

# EKOLOGICZNE PROBLEMY PORTU LOTNICZEGO

**Marian Jeż**  
Instytut Lotnictwa

## **Streszczenie**

*Referat dotyczy problematyki i metodologii rozwoju lotnisk w aspekcie ochrony środowiska. Intensywny rozwój ruchu lotniczego (z wyjątkiem kryzysu 2009 r.) wymaga zrównoważenia jego negatywnych konsekwencji przez działania proekologiczne. W pierwszym rozdziale tego artykułu opisano główne relacje transportu lotniczego i środowiska. W drugim przedstawiono trzy programy obliczeniowej symulacji emisji lotniczych: EDMS, ALAQS i ADMS. Wnioski z zastosowania programu ALAQS (Airport Local Air Quality System-ArcView) do obliczeń emisji lotniskowych na warszawskim lotnisku Fryderyka CHOPINA zawarto w rozdziale trzecim. Projekt ten został zrealizowany przez Instytut Lotnictwa we współpracy z Przedsiębiorstwem „Porty Lotnicze” oraz EUROCONTROL Experimental Centre. Jego wyniki przekazano do sieci AERONET III (Aircraft Emissions and Reduction Technologies). Następny rozdział traktuje o pomiarowych metodach oceny stopnia lokalnego zanieczyszczenia atmosfery przez ruch na lotnisku. Ostatni rozdział rozważa sposoby zmniejszenia negatywnego oddziaływania lotnisk na środowisko.*

*Perspektywą badawczą tematu jest zaprojektowanie systemu pomiarów stężenia głównych toksyn w rejonie lotniska. Taki projekt wykorzystuje mapy stężeń toksycznych składników atmosfery otrzymanych drogą symulacji działalności lotniska. Powinien on także opierać się na doświadczeniach ekologicznego monitoringu najbardziej zaawansowanych lotnisk w tej dziedzinie. Planowane jest uzupełnienie działającego systemu monitoringu hałasu na lotnisku F. Chopina przez instalację infrastruktury monitoringu atmosfery. Ocena efektów środowiskowych działalności tego lotniska będzie służyła ośrodkom opinio-twórczym i decydenckim. Umożliwi ona wybór metod ograniczenia negatywnego wpływu badanego lotniska oraz upowszechnienie najlepszych praktyk i procedur dla innych ważnych lotnisk krajowych.*

## **WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ**

ACARE	<i>Advisory Council for Aeronautical Research in Europe</i> – Rada konsultacyjna badań lotniczych w Europie
ADMS	<i>Atmospheric Dispersion Modelling System</i> – System modelowania dyspersji zanieczyszczeń w atmosferze
AERONET III	<i>Aircraft Emissions and Reduction Technologies</i> – trzecia wersja sieci poświęconej emisjom samolotów i sposobom ich zmniejszenia
AGE	<i>Aerospace Ground Equipment</i> – lotniskowe pojazdy wsparcia naziemnego, generatory prądu, etc.
ALAQS	<i>Airport Local Air Quality Studies</i> – program obliczeń i studiów lokalnej jakości powietrza

ANCAT	<i>Abatement of Nuisances Caused by Air Transport</i> – zwalczanie niedogodności transport lotniczego
APU	<i>Auxiliary Power Unit</i> – dodatkowa, pokładowa jednostka mocy
ASE	<i>Aircraft Support Equipment</i> – wyposażenie naziemne wsparcia samolotów
ATAG	<i>Air Transport Action Group</i> – grupa działania dla transportu lotniczego
ATC	<i>Air Traffic Control</i> – sterowanie ruchem lotniczym
ATM	<i>Air Traffic Management</i> – kierowanie ruchem lotniczym
ATS	<i>Air Traffic System</i> – system ruchu lotniczego
BIOFRAC	<i>Biofuels Research Advisory Committee</i> – Komitet Doradczy Badań Biopaliw
BPR	<i>By-Pass-Ratio</i> – stosunek wydatków przepływu zimnego do gorącego
C <sub>o</sub>	stężenie początkowe zanieczyszczenia, np. w [µg/m <sup>3</sup> ]
CAEE	<i>Committee on Aircraft Engine Emissions, of ICAO</i> – Komitet ICAO Emisji Silników Lotniczych
CAEP	<i>Committee on Aviation Environmental Protection, of ICAO</i> – Komitet ICAO Emisji Silników Lotniczych
CAA	<i>Clean Air Act, The US Federal law regulating air quality</i> – prawo federalne USA regulujące jakość powietrza
CDG	podparyskie lotnisko im. <i>Ch. de Gaulle'a</i>
CDM	<i>Clean Development Mechanism</i> – mechanizm czystego rozwoju
CO	<i>carbon monoxide</i> – tlenek węgla
CO <sub>2</sub>	<i>carbon dioxide</i> – dwutlenek węgla
DOAS	<i>Differential Optical Absorption Spectroscopy</i>
ECAC	<i>European Civil Aviation Conference</i> – Europejska Konferencja Lotnictwa Cywilnego
EDMS	<i>Emissions and Dispersion Modelling System</i> – system modelowania emisji i ich rozprzestrzeniania
EEC	<i>EUROCONTROL Experimental Centre</i> – Ośrodek Doświadczalny EUROCONTROL (nadzór ruchu lotniczego nad Europą)
EEA	<i>European Environmental Agency</i> – Europejska Agencja Środowiskowa
EEFAE	<i>Efficient &amp; Environmentally Friendly Aero-Engines</i> – silniki lotnicze sprawne i przyjazne środowisku
EI	<i>Emissions Index</i> – masa emisji w gramach na kg paliwa
EPA	<i>US Environmental Protection Agency</i> – Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska
ETS	<i>Emissions Trade System</i> – Europejski System Handlu Emisjami
FAB	<i>Functional Airspace Block</i> – Funkcjonalne Bloki Nawigacji w Przestrzeni Powietrznej
FIR	<i>Flight Information Region</i> – Rejon Informacji Lotniczej
FL	<i>Flight Level</i> – poziom lotu, np. FL100 = 3050 m
FF	<i>Fuel Flow</i> – wydatek paliwa
FT	paliwo syntetyczne, F. Fischer i H. Tropsch w 1926 r. opracowali metodę GTL ( <i>gas-to-liquid</i> ) otrzymywania paliw węglowodorowych przez syntezę tlenku węgla i wodoru
GIS	<i>Geographical Information System</i> – system informacji geograficznej
GNG	<i>Greenhouse Gases</i> – gazy cieplarniane (szklarniowe)
GSE	<i>Ground Support Equipment</i> – wyposażenie naziemne lotów
IATA	<i>International Air Transport Association</i> – Międzynarodowe Stowarzyszenie Transportu Powietrznego
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i> – Międzynarodowa Organizacja Lotnictwa Cywilnego

IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> – Międzyrządowy Zespół d/s. Zmian Klimatu
IFR	<i>Instrument Flight Rules</i> – zasady loty z wykorzystaniem instrumentów
INM	<i>Integrated Noise Model</i> – Zintegrowany Model Hałasu
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> – Międzyrządowy Panel Zmian Klimatycznych
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> – Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna
ISA	<i>International Standard Atmosphere</i> – Międzynarodowa Atmosfera Wzorcowa
LTO	<i>Landing and Take-Off cycle</i> – cykl lotniczy od startu do lądowania
NASA	<i>National Aeronautical Science Agency</i> – Narodowa Agencja Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej
NMVOC	<i>Non-Methane Volatile Organic Carbon</i> – niemetanowe, lotne związki węgla
OAA	<i>Open Aviation Area treaty</i> – traktat o otwartej przestrzeni powietrznej
OBD	<i>On-Board Diagnostics</i> – pokładowy system diagnostyczny
PAS	<i>Photoelectric Aerosol Sensor</i> – fotoelektryczny detektor aerozolu
PM, PT	<i>Particulate Matter</i> – cząstki stałe
PPL	<i>Polish Airports State Enterprise</i> – Polskie Przedsiębiorstwo Portów Lotniczych
RF	<i>Radiative Force</i> – współczynnik wzmocnienia radiacyjnego
SESAR	<i>Single European Sky ATM Research</i> – badania dla jednolitego „nieba” nad Europą
SO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>	<i>oxides of sulphur</i> – tlenki siarki
SRA-2	<i>Strategic Research Agenda</i> – strategiczny plan rozwoju nr 2
TEN-T	Transeuropejskie sieci transportowe
UHC	<i>un-burnt hydrocarbons</i> – niespalone węglowodory
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i> – Program Środowiskowy ONZ
VFR	<i>Visual Flight Rules</i> – zasady lotu z widocznością ziemi
VOC	<i>Volatile Organic Compounds</i> – lotne związki organiczne
WHO	<i>World Health Organisation</i> – Światowa Organizacja Zdrowia
WMO	<i>World Meteorological Organization</i> – Światowa Organizacja Meteorologiczna
WTW	<i>Well to Wheel</i> – od szybu kopalni do kół pojazdu

## 1. ROZWÓJ TRANSPORTU LOTNICZEGO A ŚRODOWISKO

Rozwój lotnictwa rozpoczął się, gdy samolot Flyer braci Wilbura i Orville'a Wright na odcinku 36 m oderwał się od ziemi 17 grudnia 1903 r. w Północnej Karolinie. Napędzał go lekki, cztero-cylindrowy silnik o mocy 8,8 kW ze śmigłem. Już w 1908 odbył się lot samolotu na odległość 120 km.

Następne dekady rozwoju wykorzystywały coraz większe i sprawniejsze silniki tłokowe – największym lotniczym silnikiem tłokowym był gwiazdowy Nomad (4 x 9 cylindrów) o mocy 3000 kW wyprodukowany po II wojnie światowej.

Większe prędkości i udźwigi samolotów zapewnił napęd turbośmigłowy. Osiągnął on apogeum swej popularności, na znacznie wyższym poziomie mocy niż silniki tłokowe – przykładem może być silnik NK-15 o mocy 12000 kW.

Potem silniki odrzutowe umożliwiły szybkie i dalekie podróże, (jeśli nawet 2/3 entalpii wytworzonej w komorach spalania służy do napędu sprężarki) począwszy od 1949 r., gdy wprowadzono do eksploatacji pierwszy samolot pasażerski z napędem odrzutowym – „Comet” De Havillanda.

Wzrost ruchu lotniczego jest w przybliżeniu dwukrotnie szybszy niż wzrost krajowego produktu brutto. Wynika on także z postępującej deregulacji rynków transportu lotniczego. Prowadzi to do zwiększenia konkurencji i rozwoju tzw. linii nisko-kosztowych. Obywatele klas średnich pozwalają sobie na kilka przelotów rocznie, turystycznych i biznesowych.

Lotnictwo jest integralną częścią współczesnego społeczeństwa. Jest to typowy sektor rozwojowy w związku ze wzrostem potrzeb sprawnego transportu na duże odległości.

W 2007 r. w krajach EU-27 było 1,083 mld pasażerów lotniczych. Jest to wynik ogromnego wzrostu ruchu lotniczego w ostatnich dekadach – w latach 70-tych ubiegłego wieku było około 200 mln pasażerów lotniczych. Codziennie w Europie odbywa się 25 tys. lotów, a liczba ta zwiększy się dwukrotnie w ciągu 10-ciu lat.

Transport lotniczy wykazuje średnio ponad 75 % wykorzystanie miejsc; kolej 40 – 50 %, samochody – około 30 %. Transport lotniczy obsługuje 40 % turystów międzynarodowych.

Chociaż ładunki towarów przewożone samolotami są niewielkie objętościowo, np. w porównaniu do 3 mld ton przewożonych drogą morską, to wartość 1 tony cargo w samolocie jest kilkakrotnie wyższa niż w innych środkach transportu.

W ciągu ostatniego półwiecza nastąpił znaczny rozwój techniki lotniczej. Samoloty wchodzące teraz do eksploatacji wykazują jednostkowe (na daną liczbę pasażero-kilometrów) zużycie paliwa mniejsze o 70 % niż przed 40 laty. Współczesne samoloty zużywają 3,5 l na pasażero-kilometrów, a najnowsze szeroko-kadłubowe Airbus A380 i Boeing 787 – tylko około 3 l. Dodatkowe 50 % oszczędności na paliwie powinno być, wg ACARE i NASA, osiągnięte w 2020 r.

Poziom hałasu nowych samolotów jest mniejszy o 20 dB niż 40 lat temu – wg Światowego Stowarzyszenia Transportu Lotniczego ATAG – *Air Transport Action Group* ([www.enviro.aero](http://www.enviro.aero)). Dalsza redukcja 50 % hałasu podczas startów i lądowań nastąpi do 2020 r.

Znacząco zmalała liczba wypadków lotniczych. Wyjątkiem jest Afryka, gdzie przy 3 % udziale w globalnych przewozach lotniczych ma miejsce 27 % katastrof lotniczych – jednocześnie ogromny potencjał dla lotnictwa z powodu mizernej sieci dróg i kolei na terytorium trzykrotnie większym od Europy).

Ograniczenia rozwoju transportu lotniczego to głównie:

- Wpływ lotnictwa na środowisko,
- Długotrwałe i kosztowne inwestycje w rozbudowę lotnisk,
- Wydajność sieci transportu, która zbliża się do stanu nasycenia; prowadzi to do wzrostu opóźnień i przeciążenia systemu sterowania i kontroli lotów.

Wprawdzie hałas samolotów przy lotniskach nietrafnie zlokalizowanych jest łatwiej odczuwalny przez mieszkańców pobliskich osiedli, ale raport *Scandinavian Airlines System* przypisuje znacznie większą wagę emisji gazów toksycznych i cieplarnianych. Wzór Departamentu Środowiskowego tych linii lotniczych jest następujący:

$$\text{Airport impact} = 50 \% \text{ CO}_2 \text{ emission} + 40 \% \text{ NO}_x \text{ emission} + 10 \% \text{ noise},$$

czyli wpływ lotniska (impact) zależy głównie od emisji gazów cieplarnianych (zredukowanych do dwutlenku węgla) oraz toksycznych (głównie tlenków azotu powstających przy wysokiej temperaturze spalania), a tylko w 10 % od hałasu (noise).

Emisje lotnicze przyczyniają się do zmiany klimatu przez:

- emisję gazów cieplarnianych, głównie CO<sub>2</sub>, także pary wodnej;
- emisję prekursorów ozonu (wprowadzane bezpośrednio do stratosfery tlenki azotu katalitycznie niszczą ozon (absorbujący promieniowanie o długości fali mniejszej od 290 nm, które uszkadza powierzchniowe komórki roślin i zwierząt);
- emisję cząstek stałych i ich prekursorów;
- wytwarzanie dodatkowych chmur (e.g. contrails, contrail cirrus) oraz modyfikacja chmur naturalnych.





**Rys. 1.1. Faza wznoszenia samolotu nad śródmieściem Lizbony**

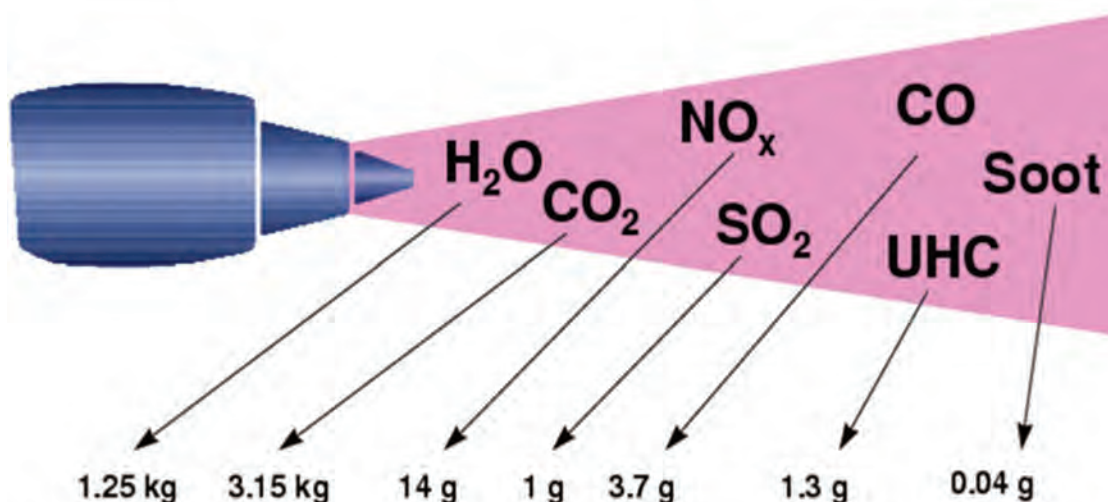
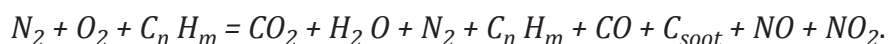
Lotnictwo uczestniczy w niewielkim stopniu (2 – 3 %) w globalnym zanieczyszczeniu środowiska, ale dominuje w okolicach portów lotniczych.

Podczas setek startów i lądowań dziennie (warszawski port F. Chopina – 400, paryskie lotnisko CDG (Ch. de Gaulle) – 1600) dysze silników odrzutowych wydzielają setki kilogramów zanieczyszczonego powietrza na sekundę – np. wydatek masowy przepływu silnika GE-90 o średnicy wlotowej 3,4 m podczas startu wynosi 1449 kg/s.

Idealne spalanie nafty przebiega wg następującej reakcji chemicznej:



W rzeczywistości natomiast:



**Rys. 1.2. Składniki emisji silnika lotniczego na 1 kg spalanej nafty (Sausen R.)  
(Soot – sadza, UHC – unburned hydro-carbons – niespalone węglowodory)**

Wartości emisji silników lotniczych określa się wg Aneksu nr 16, Vol. 2 organizacji lotnictwa cywilnego ICAO – *International Civil Aviation Organisation*.

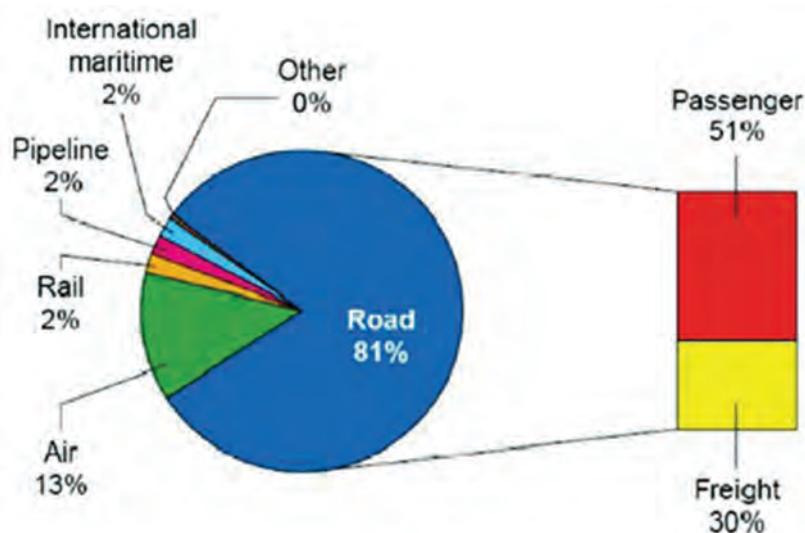
Gazy wydechowe silnika lotniczego zawierają:

- azot – 75,2 %,
- tlen – 16,3 %,
- spaliny – 8,5 %, w tym: dwutlenek węgla – 72 %, para wodna – 27,6 %

oraz produkty wyniku ze spalania niekompletnego i niezupełnego – 0,4 %, w czym zawiera się 84 % tlenków azotu, 11,8 % tlenku węgla, 4 % niespalonych węglowodorów oraz śladowe ilości sadzy (PM) i tlenków siarki.

Tlenki azotu: głównie NO i NO<sub>2</sub> tworzą się w komorach spalania silników przy panującej tam wysokiej temperaturze, która ma wpływ na sprawność cieplną obiegu termodynamicznego.

Transport drogowy dominuje w emisji środków transportu, niemniej udział ruchu lotniczego w emisji transportu jest znaczny – wynosi 13 %.



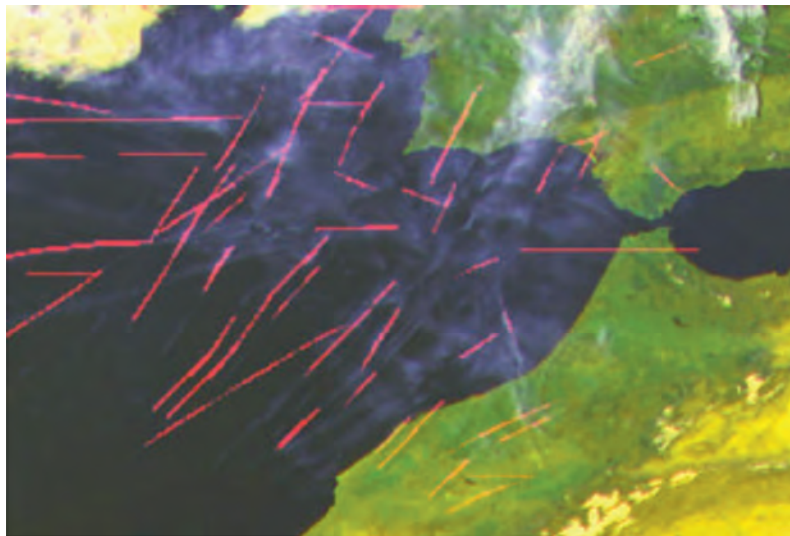
**Rys. 1.3. Udziały poszczególnych środków transportu w globalnej emisji dwutlenku węgla wg ocen IEA i IFP (maritime – transport morski, road – drogowy, air – lotniczy, rail – kolejowy, pipeline – rurociągi, passenger – pasażerski, freight – towary)**

Transport lotniczy jest wrażliwy na katastrofy i kryzysy – w wyniku zamachu terrorystycznego na *World Trade Center*, liczba pasażerów zmalała o 2 %. W porównaniu do samochodu wyposażonego w silnik wysokoprężny i wiozącego dwie osoby samolot obciążony w 75 % spala mniej paliwa na dystansach powyżej 500 km.

Spektakularnym wyrazem ruchu lotniczego w korytarzach są naniebne smugi kondensacji (ang. *contrails – condensation trails*) spalin, które sprzyjają tworzeniu sztucznych chmur – cirrusów. Stanowią one atrakcję dla każdego, kto wzniesie swój wzrok ku bezchmurnemu niebu we właściwym miejscu i czasie. Smugi te tworzą chmury typu, wyglądem przypominają często włókna czy pierze – stąd nazwa *Cirrus tractus*, pierzaste szlakowe – mogą trwać, rozszerzać się i zwiększać efekt cieplarniany. Formują się za samolotem, lecącym w dostatecznie chłodnym i wilgotnym powietrzu.

Badania wpływu lotnictwa na środowisko zaczęły się wraz z wprowadzeniem około 30 samolotów naddźwiękowych Concorde do transportu pasażerskiego w 1978 r. Były z tym związane nadzieje na nową erę transportu, chociaż spalały one prawie dwa razy tyle nafty, co samoloty poddźwiękowe. Wysokość przelotowa samolotów naddźwiękowych to 16 - 25 km – dolna stratosfera, która jest stabilna, więc emisje do niej mają długi czas rezydencji.

Wprowadzane bezpośrednio tlenki azotu katalitycznie niszczą ozon, który w stratosferze absorbuje promieniowanie o długości fali mniejszej od 290 nm, uszkodzające powierzchniowe komórki roślin i zwierząt.



Rys. 1.4. Smugi lotnicze na zachód od Gibraltaru z satelity Meteosat 8 w 2005 r.

Zanieczyszczenia lotniskowe ocenia się metodami obliczeniowymi i pomiarowymi.

## 2. PROGRAMY OBLICZENIOWE EMISJI LOTNICZYCH

Amerykański program EDMS (*Emissions and Dispersion Modeling System* – System modelowania emisji i ich dyspersji) jest kompozycją modułów obliczeniowych między bazą danych – *Database*, a graficzną demonstracją wyników – *Graphical User Interface*.

Powstał w latach 70-tych ubiegłego wieku, w wyniku porozumienia FAA (*Federal Aviation Administration*) i USAF (*United States Air Force*) dla analizy i dokumentowania jakości powietrza wokół portów i baz lotniczych. Następnie, w latach 80-tych ubiegłego wieku, został on rozrzeszony i udoskonalony dla zatwierdzania projektów rozbudowy lotnisk zgodnie z *Clean Air Act Amendment* z 1990 r.

EDMS zawiera bazę danych odnośnie indeksów emisji najbardziej eksploatowanych samolotów oraz sprzętu i infrastruktury naziemnej. Umożliwia obliczenia emisji wszelkich źródeł (także drogi dojazdowe, parkingi i lokalne elektrownie) oraz ich dyspersji w dolnej troposferze – do 1000 stóp nad ziemią.

EDMS zawiera kilka interaktywnych warstw obliczeń, może pokazywać inwentarz emisji oddzielnie lub razem z wynikami symulacji dyspersji (generowanymi przez moduł AERMOD) uwzględniając moduł danych meteorologicznych AERMET.

Zastosowanie EDMS umożliwia sprawdzenie wymagań EPA (*Environmental Protection Agency*). Lista uwzględnianych aktualnie polutantów zawiera; CO, HC, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> i PM-10<sub>x</sub>. (indeksy PM10 są dostępne aktualnie tylko dla sprzętu naziemnego, wszelkich pojazdów, infrastruktury oraz pożarów ćwiczebnych).

Emisje naziemnej infrastruktury lotniskowej (ASE – *Aircraft Support Equipment*) są wytwarzane przez: wyposażenie naziemne wsparcia (GSE – *Ground Support Equipment*), wyposażenie naziemne lotów (AGE – *Aerospace Ground Equipment*), pojazdy wsparcia naziemnego, generatory prądu oraz dodatkowe jednostki mocy (APUs – *Auxiliary Power Units*) zasilające samoloty czekające na pirsie.

Europejski program ALAQS (*Airport Local Air Quality Studies* – Studium lokalnej jakości powietrza na lotnisku), stworzony przez francuskie ENVISA, na zlecenie EUROCONTROL Experimental Centre w Bretigny pod Paryżem.

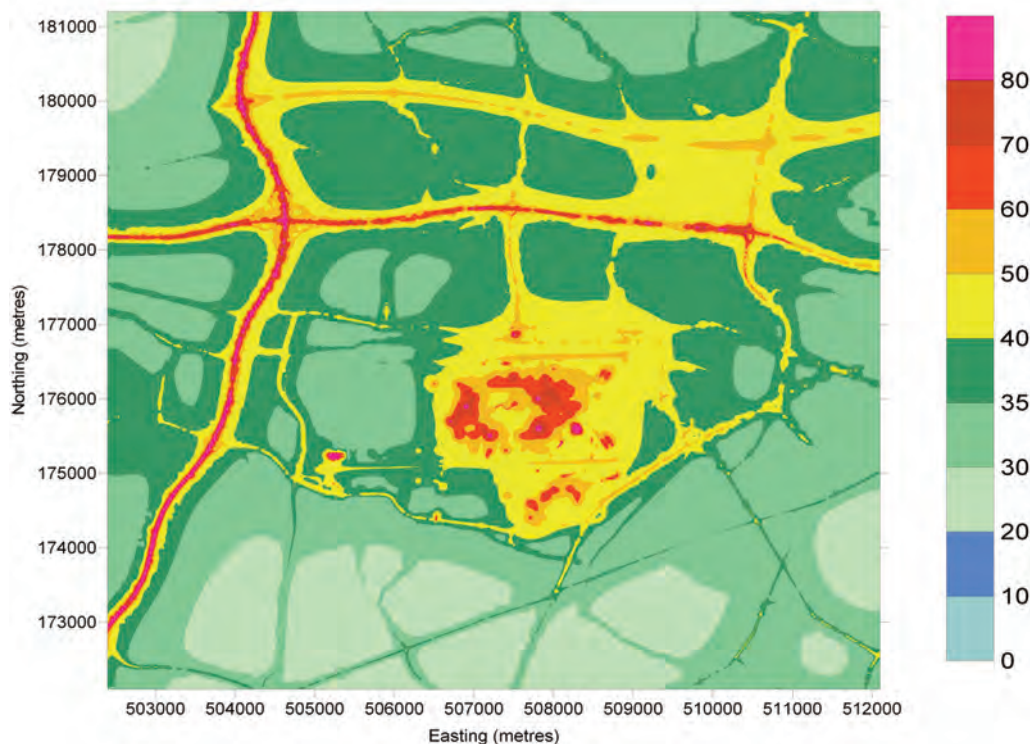


Celem obliczeń jest ocena wpływu różnych operacji na jakość otaczającego powietrza. Uprzednio subiektywnie oceniane efekty nowych procedur operacyjnych mogą być obiektywnie określone i skwantyfikowane. Wymagało to modelowania



całego otoczenia z wszystkimi źródłami zanieczyszczeń. Eurocontrol poszukiwał „wspólnego zrozumienia” zagadnień ekologii lotniczej z USA oraz rozwoju międzynarodowych zasad współdziałania w tej dziedzinie w ramach grup roboczych ICAO-CAEP. Promocja zharmonizowanego podejścia przybrała też formę aktywnego uczestnictwa w sieci tematycznej Komisji Europejskiej AERONET (*Aircraft Emissions and Reduction Technologies*). Więcej info na witrynie: [http://www.eurocontrol.int/eec/public/standard\\_page/SEE\\_alajs.html](http://www.eurocontrol.int/eec/public/standard_page/SEE_alajs.html). Brytyjski program ADMS-Airport (*Atmospheric Dispersion Modelling System*) to dzieło *Cambridge Environmental Research Consultants*, Cambridge (UK). Jest to narzędzie dla kierowania ulepszaniem jakości powietrza w rejonie lotnisk, powstało jako rozszerzenie programu ADMS-Urban. Umożliwia jednoczesne badanie 6500 źródeł, w tym 500 samolotów odrzutowych, 1500 źródeł drogowych i do 1500 źródeł przemysłowych: punktowych, liniowych, powierzchniowych i przestrzennych. Model „odrzutowy” rozwiązuje równania zachowania masy, pędu i ciepła. Program ułatwia tworzenie do 50 dziennych i 50 miesięcznych profili poziomu emisji symulowanych źródeł zanieczyszczeń plus kierunki wiatru.

Więcej info na witrynie: <http://www.cerc.co.uk/environmental-software>. Program ten używa kalkulatora EMIT, który zawiera dane ICAO odnośnie aktualnie używanych samolotów oraz sprzętu lotniskowego.



**Rys. 2.1. Średnie roczne stężenia  $\text{NO}_2$  w  $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$  wokół londyńskiego lotniska Heathrow obliczone wg programu ADMS-Airport wg raportu „Air Quality Studies for Heathrow” (2007)**

### 3. PRZYKŁAD OBLICZENIA EMISJI NA LOTNISKU FRYDERYKA CHOPINA

W 2005 r. wykonano symulację numeryczną emisji gazów cieplarnianych i toksycznych podczas operacji lotniczych (około 120 tys. w 2004 r.) oraz działalności naziemnej siedmiu przedsiębiorstw obsługujących lotnisko Okęcie. Było to wspólne przedsięwzięcie Przedsiębiorstwa Państwowego „Porty Lotnicze” oraz Instytutu Lotnictwa, sponsorowane przez EUROCONTROL – organizację koordynującą ruch lotniczy nad Europą.

Zastosowano program ALAQS, a wyniki udostępniono dla sieci AERONET III.





**Rys. 3.1. Geograficzny model lotniska F. Chopina dla obliczeń programem ALAQS**

Podczas pierwszej fazy obliczeń uwzględniono przewóz 6 085 811 pasażerów, 40 541,0 ton frachtu oraz 6 717,5 ton poczty; w roku 2009 r. lotnisko Okęcie obsłużyło około 9 mln pasażerów.

Przewiduje się, że w 2015 r. będzie tu obsłużone około 17 mln pasażerów, po 5 mln w Krakowie i Katowicach, poniżej 3 mln w Trójmieście i po 2 mln we Wrocławiu i Poznaniu.

W 2006 r. polskie lotniska obsłużyły ponad 15 mln pasażerów, w 2050 r. – przewiduje się około 64 mln.

Wyniki symulacji ekologicznej lotniska zebrano w poniższej tabeli.

**Tabela 3.1. Emisje samolotów i sprzętu lotniskowego obliczone dla lotniska F. Chopina (2004 r.) (DUCHENE Nicolas)**

	Samoloty	GSE
Operacje lotniskowe	119 992	
CO (kg)	245 328	21 840
HC (kg)	31 963	19 646
NO <sub>x</sub> (kg)	220 574	21 803
SO <sub>x</sub> (kg)	21 553	4 254
PM10 (kg)	3 659	1 512

Udział w rynku ważniejszych polskich portów lotniczych w 2007 r. wynosił:

- Warszawa – 48,4 %,
- Kraków – 15,9 %,
- Katowice – 10,3 %.

Polские porty regionalne obsłużyły 9 868 mln pasażerów (51 % pasażerów lotniczych w Polsce) – oznacza to wzrost o 36 % w porównaniu z rokiem poprzednim. Postępuje więc decentralizacja ruchu lotniczego w Polsce. Porównanie z głównymi portami lotniczymi Europy wykazuje, że port F. Chopina jest w drugiej piętnastce.

#### 4. KOMPARATYSTYCZNE POMIARY LOKALNEJ JAKOŚCI POWIETRZA

Metody monitoringu atmosfery określa raport Dyrekcji Generalnej UE - *Environment Unit C1 „Air and Noise”*, z 23 maja 2002 r. Zgodnie z unijną dyrektywą *Air Quality Framework Directive 96/62/EC* oraz późniejszymi *Daughter Directives* (dyrektywy pochodne) daje on przegląd wyników wstępnego monitorowania SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>, PM10 oraz ołowiu.

Stosowane metody oraz ich wyniki mają być raportowane do Komisji Europejskiej, co jest konieczne dla wymiany informacji o rezultatach monitoringu. Chodzi także o to, jak kraje członkowskie definiują swoje strefy monitoringu i jak modyfikują sieci czujników (<http://europa.eu.int/comm/environment/air/ambient.htm>).

Metody pomiarowe pozwalają stworzyć mapy stężenia poszczególnych polutantów. Stosują one:

- analizatory próbkujące powietrze umieszczone w charakterystycznych punktach rejonu lotniska w czasie realnym,
- spektrometry wykorzystujące absorpcję specyficznych części widma świetlnego, np. DOAS,
- bio-wskaźniki – rośliny czułe na pewne polutanty, np. plantacja tytoniu reaguje na ozon,
- bio-akumulatory – rośliny zbierające polutanty w liściach, np. mchy reagujące na tlenek azotu.

DOAS stosuje się aktualnie do pomiaru stężeń ozonu, dwutlenku siarki, tlenku azotu i formaldehydów. Jest to instrument ze ścieżką optyczną zawierającą emisję, recepcję i analizę powracającej wiązki optycznej składającej się z promieniowania w widmie od ultrafioletu do światła widzialnego. Analizator mierzy natężenie różnych składowych widma wzdłuż całej drogi i przelicza je na stężenia monitorowanych polutantów.

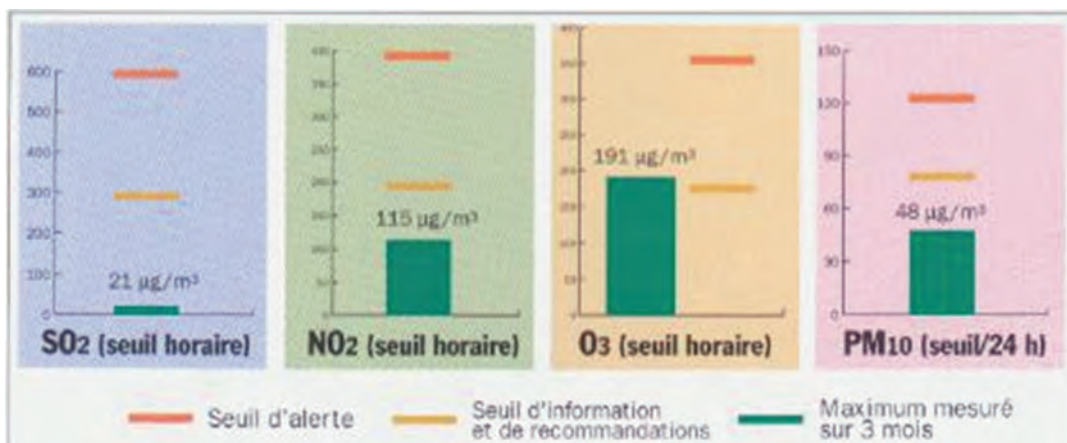
Odległość od nadajnika do odbiornika promieniowania wynosi zwykle 100 - 500 m. Wyniki spektroskopu DOAS są zintegrowane w przestrzeni, z rozdzielczością czasową 3 do 6 minut dla różnych monitorowanych komponentów.

Ocena regionalnych efektów zanieczyszczenia atmosfery może odbywać się przy pomocy spektroskopu optycznego MAX DOAS (*Multi-Axis Differentia Optical Absorption Spectroscopy*), opracowanego przez Instytut Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu w Bremie. Przykładem są pomiary stężenia tlenu halogenu i dwutlenku azotu w troposferze pod różnymi kątami odniesienia. W szczególności w projekcie QUILT pomierzono stężenia substancji, odpowiedzialnych za destrukcję warstwy ozonowej. W innym projekcie – FORMAT, pomiary dotyczyły stężeń formaldehydów, które pełnią ważną rolę w fotochemicznym tworzeniu smogu.

Wyniki dotychczasowych pomiarów są uzupełniane przez modelowanie matematyczne, np. interpolacyjne. Ważne są liczby przekroczeń limitów górnych i dolnych (*upper and lower assessment thresholds – UAT and LAT*), a także wartości granicznych oraz tych wartości wraz z marginesem tolerancji (*limit values plus margins of tolerance – MOTs*).

Wyniki pomiaru stężeń czterech najważniejszych toksyn na lotnisku w Lyonie przedstawiono na rys. 4.2.

Przykładem kompleksowego systemu monitorowania jakości powietrza jest AQMN – *Air Quality Monitoring Network* w rejonie lotniska Mesogea pod Atenami (zbudowane dla Olimpiady w 2004 r.). Zawiera on 5 stałych (oraz 1 ruchomą) stacji monitorujących stężenia przy ziemi głównych polutantów. Rejestrują one także, zgodnie z metodami odniesienia Unii Europejskiej, podstawowe parametry meteorologiczne: prędkość i kierunek wiatru, temperatura, względna wilgotność, opady, promieniowanie słoneczne i ciśnienie atmosferyczne. Latem rośnie stężenie ozonu, bo zwiększona temperatura i nasłonecznienie sprzyjają reakcjom fotochemicznym generującym ozon. Wykorzystuje się również zaawansowany miernik stężeń toksyn jako funkcji absorpcji światła w systemie DOAS. Jest on zainstalowany na progu zachodniego pasa startowego, więc monitoruje nie tylko jakość powietrza na lotnisku ale także emisje samolotów podczas startu.



**Rys. 4.2. Parametry jakości powietrza lotniska w Lyonie (CITEPA): seuil horaire, d'information et de recommandations, mesure sur 3 mois – próg alarmowy, informacyjny oraz dla rekomendacji, mierzony podczas 3 miesięcy**

## 5. SPOSOBY ZMNIEJSZENIA NEGATYWNEGO ODDZIAŁYWANIA LOTNISK NA ŚRODOWISKO

Zgodnie z wymaganiami normatywnymi oraz najlepszymi praktykami europejskimi należy w pierwszej kolejności zidentyfikować skutki działalności lotniska dla środowiska w jego regionie. Wymaga to implementacji wybranego programu obliczeniowego oraz modularnego układu stanowisk pomiarowych. Optymalny rozkład czujników, ich systemowe połączenie wraz ze zbieraniem wyników i ich przetworzeniem pozwala na bieżącą ocenę „impaktu” środowiskowego oraz sporządzanie okresowych raportów informujących opinię publiczną, państwowe organa nadzoru środowiska oraz władze samorządowe. Następnym etapem jest zespół przedsięwzięć redukujących emisję zanieczyszczeń atmosfery lub przynajmniej ograniczenie ich przy rosnącej przepustowości. Umożliwi to polepszenie jakości życia pracowników portu lotniczego oraz mieszkańców pobliskich osiedli. Ostatnia Konferencja IPCC w Kopenhadze ustaliła zobowiązanie krajów członkowskich Unii Europejskiej do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych o 30 %.

Możliwe przedsięwzięcia dla zmniejszenia emisji lotniczych są w dziedzinach:

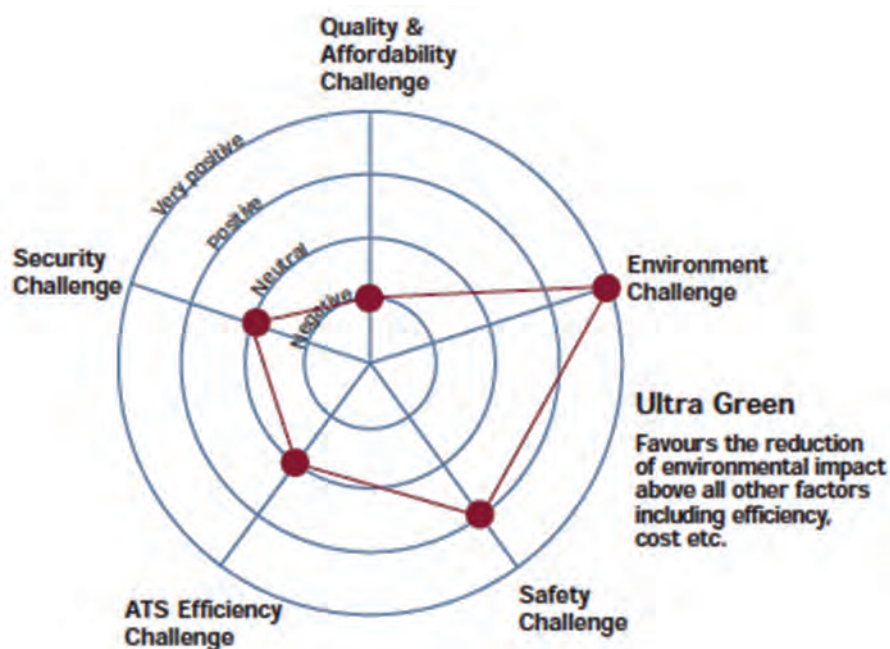
- Konstrukcja silnika – 33 %,
- Operacje lotnicze – 30 %,
- Konstrukcja płatowca – 24 %,
- Paliwa alternatywne – 13 %.

Strategiczna Agenda Badawcza Lotnictwa (SRA-2) przewiduje pięć kierunków rozwoju (wyzwań) dla transportu lotniczego. Są to: jakość i dostępność usług tego sektora, sprawność operacyjna, zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko oraz pewność i bezpieczeństwo. Określa się wzajemne związki tych wyzwań: pozytywne (*positive*) oraz negatywne (*negative*) – na rys. 5.1 przedstawiono je względem kryterium środowiskowego – *Ultra Green*.

Z dotychczasowych badań ekologii portów lotniczych wynikają następujące wyzwania na przyszłość:

- Integracja lotnisk z systemem transportowym kraju – podejście intermodalne (bocznice kolejowe i drogi dojazdowe),
- Redukcja emisji toksyn i hałasu silników lotniczych oraz sprzętu i pojazdów naziemnych,
- Poprawa efektywności wykorzystania istniejącej infrastruktury lotnisk,
- Rozwój infrastruktury organu zarządzającego przestrzenią powietrzną,
- Reforma systemu zarządzania slotami,
- Stosowanie paliw alternatywnych – obszerna dziedzina, do omówienia w następnym artykule.





**Rys. 5.1. Związki kryterium środowiskowego transportu lotniczego (Ultra Green) z pozostałymi kryteriami SRA-2 (Strategic Research Agenda) jak: Quality & Affordability – jakość i dostępność, Security, Safety – bezpieczeństwo antyterrorystyczne i przelotu, ATS Efficiency – sprawność systemu transportu lotniczego**

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Altman R. L.: *Alternative Fuels in Commercial Aviation, The Need, The Approach, Progress*, 32nd Annual FAA Forecasting Conference, 2007.
- [2] Bhadra D., Schaufele R.: *Impact of US-EU Open Area Aviation Treaty on US Aviation a Parametric Analysis with Simulation*, ICAS 2008 Congress Including the 8th AIAA 2008 ATIO Conference, Anchorage, Alaska, 14 - 19 September 2008.
- [3] Bennett M., Christie S.: *Optical Measurements of Pollution Dispersion at Commercial Airports*, Photon06, Manchester, 4 - 7 September 2006.
- [4] Brok P.H.H., Eysers C.J.: *Enhancing Compatibility of European Financial and Environmental Modelling Tools for Aviation (EFEMTA)*, Final Report of the Short Study Funded Under the AERONET III Project, 2006.
- [5] Calvet P., Pélegrin M.: *Le développement durable et le transport aerien*, Fedespace – l'Université Internationale de l'Espace, Strasbourg, 2008.
- [6] Duchene N.: *ALAQS Case Study – Chopin Airport Emission Inventory*, Contract between EUROCONTROL Experimental Centre and Polish Institute of Aviation, 2005.
- [7] Graham A., Bennett M., Christie S.: *Buoyant Release from an Accelerating Ground Source*, J. Fluid Mech, 2009.
- [8] Jackson P.: *All the World's Aircraft 2008-2009*, Cambridge University Press, UK.
- [9] Jeż M.: *Moteurs Thermiques*, Sekcja Lotnicza Wydziału Elektromechanicznego „Institut Supérieur de Techniques Appliquées”, Kinshasa, Zair (teraz D.R. of Congo), 1984.
- [10] Jeż M.: *Evaluation par calcul des pollutions engendrés par le trafic aérien au-dessus de territoire polonaise*, Colloque sur espace, aeronautique et l'environnement atmospherique, Toulouse, 1994.
- [11] Jeż M.: *Toxic Components of Aircraft Engines Exhaust Gases over Territory of Poland*, NATO Advanced Study – „THE MATHEMATICS OF MODELS FOR CLIMATOLOGY AND ENVIRONMENT” – Puerto de la Cruz, Spain, 1995.



- [12] Jeż M.: *Airport Environmental Impact – Methodology of Atmosphere Protection*, Wydawnictwa Naukowe Instytutu Lotnictwa, Warszawa, 2007.
- [13] Jeż M.: *Transport lotniczy a zrównoważony rozwój*, Wydawnictwa Naukowe Instytutu Lotnictwa, Warszawa, 2009.
- [14] Jeż M.: *Technologie ochrony środowiska. Ochrona atmosfery*, Oficyna Wydawnicza Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania, Warszawa, 2009.
- [15] Kotlarz W.: *Turbinowe zespoły napędowe źródłem skażeń powietrza na lotniskach wojskowych (Turbine Driving Systems as Pollution Sources at Military Airports)*, Air Forces Academy, Dęblin, 2004.
- [16] Mc Glade J.: *The European Environment – State and Outlook*, The European Environment Agency (EEA), 2005.
- [17] Piechota W.: *Monitorowanie hałasu lotniczego na przykładzie portu lotniczego im. F. Chopina w Warszawie*, „Polish Airports” State Enterprise, Poznań, 2005.
- [18] Sausen R.: *The Impact of Air Transport on Climate*, Air Transport of the Future 2008 – The Berlin Summit, Schloss Steinhöfel, Brandenburgia, 26 - 27 maja 2008.
- [19] Schumann U.: *Formation, Properties and Climatic Effects of Contrails*, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, 2005.
- [20] Wuebles D.: *Workshop on the Impacts of Aviation on Climate Change: A Report of Findings and Recommendations*, REPORT NO. PARTNER-COE-2006-004, Cambridge, USA, 2006.
- [21] Zanin G., Olson L.V.: *The Green Airport Program & The International Flight Academy on Biofuels*, Green Skies Aviation & Environment Conference, Sydney, 2007.

**Marian Jeż**

## **ENVIRONMENTAL IMPACT OF AIRPORT ACTIVITIES**

### **Abstract**

*This paper is concerned with airport sustainable development. Intensive air transport increase (except crisis of 2009) necessitates „balancing” its negative impact by pro-ecological measures.*

*„State of the art” first chapter is concerned with the relation between air transport and aero-engine exhaust gases pollution. Next chapter is dedicated to the most popular programmes for calculation of airport pollutant emissions and their dispersion: American EDMS – Emissions and Dispersion Modelling System, European ALAQS-AV – Airport Local Air Quality System-ArcView and British ADMS. The second programme was used to assess air contamination by Warsaw F. Chopin Airport activity, which is described in subsequent chapter. It was done in 2005 thanks to EUROCONTROL sponsoring, as a Polish contribution to the AERONET III (Aircraft Emissions and Reduction Technologies) network, Institute of Aviation is part of in years from 2004 till 2010. The results were presented and discussed at this network Workshops.*

*It is planned to complement well functioning noise monitoring at F. Chopin airport by installation of local air quality measuring infrastructure. Pollutant dispersion calculation shall be executed by introducing meteorological data to the extension of ALAQS programme. Implementing the best available practices and procedures would serve as an example for other important Polish airports.*