

**INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI**  
WARSZAWA-MIEDZESZYN

**BIULETYN**

**INFORMACYJNY**

**11(264)**

**1988**



# BIULETYN INFORMACYJNY

ROK 28

WARSZAWA 1988

NR 11 (264)

---

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI  
Branżowy Ośrodek  
Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Biuletynu Informacyjnego.

---

Redaktor Naczelny - dr inż. Krystyn Plewko  
Z-ca Redaktora Naczelnego - doc.dr inż. Stanisław Sońta

Redaktorzy działów:

doc.dr inż. Alina Karwowska-Lamparska

mgr inż. Mirosław Zurawski

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branzowy Ośrodek  
Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa - Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

**ISSN 0209-1046**

Redaktor: mgr Krystyna Juszklewicz

Montaż tekstu: Autor

---

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności  
Format B5. Nakład 625. Wpłynęło do  
Działu Wydawniczego 1988.12.05  
Druk ukończono w styczniu 1989 r.

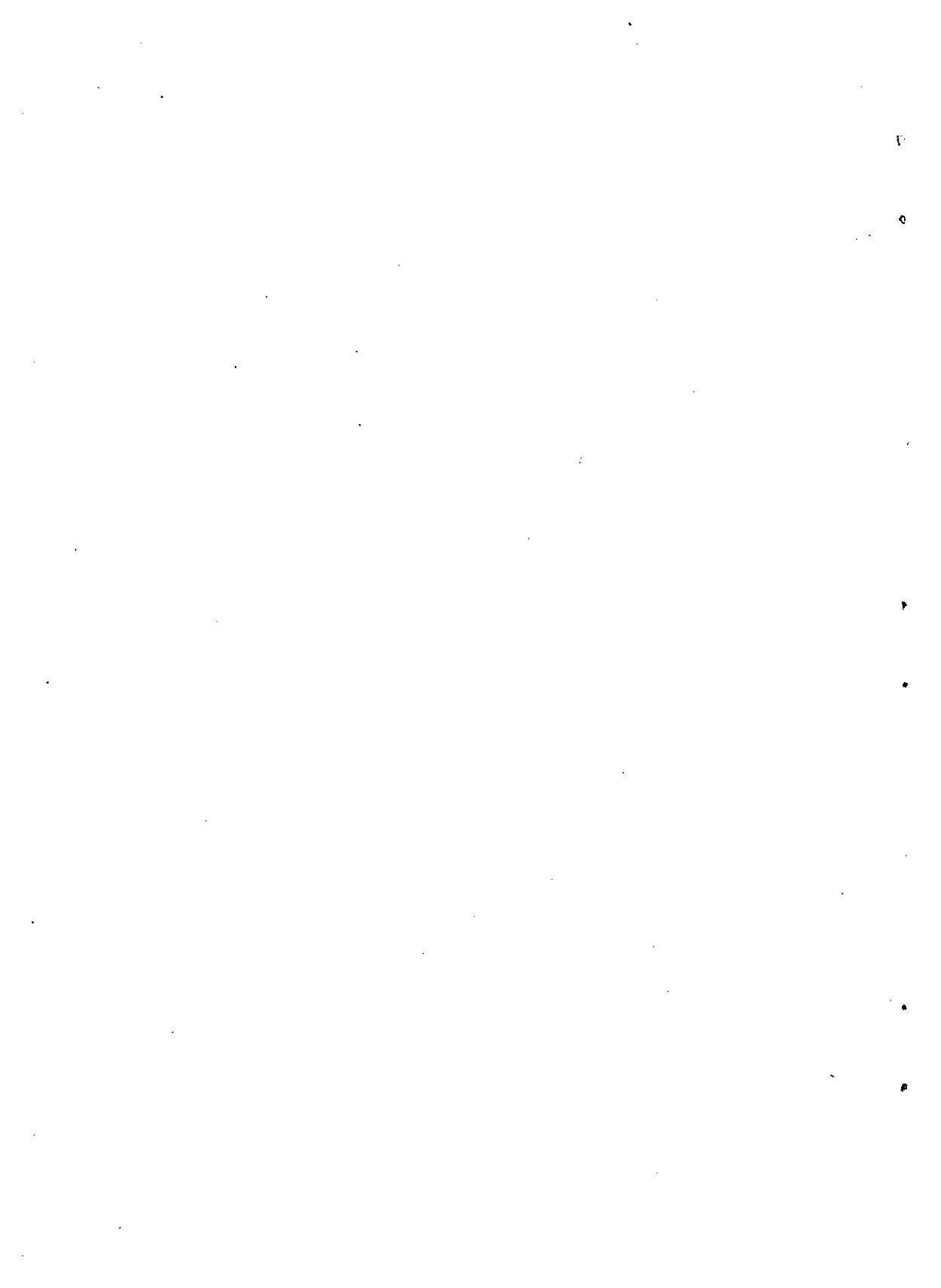
Zbigniew Kowalski

EWOLUCJA TŁUMIENNOŚCI ODNIESIENIA  
JAKO MIARY JAKOŚCI LANCUCHÓW TELEFONICZNYCH

Spis treści:

Str.:

1. Wprowadzenie .....	1
2. Klasyczna tłumienność odniesienia .....	3
2.1. Zasada pomiaru .....	3
2.2. Statyczny model błędów ocen subiektywnych .....	6
2.3. Normy rozdziału tłumienności .....	9
2.4. Wady klasycznej miary i postulaty CCITT .....	12
3. Skorygowana tłumienność odniesienia .....	15
3.1. Zasada pomiaru .....	15
3.2. Związek wielkości skorygowanej z klasyczną .....	17
3.3. Normy rozdziału tłumienności .....	17
3.4. Wady skorygowanej miary .....	18
4. Zmodyfikowana tłumienność odniesienia .....	21
4.1. Zasada pomiaru .....	21
4.2. Zarys dynamicznego modelu ocen subiektywnych .....	24
4.3. Obiektywizacja zmodyfikowanej miary .....	27
4.4. Błędy niepewności ocen obiektywnych .....	30
4.5. Związek wielkości zmodyfikowanej z klasyczną .....	31
4.6. Normy rozdziału tłumienności .....	32
4.7. Propozycja rozdziału wielkości LR w polskiej sieci telefonicznej .....	32
5. Podsumowanie i wnioski .....	36
Podziękowanie .....	37
Wykaz literatury .....	38
Dodatek .....	40



Zbigniew Kowalski

621.395.74

EWOLUCJA TLUMIENNOŚCI ODNIESIENIA  
JAKO MIARY JAKOŚCI ŁANCUCHÓW TELEFONICZNYCH

1. WPROWADZENIE

Podstawowym czynnikiem wpływającym na słyszalność rozmów telefonicznych jest tłumienie energii sygnałów, przesyłanych drogami połączeniowymi tworzonymi w sieci. Na podstawie międzynarodowych uzgodnień drogi te, zwane łańcuchami telefonicznymi, przyjęto charakteryzować tłumiennością odniesienia.

Jest to skalarna wielkość, z zasady wyznaczana przez ekipę operatorów na podstawie subiektywnych wrażeń jednakowej głośności dźwięków mowy, transmitowanej na przemian przez badany obiekt (łańcuch telefoniczny albo jego ogniwo) oraz przez wzorzec odniesienia. Z tego względu wyznaczanie tłumienności odniesienia może się odbywać tylko w warunkach laboratoryjnych i tylko wtedy, gdy wejście i wyjście badanego obiektu jest zlokalizowane przy wzorcu odniesienia. Na skutek tego dotychczas wykonywane projekty rozdziału tłumienności w sieci telefonicznej są pomiarowo niesprawdzalne w warunkach eksploatacyjnych.

Według badań przeprowadzonych w ostatnich latach okazało się, że poza bardzo małą dokładnością wyników pomiarów, związana z subiektywną metodą wyznaczania wartości, tłumienność odniesienia jest wielkością nieaddytywną przy łańcuchowym łączeniu ogniw.

Ponieważ dotychczasowe metody projektowania sieci telefonicznej na podstawie tłumienności odniesienia zawsze są oparte na nieujawnianych założeniach addytywności stosowanej miary oraz zupełnej dokładności danych liczbowych - mogą występować bardzo znaczne rozbieżności między wynikami obliczeń projektowych a faktycznie występującą tłumiennością łańcuchów telefonicznych w sieci zrealizowanej zgodnie z projektem. W celu obniżenia kosztów inwestycji, łańcuchy telefoniczne są projektowane na górną granicę sumy tłumienności ich ogniw składowych. Wobec znacznej strukturalnej różnorodności łańcuchów tworzonych w sieci, powoduje to występowanie w praktyce licznych przypadków połączeń telefonicznych subiektywnie niezadowolających.

Dla poprawy istniejącego stanu rzeczy przeprowadzane są w ostatnim piętnastolecu próby korygowania (względnie modyfikacji) procedury wyznaczania tłumienności odniesienia w celu stworzenia możliwości weryfikacji, a więc i urealnienia projektów rozdziału tłumienności w sieci telefonicznej.

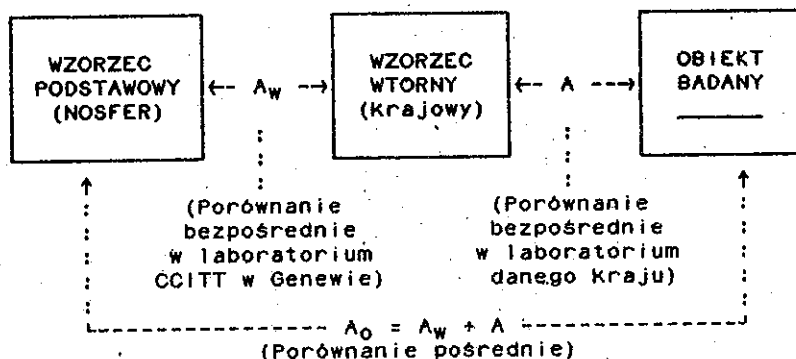
Niniejszy artykuł przedstawia drogę ewolucji, prowadzącą do obiektywizacji omawianej miary, której pierwotna koncepcja była oparta wyłącznie na subiektywnych doznaniach słuchowych.



## 2. KLASYCZNA TLUMIENNOŚĆ ODNIESIENIA

## 2.1. Zasada pomiaru

Na rys.1 przedstawiono formalną regułę określania wartości tłumienności odniesienia RE <sup>1)</sup> badanego obiektu (łańcucha telefonicznego albo jego części) przez porównanie z wzorcami telefonometrycznymi <sup>2)</sup>. Z zasady badany obiekt jest porównywany z



Rys.1. Zasada określania wartości tłumienności odniesienia badanego obiektu na podstawie porównania pośredniego <sup>\*)</sup> z podstawowym wzorcem telefonometrycznym,

1) RE : Reference Equivalent

2) Wzorce telefonometryczne oraz metody przeprowadzania pomiarów tłumienności odniesienia są określone zaleceniami P.42 oraz P.72 CCITT [1-6, tom V]. Pierwszy międzynarodowy wzorec telefonometryczny SFERT (Systeme Fundamental Europeen de Reference pour la Transmission Telephonique) wprowadzono w 1928 roku; ze względu na zużycie został on zastąpiony w 1962 roku przez NOSFER (Nouveau Systeme Fundamental pour la determination des Equivalents de Reference); ponadto w 1984 roku zbudowano NOSFER-84. Należy dodać, że polski wzorec telefonometryczny (znajdujący się w Instytucie Łączności w Warszawie) jest wtórnikiem wzorca podstawowego NOSFER.

\*) To porównanie składa się z dwóch porównań bezpośrednich:  
I - przy którym wyznacza się wartość tłumienności  $A_w$  wzorca wtórnego (Krajowego) względem wzorca pierwotnego (NOSFER) oraz  
II - przy którym wyznacza się wartość tłumienności  $A$  obiektu badanego względem wzorca wtórnego.

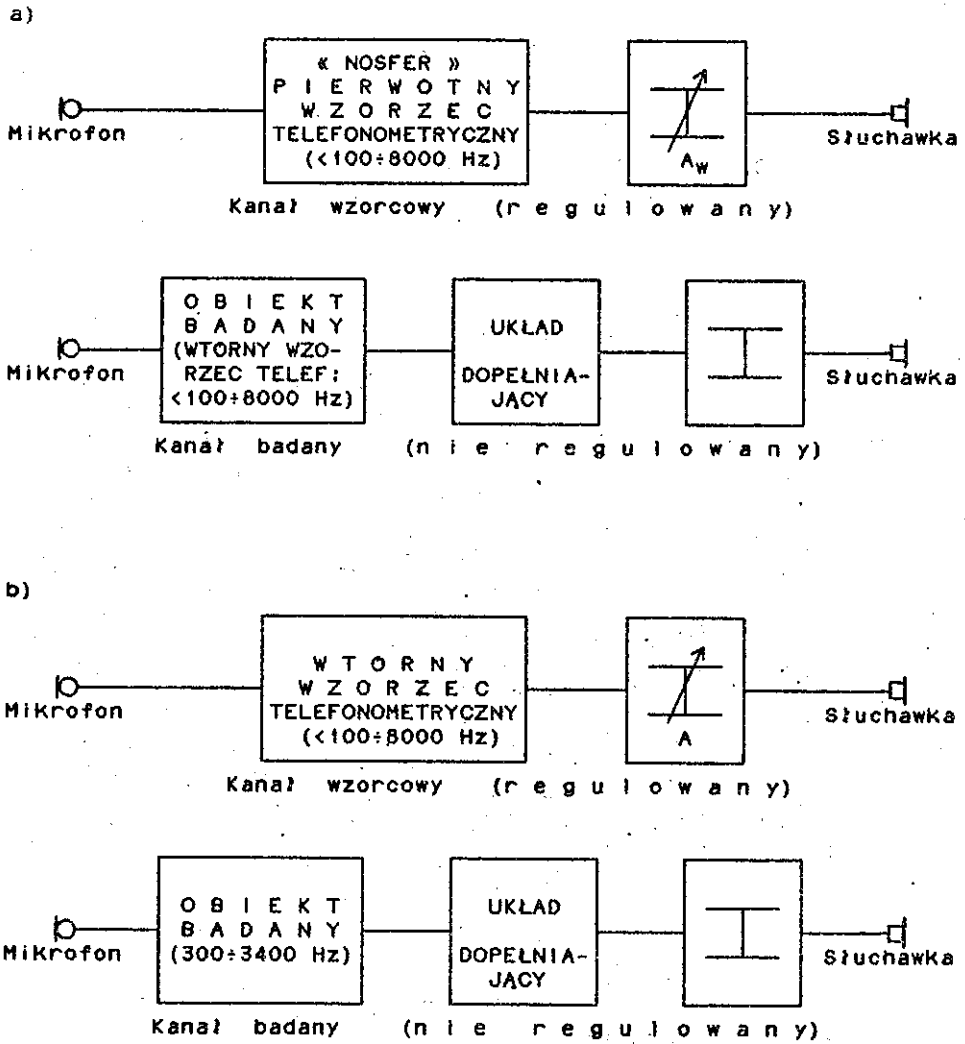
wtórny wzorcem telefonometrycznym; w ten sposób zostaje określona wartość  $A$  tłumienności względnej. Wzorzec wtórny (krajowy) jest uprzednio porównywany z wzorcem pierwotnym (międzynarodowym); w wyniku tego porównania zostaje określona wartość  $A_w$  tłumienności wzorca wtórnego względem pierwotnego. Wartość tłumienności odniesienia  $A_0$  badanego obiektu określa się jako sumę dwóch uprzednio wyznaczonych składników, tzn.:

$$A_0 = A_w + A \quad (1)$$

Na rys.2 przedstawiono schematy ideowe układów do wyznaczania tłumienności odniesienia. Część a) rysunku dotyczy wyznaczania wartości  $A_w$  wzorca wtórnego w laboratorium CCITT w Genewie, natomiast część b) - wyznaczania wartości  $A$  badanego obiektu w krajowym laboratorium telefonometrycznym. W obu przypadkach wyznaczanie tłumienności następuje na podstawie subiektywnych porównań głośności mowy, transmitowanej na przemian przez regulowany kanał zawierający wzorzec telefonometryczny oraz przez nieregulowany kanał, zawierający oprócz badanego obiektu - dopełniające łańcuch telefoniczny człony tego wzorca<sup>3)</sup>. Upraszczając sprawę można stwierdzić, że jako ocenę tłumienności badanego obiektu przyjmuje się wartość tłumienności  $A$ , którą należy wtrącić w część torową wzorca telefonometrycznego, aby uzyskać jednakową głośność dźwięków transmitowanych na przemian kanałami wzorcowym i badanym.

Należy zwrócić uwagę, że średni poziom głośności dźwięków przy pomiarach tłumienności odniesienia zależy od tłumienności badanego obiektu. Jest to niekorzystne z punktu widzenia dokład-

<sup>3)</sup> Gdy badanym obiektem jest część nadawcza aparatu telefonicznego, układem dopełniającym jest człon odbiorczy wzorca - i na odwrót; dokładniejsze informacje podano w [13] oraz w [24].



Rys.2. Schematy ideowe układów pomiarowych  
do wyznaczania wielkości RE

a) Kalibracja wzorca wtórnego w laboratorium telefonometrycznym CCITT w Genewie; b) wyznaczanie tłumienności względnej A badanego obiektu w Krajowym laboratorium telefonometrycznym

ności pomiarów, ponieważ rozdzielczość słuchu (próg dostrzegalności różnicy głośności) zależy od wartości średniego poziomu głośności.

Należy ponadto zwrócić uwagę, że w krajowych laboratoriach telefonometrycznych badane obiekty mają z reguły wąskie pasmo przesyłowe (telefoniczne: od 300 do 3400 Hz), podczas gdy wzorce - pasmo szerokie (od poniżej 100 do około 8000 Hz). To również niekorzystnie wpływa na dokładność przeprowadzanych pomiarów ze względu na konieczność porównywania głośności dźwięków o różnej szerokości widma.

Przeprowadzone badania wykazały, że rozdzielczość takich pomiarów wynosi kilka decybelli. Z tego względu ocena tłumienności badanego obiektu uzyskana na podstawie jednorazowego porównania ze wzorcem telefonometrycznym wykazuje błąd standardowy  $\sigma$  rzędu jednego decybela <sup>4)</sup>.

## 2.2. Statyczny model błędów ocen subiektywnych

W celu zwiększenia dokładności ostatecznej oceny tłumienności badanego obiektu jego porównanie ze wzorcem jest przeprowadzane wielokrotnie, przy czym porównania te są dokonywane przez członków specjalnie dobranej (głównie ze względu na dobry słuch) i odpowiednio przeszkolonej ekipy telefonometrycznej. Podczas pomiarów każdy członek ekipy (występujący dwukrotnie: raz jako mówiący, drugi raz jako nasłuchujący) dokonuje oceny tłumienności badanego obiektu, współpracując kolejno ze wszystkimi pozostałymi jej członkami. Dlatego przy liczebności ekipy telefonometrycznej równej  $N$  osób, liczba porównań badanego obiektu ze wzorcem wynosi

$$P = N(N-1) \quad (2)$$

Zakładając, że każde porównanie jest takiej samej dokładności (o błędzie standardowym  $\sigma$ ,<sup>4)</sup>, jako ocenę tłumienności badanego obiektu przyjmuje się wartość średnią z wyników poszczególnych porównań, tzn.:

$$A = \frac{1}{P} \sum_{\substack{J, i=1 \\ i \neq J}}^N A_{Ji} \quad (3)$$

gdzie:  $A_{Ji}$  oznacza wynik pomiaru tłumienności uzyskany w przypadku, gdy  $J$ -ty członek ekipy mówi, zaś  $i$ -ty słucha.

Ta uśredniona ocena tłumienności badanego obiektu wykazuje błąd standardowy równy:

$$\sigma = \frac{\sigma_1}{\sqrt{P}} \quad (4)$$

Jak widać ze wzorów (4) oraz (2), przy wzroście liczebności  $N$  ekipy telefonometrycznej szybko wzrasta liczba  $P$  porównań, a więc i czas trwania subiektywnych pomiarów tłumienności, natomiast powoli maleje błąd standardowy  $\sigma$  uśrednionej oceny tłumienności badanego obiektu.

Ponieważ wyznaczanie tłumienności odniesienia jest oparte na porównaniach pośrednich (patrz rys.1), więc w przypadku stabilne-

<sup>4)</sup> - Wartość liczbowa wielkości  $\sigma_1$  można wyznaczać sekwencyjnie dla danej ekipy telefonometrycznej na podstawie wszystkich dotychczas przeprowadzanych badań  $n$  obiektów przyjmując, że:

$$\sigma_1^2 = \frac{1}{n} \sum_{K=1}^n S_K^2 \quad (01)$$

gdzie:

$$S_K^2 = \frac{1}{P_K - 1} \sum_{\substack{J, i=1 \\ i \neq J}}^{N_K} (A_{Ji} - A_K)^2 \quad (02)$$

przy czym:  $N_K$  jest liczebnością ekipy telefonometrycznej, badającej  $K$ -ty obiekt,  $P_K$  jest określona wzorem (2) liczba porównań, a  $A_K$  - określona wzorem (3) uśredniona ocena tłumienności badanego obiektu.

go wzorca wtórnego błąd standardowy uśrednionej oceny tłumienności odniesienia badanego obiektu wynosi:

$$\sigma_0 = \sqrt{\sigma_w^2 + \sigma^2} \quad (5)$$

gdzie  $\sigma_w$  jest błędem standardowym uśrednionej oceny tłumienności wzorca wtórnego względem podstawowego (wyznaczanym w identyczny sposób, jak błąd standardowy  $\sigma$  uśrednionej oceny tłumienności badanego obiektu względem wzorca wtórnego).

W rzeczywistości wzorce telefonometryczne nie są doskonale stabilne, ponadto różne ekipy telefonometryczne (działające w laboratorium CCITT oraz Krajowe) nie oceniają jednakowo tłumienności porównywanych kanałów. Dlatego dokładność uśrednionych ocen tłumienności odniesienia badanych obiektów jest faktycznie mniejsza od wynikającej z wartości błędu standardowego, określonego wzorem (5), szczególnie w przypadkach niedostatecznej adiustacji wzorców przed rozpoczęciem pomiarów.

Ponieważ właściwości zmysłu słuchu ulegają zmianom w czasie, z reguły stosuje się powtórzenie serii badań, przyjmując jako ostateczną ocenę tłumienności badanego obiektu wartość średnią ważoną z ocen uzyskanych w obu seriach badań, tzn.:

$$A = \frac{P_1 A_1 + P_2 A_2}{P_1 + P_2} \quad (6)$$

gdzie:  $P_1$  - określona ze wzoru (2) liczba porównań badanego obiektu z wzorcem telefonometrycznym podczas pierwszej serii badań, gdy ekipa telefonometryczna składała się z  $N_1$  osób, zaś  $P_2$  - liczba porównań podczas drugiej serii badań, gdy liczebność ekipy wynosiła  $N_2$  osób <sup>5)</sup>. Występujące w powyższym wzorze symbole  $A_1$

<sup>5)</sup> W praktyce częstokroć zachodzi  $N_1 \neq N_2$  wskutek niedyspozycji poszczególnych członków ekipy telefonometrycznej.

oraz  $A_v$  oznaczają uśrednione oceny tłumienności odniesienia badanego obiektu, wyznaczone na podstawie wyników pomiarów, przeprowadzanych podczas pierwszej oraz drugiej serii badań.

### 2.3. Normy rozdziału tłumienności

Doświadczenia szeregu administracji łączności pozwoliły ustalić zakres dopuszczalnych wartości tłumienności odniesienia łańcuchów, przy którym słyszalność rozmów telefonicznych jest subiektywnie zadowalająca: od około 0 dB do około 40 dB. Poniżej dolnej granicy tego zakresu abonenci słyszą się zbyt głośno, natomiast powyżej górnej granicy - zbyt słabo, na skutek czego porozumiewanie się przez telefon jest bardzo trudne albo wręcz niemożliwe.

W początkowym okresie rozwoju telefonii tłumienność odniesienia każdego łańcucha tworzonego w ówczesnej sieci telefonicznej była większa od zera. Z tego względu tylko górna granicę tłumienności odniesienia (tzn. wartość 40 dB) przyjęto w praktyce jako podstawę do alternatywnej klasyfikacji łańcuchów telefonicznych (jako dobre albo jako złe).

W starym międzynarodowym planie transmisji CCIF z roku 1956 [1, tom III bis] zalecano takie projektowanie sieci, aby każdy tworzony łańcuch telefoniczny był dobry, tzn. aby jego tłumienność odniesienia podczas trwania połączenia nie przekraczała 40 dB. Zwracano przy tym uwagę, że wartość ta jest górną nieprzekraczalną granicą tłumienności, uwzględniającą wszelkiego rodzaju odchylenia względem wartości nominalnych, a więc zarówno zmiany w funkcji czasu jak i różnice między poszczególnymi obiektami danego typu, wchodzącymi w skład łańcuchów telefonicznych.

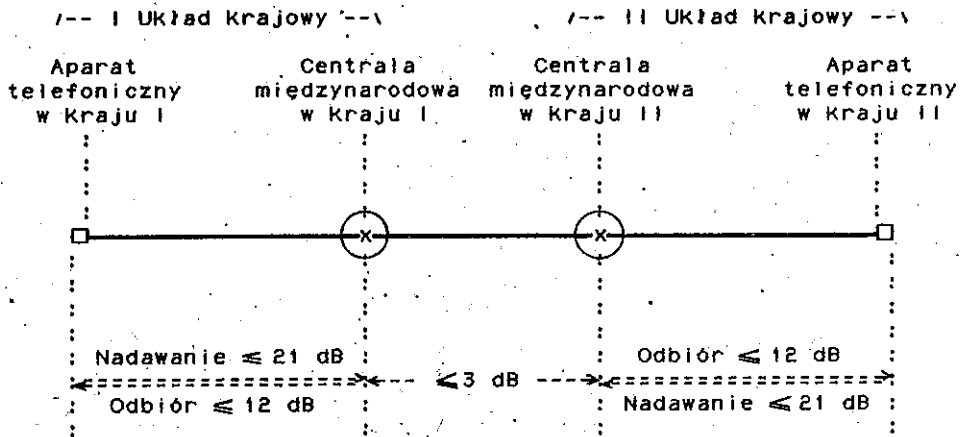
Ze względu na trudności trafnego przewidywania maksymalnych wartości tłumienności odniesienia łańcuchów, które będą faktycznie występować w projektowanej sieci telefonicznej, w latach sześćdziesiątych zmieniono zalecenia międzynarodowe. W planie transmisji CCITT z roku 1964 [2, tom III] ustalono probabilistyczne wymagania na nominalne tłumienności odniesienia głównych części składowych międzynarodowego łańcucha telefonicznego.

Istota tych ustaleń jest następująca (patrz rys.3). Jakość krajowej sieci telefonicznej ocenia się na podstawie względnej liczby połączeń międzynarodowych (zarówno wychodzących jak i przychodzących), przy których wartość nominalna tłumienności odniesienia układów krajowych nie przekracza dopuszczalnych górnych granic. Granice te wynoszą: 21 dB dla nadawczego kierunku transmisji oraz 12 dB dla kierunku odbiorczego. Według zaleceń CCITT z r. 1964 aktualnie wymagana względna liczba takich połączeń dla sieci dobrej jakości powinna wynosić 95%, zaś według zaleceń z r. 1972 nie mniej niż 97%; podkreśla się przy tym, że dla sieci nowo projektowanych procent ten powinien być jeszcze większy [3, tom III]. W tym miejscu należy wyjaśnić, iż zgodnie z późniejszą interpretacją CCITT [5, tom III, Zał. G. 121, punkt 4], wartość nominalna odpowiada wartości średniej w okresie eksploatacji (uwzględniającej nieodwracalne zmiany właściwości transmisyjnych obiektów, wywołane starzeniem się ich elementów).

Dla ułatwienia projektowania sieci zalecono, aby zakładać, że wartość nominalna tłumienności odniesienia układu krajowego jest równa sumie tłumienności <sup>6)</sup> przy 800 Hz (albo przy innej, odpowiedniej częstotliwości) składowych łącz międzycentralowych



i nominalnej tłumienności odniesienia dla właściwego kierunku transmisji układu lokalnego, złożonego z łącza abonenckiego i aparatu telefonicznego. Oficjalne dokumenty CCITT z tego okresu (aż do roku 1972 włącznie [3, tom III]) zawierają stwierdzenie, że z błędem mniejszym od 1 dB tłumienność odniesienia łańcuchów telefonicznych jest równa sumie tłumienności ich ogniw, wyznaczonej wyżej podanym sposobem.



Rys.3. Rozdział tłumienności w międzynarodowym łańcuchu telefonicznym według planów transmisji CCITT z lat 1964 i 68 oraz 1972 i 76 (dotyczy klasycznej tłumienności odniesienia RE)

b) W dokumentach CCITT nie podano rodzaju tej tłumienności. Na podstawie kontekstu można przypuszczać, że chodzi o tłumienność wynikową albo też falową. Należy zwrócić uwagę, że dla łączy realizowanych w systemie naturalnym mogą występować istotne różnice wartości między tymi dwoma rodzajami tłumienności.

## 2.4. Wady klasycznej miary i postulaty CCITT

W zaleceniu P.75 z roku 1976 [4, tom V] podano, że:

- tłumienności odniesienia nie mogą być dodawane algebraicznie - badania laboratoryjne wykazały bowiem występowanie błędów addytywności przekraczających 3 dB;
- powtarzalność wyników pomiarów tłumienności odniesienia jest niezadowalająca - stwierdzono bowiem, że zmiana składu osobowego ekipy telefonometrycznej powoduje zmianę oceny tłumienności odniesienia dochodzącą do 5 dB <sup>7)</sup>;
- przyrostowi tłumienności niezniekształcającej częstotliwościowo części torowej łańcucha telefonicznego nie towarzyszy identyczny przyrost tłumienności odniesienia tego łańcucha - stwierdzono bowiem, że gdy tłumienność części torowej badanego łańcucha zwiększyć o 10 dB, to tłumienność odniesienia łańcucha wzorcowego wzrasta tylko o 8 dB.

Świadomość powyższych mankamentów tłumienności odniesienia stała się bodźcem do prac nad udoskonaleniem tej konwencjonalnej wielkości i do odpowiednich zmian dotychczasowych zaleceń CCITT w zakresie rozdziału tłumienności w sieci.

W zaleceniach G.111 oraz G.121 zmodyfikowanych w roku 1976 [4, tom III] wprowadzono pojęcie wartości planistycznej tłumienności odniesienia. Wartość planistyczną tłumienności odniesienia łańcucha telefonicznego określono jako sumę następujących składowych: nominalnej wartości tłumienności odniesienia układu lokalnego przy nadawczym kierunku transmisji, nominalnej wartości

<sup>7)</sup> W przypadku, gdy pomiary są przeprowadzane przez różne ekipy względem różnych wzorców telefonometrycznych, mogą występować różnice ocen, nawet przekraczające 8 dB.

tłumienności <sup>6)</sup> przy częstotliwości 800 albo 1000 Hz zestawu połączeniowego między rozważanymi dwiema centralami miejscowymi oraz nominalnej wartości tłumienności odniesienia układu lokalnego przy odbiorczym kierunku transmisji. Wartość planistyczną tłumienności odniesienia układu krajowego określono jako sumę: nominalnej wartości tłumienności odniesienia układu lokalnego (odpowiednio przy nadawczym albo przy odbiorczym kierunku transmisji) oraz nominalnej wartości tłumienności <sup>6)</sup> przy częstotliwości 800 albo 1000 Hz zestawu krajowego rozważanej centrali miejscowej.

W zaleceniach z roku 1976 przyjęto, że poprzednio ustalone przez CCITT wartości górnych granic tłumienności odniesienia układów krajowych (21 dB dla nadawczego kierunku transmisji oraz 12 dB dla kierunku odbiorczego - patrz rys.3) dotyczą wyżej określonych wartości planistycznych.

Zalecenia CCITT z r.1976 zawierają dwie znamienne uwagi, a mianowicie, że: po pierwsze - w fazie planowania sieci nie uwzględnia się wpływu takich czynników, jak: tłumienność dopasowania impedancyjnego między ogniwami składowymi łańcuchów telefonicznych, a także zniekształcenia tłumieniowe tych ogniw; po drugie - wartość planistyczna tłumienności odniesienia łańcucha telefonicznego albo układu krajowego nie może być traktowana jako rzeczywista wartość tłumienności odniesienia tego łańcucha albo układu.

W końcu lat siedemdziesiątych na forum CCITT wysunięto postulaty, które powinna spełniać nowa skalarna miara tłumien-

---

<sup>6)</sup> patrz str.11

ności oparta na głośności dźwięków, zastępująca dotychczas stosowaną klasyczną tłumienność odniesienia. Postulaty te sformułowano następująco [7, nr 58]:

- 1) - nowa miara powinna wykazywać addytywność przy łańcuchowym łączeniu ogniw sieci telefonicznej;
- 2) - dla ogniw nie wykazujących zniekształceń tłumieniowych nowa miara powinna być równa ich tłumienności (6);
- 3) - dla układów lokalnych nowa miara powinna być wyznaczana jednoznacznie określoną metodą subiektywną uznaną przez organizacje międzynarodowe;
- 4) - powinna istnieć możliwość otrzymania (z dokładnością wystarczającą dla potrzeb planowania sieci) oszacowań nowej miary w przypadku (3) na podstawie pomiarów obiektywnych i/albo jasno określonych obliczeń;
- 5) - powinna istnieć możliwość obliczenia nowej miary dla łączy (zarówno międzycentralowych jak i abonenckich), gdy znane są ich zniekształcenia tłumieniowe;
- 6) - przejście z dotychczas stosowanej metody planowania sieci opartej na tłumienności odniesienia do metody opartej na nowej mierze nie powinno stwarzać nadmiernych trudności administracjom łączności.

Na VII Zgromadzeniu Plenarnym CCITT (w listopadzie 1980 r.) uzgodniono, że przy projektowaniu sieci telefonicznych zamiast dotychczas obowiązującej "tłumienności odniesienia" należy stosować albo "skorygowaną tłumienność odniesienia", albo też "zmodyfikowaną tłumienność odniesienia".

### 3. SKORYGOWANA TŁUMIENNOŚĆ ODNIESIENIA

#### 3.1. Zasada pomiaru

Zasada wyznaczania skorygowanej tłumienności odniesienia CRE <sup>8)</sup> została przedstawiona w aneksie A do zalecenia G.111, zawartego w "Złotej Księdze" CCITT z roku 1980 [5, tom III].

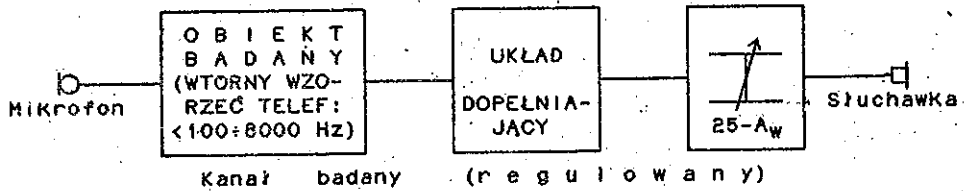
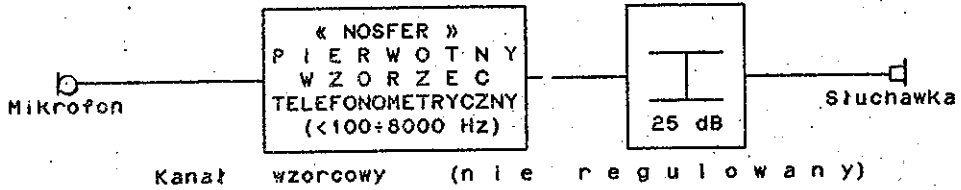
Na rys.4 przedstawiono schematy ideowe układów pomiarowych tej wielkości. Część a) rysunku dotyczy wyznaczania wartości  $A_w$  wzorca wtórnego w laboratorium CCITT w Genewie, natomiast część b) - wyznaczania wartości  $A$  badanego obiektu w Krajowym laboratorium telefonometrycznym.

Jak widać z powyższych schematów, wyznaczanie skorygowanej tłumienności odniesienia badanego obiektu następuje na podstawie subiektywnych porównań głośności mowy, transmitowanej na przemian przez nieregulowany kanał, zawierający wzorec telefonometryczny oraz przez regulowany kanał, zawierający oprócz badanego obiektu, dopełniające łańcuch telefoniczny człony tego wzorca <sup>9)</sup>. Jako ocenę skorygowanej tłumienności badanego obiektu przyjmuje się wartość tłumienności  $A$ , którą należy odjąć od części torowej badanego kanału, aby uzyskać jednakową głośność dźwięków transmitowanych na przemian kanałami: wzorcowym i badanym. Należy zwrócić uwagę, że przy pomiarach skorygowanej tłumienności odniesienia średni poziom głośności dźwięków nie zależy od tłumienności badanego obiektu. W tym przypadku średnia głośność odbieranych dźwięków znajduje się w obszarze największej roz-

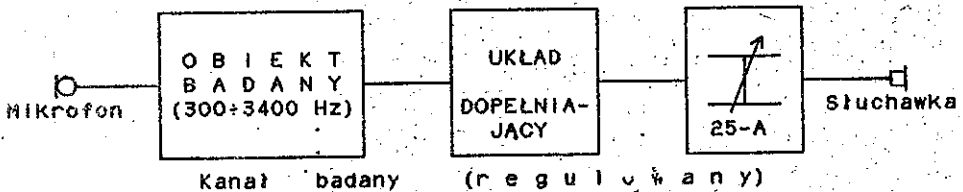
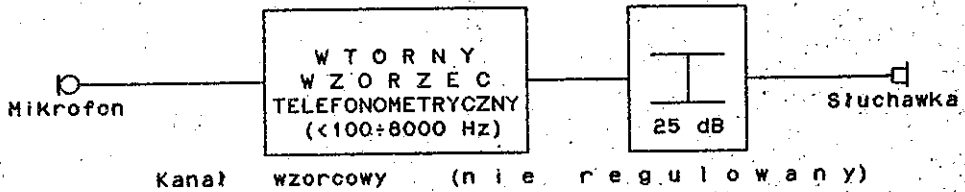
<sup>8)</sup> CRE : Corrected Reference Equivalent

<sup>9)</sup> CCITT zaleca, aby pomiary wielkości CRE odbywały się przy ustawianiu tłumika w części torowej wzorca telefonometrycznego na wartość 25 dB (patrz rys.4); dokładniejsze informacje podano w [13].

a)



b)



Rys.4. Schematy ideowe układów pomiarowych do wyznaczania wielkości CRE

a) kalibracja wzorca wtórnego w laboratorium telefonometrycznym CCITT w Genewie; b) wyznaczanie tłumienności względnej A badanego obiektu w Krajowym laboratorium telefonometrycznym

dzielczości słuchu (w którym ucho ludzkie najłatwiej dostrzega różnice głośności dźwięków); wpływa to korzystnie na dokładność oceny skorygowanej tłumienności odniesienia badanego obiektu, niezależnie od jej wartości.

### 3.2. Związek wielkości skorygowanej z klasyczną

Na VII Zgromadzeniu Plenarnym CCITT uzgodniono następującą zależność między wartościami skorygowanej tłumienności odniesienia CRE, a wartościami klasycznej tłumienności odniesienia RE

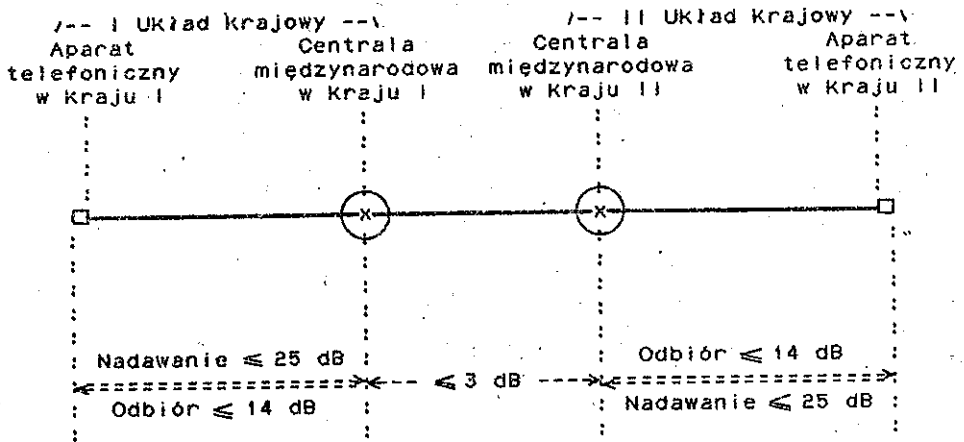
$$CRE = 0,0082 \cdot (RE)^2 + 1,148 \cdot RE + 0,48 \text{ [dB]} \quad (7)$$

Zależność ta umożliwia obliczenie wartości skorygowanej tłumienności odniesienia obiektów poprzednio zmierzonych w układach przedstawionych na rys.2 według procedury sprecyzowanej w zaleceniu P.72 CCITT. Jednakże w aneksie A do zalecenia G.111 CCITT [5, tom III] znajduje się uwaga, że zależność określona wzorem (7) dotyczy tylko układów linearnych oraz że w przypadku stosowania mikrofonów węglowych wartość CRE powinna być zmniejszona o 1,5 dB.

### 3.3. Normy rozdziału tłumienności

Zalecenie stosowania skorygowanej tłumienności odniesienia przy projektowaniu sieci telefonicznych wywołało konieczność zmiany dotychczasowych ustaleń wartości granicznych nominalnej tłumienności układów krajowych. I tak dla nadawczego kierunku transmisji wartość graniczną zmieniono z 21 na 25 dB, zaś dla kierunku odbiorczego z 12 na 14 dB. Jednocześnie utrzymano w mocy wymaganie, aby dla co najmniej 97% połączeń międzynarodowych

skorygowana tłumienność odniesienia układu krajowego nie przekraczała ustalonych wartości granicznych. Dotychczas obowiązujące zalecenia CCITT dotyczące rozdziału wielkości CRE w międzynarodowych łańcuchach telefonicznych przedstawiono na rysunku 5.



Rys.5. Rozdział tłumienności w międzynarodowym łańcuchu telefonicznym według planów transmisji CCITT z lat 1980 i 84 (dotyczy skorygowanej tłumienności odniesienia CRE)

### 3.4. Wady skorygowanej miary

Mimo uzgodnienia na VII Zgromadzeniu Plenarnym CCITT, że przy projektowaniu sieci telefonicznych należy stosować skorygowaną tłumienność odniesienia (CRE) - nie udało się w ten sposób uniknąć kłopotów, występujących przy projektowaniu sieci telefonicznej na podstawie klasycznej tłumienności odniesienia (RE). Przeprowadzone badania [7, nr 63], [9, nr 4] wykazały bowiem, że

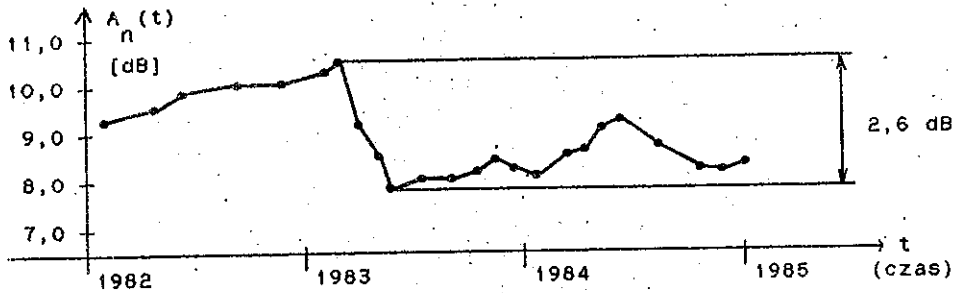


skorygowana tłumienność odniesienia jest tak samo nieaddytywna oraz wykazuje taki sam rząd wielkości niedokładności ocen jak i klasyczna tłumienność odniesienia.

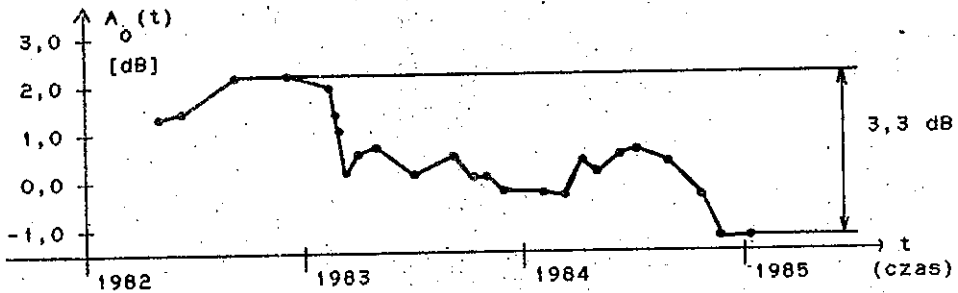
W punkcie 3 aneksu A do zalecenia G.111 CCITT [5 i 6, tom III] podano wartości średnie błędów addytywności  $B_n$  skorygowanej tłumienności odniesienia, występujących w łańcuchach telefonicznych o różnej liczbie  $n$  wtraconych filtrów pasmowo-przepustowych o charakterystykach określonych zaleceniem Q.232 CCITT). Wartości te wynoszą od -3,9 dB dla  $n=0$  do 0 dB dla  $n=3$ . Ponieważ zmiana liczby  $n$  filtrów wywołuje zmianę zniekształceń tłumieniowych łańcuchów, z istniejących danych wynika, że zniekształcenia te wpływają na wielkość błędów addytywności skorygowanej tłumienności odniesienia przy łańcuchowym łączeniu ogniw sieci telefonicznej.

W dokumencie roboczym nr 4 XII Komisji Studiów CCITT z 1985 roku [9, nr 4] przedstawiono wyniki badań niestałości ocen ekipy telefonometrycznej Laboratorium CCITT w Genewie. Badania te polegały na wyznaczaniu w okresie kilku lat tłumienności odniesienia stabilnego aparatu telefonicznego względem wzorca podstawowego NOSFER, przy czym parametry elektroakustyczne porównywanych układów były obiektywnie kontrolowane z dokładnością do 0,2 dB. Okazało się, że oprócz występowania losowych błędów ocen, których odchylenie standardowe  $\sigma$  było rzędu jednego decybel, zachodziły powolne zmiany w czasie  $t$  (patrz rys.6) wartości średnich ocen  $A(t)$ , obliczanych wg wzoru (3). W okresie trzech lat przeprowadzania badań zakres zmian wartości średnich ocen tłumienności odniesienia aparatu, wielokrotnie mierzonego przez ekipę telefonometryczną CCITT wynosił: 2,5 dB dla nadawczego

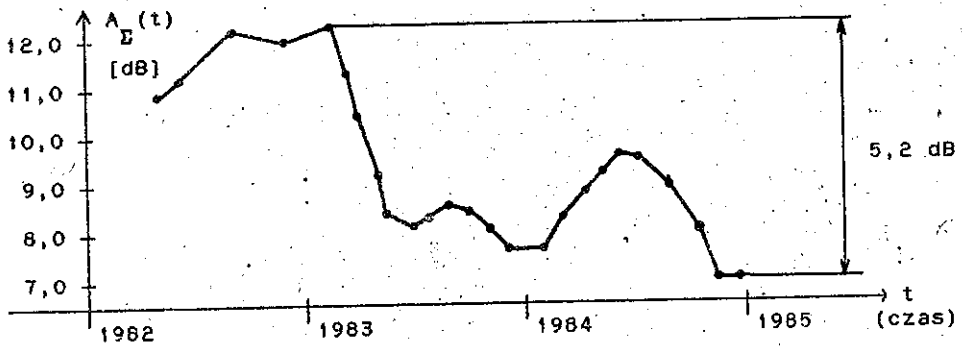
a) nadawczy kierunek transmisji



b) odbiorczy kierunek transmisji



c) cały łańcuch (nadawanie i odbiór)



Rys. 6. Wyniki pomiarów skorygowanej tłumienności odniesienia CRE stabilnego aparatu telefonicznego, przeprowadzanych w okresie lat 1982-1984 przez ekipę telefonometryczną Laboratorium CCITT

kierunku transmisji, 3,3 dB dla kierunku odbiorczego oraz aż 5,2 dB dla całego łańcucha. Uogólniając wyniki tych badań, można sformułować dwa następujące wnioski:

- 1) - że powolna zmienność ocen występuje nie tylko przy wyznaczaniu tłumienności krajowych wzorców wtórnych względem wzorca podstawowego przez ekipę telefonometryczną CCITT, lecz również i przy wyznaczaniu tłumienności badanych obiektów względem wzorców wtórnych przez krajowe ekipy telefonometryczne;
- 2) - że powolna zmienność ocen jest głównym powodem występowania istotnych rozbieżności wyników pomiarów tłumienności odniesienia tych samych (stabilnych!) obiektów, szczególnie w przypadku, gdy powtórne pomiary są przeprowadzane w innym laboratorium (a więc w przypadku ocen dokonywanych przez różne ekipy względem różnych wzorców telefonometrycznych).

Nie jest więc adekwatny do rzeczywistości powszechnie stosowany statyczny model wyznaczania błędów ocen tłumienności odniesienia, którego zarys przedstawiono w punkcie 2.2 niniejszego artykułu. W szczególności wzór (O1) podany w odsyłaczu <sup>4)</sup> na str.8 umożliwia oszacowanie wartości tylko krótkookresowego błędu standardowego  $\sigma$ , ocen tłumienności odniesienia.

#### 4. ZMODYFIKOWANA TŁUMIENNOŚĆ ODNIESIENIA

##### 4.1. Zasada pomiaru

Zarówno przy wyznaczaniu wielkości RE jak i przy wyznaczaniu wielkości CRE trzeba uzyskać jednakową głośność dźwięków transmitowanych, na przemian przez wzorzec odniesienia o szerokim pasmie przesyłowym (co najmniej od 100 do 8000 Hz) oraz przez

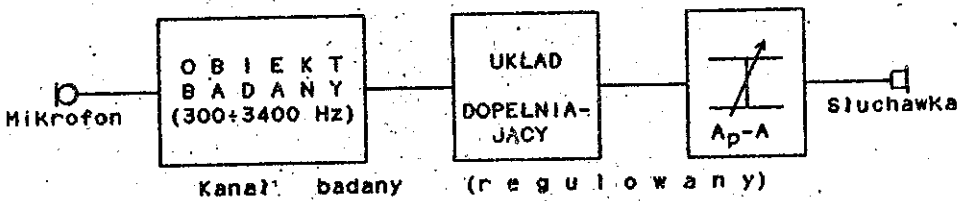
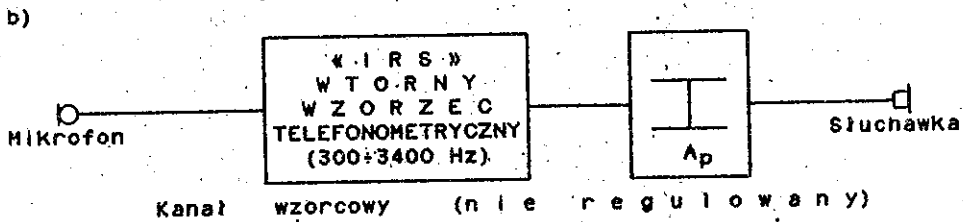
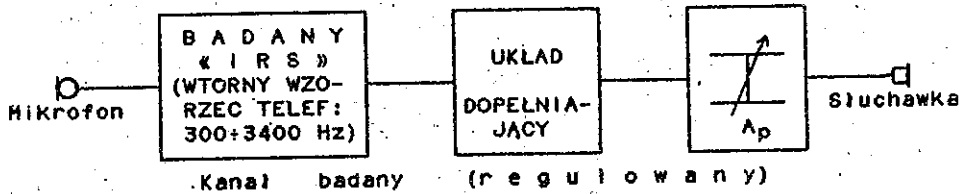
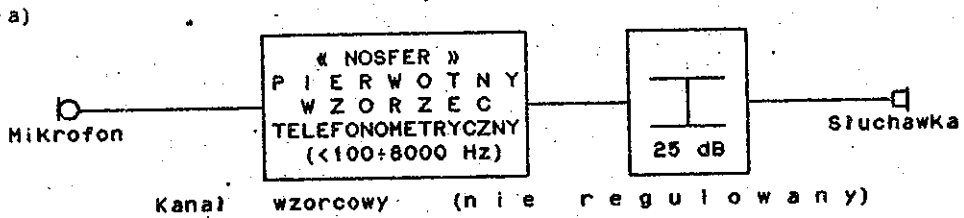
badany obiekt (łańcuch telefoniczny albo jego ogniwo) o wąskim pasmie przesyłowym (w zasadzie od 300 do 3400 Hz). W celu ułatwienia oceny jednakowej głośności dźwięków wprowadzono wzorzec pośredniczący IRS (Intermediate Reference System) o strukturze odpowiadającej wzorcowi NOSFER, ale którego nominalne pasmo przesyłowe wynosi od 300 do 3400 Hz.

W laboratorium CCITT w Genewie wzorzec pośredniczący jest kalibrowany względem wzorca pierwotnego, zawierającego w części torowej tłumik o wartości 25 dB (patrz rys.7a). Kalibracja polega na takim wyregulowaniu tłumika w części torowej badanego wzorca IRS (na wartość  $A_p$ ), aby uzyskać jednakową głośność dźwięków, transmitowanych na przemian kanałami: wzorcowym i badanym.

W krajowym laboratorium telefonometrycznym następuje porównanie badanego obiektu z wykalibrowanym wzorcem pośredniczącym, zawierającym w części torowej tłumik o wartości  $A_p$ . Jak widać z rys.7b, wyznaczanie zmodyfikowanej tłumienności odniesienia LR<sup>10)</sup> badanego obiektu następuje na podstawie subiektywnych porównań głośności mowy, transmitowanej na przemian przez nieregulowany kanał zawierający wzorzec IRS oraz przez regulowany kanał, zawierający oprócz badanego obiektu dopełniające łańcuch telefoniczny człony tego wzorca. Jako ocenę zmodyfikowanej tłumienności odniesienia badanego obiektu przyjmuje się wartość tłumienności  $A$ , którą należy odjąć od części torowej badanego kanału, aby uzyskać jednakową głośność dźwięków transmitowanych na przemian kanałami: wzorcowym i badanym.

---

10) LR : Loudness Rating



Rys.7. Schematy ideowe układów pomiarowych  
do wyznaczenia wielkości LR

a) Kalibracja wzorca wtórnego w laboratorium telefonometrycznym CCITT w Genewie; b) wyznaczenie zmodyfikowanej tłumienności odniesienia A badanego obiektu w krajowym laboratorium telefonometrycznym

Ponieważ pasma przesyłowe obu porównywanych kanałów są w przybliżeniu jednakowe (od 300 do 3400 Hz), a wrażenia równej głośności uzyskuje się przy takiej samej (optymalnej ze względu na dostrzegalność różnicy) średniej intensywności dźwięków, przeto wyniki subiektywnych pomiarów wielkości LR powinny być <sup>11)</sup> obciążone mniejszymi błędami losowymi, niż wyniki pomiarów wielkości RE względnie CRE. Również mniejsze powinny być błędy addytywności wielkości LR; w punkcie 4 aneksu A do zalecenia G.111 CCITT [6, tom III] podaje się przykładowo wartość tych błędów jako równą 0,5 dB.

#### 4.2. Zarys dynamicznego modelu ocen subiektywnych

Ze względu na przyjętą zasadę subiektywnej metody oceny, wyniki pomiarów tłumienności odniesienia są mało dokładne, przy czym zależą one od składu osobowego ekipy telefonometrycznej i od aktualnego stanu samopoczucia jej operatorów.

Jak to wynika z przeprowadzonych badań [9, nr 4], rezultaty pomiarów tłumienności odniesienia każdego obiektu są realizacjami nie zmiennej losowej (jak dotychczas przyjmowano), lecz procesu stochastycznego. Z wykresów przedstawionych na rys.4 widać, że w miarę upływu czasu  $t$  następują powolne zmiany wartości średnich  $A(t)$  ocen tłumienności odniesienia każdego (stabilnego) obiektu w kolejnych seriach pomiarowych.

W takiej sytuacji istotne zwiększenie dokładności ostatecznych ocen tłumienności odniesienia, otrzymywanych subiektywnymi

<sup>11)</sup> Warto zwrócić uwagę, że niektóre z przeprowadzonych badań [7, Nr.63] nie potwierdziły tego optymistycznego przekonania twórców zmodyfikowanej tłumienności odniesienia

metodami pomiarowymi jest możliwe tylko przez wielokrotne powtórzenie poszczególnych serii badań, przy zachowaniu stosunkowo znacznych odstępów czasu  $\tau$ , między tymi seriami (około miesiąca).

W takim przypadku jako ostateczną ocenę tłumienności badanego obiektu można by przyjąć wartość średnią ważoną z ocen uzyskiwanych w kolejnych seriach badań, tzn.:

$$A = \frac{\sum P_l \cdot A_l}{\sum P_l} \quad ; \quad l = 1, \dots, q \quad (8)$$

gdzie  $q$  jest liczbą przeprowadzonych serii pomiarowych,  $P_l$  jest określona ze wzoru (2) liczbą porównań badanego obiektu ze wzorcem podczas  $l$ -tej serii badań, gdy ekipa telefonometryczna składa się z  $N_l$  osób. Występująca w powyższym wzorze wielkość  $A_l$  jest określona ze wzoru (3) oceną tłumienności badanego obiektu podczas tej serii badań ( $l = 1, \dots, q$ ).

Warto zwrócić uwagę, że wyrażona wzorem (8) "ostateczna" ocena tłumienności odniesienia badanego obiektu dotyczy okresu o długości  $\tau = (q-1) \cdot \tau_1$ . Na rys.8 przedstawiono, w schematyczny sposób, zakres zmienności (rozstęp)  $R$  wyników poszczególnych ocen tłumienności odniesienia. Jak widać z tego rysunku, ogólny zakres zmienności ocen  $R_\tau$  za cały okres  $\tau$  trwania badań obiektu jest istotnie większy od zakresów zmienności ocen  $R_l$ , występujących przy poszczególnych seriach pomiarowych. Dlatego też długookresowy błąd standardowy  $\sigma_\tau$ , tzn. miara rozrzutu wszystkich wyników pomiaru tłumienności odniesienia otrzymanych w okresie czasu  $\tau$ , jest istotnie większy od błędu krótkookresowego  $\sigma_l$ , tzn. od miary rozrzutu wyników pomiaru, charakteryzującej poszczególne serie badań.

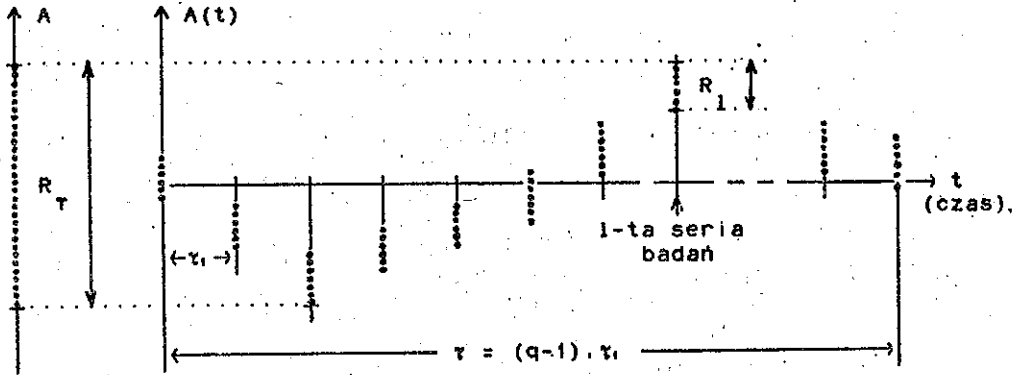
Błąd standardowy określonej wzorem (8) ostatecznej oceny tłumienności odniesienia badanego obiektu można wyznaczyć na podstawie następującej zależności:

$$\sigma = \frac{\sigma_{\tau}}{\sqrt{P_{\tau}}} \quad (9)$$

gdzie

$$P_{\tau} = \sum_{l=1}^q P_l \quad (10)$$

jest łączną liczbą porównań badanego obiektu ze wzorcem w okresie  $\tau$  przeprowadzania badań. Należy dodać, że wartość występującej we wzorze (9) wielkości  $\sigma_{\tau}$  jest rzędu paru decybeli dla okresu  $\tau$  wynoszącego kilka lat <sup>12)</sup>. Oczywiście w praktyce nie ma sensu stosowania powyższej metody osiagania dużej dokładności ocen tłumienności odniesienia, byłoby to bowiem bardzo czasochłonne i kosztowne.



Rys.8. Zakresy zmienności ocen tłumienności odniesienia

$R_{\tau}$  - wielkość ogólna, charakteryzująca wszystkie pomiary, przeprowadzone w okresie  $\tau$  trwania badań;  $R_1$  - wielkość lokalna, charakteryzująca pomiary, przeprowadzone w 1-tej serii badań

<sup>12)</sup> Metodę wyznaczania tej wielkości podano w Dodatku.



Ekonomicznie uzasadnioną alternatywą istotnego zwiększenia dokładności ocen tłumienności odniesienia jest przejście z subiektywnych na obiektywne metody pomiarowe, wykazujące o rząd wielkości mniejszy błąd standardowy  $\sigma$ , jednorazowego pomiaru badanego obiektu.

#### 4.3. Obiektywizacja zmodyfikowanej miary

Wyznaczana na podstawie pomiarów obiektywnych zmodyfikowana tłumienność odniesienia została określona w zaleceniu P.79 CCITT [5-6, tom V] jako różnica:

$$LR = L - L_w \quad (11)$$

gdzie  $L$  oraz  $L_w$  są tłumiennościami głośności <sup>13)</sup> badanego obiektu (czwórnika: akustycznego, elektrycznego, akustoelektrycznego albo też elektroakustycznego) oraz wzorca odniesienia IRS (czwórnika tego samego rodzaju co i badany obiekt).

Tłumienność głośności  $L$  czwórnika dowolnego rodzaju została zdefiniowana w zaleceniu P.79 jako funkcjonal tłumienności  $A(f)$  tego czwórnika, określony w pasmie akustycznym <sup>13)</sup>. Wielkość  $L$  dowolnego czwórnika (o niezmiennych właściwościach transmisyjnych) jest zatem liczbą, której wartość zależy od funkcji  $A(f)$ ; należy zwrócić uwagę, że wielkość  $L_w$  charakteryzująca wzorzec jest stałą o wartości zależnej od rodzaju rozpatrywanego czwórnika (patrz tabl.1).

<sup>13)</sup> Dokładniejsze informacje podano w [20+22].

W praktyce wielkość  $L$  jest wyznaczana na podstawie punktowych pomiarów tłumienności skutecznej  $A_K \equiv A(f_K)$  badanego obiektu (czwornika) przy ustalonych  $p$  częstotliwościach  $f_K$  pasma:

$$L = -\frac{10}{m} \lg \sum_{K=1}^p G_K \cdot 10^{-A_K \frac{m}{10}} \quad (12)$$

gdzie  $m$  jest stałą, zaś  $G_K$  ( $k=1, \dots, p$ ) - unormowanymi współczynnikami wagowymi (patrz tabl.2).

W przypadku niezbyt dużych zniekształceń tłumieniowych badanego obiektu, jego tłumienność głośności można oszacować na podstawie wzoru:

$$L_0 = \sum_{K=1}^p G_K A_K \quad (13)$$

Wartość różnicy wielkości określonych wzorami (13) i (12) można oszacować na podstawie związku [20]:

$$L_0 - L \approx K_L m D_g^2 \quad (14)$$

gdzie współczynnik  $K_L \approx 8,5 \cdot 10^{-3}$  [dB<sup>-1</sup>], natomiast  $D_g$  jest wartością zniekształceń tłumieniowych rozważanego czwornika dla górnej częstotliwości ( $f_g = 3400$  Hz) pasma przesyłowego. Należy zwrócić uwagę, że dla poszczególnych ogniw łańcuchów telefonicznych, które z reguły charakteryzują się wartością  $D_g < 6$  dB, określona wzorem (14) różnica nie przekracza 0,1 dB, a więc jest w praktyce do pominięcia.

Tablica 1

Wartości znamionowe tłumienności głośności  $L_w$  charakteryzujące pośredniczący wzorzec odniesienia (IRS) (wg «Handbook on Telephonometry» [22,punkt 4.6.3])

Charakterystyka	Rodzaj czwornika	$L_w$ [dB]
część nadawcza	akustoelektryczny	+3,0
część odbiorcza	elektroakustyczny	-12,0
część łącząca	elektryczny	0,0
cały łańcuch	akustyczny	-9,0

Tablica 2

Wartości parametrów:  $m$ ,  $p$ ,  $f_k$ ,  $G_k$  do wyznaczania tłumienności głośności  $L$  w pasmie telefonicznym (wg «Handbook on Telephonometry» [22,punkt 4.6.3])

Współczynnik wzrostu głośności:  $m = 0,2$

K	Częstotliwość $f_k$ [Hz]	Współczynnik $G_k$
1	315	0,05
2	400	0,1
3	500	0,1
4	630	0,1
5	800	0,1
6	1000	0,1
7	1250	0,1
8	1600	0,1
9	2000	0,1
10	2500	0,1
11	3150	0,05
$p = 11$	*)	$\Sigma G_k = 1$

\*) Wartości ustalone przez ISO (International Standard Organization)

## 4.4 Błędy niepewności ocen obiektywnych

Błąd standardowy  $\sigma_0$  oceny zmodyfikowanej tłumienności odniesienia LR, wyznaczanej na podstawie wzoru (11), wyraża się zależnością analogiczną do (5), tzn.:

$$\sigma_0 = \sqrt{\sigma^2 + \sigma_w^2} \quad (15)$$

gdzie  $\sigma$  jest błędem standardowym tłumienności głośności L, natomiast  $\sigma_w \equiv 0$ , ponieważ  $L_w$  jest stałą.

Jeżeli tłumienność głośności jest wyznaczana na podstawie wzoru (13), to błąd standardowy jej oceny wynosi [21]:

$$\sigma = w_0 \sigma_1 \quad (16)$$

gdzie  $\sigma_1$  jest błędem standardowym niepewności wyników pomiarów tłumienności  $A_k$  ( $k=1, \dots, p$ ), natomiast:

$$w_0^2 = \sum_{k=1}^p \sigma_k^2 \quad (17)$$

przy czym zawsze jest spełniony warunek:

$$w_0^2 \geq \frac{1}{p} \quad (18)$$

gdzie  $p$  jest liczbą punktowych pomiarów tłumienności w pasmie przesyłowym.

Jeśli natomiast tłumienność głośności jest wyznaczana na podstawie wzoru (12), to błąd standardowy jej oceny wynosi [21]:

$$\sigma = w \sigma_1 \quad (19)$$

gdzie

$$w = w_0 + K_w m D_g \quad (20)$$

przy czym współczynnik  $K_w \leq 5 \cdot 10^{-3}$  [dB<sup>-1</sup>].

W przypadku, gdy wielkości  $m$ ,  $p$  i  $\{G_k\}$  są określone wg tabl.1, wyrażenie (20) przyjmuje postać:

$$w \approx 0,3082 + 10^{-3} D_g \quad (21)$$

a więc dla poszczególnych ogniw sieci telefonicznej, spełniających warunek:  $D_g < 6$  dB, zachodzi:

$$w < 0,314 \quad (22)$$

Dla przykładu, bardzo ostrożnie przyjmując, że  $\sigma_s = 0,3$  dB, można oszacować wartość błędu standardowego zmodyfikowanej tłumienności odniesienia, wyznaczonej na podstawie  $p = 11$  pomiarów punktowych tłumienności skutecznej dla częstotliwości podanych w tabl.2, mianowicie górna granica tego błędu wynosi:  $\sigma \approx 0,1$  dB.

#### 4.5. Związek wielkości zmodyfikowanej z klasyczną

Na podstawie przeprowadzonych badań [9, nr 182] stwierdzono występowanie następujących zależności regresyjnych między wielkościami RE a LR:

$$LR = 1,17 \cdot RE - 440 \quad [\text{dB}] \quad (23)$$

przy nadawczym kierunku transmisji, a

$$LR = 1,11 \cdot RE - 237 \quad [\text{dB}] \quad (24)$$

przy kierunku odbiorczym. Zdaniem administracji łączności WRL, która badania przeprowadzała, zależności te umożliwiają obliczenie wartości zmodyfikowanej tłumienności odniesienia aparatów telefonicznych, poprzednio zmierzonych według procedury sprecyzowanej w zaleceniu P.72 CCITT (w układach przedstawionych na rys.2).

#### 4.6. Normy rozdziału tłumienności

Zalecenie stosowania zmodyfikowanej tłumienności odniesienia LR przy projektowaniu sieci telefonicznych wymagało rewizji dotychczasowych ustaleń CCITT, dotyczących wartości granicznych tłumienności układów krajowych.

Dla wielkości LR przyjęto [5-6, tom III] następujące wartości graniczne: 20 dB dla nadawczego kierunku transmisji oraz 9 dB dla kierunku odbiorczego. Jednocześnie utrzymano w mocy wymaganie, aby dla co najmniej 97% połączeń międzynarodowych zmodyfikowana tłumienność odniesienia układów krajowych dla każdego z kierunków transmisji nie przekraczała ustalonych wartości granicznych.

Obecnie obowiązujące zalecenia CCITT (G.111 i G.121) dotyczące rozdziału wielkości LR w międzynarodowych łańcuchach telefonicznych przedstawiono na rys.9b.

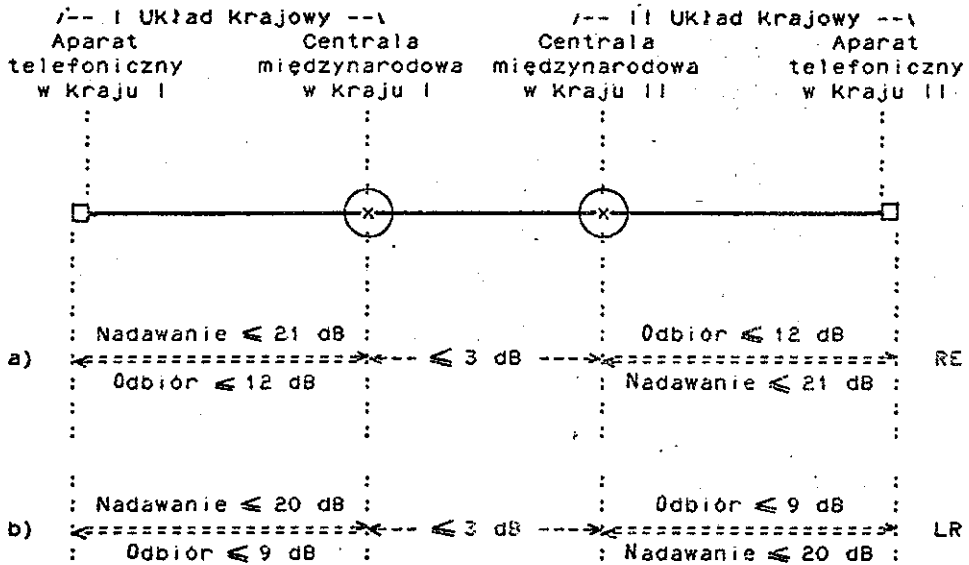
#### 4.7. Propozycja rozdziału wielkości LR w polskiej sieci telefonicznej

Ze względu na to, że błędy ocen zmodyfikowanej tłumienności odniesienia wyznaczonej metodą obiektywną nie przekraczają części decybel, istnieje obecnie dostateczne uzasadnienie dla przejścia z dotychczas stosowanej w polskiej sieci telefonicznej klasycznej tłumienności odniesienia RE na zmodyfikowaną, tzn. na wielkość LR.

Należy dodać, że w ramach XII Komisji Studiów CCITT (która zajmuje się jakością transmisji telefonicznej), zostały przygotowane zmiany w zaleceniach G.111 i G.121, polegające m.in. na

przyjęciu wielkości LR za jedynie obowiązującą przy planowaniu rozdziału tłumienności w sieci telefonicznej [9, Nr. R-18 i R-22]; ostateczny tekst tych zaleceń został ustalony na IX Zgromadzeniu Plenarnym CCITT w listopadzie 1988 roku.

Przy zamianie wielkości RE na LR požądane jest utrzymanie dotychczas obowiązujących ustaleń Krajowego Planu Transmisji (w skrócie: KPT) w zakresie rozdziału tłumienności dla między-centralowych zestawów łącz w polskiej sieci telefonicznej.



Rys.9. Rozdział tłumienności w międzynarodowym łańcuchu telefonicznym według planów transmisji CCITT

a) z lat 1964 i 68 oraz 1972 i 76, dotyczący klasycznej tłumienności odniesienia RE; b) z lat 1980, 84 i 88, dotyczący zmodyfikowanej tłumienności odniesienia LR

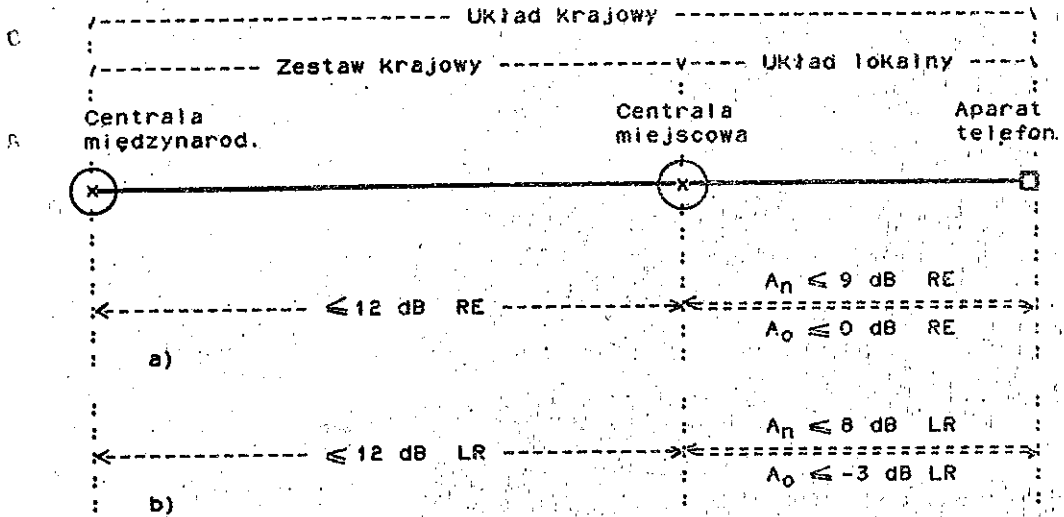
Spełnienie tego postulatu umożliwiłoby bowiem ograniczenie zmian jedynie do warunków na układy lokalne (a w szczególności na aparaty telefoniczne, wchodzące w skład tych układów), których dotychczasowe oceny tłumienności odniesienia RE są obciążone bardzo dużymi błędami, częstokroć przekraczającymi kilka decybeli (patrz punkt 2.4. tego artykułu).

Dotychczasowe ustalenia KPT [10+16] ograniczają do 12 dB wartość nominalną tłumienności odniesienia RE zestawów krajowych, tzn. zestawów łączy, zawartych między centralą międzynarodową a dowolną centralą miejscową (patrz rys.10a). Przyjmując, że w przyszłościowych ustaleniach KPT zostanie utrzymane ograniczenie do 12 dB wartości nominalnej zmodyfikowanej tłumienności odniesienia LR zestawów krajowych (patrz rys.10b), otrzymamy następujące górne ograniczenia wielkości LR układów lokalnych w polskiej sieci telefonicznej :

- dla nadawczego kierunku transmisji:  $A_n \leq 20 - 12 = 8$  [dB]
- dla odbiorczego kierunku transmisji:  $A_o \leq 9 - 12 = -3$  [dB]

Uwzględniając, że dolna granica tłumienności zestawów krajowych w polskiej sieci wynosi 3,5 dB oraz dopuszczając 2 dB tolerancji wartości rzeczywistych względem znamionowych tłumienności odniesienia aparatów telefonicznych, można wyznaczyć podane w tabl.3 optymalne zakresy wartości nominalnych tłumienności odniesienia układów lokalnych przy różnych systemach realizacji łączy abonenckich.





Rys.10. Rozdział tłumienności odniesienia w układach krajowych polskiej sieci telefonicznej.

a) dotychczasowe ustalenia KPT-77 oraz KPT-86, dotyczące klasycznej tłumienności odniesienia RE; b) propozycje nowych ustaleń KPT, dotyczące zmodyfikowanej tłumienności odniesienia LR.

Tablica 3

Wartości nominalne tłumienności odniesienia układów lokalnych (obejmujących aparaty telefoniczne i łącza abonenckie)

W przypadku gdy łącze abonenckie jest realizowane:	Tłumienność A [dB]			
	przy nadawaniu		przy odbiorze	
	RE	LR	RE	LR
w systemie transmisyjnym, cyfrowym albo nośnym analogowym, przewodowym lub bezprzewodowym	+5,0	+4,0	-4,0	-7,0
przewodowo w systemie naturalnym:				
- wartość minimalna	+3,0	+2,0	-6,0	-9,0
- wartość maksymalna	+7,0	+6,0	-2,0	-5,0

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W artykule wykazano, że dotychczas stosowaną przy projektowaniu sieci telefonicznej klasyczną tłumienność odniesienia RE należy zastąpić wielkością zmodyfikowaną LR.

Wielkość klasyczna RE, z definicji wyznaczana metodami subiektywnymi, wykazuje bowiem błędy ocen z reguły dochodzące do 5 dB; w niektórych przypadkach stwierdzono występowanie rozbieżności ocen RE przekraczających 8 dB. Wielkość RE może być wyznaczana tylko w warunkach laboratoryjnych, a jej wartości są pomiarowo niesprawdzalne w warunkach eksploatacyjnych.

W odróżnieniu od wielkości klasycznej, zmodyfikowana tłumienność odniesienia LR może być wyznaczana również metodami obiektywnymi, a więc umożliwiającymi pomiarową sprawdzalność wartości w warunkach eksploatacyjnych. Przy zastosowaniu obiektywnych metod pomiarowych błędy ocen wielkości zmodyfikowanej LR są rzędu tylko części decybela.

Według opinii obecnie panującej w XII Komisji Studiów CCITT, wielkość LR wykazuje również znacznie mniejsze błędy addytywności, niż to miało miejsce w przypadku wielkości RE. Wartość błędów addytywności zmodyfikowanej tłumienności odniesienia w łańcuchach telefonicznych ocenia się bowiem na 0,5 dB w porównaniu do 3 dB w przypadku klasycznej wielkości RE.

W celu wprowadzenia wielkości LR do stosowania w polskiej sieci telefonicznej należy:

1. Stworzyć możliwości przeprowadzania obiektywnych pomiarów zmodyfikowanej tłumienności odniesienia.

Do tego celu autor proponuje tymczasowo wykorzystywać istniejącą w Polsce aparaturę pomiarową firmy Bruel&Kjaer typów od 3350 do 3356 (różne wersje [23]), po uprzednim wyznaczeniu zależności regresyjnej między mierzoną tą aparaturą wielkością OREM A <sup>14)</sup> a obecnie obowiązującą wielkością LR.

Do pomiarów wielkości LR autor proponuje zastosować niestandardową aparaturę firmy Bruel&Kjaer typu 9573, albo British Telecom typu TIGGER [22].

2. Opracować wyrażone w jednostkach LR szczegółowe normy rozdziału tłumienności w polskiej sieci telefonicznej, a następnie zaktualizować obecnie obowiązujący dokument normatywny pn. "Krajowy Plan Transmisji dla polskiej sieci telefonicznej" [14:16], uzupełniając go odpowiednimi ustaleniami dotyczącymi rozdziału zmodyfikowanej tłumienności odniesienia.

#### PODZIĘKOWANIE

Autor pragnie wyrazić wdzięczność opiniodawcy opracowania, Panu prof. dr inż. Jerzemu Dudziewiczowi za bardzo wnikliwe uwagi do pierwotnej wersji artykułu, dzięki którym jego ostateczna postać zyskała na ścisłości i komunikatywności.

---

<sup>14)</sup> OREM A : Objective Reference Equivalent Measurements, Ver. A [22:23].

## WYKAZ LITERATURY

1. CCIF: Księga Zielona (XVII Zgromadzenie Plenarne, Genewa 1956); ITU, 1958.
2. CCITT: Księga Czerwona (III Zgromadzenie Plenarne, Genewa 1964); ITU, 1965.
3. CCITT: Księga Zielona (V Zgromadzenie Plenarne, Genewa 1972); ITU, 1973; (tłumaczenie na jęz. polski: WKiŁ, 1976).
4. CCITT: Księga Pomarańczowa (VI Zgromadzenie Plenarne, Genewa 1976); ITU, 1977.
5. CCITT: Księga Żółta (VII Zgromadzenie Plenarne, Genewa 1980); ITU, 1981.
6. CCITT: Księga Czerwona (VIII Zgromadzenie Plenarne, Malaga-Torremolins 1984); ITU, 1985.
7. CCITT: Dokumenty robocze XII Komisji Studiów z okresu lat 1977/1980 - Nr.: 58, 63, 75, 211.
8. CCITT: Dokumenty robocze XII Komisji Studiów z okresu lat 1981/1984 - Nr.: 10, 55, 97, 194.
9. CCITT: Dokumenty robocze XII Komisji Studiów z okresu lat 1985/1988 - Nr.: 4, 72, 92, 111, 182, 207, 225 oraz R-18 i R-22 (AP IX-4).
10. Brodowski A., Kowalski Z.: Krajowy Plan Transmisji dla polskiej sieci telefonicznej, Ustalenia. Min. Łączności, 1977.
11. Kowalski Z.: Przypisy do Krajowego Planu Transmisji dla polskiej sieci telefonicznej. Min. Łączności, 1977.
12. Kowalski Z., Brodowski A.: Rozdział tłumienności w sieci telefonicznej przy połączeniach międzynarodowych. Przegląd Telekomunikacyjny, nr 6, 1981.

13. Kowalski Z.: Tłumiennosc odniesienia i jej zastosowanie przy projektowaniu sieci telefonicznej. Przegląd Telekomunikacyjny, nr 12, 1983.
14. Kowalski Z., Palmowska K.: Krajowy Plan Transmisji dla polskiej sieci telefonicznej - Ustalenia. Zakład Sieci Telekomunikacyjnych IL, 1986. (Wydanie poprawione: 1987).
15. Kowalski Z., Palmowska K.: Nowa wersja rozdziału tłumienności w polskiej sieci telefonicznej. Referaty Problemowe Instytutu Łączności, zeszyt 77, IL, 1987. (II wydanie: Przegląd Telekomunikacyjny, nr 1, 1988).
16. Kowalski Z., Palmowska K.: Wybrane zagadnienia Krajowego Planu Transmisji KPT-86. Biuletyn Informacyjny Instytutu Łączności, zeszyt 7 (260), 1988.
17. Murakami H., Ishimaru K.: Loudness Loss Design for a Telephone Network. Review of the Electrical Communications Laboratories N.T.T; Vol.34, No.4, July 1986.
18. Irii H., Katsui K.: Instrumentation for Objectively Measuring Loudness Ratings of Telephone Systems. Review of the Electrical Communications Laboratories N.T.T; Vol.34, No.4, July 1986.
19. Johannesson N.O.: Loudness Ratings as a Tool in Transmission Planning - Document No.6 of the Seminar on Transmission Planning Aspects of Analogue-Digital Mixed Networks, (Boglarlelle, May 1987); Wyd. Central Administration of the Hungarian PTT, 1987.
20. Kowalski Z.: Zmodyfikowana tłumienność odniesienia kanałów i łańcuchów telefonicznych. Referaty Problemowe Instytutu Łączności, zeszyt 90, IL, 1988.

21. Kowalski Z.: Błędy wyznaczania zmodyfikowanej tłumienności odniesienia. Referaty Problemowe Instytutu Łączności, zeszyt 92, IL, 1988.
22. CCITT: Handbook on Telephonometry. ITU, Geneva 1987.
23. Bruel&Kjaer: Electroacoustic Telephone Transmission Measuring System Type 3356 - Instructions and Applications.
24. Stępień H.: Pomiarы telefonometryczne. Wiadomości Telekomunikacyjne, nr 8, 9 i 10, 1969.

## DODATEK

Rozważmy wyidealizowany przypadek długotrwałych pomiarów tłumienności odniesienia obiektu doskonale stabilnego, tzn. charakteryzującego się niezmiennością w czasie właściwości transmisyjnych. Oznaczmy symbolem  $A(t)$  wynik pomiaru tłumienności odniesienia rozważanego obiektu w chwili  $t$  i załóżmy, że pomiar jest przeprowadzany w sposób ciągły w okresie  $\tau$ . W tym przypadku jako ostateczną ocenę tłumienności odniesienia tego obiektu przyjmuje się wartość średnią z wyników pomiaru, określoną jako

$$\bar{A} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} A(t) dt \quad (D1)$$

Błąd standardowy  $\sigma_{\bar{A}}$  zmieniających się w czasie  $t$  ocen tłumienności  $A(t)$  stabilnego obiektu, można zdefiniować następująco:

$$\sigma_{\bar{A}}^2 = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} [A(t) - \bar{A}]^2 dt \quad (D2)$$

W praktyce wartość liczbowa wielkości  $\sigma_T$  można wyznaczać sekwencyjnie dla danej ekipy telefonometrycznej na podstawie wszystkich dotychczas przeprowadzanych badań n obiektów, przyjmując że:

$$\sigma_T^2 \approx \frac{1}{n} \sum_{K=1}^n Q_K^2 \quad (D3)$$

gdzie dla każdego k-tego obiektu wartość  $Q_K^2$  wynosi:

$$Q_K^2 = \frac{1}{q_K} \sum_{k_1=1}^{q_K} (S_{K1}^2 + R_{K1}^2) \quad (D4)$$

gdzie  $q_K$  jest liczbą serii pomiarowych k-tego obiektu, przy czym

$$S_{K1}^2 = \frac{1}{P_{K1}-1} \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{N_{K1}} (A_{K1ji} - A_{K1})^2 \quad (D5)$$

zaś

$$R_{K1} = A_{K1} - A_K \quad (D6)$$

W powyższych wzorach  $N_{K1}$  jest liczebnością ekipy telefonometrycznej, badającej k-ty obiekt podczas 1-tej serii pomiarowej,  $P_{K1}$  jest określona wzorem (2) liczbą porównań,  $A_{K1ji}$  - ocena tłumienności badanego obiektu, dokonana przez parę  $ji$  operatorów w tej serii pomiarowej,  $A_{K1}$  - określona wzorem (3) usredniona ocena tłumienności badanego obiektu w 1-tej serii, a  $A_K$  - dana wzorem (8) ostateczną oceną tłumienności k-tego obiektu.

Należy zwrócić uwagę, że ponieważ w praktyce zawsze jest spełniony warunek:  $|R_{K1}| > 0$ , więc zawsze zachodzi ostra nierówność:

$$\sigma_T > \sigma_i \quad (D7)$$

gdzie  $\sigma_i$  jest określone wzorem (O1), podanym w odsyłaczu 4) (na str.7).

ISSN 0209-1046

