



OMNIS

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

Optymalizacja w inżynierii lotniczej i kosmicznej

Wykład 14

Optymalizacja wielodyscyplinarna i wielokryterialna

1130-LK000-MSP-1037



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Warszawska



OMNIS

Zagadnienia

- Wstęp
- Optymalizacja Multidyscyplinarna MDO
 - Wstęp
 - Idea
 - Architektury
 - Przykłady
 - Podsumowanie
- Optymalizacja Wielokryterialna





OMNIS

MDO - Wstęp

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

Multidisciplinary Design Optimisation - MDO

MDO – oznacza uwzględnienie przynajmniej dwóch dyscyplin (lub więcej) podczas procesu optymalizacji.

MDO jest sztuką znajdowania kompromisu



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



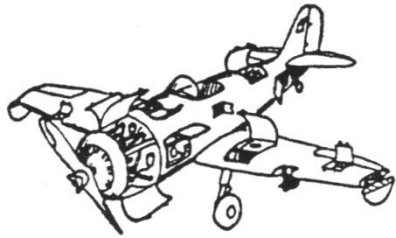
Politechnika Warszawska



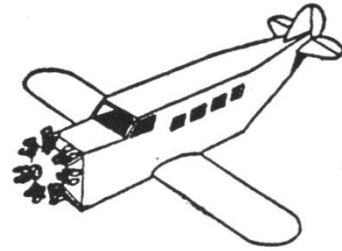
OMNIS

Wprowadzenie do MDO

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



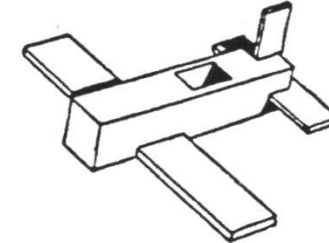
SERVICE GROUP



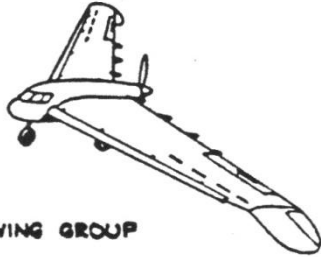
FUSELAGE GROUP



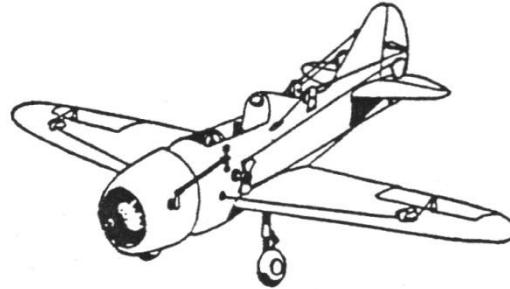
ARMAMENT GROUP



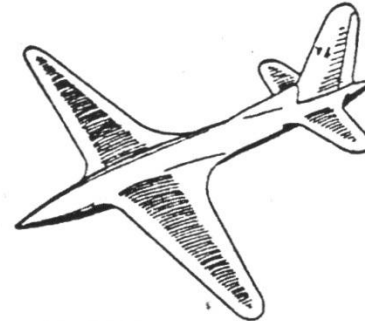
LOFT GROUP



WING GROUP



CONTROLS GROUP



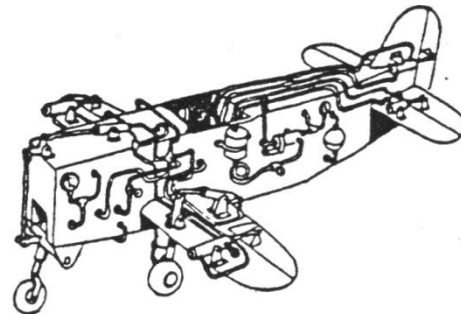
AERODYNAMICS GROUP



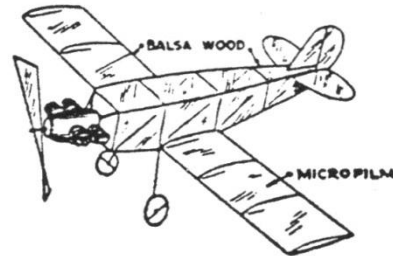
PRODUCTION ENGINEERING GROUP



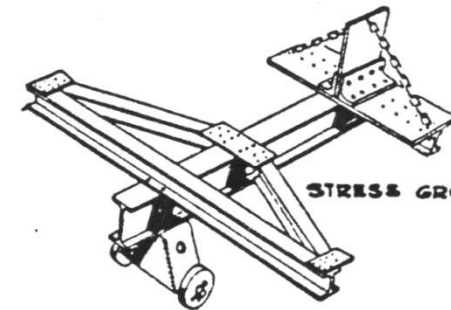
EMPENNAGE GROUP



HYDRAULICS GROUP



WEIGHT GROUP



STRESS GROUP



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego

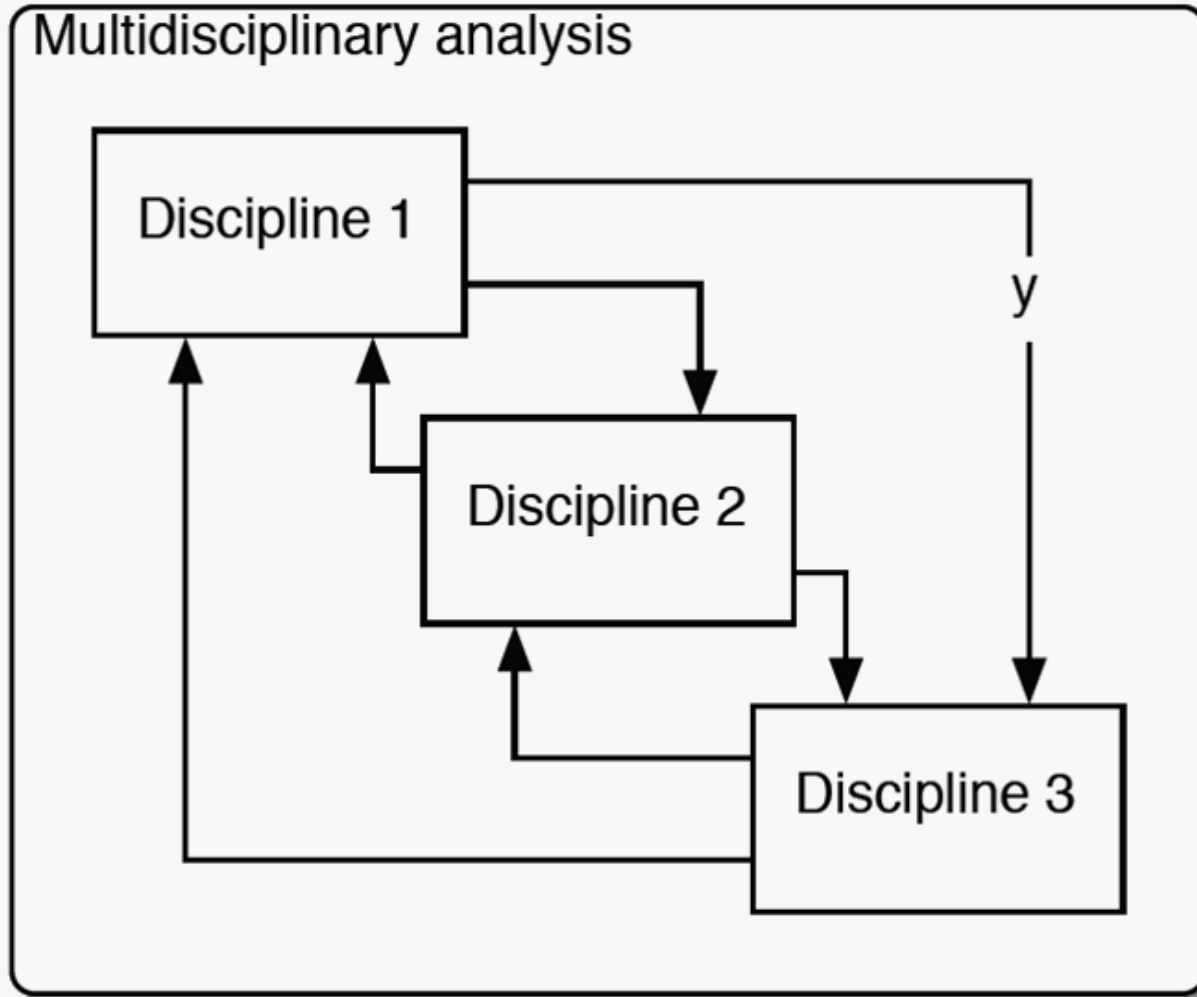


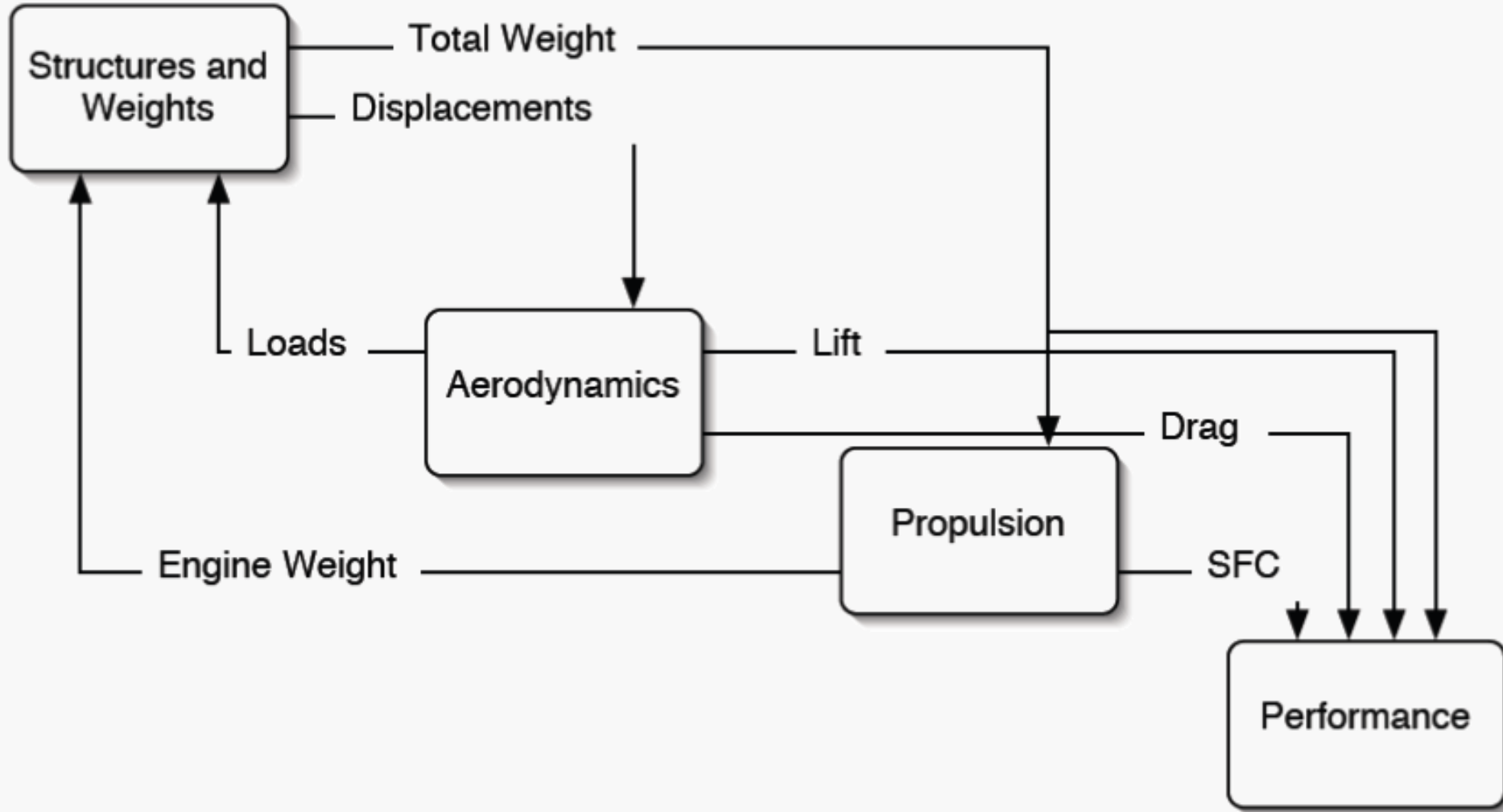
Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Warszawska







Główne problemy w MDO:

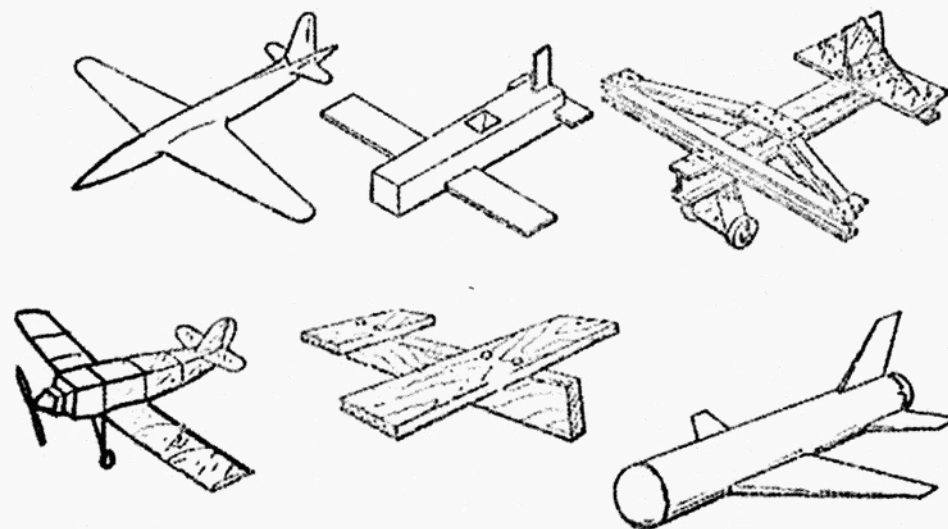
- Koszt obliczeń
 - wymagania dla dużego i złożonego modelu
 - liczba iteracji potrzebnych do analizy połączonych systemów/dyscyplin
- Wyzwania organizacyjne
 - Wysoki poziom komplikacji kodu numerycznego
 - Problemy z wielkościami odniesienia dla różnych dyscyplin
 - MDO rzadko może być całkowicie automatyczny !
 - MDO nie jest alternatywą dla klasycznego projektowania inżynierskiego, natomiast jest lub ma być jego uzupełnieniem





Główne rodzaje Optymalizacji:

- **Monoliti**
- **Metoda Suboptymalizacji**
- **Metoda Optymalizacji Jednoczesnej**
- **Metoda Sekwencyjna**
- **Dekompozycja**





OMNIS

Metody MDO - Metoda Suboptymalizacji (zagnieżdżona)

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską

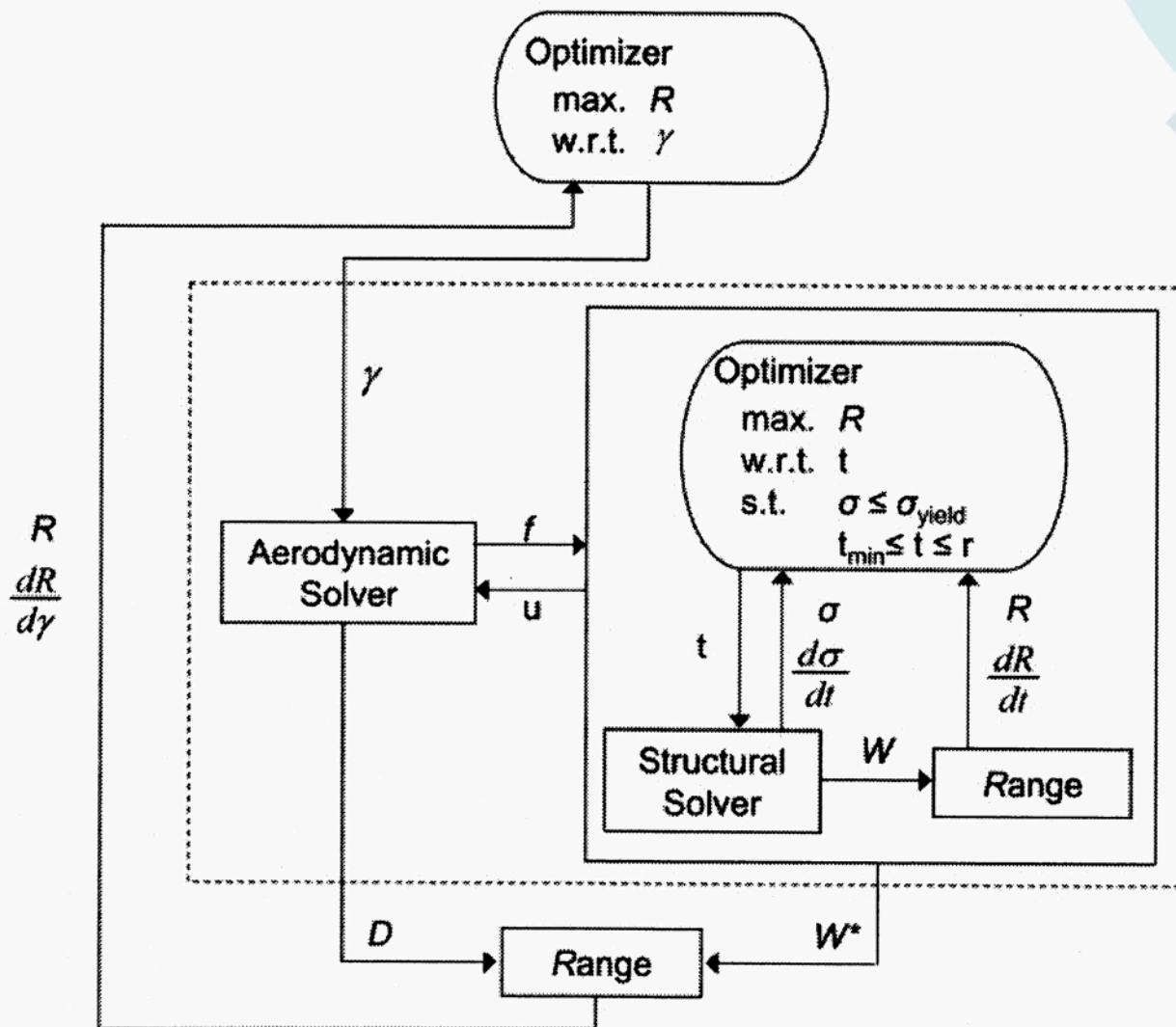


Politechnika Warszawska



Cechy:

Suboptymalizacja dla stałej wartości optymalizacji nadrzędnej

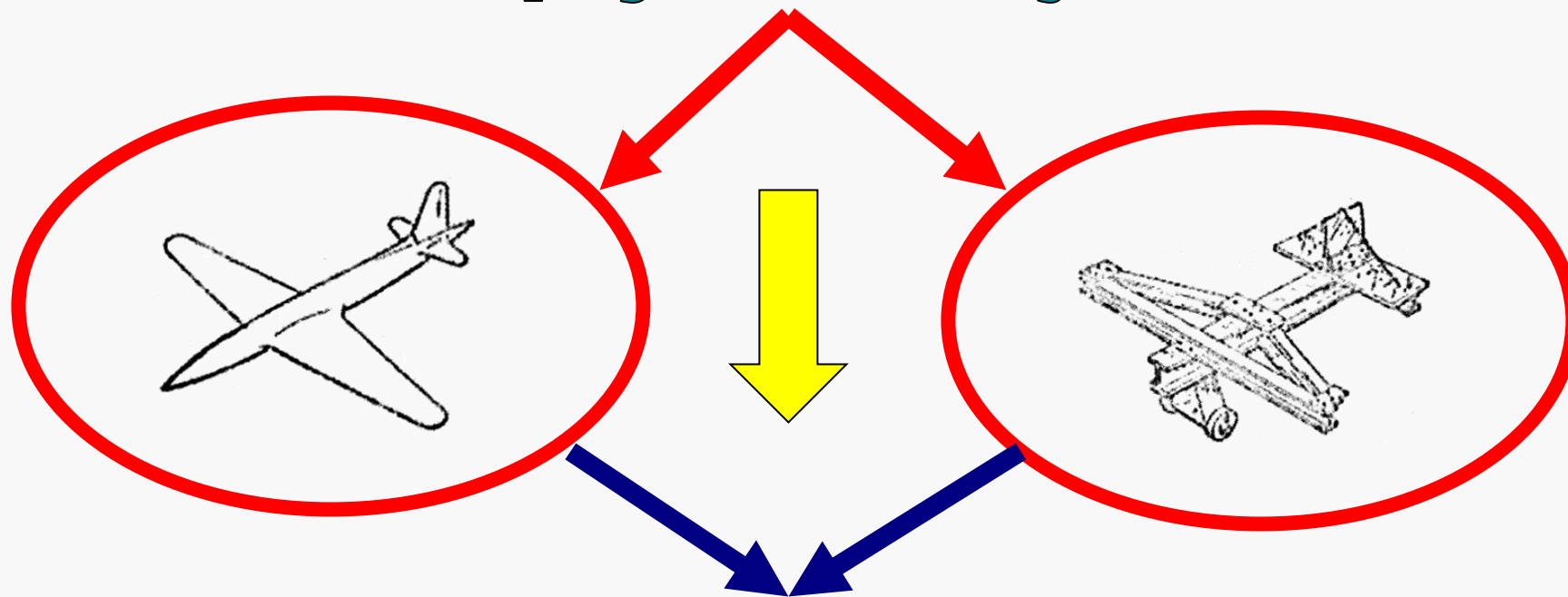




OMNIS

Metody MDO - Metoda Optymalizacji Jednoczesnej

Optymalizacja



Wynik n-tej iteracji





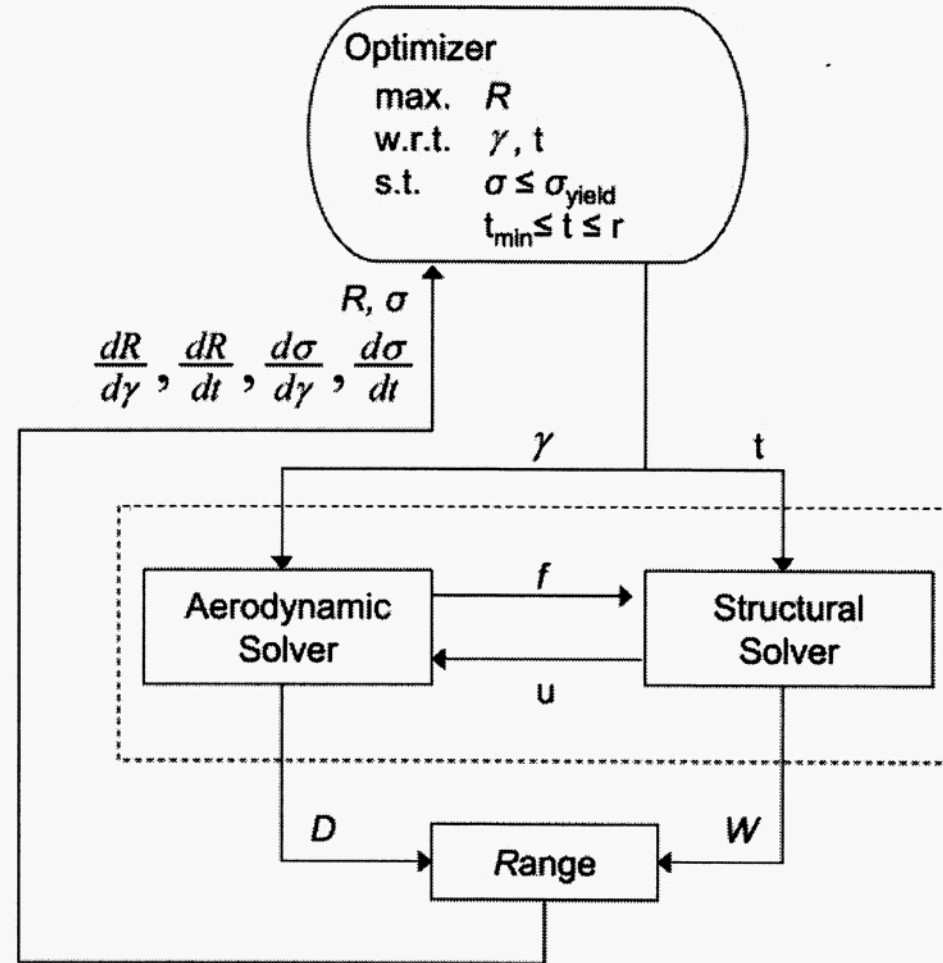
Distributed Optimization – MDO problem jest rozwiązywany jako zbiór problemów lub subproblemów.

Wiele różnych rodzajów architektur:

1. Concurrent Subspace Optimization (CSSO) → rysunek
2. Collaborative Optimization (CO)
3. Bilevel Integrated System Synthesis (BLISS)
4. Analytical Target Cascading (ATC)
5.

Uwagi:

Brak wymiany informacji pomiędzy modułami optymalizacji może prowadzić do problemów ze zbieżnością





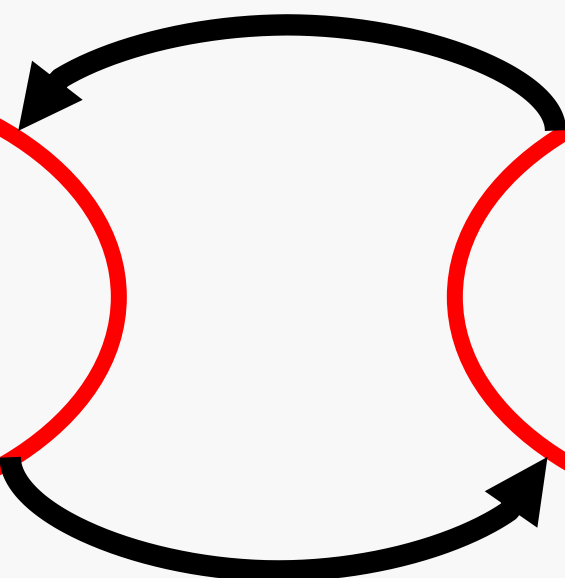
OMNIS Metody Multidyscyplinarne - Optymalizacja Sekwencyjna

Cechy: ciągła wymiana informacji pomiędzy modułami, optymalizacja możliwa dla dwóch modułów

Optymalizacja

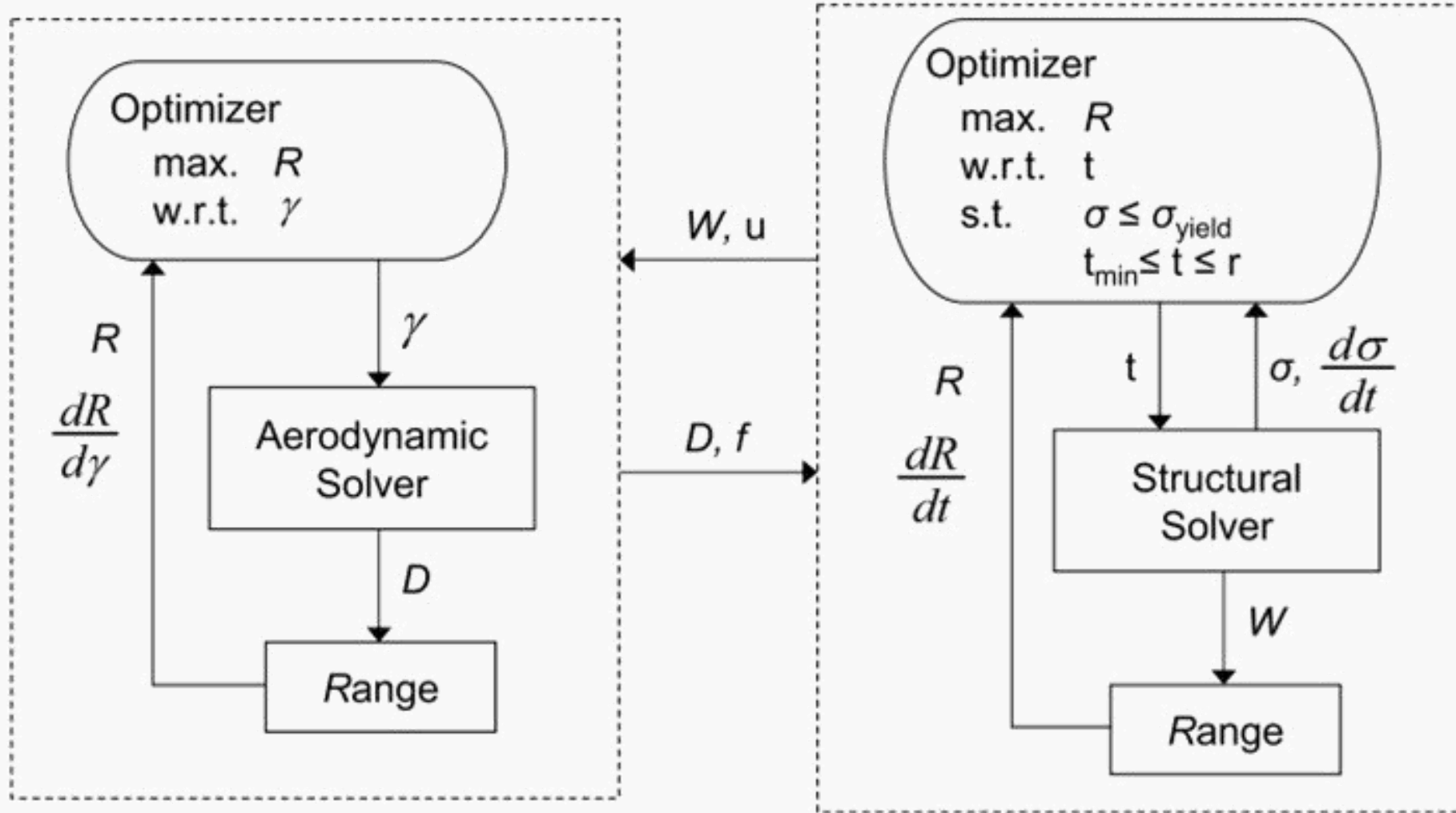


Optymalizacja



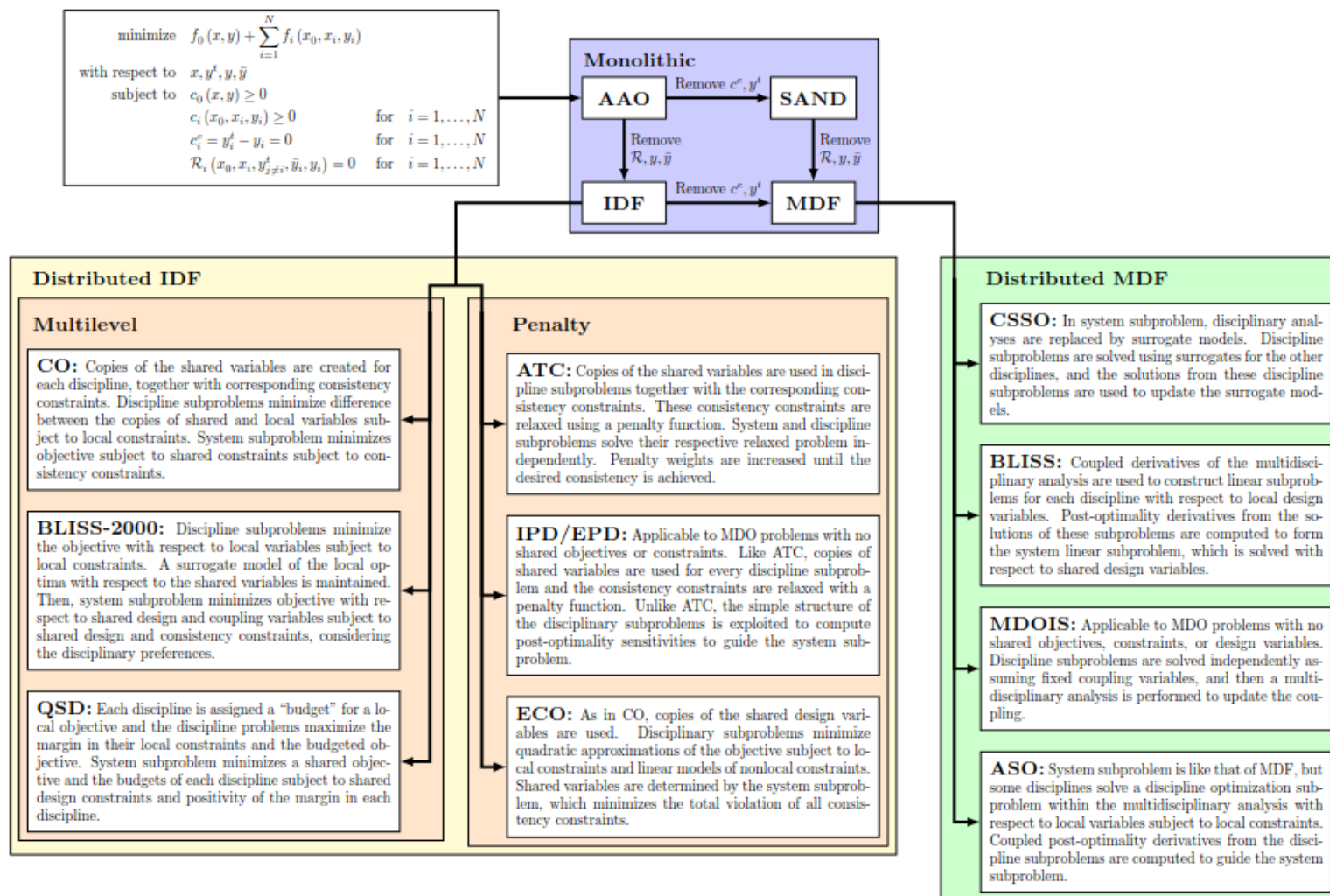
Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.







$$\begin{aligned} & \text{minimize} && f_0(x, y) + \sum_{i=1}^N f_i(x_0, x_i, y_i) \\ & \text{with respect to} && x, y^l, y, \bar{y} \\ & \text{subject to} && c_0(x, y) \geq 0 \\ & && c_i(x_0, x_i, y_i) \geq 0 \quad \text{for } i = 1, \dots, N \\ & && c_i^e = y_i^l - y_i = 0 \quad \text{for } i = 1, \dots, N \\ & && \mathcal{R}_i(x_0, x_i, y_{j \neq i}^l, \bar{y}_i, y_i) = 0 \quad \text{for } i = 1, \dots, N \end{aligned}$$



[Martins and Lambe, “MDO: A Survey of Architectures”, AIAA, 2013]



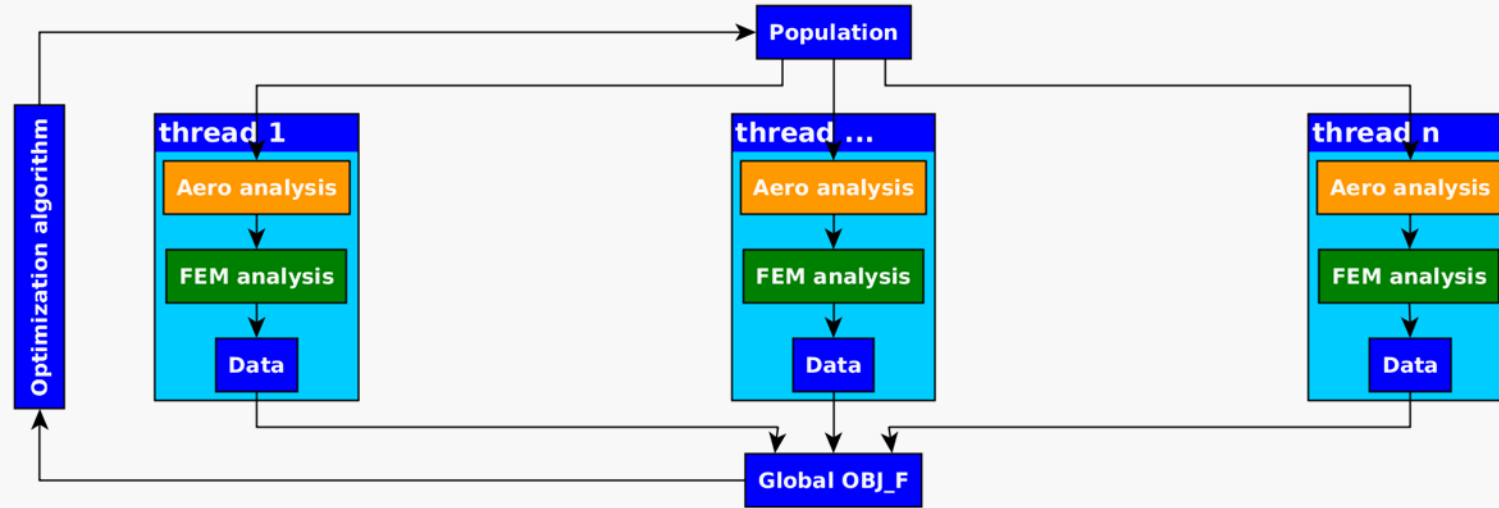


OMNIS

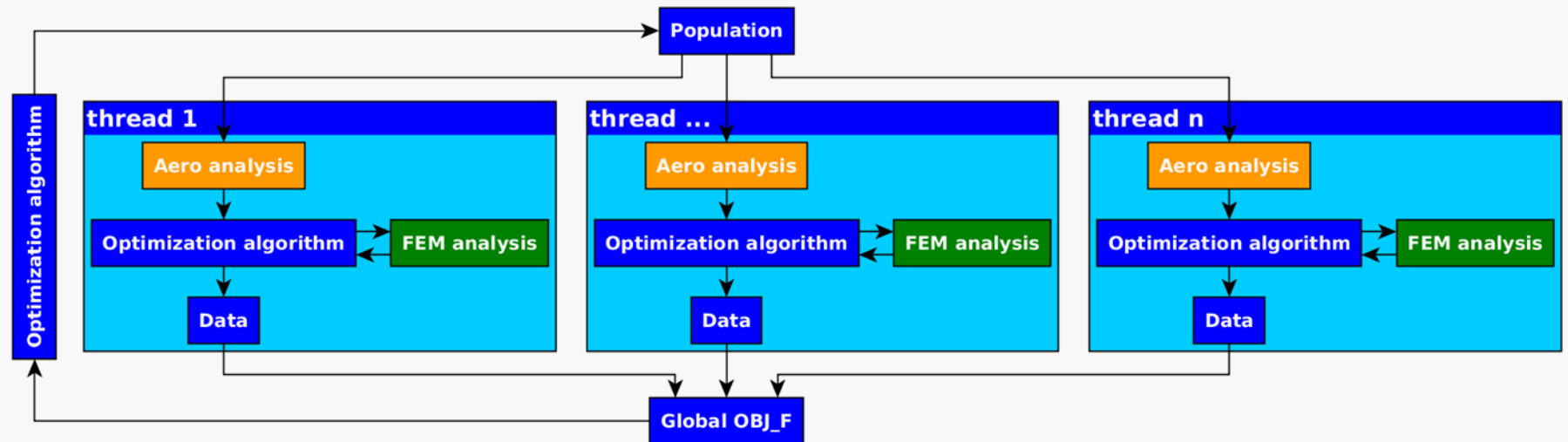
Przykład zastosowania różnych architektur

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

I algorytm



II algorytm

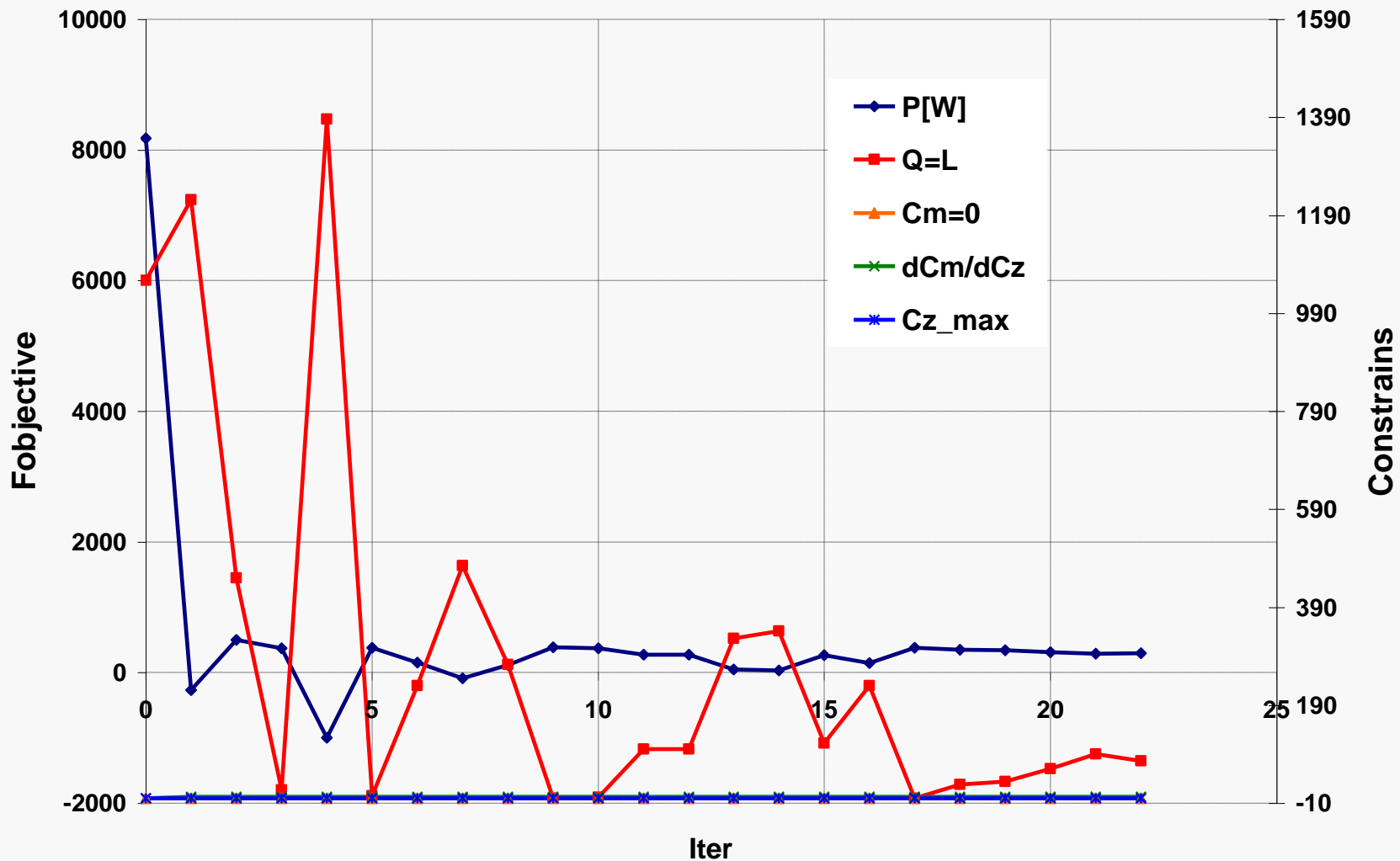




OMNIS

Rozwiązanie - I algorytm

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego

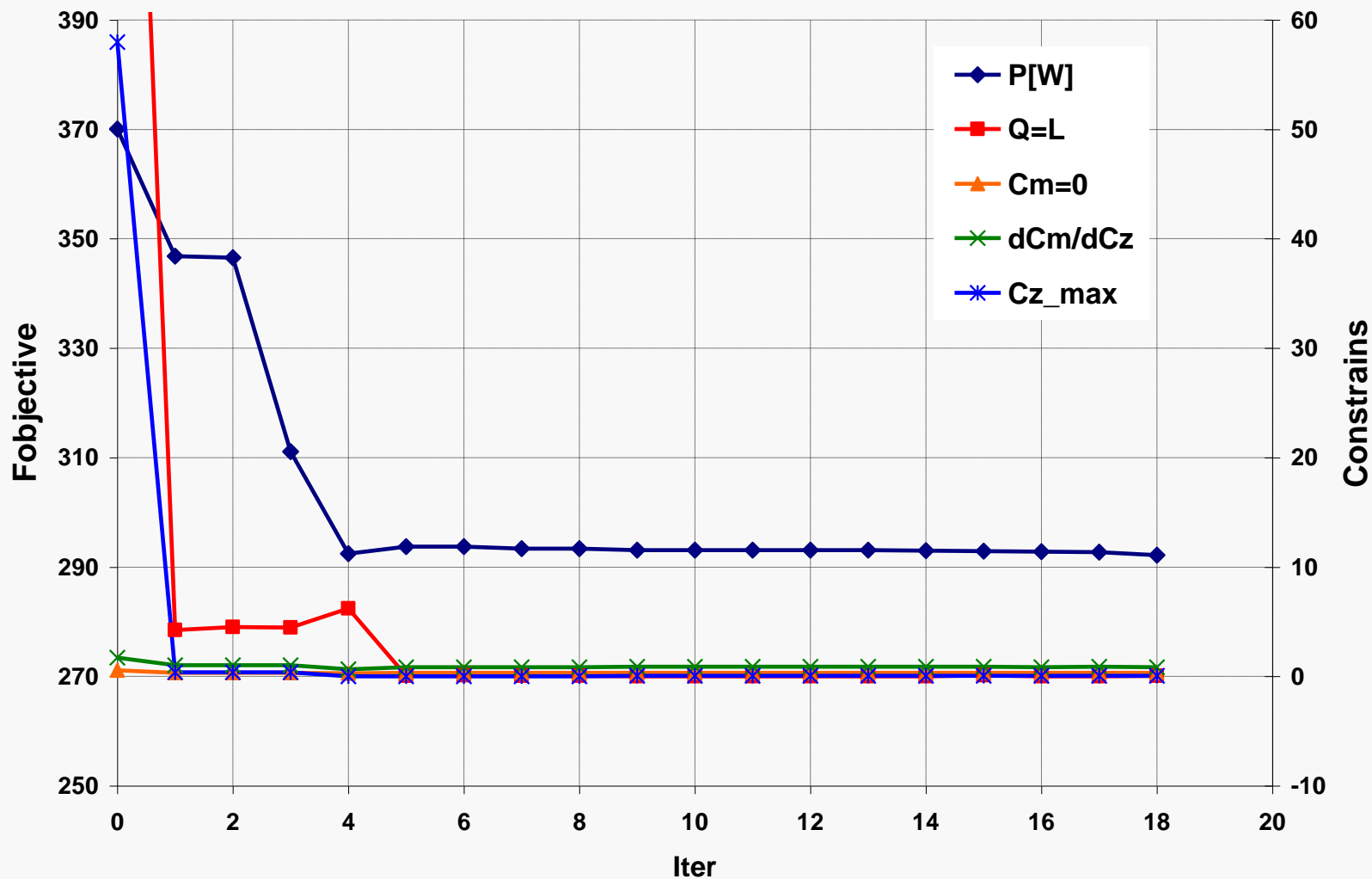


Rzeczpospolita Polska

Dofinansowane przez Unię Europejską



Politechnika Warszawska





OMNIS

Główny problem MDO – przepływ danych

- wspólny język
- większość aplikacji wymaga interakcji:
 - geometria (CAD systems, AMB, etc.)
 - generacja siatek (preprocesory solverów CFD: VSARO, MGAERO, PANUKL)
 - analiza FEM (CalculiX)
 - analiza stateczności (SDSA)

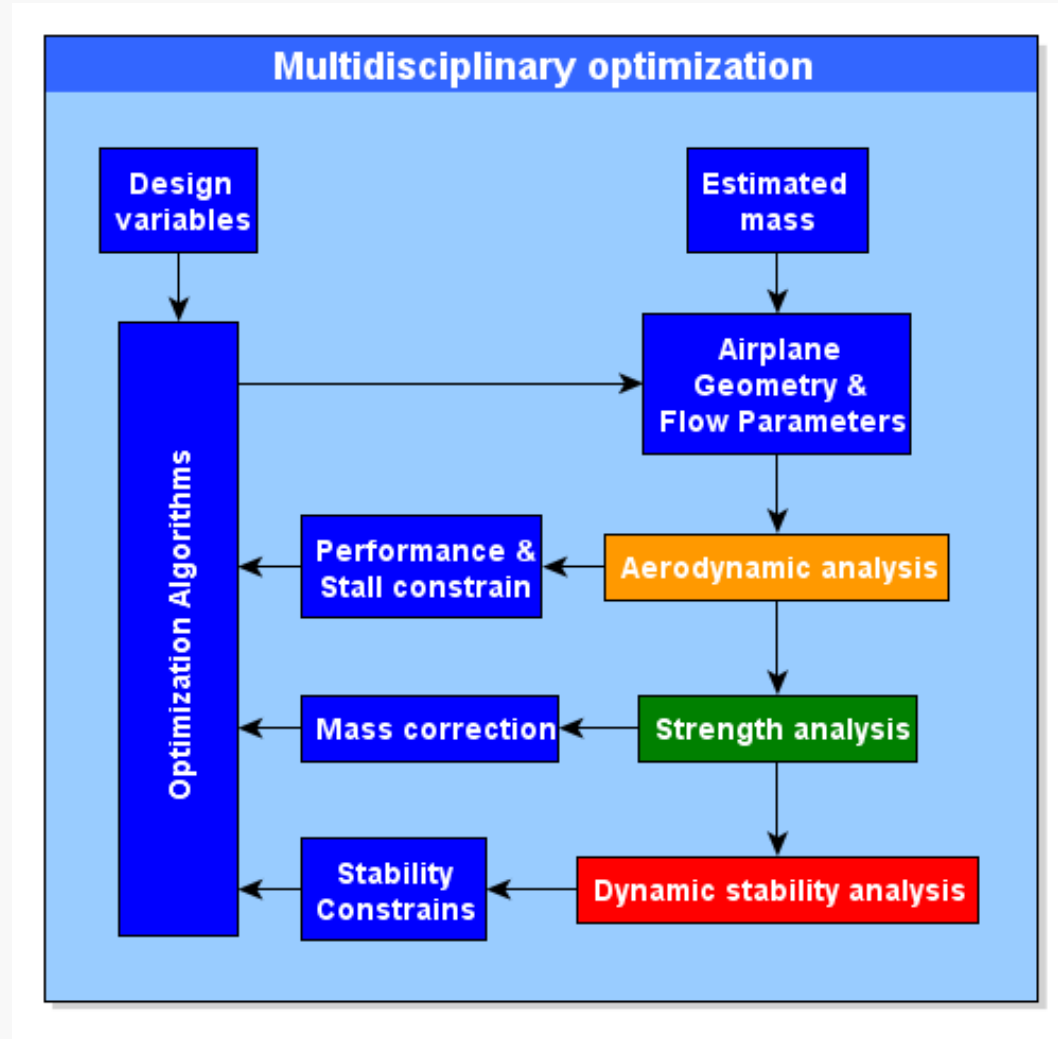




OMNIS

Schemat MDO

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

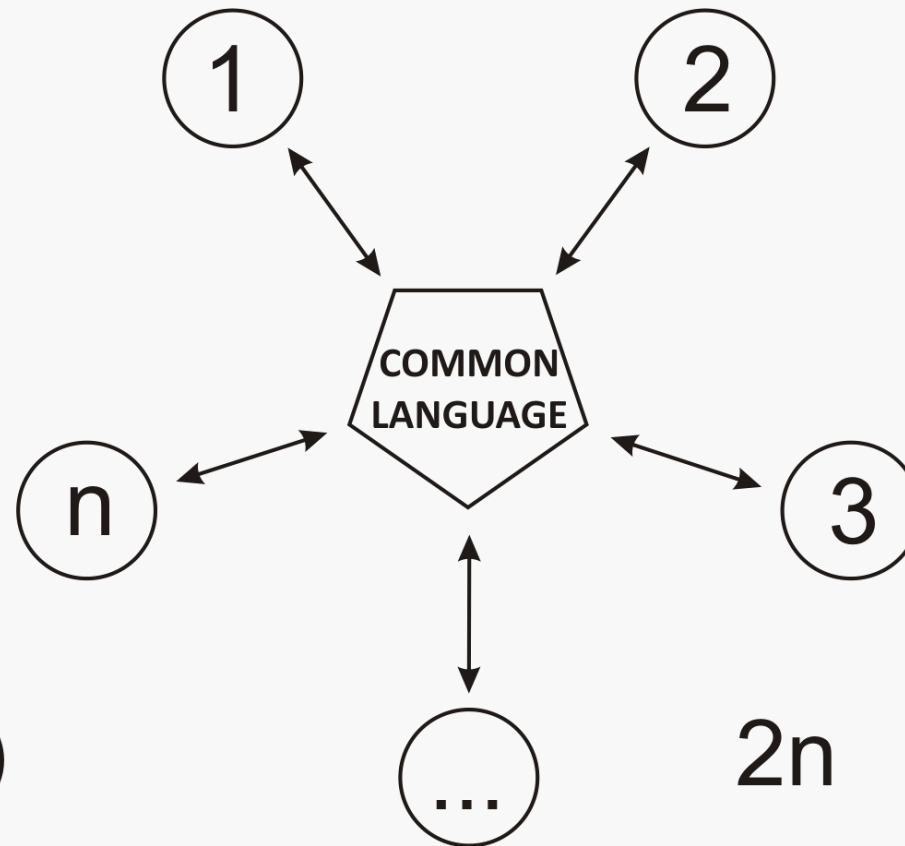
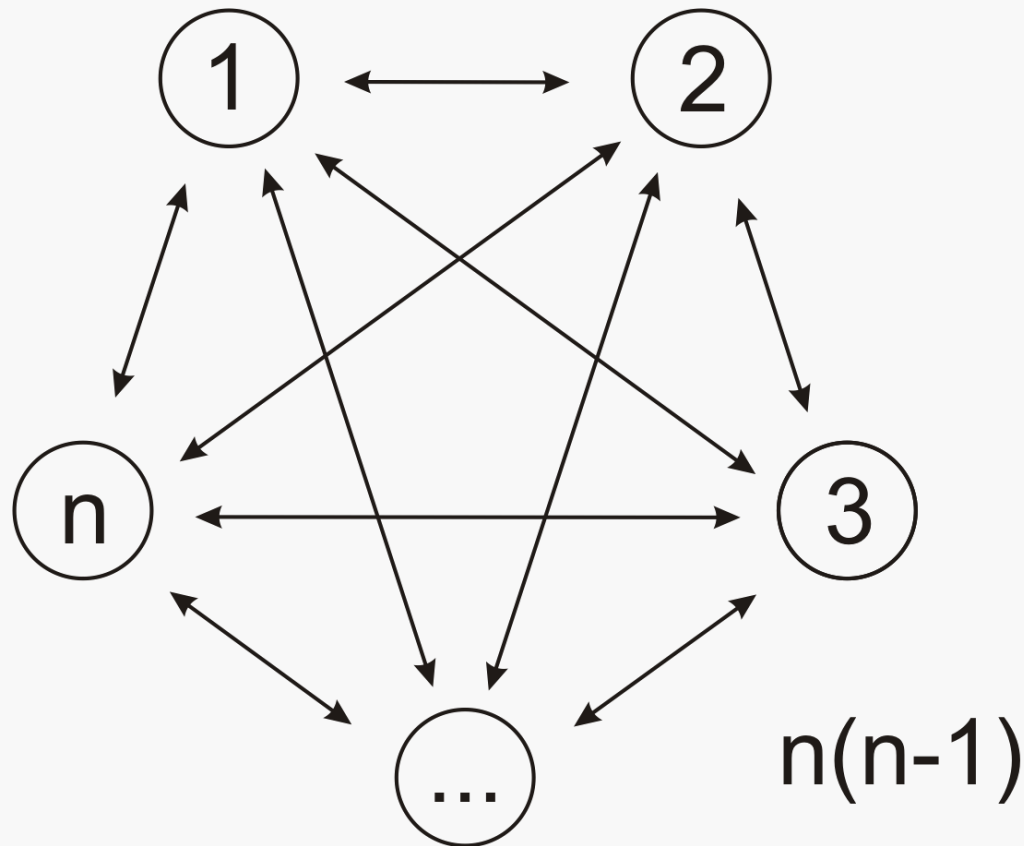




OMNIS

Schematy wymiany danych

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.





OMNIS

Standardy danych

- OpenVSP – narzędzie parametryzacji danych geometrycznych. OpenVSP pozwala użytkownikowi na stworzenie modelu 3D samolotu, zdefiniowanego przez typowe parametry. Model ten może być przetworzony do formatów nadających się do analizy inżynierskiej. (NASA)
- ADML: Aircraft Design Markup Language for Multidisciplinary Aircraft Design and Analysis
- CPACS - a Common Language for Aircraft Design (DLR) jest definicją danych dla systemu transportu lotniczego. CPACS umożliwia inżynierom wymianę informacji między narzędziami.





OMNIS

MS2 (PANUKL format) vs. CPACS

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

Płat - geometria

MS2	CPACS
MeshVersion	<version>
Header	<header>
reference area	<area>
MAC	<length>
wing span	<length>
X-0.25MAC	<x>
Z-0.25MAC	<z>
scale	<scaling>
output file (*.inp)	<name>
wings with chord paneling	
wings without chord paneling	
symmetry flag (int)	<symmetry>
wing - sections	<wings>
name	<name>
type	constant (sections)
master/slave/independent	
surface - all/bottom/top	
twist point	
chord type paneling flag (int)	
nr of chord panels	<chordwise>
tip rib flag (int)	<shape>
fus logeron-wing intersection	
cut/glue wing to fus flag (bool)	
wing span paneling type (int)	
section	<segment>
airfoil coordinates file name	<name>
chord	<scaling>
rib nr	<sections uID>
x	<x> (translation)
y	<y> (translation)
z	<z> (translation)
xrot (deg)	<x> (rotation)
yrot (deg)	<y> (rotation)
zrot (deg)	<z> (rotation)



Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego

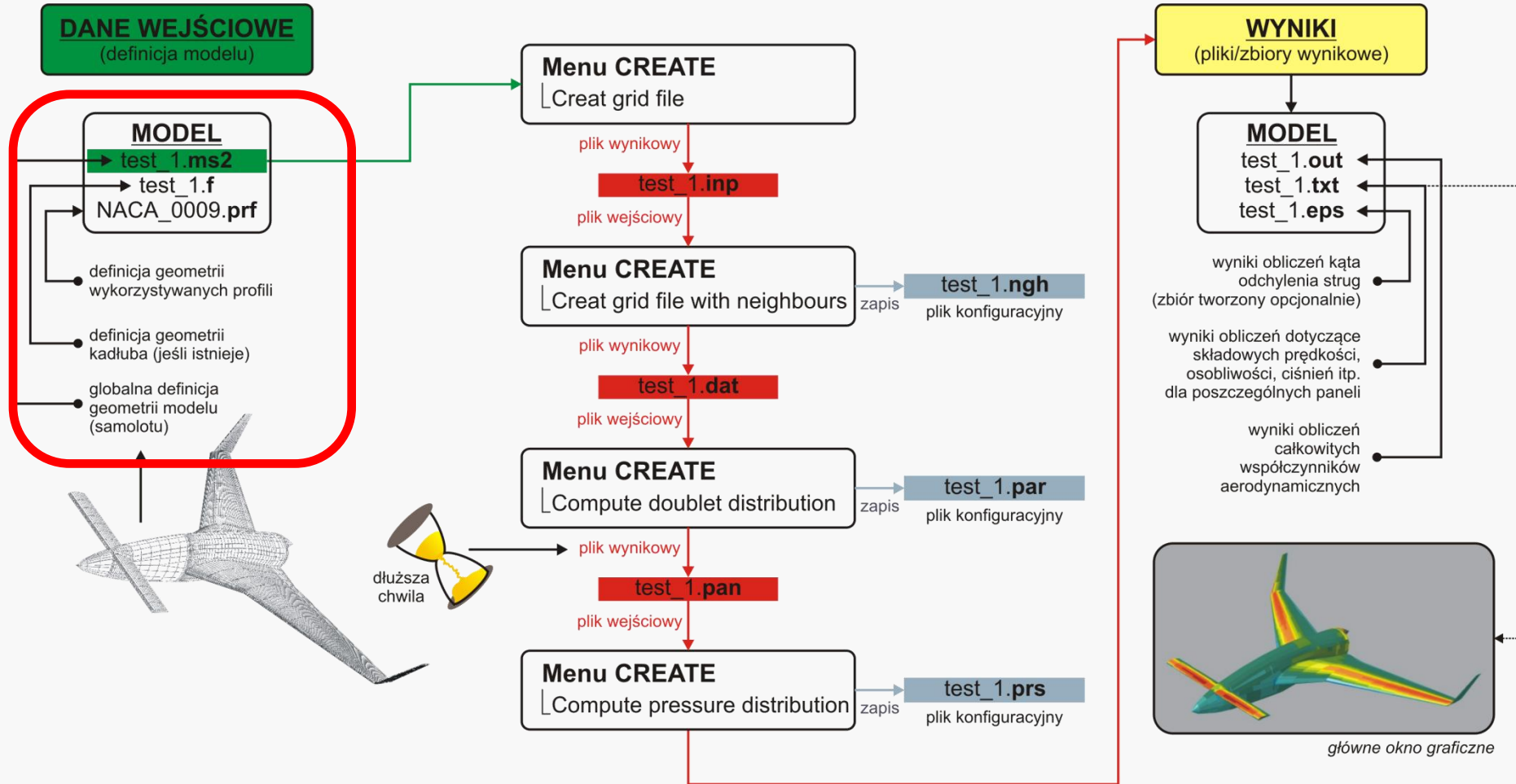


Rzeczpospolita Polska

Dofinansowane przez Unię Europejską



Politechnika Warszawska



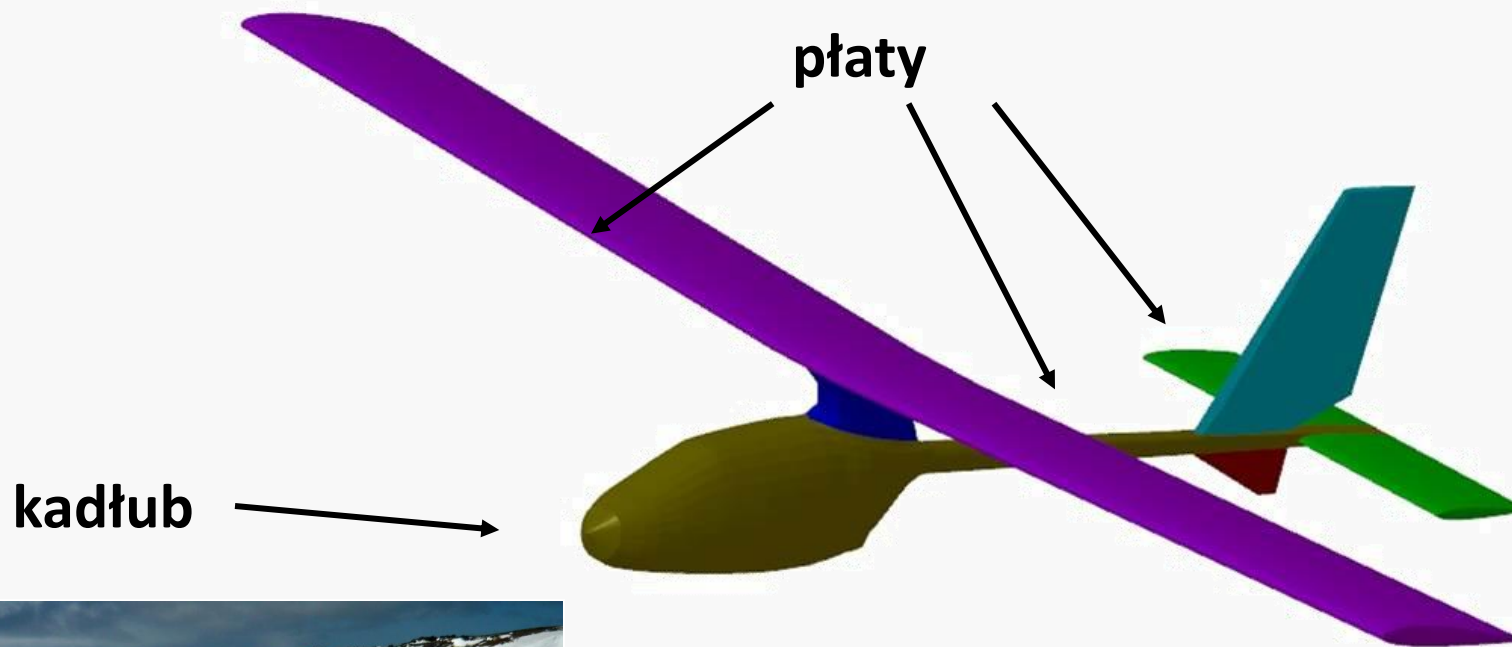
<https://www.meil.pw.edu.pl/add/ADD/Teaching/Software/PANUKL>





OMNIS

Główne typy obiektów



**PW Zoom – loty na Antarktydzie
(MONICA project)**

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



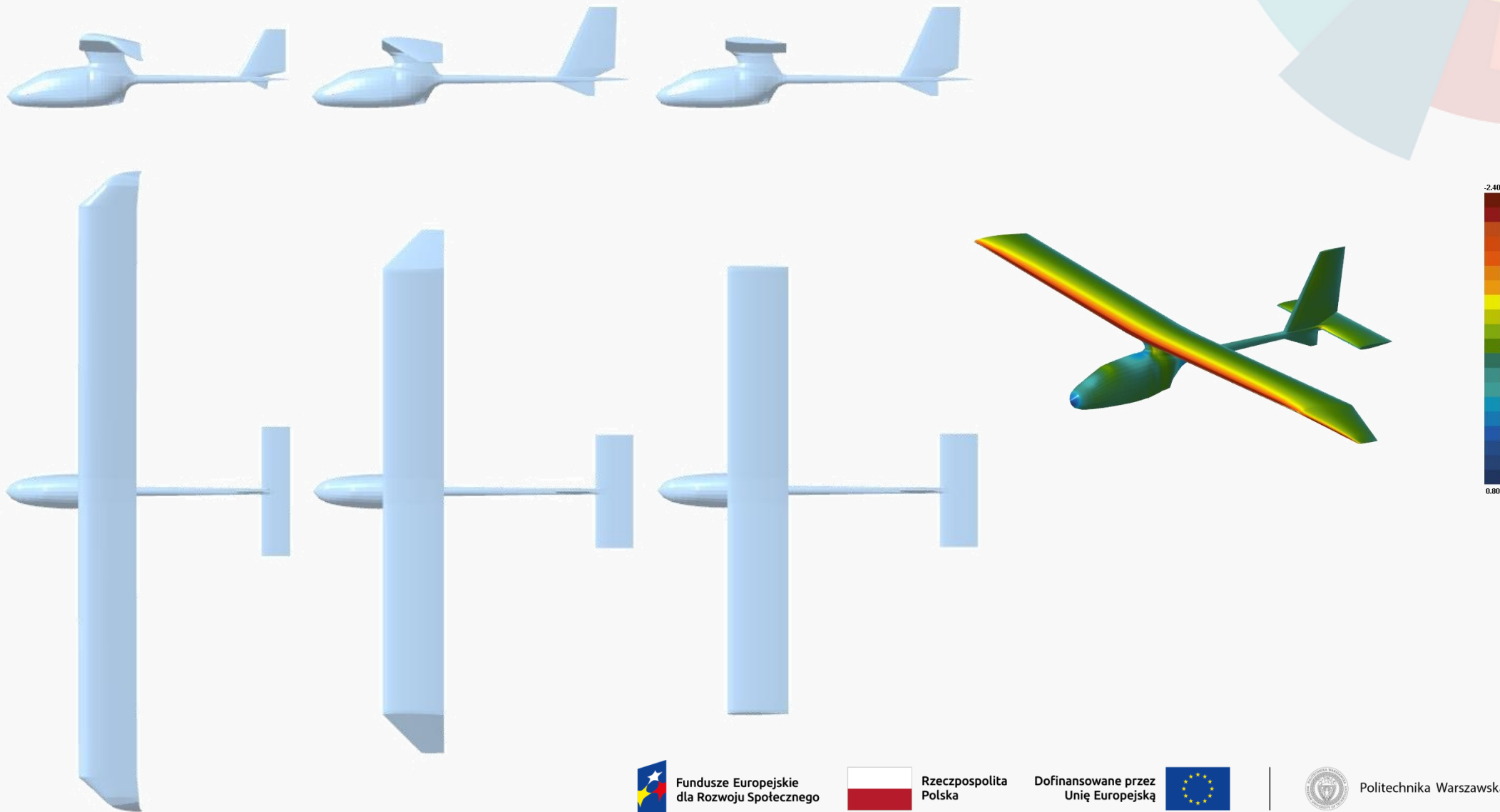
Politechnika Warszawska



OMNIS

PW Zoom - ewolucja

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

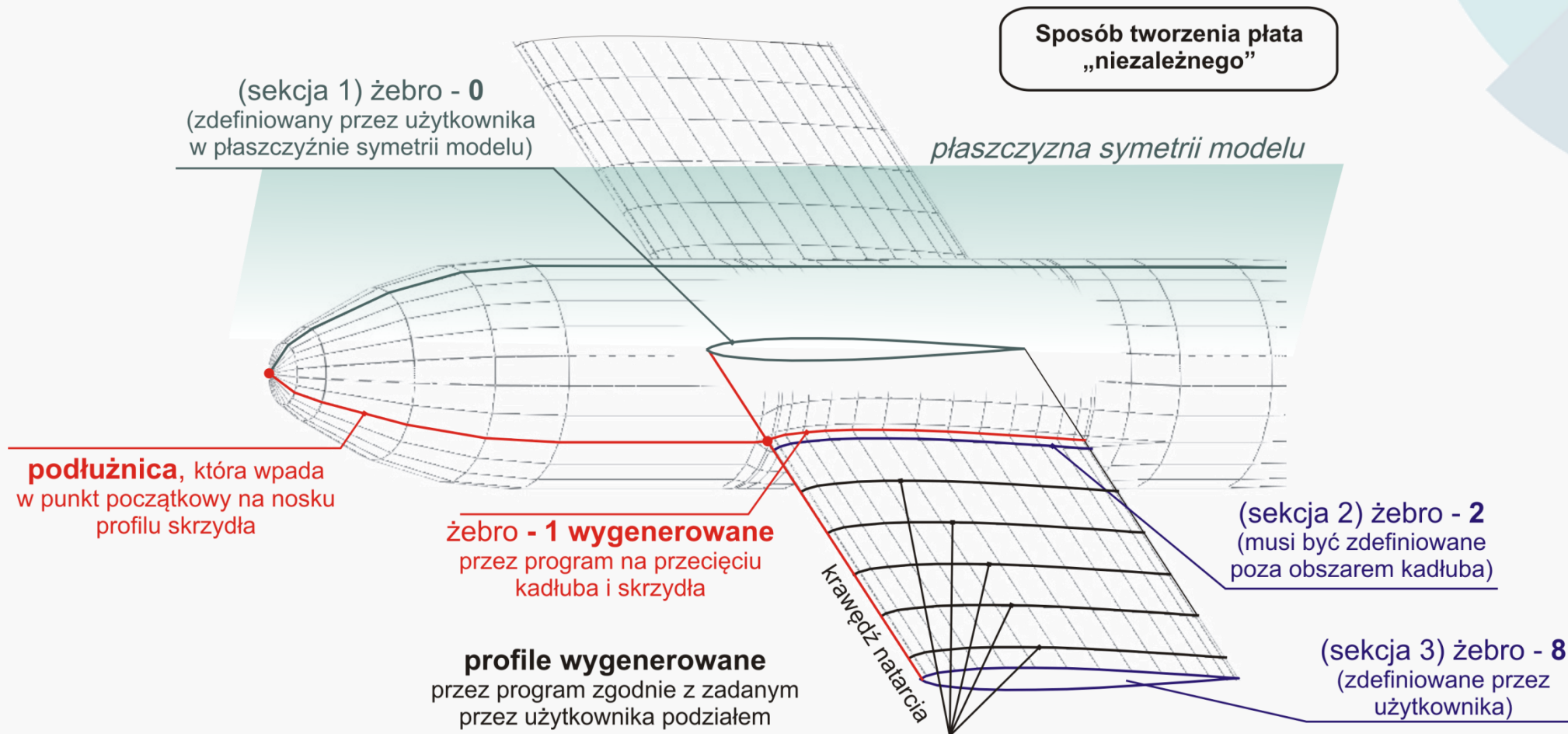




OMNIS

Płaty definiowane przez sekcje – podobnie jak w CPACS

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Płaty są definiowane w oddzielnych plikach - akceptowane jest pięć różnych formatów



Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita Polska

Dofinansowane przez Unię Europejską

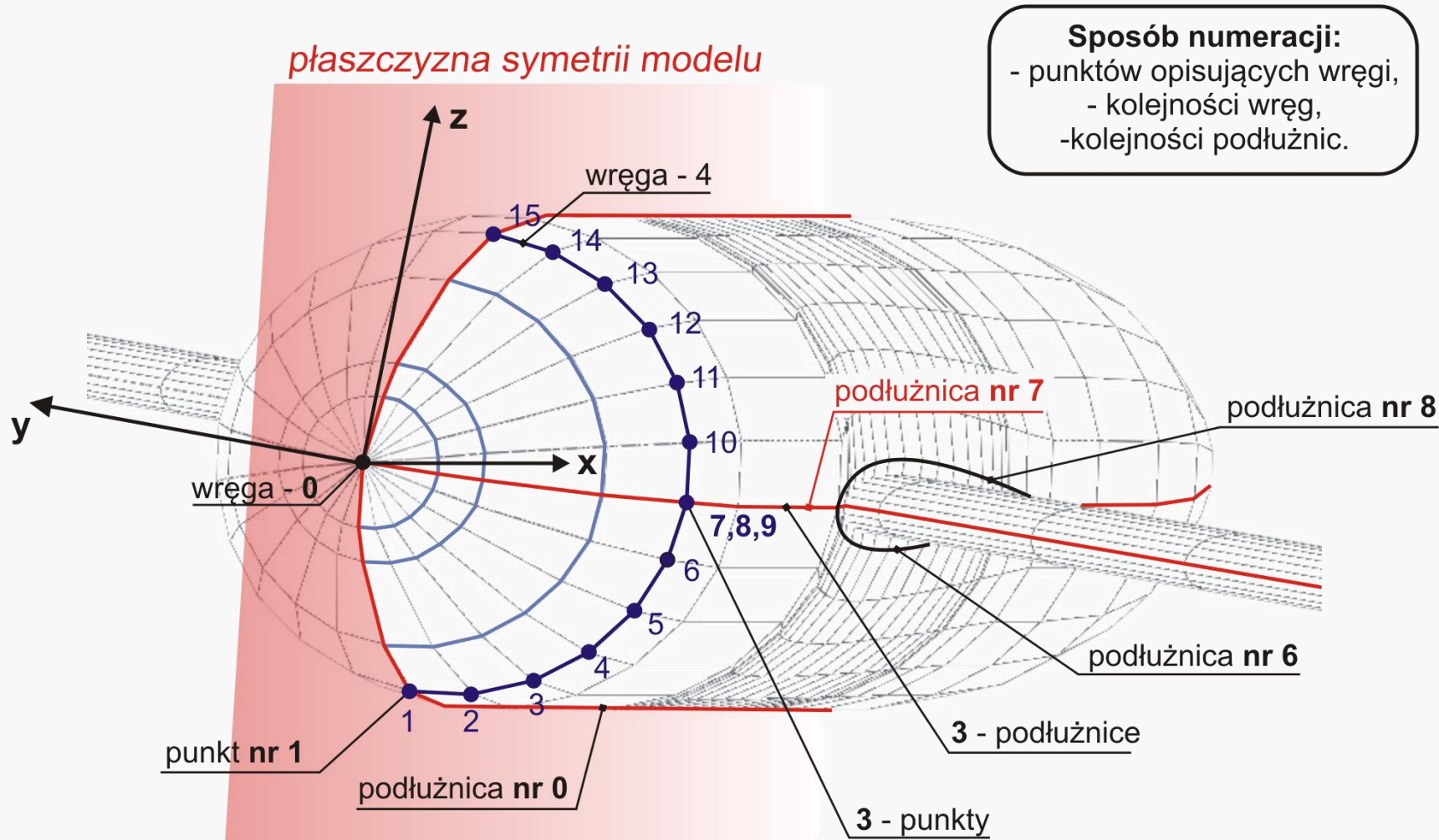


Politechnika Warszawska



Tworzenie kadłuba – podobnie jak w CPACS

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Sposób numeracji:

- punktów opisujących wręgi,
- kolejności wręg,
- kolejności podłużnic.

Geometria kadłuba - definicja





OMNIS

Ms2editor – zasady podobne do Open VSP

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

The screenshot displays the Ms2editor software interface. At the top, the 'Configuration files editor' window shows the input/output file path and the name of the grid file. Below this, there are several configuration options for the wing, including 'Symmetrical object', 'Right half', 'Left half', 'Type: Sections', 'Name: Airfoil: Bee2.dat', 'Chord: 0.4057', 'Closing rib type: No rib', 'Wing surface: All', and 'Compute wing-fuselage intersection'. A table of defined sections is visible, listing sections from No. 0 to No. 8, each associated with a specific airfoil file (e.g., Bee0.dat, Bee1.dat, etc.).

In the center, the 'Airfoils library' window is open, showing a list of search directories and a list of airfoils. The 'User library' is selected, and the 'Airfoils' list includes files like Bee0.dat through Bee23.dat. The 'Filter' is set to '*.dat'.

At the bottom, a 3D wireframe model of a wing is shown, illustrating the geometry created by the software. The status bar at the bottom indicates 'Grid from: Bee.dat | Number of panels: 2480 | Reference values: S = 0.10 B = 0.45 MAC = 0.281'.

Edycja geometrii



Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego

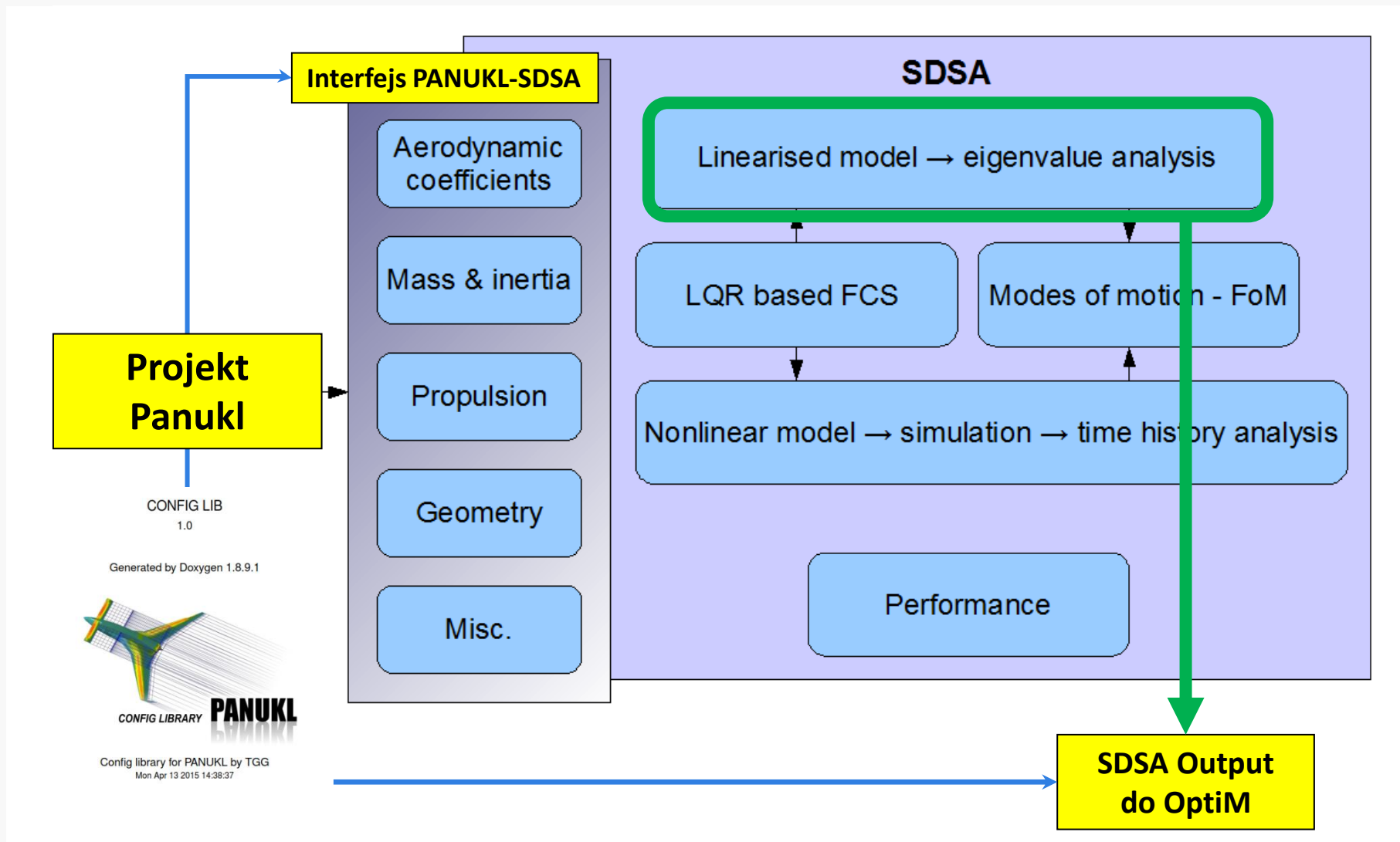


Rzeczpospolita Polska

Dofinansowane przez Unię Europejską



Politechnika Warszawska





OMNIS

Eksport danych z PANUKLa do SDSA

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

Panukl Project - AT6.prj

File Project Create Help

Simply project properties Parameters to prepare SDSA data set Run project for SDSA data

SDSA project directory: C:\Documents and Settings\grab\PanuklProjects\AT6_auto\ aero | Browse ...

Clean configuration [.dat] file: C:\Documents and Settings\grab\PanuklProjects\AT6_auto\at6_caly.dat Browse ...

Elevator deflection [.dat] file: C:\Documents and Settings\grab\PanuklProjects\AT6_auto\at6_caly_dh.dat Browse ...

Aileron deflection [.dat] file: Browse ...

Rudder deflection [.dat] file: Browse ...

Angle of attack sequence: START: END: STEP:

Mach number sequence: START: END: STEP:

Sideslip angle [deg]: Estimated max. AoA [deg]:

Roll rate [rad/s]: Elevator deflection [deg]:

Pitch rate [rad/s]: Aileron deflection [deg]:

Yaw rate [rad/s]: Rudder deflection [deg]:

Linear equation solver:
 LAPACK optimized procedure
 not optimized procedure

number of prallel process (max.):

Current number of CPUs (cores):

Range of panel's indices used for pressure calculation: calculation method (0-8 see user manual)

X coordinate's range used for pressure calculation: averaging of the local coordinate system

X component of pressure taken into account for pitching moment calculation Estimated equivalent friction coefficient (F1-Help):

Compressible correction: None Prandtl-Glauert Karman-Tsien Direct (more time consuming)



Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego

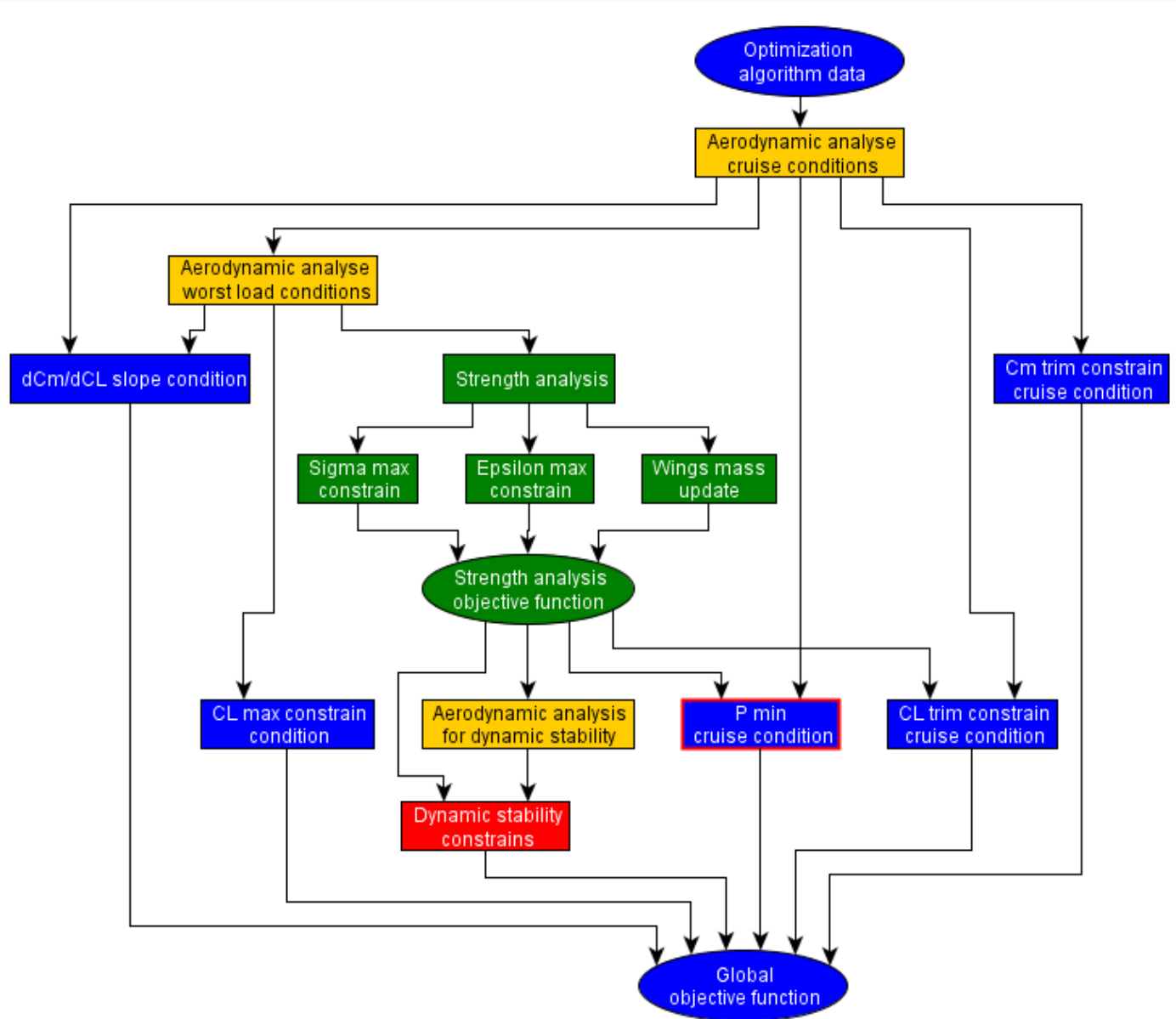


Rzeczpospolita Polska

Dofinansowane przez Unię Europejską



Politechnika Warszawska

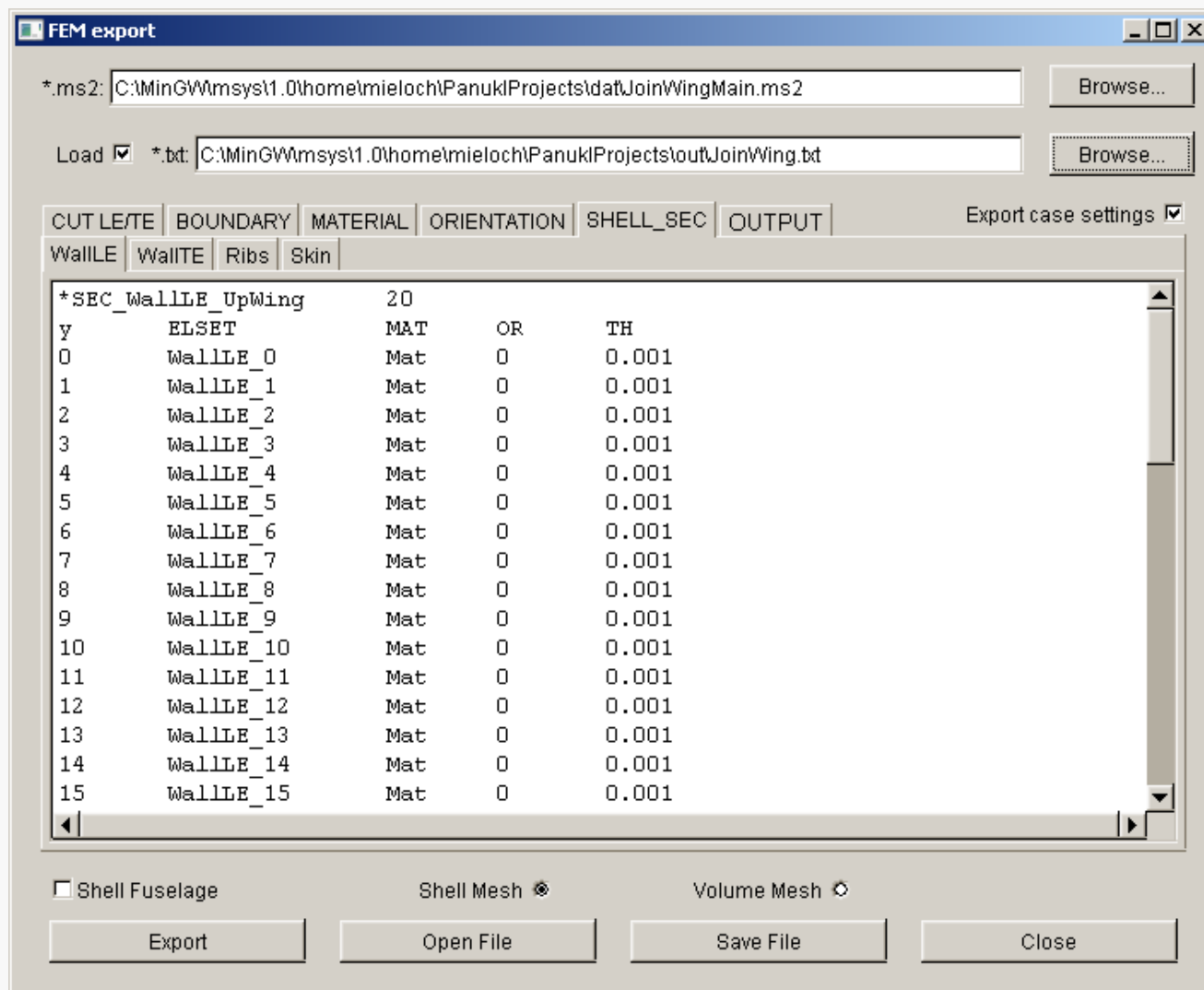




OMNIS

Eksport do CalculiX-a

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



CPACS ?



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Warszawska



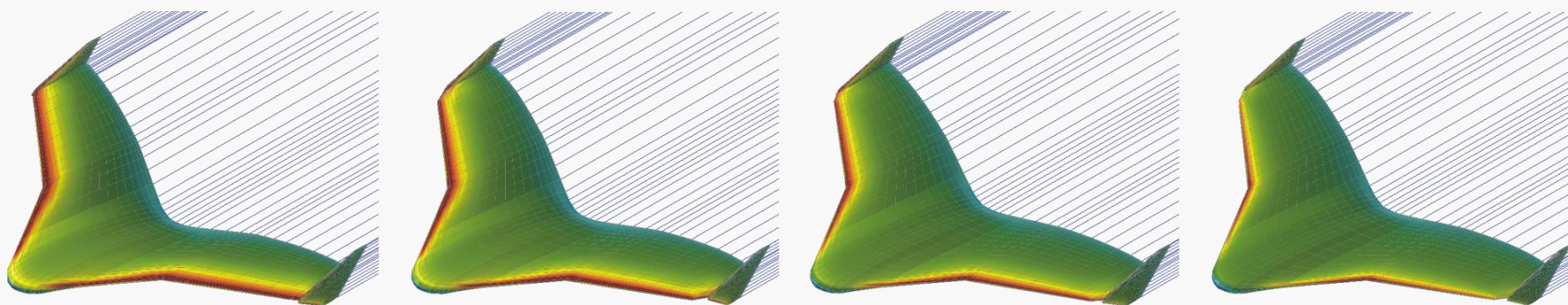
OMNIS

Optymalizacja latającego skrzydła

$$P_1 = 0.5 \cdot C_1^2 / \mu; C_1 = (m \cdot g) - (0.5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_z) \quad - \text{ więzy równowagi}$$

$$P_2 = 0.5 \cdot C_2^2 / \mu; C_2 = -0.1 - dC_m / dC_z \quad - \text{ więzy stateczności}$$

$$F_{\text{objective}} = 100 \cdot C_D + P_1 + P_2$$

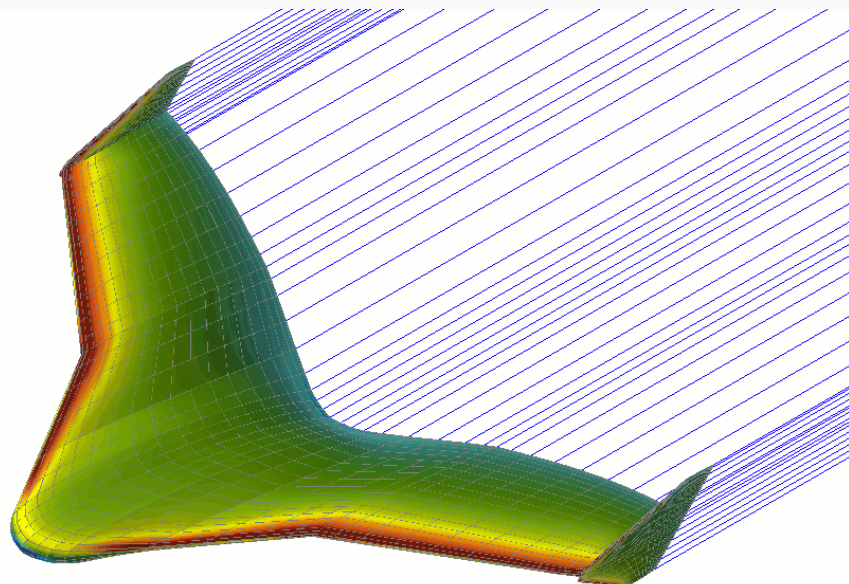




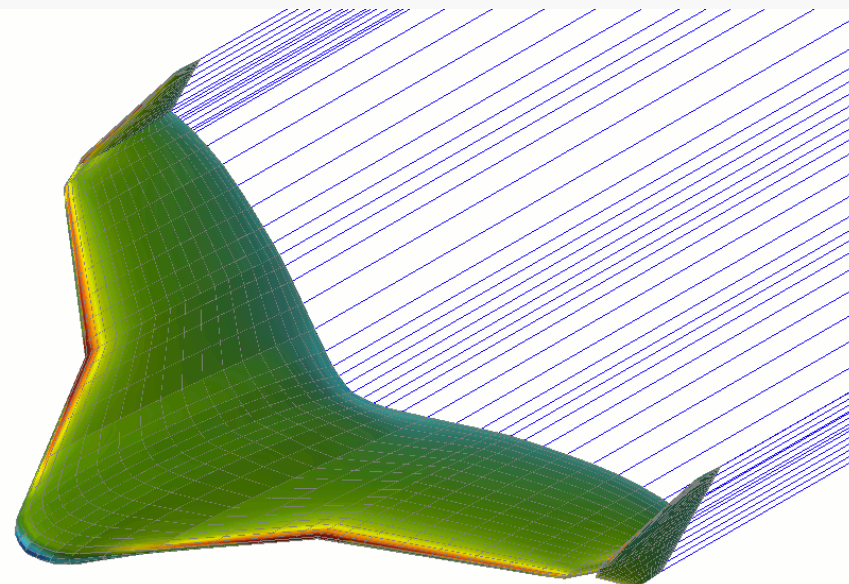
OMNIS

Optymalizacja latającego skrzydła

Iteration 0



najgorszy osobnik w populacji



najlepszy osobnik w populacji

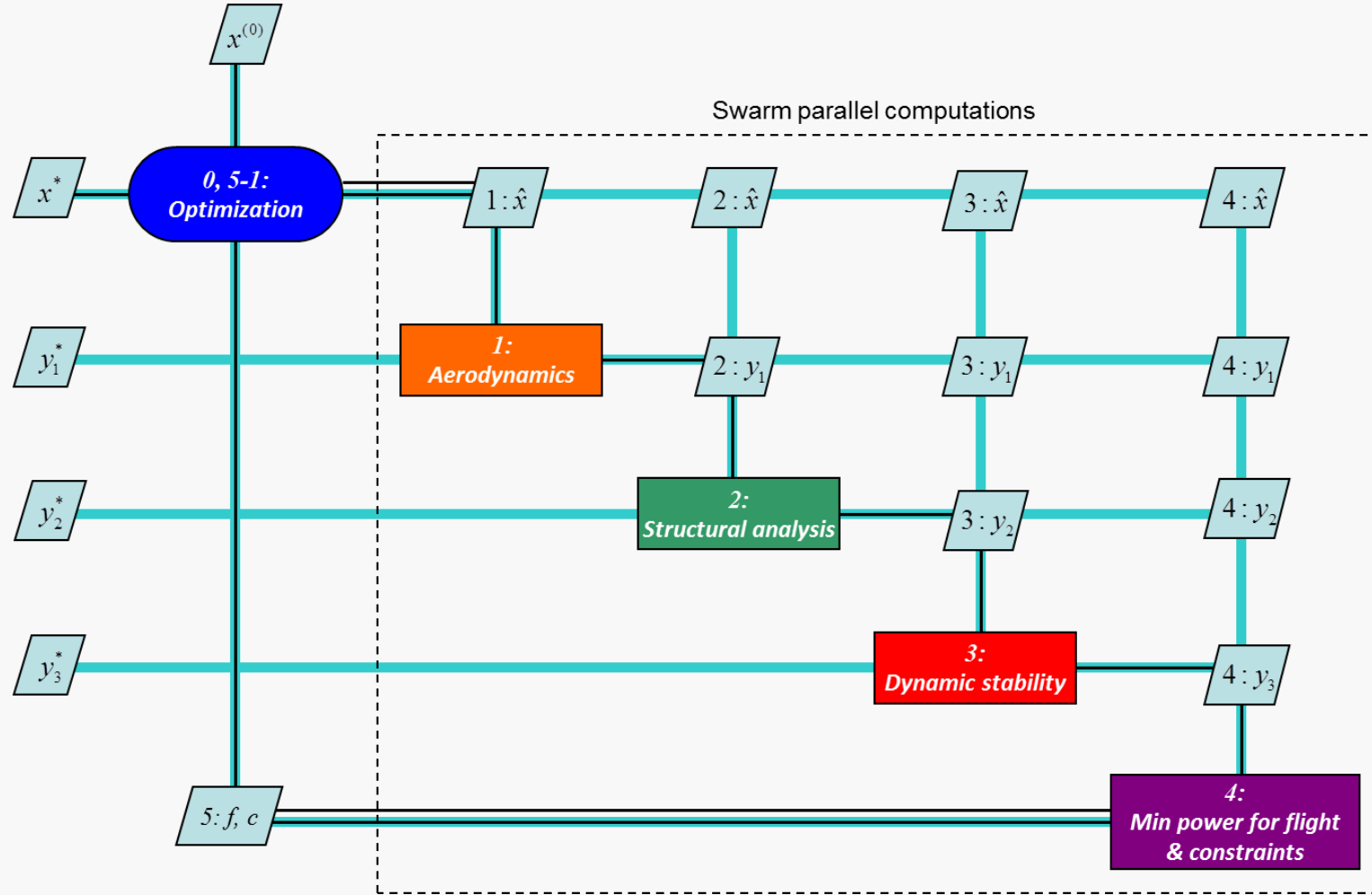
Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.





Box wing - schemat procesu MDO

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

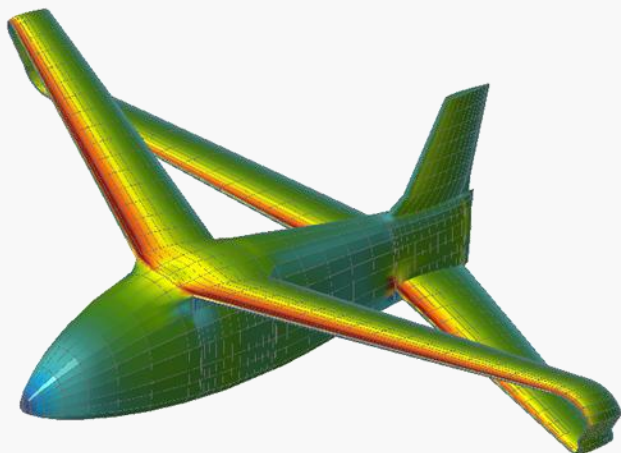




OMNIS

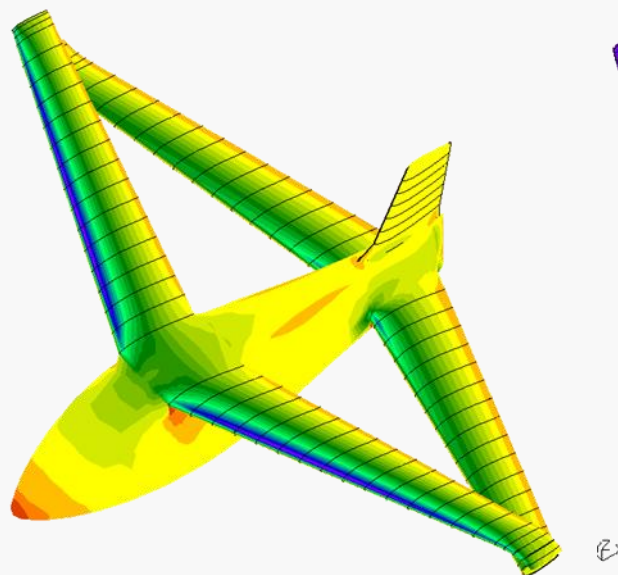
Eksport do CalculiX-a

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

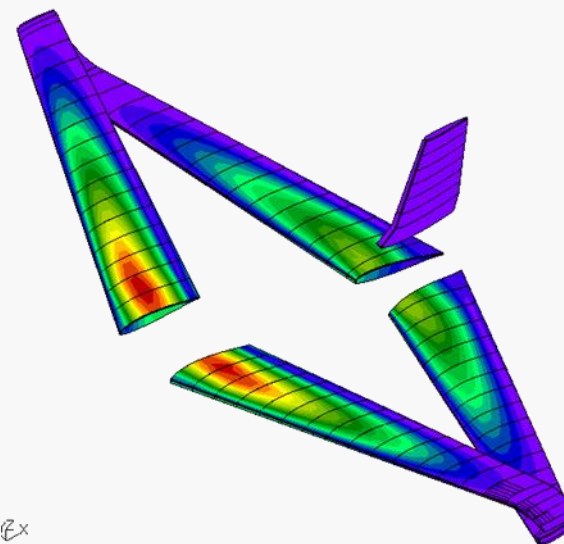


PANUKL

- Geometria
- Rozkład ciśnień



- Naprężenia
- Odkształcenia
- Materiał
- Inne



CalculiX

- Obciążenia
- Więzy
- Inne





OMNIS

Box wing - optymalizacja

$$\zeta_{phugoid} > 0.04$$

$$0.35 < \zeta_{short\ period} < 1.3$$

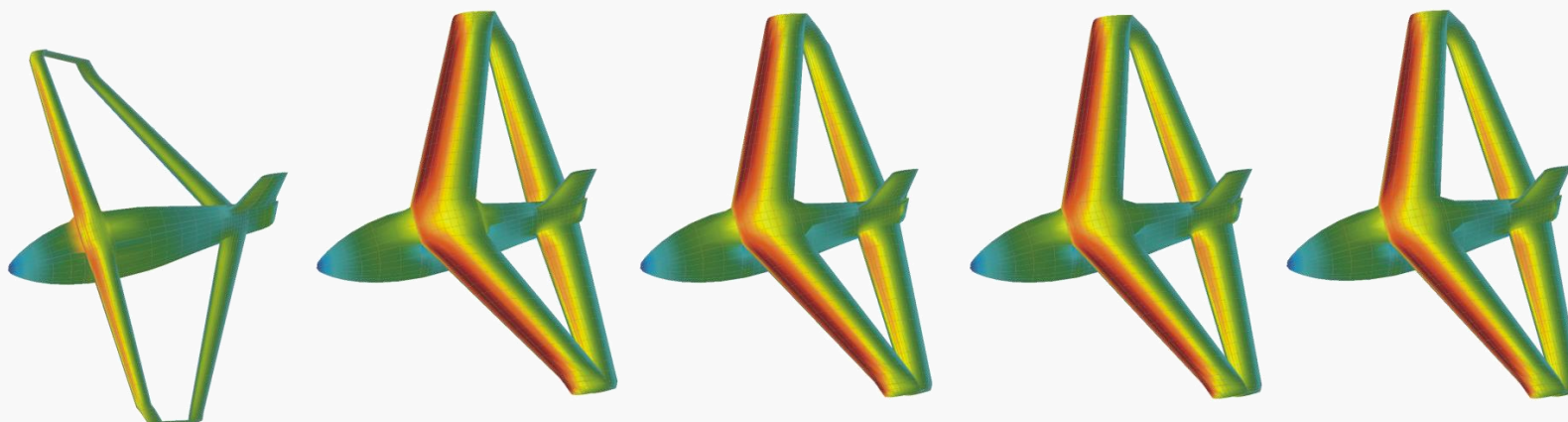
$$\zeta_{Dutch\ roll} > 0.19 \text{ and } \omega_{Dutch\ roll} > 1$$

$$T_{2\ spiral} > 20 \text{ or } T_{2\ spiral} < 0 \text{ (} T_{1/2\ spiral} > 0 \text{)}$$

więzy stateczności dynamicznej

$$F_{objective} = 0.5 \cdot \rho \cdot V^3 \cdot S \cdot C_D$$

funkcja celu

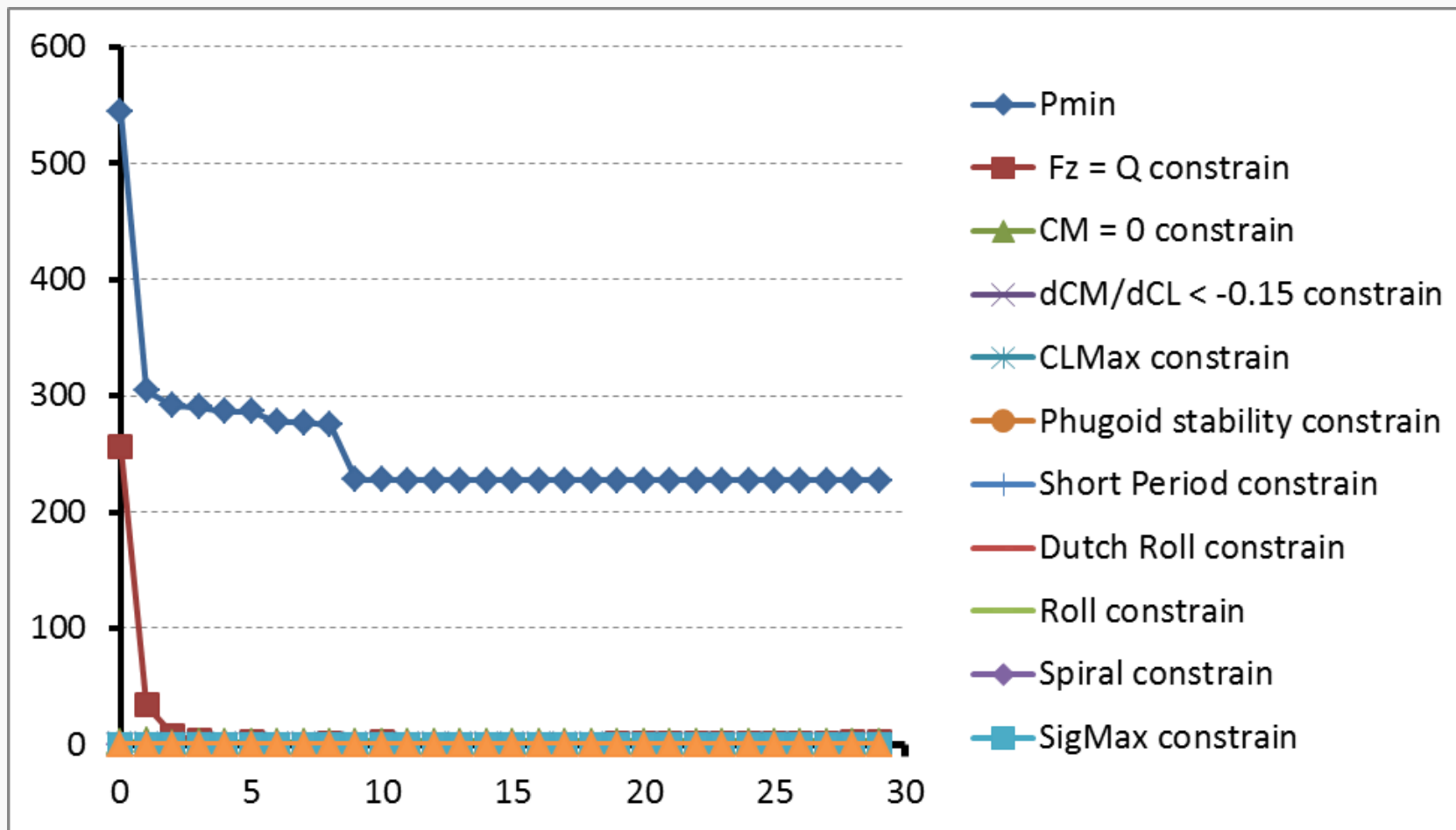




OMNIS

Optymalizacja Box wing - wyniki

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita Polska

Dofinansowane przez Unię Europejską



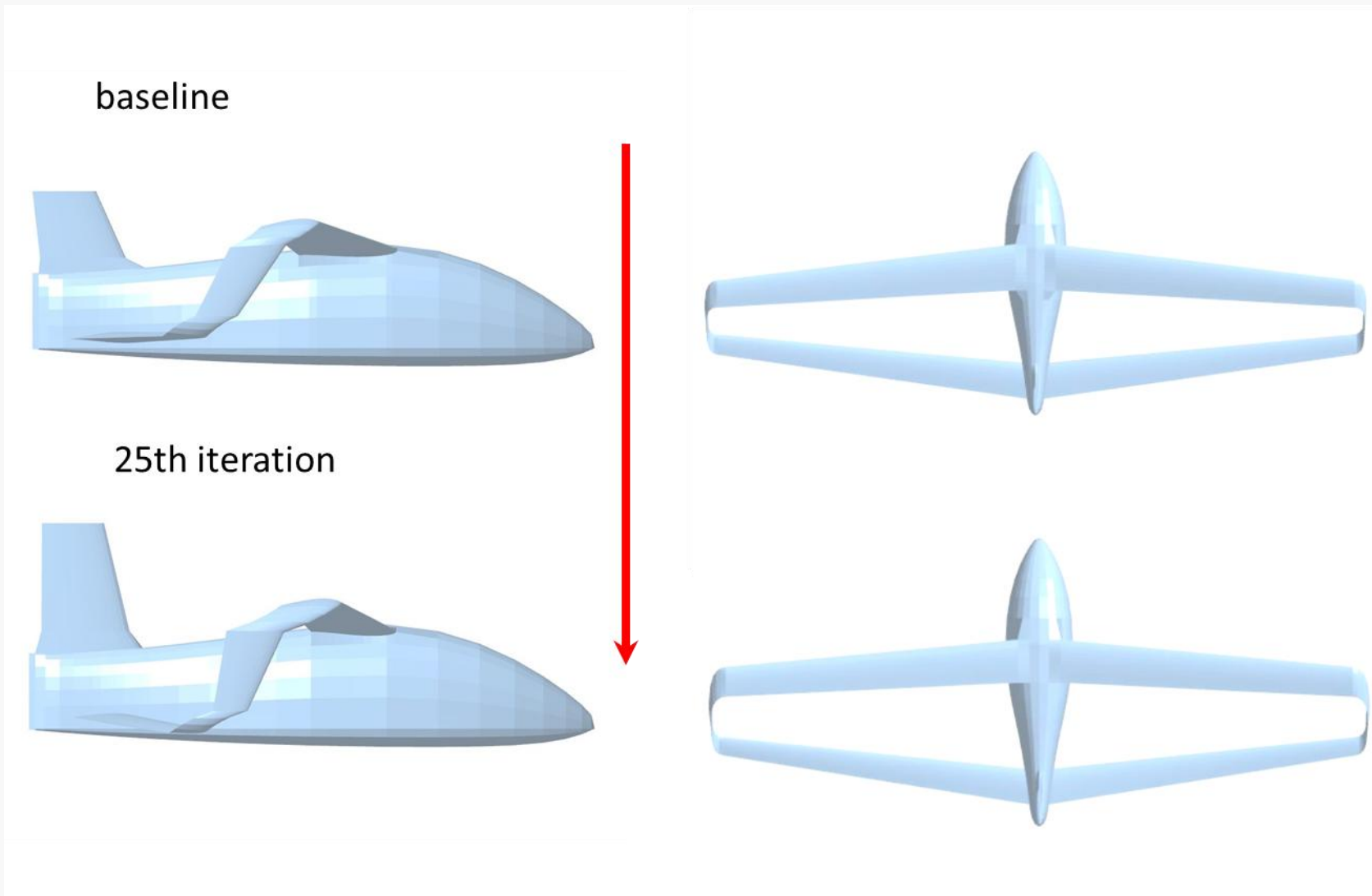
Politechnika Warszawska



OMNIS

Optymalizacja Box wing - wyniki

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Warszawska



- Zalety
 - MDO jest bardzo atrakcyjnym narzędziem do poprawy procesu projektowania i pozwala uzyskać zwykle dużo lepsze rozwiązania
 - Poprawa jest czasami bardzo znacząca (kilkadziesiąt procent)
 - Przedstawione przykłady pokazują, że optymalizacja może być dobrym narzędziem do uzyskania konkurencyjnego nowego rozwiązania (samolotu) bez problemów typowych dla projektów niekonwencjonalnych
- Wady
 - MDO (jako optymalizacja w ogóle) nie jest metodą powstawania naprawdę nowych wynalazków
 - MDO może hamować realizację nowych pomysłów
 - i może rodzić następujące obawy ...





OMNIS

Wynik MDO ?

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

1967



Wyteż wzrok i znajdź 10 szczegółów różniących samoloty na powyższych zdjęciach (z wyjątkiem obrazów)

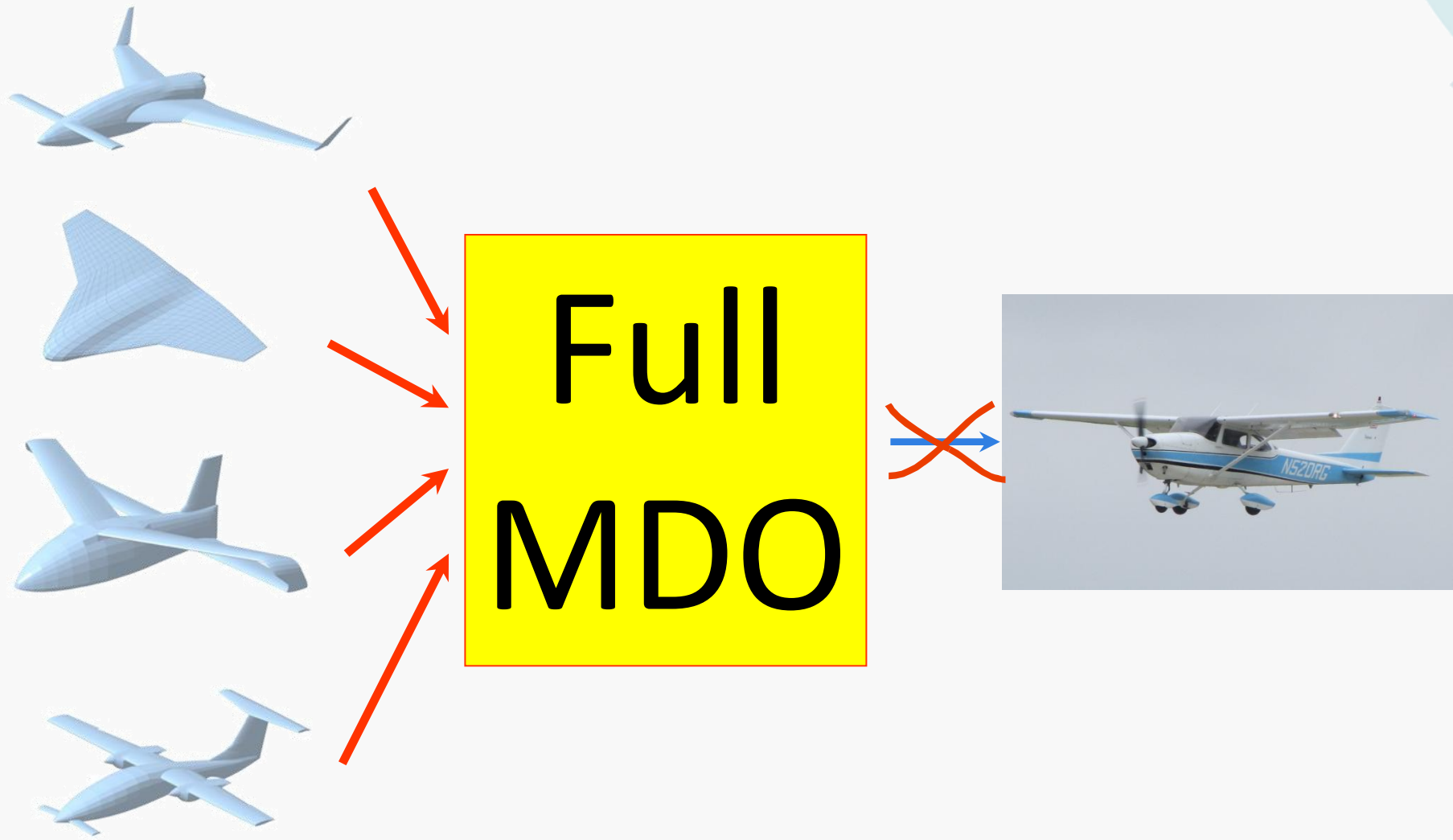
2013



OMNIS

Wynik MDO ?

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.





OMNIS

Optymalizacja wielokryterialna

Optymalizacja wielokryterialna to proces jednoczesnego ulepszania kilku sprzecznych ze sobą celów, np. maksymalizacji zysku i minimalizacji ryzyka. Ponieważ nie da się osiągnąć najlepszych wyników dla wszystkich kryteriów na raz, celem jest znalezienie tzw. zbioru rozwiązań kompromisowych.

Optymalizacja wielokryterialna, podobnie jak MDO, jest sztuką znajdowania kompromisu





OMNIS

Optymalizacja w sensie Pareto

Optimum w sensie Pareto, także efektywność Pareto (ang. Pareto efficiency) – alokacja czynników produkcji lub dóbr konsumpcyjnych, przy której nie można zwiększyć produkcji jednego dobra (lub konsumpcji jednego konsumenta) bez zmniejszenia produkcji innego dobra (lub konsumpcji innego konsumenta).

Nazwa pochodzi od nazwiska włoskiego ekonomisty Vilfreda Pareta.





OMNIS

Optymalizacja w sensie Pareto

Front Pareto (krzywa optymalności wielokryterialnej) to zbiór rozwiązań, w których nie da się poprawić jednego parametru bez jednoczesnego pogorszenia innego. Reprezentuje tzw. "złoty środek" lub optymalny kompromis

Przykład - sprzeczne cele przy projektowaniu skrzydła:

- **Maksymalizacja siły nośnej – większy udźwig**
- **Minimalizacja oporu aerodynamicznego – pozwalającej obniżyć zużycie paliwa**





OMNIS

Optymalizacja w sensie Pareto

Zamiast szukać jednego „idealnego” (i nieistniejącego) rozwiązania, generujemy wykres rozwiązań dopuszczalnych:

Oś X: Współczynnik oporu aerodynamicznego C_x
– dążymy do wartości minimalnej.

Oś Y: Współczynnik siły nośnej C_z
– dążymy do wartości maksymalnej.

Linia łącząca najlepsze, wzajemnie wykluczające się warianty to Front Pareto





- Zalety
 - **Realistyczne odzwierciedlenie rzeczywistości:** Rzadko kiedy w życiu lub biznesie decyzja zależy tylko od jednego czynnika.
 - **Elastyczność decyzyjna:** Udostępnia wachlarz zrównoważonych opcji, pozwalając na wybór wariantu najlepiej wpisującego się w aktualne oczekiwania.
 - **Wykrywanie ukrytych zależności:** Ujawnia kompromisy między sprzecznymi parametrami (np. wzrost masy konstrukcji a jego wytrzymałość)
- Wady
 - **Brak jednego rozwiązania idealnego:** Wymaga subiektywnego wyboru jednego wariantu z puli równorzędnych rozwiązań.
 - **Wysoka złożoność obliczeniowa:** Znalezienie optymalnego frontu Pareto wymaga użycia zaawansowanych algorytmów i angażuje znaczną moc obliczeniową.
 - **Trudność w określeniu wag:** Trzeba precyzyjnie ustalić priorytet (wagę) każdego kryterium, co bywa trudne w przypadku niemierzalnych aspektów.





OMNIS Optymalizacja w inżynierii lotniczej i kosmicznej

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

Dziękuję za uwagę