



OMNIS

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

Optymalizacja w inżynierii lotniczej i kosmicznej

Wykład 11

Optymalizacja topograficzna i topologiczna

1130-LK000-MSP-1037



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Warszawska



OMNIS

Zagadnienia

- Wstęp
- Omówienie Metody Topograficznej
- Omówienie Metody Topologicznej
- Zalety i wady
- Przykłady zastosowań Metody Topologicznej
- Podsumowanie



OMNIS

Wstęp

Optymalizacja topograficzna i topologiczna to zaawansowane metody projektowania inżynierskiego (często wspierane przez oprogramowanie CAE, jak np. [Ansys](#)), które służą do poprawy efektywności konstrukcji z punktu widzenia ciężaru i wytrzymałości.





OMNIS

Metoda topograficzna

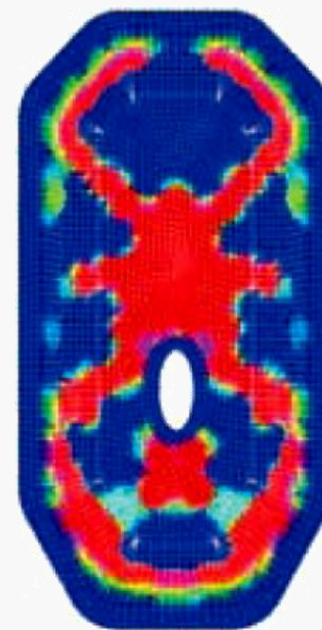
Jest to specyficzna forma optymalizacji kształtu, stosowana głównie dla elementów cienkościennych, takich jak blachy.

Działanie: Nie polega na usuwaniu materiału, lecz na wprowadzaniu przetłoczeń, wypukłości lub żeberka w celu zwiększenia sztywności elementu bez zwiększania jego grubości.

Efekt: Zmienia się "ukształtowanie terenu" powierzchni (stąd nazwa), ale liczba otworów i ogólna ciągłość materiału pozostaje taka sama.

Zastosowanie: Optymalizacja obudów, paneli karoserii czy wzmocnień blacharskich.

Realizacja: Optymalizacja Topograficzna wykorzystywana jest w systemach MES. W optymalizacji topograficznej węzły elementów skończonych przesuwane są w kierunku normalnym do obiektu.





OMNIS

Metoda topologiczna

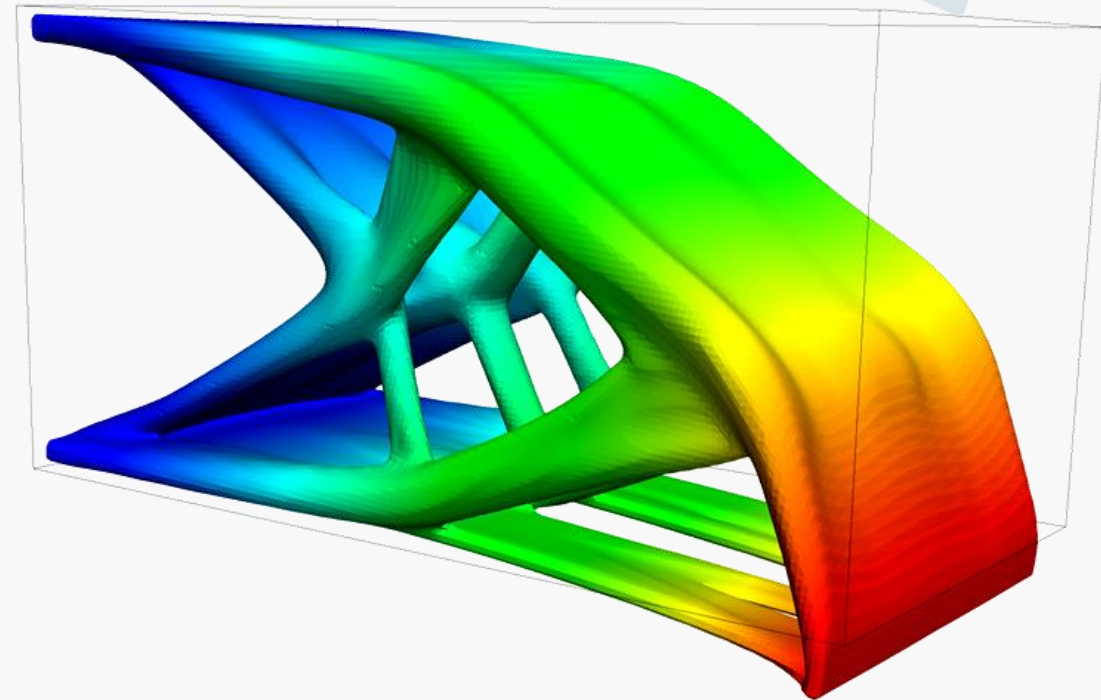
Głównym celem optymalizacji topologicznej jest znalezienie najlepszego rozkładu materiału w zadanej przestrzeni projektowej.

Działanie: Algorytm usuwa materiał z obszarów, które nie przenoszą znaczących obciążeń, aż do uzyskania minimalnej masy przy zachowaniu wymaganej sztywności.

Efekt: Często powstają organiczne, nieregularne kształty, które mogą zawierać nowe otwory lub połączenia (zmiana topologii).

Zastosowanie: Projektowanie komponentów lotniczych, motoryzacyjnych oraz elementów drukowanych w 3D.

Realizacja: Optymalizacja Topologiczna wykorzystywana jest w systemach MES. Przy założonych warunkach brzegowych, minimalizowana jest ilość materiału.





OMNIS

Kluczowe różnice

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

Cecha	Optymalizacja Topologiczna	Optymalizacja Topograficzna
Główny mechanizm	Usuwanie/dodawanie materiału	Tworzenie przetłoczeń/wypustek
Zmiana topologii	Tak (powstają nowe otwory/bryły)	Nie (ciągłość powierzchni zachowana)
Typ geometrii	Bryły 3D lub płaskie tarcze	Powłoki i elementy cienkościenne
Główny cel	Minimalizacja masy	Zwiększenie sztywności

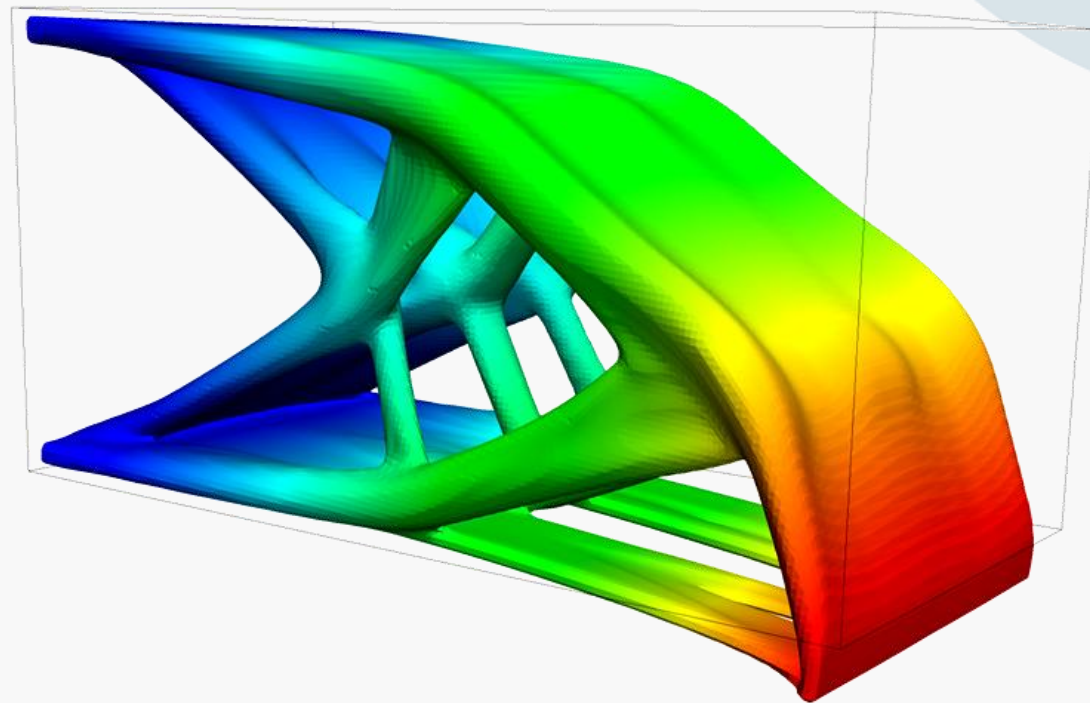
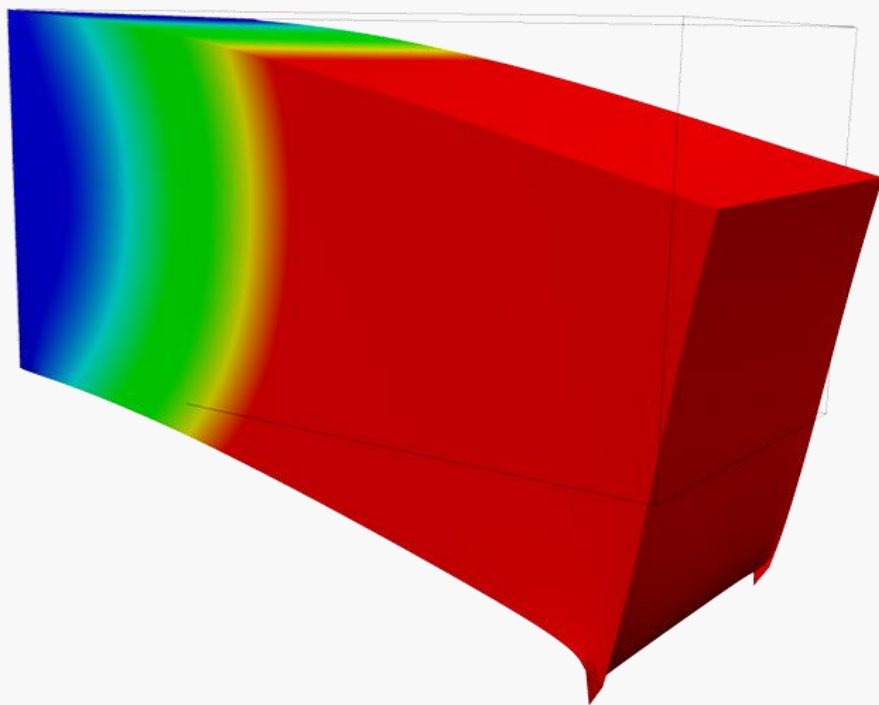




OMNIS

Metoda topologiczna

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Przykład optymalizacji belki wysięgnikowej



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Warszawska



Zagadnienia minimalizacji masy **M** (Objętości Ω) lub maksymalizacji naprężeń σ .

$$\min \rho \int_{\Omega} \varphi(\rho) d\Omega \quad , \quad \rho \in \{0,1\}$$

Optymalizację topologiczną wykonuje się w oparciu o Metodę Elementów Skończonych. Najpopularniejszą techniką jest SIMP (Solid Isotropic Material with Penalization), służącą do znajdowania najlepszego rozkładu materiału wewnątrz danego obszaru projektowego. Działa poprzez przypisanie gęstości (ρ) (0-1) każdemu elementowi siatki MES, stopniowo usuwając materiał w najmniej obciążonych miejscach, aby zmaksymalizować sztywność przy minimalnej masie





OMNIS

Metoda topologiczna – podstawowe etapy

- Zdefiniowanie zagadnienia
(Geometria, dane materiałowe, warunki podparcia)
- Definicja przestrzeni projektowej
- Wybór typu elementu skończonego i utworzenie siatki
- Określenie obszaru ciała objętego optymalizacją
- Zdefiniowanie zestawów obciążeń
- Określenie parametrów procesu optymalizacji:
ilości materiału przeznaczonego do usunięcia
- Ocena rezultatów





OMNIS

Metoda topologiczna – zalety

- **Redukcja masy (odchudzanie) części:** Pozwala usunąć zbędny materiał, co jest kluczowe w branżach takich jak lotnictwo czy motoryzacja, gdzie liczy się każdy gram.
- **Wysoka sztywność i wytrzymałość:** Dzięki optymalnemu rozłożeniu materiału, części są sztywniejsze i bezpieczniejsze, mimo że są lżejsze.
- **Oszczędność materiału i kosztów:** Mniej materiału oznacza niższe koszty surowców, a często także niższe koszty transportu i produkcji.
- **Innowacyjne kształty:** Narzędzia te często generują organiczne, skomplikowane formy, których inżynier nie zaprojektowałby "ręcznie".
- **Szybszy rozwój produktu:** Zautomatyzowany proces pozwala szybciej znaleźć optymalne rozwiązanie konstrukcyjne
- **Małe problemy ze zbieżnością**





- **Skomplikowana produkcja:** Zoptymalizowane kształty są zazwyczaj bardzo nieregularne, co oznacza, że często nie da się ich wytworzyć tradycyjnymi metodami (np. frezowaniem) i wymagają druku 3D (przyrostowego).
- **Wysoki koszt obliczeń:** Proces optymalizacji wymaga wielokrotnego wykonywania zaawansowanych obliczeń MES, co jest czasochłonne i wymaga dużej mocy obliczeniowej.
- **Nie technologiczne wyniki - Konieczność interpretacji:** Oprogramowanie często generuje "siatkę", którą inżynier musi ręcznie zamienić na czytelny model CAD (tzw. re-modeling), co jest pracochłonne.
- **Zależność od założeń:** Wynik jest tak dobry, jak zdefiniowane warunki brzegowe (obciążenia, utwierdzenia). Błędne założenia prowadzą do błędnej struktury.
- **Możliwe problemy z koncentracją naprężeń:** Cienkie, zoptymalizowane struktury mogą być podatne na wysokie naprężenia miejscowe.

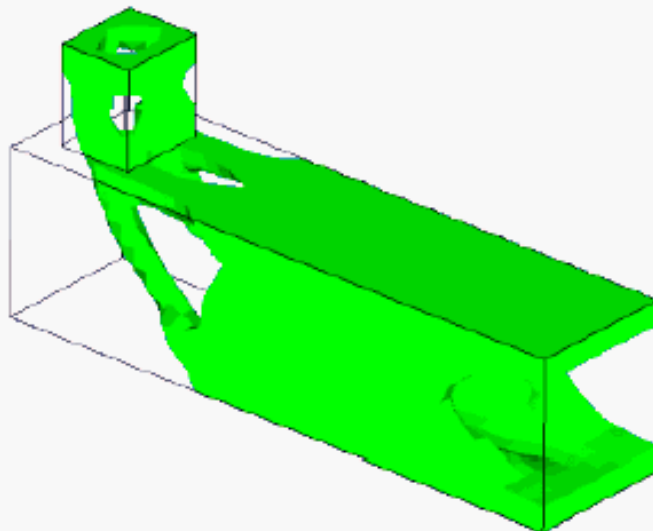
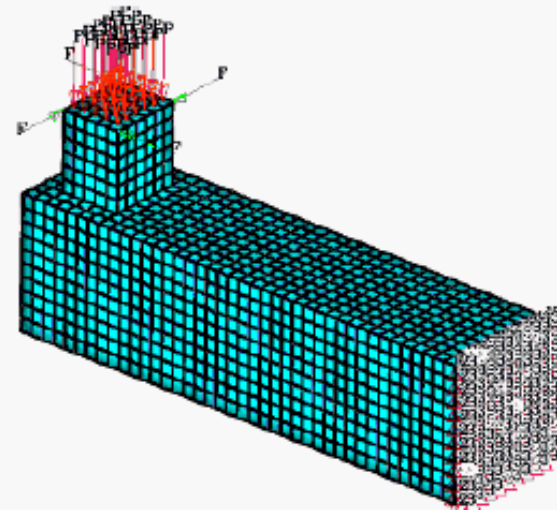
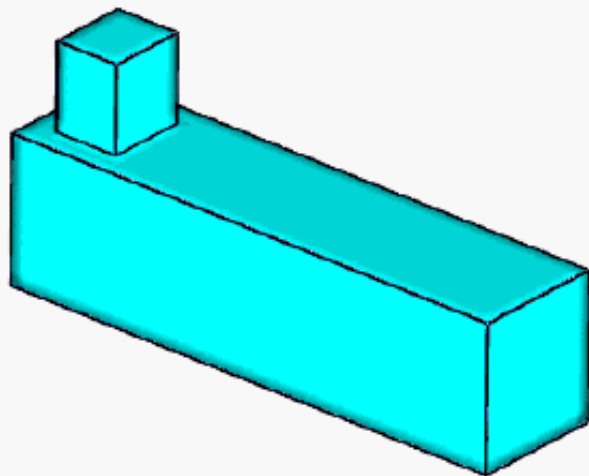




OMNIS

Przykłady – wspornik

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Zoptymalizowany rozkład materiału w elemencie wspornika uzyskany po 22 iteracjach;
Projekt technologiczny który powstanie na jego bazie będzie musiał stanowić kompromis między optymalnym wykorzystaniem materiału a kosztami wykonania elementu



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



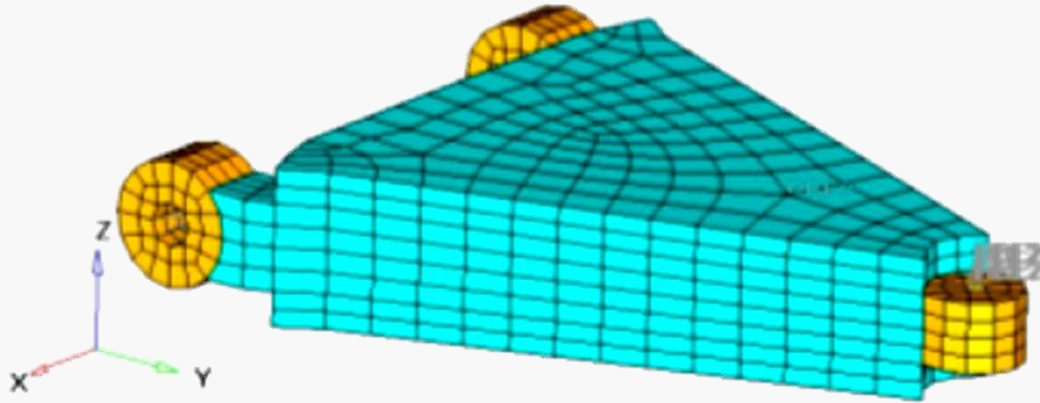
Politechnika Warszawska



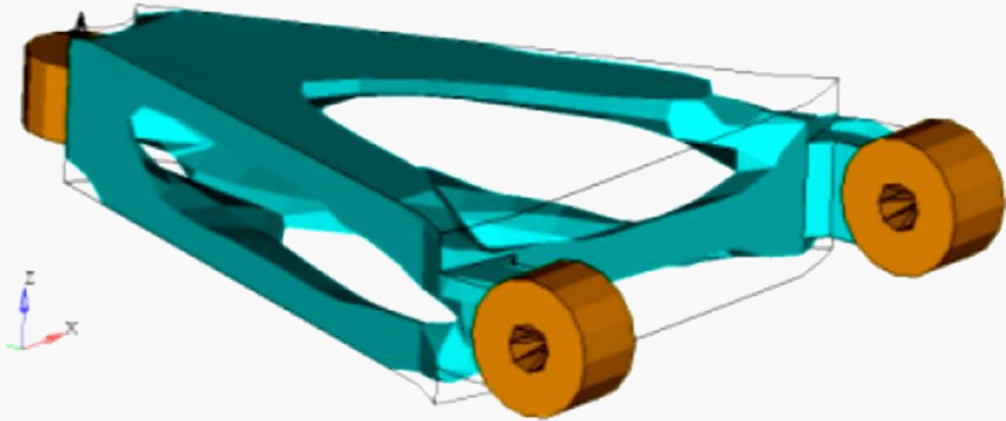
OMNIS

Przykłady – wspornik

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Zadeklarowanie dostępnej przestrzeni projektowej



Przestrzeń projektowa dla wspornika, stanowiąca punkt wyjścia do tworzenia siatki elementów skończonych

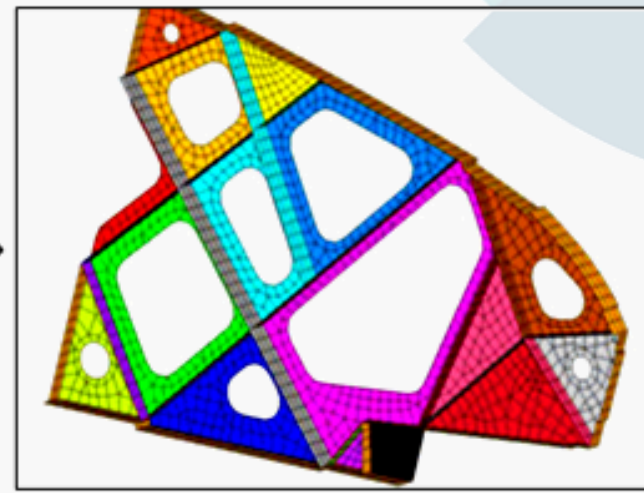
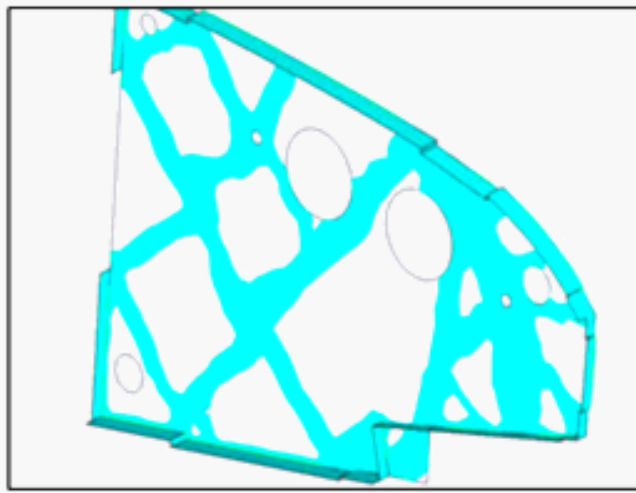
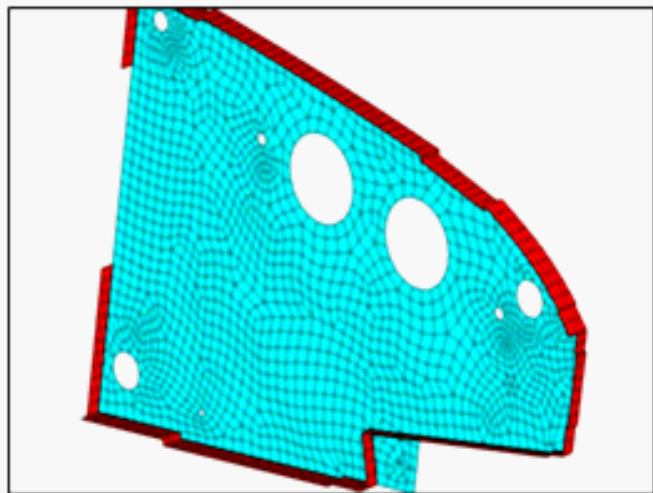




OMNIS

Przykłady – żebro A-380

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Definicja zagadnienia

*Optymalizacja
topologiczna*

*Projekty techniczny
Uwzględniający
wyniki optymalizacji*



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



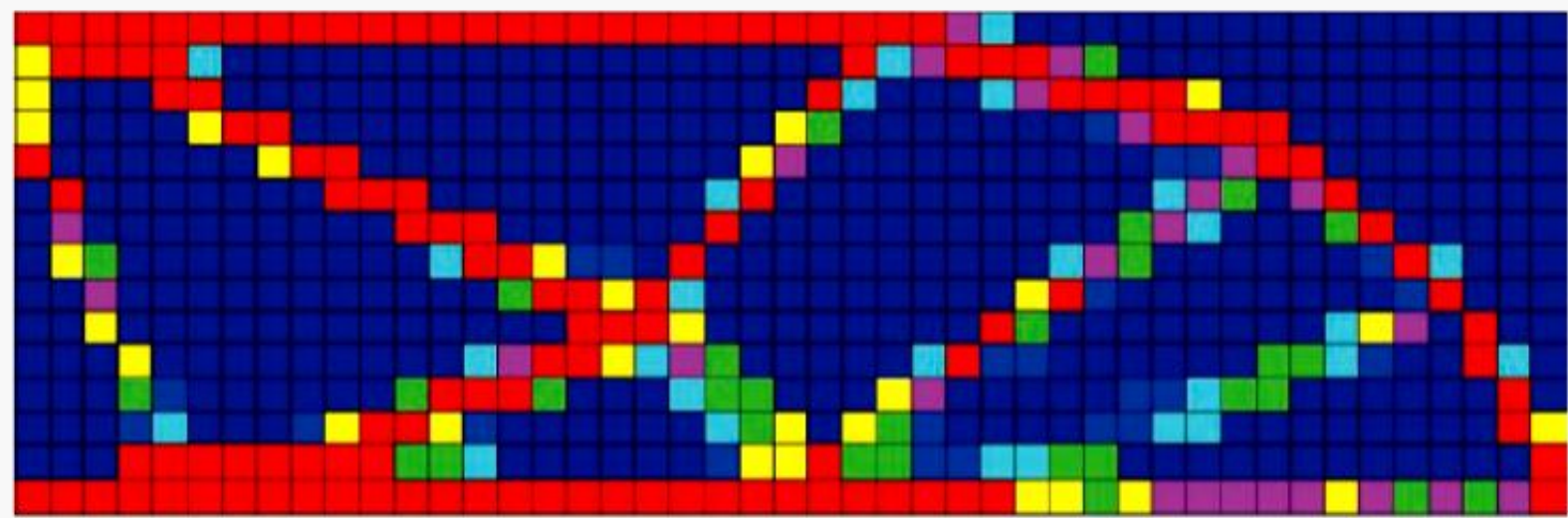
Politechnika Warszawska



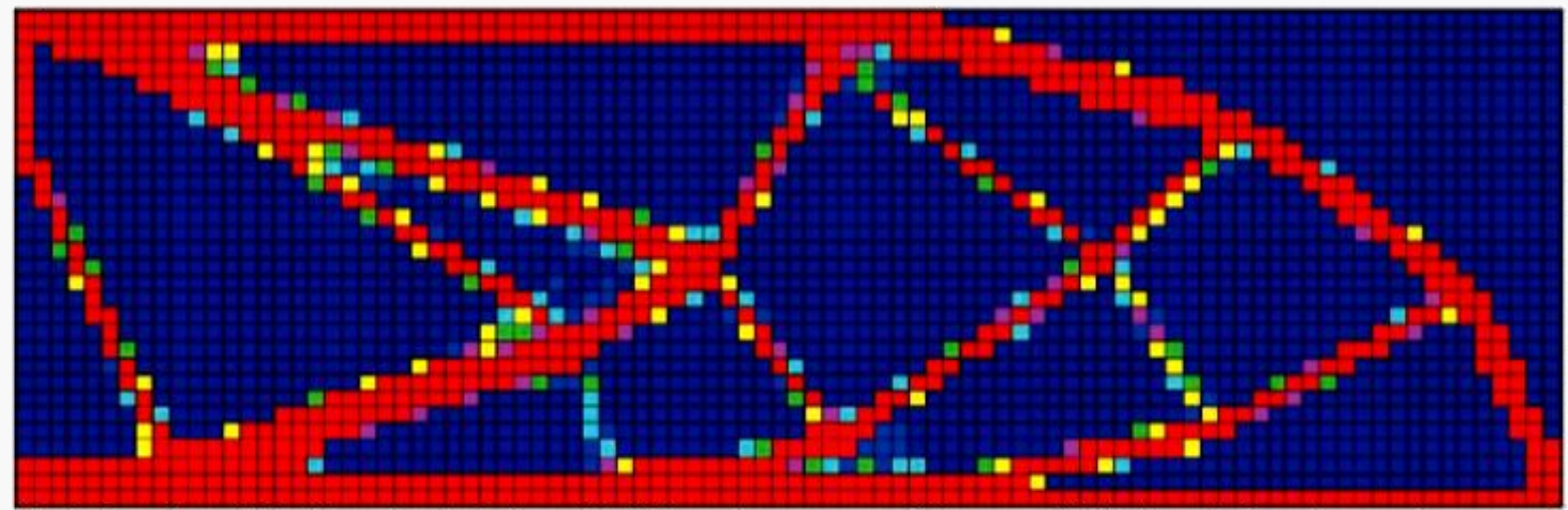
OMNIS

Przykłady – wpływ gęstości siatki

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



(a)



(b)



Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita Polska

Dofinansowane przez Unię Europejską

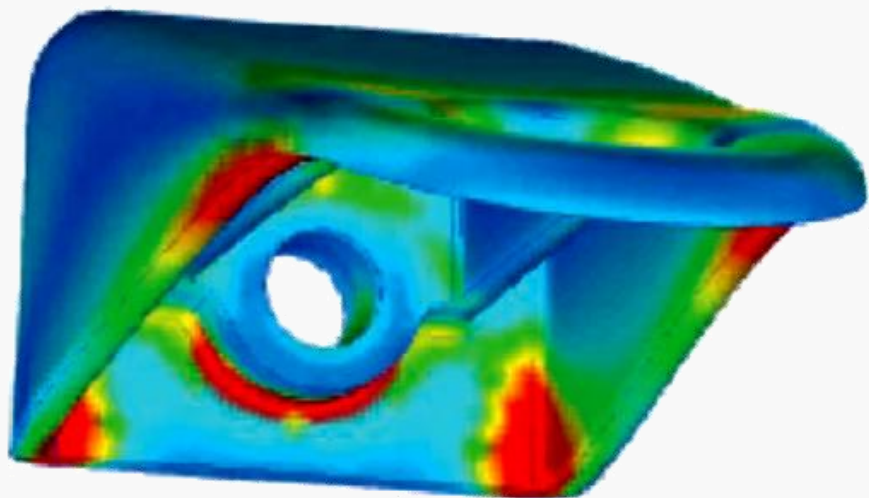


Politechnika Warszawska

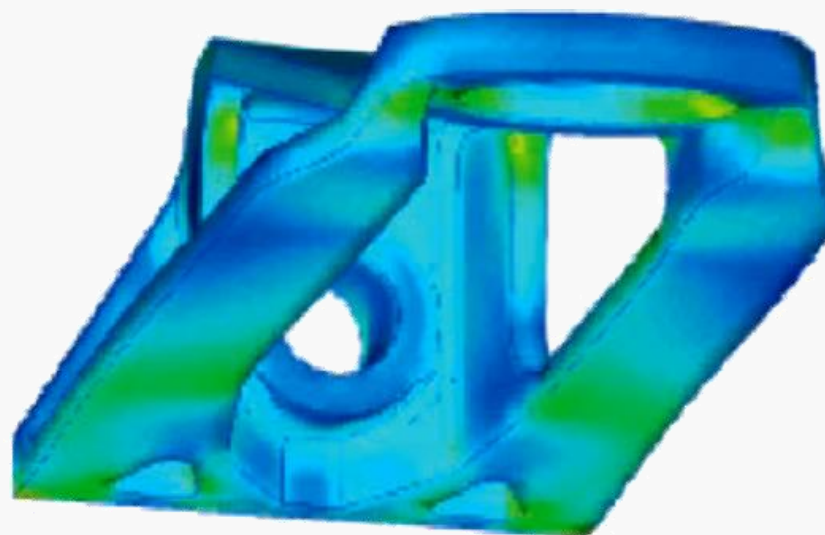


OMNIS

Przykłady – wspornik



przed optymalizacją



po optymalizacji

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

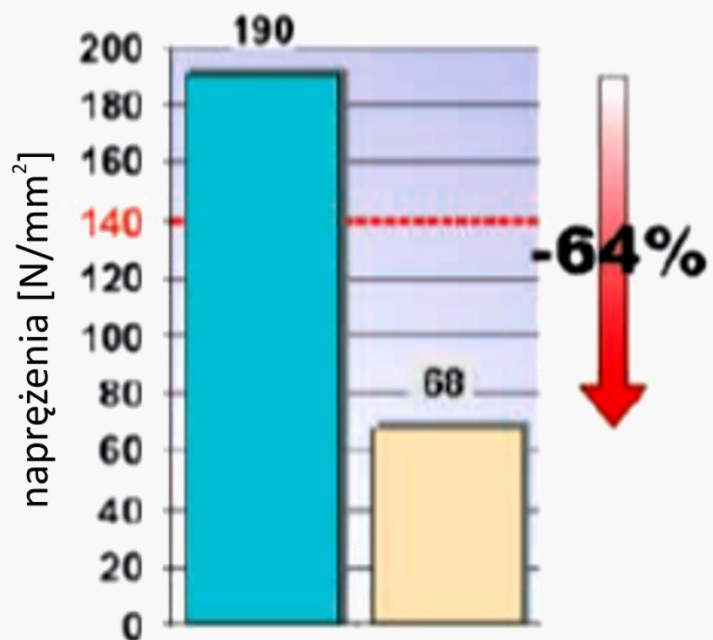
Dofinansowane przez
Unię Europejską



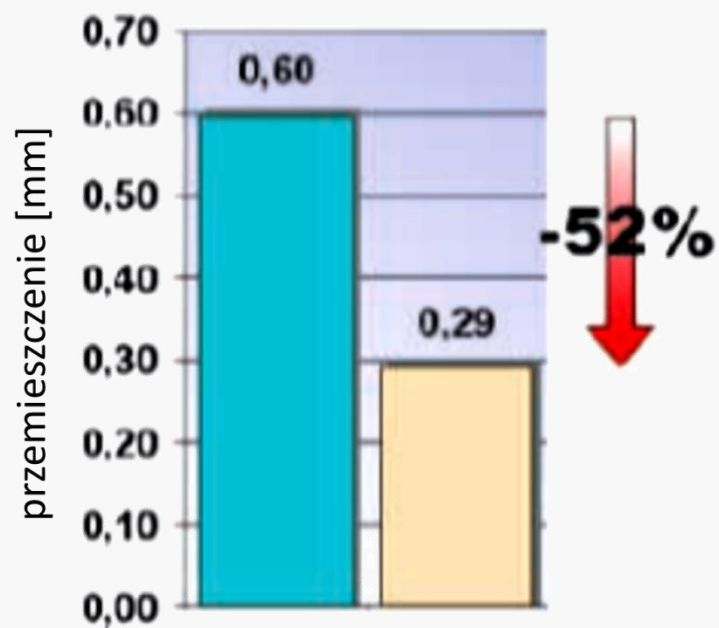
Politechnika Warszawska



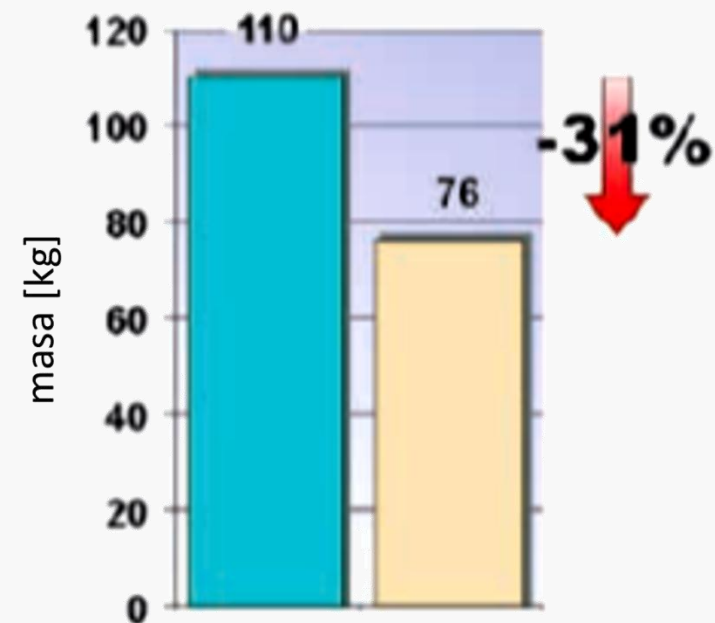
Redukcja naprężeń



Redukcja przemieszczeń



Redukcja masy





OMNIS

Przykłady – zawias gondoli silnika



Zawias osłony gondoli silnika samolotu Airbus 320 w wersji tradycyjnej oraz po przeprojektowaniu z wykorzystaniem optymalizacji topologicznej

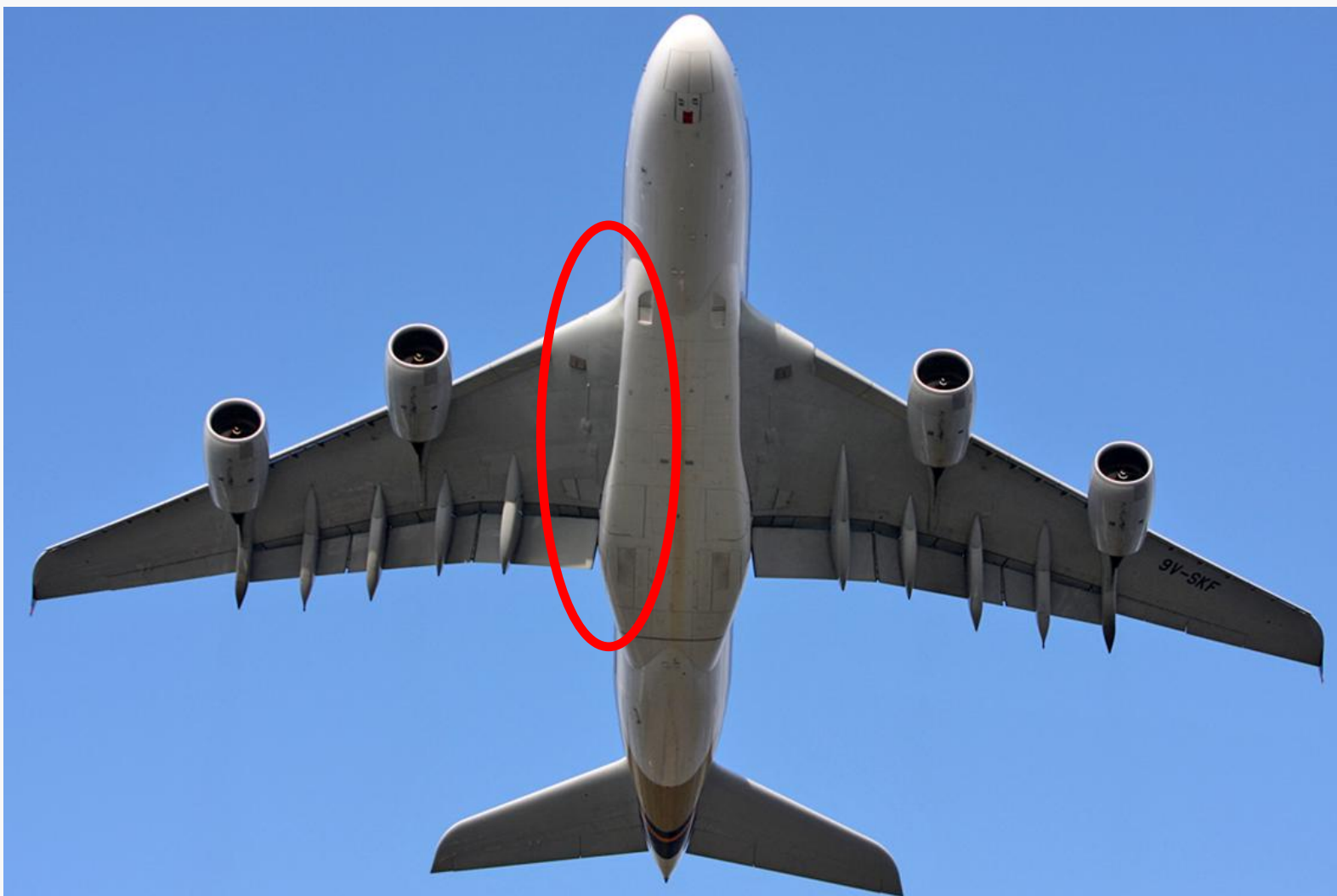




OMNIS

Przykłady – żebro w samolocie A-380

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską

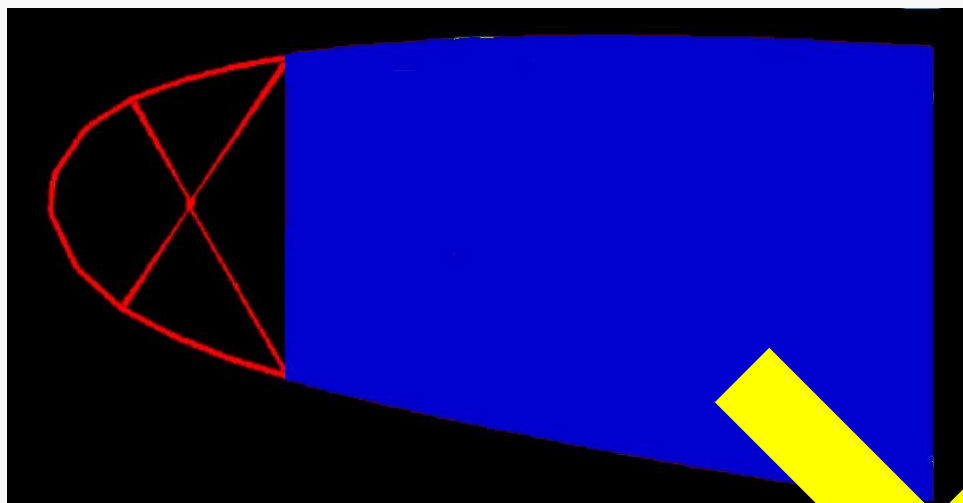


Politechnika Warszawska



OMNIS

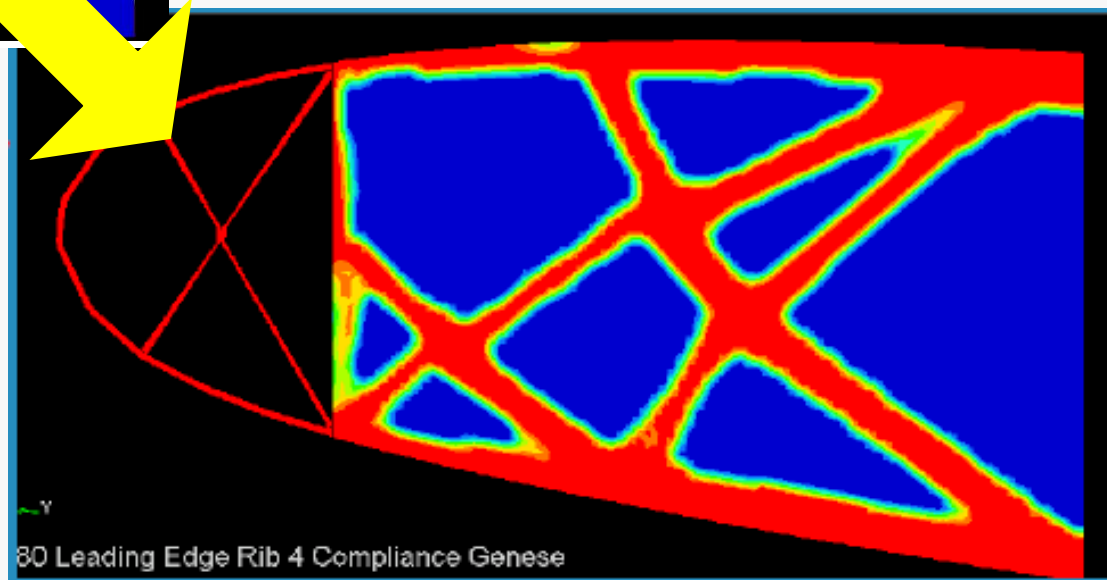
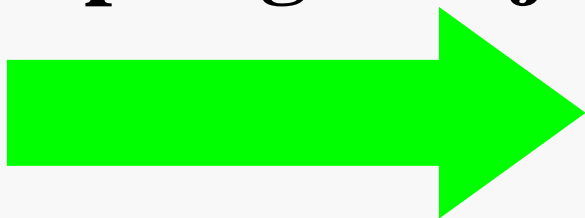
Przykłady – żebro w samolocie A-380



Model przygotowany do analizy numerycznej



Wyniki analizy Topologicznej

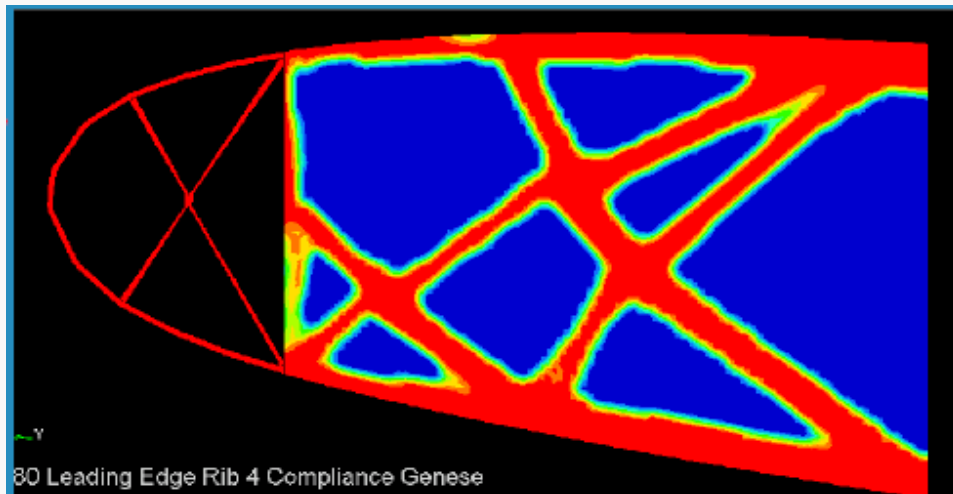




OMNIS

Przykłady – żebro w samolocie A-380

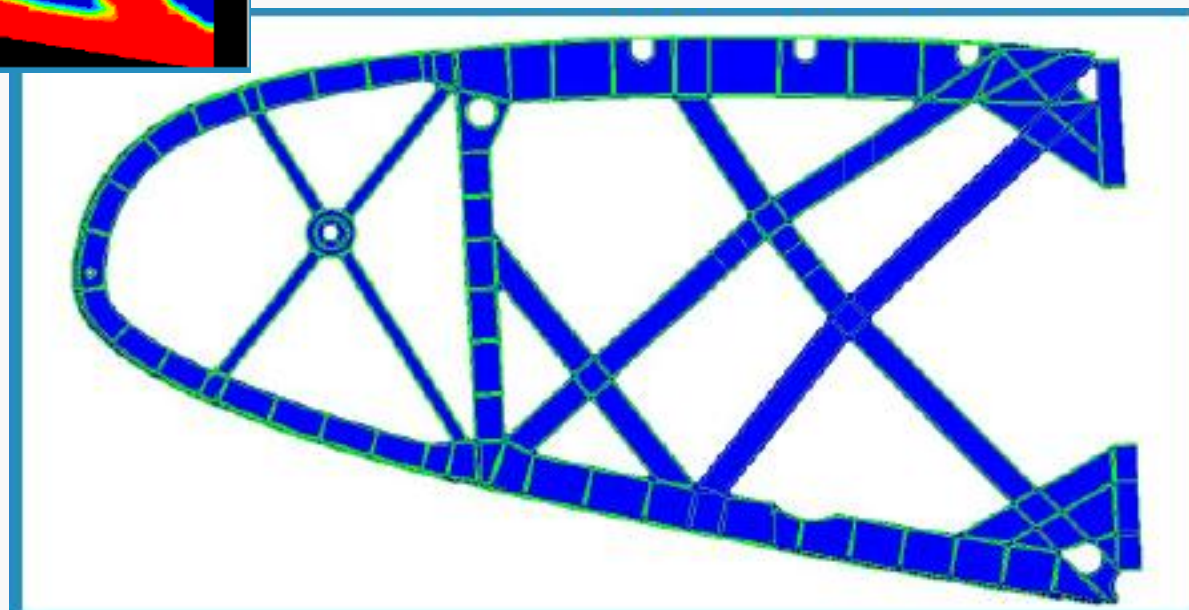
Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Adaptacja Wyników

Wyniki analizy Topologicznej

**Adaptacja
wyniku analizy
do warunków
technologicznych**



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



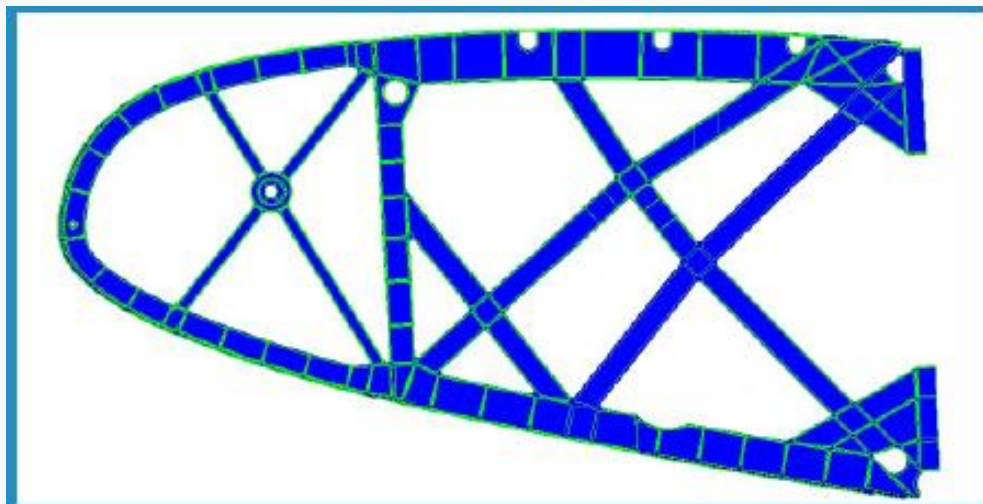
Politechnika Warszawska



OMNIS

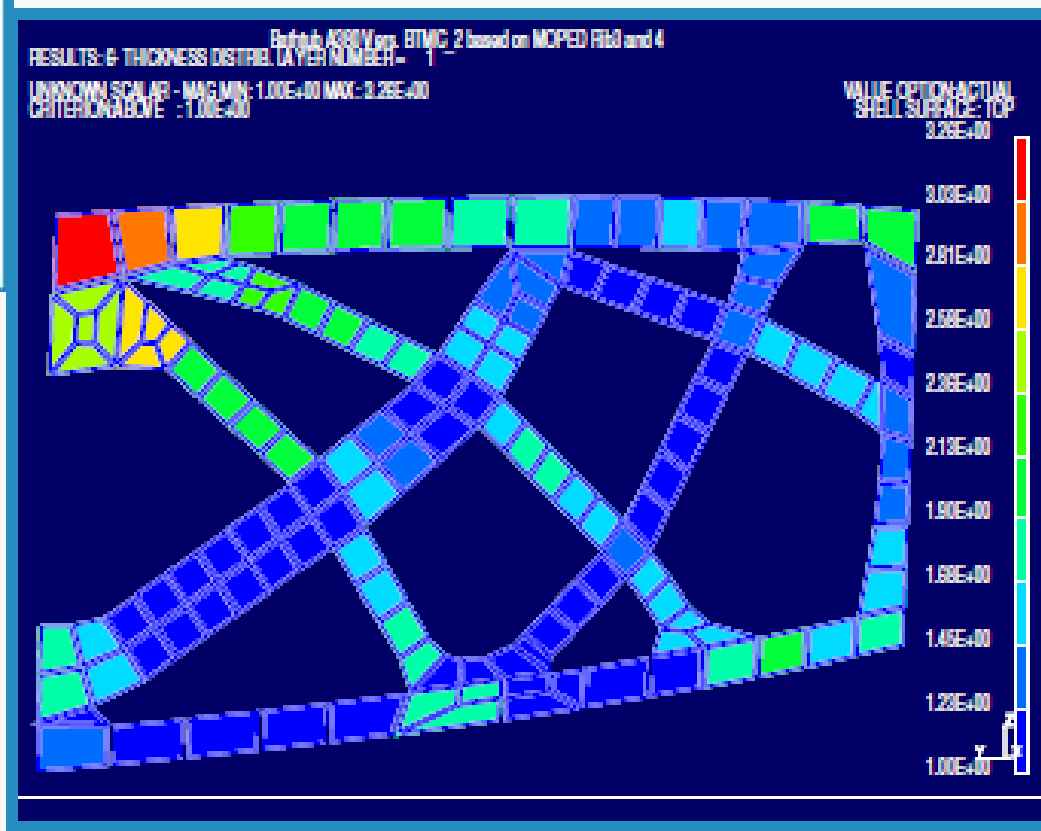
Przykłady – żebro w samolocie A-380

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Nowy model w MES

Ponowna Analiza MES



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



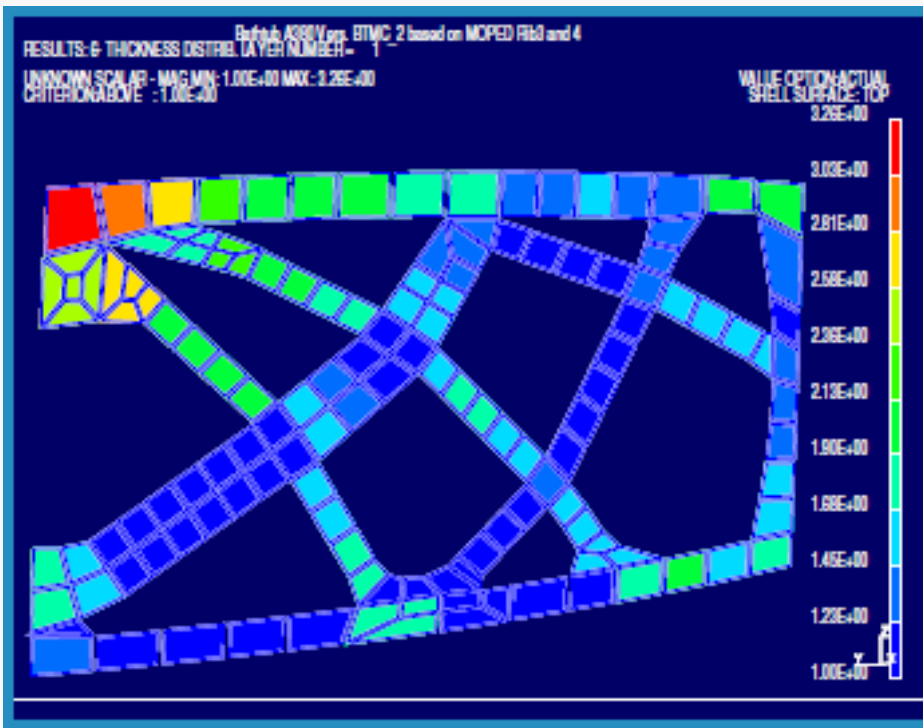
Politechnika Warszawska



OMNIS

Przykłady – żebro w samolocie A-380

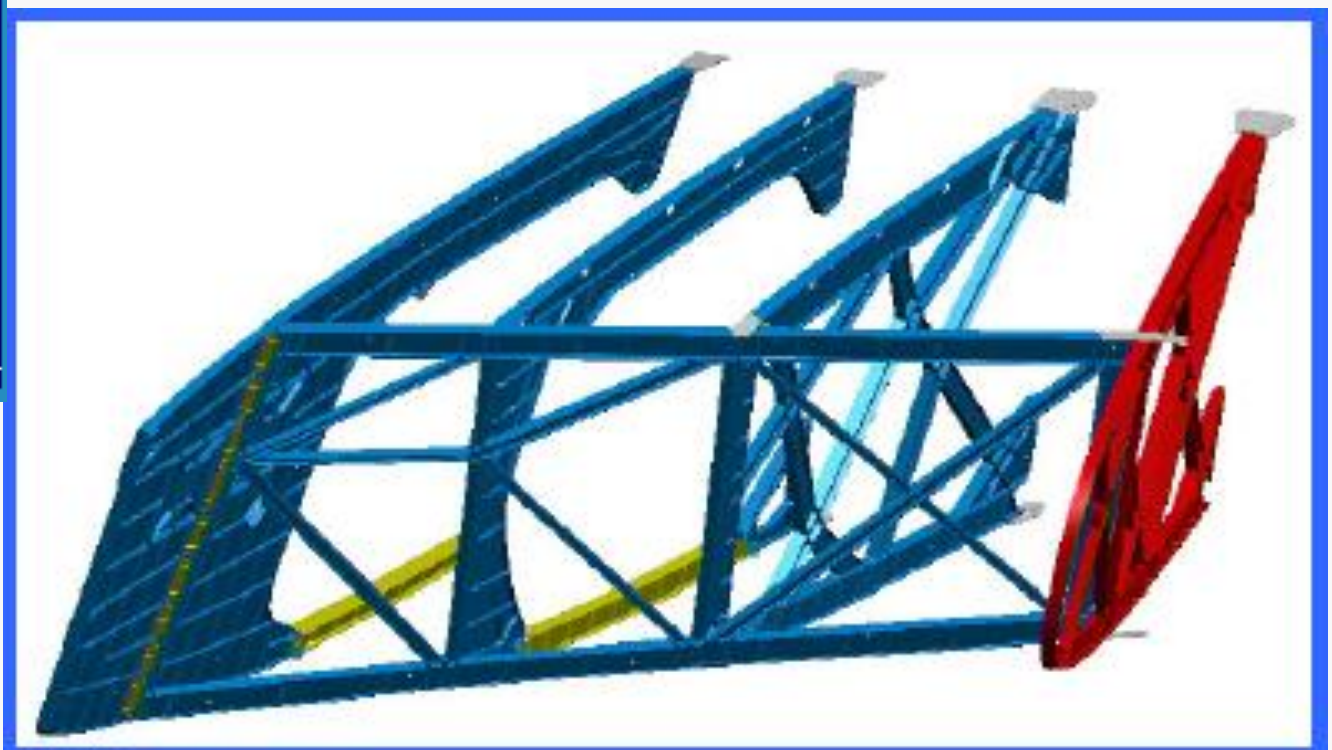
Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Model w systemie CAD



Ponowna Analiza MES

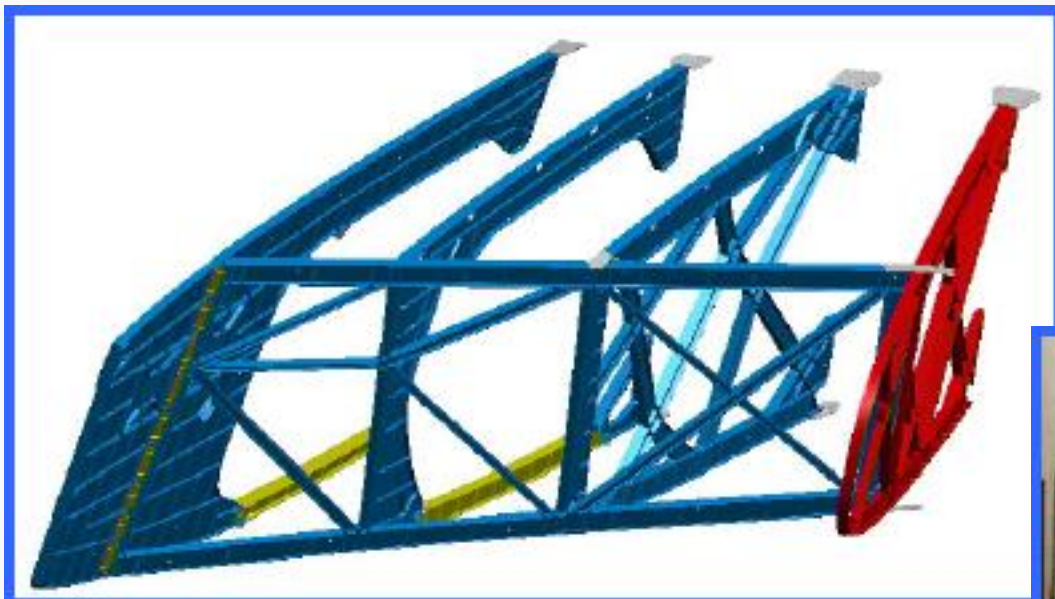




OMNIS

Przykłady – żebro w samolocie A-380

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Gotowy Wyrób

Model w systemie CAD

Gotowy Wyrób



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



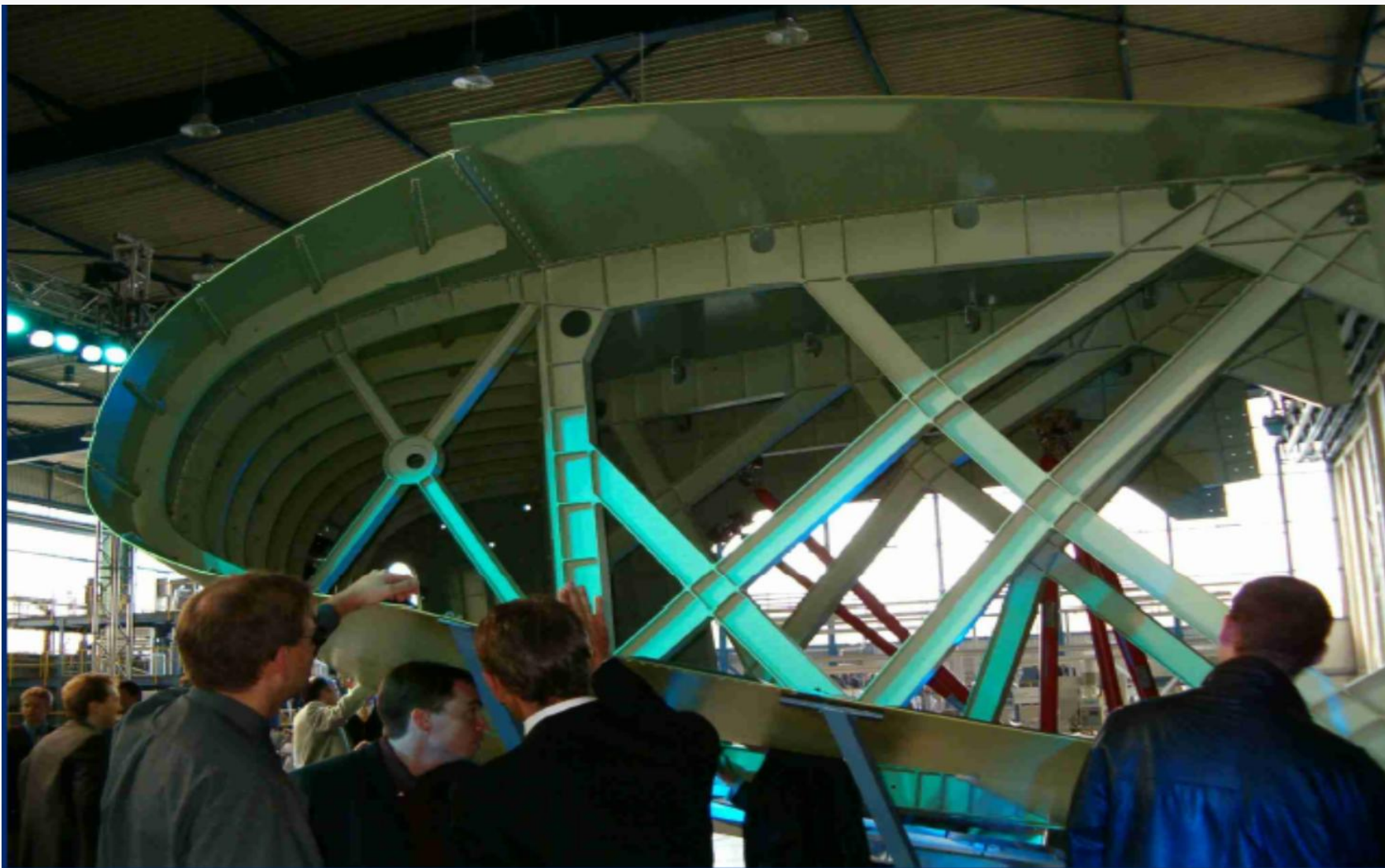
Politechnika Warszawska



OMNIS

Przykłady – żebro w samolocie A-380

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



*Produkt
Końcowy*



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



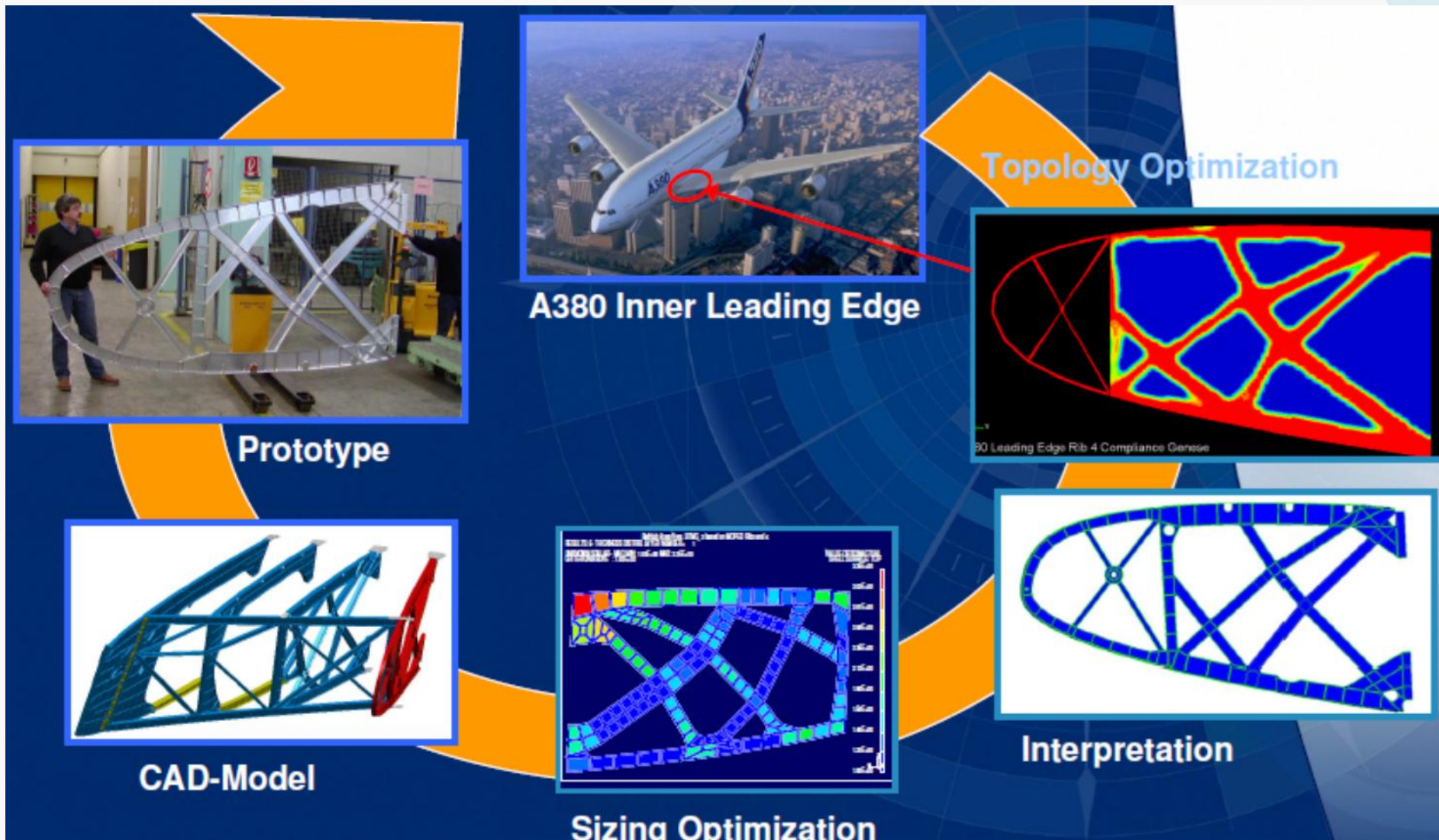
Politechnika Warszawska



OMNIS

Przykłady – cykl procesu optymalizacji (A380)

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita Polska

Dofinansowane przez Unię Europejską



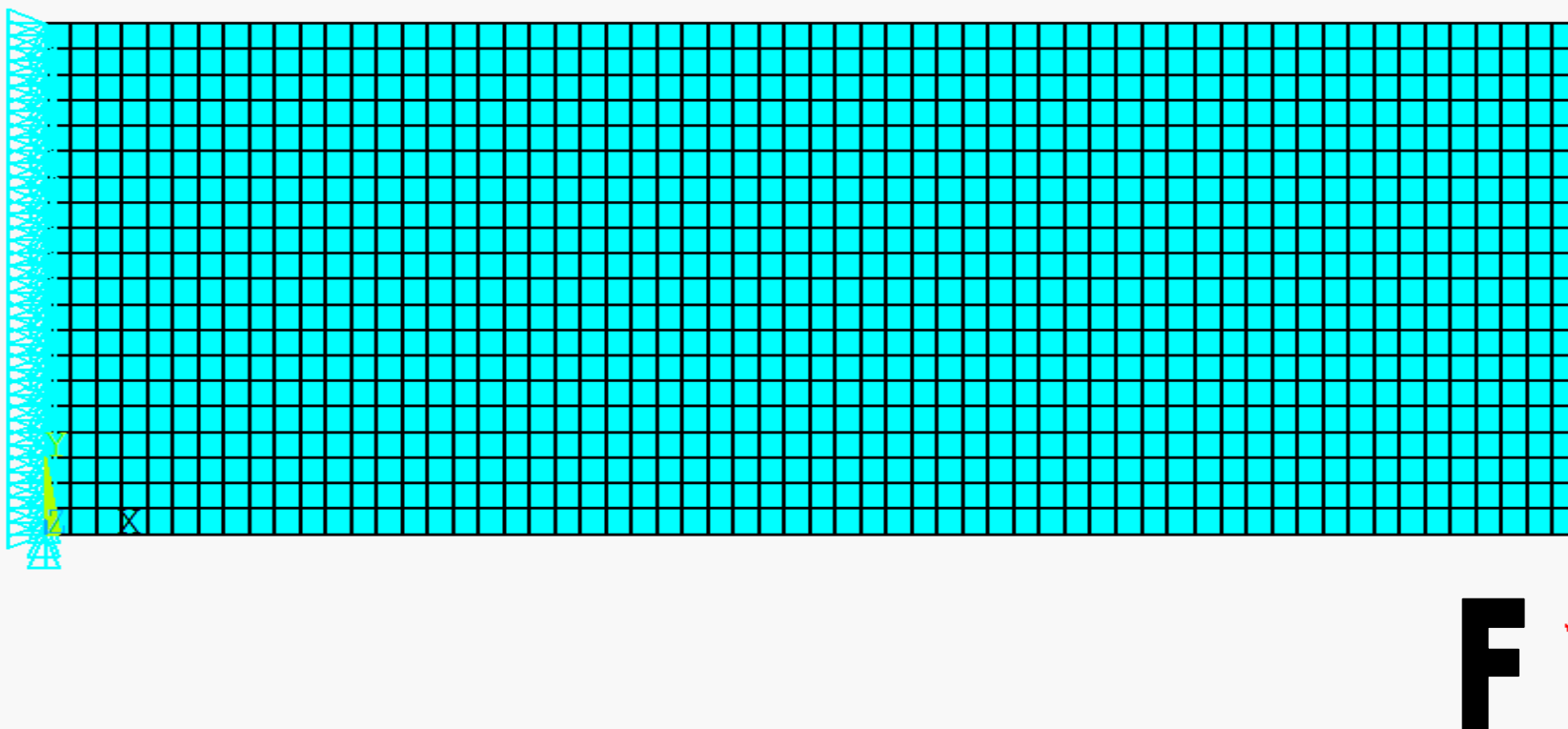
Politechnika Warszawska



OMNIS

ANSYS – budowa modelu

Zagadnienie 2-D, Belka wysięgnikowa, podparta jednostronnie, obciążona siłą skupioną na końcu.

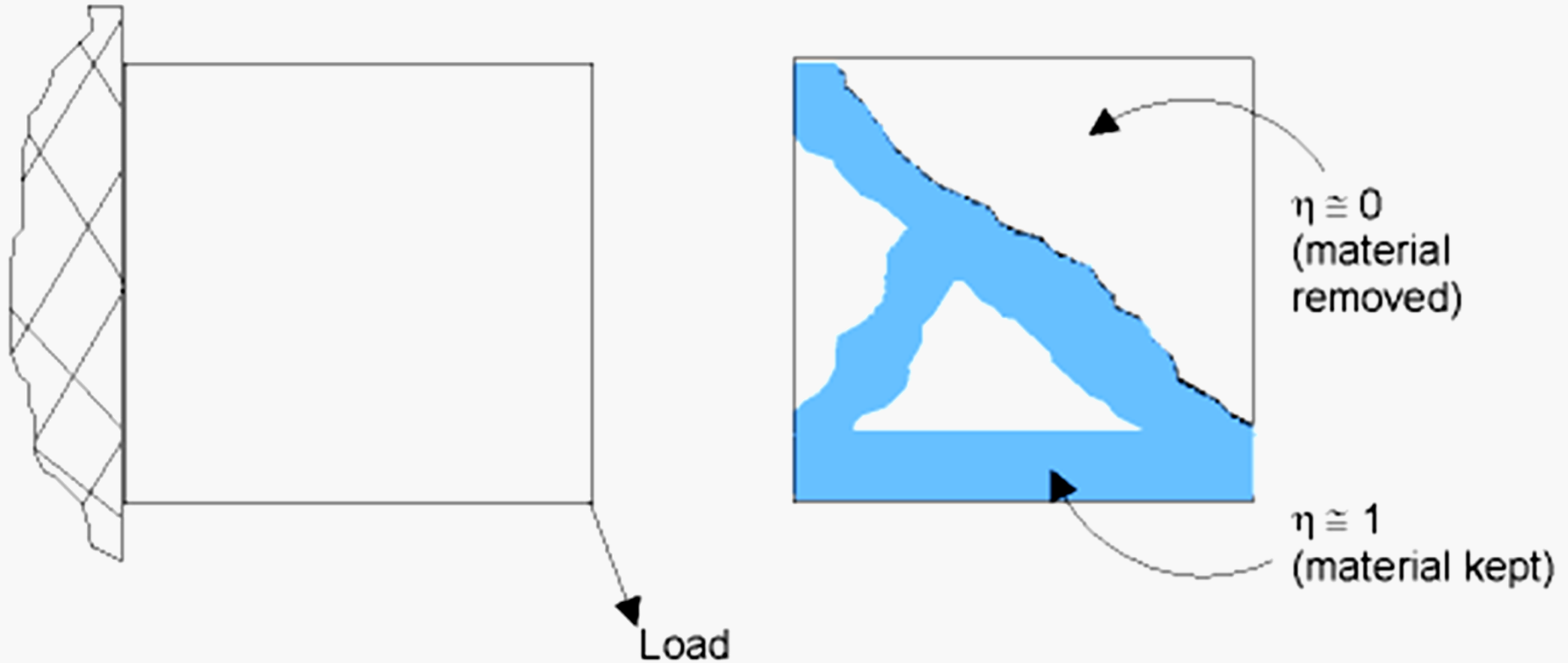




OMNIS

ANSYS – parametry obliczeń

- Warunek Brzegowy Analizy Topologicznej
- Stopień redukcji materiału 80%

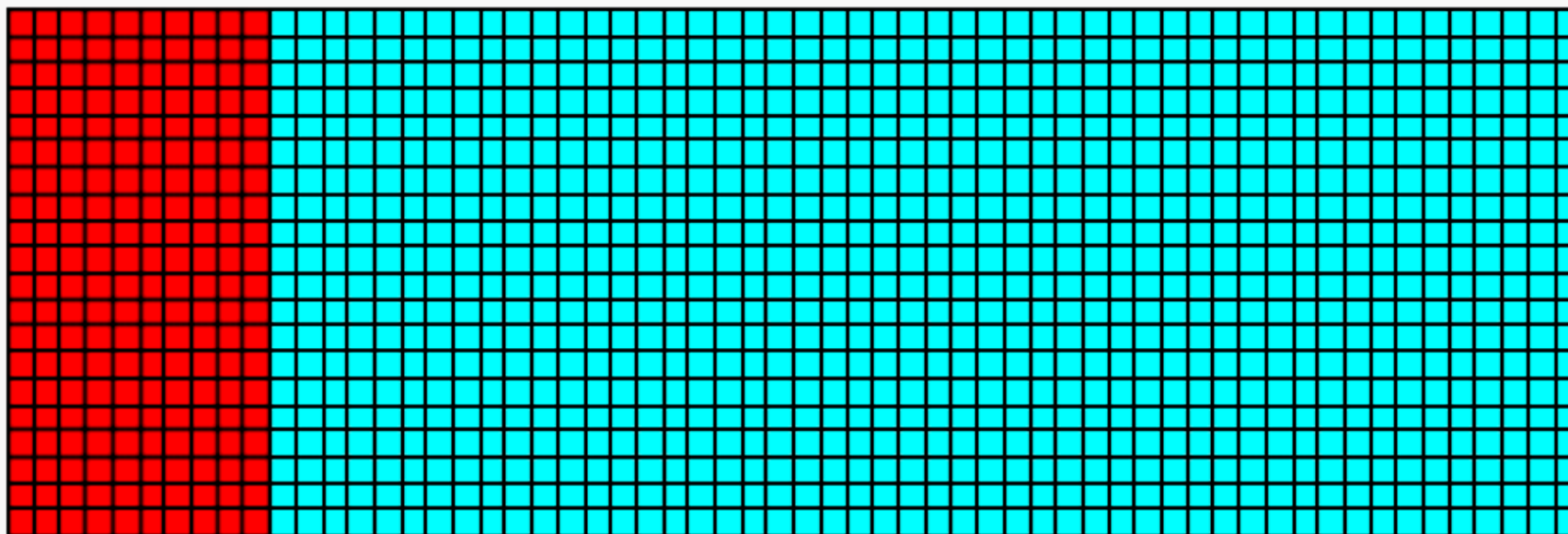




OMNIS

ANSYS – parametry obliczeń

Elementy podlegające analizie





OMNIS ANSYS – zapis APDL (Ansys Parametric Design Language)

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

TOVAR,MCOMP,OB	Definicja "MCOMP,, -minimalizacja masy (objętości) jako funkcja celu
TOVAR,VOLUME,CON,,80	Maksymalna redukcja objętości
TOTYPE,OC	Model rozwiązania
TODEF	Rozpoczęcie Obliczeń



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Warszawska



OMNIS

ANSYS – Przebieg obliczeń

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

```
1
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
TOPO      (AVG)
DMX =.217E-04
SMN =.100E-02
SMX =1
```

ANSYS

MAR 16 2011
14:44:17



A 2-D, multiple compliance minimization problem subjected to volume con

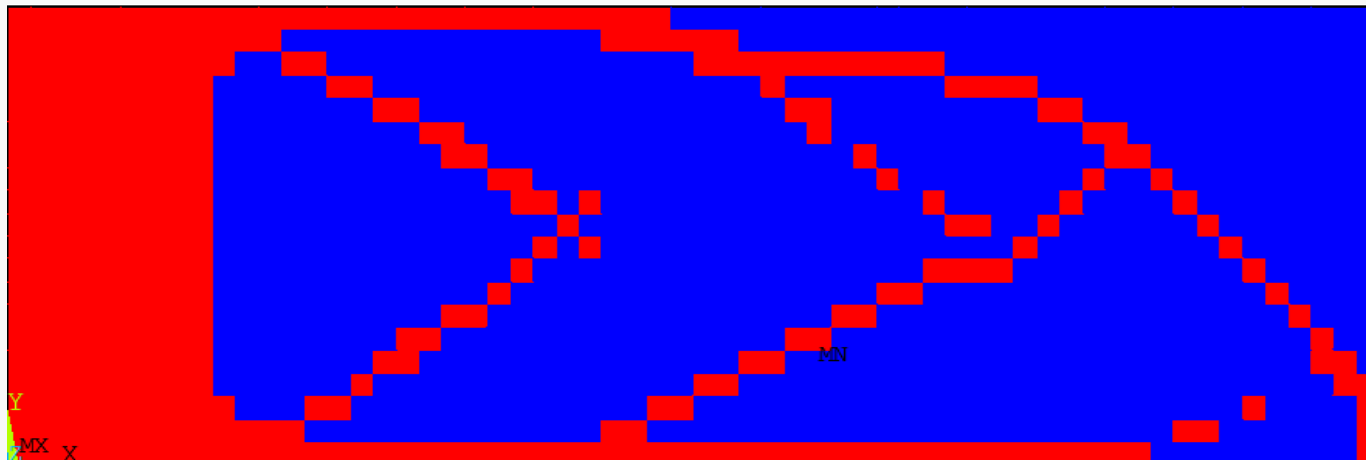




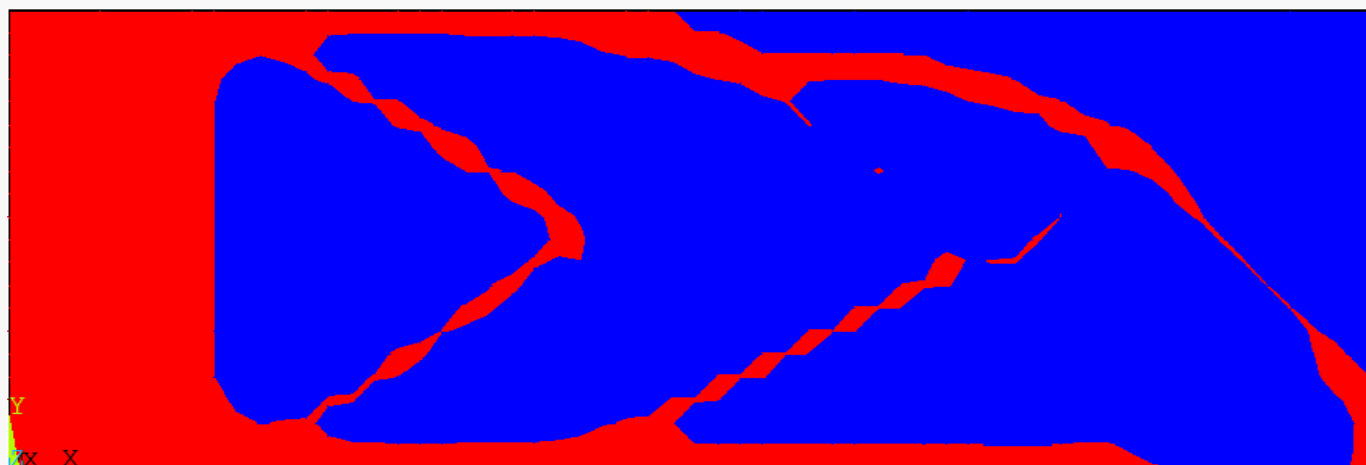
OMNIS

ANSYS – wyniki

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Elementy



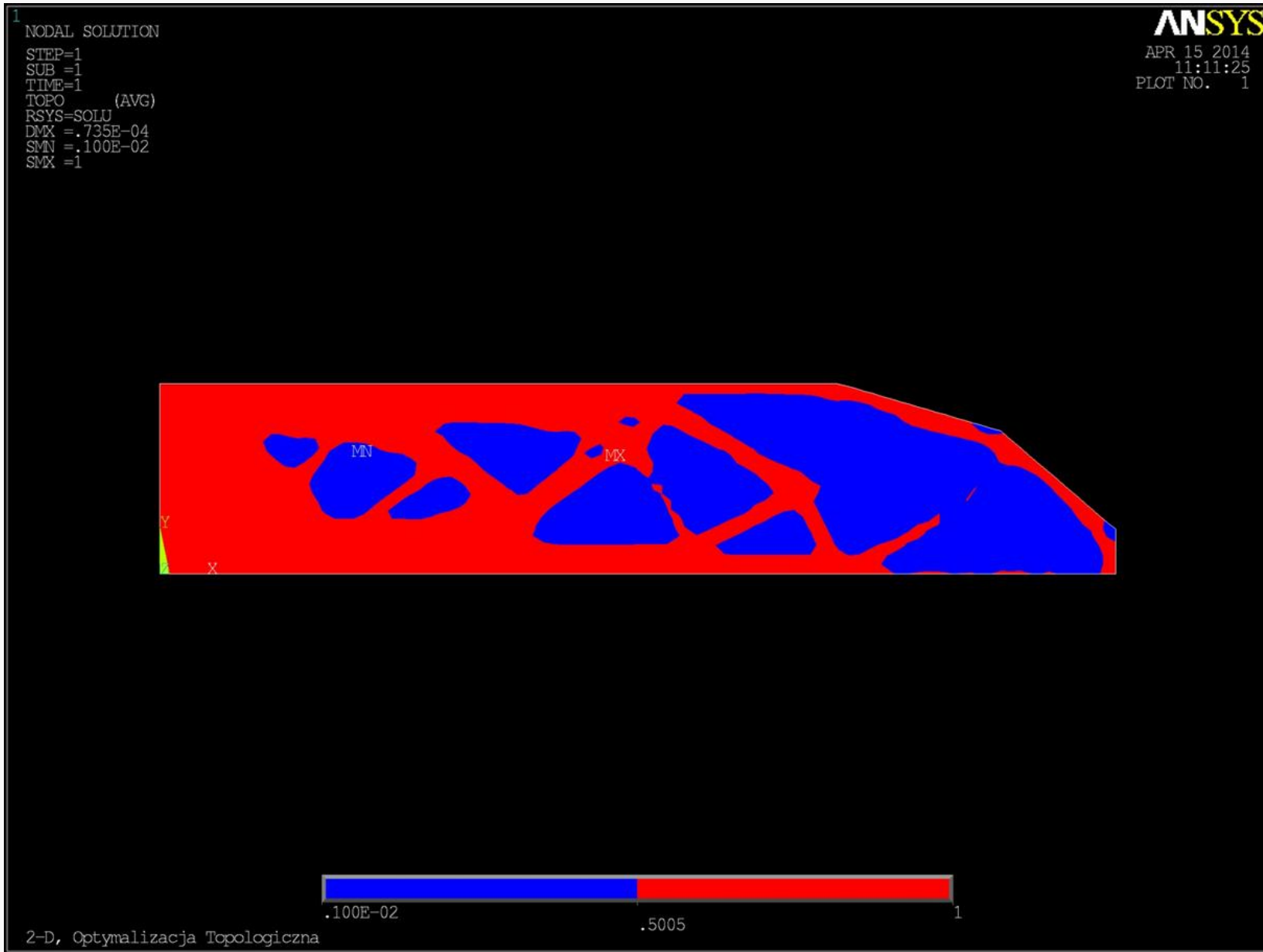
Węzły



OMNIS

ANSYS – wyniki

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



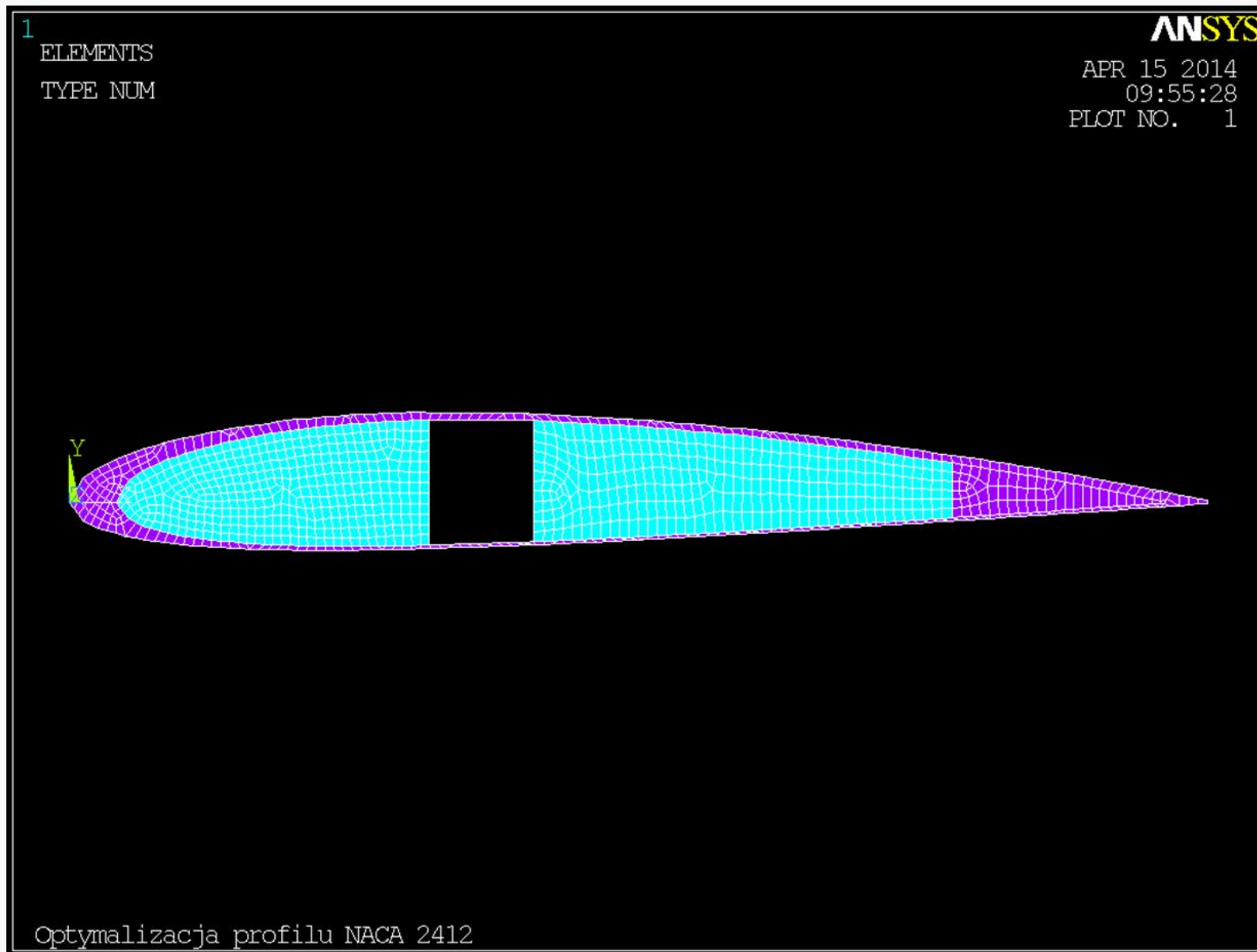
Politechnika Warszawska



OMNIS

Przykłady – przekrój skrzydła

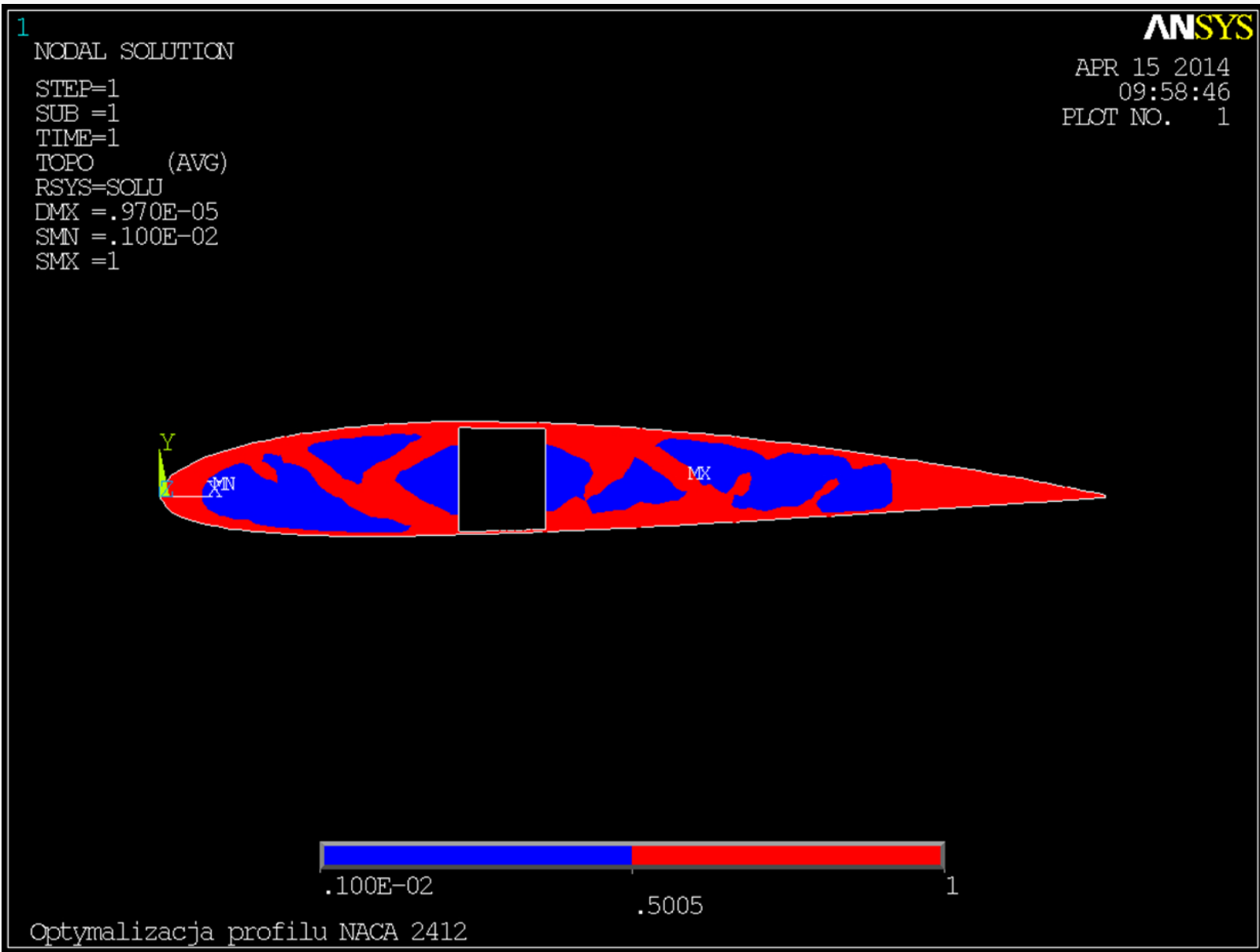
Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Politechnika Warszawska



Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

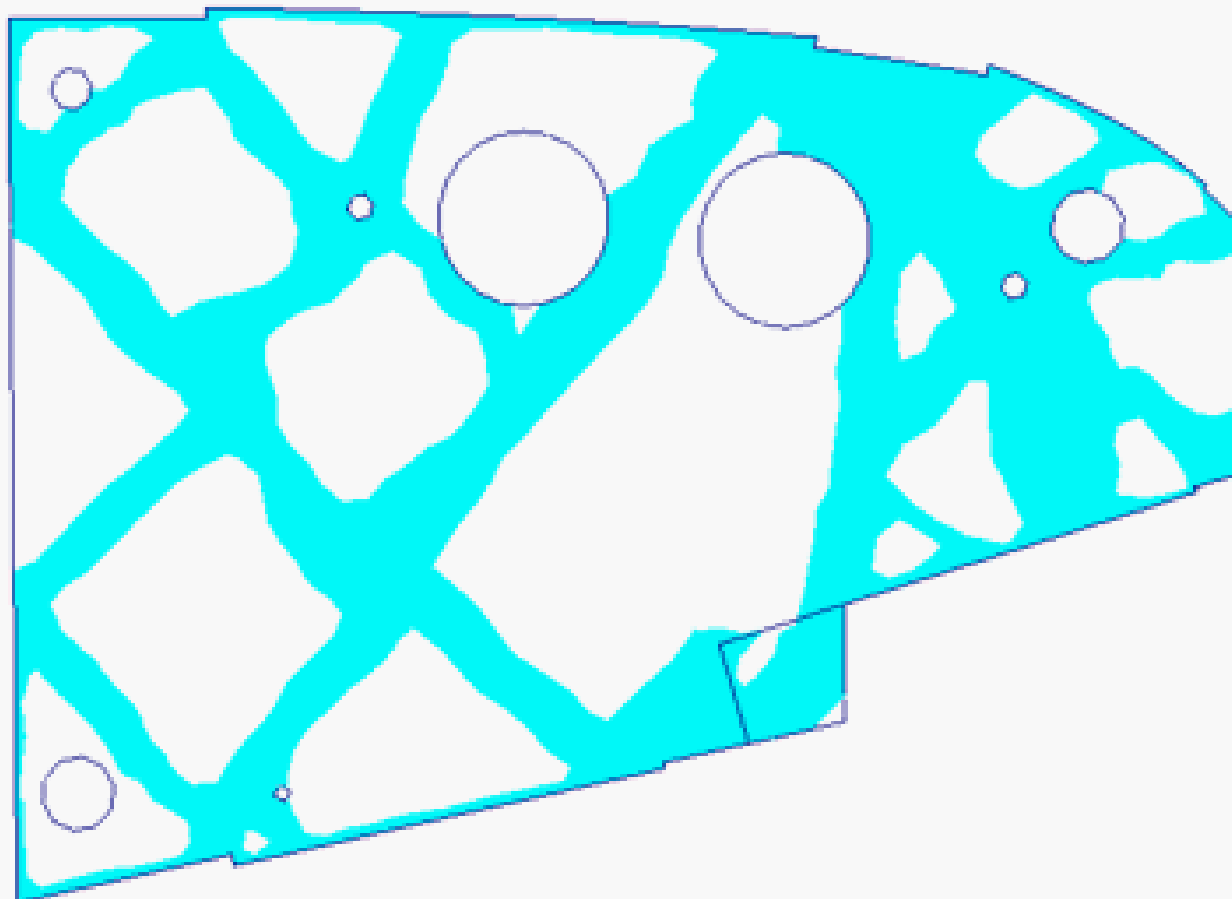




OMNIS

Przykłady – żebro A-380

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Warszawska



OMNIS

Metoda PSO – podsumowanie

Bardzo rzadko – właściwie tylko w specyficznych sytuacjach – możliwe jest zaprojektowanie elementu bezpośrednio opierając się na efekcie optymalizacji topologicznej. W praktyce stanowi ona jedynie sugestię pożądanego kształtu, która następnie skonfrontowana musi zostać z możliwościami technologicznymi i szeregiem innych ograniczeń. Zazwyczaj największym z nich jest możliwy do zaakceptowania koszt danej części, wzrastający wraz ze stopniem jej komplikacji.





OMNIS

Metoda topologiczna - podsumowanie

Optymalizacja topologiczna to drogowskaz, a nie gotowa dokumentacja techniczna. Proces projektowania wygląda tak:

1. Optymalizacja (sugestia kształtu).
2. Interpretacja CAD (stworzenie wykonalnej geometrii).
3. Weryfikacja MES (symulacja czy to wciąż działa).
4. Dostosowanie do procesu produkcji (np. druk 3D).

Dopiero ten cykl pozwala stworzyć element lekki, wytrzymały i możliwy do wyprodukowania w rozsądnej cenie.





OMNIS Optymalizacja w inżynierii lotniczej i kosmicznej

Otwartość. Modernizacja. Nowoczesność. Integracja. Społeczność.

Dziękuję za uwagę