



NK315 EKSPLOATACJA STATKÓW LATAJĄCYCH

Procesy degradacyjne i destrukcyjne (c.d.)

dr inż. Kamila Kustroń

dr inż. Kamila Kustroń

1



obciążenia zmęczeniowe elementów konstrukcyjnych

ZMĘCZENIE

Obciążenia eksploatacyjne którym poddawany jest **OT** w ogólności są złożonymi procesami stochastycznymi

Związane jest to z cechami analizowanego obiektu, oddziaływaniem otoczenia i czynników roboczych

➤ zdeterminowane

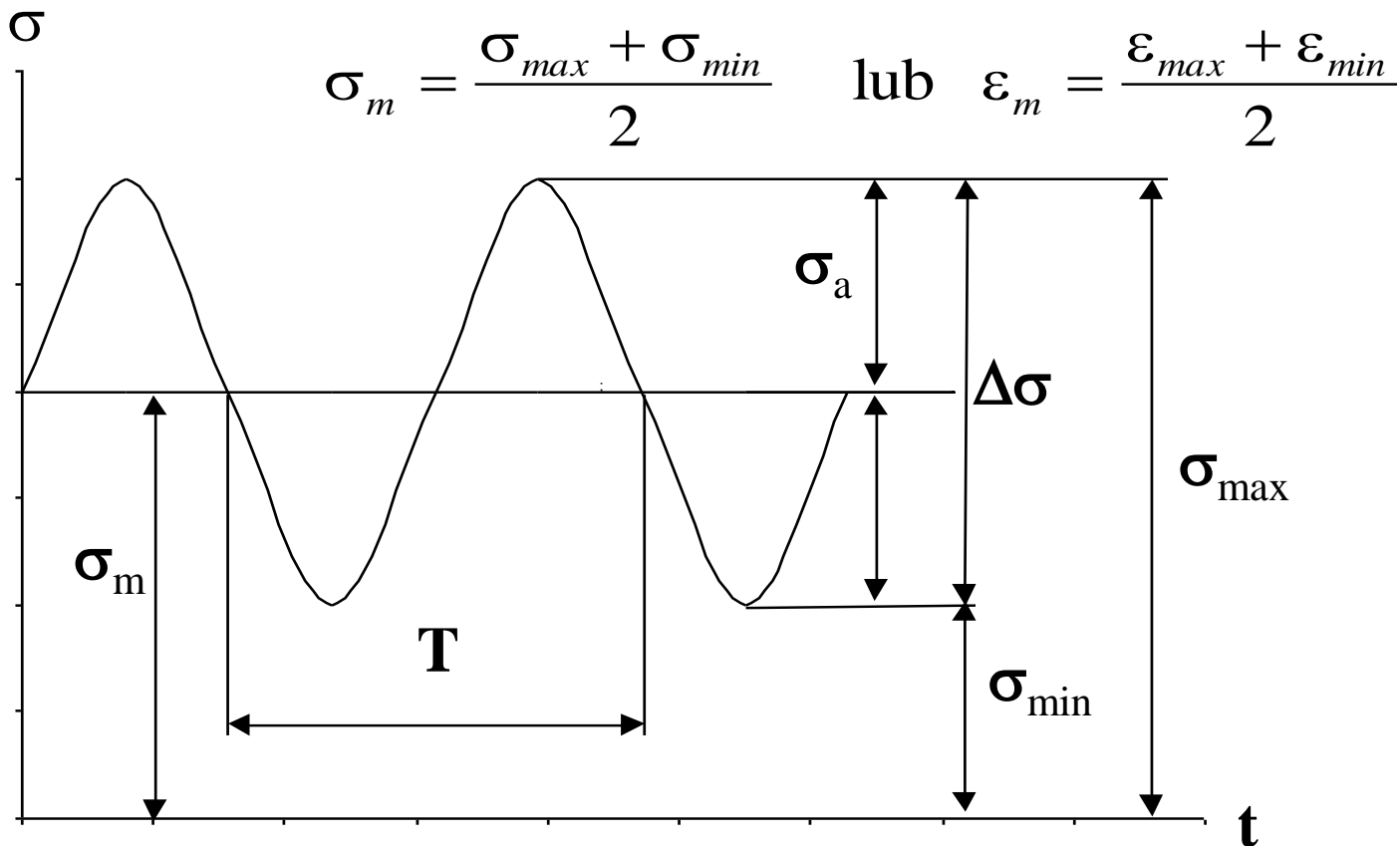
- okresowe - sinusoidalne i poliharmoniczne
- nieokresowe - prawie okresowe i przejściowe

➤ stochastyczne

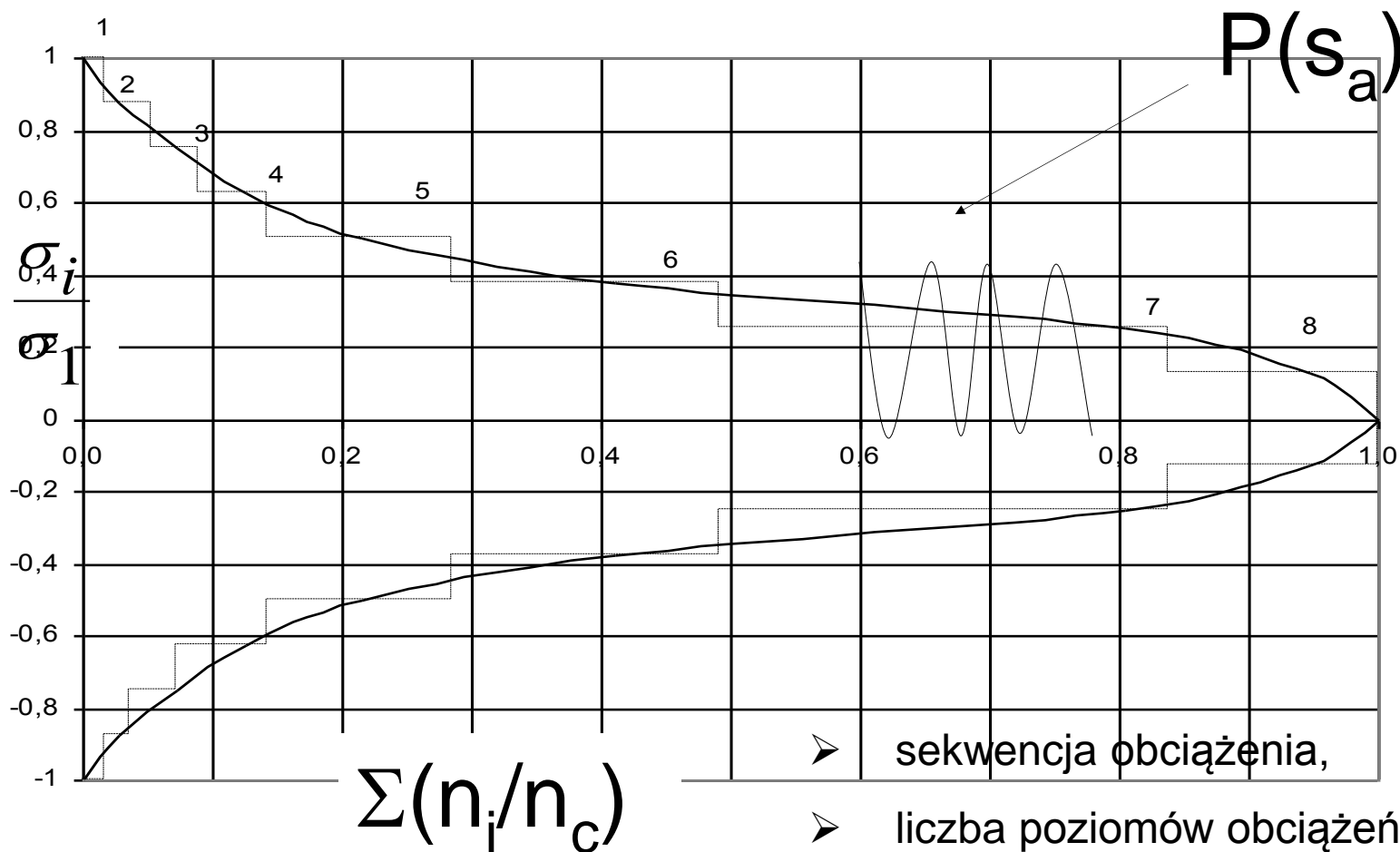
- stacjonarne
- niestacjonarne

Obciążenia rzeczywiste przenoszone przez konstrukcje modelowane są przy pomocy przebiegów sinusoidalnych. W przypadku obliczeń zmęczeniowych stosowane są widma obciążeń otrzymane na podstawie obciążeń stochastycznych, które podlegają opracowaniu odpowiednimi metodami schematyzacji (modelowania, zliczania)

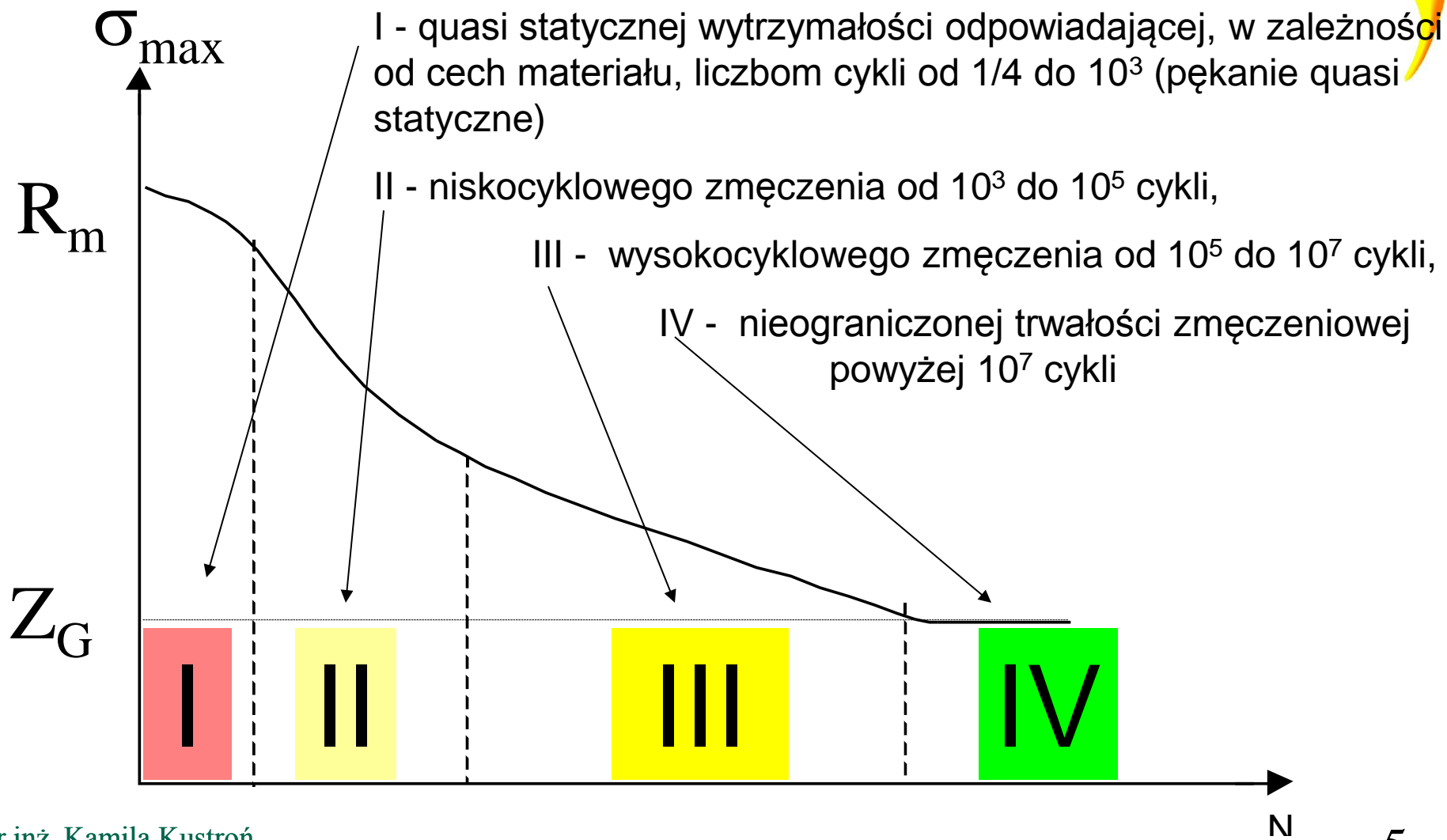
Są to metody zliczania: lokalnych ekstremów (pików), rozpiętości gałęzi rosnących i malejących, pełnych cykli, par zakresów, obwiedni i pętli histerezy



$$R_\sigma = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \quad \text{lub} \quad R_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{min}}{\varepsilon_{max}}$$

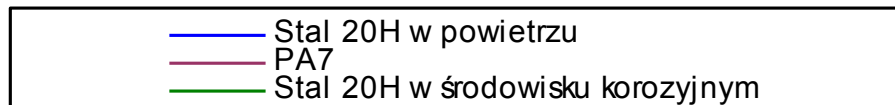
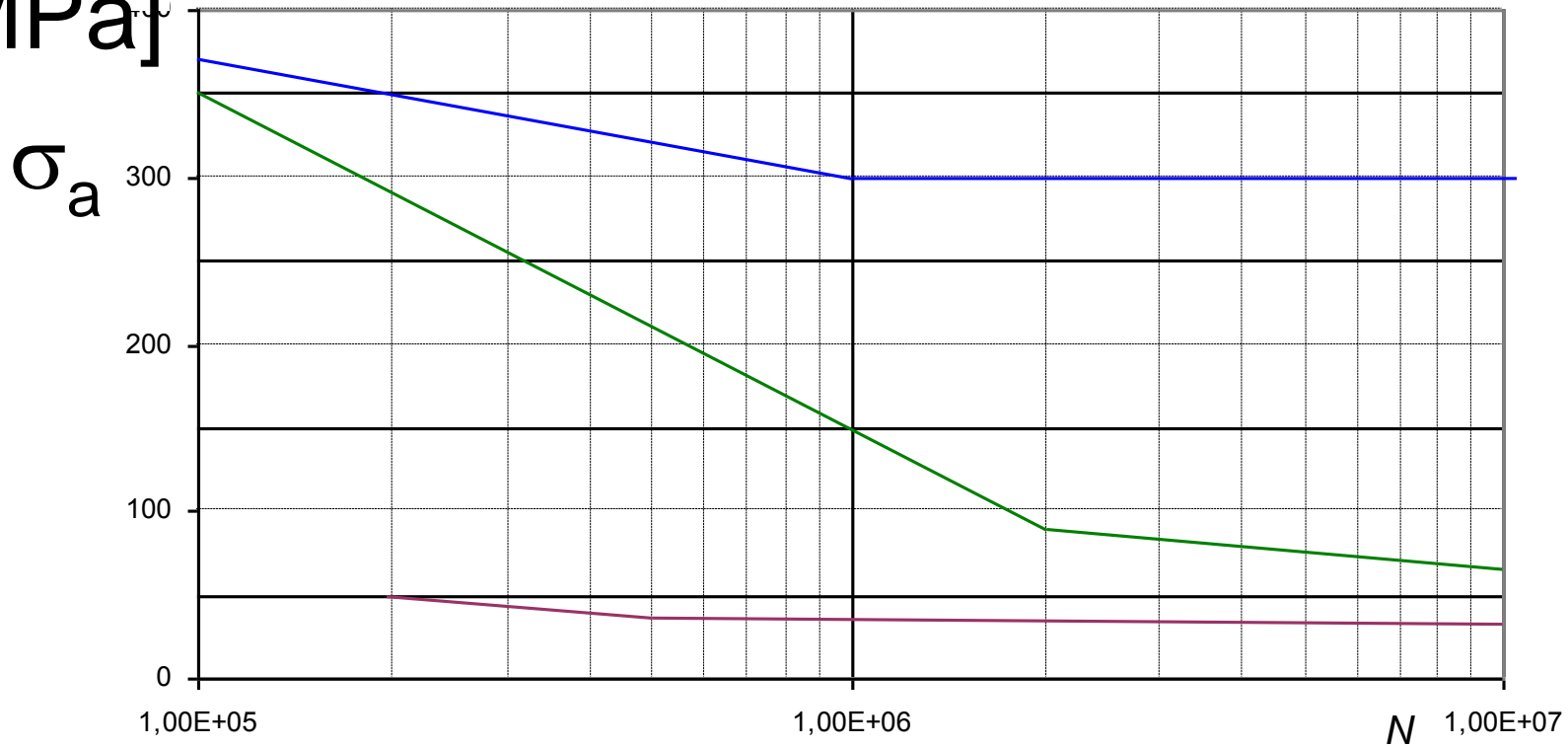


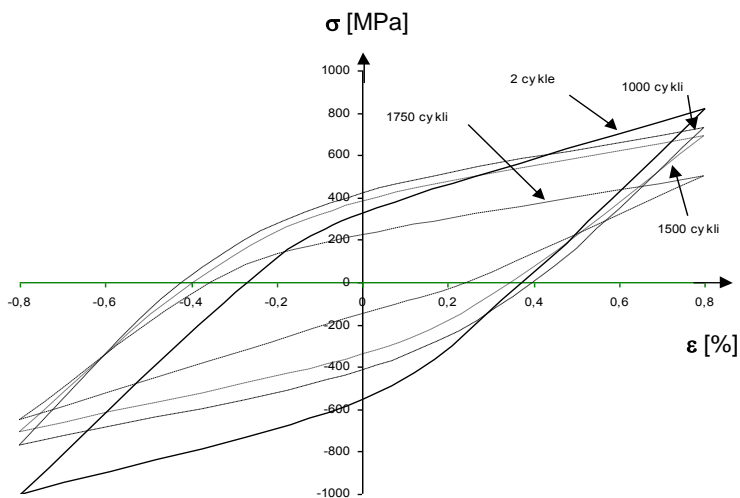
- sekwencja obciążenia,
- liczba poziomów obciążeń – k ,
- liczby cykli w bloku obciążenia – n_λ



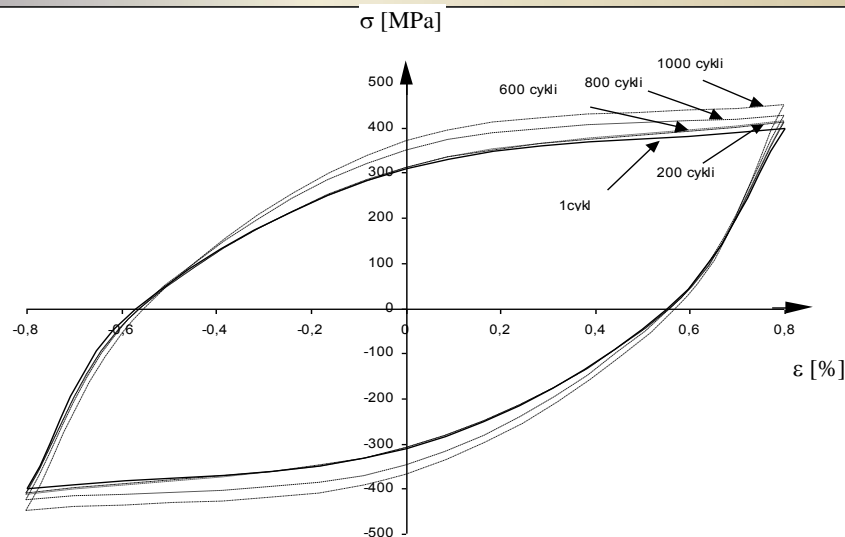
dr inż. Kamila Kustron

[MPa]

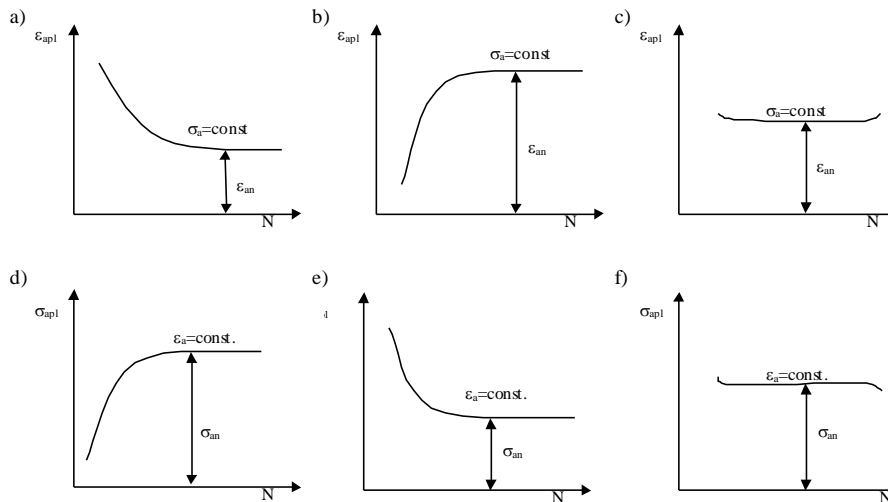


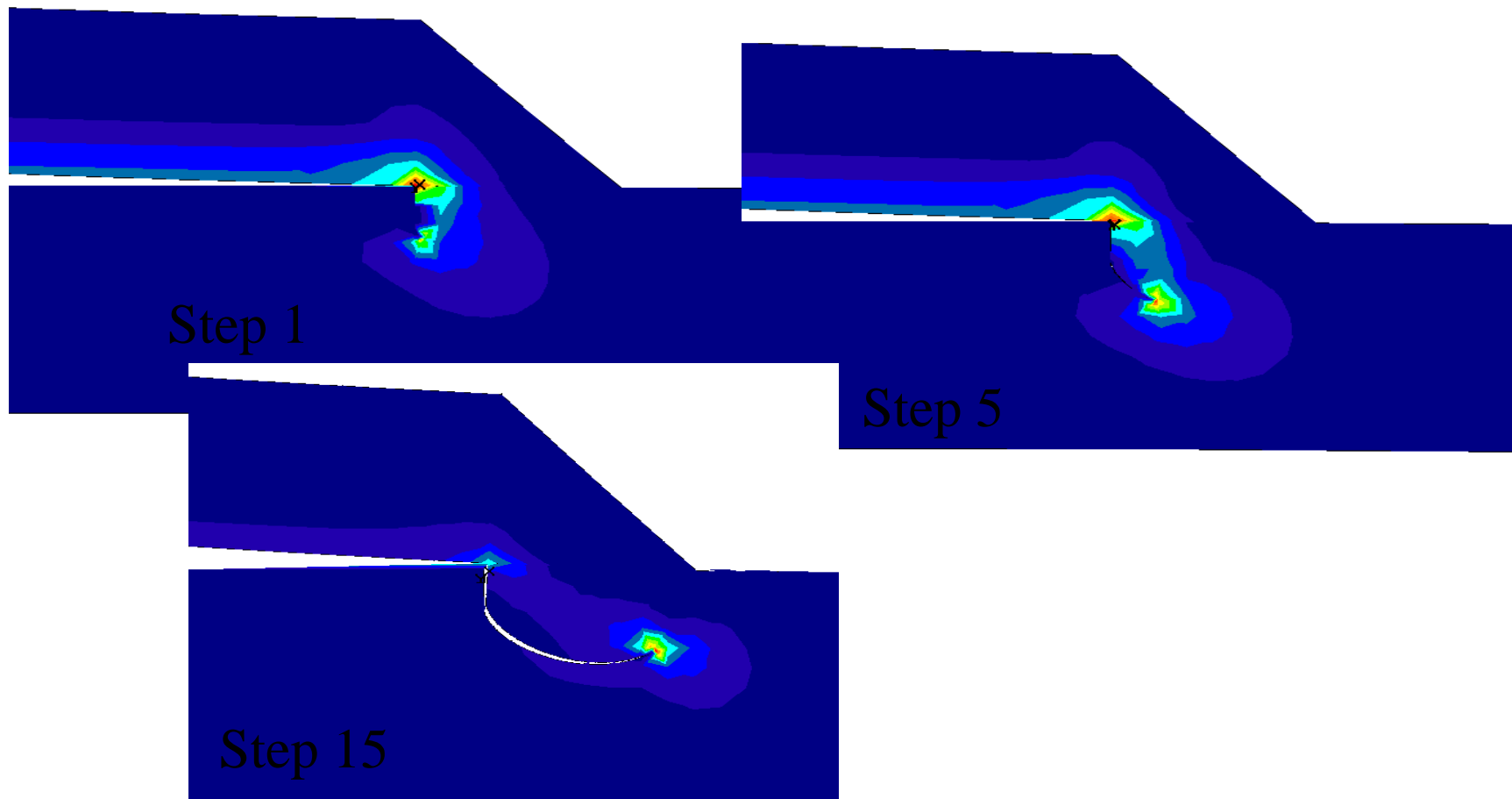


Pętla histerezy dla stali 30HGSA przy stałej wartości ϵ_{ac}



Pętla histerezy dla stali 45 w stanie znormalizowanym przy stałej wartości ϵ_{ac}





Źródła naprężeń zmiennych w czasie działających na statek powietrzny

1. **Siły aerodynamiczne** działające na płatowiec (podmuchy, uskoki wiatru, zjawiska aeroelastyczne-flutter, buffeting)
2. **Lądowania** (duże naprężenia, stosunkowo rzadkie)
3. **Zespoły napędowe** (drgania, zmienność ciągu)
4. **Działanie użytkownika** (układy sterowania, struktura płatowca)

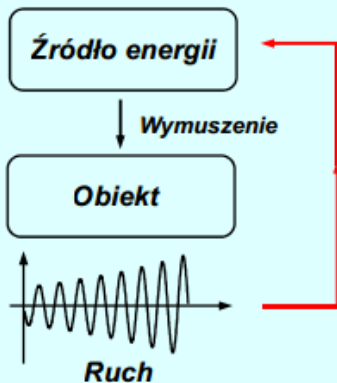
Flutter

Flutter jest to niestateczność dynamiczna konstrukcji odkształcalnej znajdującej się w opływie.

Flutter występuje zwykle na elementach na które działa nośna: skrzydłach, usterzeniach i sterach.

Flutter są to drgania samowzbudne.

Drgania samowzbudne



Flutter pojawia się wtedy, gdy prędkość lotu jest większa od prędkości krytycznej V_F

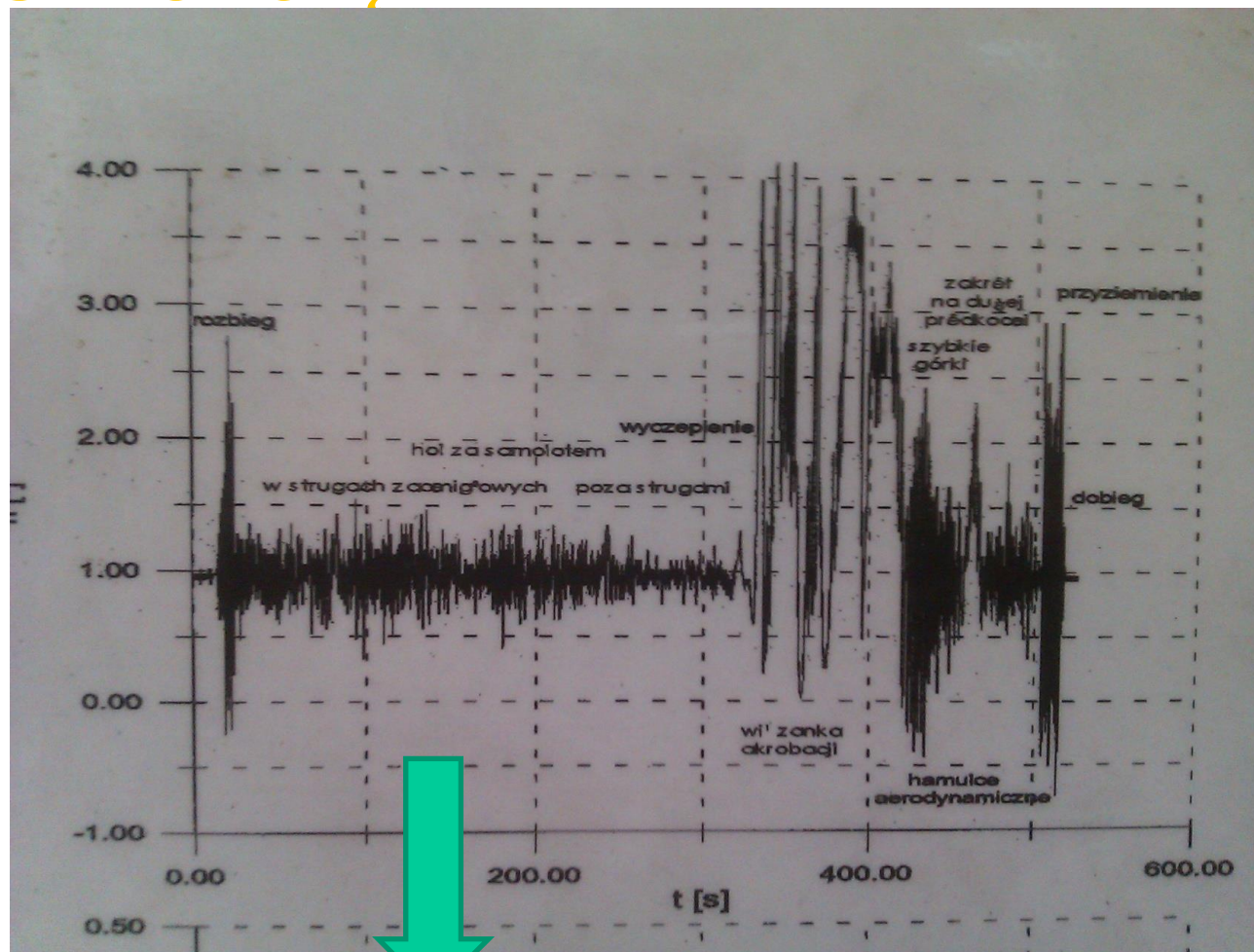
© F.A. Dul 2010



Badania wytrzymałości zmęczeniowej konstrukcji lotniczych

- ❑ Na etapie projektowania i konstrukcji → próba określająca **spektrum obciążeń** (badanie prototypu, przewidywanie na podstawie znanych konstrukcji)
- ❑ W czasie eksploatacji → **określenie spektrum obciążeń** (HUMS, EHM, SHM), wyznaczanie ilości odbytych cykli, ocena stanu technicznego metody badań nieniszczących NDT, NDE

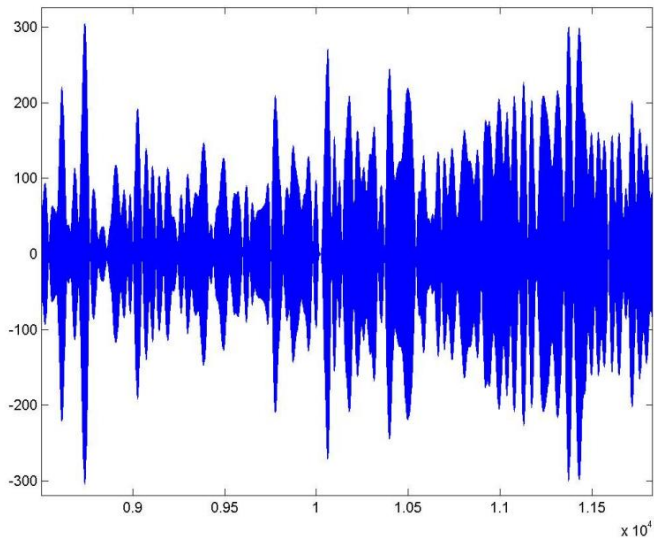
SPEKTRUM OBCIĄŻEŃ



dr inż. Kamila Kustron

prof. Mirosław Rodzewicz

12

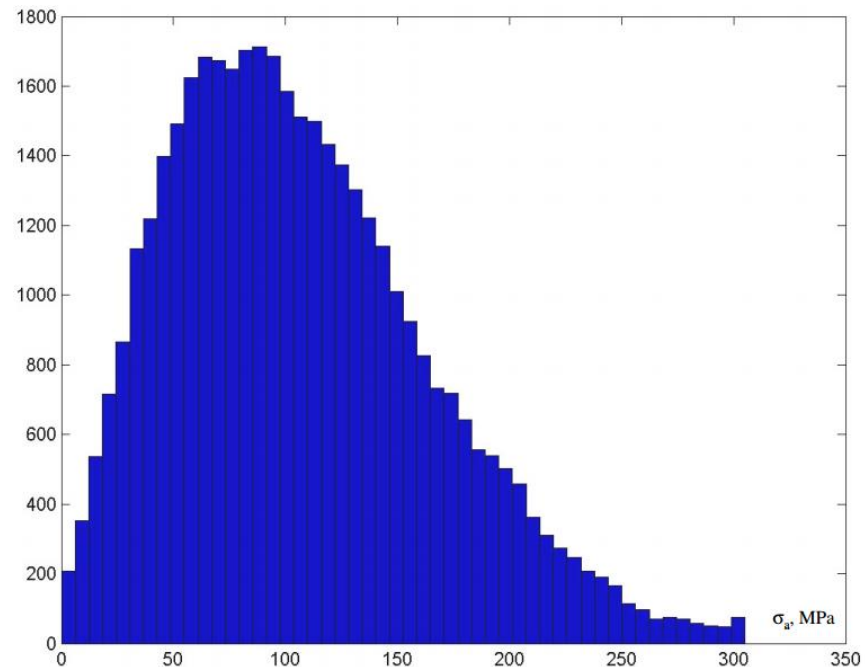


Naprężenia zmienne w „jakimś” czasie



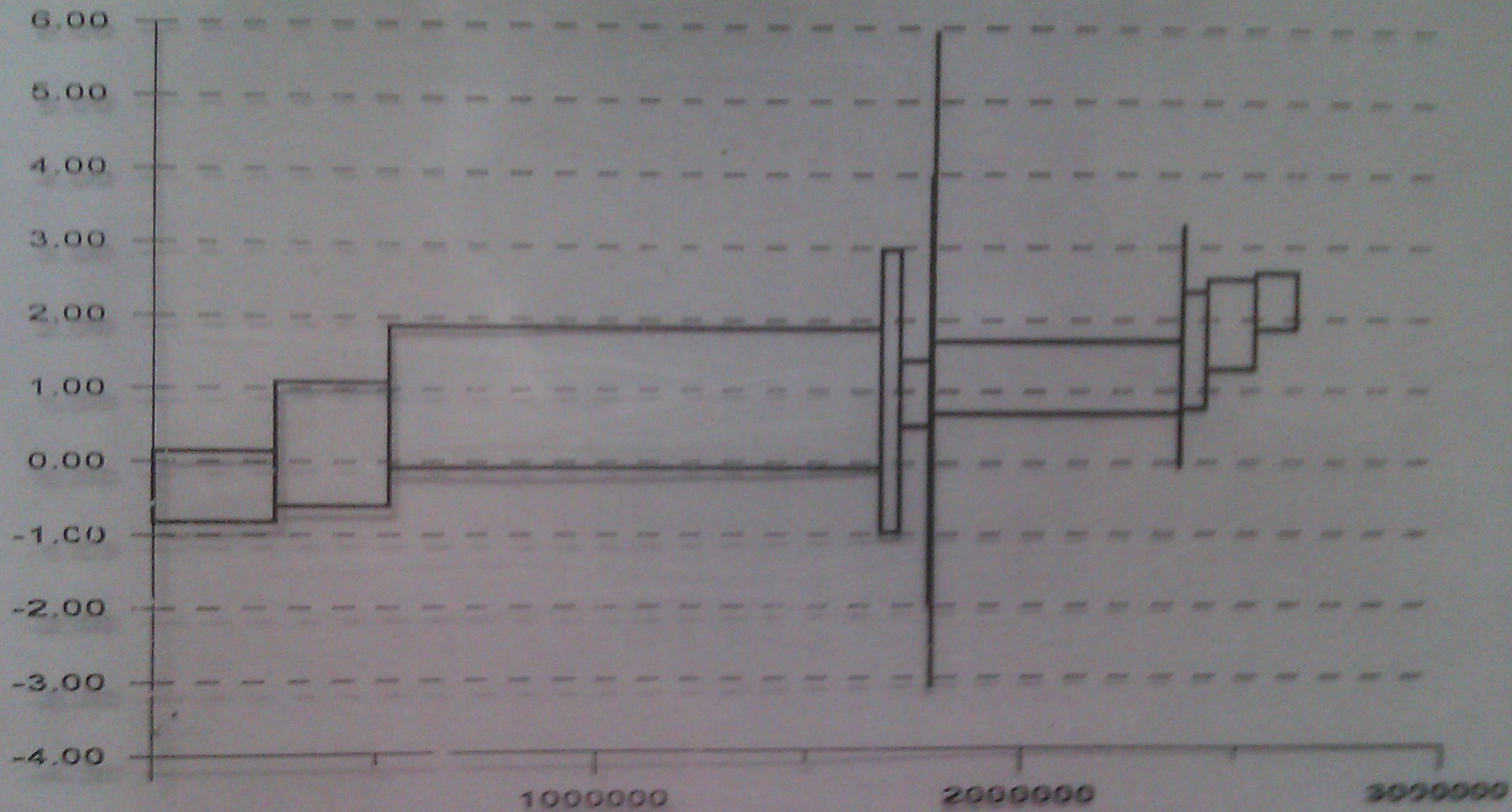
Metoda zliczania cykli

Metoda spektralna



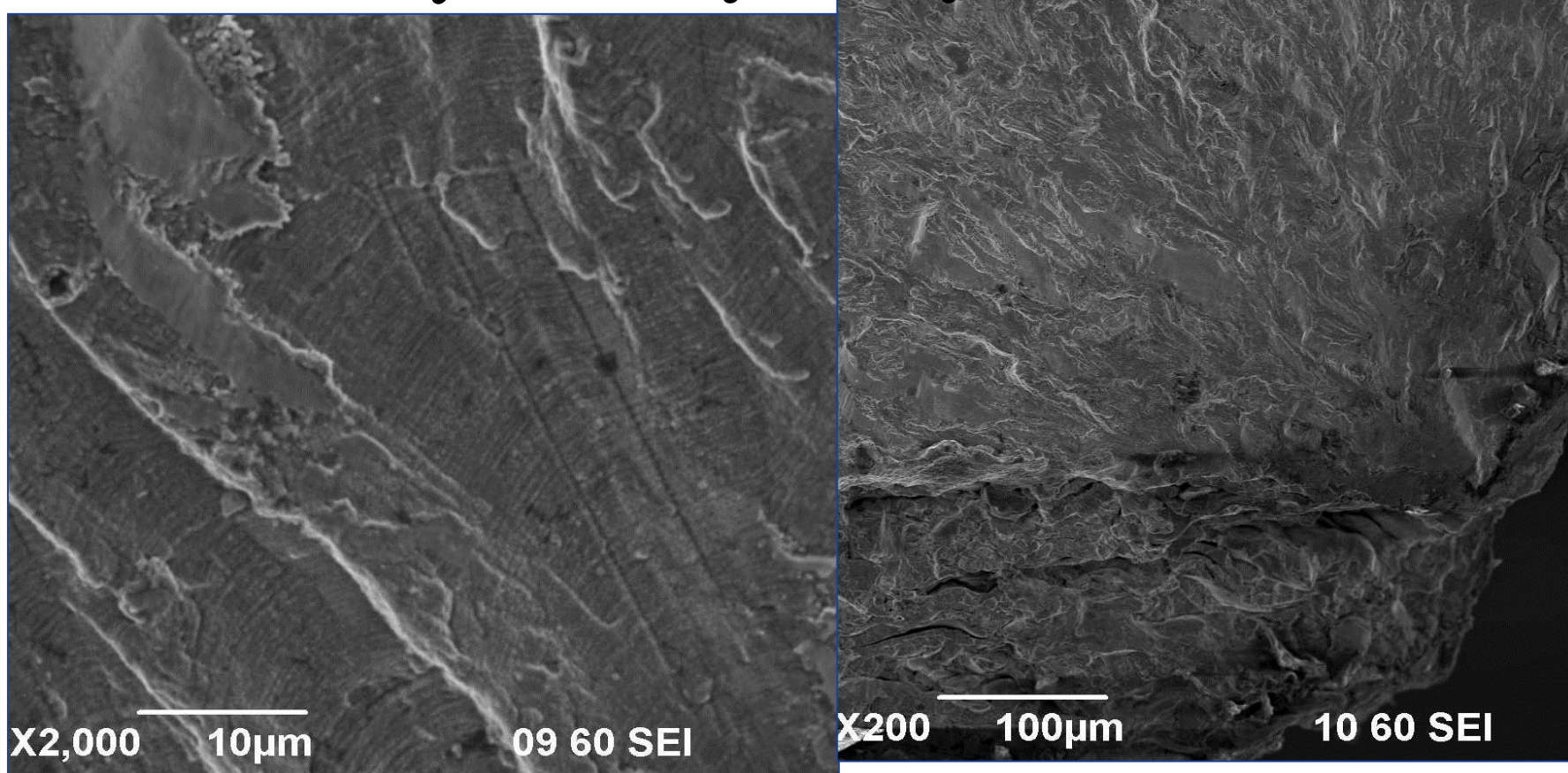
Naprężenia zliczone, np. w całym czasie eksploatacji





Rys. 1.5 Ilustracja graficzna programu prób zmęczeniowych dźwigara

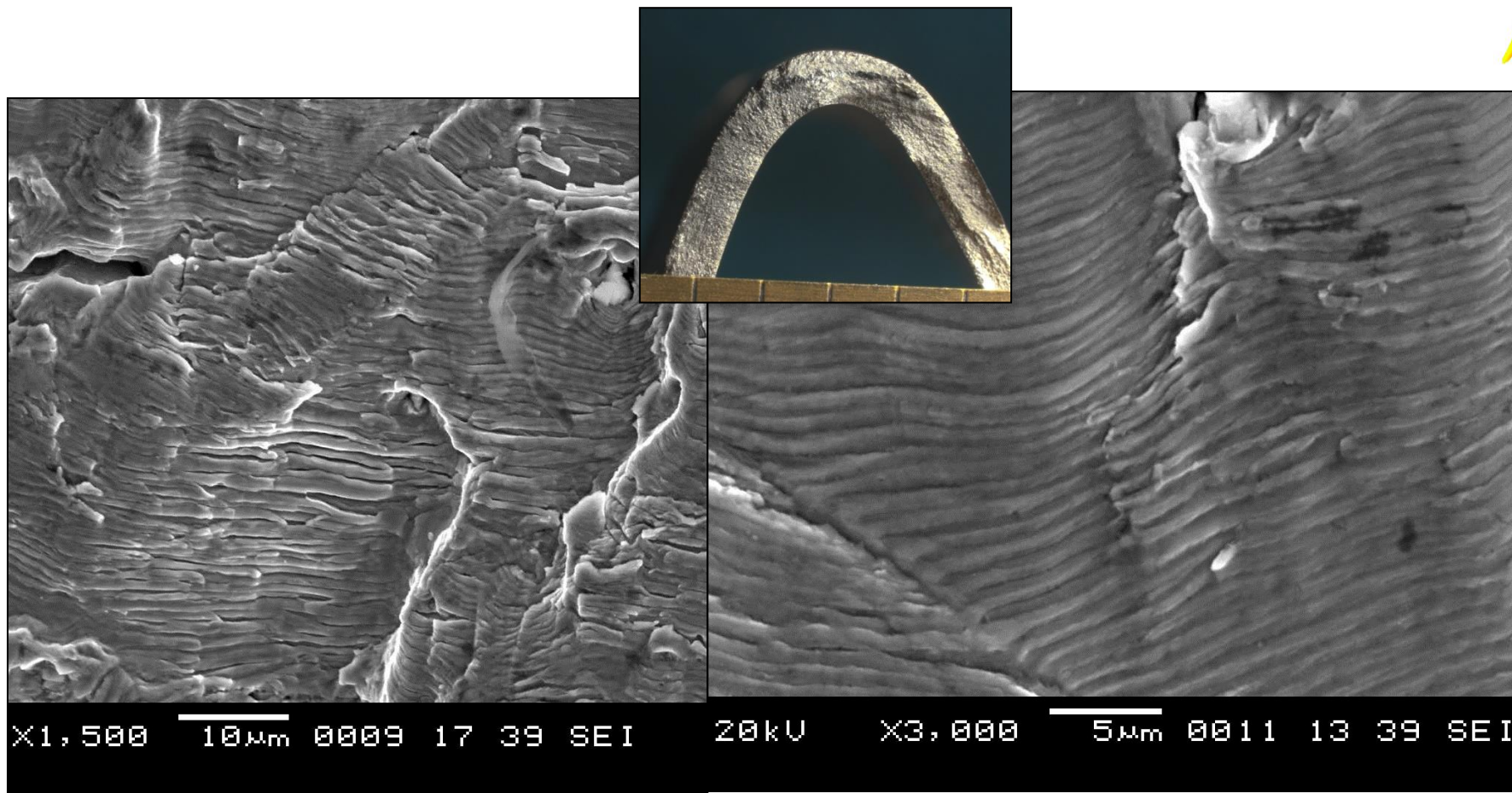
Zmęczenie wysokocyklowe



dr inż. Kamila Kustron

D. Szcześniak, „ekspertyza materiałowa”

15



D. Szcześniak, „ekspertyza materiałowa”

dr inż. Kamila Kustron

16

METODY ZABEZPIECZANIA CZĘŚCI LOTNICZYCH PRZED PĘKANIEM ZMĘCZENIOWYM

- dobór odpowiednich materiałów konstrukcyjnych,
- unikanie karbów i miejsc koncentracji naprężeń,
- zmniejszanie chropowatości,
- utwardzanie struktury warstwy wierzchniej materiału np. kulowanie

Dobór odpowiednich materiałów:

Tabl. 19.2.1. Niektóre własności wytrzymałościowe i zmęczeniowe najczęściej używanych stali

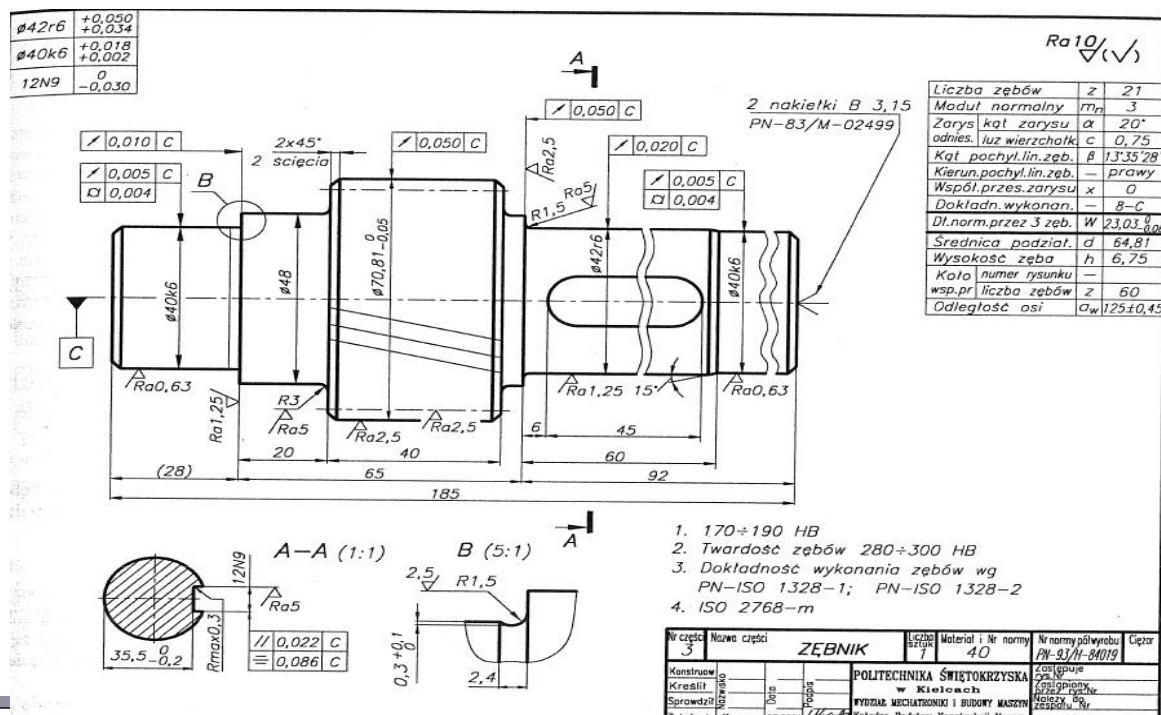
Znak stali	Obr. ciepl.	R_m	R_c	k_r	Z_{go}	Z_{gj}	Z_{so}	Z_{sj}	surowym
		MPa							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
St0		280...570	165...195	100...110					
St3		340...520	185...235	120...150	170	300	100	200	120
St4		400...580	215...275	140...165	180	330	110	220	140
St5		460...670	255...295	150...180	240	420	130	280	160
St6		550...770	295...335	165...200	280	480	150	320	180
St7		650...870	325...365	180...220	320	530	190	380	200
20	N Q	min 410 490...640	245 295	140...160	200	360	120	240	156
25	N Q	min 450 490...640	275 305	155...185	200	370	130	250	170
30	N Q	min 490 540...690	295 335	165...200	240	390	140	280	179
35	N Q	min 530 580...730	315 365	175...210	250	420	150	300	187
40	N Q	min 570 620...760	335 390	190...220	260	440	160	320	217
45	N Q	min 600 660...800	355 410	200...240	280	480	170	340	241
55	N Q	min 650 740...880	380 460	210...250	300	500	200	400	255

Kurmaz O. Kurmaz L "Projektowanie węzłów i części maszyn",
 wyd. Politechniki Świętokszyskiej, Kielce 2007

Unikanie karbów i koncentracji naprężeń:

Na zniszczenie zmęczeniowe narażone są elementy poddane wielokrotnym cyklicznym obciążeniom, w których występuje koncentracja naprężeń takie jak karby, rysy, ostre zmiany przekroju. Zapobieganie zniszczeniu jest realizowane poprzez odpowiednie ukształtowanie, np.: łagodne przejścia, unikanie skokowej zmiany kształtu.

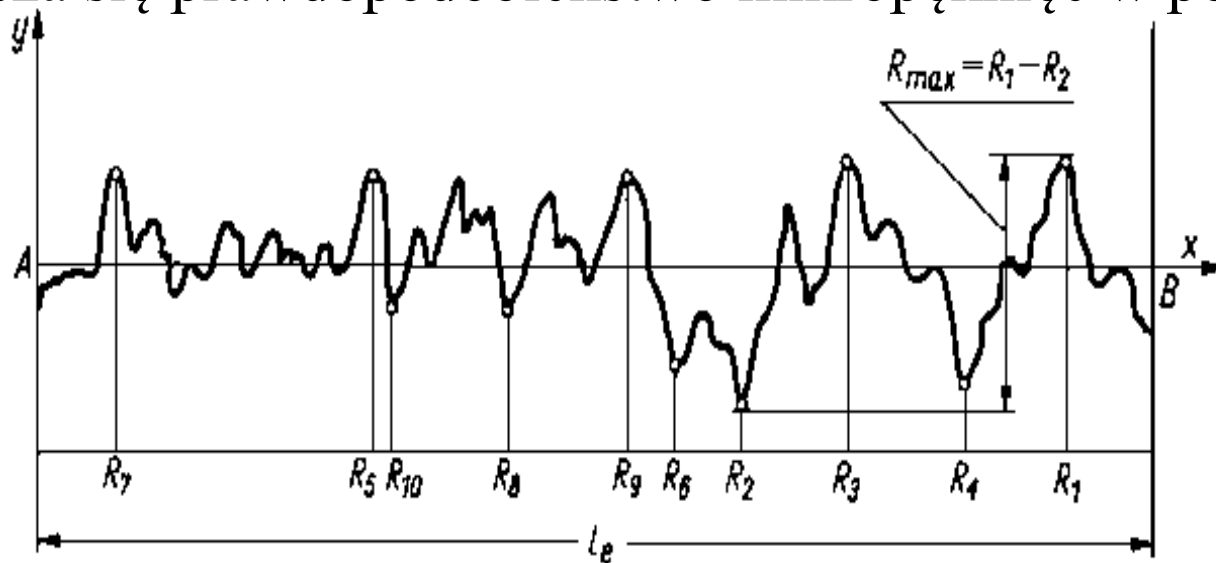
Rysunek wykonawczy, Kurmaz O.
 Kurmaz L "Projektowanie węzłów i części maszyn",
 wyd. Politechniki Świętokszyskiej,
 Kielce 2007



dr inż. Kamila Kustron

Zmniejszenie chropowatości.

Uniknięcie koncentracji naprężeń można uzyskać poprzez zmniejszanie chropowatości, powierzchnia staje się bardziej gładka, przez co zmniejsza się prawdopodobieństwo mikropeknięć w powierzchni.



Kurmaz O. Kurmaz L "Projektowanie węzłów i części maszyn",
 wyd. Politechniki Świętokszyskiej, Kielce 2007

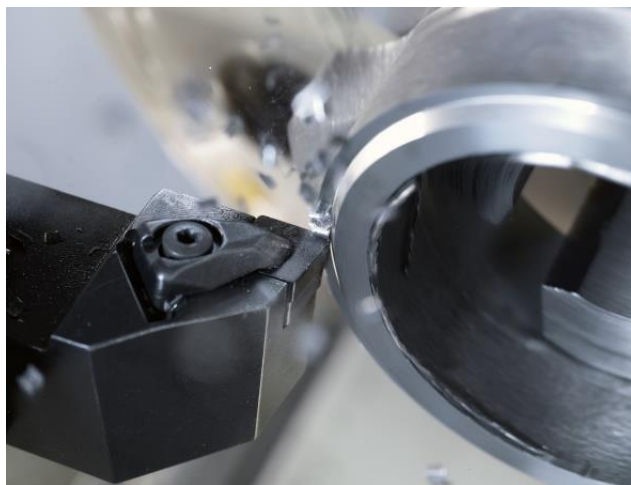
Procesami korzystnymi oddziaływania na powierzchnię są :

- nawęglanie
- gładzenie
- polerowanie
- nagniatanie
- walcowanie



Procesami które osłabiają materiał pod względem zmęczeniowym są:

- hartowanie
- skrawanie
- szlifowanie
- spawanie
- EDM
- ECM



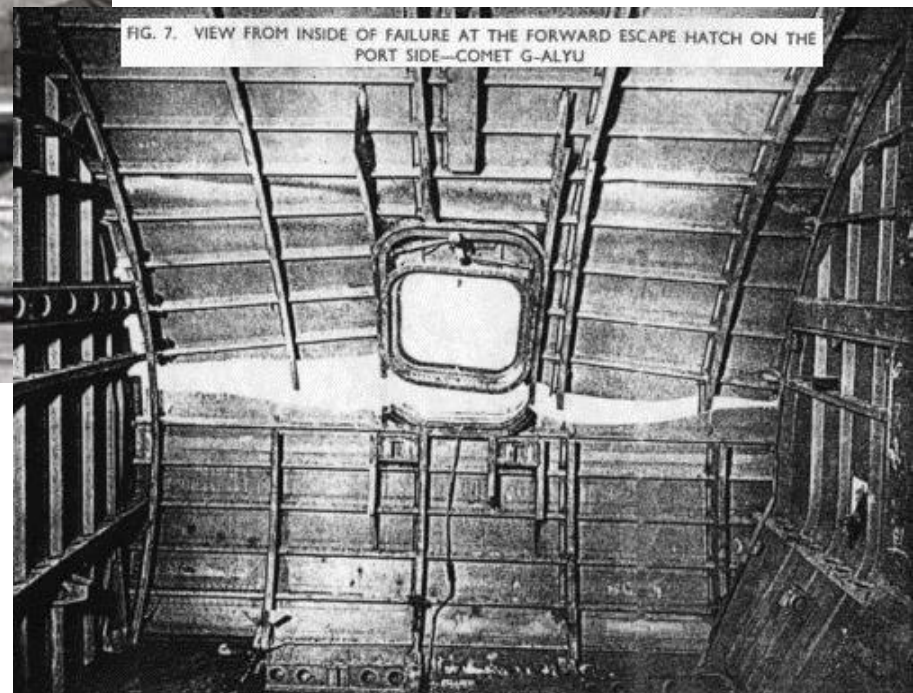


KATASTROFY SPOWODOWANE PROCESAMI ZMĘCZENIOWYMI

dr inż. Kamila Kustron

22





dr inż. Kamila Kustron



4-28-1988 After 89,090 flight cycles on a 737-200, metal fatigue



Photo 2. Composite photo left side.

Boeing 737-200 Lot Aloha Airlines 243

dr inż. Kamila Kustron



Boeing 737



http://www1.us.elsevierhealth.com/books/elsevier/companionsites/JenkinsKhanna/mmd/fatigue_text/fatigue_text_1a.html

06/05/2013 21:00

dr inż. Kamila Kustron

25

IL-62 (14.03.1980)



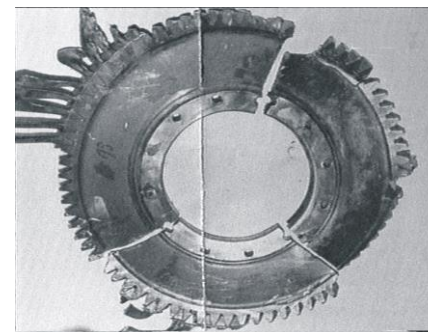
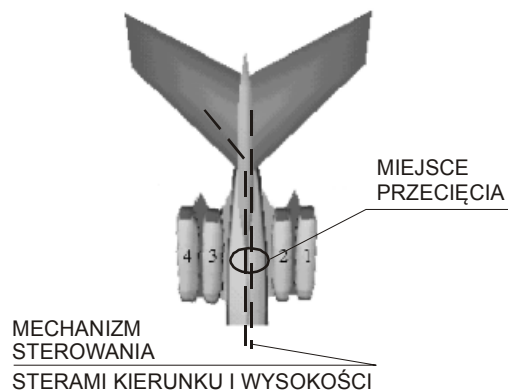
Przyczyna: wada konstrukcyjno-wykonawcza wału silnika, który zawierał karb będący powodem spiętrzenia naprężeń i zmęczenia materiału, w efekcie czego nastąpiło pęknięcie wału silnika.

26

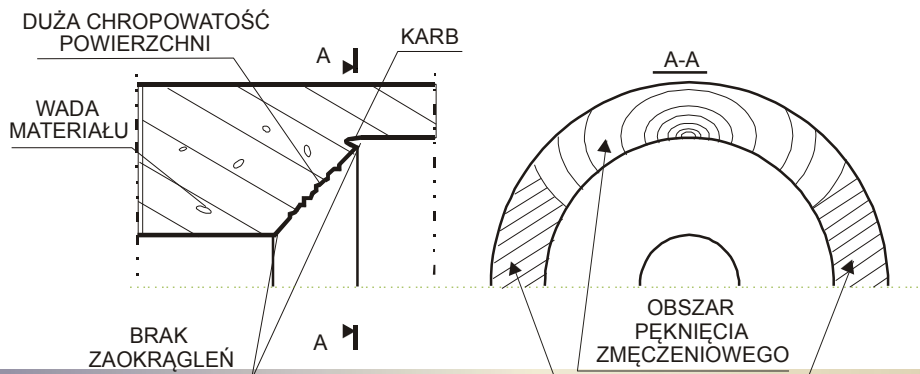


B.

WIDOK Z GÓRY



C.





Przyczyna: urwanie wału turbiny niskiego ciśnienia na skutek zmęczeniowego zużycia łożyska wałeczkowego rozdzielającego wał turbiny wysokiego ciśnienia od wału turbiny niskiego ciśnienia i stanowiącego podporę międzywałową.

dr inż. Kamila Kustron

28

Boeing 747-122



<http://www.gophoto.us/key/united%20811> 06/05/2013 20:29

dr inż. Kamila Kustron

WNIOSKI

- Wytrzymałość zmęczeniowa jest ważnym zagadnieniem w budowie maszyn poddawanych obciążeniom zmiennym. Zmęczenie może prowadzić do groźnych uszkodzeń i katastrof
- Pęknięcia zmęczeniowe są często trudne do zaobserwowania przed wystąpieniem poważnego uszkodzenia
- Zagadnienia wytrzymałości zmęczeniowej są trudne do opracowania teoretycznego. Większość wiedzy pochodzi z badań doświadczalnych