

4. WARTOŚCIOWANIE GŁOŚNOSCI

4.1. Głośność

Skala poziomom głośności, oparta na wielkości fizycznej - poziomie ciśnienia akustycznego - nie jest bezpośrednio proporcjonalna do subiektywnej skali wrażeń i a głośności, a zwłaszcza, nie spełnia także warunku addytywności i multiplikatywności. Oznacza to, że suma poziomów głośności kilku dźwięków słyszalnych jednocześnie nie jest równa poziomowi głośności dźwięku wypadkowego, a k-krotne zwiększenie poziomom głośności dźwięku nie jest równoważne k-krotnemu zwiększeniu wrażeń głośności. Z tego też względu wprowadzono do użytku praktycznego pojęcie głośności jako cechy dźwięku umożliwiającej ocenę intensywności wywołanego przezeń subiektywnego wrażenia słuchowego i pozwalającej na porządkowanie odbieranych dźwięków w kolejności od cichych do głośniejszych, i odwrotnie, określonej w sonach. Głośność równa jednemu sonowi ma ton o częstotliwości równej 1000 Hz i poziomie ciśnienia akustycznego 40 dB. Skala głośności wyrażona w sonach jest proporcjonalna do subiektywnego wrażenia głośności i spełnia warunek multiplikatywności i addytywności wrażeń słuchowych. Oznacza to, że k-krotne zwiększenie liczby jednostek głośności (sonów) jest równoważne z k-krotnym zwiększeniem wrażenia głośności. Głośność dowolnego dźwięku oceniona zatem przez słuchacza jako n-razy większa od głośności tonu o wartości jednego sona, wynosi n-sonów.

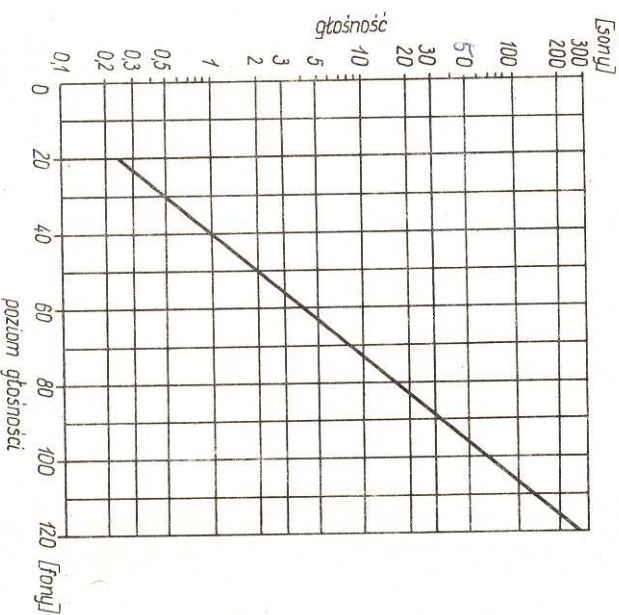
Między poziomem głośności w fonach a głośnością w sonach zachodzi związek szerszy w zakresie poziomów głośności od 20 fonów do 120 fonów

$$G = 2^{(Fg-40)/10}$$

(4.1)

przy czym G - głośność w sonach,
Fg - poziom głośności w fonach.

Zależność ta, przedstawiona wykreślnie na rysunku 4.1, jest zgodna z zaleceniami ISO (zalecenie nr 131/1959). Dokładne wartości dla tej zależności są zestawione w tabelicy 4.1.



Rys. 4.1. Zalecana przez ISO zależność między głośnością G (w sonach) i poziomem głośności Fg (w fonach), wyrażona związkiem $G = 2^{(Fg-40)/10}$ ważnym dla poziomów głośności zawartych między 20 a 120 fonów

Tabela 4.1
Zależność między głośnością (w sonach) a poziomem głośności (w fonach)

| Fony | Sony | Fony | Sony | Fony | Sony |
|------|-------|------|------|------|------|
| 20 | 0,250 | 55 | 2,83 | 90 | 32,0 |
| 21 | 0,268 | 56 | 3,03 | 91 | 34,3 |
| 22 | 0,287 | 57 | 3,25 | 92 | 36,8 |
| 23 | 0,308 | 58 | 3,48 | 93 | 39,4 |
| 24 | 0,330 | 59 | 3,73 | 94 | 42,2 |

d.c.c. tabl. 4.1 na str. nast.

| Fony | Sony | Fony | Sony | Fony | Sony |
|------|-------|------|------|------|------|
| 25 | 0,354 | 60 | 4,00 | 95 | 45,2 |
| 26 | 0,379 | 61 | 4,29 | 96 | 48,5 |
| 27 | 0,406 | 62 | 4,59 | 97 | 52,0 |
| 28 | 0,435 | 63 | 4,92 | 98 | 55,7 |
| 29 | 0,467 | 64 | 5,28 | 99 | 59,7 |
| 30 | 0,500 | 65 | 5,66 | 100 | 64,0 |
| 31 | 0,536 | 66 | 6,06 | 101 | 68,6 |
| 32 | 0,574 | 67 | 6,50 | 102 | 73,5 |
| 33 | 0,616 | 68 | 6,96 | 103 | 78,8 |
| 34 | 0,660 | 69 | 7,46 | 104 | 84,4 |
| 35 | 0,707 | 70 | 8,00 | 105 | 90,5 |
| 36 | 0,758 | 71 | 8,57 | 106 | 97,0 |
| 37 | 0,812 | 72 | 9,19 | 107 | 104 |
| 38 | 0,871 | 73 | 9,85 | 108 | 111 |
| 39 | 0,933 | 74 | 10,6 | 109 | 119 |
| 40 | 1,00 | 75 | 11,3 | 110 | 128 |
| 41 | 1,07 | 76 | 12,1 | 111 | 137 |
| 42 | 1,15 | 77 | 13,0 | 112 | 147 |
| 43 | 1,23 | 78 | 13,9 | 113 | 158 |
| 44 | 1,32 | 79 | 14,9 | 114 | 169 |
| 45 | 1,41 | 80 | 16,0 | 115 | 181 |
| 46 | 1,52 | 81 | 17,1 | 116 | 194 |
| 47 | 1,62 | 82 | 18,4 | 117 | 208 |
| 48 | 1,74 | 83 | 19,7 | 118 | 223 |
| 49 | 1,87 | 84 | 21,1 | 119 | 239 |
| 50 | 2,00 | 85 | 22,6 | 120 | 256 |
| 51 | 2,14 | 86 | 24,3 | 130 | 512 |
| 52 | 2,30 | 87 | 26,0 | 140 | 1024 |
| 53 | 2,46 | 88 | 27,9 | 150 | 2048 |
| 54 | 2,64 | 89 | 29,9 | 160 | 4096 |

4.2. Wartościowanie głośności

Wrażenie głośności jest subiektywnym odczuciem słyszalnego natężenia dowolnego bodźca akustycznego. Do dzisiaj jednak nie wiemy, jak przebiega proces wartościowania głośności przez organ słuchu, jaka jest prawdziwa skala głośności, Najłatwiej, mimo że wartość głośności jest wynikiem oceny fizjologicznej natężenia, pojęcie głośności można zdefiniować na tle pewnego przepisu po-

miarowego. Rozróżniane są trzy definicje głośności na podstawie trzech metod konstruowania skali głośności:

- na podstawie pomiaru stosunku głośności (zarówno w sensie dzielenia jak i zwielokrotnienia),
- na podstawie tworzenia skoków równych w odczuciu,
- na podstawie postzegania przyrostów odczucia wrażenia dźwiękowego, czyli polegającą na weryfikacji prawa Webera-Fechnera.

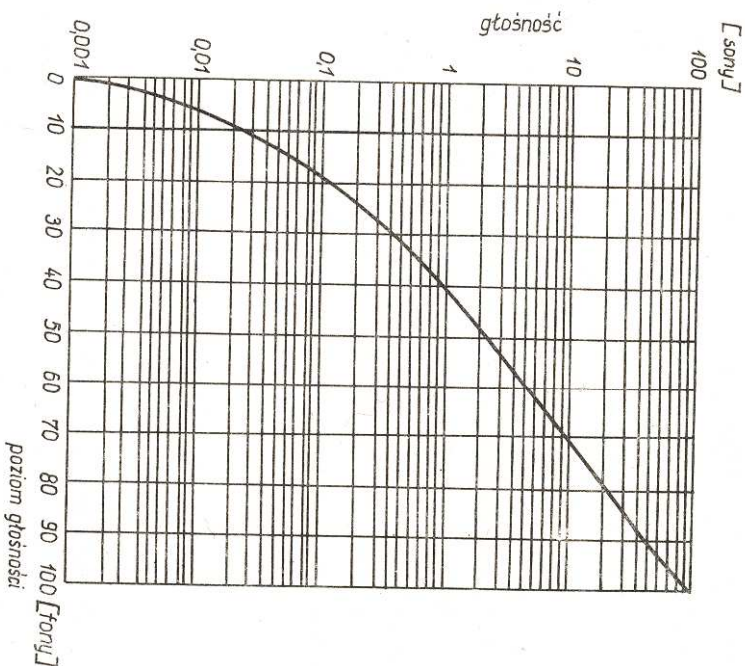
Każda z tych definicji stanowi podstawę dla wielu metod doświadczalnych i prowadzi do pewnych wyników, które na ogół nie są zgodne. Prawdopodobnie każda metoda opiera wartościowanie głośności na innym mechanizmie fizjologicznym, a wyniki przedstawiają różne rodzaje głośności, które są użyteczne do różnych celów. Między wynikami metod a i b jest jednak możliwe znalezienie ściślejszej odpowiedniości.

4.2.1. Metoda wprowadzająca pojęcie głośności

na podstawie dzielenia lub zwielokrotnienia odczucia głośności

Metoda frakcjonowania, czyli dzielenia lub zwielokrotniania odczucia głośności, metoda wprowadzająca jednostkę głośności nazwaną sonem, została zaproponowana przez Fletchera i Munsona. Podwajanie głośności uzyskiwano na podstawie hipotezy, że szumiarę głośności można przyjąć liczbę impulsów dochodzących od uszu do centralnego układu nerwowego i że liczba impulsów dochodzących z jednego ucha jest dwukrotnie mniejsza niż z obojga uszu. Jeśli bowiem, przy zachowaniu odpowiednich warunków, nie zmieniając natężenia tonu wyjąwszy jedno ucho, to głośność spada do połowy.

Eksperyment badawczy przebiegał w ten sposób, że polecano usztawić głośność tonu słuchanego jednopusznie na wielkość szuchaną dwunusznie tonu o tej samej częstotliwości i zadany natężeniu. Jeśli szuchać dwunusznie tego tonu nastawionego oraz tonu, który poprzednio był szuchany dwunusznie, to okazuje się, że ton nastaw-



Rys. 4.2. Uzyskana przez Fletchera i Munsona zależność między głośnością (w sonach) a poziomem głośności (w fonach)

wiony jest głośniejszy niż ten, który jako pierwszy był słuchany dwunusnie. W przyjętej hipotezie umownie uważa się głośność tonu nastawionego za dwa razy większą niż głośność tonu zadanego.

Ponieważ podważanie głośności mogłoby być na przykład zmniejszone przez wzajemne ograniczenie przewodnictwa nerwowego od obojga uszu w badaniach stosowano nie tylko identyczne częstotliwości ale również odmienne (np. 1000 Hz i 2000 Hz), a nawet krańcowo odległe (np. 125 Hz i 2000 Hz). W tym przypadku jedno ucho otrzymywało ton o jednej, a drugie o innej częstotliwości. Rezultaty, dla wszystkich trzech kombinacji tych tonów, okazały się identyczne. W wyniku wykonanych badań znaleziono następujące prawidłowości:

a) między progami słyszalności a progiem słyszenia bolesnego między progami słyszalności i progiem słyszenia bolesnego oznacza głośność $2^{17} = 10^5$ razy większą niż próg słyszalności,

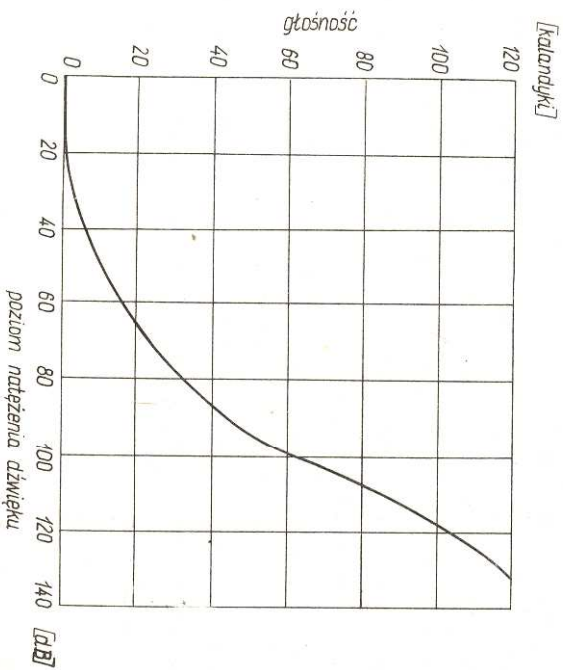
b) częstotliwość tonu nie odgrywa roli dla liczby podwojeń, czyli skala głośności jest taka sama dla wszystkich częstotliwości.

Wyniki badań zostały przedstawione na rysunku 4.2. Obrzydła rozpiętość głośności między progiem słyszalności a granicą bólu wyrażająca się 5 potęgami dziesiętymi sugeruje przedstawienie głośności w skali logarytmicznej i operowanie logarytmem głośności. Stanowi to niedogodność tej definicji głośności, gdyż taki "poziom" głośności nie jest wielkością proporcjonalną do odczucia, o ile nią była sama głośność. Jako praktyczną miarę głośności przyjęto, jak wspomniano już w rozdziale 4.1, jeden son.

Z porównania rysunku 4.1 i 4.2 można stwierdzić, w jakim stopniu krzywa obrazująca zależność między głośnością a poziomem głośności, uzyskana przez Fletchera i Munsona różni się od krzywej zalecanej przez ISO.

4.2.2. Metoda wprowadzająca pojęcie głośności na podstawie tworzenia skoków natężenia równych w odczuciu

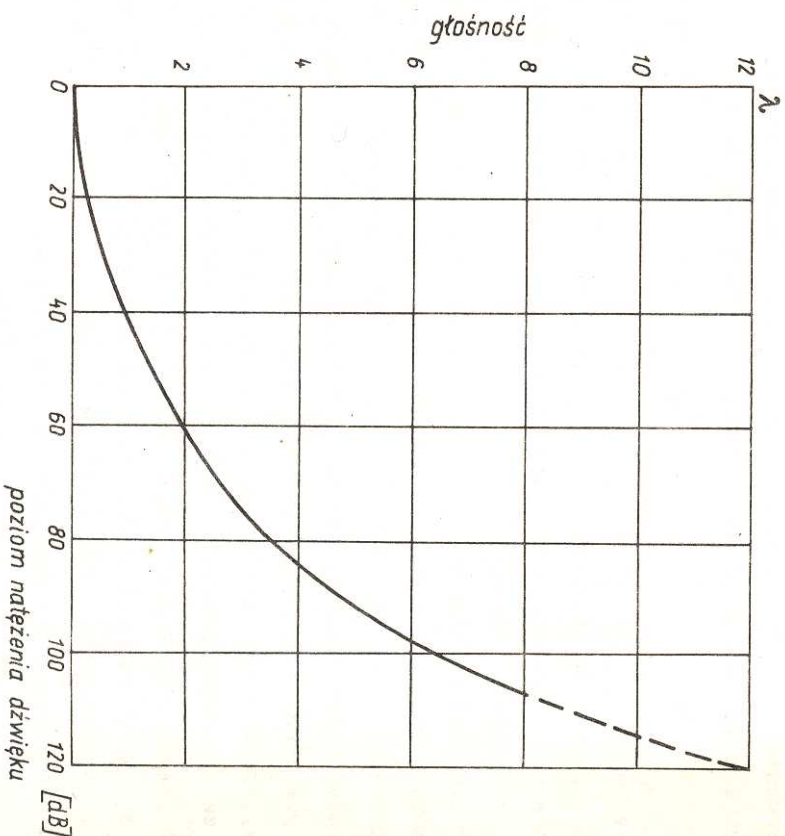
Wysunięto również propozycję liniowej skali głośności, a to przez podział pewnego przedziału natężeń na części, które byłyby równe w odczuciu. Podczas wykonywanych badań podawano słuchaczowi dwa tony A i B, a następnie ton C, w ten sposób, aby w odczuciu skok natężenia (odczuwalna zmiana głośności) między tonami B i C był taki sam jak skok między tonami A i B. Natężenie tonu C można zmieniać tak, aby obserwator mógł w sposób zdecydowany ocenić czy skoki natężenia są równe w odczuciu. Po postępowaniu powtarza się dalej. Przyjmuje się natężenie tonów B i C jako dane, a dopasowuje się natężenie tonu D tak, aby z kolei skoki w odczuciu natężenia (zmiana głośności) pomiędzy tonami B i C i tonami C i D znów były identyczne. Postępując tak samo dalej wyczerpano tymi jednakowymi w odczuciu skokami natężeń cały zakres natężeń słyszalnych, przy czym kwestia doboru jednostek jest już jedynie sprawą pewnej konwencji. Kwiek przyjął jako jednostkę $1/120$ całego przedziału i nazwał ją kalendykiem [2].



Rys. 4.3. Zależność między głośnością wyrażoną w skali liniowej, (w kalendykiem), a poziomem natężenia dźwięku wg Kwieka

Cały przedział odpowiadał więc 120 kalendykom (rys. 4.3), przy czym zakres ten rozciągał się od proggu słyszalności do natężenia 140 dB, a nie od proggu słyszalności do natężenia 120 dB, co podchodziło do proggu słyszalności bolesnego jest przykre dla słuchacza i grozi uszkodzeniem słuchu.

Podobną metodę zastosował Garner. Opierając się na tworzeniu skoków głośności równych w odczuciu wprowadził jednostki λ . Przechodząc do skali liniowej przez metodę skoków równych w odczuciu pokazany jest na rys. 4.4. Obie skale są jak widać bardzo zbliżone, różnią się jedynie normalizacją. Jednostką u Garnera jest λ - głośność tonu o częstotliwości równej 1000 Hz i natężeniu 40 dB.



Rys. 4.4. Zależność między głośnością wyrażoną w skali liniowej, w jednostkach Garnera a poziomem natężenia dźwięku wg Kwieka

4.2.3. Metoda wprowadzająca pojęcie głośności.

na podstawie postrzegania przyrostów odczucia wrażenia dźwiękowego

Istnieje w psychologii prawo Webera-Fechnera mówiące o zależności wrażenia zmysłowego od zmian działającego bodźca. Według Webera, do wywołania odczuwalnego przyrostu wrażenia potrzebny jest przyrost działającego bodźca, proporcjonalny do bodźca już istniejącego, czyli

$$\Delta W = K \frac{\Delta B}{B}, \quad (4.2)$$

przy czym ΔW - przyrost wrażenia,

ΔB - przyrost bodźca,

B - bodziec istniejący,

K - stała proporcjonalności.

Fechner przyjął, że przyrosty te można traktować jako różniczkę i scałkować powyższe równanie otrzymując związek:

$$W = K \ln B. \quad (4.3)$$

Na podstawie tak sformułowanego prawa Webera-Fechnera istnieje jeden ze sposobów interpretacji wartościowania głośności przez organ słuchu. Wrażeniem jest w tym przypadku wrażenie głośności a bodźcem ciśnienie akustyczne.

Prawo Webera-Fechnera zostało jednak zakwestionowane przez niektórych badaczy w odniesieniu do odczucia wrażenia dźwiękowego. Knudsen stwierdził, że dla tonu o małym natężeniu potrzebny jest stosunkowo wielki przyrost natężenia, aby był on zauważalny, przy powiększaniu poziomu głośności przyrost ten zmniejsza się, a powyżej 50 fonów jest stały. Kwiek natomiast doszedł do wniosku, że proporcjonalność najmniejszego postrzeganego przyrostu do samego bodźca jest uzależniona od tego czy punktem wyjściowym są małe, czy też duże, wartości głośności. W obu przypadkach współczynnik proporcjonalności przy poszukiwaniu najmniejszych percypowanych przyrostów ma inną wartość.