-MAR-2000 12:36:26

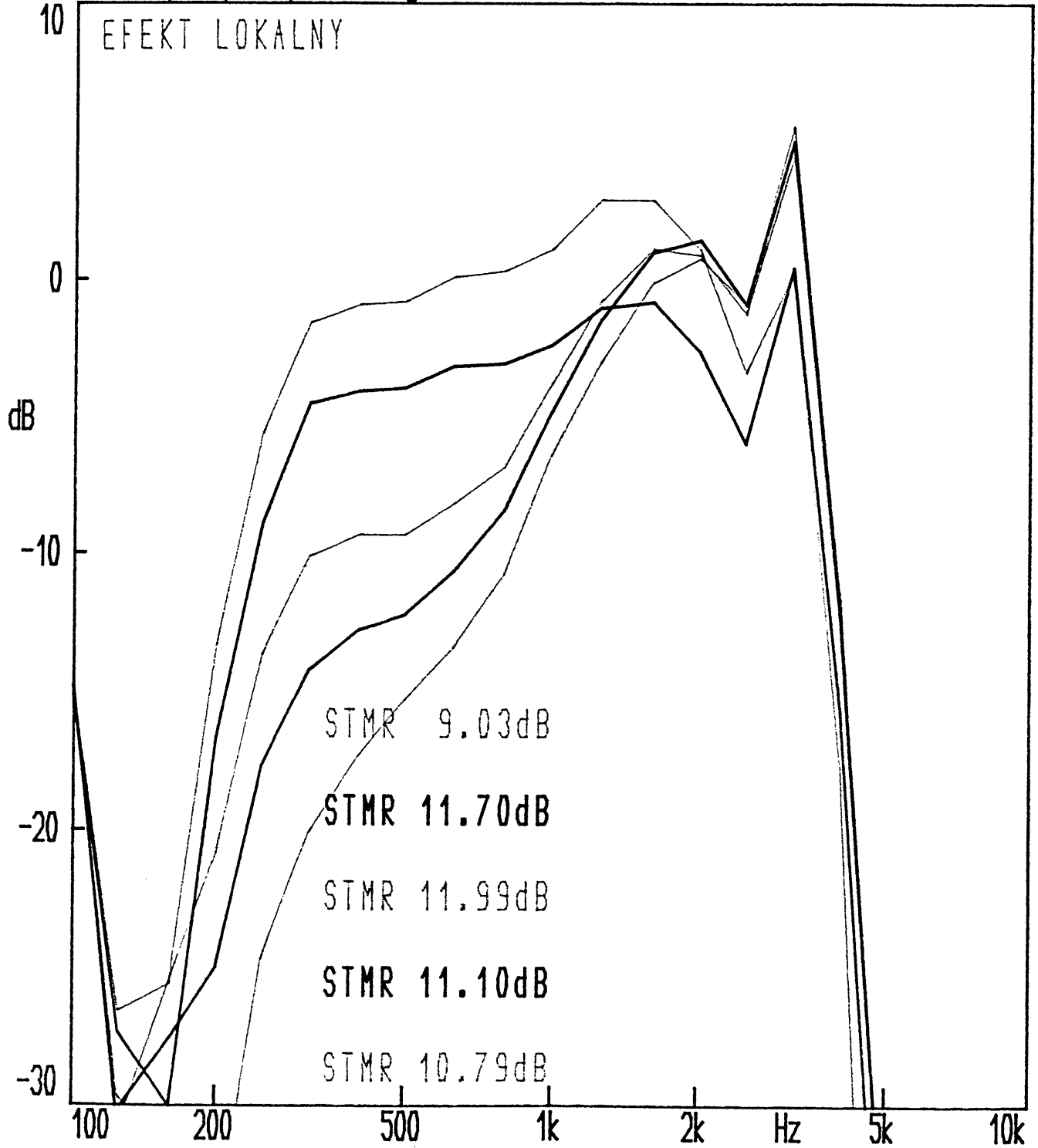
Mode: Ploter

Z 5



POMIARY TELEFONOMETRYCZNE : EFEKT LOKALNY. Euroset 812

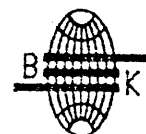
A: Frequency Response, Magn dB re 1.000Pa/Pa



09-MAR-2000 12:45:07

Mode: Plotter

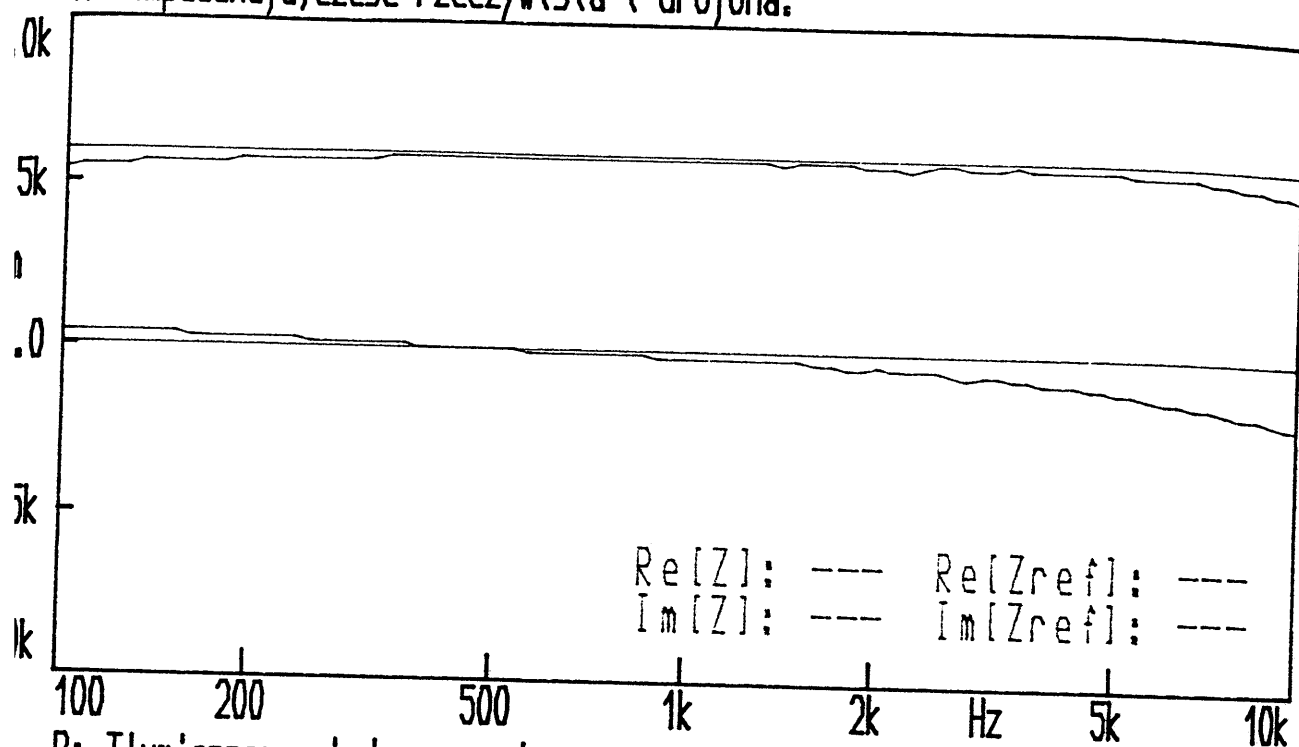
Z 6



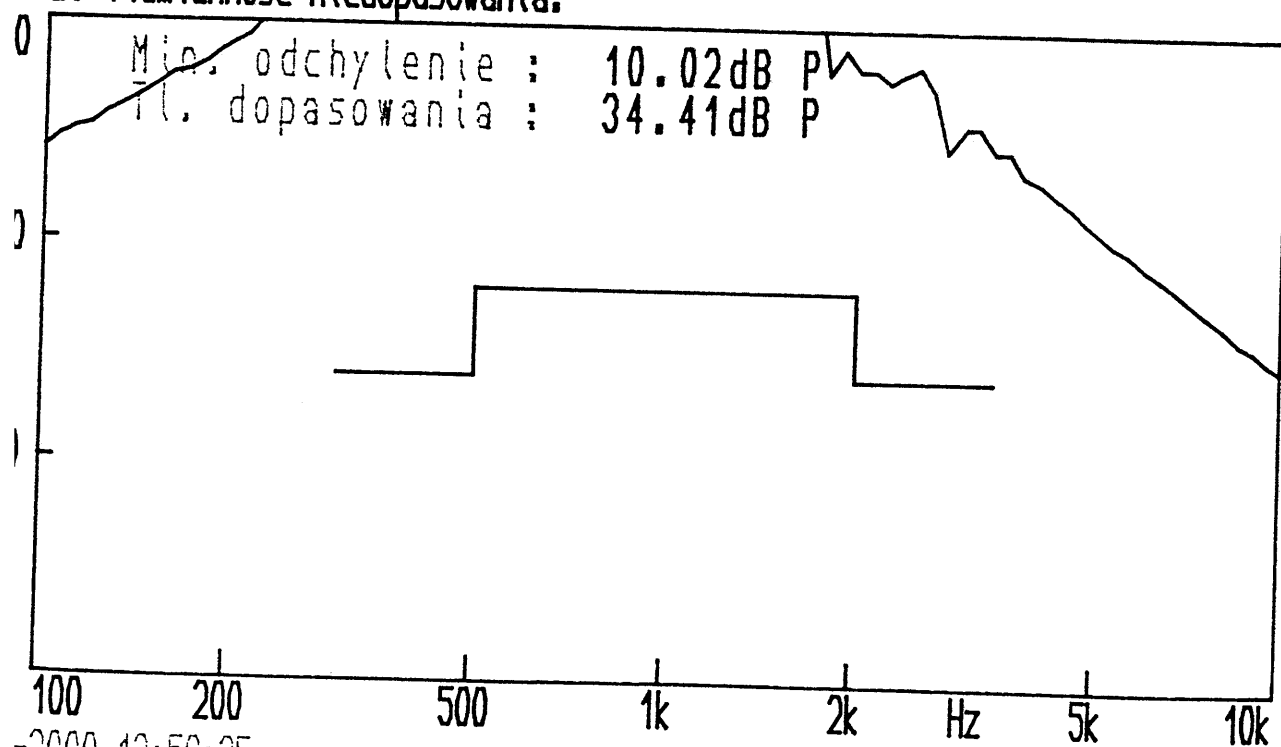
Charakterystyki impedancji i tłumienności dopasowania ap. tel. Euroset 812

Y: ZA:7.0000 No Curve

A: Impedancja, część rzeczywista i urojona.



B: Tłumienność niedopasowania.



-2000 12:59:35

Ploter

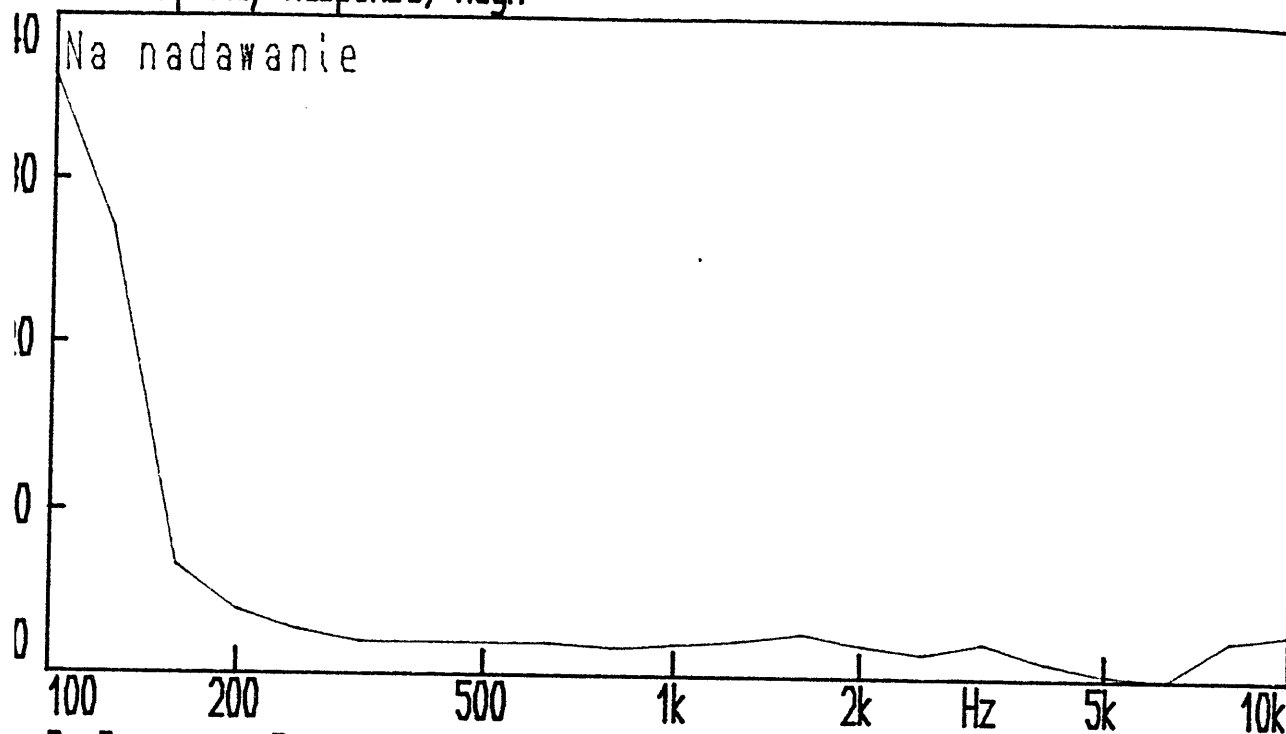
Z 7



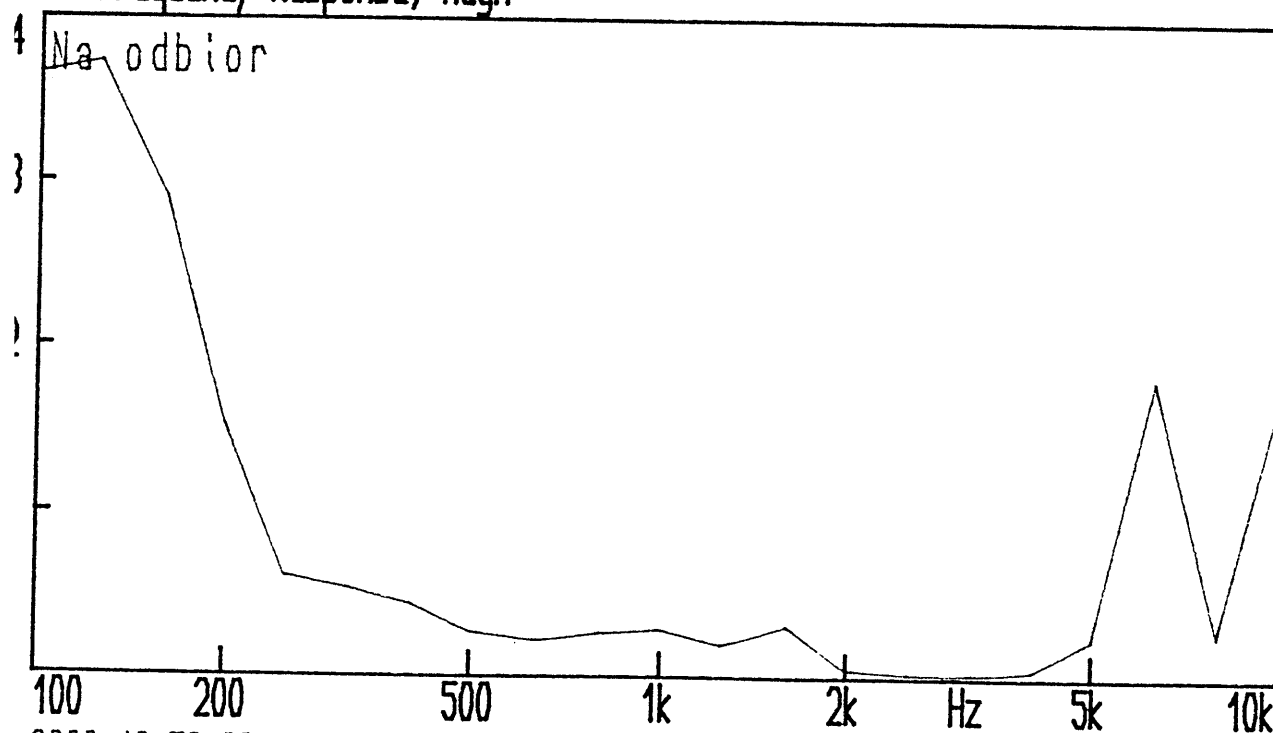
ZNIEKSZTALCENIA NIELINEARNE NA NADAWANIE I ODBIOR Euroset 812

Y: ZB: Live Curve No Curve

A: Frequency Response, Magn



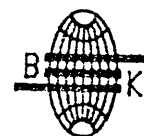
B: Frequency Response, Magn



-2000 12:52:33

ploter

Z 8



INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
BIBLIOTEKA NAUKOWA

Nr S-10245

Biblioteka
IL

S-10245