

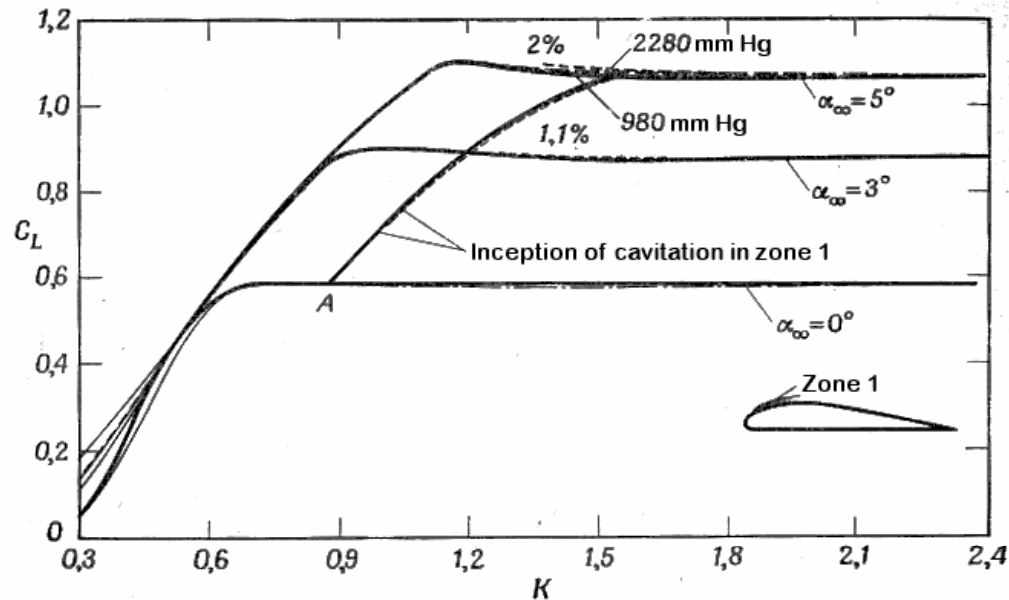
J. Szantyr – Wykład 21 – Wpływ kawitacji na pracę maszyn przepływowych

Kawitacja ma na ogół negatywny wpływ na pracę maszyn i urządzeń przepływowych, powodując następujące niekorzystne zjawiska:

- spadek sprawności maszyn przepływowych**
- erozję elementów maszyn i urządzeń przepływowych**
- generację drgań i emisji akustycznej**

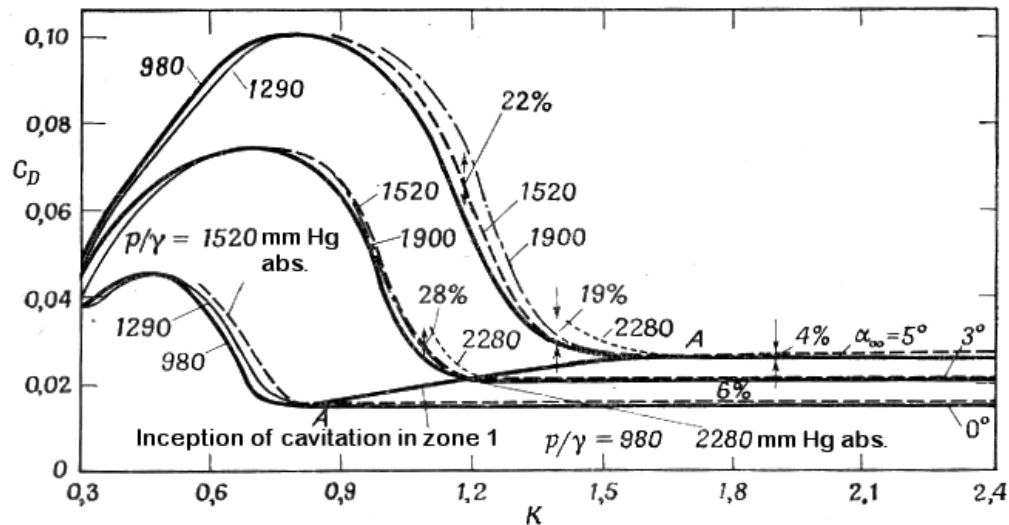


Spadek sprawności maszyn



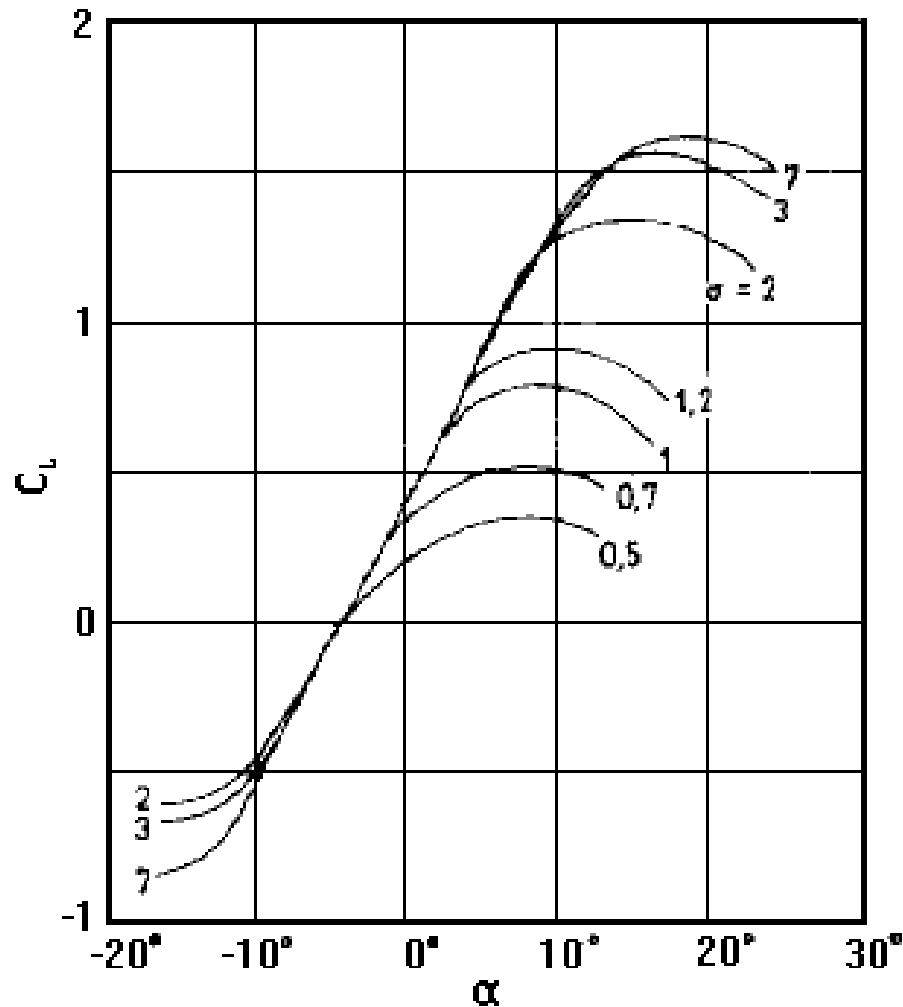
$$K = \sigma = \frac{p_0 - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

← Kawitacja zmienia rozkład ciśnienia na płatach nośnych i obniża siłę nośną płatów nośnych (po początkowym minimalnym wzroście).



← Kawitacja podwyższa opór hydrodynamiczny płatów nośnych

Spadek sprawności płata nośnego



$$\sigma = \frac{p_0 - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2}$$

Zależność przebiegu współczynnika siły nośnej C_l od liczby kawitacyjnej σ dla płata o profilu NACA 4418

Wpływ kawitacji na sprawność śruby okrętowej

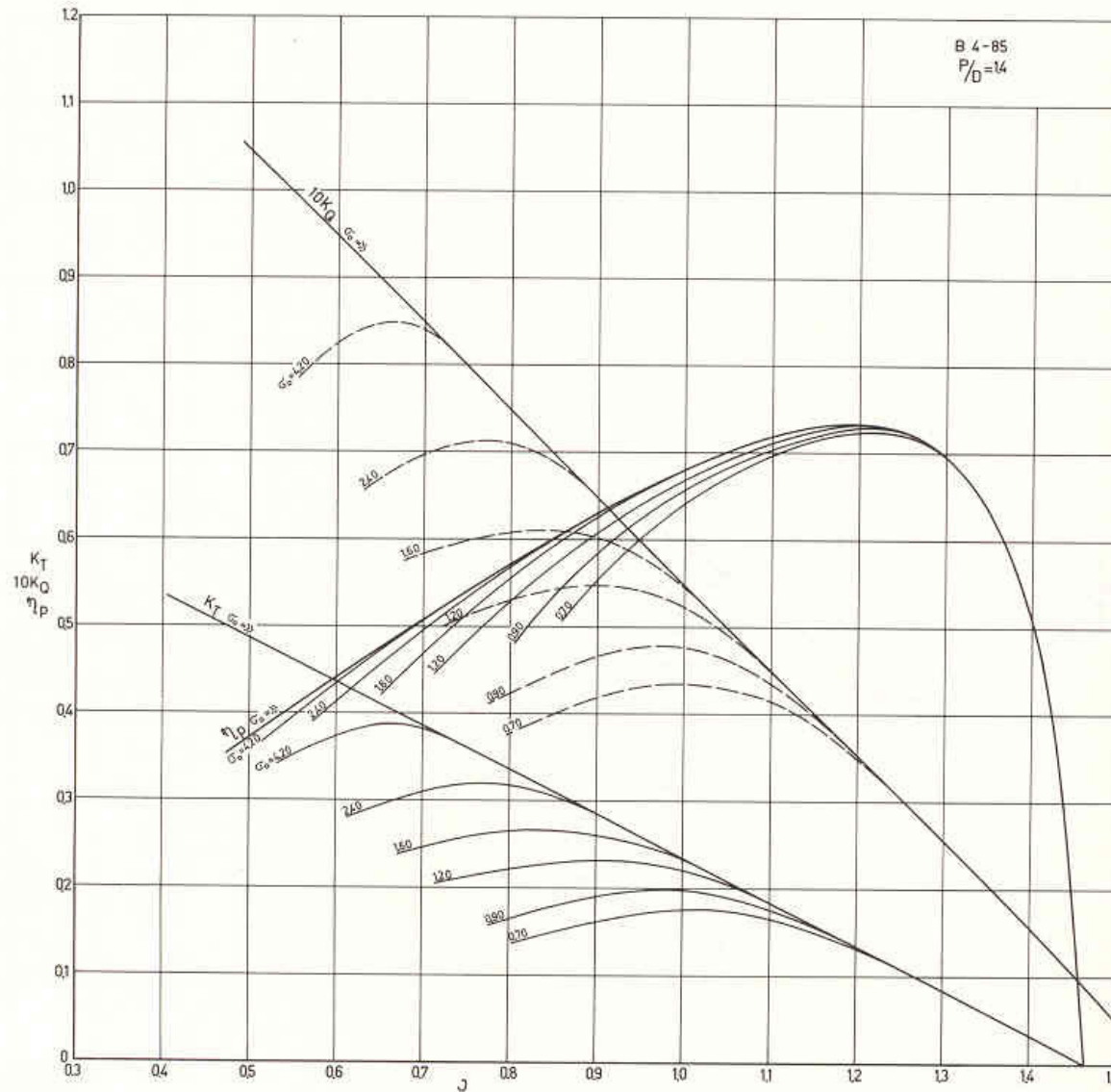
Wykres pokazuje zależność współczynników naporu, momentu i sprawności śruby okrętowej od współczynnika posuwu i od liczby kawitacyjnej.

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$$

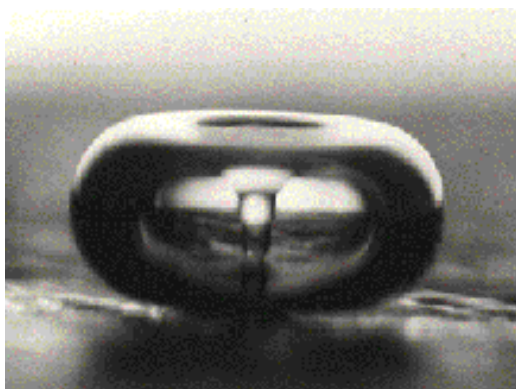
$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}$$

$$J = \frac{V}{nD}$$

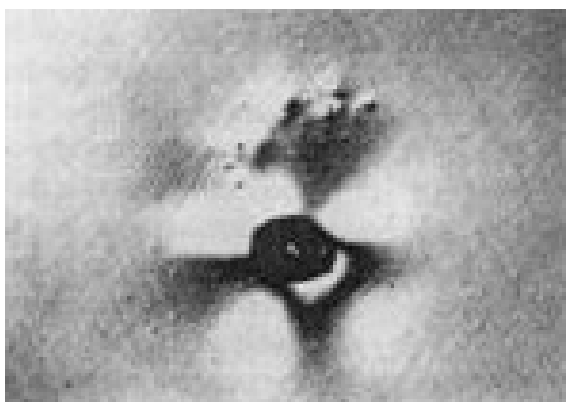
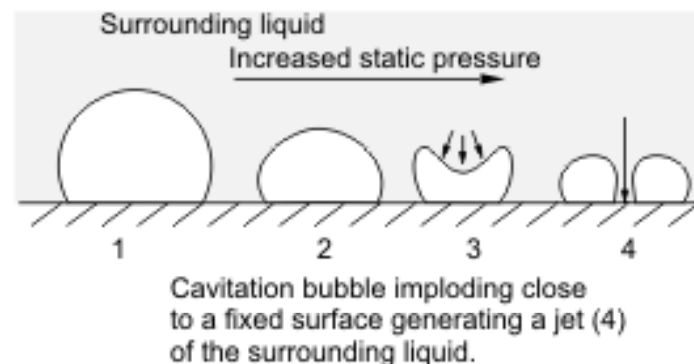
$$\sigma = \frac{p - p_v}{1/2 \rho V^2}$$



Erozja elementów maszyn i urządzeń przepływowych

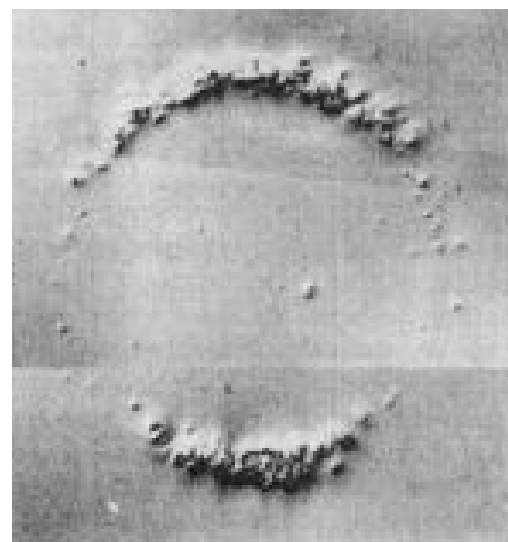


Erozję wywołują pęcherzyki kawitacyjne implodujące w
←sąsiedztwie elementów maszyn i urządzeń.



Przy bardzo małej odległości od
powierzchni pojedyncze wżery
wywołuje strumień wody
przebijający implodujący
←pęcherzyk

Przy większej odległości od powierzchni torus
zanikającego pęcherzyka rozpada się na mikropęcherzyki
implodujące indywidualnie i dające wżer erozyjny w
kształcie pierścienia→



Przykłady uszkodzeń erozyjnych elementów okrętowych



Wstępna faza erozji skrzydła śruby napędowej

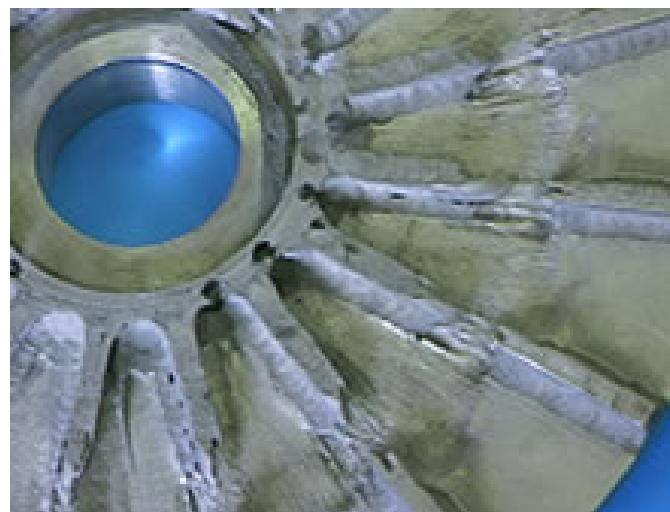


Fragment zniszczonego przez erozję skrzydła śruby

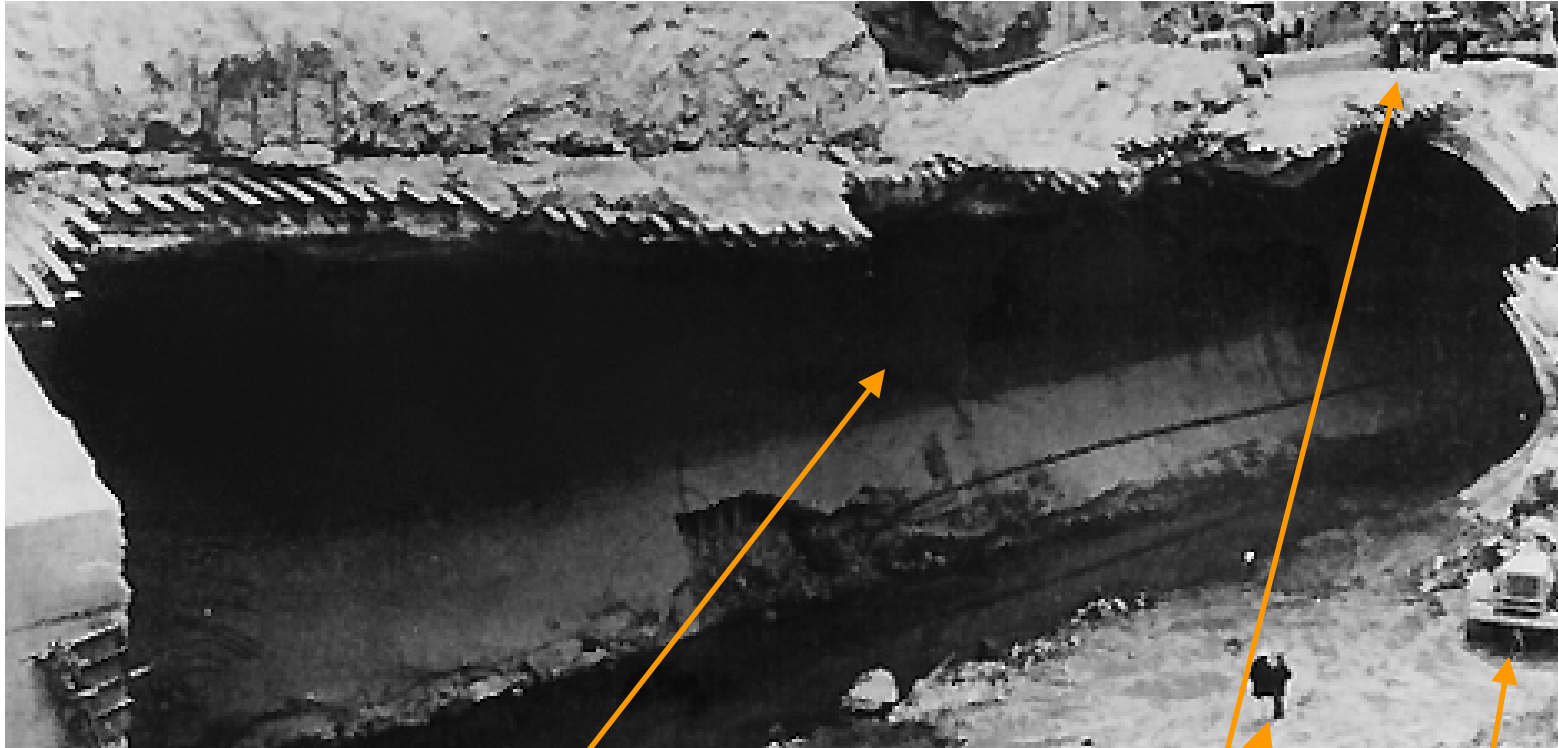


Ślady uszkodzeń erozyjnych na płetwie steru okrętowego

Przykłady uszkodzeń erozyjnych maszyn i urządzeń przepływowych



Konsekwencje erozji kawitacyjnej



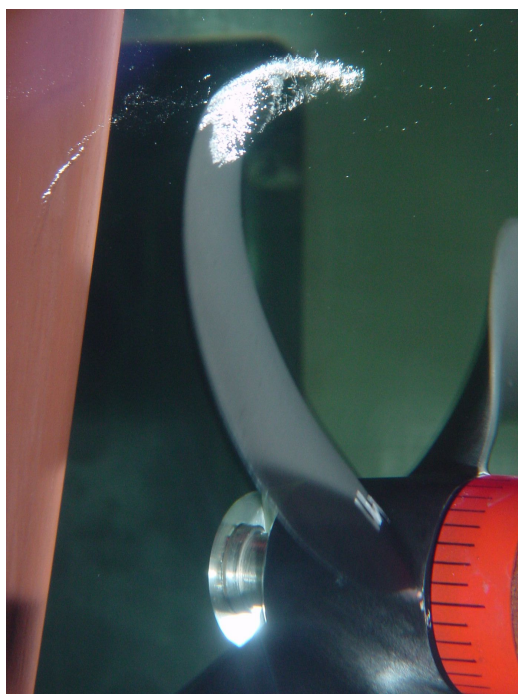
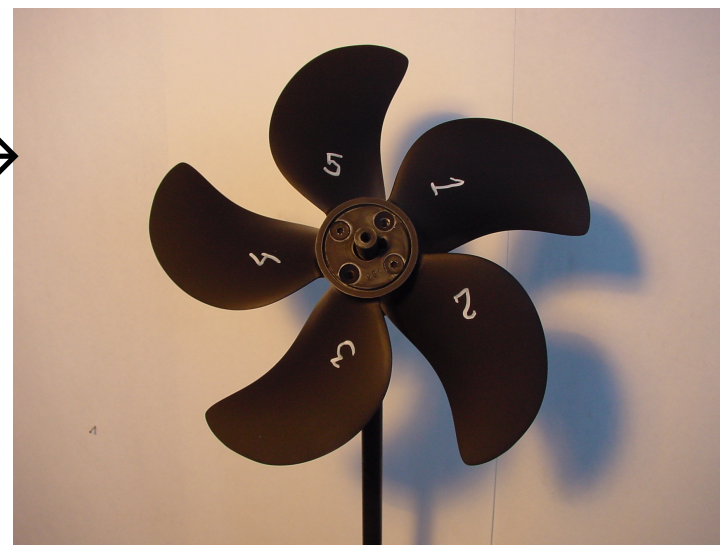
60-metrowe uszkodzenie kanału hydroelektrowni
Tarbela Dam w Pakistanie

ludzie

koparka

Podstawowym sposobem przewidywania wystąpienia erozji kawitacyjnej na obiektach rzeczywistych są badania modelowe.

Model śruby okrętowej pokryty specjalną farbą →

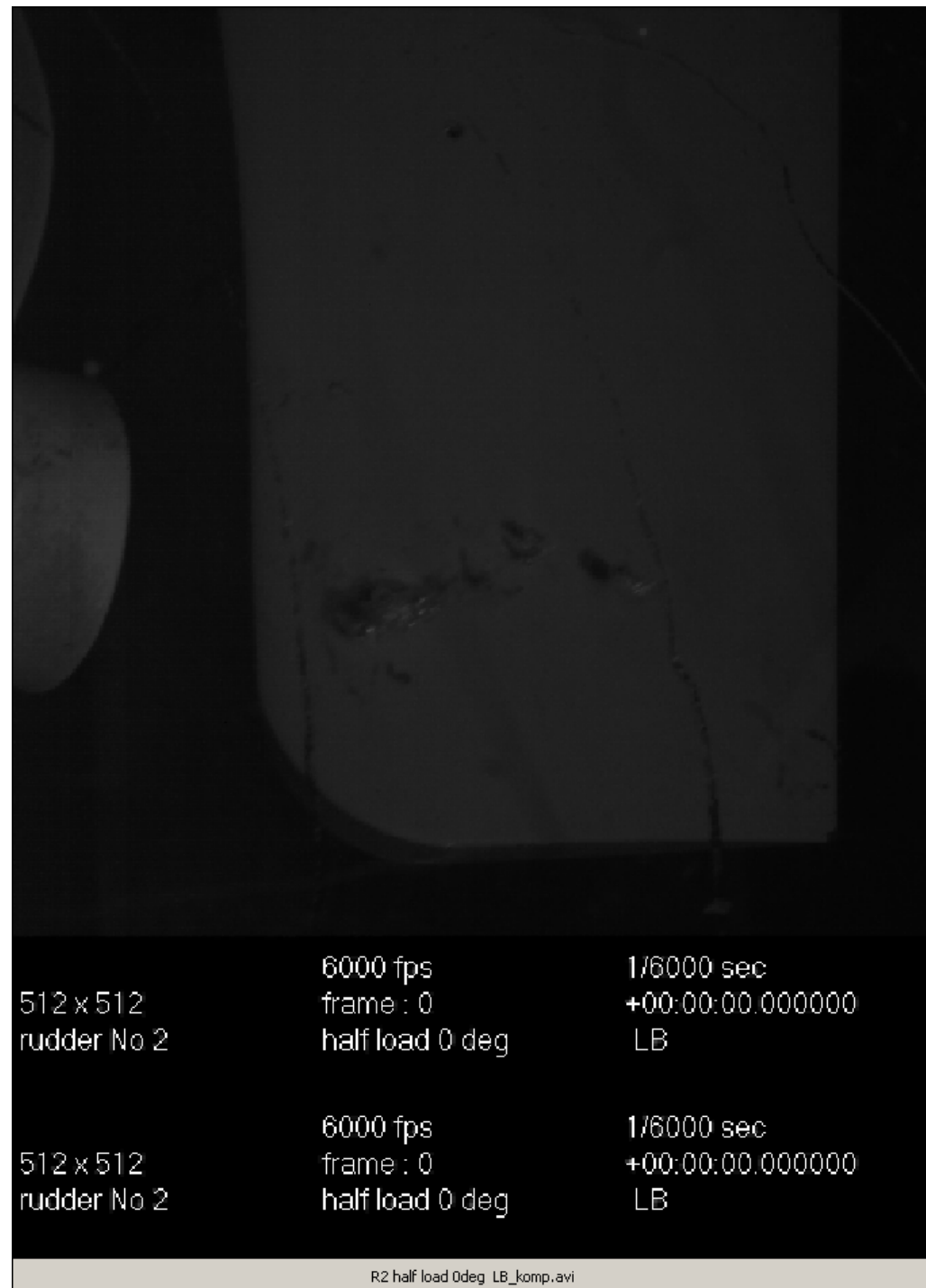


Model w trakcie próby
erozyjnej w tunelu
← kawitacyjnym

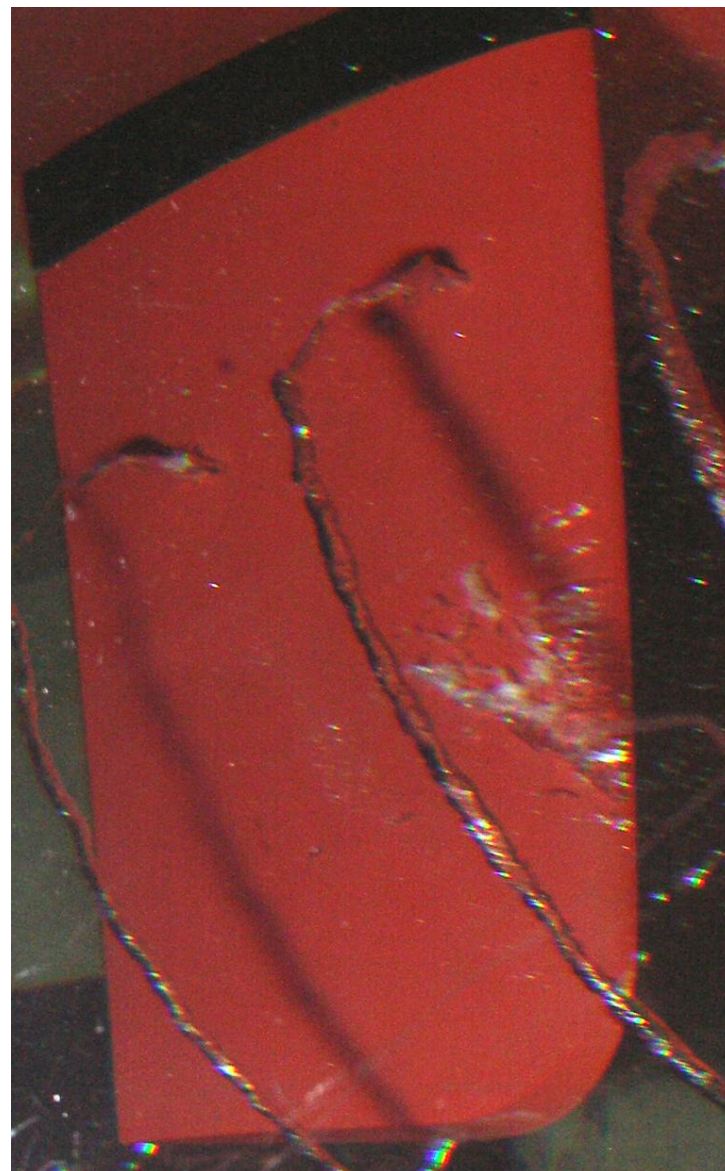
Wyniki próby erozyjnej
(śląd erozji) →



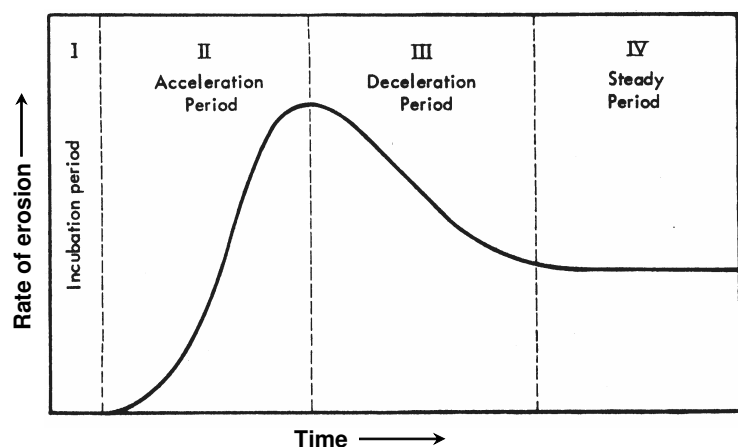
Film wykonany szybką kamerą,
pokazujący niestacjonarne
zjawiska kawitacyjne na modelu
steru okrętowego w trakcie próby
erozyjnej w tunelu kawitacyjnym



Wyniki próby erozyjnej na modelu steru okrętowego. Obraz zjawisk kawitacyjnych po prawej stronie, obraz erozji (czerwona strzałka) po lewej stronie. Widać, że najbardziej erozyjną formą kawitacji jest kawitacja pęcherzykowa i chmurzasta.



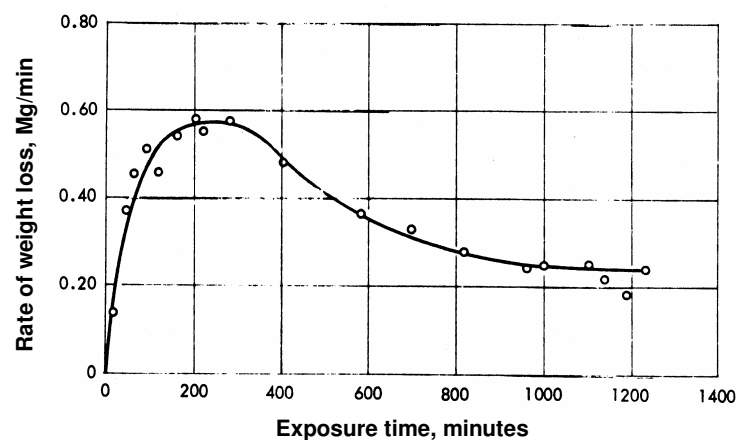
Niezależnie od przewidywania wystąpienia erozji na konkretnych obiektach prowadzi się badania odporności na erozję kawitacyjną rozmaitych materiałów konstrukcyjnych. Próbki materiałów są umieszczane w specjalnym stanowisku z wirującą tarczą, a intensywność erozji jest oceniana na podstawie utraty masy próbki w zależności od czasu ekspozycji.



Proces erozji
przechodzi
zwykle przez
← trzy fazy



Próbka aluminium po
teście erozyjnym



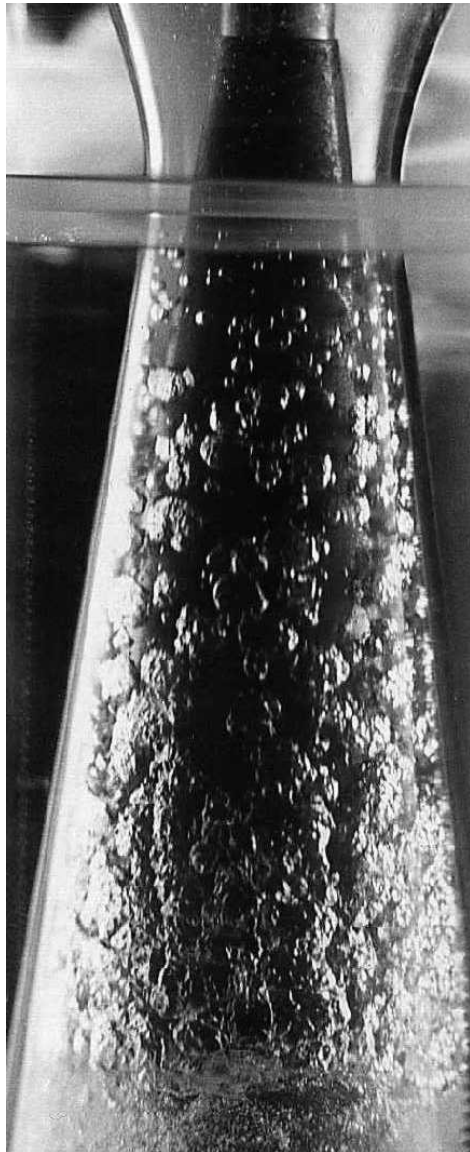
← Wynik badania odporności konkretnego
materiału na erozję kawitacyjną

Generacja drgań i emisji akustycznej

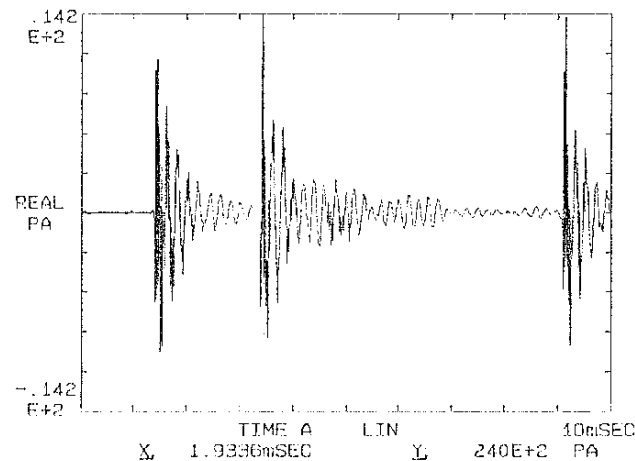
Równanie Rayleigha - Plesseta

$$R\ddot{R} + \frac{3}{2}\dot{R}^2 + \frac{2A}{\rho R} + 4\mu\frac{\dot{R}}{\rho R} = F(t)$$

← Kawitacja pęcherzykowa wywołana w zwężce Venturiego

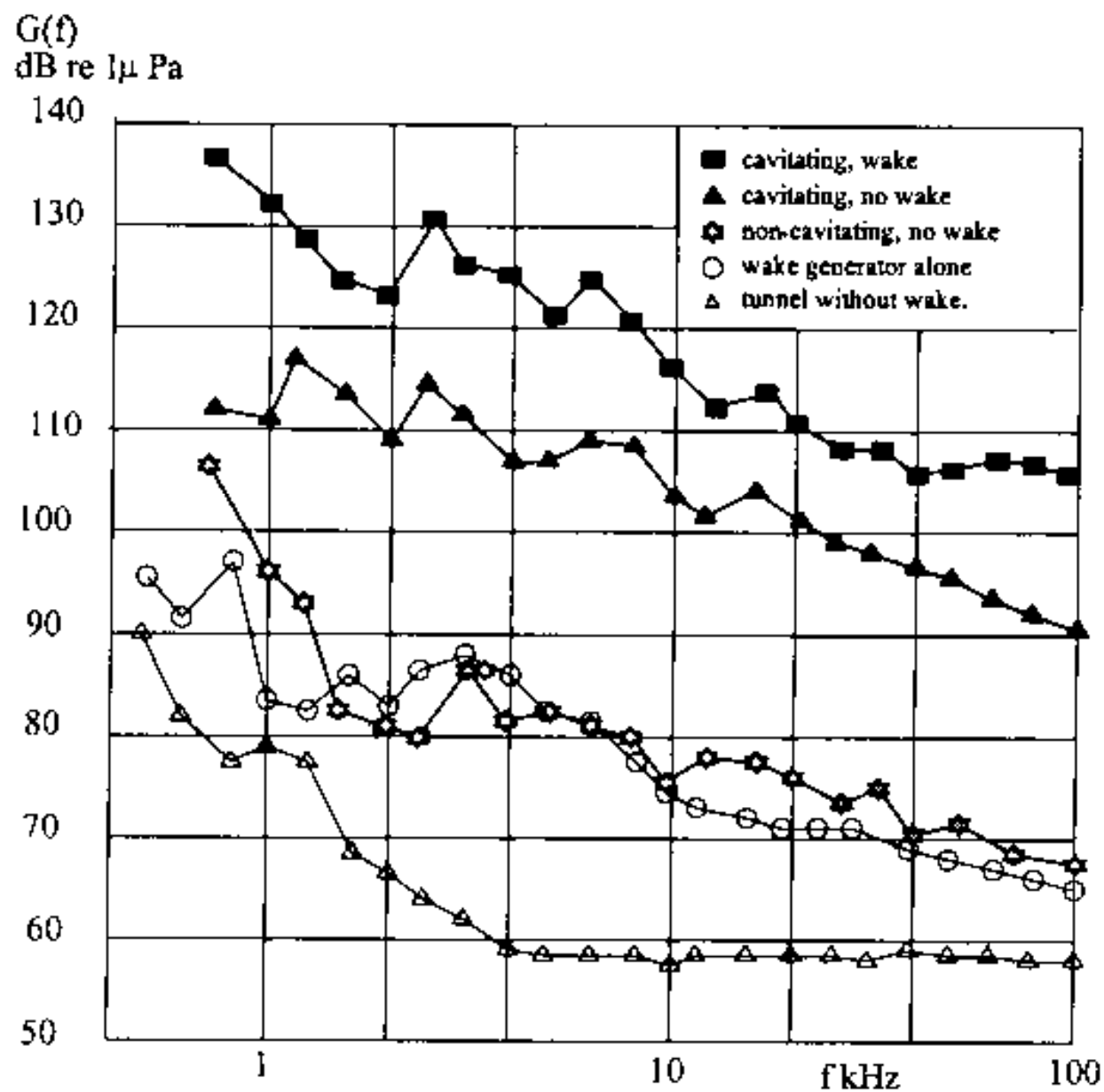


S 40kHz A: AC/ 50V B: AC/ 50V S: PEK 2/128 ChA 1k

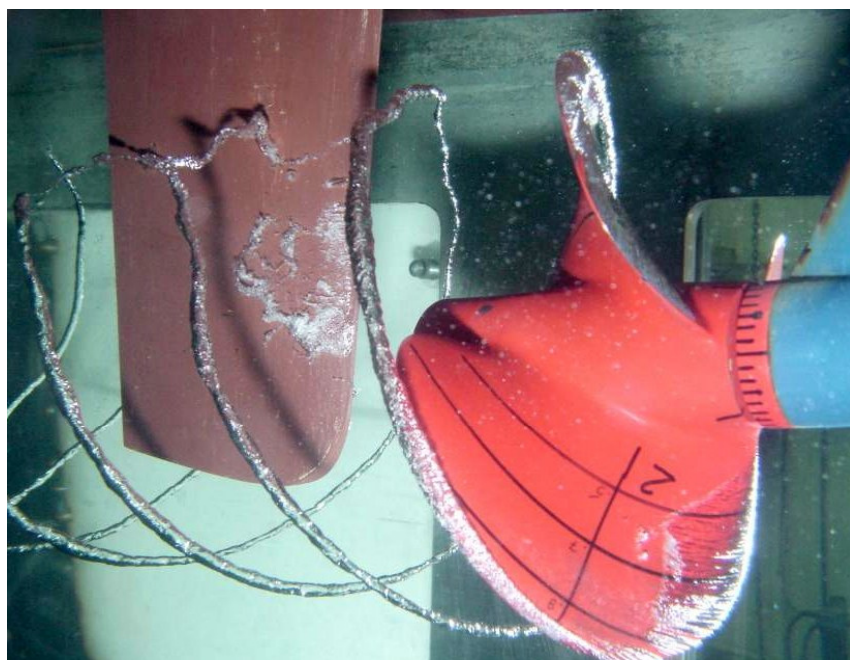


Sygnaly akustyczne
generowane przez
pojedyncze
pęcherzyki
← kawitacyjne

Widmo hałasu emitowanego przez śrubę okrętową

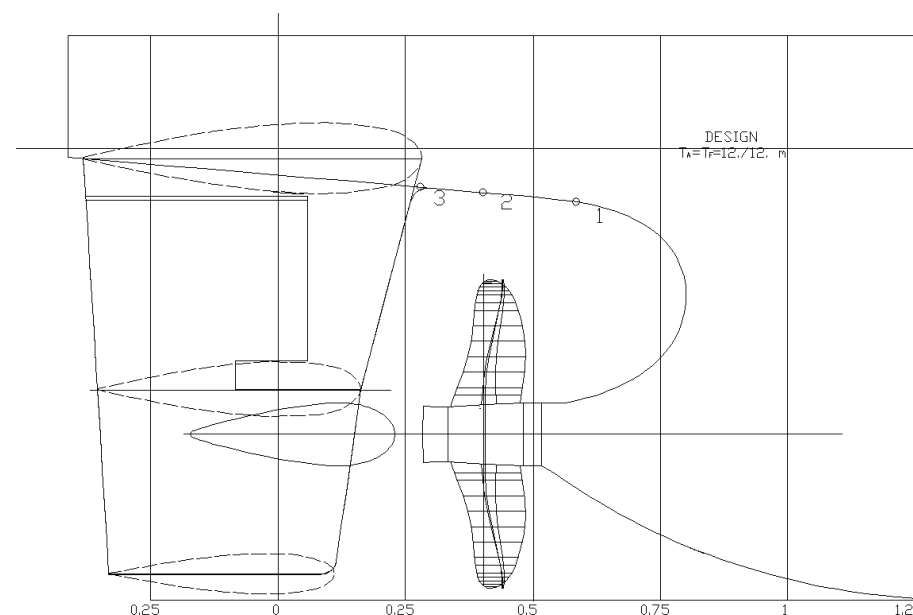


Badania modelowe pulsacji ciśnienia generowanych przez kawitującą śrubę okrętową jako czynnika wywołującego drgania konstrukcji i powodującego emisję sygnałów akustycznych



← Widok modelu śruby i steru w tunelu kawitacyjnym

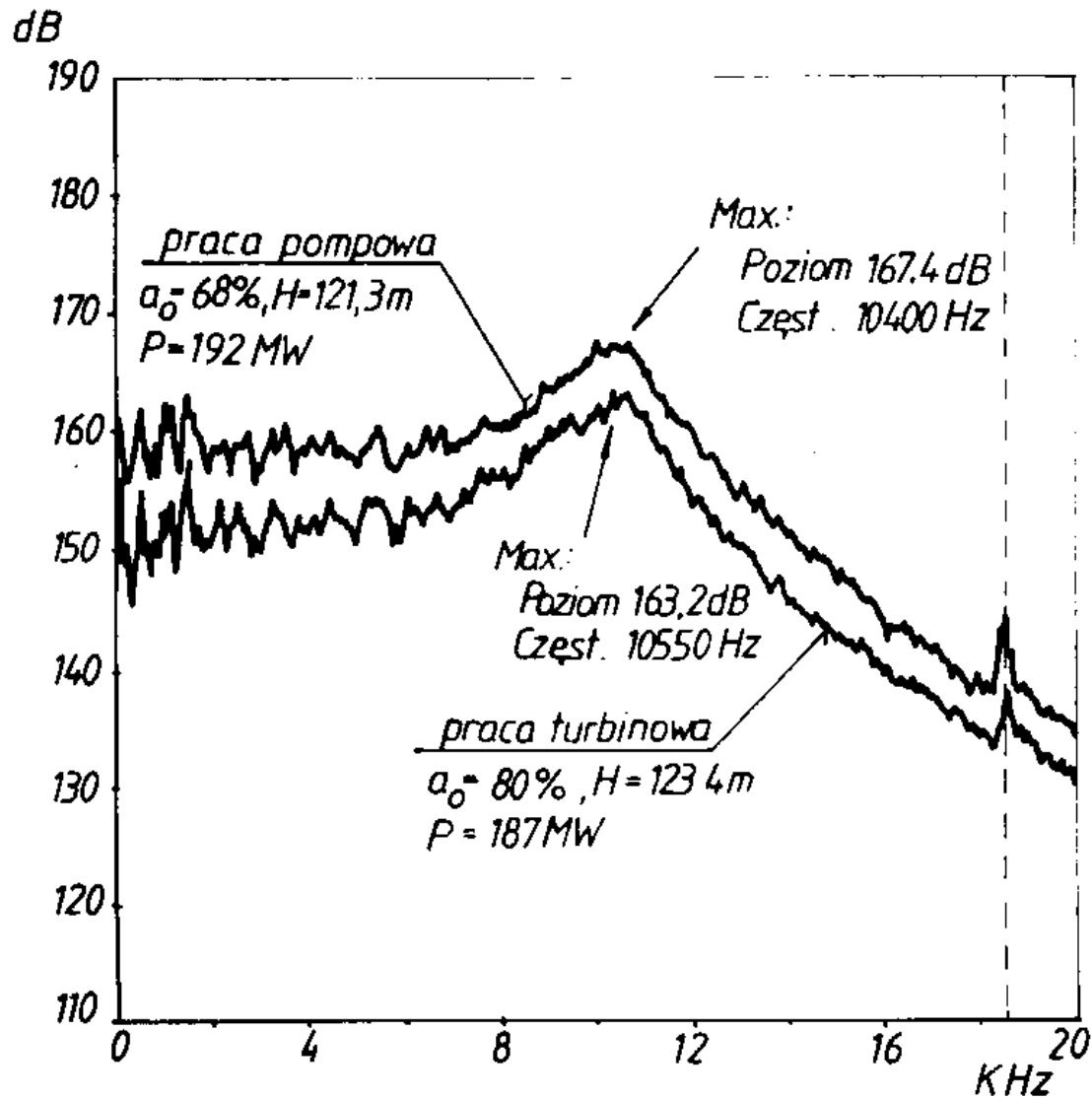
Położenie punktów pomiarowych pulsacji ciśnienia na modelu rufowej części kadłuba statku →



Pulsacje ciśnienia (amplitudy pierwszej A1 i drugiej A2 harmonicznej) generowane przez kawitujący wir wierzchołkowy śruby w układzie ze sterem i bez steru

	Ze sterem	Ze sterem	Bez steru	Bez steru
Punkt nr	A1[kPa]	A2[kPa]	A1[kPa]	A2[kPa]
1	0.976	0.773	0.730	0.569
2	2.630	2.960	1.963	2.310
3	2.731	3.036	1.560	2.071

Drgania



Porównanie widma
drgań rury ssącej
w elektrowni
Żarnowiec podczas
pompowania
i pracy turbinowej

Podsumowanie

- wszystkie maszyny i urządzenia, w których czynnikiem roboczym jest ciecz, są narażone na wystąpienie kawitacji**
- kawitacja niesie ze sobą poważne negatywne konsekwencje, prowadzące do zakłócania pracy oraz niszczenia tych maszyn i urządzeń**
- ograniczenie występowania kawitacji i jej negatywnych konsekwencji wymaga stosowania specjalnych, skomplikowanych metod projektowania maszyn i urządzeń, wykorzystujących nowoczesne techniki eksperymentalne i najbardziej zaawansowane teorie**

Mały dodatek pozytywny

Wśród pozytywnych konsekwencji kawitacji można wymienić możliwość konstruowania szybkich obiektów pływających w warunkach superkawitacji, jak np. torpeda Szkwiał osiągnąca prędkość ponad 100 m/s.



Inne pozytywne zastosowania kawitacji to:

- Czyszczenie powierzchni materiałów w procesie produkcji przemysłowej
- W przemyśle chemicznym i spożywczym – mieszanie i homogenizacja komponentów
- W medycynie – zastosowanie do niektórych zabiegów, np.: niszczenie kamieni nerkowych niszczenie nowotworów metodą High Intensity Focused Ultrasound (HIFU) itp..

Kamienie nerkowe rozbite przy pomocy kawitacji →

