

# **Metody pomiarowo-obliczeniowe wyznaczania poziomu mocy akustycznej, poziomu ciśnienia akustycznego emisji oraz charakterystyki kierunkowej emisji energii akustycznej kierunkowych źródeł energii akustycznej w zakresie częstotliwości 20 – 40 kHz**

Autor: dr inż. Witold Mikulski

2017 r.

Autor dziękuje Panu Jerzemu Kozłowskiemu za pomoc w wykonaniu badań, które zostały wykorzystane w niniejszym tekście

Materiał opracowany na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017-2019 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy. Wyniki I etapu projektu 3.G.02 *Badanie emisji energii akustycznej, przemysłowych, kierunkowych, technologicznych źródeł hałasu ultradźwiękowego o dużej mocy akustycznej oraz badania skuteczności akustycznej obudów dźwiękoizolacyjnych dla tych źródeł.* (8.12.2017r.)

## **1. Metody pomiarowo-obliczeniowe wyznaczania poziomu mocy akustycznej, poziomu ciśnienia akustycznego emisji oraz właściwości kierunkowej emisji energii akustycznej źródeł energii akustycznej w zakresie częstotliwości 20 – 40 kHz**

### **1.1. Wstęp**

Podstawowymi wielkościami fizycznymi stosowanymi do określania emisji hałasu źródeł jest poziom mocy akustycznej (rozdział 1.2), poziom ciśnienia akustycznego emisji (rozdział 1.3) oraz kierunkowość promieniowania (rozdział 1.4). Określa się je w oparciu o pomiar ciśnienia akustycznego lub znacznie rzadziej w przypadku określania poziomu mocy akustycznej – natężenia dźwięku. Metody oparte na pomiarze poziomu ciśnienia akustycznego stosuje się w warunkach dyfuzyjnego lub przeciwnie, swobodnego lub quasi swobodnego pola akustycznego. W praktyce najczęściej stosowaną metodą jest metoda w oparciu o pomiar poziomu ciśnienia akustycznego w warunkach zbliżonych do pola

swobodnego nad powierzchnią odbijającą. W rozpatrywanym zakresie częstotliwości (tj. 10kHz-40kHz) stosowanie metod w polu swobodnym i quasi swobodnym jest jak najbardziej uzasadnione, z powodu nie występowania pól dyfuzyjnych w pomieszczeniach (dwa zjawiska fizyczne duże straty energii akustycznej podczas odbicia oraz duże tłumienie energii fali akustycznej w powietrzu, nie pozwala uzyskać pola dyfuzyjnego). Nie znaczy to jednak, że w przypadku jednej lub większej liczby elementów zaburzających rozchodzenie się fali akustycznej (np. ścian, ekranów w obszarach ograniczonych) nie występują fale odbite i fale ugięte. Jednakże energia fal odbitych jest w większości przypadków dużo mniejsza niż fali bezpośredniej, dlatego w pomieszczeniach można przyjąć, że występuje pole quasi swobodne. Z praktycznego punktu widzenia, a właściwie z przyczyn umożliwiających zastosowanie metod określania emisji hałasu ultradźwiękowego w praktyce (w warunkach przemysłowych i laboratoryjnych), celem jest, aby opracowywane metody maksymalnie były zbliżone do już istniejących i stosowanych, dlatego jako punkt wyjściowy dalszych prac, przyjmuje się metody stosowane w zakresie częstotliwości do 10 kHz (poziom mocy akustycznej PN EN ISO 3744 - metoda dokładności technicznej [26], PN EN ISO 3746 - metoda dokładności orientacyjnej [27] oraz dla poziomu ciśnienia akustycznego emisji PN EN 11201 - metoda dokładności technicznej [28] oraz PN EN ISO 11202 metoda dokładności orientacyjnej [29]). Metody te pozwalają określić poziom mocy akustycznej i poziom ciśnienia akustycznego emisji w tercjowych lub oktaowych pasmach częstotliwości z zakresu częstotliwości 100 – 10000 Hz (także umożliwiają określenie poziomu mocy akustycznej skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A i poziomu dźwięku A emisji). W 2015 r ukazała się nowa norma PN-EN ISO 9295: 2015 [30], w której przedstawiono metody (cztery) określania poziomu mocy akustycznej źródeł w zakresie częstotliwości od 11200 Hz do ok 22400 Hz (tj. zakres częstotliwości tercjowych pasm częstotliwości 12,5, 16 i 20 kHz). Ponieważ definiowany w Polsce hałas ultradźwiękowy obejmuje zakres częstotliwości 10kHz-40kHz tj. zakres częstotliwości tercjowych pasm częstotliwości 12,5, 16, 20, 25, 31,5, 40 kHz to jest oczywiste, że opracowane metody powinny być zgodne z przepisami tej normy [30] (w szczególności muszą być zgodne w tercjowych pasmach częstotliwości 12,5, 16, 20 kHz). Metody opisane w normie PN-EN ISO 9295: 2015 bazują na pomiarze poziomu ciśnienia akustycznego w polu dyfuzyjnym (trzy metody) oraz w polu swobodnym nad powierzchnią odbijającą (jedna metoda). Ta ostatnia jest zgodna w metodyce z metodą podaną w normie PN EN ISO 3744:2011 [26], a także jest zgodna z ww. faktem braku możliwości wytworzenia dyfuzyjnego pola akustycznego badanym źródłem. Stanowi więc uzupełnienie podanej tam

metody [26] na zakres częstotliwości od 10 kHz do 20 kHz. W PN-EN ISO 9295:2015 ([30]) sygnalizuje się kilka zjawisk, istotnych z punktu widzenia określania poziomu mocy akustycznej w zakresie częstotliwości bliskich 20 kHz (np. tłumienie dźwięku w powietrzu, zwiększenie liczby punktów pomiarowych).

Przy określaniu poziomu mocy akustycznej przyjęto tylko jedną (z dwóch podanych w PN EN ISO 3744:2011 [26] i PN-EN ISO 9295:2015 [30]) powierzchnię pomiarową tj. półkulistą. Półkulista powierzchnia ma istotną przewagę nad prostopadłościenną powierzchnią pomiarową wynikającą z charakteru emisji hałasu w rozpatrywanym zakresie częstotliwości oraz z geometrycznych uwarunkowań. Źródła w rozpatrywanym zakresie częstotliwości są w większości przypadków małych wymiarów, co pozwala w warunkach przemysłowych je sprowadzić do źródeł punktowych. Nawet w przypadku źródeł o gabarytach rzędu 1x1x2m emisja hałasu powstaje na styku sonotrody i materiału tj. w obszarze o wymiarach kilkunastu centymetrów, więc można ją traktować jako źródło punktowe. Jest jednak oczywiste, że w tym zakresie częstotliwości nie mamy do czynienia ze źródłami wszechkierunkowymi. Dla źródeł punktowych można środek półkuli pomiarowej umieścić w środku promieniowanego źródła, a więc uzyskać sytuację, w której punkty pomiarowe będą w tej samej odległości od źródła. Jest to istotne, gdyż wyniki pomiarów w każdym punkcie, będą obarczone tym samym wpływem pewnych zjawisk tj. takim samym tłumieniem dźwięku w powietrzu (poprawka  $K_{\text{powietrze},f}$ ) oraz takim samym wpływem na wyniki pomiarów dźwięków odbitych (poprawka  $K_{2,f}$ ). Można je wówczas bez poprawki wynikającej z tych zjawisk zastosować do wyznaczenia charakterystyki kierunkowości promieniowania źródła, a do wyznaczenia poziomu mocy akustycznej poprawka wynikająca z tego efektu będzie dla wszystkich punktów pomiarowych (i okręgów pomiarowych – skanowanie) taka sama.

Biorąc pod uwagę, że w rozpatrywanym zakresie częstotliwości źródła mogą i będą silnie kierunkowo emitować energię akustyczną, konieczne jest zwiększenie liczby punktów pomiarowych. Jest to niezwykle ważny, ale i trudny organizacyjny aspekt. Trzeba mieć na uwadze, że wymogi akustyczne polegające na tendencji zwiększenia liczby punktów pomiarowych (większa dokładność metody) są w sprzeczności do pracochłonności i fizycznej realizowalności pomiarów, szczególnie w warunkach terenowych. Nie można dopuścić do sytuacji, gdy nadmierna dbałość o dokładność, może spowodować brak akceptacji konieczności wykonywania badań emisji hałasu źródeł hałasu ultradźwiękowego. Częściową próbą pogodzenia tych sprzecznych uwarunkowań, jest wykorzystanie przy pomiarach poziomu mocy akustycznej metody skanowania. Ze względu na przyjętą powierzchnię

pomiarową skanowanie ręczne należy wykluczyć na rzecz skanowania automatycznego (albo z obracającym się źródłem i nieruchomym mikrofonem albo odwrotnie). W tym jednakże przypadku ograniczeniem jest nośność urządzenia obracającego źródło.

Cechą inherentną wielu źródeł hałasu ultradźwiękowego jest okresowość, a nawet impulsowość emisji hałasu. Dlatego obie wielkości określające emisję tj. poziom mocy akustycznej i poziom ciśnienia akustycznego emisji określa się dla wartości maksymalnych i średnich (przyjęto w celu większej zgodności z wielkościami stosowanymi do oceny emisji hałasu ultradźwiękowego przez człowieka - równoważnych). Jednakże w odniesieniu do charakterystyki kierunkowej promieniowania, przyjęto, że określać się ją będzie dla wartości równoważnych poziomu mocy akustycznej dla źródeł hałasu typu I (źródła emitujące hałas ultradźwiękowy w sposób ciągły) oraz dla wartości maksymalnych w przypadku źródeł typu II (emitujących impulsowy hałas ultradźwiękowy). Oczywiście wszystkie ww. wielkości określać się będzie w pasmach częstotliwości o szerokości tercji 10, 12,5, 16, 20, 25, 31,5, 40kHz. Inną typową cechą źródeł hałasu ultradźwiękowego jest wąskie pasmo częstotliwości emisji hałasu ultradźwiękowego, w wielu przypadkach nawet pozwalający przyjąć tonalność tego hałasu.

## **1.2. Metoda pomiarowo-obliczeniowa wyznaczania poziomu mocy akustycznej źródeł hałasu ultradźwiękowego w oparciu o pomiar poziomu ciśnienia akustycznego**

Metoda pomiarowo-obliczeniowa wyznaczania poziomu mocy akustycznej źródła hałasu (maszyny, urządzenia) polega na obliczeniu tego parametru ze zmierzonego poziomu ciśnienia akustycznego bieżącej fali akustycznej na półkulistej powierzchni pomiarowej wokół źródła. Dlatego środowisko pomiaru to obszar, w którym energia fali bezpośrednio rozchodzącej się od źródła powinna dominować. Ze względów praktycznych (m.in. posiadania źródła oraz możliwości umieszczenia mikrofonu pomiarowego), pomiary przeprowadza się nad płaszczyzną podłoża odbijającą dźwięk. Przyjmuje się więc, że źródło promieniuje energię akustyczną w półprzestrzeń  $2\pi$  sr, tzn. pole powierzchni czoła fali akustycznej w odległości  $r$  od źródła wynosi  $2\pi r^2$ . Nie oznacza to oczywiście wszechkierunkowego promieniowania hałasu ultradźwiękowego ze źródła. W warunkach rzeczywistych źródła nie emitują energii akustycznej wszechkierunkowo, dlatego trzeba uśrednić poziom ciśnienia na powierzchni pomiarowej. Poza falą bezpośrednią do mikrofonu w pomieszczeniach docierają fale odbite (mierzy się wypadkowy poziom ciśnienia

akustycznego fal bezpośrednich i odbitych). Z wyników pomiarów trzeba wyeliminować wpływ fal odbitych (nie dotyczy to wpływu fal odbitych od podłoża odbijającego, od którego ten ostatni wpływ jest uwzględniony w ww. kącie przestrzennym, w który fala jest promieniowana tj.  $2\pi$  sr). Wpływ fal odbitych uwzględnia się to stosując tzw. poprawkę środowiskową  $K_{2,f}$ . Poza energią akustyczną promieniowaną przez źródła, na mierzony poziom ciśnienia akustycznego ma wpływ także tło akustyczne. Wpływ tła eliminuje się z wyników pomiarów stosując tzw. poprawkę  $K_1$ . Zmierzonego poziom ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej zależy również od tłumienia dźwięku w powietrzu (trzeba więc wartości mierzone skorygować – co wykonuje się stosując poprawkę  $K_{\text{powietrze},f}$ ).

Emisję określa się w tercjowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40 oraz dodatkowo 50 kHz, dlatego wszystkie obliczenia oraz wszystkie kryteria, w tym na środowisko badawcze, tło akustyczne, w każdym paśmie częstotliwości, należy rozpatrywać niezależnie.

Uwzględniając wszystkie te uwarunkowania poziom mocy akustycznej źródła hałasu (w zakresie częstotliwości 10kHz-40kHz) w polu quasi swobodnym (w tym w pomieszczeniu) nad powierzchnią odbijającą określa się, w dB, ze wzoru:

$$L_{W,f} = \overline{L_{p,f}} + 10 \cdot \lg(2\pi \cdot r^2) - K_{2,f} - K_{1,f} + K_{\text{powietrze},f} \quad (1.2-1)$$

gdzie:

$\overline{L_{p,f}}$  – średni na powierzchni pomiarowej poziom ciśnienia akustycznego, dla częstotliwości  $f$ , w dB,

$r$  – promień półkulistej powierzchni pomiarowej, w metrach,

$K_{2,f}$  – poprawka środowiskowa, dla częstotliwości  $f$ , w dB,

$K_{1,f}$  – poprawka na hałas tła akustycznego, dla częstotliwości  $f$ , w dB,

$K_{\text{powietrze},f}$  – poprawka wynikająca z tłumienia dźwięku w powietrzu, dla częstotliwości  $f$  i odległości  $r$ , w dB.

lub w przypadku określenia lub odniesienia tego parametru do 1m :

$$L_{W,f,1m} = \overline{L_{p,f}} + 10 \cdot \lg(2\pi \cdot r^2) - K_{2,f} - K_{1,f} + K_{\text{powietrze},f,r} - K_{\text{powietrze},f,1m} \quad (1.2-2)$$

gdzie:

$K_{\text{powietrze},f,r}$  – poprawka wynikająca z tłumienia dźwięku w powietrzu, dla częstotliwości  $f$ , w odległości  $r$ , w dB,

$K_{\text{powietrze},f,1m}$  – poprawka wynikająca z tłumienia dźwięku w powietrzu, dla częstotliwości  $f$ , w odległości 1m, w dB.

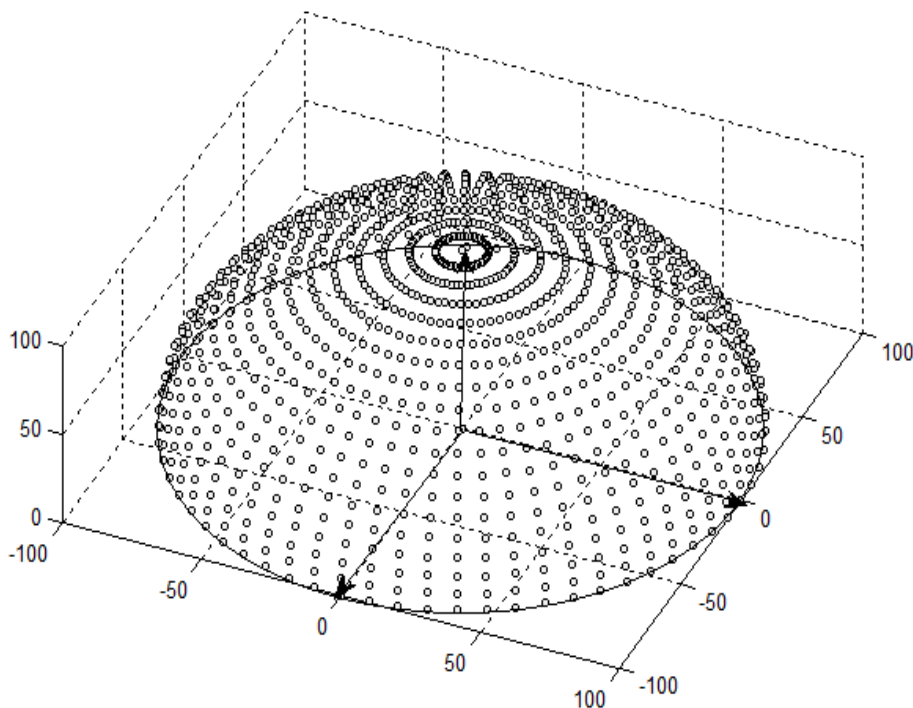
W tym drugim przypadku (wzór 1.2-2) moc odnosi się do odległości 1 m. Zapis taki może mieć znaczenie z powodów pomiarowych (większość źródeł badać się będzie dla powierzchni pomiarowej o promieniu 1m, więc nie ma potrzeby uwzględniać takiej samej poprawki).

Metoda określania poziomu mocy akustycznej obejmuje wykonywanie szeregu czynności, które przeprowadza się sekwencyjnie, jednakże wzajemnie one na siebie wpływają, co powoduje konieczność powtarzania ich ze zmienionymi parametrami wejściowymi. Na początku przyjmuje się powierzchnię pomiarową (półkulę) oraz promień powierzchni pomiarowej  $r$ . Następnie kwalifikuje się środowisko do badań pod względem uzyskania quasi swobodnego pola akustycznego (za pomocą poprawki  $K_{2,f}$ ). Na wynik kwalifikacji poza właściwościami pomieszczenia (gdy pomiary przeprowadza się w pomieszczeniach) będzie miało także wpływ pole powierzchni pomiarowej, dlatego w przypadku nie uzyskania pozytywnej kwalifikacji środowiska (w jakimkolwiek z rozpatrywanych tercjowych pasm częstotliwości), pole powierzchni pomiarowej można zmniejszać, aż do momentu uzyskania pozytywnej kwalifikacji środowiska. Niestety zmniejszanie pola powierzchni pomiarowej wymusza konieczność zwiększania liczby punktów pomiarowych, co powoduje duży wzrost pracochłonności pomiarów. Następnym krokiem jest określenie liczby punktów pomiarowych. Na podstawie wyników pomiarów (rys. 1.2-4) przyjmuje się, że nie powinno ich być mniej niż 37 (tj. punkty rozmieszczone na powierzchni półkuli w układzie biegunowym współrzędnych, co  $30^\circ$ ). Następnie określa się uśredniony poziom ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej, zarówno podczas pracy źródła, jak i przy źródle wyłączonym (hałas tła obejmujemy hałas aparatury pomiarowej). Parametry te określa się dla wartości równoważnych i maksymalnych poziomu ciśnienia akustycznego (patrz też rozdział 1.5). Pomiary te pozwalają określić różnicę tych poziomów  $\Delta L_{p,f}$  między średnimi poziomami na powierzchni pomiarowej w czasie gdy źródło emituje i gdy nie emituje hałas ultradźwiękowy. Z niej oblicza się poprawkę  $K_{1,f}$  (wzór 1.2-8). W tym również przypadku, gdy różnica poziomów (lub co tożsame poprawka  $K_{1,f}$ ) nie spełnia kryteriów metody (różnica jest za mała lub co jest jednoznaczne, że poprawka  $K_{1,f}$  jest za duża), można spowodować jej zwiększenie przyjmując powierzchnię pomiarową bliżej źródła (zwiększy się średni poziom ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej podczas emisji hałasu ultradźwiękowego). Oczywiście w tym również przypadku może zaistnieć konieczność zwiększenia liczby punktów pomiarowych, gdy źródło emituje energię akustyczną zbyt kierunkowo. Jeżeli zachodzi taki przypadek, to należy zwiększyć liczbę punktów

pomiarowych: albo równomiernie na powierzchni pomiarowej albo w obszarze, w którym występuje największa kierunkowa emisja energii akustycznej (ten ostatni przypadek powoduje konieczność wprowadzenia odpowiednich współczynników korekcyjnych i jako duża komplikacja metody nie będzie dalej rozpatrywany). Oczywiście dla tak przyjętej nowej powierzchni pomiarowej lub nowych punktów pomiarowych pomiary będzie trzeba wykonać ponownie. Następnie określa się poprawkę wynikającą z tłumienia dźwięku w powietrzu w odniesienia do średniego poziomu ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej. Niżej przedstawiono wszystkie ww. elementy przedstawionej metody.

### Wybór powierzchni pomiarowej

Powierzchnia pomiarowa to powierzchnia wokół źródła hałasu ograniczona od dołu powierzchnią odbijającą. Wewnątrz obszaru ograniczonego tą powierzchnią pomiarową i płaszczyzną podłoża, znajduje się źródło hałasu oraz tzw. prostopadłościan odniesienia – najmniejszy prostopadłościan opisany na źródle (lub fragmencie źródła emitującego hałas). Przyjmuje się kształt powierzchni pomiarowej - półkulę o promieniu  $r$  (rys.1.2-1). Dla półkuli musi być spełniony warunek  $r \geq 2d_0$  ( $d_0$  - odległość środka podstawy prostopadłościanu odniesienia od górnego wierzchołka).



Rys. 1.2-1 Półkulista powierzchnia pomiarowa w zastosowanej metodzie z zaznaczonymi punktami pomiarowymi (liczba punktów pomiarowych powyżej ok 1000)

Promień półkulistej powierzchni pomiarowej  $r$  przyjmuje się wstępnie na równy 1 m. W przedstawionej metodzie wiele parametrów np. liczba punktów pomiarowych, pole powierzchni pomiarowej, przyjmuje się wstępnie. Następnie sprawdza się obliczeniowo lub pomiarowo czy są przyjęte właściwie, tj. czy przy tak przyjętych danych spełnione są wszystkie kryteria. Jeżeli nie, to modyfikuje się wartości parametrów przyjętych wstępnie, aż do momentu spełnienia zakładanych kryteriów.

W przypadku, gdy nie spełnione są warunki na środowisko badawcze (za duża wartość poprawki  $K_{2,f}$ , tj.  $K_{2,f} > 4$  dB) promień  $r$  należy zmniejszyć poniżej 1 m, ale z zachowaniem, że  $r \geq 2d_0$  oraz  $r \geq 0,5$  m. Ogólne rzecz biorąc promień półkulistej powierzchni pomiarowej  $r$  musi zapewniać, żeby  $K_{2,f} \leq 4$  dB oraz musi on być co najmniej dwukrotnie większy niż podwojony charakterystyczny wymiar źródła  $d_0$ , a jednocześnie nie może być większy niż 16m ( $d_0 \leq r \leq 16$  m wg). Gdy nie jest możliwe zmniejszanie promienia, a jednocześnie  $K_{2,f} > 4$  dB wówczas konieczne jest zwiększenie chłonności akustycznej pomieszczenia lub zmianę pomieszczenia na inne lub przeprowadzenie pomiarów w przestrzeni otwartej.

#### Kwalifikacja środowiska badawczego

Poprawka środowiskowa  $K_{2,f}$ , w przestrzeni otwartej nad płaszczyzną odbijającą jest równa 0. W pomieszczeniach poprawkę środowiskową dla półkulistej powierzchni pomiarowej,  $K_{2,f}$ , w dB, oblicza się dla częstotliwości  $f$ , ze wzoru:

$$K_{2,f} = 10 \cdot \lg \left( 1 + 4 \frac{S}{A_f} \right) \quad (1.2-3)$$

gdzie:

$S$  - pole powierzchni pomiarowej, w metrach kwadratowych (dla półkulistej powierzchni pomiarowej o promieniu  $r$ ,  $S=2\pi r^2$ ), w  $m^2$ ,

$A_f$  - chłonność akustyczna pomieszczenia, w  $m^2$ , oblicza się dla częstotliwości  $f$ , ze wzoru:

$$A_f = 0,16 \frac{V}{T_f} \quad (1.2-4)$$

gdzie:

$V$  - objętość pomieszczenia badawczego, w  $m^3$ ;

$T_f$  - czas pogłosu dla częstotliwości, w sekundach.

Z tego wynika, że poprawkę środowiskową dla półkulistej powierzchni pomiarowej,  $K_{2,f}$ , w dB, oblicza się dla częstotliwości  $f$ , ze wzoru:

$$K_{2,f} = 10 \cdot \lg \left( 1 + 4 \frac{S}{A_f} \right) = 10 \cdot \lg \left( 1 + 24,8 \frac{S \cdot T_f}{V} \right) \approx 10 \cdot \lg \left( 1 + 25 \frac{S \cdot T_f}{V} \right) \quad (1.2-5)$$



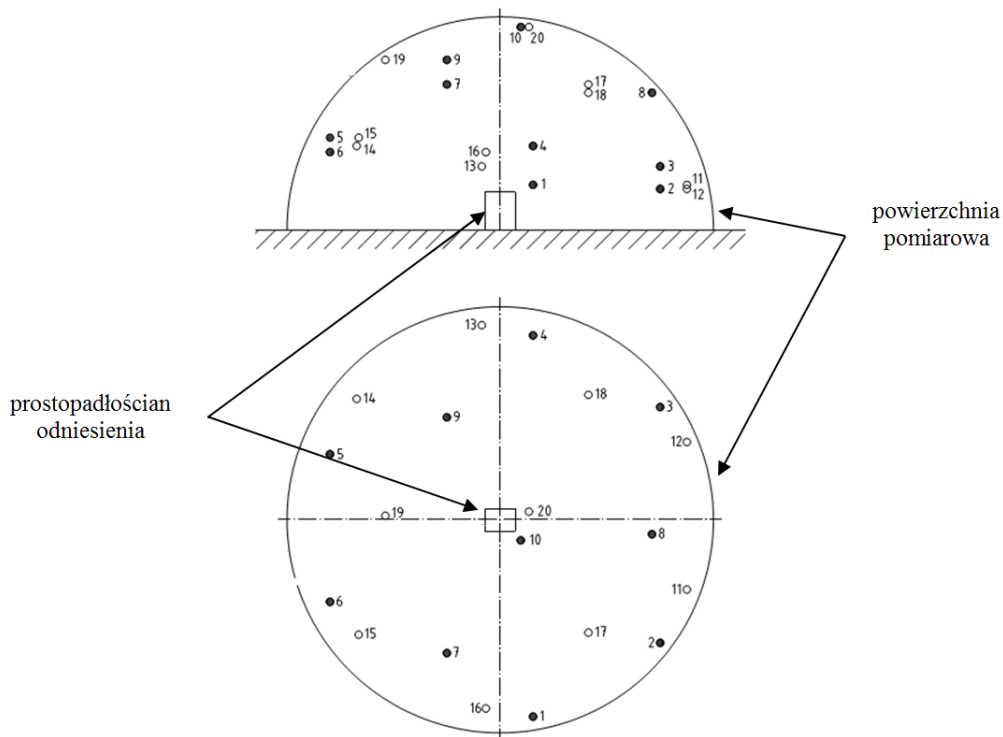
Wg [26] poprawka na środowisko badawcze musi być nie większa od 4 dB (w szczególności  $K_{2A} \leq 4\text{dB}$ ) wg [27]  $K_{2A} \leq 7\text{dB}$ .

W przedstawionej metodzie przyjęto, że poprawka na środowisko badawcze w każdym paśmie częstotliwości, w którym określa się poziom mocy akustycznej, musi być nie większa od 4 dB (tj.  $K_{2,f} \leq 4\text{dB}$ ).

#### Pozycje mikrofonu na powierzchni pomiarowej

W metodach [26,27] pomiary przeprowadza się na powierzchni półkulistej w punktach pomiarowych (rys.1.2-2) lub metodą skanowania na okręgach (rys.1.2-3) [26,30].

Wstępnie przyjęta liczba punktów pomiarowych wynosi 10 wg [26] (rys. 1.2-2 numery punktów 1-10; [26] - dotyczy pasma częstotliwości 100-10000 Hz, [30] – dotyczy pasma częstotliwości 10000-20000 Hz); w niektórych przypadkach liczbę tą trzeba podwoić tj. 20 punktów pomiarowych [26,30] (rys. 1.2-2, tj. numery punktów 1-20) lub zwiększyć znacznie więcej [7, 9, 30] (np. rys. 1.2-1 liczba punktów 1025). Wg [26] liczbę punktów należy podwoić, gdy maksymalna różnica poziomu dźwięku A z określonych w 10 punktach przekracza 10 dB lub gdy wskaźnik pozornej kierunkowości skorygowany charakterystyką częstotliwościową A (patrz niżej wzór 1.2-6) przekracza wartość 5 dB w jakimkolwiek kierunku, albo hałas jest emitowany przez małą część źródła (np. przez otwory w obudowie maszyny). W przedstawionej metodzie kryterium to odnosi się dla wszystkich rozpatrywanych częstotliwości.



Rys. 1.2-2 Punkty pomiarowe na powierzchni pomiarowej wg [26]

Wskaźnik pozornej kierunkowości  $D_{I,i}$  w kierunku  $i$ , w dB, wynosi:

$$D_{I,i,f} = L_{p,i,f} - \overline{L_{p,f}} - K_{1,f} \quad (1.2-6)$$

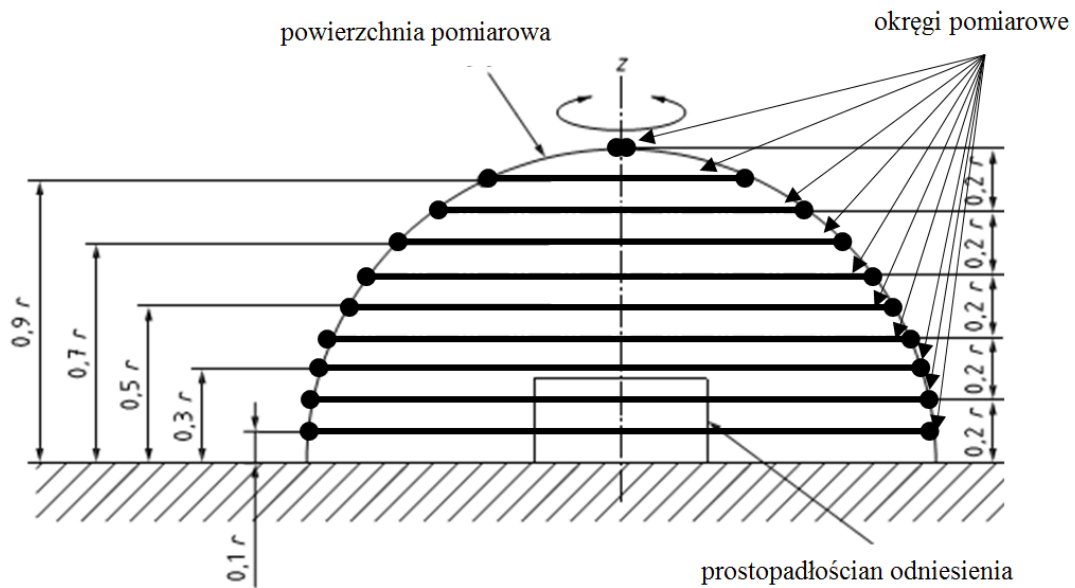
gdzie:

$D_{I,i,f}$  - wskaźnik pozornej kierunkowości dla częstotliwości  $f$ , w kierunku określonym przez punkt pomiarowy o numerze  $i$ , w dB,

$L_{p,i,f}$  - poziom ciśnienia akustycznego dla częstotliwości  $f$  na powierzchni pomiarowej w punkcie pomiarowym o numerze  $i$ , w dB,

$\overline{L_{p,f}}$  - uśredniony na powierzchni pomiarowej poziom ciśnienia akustycznego dla częstotliwości  $f$ , w dB,

$K_{1,f}$  - poprawka uwzględniająca hałas tła dla poziomu ciśnienia akustycznego, dla częstotliwości  $f$ , w dB.



Rys. 1.2-3 Współosiowe kołowe (poziome okręgi pomiarowe) tory mikrofonu na półkulistej powierzchni pomiarowej o promieniu  $r$  – metoda skanowania (wg [26, 30, 7])

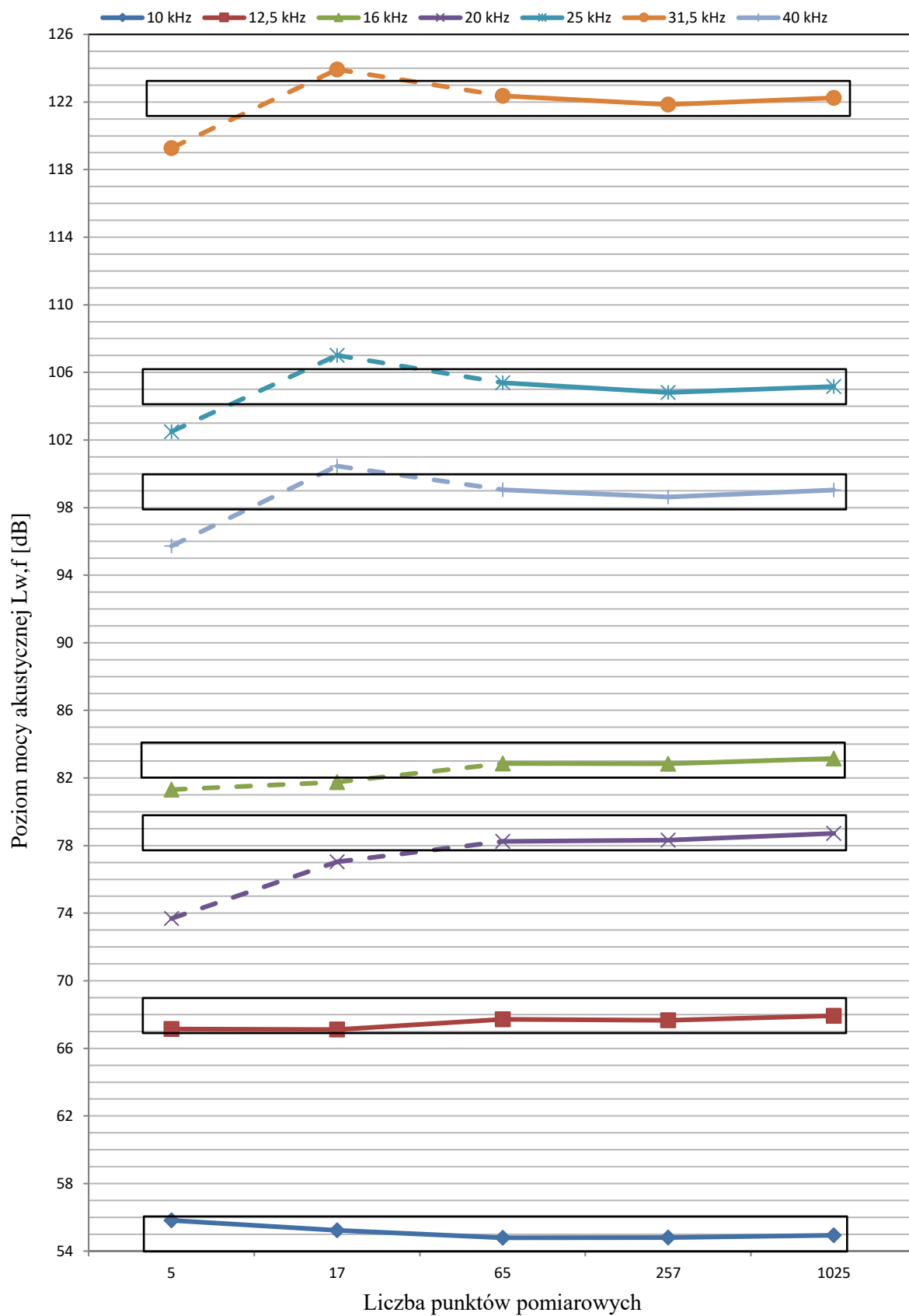
Pomiary metodą skanowania uzyskuje się przemieszczając mikrofon na powierzchni półkuli pomiarowej po okręgach równoległych do powierzchni odbijającej (podłoże). Możliwe są dwa sposoby technicznej realizacji takich pomiarów: źródło w stałej pozycji, a mikrofon przesuwany np. ramieniem obrotowym lub mikrofon w stałej pozycji, a źródło obracane na stoliku obrotowym (rys. 1.2-3). Liczba okręgów jest wg [26, 30] równa 10 lub 20 [30].

Z badań przeprowadzonych wcześniej przez autorów [7] (patrz wyniki na rys. 1.2-4) wynika, że w celu określenia poziomu mocy akustycznej różniącego się maksymalnie o 1 dB od określonego w bardzo dużej liczbie punktów pomiarowych (ponad 1000; rys. 1.2-1) wystarczy uwzględnić ok. 37 punktów pomiarowych. Jest to również zgodne z kryterium, że maksymalna różnica poziomów ciśnienia akustycznego zmierzona w punktach pomiarowych na powierzchni pomiarowej w dB musi być mniejsza od liczby punktów pomiarowych (wyniki w rozdziale 7). Liczba 37 jest ok. czterokrotnie większa w stosunku do przyjętej wstępnie 9 (wg PN-EN ISO 3744) lub nawet dwukrotnie większa (w stosunku do 20) przyjętej, jako ostateczna liczby punktów pomiarowych podanej w metodach [26,30]. Wynika z tego, że w rozpatrywanym zakresie częstotliwości konieczne jest o 2-4 krotnie zwiększenie

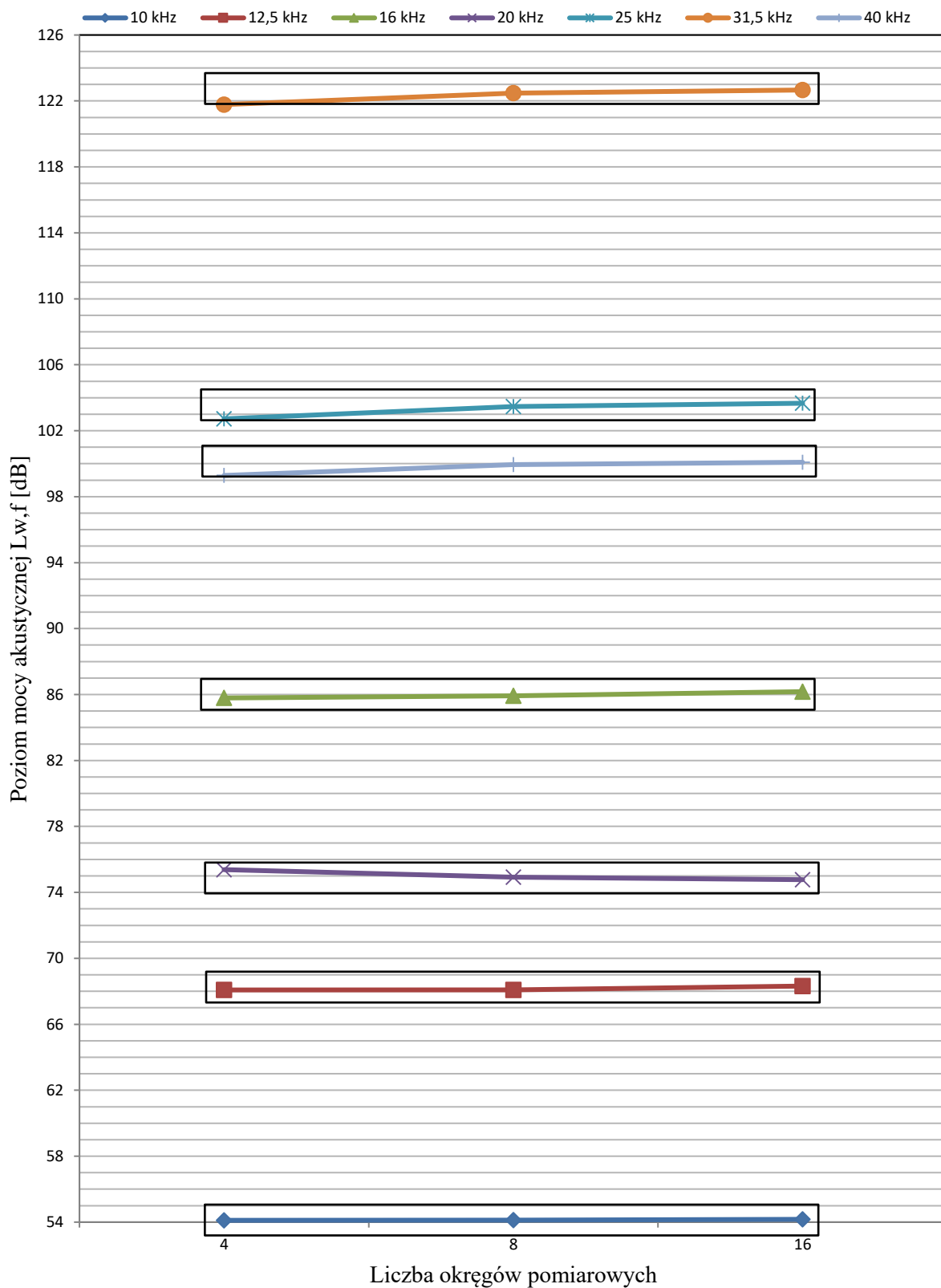
liczby punktów pomiarowych w stosunku do liczby stosowanej w zakresie częstotliwości poniżej 10 kHz (a nawet do 20 kHz).

Na rys. 1.2-5 podano wyniki pomiarów własnych poziomu mocy akustycznej źródła hałasu ultradźwiękowego metodą pomiaru skanowania na okręgach (liczba okręgów pomiarowych 4, 8, 16). Analogicznie można określić, że minimalna liczba okręgów pomiarowych wynosi 4. Ponieważ w [26, 30] przyjęto liczbę okręgów pomiarowych 10 z wyników widać, że jest możliwe jest zmniejszenie liczby okręgów pomiarowych.

Reasumując do wyznaczenia poziomu mocy akustycznej, źródeł w zakresie częstotliwości powyżej 10 kHz (do 40 kHz) należy uwzględnić wyniki pomiarów na półkulistej powierzchni pomiarowej w minimum 37 punktach pomiarowych.



Rys. 1.2-4. Wyniki pomiarów poziomu mocy akustycznej płuczki ultradźwiękowej uwzględniające różną liczbę punktów pomiarowych.



Rys. 1.2-5. Wyniki pomiarów poziomu mocy akustycznej płuczki ultradźwiękowej uwzględniające różną liczbę okręgów pomiarowych.

### Obliczanie średniego poziomego ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej

Średni poziom ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej, oblicza się w dB, dla częstotliwości  $f$ , ze wzoru:

$$\overline{L_{p,f}} = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{p,i,f}} \right) \quad (1.2-7)$$

gdzie:

$n$  – liczba punktów pomiarowych,

$L_{p,i,f}$  – poziom ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej w punkcie o numerze  $i$ , w dB (dla częstotliwości  $f$ ).

### Obliczanie poprawki $K_{1,f}$

Poprawkę uwzględniającą hałas tła,  $K_{1,f}$ , dla częstotliwości  $f$ , oblicza się, w dB, ze wzoru:

$$K_{1,f} = -10 \cdot \lg(1 - 10^{-0,1 \cdot \Delta L_{p,f}}) \quad (1.2-8)$$

gdzie:

$$\Delta L_{p,f} = \overline{L_{p,zr,f}} - \overline{L_{p,t0,f}} \quad (1.2-9)$$

$\overline{L_{p,zr,f}}$  - średnia wartość poziomego ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości  $f$  na powierzchni pomiarowej, podczas gdy źródło emituje hałas ultradźwiękowy, w dB,

$\overline{L_{p,t0,f}}$  - średnia wartość poziomego ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości  $f$  na powierzchni pomiarowej, gdy źródło nie emituje hałasu ultradźwiękowego, w dB.

Jeżeli  $\Delta L_{p,f} > 15$  dB należy przyjąć, że  $K_{1,f}$  jest równa zero i można pominąć poprawkę związaną z hałasem tła (jest pomijalnie mała).

Dla  $6 \text{ dB} \leq \Delta L_{p,f} \leq 15 \text{ dB}$  należy poprawkę  $K_{1,f}$  uwzględnić w obliczeniach.

Wartości  $\Delta L_{p,f} < 6$  dB nie można zaakceptować. W celu zwiększenia wartości tej różnicy należy: albo przybliżyć powierzchnię pomiarową do źródła (patrz wyżej), albo zmniejszyć hałas tła akustycznego.

( $\Delta L_{p,f} = 15$  dB jest jednoznaczne z  $K_{1,f} = 1,3$  dB.)

### Poprawka wynikająca z tłumienia dźwięku w powietrzu $K_{\text{powietrze},f}$

Poprawki wynikającej z tłumienia dźwięku w powietrzu nie uwzględnia się wg [26,27] tj. w paśmie częstotliwości do 10 kHz. Wg [30] poprawkę uwzględnia się w paśmie częstotliwości od 10 kHz do 20 kHz dla promienia powierzchni pomiarowej półkulistej większego od 2m ( $r > 2\text{m}$ ).

W przedstawionej metodzie poprawkę wynikającą z tłumienia dźwięku w powietrzu uwzględnia się w całym rozpatrywanym zakresie częstotliwości tj. od 10 kHz do 40 kHz.

Określa się ją, w dB, ze wzoru:

$$K_{powietrze,f} = r \cdot \alpha_{powietrze,f} \quad (1.2-10)$$

gdzie:

$\alpha_{powietrze,f}$  – współczynnik tłumienia dźwięku w powietrzu w dB/m (wzór 1.2-11),

$r$  – promień powierzchni pomiarowej, w metrach.

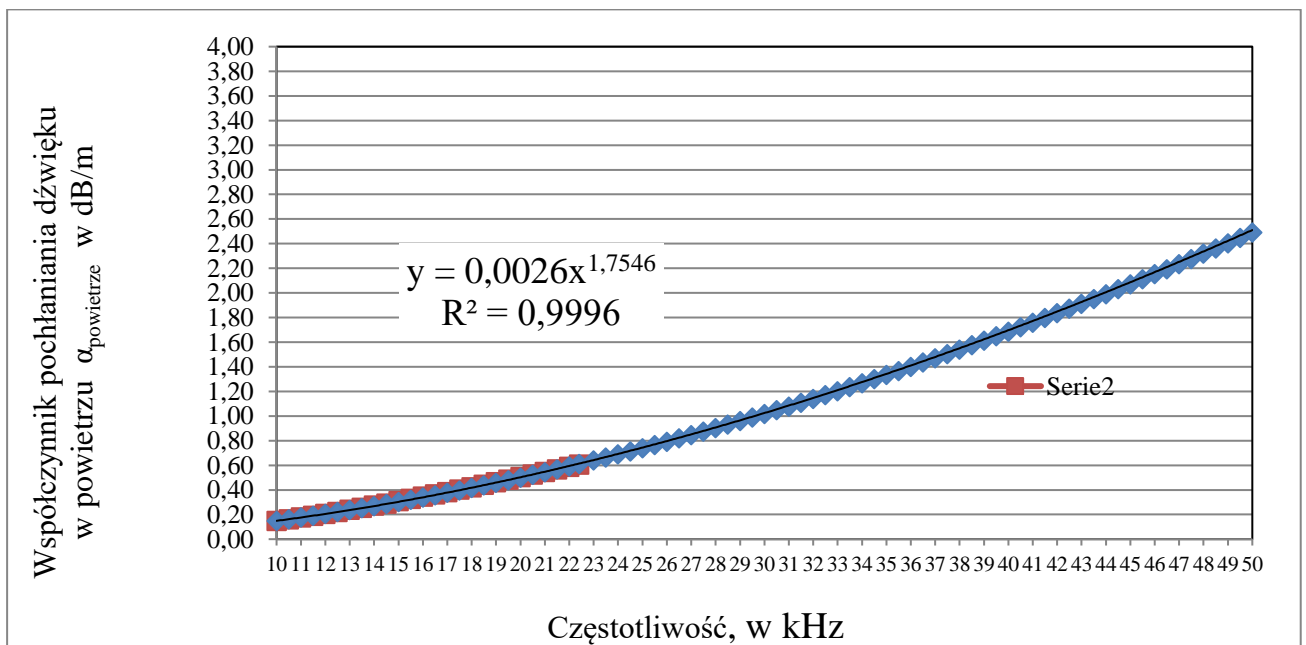
W normie PN-EN ISO 9295 [30] podano współczynniki pochłaniania dźwięku w powietrzu  $\alpha_{powietrze}$  w zakresie częstotliwości od 10 kHz do 22,4 kHz (w jednostkach Np/m). Po przeliczeniu na jednostki dB/m, dla wilgotności 50% i temperatury 22°C podano w postaci linii czerwonej na rys. 1.2-6 wykres zależności współczynniki pochłaniania dźwięku w powietrzu  $\alpha_{powietrze}$  od częstotliwości. Ekstrapolowano wykres współczynnika pochłaniania dźwięku w powietrzu  $\alpha_{powietrze}$  w funkcji częstotliwości, na zakres częstotliwości do 50 kHz (linia niebieska na rys. 1.2-6). Linia ww. regresji potęgowej ma dopasowanie  $R^2 = 0,9996$ .

Można wówczas współczynnik pochłaniania dźwięku w powietrzu  $\alpha_{powietrze}$  opisać funkcją:

$$\alpha_{powietrze} = 0,0026 \cdot f^{1,7546} \quad (1.2-11)$$

gdzie:

$f$  – częstotliwość, w kHz.



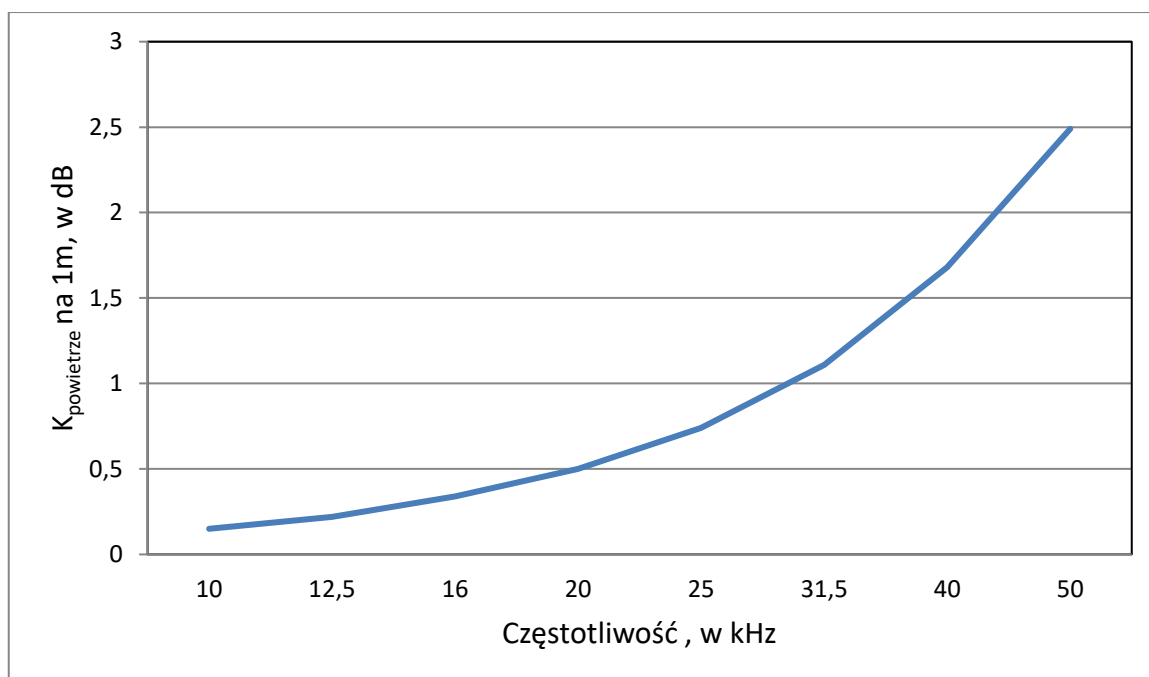
Rys. 1.2-6. Współczynnik pochłaniania dźwięku w powietrzu.



W tabeli 1.2-1 i na rys. 1.2-7 podano wartości współczynnika pochłaniania dźwięku w powietrzu  $\alpha_{\text{powietrze}}$  dla częstotliwości środkowych pasm tercjowych z zakresu 10 kHz – 50kHz dla odległości 1m tj. wartości poprawki  $K_{\text{powietrze,1m}}$ .

Tab. 1.2-1. Tłumienie dźwięku w powietrzu na 1m odległości od źródła (wilgotność 50% temperatura 22°C)

Częstotliwość, w Hz	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50
$K_{\text{powietrze,1m}}$ , w dB	0,15	0,22	0,34	0,5	0,74	1,11	1,68	2,49



Rys. 1.2-7. Tłumienie dźwięku w powietrzu na 1m odległości od źródła (wilgotność 50% temperatura 22°C).

### 1.3. Metoda pomiarowo-obliczeniowa wyznaczania poziomu ciśnienia akustycznego emisji w oparciu o pomiar poziomu ciśnienia akustycznego

Metoda pomiarowo-obliczeniowa wyznaczania poziomu ciśnienia akustycznego emisji źródła hałasu (maszyny, urządzenia) polega na obliczeniu tego parametru ze zmierzonego poziomu ciśnienia akustycznego bieżącej fali akustycznej na stanowisku pracy, lub gdy nie jest określone stanowisko pracy, w innym sprecyzowanym punkcie pomiarowym. Dlatego środowisko pomiaru to obszar, w którym energia fali bezpośrednio rozchodzącej się od źródła powinna dominować. Ze względów praktycznych (m.in. posadowienia źródła oraz możliwości umieszczenia mikrofonu pomiarowego), pomiary przeprowadza się nad płaszczyzną odbijającą dźwięk. Poziom ciśnienia akustycznego emisji (zarówno równoważny jak i maksymalny) określa się ze wzoru:

$$L_{p,e,f} = L'_{p,f} - K_{1,f} - K_{3,f} + K_{powietrze,f} \quad (1.3-1)$$

gdzie :

$L'_{p,f}$  – poziom ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy lub w innym określonym miejscu, w odległości  $d$  od źródła, dla częstotliwości  $f$ , w dB,

$K_{3,f}$  – poprawka środowiskowa, dla częstotliwości  $f$ , w dB,

$K_{1,f}$  – poprawka na hałas tła akustycznego, dla częstotliwości  $f$ , w dB,

$K_{powietrze,f}$  - poprawka wynikająca z tłumienia dźwięku w powietrzu, w odległości  $d$ , dla częstotliwości  $f$ , w dB.

(Uwaga: W opisie i wzorach, poziomy ciśnienia akustycznego i poziom ciśnienia akustycznego emisji zarówno odnoszą się do równoważnego jak i maksymalnego ich poziomu).

W warunkach rzeczywistych w pomieszczeniach poza falą bezpośrednią od źródła do mikrofonu docierają fale odbite (ponieważ mierzy się wypadkowy poziom ciśnienia akustycznego fal bezpośrednich i odbitych), z otrzymanego wyniku pomiaru trzeba wyeliminować wpływ fal odbitych – co wykonuje się stosując tzw. poprawkę środowiskową  $K_{3,f}$  (podobnie jak poprawka  $K_{2,f}$  przy wyznaczaniu poziomu mocy akustycznej). Poza energią akustyczną docierającą od źródła, na mierzony poziom ciśnienia akustycznego ma także wpływ tło akustyczne. Trzeba jego wpływ także wyeliminować z wyników pomiarów – co wykonuje się stosując tzw. poprawkę  $K_{1,f}$ . Zmierzony poziom ciśnienia akustycznego jest zaniżony ponieważ na jego wartość miało wpływ tłumienie dźwięku w powietrzu (trzeba więc jego wartość skorygować – co wykonuje się stosując tzw. poprawkę  $K_{powietrze}$ ).

Uwaga: Ta ostatnia poprawka, choć merytorycznie uzasadniona z punktu widzenia praktycznego jest dyskusyjna. Z merytorycznego punktu widzenia oraz spójności pomiarowej z poziomem mocy akustycznej powinno się ją stosować. Jednakże w celu wykorzystania przez użytkowników wyników emisji hałasu źródła do prognozowania zagrożenia hałasem ultradźwiękowym na stanowiskach pracy, uwzględnienie tej poprawki tylko utrudnia prognozowanie. Wynika to z faktu, że zmierzony wpływ tłumienia dźwięku w powietrzu w warunkach określania tego parametru i w warunkach zainstalowania źródła będzie taki sam (zakładając tą samą temperaturę i wilgotność).

### Kwalifikacja środowiska badawczego

Poprawka środowiskowa  $K_{3,f}$  w przestrzeni otwartej nad płaszczyzną odbijającą jest równa 0. W pomieszczeniach poprawkę środowiskową,  $K_{3,f}$ , w dB, oblicza się dla częstotliwości  $f$ , ze wzoru:

$$K_{3,f} = 10 \cdot \lg \left( 1 + 4 \frac{S}{A_f} \right) \quad (1.3-2)$$

gdzie:

$S = 2\pi d^2$ , w  $m^2$ ,

$d$  - odległość stanowiska pracy od źródła hałasu, w metrach,

$A_f$  - chłonność akustyczna pomieszczenia, w  $m^2$ , oblicza się dla częstotliwości  $f$ , ze wzoru:

$$A_f = 0,16 \frac{V}{T_f} \quad (1.3-3)$$

gdzie:

$V$  - objętość pomieszczenia badawczego, w  $m^3$ ;

$T_f$  - czas pogłosu dla częstotliwości, w sekundach.

Z tego wynika, że poprawkę środowiskową,  $K_{3,f}$ , w dB, oblicza się dla częstotliwości  $f$ , ze wzoru:

$$K_{3,f} = 10 \cdot \lg \left( 1 + 4 \frac{S}{A_f} \right) = 10 \cdot \lg \left( 1 + 24,8 \frac{S \cdot T_f}{V} \right) \approx 10 \cdot \lg \left( 1 + 25 \frac{S \cdot T_f}{V} \right) \quad (1.3-4)$$

Wg [28] poprawka na środowisko badawcze musi być nie większa od 2 dB tj.  $K_{3,f} \leq 2$  dB), natomiast wg [26] dla pomiaru poziomu mocy akustycznej poprawka na środowisko badawcze musi być nie większa od 4 dB tj.  $K_{2,f} \leq 4$  dB. Mimo iż merytorycznie poprawka wg [28] jest bardziej właściwa to biorąc pod uwagę specyfikę rozpatrywanego zakresu częstotliwości wstępnie przyjęto, że  $K_{3,f} \leq 4$  dB.

### Pozycje mikrofonu na powierzchni pomiarowej

W przedstawionej metodzie pomiary przeprowadza się na stanowisku pracy lub innym określonym miejscu. W tym drugim przypadku zaleca się, że  $d = 1$  m.

### Obliczanie poziomu ciśnienia akustycznego

W przedstawionej metodzie pomiar poziomu ciśnienia akustycznego  $L_p$  przeprowadza się na stanowisku pracy.

### Obliczanie poprawki $K_{1,f}$

Poprawkę uwzględniającą hałas tła,  $K_{1,f}$ , dla częstotliwości  $f$ , oblicza się, w dB, ze wzoru:

$$K_{1,f} = -10 \cdot \lg(1 - 10^{-0,1 \cdot \Delta L_{p,f}}) \quad (1.3-5)$$

gdzie:

$$\Delta L_{p,f} = L'_{p,f} - L''_{p,f} \quad (1.3-6)$$

$L'_{p,f}$  - poziom ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości  $f$  na stanowisku pracy, podczas pracy źródła hałasu, w dB,

$L''_{p,f}$  - poziom ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości  $f$  na stanowisku pracy, tła akustycznego, w dB,

Jeżeli  $\Delta L_{p,f} > 15$  dB należy przyjąć, że  $K_{1,f}$  jest równa zero i nie uwzględniać poprawki związanej z hałasem tła (jest pomijalnie mała).

Dla  $6 \text{ dB} \leq \Delta L_{p,f} \leq 15 \text{ dB}$  należy poprawkę  $K_{1,f}$  uwzględnić w obliczeniach.

Wartości  $\Delta L_{p,f} < 6$  dB nie można zaakceptować, w celu zwiększenia wartości tej różnicy należy zmniejszyć hałas tła akustycznego.

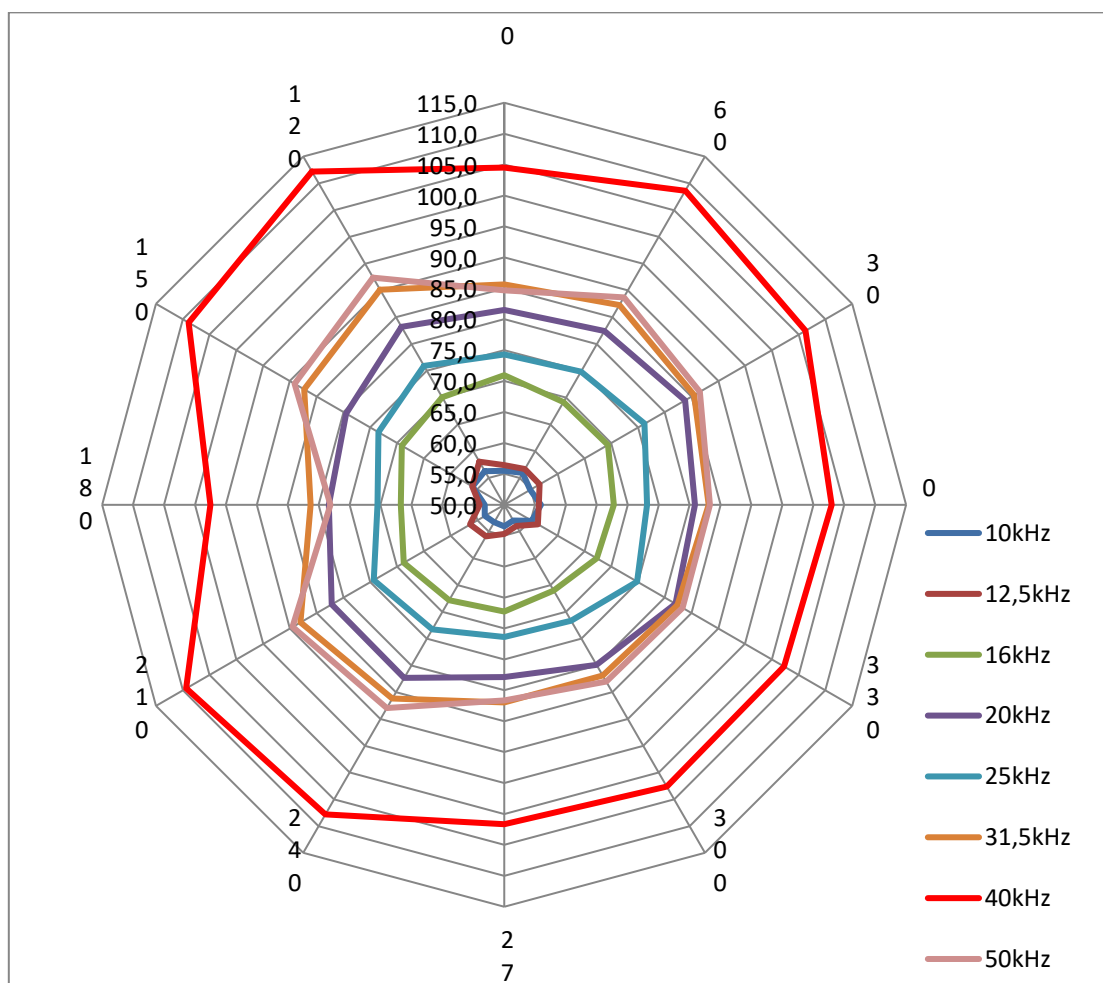
### Poprawka wynikająca z tłumienia dźwięku w powietrzu $K_{\text{powietrze},f}$

Poprawkę wynikającą z tłumienia dźwięku w powietrzu uwzględnia się analogicznie jak dla określania poziomu mocy akustycznej.

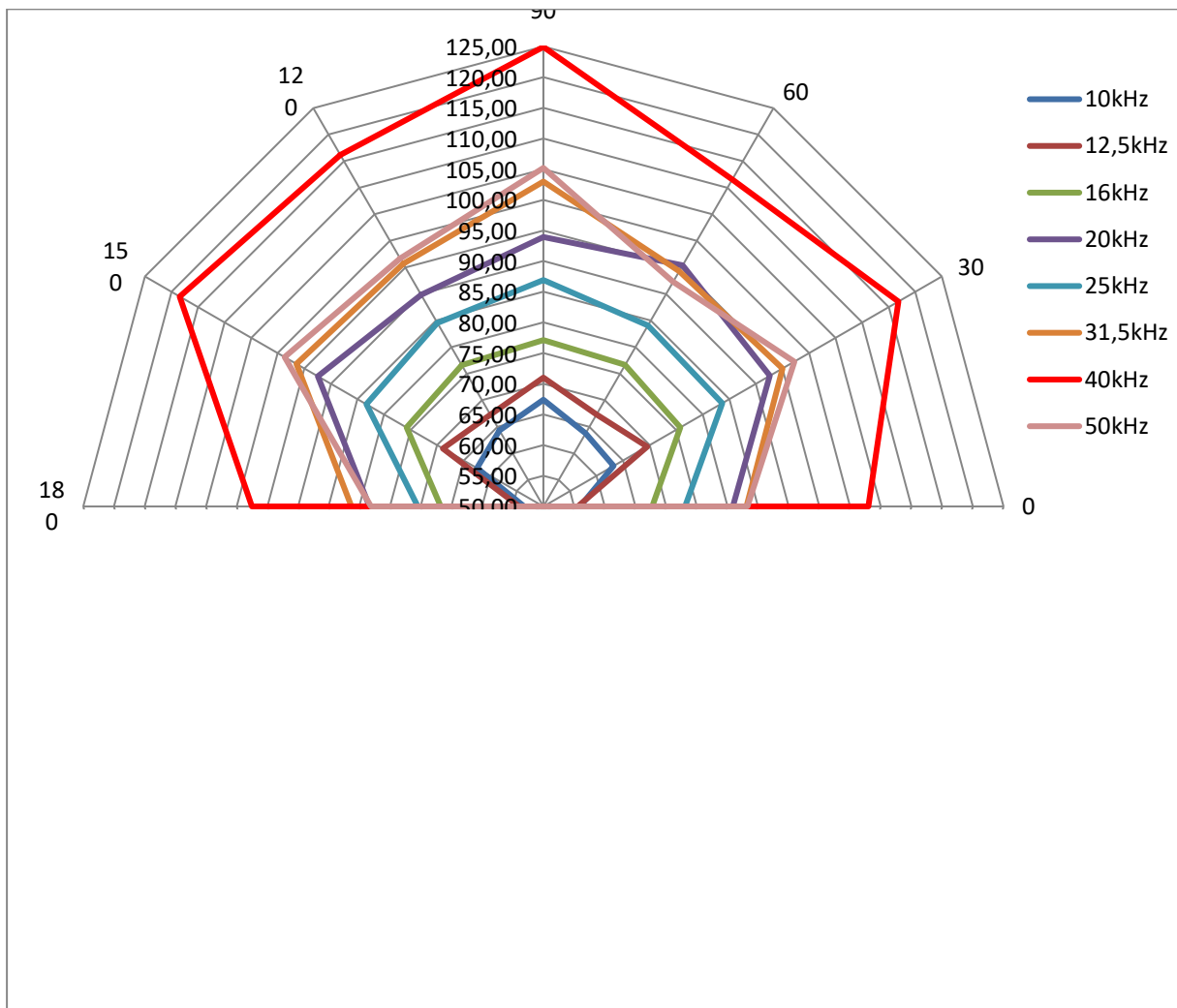
## 1.4. Metoda pomiarowo-obliczeniowa wyznaczania właściwości kierunkowych emisji źródeł hałasu ultradźwiękowego

Właściwości kierunkowej emisji dźwięku źródeł ultradźwiękowym podaje się w postaci charakterystyk promieniowania w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Są to wartości poziomu ciśnienia akustycznego w odległości 1m od środka źródła. Przedstawia się je na wykresach kołowych (w płaszczyźnie poziomej rys. 1.4-1 i pionowej 1.4-2). Przy określaniu tych charakterystyk nie uwzględnia się poprawek środowiskowych i tłumienia dźwięku w powietrzu  $K_{3,f}$  i  $K_{\text{powietrze},f}$  (we wszystkich punktach pomiarowych są takie same), w większości przypadków nie ma potrzeby także uwzględniania poprawki  $K_{1,f}$ .

Właściwości kierunkowej emisji dźwięku źródeł ultradźwiękowych można także określić wskaźnikiem pozornej kierunkowości  $D_{1,i}$  w kierunku  $i$  (wzór 1.2-6).



Rys. 1.4-1. Kierunkowość promieniowania urządzenia w płaszczyźnie poziomej (z rys.2.3-3) (liczby w kolumnie przy osi OY są wartościami poziomu ciśnienia akustycznego w dB, natomiast liczby na obwodzie wykresu kołowego są wartościami kąta płaskiego w stopniach od przyjętej osi głównej źródła).



Rys.1.4-2. Kierunkowość promieniowania urządzenia w płaszczyźnie pionowej (z rys. 2.3-4) (liczby w kolumnie przy osi OY są wartościami poziomu ciśnienia akustycznego w dB, natomiast liczby na obwodzie wykresu kołowego są wartościami kąta płaskiego w stopniach od przyjętej osi głównej źródła).

## Literatura

1. Hassall J.R. and Zaveri K. (1979). "Acoustic Noise Measurements", Bruel & Kjaer, Denmark, 1–280.
2. Kling C., Koch C. and Kühler R. (2015). "Measurement and assessment of airborne ultrasound noise", Proceedings The 22nd International Congress on Sound and Vibration, Italy.
3. Koton J. (1986). „Ultradźwięki”, Inst. Wyd. Zw. Zaw., Warszawa, 1–125.
4. Koton J. (1988). „Przemysłowe źródła hałasu ultradźwiękowego, Bezpieczeństwo Pracy, 10, 11–15.
5. Mikulski W., Smagowska B. (2016). „Hałas ultradźwiękowy na wybranych stanowiskach pracy”, XXXIV Zimowa Szkoła Zwalczenia Zagrożeń Wibroakustycznych, Ustroń 27.02-03.03.2006.
6. Mikulski W. (2013). "Method of determining the sound absorbing coefficient of materials within the frequency range of 5000-50000 Hz in a test chamber of a volume of about 2 m<sup>3</sup>", Archives of Acoustics, 38, 2, 177-183.
7. 23. Mikulski W., Radosz J. (2009). „Metoda określania poziomu mocy akustycznej źródeł hałasu ultradźwiękowego. Określenie kryteriów ustalania minimalnej liczby punktów pomiarowych”, 56 Otwarte Seminarium Akustyki, Warszawa-Goniądz, 15-18.09.2009r.
8. 24. Mikulski W., Radosz J. (2010). „Określanie poziomu mocy akustycznej źródeł hałasu ultradźwiękowego na podstawie pomiaru średniego poziomu ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej metodą omiatania”, XV Konferencja Noise Control, Książ-Wrocław, 6-9.06.2010r.
9. 25. Mikulski W. (2017). „Metoda określania poziomu mocy akustycznej źródeł hałasu w zakresie częstotliwości powyżej 10kHz”. XLV Szkoła Zimowa Akustyki Środowiska i Wibroakustyki, Szczyrk, 27.02-3.3.2017r.
10. Mikulski W. (2017). „Określanie emisji hałasu źródeł w zakresie częstotliwości 10-40 kHz”. WIBROTECH, Pruszków, 19-20.05.2017.
11. Pawlaczyk-Łuszczynska M., Koton J. and Augustyńska D. (2001). „Hałas ultradźwiękowy”, Podst. i Metody Oceny Środowiska Pracy, 17, 2(28), 89–95.
12. Pawlaczyk-Łuszczynska M., Dudarewicz A. and Śliwińska-Kowalska M. (2007). „Źródła ekspozycji zawodowej na hałas ultradźwiękowy – ocena wybranych urządzeń”. Medycyna Pracy 2007. (58), str.105-116.
13. Pleban D. (2012). "Methods of determination of sound absorption properties of materials in frequency range above 4000 Hz", Proc. INTER-NOISE 2012.
14. Pleban D. (2013). "Method of testing of sound absorption properties of materials intended for ultrasonic noise protection", Archive of Acoustics, 38, 2, 191-195.
15. Radosz J. (2012). "Methodology issues of ultrasonic noise exposure assessment". NOISE CONTROL ENG J 60 (6): 645-654 NOV 2012.
16. Radosz J. (2014). "Uncertainty due to instrumentation for sound pressure level measurement in high frequency range", Noise Control Eng. J., 62, 4, 186–195.
17. Radosz J. (2015). " Procedura pomiaru hałasu ultradźwiękowego", Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy (PIMOŚ), 4, 86, 169–190.

18. Smagowska B. (2011). "Ultrasonic noise at workstations with machinery and devices with air compression", [in Polish], *Bezpieczeństwo Pracy-Nauka i Praktyka*, 7/8, 38-41.
19. Smagowska B. (2012). "Źródła hałasu ultradźwiękowego w środowisku pracy", *XL Szkoła Zimowa Zwalczania Zagrożeń Wibroakustycznych*, Gliwice – Szczyrk, 27.02 – 2.03.2012.
20. Smagowska B. (2013). "Ultrasonic Noise Sources in a Work Environment", *Archives of Acoustics*, 38, 169–176.
21. Smagowska B. and Mikulski W. (2008). "Hałas ultradźwiękowy na stanowiskach pracy dźwazek ultradźwiękowych – ocena ryzyka zawodowego", *Bezpieczeństwo Pracy-Nauka i Praktyka*, 10, 18-22.
22. Smagowska B., Mikulski W., Jakubowska I. (2014). "Sound absorbing materials for collective protections against ultrasonic noise research results", *Bezpieczeństwo Pracy-Nauka i Praktyka*, 5, 24-26.
23. Śliwiński A. (2001). „Ultradźwięki i ich zastosowania”. WNT. Warszawa.
24. Śliwiński A. (2013). "Assessment of ultrasonic noise hazard in work places environment", *Arch. Acoust.* 38, 243–252.
25. Śliwiński A. (2016). "On the Noise Hazard Assessment within the Intermediate Range of the High Audible and the Low Ultrasonic Frequencies". *Archives of Acoustics*, 41, No. 2, 331-338.
26. 57.PN-EN ISO 3744:2011, Akustyka - Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej i poziomów energii akustycznej źródeł hałasu na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego – Metody techniczne stosowane w warunkach zbliżonych do pola swobodnego nad płaszczyzną odbijającą dźwięk.
27. 58.PN-EN ISO 3746:2011, Akustyka - Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej i poziomów energii akustycznej źródeł hałasu na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego – Metoda orientacyjna z zastosowaniem otaczającej powierzchni pomiarowej nad płaszczyzną odbijającą dźwięk.
28. 59.PN-EN ISO 11201:2012, Akustyka -- Hałas emitowany przez maszyny i urządzenia -- Wyznaczanie poziomów ciśnienia akustycznego emisji na stanowisku pracy i w innych określonych miejscach w warunkach zbliżonych do pola swobodnego nad płaszczyzną odbijającą dźwięk z pomijalnymi poprawkami środowiskowymi
29. 60.PN-EN ISO 11202: 2012, Akustyka -- Hałas emitowany przez maszyny i urządzenia - - Wyznaczanie poziomów ciśnienia akustycznego emisji na stanowisku pracy i w innych określonych miejscach z zastosowaniem przybliżonych poprawek środowiskowych
30. 61.PN-EN ISO 9295:2015-09 Akustyka -- Wyznaczanie poziomów mocy hałasu wysokiej częstotliwości emitowanego przez maszyny i urządzenia.
31. PN-EN ISO 4871:2012, Akustyka – Deklarowanie i weryfikowanie wartości emisji hałasu maszyn i urz.
32. PN-ISO 9613-1:2000 Akustyka - Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej - Obliczanie pochłaniania dźwięku przez atmosferę.
33. PN-ISO 9613-2:2002 Akustyka - Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej - Ogólna metoda obliczania.



34. Obwieszczenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dn. 7 czerwca 2017 r. (Dz.U. 2017 poz. 1348 z 7 lipca 2017) w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy.
35. Rozporządzenie Rady Ministrów z 3 kwietnia 2017 (Dz.U.2017 poz. 796) w sprawie uciążliwych, niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet w ciąży i kobiet karmiących dziecko piersią (poprzednie RRM 30 lipca 2002r. Dz.U. Nr 127 poz. 1092, RRM 29 października 2015 Dz.U. 2015.1737).
36. .Obwieszczenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 29 sierpnia 2016 r. (Dz.U. 20161509) w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom w ciąży.
37. Rozporządzenie Ministerstwa Pracy i Polityki Socjalnej z 6 czerwca 2008r. (Dz.U. Nr 108 z 2008r Poz.690) zmieniające rozporządzenie w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (zmiana Dz.U. 2011 nr 173 poz. 1034).
38. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z 5 sierpnia 2005r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne (Dz.U. Nr 157 poz. 1318 z 19 sierpnia 2005) (wdraża przepisy Dyrektyw 2002/44/WE i 2003/10/WE)
39. Dyrektywa 2000/14/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 8 maja 2000 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw państw członkowskich dotyczących emisji hałasu do środowiska przez urządzenia używane na zewnątrz pomieszczeń.
40. Dyrektywa 2005/88/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 14 grudnia 2005 r. zmieniająca dyrektywę 2000/14/WE w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do emisji hałasu do środowiska przez urządzenia używane na zewnątrz pomieszczeń.
41. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 21 grudnia 2005r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń używanych na zewnątrz pomieszczeń w zakresie emisji hałasu do środowiska (Dz.U. Nr 263 poz. 2202) (zmiany RMG 15 lutego 2006r. Dz.U. Nr 32 poz. 223 i 28 maja 2007 r. oraz Dz.U. Nr 105 poz. 718 z 14 czerwca 2007)
42. Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn
43. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 21 października 2008r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn (Dz.U. Nr 199, poz. 1228) (zmiany RMG 13 czerwca 2011 Dz.U. 2011 nr 124 poz. 701) (wdraża przepisy Dyrektywy 2006/42/WE).