

## PRÓBA OKREŚLENIA WPŁYWU NIEKTÓRYCH CECH TECHNICZNYCH REZONATORA ŚWIERKOWEGO NA WYBRANE PARAMETRY WZMACNIANYCH DŹWIĘKÓW

*Helena Harajda, Stefan Poliszko*

Katedra Fizyki WSR w Poznaniu

Synopsis. The effect of resonator characters upon the course of intensified sound was examined. Experiments were carried out on especially designed simple acoustic vibratory system. Plates of spruce wood provided resonators. Conclusions were drawn on the basis of a detailed analysis of oscillograph records and sound spectra.

### WSTĘP

Obszerna literatura dotycząca fizycznych właściwości drewna rezonansowego uwzględnia przede wszystkim wyniki badań prowadzonych w dwu kierunkach. Jeden z nich dotyczy standardowych próbek drewna [2, 4, 12], bez uwzględnienia jego zastosowania w charakterze rezonatora, drugi natomiast dotyczy badań drewna w formie już ukształtowanych płyt rezonansowych instrumentów muzycznych [10, 15, 16]. Płyty takie mają na ogół skomplikowane kształty, a niekiedy nawet bywają od razu wmontowane w całość, nazwijmy to „muzycznego układu”.

Autorzy tej pracy podjęli próbę zbadania, jaki wpływ wywierają pewne cechy techniczne drewna najczęściej uwzględniane przez budowniczych instrumentów muzycznych na dźwięk w prostym układzie drgającym. Układ taki składał się z trzech zasadniczych elementów: źródła dźwięku (struny), elementu sprzęgającego to źródło z rezonatorem oraz z prostego w kształcie rezonatora.

### I. CEL PRACY

Cel pracy stanowiło przeanalizowanie wpływu szerokości słoików, udziału drewna późnego oraz gęstości na przebieg oscylogramów i widm (typu widma szczytowego) dźwięków struny połączonej elementem sprzęgającym z drewnem jako rezonatorem. Poza tym postanowiono zbadać zależność wymienionych parametrów akustycznych od grubości płyt rezonansowych.

Drewno rezonansowe jako materiał cyklicznie niejednorodny wykazuje własności zróżnicowane nie tylko w obrębie gatunków, ale również w obrębie każdej próbki. Znacznie łatwiej jest więc wyodrębnić jeden parametr akustyczny dźwięku, uniezależniając się od innych, aniżeli jeden parametr techniczny. Nie wydaje się bowiem możliwe wykonanie większej liczby próbek o kształcie płytek przy stosowaniu drewna świerkowego tak, ażeby utrzymać jednakową, ściśle określoną szerokość słoików rocznych przy niezmiennym udziale drewna późnego oraz przy stałej gęstości. Celowe jest więc postawienie zagadnienia w ten sposób, że badamy jedynie, czy wpływ jednego z wymienionych parametrów wykazuje wyraźny prymat w stosunku do innych, przy możliwie dokładnym określeniu granicy zmienności tych parametrów.

## II. MATERIAŁ DOŚWIADCZALNY I APARATURA

Badany rezonator stanowiły płytki z drewna świerkowego, przeznaczonego do produkcji instrumentów strunowych. Odpowiadało ono więc ogólnie przyjętym normom obowiązującym przy doborze drewna rezonansowego.

Przebadano łącznie 53 płytki, w tym 19 o wymiarach  $450 \times 80 \times 3$  mm, 20 o wymiarach  $450 \times 80 \times 4$  mm i 14 o wymiarach  $450 \times 80 \times 5$  mm.

Przy pomiarach szerokości słoików rocznych oraz szerokości warstwy drewna późnego w słoju posłużono się mikroskopem pomiarowym PZO PT 339 o dokładności pomiaru do 0,01 mm. Umożliwił on również kontrolę równoległości słoików dając odczyt odchyłeń od równoległości do  $1^\circ$ .

Masę płytek określano przez ważenie na wadze półautomatycznej WT 11 z dokładnością do  $\pm 0,025$  g.

Grubość płytki mierzono śrubą mikrometryczną z dokładnością do 0,01 mm.

Kontrolę wilgotności przeprowadzono wilgotnościomierzem „Feutron” typ 2124, stosując elektrody stykowe (dokładność odczytu  $\pm 0,5\%$ ).

Przy pomiarach akustycznych w skład zestawu aparatury wchodziły:

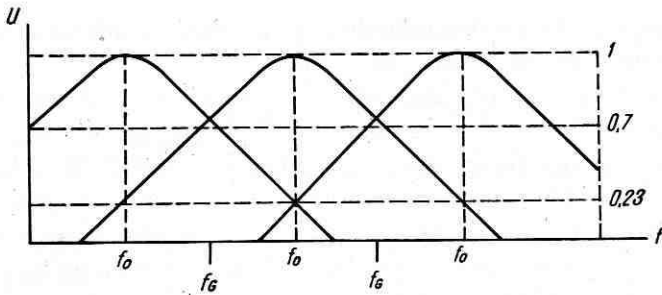
- oscylograf trójpętlicowy Os 3P-3 (wprowadzono na jedną pętlę sygnał badany, na drugą częstość wzorcową z generatora); dokładność pomiaru amplitudy 1%.

- generator tonów sinusowych „Zopan RC” typ PO-16, o zakresie częstości od 20 do 20 000 Hz;

- oscyloskop typ Ok 8-2s;

- analizator filtrowy F Sp 10a, o filtrach  $1/4$ -oktawowych, obejmujących zakres częstości od 40 do 20 000 Hz. Charakterystykę filtrów analizatora podano na rys. 1.

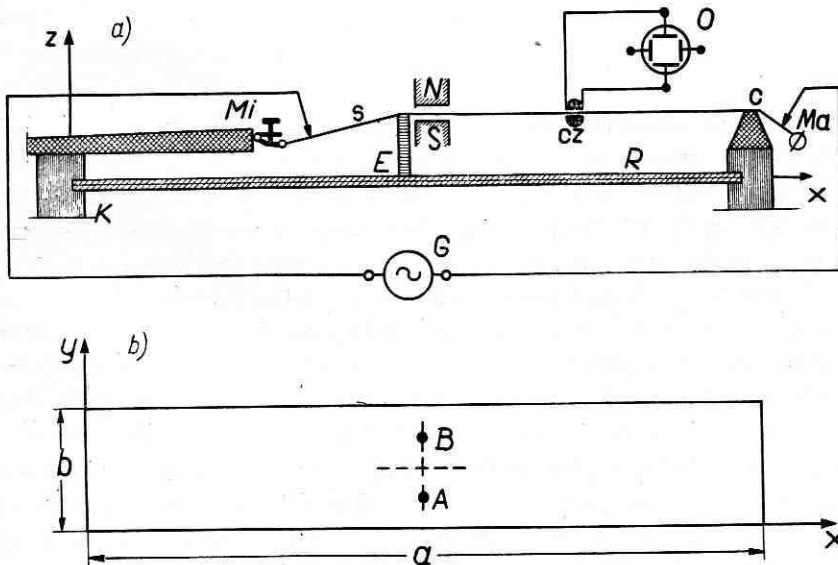
Oprócz aparatury typowej zastosowano do pomiaru własności akustycznych nietypowy zestaw przedstawiony schematycznie na rys. 2a, b. W skład jego wchodziła ciężka żeliwna konstrukcja *K* z wmontowaną płytką-rezonatorem *R* oraz uchwyty do zamocowania struny. W jeden z tych uchwytów wstawiono kolki do makrostrojania *Ma*, a w drugi mikrośrubę do dokładnego strojenia *Mi*.



Rys. 1. Charakterystyka filtrów analizatora F Sp-10a:  $f_0$  — częstość środkowa filtru,  $f_G$  — częstości graniczne filtru

Dźwięki struny nagrywano na taśmę magnetofonową używając magnetofonu „Tesla” typ B-42 oraz mikrofonu dynamicznego „Tesla”. Układ magnetofon-mikrofon wykazywał płaską charakterystykę częstościową w zakresie od 100 do 12 000 Hz.

Krawędzie badanej płytki rezonansowej  $x=0$  oraz  $x=a$  zamocowano sztywno w uchwytach konstrukcji żeliwnej. Element sprzęgający  $E$ , o kształcie zbliżonym do kształtu podstawka skrzypcowego, wykonany z drewna platanu



Rys. 2. Nietypowy zestaw aparatury do pomiaru własności akustycznych płyt rezonansowych

ustawiono tak, że środki jego nóżek stykały się z płytką w punktach  $A$  ( $x=a/2$ ,  $y=b/4$ ) i  $B$  ( $x=a/2$ ,  $y=3b/4$ ). Struna  $S$  była napięta nad środkiem płytki  $y=b/2$ , a jeden jej koniec w pozycji odpowiadającej  $x=a/4$  zamocowany był w uchwycie mikrośruby. Na odcinku  $x=a/2 \pm \varepsilon$  ( $\varepsilon$  — połowa grubości elementu sprzęgającego) struna opierała się o małe wyżłobienie w elemencie sprzęgają-

cym. W punkcie *C* struna opierała się o wyżłobienie w nieruchomym wsporniku, przymocowanym do żeliwnej konstrukcji.

W odległości 1/2 cm od elementu sprzęgającego część aktywna struny była umieszczona w stałym polu magnetycznym NS na odcinku 2 cm. Pole to przebiegało prostopadle do powierzchni badanej płytki. W odległości 3 cm nad środkiem części aktywnej struny umieszczono czujnik elektromechaniczny *Cz*. Końce struny połączone były z wtórnikowym wyjściem generatora *G*. Z generatora podawano na strunę prąd o częstości 440 Hz o stałej amplitudzie. W celu uzyskania dokładnego stroju struny, regulowano jej naprężenie najpierw makrośrubą, a następnie mikrośrubą tak długo, aż czujnik połączony z oscyloskopem *O* dawał maksymalne wychylenie.

Strunę pobudzano do drgań sposobem elektromagnetycznym i sposobem mechanicznym. W pierwszym przypadku wykorzystywano opisany poprzednio obwód generator-struna. Częstość prądu podawanego na strunę zmieniała się w sposób ciągły od 300 do 5000 Hz. W drugim przypadku strunę wzbudzano pizzicato, tj. odciągając ją od położenia równowagi ze stałą siłą, a następnie zwalnając, ażeby mogła swobodnie drgać. Wzbudzenie następowało w części aktywnej struny w odległości 3 cm od elementu sprzęgającego, tj. prawie przy samym magnesie.

### III. POMIARY

#### 1. POMIARY WILGOTNOŚCI

Przeznaczone na płytki drewno podlegało wszystkim procesom suszenia tak, jak drewno używane do budowy rezonatorów w instrumentach muzycznych. Po sezonowaniu na wolnym powietrzu suszono je w fabrycznych suszarniach komorowych. Płytki po wykonaniu sezonowano jeszcze w warunkach pokojowych przez dwa lata. Po tym okresie drewno umieszczono w komorze o małych wahaniach wilgotności powietrza. Po kilku tygodniach stwierdzono, że wilgotność ich ustaliła się w granicach od 11,2 do 11,8%. Pomiarów wilgotności płyt przeprowadzane przed i po każdym badaniu wykazały, że utrzymywała się ona w wymienionych granicach. Pomiarów dokonywano w kilku różnych miejscach każdej płyty i obliczano średnią wilgotność. Jako ciekawostkę można podać, że jedna z płyt (grubości 4 mm), zaimpregnowana przypadkowo jakąś nieznaną substancją na około 1/3 swej powierzchni, wykazywała zwiększającą się wilgotność od części czystej do impregnowanej do 14%. Fakt ten zasługuje na uwagę dlatego, że wyniki analizy dźwięku przy użyciu tej właśnie płyty jako rezonatora przeważnie znacznie odbiegały od wszystkich pozostałych.

#### 2. POMIARY SZEROKOŚCI SŁOJÓW ORAZ UDZIAŁU DREWNA PÓZNEGO

Szerokość słoików *d* mierzono na próbkach odciętych od badanych płytek przy nadawaniu im odpowiednich wymiarów. Zarówno szerokość słoików, jak szerokość strefy drewna późnego mierzono wzdłuż całej próbki i obliczano wartości średnie.

Średni udział drewna późnego  $p_2$  obliczono w procentach średniej szerokości słoików.

### 3. POMIARY GĘSTOŚCI DREWNA

Średnią gęstość drewna obliczano osobno dla każdej płytki jako stosunek masy do objętości [ $\text{gem}^{-3}$ ].

Grubość płytek ustalano jako średnią arytmetyczną z 20 pomiarów wykonanych na każdej płytce.

Masę płytek określano ważąc je przed i po każdym badaniu i obliczając wartość średnią.

### 4. POMIARY WŁASNOŚCI AKUSTYCZNYCH

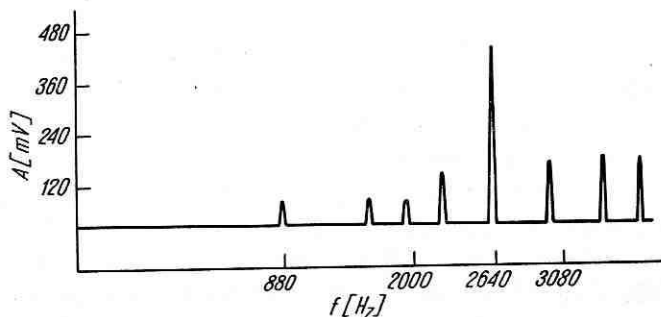
Wzbudzone poprzednio opisanymi metodami dźwięki nagrane zostały na taśmie magnetofonowej. Mikrofon był przez cały czas nagrań zamocowany na stałe w odległości 5 cm od miejsca wzbudzenia struny, przy czym powierzchnia jego pozostawała równoległa do powierzchni badanej płytki.

Przeprowadzono dwa rodzaje pomiarów: pomiary amplitudy i obliczenia stałej czasu wygasania drgań na podstawie oscylogramów, a następnie pomiary amplitud poszczególnych składowych dźwięku na podstawie widm uzyskanych z analizatora.

Przy wszystkich pomiarach utrzymywano niezmiennie wzmocnienie na torze akustycznym.

Oscylogramy przedstawiały zmianę napięć przekazywanych z wyjścia magnetofonu na pętlę oscylografu. Zmiany te odpowiadały zmianom amplitud nagranych dźwięków.

Przy rejestracji zmian amplitud dźwięków wzbudzonych metodą elektromagnetyczną uzyskano oscylogramy tego typu, jak na rys. 3. Wysokości widocznych tutaj prążków przedstawiają wartość napięcia odpowiadającą amplitudzie wzbudzonego na danej częstotliwości dźwięku. Ponieważ zarówno struna, jak i element sprzęgający pozostawały przez cały przebieg pomiarów nie zmienione, zmiany amplitudy dźwięków, odpowiadające tym samym czę-

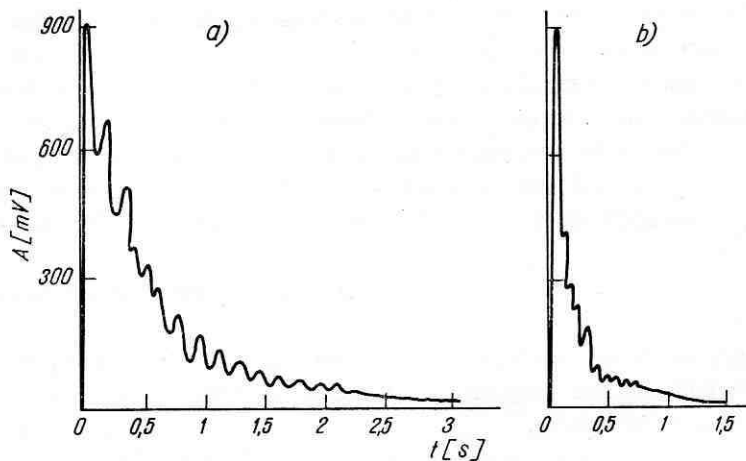


Rys. 3. Przykład zapisu oscylograficznego amplitud dźwięków rezonansowych układu: struna — element łączący — płytka rezonansowa

tościom wzbudzającym, obserwowane przy porównywaniu oscylogramów, można przypisywać działaniu rezonatora.

Przy pomiarach wzięto pod uwagę amplitudy dźwięków odpowiadających częstościom wzbudzającym 440 Hz (ton podstawowy, czyli pierwszy ton harmoniczny struny), 880 Hz (drugi ton harmoniczny struny), 2640 oraz 3080 Hz (najsilniej wzmacniane częstotliwości).

Zarejestrowano również oscylograficznie zmiany amplitud dźwięków wzbudzanych pizzicato. Zwiększono przy tym tak prędkość przesuwu papieru fotograficznego, ażeby można było zmierzyć amplitudę każdego drgania. Przy tych zapisach dodatkowo podawano z generatora drgań sinusowych na drugą pętlę wzorcowe drgania o częstości 20 Hz (rys. 4). Pozwoliło to na



Rys. 4. Zapis oscylograficzny przebiegu amplitudy drgania swobodnie wygasającego: *a* — dla rezonatora grubości 5 mm, *b* — dla rezonatora grubości 3 mm

dokładne obliczenie czasu wygasania drgań. Na podstawie tych oscylogramów obliczono stałą wygasania drgań ze wzoru

$$\delta = \frac{\ln A_0 - \ln A}{T} \left[ \frac{1}{s} \right]$$

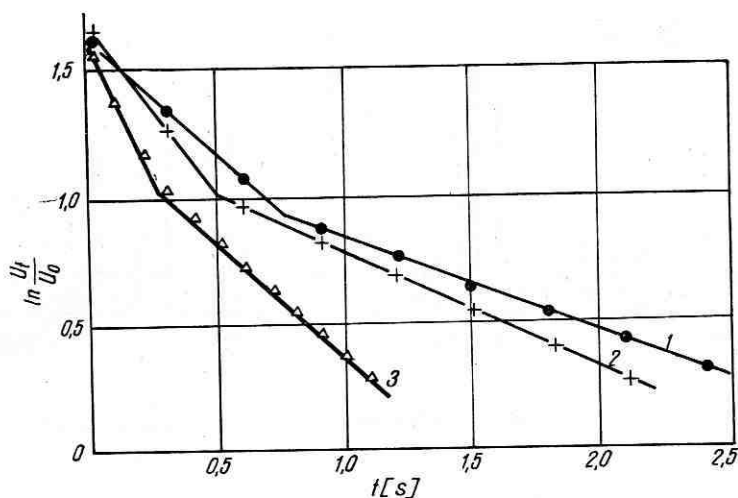
gdzie:  $\delta$  — stała wygasania drgań w  $s^{-1}$ ,

$A_0$  — amplituda początkowa w mm,

$A$  — amplituda końcowa w mm,

$T$  — czas potrzebny na zmniejszenie się amplitudy od  $A_0$  do  $A$ .

Czas  $T$  obliczano dla zmniejszenia się amplitudy 2e razy ( $e$  — podstawa logarytmów naturalnych), przyjmując amplitudę początkową 24 mm. Wartość  $\delta$  informuje o tłumieniu drgań przez cały układ. Na rys. 5 podano typowe przebiegi wygasania drgań przy zastosowaniu rezonatorów o różnych grubościach. We wszystkich pokazanych przypadkach następowało szybkie wybrzmiewanie dźwięku w krótkim czasie, a następnie zachodziło wybrzmiewanie znacznie

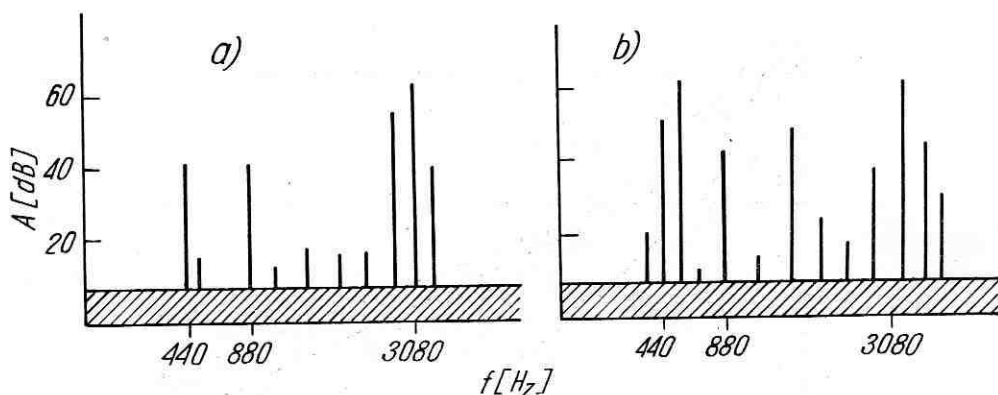


Rys. 5. Typowe przebiegi wygasania swobodnego drgań przy rezonatorach grubości: 1 - 5 mm, 2 - 4 mm, 3 - 3 mm

wolniej (na tym drugim odcinku dokonywano pomiarów). Być może, takie ukształtowanie się przebiegu wygasania dźwięku jest wynikiem współistnienia dwu sprzężonych systemów drgających (struny i płyty rezonansowej). Przebieg taki powoduje, że wykonane obliczenia  $\delta$  obarczone są pewnym błędem. Nie ma to jednak istotnego znaczenia, gdy otrzymane wyniki traktuje się porównawczo.

Dźwięki struny uzyskane przez wzbudzenie pizzicato, jak wszystkie dźwięki muzyczne, składają się z szeregu tonów składowych, zwanych tonami harmonicznymi. Częstości tonów harmonicznymi są wielokrotnościami częstości pierwszego tonu harmonicznego danego dźwięku. Częstość tego pierwszego tonu, zwanego tonem podstawowym, stanowi o częstości słyszalnej, a więc o wysokości całego dźwięku. Od ilości, wartości i wzajemnych stosunków natężeń tonów harmonicznymi, podobnie, jak od poprzednio obliczanego czasu zanikania dźwięku, zależy barwa dźwięków instrumentów muzycznych. Szczególnie duże znaczenie przypisuje się tonowi podstawowemu.

Dlatego też oprócz oscylogramów wykonano widma wzbudzanych pizzicato dźwięków. Doświadczalnie stwierdzono, że rozrzut wartości amplitud przy tym sposobie wzbudzania nie przekraczał 4%. W celu zarejestrowania widma dźwięku, na wejście analizatora podawano kolejno pięć następujących bezpośrednio po sobie dźwięków uzyskanych przy zastosowaniu tego samego rezonatora. Ukazujący się na ekranie analizatora obraz w postaci szeregu prążków świetlnych fotografowano. Czas ekspozycji równy był czasowi trwania tych pięciu dźwięków. W ten sposób powstawało widmo przedstawiające zbiór maksymalnych amplitud uzyskanych w zakresie analizowanych dźwięków, przyporządkowanych poszczególnym częstościom [17] (rys. 6). Takie widmo, powstałe na skutek superpozycji widm poszczegól-



Rys. 6. Widma swobodnie wygasającego dźwięku  $a^1$  (440 Hz) przy rezonatorach grubości:  
*a* — 3 mm, *b* — 5 mm

nych dźwięków, z pewnym przybliżeniem można uważać za szczytowe. Ten typ widma można wyrazić wzorem

$$\Delta A(\omega) = \sup_{t \in (t_1, t_2)} \{A(\omega, t)\}$$

gdzie: *A* — amplituda,  
 $\omega$  — prędkość kątowna,  
*t* — czas.

Oprócz właściwych prążków widmowych na pokazanym na rys. 6 widmie wystąpiły również, w związku z podaną na rys. 1 charakterystyką analizatora, dodatkowe prążki boczne. Na skutek tego przy obliczaniu wartości amplitud zachodzi konieczność wprowadzenia poprawek związanych z charakterystyką filtrów analizatora.

#### IV. WYNIKI POMIARÓW

Wyniki pomiarów gęstości drewna użytego jako rezonator, szerokości jego słoików, udziału drewna późnego, wielkości amplitud tonów rezonansowych układu uzyskanych na oscylogramach oraz amplitud składowych w widmie dźwięku  $a^1$  (440 Hz) wzbudzonego pizzicato (po uwzględnieniu poprawek związanych z charakterystyką filtrów analizatora stosowanego przy pomiarach) podano w tab. 1 — 3.

Na podstawie tych tabel wykonano wykresy korelacyjne, takie, jak na rys. 7 i 8, określające korelację między gęstością, szerokością słoików i udziałem drewna późnego a wymienionymi poprzednio amplitudami. Obserwacje rozrzutu punktów na wykresach i dane tabelaryczne prowadzą do następujących wniosków.

Nie występuje jednokierunkowa zależność amplitudy dźwięków zarejestrowanych na oscylogramach od gęstości drewna (dane w tabelach podane w mV). Daje się jednak zaobserwować niewielki spadek amplitudy niższych dźwięków odpowiadających częstotliwościom wzbudzającym 440 i 880 Hz przy



Tabela 1

Wyniki pomiarów dla płytek rezonansowych grubości około 3 mm

Nr płytki	$g$ g/cm <sup>3</sup>	$p_2$ %	$d$ mm	$A$ (mV)				$A$ (dB)			
				440 Hz	880 Hz	2640 Hz	3080 Hz	440 Hz	880 Hz	1320 Hz	3080 Hz
1	0,45	25	1,20	24	48	290	120	39	22	9	25
2	0,49	24	1,60	40	42	400	338	18	39	5	37
3	0,54	28	1,25	20	66	480	192	35	20	21	39
4	0,46	23	2,08	54	48	312	159	35	23	28	35
5	0,38	14	1,93	24	42	384	126	33	30	34	28
6	0,46	28	1,47	48	38	108	300	21	38	21	34
7	0,41	15	1,43	84	54	360	228	36	25	23	38
8	0,43	18	2,05	48	42	375	276	38	22	6	24
9	0,43	22	1,41	36	72	384	192	33	33	15	39
10	0,48	50	1,54	36	60	132	312	18	39	7	38
11	0,53	25	1,05	30	42	445	216	18	36	9	16
12	0,53	15	1,40	36	54	60	96	34	27	9	26
13	0,52	32	1,06	24	48	108	240	35	16	10	17
14	0,49	22	1,68	84	48	84	228	35	33	10	28
15	0,45	16	2,33	90	48	300	168	33	30	15	39
16	0,49	23	1,36	48	42	132	156	39	39	11	39
17	0,56	32	1,42	66	54	108	252	38	33	5	20
18	0,53	26	1,33	60	60	180	162	22	18	11	26
19	0,48	20	1,64	54	60	162	252	33	18	5	27

wzroście gęstości w przypadku rezonatorów grubości 3 i 4 mm. Przy wyższych częstościach wzbudzających (2640 i 3080 Hz) i w przypadku rezonatorów grubości 4 mm występuje nieznaczny wzrost amplitudy wraz ze wzrostem gęstości. Dla rezonatorów grubości 5 mm brak jakiejkolwiek zależności amplitudy od gęstości.

Jeszcze mniej wyraźnie zarysowują się zależności amplitud składowych harmoniczných widm od gęstości (dane w tabelach wyrażone w dB). Przy niższych częstościach tylko dla rezonatorów grubości 4 mm amplitudy pierwszej składowej oraz dla rezonatorów grubości 3 mm amplitudy drugiej składowej nieznacznie maleją ze wzrostem gęstości. Natomiast amplitudy najwyższej badanej składowej przy rezonatorach grubości 4 mm nieco rosną ze wzrostem gęstości. Pozostałe wykresy wskazują na brak jakiejkolwiek zależności amplitud składowych harmoniczných widma od gęstości drewna.

Z wykresów korelacyjnych amplitudy i procentowego udziału drewna późnego  $A=f(p_2)$  wynika, że brak jakiejkolwiek zależności pomiędzy tymi wielkościami zarówno gdy chodzi o amplitudy podane na oscylogramach (w mV), jak i amplitudy składowych harmoniczných widm dźwięku  $a^1$  (w dB). Dotyczy to całego zakresu badanych częstości.

Nieznaczną zależność amplitud składowych harmoniczných (w dB) od szerokości słojuw uzyskano dla obu wyższych składowych przy rezonatorach grubości 3 mm. Wielkość ich bowiem wzrasta ze wzrostem szerokości słojuw.

Tabela 2

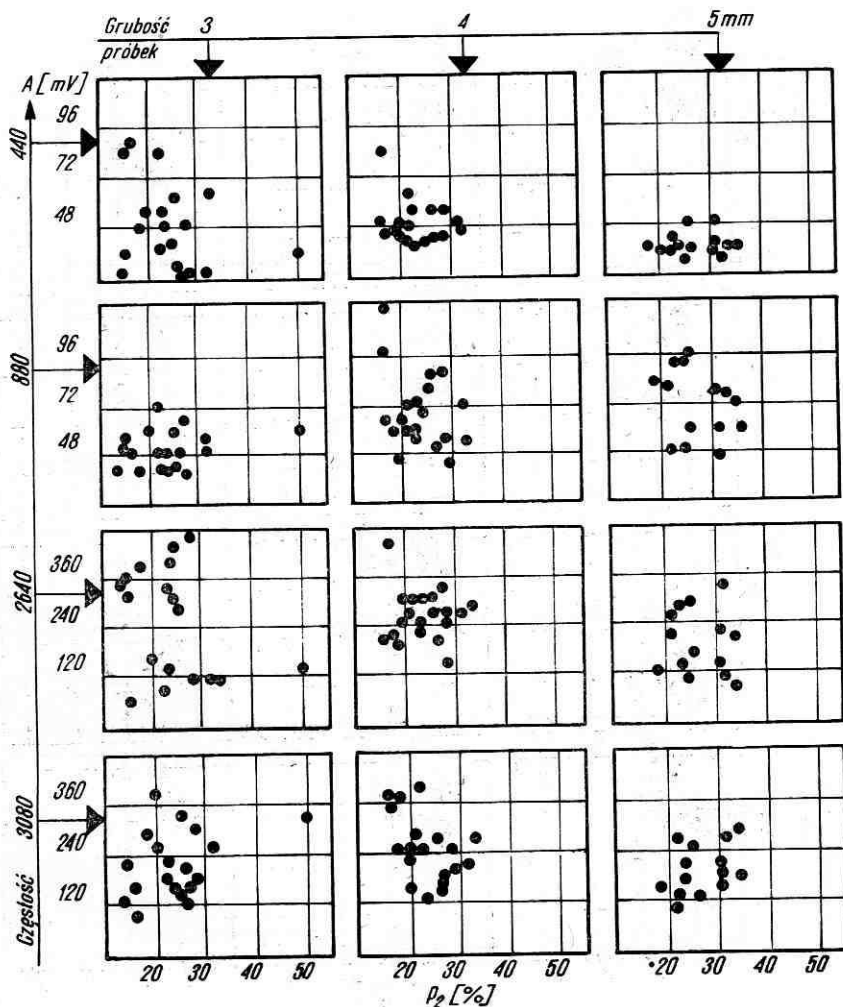
Wyniki pomiarów dla płytek rezonansowych grubości około 4 mm

Nr płytki	$g$ g/cm <sup>3</sup>	$p_2$ %	$d$ mm	$A$ (mV)				$A$ (dB)			
				440 Hz	880 Hz	2640 Hz	3080 Hz	440 Hz	880 Hz	1320 Hz	3080 Hz
1	0,48	28,8	1,20	54	60	276	192	30	18	16	19
2	0,48	25,5	1,05	42	78	264	260	31	20	22	19
3	0,52	26,8	1,32	54	84	336	156	34	4	23	18
4	0,44	16,6	1,96	84	114	216	372	34	13	10	35
5	0,54	31,5	0,98	48	72	264	216	26	29	20	29
6	0,46	27,6	1,36	42	84	144	192	34	10	2	2
7	0,49	22,1	1,75	42	60	226	196	35	25	15	36
8	0,44	21,5	1,86	48	72	300	288	30	25	32	28
9	0,56	32,9	1,34	45	54	280	267	33	20	33	33
10	0,44	18,4	1,24	45	60	210	354	33	27	31	34
11	0,49	20,1	1,19	45	66	300	228	33	29	26	31
12	0,45	22,0	0,91	42	58	240	254	32	33	33	27
13	0,48	22,3	2,11	60	72	300	384	33	24	34	23
14	0,53	28,6	1,70	62	62	240	300	28	10	31	29
15	0,49	18,0	1,15	45	66	216	240	32	22	28	33
16	0,49	16,6	2,54	49	99	437	355	32	33	20	34
17	0,46	22,7	1,20	54	68	300	120	17	29	24	16
18	0,48	27,0	1,36	24	49	204	162	30	23	34	35
19	0,44	20,5	3,04	45	60	264	144	32	20	32	25
20	0,43	19,6	1,65	49	46	247	240	29	22	34	26

Tabela 3

Wyniki pomiarów dla płytek rezonansowych grubości około 5 mm

Nr płytki	$g$ g/cm <sup>3</sup>	$p_2$ %	$d$ mm	$A$ (mV)				$A$ (dB)			
				440 Hz	880 Hz	2640 Hz	3080 Hz	440 Hz	880 Hz	1320 Hz	3080 Hz
1	0,47	25,1	1,07	30	48	103	209	13	10	12	24
2	0,51	31,2	1,35	48	60	135	150	25	38	22	39
3	0,51	26,2	1,20	36	60	156	114	24	36	13	32
4	0,50	34,8	1,06	36	60	84	168	24	24	13	39
5	0,52	24,2	1,56	42	92	270	162	30	36	13	39
6	0,43	19,1	1,20	37	82	126	138	31	18	11	20
7	0,54	32,0	1,40	32	77	103	259	25	35	9	19
8	0,47	25,7	0,81	48	96	288	230	25	32	8	23
9	0,58	31,0	1,00	37	43	330	180	28	28	9	27
10	0,52	24,3	1,24	37	92	136	253	24	30	18	38
11	0,53	34,0	1,12	36	72	204	69	30	39	12	25
12	0,54	30,8	1,43	36	77	216	202	16	25	6	25
13	0,45	22,0	1,91	36	48	252	97	20	31	20	29
14	0,48	21,9	1,16	36	80	216	120	24	30	16	34

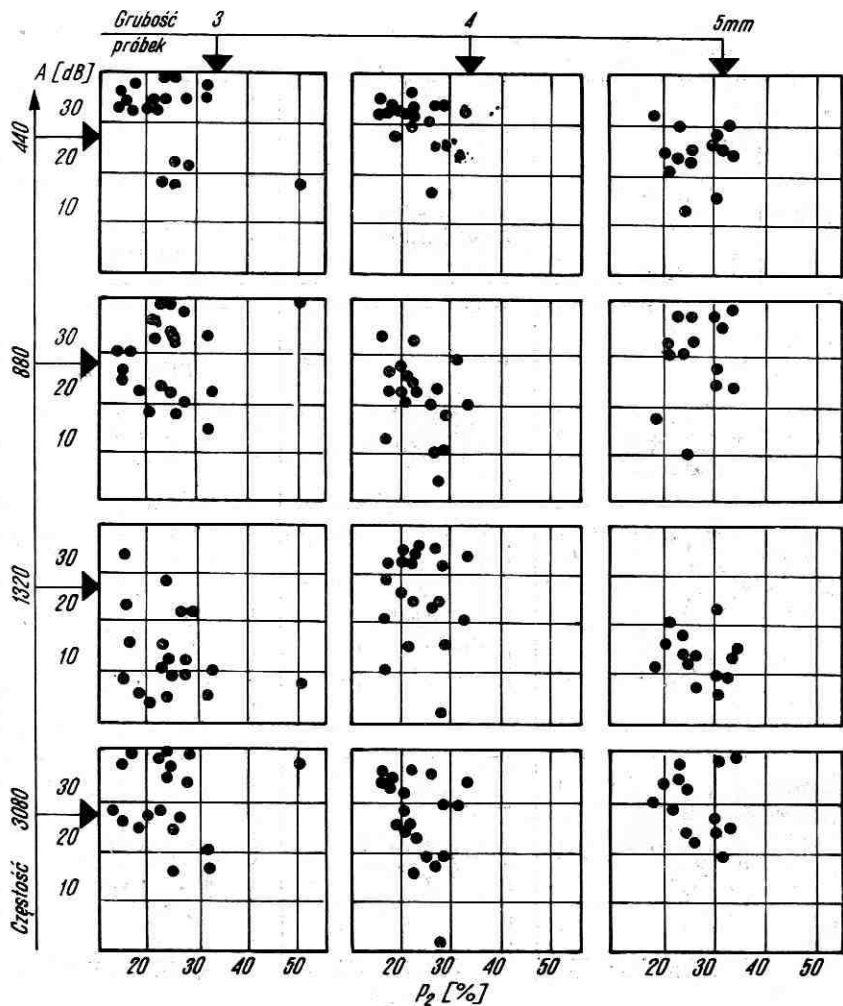


Rys. 7. Wykres korelacyjny przedstawiający zależność amplitudy dźwięków rezonansowych układu od udziału procentowego drewna późnego

Wzrasta również nieco amplituda składowej o częstotliwości 1320 Hz przy rezonatorach grubości 5 mm. Dla pozostałych składowych nie stwierdzono wyraźnej zależności amplitud od szerokości słoików.

Wyraźnie natomiast zaznaczyło się zmniejszanie rozpiętości rozrzutu amplitud najniższego tonu składowego widma wraz ze zwiększaniem się grubości rezonatora.

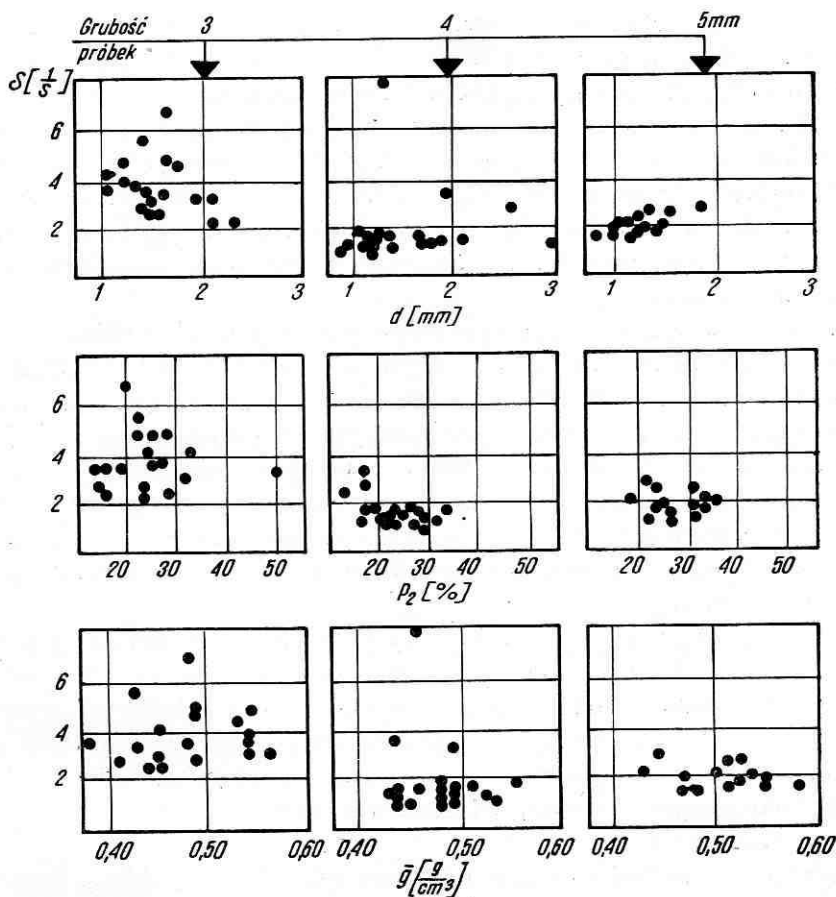
Średnie wartości amplitud poszczególnych tonów składowych są zawsze większe dla rezonatorów grubości 4 mm niż dla rezonatorów grubości 3 mm, z wyjątkiem drugiej składowej w widmie. Są one również większe od składowych przy rezonatorach grubości 5 mm z wyjątkiem częstotliwości 880 Hz w zapisie oscylograficznym i drugiej składowej harmonicznej widma.



Rys. 8. Wykres korelacyjny przedstawiający zależność amplitud składowych harmonicznych dźwięku  $a^1$  od udziału procentowego drewna późnego

Zależność stałej wygasania drgań, obliczonej z oscylogramów dźwięków wzbudzonych pizzicato, od gęstości, udziału drewna późnego i szerokości słoików rocznych oraz grubości płytki rezonującej przedstawiają wykresy podane na rys. 9. Wielkość ta maleje przy wzroście szerokości słoików w przypadku zastosowania rezonatorów grubości 3 mm, wzrasta natomiast ze wzrostem grubości słoików w przypadku zastosowania rezonatorów grubości 4 i 5 mm. Maleje ona również nieznacznie ze wzrostem udziału drewna przy zastosowaniu rezonatorów grubości 4 mm. Wykresy korelacyjne stałej wygasania drgań i udziału drewna późnego dla rezonatorów grubości 3 i 5 mm nie wykazują żadnej zależności pomiędzy tymi parametrami.

Nie uzyskano również wyraźnej zależności stałej wygasania drgań od gęstości drewna.



Rys. 9. Wykresy korelacyjne przedstawiające zależność stałej wygasania drgań od szerokości słoików rocznych drewna  $d$ , udziału procentowego drewna późnego  $p_2$  oraz gęstości drewna  $g$

Zaznaczyło się natomiast wyraźne zmniejszanie się obszaru rozrzutu punktów na wykresach korelacyjnych wraz ze zwiększaniem się grubości rezonatora, przy czym średnia wartość stałej wygasania drgań jest najmniejsza przy rezonatorach grubości 4 mm.

## V. WNIOSKI

1. Czas wybrzmiewania badanych dźwięków wygasających w sposób swobodny i amplitudy obserwowanych tonów składowych nie wykazują wyraźnej zależności od gęstości, szerokości słoików rocznych i udziału procentowego drewna późnego rezonatorów o różnych grubościach. Świadczy to w pewnej mierze o adekwatności stosowanych dotąd kryteriów doboru drewna

świerkowego na płyty rezonansowe. Zawężenie stosowanych obecnie w normach drewna rezonansowego granic zmienności wymienionych cech drewna nie powodowałoby określonych zmian w jakości dźwięku.

2. Zmiany grubości płyty rezonansowej wpływają w znacznej mierze na wielkość amplitudy tonu podstawowego (tj. pierwszego tonu harmonicznego), wybrzmiewającego swobodnie dźwięku  $a^1$  oraz na czas trwania tego dźwięku. Można przypuszczać, że istnieje optymalna grubość rezonatora dla danego układu (rys. 9). W stosowanym przy tych badaniach układzie wynosi ona 4 mm.

3. W kilku przypadkach zarysowały się zmiany w wielkościach amplitud dźwięków rezonansowych układu drgającego oraz tonów harmonicznym występujących na obserwowanych widmach dźwięków, związane ze zmianami gęstości drewna i szerokości słoju rocznych. Nie występowały one jednak w jednakowy sposób dla rezonatorów o różnych grubościach. To nasuwa przypuszczenie, że takie same zmiany amplitud można by uzyskać zmieniając grubość lub kształt rezonatora, co jest znacznie łatwiejsze do wykonania niż przeprowadzenie szczegółowego doboru drewna pod względem gęstości czy szerokości słoju.

4. W układach drgających, w których zastosowano rezonatory grubości 4 mm, w większości rozpatrywanych przypadków amplitudy zarejestrowanych tonów były większe od odpowiednich amplitud tonów składowych wytwarzanych przez układy o rezonatorach grubości 3 i 5 mm. Dowodziłoby to, że w każdym układzie drgającym można zmieniać w pewnym, ściśle dla danego układu określonym zakresie, wielkość amplitud dźwięków przez zmianę grubości rezonatora.

Wszystkie wymienione wnioski dotyczą tylko drewna, którego parametry techniczne i fizyczne mieszczą się w normach obowiązujących na drewno rezonansowe.

#### LITERATURA

1. Barducci I., Pasqualini G.: Misura dell attrito interno e delle elastiche del legno. Inst. Nazionale di Ultracustica O. M., Corbino 1954.
2. Bielezyk S., Bobrowicz E.: Badanie niektórych własności świerkowego drewna rezonansowego pochodzenia polskiego i rumuńskiego. „Prace ITD” 1960; z. 2.
3. Drgania i fale. Praca zbiorowa pod red. S. Kaliskiego. IPPT, Warszawa 1966.
4. Gonet B.: Zagadnienie drewna rezonansowego w Polsce. „Przemysł Drzewny” 1965; nr 11.
5. Gonet B.: Wstępne badania świerkowego drewna rezonansowego krajowego pochodzenia. „Sylwan” 1966; nr 3.
6. Harajda H.: Projet de classification du timbre du violon. „Bulletin de la Société des Amis des Sciences et des Lettres” 1966; Seria B, t. XIX.
7. Herman R. F. S.: Theore of the Vibration Testing of Wood. „Forest Products Journal” 1966; nr 8.
8. Holz D.: Untersuchungen an Resonanzhölzern. „Archiv für Forstwesen” 1966; nr 11/12.

9. Holz D.: Untersuchungen an Resonanzhölzern. „Archiv für Forstwesen” 1967; nr 1.
10. Jankowski B. A.: Razliczije akustičeskich parametrov niewydierżannoj i starinnoj dreviesiny. „Akustičeskij Žurnal” 1967; nr 1.
11. Kollman F.: Technologie des Holzes. Berlin 1951.
12. Kollmann F., Krech H.: Dynamische Messung der elastischen Holzeigenschaften und der Dampfung. „Holz als Roh- und Werkstoff” 1960; nr 2.
13. Krzysik F.: Nauka o drewnie. Warszawa 1957.
14. Kwiek M., Harajda H., Urbański R.: Próba obiektywnej oceny skrzypiec przy zastosowaniu analizy widmowej dźwięku. „Prace X Jub. Seminarium Otw. z Akustyki”. Poznań 1967.
15. Möckel O.: Die Kunst des Geigenbaues. Berlin 1954.
16. Rijmskij-Korsakow A. W., Diakonow N. A.: Muzykalnyje instrumenty. Moskwa 1952.
17. Ryffert H.: Metody analizy widmowej niestacjonarnych przebiegów akustycznych. Poznań 1961.

*Гелена Гарайда, Стефан Полишко*

#### ПОПЫТКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЕЛОВОГО РЕЗОНАТОРА НА ИЗБРАННЫЕ ПАРАМЕТРЫ УСИЛИВАЕМЫХ ЗВУКОВ

##### Краткое содержание

Исследования проводились с помощью системы состоящей из струны, резонатора и деревянного сцепляющего элемента. Резонатором была плита из еловой древесины.

Вся система была закреплена в чугунной конструкции с очень большой массой в сравнении с массой резонатора и помещена на бетонном кронштейне, предохраняющем от колебаний передаваемых из помещения. Резонатор был укреплен зажимами охватывающими два противоположные более узкие бока плиты. Струна — специальными зажимами, делающими возможным ее точную настройку. Настройка производилась с применением осциллоскопа принимая как основную частотность струны камертоновый звук  $a^1$ —440 гц. Колебания струны производились двумя способами:

- 1) электромагнитическим способом,
- 2) извлечение звука способом пиччатого.

Над местом извлечения звука был помещен микрофон на расстоянии около 5 см. Полученные звуки регистрировались на магнитофонной ленте, а потом они подвергались осциллографическому и спектральному анализу. Спектральный анализ производился с помощью фильтрового анализатора и была применена регистрация спектра фотографическим методом.

Применяя оба метода были получены кривые переноса вибрирующей системы в пределах от 300 гц до 4500 гц, а также крайние спектры для пяти поочередно извлекаемых звуков  $a^1$ . Измерения проводились на 54 плитках. Для каждой плитки была вычислена средняя плотность древесины. С помощью микроскопа были произведены измерения ширины слоев, а также вычислено процентное участие поздней древесины, для каждой плиты в отдельности.

Опираясь на полученные технологические данные, а также на осциллограммы и спектры извлеченных звуков, была сделана попытка проведения корреляции между процессом интенсивности усиливаемых пределов частотности, иногда тембра звуков, напряжением основного тона и размещением резонансов в спектре и толщиной плиты-резонатора, ее плотностью, шириной слоев и участием поздней древесины.

В результате опытов и статистического анализа не установлено, чтобы плотность селовой древесины, ширина слоев и участие поздней древесины, изменяющиеся в пределах допускаемых стандартом для резонансной древесины, влияли существенным образом на исследуемые акустические параметры.

*Helena Harajda, Stefan Poliszko*

### TENTATIVE DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF CERTAIN TECHNICAL CHARACTERS OF SPRUCE RESONATOR UPON SELECTED PARAMETERS OF AMPLIFIED SOUNDS

#### Summary

Studies were carried out on a set consisting of a string, resonator, and wooden coupling element. Board of spruce wood provided resonator.

The whole set was fixed in a cast iron construction with a very great bulk when compared with that of resonator and placed in a concrete bracket protecting it from vibrations transferred from room. Resonator was fixed in grips embracing two opposite narrow sides of a board, while the string — in special grips making possible its tuning. Tuning has been done with the aid of oscilloscope, while accepting as basic frequency of string the tuning fork sound  $a^1$  — 440 Hz.

String vibrations were initiated in two ways:

- 1) with electromagnetic technique,
- 2) with a jerk of pizzicato type.

Above the spot of string excitation microphone was placed at the distance of circa 5 cm. Sounds produced were registered on magnetophone tape, and then subjected to oscillographic and spectral analysis. Spectral analysis was carried out with the aid of filter analyser, while the registration of spectra was done with photographic technique.

While using both methods there were obtained curves of the transfer of vibrating system within the range from 300 Hz to 4500 Hz as well as peak spectra separately for the five subsequently excited sounds  $a^1$ . Measurements were taken on 54 plates. Wood density was calculated for each plate. With the aid of microscope measurements of ring width were taken and percentual proportion of late wood was calculated separately for each plate.

Based on obtained technological data as well as on oscillograph records and spectra of sounds excited there was attempted a determination of correlation between the course of intensities of strengthened ranges of frequency, sometimes deformations of sounds, intensity of the base tune, distribution of resonances in spectrum and the thickness of resonating board, its density, ring widths, and proportion of late wood.

As a result of experiments and statistical analysis we failed to find that the density of spruce wood, ring width, and proportion of late wood, varying within limits permitted by the standard for resonance wood, affect in a significant way the acoustic parameters studied.

Wpłynęło do Komitetu Redakcyjnego 23 IV 1969