

NK315 EKSPLOATACJA STATKÓW LATAJĄCYCH

Diagnostyka **Badanie uszkodzeń, wypadków lotniczych** **i prototypów** **NDT, SHM**

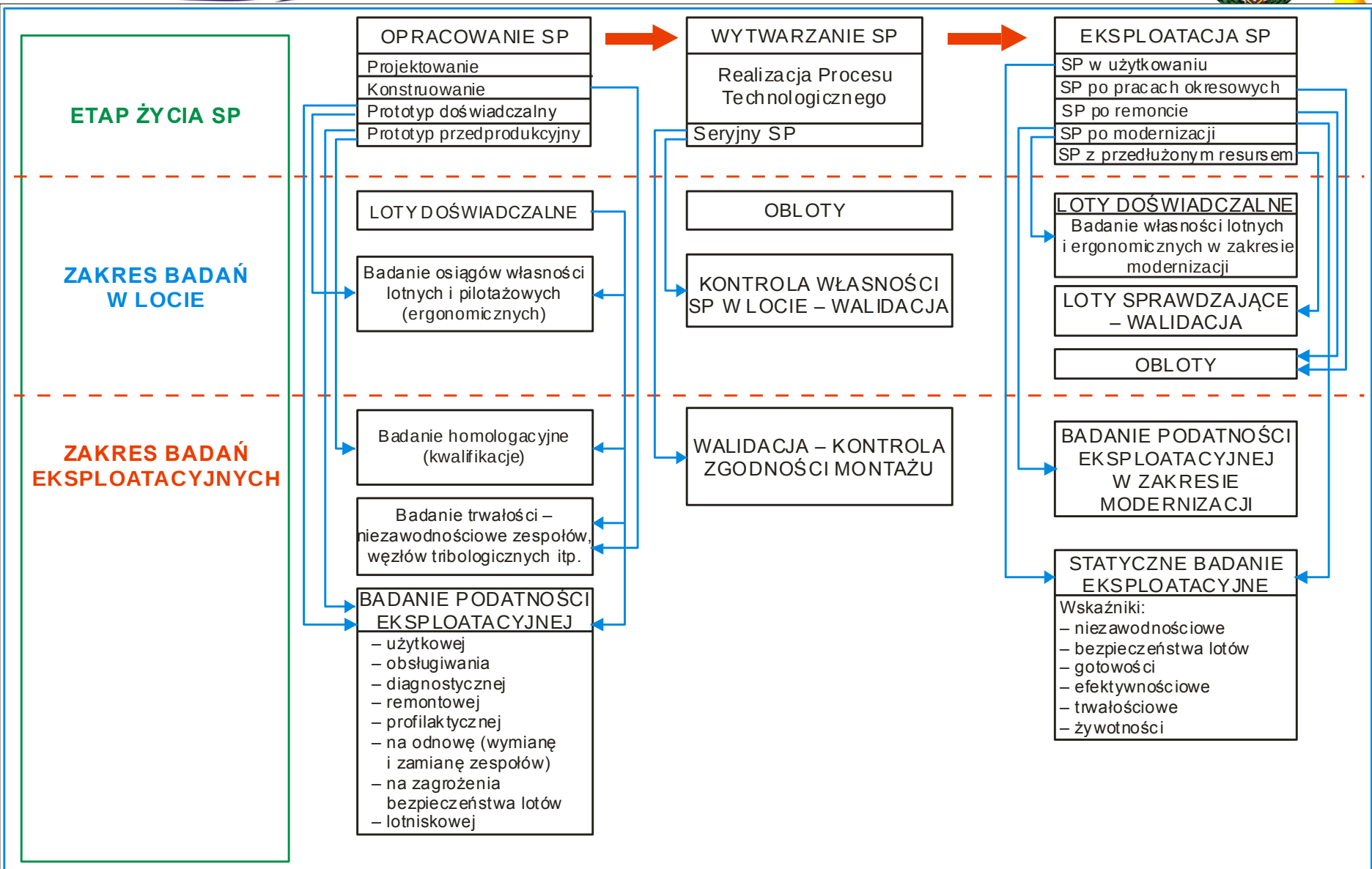
dr inż. Kamila Kustroń

dr inż. Kamila Kustroń

NK315 EKSPLOATACJA STATKÓW LATAJĄCYCH

1. Wykład wprowadzający w interdyscyplinarną tematykę eksploatacji statków latających; **HARMONOGRAM ZAJĘĆ, WARUNKI ZALICZENIA; bibliografia**
2. Statek latający jako przedmiot eksploatacji, system eksploatacji, uwarunkowania prawne i normatywne eksploatacji, organizacje lotnicze
3. Procesy degradacyjne i destrukcyjne. Zużycie zmęczeniowe i korozja
4. Zużycie tribologiczne, uszkodzenia kompozytów. Wprowadzenie do problematyki zdolności do lotu
5. Własności i właściwości eksploatacyjne: niezawodność, gotowość, odpowiedniość, bezpieczeństwo, trwałość, żywotność, podatność eksploatacyjna.
Obliczanie prostych charakterystyk eksploatacyjnych na podstawie danych z eksploatacji
6. **Diagnostyka, badanie uszkodzeń, wypadków lotniczych i prototypów**
7. Model utrzymania SP w ciągłej zdolności do lotu. CAME
8. Program obsługi technicznej, program niezawodności
9. Czynniki ludzkie w lotnictwie
10. Bezpieczeństwo lotów. SMS
11. Podsumowanie treści wykładów z ukierunkowaniem na kolokwium
12. Kolokwium
13. Omówienie wyników kolokwium
14. Kolokwium poprawkowe
15. Podsumowanie przedmiotu

dr inż. Kamila Kustroń



Badanie uszkodzeń statków powietrznych powstających w procesie eksploatacji

**Uszkodzenie elementu SP jest to niezgodność
cech fizycznych lub chemicznych
z wymaganiami określonymi przez warunki
techniczne i instrukcje**

**Niezgodność ta powoduje zwykle
niewłaściwe funkcjonowanie
urządzeń statku powietrznego**

Jeśli przyjąć za 100% przyczyny techniczne zdarzeń lotniczych, to procentowe udziały poszczególnych elementów i systemów SP wyglądają następująco:

- »płatowiec i podwozie - 32%**
- »napęd i układy sterowania napędem - 43%**
- »układ sterowania podwoziem - 7%**
 - »sterowanie płatowcem - 6%**
 - »instalacje pneumatyczne - 5%**
 - »instalacje hydrauliczne - 4%**
 - »instalacje awioniczne - 3%**

dr

Podział uszkodzeń struktur technicznych lub elementów według różnych kryteriów

Nazwa kryterium	Opis (rodzaj, typ)
Przyczyna uszkodzenia	- Konstrukcyjna - technologiczna • wada technologiczna • wada materiałowa - eksploatacyjna • obsługowa • remontowa • magazynowa • normalnego zużycia - warunki zewnętrzne
Rodzaj uszkodzenia	- Pierwotne - wtórne
Sposób uszkodzenia	- Nagły - stopniowy - chwilowy

Zestawienie czynników mających wpływ na zapewnienie odporności SP na powstawanie uszkodzeń

CZYNNIKI ZAPEWNIAJĄCE NIEUSZKADZALNOŚĆ OT		
PROJEKTOWO KONSTRUKTORSKIE	TECHNOLOGICZNE	EKSPLOATACYJNE
Racjonalne schematy konstrukcyjne	Odpowiednie procesy produkcji i kontroli	Organizacja użytkowania
Obliczenia wytrzymałościowe	Przygotowanie produkcji	Organizacja prac w zakresie utrzymywania zdolności
Odpowiednie materiały	Stopień przygotowań kadr	Stosowanie odpowiednich - metod - procedur - narzędzi
Uwzględnienie warunków eksploatacji	Odpowiednie oprzyrządowanie	Odpowiednia dokumentacja
Uwzględnienie możliwości odnowy	Liczba i jakość badań Materiałów i podzespołów	Sprawny system zbierania informacji eksploatacyjnych
Odpowiednia diagnostyka	Warunki transportu i magazynowania	Profilaktyka

Ze względu na charakter pojawiania się:

- **pierwotne (niezależne)** – ich pojawienie się nie było wywołane innym uszkodzeniem
- **wtórne (zależne)** – uszkodzenie powstało na skutek uszkodzenia innego elementu
- **łączne** – uszkodzenie oddzielnych elementów tego samego urządzenia występujące równocześnie
- **pojedyncze** – gdy uszkodzenia pojawiają się oddzielnie
- **stopniowe** – powstające w rezultacie zmian w czasie tych parametrów, które określają moment wystąpienia uszkodzenia
- **nagłe** – charakteryzujące się skokową, niedopuszczalną zmianą wartości istotnych cech elementów urządzenia

dr inż. Kamila Kustroń

Ze względu na przyczyny powstania uszkodzenia dzieli się na:

- Przypadkowe o stałym ryzyku wystąpienia w procesie eksploatacji statku powietrznego.
- Spowodowane błędami wytwarzania i obsługi (występują zwykle w początkowym okresie eksploatacji).
- Spowodowane procesami zużycia i starzenia się elementów (występują zwykle w końcowym okresie eksploatacji).
- Spowodowane nieprzestrzeganiem założonych warunków eksploatacji.

dr inż. Kamila Kustroń

Metody badań uszkodzeń statków powietrznych

- Metody badania empirycznego:

- ❖ metody obserwacji
- ❖ metody pomiarowe
- ❖ metody porównawcze
- ❖ metody eksperymentalne

- Metody badania teoretycznego:

- ❖ metody matematyczne
- ❖ metody fizyczne
- ❖ metody chemiczne
- ❖ metody logiczne i inne

dr inż. Kamila Kustroń

Pozostałe metody to metody wykorzystujące elementy:

- ❖ logiki
- ❖ rachunku prawdopodobieństwa oraz
- ❖ teorii symulacji

Zalicza się do nich:

- ❖ metoda drzewa uszkodzeń
- ❖ metoda Monte Carlo
- ❖ metody heurystyczne
- ❖ metody ekspertów
- ❖ metody specjalne

dr inż. Kamila Kustroń

Sposób wykonywania badań przyczyn uszkodzeń SP

Przystępując do badania przyczyn uszkodzeń statków powietrznych należy pamiętać o tym, że:

- ❖ badania były rozpoczęte jak najszybciej po zaistnieniu uszkodzenia i wykonanie go w jak najkrótszym czasie
- ❖ początkowy stan techniczny obiektu badań w wielu przypadkach jest niemożliwy do odtworzenia
- ❖ badania i analizy przyczyn uszkodzeń wymagają od badacza przygotowania inżynierskiego odpowiedniego do danego typu badań

dr inż. Kamila Kustroń

Prawidłowy przebieg badania można osiągnąć dzięki:

- ◆ badaniu uszkodzenia przez wysoko kwalifikowanych specjalistów nie mających żadnych powiązań z zaistniałym uszkodzeniem,
- ◆ dokładnemu sprawdzeniu wiarygodności każdego faktu
- ◆ zabezpieczeniu dowodów rzeczowych
- ◆ wykorzystaniu materiałów obiektywnej kontroli
- ◆ dokładnemu zbadaniu dokumentacji technicznej i lotnej
- ◆ przeprowadzeniu kompleksowych badań, eksperymentów, analiz
- ◆ poprawnemu stawianiu hipotez i dokładnemu wnioskowaniu
- ◆ weryfikacji postawionych wcześniej hipotez

dr inż. Kamila Kustroń

Schemat czynności podczas szczegółowych badań przyczyn uszkodzeń:

1. Badanie czynników eksploatacyjnych:

- analiza obowiązujących norm i zasad eksploatacji
- analiza czynników uwarunkowanych obsługą
- analiza czynników uwarunkowanych użytkowaniem
- ocena wpływu stanu lotniska
- ocena wpływu czynników klimatycznych i okresu eksploatacji

2. Próby sprawdzające:

- laboratoryjne
- na stanowiskach
- w locie

3. Badanie defektoskopowe:

Optyczne, akustyczne, ultradźwiękowe, radiograficzne, magnetyczne, penetracyjne, prądów wirowych itd.



c.d.n.

dr inż. Kamila Kustroń

4. Badania materiałowe:

- badania własności mechanicznych
- badania metalograficzne
- analiza spektralna
- analiza chemiczna

5. Badania czynników konstrukcyjnych:

- analiza konstrukcji i warunków jej pracy
- obliczenia sprawdzające na wytrzymałość z uwzględnieniem warunków pracy
- badania statyczne i dynamiczne

6. Badania czynników produkcyjnych:

- analiza technologii wytwarzania
- ocena zgodności materiału i wykonania z warunkami technicznymi

7. Badanie czynników remontowych:

- analiza technologii remontu
- ocena zgodności wykonania remontu z technologią

dr inż. Kamila Kustroń

Profilaktyka - zapobieganie uszkodzeniom SP

- działanie i środki stosowane w celu zapobiegania wypadkom, nie dopuszczające do uszkodzeń, katastrof
- zbieranie: informacji o negatywnych zdarzeniach organizacyjnych, przekroczeniu ograniczeń instrukcyjnych i eksploatacyjnych w czasie realizacji lotów w celu wypracowania wniosków do profilaktyki przed następnymi lotami
- w celu przeciwdziałania niepożądanym zjawiskom tworzymy wcześniej podstawy tego działania takie jak: metody, procedury i narzędzia, jakie zamierza się stosować w celu osiągnięcia sukcesu
- wykonywanie wszelkiego rodzaju badań (np. NDT, SHM) mających na celu wcześniejsze wykrycie zagrożeń wynikających z ewentualnych awarii

DIAGNOSTYKA

- Zadania diagnostyki statków powietrznych ich powiązanie z charakterystykami eksploatacyjnymi
- Systemy diagnostyki statków powietrznych
nimiaturyzacja?
- Układy pomiarowe symptomów diagnostycznych
- Przetwarzanie informacji z czujników pomiarowych na informacje diagnostyczne

DIAGNOSTYKA

- DIAGNOZOWANIA
- GENEZOWANIA
- PROGNOZOWANIA

METODY

PROCEDURY

NARZĘDZIA

- ❖ FIZYCZNE ASPEKTY DIAGNOSTYKI
- ❖ GENERACJA SYGNAŁÓW DIAGNOSTYCZNYCH
- ❖ POZYSKIWANIE INFORMACJI
- ❖ PRZETWARZANIE INFORMACJI
- ❖ OBRAZOWANIE INFORMACJI
- ❖ WNIOSKOWANIE DIAGNOSTYCZNE
- ❖ WARTOŚCI GRANICZNE
- ❖ EWOLUCJA STANU TECHNICZNEGO OT
- ❖ PROGNOZOWANIE STANU OL
- ❖ METODYKA BUDOWY PROCEDURY DIAGNOSTYCZNEJ
- ❖ SYSTEM DIAGNOSTYCZNY
- ❖ MONITOROWANIE I ZARZĄDZANIE SYSTEMÓW
- ❖ BADANIA NIENISZCZĄCE NDT, SHM

PODATNOŚĆ DIAGNOSTYCZNA

O PODATNOŚCI DIAGNOSTYCZNEJ DECYDUJĄ:

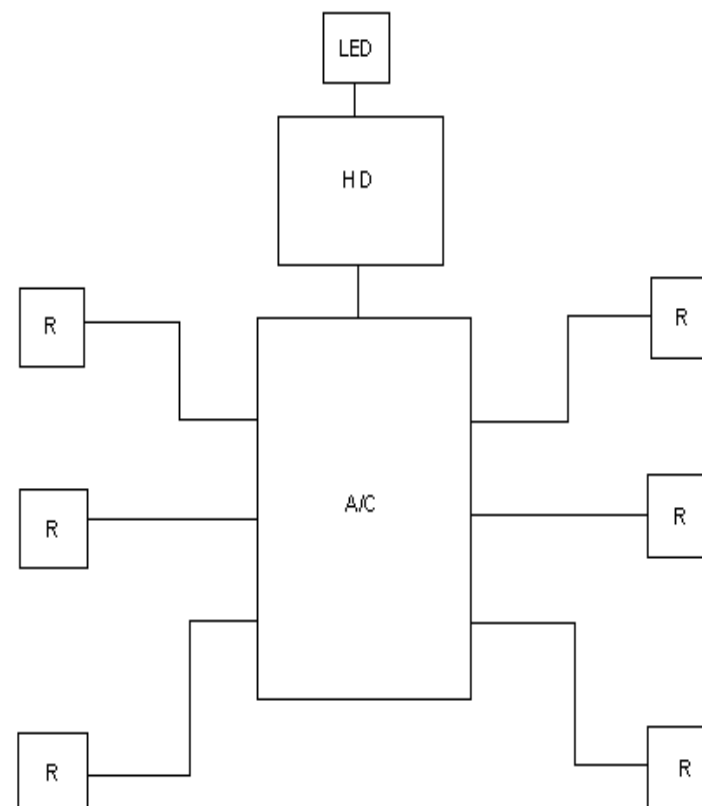
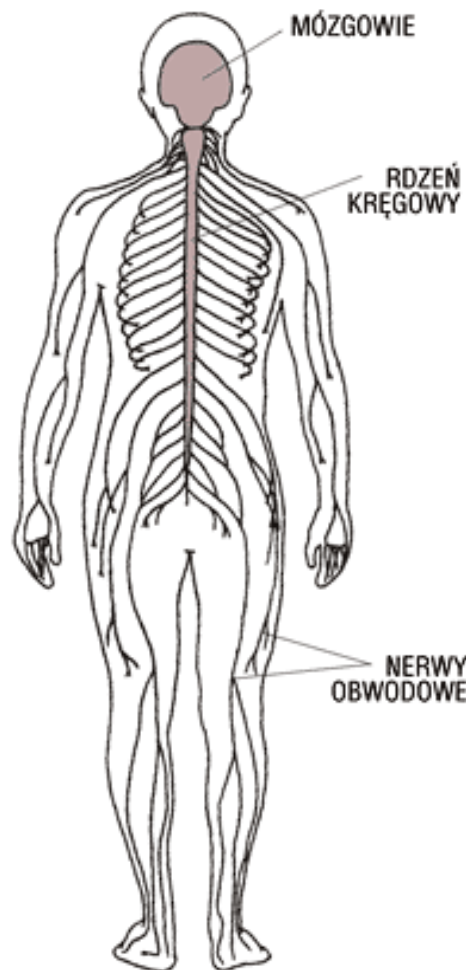
- ✍ MODUŁOWOŚĆ KONSTRUKCJI (UKŁADY, ZESPOŁY, MECHANIZMY ITP.)
- ✍ DOSTĘP DO ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH ORAZ ICH ROZMIESZCZENIE W ZESPOŁACH BĘDĄCYCH OBIEKTEM OKRESOWEGO OBSŁUGIWANIA TECHNICZNEGO
- ✍ MOŻLIWOŚĆ ZASTOSOWANIA RACJONALNYCH METOD KONTROLI STANU TECHNICZNEGO OT I JEGO ELEMENTÓW I RACJONALNE ROZMIESZCZENIE PUNKTÓW KONTROLNYCH

Diagnostyka

- ☐ NDT
- ☐ SHM

dr inż. Kamila Kustroń

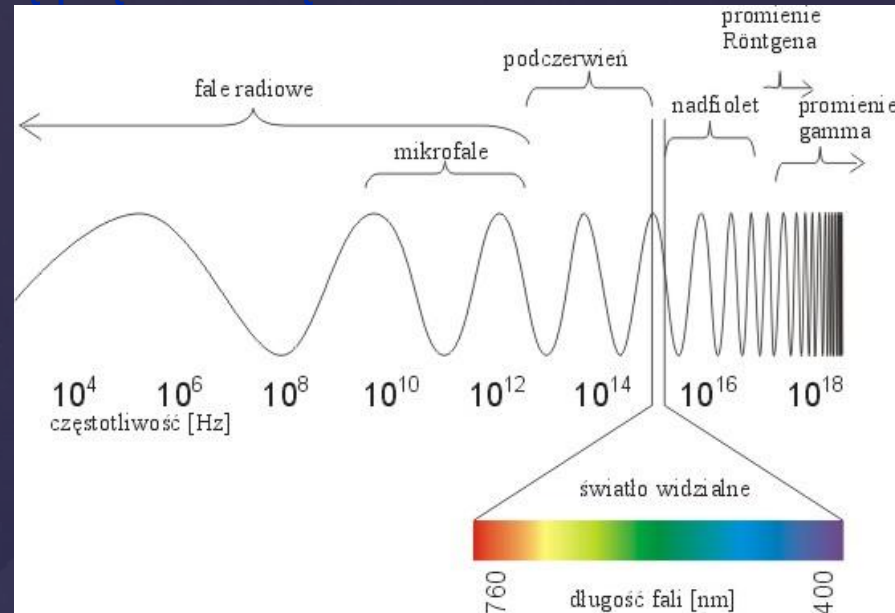
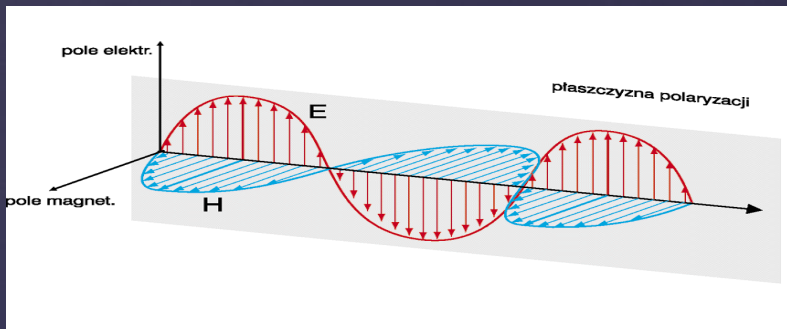
Structural Health Monitoring



dr inż. Kamila Kustron

Fala w ujęciu fizycznym to zaburzenie pola fizycznego przenoszące energię i rozchodzące się ze skończoną prędkością

Fale elektromagnetyczne, zaburzenie pola elektromagnetycznego



Fale akustyczne, fale sprężyste, zaburzenia mechaniczne ośrodka sprężystego, nie powodujące przesunięcia średnich położenia atomów ośrodka.

W cieczech i gazach fala akustyczna jest falą podłużną, w ciałach stałych może być zarówno falą podłużną, jak i poprzeczną

Fale sprężyste

```
graph TD; A[Fale sprężyste] --> B[Infradźwięki (poddźwięki) <16 Hz]; A --> C[Dźwięki słyszalne 16 Hz- 16 kHz (20 kHz)]; A --> D[Ultradźwięki (naddźwięki) 16 kHz(20 kHz)- 10^9 Hz]; A --> E[Hiperdźwięki do 10^13 Hz];
```

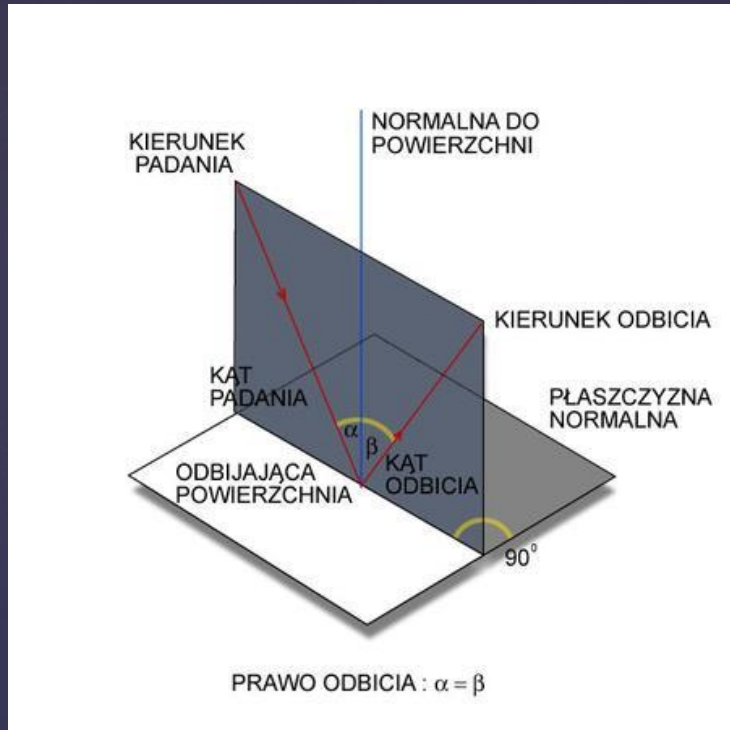
Infradźwięki
(poddźwięki)
<16 Hz

Dźwięki
słyszalne
16 Hz- 16 kHz
(20 kHz)

Ultradźwięki
(naddźwięki)
16 kHz(20
kHz)- 10^9 Hz

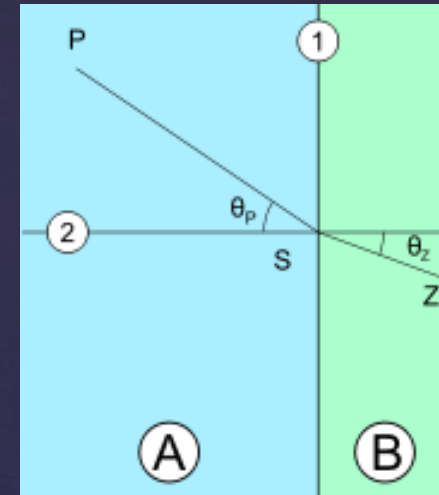
Hiperdźwię
ki
do 10^{13} Hz

Fale podlegają prawu odbicia,



oraz dyfrakcji (ugięcia)
i interferencji
itd.

załamania (refrakcji)



Prawo Snella - promienie padający i załamany oraz prostopadła padania (normalna) leżą w jednej płaszczyźnie a kąty spełniają zależność:

$$\frac{\sin \theta_P}{\sin \theta_Z} = \frac{n_2}{n_1}$$

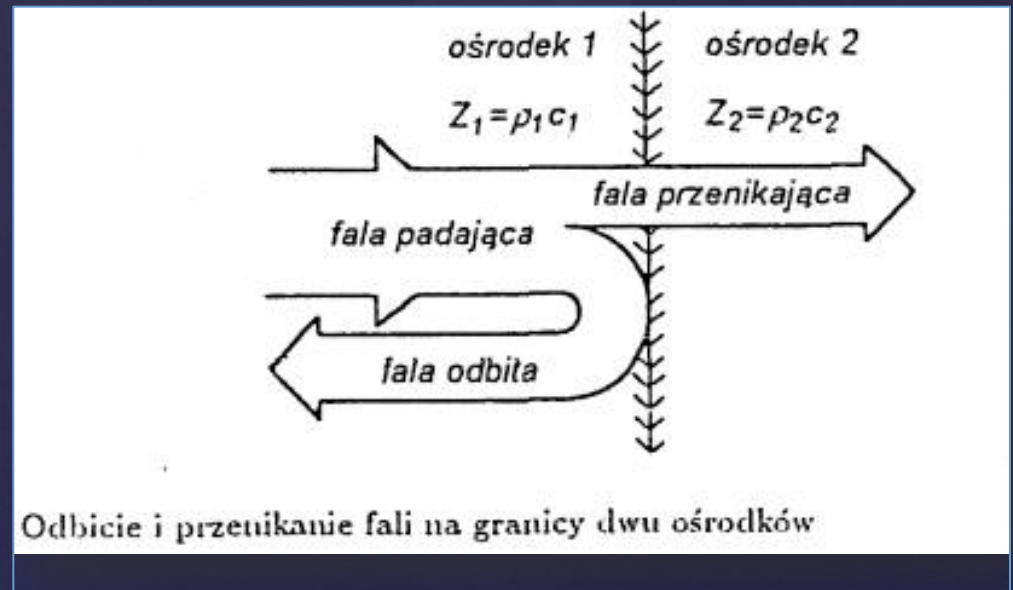
- Prostopadłemu padaniu fali na granicę dwóch ośrodków towarzyszy zjawisko odbicia i przenikania. Część fali padającej odbija się od granicy ośrodków, a część rozchodzi się w drugim ośrodku. Wartość stosunku energii fal odbitych i przechodzących zależy od akustycznych oporności (impedancji akustycznej) rozpatrywanych ośrodków, oporność tę można wyrazić wzorem:

$$Z = \rho c$$

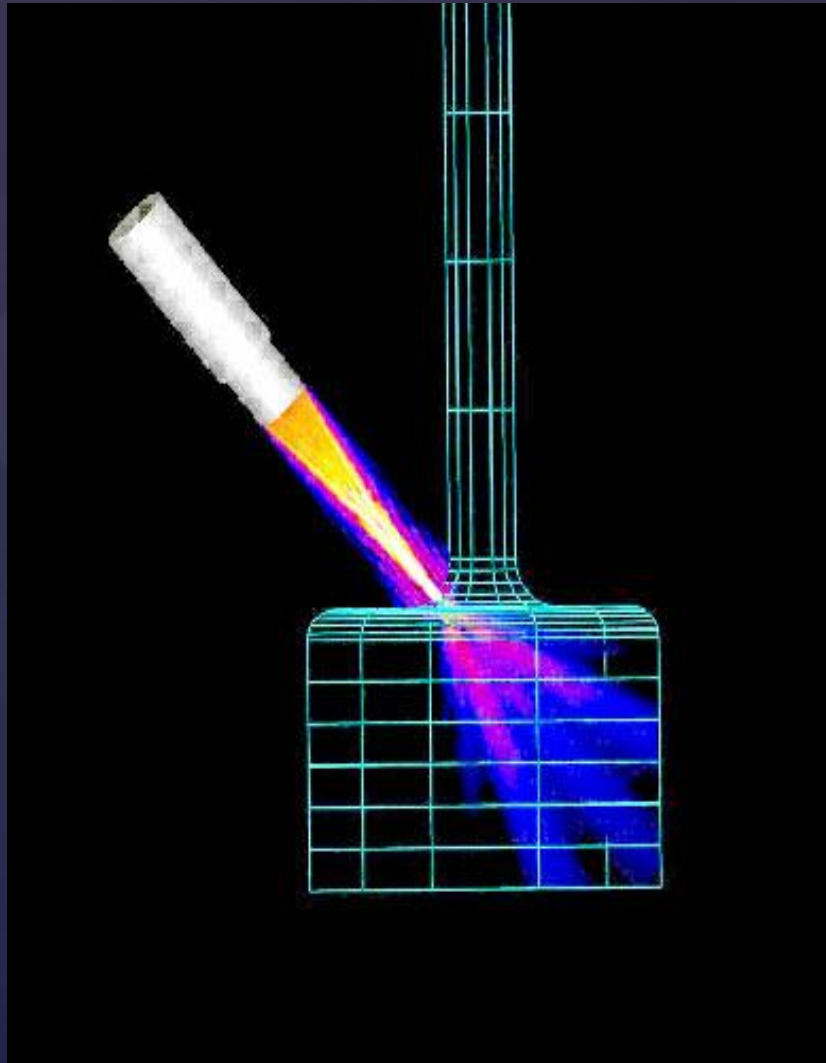
ρ - gęstość środka,

c - prędkość fali w tym ośrodku.

- Zjawisko odbicia jest tym wyraźniejsze, im większa jest różnica oporności akustycznych obydwu ośrodków.



Definicja NDT



Podstawowe metody NDT stosowane w lotnictwie

- wizualne, optyczne / Visual, Optical
- penetracyjne / Liquid Penetrant
- magnetyczne / Magnetic
- ultradźwiękowe / Ultrasonic
- prądów wirowych / Eddy Current
- rentgenowskie / Radiography (X-ray/ gama ray)
- akustyczne, rezonansowe Sonic/Resonance
- termograficzne, termowizyjne / Infrared Thermography

- **wizualne, optyczne / Visual, Optical**
- penetracyjne / Liquid Penetrant
- magnetyczne / Magnetic
- ultradźwiękowe / Ultrasonic
- prądów wirowych / Eddy Current
- rentgenowskie / Radiography (X-ray/ gama ray)
- akustyczne, rezonansowe Sonic/Resonance
- termograficzne, termowizyjne / Infrared Thermography

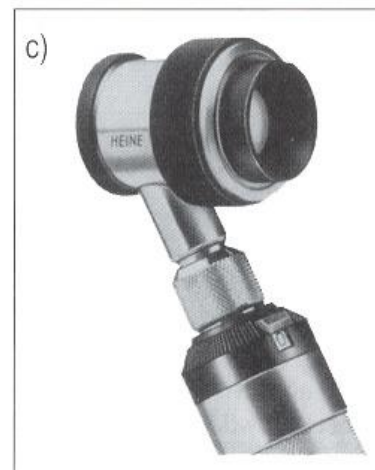
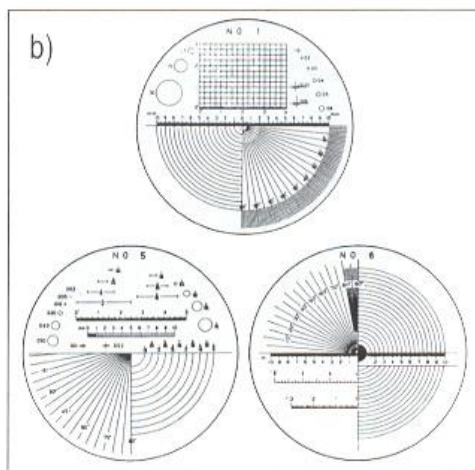
Badania metodą optyczną są bardzo rozpowszechnioną metodą diagnostyczną w lotnictwie.

Przy ich pomocy bada się wiele odpowiedzialnych części samolotu takich jak:

- łopatkę turbin lotniczych i komór silników
- elementy płatowca
- przekładnie
- systemy hydrauliczne

W wielu przypadkach metody optyczne są stosowane jako badania wstępne, po których mogą następować badania akustyczne, ultradźwiękowe, radiograficzne lub termowizyjne

Drobne wyposażenie do badań wizualnych



Drobne wyposażenie do badań wizualnych: a) lupy, mikroskopy piórowe (u dołu) i mikroskopy pomiarowe (w środku), b) skale do lup i mikroskopów do badań wizualnych, c) lupa z oświetlaczem i skalą, firmy Heine. Za zgodą firmy Heine.

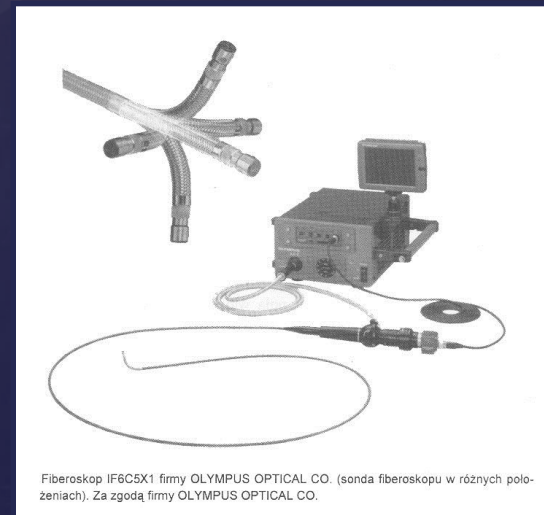
Lupy i mikroskopy pomiarowe



Endoskopy sztywne – boroskopy



giętkie - fiberoskopy



Fiberoskop IF6C5X1 firmy OLYMPUS OPTICAL CO. (sonda fiberoskopu w różnych poło-
żeniach). Za zgodą firmy OLYMPUS OPTICAL CO.





Photo credit: Gradient Lens Corporation





Wyposażenie dodatkowe:
urządzenia do rejestracji,
archiwizacji i obróbki obrazu;
prowadnice sond, statywy i inne
akcesoria.

Przystosowanie instrumentów
optycznych do cyfrowej techniki
video.



**Zestawy podświetlanych
lusterek inspekcyjnych.**

Shearography

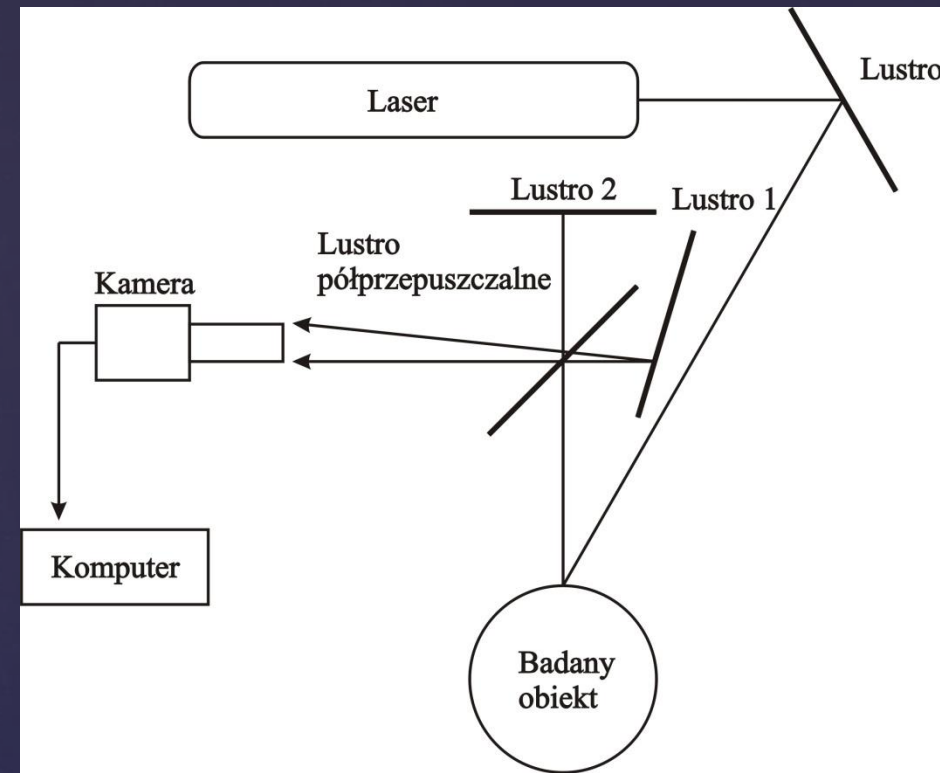
Metoda optyczna wizualizująca gradient przemieszczeń materiału w stanie naprężenia

Układ optyczny generuje dwa obrazy obiektu: w stanie spoczynku i stanie naprężenia

Otrzymane obrazy są wynikiem nałożenia dwóch obrazów powstałych z dwóch wiązek światła odbitych od materiału (pokonujących różne odległości)

Obrazy nakładane są na siebie, co powoduje powstawanie wzorów z charakterystycznych linii ukazujących gradient przemieszczeń

Gradient przemieszczeń nie jest stały jeśli w materiale występują uszkodzenia



Uszkodzenie widoczne w postaci tzw. efektu motyla (*Butterfly Effect*)

Szybkie wykonywanie badań dużych powierzchni

Niemożliwość określenia głębokości, dokładnego rozmiaru i kształtu uszkodzenia

Konieczność pokrycia błyszczących powierzchni substancją matującą

Metody analizy profilu powierzchni w technice lotniczej

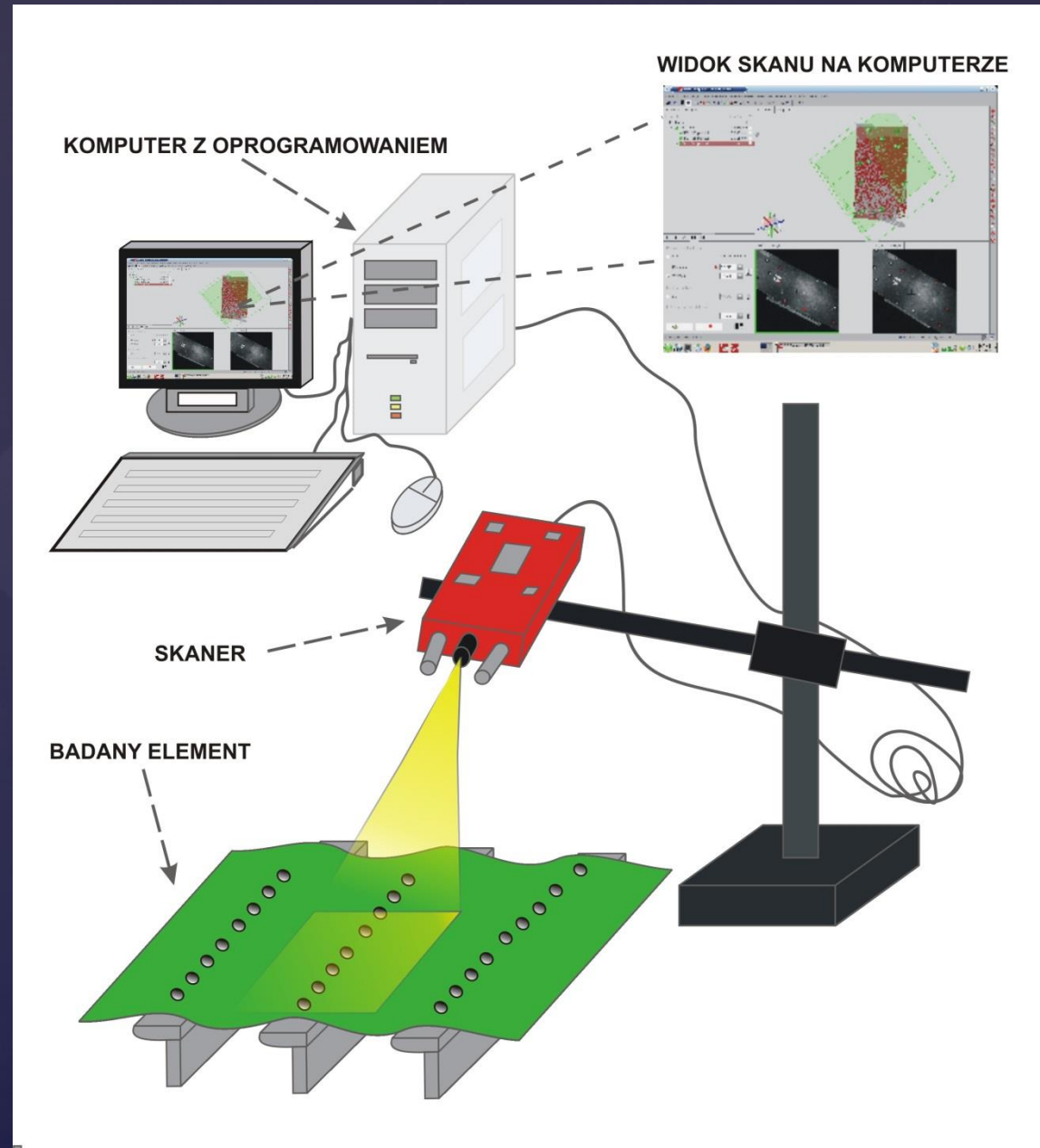
Aparatury DAIS i ATOS umożliwiają wykrywanie różnego rodzaju:

- pęknięć
- pofałdowań powierzchniowych
- zmian korozyjnych (ukryta korozja)
- ognisk ukrytej korozji w okolicy otworów nitowych

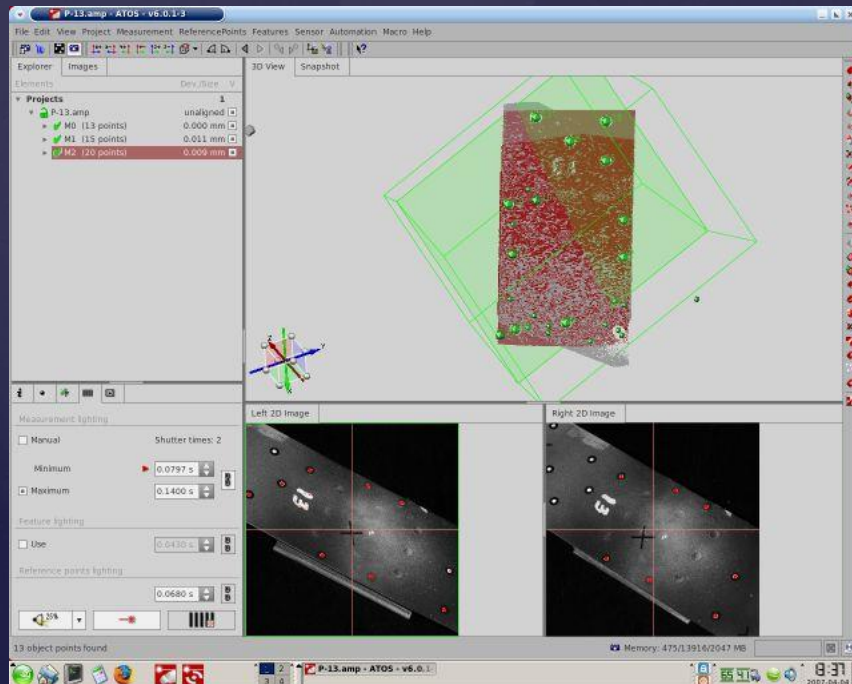
Ponadto:

- można badać dowolne elementy płatowca
- niema ograniczeń jeśli chodzi o materiał z którego wykonane są elementy, a mogą nimi być: aluminium i jego stopy, tytan oraz różnego rodzaju kompozyty
- metoda interferencyjna umożliwia bardzo dokładne zobrazowanie poprawności wymiarowej badanego obiektu

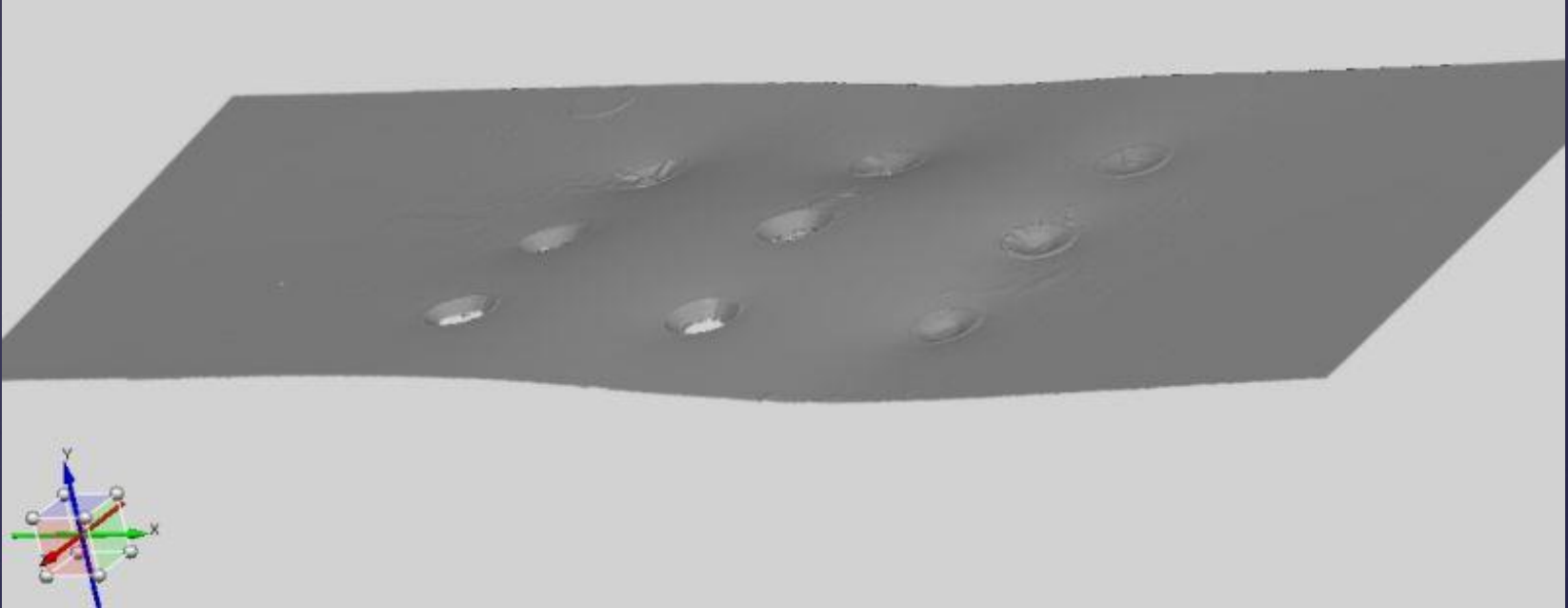
Aparatura ATOS, metoda interferencyjnego określania profilu powierzchni



Aparatura ATOS, metoda interferencyjnego określania profilu powierzchni

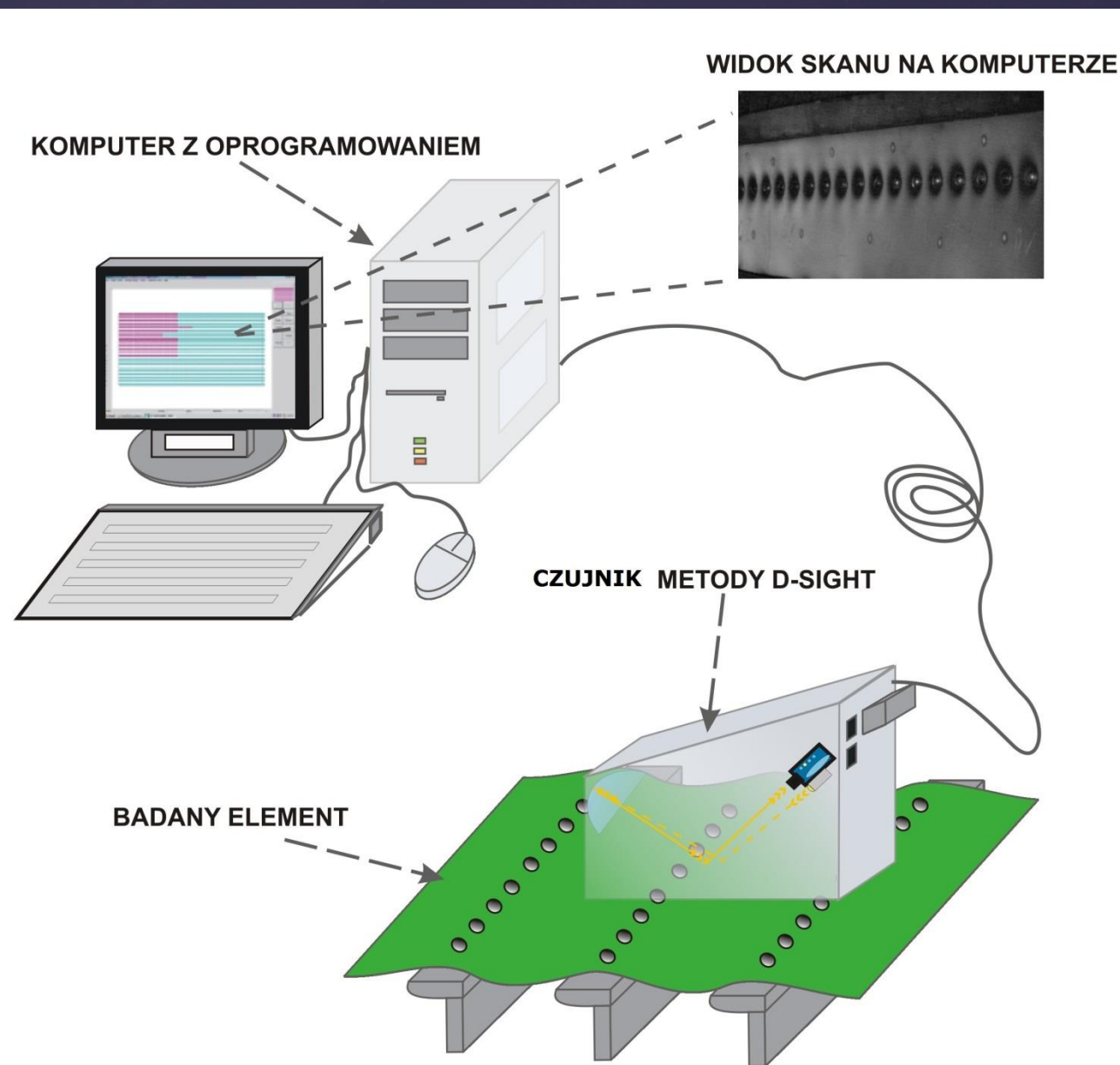


Aparatura ATOS, metoda interferencyjnego określania profilu powierzchni – wynik skanowania



Wielkość deformacji wyznaczona w milimetrach

Aparatura DAIS, metoda wyznaczania D-Sight indeksu



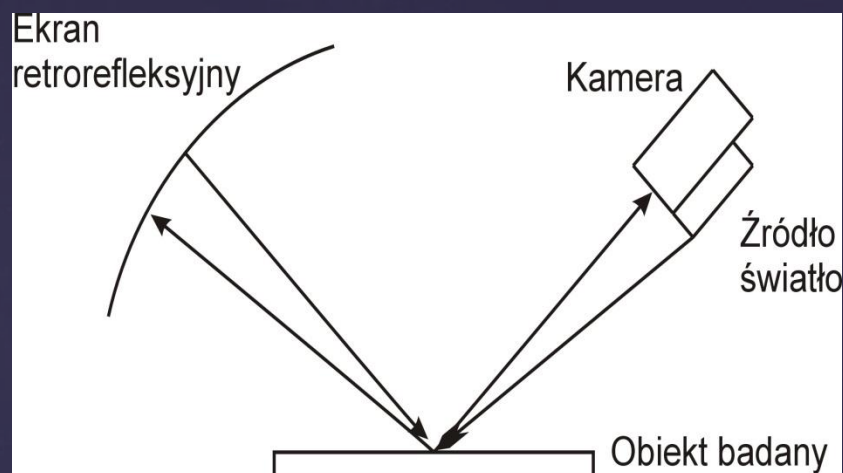
System wykorzystujący
zjawisko D-Sight
wyprodukowany przez
Diffracto Ltd.

Czujniki różnej
wielkości

D-Sight

Metoda optyczna polegająca na nałożeniu na siebie dwóch obrazów:

- *Bezpośrednie odbicie wiązki światła od przedmiotu*
- *Odbicie światła od lustra retrorefleksyjnego*



Dla przedmiotu gładkiego, oba odbicia cechuje taka sama intensywność światła

Jeżeli powierzchnia uległa deformacji, widoczne będą lokalne zmiany intensywności światła

Na obrazach widoczne są obszary jasne i ciemne.

ciemny – jasny : wgłębienie

jasny – ciemny : wypukłość



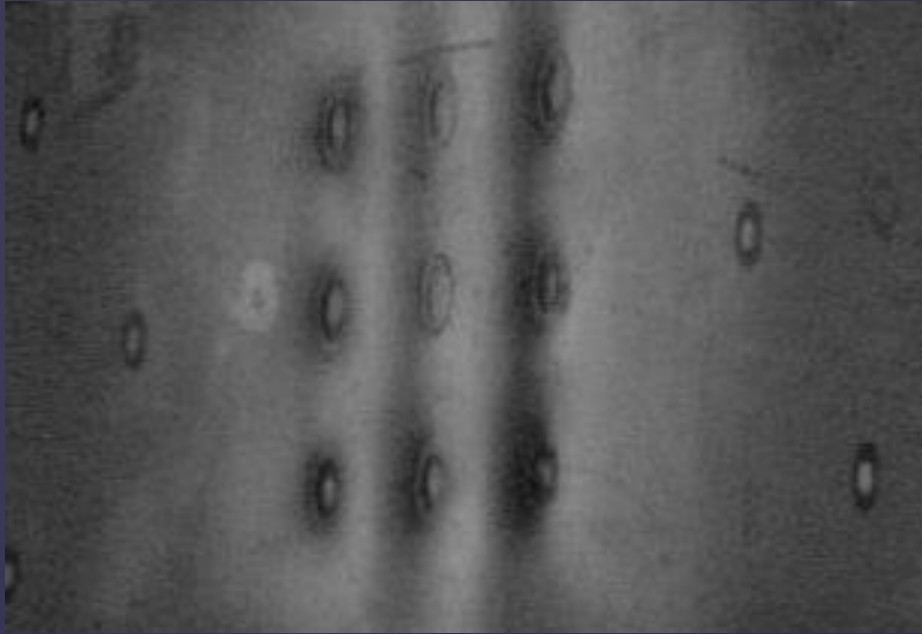
Przesunięcie pomiędzy fizycznym a optycznym położeniem wady

Zwiększona czułość na zniekształcenia prostopadłe do osi optycznej

Możliwość szybkiego badania dużej powierzchni

Konieczność nabliżczania badanej powierzchni

Aparatura DAIS, metoda wyznaczania D-Sight indeksu – wynik skanowania

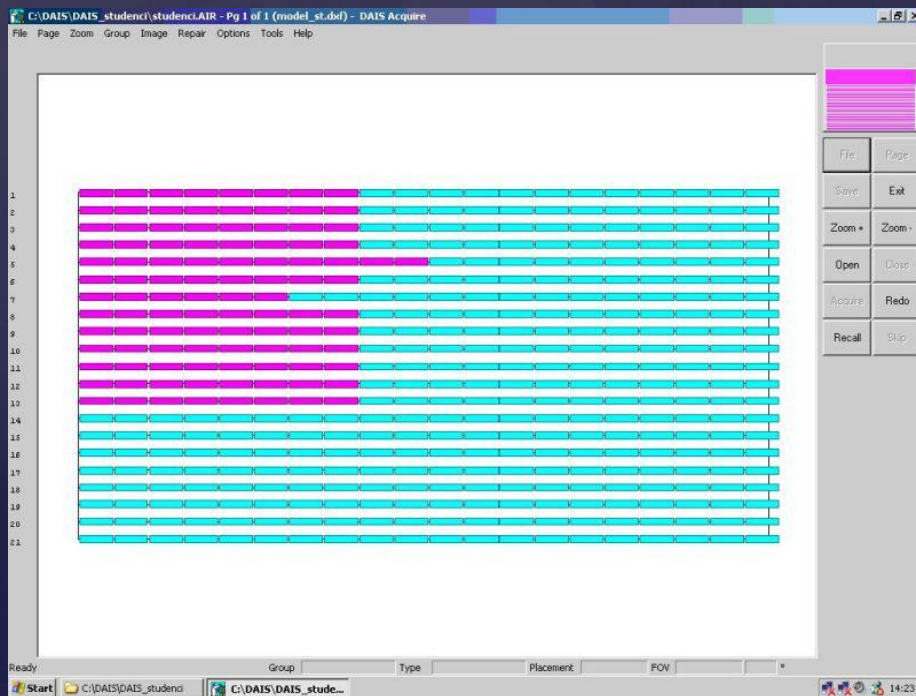


Wielkość deformacji wyliczona jako wartość:

$$D - Sight_INDEX = 100 \cdot \frac{(I_{\max} - I_{\min})}{(I_{\max} + I_{\min})}$$

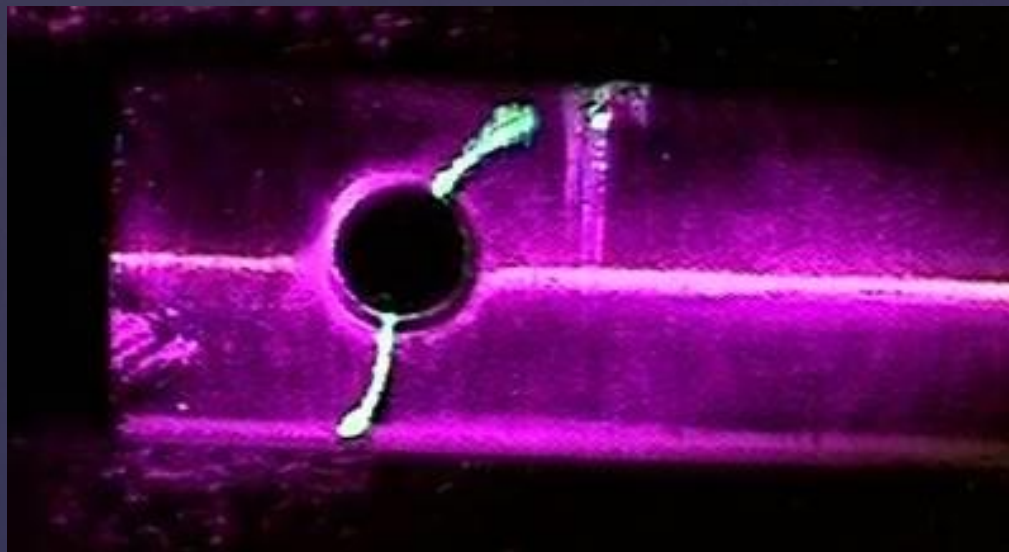
gdzie: $I_{\max}$ - maksymalna intensywność w zaznaczonym obszarze
 $I_{\min}$ - minimalna intensywność w zaznaczonym obszarze

Aparatura DAIS, metoda wyznaczania D-Sight indeksu



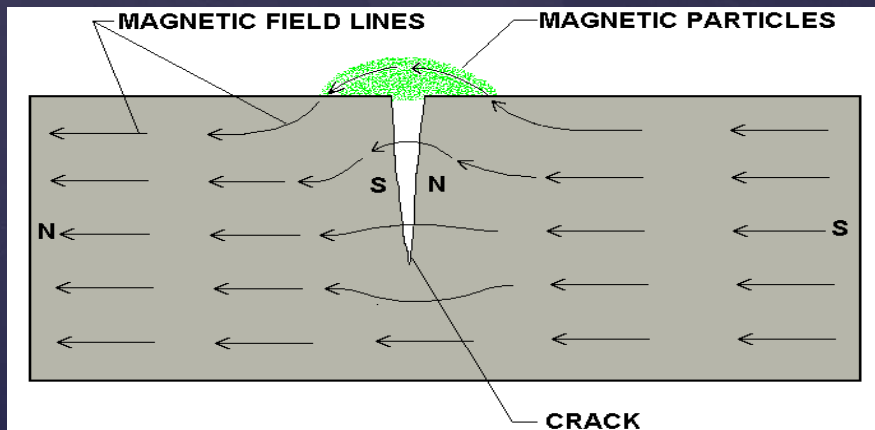
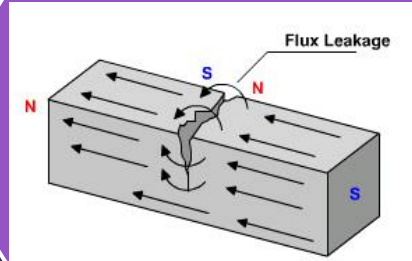
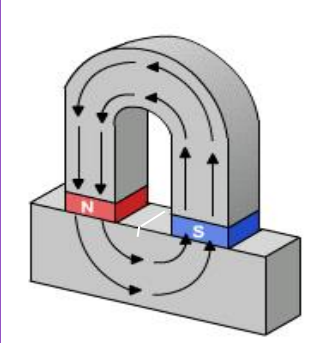
- wizualne, optyczne / Visual, Optical
- **penetracyjne / Liquid Penetrant**
- magnetyczne / Magnetic
- ultradźwiękowe / Ultrasonic
- prądów wirowych / Eddy Current
- rentgenowskie / Radiography (X-ray/ gama ray)
- akustyczne, rezonansowe Sonic/Resonance
- termograficzne, termowizyjne / Infrared Thermography

metoda penetracyjna



- wizualne, optyczne / Visual, Optical
- penetracyjne / Liquid Penetrant
- **magnetyczne / Magnetic**
- ultradźwiękowe / Ultrasonic
- prądów wirowych / Eddy Current
- rentgenowskie / Radiography (X-ray/ gama ray)
- akustyczne, rezonansowe Sonic/Resonance
- termograficzne, termowizyjne / Infrared Thermography

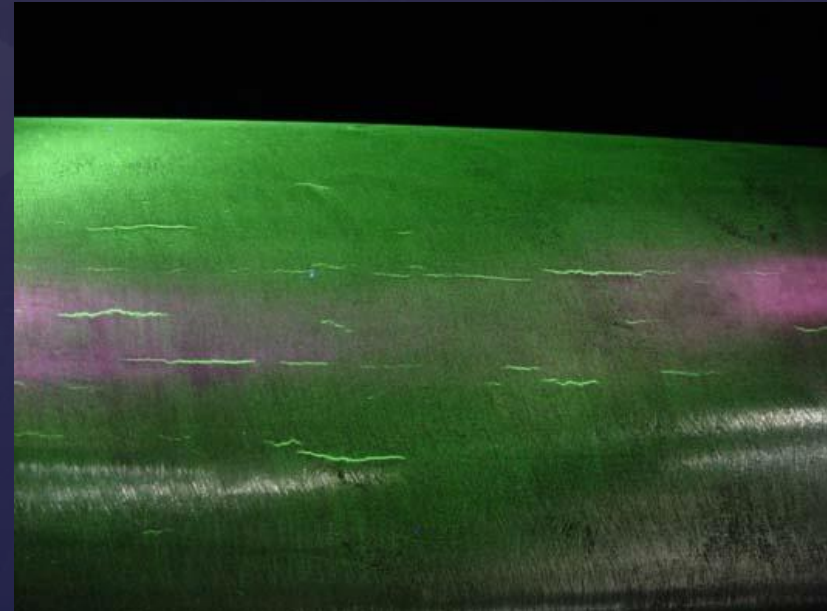
Metoda magnetyczna - Magnetic Particle Inspection



Linie sił pola magnetycznego są wyznaczone przez np. drobnoziarnisty proszek tlenku żelaza, który jest nakładany na powierzchnię próbki



Dry Magnetic Particles Wet Magnetic Particles



Fluorescent, Wet Particle Method

- wizualne, optyczne / Visual, Optical
- penetracyjne / Liquid Penetrant
- magnetyczne / Magnetic
- **ultradźwiękowe / Ultrasonic**
- prądów wirowych / Eddy Current
- rentgenowskie / Radiography (X-ray/ gama ray)
- akustyczne, rezonansowe Sonic/Resonance
- termograficzne, termowizyjne / Infrared Thermography

Metoda ultradźwiękowa

Metodą ultradźwiękową jesteśmy w stanie wykryć uszkodzenia w głębi materiału, podpowierzchniowe i niektóre z nieciągłości powierzchniowych w zależności od stosowanych fal (podłużne, poprzeczne, powierzchniowe, płytowe, Love'a).

Można za jej pomocą wykonywać również pomiary grubości.

Prowadzenie badań obiektów metodą ultradźwiękową polega na:

- wprowadzeniu do obiektów fal ultradźwiękowych (fal sprężystych), tj. drgań mechanicznych o częstotliwościach większych od 20 kHz; konieczne jest skanowanie powierzchni obiektu, tj. przesuwanie głowicy po powierzchni obiektu,
- detekcji sygnałów (impulsów), wywołanych przez fale przechodzące przez obiekty

W sygnałach tych, na podstawie ich amplitudy, fazy, widma a także obwiedni, jesteśmy w stanie określić charakter nieciągłości tam występujących

Do lokalizacji (określania odległości między powierzchnią po której porusza się głowica, a położeniem nieciągłości) wykorzystuje się informację zawartą w czasie przejścia fal ultradźwiękowych przez obiekt

- Natężenie fali ultradźwiękowej rozchodzącej się w ośrodkach stałych ulega osłabieniu. Składają się na to dwa czynniki:

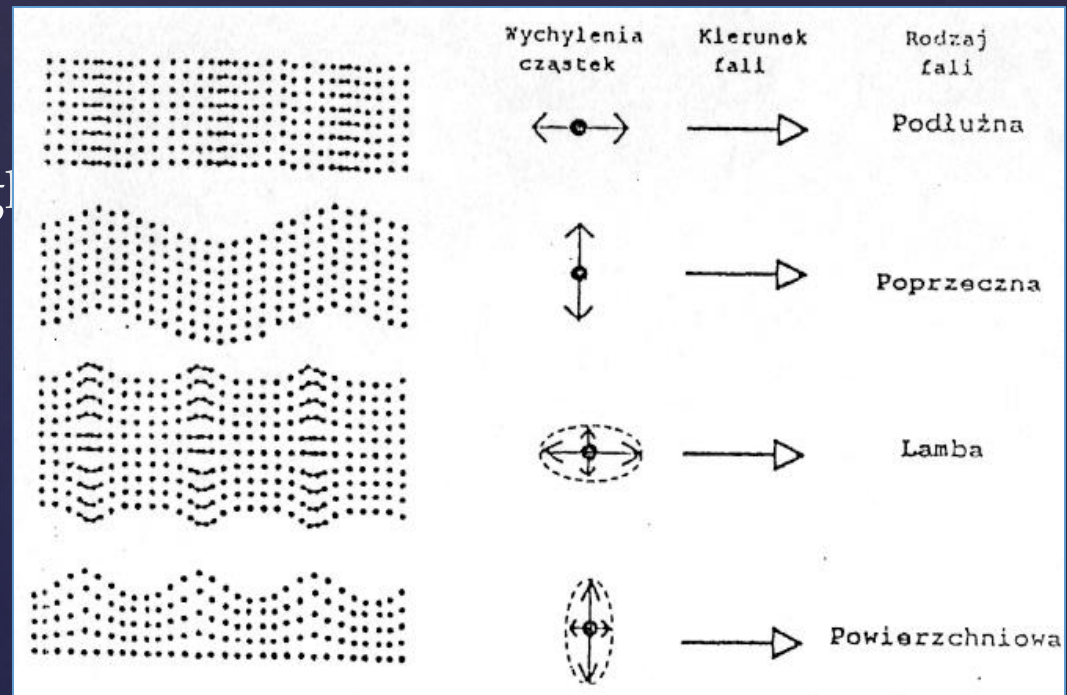
1. Pochłanianie kiedy część energii fali jest tracona z powodu ciepła wytwarzanego na skutek tarcia wewnętrznego cząstek.

2. Rozproszenie
(nieukierunkowane odbicie) fali od poszczególnych granic, które występują w ośrodkach polikrystalicznych, niejednorodnych pod względem struktury czy nawet zawierających wady wewnętrzne o wymiarach makroskopowych.

Rodzaje fal

Fale ultradźwiękowe różnią się między sobą kierunkiem drgań cząsteczek ośrodka w stosunku do kierunku rozchodzenia się fali. Rozróżniamy:

- ❑ Fale podłużne
- ❑ Fale poprzeczne
- ❑ Fale powierzchniowe (Rayleigh)
- ❑ Fale podpowierzchniowe
- ❑ Fale płytowe (Lamba)
- ❑ Fale Love'a



Przetworniki ultradźwiękowe

Efekt piezoelektryczny

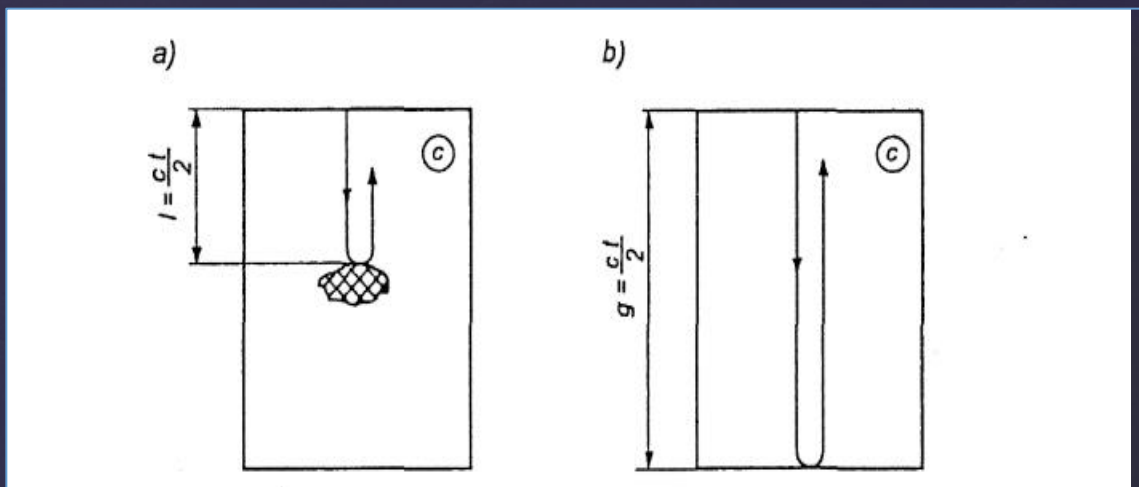
- W praktycznych zastosowaniach przetworniki odpowiednio obudowuje się, dzięki czemu otrzymuje się **główce ultradźwiękowe**
- W celu tzw. sprzężenia akustycznego głowicy z badanym materiałem, konieczne jest pokrycie miejsca styku olejem, wodą, smarem stałym. Dzięki temu usuwa się warstwę powietrza, która uniemożliwia wprowadzenie fal do badanego ośrodka

Metody badań ultradźwiękowych

Metoda echa wykorzystuje zjawisko odbicia fali przechodzącej przez badany materiał od granicy z drugim ośrodkiem

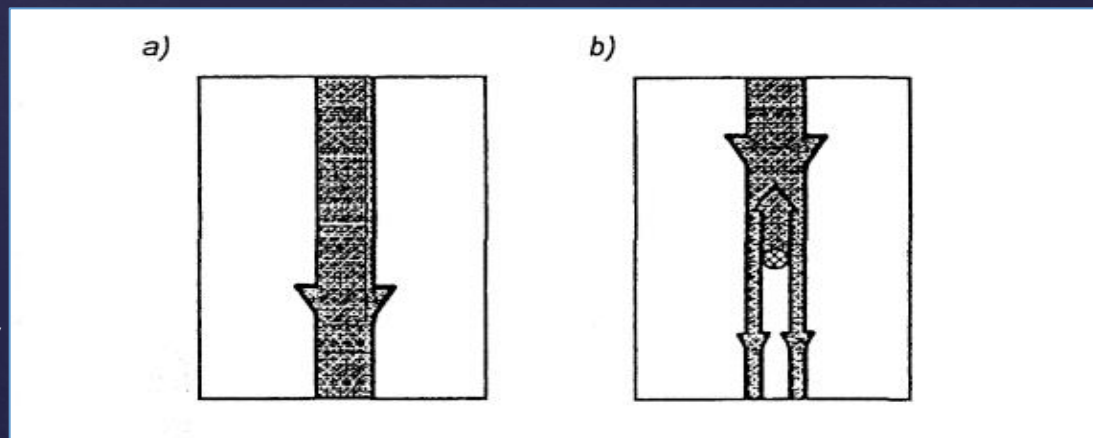
Rys. Zasady metody echa:

- a) wyznaczenie położenia)
- b) określenie grubości przedmiotu



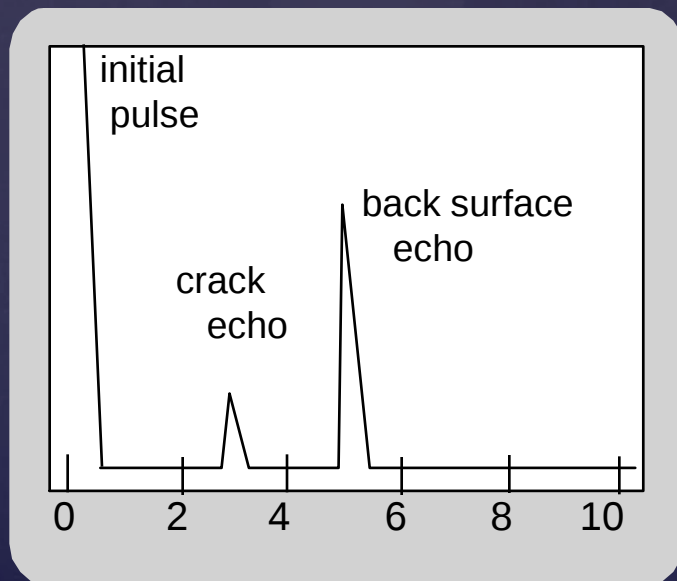
Metoda przepuszczenia polega na wprowadzeniu fal ultradźwiękowych z jednej strony i odbieraniu ich po przejściu przez przedmiot po stronie przeciwnej

Rys. Zasada badań metodą przepuszczenia: a) materiał bez wad, b) materiał z wadą

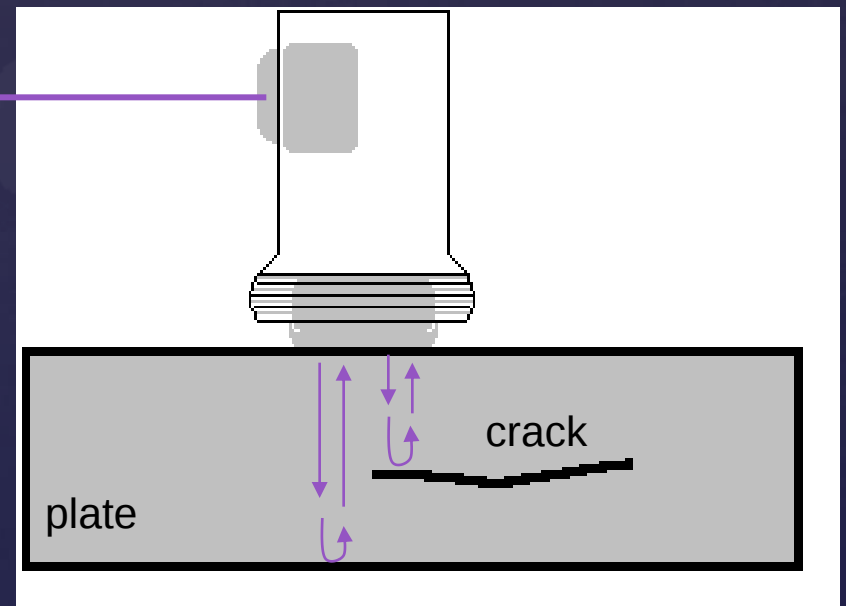


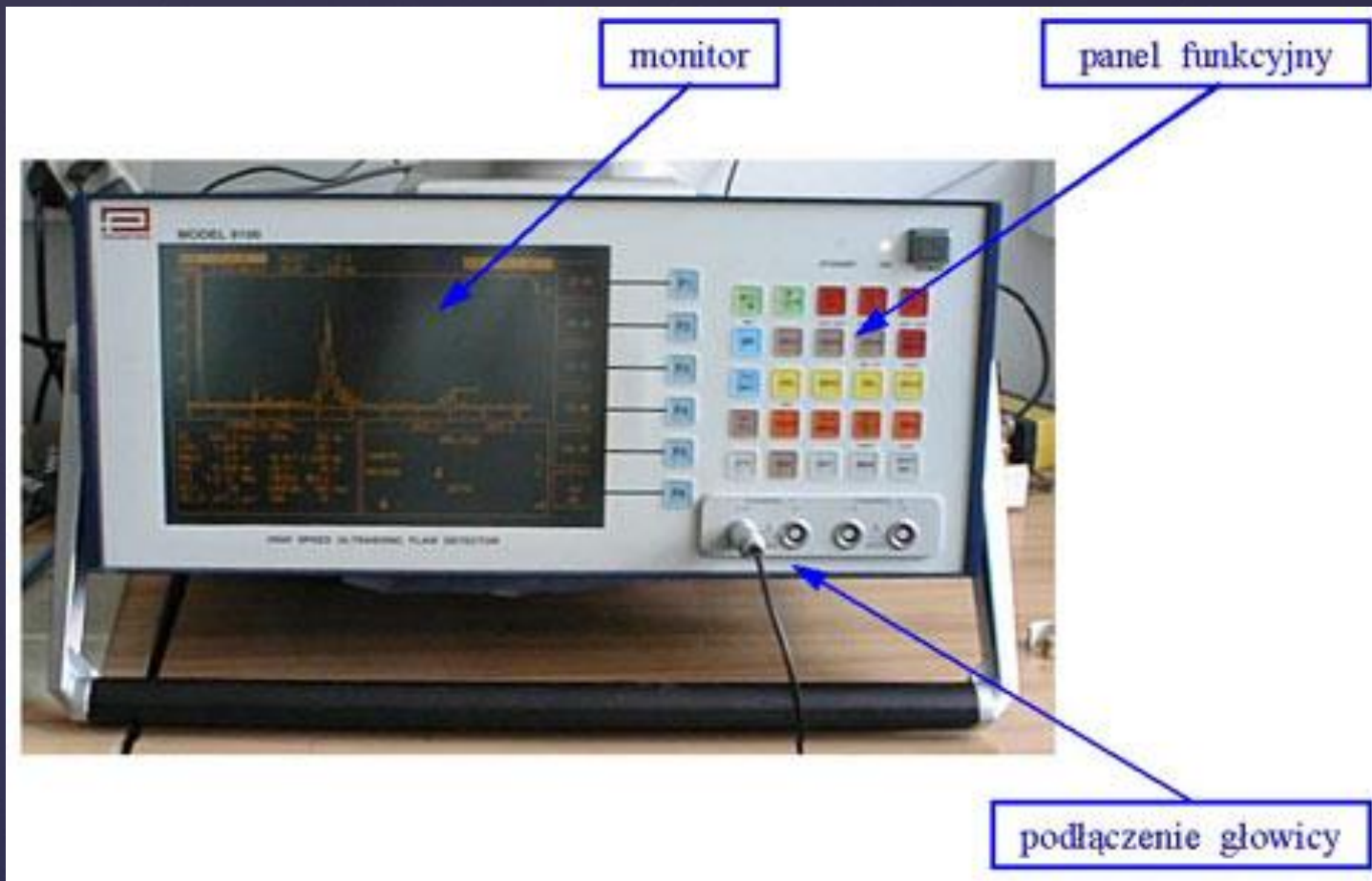
Ultrasonic Inspection (Pulse-Echo)

f



Oscilloscope, or flaw
detector screen

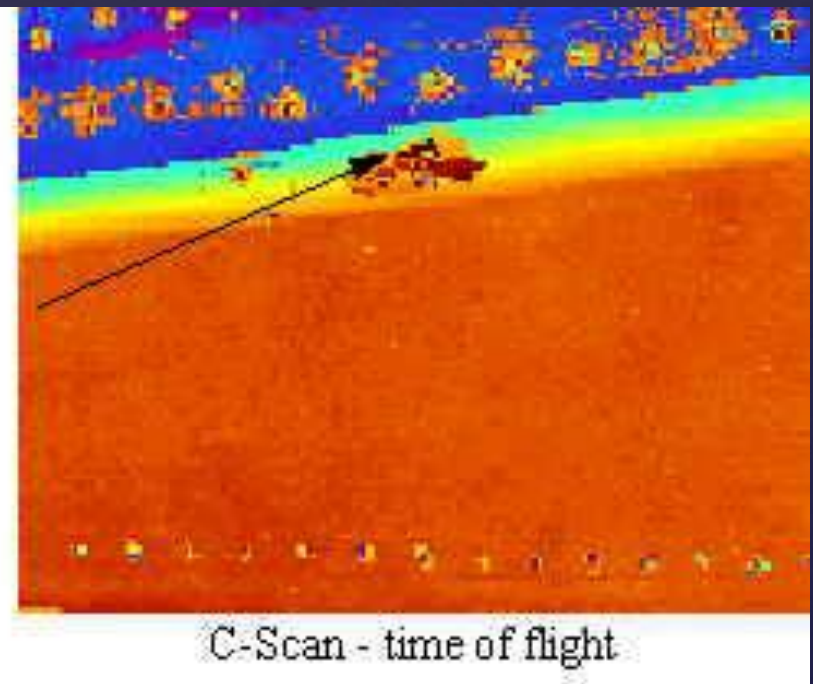
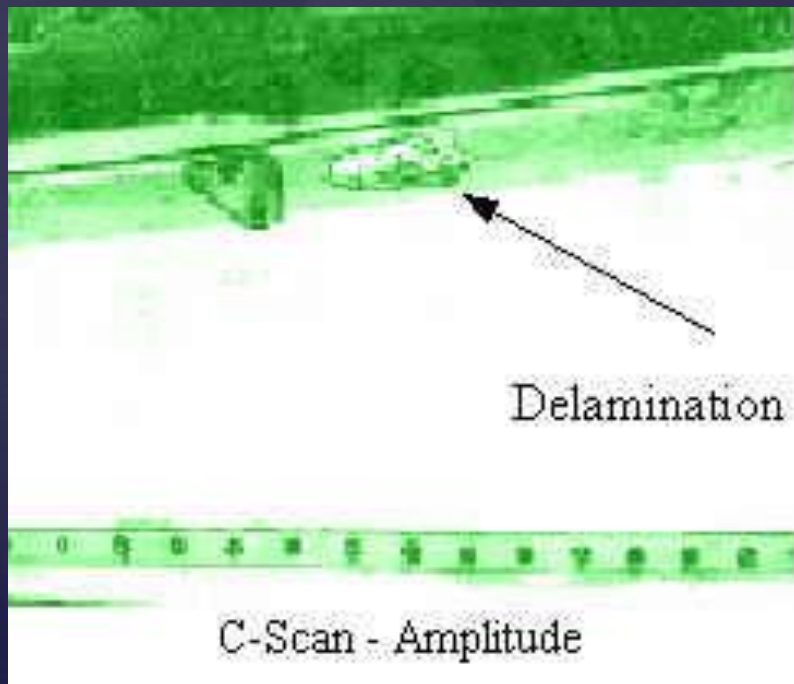




Defektoskop firmy Parametrics

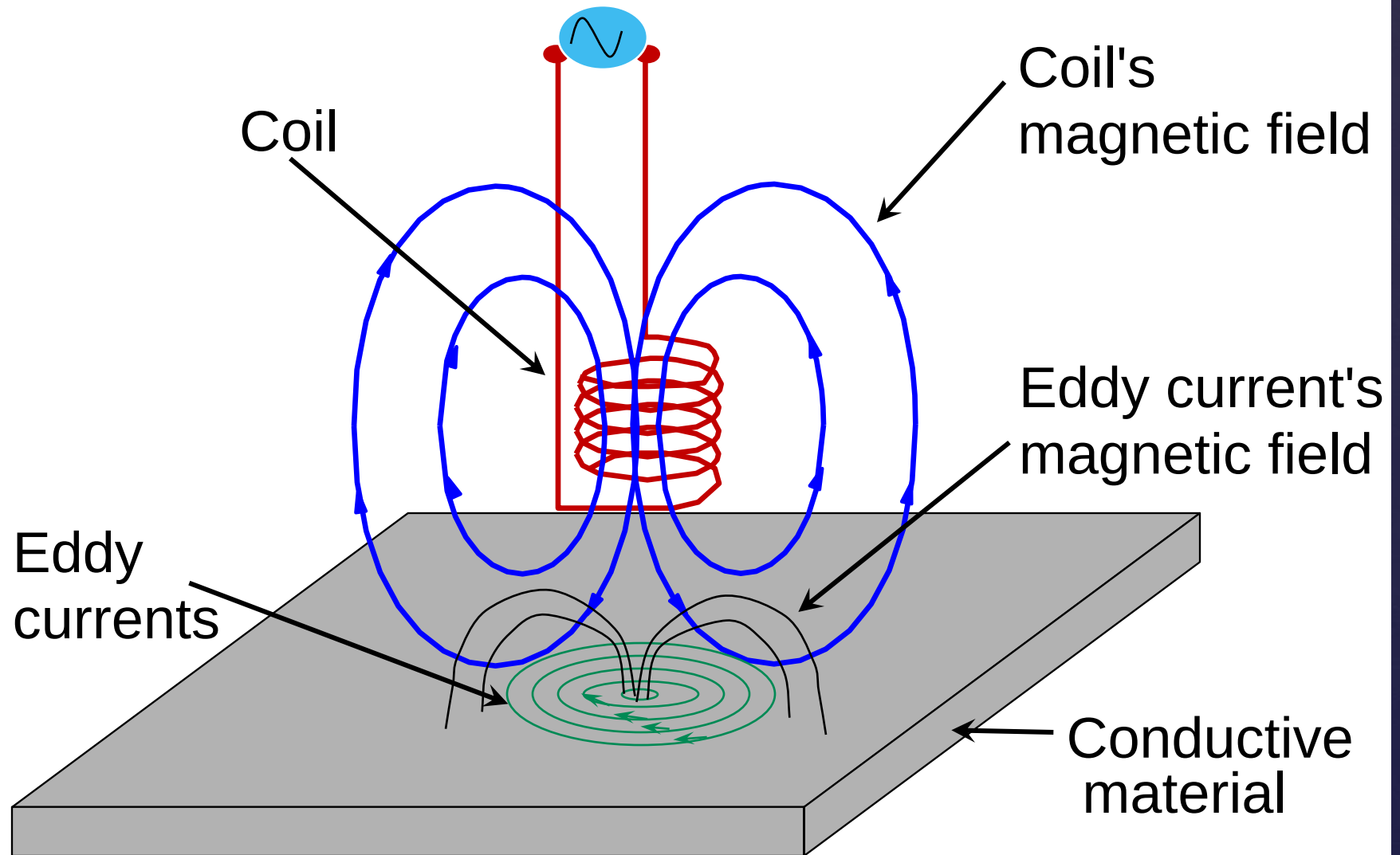
„Skan C” – obraz ultradźwiękowy

Odczyt dwuwymiarowy, dodatkowo barwami obrazujący głębokość z jakiej została odbita fala.

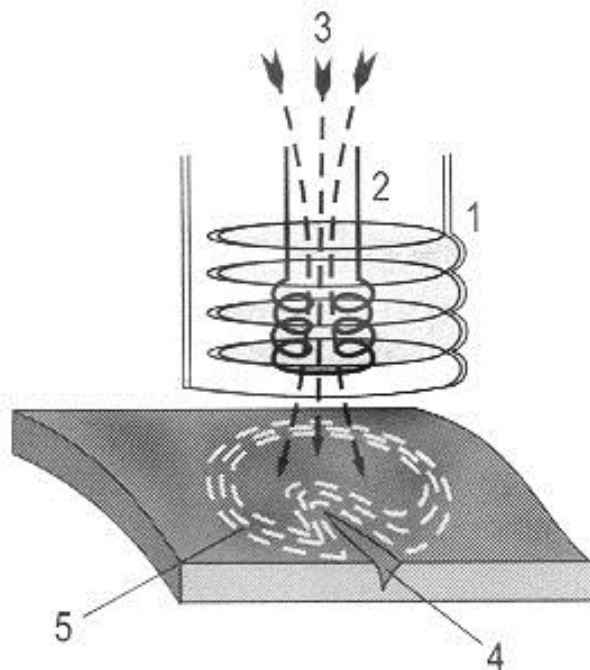


- wizualne, optyczne / Visual, Optical
- penetracyjne / Liquid Penetrant
- magnetyczne / Magnetic
- ultradźwiękowe / Ultrasonic
- **prądów wirowych / Eddy Current**
- rentgenowskie / Radiography (X-ray/ gama ray)
- akustyczne, rezonansowe Sonic/Resonance
- termograficzne, termowizyjne / Infrared Thermography

Eddy Current Testing

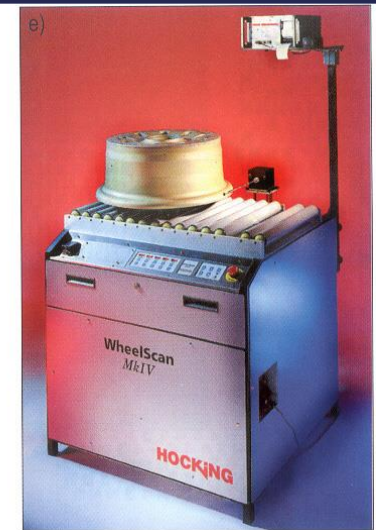
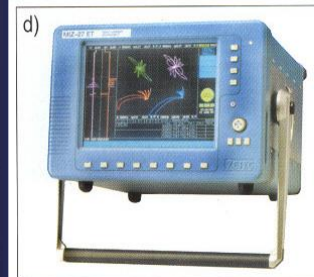


Metoda prądów wirowych



Stykowy przetwornik wiroprowodowy różnicowy oraz linie sił pola magnetycznego i ścieżki przepływu prądów wirowych w obiekcie badanym; 1 – uzwojenie wejściowe, 2 – uzwojenia wyjściowe, 3 – linie sił pola magnetycznego, 4 – nieciągłość w obiekcie, 5 – ścieżki przepływu prądów wirowych. Za zgodą firmy INSTITUT DR. FÖRSTER

Defektoskopy wiroprowodowe

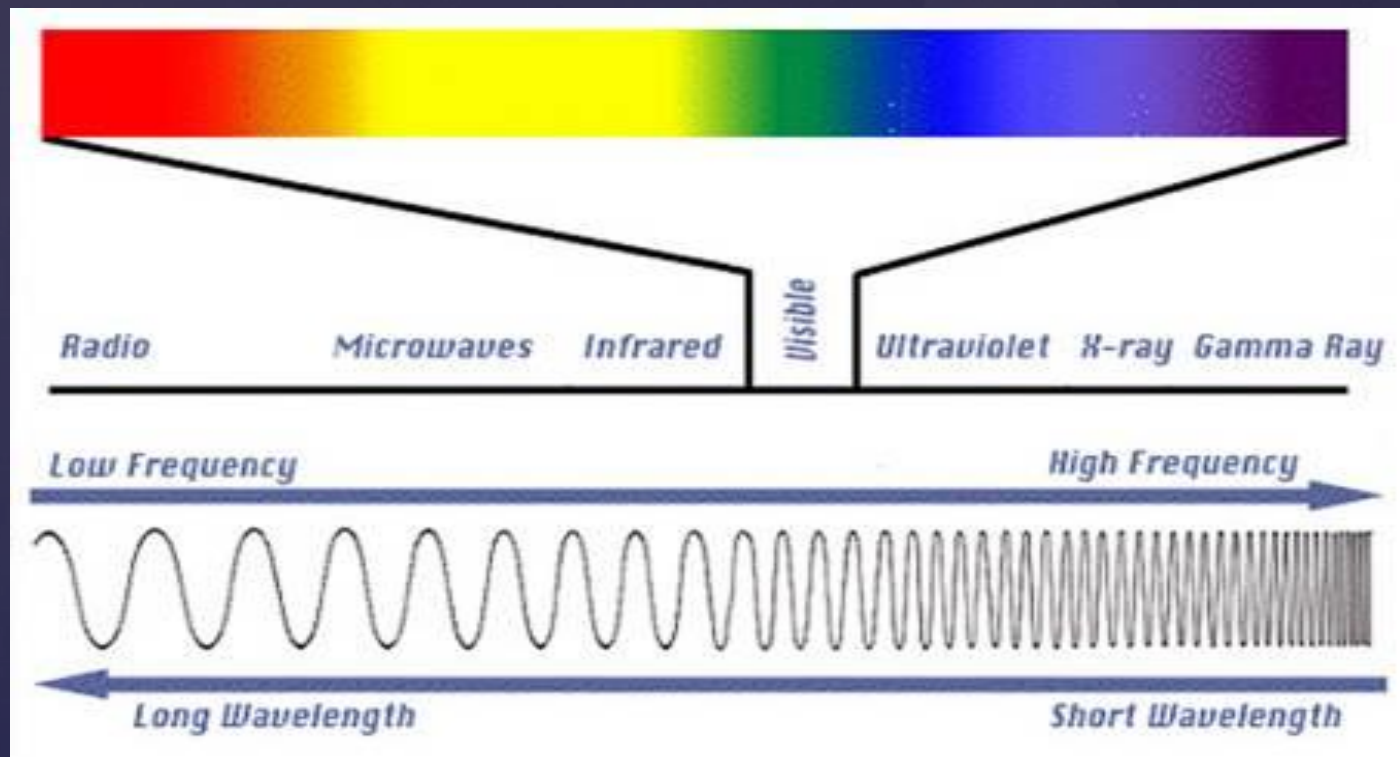


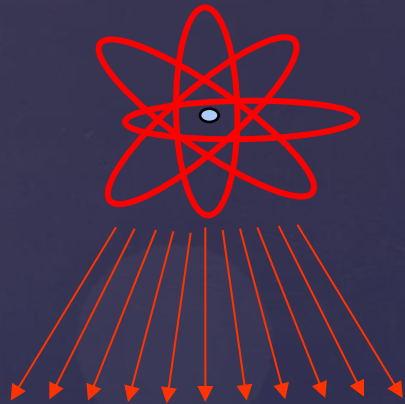


- wizualne, optyczne / Visual, Optical
- penetracyjne / Liquid Penetrant
- magnetyczne / Magnetic
- ultradźwiękowe / Ultrasonic
- prądów wirowych / Eddy Current
- **rentgenowskie / Radiography (X-ray/ gama ray)**
- akustyczne, rezonansowe Sonic/Resonance
- termograficzne, termowizyjne / Infrared Thermography

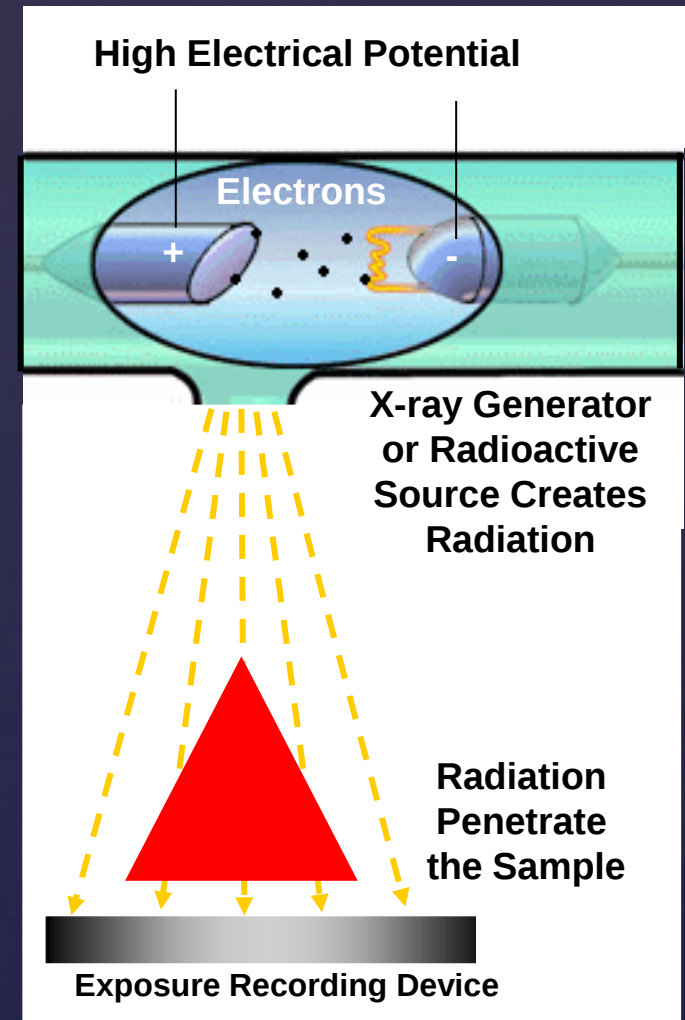
Radiografia

Promieniowanie używane w radiografii o wysokiej energii (shorter wavelength) pochodzi z generatora lub radioaktywnego źródła





X-ray film



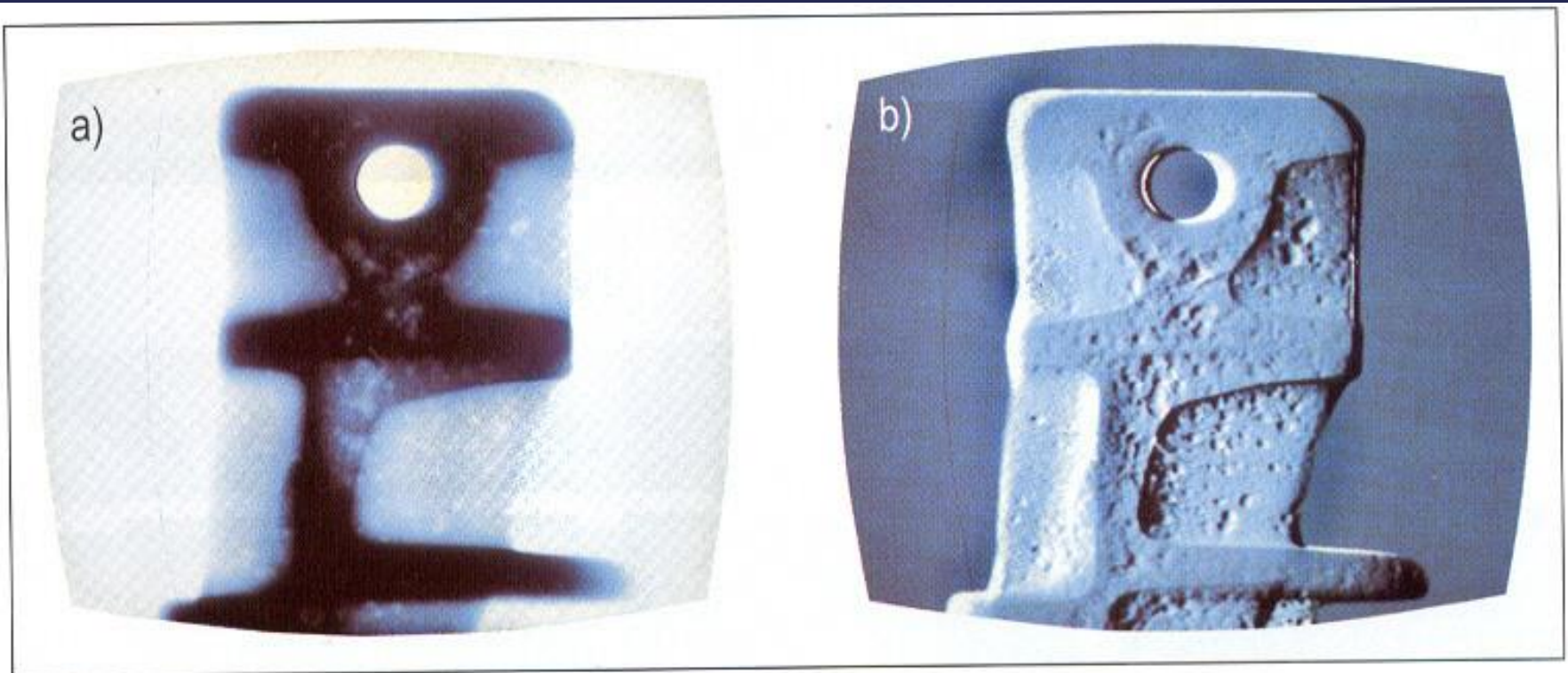
Metoda radiologiczna

Promieniami rentgenowskimi można badać mikrostrukturę materiału

Metodą tą można stwierdzić występowanie naprężeń mechanicznych, linii segregacji lub tekstury materiału



Metoda radiologiczna



Radiogram odlewu, uzyskany w systemie radioskopii czasu rzeczywistego: a) obraz nieprzetworzony, b) obraz przetworzony. Na podstawie materiałów firmy ANDREX (obecnie YXLON International X-Ray GmbH). Za zgodą firmy YXLON International X-Ray GmbH

- wizualne, optyczne / Visual, Optical
- penetracyjne / Liquid Penetrant
- magnetyczne / Magnetic
- ultradźwiękowe / Ultrasonic
- prądów wirowych / Eddy Current
- rentgenowskie / Radiography (X-ray/ gama ray)
- **akustyczne, rezonansowe Sonic/Resonance**
- termograficzne, termowizyjne / Infrared Thermography

akustyczne, rezonansowe Sonic/Resonance

Równie tanią, szybką, dostępną i stosowaną jest metoda akustyczna

Za jej pomocą można wykryć nieciągłości pod powierzchnią, niewidoczne na zewnątrz

Badania przy pomocy tej metody mogą być przeprowadzane, gdy detektorem jest ucho ludzkie, poprzez zwykłe opukiwanie badanych elementów lub przez bardziej zaawansowane sposoby badania oparte na zjawiskach akustycznych

- **Resonance test method**
- **Pitch/catch swept test method**
- **Pitch/catch impulse test method**
- **MIA(Mechanical Impedance Analysis) test method**
- **Eddy sonic harmonic test method**
- **Tap test**

Badania defektoskopowe, opierające się na zjawiskach akustycznych, pozwalają na wykrywanie, lokalizowanie i ocenę stopnia uszkodzenia, na podstawie właściwej interpretacji do której wykorzystuje się wzorce.

Technika przeprowadzania badań polega na pobudzeniu do drgań najczęściej siłą o charakterze sinusoidalnym w zakresie częstotliwości od kilku [Hz] do kilkunastu [MHz], a następnie na obserwacji przebiegów czasowych zaniku tych drgań lub wzbudzonych nimi fal oraz porównanie wielkości ich amplitud oraz faz

Metoda emisji akustycznej opiera się więc na rejestracji fal sprężystych, wywołanych poprzez zmianę stanu równowagi energetycznej na skutek przyłożenia zewnętrznego bodźca, które wykrywane są przez przetworniki piezoelektryczne, które konwertują naprężenia na impulsy elektryczne

Dzięki temu uzyskujemy charakterystykę sinusoidalną

Analiza takiej charakterystyki pozwala na lokalizowanie uszkodzenia mechanicznego powstającego na skutek procesów zmęzeniowych

Z dużym prawdopodobieństwem amplituda charakteryzuje mechaniczne mikropęknięcia oraz inne nieciągłości

Metoda emisji akustycznej służy do wykrywania uszkodzeń czynnych, których ciągłe powiększanie się stanowi zagrożenie dla konstrukcji

Przykładem może tu być korozja galwaniczna, która atakując pod powierzchnią materiału wydatnie zmniejsza wytrzymałość elementu

Mechanical Impedance Analysis – MIA

Metoda akustyczna wykorzystująca częstotliwości fali w zakresie od 2,5 do 8 kHz

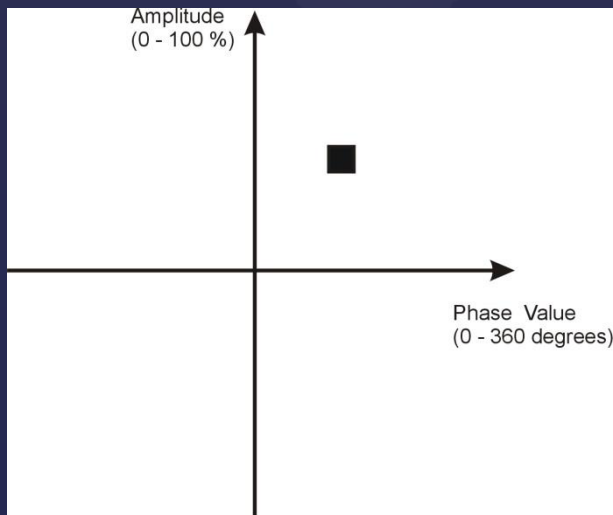
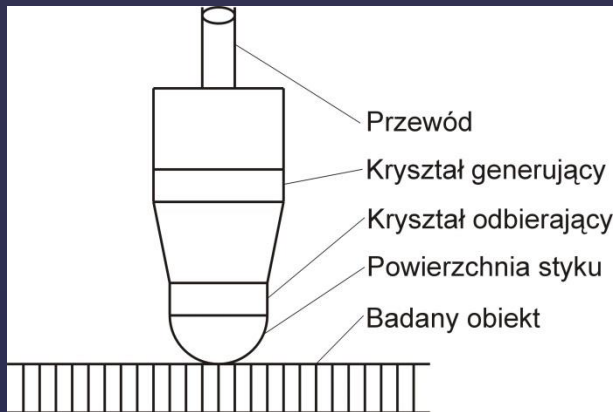
Dwa kryształy piezoelektryczne – emitujący umieszczony ponad odbierającym

Sygnał emitowany w sposób ciągły – generowanie fali stojącej w kryształach emitującym i odbierającym

Powracające drgania nakładają się na drgania kryształu odbierającego. Powstaje zmiana amplitudy i fazy drgań kryształu

Zmiana amplitudy i fazy określa istnienie uszkodzenia

Mechanical Impedance Analysis – MIA



Wyniki zobrazowane jako tzw. latający punkt (*Flying Dot*)

Inną możliwość stanowią dwa osobne skany: amplitudowy i fazowy

Nie wymaga medium łączącego sondę z badanym materiałem

Mniej wrażliwa na właściwości tłumiące materiału

Pitch - Catch

Metoda akustyczna wykorzystująca częstotliwości fali w zakresie od 2,5 do 70 kHz

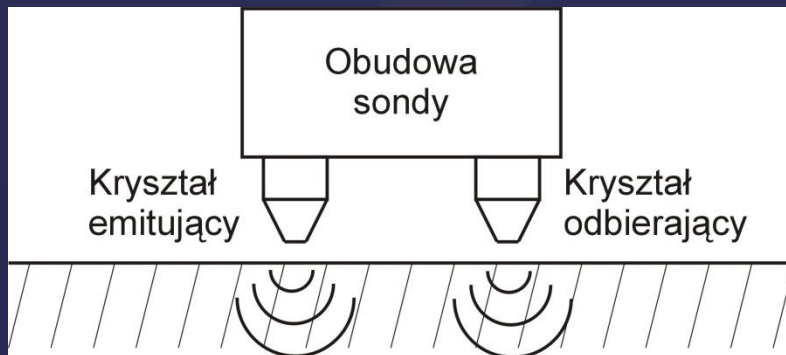
Dwa kryształy piezoelektryczne umieszczone w pewnej odległości od siebie

Generowane są fale w całym dopuszczalnym zakresie

Przy odpowiedniej długości fali w materiale powstają fale płaskie (*Plate Waves*)

Długość ta zależy od grubości materiału bądź od istnienia uszkodzenia na danej głębokości

Mierzone są amplituda i faza odbieranej fali



Wyniki zobrazowane jako tzw. latający punkt (*Flying Dot*)

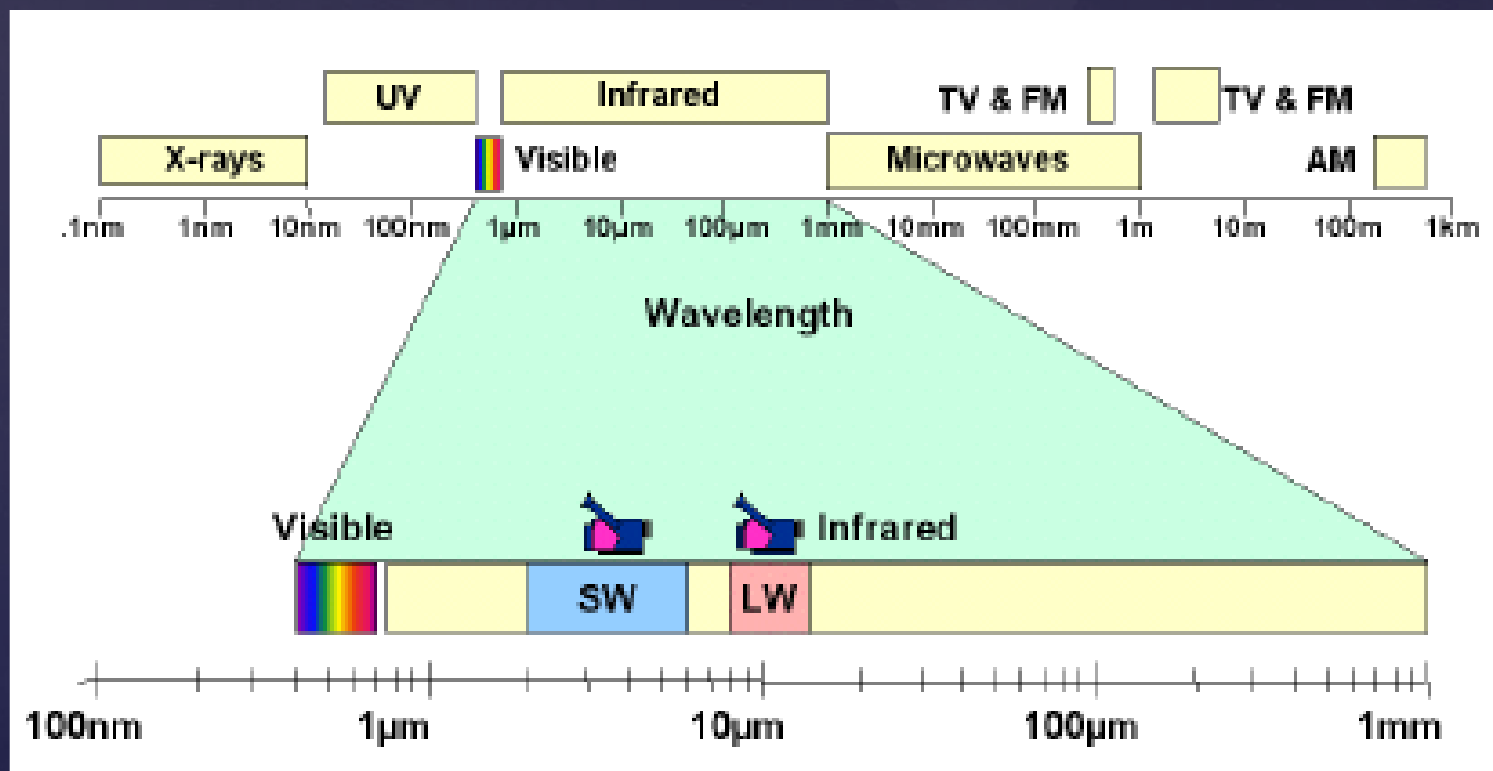
Inną możliwość stanowią dwa osobne skany: amplitudowy i fazowy

Nie wymaga medium łączącego sondę z badanym materiałem

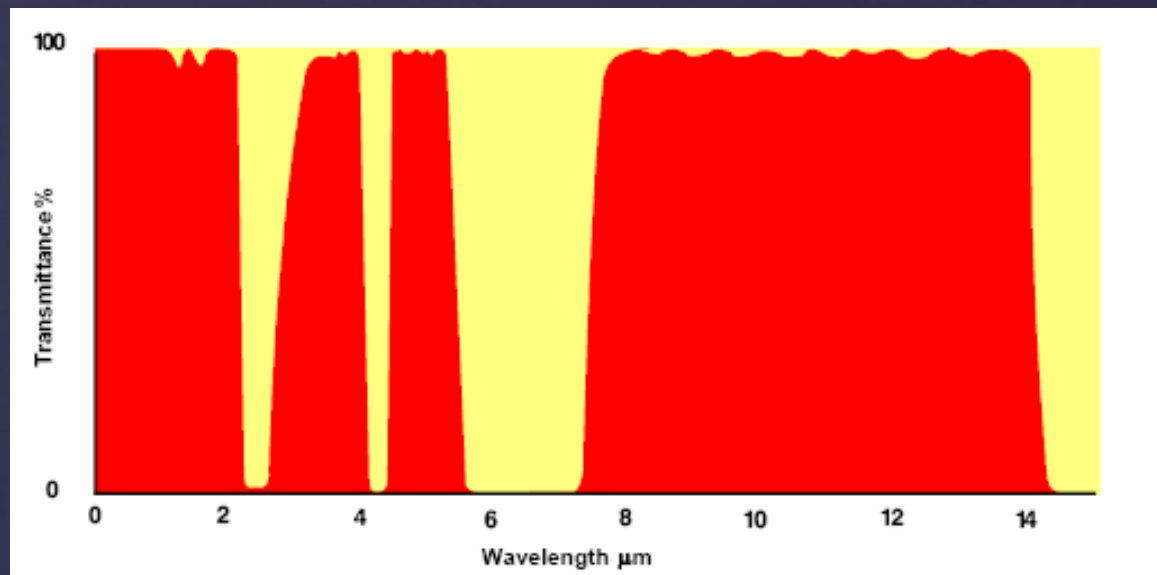
Mniej wrażliwa na właściwości tłumiące materiału

- wizualne, optyczne / Visual, Optical
- penetracyjne / Liquid Penetrant
- magnetyczne / Magnetic
- ultradźwiękowe / Ultrasonic
- prądów wirowych / Eddy Current
- rentgenowskie / Radiography (X-ray/ gama ray)
- akustyczne, rezonansowe Sonic/Resonance
- **termograficzne, termowizyjne / Infrared Thermography**

- Każde ciało o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego jest źródłem promieniowania w paśmie podczerwieni
- Zakres promieniowania podczerwonego:

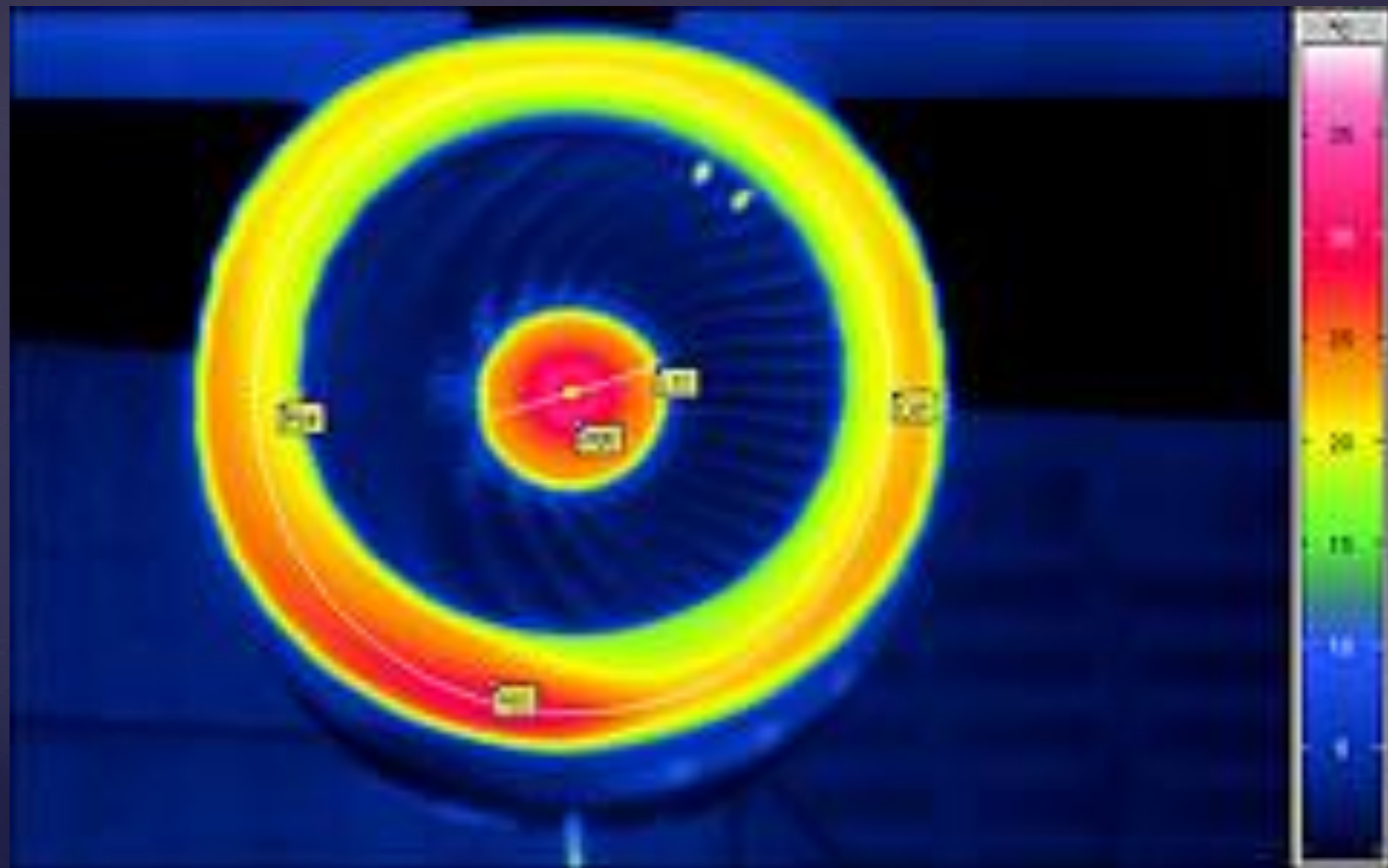


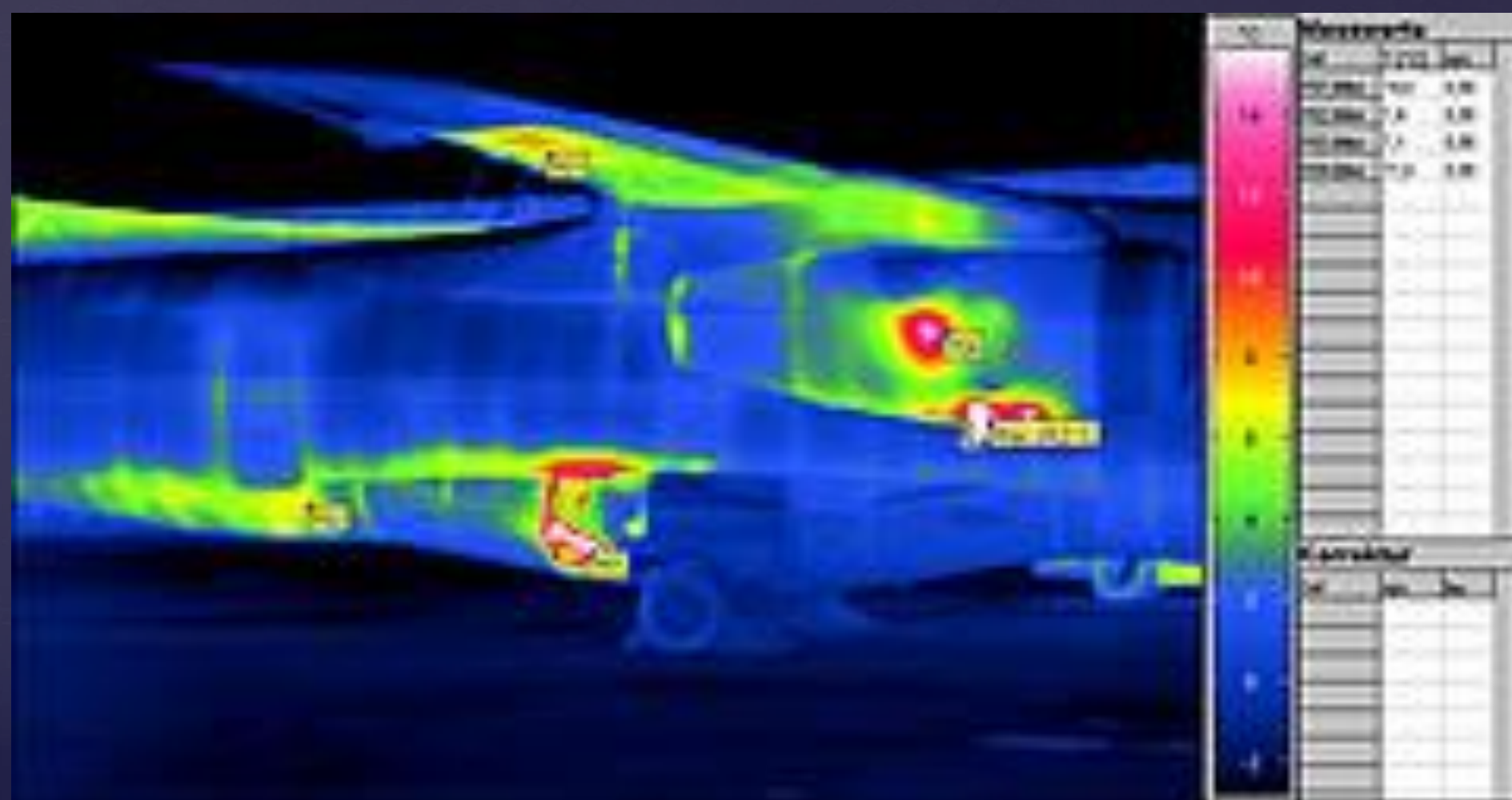
- Atmosfera przepuszcza promieniowanie podczerwone w zakresach:



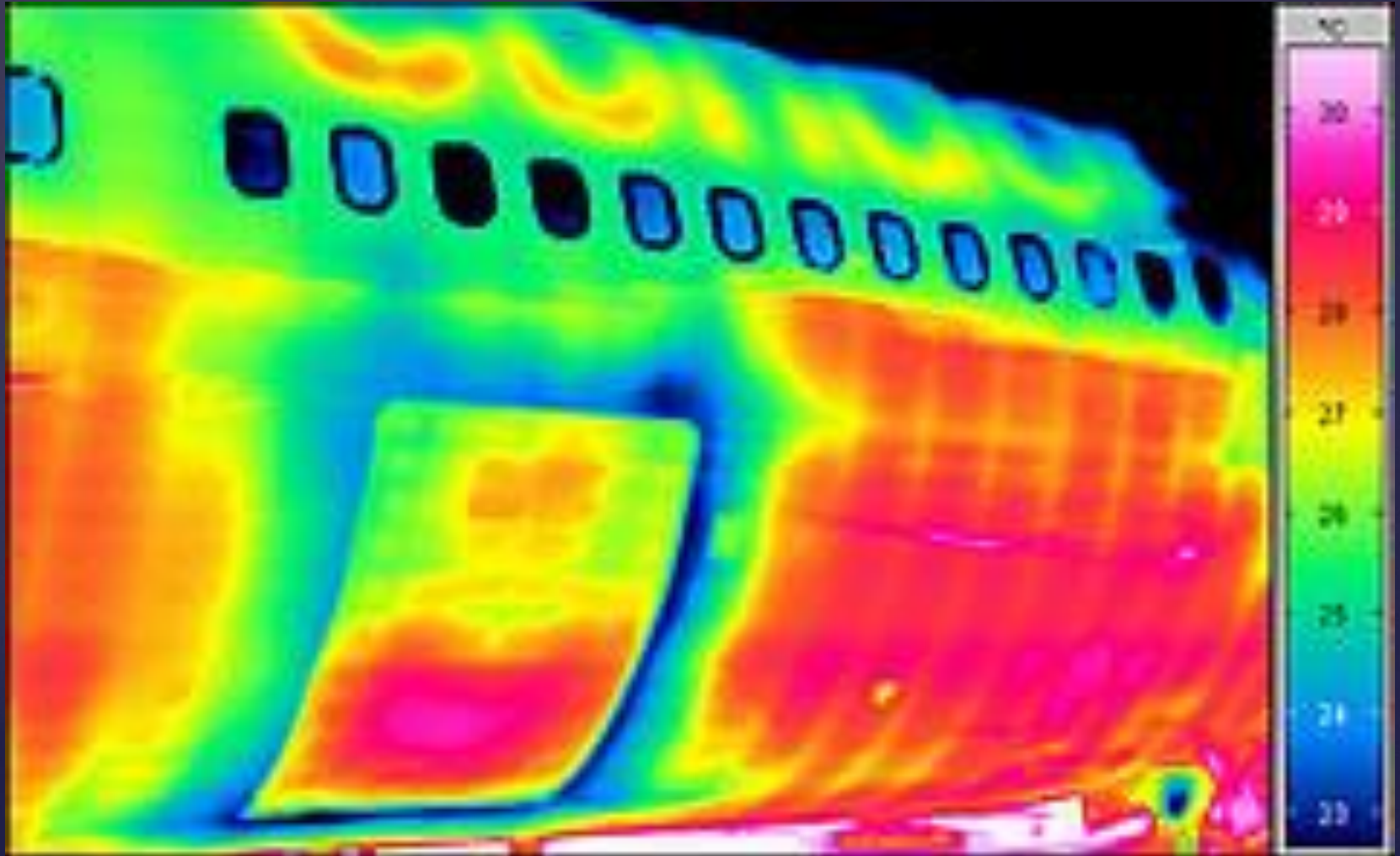
- I okno atmosferyczne – krótkofalowe 2÷5 μm (SW)
- II okno atmosferyczne – długofalowe 8÷14 μm (LW)

- Intensywność promieniowania zależy od temperatury i cech powierzchni ciała.
- Tworzenie obrazu polega na rejestracji przez kamerę promieniowania emitowanego przez obserwowany obiekt, a następnie przetworzeniu mapę temperatur.
- System termowizyjny jest więc rodzajem termometru, który pozwala mierzyć temperaturę na odległość w wielu miejscach jednocześnie.





Termografia jest metodą porównawczą, dlatego dla właściwej oceny wady i jej lokalizacji niezbędne jest uwzględnienie również wpływu i stanu sąsiednich, takich samych elementów, geometrii obiektu, symetrii budowy itp.



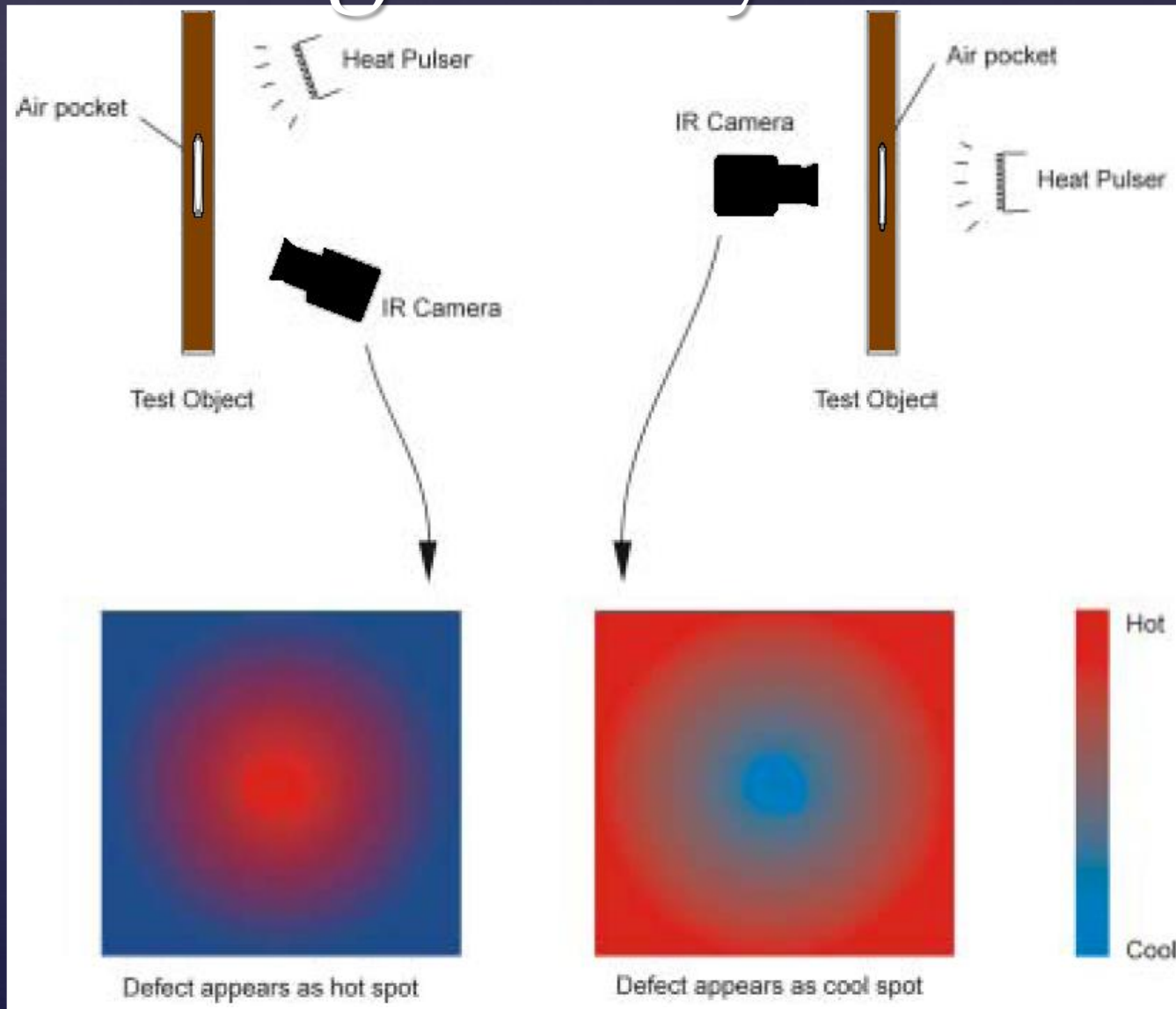
Termografia dynamiczna

- Celem pomiaru jest określenie właściwości badanych obiektów w stanach przejściowych
- W wyniku pobudzenia obiektu otrzymujemy odpowiedź:
- Impulsem wymuszającym mogą być:
 - Szybkość zmian temperatury
 - Wartość pojemności i przewodności cieplnej
 - Fale dźwiękowe (ultradźwięki)
 - Promieniowanie podczerwone
 - Promieniowanie mikrofalowe

Termografia dynamiczna

P
R
O
J
E
K
C
J
A

P
R
Z
E
D
N
I
A



P
R
O
J
E
K
C
J
A

T
Y
L
N
A

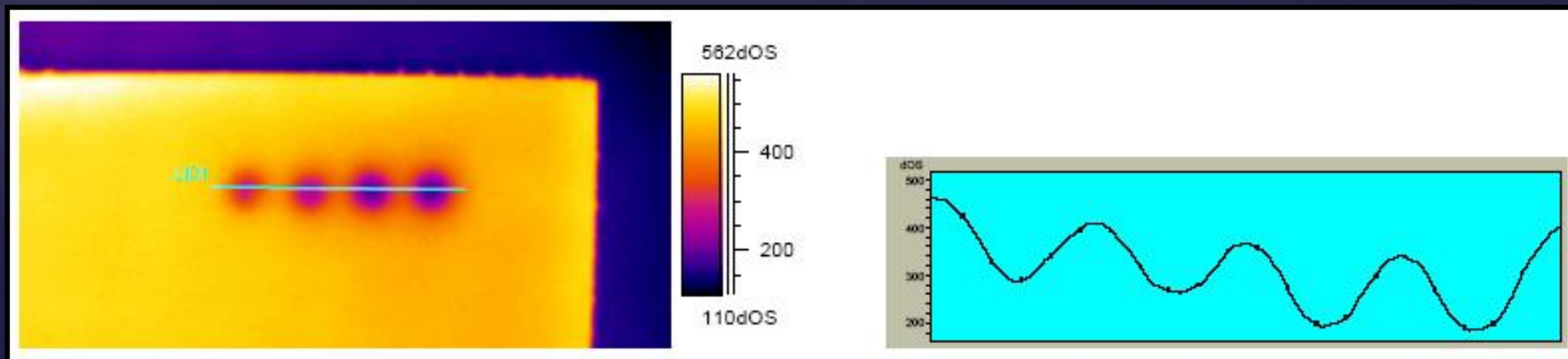
Termografia dynamiczna

- ⌘ Stosuje się cztery rodzaje termografii dynamicznej, zależnie od rodzaju wymuszenia:
 - Termografia impulsowa
 - Termografia impulsowa fazowa
 - Termografia synchroniczna (Lock-In)
 - Termografia ultrasoniczna (wibrotermografia)

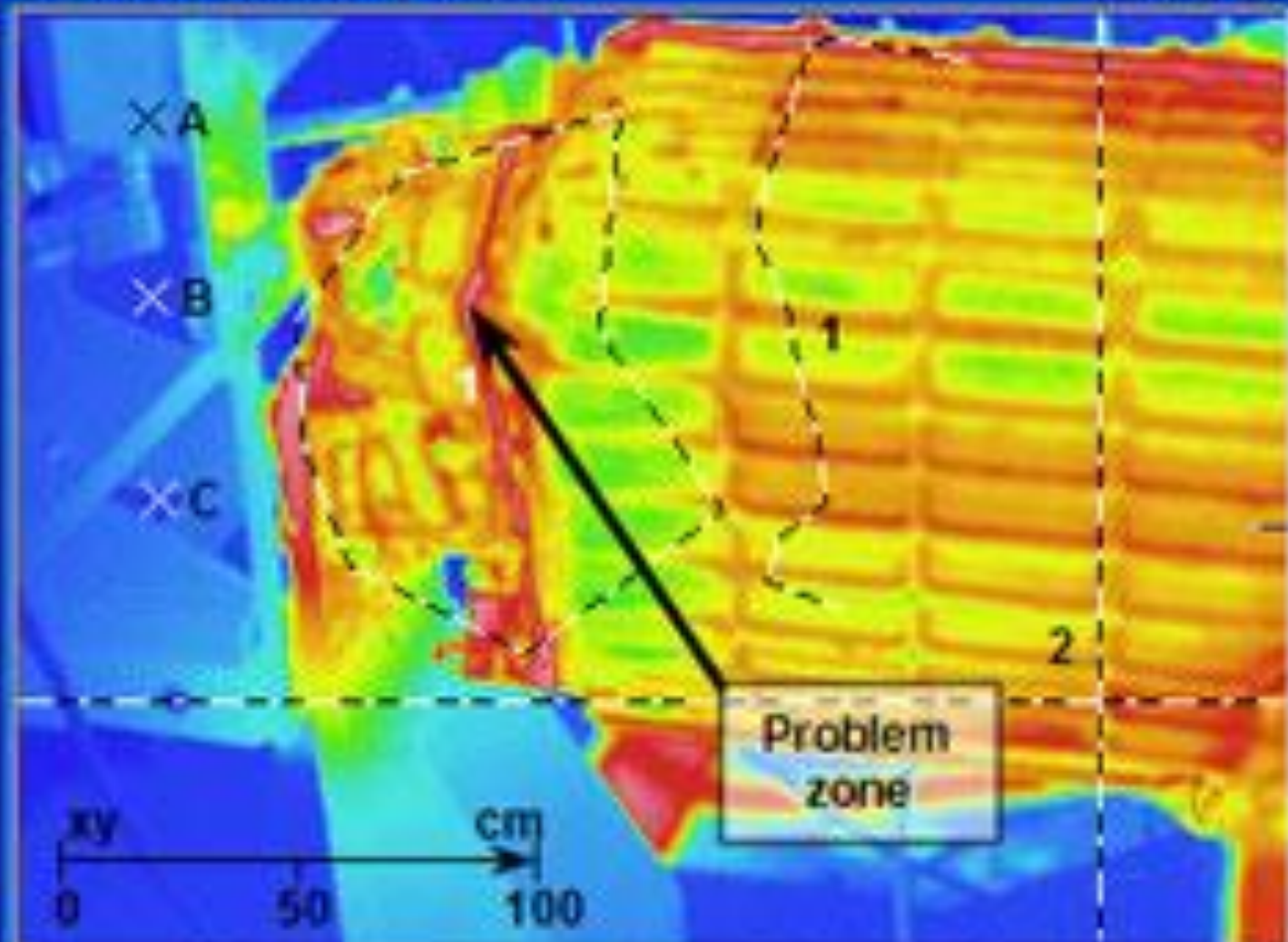
Przykłady badań

& Zawilgocenia:

- Badania wykonano w Wojskowym Instytucie Uzbrojenia
- Struktura przekładkowa typu plaster miodu
- W czterech komorach zamodelowano zawilgocenia 5 ml, 2,5 ml, 1,2 ml oraz poniżej 1 ml wody
- Obraz amplitudy przy częstotliwości 0.0146 Hz; metoda Lock-In:



03310006.IRI - [Image]



88.0 °C - (116; 68)

E=0.95 A=24.5

TVS600

Mobile Automated System (MAUS)



Zautomatyzowany system badawczy
firmy Boeing

Wymienne sondy (w tym
ultradźwiękowe, MIA i Pitch-Catch)

Oprogramowanie umożliwiające
wizualizację sygnałów oraz obróbkę
wyników

Przystosowanie do działania na
pionowych powierzchniach

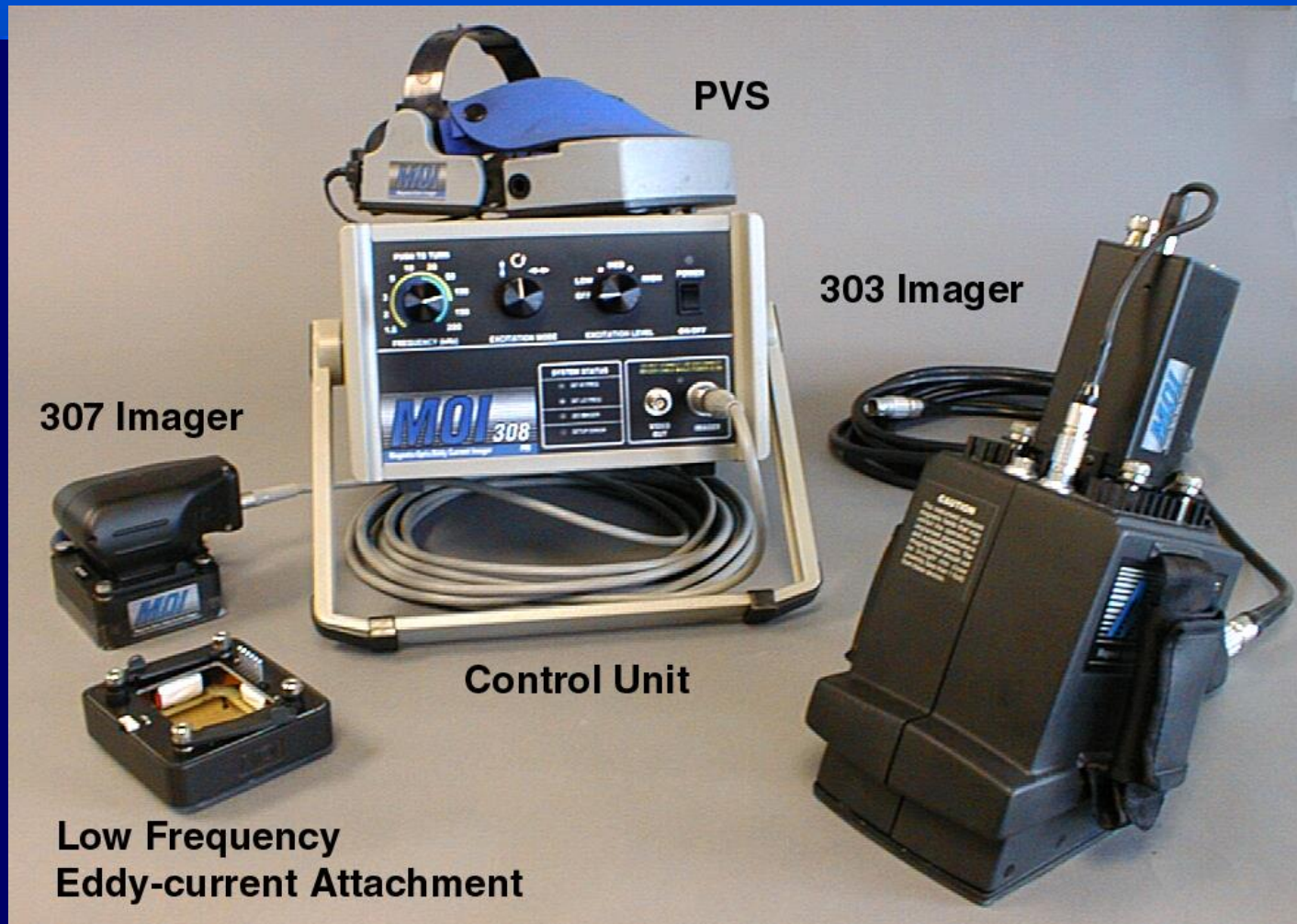
dr inż. Kamila Kustroń



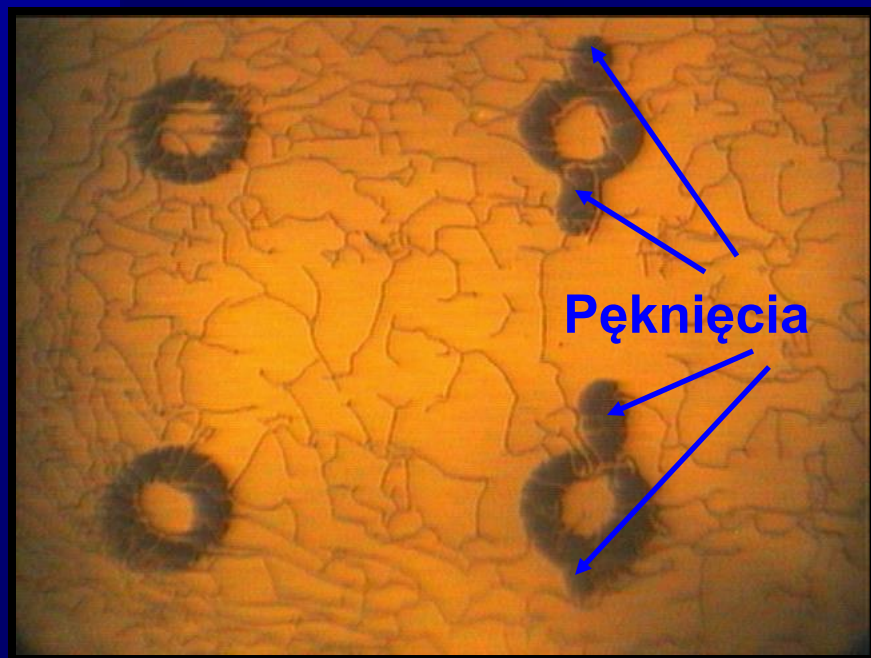
SYSTEM MOI-308

- **System NDT przeznaczony do wykrywania defektów w wielowarstwowych elementach struktur SP**
- **Wykorzystuje zjawiska magnetyczno-optyczne (efekt Faradaya) do wykrywania powierzchniowych i podpowierzchniowych defektów (pęknięcia, ukryta korozja, wady połączeń zgrzewanych)**
- **Bezpośredni analogowy obraz defektu**
- **Zastosowania:**
 - USAF - B-52, KC-135, C-141, C-5, ...**
 - USN - C-2, P-3, ...**
 - Lotnictwo cywilne - Boeing, Lockheed, Cessna, Challenger, Gulfstream, ...**

SYSTEM MOI-308 (1)



PRZYKŁADY DEFEKTÓW POŁĄCZEŃ WIELOWARSTWOWYCH WYKRYWANYCH PRZEZ MOI



Non Destructive Testing NDT NDE NDI

continuous damage monitoring

Structural Health Monitoring (SHM)

Health and Usage Monitoring System (HUMS)

Engine Monitoring System (EMS)

EKSPLOATACJA:

wg RESURSU - HARD TIME

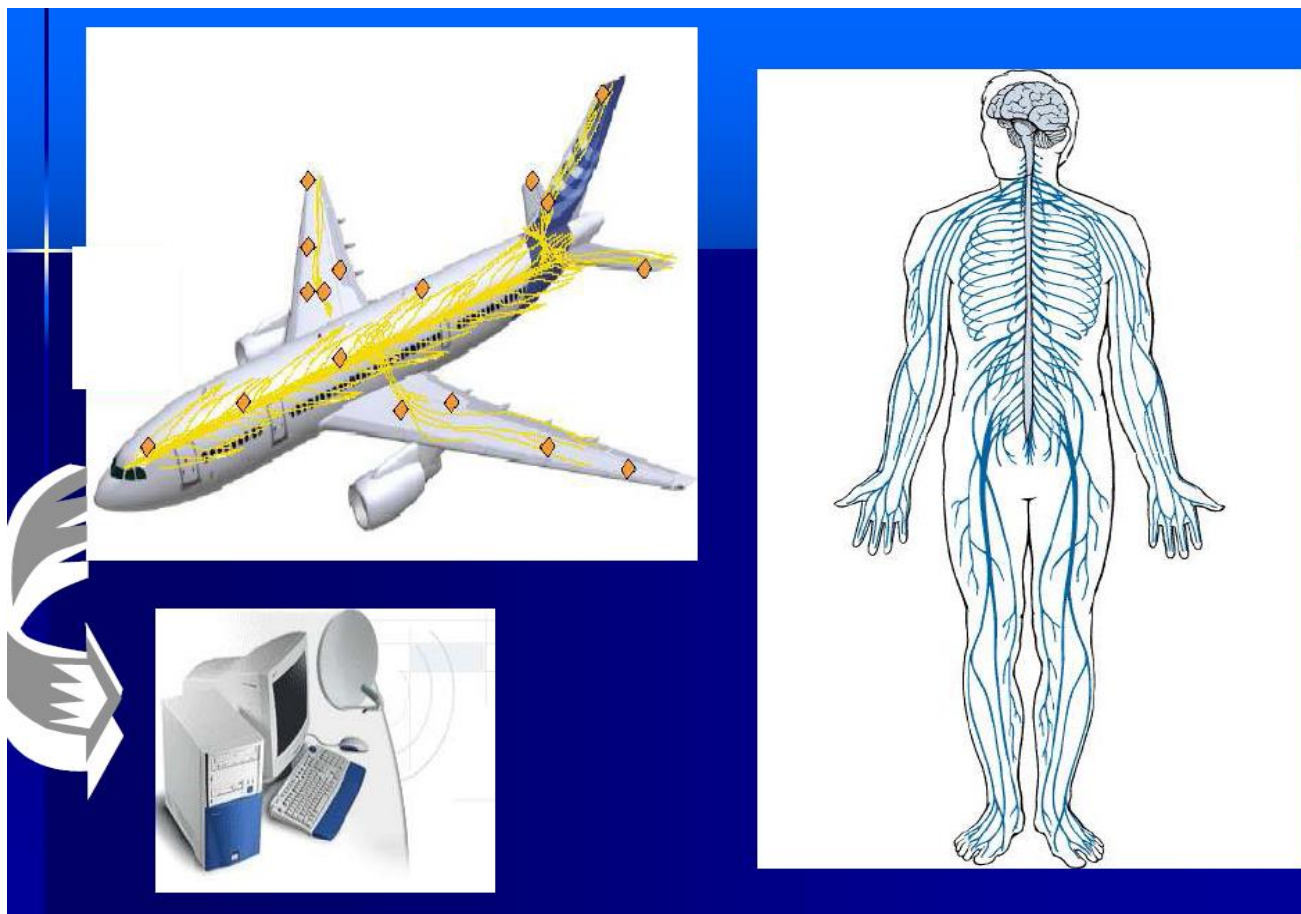
wg STANU TECHNICZNEGO – ON-CONDITION

- z kontrolowaniem parametrów
- z kontrolowaniem poziomu niezawodności

CONDITION MONITORING

dr inż. Kamila Kustroń

Inteligentne rozwiązania w monitorowaniu stanu technicznego SP



dr inż. Kamila Kustron

Koszt inspekcji

- Systemy inteligentnego monitorowania, ze względu na:
 - skrócony czas inspekcji,
 - większy stopień automatyzacji,charakteryzować się będą zmniejszonymi kosztami, co stanowi istotny bodziec do ich rozwoju

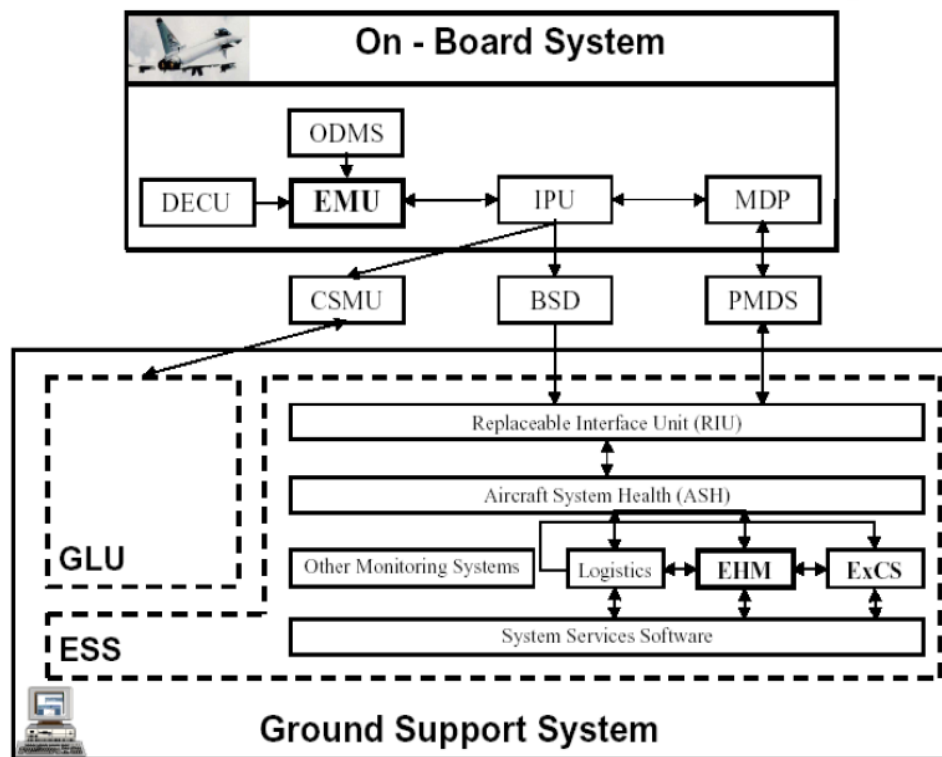
dr inż. Kamila Kustroń

Tabela. Czas inspekcji nowoczesnego SP

Typ inspekcji	Obecny czas inspekcji [% całości]	Oszacowany potencjał systemów inteligentnych	Oszczędzony czas [% całości]
W trakcie przelotu	16	.40	6.4
Zaplanowana	31	.45	14.0
Niezaplanowana	16	.10	1.6
Instrukcja obsługi	37	.60	22.2
	100		44.0

dr inż. Kamila Kustroń

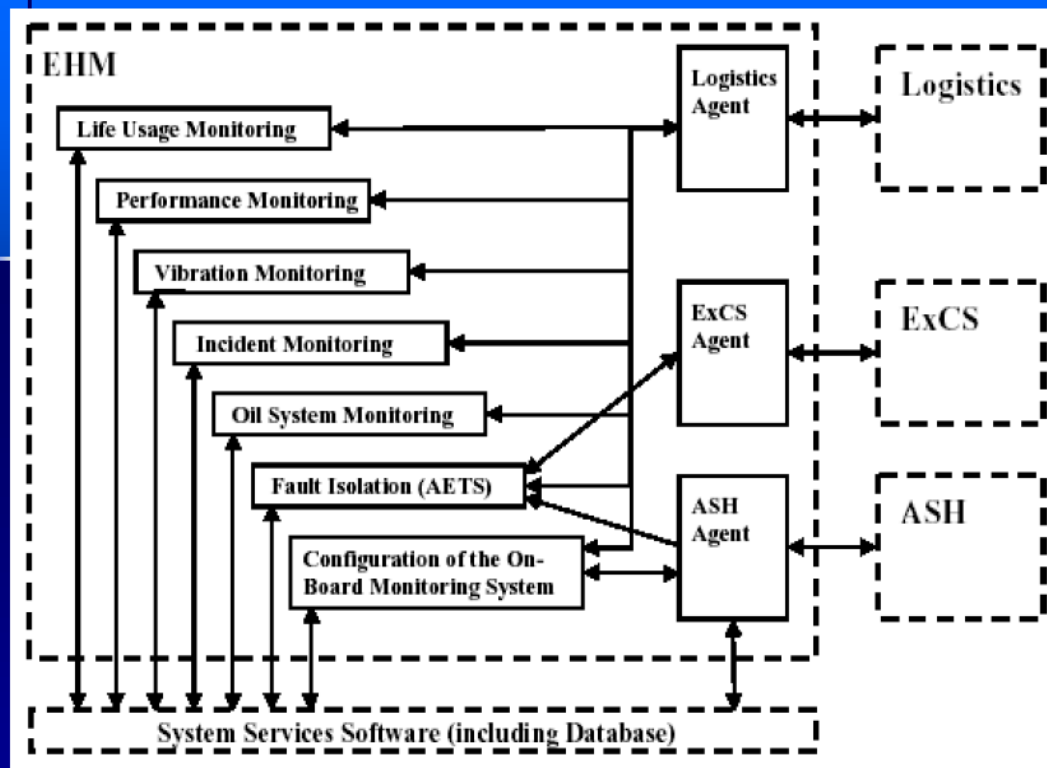
Architecture of the Engine Monitoring and Ground Support Systems of the EuroFighter



DECU: Digital Electronic Control Unit
 ODS: Oil Debris Monitoring System
 MDP: Maintenance Data Panel
 BSD: Bulk Storage Device
 EHM: Engine Health Monitoring
 ESS: Engineering Support System

EMU: Engine Monitoring Unit
 IPU: Interface Processing Unit
 PMDS: Portable Maintenance Data Store
 CSMU: Crash Survivable Memory Unit
 ExCS: Experience Capturing System
 GLU: Ground Loading (and Data Transfer) Unit

dr inż. Kamila Kustroń



DECU: Digital Electronic Control Unit
ODMS: Oil Debris Monitoring System
MDP: Maintenance Data Panel
BSD: Bulk Storage Device
EHM: Engine Health Monitoring
ESS: Engineering Support System

EMU: Engine Monitoring Unit
IPU: Interface Processing Unit
PMDS: Portable Maintenance Data Store
CSMU: Crash Survivable Memory Unit
ExCS: Experience Capturing System
GLU: Ground Loading (and Data Transfer) Unit

dr inż. Kamila Kustroń

SHM

Upraszcza system utrzymywania stanu zdolności

Wprowadzenie sensorów w strukturę SP

prowadzi do szybkiego i niezawodnego pozyskiwania danych diagnostycznych

Nie wymaga dostępu do diagnozowanego obszaru, elementu

Przez co jest kluczem do oszczędności w odniesieniu do czasu i kosztów

Korzyści osiągnęte są dodatkowo poprzez niezawodność metody poprzez ograniczenie wpływu HUMAN FACTOR

Obok korzyści redukcji kosztów eksploatacji bardzo ważne jest wzrost współczynnika gotowości technicznej floty samolotów

dr inż. Kamila Kustroń

CZUJNIKI I WIELKOSCI BADANE

TERMoelektryczne – temperatury

Tensometryczne – ciśnienie w zbiornikach, odkształcenia

Tachometryczne – prędkości obrotowe

Bezwładnościowe – drgania

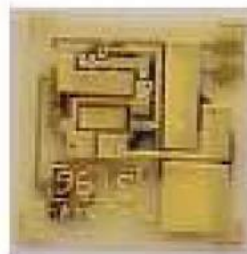
Magnetyczne – zanieczyszczenia płynów roboczych

Defektoskopowe – pęknięcia, rozwarstwienia

Potencjalne sensory do wykorzystania w SHM



Piezoelectric



MEMS

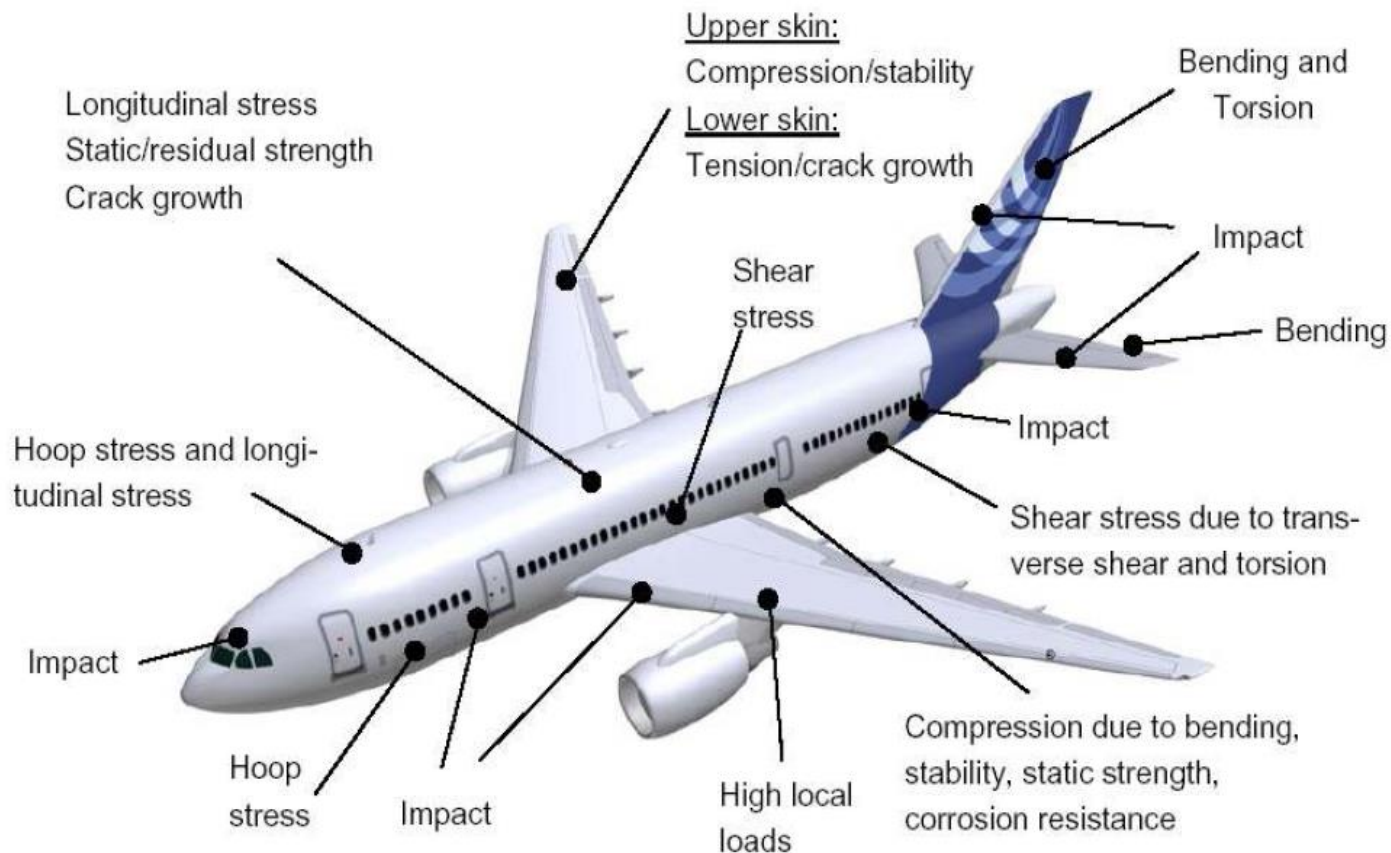


Fiber-optic



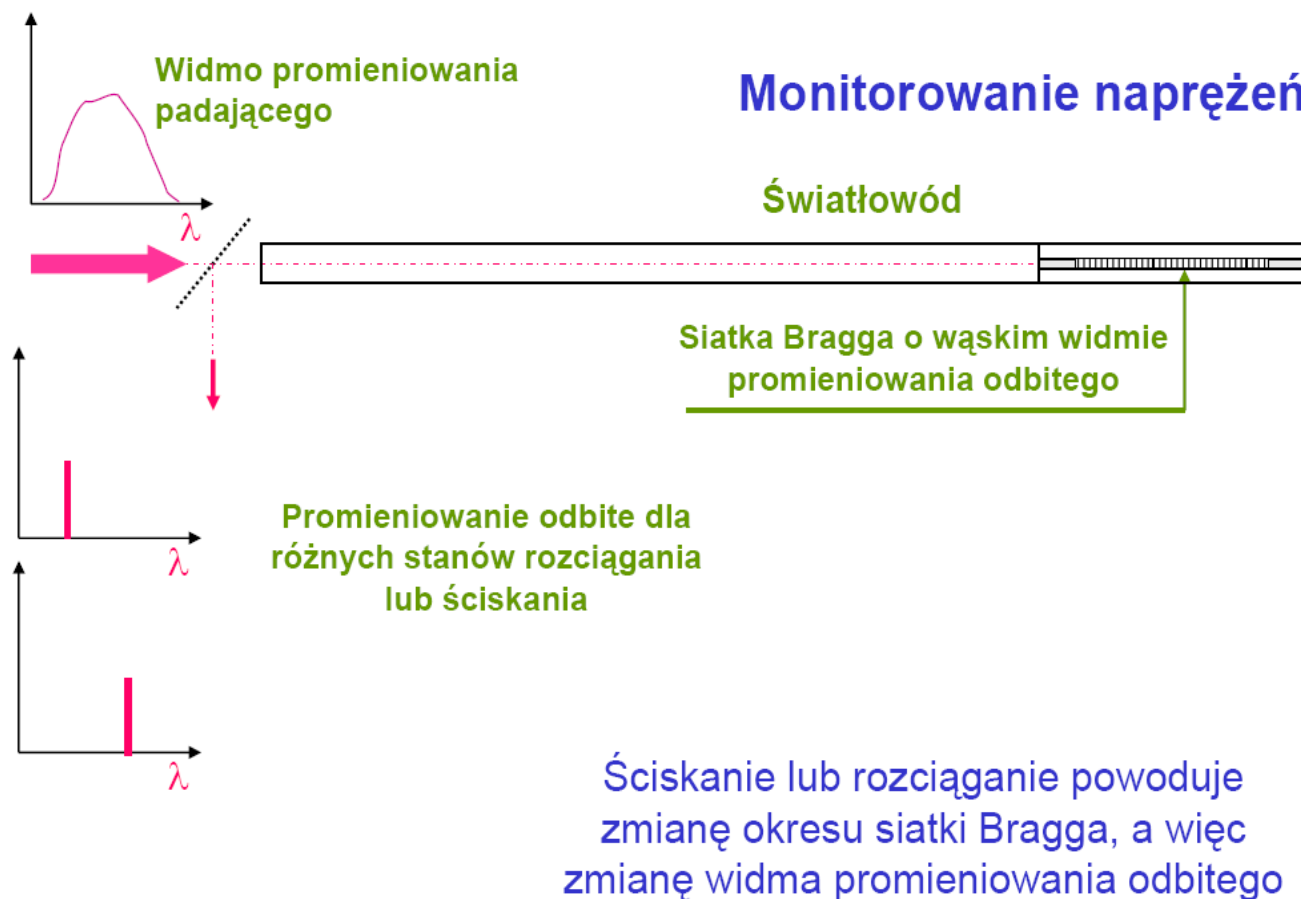
Strain-gages

dr inż. Kamila Kustroń



Non-destructive testing (NDT) is needed in order to ensure the integrity of the airframe.

dr inż. Kamila Kustroń

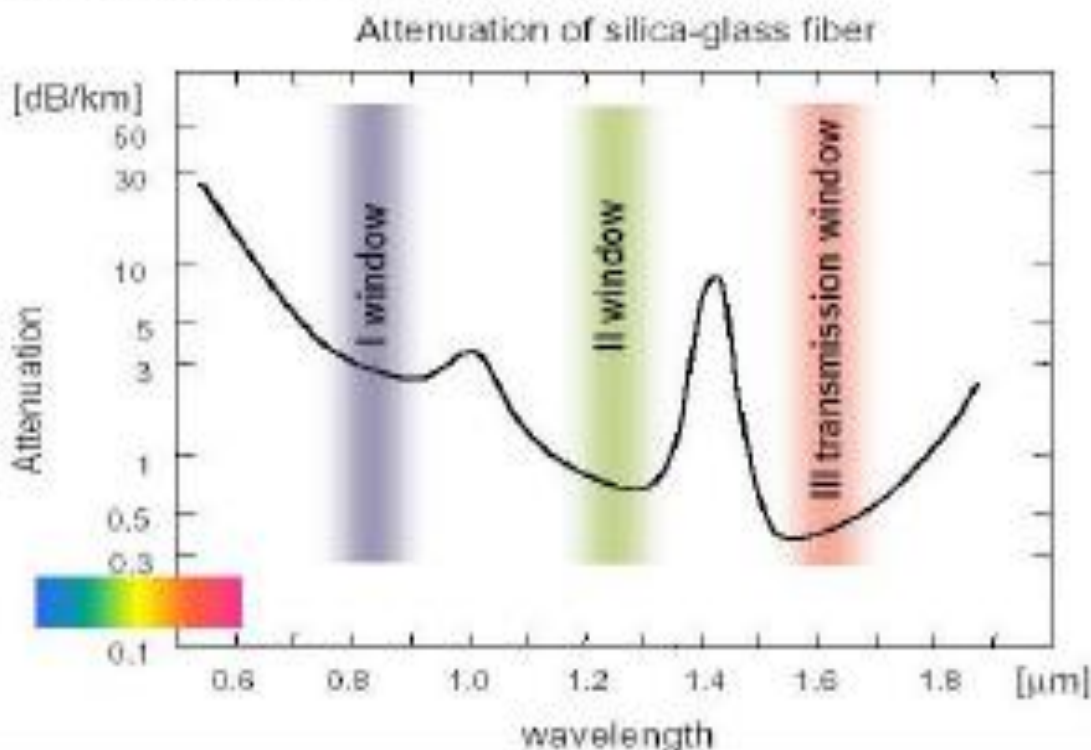


Mierząc λ mierzymy stan naprężeń, i tym samym zagrożeń

dr inż. Kamila Kustroń

Światłowody

Dawniej w technologii światłowodowej wykorzystywano światło widzialne. Obecnie: podczerwień.



dr inż. Kamila Kustroń



ROZWIĄZANIA

dr inż. Kamila Kustroń



Metal Structure Application Scenarios

Detection of...

- Cracks (localisation, size)
- Crack growth (localisation, size)
- Accidental damage (localisation, intensity)
- Corrosion (localisation, severeness)
- Loads/Strain (localisation, intensity)



Dr. Clemens Bockenheimer, Testing Technology - ESWNG

Februarv 2006

Page 5

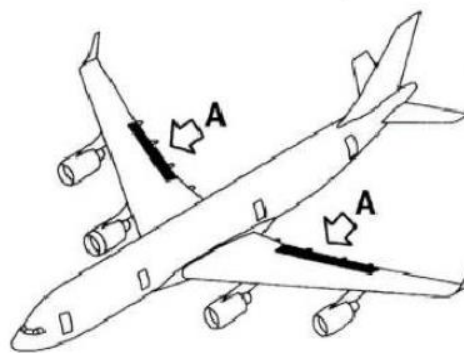


dr inż. Kamila Kustron

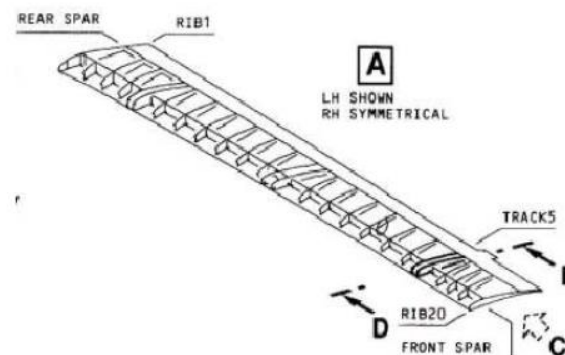
Composite Structure Application Scenarios

Detection of...

- Impact (localisation, intensity)
- Delaminations (localisation, size)
- Debondings (localisation, size)
- Water ingress (localisation, intensity)
- Loads/Strain (localisation, intensity)



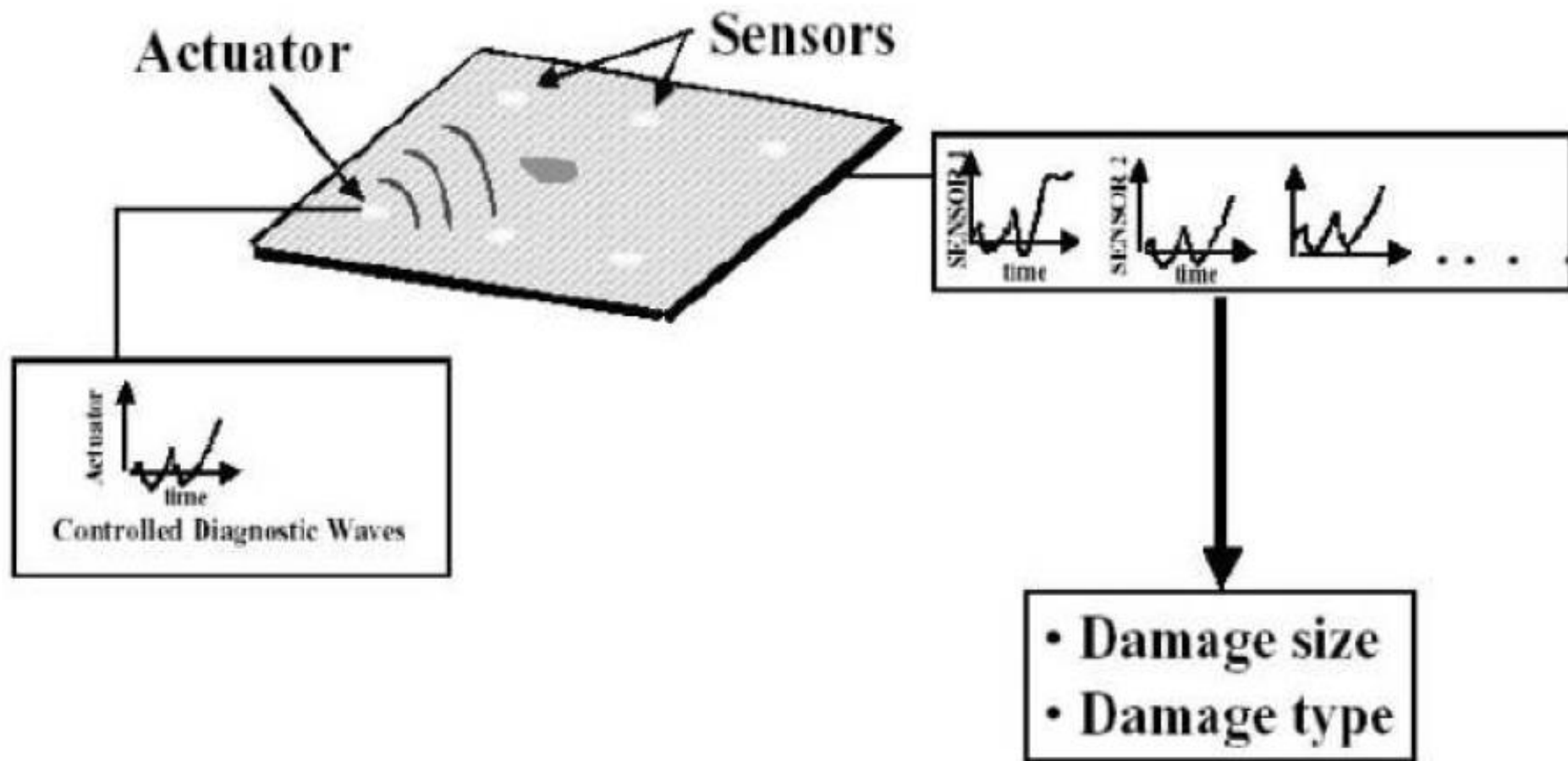
Dr. Clemens Bockenheimer, Testing Technology - ESWNG



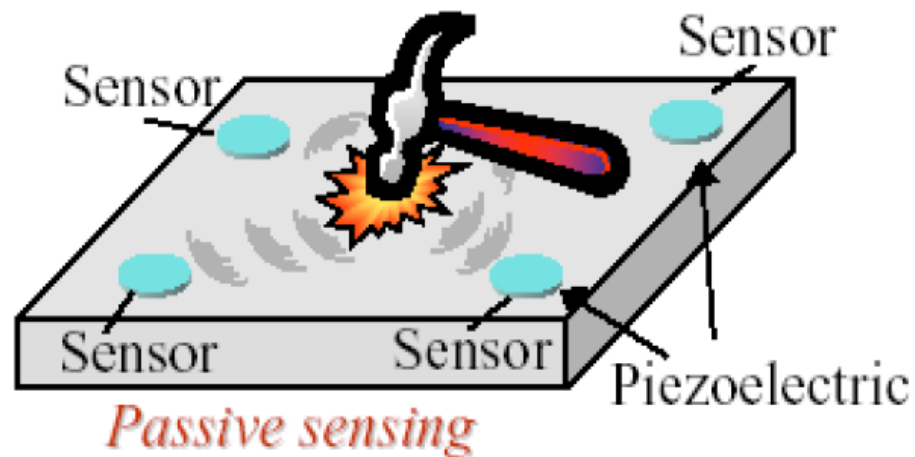
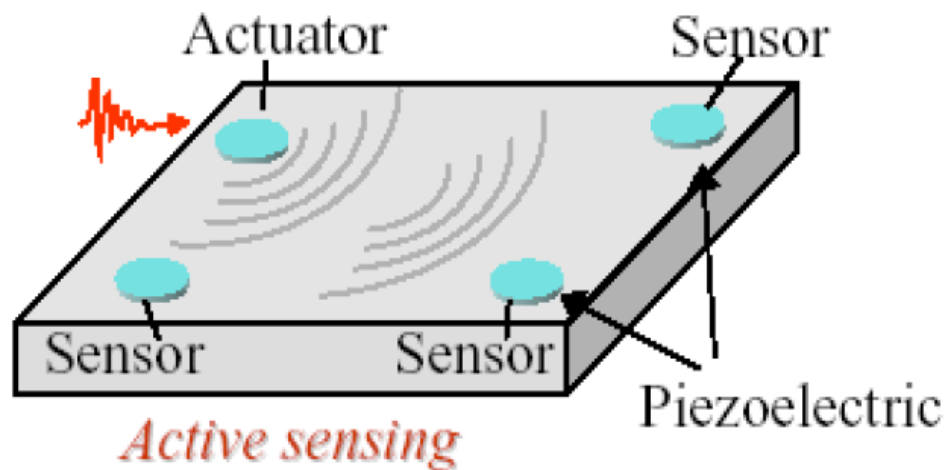
February 2006

Page 6





dr inż. Kamila Kustroń



dr inż. Kamila Kustroń

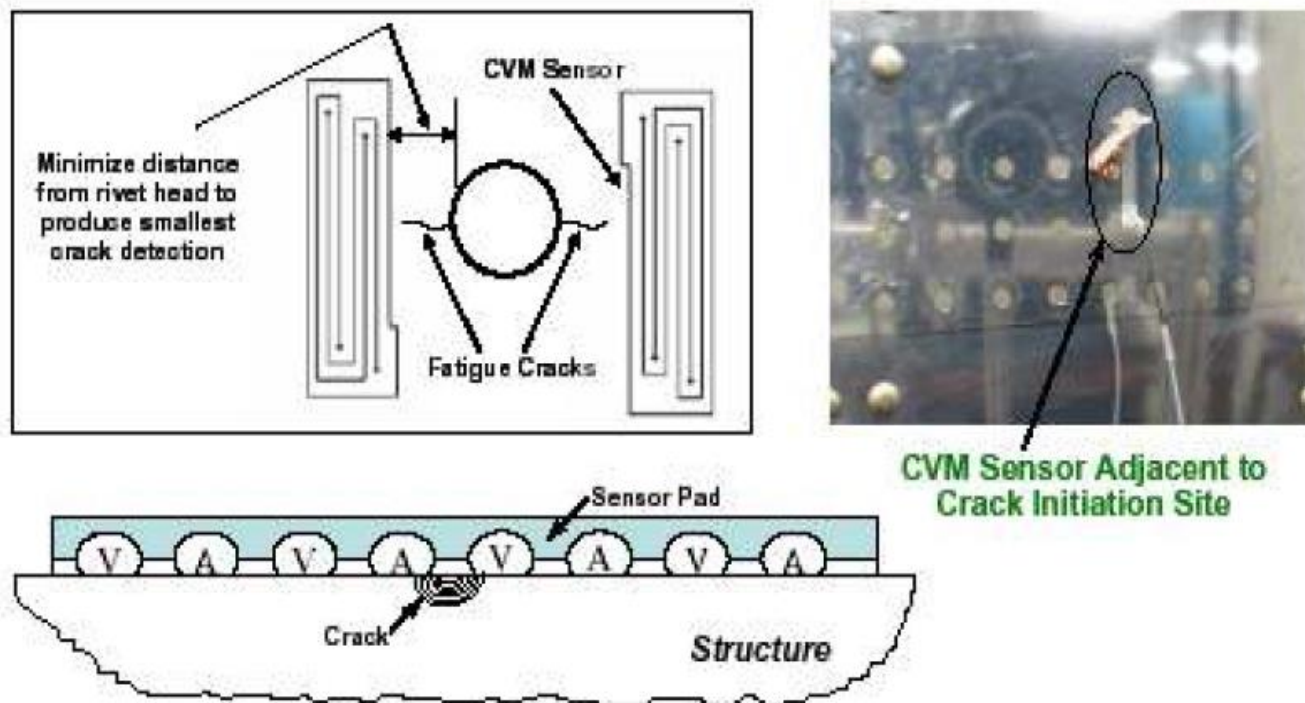


Figure 3: Schematics Depicting Operation of CVM Sensor and Polymer Sensor Mounted on Outer Surface of Riveted Lap Joint

<http://www.acellent.com>; Acellent Technologies, Inc.

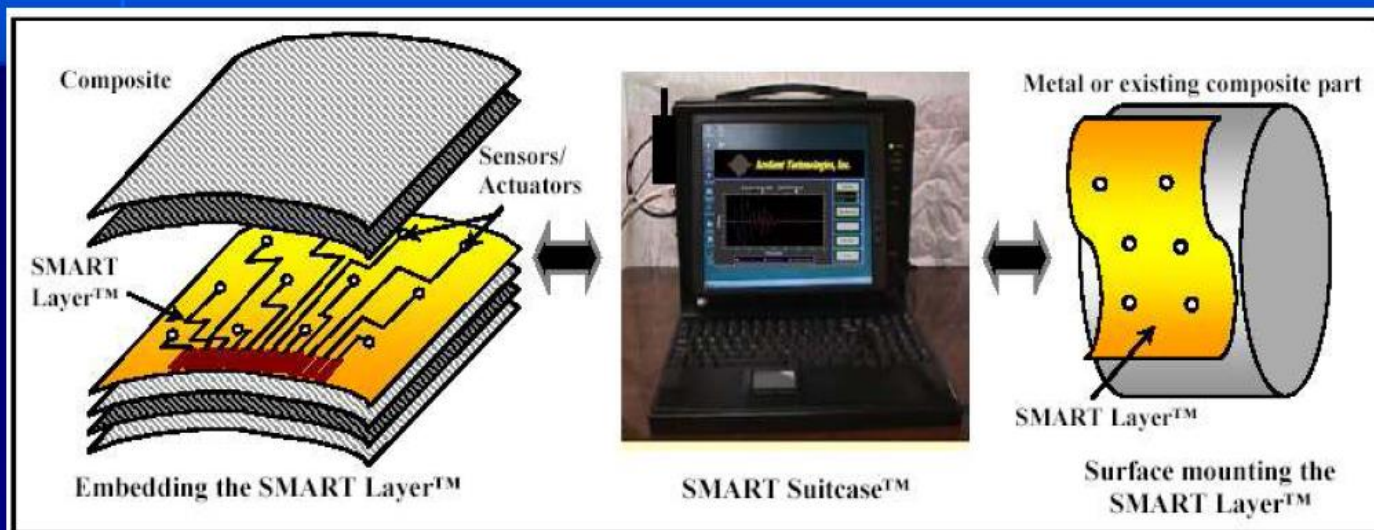
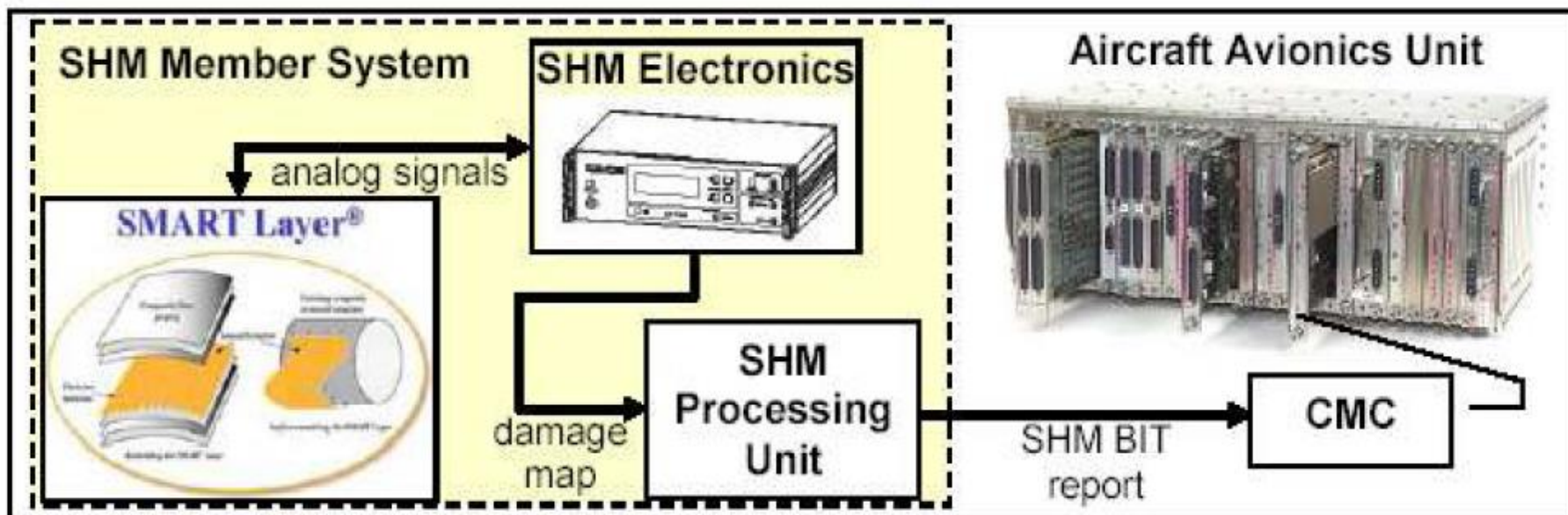


Figure 1: Acellent's SMART Layers™ and SMART Suitcase™.

SMART™ stands for Stanford Multi-Actuator-Receiver Transduction.

dr inż. Kamila Kustron



dr inż. Kamila Kustroń

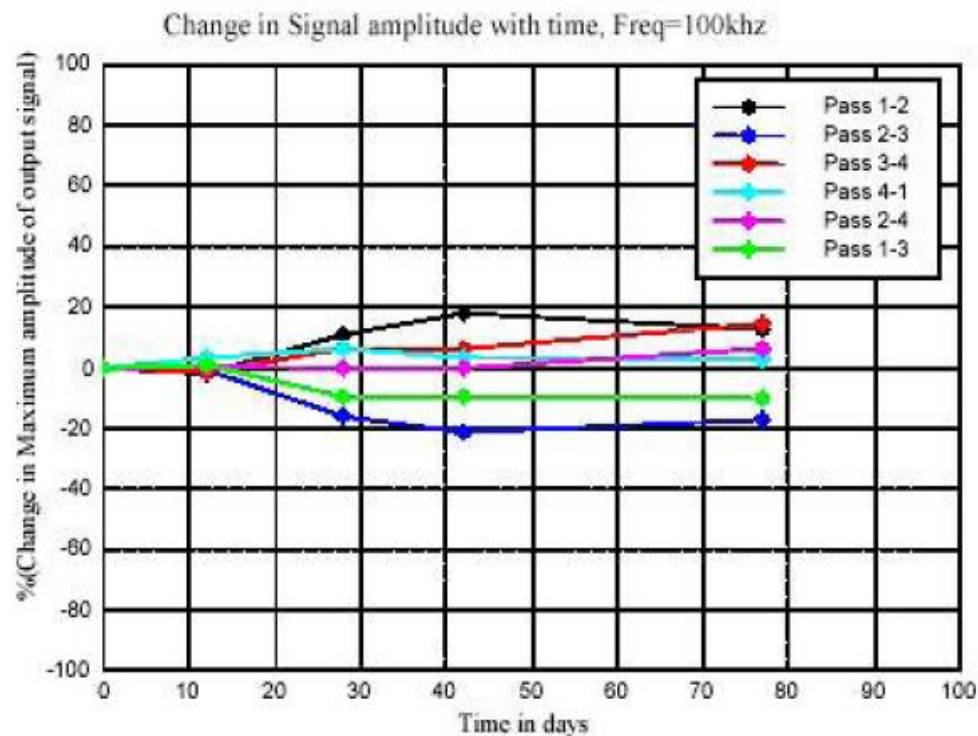
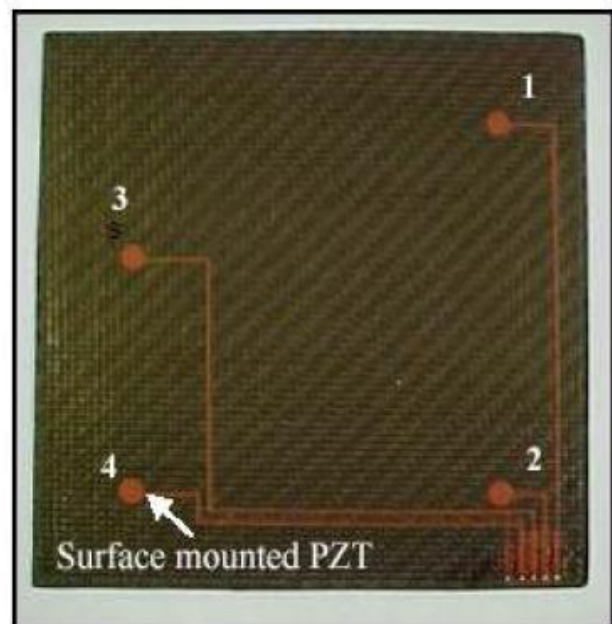


Figure 7: SMART Layer™ tolerance to natural aging effects³

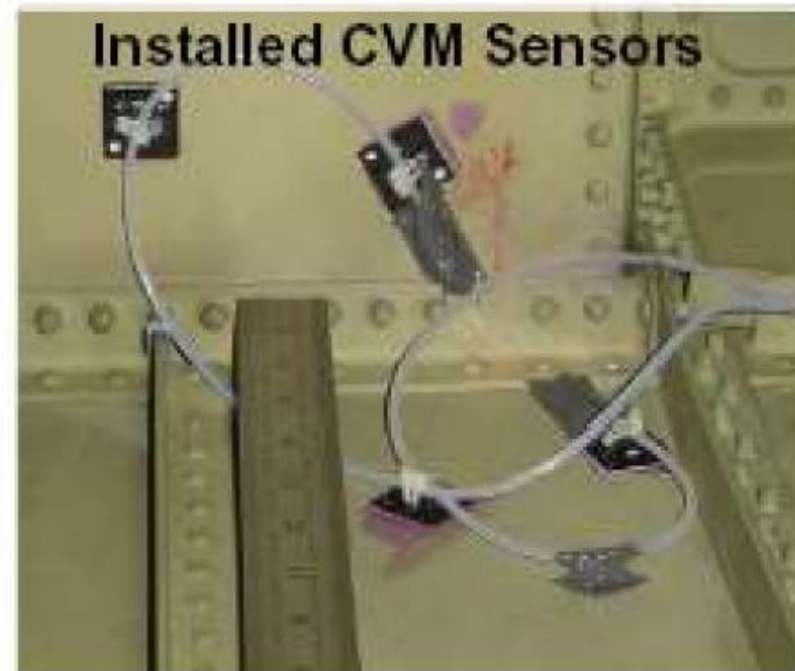
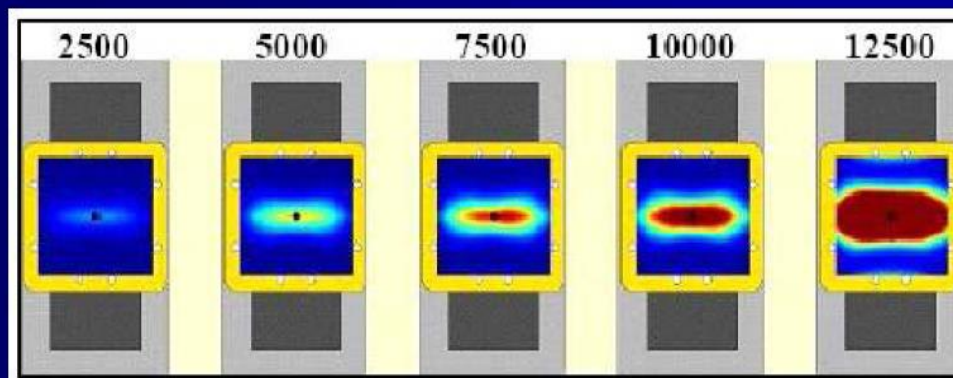
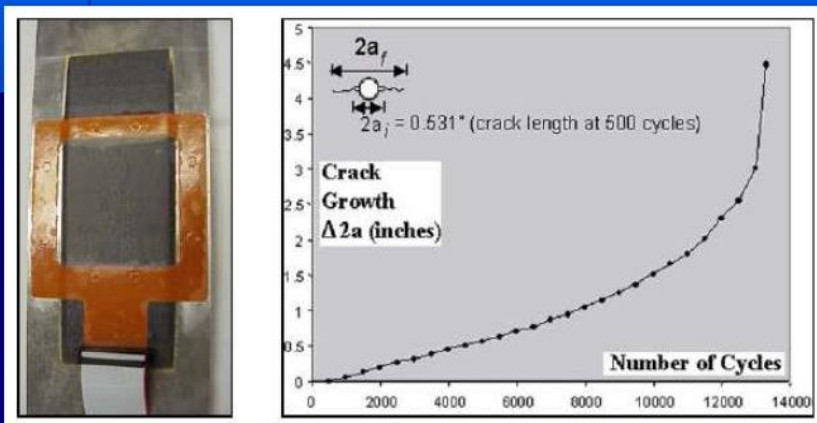


Figure 4: Crack Detection Via CVM System and Aircraft Test Installations of Sensors

dr inż. Kamila Kustroń

MONITORING OF A COMPOSITE REPAIR PATCH



dr inż. Kamila Kustroń



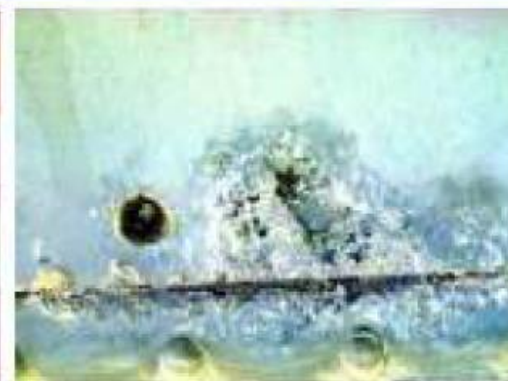
Sandia National Laboratories



**Composite Skin Disbonded
from Honeycomb**



Substructure – Longeron Crack

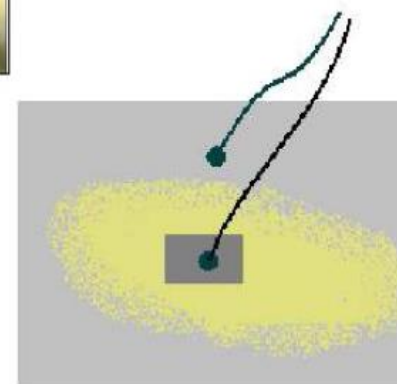
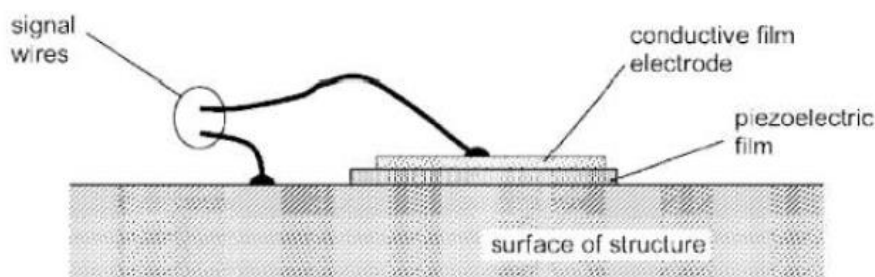


Corrosion Around Riveted Joint

dr inż. Kamila Kustroń

Piezo-electric Paint

- Nano Powder of lead-zirconate-titanate (PZT)
- Conversion of mechanical to electrical energy
- Aircraft Surface as a large ultrasound transducer for detection of
 - Impact
 - Vibration
 - Defects



Dr. Clemens Bockenheimer, Testing Technology - ESWNG

February 2006

Page 9



dr inż. Kamila Kustron

Piezo Foils

- Nano Powder of lead-zirconate-titanate (PZT)
- Flexible and thin sensors / actuators
- Small contact wires
- Integration of many sensors
- Multi-sensor systems
 - Multi- layer / element sensors / actuators
- High sensitivity
- Broad frequency range
(0,001 Hz to several GHz)



Dr. Clemens Bockenheimer, Testing Technology - ESWNG

February 2006

Page 10



dr inż. Kamila Kustroń

Zalety w porównaniu z konwencjonalnymi metodami

- Większa czułość – szczególnie w miejscach trudno dostępnych
- Możliwość przetwarzania dużej ilości informacji – monitorowanie SP w wielu miejscach (np. badanie zużycia elementów konstrukcji)
- Ciągła praca

dr inż. Kamila Kustroń

Ponadto...

Systemy zautomatyzowane mogą być wiarygodniejsze od metod konwencjonalnych tylko w niektórych sytuacjach, jednakże przy rosnącym rynku transportu lotniczego rozwój wydajnych systemów inteligentnych spowoduje spadek wskaźników awarii – zwiększy bezpieczeństwo podróży

dr inż. Kamila Kustroń

SAMOŁOTY

STARE



NOWE



Projekt nie uwzględnia nowych technologii

Programy obsługi techn. zawierają głównie resursy

Przepisy lotnicze bardziej rygorystyczne

Ograniczone możliwości montażu SHM

Programy obsługi techn. uwz. SHM

Nowe projekty z uwzględniające eksploatację wg stanu techn.

Wiele systemów diagnostycznych
SHM, HUMS, EHM

ŁATWIEJSZA CERTYFIKACJA

**IŁOŚĆ DANYCH DIAGNOSTYCZNYCH BARDZO DUŻA
NIEZBEDNE SĄ WYDAJNE SYSTEMY ANALIZY DANYCH
STANDARDOWE NARZĘDZIA MATEMATYCZNE (NP.
STATYSTYCZNE) MOGĄ SIĘ OKAZAĆ NIEWYSTARCZAJĄCE
STANDARDOWE BAZY DANYCH SĄ ZBYT WOLNE
POMOCNA OKAZUJE SIĘ TZW. SZTUCZNA INTELIGENCJA AI
...**

dr inż. Kamila Kustroń

NK315 EKSPLOATACJA STATKÓW LATAJĄCYCH

1. Wykład wprowadzający w interdyscyplinarną tematykę eksploatacji statków latających; HARMONOGRAM ZAJĘĆ, WARUNKI ZALICZENIA; bibliografia
2. Statek latający jako przedmiot eksploatacji, uwarunkowania prawne i normatywne eksploatacji, organizacje lotnicze
3. Systemy eksploatacji statków powietrznych: system i proces eksploatacji, modele systemów eksploatacji, efektywność eksploatacji
4. Procesy degradacyjne i destrukcyjne. Zużycie zmęczeniowe i korozja
5. Zużycie tribologiczne, uszkodzenia kompozytów. Wprowadzenie do problematyki zdolności do lotu
6. Własności i właściwości eksploatacyjne: niezawodność, gotowość, odpowiedniość, bezpieczeństwo, trwałość, żywotność, podatność eksploatacyjna. Obliczanie prostych charakterystyk eksploatacyjnych na podstawie danych z eksploatacji
7. Diagnostyka, badanie uszkodzeń, wypadków lotniczych i prototypów
- 8. Model utrzymania SP w ciągłej zdolności do lotu. CAME**
9. Czynniki ludzkie w lotnictwie
10. Bezpieczeństwo lotów. SMS
11. Podsumowanie treści wykładów z ukierunkowaniem na kolokwium
12. Kolokwium
13. Omówienie wyników kolokwium
14. Kolokwium poprawkowe
15. Podsumowanie przedmiotu

dr inż. Kamila Kustroń

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

ZAPRASZAM NA KOLELNY

WYKŁAD

dr inż. Kamila Kustroń

NK315 EKSPLOATACJA STATKÓW LATAJĄCYCH

1. Wykład wprowadzający w interdyscyplinarną tematykę eksploatacji statków latających; HARMONOGRAM ZAJĘĆ, WARUNKI ZALICZENIA; bibliografia
2. Statek latający jako przedmiot eksploatacji, system eksploatacji, uwarunkowania prawne i normatywne eksploatacji, organizacje lotnicze
3. Procesy degradacyjne i destrukcyjne. Zużycie zmęczeniowe i korozja
4. Zużycie tribologiczne, uszkodzenia kompozytów. Wprowadzenie do problematyki zdolności do lotu
5. Własności i właściwości eksploatacyjne: niezawodność, gotowość, odpowiedniość, bezpieczeństwo, trwałość, żywotność, podatność eksploatacyjna. Obliczanie prostych charakterystyk eksploatacyjnych na podstawie danych z eksploatacji
6. Diagnostyka, badanie uszkodzeń, wypadków lotniczych i prototypów
7. **Model utrzymania SP w ciągłej zdolności do lotu. CAME**
8. Program obsługi technicznej, program niezawodności
9. Czynniki ludzkie w lotnictwie
10. Bezpieczeństwo lotów. SMS
11. Podsumowanie treści wykładów z ukierunkowaniem na kolokwium
12. Kolokwium
13. Omówienie wyników kolokwium
14. Kolokwium poprawkowe
15. Podsumowanie przedmiotu

dr inż. Kamila Kustroń