

Maciej ZARZYCKI, Andrzej WILK

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych  
Politechnika Śląska, Gliwice

## **BADANIA DOŚWIADCZALNE DOTYCZĄCE MATERIAŁÓW KONSTRUKCYJNYCH W CELU OKREŚLENIA ICH ODPORNOŚCI NA DZIAŁANIE EROZYJNE CIECZY**

**Streszczenie.** W przypadku pomp do transportu cieczy mechanicznie zanieczyszczonych działających erozyjnie, podstawowym zagadnieniem jest trwałość. Zagadnienie to wiąże się z utrzymaniem dobrej sprawności, niezawodności działania i dyspozycyjności maszyn przez dłuższy okres eksploatacji, a więc jest związane ze zmniejszeniem kosztów eksploatacji. Dlatego w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych w Zakładzie Maszyn i Urządzeń Hydraulicznych Politechniki Śląskiej, równoległe z pracami projektowo-konstrukcyjnymi dotyczącymi nowych typów pomp od wielu lat są prowadzone również badania związane z określeniem odporności materiałów konstrukcyjnych na działanie erozji. W publikacji przedstawiono wyniki niektórych badań doświadczalnych ostatnich etapów zrealizowanych na próbkach różnych materiałów konstrukcyjnych.

## **EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS ON CONSTRUCTION MATERIALS AIMING AT THE DETERMINATION OF THEIR EROSION RESISTANCE IN THE PRESENCE OF LIQUIDS**

**Summary.** In the case of pumps transporting mechanically contaminated liquids causing erosion, the fundamental problem is their service life. This problem is connected with the preservation of their efficiency, reliability and workability for a long time, i.e. with the setting down of the costs of exploitation. Therefore, the Institute of Energy Machines and Installations at the Technical University of Silesia has been dealing for many years with investigations in order to determine the resistance of construction materials to erosion. These investigations have been carried out in the Section of Hydraulic Machines and Installations, simultaneously with the designing of new types of pumps.

The present paper presents the results of some selected experimental investigations in their last stages, realized on various modified construction materials.

## EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN VON KONSTRUKTIONSWERKSTOFFEN ZWECKS ERMITTLUNG DEREN EROSIONSBESTÄNDIGKEIT BEI EINWIRKUNG VON FLÜSSIGKEITEN

**Zusammenfassung.** Bei Pumpen zur Förderung mechanisch verunreinigter Flüssigkeiten, die erosiv wirken, ist die Standzeit der Pumpen von grösster Bedeutung. Dieses Problem steht im Zusammenhang mit der Beibehaltung einer hohen Leistungsfähigkeit der Pumpen, deren Zuverlässigkeit und Einsatzfähigkeit, d.h. also mit der Verminderung der Betriebskosten. Deshalb werden in der Versuchsanstalt für Hydraulische Maschinen und Einrichtungen des Instituts für Energetische Maschinen und Einrichtungen an der Technischen Universität in Gliwice seit Jahren Untersuchungen geführt zwecks Ermittlung der Erosionsbeständigkeit von Konstruktionswerkstoffen, simultan mit Arbeiten an Entwürfen neuer Typen von Pumpen. Der vorliegende Aufsatz zählt die Ergebnisse einiger experimenteller Untersuchungen der letzten Untersuchungsstadien verschiedener modifizierter Konstruktionswerkstoffe.

### 1. Wprowadzenie

Jednym z głównych zagadnień w budowie pomp do cieczy mechanicznie zanieczyszczonych działających erozyjnie oraz do transportu hydraulicznego ciał stałych stosowanych w różnych instalacjach i układach technologicznych jest obok sprawności przede wszystkim zagadnienie trwałości.

Dlatego w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych w Zakładzie Maszyn i Urządzeń Hydraulicznych Politechniki Śląskiej równolegle do badań teoretycznych i doświadczalnych (podstawowych i stosowanych) oraz projektowo-konstrukcyjnych ukierunkowanych na zwiększenie sprawności, zmniejszenie gabarytów i masy (ciężaru) pomp, są realizowane od wielu lat również badania nad doбором najwłaściwszych materiałów konstrukcyjnych zwiększających trwałość maszyn [1 do 5].

Zwiększenie trwałości pomp wiąże się z utrzymaniem dobrej sprawności, niezawodności działania i dyspozycyjności pomp przez dłuższy okres eksploatacji, a więc wiąże się ze zmniejszeniem energochłonności i kosztów eksploatacji. Badania doświadczalne odporności różnych materiałów na elementy

konstrukcyjne części hydraulicznych pomp są prowadzone w laboratorium oraz na maszynach znajdujących się w eksploatacji [6 do 11].

W publikacji przedstawiono wyniki ostatnich etapów badań doświadczalnych.

## 2. Metoda badań

Badania doświadczalne (porównawcze) materiałów konstrukcyjnych przeprowadzono w laboratorium w oryginalnym uniwersalnym urządzeniu badawczym do badań erozyjnych [8 do 12] na próbkach wykonanych z różnych materiałów. Zarówno stanowisko badawcze jak i kształt (geometria) próbek były doskonalone w wyniku zbieranych spostrzeżeń z realizacji badań [13 do 23].

Z każdego materiału i tworzywa konstrukcyjnego było badanych po 6 do 8 próbek. Aby zwiększyć działanie erozyjne cieczy, do wody dodawano piasek kwarcowy. Koncentracja objętościowa piasku w cieczy podczas badań wynosiła  $Y = 1 : 3$  bądź  $Y = 1 : 4$ .

W celu zabezpieczenia w czasie badań stałych własności cieczy oraz koncentracji piasku co dwie godziny wymieniano ciecz i piasek (ziarna piasku podczas badań ulegają zaokrągleniu, co wpływa na zmniejszenie działania erozyjnego mieszaniny).

Badane próbki ważono na wadze analitycznej z dokładnością do 0,0001 g przed rozpoczęciem badań oraz następnie w czasie eksperymentów co określony czas.

Ponieważ przy określaniu ubytków erozyjnych wewnętrznych elementów konstrukcyjnych pomp ważne są ubytki objętościowe, nie masowe, dlatego po zważeniu ubytki próbek przeliczano na zużycie objętościowe  $\Delta V$  i wyniki badań przedstawiono na wykresach zużycia erozyjnego w czasie  $\tau$ :  $\Delta V = f(\tau)$ . Wykresy w układach współrzędnych  $\tau - \Delta V$  uzyskano z punktów pomiarowych metodą najmniejszych kwadratów.

W celu weryfikacji badań materiałów na próbkach w wybranych przypadkach przeprowadzono również badania na wirnikach pomp do cieczy mechanicznie zanieczyszczonych działających erozyjnie, wykonanych z tych samych materiałów i tworzyw konstrukcyjnych.

## 3. Materiały konstrukcyjne stosowane w badaniach

Do badań porównawczych w ostatnich etapach badań wybrano materiały i tworzywa konstrukcyjne, które są dostępne w kraju, aby określić najbardziej odporne na działanie erozji.

Tablica 1

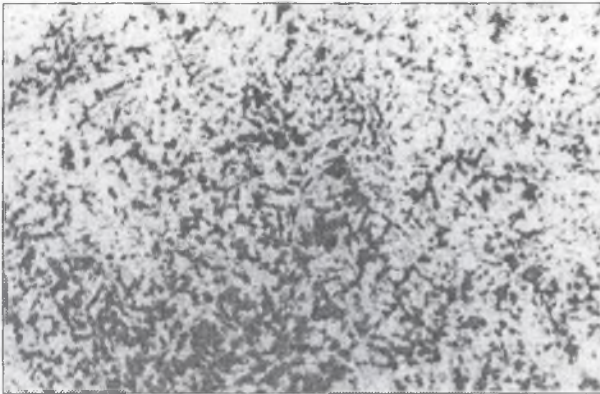
## Składy chemiczne oraz twardości materiałów metalicznych użytych do badań

Lp.	Materiał	Twardość	Skład								
			HB	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
<b>STALE</b>											
1	37HS	255	0,4	0,5	1,2	<0,035	<0,035	1,5	<0,8	–	<0,03
2	34HMN	241	0,35	0,5	0,27	<0,035	<0,035	1,5	1,5	0,2	<0,03
<b>STALIWA</b>											
3	LH18S2	321	1,5	–	0,23	0,023	0,002	18	–	–	–
<b>ŻELIWA</b>											
4	Zl250	175	3,26	0,4	1,96	0,13	0,048	–	–	–	–
5	ZlCu1.6	103	3,78	0,4	1,55	0,096	0,112	0,018	0,81	0,2	0,07
<b>STOPY MIEDZI</b>											
			Cu	Si	P	S	Zn	Fe	Mn	Al	–
6	CuSi3Zn3Mn	113	88,8	3,6	0,01	0,01	5,0	1,1	–	–	–
<b>STOPY ALUMINIUM</b>											
			Mn	Si	P	S	Mg	Cr	Cu	Zn	Fe
7	AlSi9	50	0,32	9,2	–	–	0,23	–	–	–	–

Tablica 2

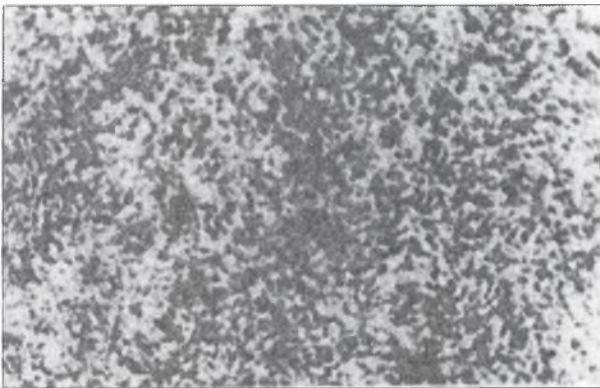
## Struktury materiałów metalicznych użytych do badań

Lp.	Materiał	Struktura
<b>STALE</b>		
1	37HS	Feryt, perlit
2	34HMN	Feryt, perlit
<b>STALIWA</b>		
3	LH18S2	Feryt, eutektyka węglkowa. Wtrącenia niemetaliczne
<b>ŻELIWA</b>		
4	Zl 250	Grafit o długości płatków odp. klasie 0,250–0,300 μm
5	ZlCu1.6	Perlit, feryt, grafit, eutektyka fosforowa, siarczki
<b>STOPY MIEDZI</b>		
6	CuSi3Zn3Mn	Roztwór stały alfa. Wtórne wydzielenia fazy kappa. Przechłodzona pierwotna faza kappa ze śladami przemiany kappa na alfa+gamma. Drobne wydzielenia fazy żelazawej
<b>STOPY ALUMINIUM</b>		
7	AlSi9	Eutektyka alfa + Si, dendryty roztworu stałego



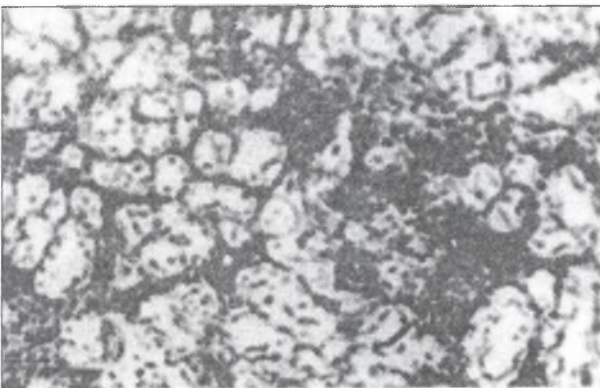
Rys. 1. Struktura materiału 37HS. Trawienie: nital, powiększenie 100×

Fig. 1. Material structure of 37HS. Etching: nital, 100× enlarged



Rys. 2. Struktura materiału 34HMN. Trawienie: nital, powiększenie 100×

Fig. 2. Material structure of 34HMN. Etching: nital, 100× enlarged



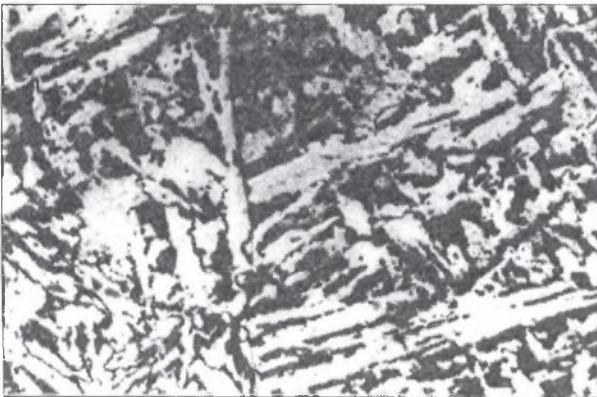
Rys. 3. Struktura materiału LH18S2. Trawienie: Mi15Fe, powiększenie 100×

Fig. 3. Material structure of LH18S2. Etching: Mi15Fe, 100× enlarged



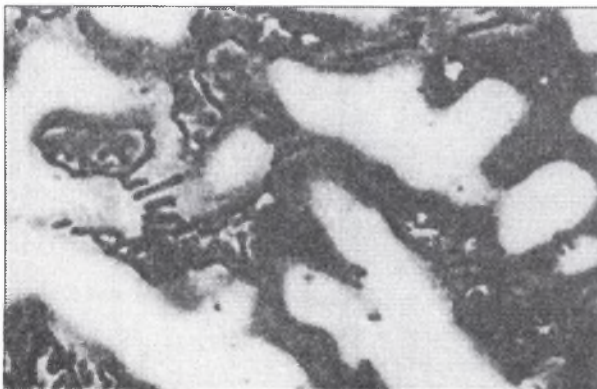
Rys. 4. Struktura materiału ZI250. Powiększenie 100×

Fig. 4. Material structure of ZI250. Enlarged 100×



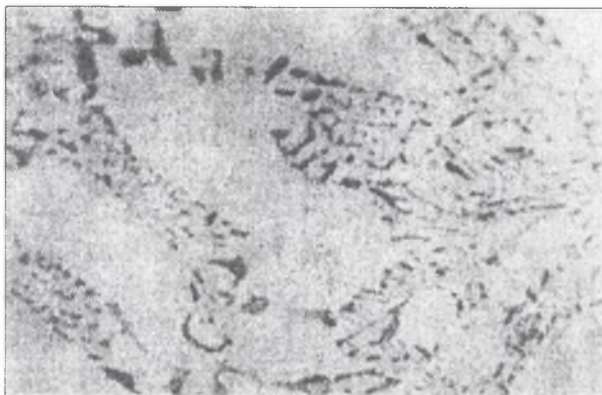
Rys. 5. Struktura materiału ZICu1.6. Trawienie: Mi1Fe, powiększenie 100×

Fig. 5. Material structure of ZICu1.6. Etching: Mi1Fe, 100× enlarged



Rys. 6. Struktura materiału CuSi3Zn3Mn. Zgład polerowany elektrolitycznie, nietrawiony, powiększenie 100×

Fig. 6. Material structure of CuSi3Zn3Mn. Electrolytically polished micro section, without etching. 100× enlarged



Rys. 7. Struktura materiału AlSi9. Polerowany, powiększenie 400×

Fig. 7. Material structure of AlSi9. Polished, 400× enlarged

Zużycie próbek z różnych materiałów i tworzyw porównywano ze zużyciem próbek wykonanych z żeliwa ZI250 oraz staliwa LH18S2.

Składy chemiczne oraz twardości badanych materiałów metalicznych podano w tabelicy 1, a struktury w tabelicy 2 oraz na rysunkach 1 do 7. Natomiast w tabelicy 3 podano zestawienie badanych tworzyw sztucznych.

**Tabelica 3**

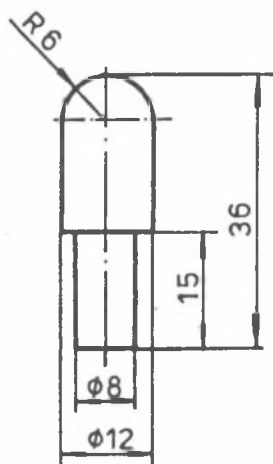
**Materiały niemetaliczne użyte do badań**

Lp.	Materiał	Oznaczenie	Twardość
1	Poliuretan	PC	ShA 53
2	Poliuretan	PU1	ShA 72
3	Poliuretan	PP	ShA 90
4	Poliuretan	PU2	ShA 92
5	Poliuretan	PZ	ShA 96
6	Polietylen	PE	ShA 73
7	Poliamid	PA6	115 R
8	FLEXANE FL60L	FL60L	ShA 60
9	FLEXANE FL60L	FL94L	ShA 94

#### 4. Sposób przeprowadzenia badań

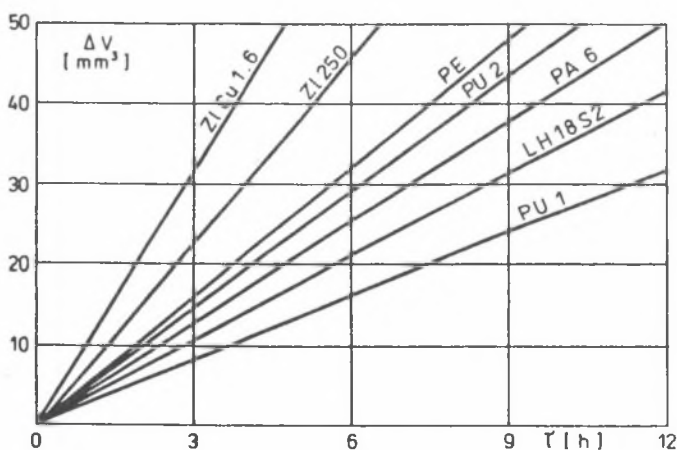
W pierwszej kolejności przeprowadzono badania porównawcze odporności wybranych materiałów metalowych z tworzywami poliuretanowymi. W tym przypadku do badań użyto próbek o kształcie pokazanym na rysunku 8. Prędkość obrotowa tarczy z badanymi próbkami wynosiła  $n = 1450 \text{ min}^{-1}$ . Natomiast koncentracja objętościowa piasku w cieczy  $Y = 1 : 3$ . Wyniki badań przedstawiono na rysunku 9.

W drugiej kolejności ostatniego etapu przeprowadzono badania z próbkami o kształcie podanym na rysunku 10. Prędkość obrotowa tarczy z badanymi próbkami wynosiła  $n = 1350 \text{ min}^{-1}$ , a koncentracja objętościowa piasku w cieczy wynosiła  $Y = 1 : 4$ . Wyniki badań przedstawiono na rysunku 11.



Rys. 8. Próбка użyta do badań poliuretanów w porównaniu z metalami

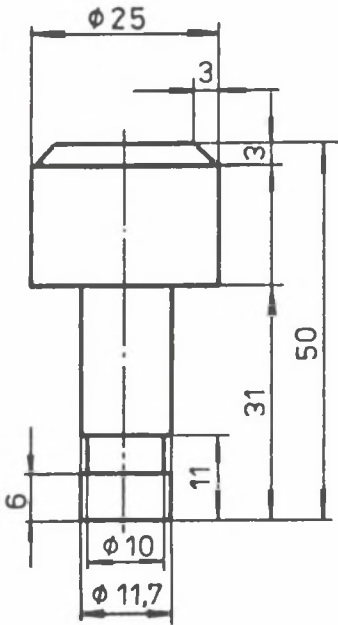
Fig. 8. Sample used in investigations of polyurethanes compared with metals



Rys. 9. Wykres objętościowego ubytku próbek z poliuretanów w porównaniu z metalami

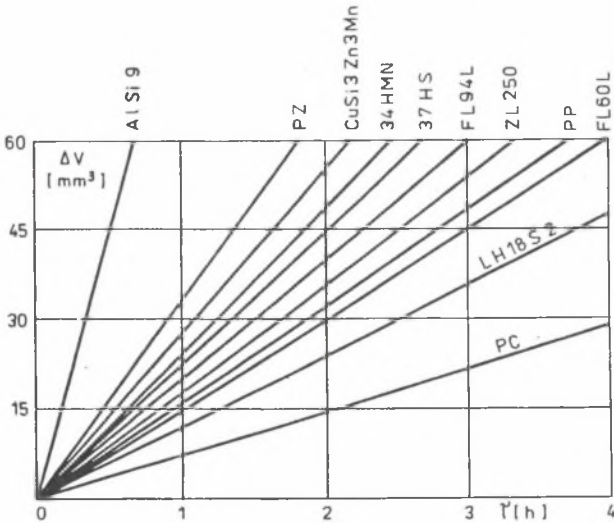
Fig. 9. Diagram of the volumetrical decrement of polyurethane samples in comparison with metals





Rys. 10. Próbką użytą do badań poliuretanów i tworzyw epoksydowych w porównaniu z metalami

Fig. 10. Sample used in investigations of polyurethanes and epoxy plastics compared with metals



Rys. 11. Wykres objętościowego ubytku próbek z poliuretanów i tworzyw epoksydowych w porównaniu z metalami

Fig. 11. Diagram of the volumetrical decrement of polyurethane and epoxy samples in comparison with metals

## 5. Uwagi końcowe

Na podstawie badań doświadczalnych i analiz zrealizowanych w ostatnich etapach stwierdza się:

- najbardziej odporne na działanie cieczy zawierającej cząstki ciała stałego działającej erozyjnie są następujące materiały metalowe: staliwo LH18S2 i żeliwo Zl250 oraz tworzywa sztuczne: poliuretany PC i PU1 oraz tworzywo kompozytowe na bazie epoksydów FLEXANE FL60L,
- do najmniej odpornych należą: spośród materiałów metalowych aluminium krzemowe AlSi9 oraz spośród tworzyw sztucznych poliuretan PZ.

Podczas wieloletnich badań zużycia erozyjnego materiałów konstrukcyjnych, których ostatnie etapy omówiono powyżej, opracowano metodę badań pozwalającą na porównywanie odporności erozyjnej różnych materiałów konstrukcyjnych. Wybrane materiały o wysokiej odporności erozyjnej są sukcesywnie wprowadzane jako tworzywa konstrukcyjne do budowy elementów przepływowych pomp transportujących ciecze mechanicznie zanieczyszczone działające ścierająco.

## Literatura

1. Zarzycki M.: Ścieralność erozyjna wirników pomp wirowych w zależności od stosowanego materiału. ZN Pol. Śl., seria Energetyka 7, Gliwice 1961.
2. Zarzycki M.: Influence of the pump material on service life of the impellers of rotodynamic pumps at transport of mechanically impure fluids. Materiały konferencyjne, Proceedings of the third conference on Fluid mechanics and fluid machinery, Akademiai Kiado, Budapest 1969.
3. Zarzycki M., Wilk A.: Experiments on erosion wear extrapolation of model results for real hydraulic machine elements, Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, z. 13, Poznań 1994 r. Konferencja krajowa z międzynarodowym udziałem „Metrologia w budowie i eksploatacji Maszyn.
4. Zarzycki M., Dębiec J., Jadwiszczok A., Wilk A.: Badanie tworzyw konstrukcyjnych w celu zwiększenia trwałości oraz zmniejszenia gabarytów pomp głównego odwadniania. Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej, NB – 44/RME2/89, Gliwice 1990.
5. Zarzycki M., Wilk A.: Badania doświadczalne materiałów konstrukcyjnych dla pomp do cieczy mechanicznie zanieczyszczonych ścierającymi materiałami, Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna: Problemy projektowania, wytwarzania i eksploatacji sprzętu górniczego i środków automatyzacji górnictwa, Gliwice 1993,
6. Zarzycki M.: Wyniki i badania pomp stosowanych w zakładach przeróbki węgla. ZN Pol. Śl., seria Górnictwo z. 148, Gliwice 1989.

7. Zarzycki M.: Zakład Maszyn i Urządzeń Hydraulicznych. Działalność naukowo-badawcza. Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej, Gliwice 1990.
8. Zarzycki M., Siwicki J.: Erozyjna odporność wybranych tworzyw konstrukcyjnych stosowanych w budowie pomp dla górnictwa. ZN Pol. Śl., seria Energetyka z. 52, Gliwice 1974.
9. Zarzycki M., Niemas L.: Wyniki badań odporności próbek z wybranych tworzyw konstrukcyjnych na niszczenie erozyjne w uniwersalnym urządzeniu badawczym. ZN Pol. Śl.: seria Energetyka z. 62, Gliwice 1977.
10. Zarzycki M., Jadwiszczok A., Wyniki badań nad odpornością erozyjną materiałów konstrukcyjnych dla pomp dla cieczy mechanicznie zanieczyszczonych. Materiały konferencyjne. VI Konferencja naukowo-techniczna „Technologia przepływowych maszyn wirnikowych”. Rzeszów 1988.
11. Zarzycki M., Jadwiszczok A.: Badanie odporności na zużycie mechaniczne próbek w ośrodkach wody o różnym stopniu zasolenia i zanieczyszczenia piaskiem. Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej, NB - 405/RME2/87, Gliwice 1988.
12. Zarzycki M., Jadwiszczok A.: Badania możliwości stosowania poliuretanu na wirniki pomp i części przepływowe dla cieczy mechanicznie zanieczyszczonych. Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej, BW - 976/RME2/91, Gliwice 1991.
13. Zarzycki M., Wilk A.: Metody badań i konstrukcje pomp wirowych. Zwiększenie trwałości pomp do transportu cieczy silnie mechanicznie zanieczyszczonych działających erozyjnie stosowanych przede wszystkim w górnictwie, energetyce (odpady paleniskowe), budownictwie i chemii. Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej, Bk - 371/RME2/91, Gliwice 1991.
14. Zarzycki M., Wilk A.: Nowe metody badań i konstrukcje pomp wirowych. Zwiększenie trwałości pomp do transportu cieczy silnie mechanicznie zanieczyszczonych działających erozyjnie. Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej, Bk - 525/RME2/92, Gliwice 1992.
15. Zarzycki M.: Nowe rozwiązania konstrukcyjne pomp wirowych dla cieczy mechanicznie zanieczyszczonych oraz wyniki badań pomp typu PH-100. ZN Pol. Śl., seria Górnictwo z. 64, Gliwice 1974.
16. Korczak A, Sokołowski J.: Badania odporności żeliw stopowych na erozję piaskową w pompie wirowej, Materiały konferencyjne, IV Konferencja naukowo-techniczna „Transport i sedymentacja”, Wrocław 1980.
17. Rokita J.: Kryteria oceny pomp do cieczy zanieczyszczonych oraz zawierających ciała stałe. Materiały konferencyjne, V Konferencja naukowo-techniczna „Technologia przepływowych maszyn wirnikowych”, Rzeszów 1983.

18. Korczak A.: Erozja piaskowa w pompach do hydrotransportu ciał stałych i badania odporności tworzyw konstrukcyjnych. ZN Pol. Śl., seria Energetyka z. 100, Materiały konferencyjne, konferencja naukowo-techniczna „Hydromechanizacja-5”, Gliwice 1987.
19. Zarzycki M., Wilk A.: Zwiększenie trwałości elementów maszyn hydraulicznych podlegających niszczeniu erozyjnemu przez zastosowanie tworzyw niemetalicznych, VII Konferencja naukowo-techniczna „Przepływowe maszyny wirnikowe”, Rzeszów 1993.
20. Zarzycki M., Wilk A.: Badania doświadczalne dotyczące zwiększenia trwałości pomp dla cieczy mechanicznie zanieczyszczonych działających erozyjnie, Zagadnienia Maszyn Przepływowych, Wydawnictwo Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk 1993.
21. Zarzycki M., Wilk A.: Investigations concerning the improvement of the durability of impeller pump elements exposed to the effects of erosion, Mechanika, tom 13 zeszyt 2, Wydawnictwo AGH w Krakowie, 1994. VII Konferencja Naukowa „Problemy w konstrukcji i eksploatacji maszyn hutniczych i ceramicznych”, Kraków 1994.
22. Zarzycki M., Wilk A.: Zwiększenie odporności pomp do transportu hydraulicznego ciał stałych na działanie erozyjne cieczy, Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna Transhydro'94, Wrocław 1994.
23. Zarzycki M., Wilk A.: Wpływ obróbki cieplnej w procesie wytwarzania na przedłużenie okresu międzyremontowego pomp do transportu hydraulicznego ciał stałych, Zeszyty Naukowe WSI w Opolu, nr 218, seria Elektryka, z. 43, Opole 1996, V Konferencja „Gospodarka Remontowa Energetyki”, Bielsko-Biała, 1996.

Recenzent: Dr hab. inż. Andrzej Witkowski Prof. Politechniki Śląskiej

Wpłynęło do Redakcji: 10. 10. 1996 r.

## Abstract

For many years the Section of Hydraulic Machines and Installations at the Institute of Energy Machines and Installations, Technical University of Silesia, has been dealing with theoretical and experimental investigations (fundamental and applied ones) concerning the improvement of the efficiency of newly designed and already existing pumps. As many of these pumps are assigned to transport mechanically contaminated liquids causing erosion, the problem of increasing the service life of the pumps and their workability has been dealt with, too.

If the service life of pumps is longer, not only the necessity of repairing them, and thus also additional costs, are reduced, but also the efficiency of the machines is preserved for a longer time.

In order to find the most adequate material for the construction elements of the fluid-flow part of the pump, respective experimental investigations (both in the laboratory and in situ) of various materials and plastics have been carried out with the purpose of determining which of them are to be used best.

The presented paper provides selected results concerning the last stages of investigations in search of the most adequate materials.