

MERKISZ Jerzy<sup>1</sup>  
PŁOTNICKA Natalia<sup>1</sup>  
DAHLKE Grzegorz<sup>2</sup>

### OCENA NARAŻENIA PILOTA SAMOŁOTU TURYSTYCZNEGO NA DRGANIA I HAŁAS

*Na podstawie pomiaru drgań i hałasu wykonanego w kabinie samolotu Cessna 152, dokonano oceny narażenia pilota na powyższe procesy w warunkach lotu samolotu. W pracy dokonano analizy zmian parametrów ilościowych definiujących stopień i zakres narażenia pilota na powyższe oddziaływanie od strony procesów resztkowych wraz z zaznaczeniem profilu użytkowania samolotu Cessna 152. Ponadto przedstawiono skutki narażenia człowieka na hałas i drgania w środowisku pracy oraz metody zwalczania i ochrony przed rozważanymi czynnikami.*

*Kluczowe znaczenie w pracy mają przedstawione wyniki badań i wnioski im towarzyszące. Świadczą wysokim stopniu narażenia pilotów na hałas i drgania na stanowisku pracy. Zaprezentowane wyniki badań stanowią etap wstępny oceny wpływu oddziaływania procesów drganiowych i akustycznych na organizm ludzki operatora statku powietrznego i jego właściwości sensomotoryczne. Treści ujęte w pracy mieszczą się w obszarze zainteresowań naukowo-badawczych autorów [9]. Niniejsza praca ujmuje zagadnienie techniczne z punktu widzenia skutków oddziaływania procesów resztkowych na organizm ludzki, co wpisuje się w obecne i przyszłe wymagania światowych unormowań prawnych i przepisów szczegółowych w obszarze eksploatacji i badań dla lotnictwa cywilnego.*

### ASSESSMENT OF THE TURISTIC AIRCRAFT PILOT EXPOSURE ON VIBRATIONS AND NOISE

*The paper describes the assessment of the pilot exposure on vibroacoustic processes at the flight conditions on the basis of vibration and acoustic measurements done in the cabin of the Cessna 152 aeroplane. The analysis of the quantity parameters changes, which define a value and range of a pilot exposure for the above influence to the side of accompanying processes and with profile of the Cessna 152 aircraft exploitation conditions has been done. Consequences of a human exposure on acoustic signal and vibrations in the work place and the method to prevent from occurring such processes and protection of the human against their influences are written down as well.*

<sup>1</sup> Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, Polska; Poznan 60-965; ul. Piotrowo 3. Tel.: + 48 61 665-22-07, fax: +48 61 665-22-04; e-mail: office\_ice@put.poznan.pl

<sup>2</sup> Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Zarządzania, 60-965 Poznań, ul. Strzelecka 11. Tel: (0-61) 665 3379, e-mail: office\_fem@put.poznan.pl

*The main and important part of the work are measurements results and conclusions done on the basis of them. They prove that pilots of that planes are exposed for noise and vibrations in the airplane cabin. The above results represent the initial stage of the assessment of the vibration and acoustic processes influence on the human body of the aircraft operator and a human behaviour. The paper contains issues that are connected with the authors scientific field [9]. Described scientific technical problem refers to results of the influence of the accompanying processes on a human organism, what applies to present and future world norms and particular regulations in the field of the exploitation and research of the civil aircrafts.*

## **1. HAŁAS I DRGANIA A ZDROWIE CZŁOWIEKA**

Mówiąc o skutkach narażenia człowieka na hałas należy na początku dokonać klasyfikacji: uszkodzenie słuchu oraz skutki pozasłuchowe. Podstawowym następstwem hałasu dla ludzkiego organizmu są ubytki słuchu. Skutki pozasłuchowe są wynikiem powiązania drogi słuchowej z układami centralnymi i wegetatywnymi. Reakcje wegetatywne organizmu występują już przy poziomie ciśnienia równym 75 dB. Oddziaływanie hałasu wzmacnia metabolizm organizmu. Ciągłe narażenie na hałas powoduje: bezsenność, bóle głowy i zaburzenia wzroku. W środowisku pracy hałas wpływa na jakość i wydajność wykonywanych zadań. Narażenie na hałas wydłuża czas reakcji [1, 2, 5].

Hałas emitowany przez silnik lotniczy o poziomie dźwięku 115 dB wpływa negatywnie na czułość światłą widzenia o zmroku (obniża się ona o 20% w stosunku do poziomu ciszy). Hałas ma również wpływ na zdolność rozróżniania kolorów. Dźwięki o wysokich częstotliwościach powodują rozjaśnienie oglądanego koloru, dźwięki o niskich częstotliwościach pociemnienie oglądanego koloru [4, 10].

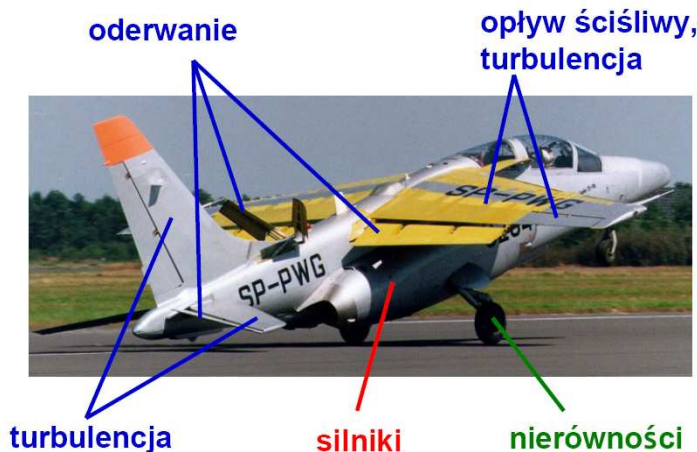
Oceniając wpływ drgań na organizm ludzki można posłużyć się różnymi kryteriami takimi jak: wartość parametrów drgań (częstotliwość, amplituda, przyspieszenie, przebieg, czas trwania), miejsce przekazywania drgań na człowieka i pozycji odbioru (stojąca – odbiór przez stopy i kończyny górne, siedząca – odbiór przez biodra, leżąca – odbiór przez plecy). Ze względu na kontakt człowieka z elementem drgającym dzieli się je na: drgania ogólne (przenoszone przez nogi, biodra, plecy, boki) i drgania miejscowe (przenoszone przez kończyny górne).

Zgodnie z normą ISO 2631, oceniając narażenie na drgania ogólne, ze względu na wartość przyspieszenia, dzieli się narażenie organizmu z uwagi na granicę: komfortu, uciążliwości i szkodliwości. Ekspozycja na drgania przyczynia się do zaburzeń w obrębie układu kostno-stawowego (drgania o częstotliwości mniejszej niż 30 Hz). W przypadku drgań miejscowych występują zmiany w kościach i stawach kończyn górnych, aż do stawu biodrowego. W przypadku drgań ogólnych – zmiany wzdłuż kręgosłupa. Zmiany te zachodzą ze względu na zaburzenia krążenia krwi w obszarze ciała narażonego na działanie drgań. W obrębie układu krążenia drgania o częstotliwości powyżej 30 Hz przenoszone przez kończyny górne powodują: zmiany naczyniowe, ból, napadowe zblizanie skóry palców, obniżenie ciśnienia tętniczego i obniżenie temperatury rąk. Mięśnie są zaangażowane w sposób czynny w amortyzację drgań, dlatego też może dojść do zmian w ich czynnościach bioelektrycznych. Układ nerwowy narażony na drgania reaguje zaburzeniami czucia, drętwieniem i mrowieniem palców, bólami i zawrotami głowy oraz bezsennością i osłabieniem pamięci [5].

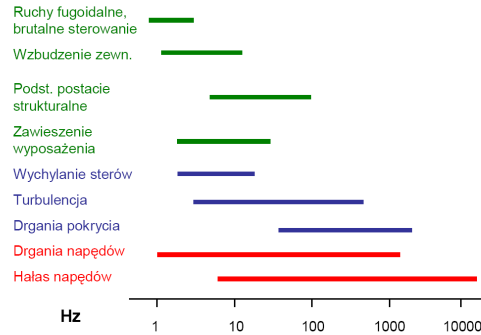
## 2. SAMOŁOT JAKO ŹRÓDŁO DRGAŃ I HAŁASU

Badając hałas i drgania emitowane przez samoloty można rozpatrywać problem w dwóch kategoriach: wpływu hałasu i drgań na środowisko lub zdrowie człowieka. Tadeusz Rajpert w [11] podzielił zakłócenia emitowane przez samolot na zewnętrzne i wewnętrzne. Jako zewnętrzny hałas lotniczy rozumie się: hałas portu lotniczego, gdzie źródłem może być samolot w stanie stacjonarnym z uruchomionym zespołem napędowym lub w ruchu z własnym napędem. Zaliczany jest do tej grupy również ruch lotniczy: w granicach portu, w strefie lotów nad lotniskiem, w strefie oczekiwania i w strefie podejścia. Wewnętrzny hałas lotniczy emitowany jest przez różne źródła w zależności od tego, czy samolot znajduje się w stanie stacjonarnym, czy w ruchu (rys. 1). Zasadniczy wpływ na hałas wewnętrzny ma rodzaj napędu oraz rozmieszczenie silników w stosunku do kadłuba. Na poziom hałasu wewnętrznego samolotu znajdującego się w ruchu mają wpływ hałasy aerodynamiczne. Poziomy hałasu w kabinach załogi są znacznie wyższe, niż te w kabinach pasażerskich, ze względu na hałasy aerodynamiczne o dużych częstotliwościach, zaburzenia opływającego strumienia powietrza, anteny, mała ilość materiału wykładzinowego i dźwiękochłonnego [10].

Pasażerowie samolotu i załoga odgradzeni są od hałasów aerodynamicznych tylko blachą poszycia o grubości 1–5 mm. Izolacyjność akustyczna powyższego poszycia wynosi około 20 dB. Kształt kabiny samolotu i sztywność konstrukcji sprawiają, że pogłos zwiększa się. Samoloty, ze względu na dużą moc silników, są bardzo istotnym źródłem hałasu i drgań. Źródłami generowania powyższych procesów są w samolocie: napęd, śmigło oraz wyptyw spalin. Drugą grupę stanowią hałasy i drgania powstałe na skutek ruchu kadłuba samolotu. Źródłami drgań są także: działanie zmiennego pola sił, które powstaje w turbulentnej warstwie opływającej kadłub powietrze oraz drgania podczas kołowania i lądowania – rys. 2 [11].

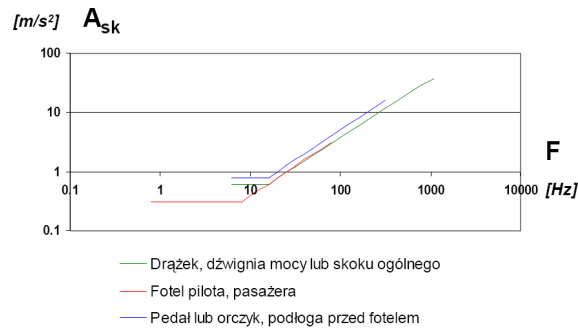


Rys. 1. Źródła drgań w samolocie [8]

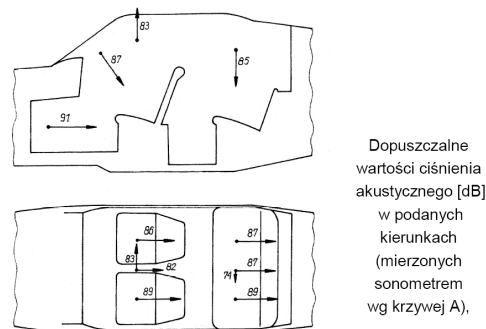


Rys. 2. Częstotliwości drgań samolotu dla poszczególnych jego elementów oraz określonych manewrów [8]

Dopuszczalne wartości poziomu drgań i hałasu dla samolotów zgodnie z wymaganiami norm PN-91/L-01305 i PN-91/L-01306 przedstawiono na rys. 3 i 4 [8].



Rys. 3. Dopuszczalne poziomy drgań w kabinie pilotów i pasażerów zgodnie z normą PN-91/L-01350 [8]



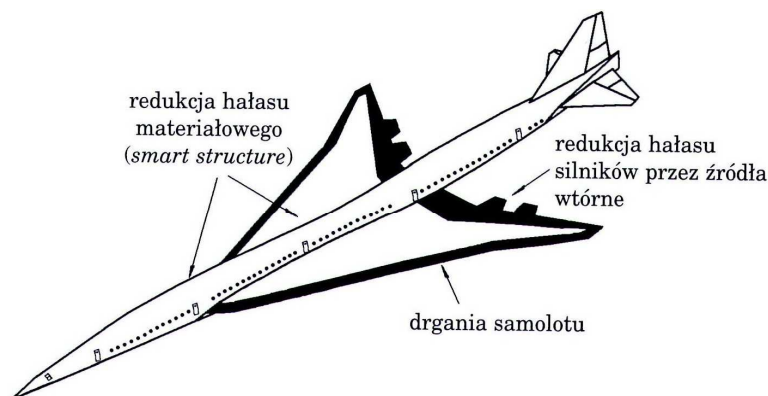
Rys. 4. Dopuszczalne poziomy hałasu w kabinach wg PN-91/L-01305 i PN-91/L-01306 [8]

### 3. METODY OBNIŻANIA POZIOMU DRGAŃ I HAŁASU W SAMOŁOTACH

Stwierdzono, że izolacyjność ścian kadłuba powinna wynosić 40–55 dB. Stosowane materiały muszą wykazywać wysokie właściwości izolacyjne i pochłaniające. Odnaczać się powinny małym ciężarem, odpornością na niskie i wysokie temperatury, niepalnością, dużą wytrzymałością mechaniczną, wysoką izolacyjnością cieplną i odpornością na wilgoć. W samolotach stosuje się lekkie pasty i emulsje antywibracyjne, pokrywając nimi wewnętrzną powierzchnię poszycia. Dobre wyniki daje bezpośrednie natryskiwanie blach poliuretanem, który tworzy na powierzchni poszycia cienką warstwę lekkiej i silnie tłumiącej pianki. Jednolite blachy zastępuje się płytami typu sandwich, które odznaczają się dużą sztywnością i wytrzymałością na udary dźwiękowe o wartości 170 dB. Do tłumienia dźwięku wewnątrz samolotu stosuje się tworzywa sztuczne. Chcąc wyciszyć urządzenia znajdujące się wewnątrz samolotu, takie jak: wentylatory, instalacje do chłodzenia i ogrzewania, należy ustawić je w pewnej odległości od ścian kabiny i oddzielić je dodatkową przegrodą [11].

Ogólnie, metody zwalczania hałasu dzieli się na administracyjno-prawne i techniczne. Wszelkie ustawy, rozporządzenia, zarządzenia, przepisy i normy zaliczane są do pierwszej grupy. Do metod technicznych należą: obudowy dźwiękochłonno-izolacyjne, przegrody, kabiny dźwiękoszczelne oraz ekrany akustyczne. Skuteczną metodą ochrony ludzi przed hałasem jest wyprowadzenie ich z obszaru zagrażającego nadmierną ekspozycją na powyższy proces oraz stosowanie ochronników słuchu.

W lotnictwie sprawdza się stosowanie tzw. metod aktywnych do wyciszania wnętrza samolotów. Głównymi źródłami hałasu w samolocie są silniki i drgania strukturalne samolotu – rys. 5 [3, 4].



Rys. 5. Źródła hałasu w samolocie i sposoby ich ograniczenia [3, 4]

Chcąc zmniejszyć hałas generowany przez drgania strukturalne stosuje się metody aktywne (tzw. *smart structures*). Hałas emitowany przez silniki samolotu redukuje się, korzystając z systemów aktywnego wyciszania kabin samolotów. Stosując system aktywnej redukcji hałasu uzyskuje się obniżenie poziomu dźwięku A o 6 dB. Uzyskanie takiego wyniku w samolocie, stosując metody tradycyjne byłoby niemożliwe ze uwagi na duży ciężar materiałów dźwiękochłonno-izolacyjnych [3].

#### 4. METODYKA BADAŃ

Głównym źródłem danych o narażeniu człowieka na hałas i drgania w środowisku pracy jest coroczny raport sporządzany przez Główny Urząd Statystyczny. Badaniu poddanych zostało około 45% osób zatrudnionych w gospodarce narodowej. Spośród wszystkich badanych, 12% powyższej populacji jest narażona na ponadnormatywny hałas i drgania na stanowisku pracy. Na hałas w powyższym środowisku narażonych było w 2005 roku około 220 tys. osób, natomiast pracownicy narażeni na drgania stanowią siódmą co do wielkości grupę (około 17,8 tys. osób). Rzeczywista liczba osób narażonych na drgania i hałas w środowisku pracy jest znacznie większa, o czym świadczą badania ankietowe przeprowadzone przez Europejską Fundację na rzecz Poprawy Warunków Życia i Pracy [6].

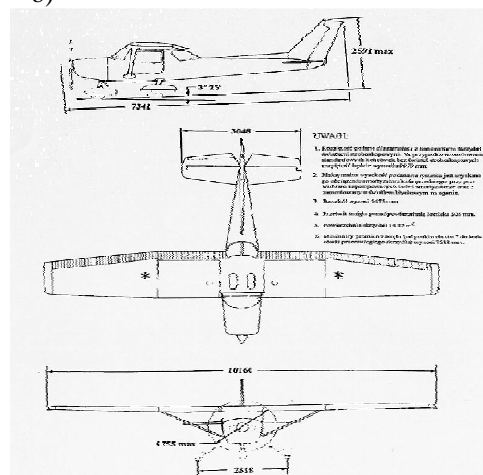
Pomiary drgań i hałasu wykonano w kabinie samolotu Cessna 152 (rys. 6). Cessna 152 jest samolotem dwumiejscowym, który wykorzystywany jest jako samolot turystyczny i treningowy. Powyższy statek powietrzny był produkowany przez firmę Cessna Aircraft Company z USA w latach: 1978–1985. Rozważana konstrukcja samolotu jest modyfikacją modelu Cessna 150 (różni się od pierwotnego powiększonym statecznikiem pionowym i napięciem w instalacji elektrycznej wynoszącym dla Cessna 150 12 V a Cessna 152 24 V) [7]. Samolot wyposażony jest w jeden silnik firmy Avco Lycomin (silnik czterocylindrowy o objętości skokowej równej 3818,2 cm<sup>3</sup>). Moc maksymalna silnika to 82 kW, a maksymalna prędkość obrotowa jest równa 2550 obr/min. Paliwo mieści się w dwóch zbiornikach o łącznej objętości równej 98,4 dm<sup>3</sup>. Masa samolotu wynosi 513,4 kg a maksymalna masa startowa 757,4 kg [11].

Hałas zmierzono za pomocą miernika Swan945A (rys. 7), a drgania miernikiem Swan945. Analiza wyników została zrealizowana z zastosowaniem programu SwanPC. Drgania mierzono dla trzech osi: 1 kanał – kierunek jazdy, 2 kanał – prostopadłe do kierunku jazdy, 3 kanał – wzdłuż linii kręgosłupa. Podstawowym źródłem drgań jest układ napędowy, którego drgania przenoszone są przez siedzisko pilota.

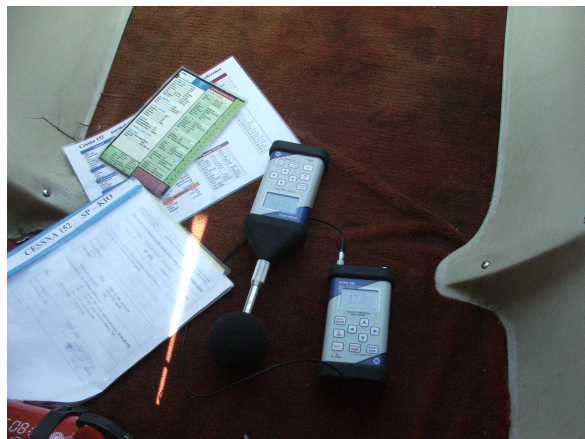
a)



b)



Rys. 6. Widok (a) oraz wymiary geometryczne (b) samolotu Cessna 152



Rys. 7. Widok miernika poziomu ciśnienia akustycznego Swan945A

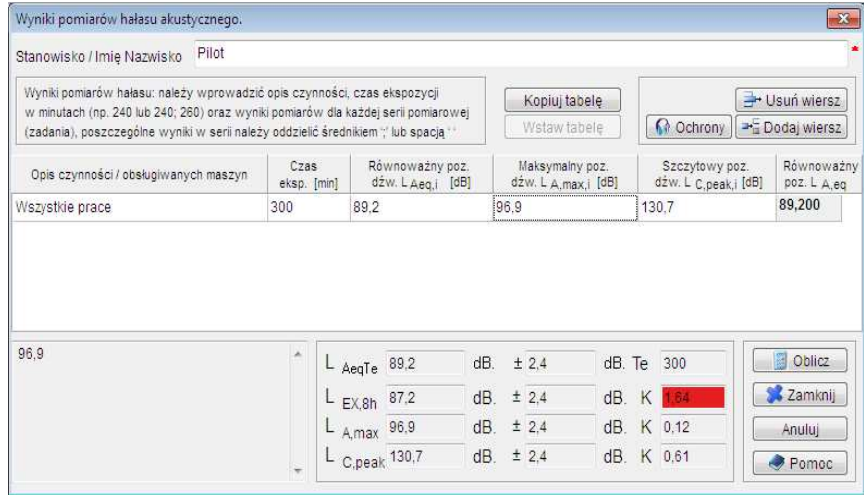
Dokonując interpretacji wyników odwołano się do obowiązujących przepisów:

- Rozporządzenia Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 roku w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne; Dz. U. nr 157, poz. 1318;
- Rozporządzenia Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 10 października 2005 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy; Dz. U. nr 212, poz. 1769;
- normy PN-90-S-04052;
- normy PN-91-N-01352;
- normy PN-EN-14253:2005;
- normy PN-EN-30326-1;
- normy PN-EN- 61252:2000;
- normy PN-EN ISO-5349-1:2004;
- normy PN-EN ISO-5349-2:2004;
- normy PN-EN ISO-9612:2004;
- normy PN-N-01307:1994;
- normy PN-91-N01352;

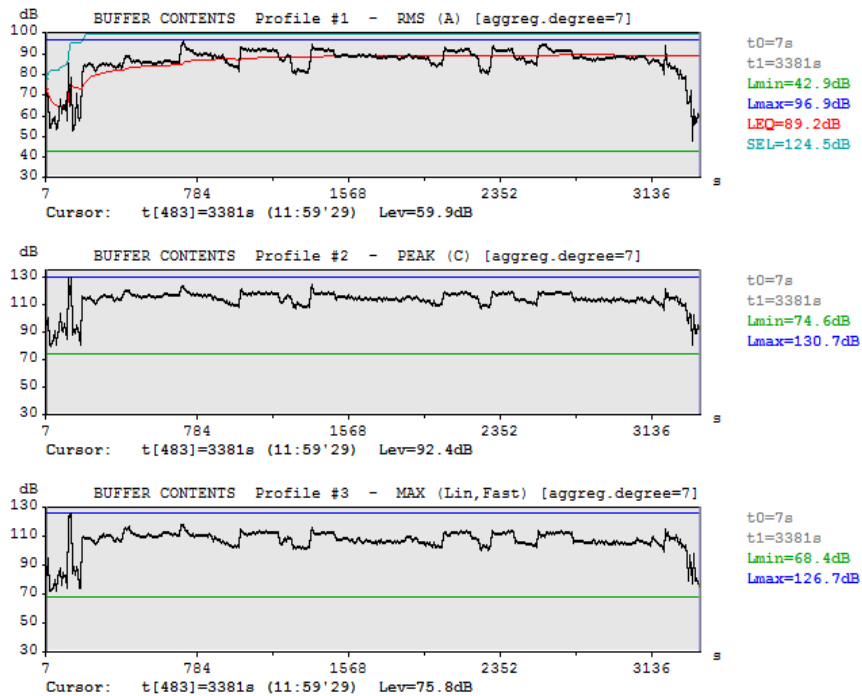
## 5. WYNIKI POMIARÓW

W każdym z etapów procesu pomiarowego zarejestrowano estymaty procesu wibroakustycznego z podziałem na wartości równoważne, poziom dźwięku z zastosowaniem filtra A i C. Parametrem dodatkowym był również czas ekspozycji oraz poziom dźwięku odzwierciedlający 8-godzinny czas ekspozycji (rys. 8). Do oceny zmian amplitud sygnału niezbędna jest analiza sygnału czasowego dla procesu wibroakustycznego oraz parametrów charakterystycznych dla całego sygnału oraz fragmentów odzwierciedlających konkretne źródło drgań i emisji akustycznej (rys. 9 i 10). Niniejsze przebiegi wyrażają czasową zależność wartości skutecznej sygnału (RMS), wartości szczytowej (z zastosowaniem filtra C) i maksymalnej dla liniowego pomiaru ciśnienia akustycznego.



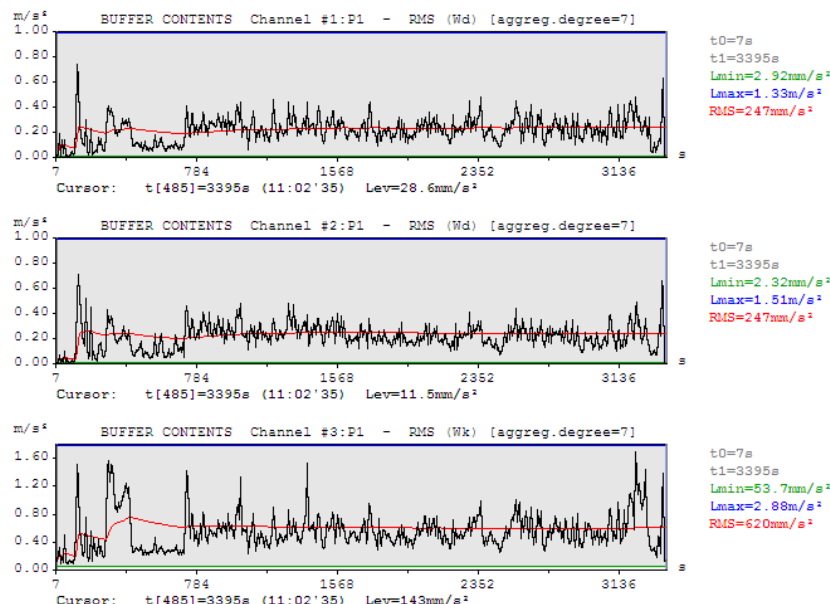


Rys. 8. Wyniki pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego dla pilota samolotu Cessna 152 dla 5-godzinnej ekspozycji organizmu na hałas



Rys. 9. Charakterystyka amplitudowo-czasowa sygnału akustycznego zarejestrowanego w kabinie samolotu Cessna 152





Rys. 10. Przebieg czasowy przyspieszeń drgań zarejestrowanych w samolocie Cessna 152

## 6. WNIOSKI

Mierząc hałas oszacowano równoważny poziom dźwięku A, szczytowy poziom dźwięku C oraz maksymalny poziom dźwięku A. Dokonując interpretacji uzyskanych wyników odniesiono się do obowiązujących norm i przepisów, w świetle których poziom dźwięku A nie może przekroczyć 85 dB dla 8-godzinnego dnia pracy. Poziom dźwięku C nie może przekroczyć wartości 135 dB.

Zgodnie z uzyskanymi wynikami najwyższa wartość równoważnego poziomu dźwięku A wyniosła 96,9 dB a maksymalna wartość szczytowego poziomu dźwięku C była na poziomie 130,7 dB. Dla godzinnej ekspozycji pilota na powyższe warunki akustyczne nie odnotowano przekroczeń dopuszczalnych poziomów ciśnienia akustycznego. Odnotowano przekroczenia wartości poziomu dźwięku, gdy rozważane wyniki odniesiono do 5-godzinnej i dłuższej ekspozycji organizmu pilota na oddziaływanie źródła dźwięku. Przy 5 godzinach lotu samolotu turystycznego, przy zapewnieniu takich samych parametrów, równoważny poziom dźwięku z zastosowaniem filtra A został przekroczony o 2,2 dB.

Analizując uzyskane wyniki stwierdzono, że nie występowały przekroczenia dopuszczalnych wartości parametrów drganiowych oddziałujących bezpośrednio na organizm pilota. Najwyższe wartości przyspieszeń drgań odnotowano podczas startu i lądowania samolotu. Drgania mierzone wzdłuż linii kręgosłupa pilota stanowią największe zagrożenie dla człowieka (zaobserwowano chwilowe przekroczenia o wartość  $0,8 m/s^2$ ). Dla pierwszego i drugiego kierunku rejestracji parametrów wibroakustycznych nie stwierdzono odchyżeń od obowiązujących norm. Mimo chwilowych przekroczeń dla trzeciej osi rejestracji sygnałów przyspieszeń drgań, mierzone parametry spełniają obowiązujące normy w odniesieniu do 8-godzinnego dnia pracy.

W samolocie Cessna 152 zasadniczym problemem jest narażenie pilota na generowany poziom ciśnienia akustycznego i jego natężenie. Najprostszym przewencyjnym rozwiązaniem ograniczającym oddziaływanie rozważanego procesu na operatora statku powietrznego jest zastosowanie środków ochrony osobistej w postaci ochronników słuchu. Wśród możliwych rozwiązań dodatkowych celowym jest bezpośrednie oddziaływanie w źródła generowania hałasu zlokalizowane w kabinie wynikające z charakteru ich pracy bądź dokładności montażu oraz zastosowanie środków technicznych izolujących obszar kabiny pilota od sygnału akustycznego generowanego przez jednostkę napędową samolotu i hałas aerodynamiczny wynikający z opływu powietrza przez konstrukcję statku powietrznego.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Cempel C.: *Metody badań i minimalizacji hałasu i drgań*, Poznań 1975.
- [2] Cempel C.: *Wibroakustyka stosowana*, Warszawa-Poznań 1978.
- [3] Engel Z., Makarewicz G., Morzyński L., Zawieska W. M.: *Metody aktywne redukcji hałasu*, Warszawa 2001.
- [4] Engel Z., Sadowski J.: *Hałas i wibracje w środowisku*, Warszawa 1992.
- [5] Engel Z.: *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*, Warszawa 2001.
- [6] Górski P., Makarewicz G., Morzyński L.: *Serwis internetowy wspomagający profilaktykę skutków narażenia na hałas i drgania w środowisku pracy*. *Bezpieczeństwo pracy*, 10/2006, s. 2–5.
- [7] Instrukcja użytkowania samolotu Cessna 152.
- [8] Krzemień W., *Drgania w eksploatacji statków powietrznych*. Materiały dydaktyczne. Instytut Lotnictwa w Warszawie, Warszawa-Poznań 2009.
- [9] Płotnicka N.: *Ergonomiczne czynniki ryzyka w pracy pilota na wybranych typach samolotów*. Praca magisterska, Politechnika Poznańska, Poznań 2010.
- [10] Rajpert T.: *Hałas lotniczy i sposoby jego zwalczania*, Warszawa 1980.
- [11] Rogiński R., Sadowski J.: *Walka z hałasem w komunikacji i przemyśle*, Warszawa 1965.