

ZESZYTY NAUKOWE
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

PRACE HABILITACYJNE

Nr 8

ENERGETYKA

Nr 7

P. 3349 | 61

GLIWICE 1961

Spis treści

1. Wstęp	3
2. Zjawiska wpływające na żywotność pomp	4
3. Metody określania ścieralności	7
4. Własna metoda badań oraz wprowadzone wskaźniki podatności na ścieralność erozyjną	10
5. Przebieg badań i obserwacji własnych w laboratorium	12
6. Zestawienie wyników obserwacji i badań	19
7. Omówienie wyników	23
8. Wskazania dotyczące dalszych badań	24
9. Wnioski	25
10. Bibliografia	26

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 40

MACIEJ ZARZYCKI

**ŚCIERALNOŚĆ EROZYJNA
WIRNIKÓW POMP WIROWYCH
W ZALEŻNOŚCI DD STOSOWANEGO MATERIAŁU**

PRACA HABILITACYJNA

Data otwarcia przewodu habilitacyjnego 24. II. 1961 r.

P. 3349 / 61

GLIWICE 1961

REDAKTOR ZESZYTÓW NAUKOWYCH
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Prof. dr inż. Andrzej Grossman

Oddano do wyk. 29. V. 1961 r.

N-12

Nakład 300+30 egz.

Arkuszy druku 4 $\frac{1}{2}$

Pap. powielacz. kl. V 61×86,70 g.

Zamówienie nr 757

Zakład Produkcji Pomocy Naukowych Politechniki Śląskiej w Gliwicach

MACIEJ ZARZYCKI

Katedra Pomp i Silników Wodnych

ŚCIERALNOŚĆ EROZYJNA WIRNIKÓW POMP WIROWYCH
W ZALEŻNOŚCI OD STOSOWANEGO MATERIAŁU

1. Wstęp

Jednym z głównych zadań stojących przed przemysłem maszyn górniczych jest stała poprawa jakości i własności ruchowych produkowanych maszyn, zwiększenie ich trwałości oraz zmniejszenie kosztów wytwarzania, przy wykorzystaniu będących do dyspozycji materiałów.

Jako zagadnienie szczególnie ważne dla górnictwa, został wysunięty przez Ministerstwo Górnictwa i Energetyki problem zwiększenia żywotności pomp. O znaczeniu i ważności pomp jako maszyn stosowanych w kopalniach, między innymi może świadczyć fakt, że w kopalniach węgla w Polskim Przemśle Węglowym przypada na jedną tonę urobku średnio około 3,25 m³ wody, którą trzeba wypompować na powierzchnię*) [1]. Polepszenie jakości pomp i zwiększenie ich pewności ruchu, ma więc niezmiernie duże znaczenie dla gospodarki narodowej, pozwala bowiem na zaoszczędzenie materiałów, zmniejszenie nakładów finansowych na remonty, na czas postojów pomp oraz kosztów eksploatacji przez utrzymanie dobrej sprawności maszyn przez dłuższy okres.

Należy podkreślić, że obecnie w kraju w budowie pomp przeznaczonych do transportu wody mechanicznie zanieczyszczonej, jakość rozwiązań konstrukcyjnych jest lepsza niż jakość wykonawstwa i jakość stosowanych materiałów. Pompy będące w produkcji seryjnej, które w badaniach odbiorczych mają właściwą charakterystykę i dobrą sprawność, po krótkim czasie ruchu w kopalniach, tracą pierwotną wydajność, wysokość podnoszenia i sprawność. Jest to wywołane głównie przez szybkie niszczenie części wewnętrz-

*) bez uwzględnienia wody podszadkowej

nych pompy oraz powiększanie się luzów pomiędzy poszczególnymi częściami, jak na przykład: pomiędzy szypkami wirników a pierścieniami uszczelniającymi, pomiędzy tulejami ochronnymi wału a tulejami w kadłubach pomp itp.

Ponieważ spośród wewnętrznych części pomp wirowych najszybszemu zniszczeniu na skutek ścieralności erozyjnej ulegają wirniki, przeto w pracy niniejszej zajęto się głównie badaniem wirników wykonanych z różnych materiałów. Należy jednak podkreślić, że wyniki obserwacji dotyczące ścieralności wirników mogą być również wykorzystane przy doborze materiałów na inne lane części wewnętrzne pomp.

2. Zjawiska wpływające na żywotność pomp

Na żywotność części wewnętrznych pomp wpływają przede wszystkim trzy zjawiska:

- a) kawitacja,
- b) korozja,
- c) erozja.

2.1. Kawitacja

Spadek ciśnienia cieczy w jakimkolwiek miejscu wewnątrz pompy wirowej poniżej ciśnienia pary nasyconej przy danej temperaturze, powoduje wydzielanie się drobnych pęcherzyków pary tej cieczy oraz gazów w niej rozpuszczonych [2], [3], [4], [5], [6], [7].

Pęcherzyki pary są porywane przez przepływającą ciecz i przenoszone do obszaru o wyższym ciśnieniu, gdzie skraplają się. Skraplanie to odbywa się w czasie $\tau = 0,003$ sec i towarzyszy mu nagły wzrost ciśnienia mający charakter uderzenia hydraulicznego. Uderzenia te następują szybko po sobie. Pęcherzyki pary ulegają zgnieceniu zarówno na powierzchni elementów wewnętrznych pompy, jak też w miejscach wgłębień (np. pęknięć, rys itp.), wywołując uszkodzenia. Przy silniejszym natężeniu kawitacji, zostają wywołane drgania, które mogą przenosić się na całą pompę a nawet na przewody rurowe i na fundament pompy.

Na powstanie kawitacji mogą wpływać błędy konstrukcyjne, niewłaściwe wykonanie oraz nieodpowiednia instalacja i obsługa.

Do ciekawych badań nad zachowaniem się różnych materiałów poddanych działaniu kawitacji należą eksperymenty przeprowadzone przez S. Kerr'a [8] i H. Schröter'a [9].

2.2. Korozja

Drugim zjawiskiem wywołującym niszczenie metalowych części wewnętrznych pomp jest korozja [10]. Korozja jest to zjawisko polegające na niszczeniu metali lub ich stopów pod wpływem chemicznego lub elektrochemicznego działania ośrodka.

Korozja chemiczna jest spowodowana działaniem na metal suchych gazów lub cieczy niezdolnych do przewodzenia elektryczności.

Korozja elektrochemiczna jest wywołana powstawaniem miejscowych ogniw elektrochemicznych w obecności elektrolitu. Miejsca o potencjale niższym stanowią anody ogniw, miejsca o potencjale wyższym są katodami. Proces korozji elektrochemicznej składa się z dwóch zjawisk wzajemnie od siebie zależnych a mianowicie:

- a) procesu anodowego, polegającego na przejściu jonów metalu z anody do roztworu (elektrolitu),
- b) procesu katodowego, polegającego na neutralizacji nadmiaru elektronów pozostałych w metalu.

Szybkość korozji zależy od wielu czynników między innymi od rodzaju metalu i jego struktury oraz od gładkości powierzchni. Obserwacje wykazały, że części maszynowe o powierzchniach szlifowanych korodują słabiej niż te same części o powierzchniach o mniejszych gładkościach.

Na postęp korozji mają również wpływ czynniki mechaniczne, jak naprężenia wewnętrzne oraz odkształcenia sprężyste i pastyczne materiału. Wzrost temperatury na ogół przyspiesza korozję. Czas ma wpływ na szybkość korozji. Początkowa szybkość korozji jest większa, a następnie stopniowo maleje. Ciśnienie w ośrodku korozyjnym wywiera również wpływ na szybkość korozji.

Jak wynika z uprzednio przytoczonych uwag, konstrukcja pompy oraz jej wykonawstwo, materiały i obsługa mają duży wpływ na powstawanie, bądź zapobieżenie lub zmniejszenie działania korozji. Niektóre metody pomiaru korozji są ujęte normami państwowymi [11], [12], [13].

2.3. Erozja

Erozja jest to ścieranie części wewnętrznych urządzeń transportujących ciecz mechanicznie zanieczyszczone spowodowane przez przepływające medium [10], [14], Erozja zmniejsza wybitnie żywotność pomp pompujących ciecz mechanicznie zanieczyszczone. Zniszczenia wywołane erozją są szczególnie dotkliwe w pompach stosowanych w górnictwie i są tym większe, im zawartość piasku kwarcowego w pompowanej wodzie kopalnianej jest większa. Szczególnie niekorzystnie wpływa erozja także na trwałość powłok ochronnych, stosowanych do zabezpieczenia wewnętrznych części pomp.

Erozja w zależności od rodzaju ośrodka może być wywołana: uderzeniem kropłowym, bądź tak zwaną erozją piaskową.

Uderzenia kropłowe (uderzenia strumienia cieczy) powodują mechaniczne niszczenie powierzchni części pompy. Wywołują one znaczne naprężenia miejscowe, tym większe im prędkości są większe. Zniszczenia te mają charakter podobny, jak w przypadku kawitacji.

Dla określenia stopnia zużycia na skutek ścieralności erozyjnej wywołanej uderzeniem kropłowym, przeprowadza się badania laboratoryjne na próbkach materiałów. Próbkę mocuje się w specjalnych urządzeniach na obwodzie obracającej się tarczy, na którą działa strumień wody. Ten sposób badań ma charakter orientacyjny, daje on jednak pewien pogląd na stopień odporności materiałów na erozję spowodowaną uderzeniem kropłowym. Metoda ta może służyć również do orientacyjnego określenia odporności badanych materiałów na kawitację.

Erozja piaskowa w pompach występuje przy transporcie medium składającego się z fazy ciekłej i stałej. Zależy ona od stopnia zanieczyszczenia pompowanej wody ciałami stałymi, od rozmiarów i własności cząstek ciał stałych, kierunku i prędkości przepływu, a także własności chemicznych wody. Jeżeli w strumieniu transportowanej wody ilość cząstek ciała stałego wzrasta to proces ścieralności erozyjnej staje się intensywniejszy. Wielkość cząstek fazy stałej i ich twardość są najważniejszymi czynnikami wpływającymi na erozję. Badania Ł. Szrejnera, O. Petrowej i W. Jakuszewa [15] potwierdziły, że ścieralność erozyjna materiałów zwiększa się gdy cząstki ciała stałego przenoszonego przez płyn są twardsze. Zmiany kierunku strumienia transportowanej cieczy oraz prędko-

ści przepływu również wpływają na erozję. Ścieralność erozyjna jest tym większa im zmiany kierunku przepływu zachodzą pod ostrzejszymi kątami oraz im większe są prędkości przepływu płynu. Doświadczenia przeprowadzone przez W. Łomakina i W. Sawczenkę wykazały, że wraz z zwiększeniem stopnia aktywności chemicznej fazy ciekłej, erozja materiałów szybko rośnie. Nieznaczące już zakwaszenie cieczy przyspiesza proces ścieralności erozyjnej [16].

Dotychczas przeprowadzone badania w CSRS, WRL, NRD, Austrii i Francji nad erozją w pompach miały charakter raczej sporadyczny i były wykonywane albo na pompach będących w normalnej eksploatacji albo na urządzeniach laboratoryjnych.

W pompach zjawiska kawitacji, korozji i erozji występują najczęściej razem. Praktycznie jednak, zależnie od warunków pracy pompy, jako główny czynnik występuje jedno z wyżej wymienionych zjawisk. Ponieważ w pompach stosowanych w górnictwie węglowym głównym czynnikiem wpływającym na niszczenie części wewnętrznych pomp jest przede wszystkim erozja, w pracy zajęto się określeniem odporności materiałów na ścieralność erozyjną.

Ostatnio w ZSRR, USA, Szwajcarii oraz w NRF zapoczątkowano pierwsze prace nad ustaleniem metod badań dla oceny odporności materiałów na ścieralność erozyjną.

3. Metody określania ścieralności

3.1. Stosowane dotychczas metody badań ścieralności

Na podstawie dotychczas opublikowanych prac dotyczących badań ścieralności materiałów można stwierdzić, że w badaniach tych są stosowane następujące metody:

- 1) badania materiału części maszynowej podczas ruchu maszyny w normalnych warunkach eksploatacyjnych,
- 2) badania materiału części maszynowej podczas ruchu maszyny w warunkach zbliżonych do normalnej eksploatacji,
- 3) badania materiału na próbkach w maszynach laboratoryjnych, przy stworzeniu warunków podobnych do normalnej pracy odpowiedniej części maszyny,
- 4) badania materiału na próbkach w maszynach laboratoryjnych nie stwarzających warunków zbliżonych do normalnej pracy części maszynowej.

Należy podkreślić, że na podstawie własności materiału oraz znajomości zewnętrznych warunków, nie zawsze można przewidzieć jak będzie zachowywać się materiał poddany ścieraniu.

Zasadnicze dane dla ustalenia praktycznych wniosków dla określonej instalacji daje doświadczenie eksploatacyjne, czyli badanie przeprowadzone według metody pierwszej. Tego rodzaju badania przeprowadzone w przeciwnych warunkach eksploatacyjnych maszyny, zezwalają na uwzględnienie rzeczywistych warunków pracy i obsługi, które trudno jest ustalić, stosując inne metody badań. Metoda ta ma jednak i wady.

Przeprowadzenie badań na maszynach będących w normalnym ruchu napotyka często na duże trudności. Polegają one na niemożności wyłączenia danej maszyny z eksploatacji przy zabudowaniu i wybudowywaniu badanych części. Ponadto wyniki badań przeprowadzone podług metody pierwszej nie są porównywalne, gdyż w warunkach ruchowych najczęściej nie można jednocześnie określić wszystkich czynników wpływających na wyniki doświadczenia. Dlatego częściej przy badaniach ścieralności stosuje się eksperymenty podług metody: drugiej i trzeciej. Najczęściej znajduje zastosowanie metoda trzecia.

Większość opracowywanych dotychczas maszyn i urządzeń laboratoryjnych do badania ścieralności nadaje się do badań nad ścieralnością współpracujących ze sobą części maszynowych, jednak nie nadaje się do badań nad ścieralnością erozyjną [17]. Wyjątek stanowi aparat Stauffer'a i maszyny o konstrukcji zbliżonej do tego urządzenia [18], [19].

Aparat laboratoryjny Stauffer'a składa się z tarczy do której prostopadle na obwodzie przymocowane są badane próbki o średnicy 10 mm i długości 50 mm. Tarcza wraz z próbkami w czasie doświadczenia jest zanurzona w naczyniu z wodą zawierającą 60 do 70% cząstek ciał stałych. Tarcza wraz z próbkami obraca się z prędkością obwodową 5,83 m/sec. Miernikiem odporności materiałów na ścieranie erozyjne jest obliczeniowy stosunek ubytku masy próbki badanej i wzorcowej. Jako próbkę wzorcową stosowano próbkę wykonaną ze stali o zawartości 0,6% C i twardości 180 kg/mm².

Do badań ścieralności erozyjnej materiałów skonstruowano również urządzenie składające się z tarczy do obrotu której promieniowo przymocowuje się badane próbki

o wymiarach 75x25x9 mm [20]. Tarcza wraz z próbkami zanurzona jest w naczyniu z cieczą i posiada 300 obrotów na minutę. Ubytek określa się w gramach na metr kwadratowy i 24 godziny.

3.2. Dotychczas stosowane wskaźniki podatności na ścieranie

Ścieralnością nazywamy podatność powierzchni materiału na zużywanie się wskutek tarcia [21].

Znane są następujące sposoby określania wskaźników ścieralności materiałów:

1. Wyznaczenie zmian liniowych wymiarów badanej próbki w kierunku normalnym do powierzchni. Jeżeli liniowe zużycie Δl zachodzi w czasie $\Delta \tau$ to stosunek $\frac{\Delta l}{\Delta \tau}$ zwany "intensywnością liniowego zużycia" może być uważany za wskaźnik podatności na ścieranie.
2. Pomiar wymiarów rowka "wytartego" w określonym czasie w badanej próbce.
3. Określenie ubytku masy bądź objętości badanej próbki lub części maszynowej. Masa usuniętego na skutek ścierania materiału w określonym czasie, bądź po określonej liczbie obrotów np. przez tarczę lub sworzeń, może być także uznana za wskaźnik ścieralności, co może być wyzyskane dla porównania różnych materiałów pod względem ich odporności na ścieranie.

Dwa pierwsze z wymienionych sposobów nadają się do określenia podatności na ścieranie przy wzajemnym przesuwanie się dwu stykających się części maszynowych. Sposób trzeci może być zastosowany także do określenia ścieralności erozyjnej. Nadaje się on jednak głównie do czwartej metody badań, która najmniej dokładnie odwzorowuje faktyczne warunki eksploatacyjne. Dlatego w pracy niniejszej nie zastosowano żadnej z opisanych wyżej metod określania wskaźnika podatności na ścieranie.

4. Własna metoda badań oraz wprowadzone wskaźniki podatności na ścieralność erozyjną

Ścieralność erozyjna zależy od wielu czynników, które podano w rozdziale 2.3. Ponieważ dotychczas nie istnieje żadna znormalizowana metoda badań, zdecydowano ustalić własną metodę. Metoda ta polega na przeprowadzeniu badań na urządzeniach laboratoryjnych, przy zastosowaniu pomp seryjnie produkowanych w warunkach bardzo zbliżonych do normalnej eksploatacji. Do badań przyjęto 4 ustalone typy wirników. Dla wszystkich materiałów przyjęto jednakowe i ustalone warunki badań: ustalony rodzaj cząstek ciała stałego zawieszzonego w wodzie, ustaloną koncentrację i ustalony czas badań. (Przyjęcie znormalizowanego czasu badań stało się zresztą możliwe dopiero po badaniach próbnym). Przyjętą metodę badań opisano dokładniej w dalszym ciągu pracy. Wyniki uzyskane w badaniach potwierdziły właściwy dobór założeń. W związku z tym można zaproponować, by przyjętą przez autora metodę badań uznać za znormalizowaną.

Dla określenia podatności badanych materiałów na ścieralność erozyjną, zastosowano dwa wskaźniki, wskaźnik masowy ścieralności erozyjnej K_{l8} i wskaźnik objętościowy ścieralności erozyjnej L_{l8} (obydwa wskaźniki odnoszą się do 8 godzin doświadczeń, co zaznaczono za pomocą indeksu "8". Indeks "l" odróżnia wskaźniki wyznaczone laboratoryjnie od wskaźników wyznaczonych w warunkach eksploatacyjnych).

Wskaźnik masowy ścieralności erozyjnej K_{l8} określa stosunek G_u ubytku masy wirnika wykonanego z badanego materiału do ubytku masy G_{uw} wirnika wzorcowego wykonanego z żeliwa Ż1 26

$$K_{l8} = \frac{G_u}{G_{uw}} \quad (1)$$

Średni masowy wskaźnik ścieralności erozyjnej K_{l8s} określa średnią ścieralność wszystkich typów wirników zastosowanych w badaniach i jest średnią arytmetyczną wskaźników K_{l8L} , K_{l8K} , K_{l8S-L} i K_{l8S-K} wyznaczonych

dla wirników: łopatkowego, dwukanałowego, śmigłowego o średnicy $D_z = 134$ mm i śmigłowego o średnicy $D_z = 115$ mm

$$K_{18s} = \frac{K_{18L} + K_{18K} + K_{18S=L} + K_{18S=K}}{4} \quad (2)$$

Wskaźnik masowy ścieralności erozyjnej jest zdefiniowany podobnie jak wskaźnik odporności na ścieranie wprowadzony przez Stauffera [18]. Wskaźnik masowy nie wystarcza jednak dla określenia podatności materiałów na ścieralność erozyjną*). O stopniu zniszczenia wirnika decyduje bowiem nie ubytek masy lecz ubytek objętości. Działanie wirnika zależy od jego kształtu, ubytek objętości jest więc parametrem decydującym o stopniu pogorszenia parametrów pracy pompy**). Dlatego oprócz masowego wskaźnika ścieralności erozyjnej, wprowadzono objętościowy wskaźnik ścieralności erozyjnej.

Wskaźnik objętościowy ścieralności erozyjnej L_{18} jest to stosunek ubytku objętości V_u wirnika wykonanego z badanego materiału do ubytku objętości V_{uw} wirnika wzorcowego wykonanego z żeliwa Ż1 26:

$$L_{18} = \frac{V_u}{V_{uw}} \quad (3)$$

Wskaźnik objętościowy ścieralności erozyjnej można obliczyć znając wskaźnik masowy oraz gęstości materiałów

$$L_{18s} = \frac{G_u}{\gamma_u} \cdot \frac{\gamma_w}{G_{uw}} = K_{18s} \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_u} \quad (4)$$

*) Autor składa podziękowanie doc. mgr inż. M. Arkusze-wskiemu za zwrócenie uwagi na niedostatki masowego wskaźnika ścieralności.

***) Przynotowana krytyka masowego wskaźnika ścieralności pozostaje oczywiście słuszna także przy rozpatrywaniu ścieralności kawitacyjnej. Sposób ustalania kolejno-ści materiałów przyjęty przez Schrötera [9] pod wzglę-dem odporności na kawitację nie jest więc poprawny i powinien być odpowiednio skorygowany.

gdzie:

$\gamma_u \text{ g/cm}^3$ - gęstość materiału z którego wykonany jest wirnik badany,

$\gamma_w \text{ g/cm}^3$ - gęstość materiału z którego jest wykonany wirnik wzorcowy z żeliwa Ż1 26.

5. Przebieg badań i obserwacji własnych w laboratorium

Orientacyjne badania poprzedzające doświadczenia laboratoryjne przeprowadzono na pompach transportujących wodę zanieczyszczoną piaskiem, znajdujących się w normalnym ruchu w kopalniach. Badania wykazały, że żywotność wirników jest niewystarczająca. Doświadczenia w kopalniach przeprowadzono z wodą o odczynie pH bliskim obojętnemu (6,5 do 8,5), przeto można było pominąć wpływ korozji na materiał badanych wirników. Starano się również przez odpowiednią obsługę pomp nie dopuścić do powstania kawitacji. Dla pogłębienia rozeznania przeprowadzono badania laboratoryjne. Doświadczenia miały na celu ustalenie, jakie części pomp, a zwłaszcza wirników, wykonanych z różnych materiałów ulegają głównie zniszczeniu.

5.1. Instalacja badawcza

W roku 1957 po uzyskaniu z Resortu Górnictwa i Energetyki oraz ze Szkolnictwa Wyższego subwencji i zapewnieniu pomocy w nabyciu maszyn i urządzeń, przystąpiono do zaprojektowania i budowy stanowisk badawczych w laboratorium oraz przygotowania badań nad ścieralnością erozyjną (żywotnością) części wewnętrznych pomp. Opracowano projekt instalacji badawczej oraz ułożono plan badań, wymaganych eksperymentów i obserwacji, które należałoby wykonać, aby w sposób prawidłowy określać i dobierać materiały na części wewnętrzne pomp, stosowane do transportu cieczy mechanicznie zanieczyszczonych.

Badania obejmowały:

- a) określenie ubytków masy i objętości wirników pomp wirowych odśrodkowych (łopatkowych i kanałowych) oraz wirników pomp śmigłowych. Eksperymenty były przeprowadzane w określonym czasie i przy ustalonej objętościowej koncentracji piasku w wodzie;

- b) obserwacje jakie części pomp, a w szczególności wirników ulegają głównie uszkodzeniu bądź zużyciu.

Maszyny, urządzenia, przyrządy pomiarowe oraz wirniki przeznaczone do badań, wykonane z różnych materiałów, otrzymano z szeregu zakładów podległych Ministerstwu Górnictwa i Energetyki, Ministerstwu Przemysłu Maszynowego oraz Ministerstwu Szkolnictwa Wyższego. Zabrzeńska Fabryka Maszyn Górniczych w Zabrzu dostarczyła pompy wirowe typu EW 50 wraz z silnikami typu SOJV-a-32b produkcji Południowych Zakładów Wytwórczych Silników Elektrycznych w Tarnowie - razem z kablami oponowymi i gumowymi przewodami rurowymi. Zakłady Naprawcze Maszyn Elektrycznych w Dąbrowie Górniczej dostarczyły specjalnie wykonane do badań transformator o przekładni 380/220/127 V o mocy 15 kVA. Zakłady Konstrukcyjno-Mechanizacyjne Przemysłu Węglowego w Gliwicach wykonały w hali prototypów podstawy do pomp oraz zbiorniki i specjalne wkłady do zbiorników o nachylonych ścianach bocznych.

Części instalacji elektrycznej, jak tablice rozdzielcze, wyłączniki do silników elektrycznych oraz przewody, dostarczyła Politechnika Śląska - Dział Głównego Mechanika.

Wirniki potrzebne do badań wykonane z różnych metali, dostarczyły: Zakład Odlewnictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach, Zakład Odlewnictwa Politechniki Wrocławskiej we Wrocławiu, Zakład Odlewnictwa Politechniki Szczecińskiej w Szczecinie, Instytut Odlewnictwa w Krakowie, Huta Warszawa w Warszawie, Fabryka Samochodów Ciężarowych w Lublinie, Zabrzeńska Fabryka Maszyn Górniczych w Zabrzu, Fabryka Maszyn i Sprzętu Wiertniczego w Glinniku Mariampolskim, Huta Małapanew w Ozimku oraz Gliwickie Zakłady Urządzeń Technicznych w Gliwicach. Wirniki wykonane z tworzyw sztucznych dostarczył Instytut Odlewnictwa w Krakowie i Gliwickie Zakłady Tworzyw Sztucznych w Gliwicach. Wirniki z porcelany zostały wykonane przez Fabrykę Porcelany w Boguchwale koło Rzeszowa, a wirniki z bazaltu przez Zakład Topienia Bazaltu w Starachowicach. Ogumowanie wirników przeprowadziły Zakłady Chemiczne Oświęcim w Oświęcimiu. Pokrycie wirników powłoką stilonową zostało przeprowadzone przez pracownika ZBMG w Bytomiu. Surowiec stilonowy został dostarczony przez Gorzowskie Zakłady Włókien Sztucznych w Gorzowie Wielkopolskim.

W celu przyspieszenia badań i zapewnienia możliwości równoległego prowadzenia eksperymentów z kilku wirnikami wykonanymi z tego samego materiału lub różnych materiałów, przewidziano cztery stanowiska badawcze z czterema pompami.

Instalacja badawcza do badań nad określeniem ścieralności (żywności) poszczególnych materiałów na wirniki pomp, została zlokalizowana w laboratorium Katedry Pomp i Silników Wodnych oraz w Laboratorium Pomiarów Maszyn na terenie Wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechniki Śląskiej. Montażu instalacji badawczej dokonali pracownicy Zakładów Konstrukcyjno-Mechanizacyjnych Przemysłu Węglowego i Politechniki Śląskiej.

Instalacja badawcza przedstawiona jest na rysunku (rys.1), który jest rysunkiem złożeniowym projektu. Fragment laboratorium pokazano na rysunkach 2 i 3.

W pobliżu stanowisk badawczych przewidziano pomocniczy warsztat do montowania i wymontowywania wirników pomp oraz stół na którym ustawiano wagi do ważenia wirników.

Przed uruchomieniem instalacji badawczej i w czasie trwania badań, usuwano zauważone usterki oraz dokonano szeregu poprawek. W początkowej fazie badań stwierdzono, że w narożach zbiorników część piasku ma tendencję do osadzania się. Aby temu zapobiec, zdecydowano się na wykonanie wkładek do zbiorników o ukośnych ścianach bocznych, uniemożliwiających osadzanie się piasku (rys.3).

W czasie trwania prób, trzykrotnie wymieniano silniki, gdyż dwa z nich uległy zawilgoceniu, a jeden został zniszczony na skutek uszkodzenia uzwojenia wirnika. Aby zabezpieczyć silniki przed zalewaniem wodą z piaskiem, nad silnikami umieszczono blachy, które skierowywały strumień wody z piaskiem w bok, chroniąc w ten sposób silniki (rys.3). W okresie trwania eksperymentów, wymieniano kadłuby pomp, które uległy zniszczeniu na skutek erozji oraz wykonywano nowe wałki i tuleje ochronne.

5.2. Maszyny, urządzenia, przyrządy i aparatura

5.2.1. Pompa typu EW 50

W okresie przeprowadzania eksperymentów posługiwano się pompami konstrukcji ZKMPW. W laboratorium przeprowadzono badania stosując pompy typu EW 50. Optymalne parametry pracy pomp EW 50 w odniesieniu do wody o cię-

Tablica 1

Optymalne parametry pracy pompy EW 50

Rodzaj wirnika	Wydajność Q^* m^3/min	Wysokość podnoszenia H m	Częstość obrotów n^* $1/min$
Łopatkowy	0,200	10	2850
Kanałowy	0,220	11	2850
Śmigłowy			
$D_z = 134 \text{ mm}$	0,180	2,19	2850
$D_z = 115 \text{ mm}$	0,160	1,6	2850

zarze właściwym $\gamma = 1 \text{ kg/dcm}^3$ i temperaturze $t = 15^\circ\text{C}$ podano w tablicy 1.

Pompa EW 50 (rys.4) jest przenośną pompą wirową jednostopniową w układzie pionowym. W okresie badań w pompach tych zabudowywano kolejno wirniki jednostrumieniowe łopatkowe i dwukanałowe oraz dwułopatkowe wirniki śmigłowe o uproszczonym kształcie łopatek (rys.5, 6, 7 i 8).

Dla umożliwienia zabudowania wyżej podanych wirników, w kadłubie pompy zastosowano odpowiednie wkładki. Wirniki łopatkowe i kanałowe dla zmniejszenia nacisków osiowych, posiadały otwory odciążające.

Pompy mają spiralny kadłub, który przechodzi w króciec tłoczony wyprowadzony pionowo do góry. Kadłub pompy umocowany jest bezpośrednio do kołnierza silnika elektrycznego. Na króćcu tłocznym umieszczono końcówkę do podłączenia elastycznego rurowego przewodu gumowego. Kosz ssawny znajduje się bezpośrednio pod wirnikiem. Wirnik pompy osadzony jest na końcówce wału silnika elektrycznego. Wał silnika w miejscu wejścia do kadłuba pompy, uszczelniony jest w dławnicy miękkim szczeliwem sznurowym. Do napędu pompy przewidziano trójfazowy silnik elektryczny, kołnierzowy typu SOJV-32b przystosowany do pracy w położeniu pionowym. Do skrzynki zaciskowej silnika napędowego umocowana jest elektroda sterownicza, która za pośrednictwem wyłącznika samoczynnego, włącza lub wyłącza silnik w zależności od poziomu cieczy pompowanej. Pompa wraz z silnikiem i elektrodą sterowniczą stanowią jeden zespół. Wyłącznik samoczynny jest oddzielnym zespołem, który połączony jest z zespołem pompowym kablem oponowym. W okresie trwania eksperymentów samoczynne wyłączenie silnika nie było stosowane, gdyż nie zachodziła potrzeba automatyzacji ruchu pompy.

5.2.2. Wyposażenie elektryczne

Do wyposażenia elektrycznego stanowiska badawczego należały:

- a) cztery kołnierzowe silniki elektryczne typu SOJV-a-32b,
- b) transformator trójfazowy, suchy, budowy zamkniętej o przekładni 380/220/127V,
- c) tablica rozdzielcza zespołów pompowych z aparaturą łączeniową i zabezpieczającą,

- d) odłącznik nożowy o napędzie ręcznym, trójbiegunowy okapturzony, typu Wr-100.

4.2.3. Aparatura pomiarowa

Przy wyznaczaniu masy wirników^w oraz ubytków masy, posługiwano się wagami krajowej produkcji oraz odważnikami technicznymi i analitycznymi.

Gęstość materiału wirników pomp wyznaczano przez pomiar masy i objętości kilku próbek każdego materiału. Objętość próbek wyznaczano za pomocą wycechowanej mienzury, zanurzając próbkę w wodzie.

Koncentrację objętościową piasku w wodzie wyznaczono za pomocą wycechowanej menzurki. Próbkę pobierano ze zbiorników w czasie pracy pomp.

5.3. Sposób przeprowadzenia pomiarów i obserwacji

Plan przeprowadzenia badań zgodnie z opracowanym harmonogramem obejmował wyznaczenie ubytku masy i objętości wirników wykonanych z różnych materiałów. Wirniki były wykonane z różnych gatunków żeliwa, staliwa, metali kolorowych, żywic epoksydowych, porcelany i bazaltu. Badano również wirniki pokryte powłoką gumową i stilonową.

Przed wszystkim starano się o zebranie możliwie dużej ilości danych eksperymentalnych dla określenia ścieralności erozyjnej wirników pomp wirowych wykonanych z różnych materiałów. Doświadczenia przeprowadzono równocześnie na czterech stanowiskach badawczych. Starano się, aby badania przeprowadzać w sposób jak najbardziej zbliżony do normalnych warunków pracy. W zasadzie badano po szesnaście wirników wykonanych z tego samego materiału, w tym cztery wirniki jednostrumieniowe łopatkowe, cztery wirniki kanałowe (rys.5 i 6) oraz osiem wirników dwułopatkowych śmigłowych o uproszczonych kształtach łopatek (rys.7 i 8). Wszystkie wirniki były badane w pompach EW 50. W tych przypadkach, kiedy własności materiału nie zezwalały na wykonanie wirników o bardziej skomplikowanych kształtach, zdecydowano się na badanie tylko wirników śmigłowych, które były łatwiejsze do wykonania od wirników łopatkowych i kanałowych.

W czasie przeprowadzania eksperymentów, stosowano jako medium mieszaninę piasku i wody o koncentracji objętościowej piasku $Y_v = 1:3$. Objętościową koncentrację piasku w wodzie badano za pomocą wycechowanej kolby.

W okresie badań posługiwano się tym samym rodzajem piasku, pochodzącym z tego samego złoża. Ponieważ piasek w czasie badań uległ rozdrobnieniu, a poszczególne ziarnka piasku zaokrągleniu, zmieniano piasek co trzy godziny. Starano się również, aby pompowane medium posiadało temperaturę w granicach $t = 17^{\circ}\text{C}$ do 40°C .

Pompy pracowały z napływem, będąc zanurzone w wodzie z piaskiem. Medium robocze stale cyrkulowało, przepływając przez pompę. Strumień wypływającej cieczy powodował zawirowanie tłoczonego medium, utrudniając w ten sposób osadzenie się piasku.

Oprócz właściwych pomiarów prowadzono różne obserwacje o znaczeniu praktycznym. W szczególności obserwowano, które części pomp, a zwłaszcza wirników zużywają się najbardziej. Badania laboratoryjne rozpoczęto w lecie roku 1958 i prowadzono z przerwami do połowy roku 1960. Pomiarów dokonywano seriami. Po zebraniu odpowiedniej ilości pomiarów, dokonywano potrzebnych przeliczeń, zestawiano wyniki i wykonywano odpowiednie charakterystyki ubytku masy wirników. Kolejność i metoda przeprowadzania pomiarów była następująca:

Przed rozpoczęciem każdej serii pomiarów ważono badane wirniki. Koncentracja piasku w wodzie przed rozpoczęciem eksperymentów i w czasie trwania badań była sprawdzona. W okresie prób badano piasek kilkakrotnie, aby stwierdzić czy jego właściwości nie zmieniły się w zbyt wielkim stopniu. Temperatura medium była również stale mierzona dla skontrolowania czy nie przekracza przyjętych wartości.

Wirniki ważono, w zależności od zastosowanego materiału, w różnych odstępach czasu, wynoszących od piętnastu minut do czterech godzin. Łączny czas badań jednego wirnika nie przekraczał trzydziestu pięciu godzin. Przed ważeniem wirnika pompę zatrzymywano, wyjmowano ze zbiornika, przepłukiwano wodą i rozmontowywano. Wyjęty wirnik ważono po dokładnym opłukaniu czystą bieżącą wodą. Po stwierdzeniu ubytku masy wirnika, był on ponownie zabudowany do pompy. Po przygotowaniu stanowiska badawczego, pompę umieszczano w zbiorniku i uruchamiano silnik w celu dalszego badania wirnika. Przy wymianie zużytego piasku, zbiorniki po opróżnieniu były przepłukiwane czystą wodą, aby usunąć resztki piasku.

W celu porównania postępu zużycia wirników tego samego typu wykonanych z różnych materiałów, sporządzono cha-

rakterystyki zbiorcze $V_u = f(\tau)$. (rys. od 51 do 54). (V_u = ubytek objętości, τ = czas). Ubytek objętości obliczano dzieląc ubytek masy wirnika przez gęstość badanego materiału.

5.4. Piasek stosowany do eksperymentów

Do badań ścieralności wirników używano piasku kwarcowego. W celu bliższego określenia rodzaju piasku użytego do eksperymentów, piasek poddano badaniu.

4.4.1. Badanie piasku

Badanie piasku przeprowadzono w Zakładzie Odlewnictwa Politechniki Śląskiej - Laboratorium Materiałów Formierskich. W czasie przeprowadzania eksperymentów, piasek badano kilkakrotnie. Uzyskane wyniki były bardzo zbliżone i dlatego w pracy podano tylko wyniki dwu badań piasku, przed eksperymentami i po przeprowadzeniu eksperymentów. Badając piasek, wyznaczano zawartość wilgoci, zawartość gliny, ziarnistość piasku, średnią średnicę ziarna, stopień jednorodności, kształt ziaren oraz określono rodzaj powierzchni ziarna i kolor piasku. [22], [23].

Wyniki badań podano w tablicach 2 i 3 oraz na wykresach słupkowych ziarnistości piasku (rys.9 i 10). Kształt ziaren piasku w powiększeniu dwudziestokrotnym (25x) przed i po doświadczeniach przedstawiają rysunki 11 i 12.

5.5. Materiały stosowane w badaniach

Badaniami ścieralności erozyjnej wirnika pomp objęto 31 materiałów. Skład chemiczny badanych materiałów podano w tablicy 4. Twardość materiałów i opisy struktur podaje tablica 5. Nadmienić należy, że z większości materiałów wykonano po kilka, a nawet kilkanaście wirników łopatkowych, kanałowych i śmigłowych.

W większości przypadków w pracy podawano wyniki badań tylko dla czterech wirników danego typu (np. łopatkowych) wykonanych z tego samego materiału. Dla każdego materiału z którego były wykonane wirniki, ustalano skład chemiczny, strukturę oraz twardość. Struktury materiałów podano na rysunkach od 13 do 38. Dla określenia typu wirników, przyjęto następujące oznaczenia:

- Ł - wirnik łopatkowy,
- K - wirnik kanałowy,

Tablica 2

Karta badania piasku (przed eksperymentami)
Zawartość wilgoci w stanie dostarczenia $W = 0,95\%$

a. Analiza płuczkowa

G l i n a		A F S		0,20g		0,40%	
Sito Nr	Pozostałość na sicie G_{pi} g	Mnożnik a_i	Iloczyn $G_{pi} \cdot a_i$	Prześwit mm	%		
1	2	3	4	5	6		
6	-	3	-	3,36	-		
12	0,83	5	4,15	1,68	1,66		
20	3,85	10	38,50	0,84	7,70		
30	7,55	20	151,00	0,60	15,10		
40	6,10	30	180,30	0,47	12,20		
50	13,20	40	528,00	0,298	26,40		
70	12,15	50	607,50	0,21	24,30		
100	4,55	70	318,50	0,149	9,10		
140	0,95	100	95,00	0,105	1,90		
200	0,35	140	49,00	0,074	0,70		
270	0,12	200	24,00	0,053	0,24		
Reszta	0,15	300	45,00	Reszta	0,30		
Suma:	49,80	Suma:	2037,95	Suma:	99,60		

c. Charakterystyka składników

Liczba ziarnowa - 41. Średnia średnica ziarna - 0,31.

Stożek jednorodności - 60. Główna frakcja - 50/70/40.

Kształt ziarna - zaokrąglone wieloboki.

Powierzchnia ziarna - gładka. Kolor ziarna - biały.

Karta badania piasku (po trzech godzinach eksperymentów)
Zawartość wilgoci w stanie dostarczenia W = 15,8%

2. Analiza Puzorkowa

G l i n a		A P S		0,90g		17,80%	
<u>b. Ziarnistość</u>							
Sito nr	Pozostałość na sicie G _{pi}	Mnożnik a _i	Iloczyn G _{pi} ·a _i	Prześwit mm	%		
1	2	3	4	5	6		
6	-	3	-	3,36	-		
12	0,30	5	1,50	1,68	0,66		
20	2,00	10	20,00	0,84	4,00		
30	4,30	20	86,00	0,60	8,60		
40	3,40	30	102,00	0,47	6,80		
50	7,76	40	310,40	0,298	15,52		
70	9,74	50	487,00	0,21	18,48		
100	6,10	70	427,00	0,149	12,20		
140	2,75	100	275,00	0,105	5,50		
200	1,80	140	252,00	0,074	3,60		
270	1,20	200	240,00	0,053	2,40		
Reszta	1,75	300	525,00	Reszta	3,50		
Suma	41,10	Suma	2725,90	Suma	82,20		

c. Charakterystyka składników

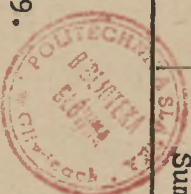
Liczba ziarnowa - 66. Średnia średnica ziarna - 0,19.

Stożek jednorodności - 45. Główna frakcja - 70/50/100

Kształt ziarna - zaokrąglone wieloboki.

Powierzchnia ziarna: większe ziarna - gładka, mniejsze - ohrpowata.

Kolor ziarna - biały.



S=L - wirnik śmigłowy o średnicy 134 mm, zabudowany w pompie, w której normalnie są stosowane wirniki łopatkowe.

S=K - wirnik śmigłowy o średnicy 115 mm, zabudowany w pompie, w której normalnie są stosowane wirniki kanałowe.

Rodzaj stosowanej obróbki cieplnej badanych materiałów podano w tablicy 6. Analizy chemiczne, pomiary twardości oraz badania mikroskopowe wirników przeprowadzono w Instytucie Spawalnictwa w Gliwicach - w Zakładzie Badań Metaloznawczych. Przy opracowaniu struktur korzystano z pomocy Katedry Metaloznawstwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

6. Zestawienie wyników obserwacji i badań

W badaniach laboratoryjnych posługiwano się wodą zanieczyszczoną piaskiem w stosunku objętościowym $Y=1:3$. Ponieważ używano wody wodociągowej o odczynie bliskim obojętnego ($pH = 6,5-8,5$), można pominąć wpływ korozji na materiały badanych wirników. W rozważaniach można również wyłączyć wpływ szkodliwego działania kawitacji, ponieważ starano się tak prowadzić ruch pomp, aby wykluczyć powstanie tego zjawiska. Wobec powyższego, podobnie jak we wstępnych badaniach kopalnianych tak i w eksperymentach w laboratorium, głównym i decydującym zjawiskiem wywołującym niszczenie wirników i innych części wewnętrznych pomp była erozja.

Na podstawie obserwacji przeprowadzonych w laboratorium stwierdzono, że w wirnikach zamkniętych łopatkowych i kanałowych najszybciej i w największym stopniu ulegają zniszczeniu szyje wirników. W zależności od rodzaju zastosowanego materiału, stosunkowo głębokie "wżery" pojawiły się już po okresie czasu wynoszącym od jednej godziny do ośmiu godzin.

W przypadku wirników badanych w pompach EW 50 w okresie prowadzenia eksperymentów, głębokość wżerów wynosiła od 0,3 mm do 1,5 mm. Dopiero po upływie dalszego czasu, można było zaobserwować ślady zniszczenia w kanałach międzyłopatkowych wirników oraz w kanałach wirników dwukanałowych.

W nieco mniejszym stopniu, lecz prawie równolegle z uszkodzeniami wnętrza wirnika, postępuje zużywanie się

zewnątrznych powierzchni wirników. Na podstawie oględzin zewnętrznym powierzchni wirników można stwierdzić, że ulegają one tym większemu uszkodzeniu - im większe są prędkości obwodowe wirnika.

W wirnikach śmigłowych ulegają zniszczeniu przede wszystkim powierzchnie natarcia łopatek. Również i w tym przypadku większy ubytek objętości można stwierdzić w tych miejscach gdzie prędkości obwodowe są większe.

W celu zilustrowania w jakim stopniu i które części wirników ulegają zniszczeniu, pokazano na rysunkach szereg wirników sfotografowanych w czasie eksperymentów (rysunki od 39 do 48).

Na rysunku 39 pokazano wirniki łopatkowe wykonane z żeliwa wysokochromowego (po 6 godz. eksperymentów), z żeliwa niskostopowego chromowego Ż1 Cr (po 6 godz.), z żeliwa szarego Ż1 30 (po 6 godz.) i ze staliwa wysokochromowego LH 17 (po 6 godz.). Na wirnikach odlanych z żeliwa wysokochromowego i niskochromowego nie widać śladów zużycia. Wirnik wykonany z żeliwa szarego Ż1 30 wykazuje ślady uszkodzenia szyi wirnika, wieńców i wnętrza. Wirnik ze staliwa wysokochromowego posiada bardzo lekkie ślady uszkodzenia szyi. Rysunek 40 przedstawia wirnik łopatkowy odlany z żeliwa szarego Ż1 18 (po 9 godz. eksperymentów). Widoczne są znaczne wytarcia szyi wirnika oraz uszkodzenia wieńców i łopatek.

Wirniki, łopatkowy oraz kanałowy, wykonane z porcelany (po 3 godz. badań) i z brązu BK 331 (po 3 godz.) pokazano na rysunku 41. Widoczne są lekkie uszkodzenia szyi wirników. W wirniku kanałowym ponadto widać ślady uszkodzeń wnętrza wirnika.

Na rysunku 42 pokazano wirniki kanałowe wykonane z żeliwa wysokochromowego (po 24 godz. eksperymentów), ze staliwa manganowego (po 12 godz.), z brązu B 555 (po 12 godz.) i z żeliwa szarego Ż1 22 (po 12 godz.). W wirniku odlanym z żeliwa wysokochromowego, mimo najdłuższego okresu badań, widoczne są bardzo małe wytarcia szyi wirnika i lekkie uszkodzenia wnętrza. U pozostałych wirników widoczne są większe uszkodzenia szyi i wnętrza. Największe uszkodzenia wykazuje wirnik wykonany z żeliwa szarego Ż1 22.

Wirniki śmigłowe pokazane na rysunku 43 odlane są z żeliwa sferoidalnego ŻsP-55f (po 16 godz. badań), z żeliwa niskochromowego Ż1 Cr 4 (po 23 godz.), z siluminu LA 4 (po 3 godz.) i ze staliwa 45 L (po 12 godz.) wyka-

Tablica 4

Skład chemiczny materiałów

Lp.	Miejsca badań w irydków		Materiał		U całk. %	U graf. %	Skład chemiczny					F %	S %
	Ipat- kowych	kanał- wych	D = 136	D = 115			Si %	Mn %	P %	S %	B %		
1	4	4	4	4	3,27	2,25	2,65	5	7	9	10		
2	4	4	4	4	3,38	2,21	2,14	0,48	0,70	0,260	0,200		
3	4	4	4	4	3,27	2,40	1,97	0,70	0,47	0,220	0,100		
4	4	4	4	4	2,80	2,18	1,37	0,40	0,39	0,230	0,200		
5	4	4	4	4	3,42	2,59	3,52	0,250	0,75	0,250	0,004		
6	4	4	4	4	3,42	2,59	3,52	0,270	0,75	0,270	0,004		
7	4	4	4	4	3,31	2,49	2,16	0,42	0,68	0,067	0,068		
8	4	4	4	4	2,96	2,67	6,07	0,50	0,95	0,236	0,232		
9	4	4	4	4	2,47	0,84	4,50	0,29	0,38	0,29	0,064		
10	4	4	4	4	2,08	0,42	1,60	4,35	14,27	0,13	0,045		
11	4	4	4	4	0,50	-	0,18	0,68	0,60	0,067	0,068		
12	4	4	4	4	0,40	-	0,63	0,50	0,60	0,035	0,014		
13	4	4	4	4	0,44	-	0,37	1,02	1,64	0,040	0,017		
14	4	4	4	4	1,00	-	0,60	0,37	12,34	0,044	0,021		
15	4	4	4	4	1,00	-	0,60	0,60	12,34	0,077	0,010		
16	4	4	4	4	1,29	-	0,14	0,60	12,34	0,077	0,010		
17	4	4	4	4	0,32	0,06	1,28	0,14	8,53	0,20	0,033		
18	4	4	4	4	1,54	0,62	2,93	1,28	0,49	0,045	0,018		
								2,93	0,49	0,13	0,036		



c.d. tablicy 4

Lp.	Liczba badanych wników				Materiał	Skład chemiczny										
	Zopatkow. wych	kanał- wych	średnicowych			Si %	Sn %	Pb %	Fe %	Al %	Mn %	Ni %	Cu %	Zn %	P %	
			D = 134	D = 115												
1			2													
19	4	4	4	4	Brąz B 101	-	10,14	0,31	0,03	0,18	ślady	ślady	88,40	0,08	0,84	
20	4	4	4	4	Brąz B 595	-	5,90	5,33	0,11	-	-	0,29	84,57	3,79	-	
21	4	4	4	4	Brąz BK 331	2,38	1,99	2,55	1,08	-	-	0,19	88,80	2,99	-	
22	4	4	4	4	Brązol specjalny	0,17	1,26	2,25	1,62	12,28	0,05	2,04	78,80	1,36	0,09	
23	4	4	4	4	Silumin LA 4	4,77	-	-	0,45	93,15	0,10	0,05	1,36	0,08	-	
24	4	4	4	4	Silumin LA 4 (po obróbie cieplnej)	4,77	-	-	0,45	93,15	0,10	0,05	1,36	0,08	-	
25	4	4	4	4	Silumin specjalny RR 53 c	4,89	-	-	-	-	0,10	0,04	1,31	0,04	-	
26	4	4	4	4	Silumin specjalny RR 53 c (po obróbie cieplnej)	4,89	-	-	-	-	0,10	0,04	1,31	0,04	-	

Twarzości i struktury materiałow

Ip.	Liczba badanych wirników		Materiał	Twarzość*		Rysunek
	Łopatkow wych	kanalo- wym		zetręty warzości	warzość średnia	
1	4	4	Żeliwo szare Ż1 18	161-170	167	13
2	4	4	Żeliwo szare Ż1 22	186-198	185	14
3	4	4	Żeliwo szare Ż1 26	212-222	215	15
4	4	4	Żeliwo szare Ż1 30	220-241	239	16
5	4	4	Żeliwo sferydalne ŻF 55 f	315-348	332	17
6	4	4	Żeliwo sferydalne ŻF 55f (po obróbce cieplnej)	528-543	537	18
7	4	4	Żeliwo szare Ż1 18	163-170	168	19
8	4	4	Żeliwo krzemowe	165-191	172	20
9	4	4	Żeliwo niskostopowe chromowe Ż1 Cr 4	495-534	516	21
10	4	4	Żeliwo wysokochromo- mowe	311-331	328	22
11	4	4	Staliwo 45 L	198-214	205	23
12	4	4	Staliwo STP	214-232	222	24
13	4	4	Staliwo ST 1	263-275	269	25
14	4	4	Staliwo Hadfielda G 14 L	190-202	192	26
15	4	4	Staliwo Hadfielda G 14 L (po obróbce cieplnej)	206-212	208	27
16	4	4	Staliwo wysoko- manganowe	223-242	231	28
17	4	4	Staliwo wysoko- chromowe LH 17	242-275	261	29
18	4	4	Staliwo wysoko- chromowe	331-348	340	30

STRUKTURA

Grafit węzłowy i pasemkowy w osnowie perlitycznej z miejscowymi ziarnami ferrytu (100x, traw).
 Drobny grafit w osnowie perlitycznej (100x, traw).
 Drobny grafit oraz skupienia steadytu w osnowie perlitycznej (100x, traw).
 Ledeburyt oraz drobny perlit w osnowie perlitycznej (100x, traw).
 Grafit sferydalny, miesza z otoczką ferrytu oraz drobne skupienia ledeburytu w osnowie perlitycznej (100x, traw).
 Grafit sferydalny oraz skupienia cementytu w osnowie martenzytycznej (100x, traw).
 Grafit oraz steadyt i nieliczne ziarna ferrytu w osnowie perlitycznej (100x, traw).
 Gruby grafit w osnowie ferrytycznej oraz drobne skupienia ledeburytu (500x, traw).
 Ledeburyt oraz bainit (500x, traw).
 Większe i drobne węgliki złożone w osnowie ferrytycznej (500x, traw).
 Perlit z przerywaną siatką ferrytu, miejscami w układzie Widmanstetenskim (500x, traw).
 Perlit z ferrytem w układzie Widmanstetenskim (500x, traw).
 W osnowie perlitycznej przerywana siatka ferrytu oraz skupienia ferrytu w układzie Widmanstetenskim (500x, traw).
 Austenit o zmiennej wielkości ziarn oraz wydzielenia na granicach (100x, traw).
 Austenit o zmiennej wielkości ziarn oraz drobne wydzielenia węglików na granicach oraz wewnątrz ziarn. (100x, traw).
 Austenit z licznymi węglkami oraz ferryt delta (500x, traw).
 Węgliki chromu w osnowie ferrytycznej (100x, traw).
 Węgliki w osnowie ferrytu (500x, traw).



* Twarzość Brinella - 10 mm - 3000 kg, 15 sec.
 (z wyjątkiem wartości oznaczonych dwiema lub więcej gwiazdkami)

Lp.	Liczba badanych próbek		Materiał	Twardość HB KG/mm ²		Rysunek
	złotko- wych	kanało- wych		szereż wartości	wartość średnia	
15	4	4	Brąs B 101	88-99	93**	31
20	4	4	Brąs B 555	63-64	63**	32
21	4	4	Brąs BK 331	96-104	101**	33
22	4	4	Brąsal specjalny	191-204	196**	34
23	4	4	Silumin IA 4	78,0-81,5	78,9**	35
24	4	4	Silumin IA 4 (po obróbie cieplnej)	90-95	94**	36
25	4	4	Silumin specjalny RR 53c	81-85	82**	37
26	4	4	Silumin specjalny RR 52c (po obróbie cieplnej)	93-104	96**	38
27	0	0	Bazalt	8	8***	-
28	0	0	Zywica epoksydowa	-	-	-
29	4	0	Porcelana	-	-	-
30	0	0	Żelivo szare polezione guma	70	70****	-
31	0	0	Żelivo szare polezione stilonem	-	-	-

** Twardość Brinella - Ø 2,5 mm, 62,5 kg, 15 sec.

*** Twardość Mohs'a

**** Twardość Shore'a

Parametry stosowanej obróbki cieplnej

A. Żeliwo i staliwo									
Lp.	Oznaczenie materiału	Materiał	Temper. hartowania t °C	Czas godz.	Ośrodek chłodzący	Twardość HB kg/mm ²	U w a g i		
1	2	3	4	5	6	7	8		
1	6	Żeliwo sferoidalne ŻsP-55f	900	1,5	olej	528-543	Twardość przed obróbką cieplną 332 HB		
2	15	Staliwo Hadfielda G 14 L	900	1,0	woda	206-214	Przesycone		
B. Stopy aluminium									
Lp.	Oznaczenie materiału	Materiał	Temper. przesyca- nia t °C	Czas przesy- cania godz.	Ośrodek chłodzący	Temper. starzenia t °C	Czas starzenia godz.	Twardość HB kg/mm ²	U w a g i
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	24	Silumin LA 4	520-530	4	woda	180	5	90-95	
2	26	Silumin specjalny	510-520	4	woda	220	1	93-104	

zużą zaokrąglenia oraz uszkodzenia powierzchni łopatek. Wirnik z żeliwa niskochromowego ma najmniejsze uszkodzenia mimo, że do chwili sfotografowania był badany przez 23 godziny. Największe zużycie widać na wirniku wykonanym z siluminu (mimo obróbki cieplnej i krótkiego czasu badania).

Rysunek 44 pokazuje wirniki śmigłowe odlane ze staliwa STP (po 12 godz. eksperymentów), ze staliwa wysokochromowego (po 12 godz.), z siluminu specjalnego RR 53c (po 3 godz.) i ze staliwa Hadfielda G 14 L (po 12 godz.). Pokazane na rysunku 52 wirniki z siluminu specjalnego i ze staliwą Hadfielda, były obrabiane cieplnie. Największy ubytek objętości wykazuje wirnik z siluminu specjalnego RR 53 c. Zużycie pozostałych wirników jest znacznie mniejsze.

Na rysunku 45 są pokazane wirniki śmigłowe wykonane ze staliwa ST 1 po 9 godz. badań, ze staliwa wysokochromowego G 14 L (po 12 godz.), z żeliwa wysokochromowego (po 24 godz.) i z żeliwa szarego Żl 26 (po 6 godz.). Widoczne są zaokrąglenia oraz uszkodzenia łopatek. Wirnik odlany z żeliwa wysokochromowego wykazuje najmniejsze zużycie, mimo że badano go przez 24 godziny. Najbardziej zużyty jest wirnik z żeliwa szarego Żl 26.

Rysunek 46 przedstawia wirniki śmigłowe wykonane z brązu B 101 (po 6 godz. eksperymentów), ze staliwa wysokochromowego (po 15 godz.), z brązu B 101 (po 12 godz.) i z brązu B 555 (po 8 godz.). Widoczne są zaokrąglenia i uszkodzenia powierzchni łopatek.

Wirniki śmigłowe z żywicy epoksydowej (po 3 godz. badań), z żeliwa szarego Żl 30 pokryte powłoką ze stilonu (po 14 godz.), z bazaltu (po 21 godz.) i z żeliwa szarego Żl 30 pokryte powłoką ochronną z gumy (po 20 godz.) pokazano na rysunku 47. Najmniejsze zużycie widać na wirniku wykonanym z bazaltu. Wirnik z powłoką ochronną ze stilonu wykazuje zaokrąglenia łopatek oraz częściowe uszkodzenie powierzchni łopatek. Wirnik z powłoką ochronną z gumy ma wyraźnie uszkodzone łopatki.

Należy zaznaczyć, że użyte do eksperymentów wirniki z żeliwa szarego z powłoką ochronną ze stilonu, miały powłokę jedynie o grubości 0,5 mm. Powłoka ta uległa nieznacznym pęknięciom już po 45 minutach badań. Mimo to, dzięki zastosowaniu powłoki ochronnej ze stilonu, znacznie zmniejszono zużycie wirnika. W powłoce ochronnej z gumy pierwsze uszkodzenia zaobserwowano po ok. 5 godzinach. (przetarcie się powłoki gumowej).

Wirniki z żywic epoksydowych ścierały się szybko, wykazując ponadto tendencję do pęknięcia (rys.48).

We wnętrzach kadłubów pomp EW 50 wykonanych z siluminu, już po kilku godzinach ruchu można było stwierdzić rysy. Po około 400 do 600 godzinach badań, kadłuby jako zupełnie zniszczone trzeba było wymienić (rys.49 i 50). Powstały dziury w ścianach oraz znaczne uszkodzenia od strony ssawnej. W czasie eksperymentów wymieniano również kilkakrotnie wałki oraz tuleje ochronne wału i kadłuba, które uległy wytarciu.

Wyniki badań w laboratorium dla poszczególnych rodzajów wirników (zamkniętych - łopatkowych, kanałowych i śmigłowych) zestawiono na wykresach $V = f(\tau)$. (rys.51, 52, 54 i 54). Każda charakterystyka na tych wykresach jest wyznaczona na podstawie czterech serii pomiarów. Jak widać z przebiegu charakterystyk w zakresie przeprowadzonych badań, większość z nich jest liniami prostymi. Niektóre z charakterystyk są nachylone początkowo pod mniejszym kątem w stosunku do osi odciętych, a następnie pod większym. Wskazuje to, że materiał posiadał twardszą powierzchnię, a po jej starciu ścieranie wirnika postępowało szybciej (na przykład: materiał Nr 29 - porcelana). Stwierdzono również przypadki odwrotne, (np. materiał Nr 20 - brąz B 555).

W oparciu o przeprowadzone badania laboratoryjne można stwierdzić, że najbardziej odpornym na ścieranie materiałem okazał się bazalt (rys.53 i 54). Najmniej odporne były wirniki wykonane z żywicy epoksydowej. Wirniki wykonane z porcelany, po starciu wierzchniej warstwy, stosunkowo szybko ulegały zniszczeniu (rys.51). Z wirników wykonanych z metali, najbardziej odpornymi na ścieranie okazały się wirniki odlane z żeliwa wysokochromowego, oraz z żeliwa niskostopowego chromowego Ż1 Cr 4. Dobre własności przeciwścierne posiadają również staliwa wysokochromowe, staliwo Hadfielda, staliwo wysokomanganowe, oraz żeliwo sferoidalne ŻsP-45f. Spośród wirników metalowych najmniej odpornymi na ścieranie okazały się wirniki wykonane z siluminu LA 4 i z siluminu specjalnego, zarówno bez jak i po obróbce cieplnej.

Eksperymenty potwierdziły, że zastosowanie obróbki cieplnej wpływa na zwiększenie odporności materiałów na erozję (tablica 6).

Tablica 7 podaje wartości wskaźnika ścieralności K_{18} i średniego masowego wskaźnika ścieralności erozyj-

Wartości wskaźników K_{18} , K_{18s} i L_{18s} dla różnych materiałów
oraz kolejności materiałów pod względem odporności na erozję

Tablica 7

Lp.	Materiał	Nr mate- riału	K_{18}				K_{18s}	γ g/cm ³	L_{18s}	Kolejność ma- teriałów pod względem od- porności na erozję
			Rodzaj wirnika							
			Z	K	S-Z	S-K				
1	Żeliwo szare Ż1 18	1	1,18	1,12	1,19	1,15	1,16	7,26	1,15	11
2	Żeliwo szare Ż1 22	2	1,19	0,99	1,05	1,09	1,07	7,25	1,07	22
3	Żeliwo szare Ż1 26	3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	7,25	1,00	21
4	Żeliwo szare Ż1 30	4	0,98	0,91	0,93	0,96	0,94	7,24	0,95	20
5	Żeliwo sferoidalne Żsp-55f	5	0,52	0,43	0,51	0,53	0,50	7,35	0,49	13
6	Żeliwo sferoidalne Żsp-55f po obróbce cieplnej	6	0,46	0,41	0,45	0,47	0,45	7,35	0,44	10
7	Żeliwo szare Ż1 18	7	1,17	1,10	1,17	1,13	1,14	7,25	1,14	23
8	Żeliwo krzemowe	8	0,90	0,71	0,81	0,81	0,81	7,35	0,79	18
9	Żeliwo niskotopowe chro- mowe Ż1 Cr 4	9	0,25	0,23	0,23	0,23	0,23	7,60	0,22	3
10	Żeliwo wysokochromowe	10	0,23	0,20	0,21	0,22	0,21	7,60	0,20	2
11	Stalwo 45 L	11	0,93	0,80	0,87	0,87	0,87	7,80	0,81	19
12	Stalwo STP	12	0,68	0,59	0,65	0,64	0,64	7,80	0,59	15
13	Stalwo ST 1	13	0,83	0,62	0,80	0,76	0,75	7,80	0,70	17
14	Stalwo Hadfielda G 14 L	14	0,40	0,35	0,40	0,38	0,38	7,84	0,35	7
15	Stalwo Hadfielda G 14 L po obróbce cieplnej	15	0,36	0,29	0,33	0,34	0,33	7,84	0,30	6
16	Stalwo wysokomanganowe	16	0,43	0,39	0,42	0,45	0,42	7,84	0,39	8
17	Stalwo wysokochromowe LH 17	17	0,34	0,30	0,32	0,33	0,32	7,84	0,29	5
18	Stalwo wysokochromowe	18	0,28	0,26	0,25	0,25	0,26	7,80	0,24	4
19	Brąz B 101	19	0,66	0,51	0,64	0,63	0,61	8,75	0,51	14
20	Brąz B 555	20	0,83	0,67	0,71	0,73	0,73	8,75	0,61	16
21	Brąz BK 331	21	0,62	0,44	0,58	0,58	0,56	8,80	0,46	12
22	Brązol specjalny	22	0,58	0,50	0,56	0,57	0,55	8,70	0,45	11
23	Silumin LA 4	23	1,71	1,55	1,63	1,60	1,62	2,70	4,34	30
24	Silumin LA 4 po obróbce cieplnej	24	1,55	1,38	1,38	1,43	1,44	2,70	3,86	28
25	Silumin specjalny RR 53c	25	1,67	1,49	1,54	1,56	1,57	2,75	4,14	29
26	Silumin specjalny RR 53c po obróbce cieplnej	26	1,43	1,29	1,29	1,27	1,32	2,75	3,48	27
27	Basalt	27	-	-	0,09	0,05	0,07	3,00	0,17	1
28	Żywica epoksydowa	28	-	-	-	-	-	Nie brano pod uwagę se względu na zbyt duże zużycie wirników.		
29	Porcelana	29	0,89	-	-	-	0,89	2,40	2,69	26
30	Żeliwo szare powlezione gumą	30	-	-	0,11	0,11	0,11	1,84	0,43	9
31	Żeliwo szare powlezione stilonem	31	-	-	0,26	0,27	0,27	1,05	1,86	5

nej K_{18s} oraz średniego objętościowego wskaźnika ścieralności L_{18s} erozyjnej L_{18s} (po ośmiu godzinach doświadczeń) dla badanych materiałów. W tabelicy zaznaczono również kolejność materiałów pod względem odporności na ścieranie.

7. Omówienie wyników

a. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że najodpowiedniejszymi materiałami na wirniki pomp wirowych służących do transportu cieczy mechanicznie zanieczyszczonych, jest żeliwo wysokochromowe i nieznacznie im ustępujące żeliwo niskostopowe chromowe Ż1 Cr 4 (tabela 7). Dobrą odpornością na erozję charakteryzują się również staliwo wysokochromowe, staliwo wysokomanganowe, staliwo Hadfielda i żeliwo sferoidalne.

Trzeba zaznaczyć, że w przypadku stosowania materiałów trudno obrabialnych mechanicznie, (powyżej 300 HB) konstrukcja wirnika względnie innych części pompy musi być tak opracowana, aby ograniczyć obróbkę wiórową do minimum.

b. Bardzo dobre wyniki daje również stosowanie powłok ochronnych z gumy, które dobrze zabezpieczają wirniki przed zniszczeniem i znacznie przedłużają ich żywotność. Powłokę ochronną z gumy można jednak zastosować tylko do wirników otwartych, bądź wirników zamkniętych z obszernymi kanałami (ze względu na technologię pokrywania gumą).

c. Stwierdzono, że najszybszemu uszkodzeniu ulegają szyje wirników. Dlatego wydaje się korzystne nakładanie skurczowo na szyje wirników przeznaczonych do pompowania cieczy mechanicznie zanieczyszczonych, pierścieni wykonanych z materiałów szczególnie odpornych na ścieranie erozyjne.

d. Wielkość ubytków objętości wirników, jak wykazały, eksperymenty, zależy nie tylko od materiału, ale również i od kształtu oraz konstrukcji wirników.

e. Badania potwierdziły pogląd, że powinno się jak najszerszej stosować obróbkę cieplną, która wpływa przez zmianę struktury materiałów na zwiększenie ich odporności na erozję.

f. Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń w kopalniach i w laboratorium, obok uwag mających bardziej ogólne i szersze znaczenie, ustalono zalecenia bardziej szczegółowe (węższe) odnoszące się do obecnie produkowanych seryjnie pomp dla górnictwa. W tablicy 8 wytypowano materiały, które należy stosować na wirniki, kierownice i kadłuby. Zastosowanie tych materiałów zwiększy żywotność pomp, pewność ruchu oraz pozwoli na utrzymanie przez dłuższy jak dotychczas okres parametrów pracy i dobrej sprawności pomp.

Przy wyborze materiałów kierowano się przeznaczeniem pompy, kosztami materiałów oraz aktualnymi możliwościami ich otrzymania [24] do [86].

8. Wskazania dotyczące dalszych badań

Mimo, że w pracy tej podano wyniki badań kilku typów wirników wykonanych z wielu różnych materiałów, w przyszłości trzeba będzie doświadczenia te uzupełnić dalszymi eksperymentami.

Jest wskazane przeprowadzenie badań dalszych wirników wykonanych z różnych metali i tworzyw sztucznych oraz wirników pokrytych różnymi powłokami ochronnymi. Należy przewidzieć badania wirników wykonanych z metali, z zastosowaniem obróbki cieplnej. W przyszłości przedmiotem dalszych badań powinny stać się również następujące problemy:

- a) wpływ stopnia zużycia wirnika (ewentualnie i innych wewnętrznych części) na parametry pracy pompy i jej sprawność;
- b) wpływ koncentracji piasku w wodzie na wskaźnik zużycia wirników wykonanych z tych samych materiałów (badania własne były przeprowadzone dla stałej koncentracji $Y_v = 1:3$);
- c) wpływ wielkości wirników (wirniki geometrycznie podobne, liczba obrotów stała, różne średnice, a więc i różne prędkości obwodowe) wykonanych z tych samych materiałów na stopień ich zużycia w określonym czasie i przy stałej koncentracji piasku w wodzie;

Tablica 8

Zalecane materiały na wirniki, kierownice i kadłuby typowych pomp dla górnictwa
(w normalnym wykonaniu)

Lp.	Oznaczenie - typ	Zastosowanie główne	Rodzaj wody (orientacyjnie)	M a t e r i a ł			Uwagi
				wirnik	kierownica	kadłub	
1	EW elektryczne wirowe	odwadnianie przedków		ŻsP-55f	-	silumin ^{x)}	
2	PW pneumatyczne wirowe	odwadnianie przedków		ŻsP-55f	-	silumin ^{x)}	
3	WW z napędem od wiertarki (wirowe)	odwadnianie przedków		ŻsP-55f	-	silumin ^{x)}	
4	ON odwadniające, niskociśnieniowe	odwadnianie pomocnicze	woda czysta lub lekko zanieczyszczona mechanicznie	ŻsP-55f lub Ż1 Cr 4	-	ŻsP-55f	
5	OS odwadniające, średnic ciśnieniowe	pomocnicze lub główne		ŻsP-55f lub Ż1 Cr 4	ŻsP-55f lub Ż1 Cr 4	ŻsP-55f	
6	OW odwadniające wysokociśnieniowe	odwadnianie główne		ŻsP-55f lub Ż1 Cr 4	ŻsP-55f lub Ż1 Cr 4	25 L lub 35 L ^{xx)}	
7	OSS odwadniające średnic ciśnieniowe, szybwe	odwadnianie szybów		ŻsP-55f lub Ż1 Cr 4	ŻsP-55f lub Ż1 Cr 4	ŻsP-55f	
8	OSW odwadniające średnic ciśnieniowe, wałowe	odwadnianie pomocnicze		ŻsP-55f lub Ż1 Cr 4	ŻsP-55f lub Ż1 Cr 4	ŻsP-55f	
9	KA kanałowe	śluzoskawe		Ż1 Cr 4	-	ŻsP-55f	
10	PZP	śluzoskawe		żeliwo wysokochromowe	-	Ż1 26 ^{xxx)}	
11	PZK	śluzoskawe (kolanowe)		ŻsP-55f lub Ż1 Cr 4	ŻsP-55f lub Ż1 Cr 4	ŻsP-55f	
12	PLS	śluzoskawe spiralne		ŻsP-55f lub Ż1 Cr 4	-	ŻsP-55f	
13	OWB odwadniające wysokociśnieniowe bez tarczy odciążających	odwadnianie główne		żeliwo wysokochromowe	żeliwo wysokochromowe	25 L lub 35 L ^{xx)}	oraz ze względu na możliwość spawania przy remoncie
14	ONW odwadniające niskociśnieniowe wałowe	odwadnianie pomocnicze		żeliwo wysokochromowe	żeliwo wysokochromowe	25 L	
15	WP węglowa, pancerna	dla hydromechanizacji		żeliwo wysokochromowe	-	Ż1 26 ^{xxx)}	
16	PC pancerna	dla hydromechanizacji i podsadki		żeliwo wysokochromowe	-	żeliwo wysokochromowe	
17	WWE węglowa wysokociśnieniowa bez tarczy odciążających	dla hydromechanizacji	woda silnie mechanicznie zanieczyszczona	żeliwo wysokochromowe	-	25 L lub 35 L ^{xx)}	oraz ze względu na możliwość spawania przy remoncie
18	WO wodociągowa	silownie		Ż1 26	-	Ż1 26	
19	CH dla wody chłodzącej	silownie	woda czysta	Ż1 26	-	Ż1 26	
20	ZK zasilające kotły	silownie		EK 334	EK 334	25 L	
21	SR śrubowe	odwadniające kopalnie odkrywkowe	woda czysta lub lekko zanieczyszczona	ŻsP-55f	-	ŻsP-55f	
22	SM śmigłowe	odwadniające kopalnie odkrywkowe		ŻsP-55f	-	ŻsP-55f	

x) ze względu na mały ciężar

xx) zabezpieczenie od ciśnienia

xxx) wykładzina pancerna i ścianki ochronne - żeliwo wysokochromowe

- d) opracowanie technologii wykonania wirników (o prostym kształcie) z bazaltu lub z zastosowaniem bazaltu dla pomp transportujących cieczę zawierające ciała stałe o własnościach szczególnie silnie mechanicznie niszczących.

9. Wnioski

Praca ta będąca wynikiem kilkuletnich badań w pewnym stopniu wypełnia w nauce lukę w zakresie doświadczeń nad określeniem odporności na erozję materiałów stosowanych na wirniki i części wewnętrzne pomp wirowych, dla cieczy mechanicznie zanieczyszczonych.

- a. Podano opracowaną przez autora własną metodę badań różnych materiałów na ścieralność erozyjną. W badaniach zastosowano cztery ustalone typy wirników przy zachowaniu ustalonych warunków, bardzo zbliżonych do ruchowych warunków eksploatacyjnych.
- b. Wyjaśniono, które części wirników pomp wirowych (różnych typów) ulegają przede wszystkim zniszczeniu na skutek ścieralności erozyjnej przy pompowaniu cieczy mechanicznie zanieczyszczonych.
- c. Wprowadzono objętościowy wskaźnik ścieralności L_{85} , a otrzymane wartości tego wskaźnika stały się podstawą do uszeregowania badanych materiałów na wirniki pomp wirowych według ich podatności na ścieralność erozyjną (tablica 7).
- d. Otrzymane wyniki badań umożliwiły podanie projektantom maszyn hydraulicznych, a przede wszystkim konstruktorom i wykonawcom pomp wirowych wskazań dla doboru najodpowiedniejszych materiałów na wirniki oraz inne części pomp (tablica 8)*).

*)Wskazania wynikające z badań są już bieżąco wprowadzane przy projektowaniu i budowie pomp wirowych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ZKMPW: Dane statystyczne o stanie wydobycia i przeciętnym dopływie wody w kopalniach węgla w Polsce, Katowice, 1960 r.
- [2] Sz. Łazarkiewicz, A. Troskoleński: Pompy wirowe, PWT, Warszawa, 1959 r.
- [3] Mechanik: Poradnik Techniczny, tom IV, część 2, PWT, Warszawa, 1953 r.
- [4] Z. Ciechanowski: Pompy turbinowe i odśrodkowe, PWN, Kraków, 1954 r.
- [5] C. Pfeleiderer: Die Kreiselpumpen für Flüssigkeiten und Gase, Springer-Verlag Berlin (Göttingen) Heidelberg, 1955.
- [6] A. Stepanoff: Centrifugal and axial flow pumps. Theory, design and application. J. Wiley, New York, 1957 r.
- [7] K. Teiwess: Die Wasserhaltungsmaschinen, Springer Verlag, Berlin, 1916 r.
- [8] S. Kerr: Determination of the relative resistance to cavitation erosion by the vibratory method. Trans ASME Vol. 59, 1937 r.
- [9] H. Schröter: Versuch zur Frage der Werkstoffanfressung durch Kavitation, R. Oldenbourg, München, 1935 r.
- [10] K. Szablowski: Problem korozji w pompach prędkościowych, Przegląd Górniczy, 1958 r.
- [11] PN-54/H-04601. Badanie korozji metali. Próba laboratoryjna odporności na korozję w cieczach o temperaturze pokojowej.
- [12] PN-54/H-04602: Badanie korozji metali. Próba laboratoryjna odporności na korozję w cieczach o temperaturze podwyższonej.
- [13] PN-54/H-04604. Badanie korozji metali. Próba laboratoryjna odporności na korozję w warunkach okresowo zmiennych.
- [14] R. Rucki: Hydromechanizacja robót ziemnych. Wydawnictwo Komunikacyjne, Warszawa, 1954 r.

- [15] Ł. Szrejner, O. Petrowa, W. Jukuszew: *Miechaniczeskije i obraziwnyje swojstwa gornych porod. Gostoptiechi-zdat, 1958 r.*
- [16] W. Łomokin, W. Sawczenko: *Iznosostojkije jemaljewyje pokrytja dietalej maszyn. Wiestnik maszynostrojenija, 1958 r. Nr 2.*
- [17] E. Siebel: *Prüff- und Messeinrichtungen, Verlag Springer, Berlin, 1940 r.*
- [18] W. Stauffer: *Wear of metals by Sand Erosion. Metal Progress, 1956 r.*
- [19] W. Sakwa: *Badanie nad dobozem tworzyw do wytwarzania pomp wirnikowych transportujących ciecz zanieczyszczoną, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Mechanik Nr 6, 1960 r.*
- [20] M. Tienienbaum: *Iznosostojkost' detalej i dołgowiecznost' gornych maszyn. GNTI, Moskwa, 1960 r.*
- [21] J. Jędrzejak: *Badania odbiorcze materiałów metalowych. Wydawnictwo Komunikacyjne, Warszawa 1954 r.*
- [22] K. Gierdziejewski: *Kurs Odlewnictwa - Materiały formierskie i ich przeróbka w odlewniach, PWT, Katowice, 1950 r.*
- [23] Z. Wertz: *Badanie piasków i mas formierskich, PWT, Katowice, 1952 r.*
- [24] W. Moszyński: *Wykład Elementów Maszyn, Część I, II, III i IV SIMP, Warszawa, 1948-1952 r.*
- [25] M. Florinskij: *Nasosnyje ustanowki i stancji. Maszynostrojizdat, Moskwa, 1946 r.*
- [26] M. Ajzensztejn: *Centrobieżnyje nasosy. GNTI, Moskwa, 1957 r.*
- [27] V. Krouza: *Odstredivácerpadla, Nakladem Ceski Matice Technicke, Praga, 1947 r.*
- [28] J. Hybl: *Pistova cerpadla, Nakladem Ceske Matice Technicke, Praga, 1947 r.*
- [29] Bergeron: *Machines hydrauliques, Paryż, 1928 r.*
- [30] F. Lawaczek: *Turbinen und Pumpen, Verlag - Springer, Berlin, 1932 r.*

- [31] A.Church: Centrifugal Pumps and Blowers. New York, 1947 r.
- [32] C.Ritter: Flüssigkeitspumpen, Leipzig, 1945 r.
- [33] H.Berg: Die Kolbenpumpen, Verlag J.Springer, Berlin, 1921 r.
- [34] Nowoje w technologii gidromaszynostrojenija. Trudy, WIHM, Maszgis, Moskwa, 1951 r.
- [35] W.Korsakow: Technologija gidromaszynostrojenija, Maszgiz, Moskwa 1948, r.
- [36] M.Orachełaszewili: Iznosostojkost' reaktiwnych gidroturbin, G.E. Izdatielstwo, Moskwa, Leningrad, 1960 r.
- [37] Konstruirowanije, izgotowlenije i ekspluatacija głubinych nasosow, GNTI, Moskwa, 1951 r.
- [38] J.Dietrych: Osadzarki, PWT, Katowice, 1953 r.
- [39] K.Rudienko: Osnowy obogaszczeniya ugla, Ugletiechizdat, Moskwa, Leningrad, 1950 r.
- [40] E.Tiepierman: Nasosy na ugleobogatitielnykh fabrikach, Ugletiechizdat, Moskwa, 1954 r.
- [41] F.Staub: Metaloznawstwo, PWN, Kraków, Gliwice, 1954 r.
- [42] F.Staub: Zastosowanie mikroskopu do badania stali i żeliwa, PWT, Warszawa, 1954 r.
- [43] F.Staub: Obróbka cieplna stopów metali, PWN, Kraków, Łódź, 1955 r.
- [44] F.Staub: M.Pachowski: Odlewnictwo żeliwa, PWT, Katowice, 1952 r.
- [45] K.Wesołowski: Metaloznawstwo, PWT, Warszawa, 1957 r.
- [46] Żeliwo wysokojakościowe jako tworzywo konstrukcyjne, PWT, Warszawa, 1958 r.
- [47] J.Piaskowski: Własności żeliwa sferoidalnego i jego zastosowanie w przemyśle budowy maszyn. Przegląd Mechaniczny, 1953 r.
- [48] J.Piaskowski: A.Jankowski: Żeliwo sferoidalne, PWT, Warszawa, 1957 r.

- [49] G.Kniaginin: Odlewnictwo staliwa = Staliwo węglowe. PWT, 1956 r.
- [50] G.Kniaginin: Staliwo. Zarys wiadomości dla konstruktorów, WGH, Katowice, 1955 r.
- [51] Katalog staliw, Huta Małapanew, Ozimek, 1958 r.
- [52] B.Houdrement: Sonderstahlkunde, Berlin, 1933 r.
- [53] S.Szczawiński: Metale nieżelazne i ich stopy w odlewnictwie PWT = 1952 r.
- [54] M.Orman, Z.Orman: Technologia aluminium i jego stopów. Stalinogród, WGH - 1955 r.
- [55] E.Kamieński, B.Dobrzyński: Metale i stopy nieżelazne, Wydawnictwo Śląsk, 1957 r.
- [56] A.Fuss: Metallographie des Aluminiums, Berlin, 1934r.
- [57] M.Dubowicki: Obróbka cieplna żeliwa szarego. Przegląd Odlewnictwa, 1951 r.
- [58] M.Dubowicki, J.Rutkowski: Hartowanie z przemianą izotermiczną a ulepszenie cieplne żeliwa szarego perlitycznego. Praca Głównego Instytutu Odlewnictwa, Kraków, 1951 r.
- [59] A.Chuzowa, A.Diemidowa, M.Kunjanokij: Połączenie i tiermiczeskaja obrabotka czuguna z globularnym grafitom, Litiejnoje Proizwodstwo, 1952 r.
- [60] J.Rutkowski: Obróbka cieplna żeliwa sferoidalnego w celu podniesienia jego własności mechanicznych. Biuletyn Informacyjny Instytutu Odlewnictwa, Kraków, 1953 r.
- [61] M.Zarubin, I.Sypin: Wlijanije tiermiczeskoj obrabotki na strukturu i miechaniczeskije swojstwa czuguna s sferoidalnym grafitom. Wysokoprocnyj czugun s sferoidalnym grafitom, Moskwa, 1953 r.
- [62] A.Samochodi, I.Łaguncow: Technologia obróbki cieplnej (tłumacz. z jęz. rosyjskiego), Warszawa, 1954 r.
- [63] M.Skarbiński: Konstrukcja odlewów, PWT, Warszawa, 1957 r.
- [64] Poradnik Odlewnika, PWT, Warszawa, 1959 r.
- [65] Maszynostrojenije = Encikłopediczeskij sprawocznik, Moskwa, 1947 r.

- [66] Z.Niewiarowski: Przetwarzanie tworzyw sztucznych, Mechanik - Tom III, Cz.3, PWT Warszawa, 1956 r.
- [67] Z.Brojer, Z.Hertz, St.Penczek: Żywice epoksydowe, PWT, Warszawa, 1960 r.
- [68] Produkcje omodelowania odlewniczego z żywicy epoksydowej, Kraków, 1960 r.
- [69] Topiony bazalt. Nowe tworzywo. Zakłady Topienia Bazaltu Starachowice, 1956 r.
- [70] Topiony bazalt. Zakłady Topienia Bazaltu, Starachowice, 1959 r.
- [71] E.Szmidt: Wyroby fajansowe, porcelanowe i specjalne. Mechanik Tom II, Cz.2. Warszawa, PWT 1953 r.
- [72] Norma PN/H-04350. Próba twardości metali sposobem Brinella.
- [73] Norma PN/H-04353. Próba twardości metalu sposobem Rockwella.
- [74] Norma PN/H-04360. Próba twardości metali sposobem Vickersa.
- [75] Norma PN/C-04250. Guma. Pomiar elastyczności metodą Shore a.
- [76] PN/H-04356. Tablice porównawcze twardości Brinella, Rockwella i Vickersa - dla metali.
- [77] A.Olaszek: Guma. Mechanik, Tom II, Cz.2, PWT Warszawa, 1953 r.
- [78] A.Olaszek: Technologia i stosowanie gumy. Mechanik, Tom III, Cz.3 PWT - Warszawa, 1956 r.
- [79] A.Olaszek: Zarys metod badań gumy i wyrobów gumowych PWT - Warszawa, 1954 r.
- [80] G.Izrajelit: Miechaniczeskije ispytaniija rieziny i kauczuka. Goschimizdat, Moskwa, Leningrad, 1949 r.
- [81] W.Łiepietow. Proizwodstwo riezinowych tiechniczeskich izdzielij. Goschimizdat, Moskwa, Leningrad, 1947 r.
- [82] W.Kalwinyj: Niemietaliczeskije materiały, ich obrabotka i primienieniije, Goschimizdat, Moskwa, 1949 r.

- [83] M. Zarzycki: Pompy, biuletyn techniczny ZKMPW Gliwice, 1960 r.
- [84] M. Zarzycki: Nowe kierunki w konstrukcji i budowie pomp dla hydraulicznego transportu węgla. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej - Energetyka, Gliwice, 1960 r.
- [85] M. Zarzycki: Badanie zasilaczy tłokowych i obrotowych do hydraulicznego transportu węgla. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej - Energetyka, Gliwice, 1960 r.
- [86] Pompy - Katalog - poradnik, WGH, Katowice, 1960 r.

**Эрозивная истираемость роторов центробежных насосов
в зависимости от применяемого материала**

Резюме

В труде поданы результаты исследований по эрозивной истираемости роторов центробежных насосов, предназначенных для транспорта механически загрязненных жидкостей. Так как до настоящего времени нет стандартного метода исследований, установлено собственный метод. Исследования были проведены на лабораторных устройствах с использованием насосов, производимых серийно, применяя условия, очень близкие условиям нормальной эксплуатации. К исследованиям были приняты четыре определенных типа роторов. Для всех исследований материалов были приняты одинаковые условия исследований относительно рода частиц твердого вещества взвешенного в воде, концентрации и продолжительности исследований.

С целью определения податливости исследуемых материалов на эрозивную истираемость были учтены два показателя, средний массовый показатель эрозивной истираемости $K_{1/8s}$ (формула 2), а также средний объемный показатель эрозивной истираемости $L_{1/8s}$ (формула 4).

Следует подчеркнуть, что для оценки материалов на эрозивную истираемость, ввиду того, что действие ротора зависит от его формы, более рациональным является объемный показатель истираемости. Уменьшение объема является решающим фактором влияющим на ухудшение параметров работы насоса.

На основе проведенных испытаний исследуемые материалы распределены в порядке их эрозиестойкости, а также указаны части ротора, подвергаемые, прежде всего, износу.

The erosial abbrasiveness of the impellers of the centrifugal pumps

Summary

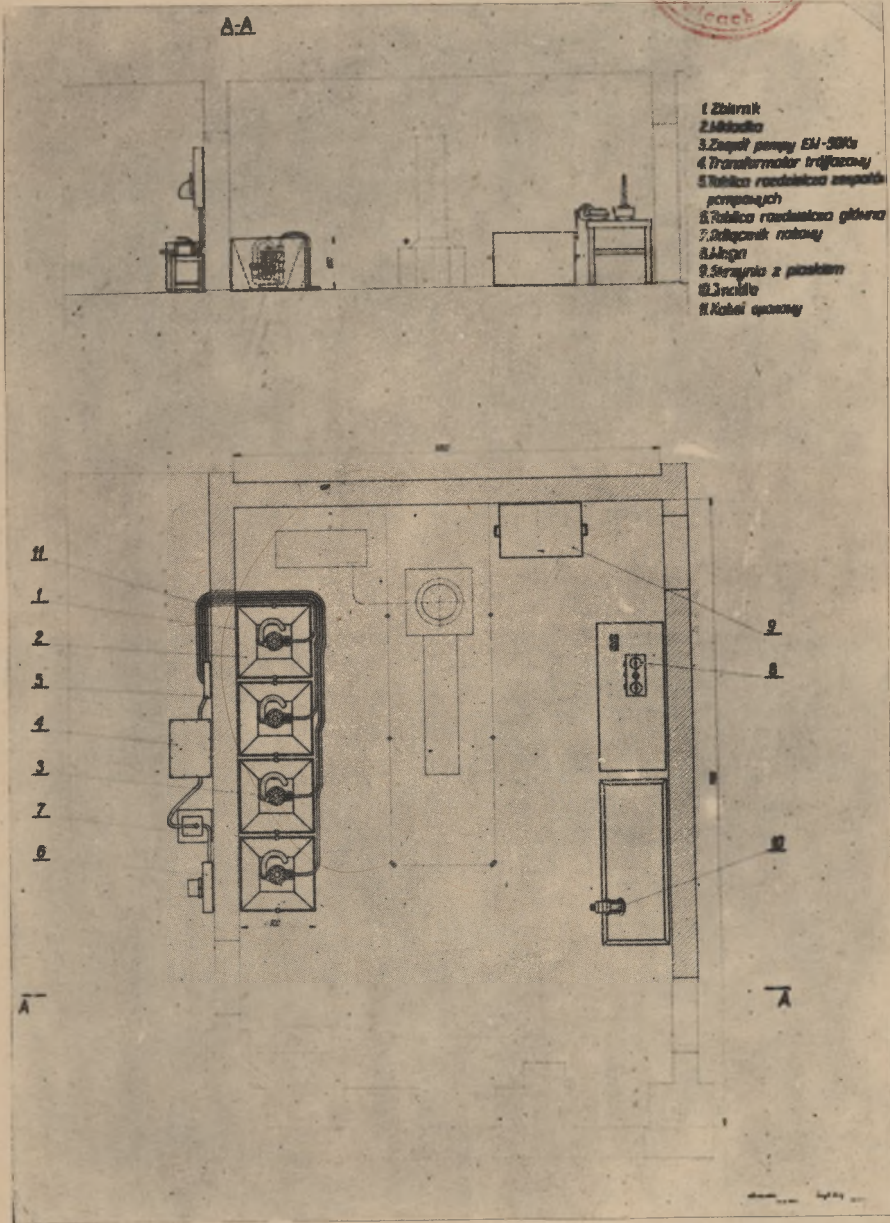
The paper presents the results of the investigation upon the erosial abbrasiveness of the centrifugal pumps transporting the liquids with the solids in suspension. Because of lack of normalised method of investigation, the own method is performed.

The experiments were conducted by means laboratory equipment using the serial produced pumps in similar conditions as in the normal maintenance. The four types of impellers were accepted. Any investigated material was proved in identical conditions of the solids siz in suspension, concentration of the solids in water and the time of the experiment.

Two coefficient are proposed to determine the property of erosial abbrasiveness: the medial mass coefficient of erosial abbrasiveness $K_{/B_s}$ (formula 2) and medial volumen coefficient of erosial abbrasiveness $L_{/B_s}$ (formula 4).

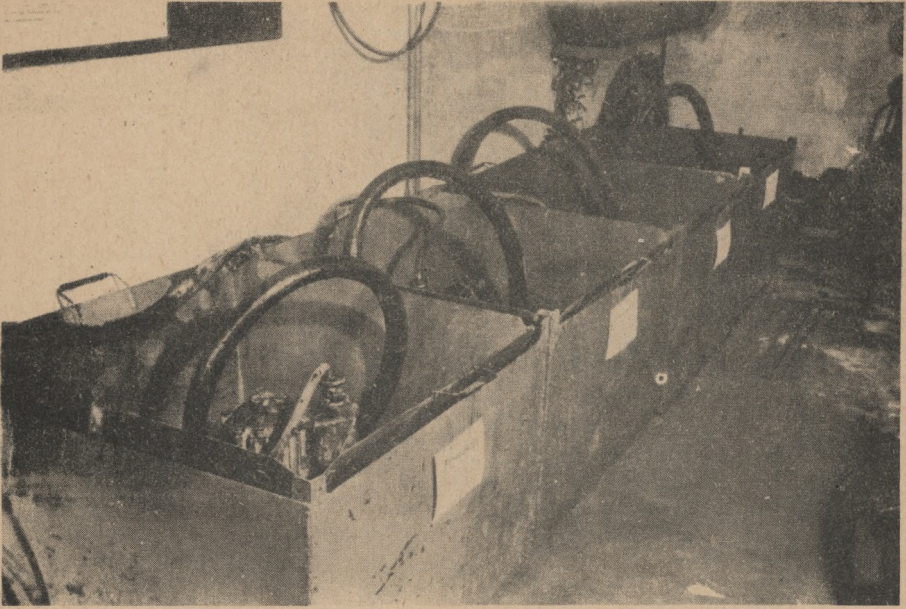
It should be stressed that for the proper estimation of erosial abbrasiveness of impellers more valuable is the volumetric coefficient, because the action of the impeller mainly depends on its form. The change of the form of impeller greatly influences the work of the centrifugal pump.

In this research work all proved materials are systematized and also the parts of the impellers mainly affected by erosial abbrasiveness are indicated.

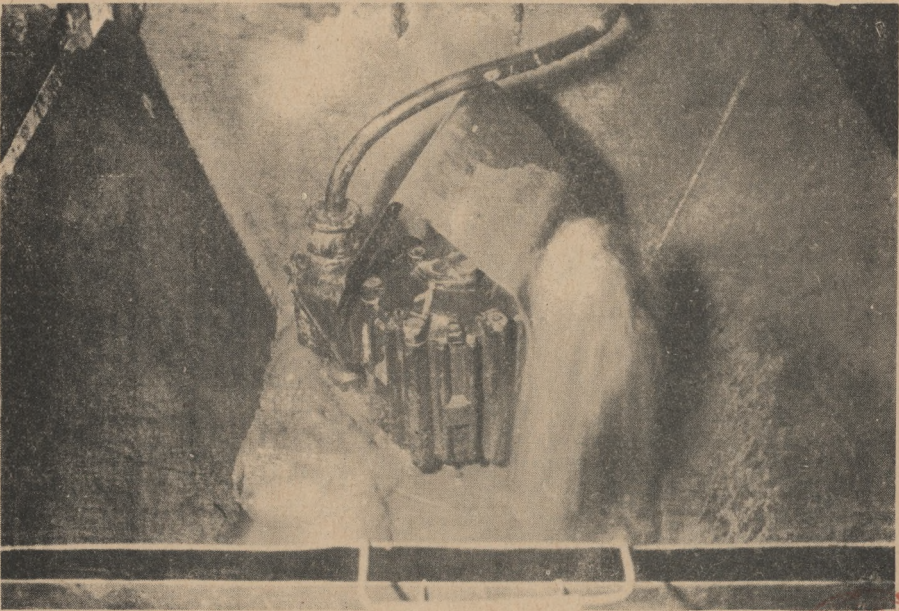


- 1 Zbiornik
- 2 Miernik
- 3 Zasilacz prądu EM-500
- 4 Transformator trójfazowy
- 5 Tablica rozdzielcza zespołu pomiarowego
- 6 Tablica rozdzielcza główna
- 7 Odłącznik natężenia
- 8 Miernik
- 9 Skrzynka z płaskim
- 10 Ścianki
- 11 Kable pomiarowe

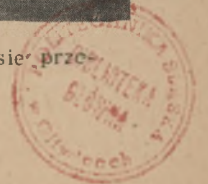
Rys. 1. Instalacja badawcza do badań ścieralności erozyjnej wirników

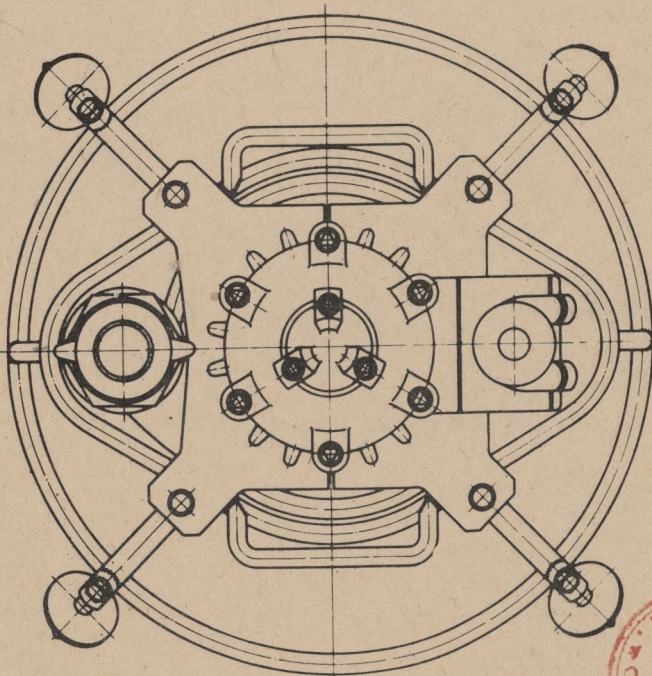
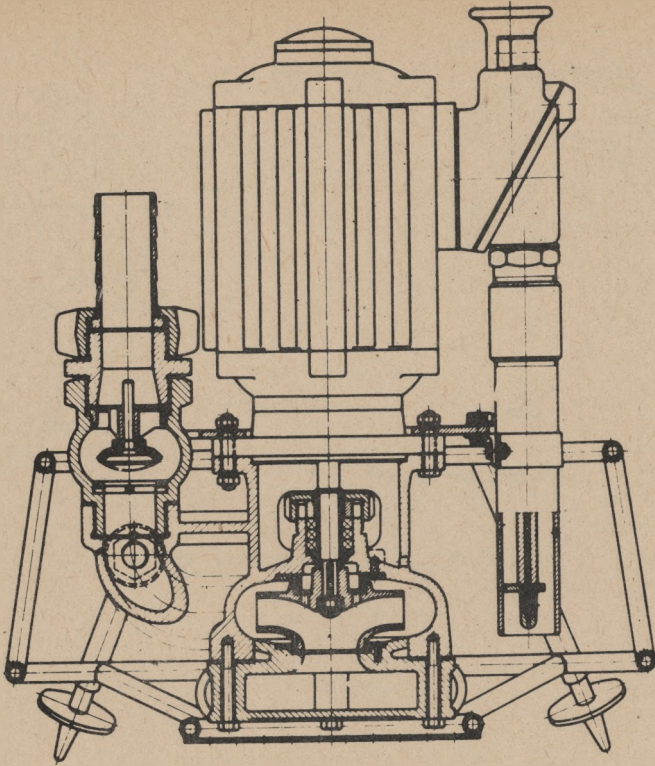


Rys. 2. Instalacja badawcza, stanowiska pomp EW-50



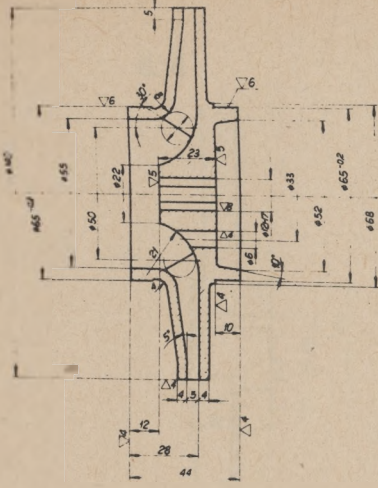
Rys. 3. Instalacja badawcza stanowiska pompy EW-50 w czasie prze-
prowadzania eksperymentów



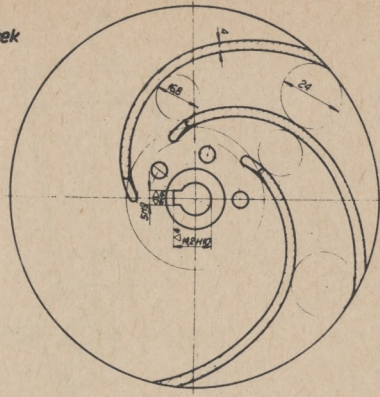


Rys. 4. Pompa wirowa odśrodkowa, jednostopniowa EW-50





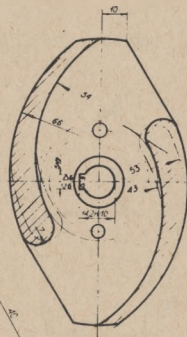
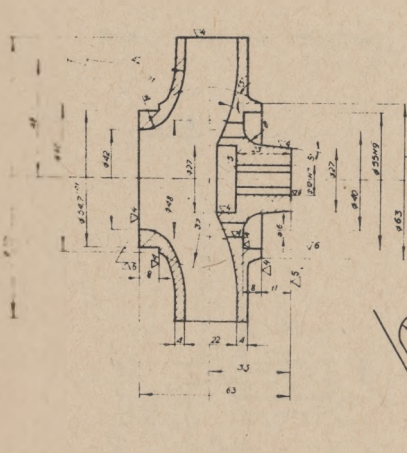
5 łopatek



Wirnik wyważyc statycznie



Rys. 5. Wirnik łopatkowy pompy EW-50

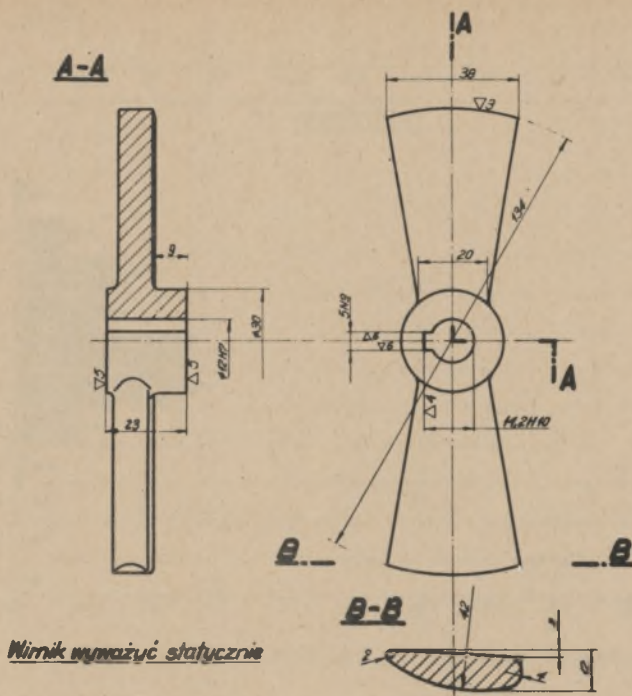


Wirnik wyważyc statycznie

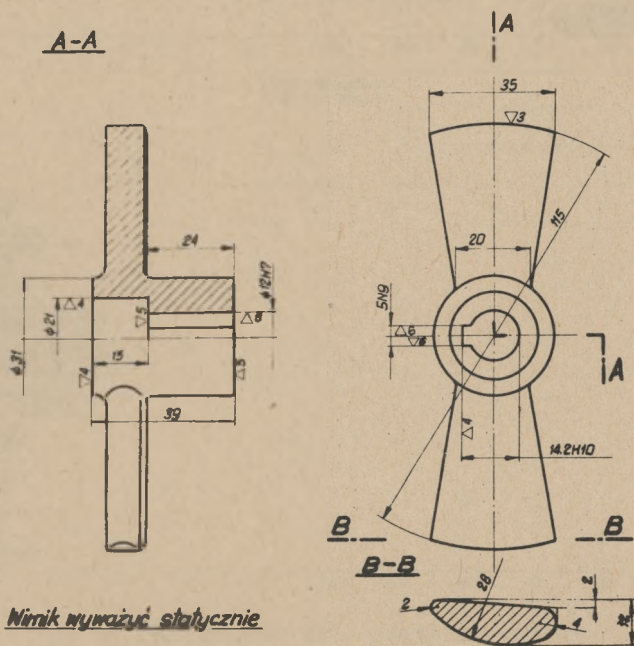


Rys. 6. Wirnik kanałowy pompy EW-50



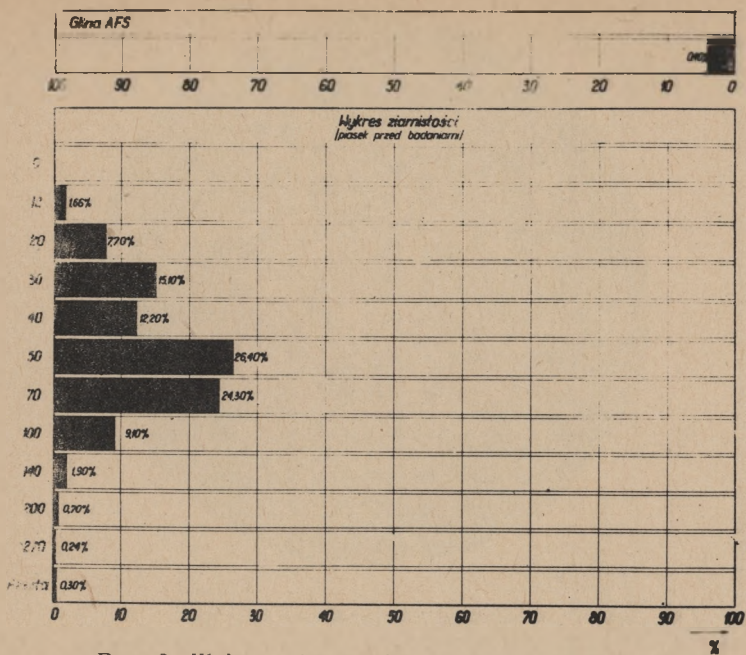


Rys. 7. Wirnik śmigłowy, $D_1 = 134$ mm, pompy EW-50

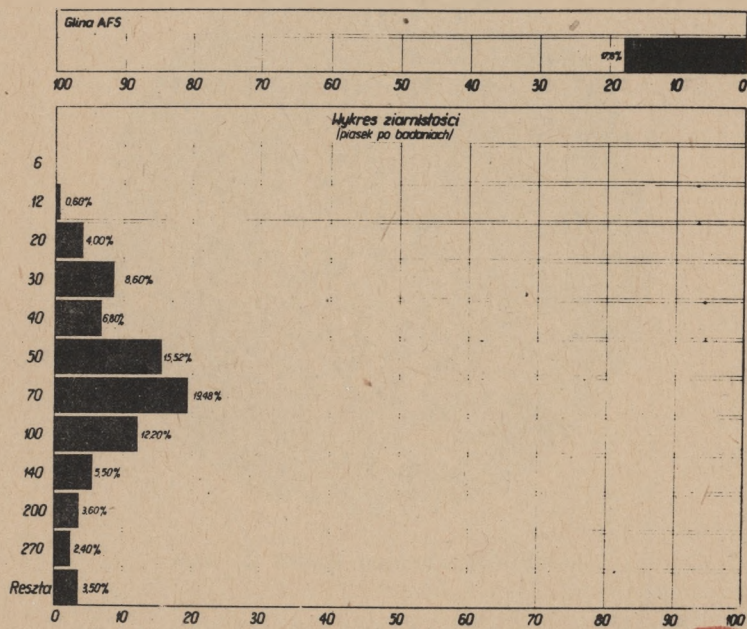


Rys. 8. Wirnik śmigłowy, $D_1 = 115$ mm, pompy EW-50



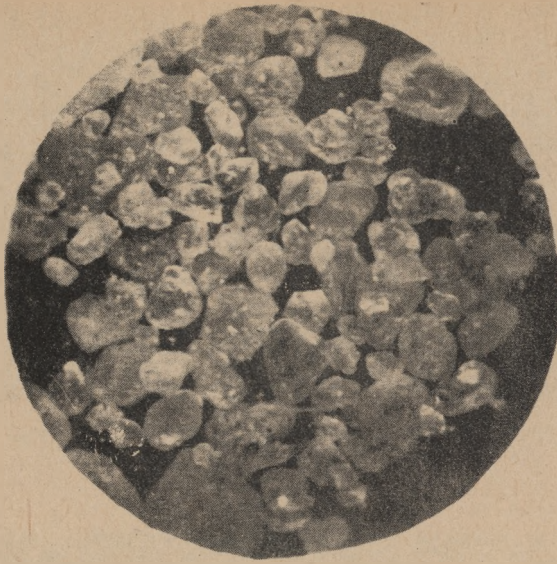


Rys. 9. Wykres ziarnistości piasku przed badaniami

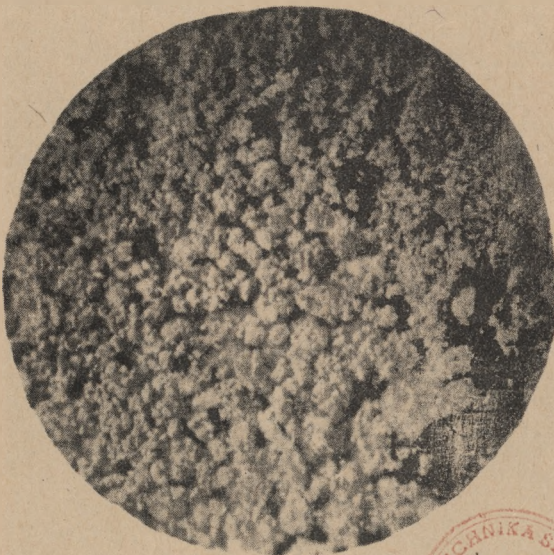


Rys. 10. Wykres zianistości piasku po badaniami

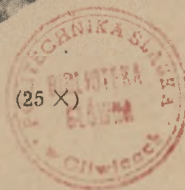


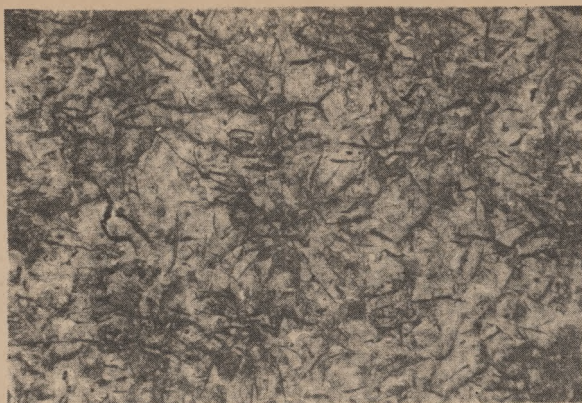


Rys. 11. Piasek przed badaniami (25 X)



Rys. 12. Piasek po badaniach (25 X)

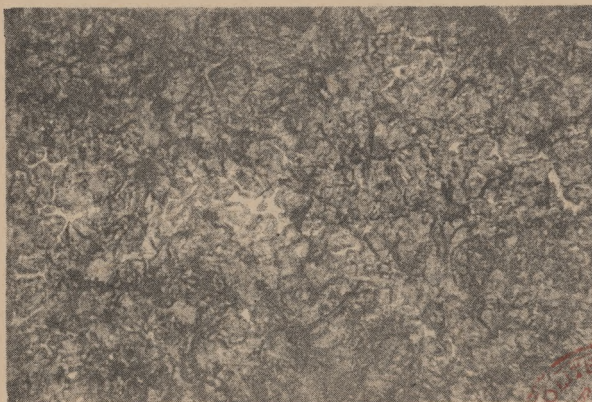




Rys. 13. Materiał 1. Żeliwo szare Żl. 18 (100 X)

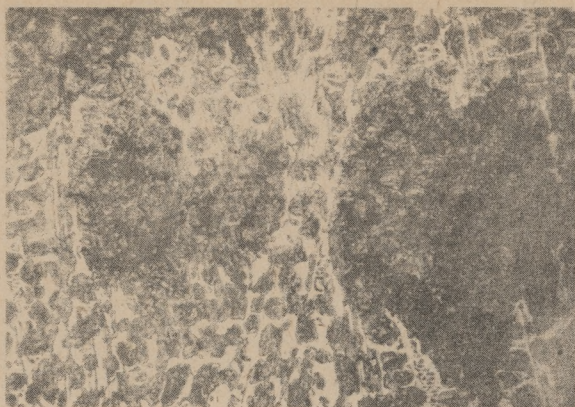


Rys. 14. Materiał 2. Żeliwo szare Żl. 22 (100 X)

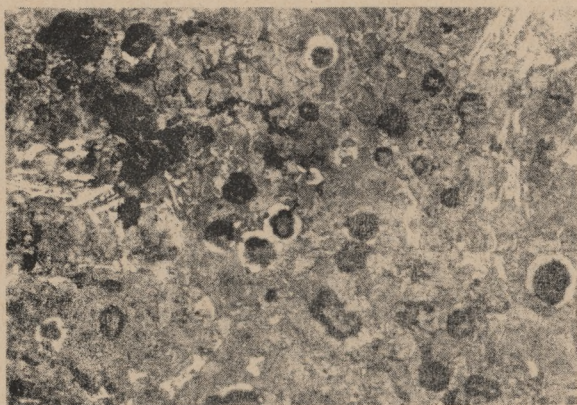


Rys. 15. Materiał 3. Żeliwo szare Żl. 26 (100 X)

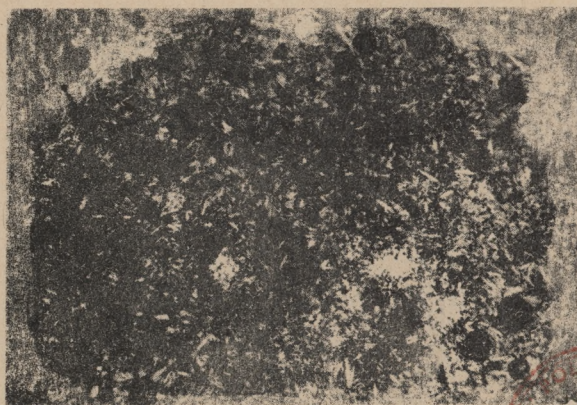




Rys. 16. Materiał 4. Żelazo szare Żl. 30 (100 ×)

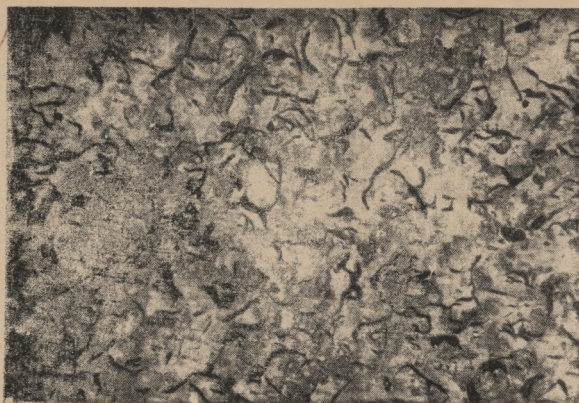


Rys. 17. Materiał 5. Żelazo sferoidalne ŻsP-55f (100 ×)



Rys. 18. Materiał 6. Żelazo sferoidalne ŻsP-55f
po obróbce cieplnej (100 ×)

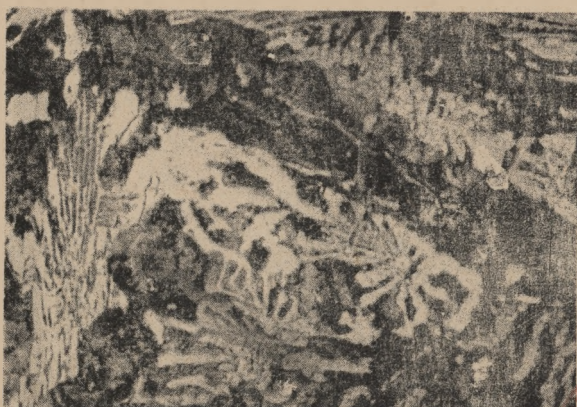




Rys. 19. Materiał 7. Zeliwo szare Zl. 18 (100 X)



Rys. 20. Materiał 8. Zeliwo krzemowe (500 X)



Rys. 21. Materiał 9. Zeliwo niskostopowe chromowe Zl. Cr. 1 (500 X)





Rys. 22. Materiał 10. Zeliwo wysokochromowe (500 X)



Rys. 23. Materiał 11. Staliwo 45 L (500 X)



Rys. 24. Materiał 12. Staliwo STP (500 X)

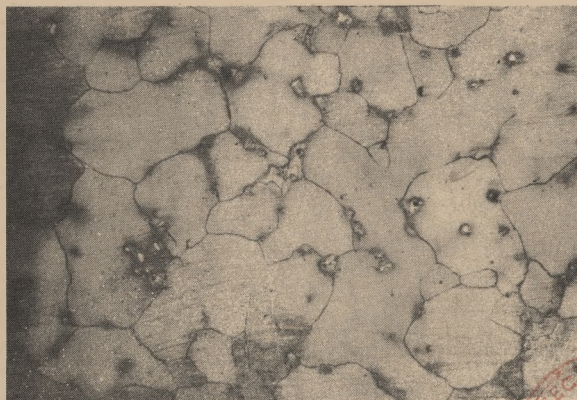




Rys. 25. Materiał 13. Staliwo ST 1 (500 ×)



Rys. 26. Materiał 14. Staliwo Hadfielda G. 14 L (100 ×)



Rys. 27. Materiał 15. Staliwo Hadfielda G. 14
po obróbce cieplnej (100 ×)

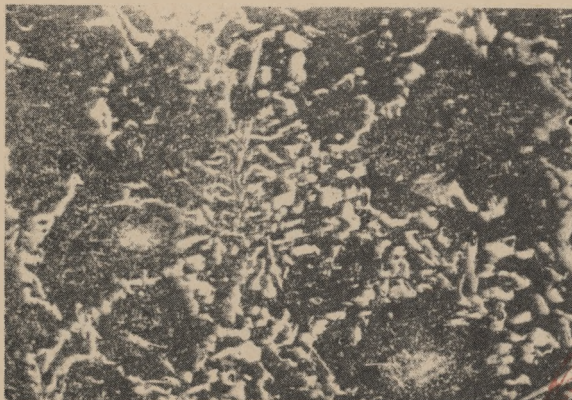




Rys. 28. Materiał 16. Staliwo wysokomanganowe (500 X)



Rys. 29. Materiał 17. Staliwo wysokochromowe LH 17 (100 X)

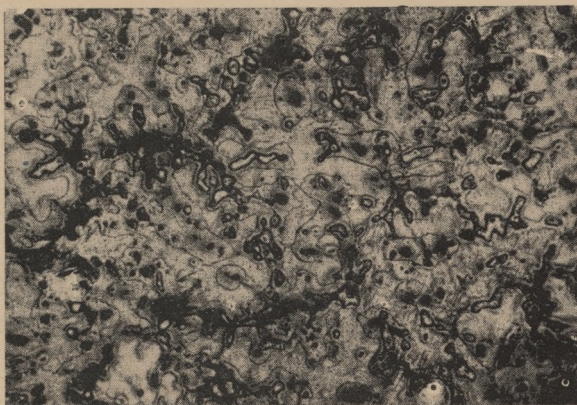


Rys. 30. Materiał 18. Staliwo wysokochromowe (500 X)

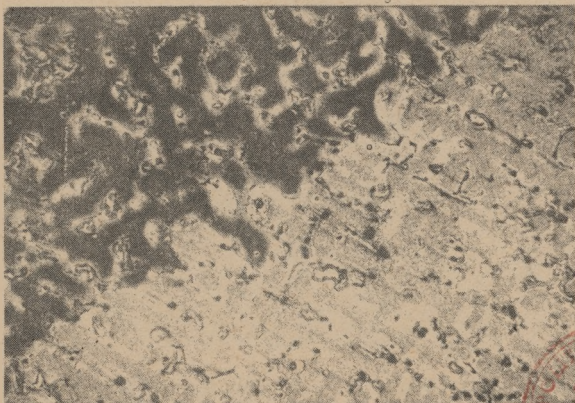




Rys. 31. Materiał 19. Brąz B 101 (100 X)



Rys. 32. Materiał 20. Brąz B 555 (100 X)

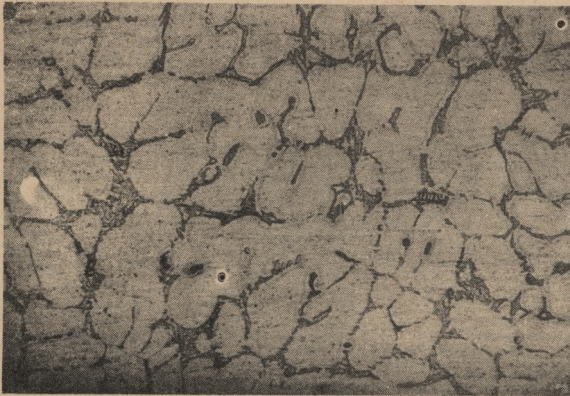


Rys. 33. Materiał 21. Brąz BK 331 (100 X)

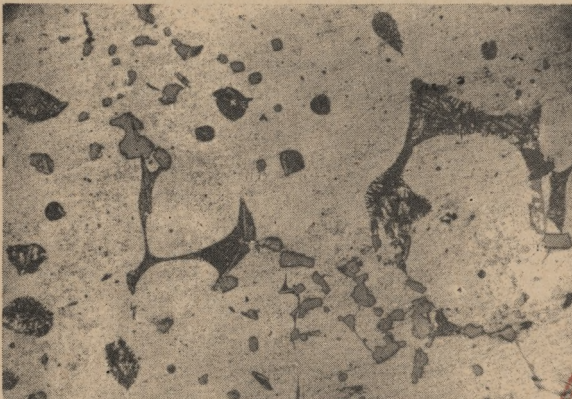




Rys. 34. Materiał 22. Brąz specjalny (100 X)



Rys. 35. Materiał 23. Silumin LA4 (100 X)

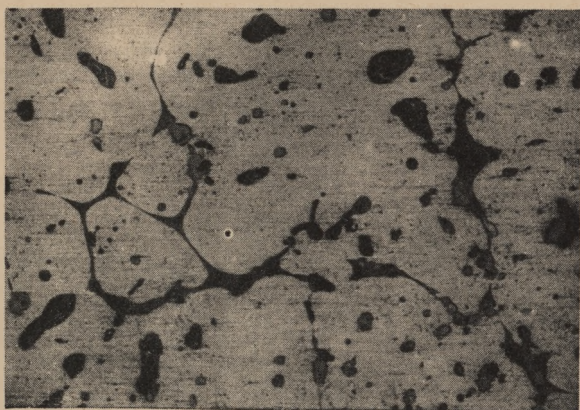


Rys. 36. Materiał 24. Silumin LA4 po obróbce cieplnej (100 X)



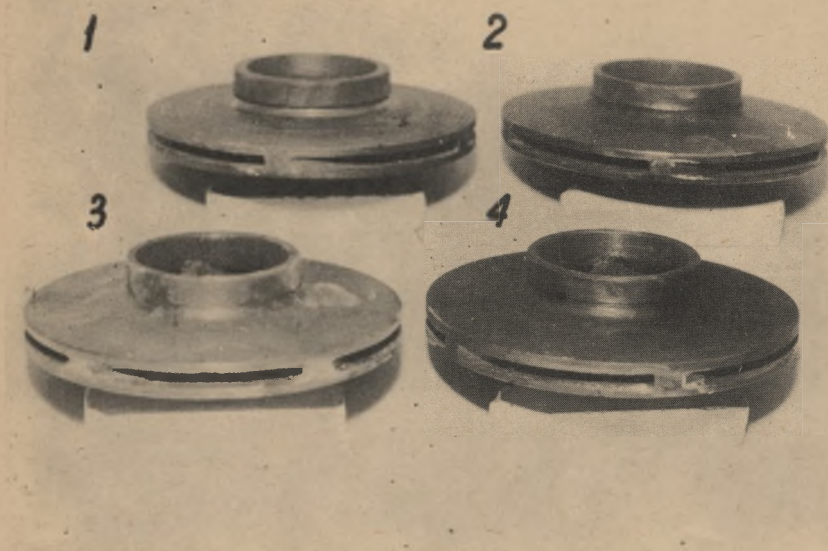


Rys. 37. Materiał 25. Silumin specjalny RR 53 c (100 X)



Rys. 38. Materiał 26. Silumin specjalny RR 53 c
po obróbce cieplnej (100 X)



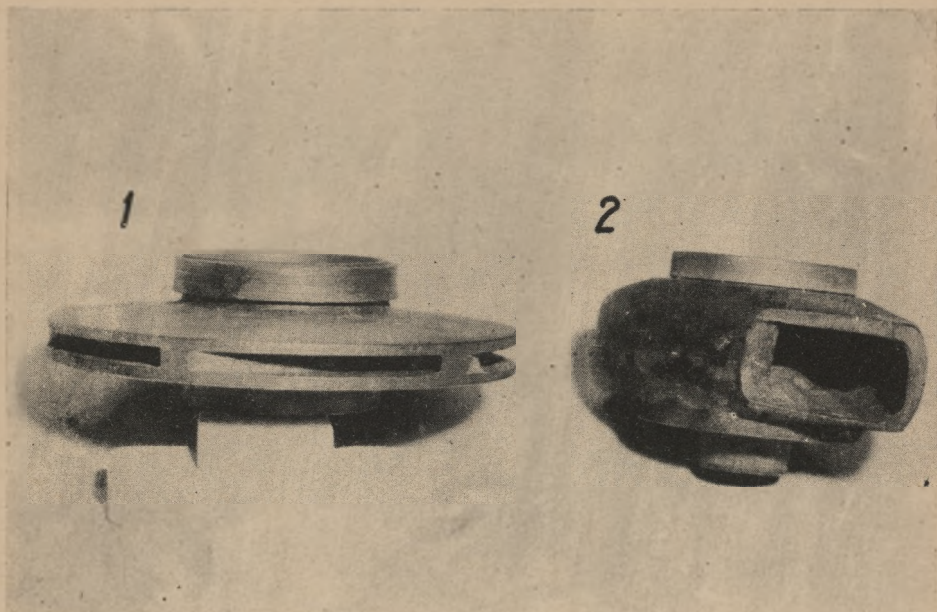


Rys. 39. Badania w laboratorium. Wirniki łopatkowe wykonane z żeliwa wysokochromowego (po 6 godz.), z żeliwa niskochromowego Żl. Cr 4 (po 6 godz.), z żeliwa szarego Żl 30 (po 6 godz.) i ze staliwa wysokochromowego LH 17 (po 6 godz.)

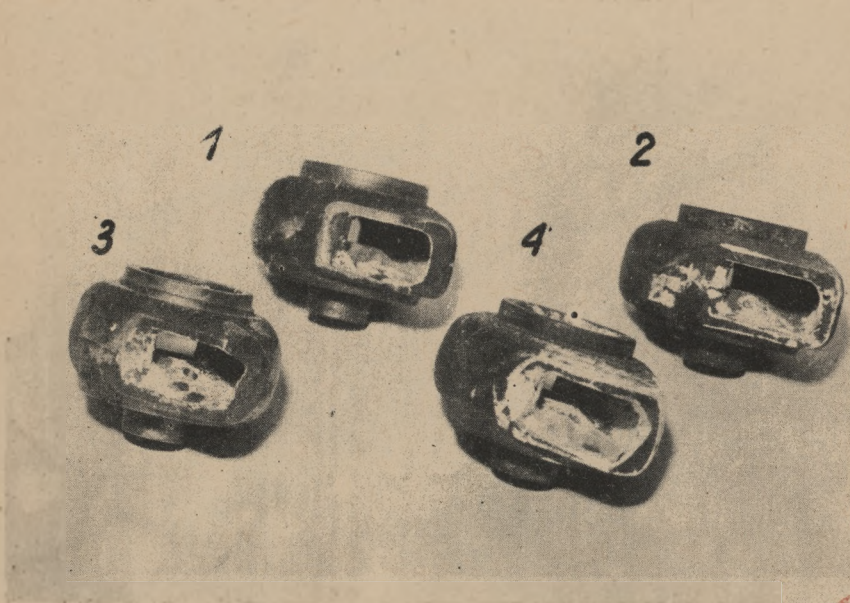


Rys. 40. Badania w laboratorium. Wirnik łopatkowy odlany z żeliwa szarego Żl. 18 (po 9 godz.)

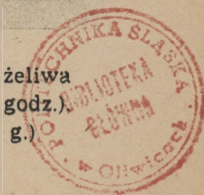


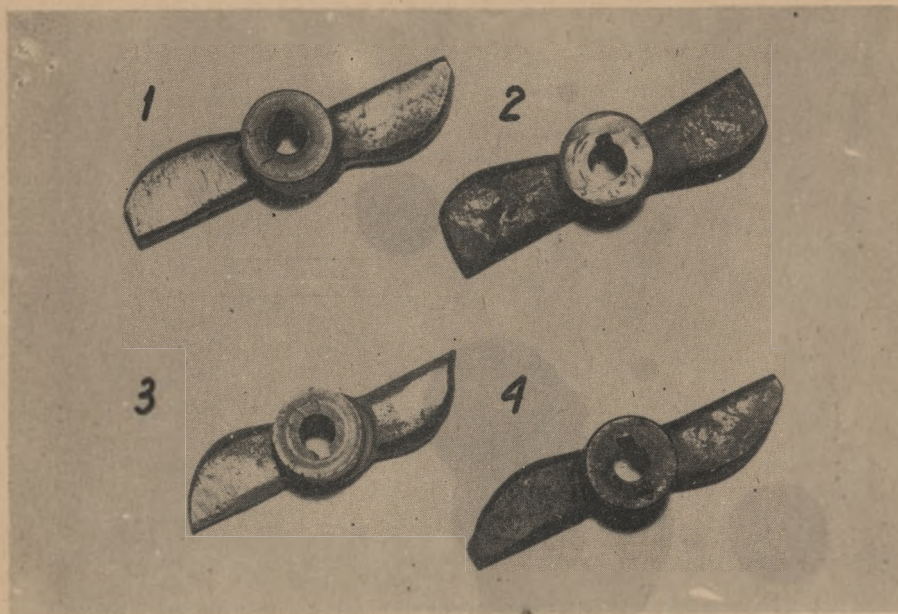


Rys. 41. Badania w laboratorium. Wirniki: łopatkowy i kanałowy wykonane z porcelany (po 3 godz.) i z brązu BK 331 (po 3 godz.)

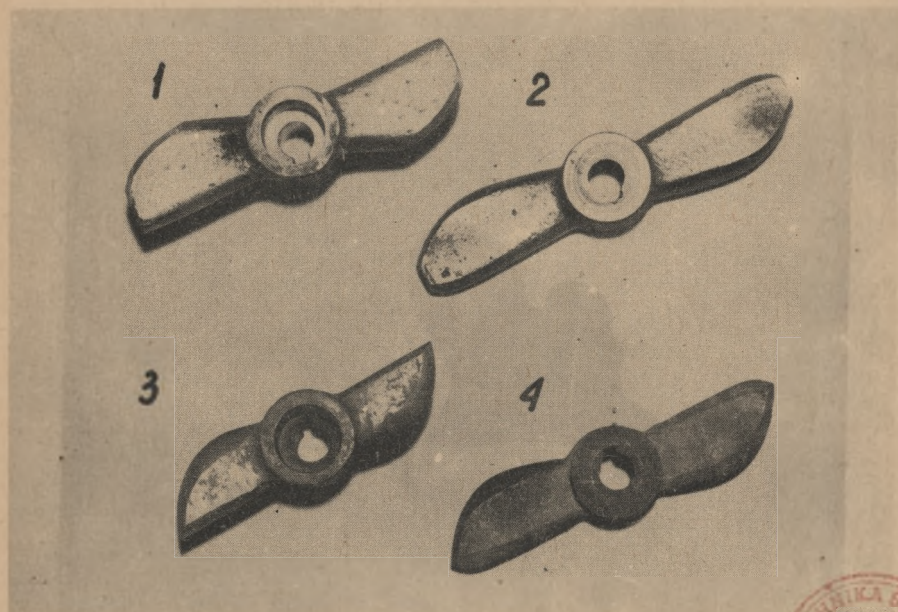


Rys. 42. Badania w laboratorium. Wirniki kanałowe odlane z żeliwa wysokochromowego (po 24 godz.), ze staliwa manganowego (po 12 godz.) z brązu B 555 (po 12 godz.) i z żeliwa szarego Żl. 22 (po 12 g.)



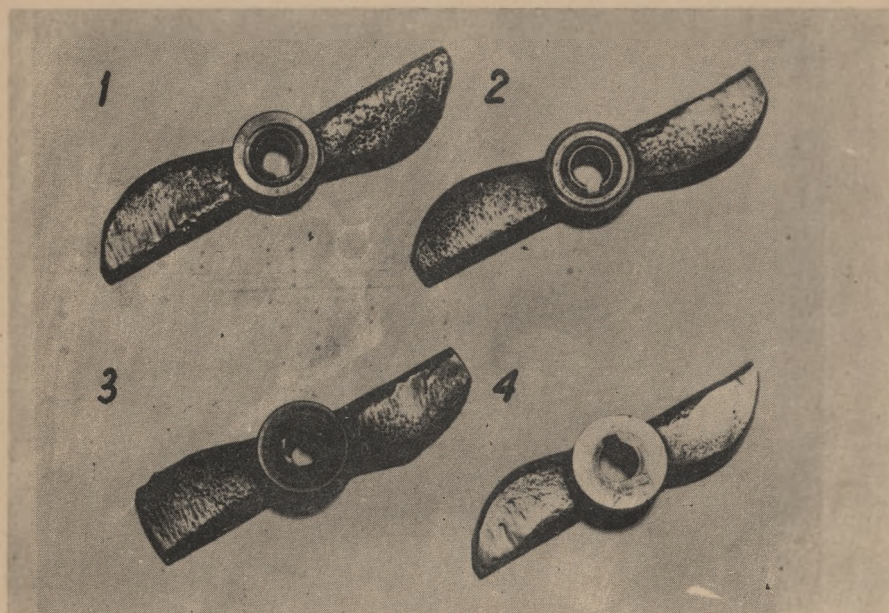


Rys. 43. Badania w laboratorium. Wirniki śmigłowe wykonane z żeliwa sferoidalnego ZsP — 55f (po 16 godz.), z żeliwa niskochromowego ŻlCr 4 (po 23 godz.), z silumin LA 4 (po 3 godz.) i ze staliwa 45 L (po 12 godz.)

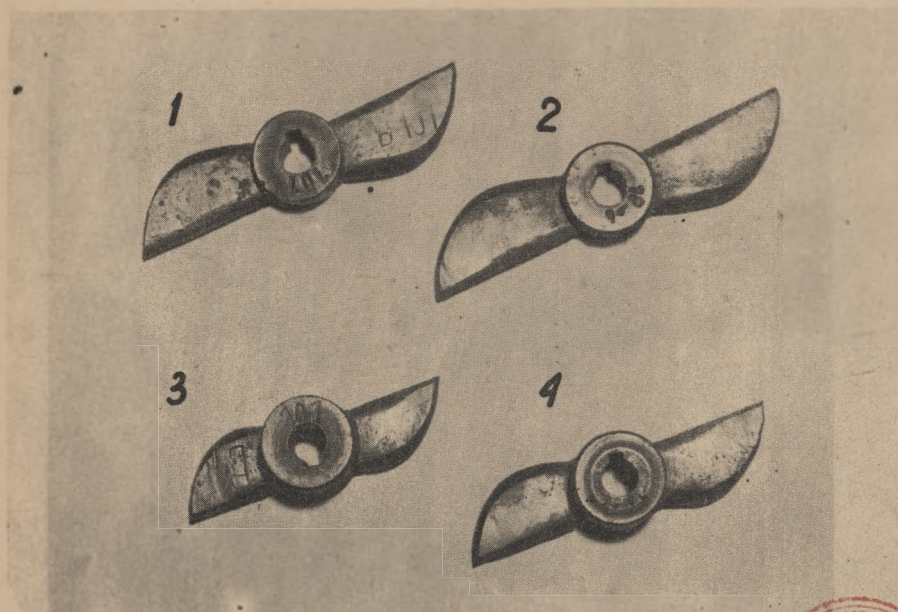


Rys. 44. Badania w laboratorium. Wirniki śmigłowe odlane ze staliwa STP (po 12 godz.), ze staliwa wysokochromowego (po 12 godz.) z siluminu specjalnego RR 53 c (po 3 godz.) i ze staliwa Hadfielda G 14 L (po 12 godz.)

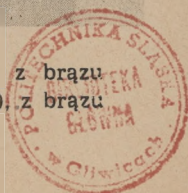


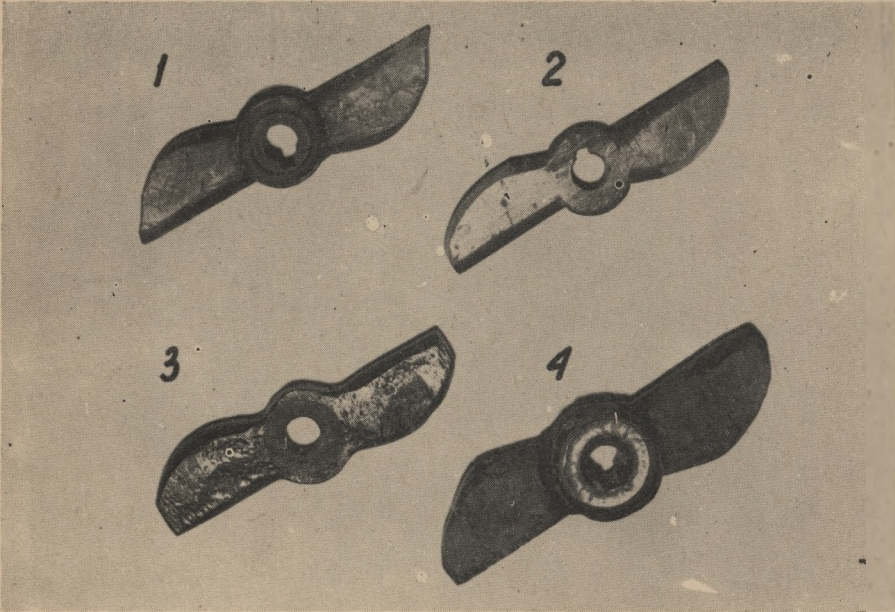


Rys. 45. Badania w laboratorium. Wirniki śmigłowe wykonane ze staliwa ST 1 (po 9 godz.), ze staliwa wysokochromowego G 14 L (po 12 godz.), z żeliwa wysokochromowego (po 24 godz.) i z żeliwa szarego Żl. 26 (po 6 godz.)

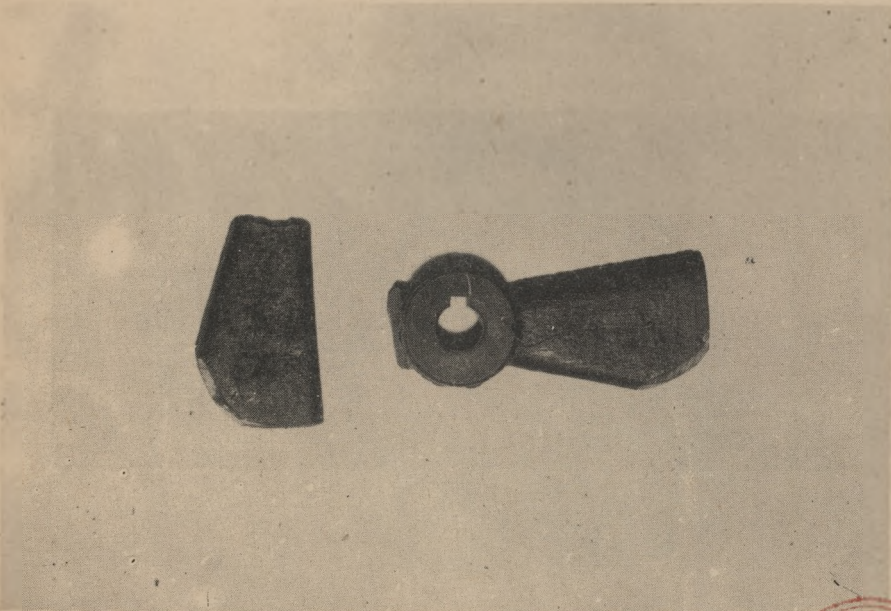


Rys. 46. Badania w laboratorium. Wirniki śmigłowe odlane z brązu B 101 (po 6 godz.), ze staliwa wysokochromowego (po 15 godz.) B 101 (po 12 godz.) i z brązu B 555 (po 8 godz.)

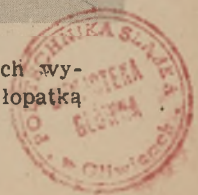


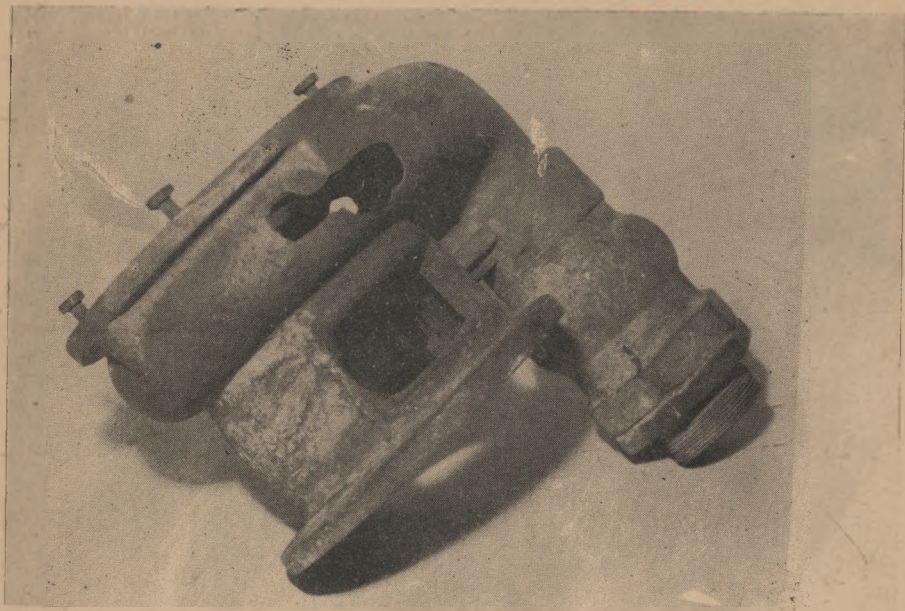


Rys. 47. Badania w laboratorium. Wirniki śmigłowe wykonane z żywicy epoksydowej (po 3 godz.) z żeliwa szarego z powłoką ochronną ze stylonu (po 14 godz.), z bazaltu (po 21 godz.), z żeliwa szarego z powłoką ochronną z gumy (po 20 godz.)



Rys. 48. Badania w laboratorium. Jeden z wirników śmigłowych wykonany z żywicy epoksydowej (po 3 godz. i 13 min.) z odłamana łopatką w czasie eksperymentów

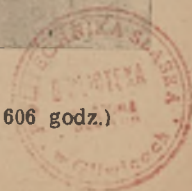


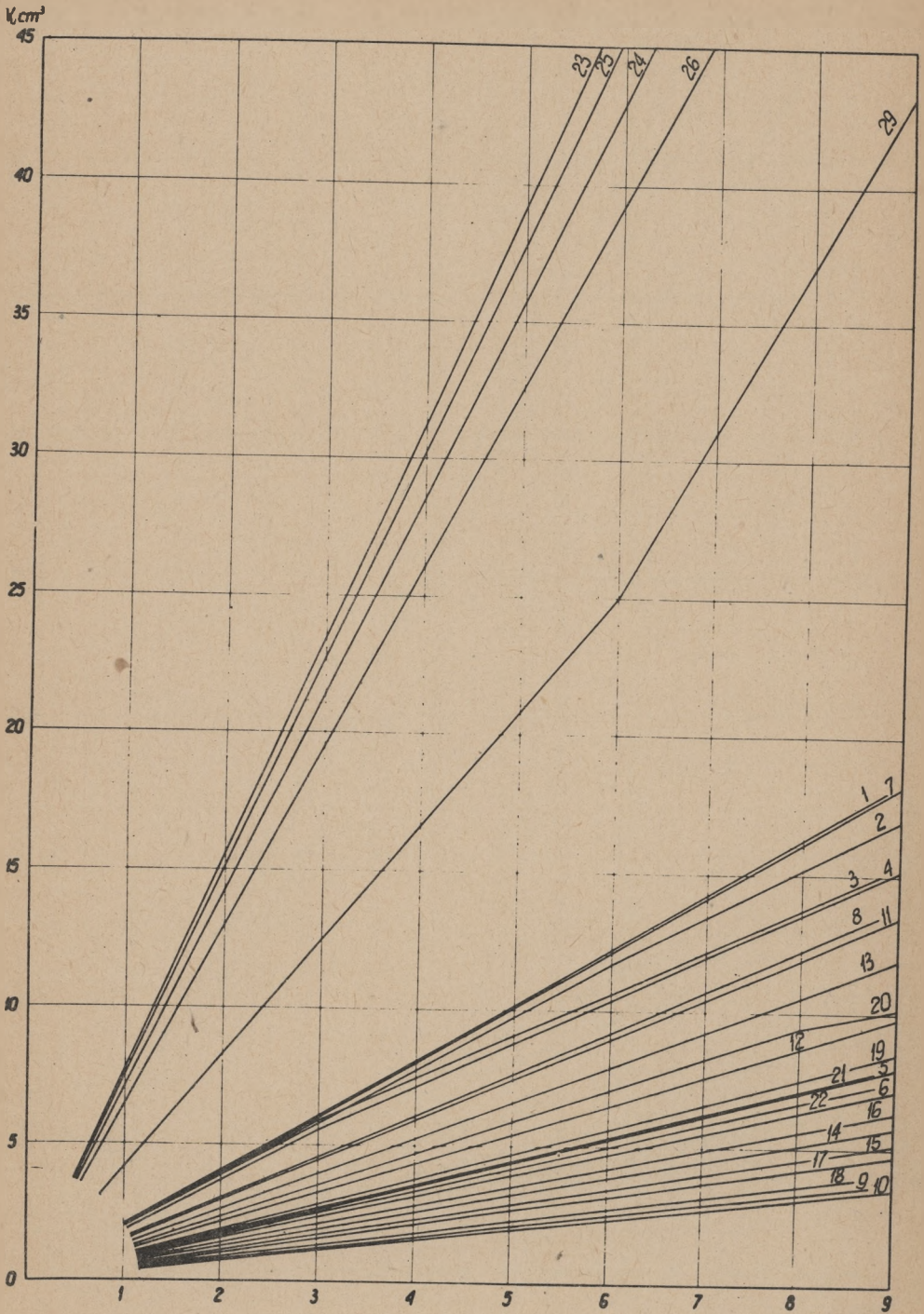


Rys. 49. Badania w laboratorium. Kadłub pompy EW-50 (po 396 godz.)



Rys. 50. Badania w laboratorium. Kadłub pompy EW-50 (po 606 godz.)

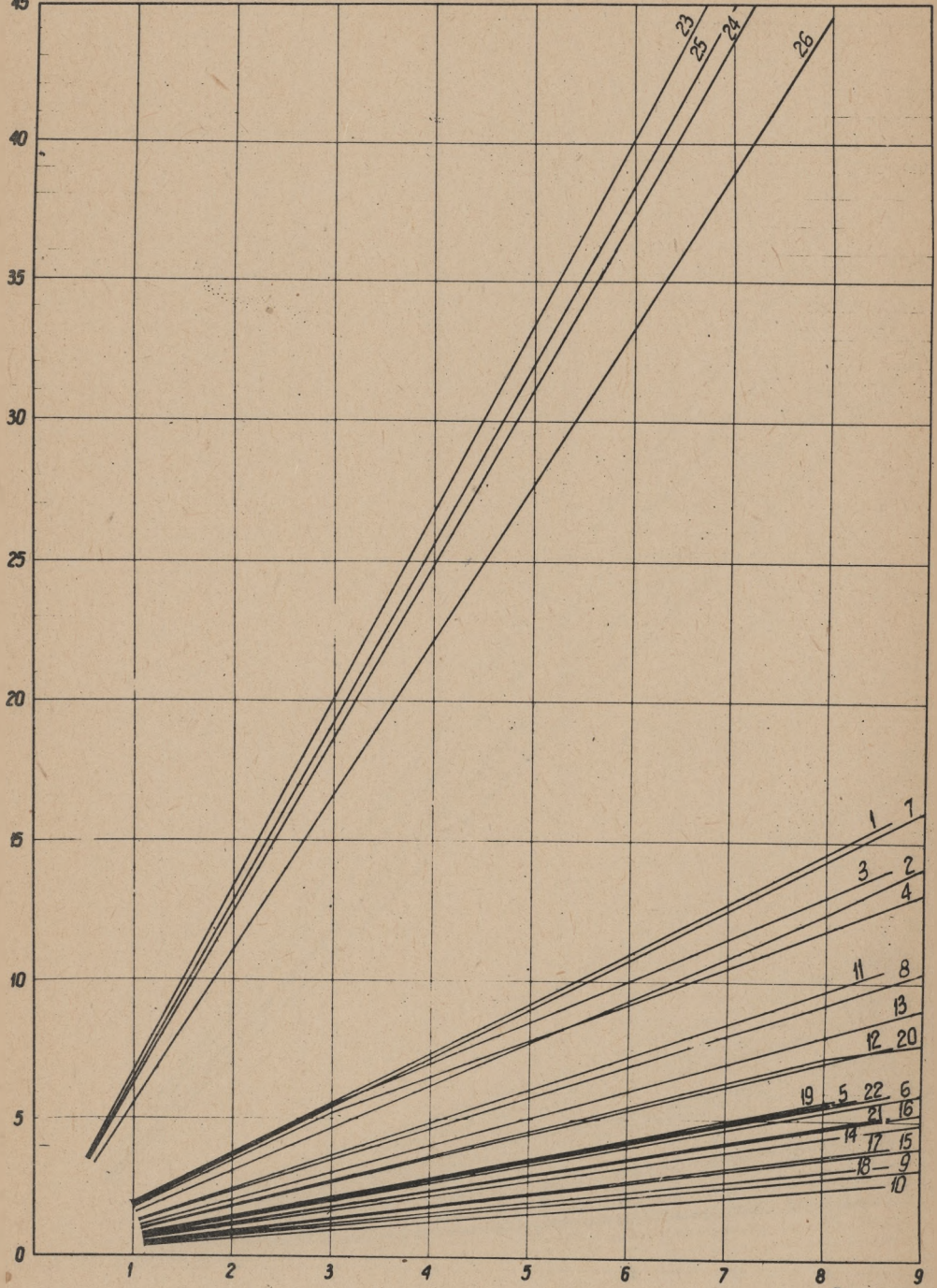




Rys. 51. Wykres zbiorczy $V_u = f(\tau)$ dla wirników łopatkowych



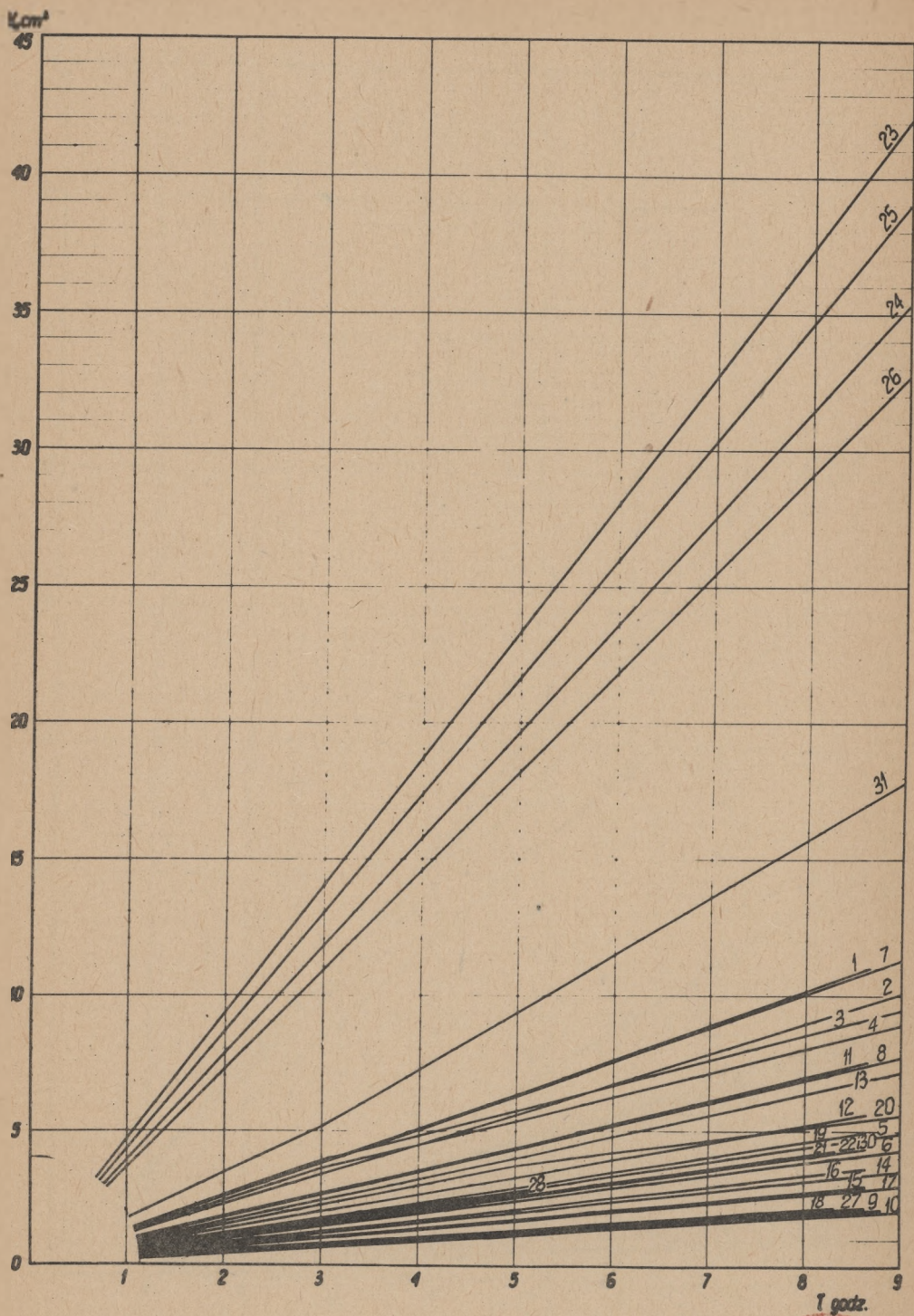
V_c, cm^3



7 godz

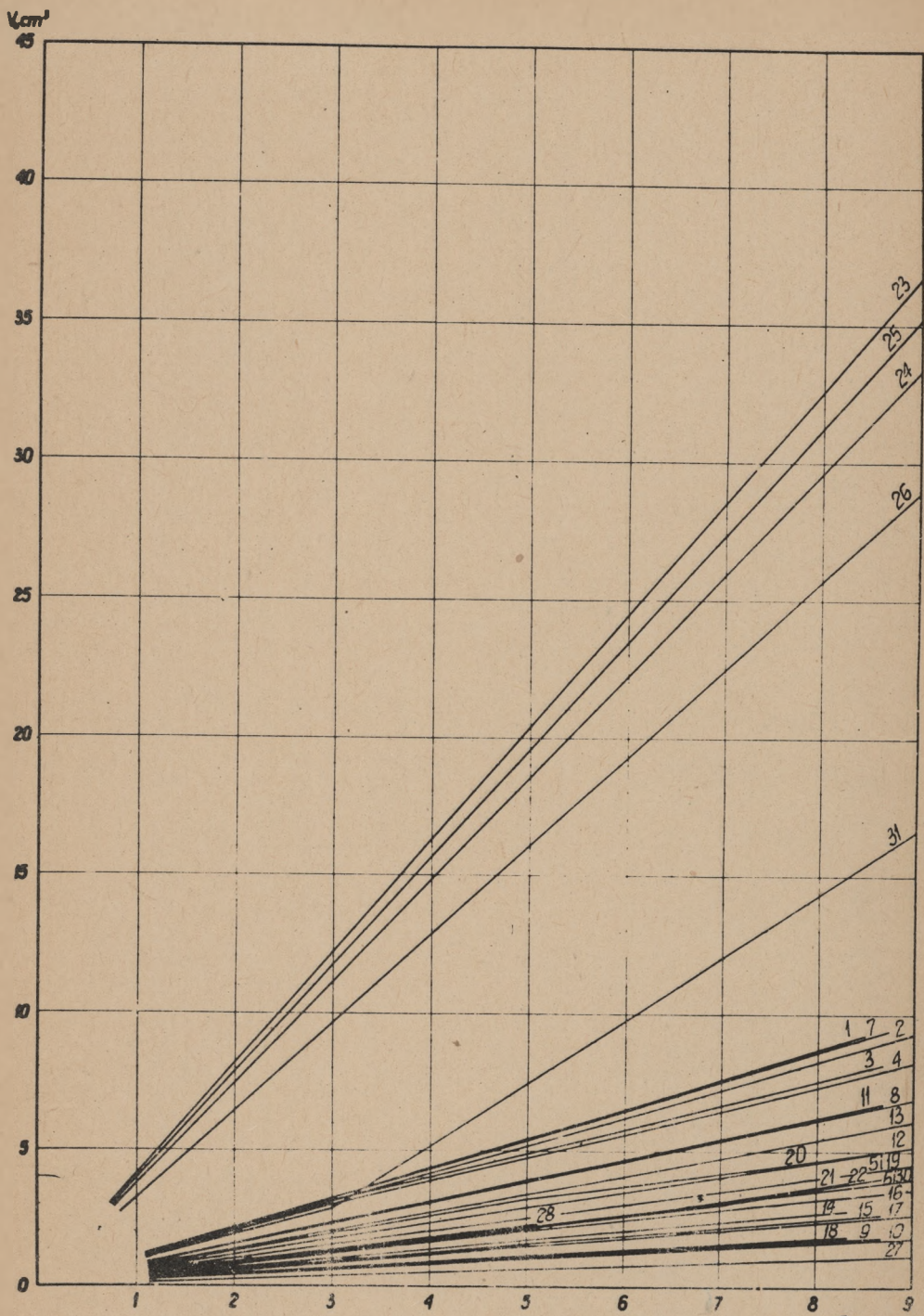
Rys. 52. Wykres zbiorczy $V_c = f(\tau)$ dla wirników kanałowych



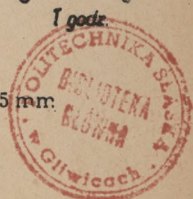


Rys. 53. Wykres zbiorczy $V_u = f(\tau)$ dla wirników śmigłowych $D_z = 134 \text{ m}$





Rys. 54. Wykres zbiorczy $V_u = f(\tau)$ dla wirników śmigłowych $D_z = 115$ mm.



BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Politechniki Śląskiej

P3349 | 6A

