



Ograniczenia środowiskowe lotniczej działalności gospodarczej a EU-ETS i jego wpływ na emisję do atmosfery.

Dr inż. Tadeusz Reklewski
Wydział Ochrony Środowiska
Urząd Lotnictwa Cywilnego



Europejski System Handlu Emisjami

- EU-ETS może być rozumiany jako dogodne narzędzie realizacji woli politycznej w sferze ekonomicznej,
- Jest wymuszeniem prawnym, którego prognozowane skutki dla systemu gospodarczego silnie zależą od intencji politycznych i doboru długości horyzontu czasowego:
 - w krótkiej perspektywie prawdopodobnie będą przeważać konsekwencje negatywne, wpływ obciążeń administracyjnych, efekt ograniczenia aktywności gospodarczej poprzez ograniczenie ilości uprawnień do emisji, niedobory czasu i środków finansowych na konieczne dostosowania,
 - w perspektywie dłuższej rośnie prawdopodobieństwo następstw pozytywnych*, efekt ukierunkowania rozwoju technologicznego w lotnictwie cywilnym, rezultaty badań naukowych, być może rewolucyjne zmiany prowadzące do radykalnego ograniczenia zużycia tradycyjnych paliw lotniczych.



Istota EU ETS

- Istota ograniczenia emisji metodą systemu handlu emisjami,
- Koncepcja linii bazowej jako bezinterwencyjnego emisyjnego scenariusza odniesienia,
- Prognoza emisji w przypadku urzeczywistnienia scenariusza zakładającego interwencję polegająca na przeciwdziałaniu emisjom gazów (zapobieganie emisjom, redukovanie wielkości zachodzących emisji, pochłanianie wyemitowanych zanieczyszczeń),
- Oszacowanie spodziewanej redukcji emisji w okresie „technicznego funkcjonowania” projektu jest często konieczne ponieważ instytucje finansowe żądają danych na temat poziomu kosztów jednostkowych redukcji emisji,
- Prognozowana wielkość redukcji emisji jest różnicą emisji ustalonych w wyniku dwóch wyżej wymienionych prognoz i jest obarczona sumą błędów obu tych oszacowań,
- Emisja Zredukowana jest funkcją stanu czyli jej poziom zależy wyłącznie od różnicy stanu końcowego i stanu początkowego,
- $\text{Emisja Zredukowana} = \text{Emisja Scenariusza Interwencyjnego} - \text{Emisja Scenariusza Bazowego} (\pm)\Delta E.$



Możliwość wyłączenia z EU-ETS

- W myśl przepisów Załącznika I Dyrektywy 2003/87/WE (zmienionej Dyrektywą 2008/101/EC PE i R z 19. 11. 2008), doprecyzowanych Decyzją Komisji z dnia 08.06.2009 r. w sprawie szczegółowej interpretacji rodzajów działalności lotniczej wymienionych w załączniku I do Dyrektywy 2003/87/WE:
 - wyłączeniu podlegają tylko niektóre operacje lotnicze,
 - zasadność każdego wykluczenia powinna zostać udokumentowana, natomiast brakuje przepisów harmonizujących ten proces w UE.
- Sentencje oznaczone literami a), b), c), d), e), f), g, h), i), j) w punkcie 2), ustępu 2, Artykułu 2 ustawy z dnia 28.04.2011 r. o systemie handlu uprawnieniami do emisji, implementują przepisy dyrektywy 2003/87/WE w zakresie wyłączeń z EU-ETS, na grunt prawa polskiego.
- Natomiast należy je czytać łącznie z Decyzją Komisji z dnia 8 czerwca 2009 r.



Możliwość wyłączenia z EU-ETS cd.

- a) wykonywanej wyłącznie w celu przewozu, podczas oficjalnej misji, panującego monarchy i członków jego najbliższej rodziny, szefów państw, szefów rządów i ministrów wchodzących w skład rządów państwa innego niż państwo członkowskie Unii Europejskiej, jeżeli taki jej charakter został potwierdzony w planie lotu (wyłącznie cel lotu, rodzina oznacza wyłącznie współmałżonka, partnera uznanego za równoważnego małżonkowi, dzieci oraz rodziców, tylko członkowie rządu wymienieni w krajowym dzienniku urzędowym, misja oficjalna tj. związana z pełnieniem funkcji urzędowych, loty objęte kodem zwolnienia z opłat trasowych CRCO i oznaczone kodem „S” w odpowiednim polu planu lotu),
- b) wojskowej, wykonywanej przez wojskowe statki powietrzne, służby celnej, policji, straży granicznej, żandarmerii wojskowej, straży miejskiej i innych służb ochrony bezpieczeństwa i porządku publicznego (loty cywilne wykonywane wojskowym statkiem powietrznym nie są objęte zwolnieniem, loty oznaczone kodem zwolnienia CRCO „M”, lub CRCO „X” uznaje się za wojskowe objęte zwolnieniem, loty statków powietrznych cywilnych lub wojskowych statków powietrznych służby celnej i policji są objęte zwolnieniem, a także loty oznaczone kodem zwolnienia CRCO „P” uznaje się za loty służby celnej i policji objęte zwolnieniem),
- c) związanej z działaniami poszukiwawczo-ratowniczymi, przeciwpożarowej i gaśniczej, z pomocą humanitarną lub służb ratowniczych, jeżeli jest ona wykonywana na podstawie zezwolenia właściwego organu (oznaczone kodem zwolnienia CRCO „R” sklasyfikowane jako STS/SAR w polu 18 planu lotu, oraz loty oznaczone kodem CRCO „H” zaklasyfikowane jako STS/HUM w polu 18 planu lotu uznaje się za objęte zwolnieniem, loty STS/MEDIVAC lub STS/HOSP),



Możliwość wyłączenia z EU ETS – cd.

- d) wykonywanej zgodnie z przepisami dla lotów z widocznością (lot VFR), określonych w załączniku 2 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, podpisanej w Chicago dnia 7 grudnia 1944 r. (Dz. U. z 1959 r. Nr 35, poz. 212 i 214, z późn. zm.4)),
- e) kończącej się na lotnisku, z którego wystartował statek powietrzny, i wykonywanej bez międzylądowania, (circular flights),
- f) szkoleniowej, wykonywanej wyłącznie w celu uzyskania licencji lub uzyskania uprawnień przez członków personelu lotniczego, jeżeli jest to potwierdzone w planie lotu, pod warunkiem że nie jest ona wykorzystywana do przewozu pasażerów ani ładunku lub do przebazowania statku powietrznego (kod CRC „T” zaklasyfikowane jako RMK/”Training Flight” w polu 18, p.l. objęte zwolnieniem),



Koncepcja odejścia od paliw kopalnych w lotnictwie była już rozpatrywana w okresie zimnowojennym (1956-1961) w biurach konstrukcyjnych Tupolewa.

- Samolot TU 95M „Bear”-> TU95 LAL ¹ był latającym laboratorium dla napędowego reaktora atomowego służącego jako potencjalne źródło energii cieplnej do napędu zmodyfikowanych silników turbośmigłowych. Reaktor zabudowano w miejscu komory bombowej, chłodziwo reaktorowe przewodami doprowadzono do wymienników ciepła zabudowanych w miejsce komór spalania w dwóch przykadłubowych silnikach NK14a. Zewnętrzne silniki NK12M pozostawiono bez zmian.
- Głównym problemem stało się zabezpieczenie załogi przed tzw. twardym promieniowaniem z reaktora, pomimo że uzyskano zachęcające wyniki program zawieszono z przyczyn finansowych ale długo kontynuowano realizację związanych z nim tematów badań naukowych.
- Podobne prace prowadzono w USA.

• 1)Raul Colon „Soviet Experimentation with Nuclear Powered Bombers.”
[<http://www.webcitation.org/64PsC9T2j>]



TUPOLEV TU-95MS "BEAR-H" (PAUL NANN)



TU 95 LAL o napędzie atomowym





Rygoryzm EU ETS a inne ograniczenia środowiskowe

- Technologia redukcji emisji dwutlenku węgla przy obecnym stanie techniki narzuca wymagania sprzeczne z tymi jakich spełnienia wymaga redukcja emisji tlenków azotu lub redukcja emisji hałasu,
- Jesteśmy świadkami równoległego zaostrzania norm, których jednoczesne spełnienie prowadzi do sprzeczności technologicznych powoduje to między innymi podniesienie jednostkowych kosztów redukcji emisji,
- Kapitał podąża w kierunku od wysokich do niskich jednostkowych kosztów redukcji emisji przy ustalonym poziomie cen uprawnień do emisji,
- Stąd prawdopodobnie nastąpi częściowe wypełnienie zobowiązań redukcji emisji w lotnictwie tańszymi uprawnieniami do emisji z innych sektorów w obrębie, których jednostkowe koszty redukcji emisji są na poziomie odpowiednio niższym,
- Wpływ Europejskiego Systemu Handlu Emisjami gazów cieplarnianych na profil emisyjny sektora lotniczego jest wpływem złożonym i powinien być analizowany odrębnie w perspektywie krótko i długo terminowej,



Doświadczenia zarządzających instalacjami stacjonarnymi

- Co zrobić aby podtrzymać przetrwanie firmy w sensie ekonomicznym ?
- Obserwuje się rozwój szeregu dostosowań nie środowiskowych takich jak np.:
 - ucieczka firmy z regionu objętego rygorami środowiskowymi,
 - manipulacja granicami systemu emisyjnego tak aby wyprowadzić emisje poza przedsiębiorstwo,
 - zmiana profilu działalności etc.

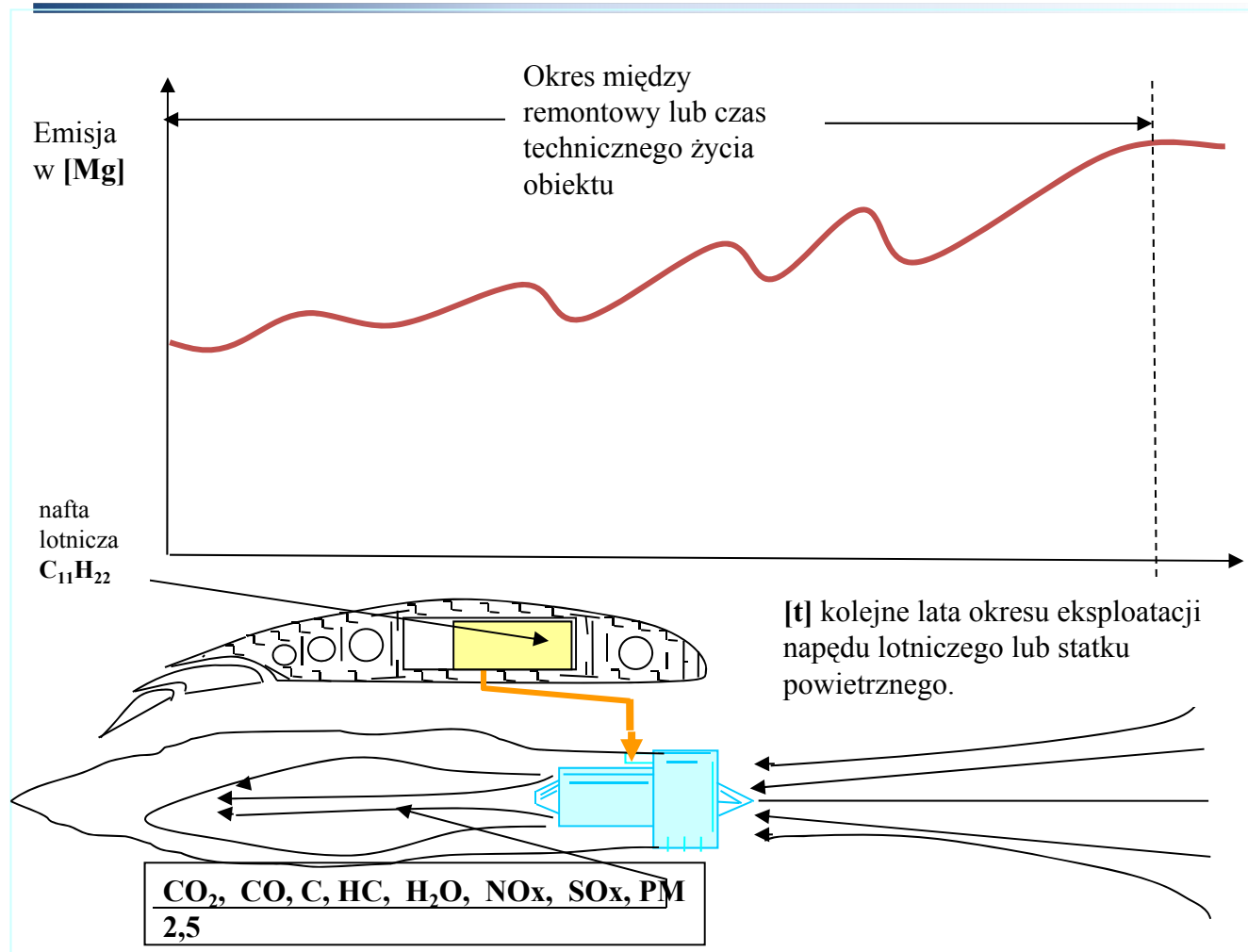


Doświadczenia zarządzających instalacjami stacjonarnymi

- Charakterystyka ‘kapitalizmu dotacyjnego’ wpłynęła na rozpowszechnienie środowiskowych sposobów dostosowania się firm do rosnącego rygoryzmu norm emisyjnych, w praktyce przygotowywano różne przedsięwzięcia inwestycyjne:
 - możliwe do współfinansowania (np. środkami publicznymi), polegające na inwestycjach kapitałowych prowadzących jednocześnie do uzyskania obniżonej emisji i efektu zmniejszenia zużycia paliw, skojarzonego z różnego rodzaju oszczędnościami,
 - polegające na instalacji urządzeń oczyszczających gazy odlotowe procesów energetycznego spalania paliw,
 - przedsięwzięcia zamiany paliw, w tym zastosowanie współspalania biomasy z tradycyjnymi paliwami kopalnymi lub biomasy (biopaliwa) w postaci czystej,
 - różnorodne zastosowania odnawialnych źródeł energii prowadzące do efektu „emisji unikniętej”,
 - projekty przedsięwzięć pochłaniania emisji oraz koncepcje projektowe Carbon Capture and Storage.



Emisyjna linia odniesienia, scenariusz bez-interwencyjny





The diagram illustrates the concept of 'Czas życia projektu' (Project Life Time) and 'Emisja [Mg]' (Emission [Mg]) over time. The graph shows two scenarios: 'Scenariusz bez-intwencyjny' (Non-intervention scenario) and 'Scenariusz redukcji emisji' (Emission reduction scenario). The x-axis represents time in years [t], and the y-axis represents emission in Mg. The area between the two curves is labeled $EZ = \int E(\text{bez})dt - \int E(\text{red})$. The diagram also includes a small inset showing a car and a detailed view of a car engine.



Orientacyjne poziomy gęstość i wartości opałowej dla nafty lotniczej Jet -A

- Gęstość 800 kg/m^3
- Dolna wartość opałowa LHV 45 MJ/kg ,
- Równania oparte na korelacji między LHV paliwa a zawartością węgla opracowano dla paliw kopalnych,
- Określają one współczynniki emisji węgla lub CO_2 w jednostce masy na jednostkę wartości opałowej,
- Pozwala to na wyprowadzenie zależności ogólnych postaci:
- $F(E) = F_{\text{C} \rightarrow \text{CO}_2} * [F_{\text{LHV} \rightarrow \text{C}} * F_{\eta \text{ utl. }}]$ $\text{CO}_2 [\text{kg/GJ}]$,
- $F [\text{kgC/GJ}] = 12/44(\text{CO}_2) + 12/28 (\text{CO}) + 12/16(\text{CH}_4) + 26,4/31,4(\text{NMVOC})$.

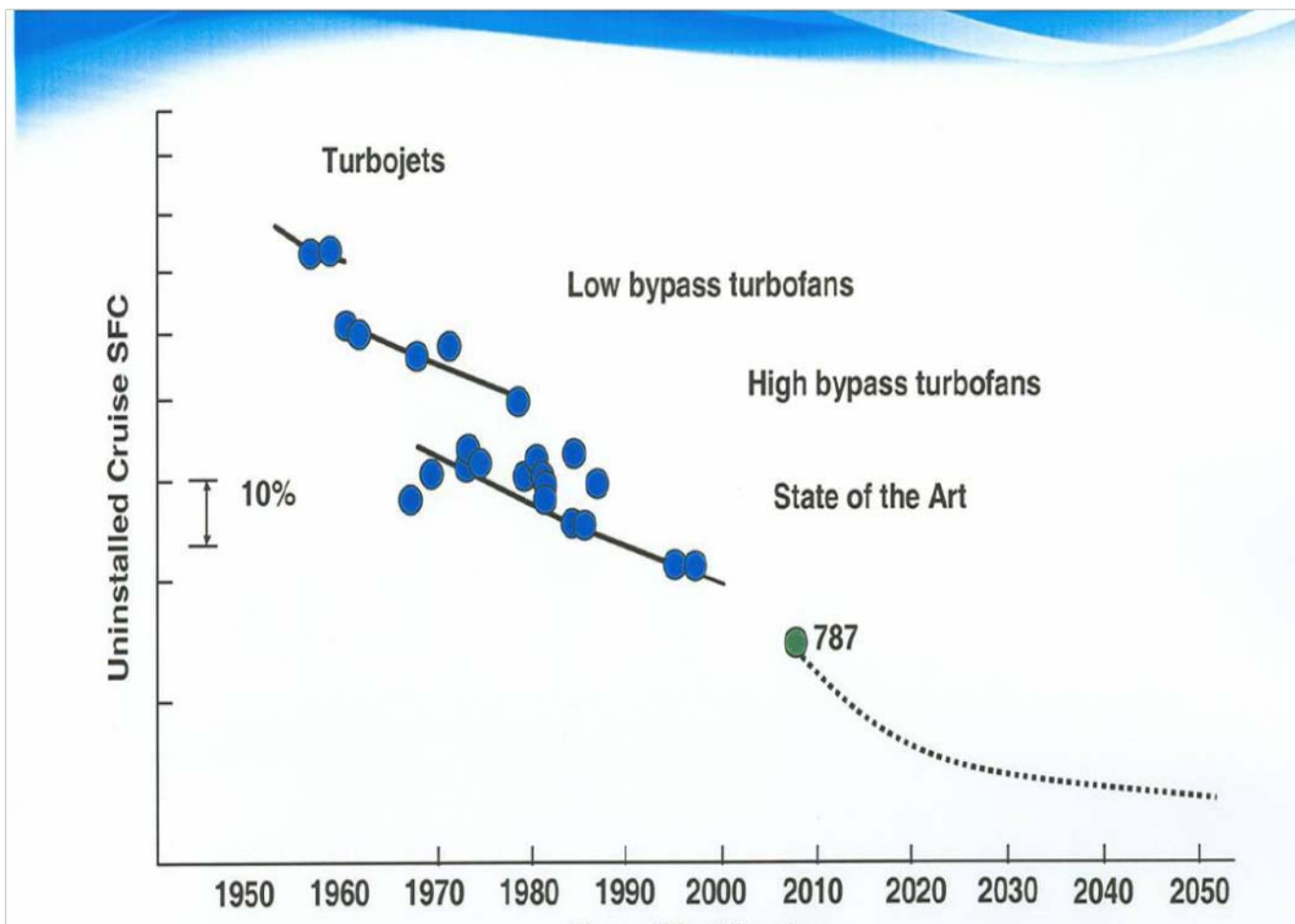
Dla benzyn silnikowych i olejów napędowych dla LHV podanej w $[\text{MJ/kg}]$ zachodzi:

$$EF = (44/12) * [28,03333 - 0,192 * \text{LHV}] * 0,99 [\text{kg CO}_2/\text{GJ}] = 4547,9 \text{ kg } [\text{CO}_2/\text{GJ}] \text{ z błędem około } 2\%$$

Dane pomiarowe ICAO pozwalają na jeszcze dokładniejsze oszacowanie emisji w cyklu LTO.



Uzyskano znaczący postęp w zakresie redukcji zużycia paliwa



Ian A. Waitz, „The Breguet Range Equation”, Unified Engineering, Lecture Onlines, #2, 2003.



Istotny postęp w dziedzinie napędów lotniczych od końca lat 60 - tych

Zredukowano zużycie paliwa lotniczych napędów turbinowych o 70% !
Dalszy postęp będzie wymagał znacznych nakładów finansowych na badania i rozwój gdyż proste rezerwy redukcyjne należy uznać za wyczerpane.

Typ	MTOW [t]	S [m ²]	b[m]	Ciąg [t] (n.p.m.)	Zużycie paliwa [l/h]	V podróżna [km/h]	Zasięg [km/h]	# PAX
B-747-400	395	530	65	4*25,7	12300	900	12200	421
A310	139	219	44	2*22,7	5500	860	6400	200

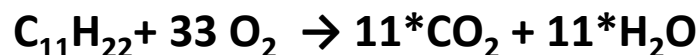


Paliwo do turbinowych napędów odrzutowych

- Nafta lotnicza zgodna ze specyfikacją Jet A, na podstawie analizy 167 zidentyfikowanych związków chemicznych, może zostać opisana uśrednionym wzorem zastępczym postaci $C_{10,84}H_{19,65}$ natomiast po uwzględnieniu tak zwanych związków niezidentyfikowanych zawierających około 10 atomów węgla w cząsteczce - zastępcza cząsteczka węglowodoru zgodna z uśrednionym skaldem paliwa Jet A została opisana wzorem $C_{11}H_{22}$ odpowiadając zatem szeregowi homologicznemu alkenów związków o wzorze ogólnym C_nH_{2n} . W znacznym uproszczeniu, przypadku zupełnego utlenienia węglowodorów w tym szeregu homologicznym zachodzi następująca reakcja:



Oraz gdy $n=11$,





Chemizm paliwa a emisja

- Przyjmuje się, ustalony skład powietrza co implikuje, iż na jedną cząsteczkę tlenu O_2 (ok. 21%) przypada 3,76 cząsteczek azotu N_2 (ok. 78%), to w konsekwencji do komory spalania silnika odrzutowego dostaje się odpowiednia ilość azotu zaburzając proces spalania:
- $C_{11}H_{22} + 33 O_2 + 48 N_2 \rightarrow (1/a) 11*CO_2 + (1/b)11*H_2O + (1/c)48 N_2 + x*H_nC_m + y*Csadza + z*CO + v*SO_x + k*NO_x$
- W konsekwencji rozcieńczenia tlenu azotem, niekompletnego spalania, obecności niewielkich ilości siarki w paliwie lotniczym, w produktach spalania pojawiają się niewielkie ilości, niedopalonych węglowodorów (H_nC_m), sadzy (C), tlenku węgla (CO), tlenku i dwutlenku siarki ($SO_x \rightarrow SO$ oraz SO_2) i tlenków azotu ($NO_x \rightarrow NO$ oraz NO_2).
- Dane o emisjach z podźwękowych silników odrzutowych w cyklu startu i lądowania znajdują się między innymi na stronie:
[\[http://www.caa.co.uk/docs/702/6AL024_01102004.pdf\]](http://www.caa.co.uk/docs/702/6AL024_01102004.pdf).
- Emisje z sektora lotniczego są objęte inwentaryzacją a w wielu przypadkach za emisję substancji do powietrza atmosferycznego pobierane są odpowiednie opłaty przez uprawnione instytucje.



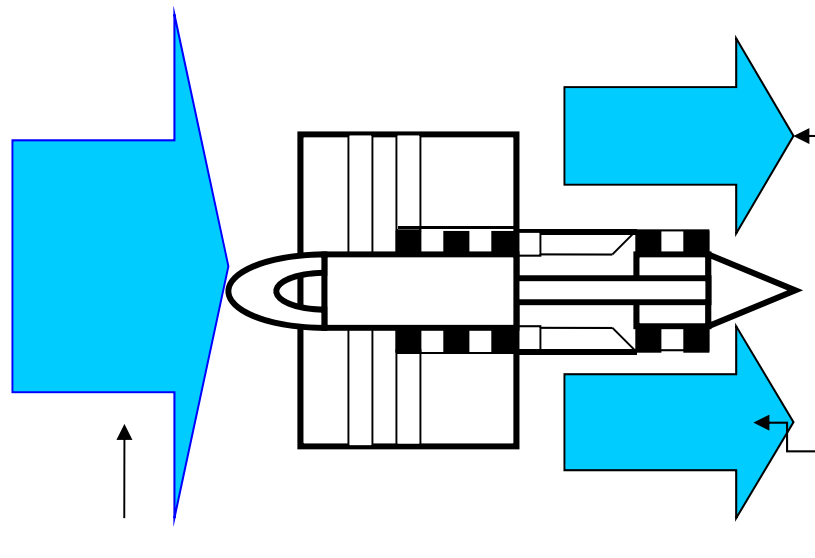
Ograniczenia środowiskowe lotniczej działalności gospodarczej a EU-ETS i jego wpływ na emisję do atmosfery.

- Istota ograniczenia emisji metodą systemu handlu emisjami,
- Koncepcja linii bazowej jako bezinterwencyjnego emisyjnego scenariusza odniesienia,
- Prognoza emisji w przypadku urzeczywistnienia scenariusza zakładającego interwencję polegającą na przeciwdziałaniu emisjom gazów (zapobieganie emisjom, reduktowanie wielkości zachodzących emisji, pochłanianie wyemitowanych zanieczyszczeń),
- Oszacowanie spodziewanej redukcji emisji w okresie „technicznego funkcjonowania” projektu jest często konieczne ponieważ instytucje finansowe żądają danych na temat poziomu kosztów jednostkowych redukcji emisji,
- Prognozowana wielkość redukcji emisji jest różnicą emisji ustalonych w wyniku dwóch wyżej wymienionych prognoz i jest obciążona sumą błędów obu tych oszacowań,
- Emisja Zredukowana jest funkcją stanu czyli jej poziom zależy wyłącznie od różnicy stanu końcowego i stanu początkowego
- $\text{Emisja Zredukowana} = \text{Emisja Scenariusza Interwencyjnego} - \text{Emisja Scenariusza Bazowego} (\pm)\Delta E$



Objaśnienie procesów spalania w lotniczych napędach turbinowych.

W najbardziej rozpowszechnionych obecnie silnikach dwuprzepływowych o dużym stopniu tzw. dwuprzepływowości jedynie 15% powietrza przechodzi przez część środkową silnika w której realizowane są procesy spalania.

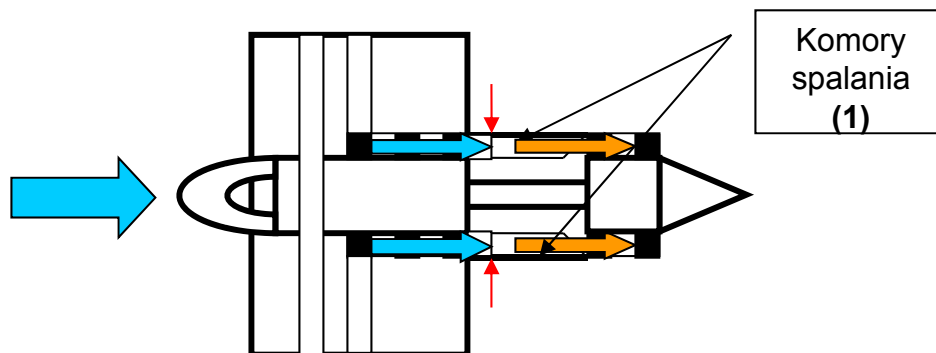


**100% strumień powietrza
zimnego**

**85% powietrze zimne przyspieszone
turbo wentylatorem**



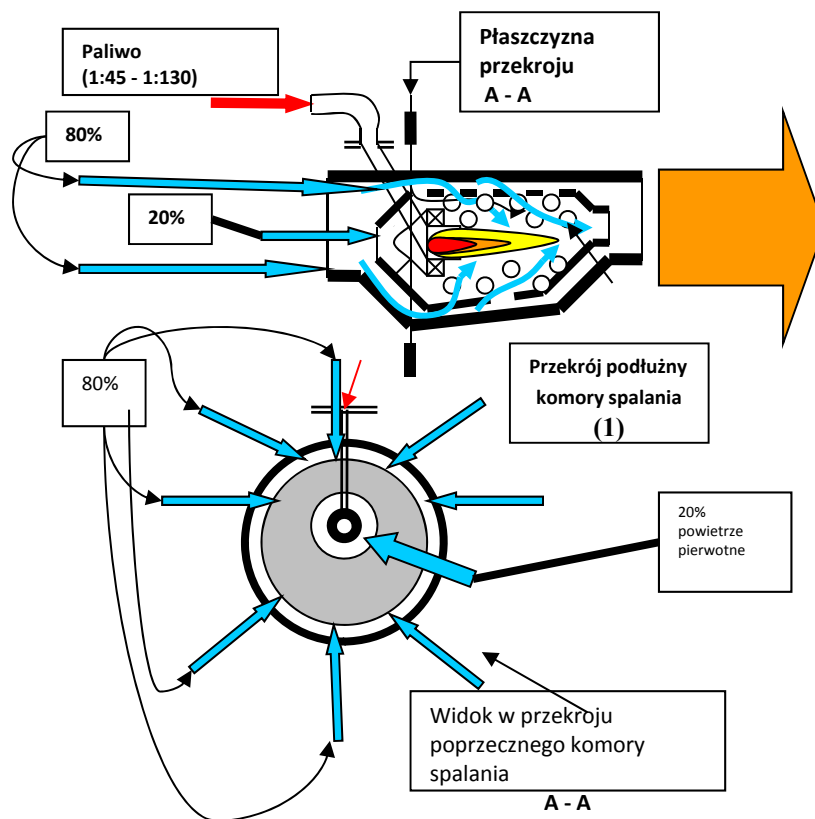
Objaśnienie cd.



Tylko 20% powietrza przechodzącego przez część środkową silnika turbowentylatorowego trafia do jego komór (komory spalania). Stosunek paliwa do powietrza w silniku odrzutowym zmienia się w zakresie od 1:45 do 1:130, (do pełnego spalania paliwa wystarczy stosunek 1:15). Powietrze pierwotne w ilości 20% wpływa centralnym otworem do komory spalania, 80% powietrza wpływa do przestrzeni pierścieniowej.



Objaśnienie cd.



Następnie dalsze 20% powietrza z przestrzeni pierścieniowej otworami bocznymi wpływa do komory spalania w strefie wtórnej spalania. Zatem około 40% powietrza skierowanego do komór spalania bierze udział w procesach utleniania paliwa. Pozostałe 60% powietrza odbiera nadmiar ciepła w procesie przeponowej wymiany ciepłą - od ścianek komory spalania około 40% a następnie służy do rozcieńczenia około 20% ciągle zbyt gorących gazów spalinowych, które mając temperaturę rzędu 1800-2000 C uszkodziłyby łopatki turbiny.



Zalety ekologiczne silnika odrzutowego

- Reasumując silnik odrzutowy ma wyjątkowe zalety z punktu widzenia ochrony środowiska, ponieważ wymogi techniczno-technologiczne zmuszają konstruktorów do stosowania ogromnego nadmiaru powietrza ponad ilość wymagana do kompletnego utlenienia składników zawartych w paliwie, a dodatkowo surowe kryteria ekonomiczne narzucają wymóg minimalizacji zużycia paliwa i kompletnego spalania.
- Spaliny u wylotu z dyszy napędu lotniczego są już wymieszane z powietrzem chłodzącym a następnie ulegają dalszemu rozcieńczeniu powietrzem chłodnego strumienia przyspieszonego pracą turbowentylatora.

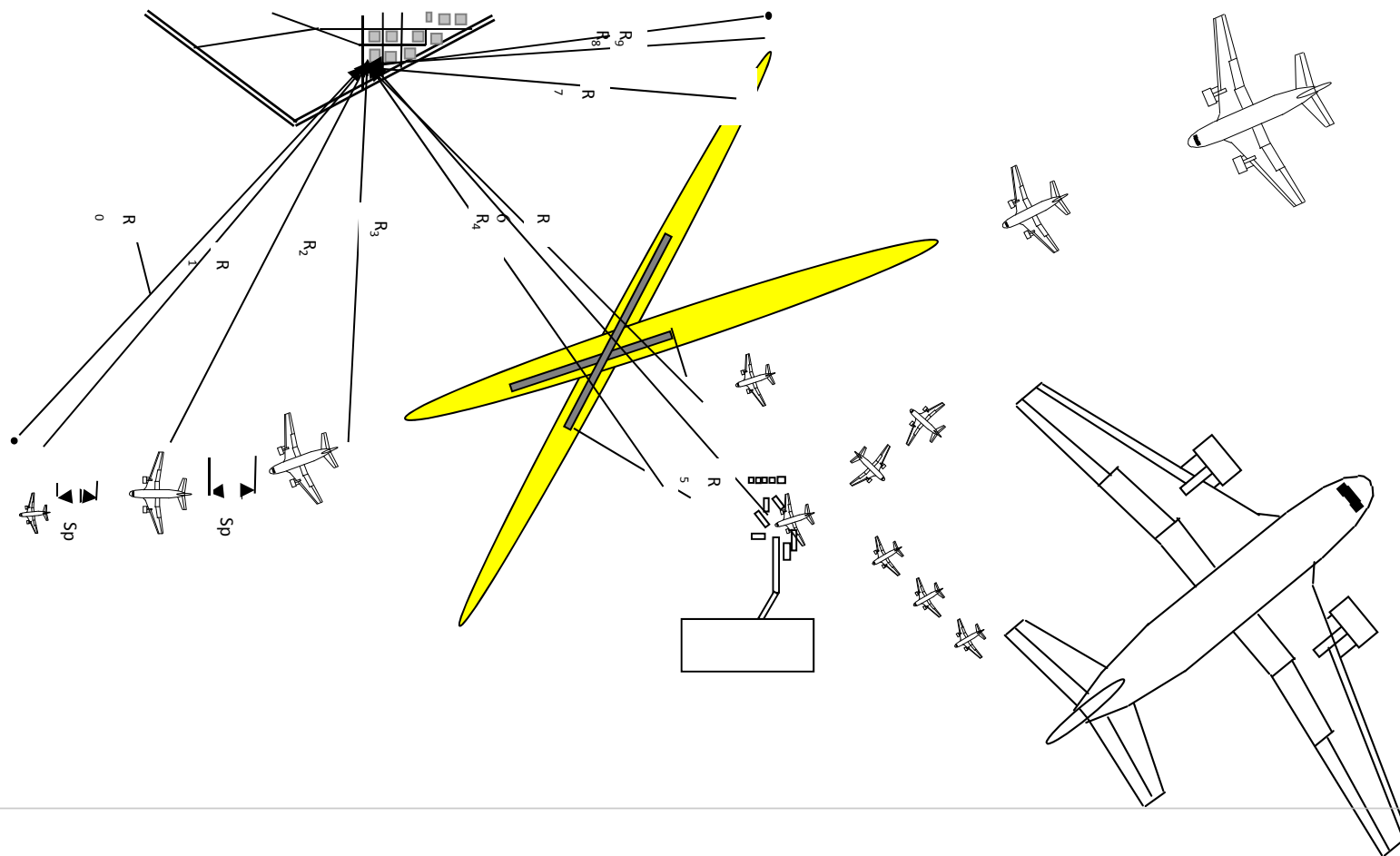


Sprzeczności technologiczne

- Technologia redukcji emisji dwutlenku węgla przy obecnym stanie techniki narzuca wymagania sprzeczne z tymi jakich spełnienia wymaga redukcja emisji tlenków azotu lub redukcja emisji hałasu,
- Jesteśmy świadkami równoległego zaostrzania norm, których jednoczesne spełnienie prowadzi do sprzeczności technologicznych powoduje to między innymi podniesienie jednostkowych kosztów redukcji emisji,
- W miarę możliwości należy stosować regułę umiaru technologicznego, i planować wielokomponentową redukcję emisji realizowaną różnymi środkami,
- Prawo malejącej efektywności nakładów czyni dalszy wysiłek w zakresie redukcji emisji przedsięwzięciem kosztownym,
- Doświadczenia sektora instalacji stacjonarnych są istotne tam gdzie uwarunkowania prawne oraz charakter zjawisk emisyjnych wykazują wzajemne podobieństwo,
- W razie trudności proceduralnych z EU-ETS najlepiej kontaktować się z Krajowym Ośrodkiem Bilansowania i Zarządzania Emisjami (uprzednio Krajowym Administratorem Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji) ul. Chmielna 132/134, 00-805 Warszawa, [<http://www.kobize.pl/>].



Normy certyfikacyjne emisji hałasu potęgają trudności z jednoczesną minimalizacją wielu parametrów środowiskowych.





Dziękuję za uwagę.



Kontakt:

Mail: treklewski@ulc.gov.pl lub lbe@ulc.gov.pl; Tel: 22 520 72 56