



KONCEPCJA AEROSTATYWU DO POMIARÓW HAŁASU ZEWNĘTRZNEGO

The Conception of Aerostand For Noise Measurements Outdoors

Krzysztof Rudno-Rudziński

Politechnika Wrocławska, Instytut Telekomunikacji i Akustyki
krzysztof.rudno-rudzinski@pwr.wroc.pl

STRESZCZENIE

Przepisy z zakresu ochrony środowiska przed hałasem nakładają obowiązek wykonywania pomiarów hałasu na wysokości 4 m, co wymaga stosowania odpowiednio wysokiego statywu. Przemieszczanie się z takim statywem mikrofonowym jest kłopotliwe, a ciągłe składanie i rozkładanie wydłuża pomiary. Ponadto w pomiarach występują różne utrudnienia, związane z ukształtowaniem i pokryciem terenu.

Dla wyeliminowania tych niedogodności podjęto prace nad wykorzystaniem zjawisk aerostatyki i aerodynamiki do przenoszenia mikrofonów pomiarowych.

Koncepcja aerostatywu zakłada zastąpienie statywu mikrofonowego przez mini balon na uwięzi. W pracy przedstawiono wyniki rozważań, dotyczących praktycznej realizacji aerostatywu z uwzględnieniem warunków meteorologicznych oraz wpływu aerostatywu na pola akustyczne.

1. WPROWADZENIE

W pomiarach akustycznych prowadzonych poza budynkami nierzadko zachodzi konieczność ustawiania mikrofonu na wysokości kilku a nawet kilkunastu metrów nad terenem. Dotyczyć to może zarówno pomiarów hałasu w środowisku zewnętrznym, gdzie wymaga się ustawienia mikrofonu na wysokości 4 m nad terenem [1], jak badań poziomu hałasu na elewacjach budynków lub pomiarów wysoko umieszczonych źródeł dźwięku. Jako alternatywę dla stosowania w takich przypadkach klasycznego statywu mikrofonowego rozważono wykorzystanie balonu na uwięzi do unoszenia mikrofonu na pożądaną wysokość. Dla zwięzłości rozwiązanie to nazwano „aerostatywem” mikrofonowym. Przyjęto, że mikrofon z membraną skierowaną w górę będzie podwieszony w określonej odległości pod balonem.

2. OBLICZENIA BALONU

Jak wynika z prawa Archimedesesa, aby balon unióś mikrofon pomiarowy jego objętość V powinna być równa co najmniej:

$$V = \frac{M}{(\rho - \rho_b)}, \quad (1)$$

przy czym ρ i ρ_b są odpowiednio gęstością powietrza i gęstością gazu wypełniającego balon, natomiast M jest łączną masą balonu (powłoka wraz z uwięzią) oraz mikrofonu z osłoną przeciwwietrzną i kablem.

Ze względu na właściwości użytkowe korzystne jest zastosowanie balonu foliowego wypełnionego helem. W warunkach standardowej temperatury i ciśnienia (w lotnictwie 15°C i 1013,25 hPa) $\rho = 1,226 \text{ kg/m}^3$ i $\rho_b = 0,169 \text{ kg/m}^3$. Przyjmując łączną masę balonu oraz mikrofonu $M = 200 \text{ g}$ można obliczyć minimalną objętość balonu $V = 190 \text{ dm}^3$. W przypadku balonu kulistego daje to średnicę 71 cm. Ponieważ średnica zależy od trzeciego pierwiastka z objętości (i masy) balonu, znacznym zmianom masy odpowiadają stosunkowo niewielkie zmiany średnicy, np. przy podwojeniu masy średnica balonu wzrośnie o 26 %, analogicznie przy zmniejszaniu masy.

Nadwyżka siły nośnej nad siłą ciężkości zapewnia osiągnięcie przez balon wysokości równej długości uwięzi. W przypadku, gdy wieje wiatr, pojawia się (pozioma) siła oporu aerodynamicznego. Uwięź odchyła się od pionu o kąt α określony przez wypadkową siłę działającą na balon. Kąt ten można obliczyć z wzoru:

$$\alpha = \arctg \frac{c_x \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S_p}{2 \cdot g \cdot [(\rho - \rho_b) \cdot V - M]}, \quad (2)$$

w którym: c_x – współczynnik oporu aerodynamicznego ($c_x = 0,2$ dla kuli), v – prędkość wiatru, S_p – pole przekroju kuli, g – przyspieszenie ziemskie. W przypadku kulistego foliowego balonu wypełnionego helem, o średnicy 0,9 m i masie całkowitej $M = 200 \text{ g}$, gdy wiatr wieje z prędkością $v = 5 \text{ m/s}$, odchylenie od pionu wyniesie $\alpha = 44,3^\circ$.

3. WPLYW BALONU NA POLE AKUSTYCZNE

Obecność balonu w pobliżu mikrofonu będzie wpływała na wynik pomiaru. Istnieją rozwiązania zagadnienia zaburzenia pola akustycznego przez kulę, wymagają one jednak znajomości warunków brzegowych na powierzchni kuli [1]. Aby ocenić wielkość tego zaburzenia wykonano pomiary w komorze bezpogłosowej. Głośnik wszechkierunkowy ustawiono w odległości 2 m od osi stolika obrotowego, nad którą zawieszono balon. Mikrofon pomiarowy obracał się wokół balonu w odległości określonej przez długość ramienia stolika. Głośnik zasilano szumem różowym, sygnał z mikrofonu doprowadzano do analizatora 1/3 oktawowego Larson-Davis typ 2900. Analizę pojedynczego widma wykonywano z uśrednianiem liniowym w czasie potrzebnym na przemieszczenie mikrofonu w sektorze kątowym równym 10° , przy tym był to czas wystarczający do wystarczająco dokładnej estymacji (powtarzalność w granicach 0,1...0,2 dB). Pomiary wykonano w zakresie $0^\circ \dots 360^\circ$.

W badaniach wykorzystano balon gumowy w kształcie zbliżonym do kuli napełniany powietrzem oraz balony foliowe w kształcie serca napełniane powietrzem lub helem, które ustawiano prostopadle lub równoległe do kierunku rozchodzenia się fali akustycznej. Balon gumowy napełniano z naciśnięciem do dwóch średnic: 0,5 i 0,7 m. Balon foliowy napełniano do wypełnienia powłoki, bez naciśnięcia. Masa powłoki balonu gumowego wynosiła 77 g, natomiast balonu z folii („serce” 0,6 m / 0,34 m) – 27 g.

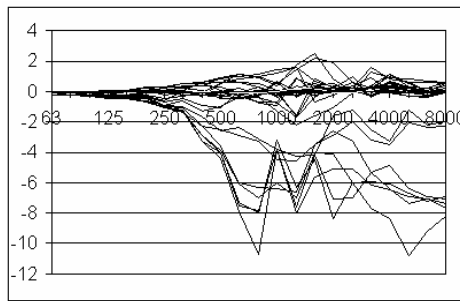
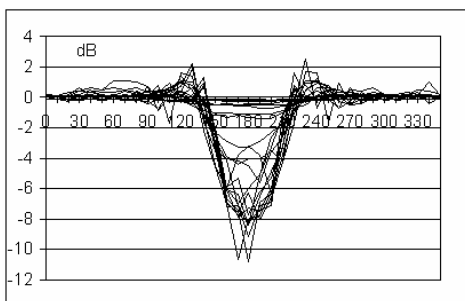
Na wykresach przedstawiono różnicę poziomów ciśnienia akustycznego, zmierzonych z balonem i bez balonu. Bez balonu mikrofon rejestruje tylko poziom

uśrednionego kwadratu ciśnienia akustycznego fali padającej L_i , a z balonem - poziom uśrednionego kwadratu ciśnienia akustycznego sumy fali padającej i odbitej od balonu L_{i+r} , zatem różnica poziomów

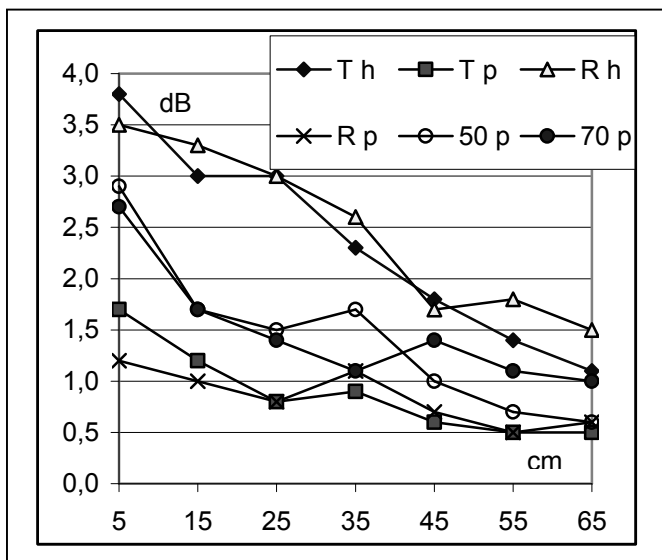
$$\Delta L = L_{i+r} - L_i = 10 \cdot \lg \left| 1 + \frac{p_r}{p_i} \right|^2 \approx 8,68 \cdot \frac{p_r}{p_i} [dB] \quad (3)$$

Dla małych wartości stosunku ciśnienia fali odbitej do padającej można stosować przybliżenie, zgodnie z którym wystarczy przeskalować różnicę poziomów aby wyznaczyć współczynnik odbicia R:

$$R = \frac{p_r}{p_i} \approx \frac{\Delta L}{8,68} \quad (4)$$



Rys. 1. Zaburzenie pola przez balon foliowy napełniony helmem, analiza 1/3 oktawa, mikrofon 0,95 m od osi balonu w zależności od: kierunku (po lewej), częstotliwości (po prawej)



Rys. 2. Zależność zaburzenia od odległości mikrofonu dla różnych balonów (szczegółowy opis w tekście).

Na rys. 1 można zaobserwować zasadnicze cechy zaburzenia pola akustycznego przez balon. Największe zaburzenia występuje w obszarze cienia geometrycznego balonu. W praktyce, dla źródeł dźwięku położonych w odległości co najmniej 10 m i na wysokości ± 4 m względem balonu, zakres kątów odbicia od balonu fal trafiających na membranę

mikrofonu wynosi $90^\circ \pm 22^\circ$. Dla tego zakresu kątów zaburzenie jest znacznie mniejsze, niż w obszarze cienia.

Można również zauważyć, że ekranujące działanie balonu jest istotne powyżej 125 Hz.

Na rysunku 2 przedstawiono zależność wartości maksymalnej zaburzenia w sektorach z zakresu kąтового od 70° do 110° , czyli tam, gdzie zwykle znajdowałby się mikrofon, w funkcji odległości mikrofonu od powierzchni balonu, dla różnych balonów. Symbol „p” oznacza napełnienie powietrzem, symbol „h” – helem; „T” i „R” oznaczają odpowiednio ustawienie balonu sercowego prostopadle i równolegle do kierunku rozchodzenia się fali, „50” i „70” są to średnice kulistego balonu gumowego.

Można zauważyć, że najmniejsze zaburzenie wprowadza balon foliowy, napełniony powietrzem. Dla odległości około 0,5 m wynosi ono w przybliżeniu 0,5 dB. Większe zaburzenie wprowadza balon gumowy, przekracza ono 1 dB dla odległości 0,5 m. Największy jest wpływ balonu foliowego napełnionego helem. Wynosi on od około 4 dB dla mikrofonu w odległości 5 cm od powłoki balonu, do 1,5 dB w odległości 0,5 m.

W tym zakresie kątów, którego dotyczą wyniki z rys. 2, asymetria kształtu balonu foliowego nie jest szczególnie istotna.

4. WNIOSKI

Koncepcja realizacji aerostatywu napotyka liczne ograniczenia. Dla uzyskania siły nośnej, potrzebnej dla unoszenia mikrofonu, potrzebne są balony o średnicy blisko 1 m.

Balon zaburza pole akustyczne wokół mikrofonu wskutek odbicia fali akustycznej od jego powierzchni. Zaburzenie to ogólnie rośnie ze wzrostem stosunku wymiarów balonu do długości fali. Efekty zaburzenia pola maleją przy oddalaniu się od powierzchni balonu. W zakresie kątów odbicia zbliżonych do 90° zaburzenie jest mniejsze, niż w strefie cienia geometrycznego, ale też może być niedopuszczalnie duże.

W celu uzyskania odpowiednio dużej siły nośnej, balon musi być jak najlżejszy. Zatem powinien on mieć powłokę o małej masie powierzchniowej napełnioną gazem lżejszym od powietrza, jakim jest hel. Gdy balon znajduje się w polu akustycznym, stanowi on obszar o zmienionej impedancji falowej, co jest przyczyną odbicia fali na powierzchni tego obszaru [1]. Balon gumowy – o większej masie powierzchniowej od balonu foliowego, ale wypełniony powietrzem, ma mniejszy współczynnik odbicia, niż balon foliowy wypełniony helem.

Istotnym ograniczeniem stosowania aerostatywów w praktyce jest ich podatność na warunki meteorologiczne, a szczególnie na wiatr. Gdy wieje wiatr, na balon działa siła oporu aerodynamicznego, proporcjonalna do jego przekroju, która powoduje ruch balonu. Gdy jest on na uwięzi, ustaleniu równowagi towarzyszy przemieszczenie balonu i jego obniżenie. Ponieważ prędkość wiatru nie jest stała z uwagi na jego turbulencyjny charakter, utrudnia to ewentualne korygowanie pozycji mikrofonu. Bezładność balonu może w pewnym stopniu ograniczać ten efekt, powinno to zostać zbadane w przypadku kontynuacji prac nad aerostatywem.

Możliwa jest optymalizacja konstrukcji aerostatywu zmierzająca w kierunku obniżenia masy mikrofonu, przy czym należy rozważyć, czy eliminować kabel wprowadzając dodatkowe obciążenie nadajnikiem bezprzewodowym, czy zastosować specjalnie lekki kabel – który z kolei może mieć złe parametry elektryczne.

LITERATURA

[1] E. SKUDRZYK, The Foundations of Acoustics, Springer, Wien New York 1971.