

Wanda Nowakowska

BADANIA WPLYWU NAZALIZACJI
NA STRUKTURĘ WIDMOWĄ
SAMOGŁOSEK I SPÓŁGŁOSEK POLSKICH

46/1985

P. 269

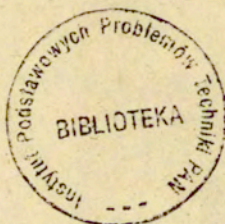


WARSZAWA 1985

<http://rcin.org.pl>

ISSN 0208-5658

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 9 listopada 1985 r.



56903



Na prawach rękopisu

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

Nakład 140 egz. Ark.wyd. 2,2 Ark.druk. 4
Oddano do drukarni w listopadzie 1985 r.
Nr zamówienia 692/85

Warszawska Drukarnia Naukowa, Warszawa,
ul. Śniadeckich 8

<http://rcin.org.pl>

Wanda Nowakowska
Zakład Akustyki Cybernetycznej
IPPT - PAN

Badania wpływu nazalizacji na strukturę widmową
samogłosek i spółgłosek polskich^(*)

Streszczenie

Obecna praca jest kontynuacją dwóch wcześniejszych prac z zakresu komputerowego modelowania szczególnego układu biologicznego jakim jest organ mowy [10][11] i stanowi rozszerzenie rozpatrywanego zagadnienia dla przypadku modelu, obejmującego również artykulację polskich spółgłosek nosowych. Model ten umożliwia wszechstronne zbadanie wpływu zjawiska nazalizacji na strukturę widmową wybranych klas głosek polskich.

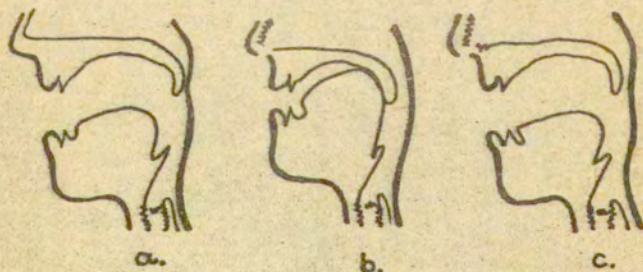
Badanie wpływu nazalizacji na strukturę widmową samogłosek i spółgłosek nosowych zbadano w przypadku, gdy miejsce podłączenia kanału nosowego jest stałe, zaś zmianom ulegają jedynie parametry sprzężenia między kanałem gardłowo-ustnym i nosowym oraz konfiguracja toru gardłowo-ustnego.

1. Zastosowanie modelu do badania toru głosowego

Badania modelowe organu mowy były przeprowadzane w kilku etapach. Punktem wyjścia było skonstruowanie symulacyjnego modelu toru głosowego ograniczonego do jego strefy gardłowo-ustnej [10]. Pierwsza wersja tego modelu odtwarzała warunki artykulacji nienazalizowanych dźwięków mowy o pobudzeniu krtaniowym typu rezonant /samogłoski ustne/ z uwzględnieniem różnicowań osobniczych, wynikających z indywidualnych cech anatomicznych organu mowy. Na tym etapie wyznaczono przekroje artykulacyjne odpowiadające polskim samogłoskom ustnym i

(*) Pracę wykonano w ramach problemu węzłowego 06.9

wyznaczono ich częstotliwości formantowe i odpowiadające im szerokości pasm formantowych. Wyniki tego etapu pracy stanowiły punkt wyjścia do opracowania bardziej uniwersalnego modelu organu mowy, wskutek wyposażenia opracowanego modelu symulacyjnego toru głosowego w dodatkowy układ akustyczny, modelujący tor nosowy [11]. Taki model może odtwarzać strukturę anatomiczną organu mowy w dowolnych warunkach artykulacji. Uzyskane narzędzie badawcze dało podstawę do zbadania wpływu zjawiska nazalizacji na strukturę formantową samogłosek polskich, a następnie rozszerzyło materiał badawczy o spółgłoski nosowe. Cechą charakterystyczną tych głosek, różniącą je od innych dźwięków mowy, jest udział komory nosowej w ich wytwarzaniu. Zagadnienie sprowadza się do zamodelowania sposobu artykulacji ustno-nosowej. Kanał głosowy składa się z trzech komór: gardłowej, ustnej i nosowej, a ich udział w modyfikacji drgań pobudzających je zależy od: a/ położenia podniebienia miękkiego i b/ miejsca w którym drgania źródłowe powstają /rys. 1 a, b, c/.



Rys. 1. Schemat artykulacji z wyłączoną komorą nosową /a/₁₃ z wyłączoną komorą ustną /b/ oraz artykulacji ustno-nosowej.

Podniebienie miękkie może przylegać do tylnej ścianki komory

gardłowej, zamykając w ten sposób przejście do komory nosowej. W tej sytuacji strumień powietrza wypływa na zewnątrz, przechodząc przez komory gardłową i ustną /rys. 1a/. Jeśli podniebienie miękkie tworzy zwarcie z tyłem języka, to wyłączona zostaje komora ustna, a powietrze przepływa przez komorę gardłowo-nosową i wydostaje się na zewnątrz przez otwory nosowe /rys. 1b/. Pośrednie położenie podniebienia miękkiego, polegające na tym, że nie tworzy ono zwarcia ani z tylną ścianką gardła, ani z tyłem języka udostępnia strumieniowi powietrza obie komory ustną i nosową /rys. 1c/. Przy takim położeniu podniebienia miękkiego powietrze może wydostać się na zewnątrz przez otwór ustny i otwory nosowe, albo, jeśli w którymś miejscu komory ustnej nastąpiło zwarcie - tylko przez otwory nosowe, tak jak to jest w przypadku spółgłosek nosowych. W tym ostatnim przypadku udział komory ustnej w modyfikacji drgania źródłowego ograniczony jest miejscem zwarcia.

Opisane układy geometrii kanału głosowego wytwarzają sygnał akustyczny, będący w przypadku (a) z wyłączoną komorą nosową, głoskami ustnymi: samogłoski ustne i spółgłoski trące, w drugim przypadku (b) z wyłączoną komorą ustną otrzymuje się spółgłoskę nosową, tylno-językową-podniebienną, oznaczoną w transkrypcji fonetycznej symbolem [ŋ]. Jeśli powietrze ma wolny dostęp do komory nosowej i ustnej /przypadek (c)/ i wydostaje się na zewnątrz przez otwory obydwu komór powstają dźwięki nazalizowane. Jeśli natomiast w określonym miejscu komory ustnej występuje zwarcie i powietrze zostaje wypromieniowane tylko przez otwory nosowe powstają spółgłoski nosowe z wyjątkiem głoski [ŋ], która jest wytwarzana przy całkowitym wyłączeniu komory ustnej.

Udział toru nosowego w procesie artykulacji wywiera widoczny wpływ na strukturę formantową badanych głosek. Obserwacja tych tendencji i ich klasyfikacja w widmach samogłosek nazalizowanych i spółgłosek nosowych jest głównym celem niniejszej pracy.

2. Badanie wpływu nazalizacji na strukturę widmową samogłosek polskich w oparciu o symulacyjny model toru głosowego.

Zasady konstrukcji komputerowego modelu toru głosowego i sposób odwzorowania funkcji przenoszenia został opisany w pracach [10] i [11]. W oparciu o opracowany model symulacyjny toru głosowego wykonano badanie wpływu wielkości sprzężenia akustycznego między kanałami ustnym i nosowym na strukturę widmową sześciu polskich samogłosek.

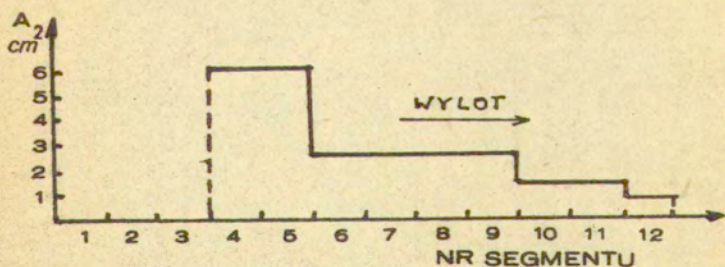
W pracy [11] ustalono, że miejsce dołączenia kanału nosowego do kanału gardłowo-ustnego po siódmym segmencie tego toru odpowiada fizjologicznym warunkom budowy anatomicznej narządu mowy. Lokalizację tego rozgałęzienia określono w oparciu o analizę wpływu miejsca dołączenia kanału nosowego do gardłowo-ustnego na charakterystyki częstotliwościowe badanych samogłosek nienazalizowanych. Podczas badania wpływu nazalizacji na strukturę widmową badanych głosek przyjęto, że miejsce rozgałęzienia jest stałe, po siódmym segmencie toru gardłowo-ustnego.

W obecnej pracy akustyczny model toru nosowego traktowany jest jako układ kaskadowe połączonych dwunastu odcinków rur cylindrycznych o jednakowej długości $l_1 = 1 \text{ cm} = \text{const}$ i o przekrojach A_{ni} ($i=1,2,\dots,12$) określonych funkcją powierzchni A_n /rys.2/, która odpowiada konfiguracji geometrycznej toru w przeciętnych warunkach anatomicznych organu mowy u dorosłego mężczyzny. Każdy odcinek rury cylindrycznej reprezentowany jest przez czwórnik typu T, którego elementy opisują odpowiadające wielkości akustyczne [10], natomiast ich wymiary geometryczne opisuje promień R oraz długość pojedynczego segmentu l . Trzy pierwsze segmenty toru nosowego, opisane promieniami R_1, R_2 i R_3 , przedstawiające połączenia kanałów gardłowo-ustnego i nosowego reprezentują hipotetyczną miarę stopnia sprzężenia między kanałami. Wpływ zjawiska zwiększania wielkości sprzężenia między kanałami na strukturę formantową badanych samogłosek określono dla kilku ukształtowań wlotu kanału nosowego. W tab. 1 podano wybrane konfiguracje wlotu kanału nosowego.

Tabela 1. Wybrane konfiguracje wlotu toru nosowego opisane za pomocą promieni R_1 , R_2 i R_3 .

	R_1 [cm]	R_2 [cm]	R_3 [cm]
1	0.001	0.5	1.0
2	0.2	0.8	1.0
3	0.5	0.9	1.2
4	1.0	1.15	1.3
5	1.4	1.42	1.44

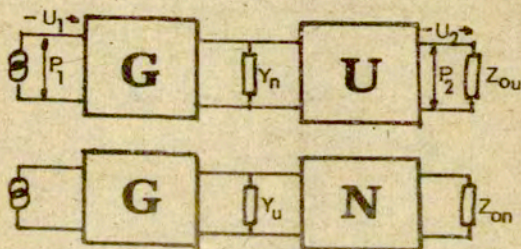
Funkcja powierzchni A_n przekroju poprzecznego toru nosowego przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Funkcja powierzchni A_{n1} przekroju toru nosowego.

Sygnal wyjściowy z otworów ust i nosa obliczany jest przy uwzględnieniu boczniującego wpływu toru dopełniającego [11], przy czym bocznik ten występuje w postaci admitancji wejściowej odpowiedniego toru w miejscu rozgałęzienia. Zatem wyzna-

czenie widma sygnału akustycznego u wylotów toru gardłowo-ustno-nosowego [G+U+N] w warunkach nazalizacji polega na obliczaniu wartości ciśnienia akustycznego P_2 na wyjściu toru w dwóch przypadkach: (a) z włączoną w punkcie rozgałęzienia admitancją wejściową Y_n toru nosowego bocznikującego tor gardłowo-ustny [G+U] (rys.5a) oraz (b) z włączoną w punkcie rozgałęzienia admitancją wejściową Y_u toru ustnego bocznikującego tor gardłowo-nosowy [G+N] (rys.5b), a następnie na wektorowym sumowaniu sygnałów wyjściowych obu torów, na zasadzie superpozycji ciśnień akustycznych fal głosowych emitowanych przez otwory ust i nosa.



Rys. 3. Uproszczone schematy zastępcze toru gardłowo-ustnego [G+U] z uwzględnieniem admitancji wejściowej toru nosowego Y_n oraz toru gardłowo-nosowego [G+N] z uwzględnieniem admitancji wejściowej toru ustnego Y_u .

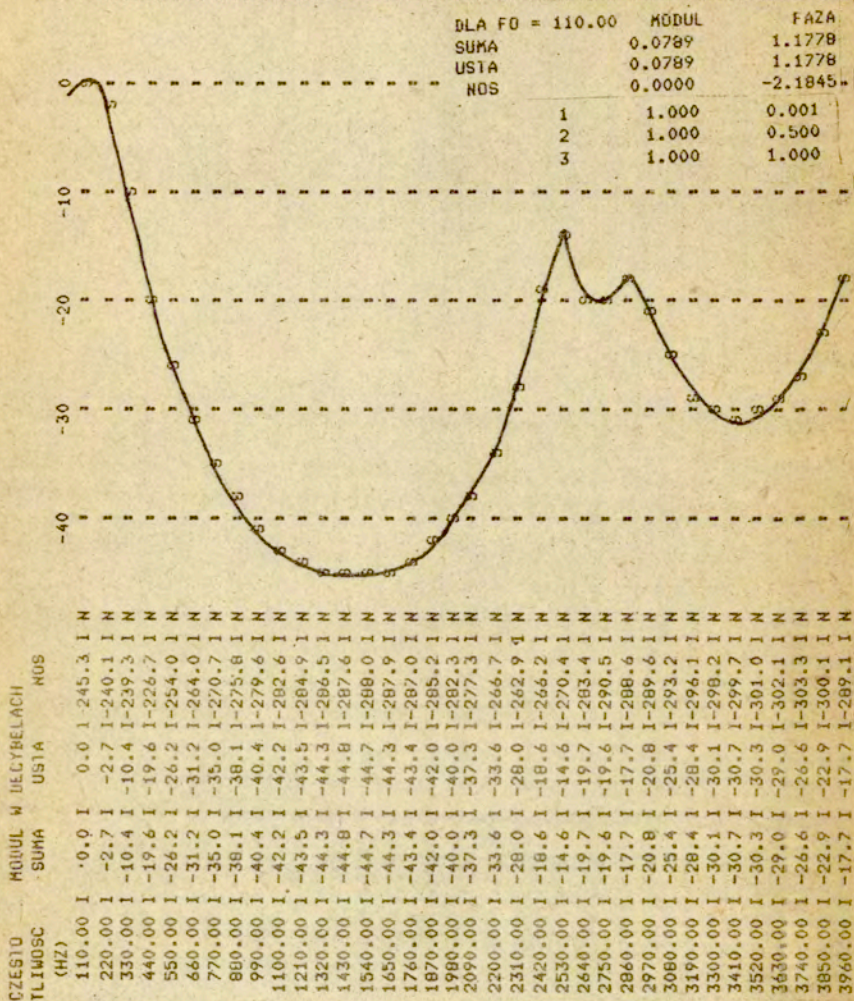
Obliczane charakterystyki częstotliwościowe sygnału u wylotu ust i nosa oraz ich sumy mają charakter zespolonych funkcji częstotliwości. Na wydruku podaje się osobne wartości modułu i fazy tych sygnałów w formie oddzielnych wykresów. Równoległe z przebiegiem widma drukowane są na wykresie wartości liczbowe częstotliwości oraz obliczone bieżące wartości modułów badanych funkcji.

Widma ciśnienia akustycznego u wylotu ust, nosa i sygnału sumarycznego dla sześciu polskich samogłosek przy różnych sprzężeniach akustycznych między kanałami przedstawiono na rys. 4 - 39.

Promienie opisujące pierwsze trzy segmenty toru nosowego R_1 , R_2 , R_3 umieszczono w ramach na każdym zamieszczonym rysunku. W oparciu o przedstawione przebiegi widm modułów ciśnienia akustycznego u wylotu ust i nosa sygnału sumarycznego dla sześciu polskich samogłosek przy różnych wielkościach sprzężenia akustycznego między gardłowo-ustnym i nosowym zanalizowano kolejne zakresy formantowe. Ponadto na rys. 34-39 zobrazowano tendencję zmian zachodzących w strukturze widma wywołanych zjawiskiem nazalizacji w obrębie tej samej samogłoski.

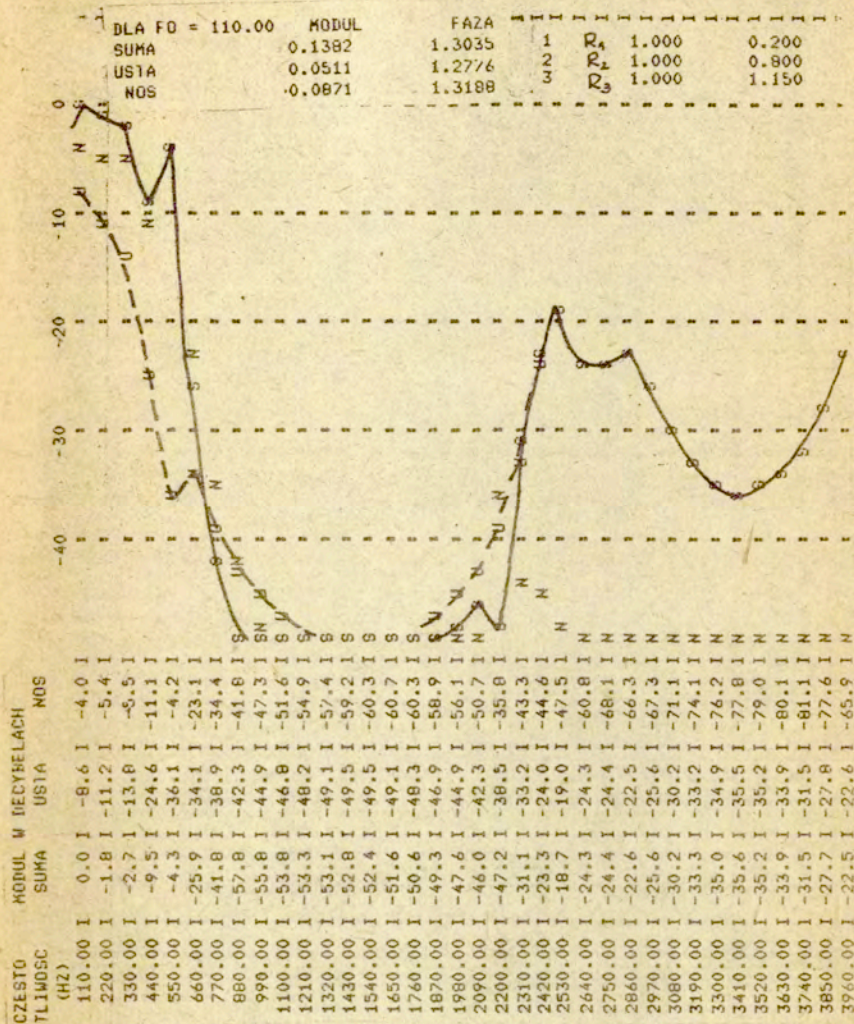
Wpływ dołączenia kanału nosowego do toru gardłowo-ustnego w przypadku artykulacji samogłoskowej objawia się widocznymi zmianami obwiedni widma i wzbogaceniu ich struktury formantowej. Obok dodatkowych formantów nie występujących przy artykulacji ustnej pojawiają się antyformanty wywołane bocznikującym wpływem kanału nosowego. Wpływ dołączenia kanału nosowego na widmo sygnału sumarycznego powiększa się ze wzrostem sprzężenia między kanałami, przy czym bardziej jest on widoczny dla niskich częstotliwości niż wysokich.

Analizę kolejnych zakresów formantowych przeprowadzono dzieląc dane samogłoski wg. kryteriów: samogłoski przednie, środkowe i tylne, oraz niskie, środkowe i wysokie. Brano także pod uwagę stopień przymknięcia badanych samogłosek. Przy samogłoskach przednich przymkniętych [i, ɨ], charakteryzującym się maksymalnym wzniesieniem języka w przedniej części jamy ustnej oraz niskim formantem F_1 /ok. 300 Hz/ i stosunkowo wysokim formantem F_2 /ok. 2500 Hz/, wpływ zwiększania stopnia sprzężenia akustycznego między kanałami ustnym i nosowym powoduje wyraźne przesuwanie się pierwszego formantu w stronę wyższych częstotliwości. W zakresie częstotliwości do ok. 2500 Hz występują charakterystyczne maksima widma, wynikające z obecności kanału nosowego, przy czym w miarę zwiększania sprzężenia między kanałami maksima te przesuwają się w stronę wyższych



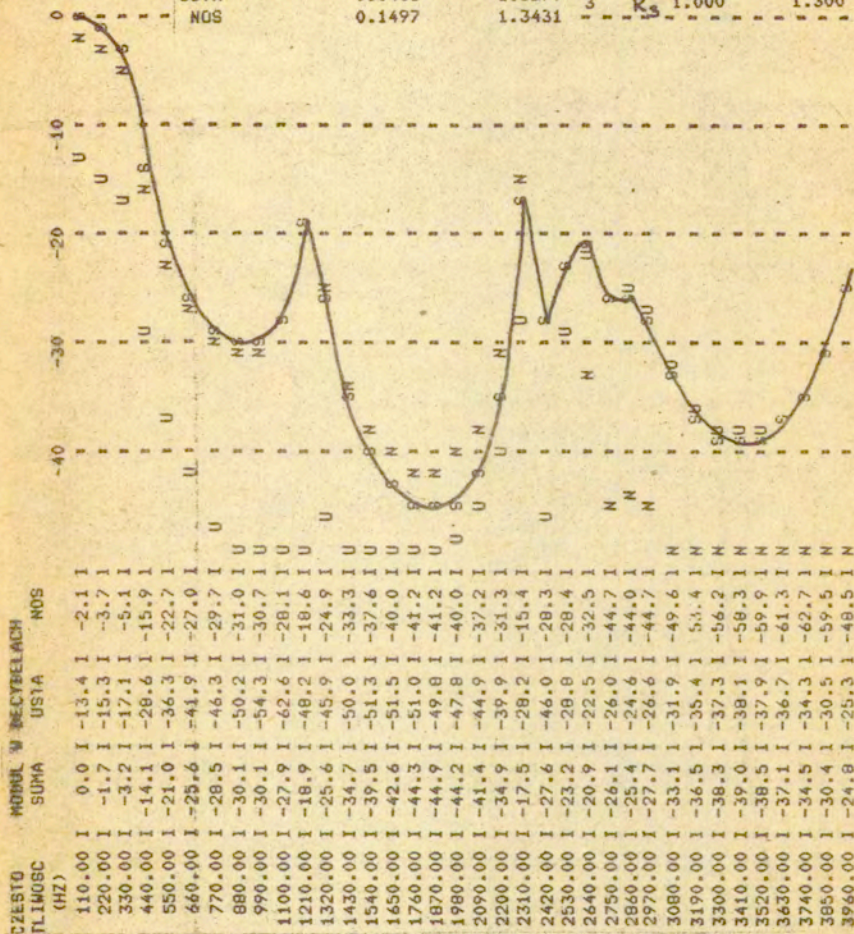
DLA FO = 110.00	MODUL	FAZA
SUMA	0.0789	1.1778
USIA	0.0789	1.1778
NOS	0.0000	-2.1845
1	1.000	0.001
2	1.000	0.500
3	1.000	1.000

Rys. 4. Widmo modułu ciśnienia ak. u wylotu ust /kanał nosowy zamknięty/ dla Samoq[1].



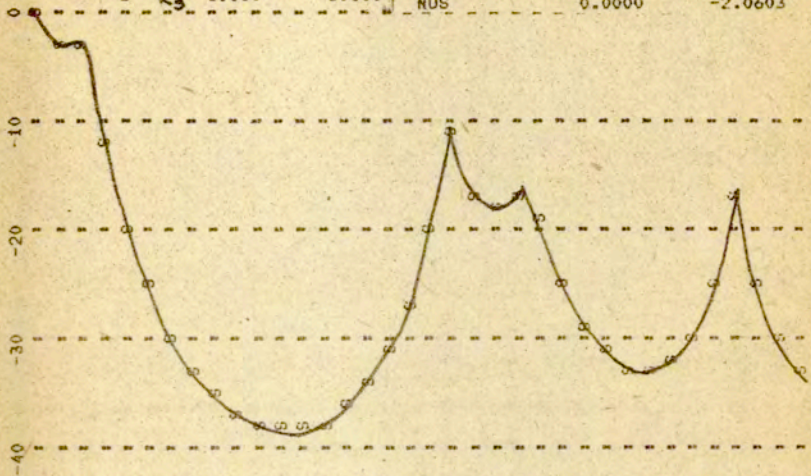
Rys. 5. Widmo modułu ciśnienia akustycznego u wylotu ust, nosa i ich sumy dla samogłoski [i]. Geometria wlotu $R_1 = 0.2$ cm, $R_2 = 0.8$ cm, $R_3 = 1.15$ cm.

DLA FO = 110.00	MODUL	FAZA		
SUMA	0.1903	1.3399	1	R_1 1.000 1.000
USTA	0.0406	1.3279	2	R_2 1.000 1.150
NOS	0.1497	1.3431	3	R_3 1.000 1.300



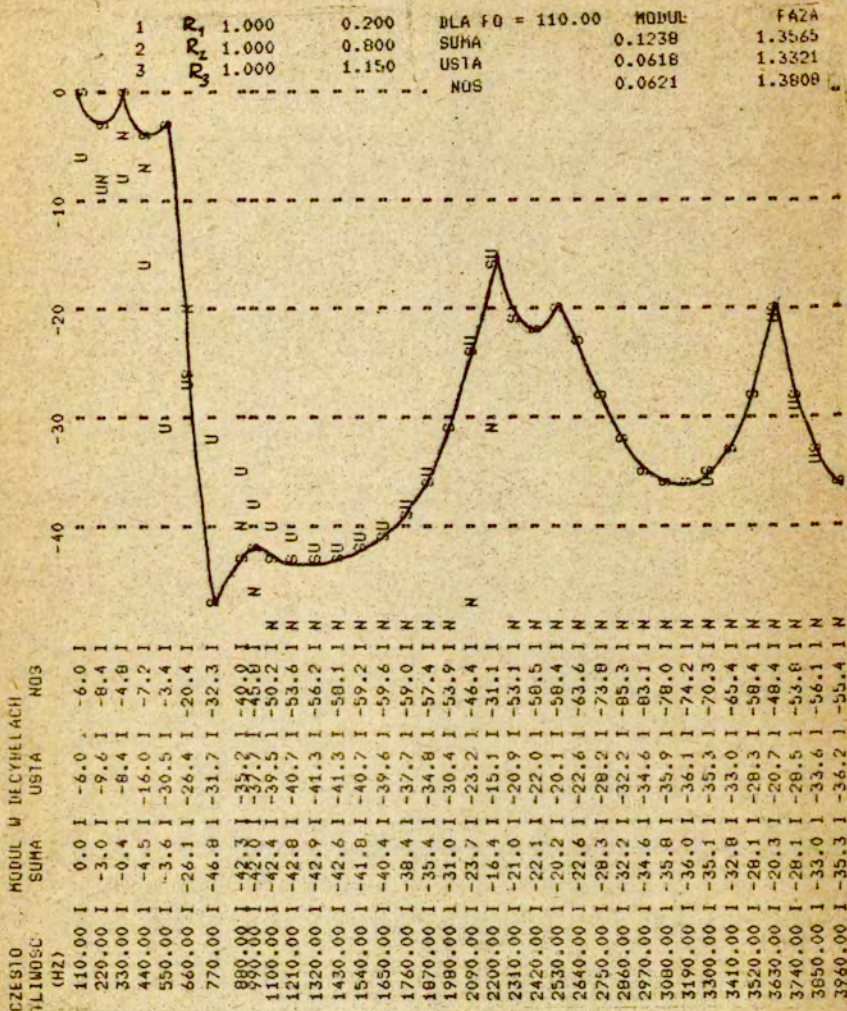
Rys. 7. Widmo cieniienia akustycznego u wylotu ust, nosa i ich suma dla samogłoski [i]. Zmienne promienie segmentów reprezentujących wlot kom. nosowego wynoszą $R_1=1.0$ cm, $R_2=1.15$ cm, $R_3=1.3$ cm.

1	R_1	1.000	0.001	DLA FD = 110.00	MODUL	FAZA
2	R_2	1.000	0.500	SUMA	0.0831	1.2946
3	R_3	1.000	1.000	USTA	0.0831	1.2946
				NOS	0.0000	-2.0603

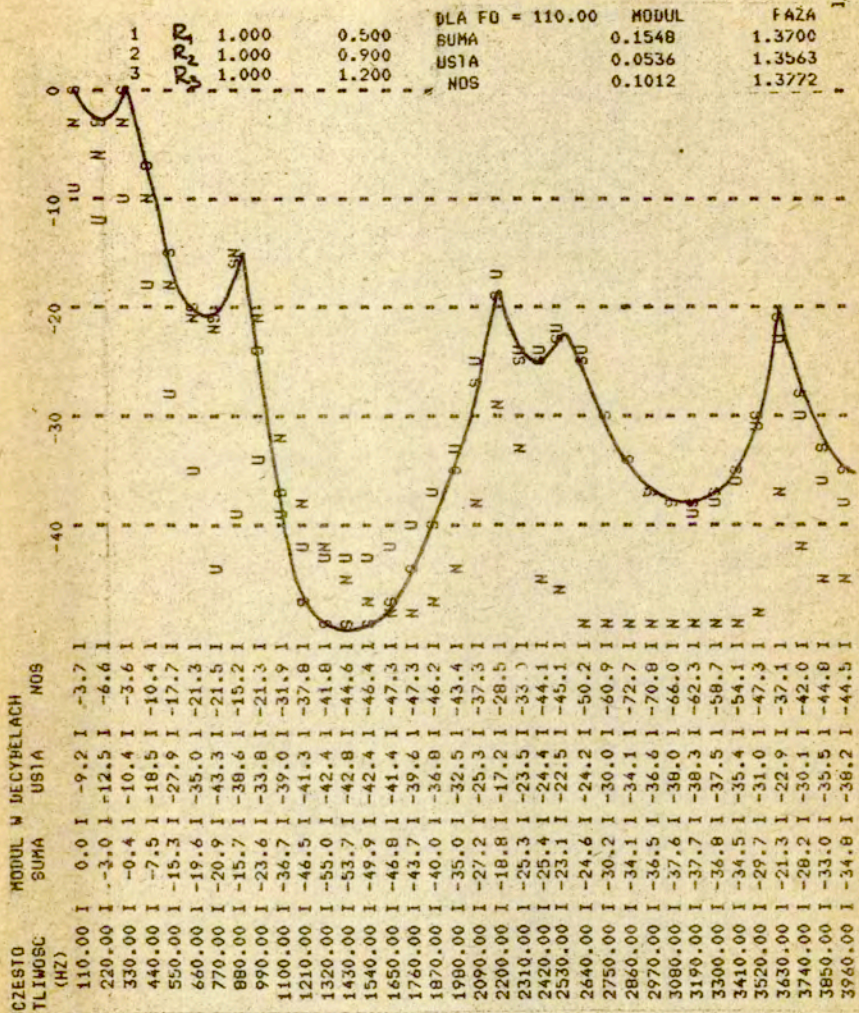


CZESTOŚĆ TLIMOSC (HZ)	MODUL W DECYBELACH			NOS
	SUMA	USTA	NOS	
110.00	0.0	0.0	1-249.9	1 N
220.00	-3.3	-3.3	1-245.2	1 N
330.00	-3.8	-3.8	1-237.3	1 N
440.00	-12.2	-12.2	1-224.0	1 N
550.00	-19.8	-19.8	1-252.4	1 N
660.00	-25.3	-25.3	1-263.1	1 N
770.00	-29.4	-29.4	1-270.2	1 N
880.00	-32.4	-32.4	1-275.5	1 N
990.00	-34.7	-34.7	1-279.5	1 N
1100.00	-36.4	-36.4	1-282.7	1 N
1210.00	-37.4	-37.4	1-285.0	1 N
1320.00	-38.0	-38.0	1-286.7	1 N
1430.00	-37.9	-37.9	1-287.8	1 N
1540.00	-37.3	-37.3	1-288.3	1 N
1650.00	-36.1	-36.1	1-288.1	1 N
1760.00	-34.2	-34.2	1-287.1	1 N
1870.00	-31.3	-31.3	1-285.1	1 N
1980.00	-26.9	-26.9	1-281.4	1 N
2090.00	-19.6	-19.6	1-274.3	1 N
2200.00	-11.6	-11.6	1-263.4	1 N
2310.00	-17.4	-17.4	1-274.3	1 N
2420.00	-18.5	-18.5	1-281.9	1 N
2530.00	-16.6	-16.6	1-282.1	1 N
2640.00	-19.2	-19.2	1-287.5	1 N
2750.00	-24.8	-24.8	1-297.6	1 N
2860.00	-28.7	-28.7	1-308.9	1 N
2970.00	-31.1	-31.1	1-306.5	1 N
3080.00	-32.3	-32.3	1-301.3	1 N
3190.00	-32.6	-32.6	1-297.4	1 N
3300.00	-31.7	-31.7	1-293.4	1 N
3410.00	-29.4	-29.4	1-288.5	1 N
3520.00	-24.6	-24.6	1-281.3	1 N
3630.00	-17.1	-17.1	1-271.7	1 N
3740.00	-25.3	-25.3	1-277.6	1 N
3850.00	-30.3	-30.3	1-280.2	1 N
3960.00	-32.8	-32.8	1-280.0	1 N

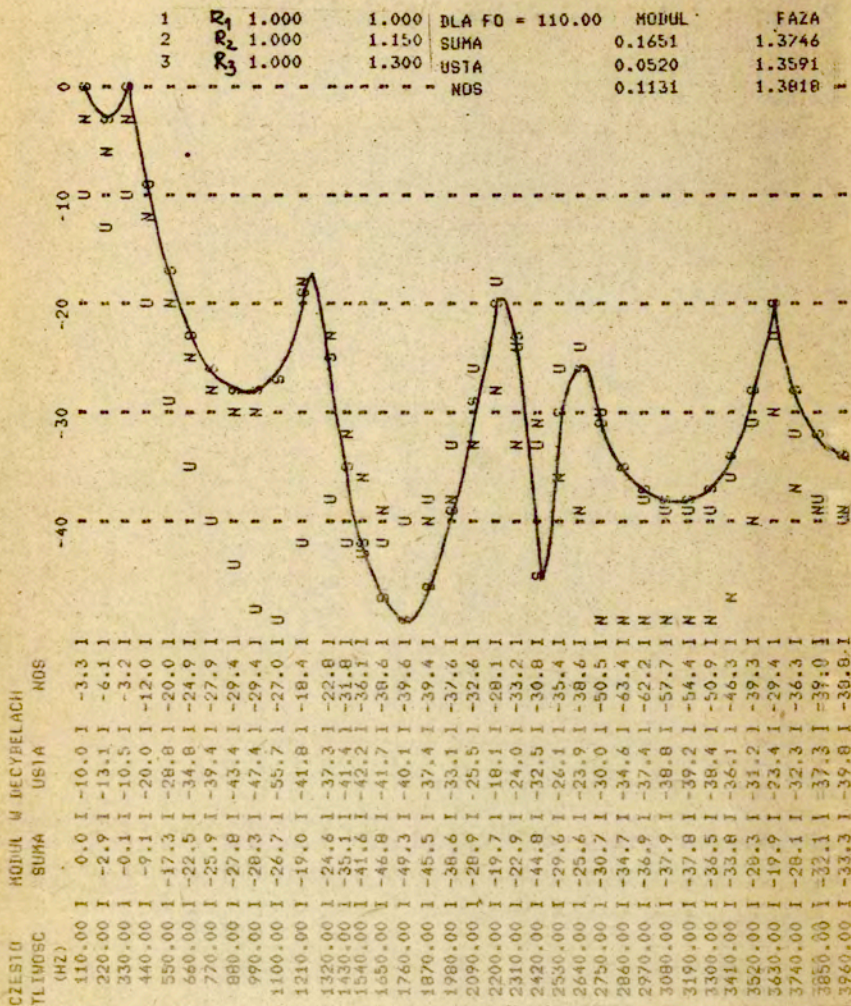
Rys. 9. Widmo ciśnienia akustycznego u wylotu ust dla samogłoski w przypadku zamkniętego kanału nosowego.



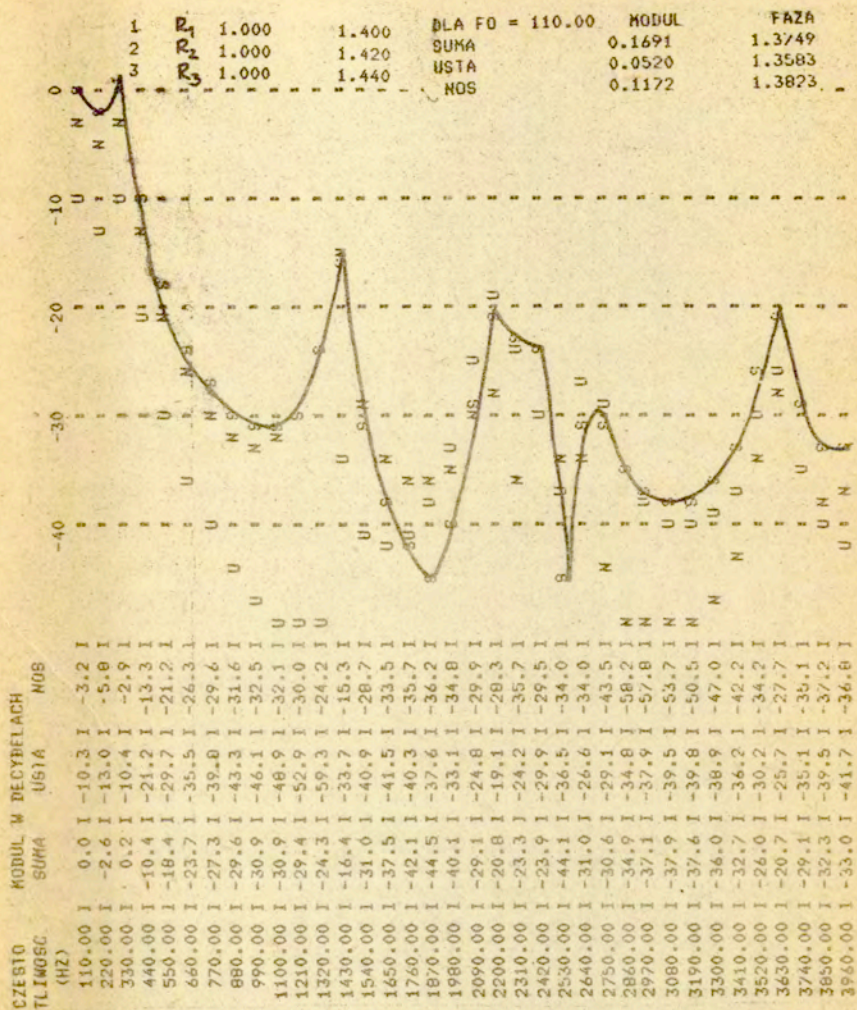
Rys. 10. Widmo ciśnienia akustycznego u wylotu ust, nosa i ich sumy, dla samegłoski [z]. Promień wlotu kanału nosowego $R_1=0.2$ cm, $R_2=0.8$ cm, $R_3=1.15$ cm.



Rys. 11. Widmo ciśnienia akustycznego u wylotu ust, nosa i ich sumy dla [*]. Promienie reprezentujące wlot kanału nosowego wynoszą: $R_1=0.5$ cm, $R_2=0.9$ cm, $R_3=1:2$ cm.



Rys. 12. Widmo ciśnienia akustycznego u wylotu ust, nosa i ich sumy dla samogłoski [z]. Promienie reprezentujące wlot kanału nosowego wynoszą $R_1=1$ cm, $R_2=1.15$ cm, $R_3=1.3$ cm.

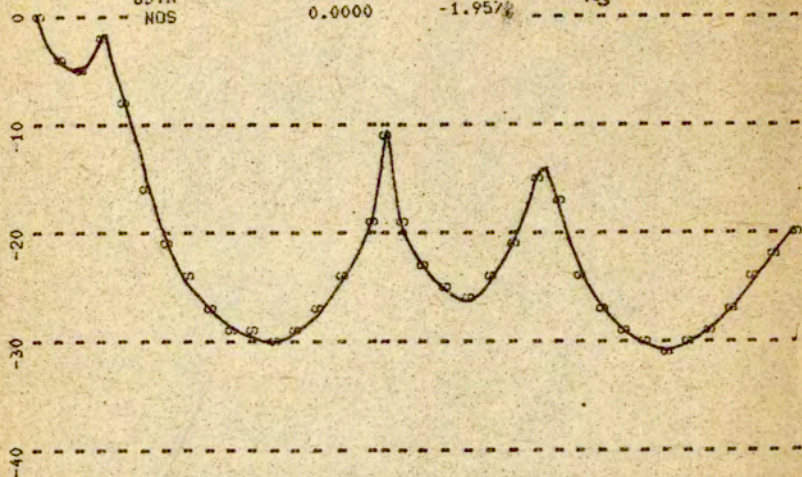


Rys. 13. Widmo ciśnienia akustycznego u wylotu ust, nosa i suma dla samogłoski [±] przy pełnym sprzężeniu akustycznym między kanałami.

DLA $f_0 = 110.00$ KOBUL
 SUMA 0.9702
 USTA 0.0702
 NOS 0.0000

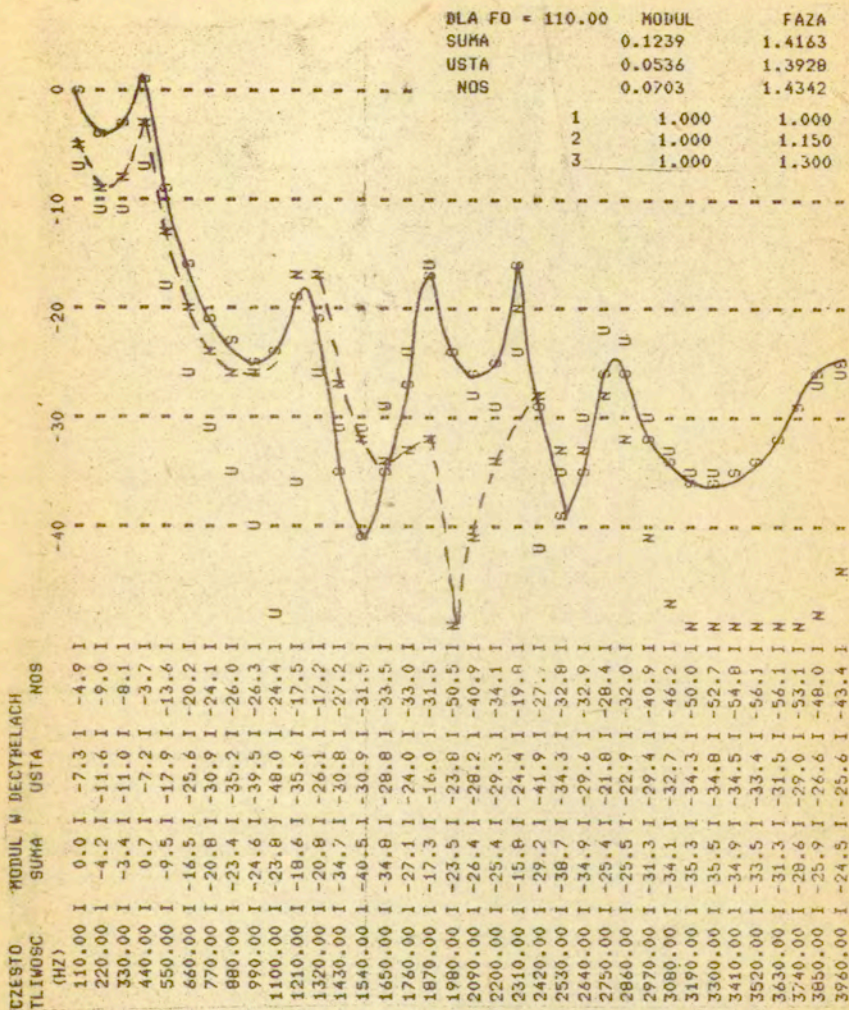
FAZA	1	R_1	1.000	0.001
	2	R_2	1.000	0.500
	3	R_3	1.000	1.000

-1.95%

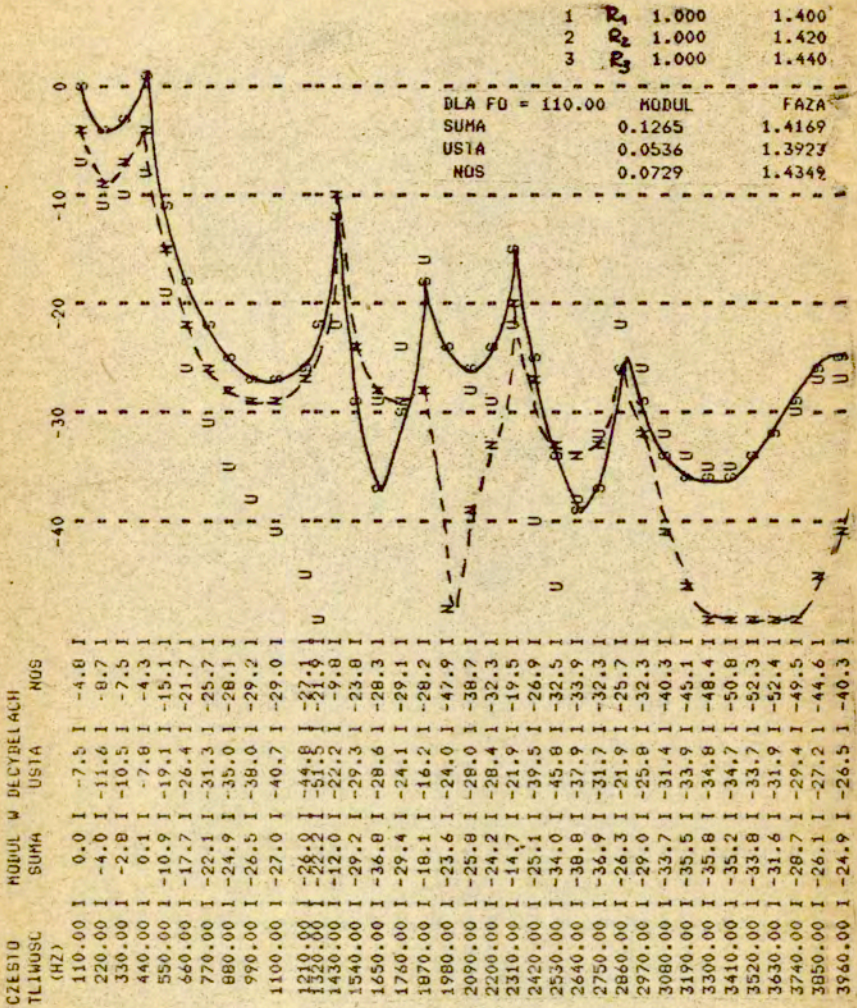


CZĘSTOŚĆ TLIWOSC (HZ)	KOBUL SUMA	USTA	NOS
110.00	0.0	0.0	1-254.3
220.00	-4.6	-4.6	1-250.9
330.00	-5.0	-5.0	1-243.0
440.00	-2.6	-2.6	1-218.9
550.00	-8.2	-8.2	1-245.3
660.00	-15.7	-15.7	1-258.1
770.00	-20.8	-20.8	1-266.2
880.00	-24.3	-24.3	1-272.1
990.00	-26.8	-26.8	1-276.4
1100.00	-28.4	-28.4	1-279.7
1210.00	-29.3	-29.3	1-282.2
1320.00	-29.5	-29.5	1-283.9
1430.00	-28.9	-28.9	1-284.8
1540.00	-27.3	-27.3	1-285.0
1650.00	-24.4	-24.4	1-284.1
1760.00	-19.2	-19.2	1-281.5
1870.00	-11.2	-11.2	1-278.5
1980.00	-18.6	-18.6	1-295.6
2090.00	-23.3	-23.3	1-303.6
2200.00	-25.2	-25.2	1-271.7
2310.00	-25.5	-25.5	1-268.6
2420.00	-24.4	-24.4	1-275.6
2530.00	-21.3	-21.3	1-275.9
2640.00	-14.8	-14.8	1-271.7
2750.00	-17.0	-17.0	1-275.8
2860.00	-23.5	-23.5	1-284.0
2970.00	-27.1	-27.1	1-289.2
3080.00	-29.2	-29.2	1-292.8
3190.00	-30.2	-30.2	1-295.5
3300.00	-30.3	-30.3	1-297.5
3410.00	-29.8	-29.8	1-299.0
3520.00	-28.5	-28.5	1-299.9
3630.00	-26.5	-26.5	1-299.6
3740.00	-24.0	-24.0	1-296.4
3850.00	-21.5	-21.5	1-291.1
3960.00	-20.2	-20.2	1-286.2

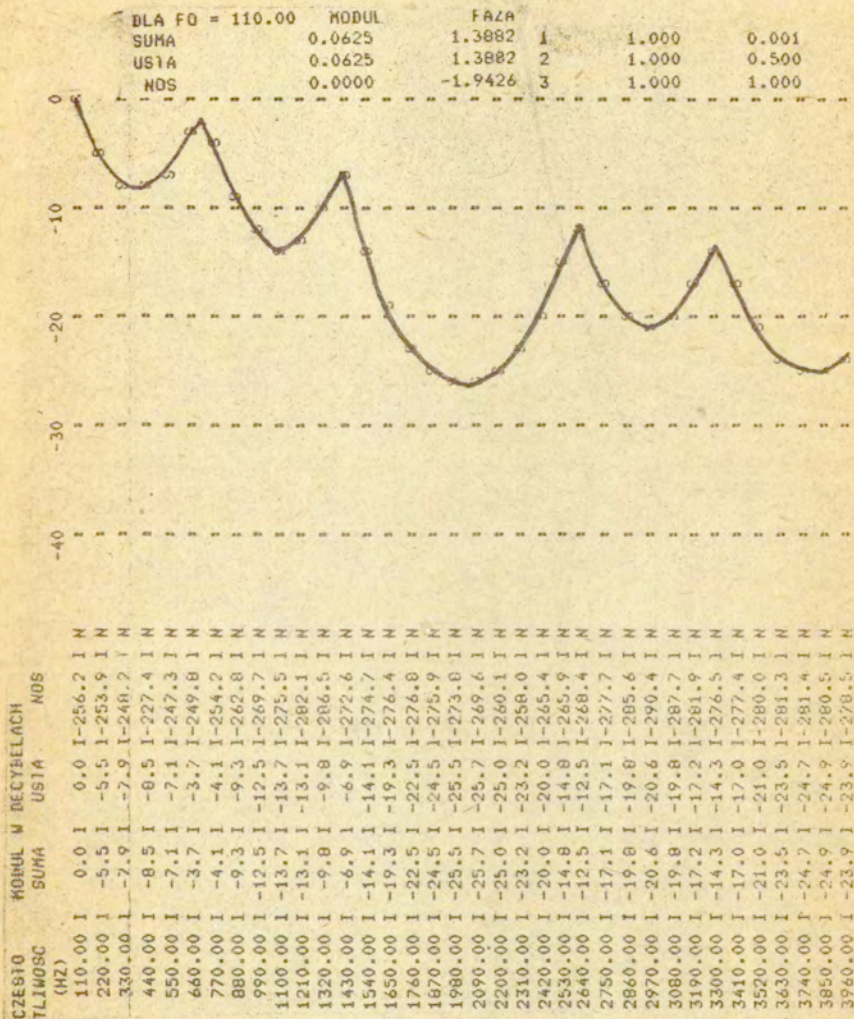
Rys. 14. Przebieg widma ciśnienia akustycznego u wylotu ust i nosa oraz ich sumy w przypadku zamkniętego wlotu do kanału nosowego dla samogłoski [e].



Rys. 17. Widmo ciśnienia akustycznego u wylotu ust, nosa oraz ich sumy dla samogłoski [e] w przypadku, gdy promienie wlotu do kanału nosowego wynoszą odpowiednio: 1 cm, 1,15 cm, 1,3 cm.



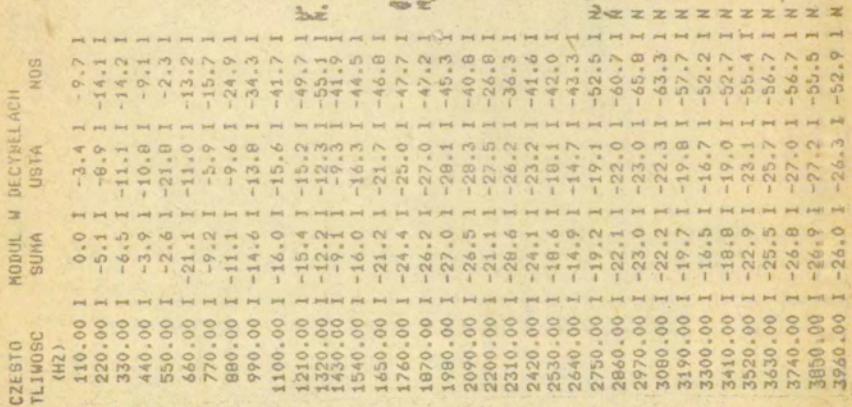
Rys. 18. Widmo cieniienia akustycznego u wylotu ust, nosa oraz łoż sumy dla samogłoski [e] w przypadku pełnego sprzężenia między kanałami.



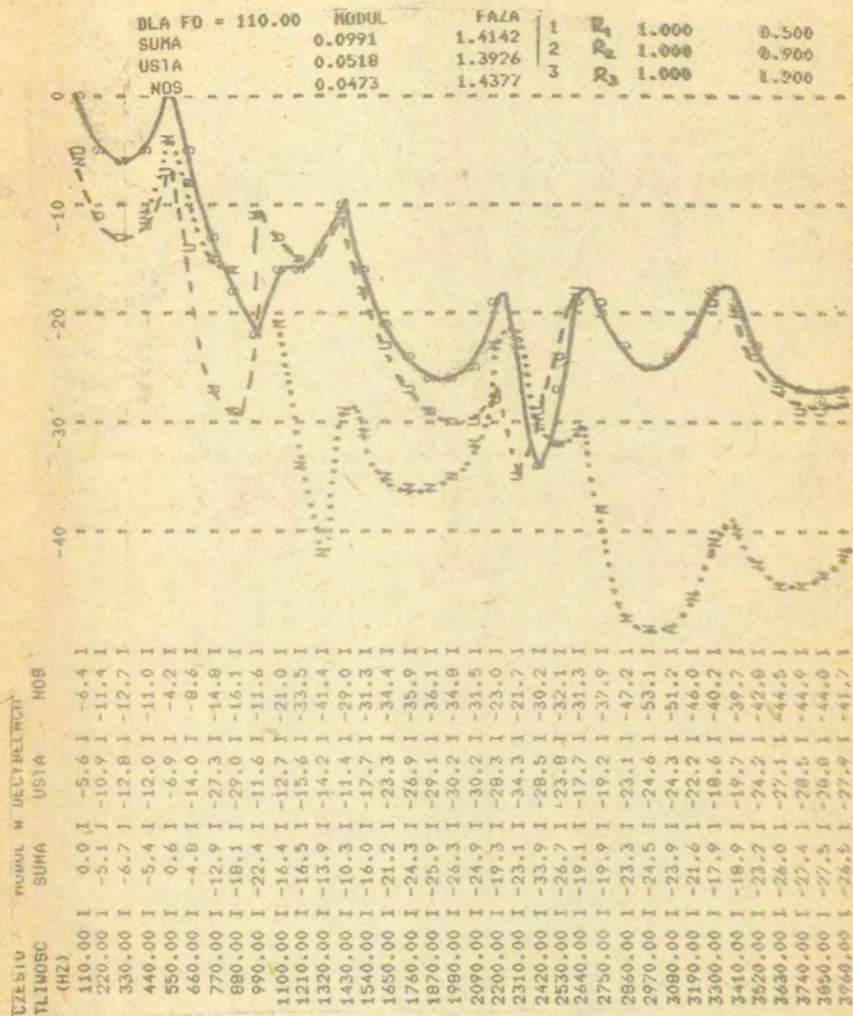
Rys. 19. Widmo ciśnienia akustycznego u wylotu ust dla samogłoski [a] w przypadku, gdy wlot do kanału nosowego jest zamknięty.

DLA FO = 110.00 MODUL
 SUMA 0.0822
 USTA 0.0554
 NOS 0.0269

FAZA
 1 R_1 1.000 0.200
 2 R_2 1.000 0.800
 3 R_3 1.000 1.150



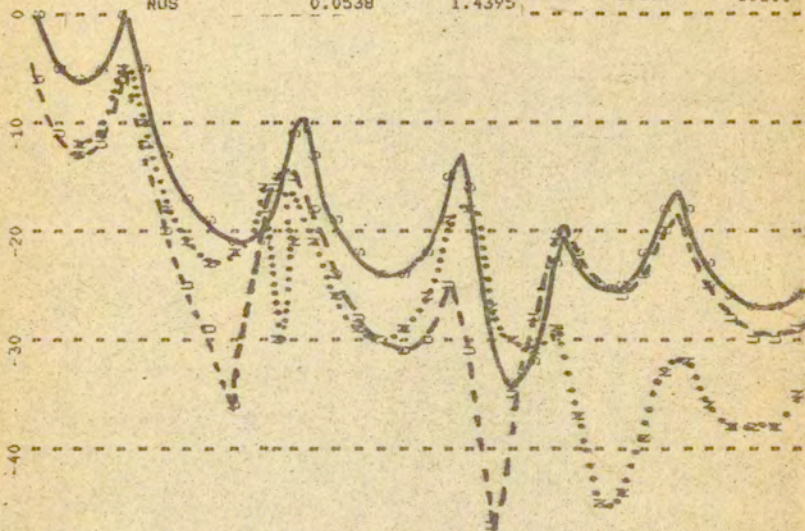
Rys. 20. Widmo ciśnienia akustycznego u wylotu ust, nosa oraz ich sumy dla samogłoski [a] w przypadku, gdy promienie wlotu do kanału nosowego R_1, R_2, R_3 wynoszą odpowiednio 0,2 cm, 0,8 cm, 1,15 cm.



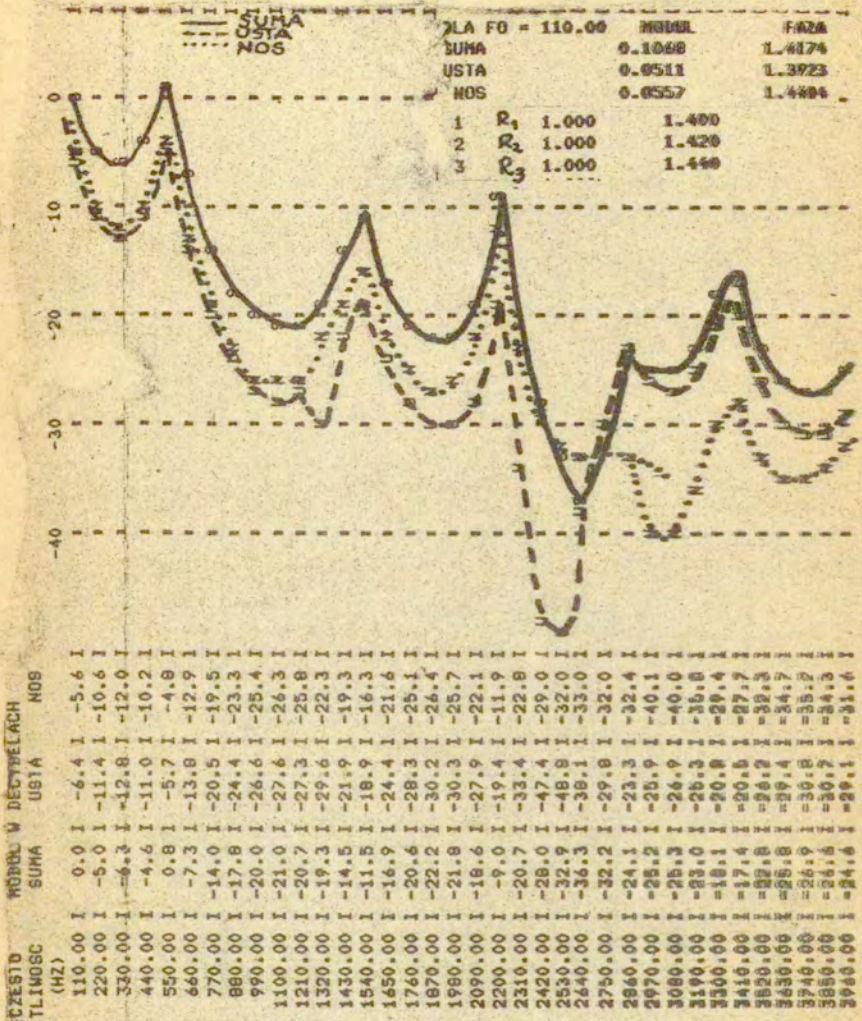
Rys. 21. Widmo ciśnienia akustycznego u wylotu ust, nosa oraz ich sumy dla samogłoski [a], w przypadku, gdy promienie wlotu do kanału nosowego R_1, R_2, R_3 wynoszą odpowiednio 0,5 cm, 0,9 cm, 1,2 cm.

DLA $F_0 = 110.00$	MODUL	FAZA		
SUMA	0.1048	1.4167	1	1.000
USTA	0.0511	1.3927	2	1.000
NOS	0.0538	1.4395	3	1.000
				1.300

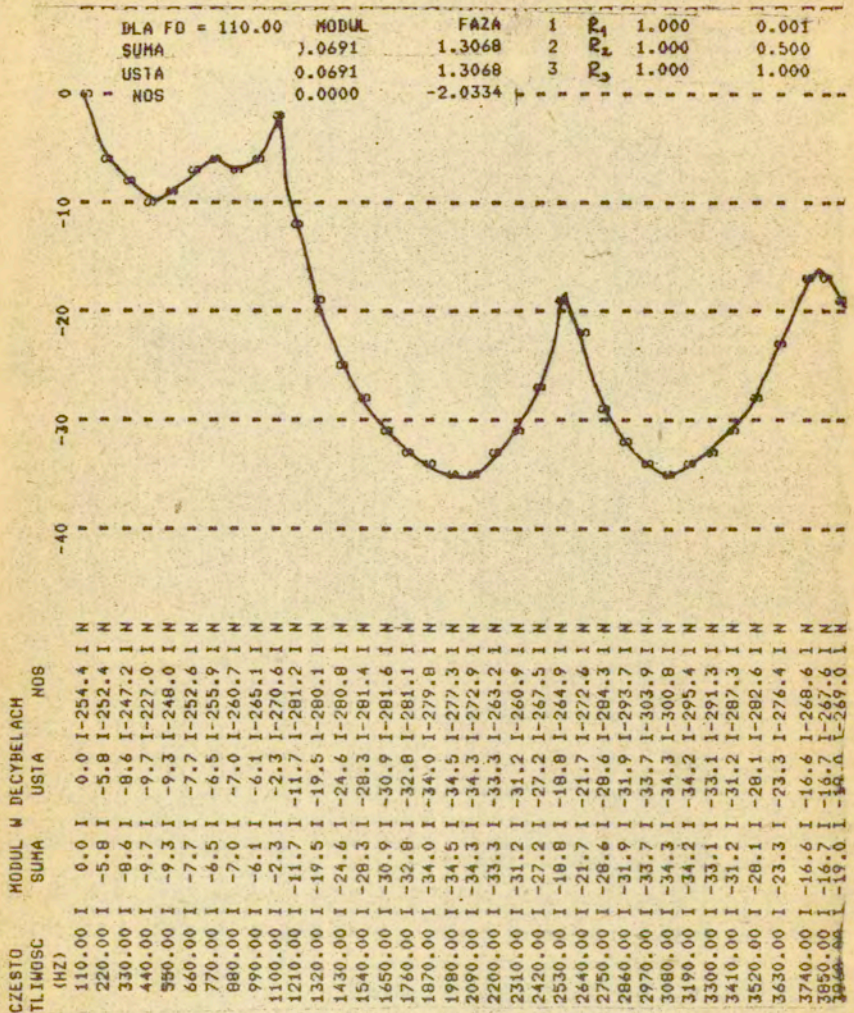
CZĘSTO TLIMOSC (Hz)	MODUL W DECYBELACH			NOS
	SUMA	USTA	NOS	
110.00	0.0	-6.2	-5.8	
220.00	-5.1	-11.4	10.8	
330.00	-6.6	-13.0	-12.3	
440.00	-5.3	-11.8	-10.9	
550.00	0.1	-6.6	-5.4	
660.00	-5.5	-12.3	-10.7	
770.00	-12.7	-20.0	-17.7	
880.00	-16.8	-24.8	-21.4	
990.00	-19.4	-28.6	-23.0	
1100.00	-20.8	-35.7	-22.5	
1210.00	-21.1	-19.3	-16.3	
1320.00	-14.8	-16.3	-29.7	
1430.00	-11.4	-14.8	-21.0	
1540.00	-13.4	-17.8	-21.4	
1650.00	-19.0	-23.9	-26.0	
1760.00	-22.3	-27.8	-28.7	
1870.00	-23.9	-30.0	-29.6	
1980.00	-23.9	-30.7	-29.0	
2090.00	-22.0	-29.9	-26.2	
2200.00	-15.4	-25.3	-18.7	
2310.00	-16.3	-30.9	-18.1	
2420.00	-27.4	-46.6	-26.8	
2530.00	-28.0	-35.1	-30.1	
2640.00	-33.1	-28.1	-30.4	
2750.00	-22.6	-20.6	-20.9	
2860.00	-22.8	-22.3	-26.7	
2970.00	-24.8	-25.2	-44.3	
3080.00	-24.6	-25.5	-41.3	
3190.00	-22.3	-23.7	-38.7	
3300.00	-18.8	-19.8	-32.7	
3410.00	-18.8	-20.0	-31.5	
3520.00	-22.7	-25.0	-35.3	
3630.00	-25.7	-28.1	-37.5	
3740.00	-27.0	-29.6	-38.0	
3850.00	-26.9	-29.7	-37.2	
3960.00	-25.6	-28.6	-35.0	



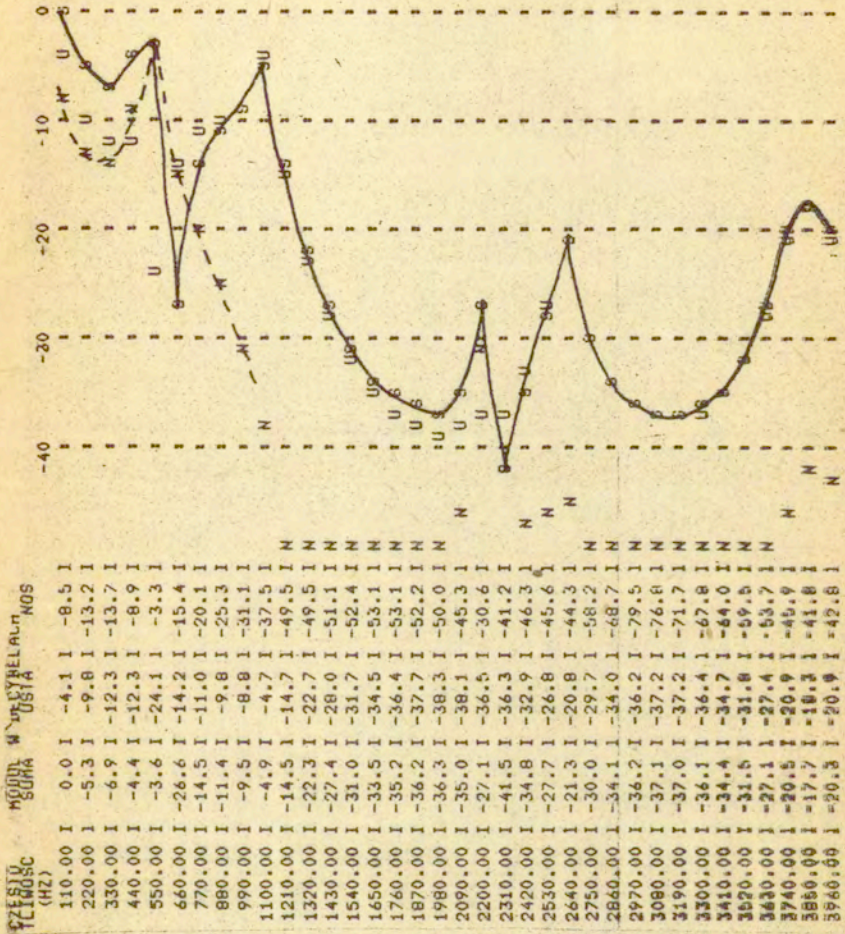
Rys. 22. Widmo ciśnienia akustycznego u wylotu ust, nosa oraz ich sumy dla samogłoski [a], w przypadku, gdy premienie wlotu do kanału nosowego R_1, R_2, R_3 wynoszą odpowiednio: 1,0 cm, 1,15 cm i 1,3 cm.



Eys. 23. Widmo ciśnienia akustycznego u wylotu usz, nosa oraz ich sumy dla samogłoski [a] w przypadku pełnego sprzężenia akustycznego między kanałami.

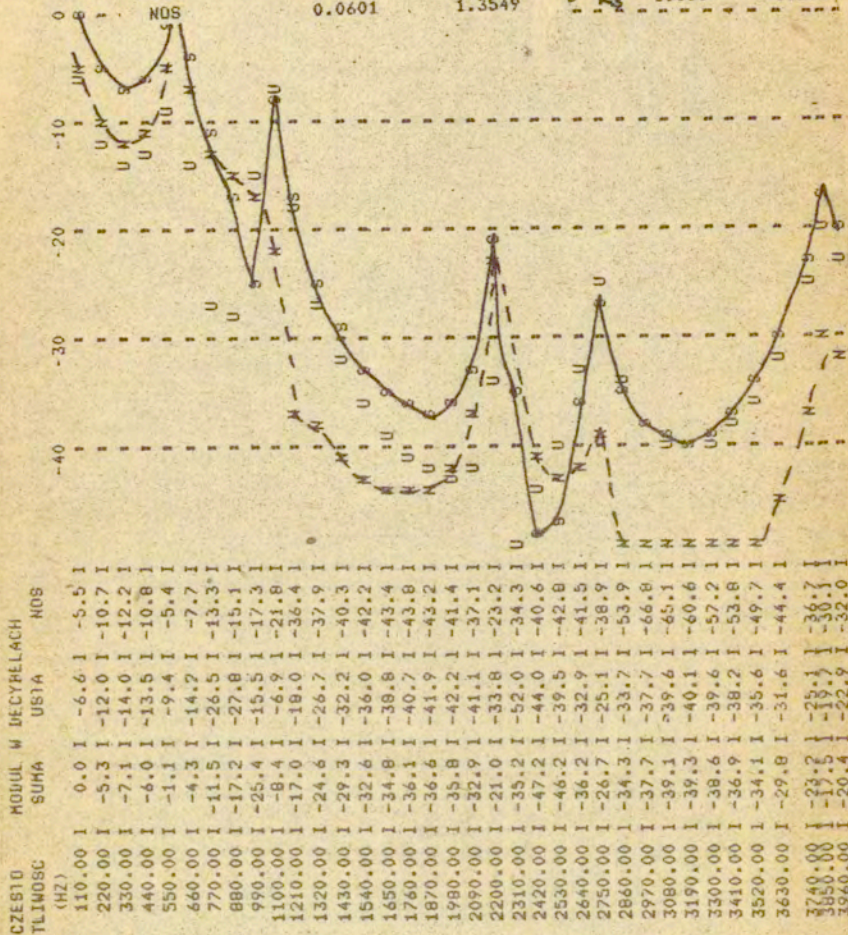


Rys. 24. Widmo cienia akustycznego u wylotu ust dla samogłoski [e] gdy wlot do kanału nosowego jest zamknięty.



Rys. 25. Widmo cieniienia akustycznego u wylotu ust, nosa oraz ich sumy dla samogłoski [e], gdy promienie wlotu do kanału nosowego R_1, R_2, R_3 wyneszą odpowiednio: 0.2 cm, 0.8 cm, 1.15 cm.

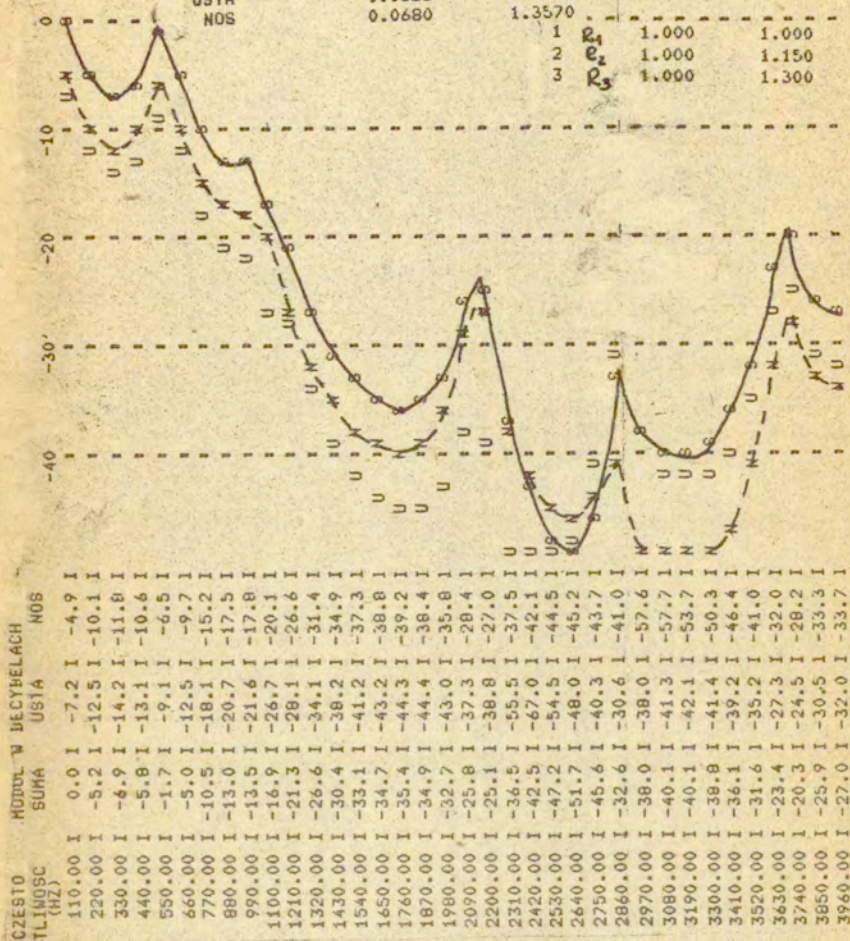
DLA FO = 110.00	MODUL	FAZA		
SUMA	0.1133	1.3381	1	R_1 1.000 0.500
USTA	0.0532	1.3191	2	R_2 1.000 0.900
NOS	0.0601	1.3549	3	R_3 1.000 1.200



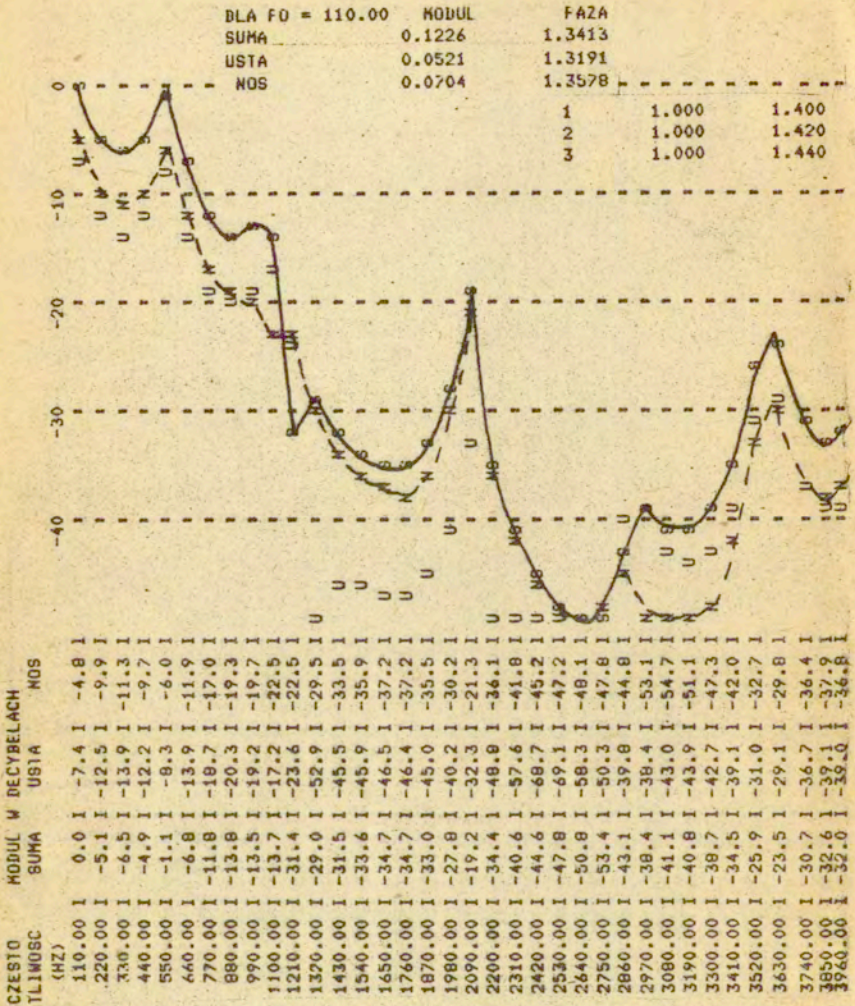
Rys. 26. Widmo ciśnienia akustycznego u wylotu ust, nosa oraz ich suma dla samogłoski [e], gdy sprzężenie między kanałami opisują promienie $R_1=0,5$ cm, $R_2=0,9$ cm, $R_3=1,2$ cm.

DLA $f_0 = 110.00$ MODUL FAZA
 SUMA 0.1201 1.3408
 USTA 0.0522 1.3195
 NOS 0.0680 1.3570

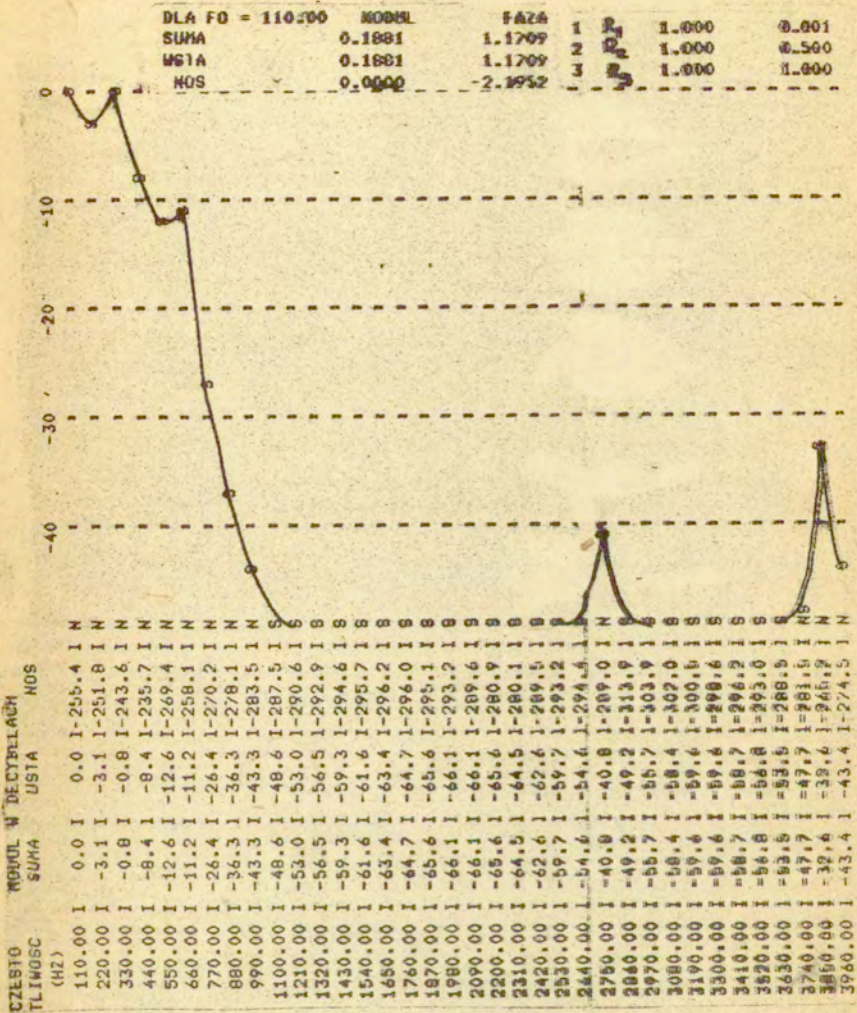
1	R_1	1.000	1.000
2	R_2	1.000	1.150
3	R_3	1.000	1.300



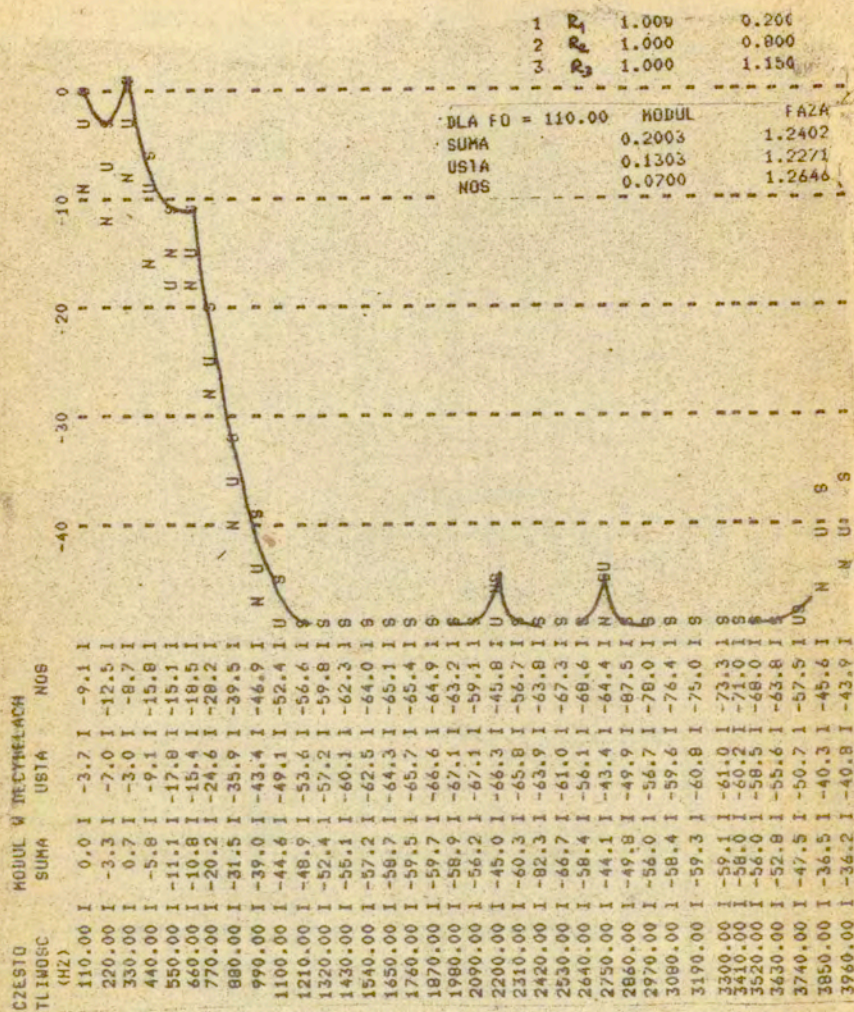
Rys. 27. Widmo ciśnienia akustycznego u wylotu ust, nosa oraz ich suma dla samogłoski [o], gdy sprzężenie między kanałami opisują promienie $R_1=1.0$ cm, $R_2=1.15$ cm, $R_3=1.3$ cm.



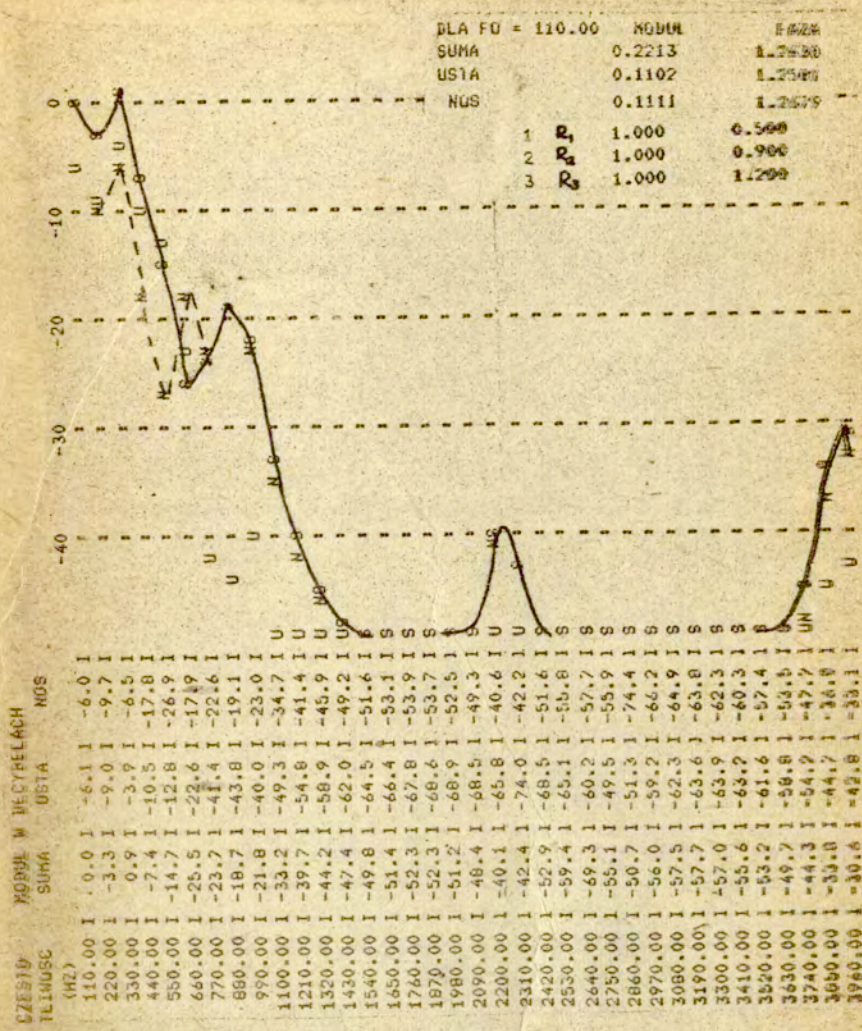
Rys. 28. Przebieg widma ciśnienia akustycznego u wylotu ust, nosa oraz ich sumy dla samogłoski [e] przy pełnym sprzężeniu akustycznym między kanałami.



Rys. 29. Widmo cieniienia akustycznego u wylotu ust, dla samogłoski [u] w przypadku, gdy wlot do kanału nosowego jest zamknięty / $R_1=0.001$ cm, $R_2=0.5$ cm, $R_3=1.0$ cm.

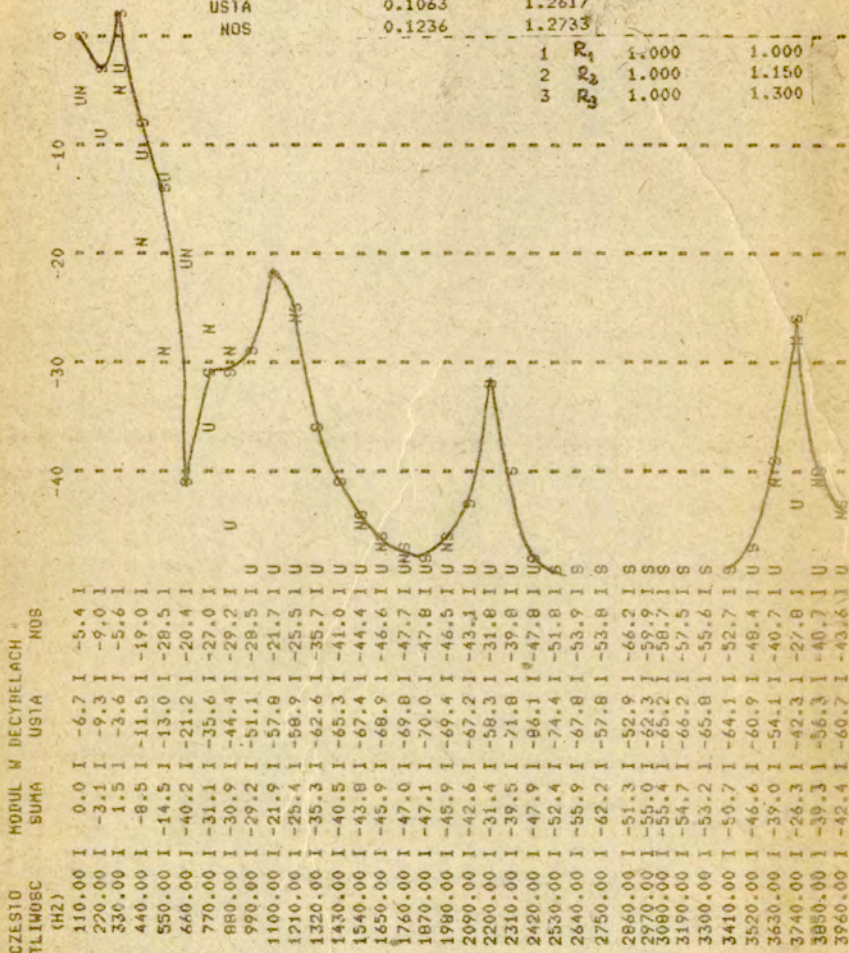


Rys. 30. Widmo ciśnienia akustycznego u wylotu ust, nosa oraz ich sumy dla samogłoski [u] gdy sprzężenie akustyczne między kanałami opisują promienie $R_1=0.2$ cm, $R_2=0.8$ cm, $R_3=1.15$ cm.



rys. 31. Widmo ciśnienia akustycznego u wylotu ust, nosa oraz ich sumy dla samogłoski [u], gdy sprężenie akustyczne opisują promienie $R_1=0.5$ cm, $R_2=0.9$ cm, $R_3=1.2$ cm.

BLA FO = 110.00 MODUL
 SUHA 0.2299 FAZA
 USTA 0.1063 1.2679
 NOS 0.1236 1.2733



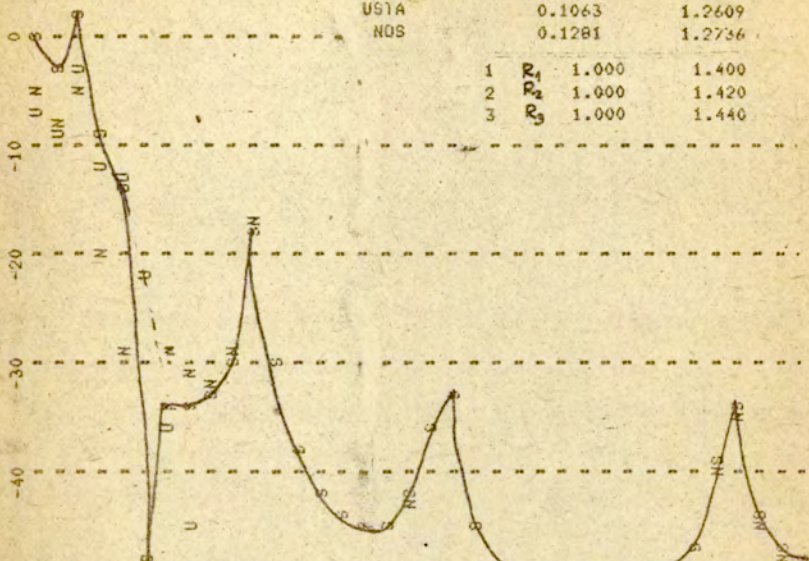
Rys. 32. Widmo ciśnienia akustycznego u wylotu ust, nosa oraz ich sumy dla samogłoski [u], gdy sprzężenie akustyczne opisują promienie $R_1=1.0$ cm, $R_2=1.15$ cm, $R_3=1.3$ cm.

DLA FO = 110.00 MODUL FAZA
 SUMA 0.2343 1.2679
 USTA 0.1063 1.2609
 NOS 0.1281 1.2736

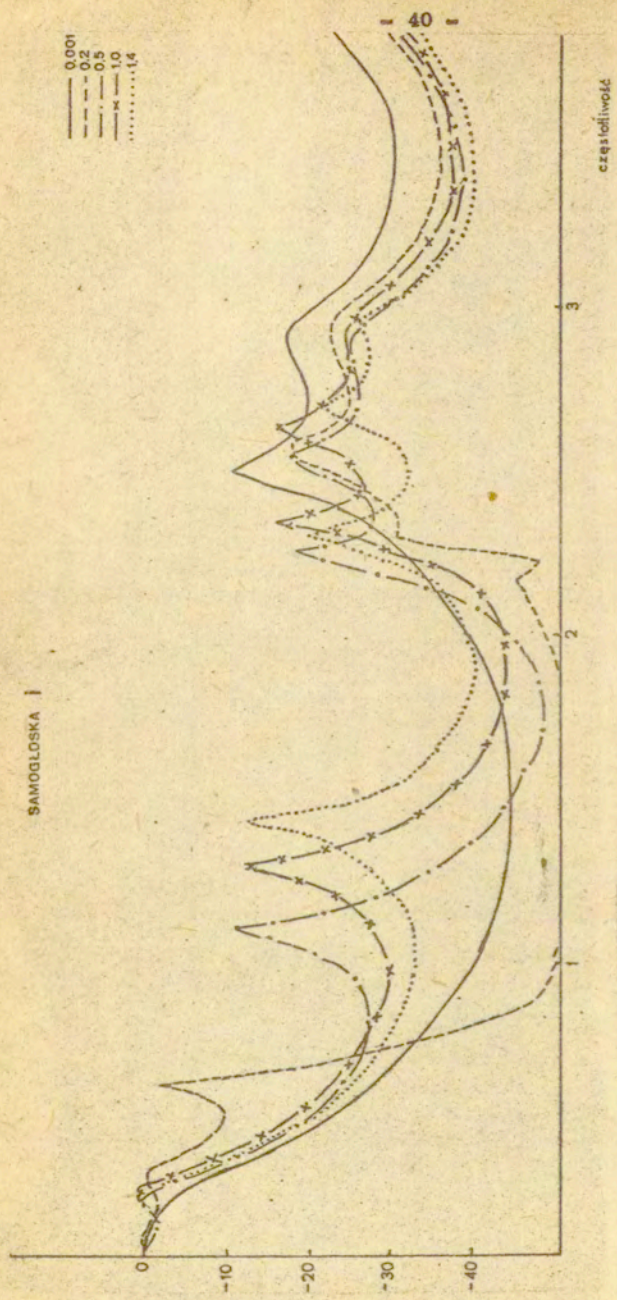
1 R₁ 1.000 1.400
 2 R₂ 1.000 1.420
 3 R₃ 1.000 1.440

CZĘSTO
 TLIVOSC

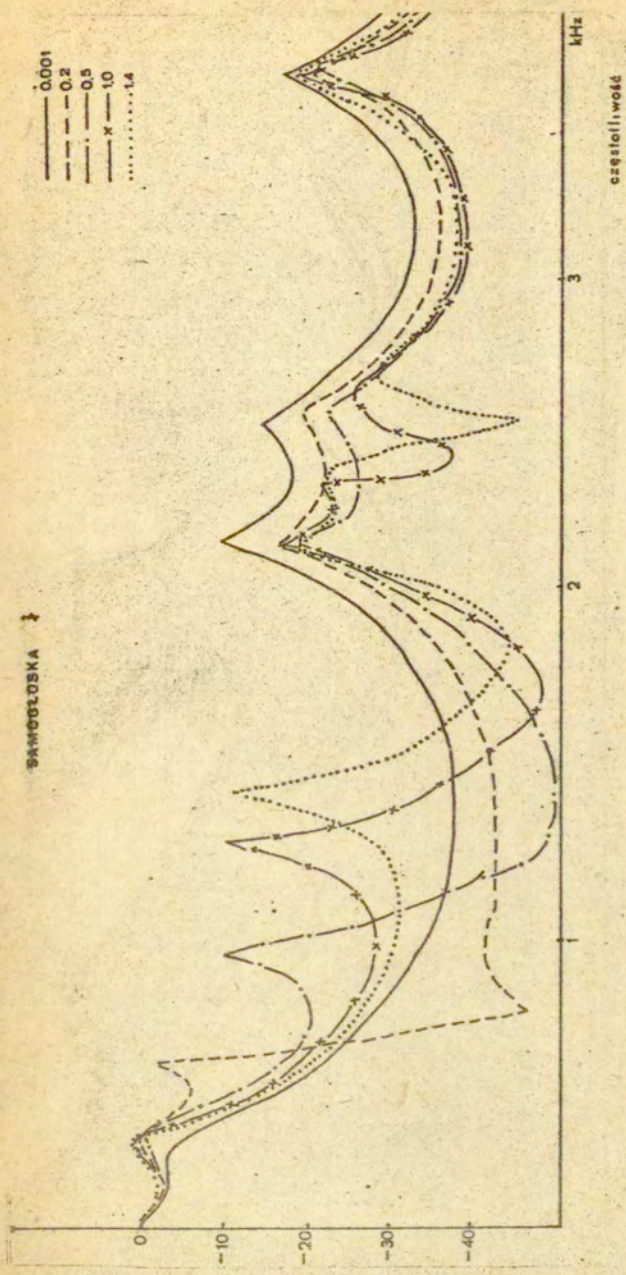
CZĘSTO TLIVOSC (HZ)	MODUL W BĘDZIELACR	SUMA	USTA	NOS			
110.00	I	0.0	I	-6.9	I	-5.2	I
220.00	I	-2.8	I	-9.1	I	-8.6	I
330.00	I	1.9	I	-3.3	I	-5.1	I
440.00	I	-9.5	I	-12.5	I	-20.0	I
550.00	I	-14.2	I	-12.7	I	-28.5	I
660.00	I	-47.9	I	-22.4	I	-22.3	I
770.00	I	-33.6	I	-36.0	I	-28.7	I
880.00	I	-33.5	I	-44.2	I	-31.3	I
990.00	I	-32.8	I	-49.8	I	-31.7	I
1100.00	I	-29.6	I	-53.3	I	-29.1	I
1210.00	I	-17.6	I	-50.4	I	-17.4	I
1320.00	I	-29.8	I	-77.3	I	-29.9	I
1430.00	I	-37.2	I	-70.4	I	-37.4	I
1540.00	I	-41.2	I	-70.6	I	-41.5	I
1650.00	I	-43.5	I	-71.1	I	-43.9	I
1760.00	I	-44.5	I	-71.1	I	-45.0	I
1870.00	I	-44.2	I	-70.4	I	-44.7	I
1980.00	I	-42.1	I	-68.3	I	-42.5	I
2090.00	I	-35.5	I	-62.1	I	-35.9	I
2200.00	I	-32.5	I	-60.2	I	-32.8	I
2310.00	I	-44.4	I	-74.5	I	-44.7	I
2420.00	I	-49.7	I	-86.8	I	-49.8	I
2530.00	I	-53.1	I	-87.4	I	-52.9	I
2640.00	I	-55.5	I	-75.9	I	-54.8	I
2750.00	I	-58.4	I	-65.1	I	-55.1	I
2860.00	I	-52.2	I	-55.0	I	-63.0	I
2970.00	I	-55.2	I	-65.6	I	-58.3	I
3080.00	I	-55.0	I	-68.2	I	-57.1	I
3190.00	I	-53.6	I	-68.6	I	-55.6	I
3300.00	I	-51.2	I	-67.2	I	-52.7	I
3410.00	I	-47.0	I	-64.0	I	-48.3	I
3520.00	I	-38.3	I	-56.0	I	-39.5	I
3630.00	I	-33.9	I	-52.4	I	-34.9	I
3740.00	I	-43.4	I	-62.8	I	-44.4	I
3850.00	I	-46.4	I	-66.9	I	-47.3	I
3960.00	I	-47.3	I	-69.0	I	-48.0	I



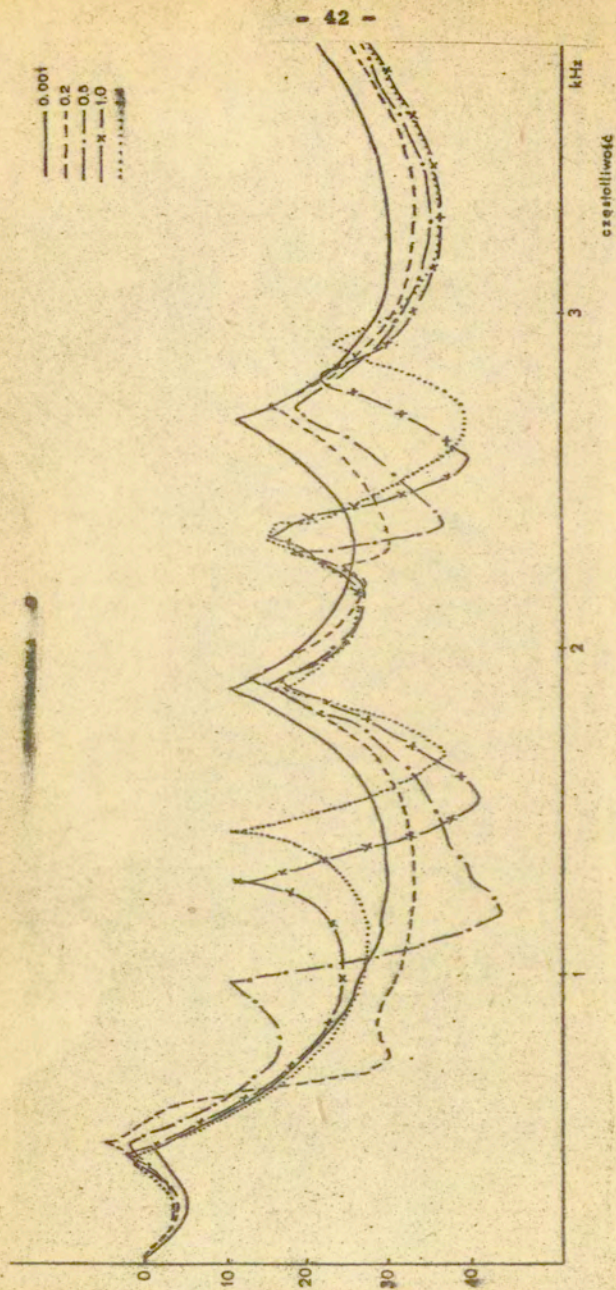
Rys. 33. Widmo ciśnienia akustycznego u wylotu ust, nosa oraz ich sumy dla samogłoski [u] gdy sprzężenie akustyczne między kanałami jest pełne.



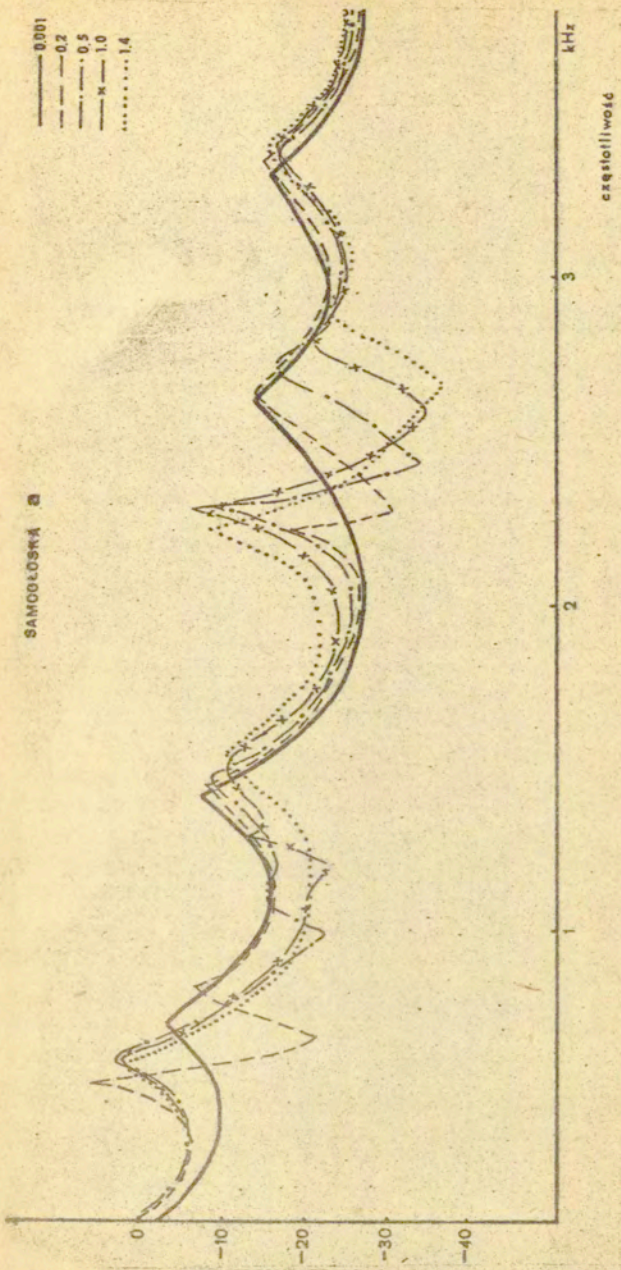
rys. 34. Zmiany w strukturze widma samogłoski [1] pod wpływem powiększenia sprężenia akustycznego między kanałem gardłowo-ustnym i nosowym.



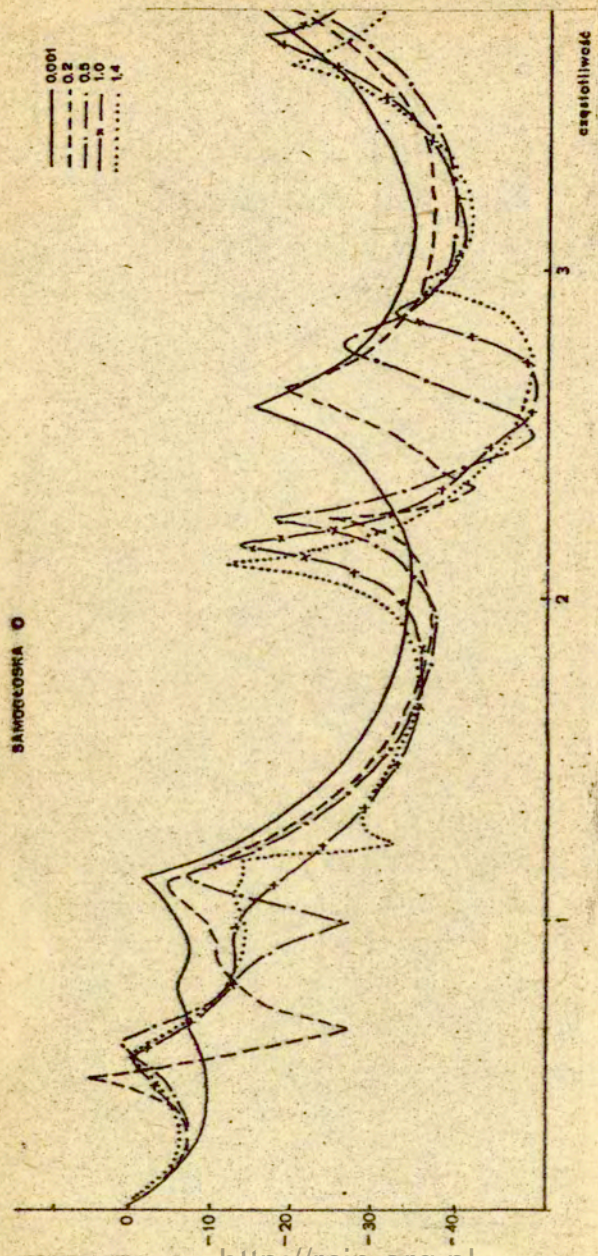
Rys. 35. Zmiany w strukturze widma samogłoski [ɛ] pod wpływem zwiększającego się sprężenia między kanałami gardłowo-ustnym i nosowym.



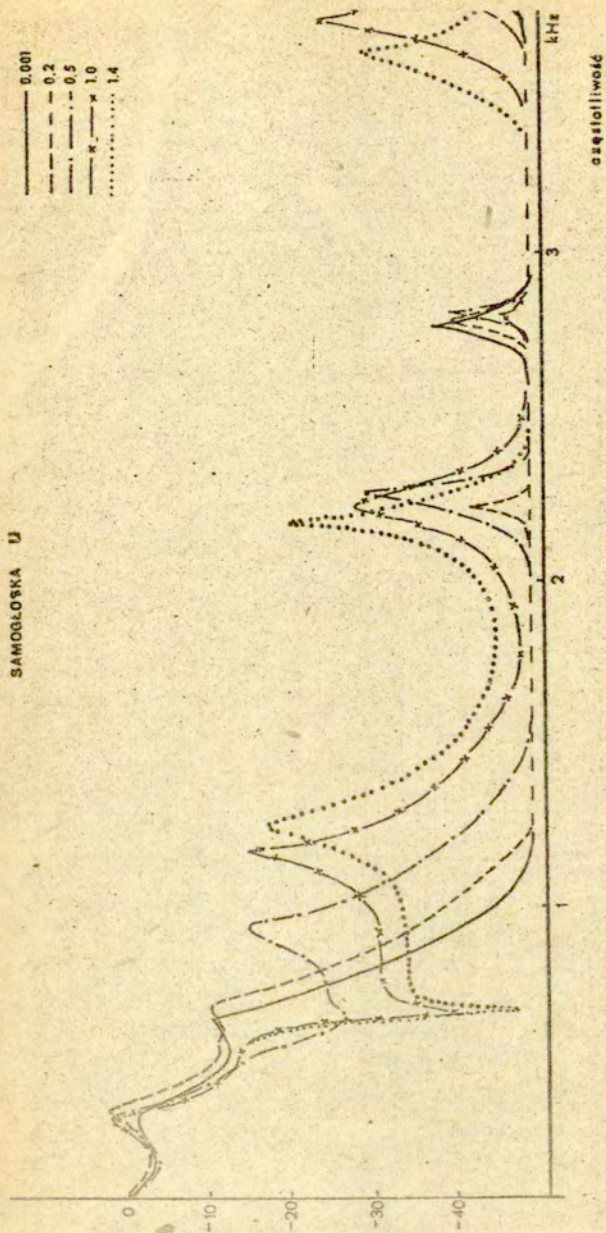
rys. 36. Zmiany w strukturze widma samogłoski [e] pod wpływem zwiększającego się sprężenia akustycznego między kącikami gardłowo-ustnym i nosowym.



Rys. 37. Zmiany struktury formantowej widma samogłoski [a] pod wpływem zwiększającego się sprzężenia akustycznego między kanałami, gardłowo-nosowym i nosowym.



Rys. 38. Zmiany struktury fermentowej widma samogłoski [e] pod wpływem zwiększającego się sprężenia akustycznego między kanałami.



Rys. 39. Zmiany struktury formantowej widma samogłoski [u], pod wpływem zwiększającego się sprężenia akustycznego między kanałami.

częstotliwości /w przypadku i i f de około 1600 Hz/. Efekt ten jest zauważalny również dla pozostałych samogłosek przykniętych [u] i [e].

W przypadku samogłosek przednich przykniętych w efekcie nazalizacji dochodzi do wyraźnego rozszczepienia drugiego formantu w widmie sygnału sumarycznego /sygnał z ust i nosa/ na skutek obniżenia poziomu widma dla teru nosowego w tym zakresie częstotliwości /rys. 9 i 10/. Antyfermant ten występuje przy częstotliwości ok. 2500 Hz. Tej częstotliwości odpowiada formant F2 dla samogłosek [i] i [ɨ]. Zjawisko "rozszczepiania" się drugiego formantu jest tym wyraźniejsze, im większe jest sprzężenie akustyczne między kanałami ustnym i nosowym.

W zakresie trzeciego formantu wpływ nazalizacji na kształt widma badanego sygnału jest znacznie mniejszy niż dla pozostałych zakresów formantowych.

W przypadku samogłoski przedniej otwartej [a] zjawisko nazalizacji powoduje przesunięcie pierwszego formantu w stronę niższych częstotliwości o ok. 33 % przy pełnym sprzężeniu między kanałami ustnym i nosowym / $R_1 = 1,4$ cm/ w stosunku do przypadku gdy dostęp do kanału nosowego jest zamknięty całkowicie. Efekt ten wywołany jest rezonansem teru nosowego, związanym ze stosunkiem objętości komór gardłowej, ustnej i nosowej.

W obszarze drugiego formantu zwiększenie wielkości sprzężenia między kanałami powoduje mniejsze zmiany w strukturze widma przypadające na ten zakres formantowy. Przesunięcie F2 w stronę wyższych częstotliwości przy pełnym otwarciu wlotu do kanału nosowego w stosunku do przypadku odpowiadającego nie występowaniu sprzężenia między obu kanałami jest rzędu 8 %.

Wyraźniejszy wpływ zjawiska nazalizacji w przypadku samogłoski przedniej otwartej [a] występuje w obszarze trzeciego formantu, co objawia się przesunięciem tego zakresu formantowego w stronę niższych częstotliwości przy pełnym sprzężeniu akustycznym między kanałami o ok. 13 %.

Dla samogłosek tylnych [e] i [u] charakteryzującym się maksymalnym wzniesieniem języka w tylnej części jamy ustnej, zjawisko nazalizacji powoduje obniżenie się częstotliwości

odpowiadającej pierwszemu formantowi wraz ze zwiększeniem stopnia sprzężenia między kanałami. Obniżenie F_1 o ok. 16 % dla tego przypadku przy pełnym sprzężeniu akustycznym wywołane jest rezonansem nosowym przypadającym na ten zakres formantowy.

Drugi formant wraz ze zwiększeniem się sprzężenia między kanałami znacznie przesuwa się w stronę wyższych częstotliwości wskutek obecności kolejnego rezonansu nosowego. Wyraźny antyformant przy częstotliwości ok. 1700-1800 Hz dla [e] i /1600-1700 Hz/ dla [u] powoduje w obu przypadkach przesunięcie trzeciego formantu w stronę niższych częstotliwości ok. 8-10% przy pełnym sprzężeniu między kanałami.

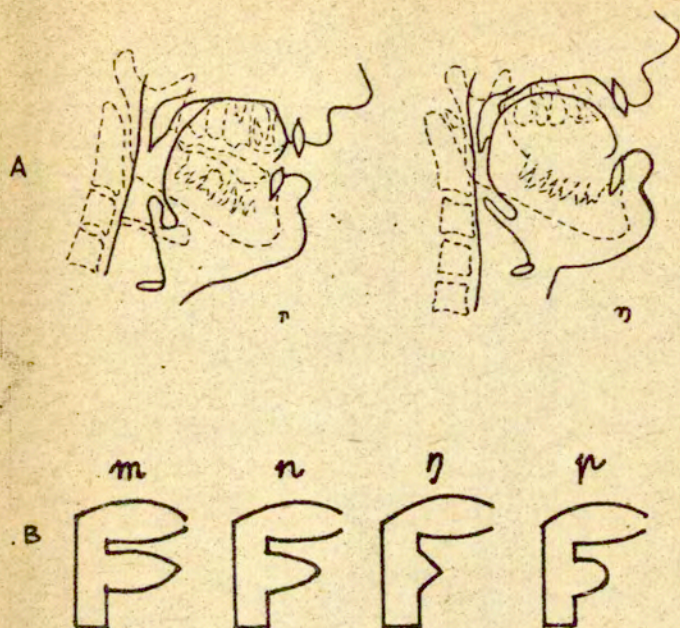
Wpływ zjawiska nazalizacji na strukturę widmową badanych głosek jest ściśle związany z miejscem artykulacji tych głosek. Położenie i kształt języka w jamie ustnej decyduje o tym w jakim stopniu ulegnie zmianie struktura formantowa badanych głosek na skutek sprzężenia akustycznego między kanałem gardłowo-ustnym i nosowym. Wpływ tego zjawiska przy zwiększaniu stopnia sprzężenia między kanałami jest wcześniej zauważalny dla samogłosek niskich niż średnich czy wysokich. Ponadto łatwiej ulegają nazalizacji samogłoski przednie niż środkowe i tylne.

Wyniki obserwacji struktur formantowych samogłosek nazalizowanych mogą mieć duże znaczenie przy badaniu zjawiska koartykulacji i wpływu spółgłosek nosowych na samogłoski ustne w kontekście wyrazowym. Zjawisko koartykulacji bardzo częste w języku polskim jest definiowane zazwyczaj jako nakładanie się na siebie ruchów artykulacyjnych charakterystycznych dla sąsiadujących ze sobą głosek. Wcześniejsze przygotowanie narządów mowy do wymówienia następnej głoski zwane jest antycypacją artykulacyjną. Mniej częsta jest tzw. perseweracja artykulacyjna polegająca na przedłużeniu na następną głoskę układu narządów mowy właściwego głosce poprzedzającej. Oba te zjawiska stanowią tzw. koartykulację. W związku z powyższymi zjawiskami w segmentach samogłoskowych w kontekstach wyrazowych, charakteryzujących się artykulacją ustną, można obserwować wpływ głosek sąsiednich, co w efekcie daje strukturę widmową upodabnianą do struktury formantowej omawianych wyżej samogłosek nazalizowanych.

3. Określenie struktury widmowej spółgłosek nosowych na podstawie literatury przedmiotu.

Cechą charakterystyczną głosek nosowych, różniącą je od innych głosek, jest udział komory nosowej w ich kształtowaniu. Ukształtowanie toru nosowego podczas artykulacji nie ulega zmianom i dlatego rozróżnianie spółgłosek nosowych odbywa się przez odpowiednie ukształtowanie jamy ustnej. Do grupy polskich spółgłosek nosowych należą dźwięki oznaczone w transkrypcji fonetycznej symbolami [m], [n], [ɲ], [ŋ]. Analiza artykulatoryjna tych głosek sprowadza się do określenia miejsca artykulacji opisującego miejsce zwarcia ustnego. Zwarcie, uniemożliwiające strumieniowi powietrza ujście na zewnątrz przez tor ustny, powstaje dla [m] między górną i dolną wargą, dla [n] między przedem języka a tylną ścianką górnych zębów i dziąseł, dla [ɲ] między częścią grzbietu języka i zadziąsłową częścią podniebienia twardego, dla [ŋ] między tylną częścią grzbietu języka a podniebieniem miękkim. Uproszczone układy artykulatoryjne charakteryzujące te głoski pokazane na rys. 40.





Rys. 40 A/ Uproszczone układy artykulacyjne charakteryzujące spółgłoski nosowe. B/ Modele akustyczne artykulacji pelskich spółgłosek nosowych.

Podstawowymi czynnikami decydującymi o strukturze widmowej spółgłosek nosowych są:

1. Rezonans komory gardłowej.
2. Rezonans toru nosowego,
3. Rezonans toru ustnego,
4. Antyrezonans wywołany równoległym sprzężeniem toru ustnego z nosowym.

Analizę widmową pelskich spółgłosek nosowych w tym opracowaniu ograniczone do stanów ustalonych, ponieważ wcześniejsze prace np. [1] wykazały, że w tym zakresie zawarta jest znaczna część informacji o cechach spółgłosek nosowych.

Badania struktury akustycznej spółgłosek nosowych zierząją przede wszystkim de ustalenia ogólnych cech nosowości, pozwalających wyodrębnić tę grupę spółgłosek spośród innych oraz stwierdzić, jakie cechy widma wiążą się z miejscem artykulacji poszczególnych spółgłosek nosowych. Wśród cech związanych z udziałem komory nosowej w artykulacji zarówno spółgłosek jak i samogłosek wymienia się częste koncentrację energii w paśmie niskich częstotliwości widma oraz słabe i szerokie zakresy wzmocnienia w wyższych częstotliwościach.

Tege typu stwierdzenia zostały poparte badaniami przez fonetyków japońskich [S.Hattori, K.Yamamoto i O.Fujimura (1958)], [Fujimura (1962)]. Potwierdzeniem są analizy poprzez syntezę [Panta (1960)] na podstawie których, wyznaczone zostały fermany spółgłosek nosowych zależnie od kształtu komory gardłowej i nosowej. Uzupełnieniem tych analiz jest późniejsza praca Panta i Lindbloma (1961), w której ustalone zostały ogólne cechy nosowości w spółgłoskach nosowych. Autorzy podkreślają, że spółgłoska nosowa charakteryzuje się widmem, w którym formant F2 jest słaby lub w ogóle niewidoczny. W widmie natomiast wyróżnia się formant w okolicy ok. 250 Hz, a jednocześnie występuje pewna ilość słabszych formantów w wyższych zakresach częstotliwości.

Badania cech struktury widmowej spółgłosek nosowych przeprowadzili inni autorzy, między innymi Peterson (1961), J.Martony (1964), Flanagan (1961).

Badania wykonane na materiale języka polskiego [Wierzchowska (1961) i Jassem (1961)] potwierdziły ogólne cechy nosowości widma, polegające na występowaniu silnych niskich składowych przy równoczesnym znacznym tłumieniu wyższych częstotliwości.

Reasumując, wszystkie spółgłoski nosowe posiadają jeden wyraźny formant w pobliżu pierwszej harmonicznej F₀ i dwa formanty około 2000 Hz oraz dwa /lub jeden/ powyżej 3000 Hz.

Uzupełnieniem i potwierdzeniem tych wniosków są analizy wykonane na dźwiękach syntetycznych [Kacprowski (1963)], sprowadzające się do stwierdzeń, że istotną cechą charakterystyczną spółgłosek [m], [n], [ɲ] jest występowanie w zakresie

częstotliwości do około 2500 Hz czterech formantów i jednego antyfermantu. Spółgłoska [ŋ] nie posiada antyfermantu w obszarze do 3000 Hz. Pierwszy formant spółgłosek nosowych leży w zakresie 200 - 350 Hz, zgodnie z zależnością $F1_m < F1_n < F1_{\zeta} < F1_{\eta}$. Cechy dystynktywne badanych syntetycznych spółgłosek nosowych są zawarte w charakterystycznym kształcie obwiedni widma w środkowym zakresie częstotliwości 800 - 3000 Hz. Dla spółgłosek [m], [n], [ŋ] charakterystyczne są następujące układy formantów i antyfermantu:

[m] - F2-FA-F3 (850 - 1300 Hz), [n] F3 - FA - F4 (1500-2050 Hz) [ŋ] F4 - FA - F5 (2200 - 2700 Hz). Z obserwacji danych wynika, że częstotliwość antyfermantu jest tym niższa, względem następującego po nim formantu, im bardziej oddalony od punktu sprzężenia jest miejsce artykulacji spółgłoski nosowej. Zatem częstotliwość antyfermantu może stanowić przybliżoną miarę akustycznie efektywnej długości komory ustnej, zakończonej w miejscu artykulacji. W przypadku spółgłoski [ŋ] antyfermantu brak, lub występuje on powyżej 3000 Hz. Wynika to z lokalizacji zwarcia, charakteryzującego artykulację tej spółgłoski i eliminującego całkowicie lub w bardzo dużym stopniu udział toru ustnego w kształtowaniu widma.

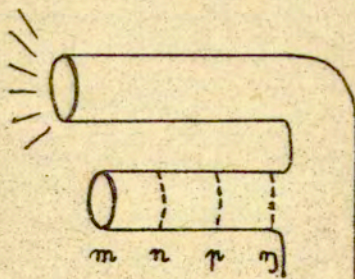
W oparciu o dane literaturowe dotyczące struktury widmowej spółgłosek nosowych i doświadczeń z symulacyjnym modelowaniem torów gardłowo-ustnego i nosowego opracowano konfigurację geometryczną toru głosowego odpowiadającego artykulacji spółgłosek nosowych. Stanowi to punkt wyjścia do badań nad wpływem stopnia sprzężenia na strukturę widmową spółgłosek nosowych w oparciu o symulacyjny model toru głosowego. Konfigurację kanału nosowego przyjęte jak w poprzedniej pracy [10], premie-nie poszczególne segmenty zawarte zostały w tab. 2. Konfiguracje geometryczne wnętrza kanału ustnego w czasie artykulacji kolejnych spółgłosek nosowych wyznaczone metodą kolejnych przybliżeń według kryterium zgodności charakterystyk częstotliwościowych pod względem rozkładu biegunów i zer z danymi literaturowymi dotyczącymi artykulacji spółgłosek nosowych ich częstotliwości formantowych oraz budowy anatomicznej

Tabela 2. Konfiguracja geometryczna toru nosowego / R1,R2,R3
zmiennie promienie wlotu/.

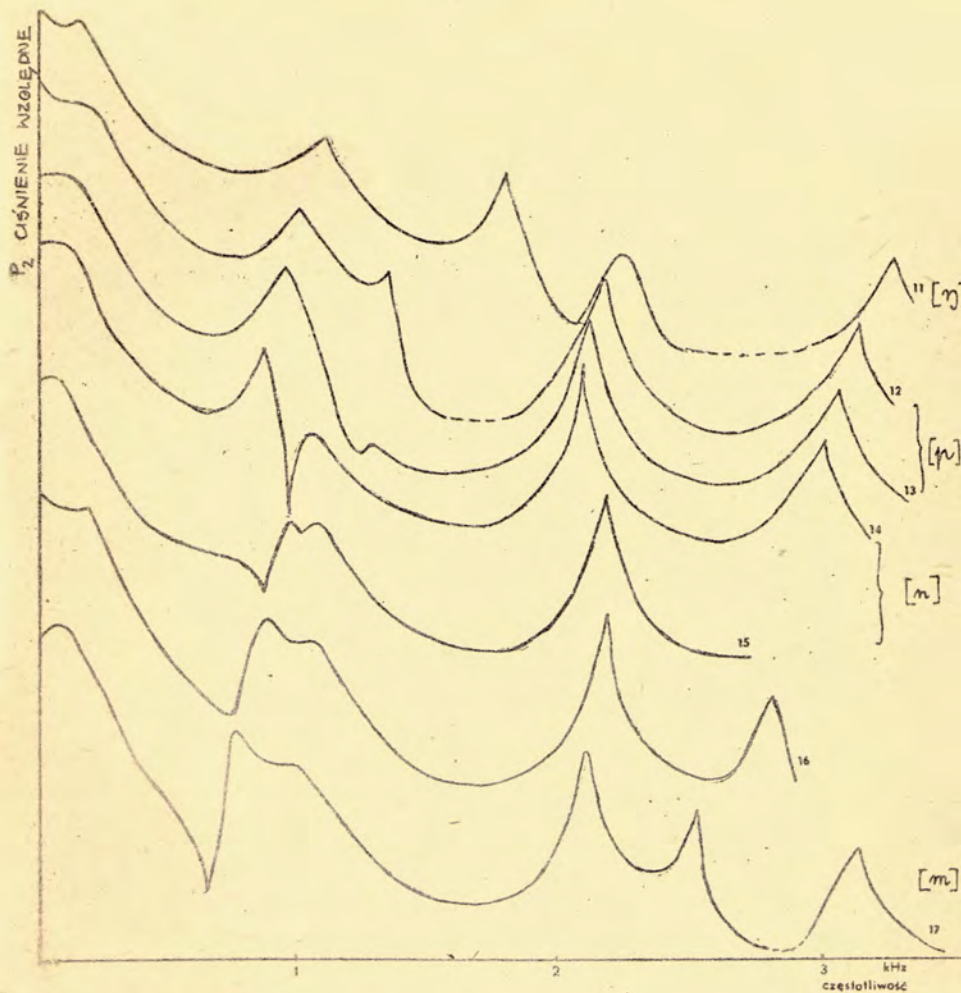
Nr. seg.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R	zmiennie		1.48	1.48	0.91	0.91	0.91	0.91	0.6	0.6	0.27	

narządu mowy. W tym celu przeprowadzone analizę wpływu długości kanału ustnego na rozkład biegunów i zer przy stałym sprzężeniu akustycznym toru ustnego i nosowego. Długość toru ustnego skracano począwszy od siedemnastego segmentu do jedenastego o długość jednego cm każdy (rys.41) . Przekrój badanego kanału ustnego przyjęte stały o promieniu przekroju $R=1.26$ [cm] Charakterystyki częstotliwościowe odpowiadające różnym długościom toru ustnego przy zachowaniu konfiguracji cylindrycznej toru ustnego przedstawia rys. 42. Spółgłoski nosowe charakteryzują się różną długością toru ustnego dlatego wyniki zamieszczonej analizy stanowią podstawę do określenia geometrii toru w czasie artykulacji badanych głosek.

Najdłuższy tor ustny biorący udział w czasie artykulacji spółgłosek nosowych, występuje dla spółgłoski [m] /ok. 17 segmentów/, nieco krótszy dla [n] /ok. 15 lub 14 segmentów/, następnie [ɲ] /ok. 12 - 13 segmentów/ oraz [ŋ] /11 lub 10 segmentów/.



Rys. 41. Model akustyczny artykulacji spółgłosek nosowych.



Rys. 42. Charakterystyki częstotliwościowe sygnału w przepadku gdy kanał ustny przyjmuje różne długości /17,16,15,14,13,12,11 segmentów/.

Opracowano hipotetyczne przekroje artykulacyjne kanału gardłowo-ustnego w czasie artykulacji polskich spółgłosek nosowych, odpowiednio dane liczbowe przedstawia tabela 3.

Tabela 3. Hipotetyczne przekroje artykulacyjne kanału gardłowo-ustnego przy artykulacji polskich spółgłosek nosowych.

Lp.	[m] R [cm]	[n] R [cm]	[ɲ] R [cm]	[ŋ] R [cm]
1	0.7	0.7	/1/ 0.7	0.7
2	1.0	0.95	/2/ 0.9	0.9
3	1.2	1.26	/3/ 1.2	1.26
4	1.26	1.12	/4/ 1.26	1.26
5	1.26	1.1	/5/ 1.2	1.2
6	1.1	1.0	/6/ 0.9	1.1
7	0.9	0.98	/7/ 0.7	0.9
8	0.95	0.8	/8/ 0.6	0.4
9	1.0	1.1	/9/ 0.9	0.35
10	1.1	1.2	/10/ 0.6	0.01
11	1.2	1.0	/11/ 0.5	
12	1.2	0.6	/12/ 0.45	
13	1.1	0.35	/13/ 0.01	
14	0.9	0.01		
15	0.9			
16	0.5			
17	0.01			

Dla tak określonych hipotetycznych przekrojów artykulacyjnych kanału gardłowo-ustnego przy artykulacji spółgłosek nosowych i przy wcześniej założonym przekroju poprzecznym kanału nosowego w przypadku średniego sprzężenia akustycznego między kanałami $R_1=0.7$ cm obliczone częstotliwości formantowe wymienionych wyżej spółgłosek nosowych. Wyniki zawarte w tabeli 4 i porównano z dostępnymi danymi otrzymanymi przez W. Jassama.

Przebiegi widm odpowiadające czterem spółgłoskom nosowym umieszczone na rys. (43-46) .

Tabela 4. Częstotliwości formantowe spółgłosek nosowych [m, n, ŋ, ɲ] otrzymane za pomocą modelu toru głosowego, oraz teoretyczne dane wg. Jassemu.

spół- głoski	WN			W.J		
	F1 [Hz]	F2 [Hz]	F3 [Hz]	F1 [Hz]	F2 [Hz]	F3 [Hz]
[m]	300	900	1300	300	750	1300
[n]	300	1100	1600	320	1100	1700
[ŋ]	350	1200	2200	350	1250	2100
[ɲ]	350	1160	2160	350	1100	1900

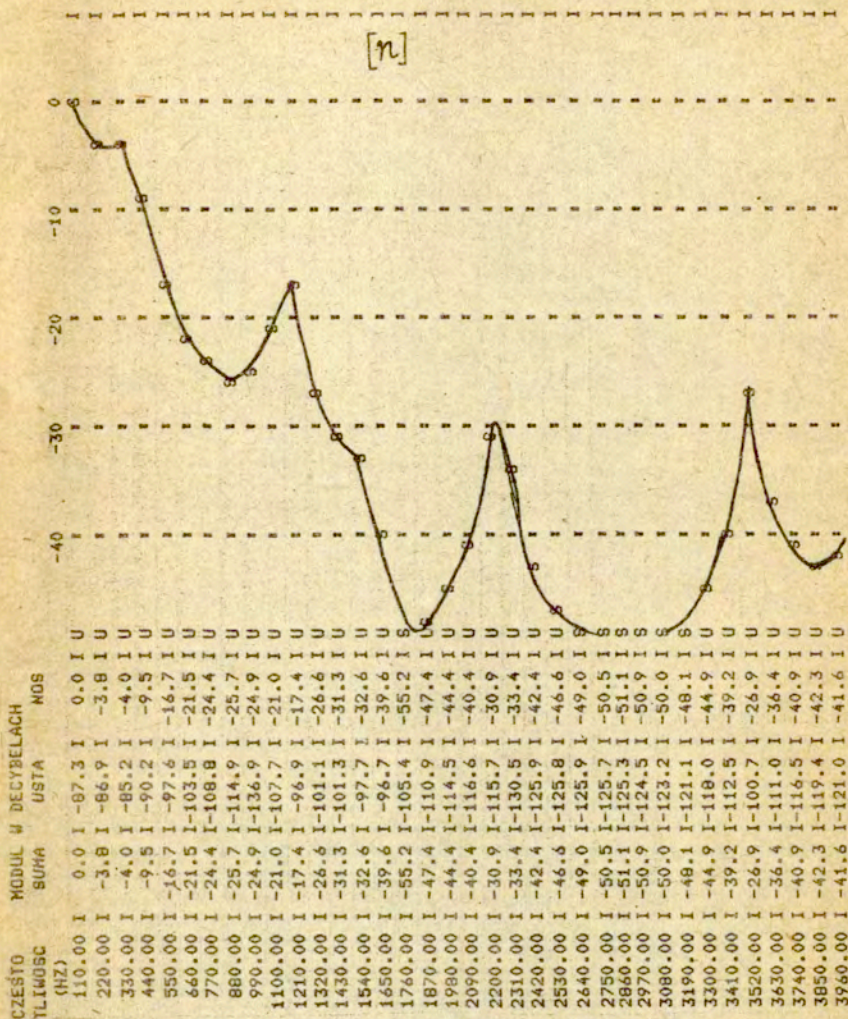
W otrzymanych widmach spółgłosek nosowych występuje jeden formant najniższy wywołany rezonansem komory gardłowej. Formant wywołany rezonansem komory ustnej częściowo pokrywa się z formantami nosowymi. Od długości ustnej komory rezonansowej, równoległe sprzężonej z torom gardłowo-nosowym i zamkniętej u wylotu w przypadku [m], [n], [ŋ], zależą częstotliwości wszystkich formantów danej głoski w taki sposób, że im dłuższa jest komora ustna, tym niższe są częstotliwości wszystkich formantów. Ponadto w widmie spółgłoski nosowej występuje antyformant jako obniżenie poziomu amplitudy w określonym zakresie częstotliwości charakterystyki dla danej głoski. Jeśli zjawisko antyformantu występuje między formantami, wówczas w widmie występuje wyraźne obniżenie poziomu, natomiast w przypadku wystąpienia antyformantu w pobliżu częstotliwości formantowej zjawisko to jest w różnym stopniu anulowane. Zazwyczaj wpływ formantu jest znacznie silniejszy i antyformant przestaje być widoczny jako oddzielne charakterystyczne obniżenie poziomu widma, lecz objawia się znacznym obniżeniem obserwowanego formantu. Częstotliwość antyformantu jest uzależniona przede wszystkim od długości toru ustnego w taki sposób, że im dłuższy

[ŋ]

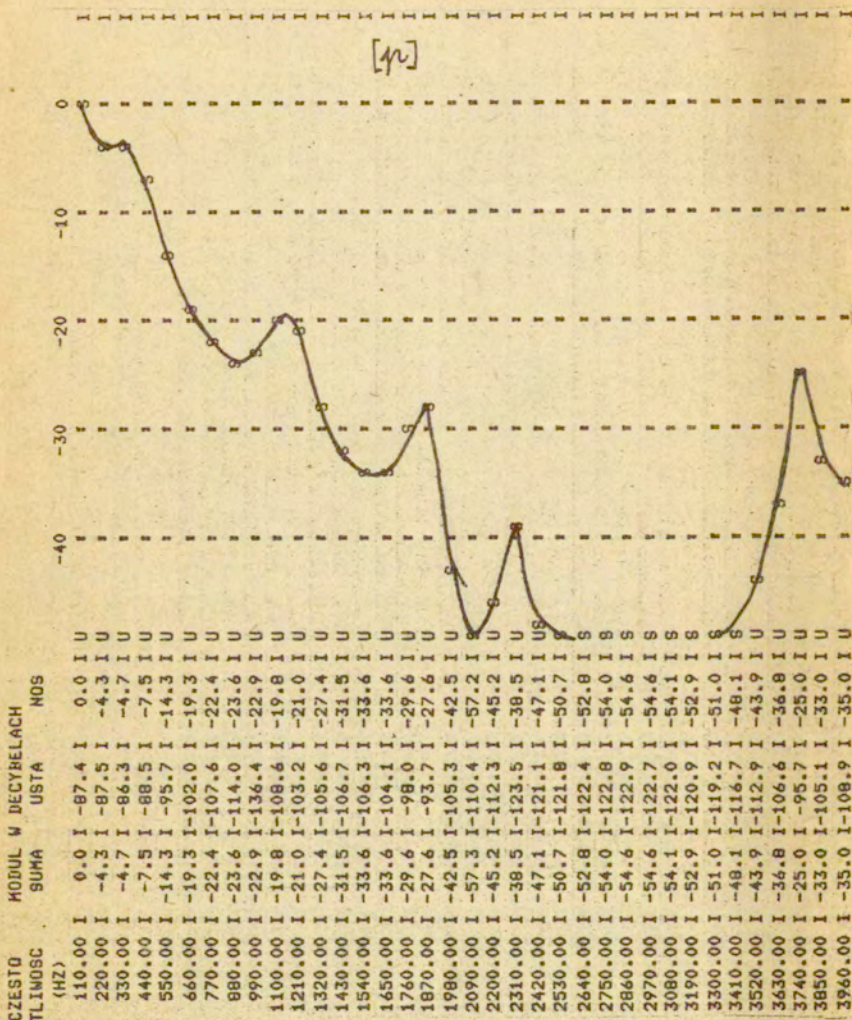
1	R_1	1.000	0.700
2	R_2	1.000	1.100
3	R_3	1.000	1.400



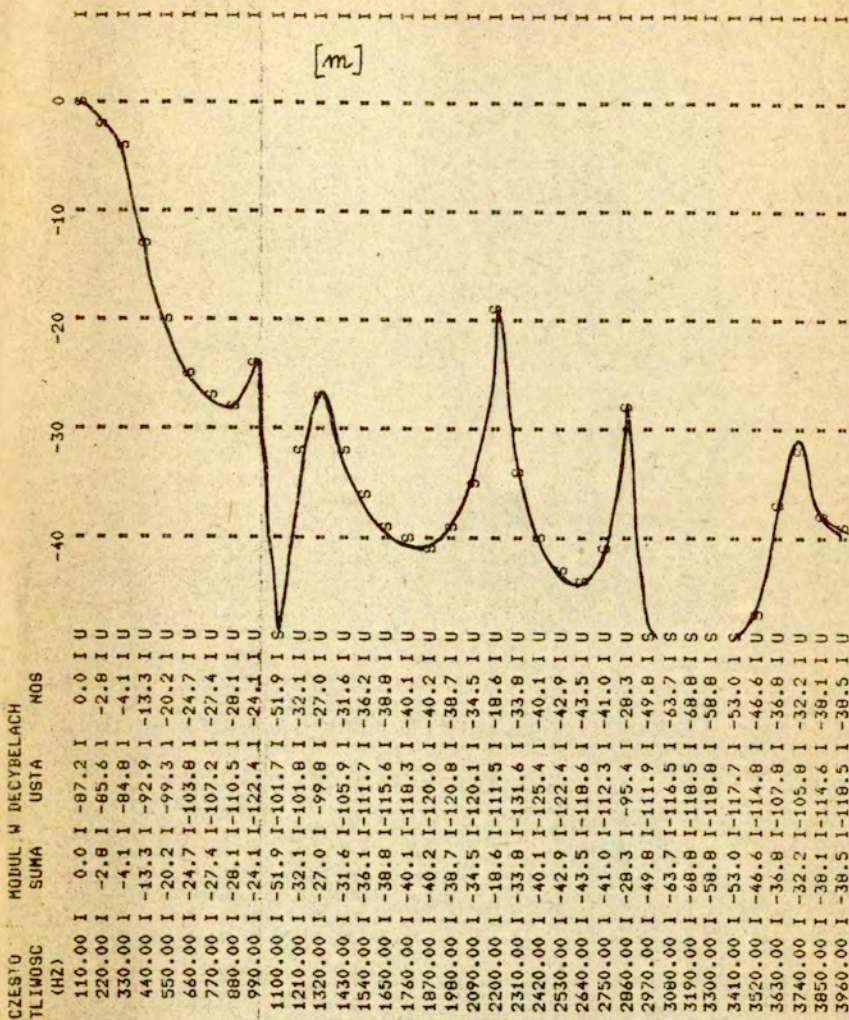
Rys. 43. Widmo ciśnienia akustycznego sygnału wyznaczonego dla spółgłoski [ŋ], przy sprzężeniu akustycznym między kanałami opisane promieniami $R_1=0.7$ cm, $R_2=1.1$ cm, $R_3=1.4$ cm.



Rys. 44. Widmo ciśnienia akustycznego sygnału wyznaczonego dla spółgłoski [n], przy sprzężeniu akustycznym między kanałami opisanymi promieniami: $R_1=0.7$ cm, $R_2=1.1$ cm, $R_3=1.4$ cm.



Rys. 45. Widmo ciśnienia akustycznego sygnału wyznaczonego dla spółgłoski [r]. Promienie wlotu do kanału nosowego wynoszą: $R_1=0.7$ cm, $R_2=1:1$ cm, $R_3=1:4$ cm.



Rys. 46. Widmo ciśnienia akustycznego sygnału wyznaczonego dla spółgłoski [m]. Promienie segmentów wejściowych do kanału nosowego wynoszą: $R_1=0.7$ cm, $R_2=1.1$ cm, $R_3=1.4$ cm.

jest ter ustny, tym niższa jest częstotliwość antyfermantu. Częstotliwości antyfermantów dla [m] 800 Hz, [n] 1200 Hz, [ɲ] 1900 Hz, [ŋ] do 3800 Hz nie występuje/.

Rezonans ustny silnie wpływa na częstotliwości i amplitudę jednego z formantów, wywołanego rezonansem nosowym.

Spółgłoski nosowe różnią się między sobą pod względem artykulacyjnym w sposób zasadniczy, a mimo to różnice w strukturze widmowej nie są tak zdecydowanie wyraźne ze względu na dużą złożoność czynników akustycznych decydujących o cechach widmowych spółgłosek nosowych. Z tego względu dane dotyczące częstotliwości formantowych i antyfermantów tych spółgłosek mają raczej charakter informacyjny niż definicyjny.

4. Zakończenie

Analizę wpływu nazalizacji na strukturę widma samogłosek i spółgłosek polskich przeprowadzone przy:

- wyznaczonym, stałym i niezmiennym się w czasie analizy miejscu dołączenia kanału nosowego do kanału gardłowo-ustnego,
- zmiennych parametrach sprzężenia akustycznego między obu kanałami,
- zmiennej konfiguracji geometrycznej teru gardłowo-ustnego.

Jak wynika z badań doświadczalnych, nazalizacja badanych samogłosek polskich objawia się wymiernymi zmianami ich struktury widmowej. Zjawisko to polega, najogólniej rzecz biorąc, na zróżnicowaniu kształtu obwiedni widma i wzbogaceniu jego struktury formantowej badanych głosek w porównaniu z widmem odpowiadającym artykulacji ustnej. Obok dodatkowych formantów nie występujących przy artykulacji ustnej pojawiają się antyfermanty wywołane boczniującym wpływem kanału nosowego.

W toku dalszych badań stwierdzone ponadto, co jest niewątpliwie nowym elementem zagadnienia, iż wpływ nazalizacji na strukturę widmową polskich samogłosek jest ściśle związany z miejscem artykulacji. Położenie i kształt języka w jamie ustnej decyduje o tym, w jakim stopniu ulega zmianie struktura formant-

twą badanych głosek na skutek zadanego sprzężenia między kanałami. Wnioski z tej analizy stwarzają możliwość bezpośredniego ich wykorzystania przy badaniu zjawiska koartykulacji, a także przy określaniu wpływu spółgłosek nosowych na samogłoski ustne w kontekstach wyrazowych.

W drugiej części pracy wyznaczone hipotetyczne przekroje artykulacyjne odpowiadające polskiemu spółgłoskom nosowym. W oparciu o skonstruowany symulacyjny model toru głosewego i zadane przekroje artykulacyjne spółgłosek nosowych [m, n, ŋ, η], wyznaczone ich charakterystyki częstotliwościowe ciśnienia akustycznego sygnału sumarycznego/ u wylotu ust i nosa/. Wyznaczone częstotliwości formantowe spółgłosek nosowych porównane z danymi źródłowymi. Dane dotyczące częstotliwości formantów i antyformantów spółgłosek nosowych mają jedynie charakter orientacyjny, z uwagi na brak możliwości bezpośredniej weryfikacji otrzymanych wyników przez wykonanie testów odsłuchowych sygnałów akustycznych posiadających strukturę widmową wyznaczoną metodą obliczeń.

Pracę wykonano w ramach problemu węzłowego 06.9
Podstawowe Problemy Elementów i Systemów Inżynierii Biomedycznej.

Literatura

1. L. Dukiewicz : 1967 Pelskie gleski nesowe PWN Warszawa.
2. G.Fant: 1960. Acoustic theory of speech production .The Hague 1960.
3. G.Fant., B.Lindblom.: 1961: Studies of minimal speech sound units. Speech Transmission Laboratory, Quarterly Progress and Status Report, 2, 1-11.
4. J.Flanagan.: 1965: Speech Analysis and Perception T.3, Springer-Verlag, Berlin.
5. O.Fujimura.: 1962: Analysis of nasal consonants. - Journ. of the Acoust. Soc. Am., t.34, 12, 1865-1875.
6. S.Hatterl.,K.Yamamette.,O.Fujimura.: 1958: Nazalization of vowels in relation to nasals.- Journ. of the Acoust. Soc. Am., t.30,4, 267-274.
7. W.Jassem.: 1973: Podstawy Fonetyki Akustycznej - PWN Warszawa.
8. J.Kacprowski.: 1963: An approach to the synthesis of Polish nasal consonants by means of the terminal analog speech synthesizer. Proc.of Vibr.Probl., 3,235-254, Warszawa.
9. J.Martony.: 1964: The role of formants amplitudes in synthesis of nasal consonants. Speech Transmission Laboratory, Quarterly Progress and Status Report, 3, 28-31, Stockholm.
10. W.Nowakowska.: 1983: Model symulacyjny toru gardlowo-ustnego - Prace IPPT, nr. 41.
11. W.Nowakowska.: 1984: Wstepne badania modelowe wplywu zjawiska nazalizacji na strukture widmowa samoglosek.- Prace IPPT, nr. 39.
12. G.Petersen.: 1961: Parameters of vowel quality.- Journ. of Speech and Hearing Research, t.4,1,10-29.

13. B. Wierzchowska.: Fonetyka i fonologia języka polskiego.
Ossolineum, Wrocław 1980.