

mgr inż. Katarzyna Rzeplińska
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów „PIAP” Al. Jerozolimskie 202
02-486 Warszawa
mgr inż. Monika Matuszewska
Dantherm Air Handling A/S
prof. dr hab. inż. Bernard Zawada
Politechnika Warszawska, Wydz. Inżynierii Środowiska

WPLYW PARAMETRÓW POWIETRZA W AUTOMATYCZNYM SYSTEMIE WENTYLACJI NA KOMFORT W SAMOLOTACH PASAŻERSKICH

W referacie przedstawiono eksperymentalną metodę badań wpływu wilgotności, recyrkulacji i oczyszczania powietrza na odczuwalną jakość powietrza w automatycznych systemach wentylacji w samolotach, ocenianą przez osoby przebywające w kabinach samolotowych przez ok. 8 godzin. Liczne skargi osób często przebywających w samolotach (w tym załogi) potwierdziły konieczności wykonania takich badań nad możliwościami poprawy jakości powietrza. W referacie przedstawiono stan wiedzy, metodykę, wyniki oraz wnioski z przeprowadzonego eksperymentu.

INFLUENCE OF AIR PARAMETERS IN AUTOMATIC AIR CONDITIONING SYSTEMS ON COMFORT IN AIRCRAFTS

In this paper is presented experimental research methodology of influence humidity, recirculation and purification of air, for perceive air quality in automatic ventilation systems in plane cabins, evaluated by persons spending more than 8 hours in the cabins. Great number of travelers as well as crew complaint, confirms necessity of performance research for improvement quality of air. In this paper are presented: knowledge condition, methodology, results as well as conclusions from realized experiment.

1. WSTĘP

Dla producentów samolotów pasażerskich, jak również dla linii lotniczych w związku z licznymi skargami pasażerów, niezwykle ważny stał się odczuwalny komfort podróży, szczególnie podczas długich transatlantyckich lotów. Wpływ na komfort podróży ma wiele czynników np. odczuwalna jakość powietrza, przestronność wnętrza samolotu, wpływ innych ludzi, dlatego też badania naukowe poświęcone tej tematyce okazują się być niezwykle potrzebne.

Celem przeprowadzanego eksperymentu, było uzyskanie wytycznych niezbędnych do projektowania nowego typu samolotów pasażerskich, przez porównanie trzech różnych urządzeń do oczyszczania powietrza, oraz ocena aktualnego stanu jakości powietrza.

Aby zrozumieć problem niezadowolenia pośród pasażerów, konieczne jest przedstawienie warunków fizycznych panujących przed startem jak i podczas lotu.

Bezpośrednio przed lotem pasażerowie znajdują się na powierzchni Ziemi, gdzie ciśnienie wynosi średnio 101325 Pa (21 kPa ciśnienie częściowe tlenu w atmosferze), natomiast wilgotność oraz temperatura zależą bezpośrednio od położenia geograficznego.

Podczas lotu warunki te ulegają poważnym zmianom np. na wysokości lotu ok. 11000 m n.p.m., na zewnątrz temperatura ok. -60°C , natomiast ciśnienie wynosi tylko 22 kPa (4.7 kPa ciśnienie częściowe tlenu).

Aby umożliwić lot i przebywanie ludzi w samolocie, powietrze zewnętrzne jest kompresowane w silniku, co w konsekwencji oznacza podniesienie temperatury do ok. 650°C . Powietrze w tak wysokiej temperaturze zostaje automatycznie wysterylizowane i poschłodzeniu przy użyciu automatycznego systemu wentylacji przetransportowane do wnętrza samolotu.

Ustawodawstwo Lotnicze, konkretnie normy FAR 25 [1] ustanowiło normy warunków panujących wewnątrz kabiny samolotu. Są to:

- Temperatura pomiędzy 23°C a 27°C
- Ciśnienie w kabinie od 101.2 kPa, do 75.2 kPa odpowiadającemu poziomowi 2440 m nad poziomem morza
- Ciśnienie cząstkowe tlenu (PO_2) waha się od 21.4 kPa do 15.9 kPa
- Dopuszczalna zawartość O_3 na poziomie 0.1-0.25 ppm, zależnie od poziomu lotu oraz czasu lotu
- Przepływ świeżego powietrza wynosi, co najmniej 0.25 kg na minutę (3.5 L/s)

Normy ASHRAE 62-1989 [2] dotyczące jakości powietrza w budynkach ustaliły stan dopuszczalny wilgotności względnej pomiędzy 5% a 20%.

Systemy automatycznej wentylacji w samolotach mają ok. 50% recykulacji, oraz ilość wymian powietrza ok. 25 na godzinę.

Recykulacja nie ma wpływu na zawartość zanieczyszczeń w powietrzu, o ile jest to powietrze niefiltrowane [3]. Jednakże stałą praktyką jest używanie filtrów HEPA (High Efficiency Particulate) wyłapujących cząsteczki mniejsze niż $0.3\ \mu\text{m}$, o współczynniku sprawności powyżej 99.97%. Filtr HEPA nie usuwa zanieczyszczeń gazowych, które mogą być usunięte wyłącznie na drodze chemicznej absorpcji przy użyciu węgla drzewnego. Filtry HEPA są zmieniane po przepracowaniu od 4000 do 12000 godzin lotu (ok. 18 miesięcy pracy) [4].

W kabinach samolotów pasażerskich dwutlenek węgla jest wydalany w drodze bioefuzji z organizmu ludzkiego, na bazie przemian gazowych. Normy FAR 25[1] specyfikujące poziom CO_2 wymagają: „Poziom koncentracji dwutlenku węgla podczas lotu nie może przekraczać 0.55% wielkości odpowiadającej poziomowi morza w pomieszczeniach zajmowanych przez pasażerów lub obsługę samolotu”. CO_2 na tym poziomie nie powoduje zagrożenia życia bądź zdrowia, jest natomiast wartością znacznie wyższą niż wyznaczony przez normy ASHRAE 62-1989 [2] poziom 1000 ppm.

2. STAN WIEDZY

Do dnia dzisiejszego przeprowadzono kilka prac oraz badań naukowych na temat zastosowania fotokatalitycznego utleniania zanieczyszczeń środowiskowych na drodze odkażania, oczyszczania oraz odwanniania. Są to między innymi:

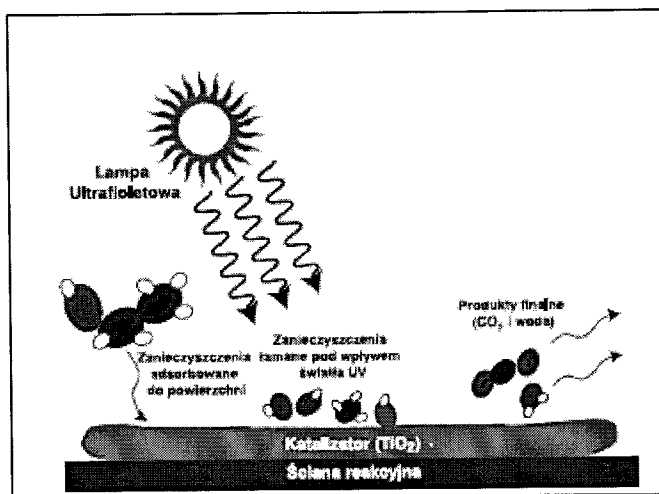
- badania zależności pomiędzy O_3 i trzema rodzajami katalizatorów [5]; rozpad toluenu poprzez dodanie O_3 i H_2O i promieniowania UV, rozkład wielkości cząstek formowanych na drodze fotokatalizy. Odkryto wtedy interakcje pomiędzy O_3 a katalizatorem. Nie było natomiast różnic w usuwaniu O_3 z katalizatorów.
- Badania tempa fotokatalizy; zależy ono od rodzaju reakcji [6] Zostały przeprowadzane badania nad czterema fotokatalitycznymi urządzeniami, używanymi do utleniania VOC (lotnych cząstek organicznych).
 - Rozkład grupy karbonylowej był niezależny od rozplanowania urządzenia, przepływu oraz gęstości. Urządzenia wykazały największy współczynnik rozpadu dla trichloroetyleny.
 - Tsukamoto, O., H. Fudeyasu, S. Miyazaki [7] badali zależności fotokatalitycznego rozkładu etylenu od zmiennego tempa reakcji, substancji bazowej (etylen, tlen, i para wodna) oraz temperatury. Odkryli oni, iż niezależnie od warunków, ponad 95% etylenu było zawsze utlenione do CO_2 , wykluczając warunek w którym z TiO_2 bądź emisja światła UV była wykluczona. Zaobserwowali oni również, że produkty reakcji mogą zostać zakumulowane, co może świadczyć o chwilowej dezaktywacji katalizatora.
 - Studia przeprowadzone przez Obee i Browna [8] prezentują wpływ wilgotności na utlenianie zależny w znacznym stopniu od koncentracji zanieczyszczeń. Koncentracja ppmv (ilość cząsteczek na milion do objętości) w każdej z badanych rat utleniania rośnie wraz ze spadkiem wilgotności poniżej 1000 ppmv.

Poprzednie badania [9] przeprowadzone na pracownikach oraz pasażerach samolotów pokazały, że relatywnie wysoki procent osób przebywających w kabinie (około 50% pasażerów oraz 68% zatrudnionych) miało podrażnione oczy oraz uczucie suchego nosa po około czterech godzinach lotu. Inne studia wykazały, że powietrze w kabinie samolotu wpływa na symptomy takie jak: suchość lub podrażnienie oka, zatłakany nos, podrażnienie skóry. Zatłakany nos był głównym powodem uskarżania się 3630 pasażerów w badaniach przeprowadzonych przez Ranklina [10]. Inne badania wykazały znaczny wpływ niskiej wilgotności na odczuwaną przez pasażerów jakość powietrza.

W prezentowanych badaniach zostały użyte dwa urządzenia do fotokatalitycznego utleniania (różnych firm) oraz jeden gazowy absorpcyjny oczyszczacz powietrza.

Urządzenie do fotokatalitycznego utleniania jest zbudowane na zasadzie przepuszczania gazu poprzez powierzchnie katalizujące uprzednio zaimpregnowane na filtrze. Źródło światła ultrafioletowego jest również zainstalowane na powierzchni katalizującej. Powierzchnią katalizującą jest lekka, wytrzymała i niekorodująca powłoka. Kiedy światło UV o długości fali krótszej niż 385 nm jest emitowane, przerwa energetyczna jest po-

większana [5]. Zostają wtedy utworzone elektrony/ dziury, grupy wodorotlenowe (OH), przyciągające molekuly np. VOC (cząstki lotnych substancji organicznych) oraz bioarezoze o powierzchni katalizatora. Składniki te są utleniane poprzez reakcje mającej miejsce podczas procesu, z powodu zapotrzebowania cząstek OH do przyłączenia się do innego związku, podczas którego utleniają CO_2 oraz H_2O (Rysunek 1)



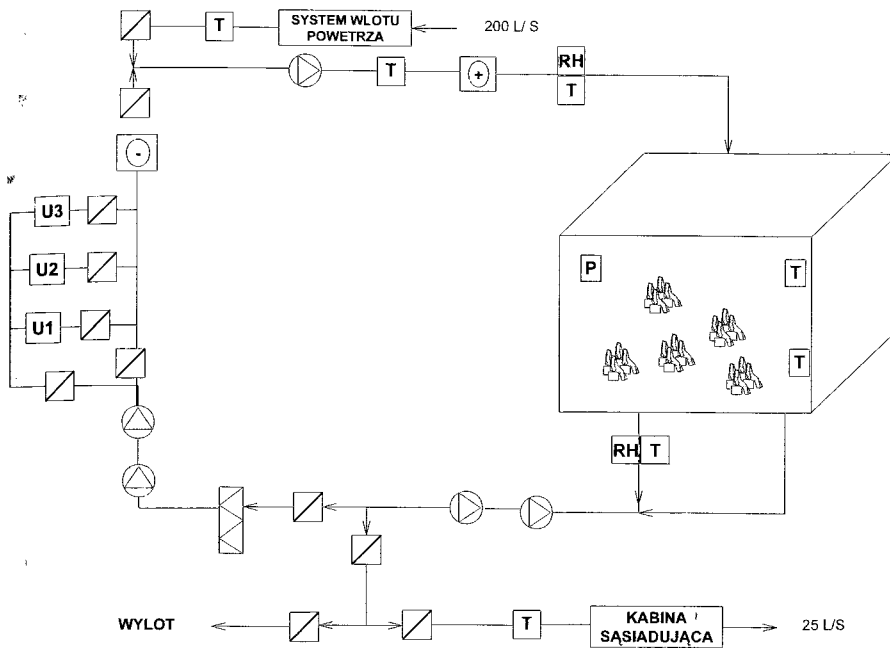
Rysunek 1. Zasady fotokatalitycznej oksydacji

Urządzenia do absorpcyjnego oczyszczania powietrza zazwyczaj składają się z granulek absorbujących media, np. aktywnego węgla. Zgranulowany absorbent można zatrzymać w cząstce na poziomie warstwy, zaimpregnować ją a następnie przeformować do cylindrycznych elementów filtra. Takie media są zazwyczaj przetwarzane w oddzielnych elementach, filtrowane oraz przetransportowywane do zlewni.

3.METODYKA

Niniejsza praca powstała w oparciu o eksperyment przeprowadzony w Danish University of Technology (DTU) w Danii w 2004 roku, podczas pobytu na stypendium naukowym współauterek artykułu.

Badania został przeprowadzony w komorze badawczej w czterotygodniowym okresie czasu, konsekwentnie przez cztery kolejne dni w tygodniu. Została zbudowana makieta kabiny samolotowej w komorze klimatycznej, z automatycznie sterowanym systemem wentylacji, w której znajdowały się miejsca dla 21 osób (Rysunek 2).



Rysunek 2. Schematyczny rysunek automatycznej instalacji wentylacyjnej zamontowanej w makiecie kabiny samolotowej

Każdego tygodnia 68 osób podzielonych na cztery podgrupy odgrywało role pasażerów. Badana grupa osób była w połowie płci żeńskiej i męskiej w granicach wieku 18-30 lat oraz 55-70 lat. Dwie młode kobiety w każdej z grup pełniły role stewardess. Ich zadaniem było przebywanie w ruchu (zwiększone tempo metabolizmu) przez 80% czasu trwania eksperymentu. Każda z grup brała udział w eksperymencie cztery razy, każdy był w innych warunkach (Tabela 1).

Tydzień	Wtorek	Środa	Czwartek	Piątek
1	STAN 1 Filtr HEPA	STAN 2 Filtr HEPA + U1	STAN 3 Filtr HEPA + U2	STAN 4 Filtr HEPA + U3
2	STAN 4 Filtr HEPA + U3	STAN 1 Filtr HEPA	STAN 2 Filtr HEPA + U1	STAN 3 Filtr HEPA + U2
3	STAN 2 Filtr HEPA + U1	STAN 3 Filtr HEPA + U2	STAN 4 Filtr HEPA + U3	STAN 1 Filtr HEPA
4	STAN 3 Filtr HEPA + U2	STAN 4 Filtr HEPA + U3	STAN 1 Filtr HEPA	STAN 2 Filtr HEPA + U1

Tabela 1. Diagram rozkładu eksperymentu (U1- urządzenie do oczyszczania powietrza nr.1 [fotokatalityczne utlenianie], U2- urządzenie nr.2 [fotokatalityczne utlenianie], U3 – urządzenie nr.3 [gazowy absorpcyjny oczyszczacz powietrza])

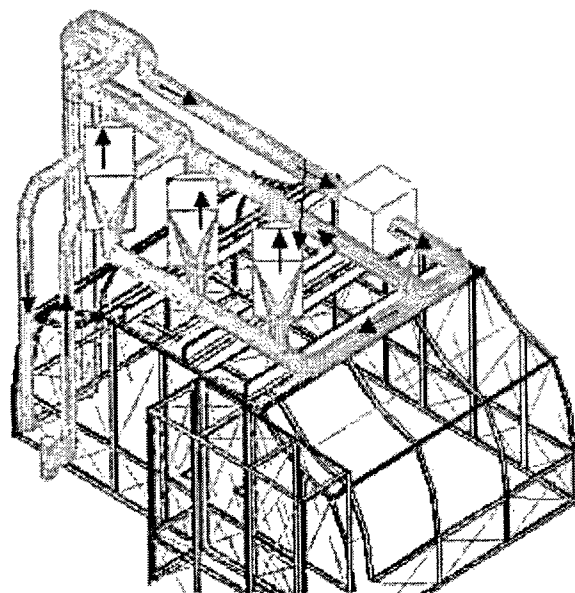
Każda z 16 eksperymentalnych sesji trwała siedem godzin, podobnie jak lot transatlantycki. Osoby badane podczas trwania eksperymentu wypełniały trzy kwestionariusze podczas symulacji lotu. Ich ocena panujących warunków oraz rezultaty medycznych testów: wymazów błony śluzowej oka, pomiaru natężenia przepływu wydychanego powietrza przez nos, poziomu suchości skóry oraz pomiaru ostrości widzenia zostały zebrane i opracowane metodami statystycznymi.

Zostały również wypełnione kwestionariusze zawierające pytania z zakresu: Odczuwalnej Jakości Powietrza, Syndromu Chorego Budynku, Komfortu Termicznego.

Eksperyment został przeprowadzony, by dowieść odczuwalny przez pasażerów efekt niskiej wilgotności powietrza (15- 16.5%) i wysoko zanieczyszczonego powietrza. Filtr HEPA, dywan, siedzenia oraz panele ścienne używane w eksperymencie jako źródło zanieczyszczeń, stanowiły wcześniej wyposażenie samolotu pasażerskiego.

Doprowadzone powietrze zewnętrzne zostało osuszone przy użyciu dwóch osuszaczy powietrza, aby otrzymać niską zawartość wilgoci, jaka znajduje się na tej wysokości (11000m n.p.m.) w atmosferze. Eksperyment odbył się w warunkach normalnego ciśnienia atmosferycznego, przy temperaturze w kabinie 23.3°.

W eksperymencie zostały porównane cztery różne rodzaje warunków atmosferycznych otrzymywane przy użyciu trzech wcześniej wybranych urządzeń do oczyszczania powietrza. Dwa z nich były urządzeniami do fotokatalitycznego utleniania oraz jedno dla absorpcyjnego pochłaniania w fazie gazowej. Każdy z nich został zainstalowany w systemie i został sukcesywnie włączany tworząc wymagane warunki (Rysunek 3)



Rysunek 3. Schemat systemu wentylacji zastosowanego w eksperymencie z pokazanymi wszystkimi urządzeniami do oczyszczania powietrza

Warunkiem odniesienia był system bez urządzeń do oczyszczania, natomiast z wmontowanym filtrem HEPA.

Pomiary parametrów fizycznych pokazały, iż założone warunki (występujące w rzeczywistym obiekcie) takie jak: przepływ powietrza, ilość wymian powietrza na godzinę, wilgotność i temperatura zostały spełnione. Ilość powietrza zewnętrznego na osobę wynosiła 3.3 l/s.

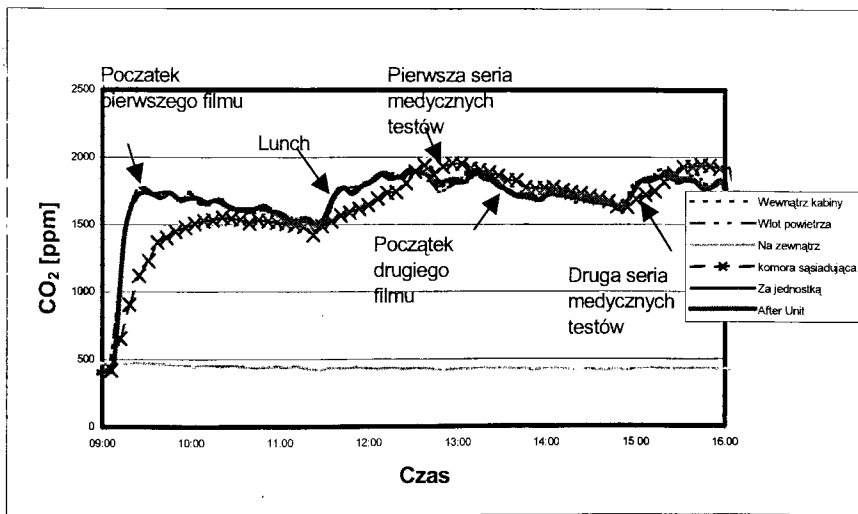
4. WYNIKI

Wyniki otrzymane w ramach eksperymentu można podzielić na następujące bloki:

- pomiar natężenia dwutlenku węgla w wydychanym powietrzu wewnątrz kabiny
- ilość VOC (lotnych cząstek organicznych)
- kwestionariuszowe pomiary odczuć pasażerów
- badania medyczne – obrazujące rzeczywiste reakcje organizmu

4.1 Pomiar natężenia dwutlenku węgla

Koncentracja dwutlenku węgla wewnątrz kabiny została zmierzona i była na poziomie 1700 ppm, a na zewnątrz wynosiła 410 ppm. Zmiana koncentracji CO₂ wewnątrz kabiny jest powiązana z poziomem aktywności pasażerów (Rysunek 4). Gdy osoby badane wchodziły do kabiny o godzinie 9:05, koncentracja CO₂ wzrastała do wartości 1700 ppm. Redukcja wartości CO₂ następowała zazwyczaj około 11:00, podczas oglądania filmu przez pasażerów (obniżenie metabolizmu). O godzinie 11:45 podawano lunch i poziom dwutlenku węgla wzrastał o około 200 ppm, osiągając w przybliżeniu poziom stabilny do końca trwania eksperymentu (godz. 16:00). Wzrost ten został spowodowany najprawdopodobniej przez aktywność ludzi biorących udział w testach medycznych przebiegających w sąsiedniej komorze.



Rysunek 4. Wykres przedstawiający stężenie dwutlenku węgla w powietrzu znajdującym się w makiecie kabiny samolotowej

Maksymalna wartość koncentracji CO₂ w kabinie samolotowej która wynosi ok. 2100 ppm, stanowi wartość dużo wyższą niż 1000 ppm - zalecane w normach dotyczących budynków. [2] Jednakże środowisko wewnętrzne w kabinie samolotowej różni się znacznie od środowiska w budynku, z powodu znacznej koncentracji ludzi na małym obszarze, oraz większej ilości wymian powietrza.

Osoby badane były jedynym źródłem powstawania CO₂ w kabinie samolotowej, i koncentracja ta została obliczona na podstawie równań wentylacyjnych. pokazuje wymagany poziom CO₂ dla przepływu 3.3 l/s na osobę przy temperaturze 18°C i ciśnieniu 101325 Pa, oraz przy poziomie aktywności 1.0 met powinno wynosić ok.1702 ppm, która to wartość została osiągnięta w eksperymencie.

4.2 Pomiar VOC

W przeprowadzonym eksperymencie został przeprowadzony pomiar związków chemicznych, który wykazał, że Stan 2 jest porównywalny lub nawet gorszy niż Stan 1 (warunki odniesienia). Poziom zanieczyszczeń w Stanie 2 był wyższy niż pozostałych. Stan 3 i 4 były porównywalne do siebie oraz wykazywały mniejszą koncentrację zanieczyszczeń niż Stan 1 i 2. W rezultacie Stan 4 okazał się najbardziej korzystny, ponieważ liczba zanieczyszczeń była najniższa. Wyniki pomiarów zostały zaprezentowane w Tabeli 2.

Stan VOCs	Stan 1		Stan 2		Stan 3		Stan 4	
	Powietrze zewnętrzne	Wylot z kabiny	Powietrze zewnętrzne	Wylot z kabiny	Powietrze zewnętrzne	Wylot z kabiny	Powietrze zewnętrzne	Wylot z kabiny
Formaldehyd	<5	5.5	<5	32	<5	4.3	<5	5
Acetaldehyd	<9	<9	<9	61	<9	13	<9	12
Propionaldehyd	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30
Aceton	<20	40	<20	70	<20	50	<20	40
Metylo etylo keton	<50	200	<50	<100	<50	40	<50	60
Etanol	<100	200	<100	200	<100	130	<100	80
Metanol	<300	<300	<300	<300	<300	<300	<300	<300
Isopren	<0.2	7.8	<0.2	3.2	<0.2	2.3	<0.2	1.5
Toluen	1.6	8.2	1.3	2.3	2.4	4.9	1.5	2

Tabela 2. Wyniki pomiarów VOC (lotnych substancji organicznych)

4.3 Pomiarzy kwestionariuszowe

Kwestionariusze zostały wypełnione przez osoby biorące udział w eksperymencie trzy razy podczas każdej ekspozycji: dziesięć minut po wejściu do kabiny samolotowej, po trzech i pół godzinach oraz po sześciu godzinach od początku trwania eksperymentu.

Po 10 minutach ekspozycji, osoby badane stwierdziły, że w Stanie 4 było większe natężenie hałasu niż w warunkach odniesienia. Wrażenie to było błędne, ponieważ poziom hałasu był zawsze taki sam (72dBA), spowodowany pracą instalacji oraz szumem na-

granym w prawdziwym samolocie podczas lotu, pochodzącym z głośników zainstalowanych na dachu makiety.

Po 3.5 godzinach ekspozycji poziom zanieczyszczeń osiągnął najwyższy poziom. W drugim kwestionariuszu zostały zaobserwowane dwa symptomy chorego budynku (SBS)-klaustrofobia i uczucie podenerwowania, znacząco różniące się od warunkach odniesienia.

Na podstawie danych zebranych z kwestionariuszy, po ich obróbce statystycznej jest możliwe do zaobserwowania, iż osoby badane czuły się bardziej zrelaksowane w Stanie 3 i 4 niż w warunkach odniesienia. Ocenili oni, że odczuwają bardziej klaustrofobię w Stanie 2 niż w warunkach odniesienia.

Po 6 godzinie trwania eksperymentu, ludzie czuli się lepiej w Stanie 4 niż w warunkach odniesienia. Następujące symptomy: pragnienie, oszołomienie, podrażnienie oka, podrażnienie nosa, czujność, klaustrofobia były oceniane subiektywnie jako bardziej korzystne.

4.4 Testy medyczne

Medyczne testy przeprowadzono dwa razy podczas każdej ekspozycji. Były to:

- test oceniający ostrość widzenia [12] której pogorszenie mogło być spowodowane redukcją wilgotności względnej. Większość osób biorąca udział w eksperymencie (76%) uzyskała ten sam wynik (ostrość-3.9) niezależnie od panujących aktualnie warunków. Oznacza to, że test ten nie wykazał żadnych różnic pomiędzy poszczególnymi warunkami.

- pomiar natężenia przepływu powietrza wydychanego przez nos nie wykazał znaczących różnic wartości podczas porównywania czterech warunków. Urządzenia do oczyszczania powietrza nie są w stanie wyeliminować tego problemu.

- badanie suchości skóry, która może być spowodowana niską wilgotnością oraz większą ilością zanieczyszczeń w powietrzu. Żadne z urządzeń do oczyszczania powietrza nie zdołał zmienić tego symptomu. Wzrost wilgotności skóry został zaobserwowany tylko w Stanie 4 dla podgrup: pasażerowie, młodzi oraz mężczyźni

- badanie wymazu błony śluzowej oka dowiodło, że urządzenia do oczyszczania powietrza nie mogą wyeliminować charakterystycznego obrazu wymazu spowodowanego suchym powietrzem.

Medyczne testy wykazały tylko jedną znaczącą różnicę pomiędzy badanymi warunkami. Wilgotność skóry wzrosła w Stanie 4 w porównaniu do warunku odniesienia (zainstalowany sam filtr HEPA).

5. WNIOSKI

Urządzenie absorpcyjne fazy gazowej użyte w Stanie, 4 tj. z urządzeniem do absorpcyjnego oczyszczania powietrza dało najwięcej pozytywnych efektów, łącznie z czterema symptomami zaobserwowanymi u osób badanych po sześciu godzinach trwania eksperymentu oraz wzrostem wilgotności skóry.

Z przeprowadzanych badań wynika, że żadne z urządzeń do klasycznego fotokatalicznego utleniania nie dało pozytywnych efektów. Rezultat ten dowodzi, że powodem niezadowolenia pasażerów samolotów nie jest zastosowanie niewłaściwego urządzenia,

natomiast zanieczyszczenie powietrza obecne w kabine powoduje mało komfortowe warunki podróży.

Autorzy serdecznie dziękują za pomoc w realizacji pracy badawczej prof. Dawidowi Wyon z Danish University of Technology i prof. Bogdanowi Mizielińskiemu z Politechniki Warszawskiej oraz firmie Boeing za udostępnienie danych oraz aparatury badawczej.

Literatura

- [1] 14 CFR, Aeronautics and Space , CHAPTER I “Federal Aviation Administration, Department of Transportation”, November 2003
- [2] ANSI/ASHRAE Standard 62-1989, “Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality” American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta
- [3] ANSI/ASHRAE Standard 55-1992 “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta
- [4] M.Hyttinen, P. Pasanen, P. Kallikoski “VOC Emissions from Dusty Air Filters”, Proceedings Indoor Air 2002.
- [5] A. Sekiguchi; M. Ichinohe; S.Yamaguchi “An Unexpected Reaction of Silacyclopentene To Form an Organodilithiosilane: Isolation and Characterization of a 1,1-Dilithiosilane Derivative” J. Am. Chem. Soc. 1999
- [6] C. Stevens, Raymond Phillip J. Jay Boniface, “The Immunological Evolution of Catalysis” Science 23 February 1996
- [7] Tsukamoto, O., H. Fudeyasu, S. Miyazaki, K. Ueno, Y. Qi, Y. Ma, H. Ishikawa,; “Turbulent surface flux measurements over Tibetan plateau with Flux-PAM system” Proc. 3rd International Scientific Conference on the Global Energy and Water Cycle, Beijing, China, 1999
- [8] T.N Obee, R.T Brown :“TiO photocatalysis for indoor air applications – effects of humidity and trace contaminant levels on the oxidation rates of formaldehyde, toluene, and 1,3-butadiene.”Environmental Science and Technology” 1995
- [9] Lindgren T, Norbäck D, Andersson K , Dammström BG “Cabin environment and perception of cabin air quality among commercial aircrew”, Aviat. Space Environ. Med. January 2000
- [10] WL Rankin, DR Space, NL Nagda “Passenger Comfort and the effect of air quality”, Air Quality and Comfort in Airliner Cabins, N.L. Nagda, ed. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials, 2000

[5] WG Eng "Survey on eye comfort in aircraft: I. Flight Attendants", *Aviat. Space Environ. Med.* 50(4) 1979

[11] S.C. Lee, C. Yu Jimmy "Photocatalyst TiO_2 supported on glass fiber for indoor air purification: effect of NO on the photodegradation of CO and NO_2 " *Journal of Photochemistry and Photobiology A*, 2002

[12] J Kildesøe, D.P. Wyon, T. Skov, T. Scheider "Visual Analogue Scales for Detecting Changes in Symptoms of the Sick Building Syndrome", 1999