

**ZESZYTY NAUKOWE NR 72
WYŻSZEJ SZKOŁY MORSKIEJ
SZCZECIN 2003**

WYDZIAŁ INŻYNIERYJNO-EKONOMICZNY TRANSPORTU

Robert Jasionowski

**Badania odporności materiałów na erozję kawitacyjną
Cz. I. Urządzenia**

Na podstawie przeglądu literatury, przedstawiono w pracy różne rodzaje stanowisk badawczych używanych do badań odporności na erozję kawitacyjną. Dodatkowo zamieszczono opis urządzeń znajdujących się w polskich ośrodkach badawczych.

**Research Resistance of Materials to Cavitation Erosion
Part One. Devices**

On the basis of literature review, the paper presents various kinds of research test beds for the examination of resistance to cavitation erosion. In addition a description of devices in the Polish research centres has been included.

Wstęp

Kawitacja jest zjawiskiem niepożądanym, występującym w warunkach burzliwego przepływu cieczy, powodującym miejscowe zniszczenie materiału, a tym samym pogarszanie się właściwości eksploatacyjnych maszyn i urządzeń. Kawitacji ulegają powierzchnie omywane szybkimi przepływami cieczy lub pracujące w polu ultradźwiękowym o wysokiej mocy. Do takich maszyn lub ich elementów należą: turbiny wodne, turbiny parowe, pompy wirowe, śruby okrętowe, tuleje cylindrowe silników chłodzonych wodą, sondy akustyczne.

Pierwsze badania zjawiska kawitacji przeprowadzono ponad sto lat temu. Ostatnie 20 lat to okres największej liczby wykonanych prac badawczych, mających na celu wyjaśnienie fizyki tego zjawiska, jego powstawania i przebiegu oraz skutków niszczących. Pozwoliły one na zdefiniowanie pojęcia kawitacji, które jest określane jako zjawisko przebiegające w cieczach, polegające na powstawaniu, wzroście i zanikaniu (implozji) pęcherzyków wypełnionych parą wodną, gazem lub mieszaniną parowo-gazową, spowodowane miejscowym spadkiem ciśnienia powyżej pewnej wartości progowej, a następnie jego wzrostem [1-4].

Mikro i makroimpulsy ciśnienia oraz mikrostruga cieczy o dużej dynamice przepływu niszcząco oddziałują na powierzchnie wspomnianych maszyn lub instalacji przepływowych.

Rozwój badań zjawiska kawitacji przyczynił się do powstania różnych urządzeń testujących, jak również do podejmowania badań odporności na erozję kawitacyjną nowych rodzajów materiałów, które będą być może w mniejszym stopniu podatne na ten rodzaj zużycia.

W niniejszym artykule omówiono różne typy urządzeń i stanowisk laboratoryjnych eksploatowanych w ośrodkach badawczych na świecie, które uczestniczyły w Międzynarodowym Kawitacyjnym Teście Erozyjnym (International Cavitation Erosion Test, ICET) [2]. Przedstawione zostały również urządzenia znajdujące się w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni i Wyższej Szkole Morskiej w Szczecinie.

Urządzenia do badania erozji kawitacyjnej

Istniejące w placówkach naukowych stanowiska laboratoryjne skonstruowano przede wszystkim w celu badania odporności materiałów na erozję kawitacyjną. Porównywanie odporności różnych materiałów powinno się odbywać w tych samych warunkach, przy stałym charakterze kawitacji, ponieważ te same materiały testowane różnymi metodami mają odmienne przebiegi zniszczenia kawitacyjnego [1].

Można wyodrębnić cztery grupy urządzeń badawczych:

- przepływowe,
- wibracyjne,
- uderzeniowe,
- specjalne.

Urządzenia przepływowe

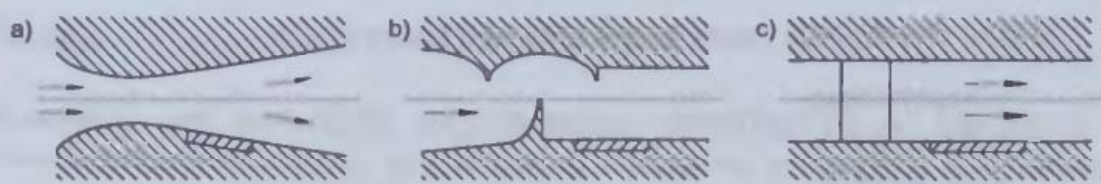
W urządzeniach przepływowych zjawisko kawitacji jest wywołane przez wykorzystanie przepływu cieczy przez tunele, kanały przepływowe lub przez szybkie wirowanie próbek w cieczy. Kawitacja jest wzbudzana przez model, profil elementu maszyny lub wzbudnik i powstaje w miejscu oderwania strugi od opływającego ciała, powodując jego erozję. W zależności od sposobu wzbudzenia kawitacji wyróżniamy następujące urządzenia przepływowe:

- tunele i kanały (dysze) kawitacyjne;
- wirujące tarcze [1, 3, 4].

Tunele kawitacyjne umożliwiają badanie pędników okrętowych, pomp, turbin wodnych i maszyn odwracalnych, wykrywanie i ustalanie stref objętych kawitacją. Tunele są wyposażone w specjalne wizjery, umożliwiające wizualną obserwację procesów przepływu i ich rejestrację. Do największych tuneli kawitacyjnych należą:

- tunel ORL Penna, State University o średnicy sekcji pomiarowej 1220 mm i mocy zainstalowanej 1450 kW;
- tunel National Ship Research Development Center o średnicy pomiarowej 915 mm i mocy zainstalowanej 2600 kW [3].

W kanałach (dyszach) kawitacyjnych istotną cechą konstrukcyjną jest profil przekrojów przepływowych, powodujących spadek ciśnienia i lokalny wzrost prędkości cieczy. Prędkość cieczy w kanałach kawitacyjnych najczęściej wynosi od 20 do 40 m/s, a ciśnienie dochodzi do 9000 hPa. Próbkę umieszcza się za przewężeniem, w obrębie części dyfuzorowej urządzenia lub w śladzie aerodynamicznego wzbudnika kawitacji (za cylindrem lub występem), w miejscu występowania implozji pęcherzyków kawitacyjnych. Zazwyczaj próbka badanego materiału jest umieszczona w ścianie przewodu [2, 10].



Rys. 1. Kanaly kawitacyjne: a) zwężka Venturiego, b) kanał profilowany, c) kanał ze wzbudnikiem kawitacji

Fig. 1. Cavitation channels. a) Venturi tube, b) channel of changeable section, c) channel with cavitation inductor

Źródło: L.G. Worošnin, M.M. Abačarajew, B.M. Husid: *Kawitacyjno-stojkie pokrycia na żeloznglerodistych spławach*, Mińsk 1986.

Badania w tunelach i kanałach kawitacyjnych charakteryzują się małą intensywnością kawitacji, dużą czasochłonnością testowania próbek i dużym stopniem podobieństwa procesu przebiegów przepływu.

Ośrodkami badawczymi posiadającymi tunele kawitacyjne biorącymi udział w ICET są (tabela 1): CSSRS Chiński Ośrodek Naukowo-Badawczy Przemysłu Okrętowego w Wuzi (tunel ze wzbudnikiem cylindrycznym), Uniwersytet City w Londynie (tunel ze wzbudnikiem w kształcie klina) oraz Uniwersytet Hiroszima i Uniwersytet Hanowerski (tunel ze wzbudnikiem w układzie przeszkoda-przeciwprzeszkoda – p/pp).

Tabela 1

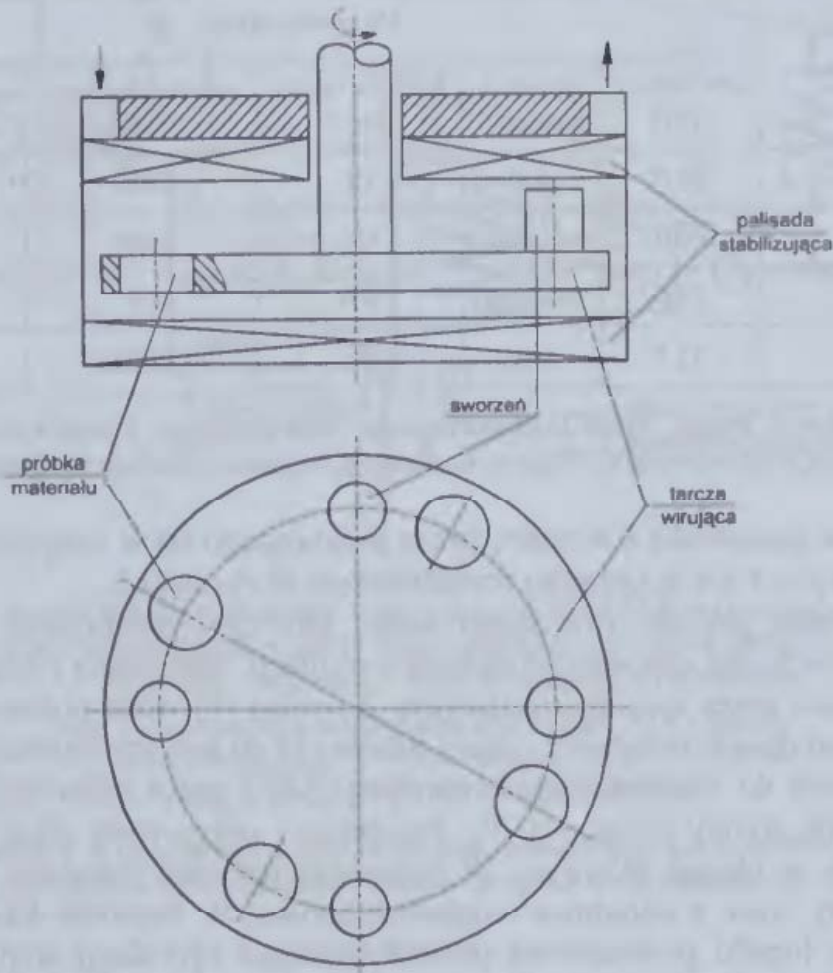
Parametry tuneli kawitacyjnych
Parameters of cavitation channels

Laboratorium	Parametry pracy				
	moc silnika [kW]	wzbudnik kawitacji	pow. próbki [mm ²]	prędkość cieczy [m/s]	ciśnienie [hPa]
Uniwersytet City	22	klin	897	21	8900,0
CSSRS, Wuzi	100	sworzeń	3096	14	1029,7
Uniwersytet Hanowerski	12	p/pp	1800	40	7000,0
Uniwersytet Hiroszima	11	p/pp	259	30	4052,0

Źródło: J. Steller, R. Bugała, *Wyniki Międzynarodowego Testu Erozyjnego, a nowa koncepcja odporności kawitacyjnej materiałów*, I Krajowa Konferencja, Inżynieria Materiałowa, Gdańsk 1996.

Urządzenia z wirującą tarczą służą głównie do testowania próbek badanych materiałów. Zjawisko kawitacji i erozję próbek podczas obrotu tarczy wzbudzają otwory lub sworznie umieszczone przed każdą próbką. Występująca promieniowa palisada nieruchomych łopatek sprzyja zjawisku kawitacji, zmniejszając prędkość obwodową cieczy. Urządzenia tego typu charakteryzują się du-

żym natężeniem zjawiska kawitacji oraz możliwością jego regulowania poprzez zmianę szybkości obrotowej tarczy lub średnicy osadzenia wzbudników i próbek badanego materiału [1, 7]. Tarcze tych urządzeń o średnicy 275+500 mm wirują w zbiorniku ze stacjonarną mieszaniną wody i powietrza z prędkością 1500+5000 obr/min [2].



Rys. 2. Schemat urządzenia z wirującą tarczą

Fig. 2. A scheme of a rotating disk device

Źródło: K. Steller, *Pojęcia podstawowe, ze szczególnym uwzględnieniem pojęć dotyczących maszyn hydraulicznych*, Zeszyty Naukowe Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, Nr 140/1057/82, Gdańsk 1982.

Urządzenie z wirującą tarczą z otworami powodującymi obłok kawitacyjny znajduje się w laboratorium Instytutu Badawczego SIGMA w Ołomuńcu oraz CSSRS w Wuzi, natomiast stanowiska badawcze Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku oraz KSB A.G. w Frankenthalu posiadają tarcze

o wzbudniku kawitacji w formie sworznia. Parametry tych urządzeń podano w tabeli 2.

Tabela 2

Parametry urządzeń z wirującą tarczą
Parameters of a rotating disk devices

Laboratorium	Parametry pracy				
	moc silnika [kW]	wzbudnik kawitacji	średnica tarczy [mm]	prędkość cieczy [m/s]	pow. próbki [mm ²]
CSSRS, Wuzi	30,0	otwór	350	2950	1256,6
IMP PAN	40,0	sworzeń	330	3000	706,5
KSB A.G.	28,0	sworzeń	500	1537	200,0
SIGMA VU	52,5	otwór	275	5000	2×491,0

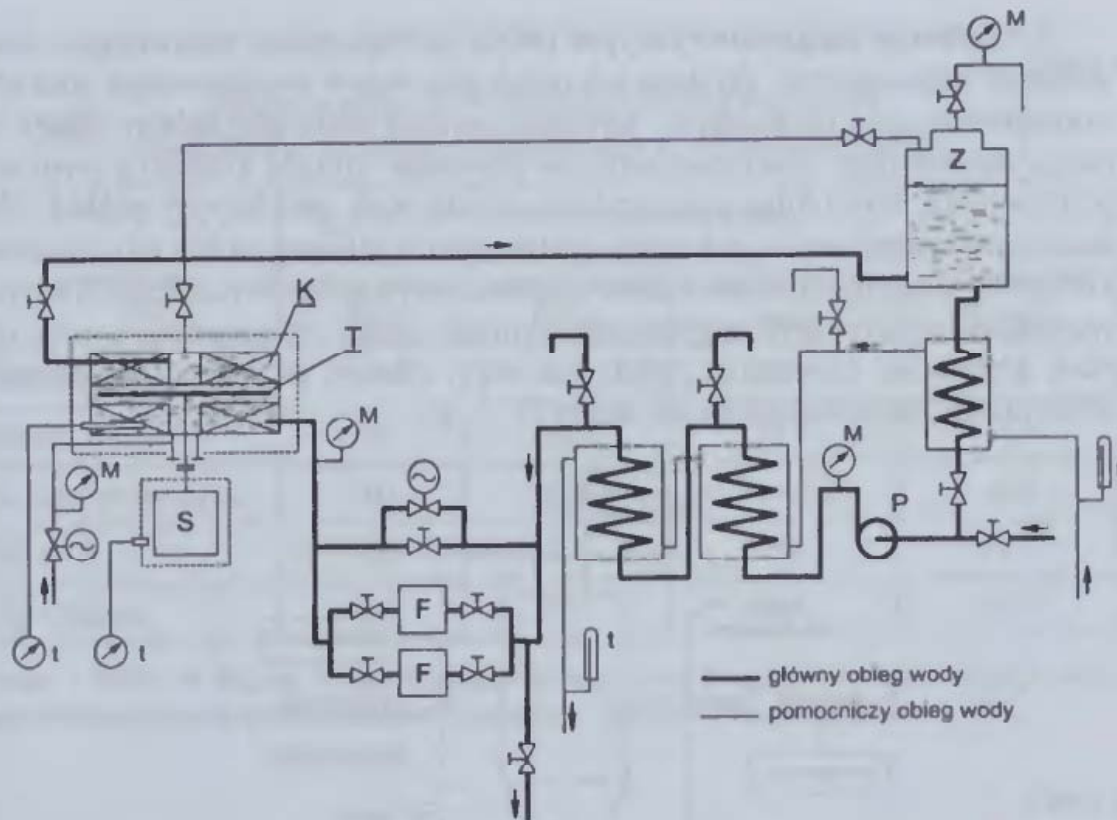
Źródło: J. Steller, R. Bugała, *Wyniki Międzynarodowego Testu Erozyjnego, a nowa koncepcja odporności kawitacyjnej materiałów*, I Krajowa Konferencja, Inżynieria Materiałowa, Gdańsk 1996.

Schemat stanowiska z wirującą tarczą znajdującego się w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku przedstawiono na rysunku 3.

Stanowisko posiada dwa obiegi wody: główny i pomocniczy. W skład pierwszego wchodzi elementy służące do cyrkulacji, chłodzenia i filtracji wody przepływającej przez komorę kawitacyjną. Z pompy (P) woda płynie przez szeregowy układ dwóch chłodziń i system filtrów (F) do komory kawitacyjnej (K), skąd wypływa do zbiornika wyrównawczego (Z) i przez chłodziń trafia na stronę ssawną pompy obiegowej (P). Pomocniczy obieg wody służy do schładzania wody w obiegu głównym. W jego skład wchodzi chłodziń głównego obiegu wody wraz z chłodziń mikroszczelinową. W komorze kawitacyjnej, posiadającej łopatki promieniowe przeciwdziałające cyrkulacji wody podczas wirowania tarczy, można osadzać tarcze wirujące (T) o różnej średnicy.

Podstawowe parametry pracy opisanego stanowiska są następujące:

- średnica zewnętrzna tarcz: 310/330/350 mm;
- średnica osadzenia wzbudników i próbek materiałów: 250/270/310 mm;
- liczba wzbudników i próbek: po 8 sztuk;
- średnica próbek: 30 mm;
- prędkość obrotowa tarczy: 3000 obr/min;
- moc silnika głównego: 40 kW.



Rys. 3. Schemat stanowiska z wirującą tarczą (IMP PAN w Gdańsku):

K – komora kawitacyjna, T – tarcza z próbkami, S – silnik elektryczny,
P – pompa obiegowa, F – filtry, Z – zbiornik wyrównawczy

Fig. 3. A scheme of a rotating disk device (IMP PAN Gdańsk):

K – cavitation chamber, T – disk with samples, S – electric motor,
P – circulating pump, F – filters, Z – equalizing tank

Źródło: K. Steller, T. Krzysztofowicz, *Metody testowania materiałów narażonych na działanie kawitacji*, Zeszyty Naukowe Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, Nr 152/1072/82, Gdańsk 1982.

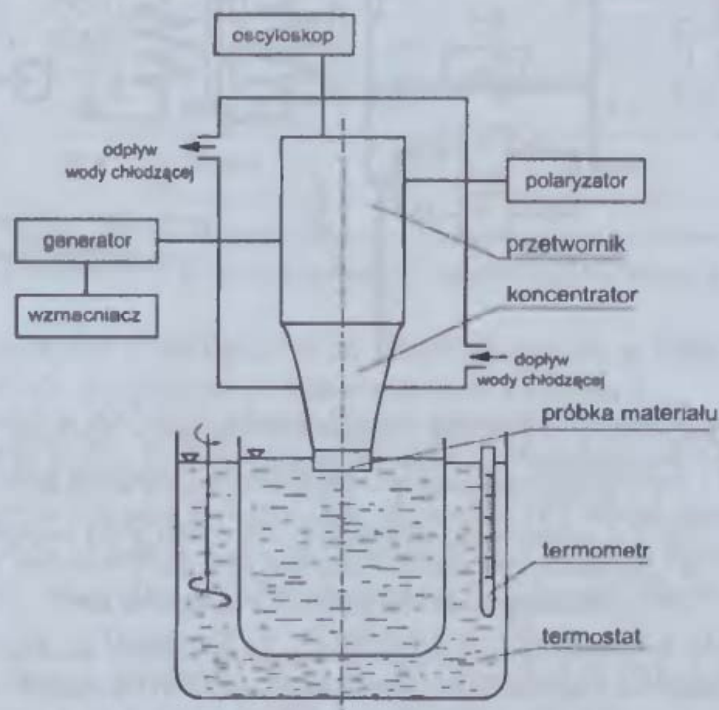
Urządzenia wibracyjne

W urządzeniach wibracyjnych zjawiskiem powodującym zniszczenie jest kawitacja akustyczna. Ciśnienie krytyczne osiągane jest poprzez rozprzestrzenianie się fali akustycznej w cieczy wytworzonej za pomocą drgań elementu, na którym lub naprzeciwko którego jest umieszczona próbka [1, 7–9].

Urządzenia wibracyjne można podzielić na:

- magnetostrykcyjne i piezoelektryczne,
- mechaniczne,
- hydrodynamiczne.

Urządzenia magnetostrykcyjne należą do najczęściej stosowanych wśród urządzeń wibracyjnych. Źródłem ich drgań jest wpływ przemiennego pola elektromagnetycznego na materiały ferromagnetyczne takie jak: żelazo, nikiel, kobalt. Zmienne pole elektromagnetyczne powoduje zmianę kształtu i wymiarów przetwornika, wywołując poprzez koncentrator ruch oscylacyjny próbki. Skutkiem powyższego ruchu jest erozja powierzchni czołowej próbki mocowanej na końcówce koncentratora lub próbki umieszczonej naprzeciwko niego. Kawitacja wywołana urządzeniami magnetostrykcyjnymi zależy od parametrów przetwornika, głębokości zanurzenia próbki w cieczy, odstępu próbki od przetwornika, właściwości fizykochemicznych cieczy [1, 3, 4].



Rys. 4. Schemat urządzenia wibracyjnego

Fig. 4. A scheme of the vibratory cavitation device

Źródło: K. Steller, *Pojęcia podstawowe, ze szczególnym uwzględnieniem pojęć dotyczących maszyn hydraulicznych*, Zeszyty Naukowe Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, Nr 140/1057/82, Gdańsk 1982.

Głównymi zaletami urządzeń magnetostrykcyjnych jest duże natężenie kawitacji, małe rozmiary stanowisk badawczych i próbek.

Ośrodki badawcze posiadające urządzenia wibracyjne z próbką oscylacyjną wyszczególniono w tabeli 3, zaś z próbką stacjonarną – w tabeli 4 [2].

Tabela 3

Parametry stanowisk wibracyjnych z próbką oscylacyjną
Parameters of the vibratory cavitation device with oscillatory sample

Laboratorium	Parametry pracy			
	pobór mocy [W]	częstość drgań [kHz]	amplituda [μm]	rozmiar próbki [ϕ , mm]
CISE, Mediolan	1000	20,0	50,8	15,8
CSSRS, Wuzi	250	20,0	32,0	16,0
Uniwersytet Hiroszima	100	19,9	24,0	16,0
IMP PAN	500	8,1	50	12,5
VSB Ostrawa	250	20,0	40,0	16,0

Źródło: J. Steller, R. Bugała, *Wyniki Międzynarodowego Testu Erozyjnego, a nowa koncepcja odporności kawitacyjnej materiałów*, I Krajowa Konferencja, Inżynieria Materiałowa, Gdańsk 1996.

Tabela 4

Parametry stanowisk wibracyjnych z próbką stacjonarną
Parameters of the vibratory cavitation device with stationary sample

Laboratorium	Parametry pracy				
	pobór mocy [W]	częstość drgań [kHz]	amplituda [μm]	rozmiar próbki [ϕ , mm]	odstęp próbki od przetwornika [mm]
Uniwersytet Kapsztadzki	500	20,0	60	10,0	0,35
Uniwersytet Hiroszima	100	19,9	28	16,0	0,4
Uniwersytet Hull	200	20,0	117	16,7	0,5
VSB Ostrawa	250	20,0	40	16,0	1,0

Źródło: J. Steller, R. Bugała, *Wyniki Międzynarodowego Testu Erozyjnego, a nowa koncepcja odporności kawitacyjnej materiałów*, I Krajowa Konferencja, Inżynieria Materiałowa, Gdańsk 1996.

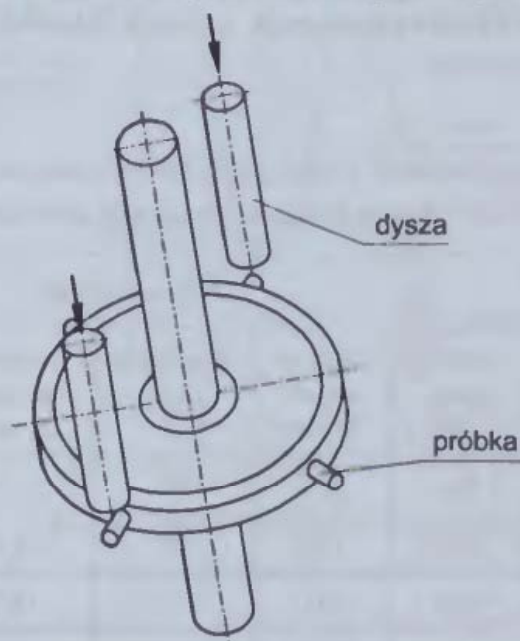
Urządzenia wibracyjne mechaniczne i hydromechaniczne są obecnie rzadko stosowane. W urządzeniach mechanicznych element czynny wprawiany jest w drgania poprzez krzywkę, ciężarek i sprężynę lub za pomocą młotka pneumatycznego. W urządzeniach hydrodynamicznych drgania powoduje ciecz przepływająca z dużą prędkością [1, 3].

Urządzenia uderzeniowe

Urządzenia uderzeniowe, ze względu na rodzaj strumienia cieczy oddziałującego na powierzchnię badanego materiału, można podzielić na:

- strumieniowo-uderzeniowe, gdy badane próbki uderzają o strumień cieczy,
- z uderzającą strugą, gdy strumień cieczy uderza w badaną próbkę,
- natryskowe,
- inne.

Do najczęściej spotykanych **urządzeń strumieniowo-uderzeniowych** należy stanowisko pokazane na rysunku 5. Składa się ono z wirującej tarczy, na obwodzie której są osadzone próbki badanego materiału, o które z dużą prędkością uderza wypływający z dysz strumień cieczy. Przebieg zniszczenia kawitacyjnego zależy od prędkości obwodowej próbek, odległości pomiędzy dyszą a badanymi próbkami, prędkości strumienia i właściwości fizykochemicznych cieczy. Podstawową zaletą urządzenia jest możliwość uzyskania dużej intensywności erozji [3].



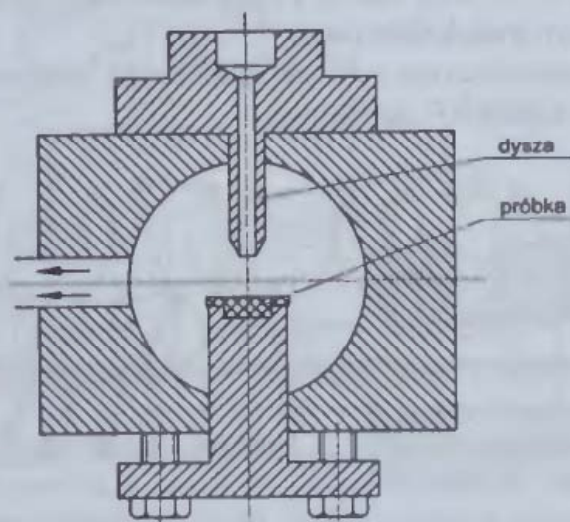
Rys. 5. Urządzenie strumieniowo-uderzeniowe

Fig. 5. A scheme of the flux-impact measuring device

Źródło: K. Steller, *Pojęcia podstawowe, ze szczególnym uwzględnieniem pojęć dotyczących maszyn hydraulicznych*, Zeszyty Naukowe Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, Nr 140/1057/82, Gdańsk 1982.

Na rysunku 6 pokazano schemat **urządzenia z uderzającą strugą**. Wypływający z dyszy strumień, otoczony obłokiem kawitacyjnym, uderza w badaną próbkę powodując implozję pęcherzyków kawitacyjnych, a tym samym erozję

kawitacyjną. Intensywność erozji zależy od wymiarów i kształtu dyszy, odległości próbki od dyszy oraz właściwości hydrodynamicznych cieczy.

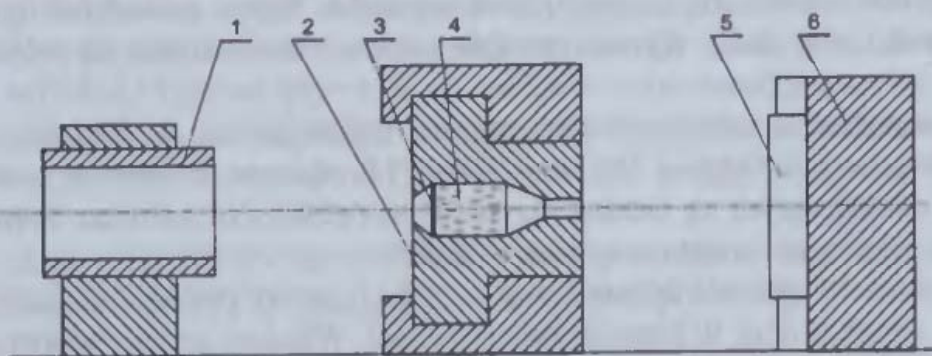


Rys. 6. Urządzenie z uderzającą strugą

Fig. 6. A scheme of the impact stream device

Źródło: K. Steller, T. Krzysztofowicz, *Metody testowania materiałów narażonych na działanie kawitacji*, Zeszyty Naukowe Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, Nr 152/1072/82, Gdańsk 1982.

Urządzenie, w którym badana próbka jest poddana działaniu pojedynczych porcji cieczy przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Urządzenie do wywoływania pojedynczych uderzeń porcją cieczy:

1 - karabin, 2 - matryca, 3 - płytką teflonową, 4 - ciecz, 5 - próbka, 6 - uchwyt

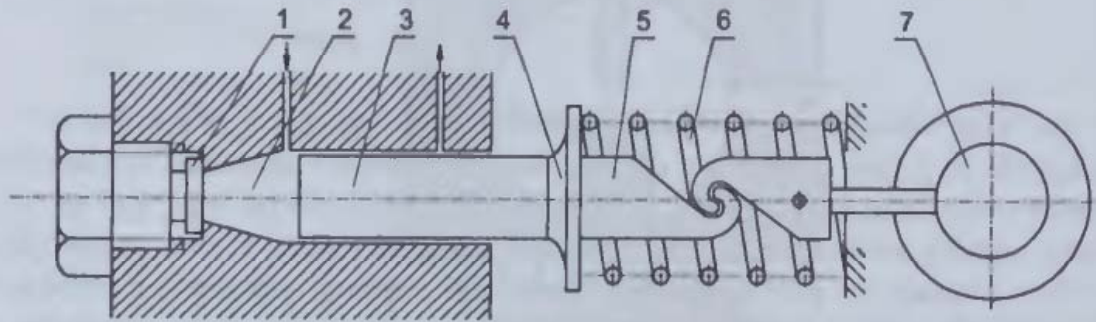
Fig. 7. A scheme of the single impact liquid device:

1 - rifle, 2 - matrix, 3 - teflon plate, 4 - liquid, 5 - sample, 6 - grip

Źródło: K. Steller, T. Krzysztofowicz, *Metody testowania materiałów narażonych na działanie kawitacji*, Zeszyty Naukowe Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, Nr 152/1072/82, Gdańsk 1982.

Erozja kawitacyjna próbki jest spowodowana uderzeniem pojedynczych porcji cieczy w jej powierzchnię czołową. Ciecz znajduje się w cylindrycznym pojemniku zamkniętym z jednej strony płytką teflonową. Jest ona wyrzucana za pomocą pocisku z broni małokalibrowej.

Na rysunku 8 zamieszczono schemat urządzenia uderzeniowego, zaproponowanego przez J. Ackereta i P. de Hallera.



Rys. 8. Urządzenie uderzeniowe J.Ackereta i P. de Hallera:

1 - próbka, 2 - ciecz, 3 - tłok, 4 - bijak, 5 - sprężyna, 6 - urządzenie rozprzegające, 7 - mimośród

Fig. 8. A scheme of the impact device J.Ackereta i P. de Hallera:

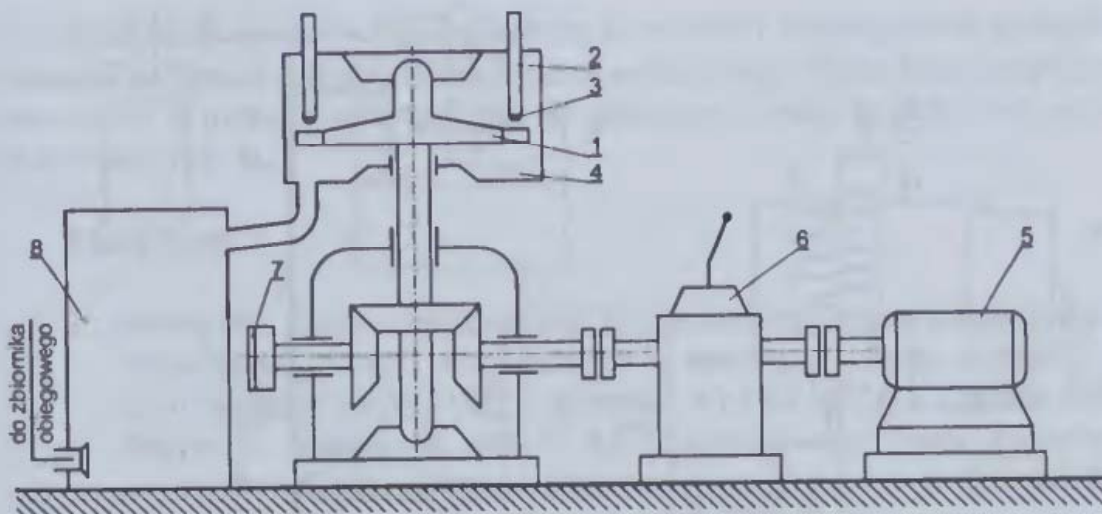
1 - sample, 2 - liquid, 3 - piston, 4 - beater, 5 - spring, 6 - disconnect device, 7 - eccentric

Źródło: K. Steller, T. Krzysztofowicz, *Metody testowania materiałów narażonych na działanie kawitacji*, Zeszyty Naukowe Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, Nr 152/1072/82, Gdańsk 1982.

Składa się ono ze stożkowej części wypełnionej wodą, ograniczonej z jednej strony próbką materiału, z drugiej denkiem tłoka. Napęd mimośrodu powoduje gwałtowne ruchy tłoka, wywołujące fale ciśnienia oddziałujące na próbkę i powoduje jej uszkodzenie.

Stanowiska strumieniowo-uderzeniowe znajdujące się w Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni i Wyższej Szkole Morskiej w Szczecinie pod względem konstrukcyjnym są bardzo do siebie podobne. Na rysunku 9 pokazano schemat urządzenia znajdującego się w AMW.

Stanowisko posiada trójramienny wirnik (1), który pozwala na jednoczesne badanie trzech próbek w płaszczyźnie poziomej. Wirujące próbki uderzają o dwa strumienie cieczy wypływające z dysz (3). Silnik elektryczny (5) napędza cały układ wirujący; prędkość obrotowa jest regulowana przełożeniami skrzyni biegów (6).



Rys. 9. Schemat stanowiska strumieniowo-uderzeniowego (AMW w Gdyni):
1 – wirnik, 2 – przewód, 3 – dysza, 4 – obudowa wirnika, 5 – silnik elektryczny,
6 – skrzynia biegów, 7 – licznik obrotów wirnika, 8 – zbiornik wody

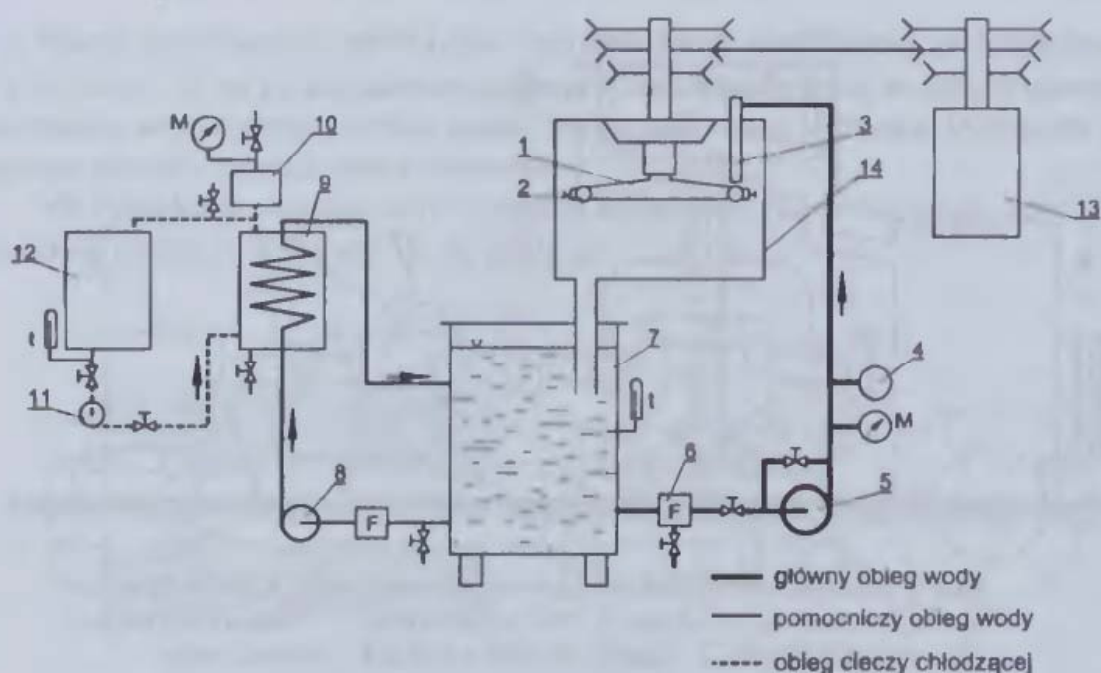
Fig. 9. A scheme of flux-impact measuring device (AMW Gdynia):
1 – rotor, 2 – pipe, 3 – nozzle, 4 – rotor casing, 5 – electric motor,
6 – gearbox, 7 – tachometr, 8 – water tank

Źródło: J. Fila, L. Piaseczny, *Dynamiczne oddziaływanie wody morskiej na ochronne i naprawcze kompozyty firmy Belzona*, II Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Rynia 1998.

Stanowisko znajdujące się w WSM w Szczecinie przedstawiono na rysunku 10. W skład stanowiska wchodzi następujące obiegi:

- główny obieg wody, w którym woda oczyszczona filtrem samopłuczącym (5), jest zasysana przez pompę wirową (5) i kierowana do komory wirnika (14), skąd sływa do zbiornika obiegowego (7);
- pomocniczy obieg wody, którego zadaniem jest schłodzenie wody w zbiorniku obiegowym (7); obieg zawiera pompę (8) oraz chłodnicę (9);
- obieg cieczy chłodzącej to układ składający się z szafy klimatycznej (12), chłodnicy (9) i łączącej je instalacji przepływowej.

Stanowisko umożliwia jednoczesne badanie dwóch próbek (2), które są mocowane w wirniku (1) napędzonym silnikiem elektrycznym (13) poprzez przekładnię pasową.



Rys. 10. Schemat stanowiska strumieniowo-uderzeniowego (WSM w Szczecinie):
 1 – wirnik, 2 – próbka, 3 – dysza, 4 – przepływomierz, 5 – pompa wirowa, 6 – filtr samopłuczający,
 7 – zbiornik obiegowy, 8 – pompa systemu chłodzenia, 9 – chłodnica, 10 – zbiornik wyrównawczy,
 11 – pompa czynnika chłodzącego, 12 – szafa klimatyczna, 13 – silnik elektryczny, 14 – komora wirnika

Fig. 10. A scheme of flux-impact measuring device:

1 – rotor, 2 – sample, 3 – nozzle, 4 – flow-meter, 5 – impeller pump, 6 – self-cleaning filter,
 7 – circulating tank, 8 – pump of the cooling system, 9 – cooler, 10 – equalizing tank, 11 – coolant
 pump, 12 – refrigerator, 13 – electric motor, 14 – rotor casing

Źródło: opracowanie własne

Urządzenia specjalne

Głównym zadaniem urządzeń specjalnych jest stworzenie warunków odzwierciedlających warunki eksploatacyjne. Można je uzyskać umieszczając próbki materiału bezpośrednio w maszynach i urządzeniach hydraulicznych, gdzie na badany materiał oprócz kawitacji działają inne procesy destrukcyjne takie, jak: korozja lub erozja cierna.

Podsumowanie

Wszystkie obecnie stosowane urządzenia do badań erozji kawitacyjnej pozwalają na porównanie zniszczeń kawitacyjnych jednego materiału względem drugiego i klasyfikowanie ich według odporności na zniszczenie kawitacyjne. Porównanie to ma sens tylko wówczas, gdy badany materiał jest testowany

w tych samych warunkach. Potwierdziły to rezultaty eksperymentu przeprowadzonego w ramach Międzynarodowego Kawitacyjnego Testu Erozyjnego, gdzie stanowiska o różnej konstrukcji dawały odmienne wyniki badania tych samych materiałów [2].

Literatura

1. Steller K., *Pojęcia podstawowe, ze szczególnym uwzględnieniem pojęć dotyczących maszyn hydraulicznych*, Zeszyty Naukowe Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, Nr 140/1057/82, Gdańsk 1982.
2. Steller J., Bugała R., *Wyniki Międzynarodowego Testu Erozyjnego, a nowa koncepcja odporności kawitacyjnej materiałów*, I Krajowa Konferencja, Inżynieria Materiałowa, Gdańsk 1996.
3. Steller K., Krzysztofowicz T., *Metody testowania materiałów narażonych na działanie kawitacji*, Zeszyty Naukowe Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, Nr 152/1072/82, Gdańsk 1982.
4. Głowacka M., Hucińska J., *Stan badań nad niszczeniem kawitacyjnym stopów metali i ich ochroną przed tym procesem*, Inżynieria Materiałowa, 2(2001)79.
5. Steller K., *Nowa koncepcja oceny odporności materiału na erozję kawitacyjną*, Zeszyty Naukowe Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, Nr 175/1107/83, Gdańsk 1983.
6. PN-86/H-04427 *Erozja kawitacyjna. Badanie odporności materiałów metodą wibracyjną*.
7. Głowacka M., Hucińska J., *Ocena niszczenia kawitacyjnego materiałów metalowych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, Mechanika XL, Nr 332, 1981, s. 11-20.
8. Hucińska J., Podgórski A., Gawlik G., Jagielski J., *Badania erozji kawitacyjnej miedzi i brzoźów implantowanych jonami boru*, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, Mechanika L, Nr 391, 1986, s. 17-22.
9. Steller K., Krzysztofowicz T., *Ocena odporności tworzyw konstrukcyjnych na działanie kawitacji*, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, Mechanika L, Nr 391, 1986.
10. Worošnin Ł. G., Abačarajew M.M., Husid B.M.: *Kawitacyjno-stojkie pokrycia na żelazoglerodistych splawach*, Mińsk 1986.
11. Głowacka M., *Próba określenia kryteriów odporności na erozję kawitacyjną materiałów metalowych*, Politechnika Gdańska, Gdańsk 1977 (praca doktorska).
12. Hucińska J., *Erozja kawitacyjna w świetle struktury materiałów metalowych*, Politechnika Gdańska, Gdańsk 1977 (praca doktorska).

13. Fila J., Piaseczny L., *Dynamiczne oddziaływanie wody morskiej na ochronne i naprawcze kompozyty firmy Belzona*, II Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Rynia 1998.

Wpłynęło do redakcji w listopadzie 2002 r.

Recenzent

prof. dr hab. inż. Jerzy Nowacki

Adres Autora

mgr inż. Robert Jasionowski

Wyższa Szkoła Morska w Szczecinie

Wydział Inżynieryjno-Ekonomiczny Transportu

Instytut Inżynierii Transportu

70-507 Szczecin

ul. Henryka Pobożnego 11