

Pomiar wielkości mechanicznych jako narzędzie zwiększające efektywność symulacji komputerowej.

Przemysław SIEDLACZEK - MESCO

Maciej ZAJĄCZKOWSKI - HBM

MESCO

Innowacyjność i doświadczenie

nCode 

Eliminating the Unexpected


HBM

Elektryczny pomiar
wielkości mechanicznych

Streszczenie:

WSTĘP:

Projektowanie z uwzględnieniem metod numerycznych stanowi silnie widoczny trend w nowoczesnej inżynierii. Modelowanie zjawisk metodami MES czy MOS jest dostępne w omal dla każdego użytkownika systemów CAD poprzez dodatkowe lub zintegrowane narzędzia. Dzięki nim wprawny inżynier jest w stanie określić z dużą dokładnością stan naprężeń dla prostych układów statycznych w zakresie sprężystym. Sytuacja znacznie komplikuje się jeśli układ pracuje w zakresie nieproporcjonalności materiałowej, doznaje wymuszeń dynamicznych lub wymaga oszacowania trwałości w obecności cyklicznie zmiennych stanów naprężeń i temperatur.

W obecności niewiedzy o obciążeniu inżynierska intuicja nakazuje stosowanie "dużych" wskaźników bezpieczeństwa co z kolei prowadzi do podniesienia kosztów produkcji.

Z drugiej strony stoją metody empiryczne. Dzięki pomiarom tensometrycznym możliwe jest wyznaczenie naprężeń w kluczowych punktach konstrukcji i prognozowanie o ich trwałości. Porównanie kolekcji przebiegów przyspieszeń pozwala wnioskować o błędach konstrukcyjnych lub określić moment uszkodzenia ze znaczną dokładnością. Mimo, że dobrze zaplanowane badanie prototypów daje najwięcej informacji o zachowaniu i pracy maszyny jest to najdroższa z dróg projektowania.

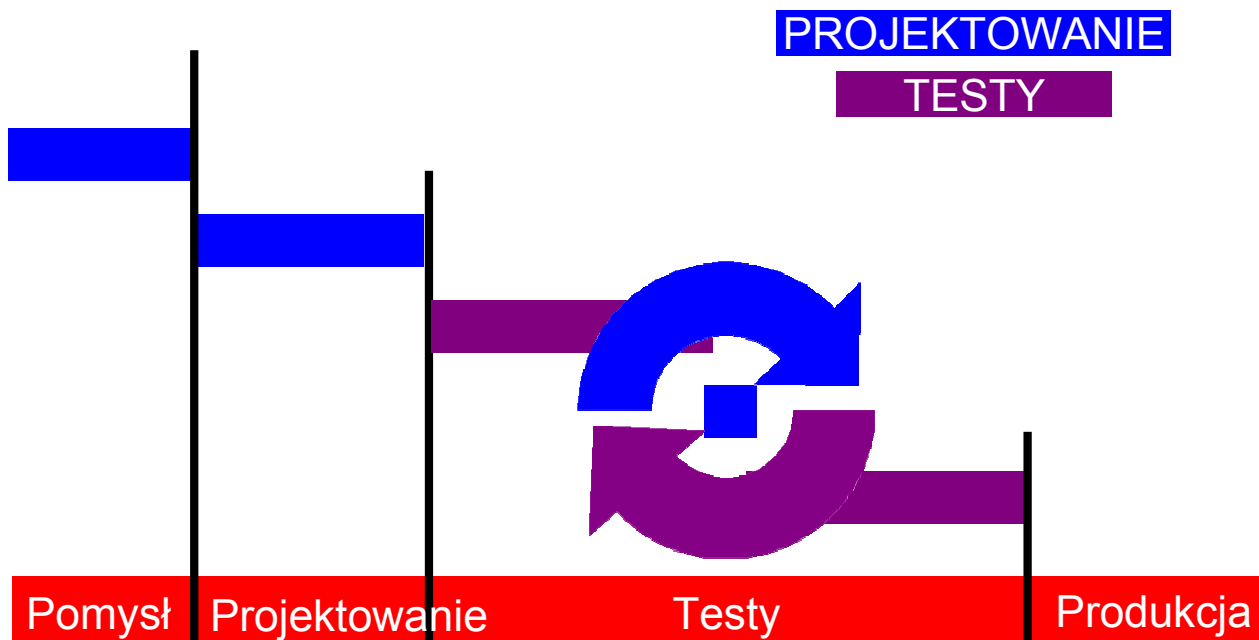
W dobie trudnej sytuacji rynku zyskuje uzasadnienie wykorzystanie obu dróg projektowych. Połączenie wiedzy uzyskanej z testów fizycznych i symulacji stanowi drogę do szybkiej nauki i świadomego projektowania, a przez to osiągnięcie ciągłego zrównoważonego zysku.

Agenda

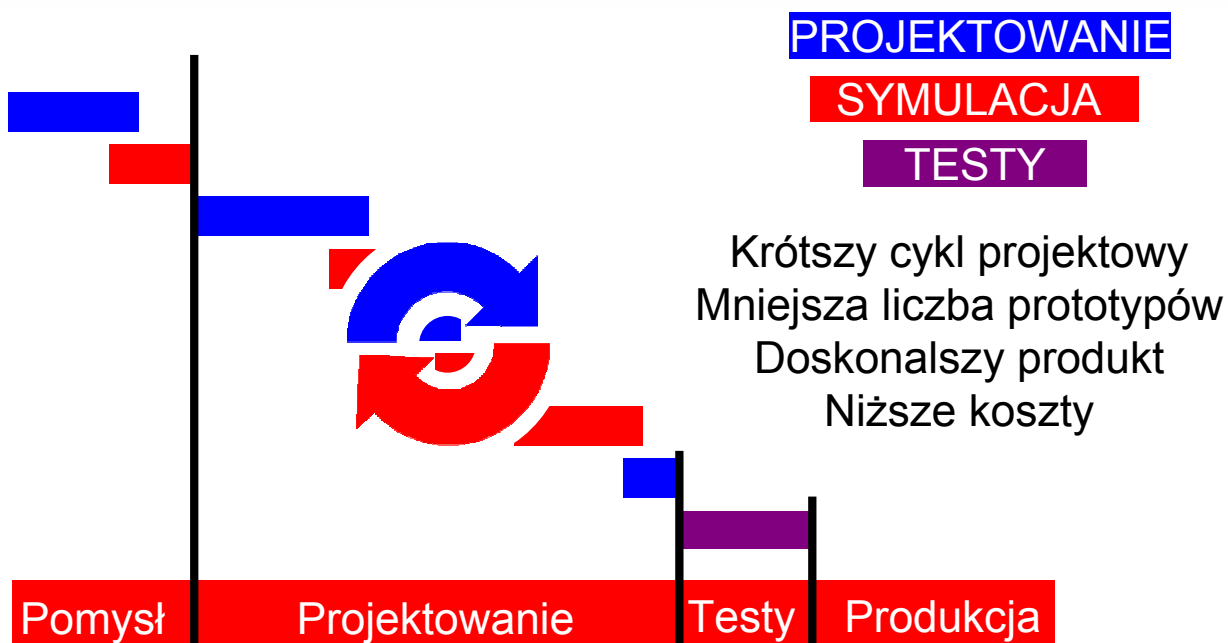
- Metody projektowania
- Uzasadnienie potrzeby testów i symulacji
- Pomiar wielkości mechanicznych
- Symulacja zjawisk mechanicznych
- Wspomaganie testów i symulacji
- Wnioski i dyskusja

Metody projektowania

Tradycyjny proces wdrożeniowy

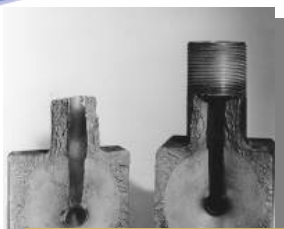


Proces wdrożeniowy przy wykorzystaniu systemu MES



Uzasadnienie potrzeby testów i symulacji

Zbyt wiele awarii jest spowodowanych przez zmęczenie materiałów



Badania instytutu Battelle 1982r

- “... około 80 - 90% wszystkich uszkodzeń konstrukcji jest spowodowane przez mechanizm zmęczenia materiałów ...”
- “...szacunkowy roczny koszt powodowany przez zmęczenie materiałów i pękanie w stanach zjednoczonych to 4.4 % PKB...”

Uszkodzenie zmęczeniowe: koszt ekonomiczny i cena życia

Rękojeść



Pociąg ICE
uszkodzenie koła:
101 ofiar

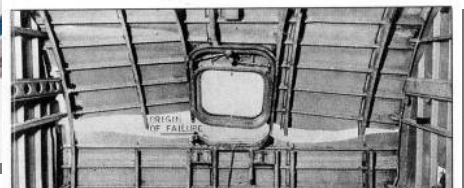
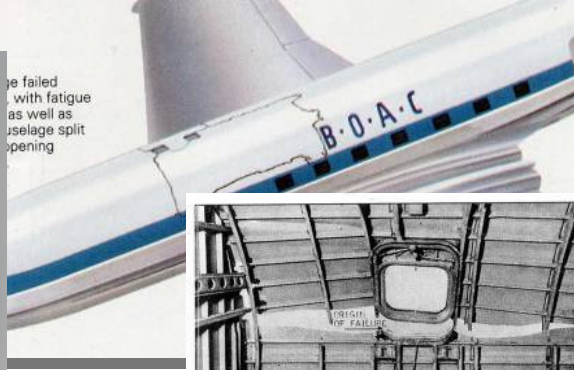


Zawieszenie

(z samochodu menadżera!)



...e failed
... with fatigue
... as well as
... uselage split
... opening



Zmęczenie w łuku
samolotu „Comet”:
56 ofiar

Jaki jest zysk z zastosowania symulacji?

- ⌘ **Dobór odpowiedniego materiału**
- ⌘ **Lepsze zrozumienie pracy konstrukcji**
 - ⌘ Mniejsza liczba prototypów
 - ⌘ Świadomie dobrane testy
 - ⌘ Dostęp do miejsc gdzie nie można stosować pomiarów
- ⌘ **Zmniejszenie kosztów**
 - ⌘ Skrócenie fazy projektowania
 - ⌘ Optymalizacja kształtu



Jaki jest zysk z testów fizycznych?

- ⌘ **Pewność**
- ⌘ **Potwierdzenie symulacji**
 - ⌘ Test umożliwia poprawę modelu
- ⌘ **Informację**
 - ⌘ o rzeczywistych warunkach pracy
 - ⌘ zdarzeniach losowych
 - ⌘ dane wejściowe do dalszej symulacji i optymalizacji

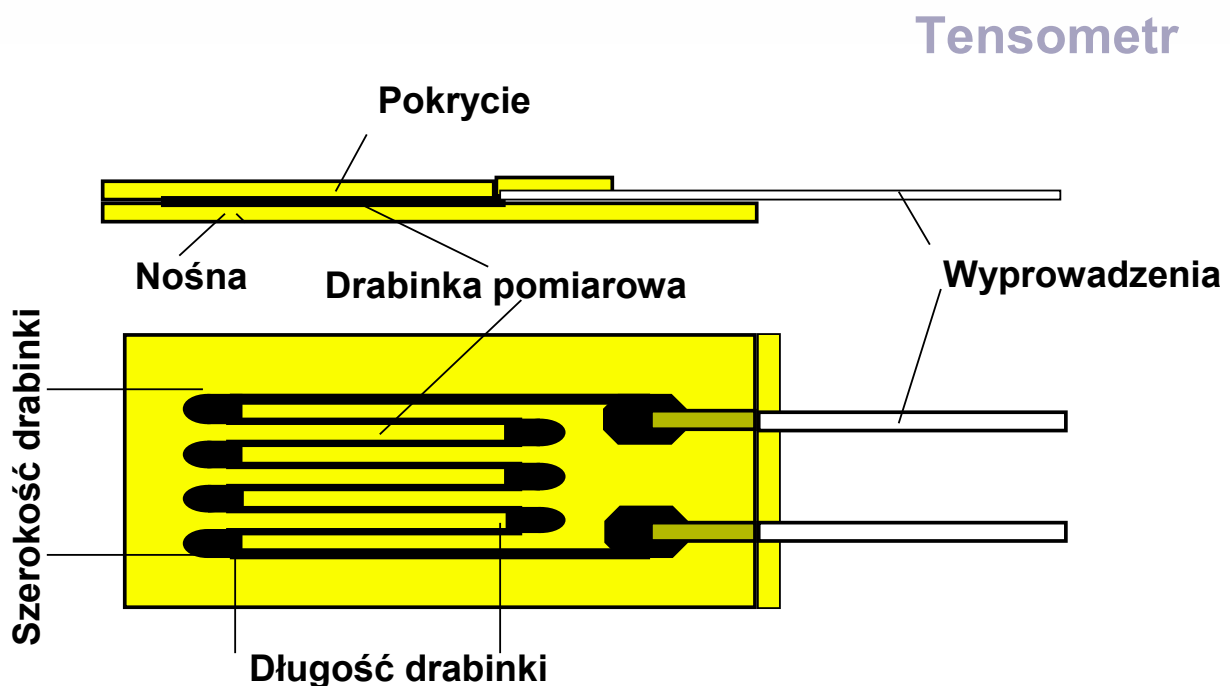
Pomiar wielkości mechanicznych

Pomiar wielkości mechanicznych

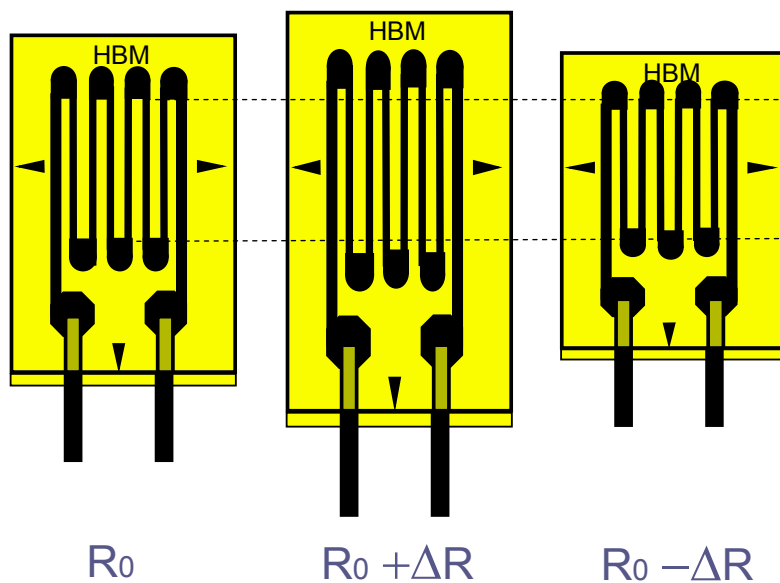
Pomiar wielkości mechanicznych istotną bazą trzech ważnych obszarów działalności inżynierskiej :

- projektowania nowych konstrukcji;
- weryfikacji poziomu fizycznych parametrów projektowanego elementu (np. badanie prototypu);
- Monitoringu wielkości mechanicznych na eksploatowanym obiekcie.

Projektowanie, weryfikacja, monitoring



Projektowanie, weryfikacja, monitoring



Projektowanie, weryfikacja, monitoring

Typowe komponenty
tensometrycznych
łańcuchów pomiarowych

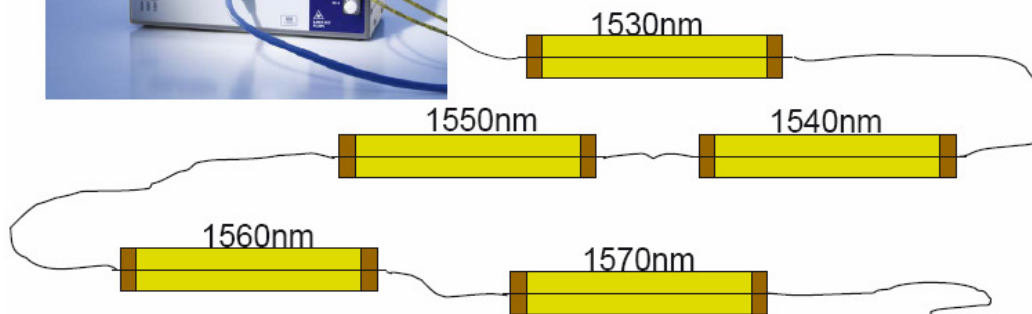


Przykład aplikacji - projektowanie



Pomiar naprężeń własnych metodą wierconego otworka

Projektowanie, weryfikacja, monitoring



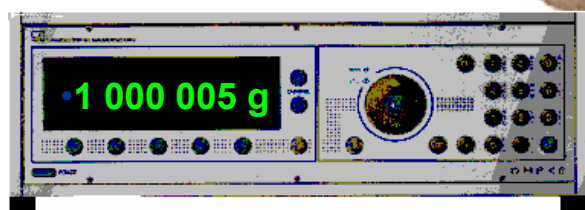
Tensometria optyczna jako alternatywa dla klasycznej metody pomiaru naprężeń

Projektowanie, weryfikacja, monitoring

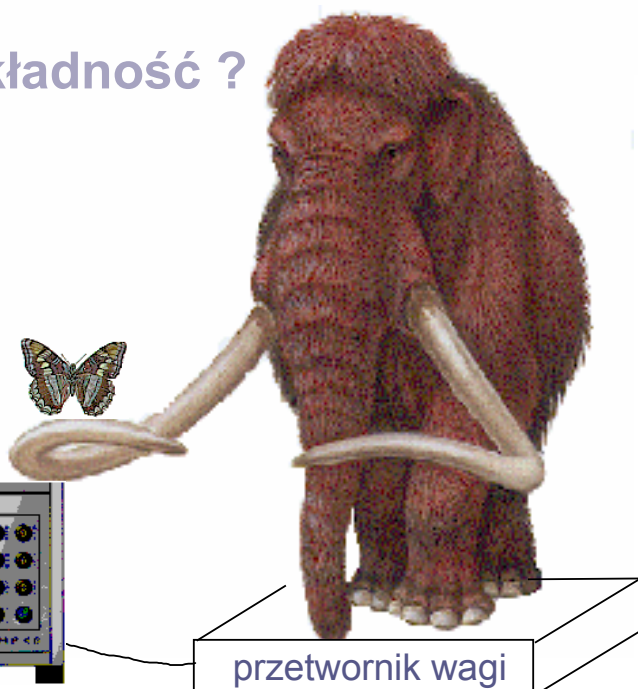
Jaka jest możliwa dokładność ?

Mamut = 1 t

Motylek = 5 g



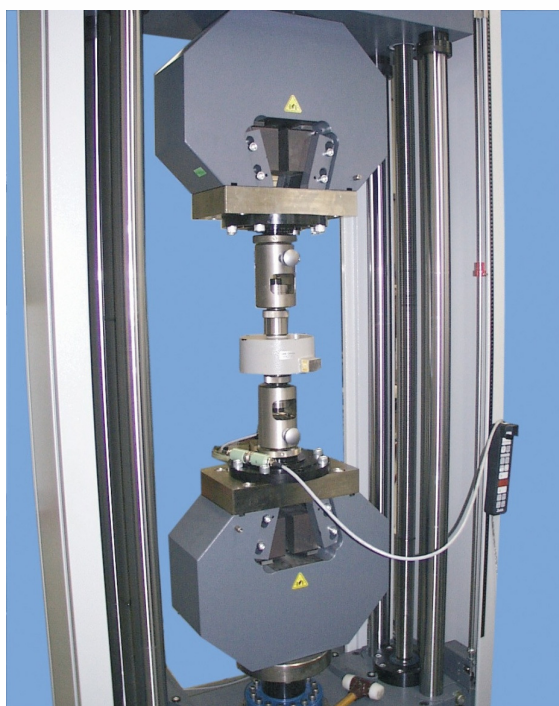
Wzmacniacz DMP40



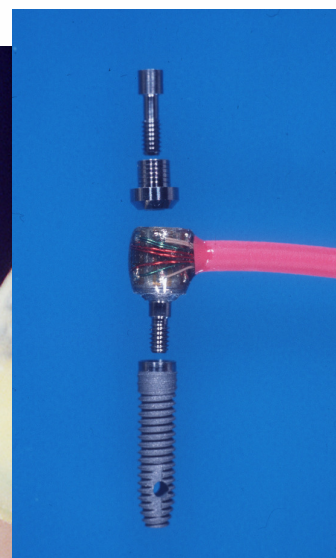
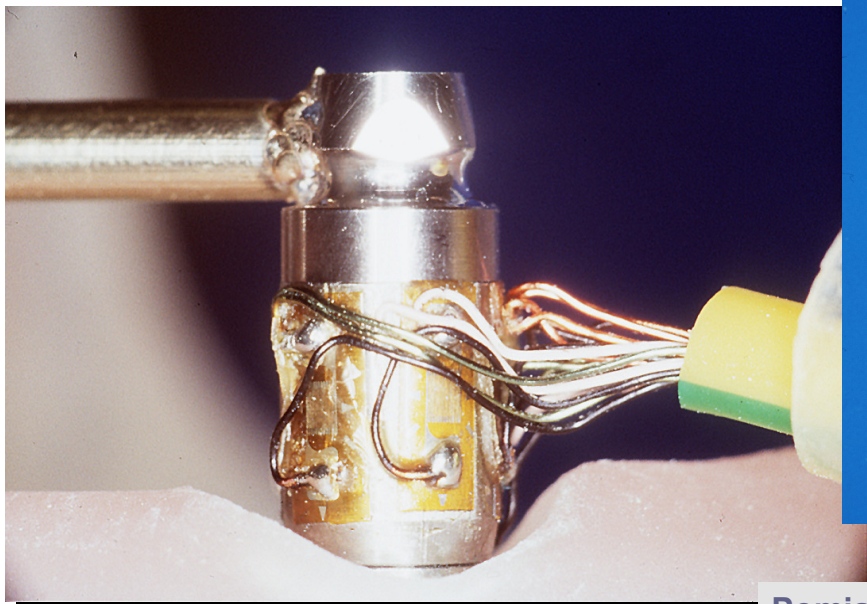
przetwornik wagi

Przykład aplikacji - projektowanie

Badanie wytrzymałości
materiału na ścisnienie
i rozciąganie



Przykład aplikacji - projektowanie



Pomiar siły na implancie
zęba w szczęce

Przykład aplikacji - weryfikacja



Instalacja implantu zęba
w szczęce



kalibracja
“przetwornika siły”

Przykład aplikacji - weryfikacja



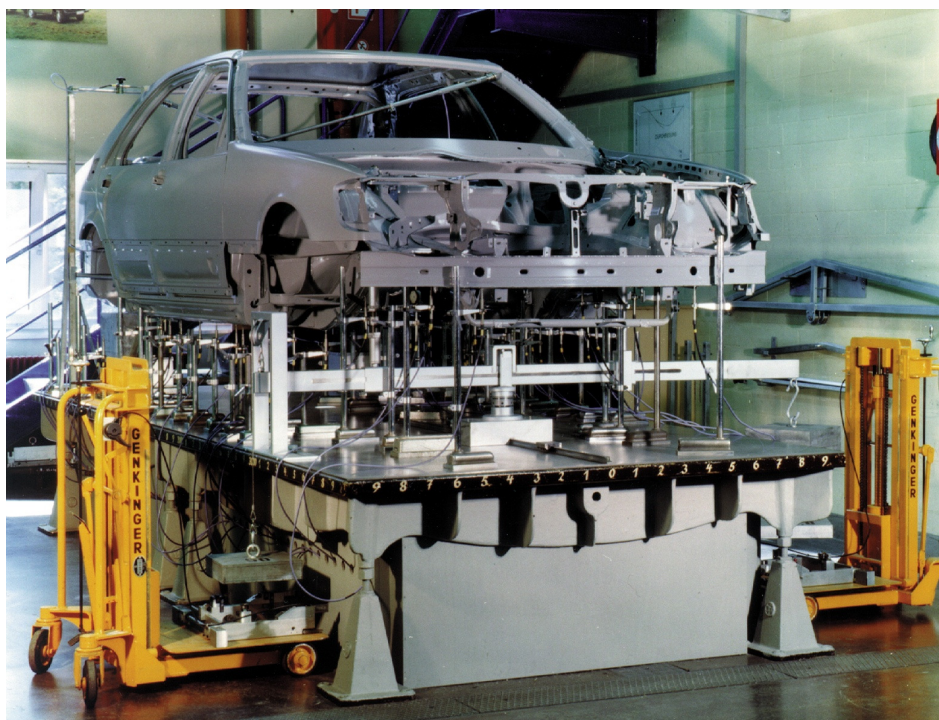
Pomiar siły, ciśnienia
i przemieszczenia



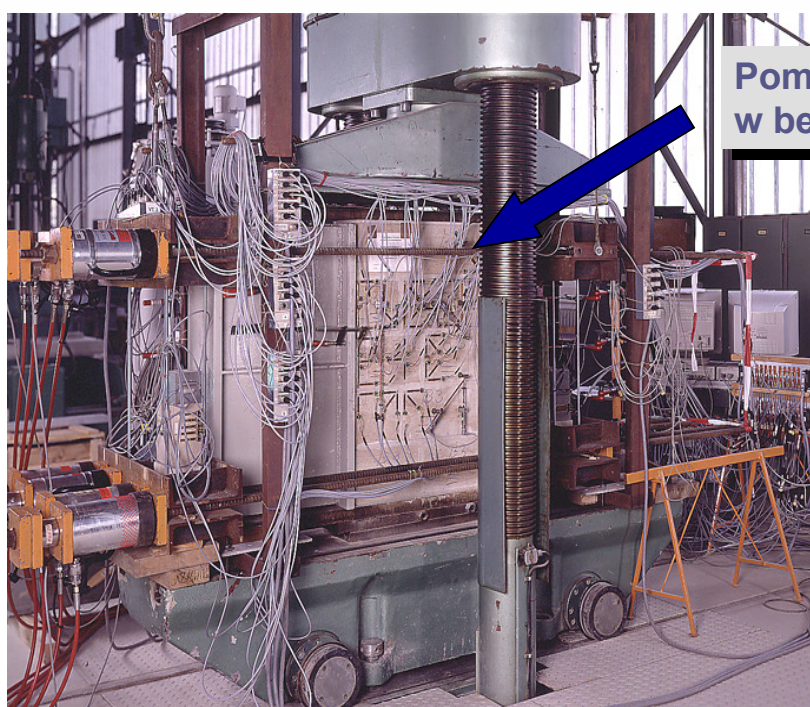
Przykład aplikacji - weryfikacja



Przykład aplikacji - weryfikacja



Przykład aplikacji - weryfikacja



Pomiar naprężeń
w betonie

Przykład aplikacji - weryfikacja



Tor testowy pociągu unoszonego magnetycznie



Przykład aplikacji - weryfikacja



Pomiar naprężeń w elementach konstrukcji statku ARIANE 5

Technologie kosmiczne



Przykład aplikacji - monitoring



Instalacja tensometrów
na moście (Kolonia)

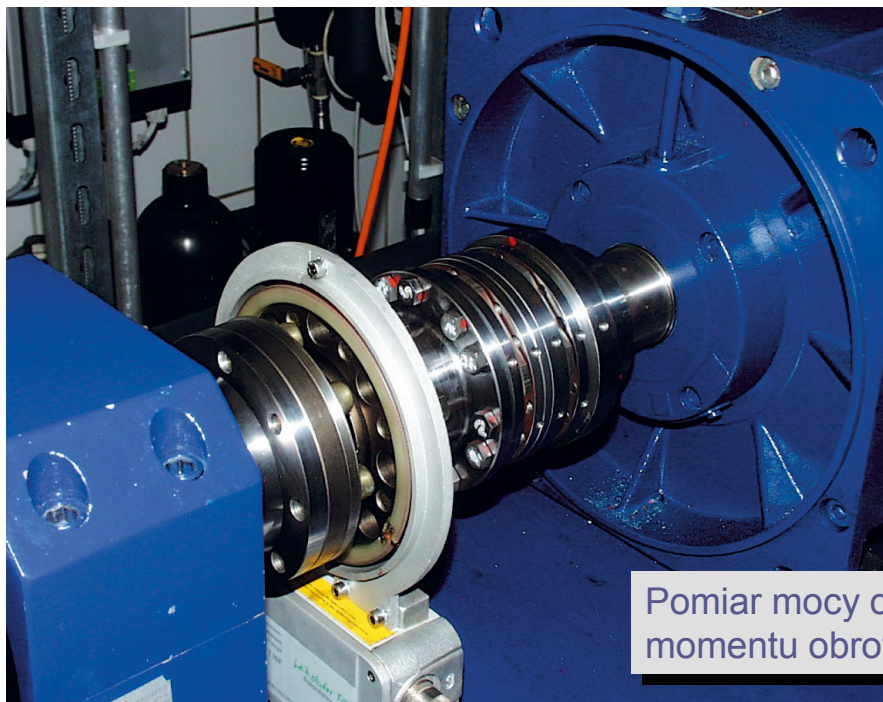
Przykład aplikacji - monitoring



Tensometry na torach



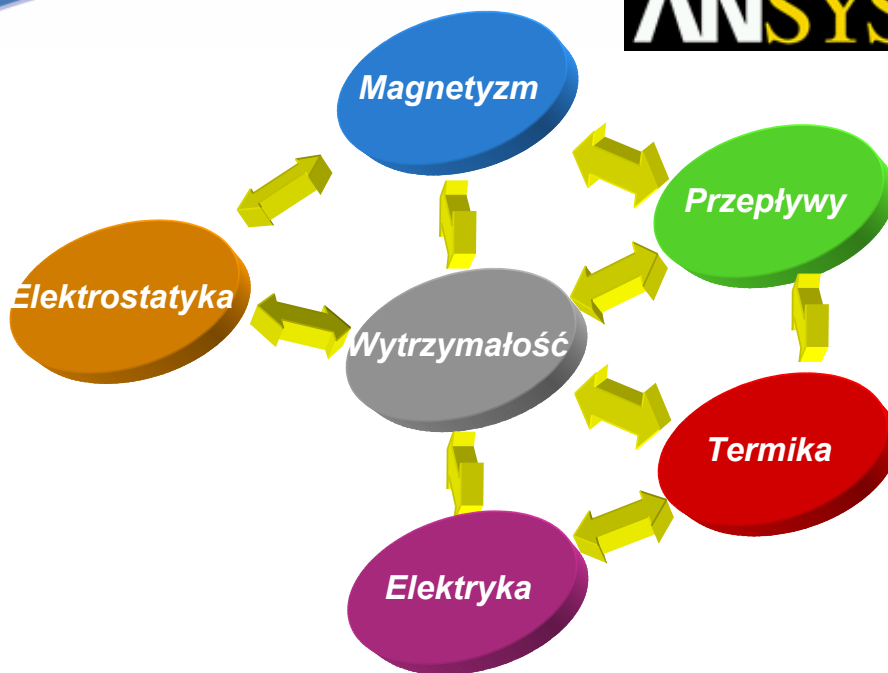
Przykład aplikacji - monitoring



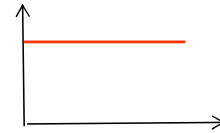
Pomiar mocy oraz
momentu obrotowego

Symulacja trwałości urządzeń mechanicznych

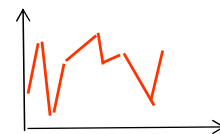
MES daje możliwość symulacji dowolnego zjawiska



Stany ustalone

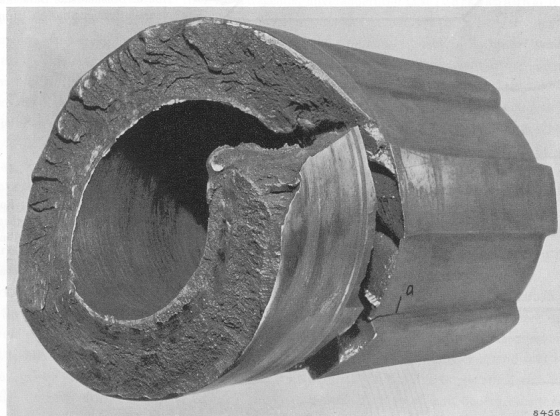


Stany przejściowe

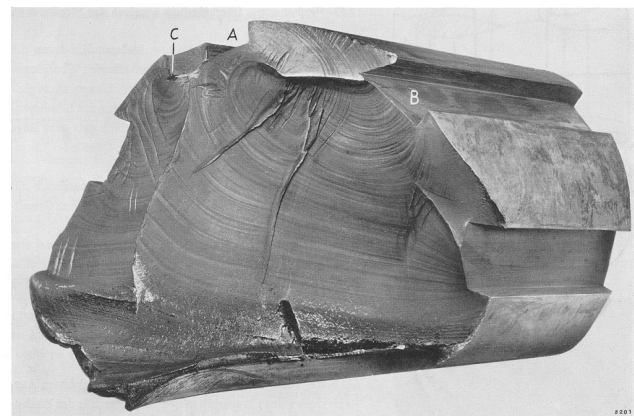


Wiele zjawisk zachodzi po długim czasie

- Efekt obciążenia



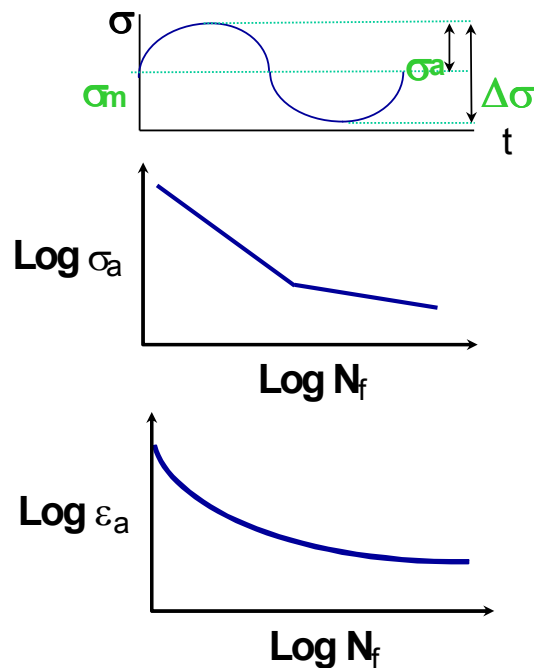
Stacyjnego przeciążenia



Wysokocyklowego zmęczenia

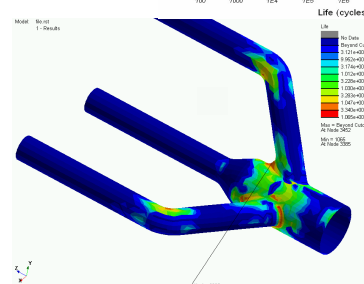
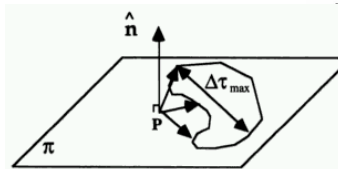
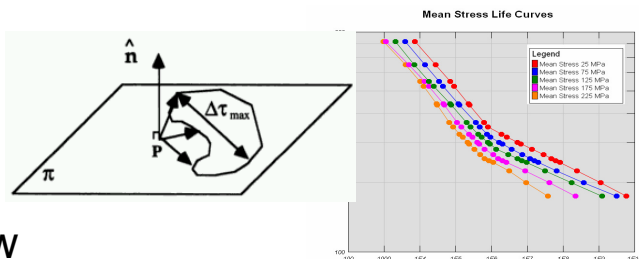
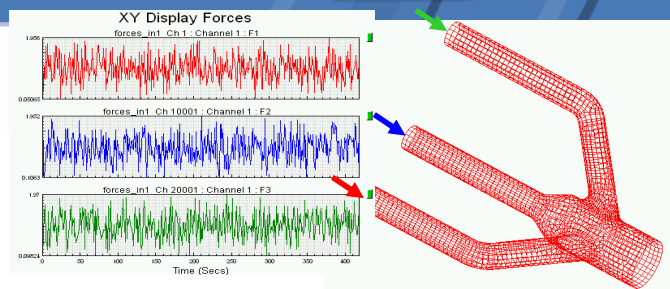
Zmęczenie

- Dla analizy zjawiska wymagane są specjalne metody postprocessingu.
- Analiza proporcjonalna wg:
 - Nominalnych naprężeń $\sigma - N$
 - Odkształcenia lokalnego $\varepsilon - N$
 - Energii odkształcenia W-N
- Korekcje danych materiałowych
 - naprężenia średnie
 - stan powierzchni
 - wielkość przedmiotu
 - zmianę temperatury
 - naprężenia własne
 - inne



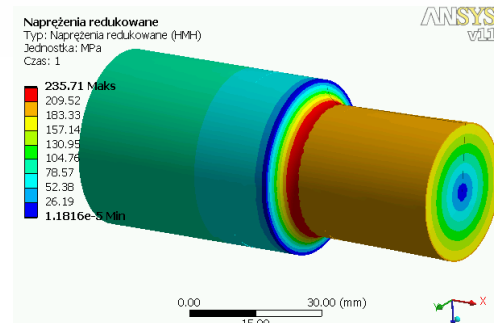
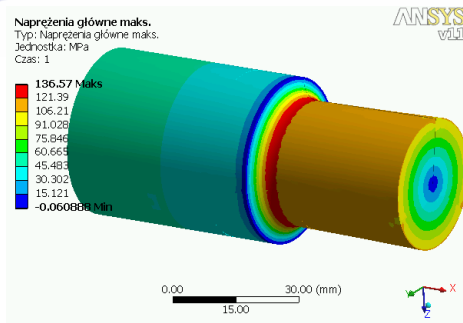
Analiza zmęczeniowa pod złożonym działaniem obciążenia

- W przypadku gdy działa wiele nieskorelowanych sił analiza musi uwzględniać nieproporcjonalność obciążenia
- Wskaźniki wieloosiowości stanu naprężenia
- Poszukiwanie zniszczeń w płaszczyźnie krytycznej

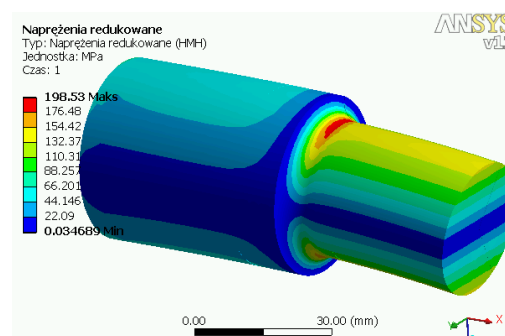
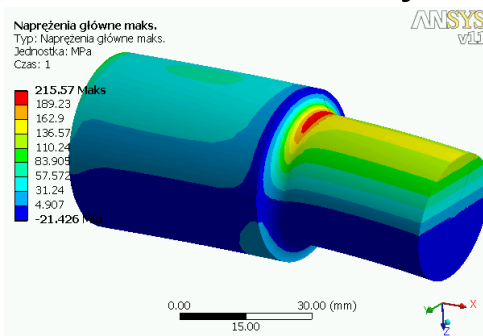


Przykład - dwa obciążenia o różnej korelacji

$M_x = 573.12 \text{ N}\cdot\text{m}$

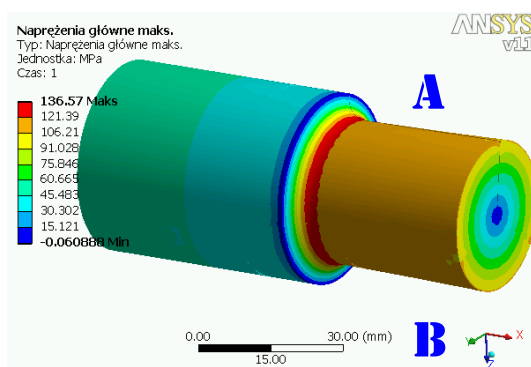


$M_y = 370.39 \text{ N}\cdot\text{m}$

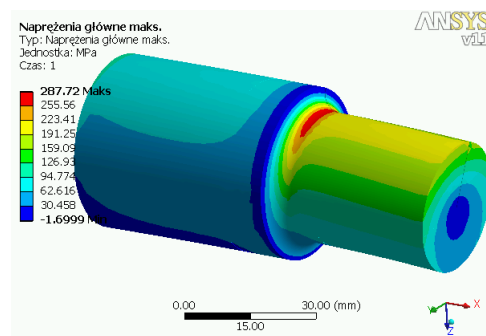
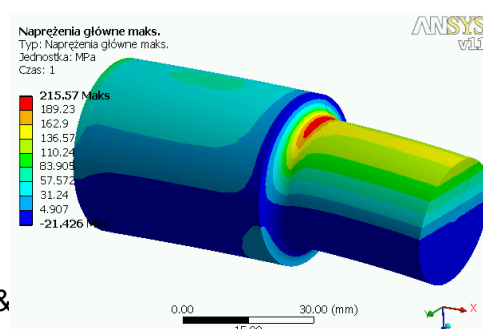


Przykład - dwa obciążenia o różnej korelacji

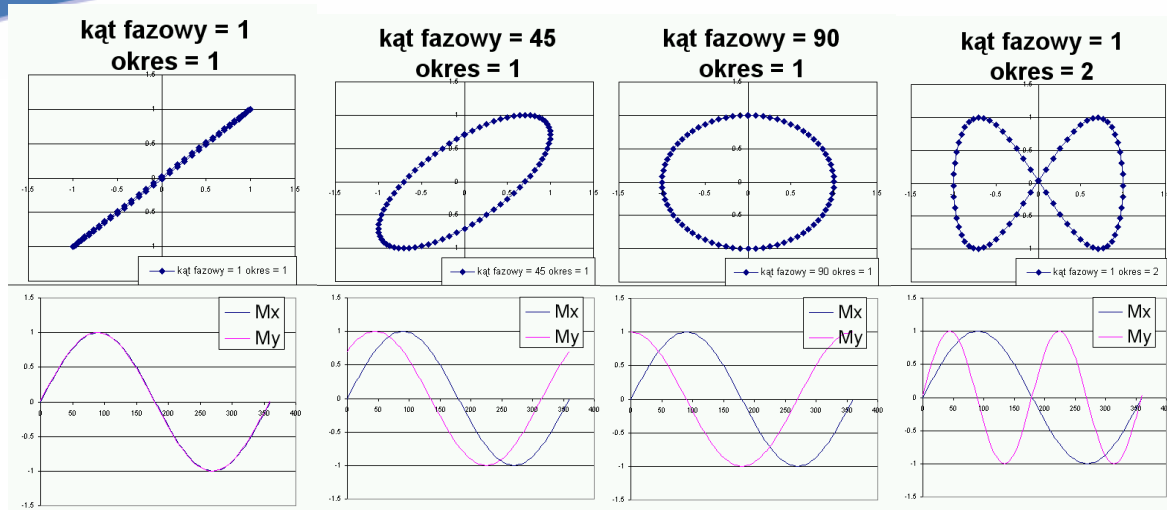
- Kombinacja obciążeń



$$S(t) = A(t) + B(t)$$



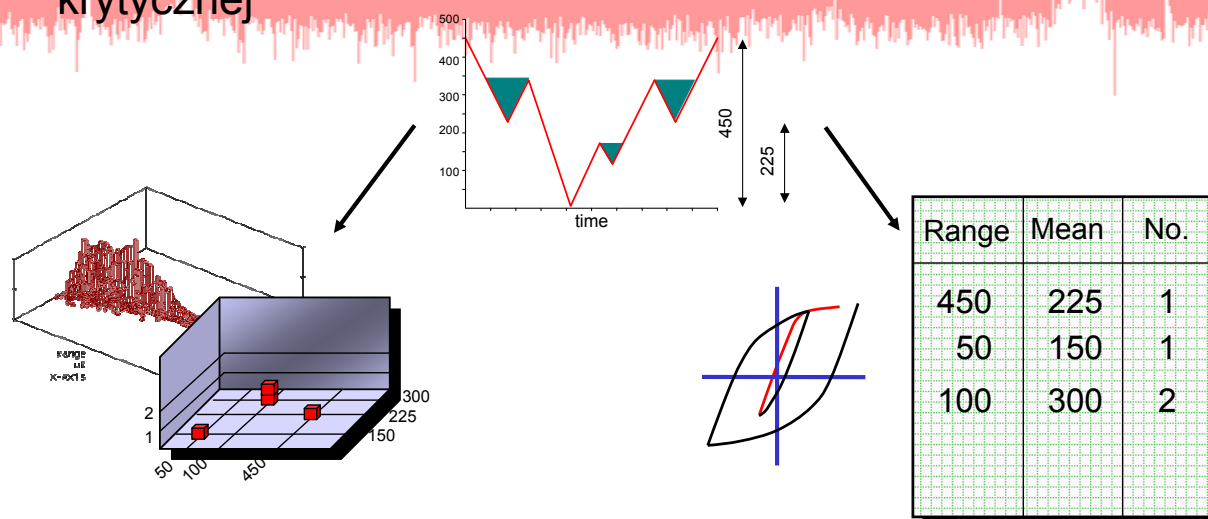
Przykład - dwa obciążenia o różnej korelacji



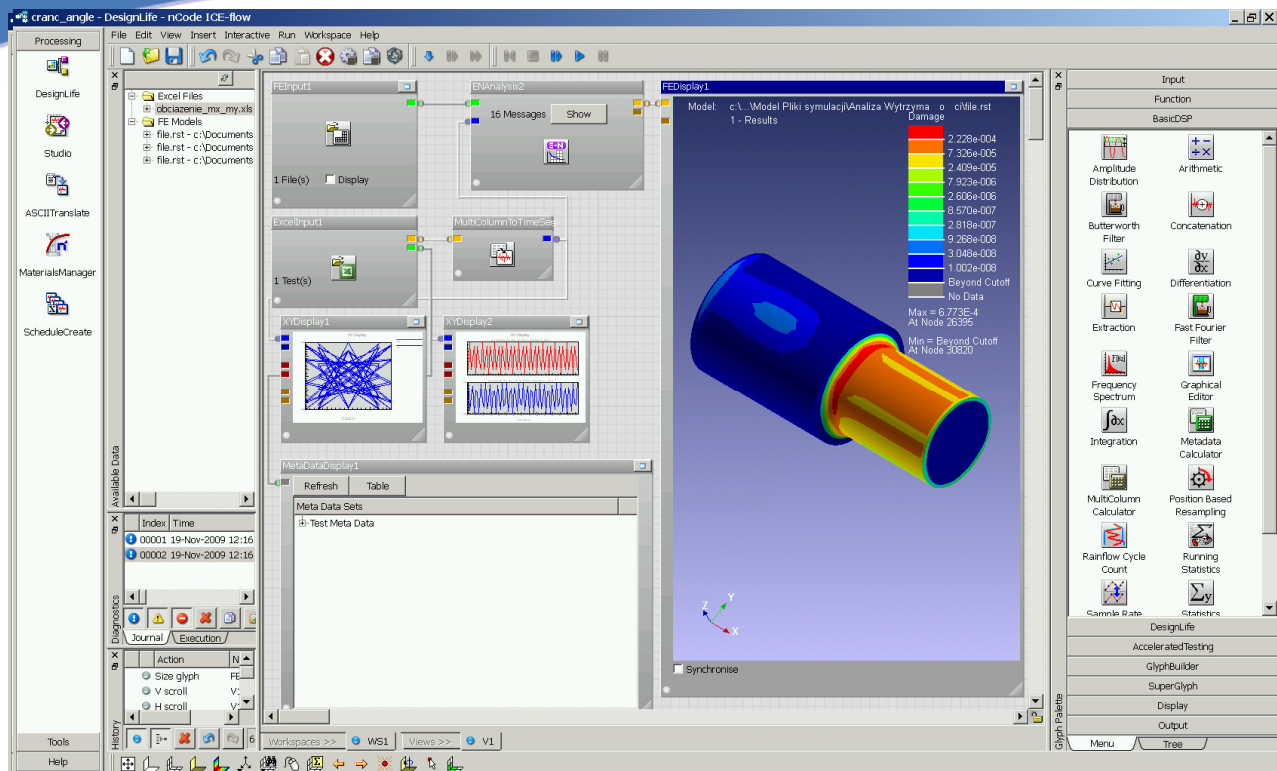
Mx max [Nm]	573.12	573.12	573.12	573.12	573.12
My max [Nm]	370.39	370.39	370.39	370.39	370.39
Kąt / Okres	180 / 1	90 / 1	45 / 1	0 / 1	0 / 2
Trwałość minimalna	1.46E+04	9.43E+04	2.73E+04	1.44E+04	2.2E+4

A co w przypadku większej złożoności ?

- Historia rzeczywistego obciążenia zawiera często szereg obciążeń w wielu kierunkach i miliony punktów
- Wymaga zliczania cykli np.: rainflow w płaszczyźnie krytycznej



Dobre oprogramowanie może poradzić sobie z problemem nieproporcjonalności

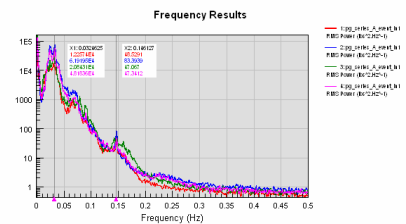


Wspomaganie testów przez symulację i symulacji przez testy

Współpraca testów i symulacji

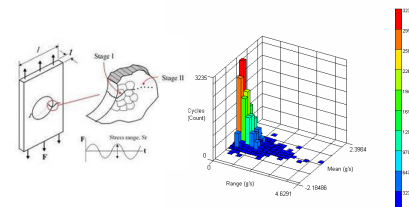
- Przetwarzanie danych

- Przedstawiania danych, raportowania i narzędzi przetwarzania (włączając filtrowania, operacje matematyczne, edycję i statystykę)
- Zautomatyzowana detekcja nieprawidłowości jak piki, brak sygnału, dryft, składowe stałe.



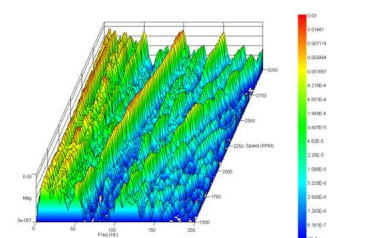
- Analiza zmęczenia

- Wysoki i nisko cyklowa wraz z analizą czułości na zmianę obciążenia. Analiza wzrostu pęknięć (LEFM) przy użyciu uznanych praw wzrostu jak NASGRO, FORMAN, PARIS



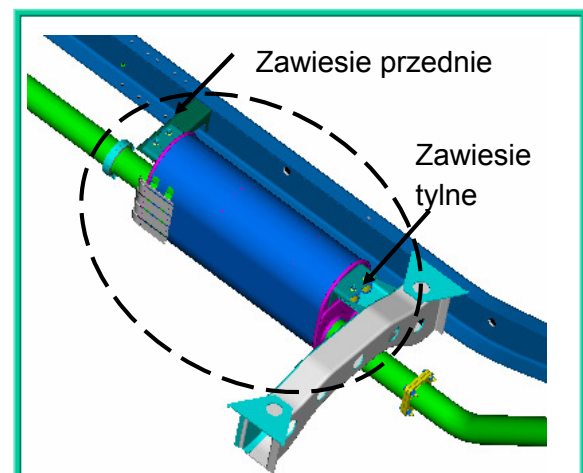
- Analiza hałasu i wibracji

- Symulacja częstotliwościowa dla maszyn włączając urządzenia wirnikowe, analizę oktawową, częstotliwościowo-fazową, komfortu np. wg ISO2631 / ISO5349.



Przykład przetwarzania danych z testów Przyspieszone testy wibracyjne

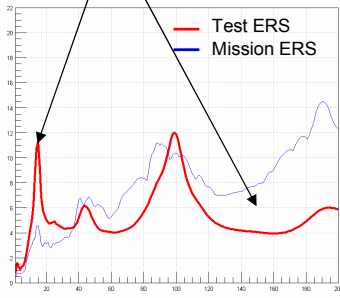
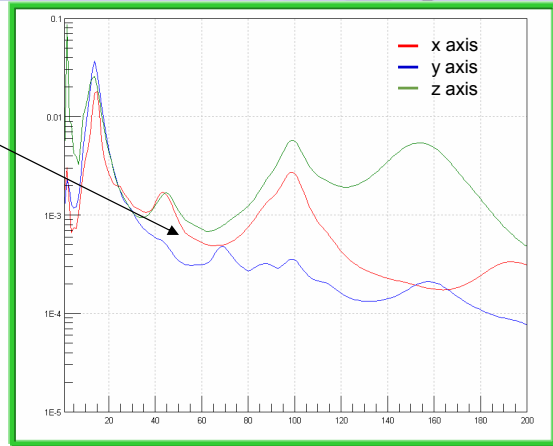
- Widmowa gęstość mocy przyspieszeń zawieszenia tłumika pochodzi z warunków jazdy
- Test kombinuje przejazdy po kostce brukowej oraz jazdę w ternie po drogach krajowych
- Docelowa trwałość określona przez odbiorcę to 53 dni ciągłego obciążenia
- Przyspieszone testy trwają 72 godziny na oś (x, y & z)



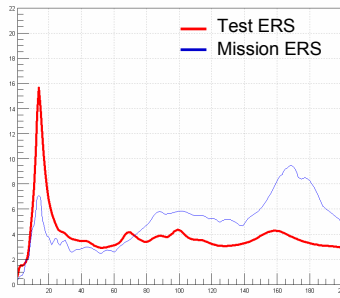
Przyspieszone testy wibracyjne wirtualne i rzeczywiste

Przyspieszone PSD,
72 godziny na oś (x, y & z)

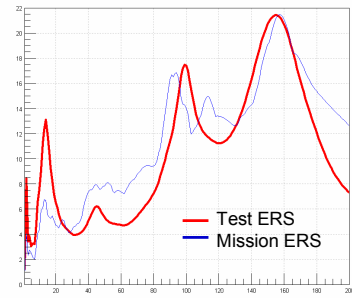
Dla ~14Hz amplituda testu przekracza wartość misji
Amplituda testu < w pozostałym zakresie



oś x

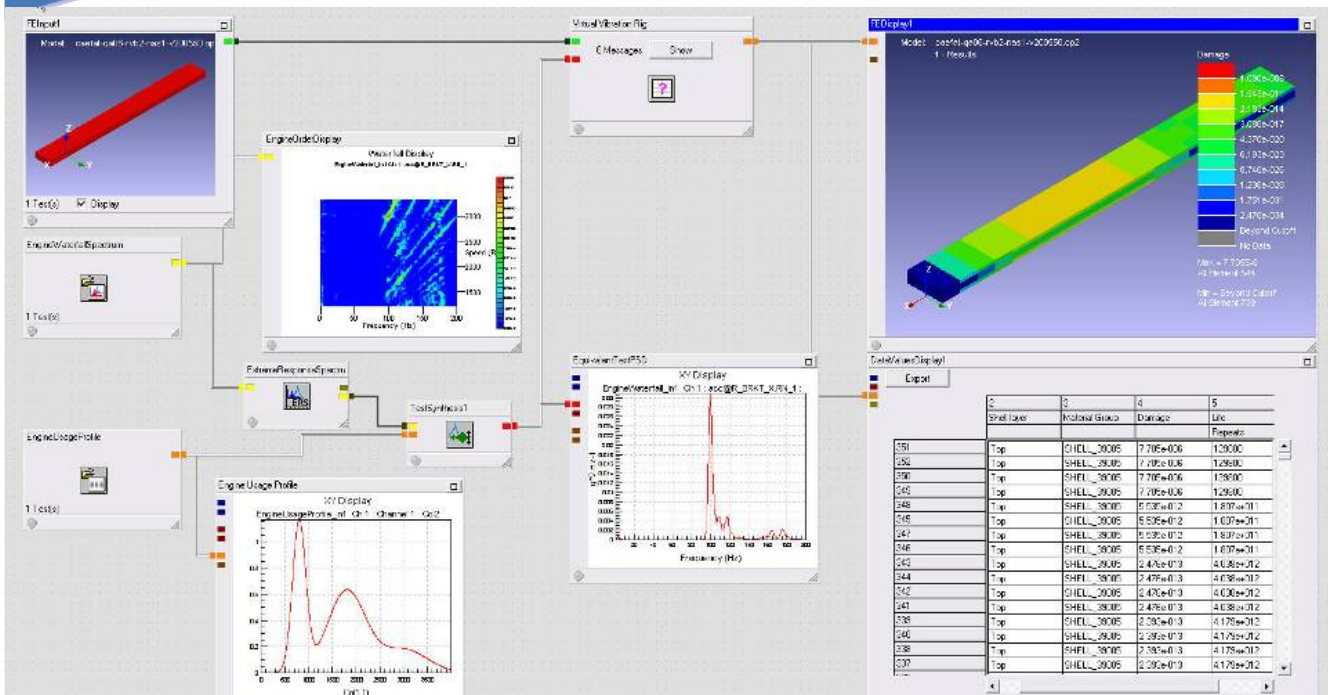


oś y

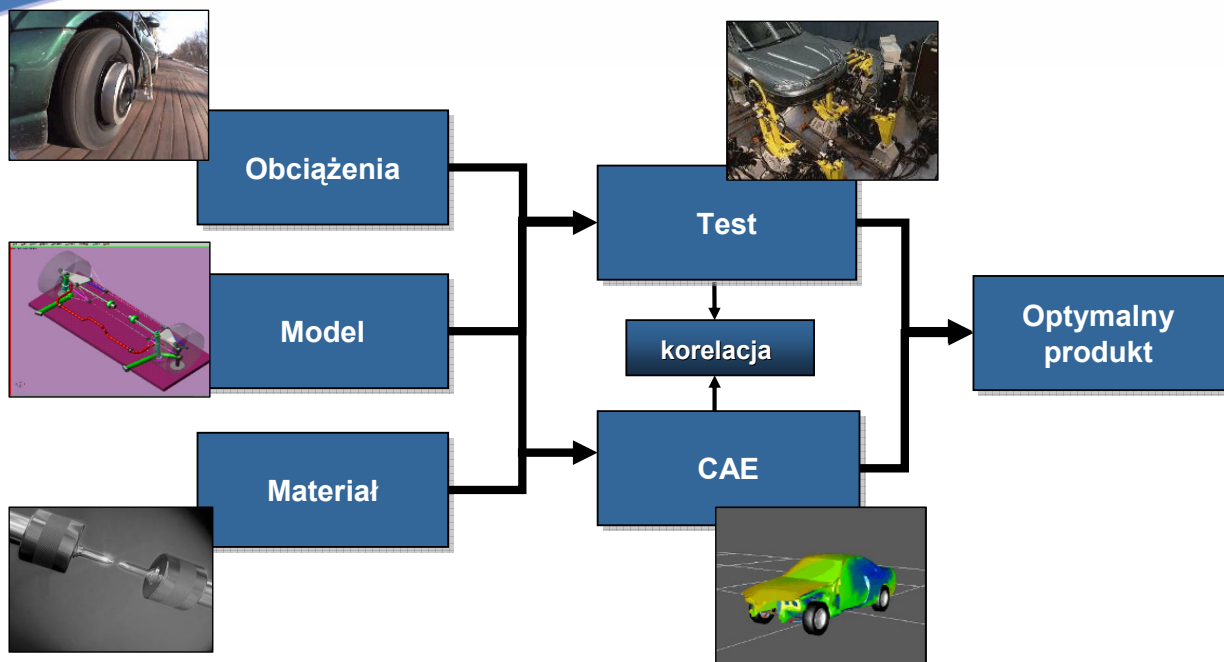


oś z

Przyspieszone testy wibracyjne przykład realizacji w programie GlyphWorks/DesignLife

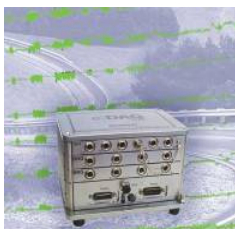


Współpraca testów i symulacji Analiza niezawodności



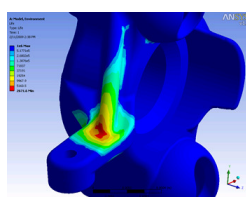
Zaawansowane opracowanie wyników Analizy zmęczeniowej

HBM/SoMat



POMIARY

ANSYS



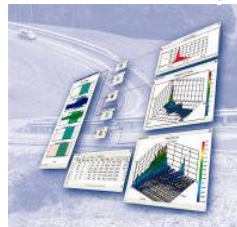
SYMULACJA

Library



ZARZĄDZANIE

GlyphWorks



PRZETWARZANIE

DesignLife

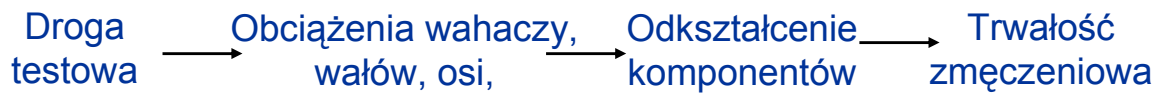
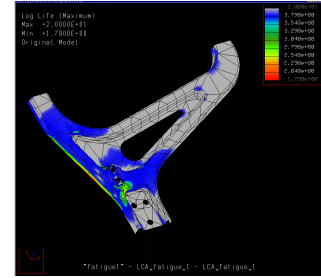
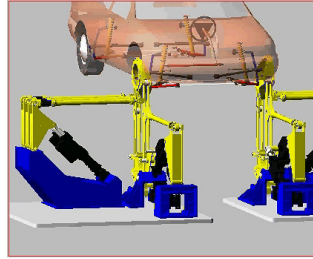
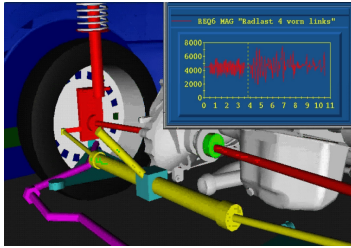
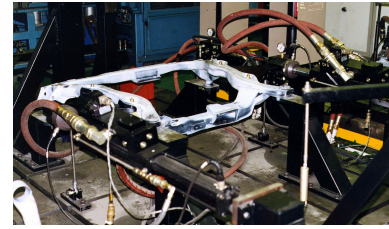


PRZEWIDYWANIE

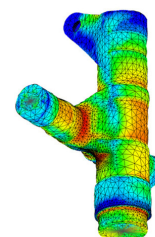
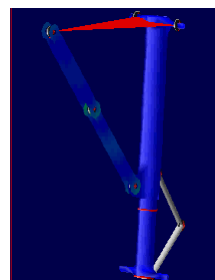
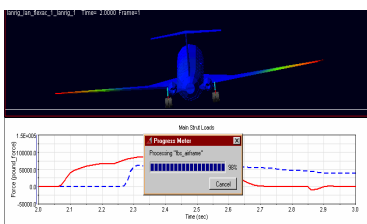


Integrated Collaborative Engineering and workflow

'Wirtualne' testy niezawodnościowe w przemyśle samochodowym



'Wirtualne' testy niezawodnościowe w przemyśle lotniczym

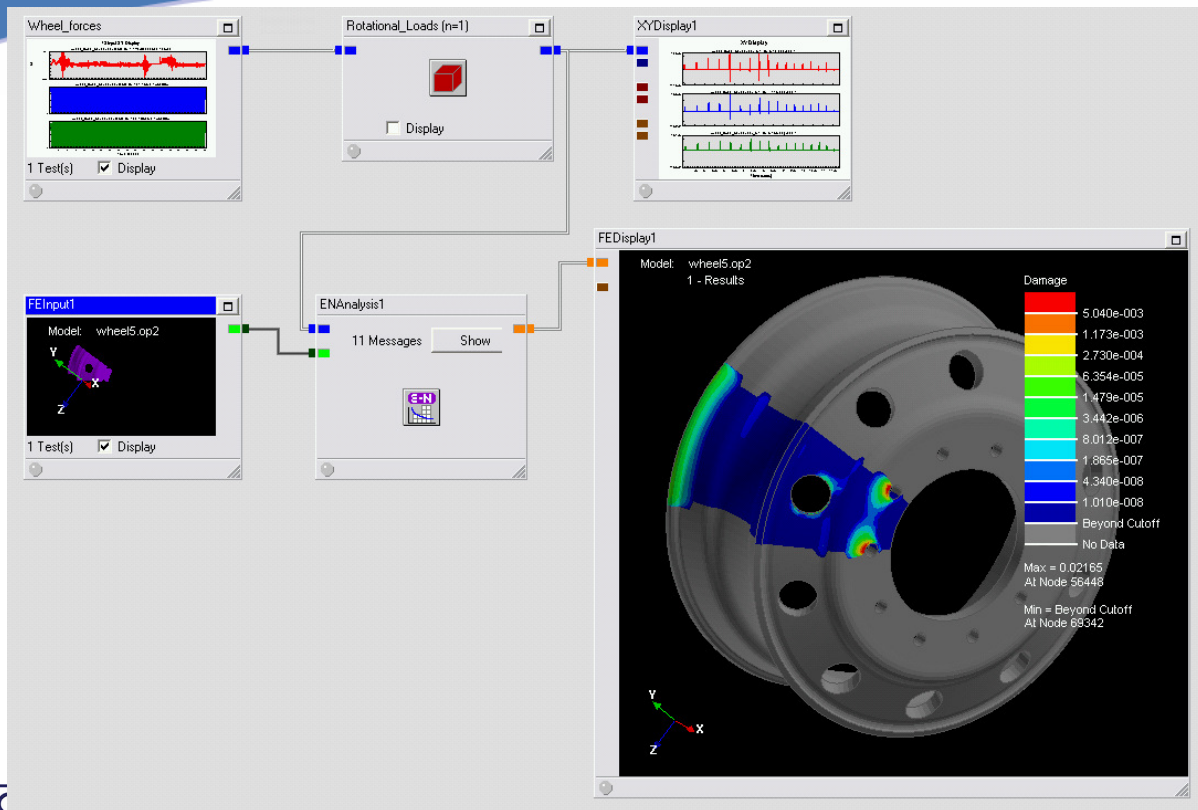


Obciążenia podczas lotu

Spektrum pracy komponentu

Trwałość zmęczenia

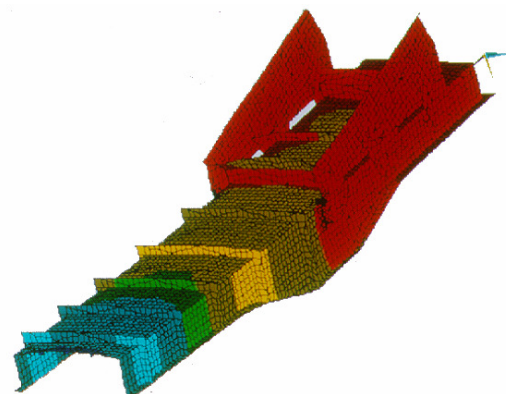
Przykład - analiza zmęczeniowa felgi przy obciążeniu wędrującym po obwodzie



Przykład - Podajnik na linii produkcyjnej

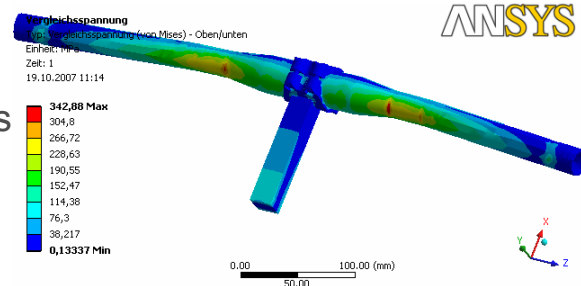
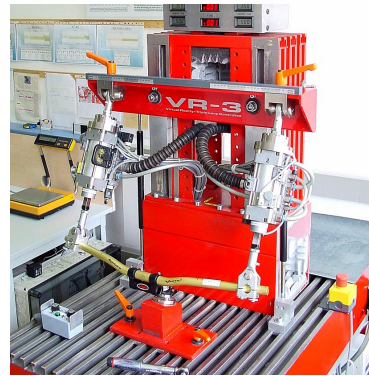
FMC CORPORATION

- Zastosowano lekkie materiały zmniejszając wagę konstrukcji.
- Proces projektowania i weryfikacji skrócony został o 6 miesięcy.
- Z wyprodukowanych 250 sztuk – dzięki analizie zmęczeniowej żaden nie doznał uszkodzenia w okresie pracy.



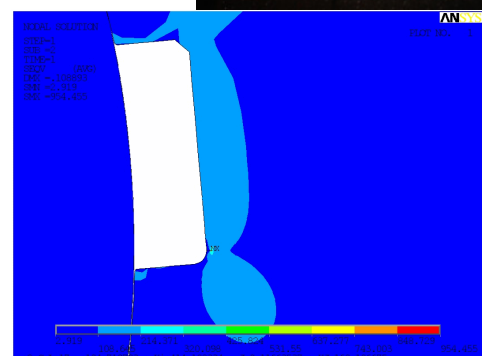
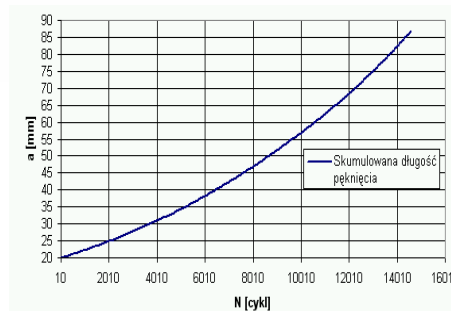
Kierownica rowerowa

- Wytrzymałość jest kluczowa dla produktu
- Dane zmęczeniowe dla stopu Al 7075
- Obciążenia
 - Doświadczenie BIKE-Magazine
 - Dodatki do norm DIN
 - Dane kolekcjonowane z tras
 - Odnowiane co dwa lata
- Porównanie test / symulacja
- Strain: 0.1% / 0.095%
 - Trwałość : 11.500 / 11.000



Analiza mechaniki pęknięć w energetyce

- Elementy
 - 2D oraz 3D
- Metody analityczne
 - Proste kształty
- Metody numeryczne
 - Dla skomplikowanej geometrii
 - Dla skomplikowanych obciążeń
- Wyniki
 - WIN (K_I K_{II} K_{III})
 - Całka J lub WUE (G_I G_{II} G_{III})
 - Trwałość w cyklach
- Rozwiązanie:



Analiza wspomagana testem

- Wirtualne testy stanowią alternatywę dla testów fizycznych
 - Umożliwiają ocenę wysoko i niskocyklowej trwałości oraz mechaniki pękania
 - Bazują na sprawdzonych teoriach
 - Pozwalają na optymalizację trwałości
 - Oszczędność na obsłudze gwarancyjnej
- Testy fizyczne dają pewność uzyskanych wyników
 - Uzyskuje się niezbędne doświadczenie
 - Stanowią podstawę do weryfikacji przyszłych analiz

Ciągły proces projektowy – gwarancją sukcesu



Dziękujemy za uwagę

Przemysław SIEDLACZEK
MESCO/nCode
www.mesco.com.pl

Maciej ZAJĄCZKOWSKI
HBM Polska
www.hbm.com.pl

