

Maciej ZARZYCKI, Edward ŻUKOWSKI
Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych

PRACE KONSTRUKCYJNO-BADAWCZE NAD POMPAMI WIROWYMI
DLA HYDRAULICZNEGO TRANSPORTU WĘGLA

Streszczenie. W opracowaniu przedstawiono w dużym skrócie wyniki wieloletnich prac badawczych, teoretycznych i doświadczalnych dotyczących transportu hydraulicznego ciał stałych (drobno- i gruboziarnistych) oraz prac projektowo-konstrukcyjnych, które umożliwiły opracowanie szeregu typów pomp, obecnie stosowanych w kopalniach. W publikacji podano ponadto stwierdzenia, które mogą być wykorzystane przy projektowaniu układów transportu pompowego wewnątrzzakładowego bądź magistralnego.

1. Wstęp

Transport hydrauliczny węgla może być technicznie rozwiązany jako bezciśnieniowy (beznaporowy) za pomocą koryt spławnych bądź rurociągów, bądź jako transport ciśnieniowy (naporowy) za pomocą pomp i rurociągów względnie pomp, zasilaczy i rurociągów.

Transport hydrauliczny bezciśnieniowy w kopalniach węgla może być realizowany od przodków górniczych do zbiorników, z których dalsza odstawa jest dokonywana środkami mechanicznymi bądź hydraulicznymi.

Transport hydrauliczny ciśnieniowy może być stosowany:

- w kopalniach węglębnych bądź odkrywkowych do transportu urobku na powierzchnię, do zakładu przerobczego,
- z zakładu przerobczego do elektrowni ciepłej bądź na miejsce załadunku itp.

Prace badawcze (teoretyczne i doświadczalne) oraz projektowo-konstrukcyjne nad problemem i zagadnieniami transportu hydraulicznego ciał stałych w wodzie były prowadzone w polskim przemyśle węglowym od 1953 r. [1, 2]. Prace te były realizowane w pełnym zakresie i dotyczyły:

- studiów z zakresu transportu hydraulicznego,
- przepływu mieszanin wody i węgla w poziomych i pionowych przewodach rurowowych,
- przepływów mieszanin wody i węgla w pompach wirowych,
- projektowania i konstrukcji pomp wirowych i wyporowych oraz zasilaczy (dawkowników) dla hydraulicznego transportu węgla.

- projektowania instalacji i układów hydrotransportu pionowego i poziomego,
- budowy maszyn i urządzeń do hydraulicznego transportu mieszanin ciał stałych w cieczach,
- wdrożenia hydrotransportu w kopalniach węgla.

Uwzględniając różnorodność możliwych systemów transportu hydraulicznego węgla i związaną z każdym z systemów odmienność wyposażenia maszynowego, w pracach nad zagadnieniem transportu hydraulicznego, brały udział wyższe uczelnie, instytuty naukowe i przemysłowe, fabryki maszyn górniczych i kopalnie.

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej we współpracy z Zakładami Konstrukcyjno-Mechanizacyjnymi Przemysłu Węglowego, Głównym Instytutem Górniczym, Zabrzańską Fabryką Maszyn Górniczych oraz kopalniami (KWK Siarsza, Komuna Paryska) poza badaniami modelowymi nad zasilaczami (dawkownikami) [3,4,5,6] prowadził prace badawczo-konstrukcyjne dotyczące głównie pomp do transportu hydraulicznego węgla [7,8,9,10,11,12].

Ograniczone rozmiary niniejszego opracowania pozwalają jedynie na bardzo skrócone przedstawienie prac dotyczących zagadnienia pompowego, bez możliwości podstawienia szerszej ich analizy.

2. Główne wymagania konstrukcyjne i eksploatacyjne pomp

We wstępnym etapie prac sformułowano zasadnicze wymagania techniczne, jakimi powinny charakteryzować się pompy do hydraulicznego transportu węgla:

- umożliwiać pompowanie mieszaniny wody z węglem o możliwie dużych ziarnach i o znacznej koncentracji mieszaniny na wysokości podnoszenia $H = 50$ do 300 m,
- nie powodować zbyt dużego kruszenia węgla,
- osiągać odpowiednią sprawność,
- posiadać możliwie małe wymiary i ciężar,
- zapewnić bezawaryjną pracę około 20 h/dobę przez co najmniej 5 tys. godzin bez remontu,
- spełniać warunki bezpieczeństwa pracy w warunkach kopalnianych.

3. Konstrukcje, badania i obserwacje pomp wirowych do hydraulicznego transportu węgla

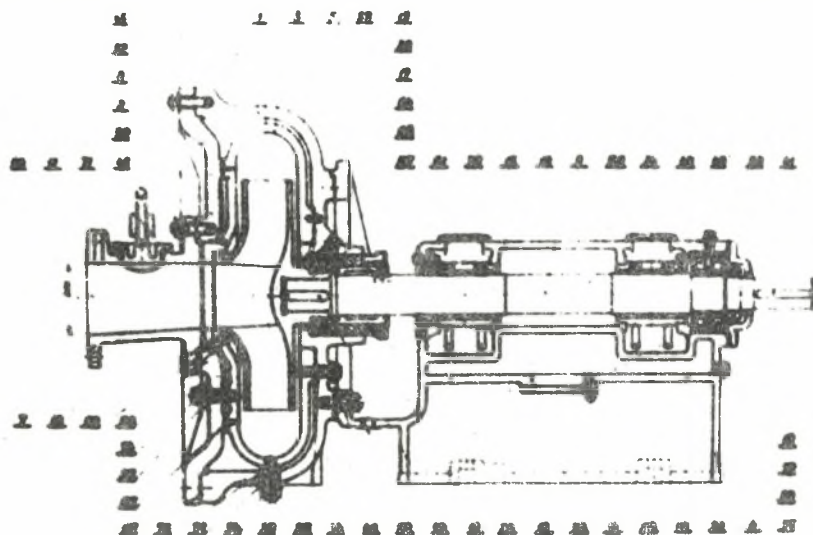
W celu zaspokojenia potrzeb przemysłu węglowego na pompy do hydraulicznego transportu węgla, w oparciu o przeprowadzone badania teoretyczne i doświadczalne, opracowano następujące typy pomp wirowych, które zostały wprowadzone do produkcji:

- WP-200 (1 wielkość),
- PC (3 wielkości),
- WWB (1 wielkość),
- OWB (4 wielkości).

Ponadto zostały opracowane pompy eksperymentalne typu WS-250 i TK-300, jako wykonania jednostkowe.

3.1. Pompy wirowe typu WP-200

Pierwszymi pompami opracowanymi w kraju dla hydraulicznego transportu rozdrobnionego węgla były pompy typu WP-200 (rys. 1). Były to pompy wirowe odśrodkowe jednostopniowe w układzie poziomym z wirnikami dwukanałowymi bądź łopatkowymi i kanałem zbiorczym o stałym przekroju. Pompy te posiadały wykładzinę kadłuba z wymienną ścianką od strony dopływowej.

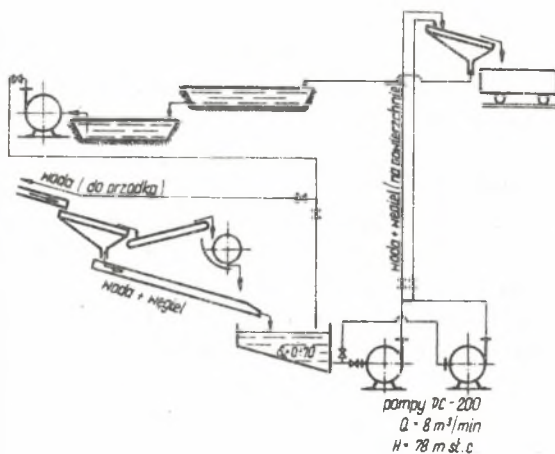


Rys. 1. Pompa wirowa typu WP-200

Parametry pracy: wydajność $Q = 7,5 \text{ m}^3/\text{min}$, wysokość podnoszenia $H=74 \text{ m}$ i prędkość obrotowa $n = 1450 \text{ min}^{-1}$, sprawność $\eta = 57\%$. Pompy typu WP-200 transportowały węgiel o ziarnach $\delta_s = 0$ do 60 mm. W określonych warunkach eksploatacyjnych optymalny stosunek ciężarowy węgla do wody w pompowanej mieszance wynosił 1:4. Pompy eksploatowane były na KWK Komuna Paryska - upadowa Jan (rys. 2) aż do czasu całkowitego wyeksploatowania pokładu.

Przeprowadzone badania laboratoryjne i eksploatacyjne umożliwiły zebranie doświadczeń i obserwacji oraz wyciągnięcie odpowiednich wniosków dotyczących zagadnień konstrukcyjnych, technologicznych, materiałowych itp.

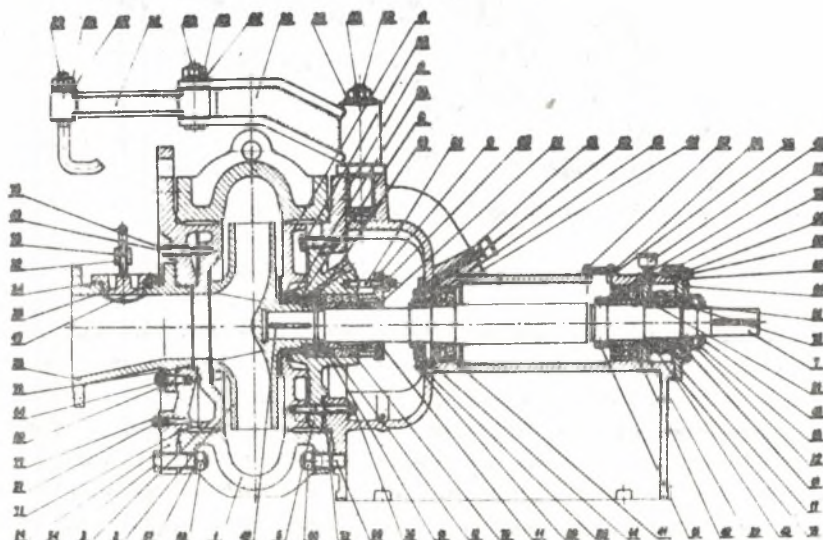
W oparciu o zebrane doświadczenia opracowano szereg pomp typu PC przystosowanych do transportu ciał drobno i gruboziarnistych.



Rys. 2. Schemat instalacji doświadczalno-eksploatacyjnej transportu hydraulicznego węgla w KWK Komuna Paryska (upadowa Jan)

3.2. Pompy wirowe typu PC

Pompy typu PC są maszynami wirowymi odśrodkowymi jednostopniowymi w układzie poziomym z wirnikami jednostrumieniowymi zamkniętymi, łopatkowymi (rys. 3). Elementem odprowadzającym ciecz z pompy jest kanał zbiorczy o



Rys. 3. Pompa wirowa typu PC-200

stałym przekroju. Ułożyskowanie pompy umożliwia łatwe przesuwanie wzdłużne zespołu wirującego i regulację szczeliny pomiędzy sztywą wirnika a wymienną ścianką ochronną od strony dopływowej.

Pompy typu PC są budowane w następujących wielkościach: PC-100, PC-150 i PC-200.

Pompy typu PC pokrywają zakres wydajności $Q = 2,0$ do $8,0 \text{ m}^3/\text{min}$, przy wysokości podnoszenia $H = 25$ do 74 m i prędkości obrotowej $n = 1450 \text{ min}^{-1}$. Sprawność pomp $\eta = 58$ do 68% , w zależności od wielkości pompy i rodzaju wirnika.

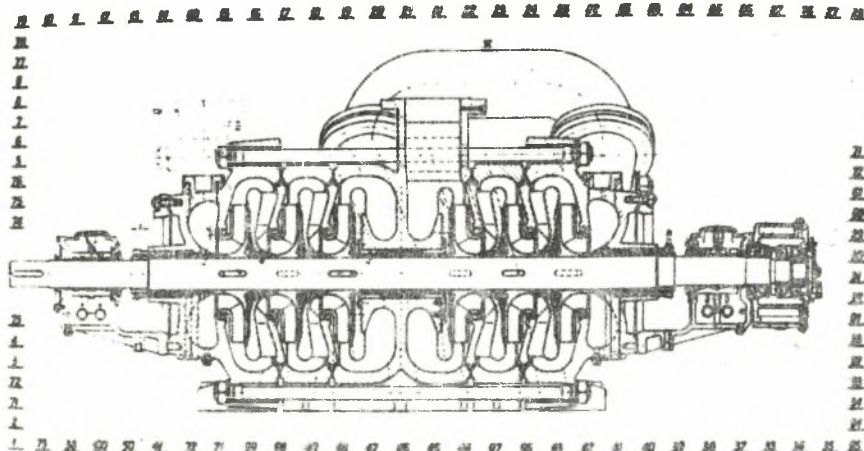
W celu zapewnienia odpowiedniej trwałości, kadłub pompy, wymienna ścianka i wirnik są wykonywane z tworzywa konstrukcyjnego szczególnie odpornego na działanie erozyjne transportowanej mieszaniny. Ponieważ poszczególne elementy w części przepływowej wykonane są z tworzyw konstrukcyjnych trudno obrabialnych, obróbkę mechaniczną tych części ograniczono do niezbędnego minimum przez odpowiednie rozwiązanie konstrukcyjne.

Wprowadzenie pomp typu PC do eksploatacji stanowiło wówczas znaczny postęp w zakresie walorów eksploatacyjnych a w szczególności w zakresie trwałości elementów.

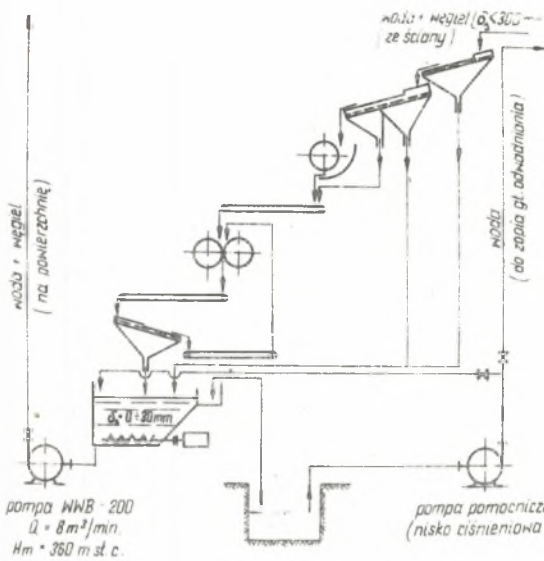
Pompy typu PC stosuje się do transportu hydraulicznego węgla, piasku podsadzkiego, odmulania osadników itp.

3.3. Pompy typu WBW-200

Dla umożliwienia transportu hydraulicznego węgla na większe wysokości podnoszenia opracowano eksperymentalne pompy typu WBW-200 (rys. 4). Pompy typu WBW-200 są maszynami wirowymi odśrodkowymi, wielostopniowymi, w układzie poziomym. Pompy te są budowane w 4, 6 i 8 stopniach.



Rys. 4. Pompa wirowa typu WBW-200



Rys. 5. Schemat instalacji doświadczalno-eksploatacyjnej transportu hydraulicznego węgla w KWK Siersza

obrotową $n = 1450 \text{ min}^{-1}$, i sprawność $\eta = 59\%$. Wielkość ziarn węgla (które mogą przepływać przez pompę) wynosi $\delta_s = 0$ do 25 mm .

Maksymalny stosunek ciężaru węgla do wody w pompowanej mieszaninie może wynosić, jak wykazały badania 1 i 4.

Dla zapewnienia odpowiedniej trwałości pomp poszczególne elementy wewnętrzne w części przepływowej są wykonane z tworzyw konstrukcyjnych odpornych na działanie erozyjne, przepływającej mieszaniny węgla i wody. Jak wykazały obserwacje eksploatacyjne, pomimo zastosowania tworzyw konstrukcyjnych odpornych na erozję, trwałość typ pomp powinna być jeszcze podwyższona. Pompy typu WWB-200 pracowały w instalacji doświadczalno-eksploatacyjnej na KWK Siersza (rys. 5).

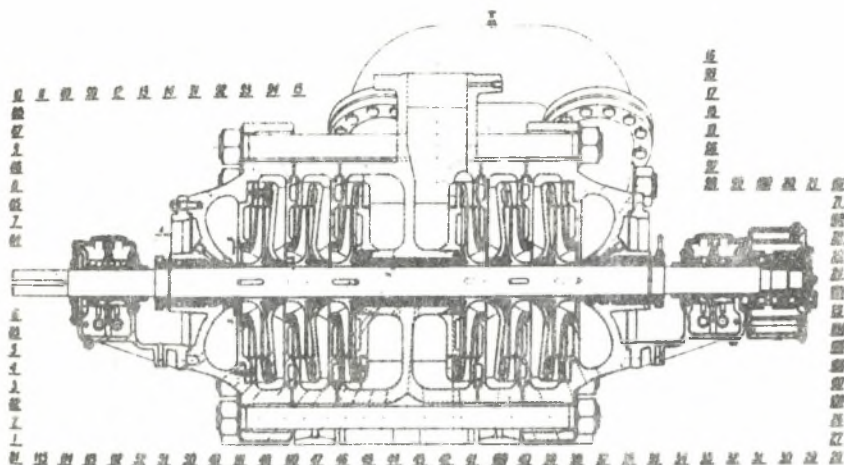
3.4. Pompy typu OWB

Dla umożliwienia podnoszenia rozdrobnionego węgla o ziarnie $\delta_s = 0$ do 5 mm na duże wysokości, jak wykazały badania w kopalniach, z powodzeniem mogą być stosowane pompy typu OWB (rys. 6).

Pompy typu OWB są maszynami wirowymi odśrodkowymi wielostopniowymi w układzie poziomym. Pompy są budowane o parzystej liczbie stopni 4, 6, 8 i 10.

Posiadają wirniki jednostrumieniowe konstrukcji zamkniętej z łopatkami jednokrzywiznowymi. Pompy (OWB-100, OWB-150, OWB-200, OWB-250) zostały za-

W celu hydraulicznego zrównoważenia naporu osiowego, wirniki w zespole wirującym są podzielone na dwie grupy, obrócone względem siebie dopływami o 180° (wirniki w wykonaniu prawym i lewym). Wirniki są jednostrumieniowe zamknięte z czterema łopatkami o pojedynczej krzywiznie. Dla uniknięcia rozdrobnienia węgla i zatykania kanałów przepływowych, w miejsce kierownic łopatkowych przewidziano przewaly bezłopatkowe i kierownice dośrodkowe (nawrotne) o obszernych kanałach międzyłopatkowych. Pompy typu WWB-200 posiadają wydajność $Q = 8 \text{ m}^3/\text{min}$, wysokość podnoszenia $H = 223$ do 464 m , prędkość



Rys. 6. Pompa wirowa typu OWB-200

projektowane dla głównego odwadniania kopalń [14, 15], ale ponieważ mogą pompować wodę zanieczyszczoną ciałami stałymi, nawet do $\delta_s \max = 5 \text{ mm}$, z powodzeniem mogą być stosowane i dla hydraulicznego transportu węgla. Wirniki w zespole wirującym są podzielone podobnie jak w pompach typu WWB-200 na dwie grupy obrócone względem siebie dopływami. W pompach zastosowano kierownice łopatkowe odśrodkowe o wypływie stycznym oraz kierownice łopatkowe dośrodkowe (nawrotne). Było to możliwe ze względu na małe średnice ziarn węgla. Pompy typu OWB posiadają w zależności od wielkości pompy wydajności $Q = 1,5$ do $7,5 \text{ m}^3/\text{min}$, wysokość podnoszenia $H = 108$ do 800 m , prędkość obrotową $n = 1450 \text{ min}^{-1}$. Sprawność pomp wynosi $\eta = 67$ do 74% .

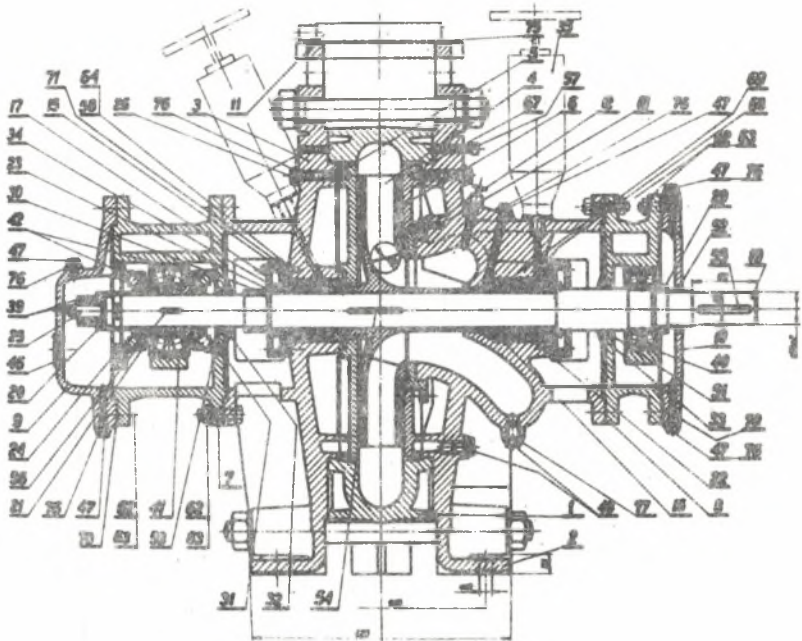
Jak wykazały próby i obserwacje ruchowe w kopalniach, maksymalny stosunek ciężaru węgla do wody w pompowanej mieszaninie może wynosić 1 do 4.

Elementy konstrukcyjne części przepływowej są też wykonane z tworzyw konstrukcyjnych zapewniających odpowiednią trwałość.

3.5. Pompy typu WS-250 i TK-300

Oprócz wyżej przedstawionych pomp opracowano i poddano badaniom eksperymentalne pompy typu WS-250 i TK-300.

W dążeniu do uzyskania większych wysokości podnoszenia z jednego stopnia pompy zaprojektowano i wykonano pompę eksperymentalną typu WS-250. Pompa ta jest maszyną wirową odśrodkową jednostopniową w układzie poziomym (rys. 7). Wirnik pompy jest konstrukcji zamkniętej z łopatkami jednokrzywiznowymi. Mieszanka wody i węgla jest odprowadzana z wirnika do kierownicy bezłopatkowej - kanałowej.



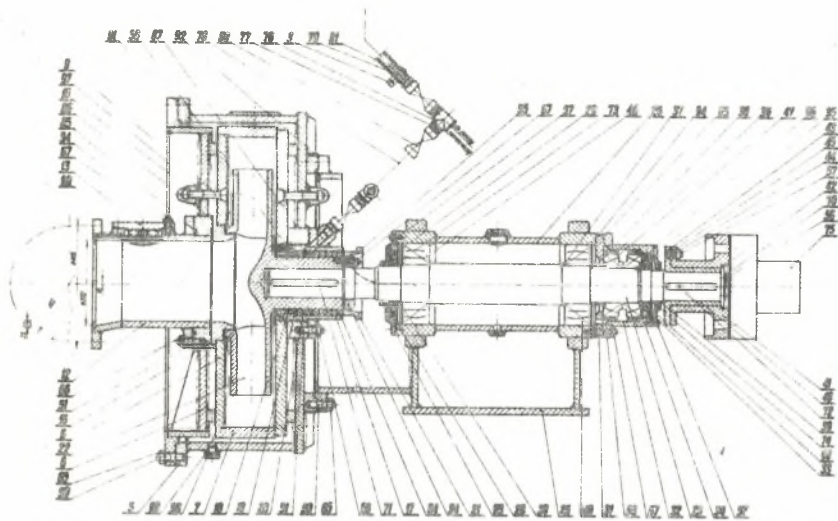
Rys. 7. Pompa wirowa typu WS-250

Pompę typu WS-250 zaprojektowano na wydajność $Q = 12 \text{ m}^3/\text{min}$, wysokość podnoszenia $H = 150 \text{ m}$, prędkość obrotową $n = 1450 \text{ min}^{-1}$. Zakładana średnica ziarna transportowanego węgla $\delta_n = 0 \text{ do } 60 \text{ mm}$. Przeprowadzone badania wykazały jednak nieprzydatność pompy do eksploatacji z uwagi na niską sprawność, konieczność stosowania dużego napływu (do króćca dopływowego - ssawnego), znaczną hałaśliwość i wibracje oraz znaczne zużycie elementów.

Ponadto w celach eksperymentalnych opracowano pompę typu TK-300 do transportu kruszywa dla pogłębiarek rzecznych (rys. 8). Pompa typu TK-300 jest również maszyną wirową odśrodkową jednostopniową w układzie poziomym z wirnikiem jednostrumieniowym dwu- bądź trzyłopatkowym o pojedynczej krzywiznie [16]. Ze względu na eksperymentalny charakter pompy i jednostkowe wykonanie, pompa jest prawie w całości konstrukcją spawaną. W przypadku podjęcia większej produkcji tych pomp należałoby przejść na elementy odlewane z odpowiednich tworzyw konstrukcyjnych.

Pompa typu TK-300 posiada wydajność $Q = 11$ bądź $13 \text{ m}^3/\text{min}$ (zależnie od wirnika), wysokość podnoszenia $H = 26$ bądź 28 m i prędkość obrotową $n = 510 \text{ min}^{-1}$. Sprawność pompy w zależności od zastosowanego wirnika wynosi $\eta = 71$ bądź 73% . Wyniki badań i prób pompy potwierdziły założenia przyjęte w czasie obliczeń projektowania i konstruowania. Należy podkreślić ko-

rzystny wpływ niskich prędkości obrotowych na trwałość elementów, pomimo wykonania ich z miękkich, niskowęglowych stali spawalnych.



Rys. 8. Pompa wirowa typu TK-300

4. Badania laboratoryjne i eksploatacyjne

4.1. Badania charakterystyk

Charakterystyki pracy pomp wirowych $H = f(Q)$ i $\eta = f(Q)$ uzyskiwane na przemysłowych stacjach prób i podawane przez producentów pomp w formie wykresów, odnoszą się do wody czystej.

Z praktyki znane jest zjawisko zmiany tych charakterystyk przy pompowaniu cieczy o innej lepkości bądź cieczy zawierających ciała stałe w postaci wózków, ziarn itp.

Dla umożliwienia użytkownikom określenia przybliżonych parametrów pracy pomp transportujących mieszaninę węgla i wody bądź piasku i wody przy różnych koncentracjach ciał stałych, przeprowadzono odpowiednie badania [17, 18] i wyznaczono współczynniki przeliczeniowe k_H i k_η .

Oznaczając wysokość podnoszenia - przy pompowaniu wody przez H , wysokość podnoszenia pompy przy pompowaniu określonej mieszaniny określić można z zależności:

$$H_{s1} = H \cdot k_H \quad \text{m s.l.c.} \quad (1)$$

gdzie:

H_{s1} - wysokość podnoszenia pompy przy pompowaniu określonej mieszaniny ciał stałych i cieczy, w m s.l.c.,

H - wysokość podnoszenia pompy przy pompowaniu wody, w m s.l.w.,

k_H - współczynnik doświadczalny uzależniony od rodzaju i koncentracji ciał stałych w cieczy (według tablicy 1).

Tablica 1

Przybliżone dane do obliczenia wysokości podnoszenia oraz sprawności pompy - przy pompowaniu mieszaniny wody i piasku oraz wody i węgla

Rodzaj proponowanego materiału	Piasek ziarno 0 - 1 mm			Węgiel ziarno 0 - 10 mm		Węgiel ziarno 20 - 40 mm	
	Zagęszczenie mieszaniny - ciężarowo	1:4	1:2,7	1:1,7	1:5	1:3	1:5
Gęstość właściwa mieszaniny ρ_{s1} [kg/dm ³]	1,13	1,2	1,3	1,05	1,08	1,05	1,08
Współczynnik obniżenia wys. podnoszenia k_H	0,97	0,94	0,91	0,98-0,99	0,96-0,98	0,95-0,96	0,92-0,93
Współczynnik obniżenia sprawności - k_η	0,97-0,98	0,95-0,97	0,93-0,95	0,97-0,98	0,95-0,97	0,95-0,97	0,93-0,95

Jak wiadomo, użyteczną wysokość podnoszenia dla układu pompowego (wyrażoną w m s.l.c.) najczęściej stosowanego dla hydraulicznego transportu węgla można określić z zależności

$$H_{s1} = H_g + \sum_I^{II} \Delta h_{s1} + \sum_{III}^{IV} \Delta h_{t1} \quad \text{m s.l.c.} \quad (2)$$

gdzie:

H_g - geometryczna wysokość podnoszenia w m,

$\sum_I^{II} \Delta h_{s1} + \sum_{III}^{IV} \Delta h_{t1}$ - wysokość strat energetycznych (hydraulicznych) w przewodzie doprowadzającym (ssawnym) i tłocznym przy pompowaniu mieszaniny wody i ciał stałych, w m s.l.c.

Zainstalowany na króćcu tłocznym pompy manometr wyskalowany w metrach słupa wody wykaże natomiast wartość

$$H_m = H_{s1} \cdot \frac{\rho_{s1}}{\rho} \quad \text{m s.l.w.} \quad (3)$$

gdzie:

H_m - manometryczna wysokość podnoszenia, w m s.l.w.,

ρ_{s1} - gęstość mieszaniny wody i ciała stałego w kg/m³,

ρ - gęstość wody w kg/m³.

Sprawność pompy przy pompowaniu mieszaniny wody i ciała stałego ulega zmniejszeniu i może być obliczona w przybliżeniu, w oparciu o charakterystykę sprawności wykreśloną dla wody

$$\eta_{s1} = k_{\eta} \cdot \eta \quad \% \quad (4)$$

gdzie:

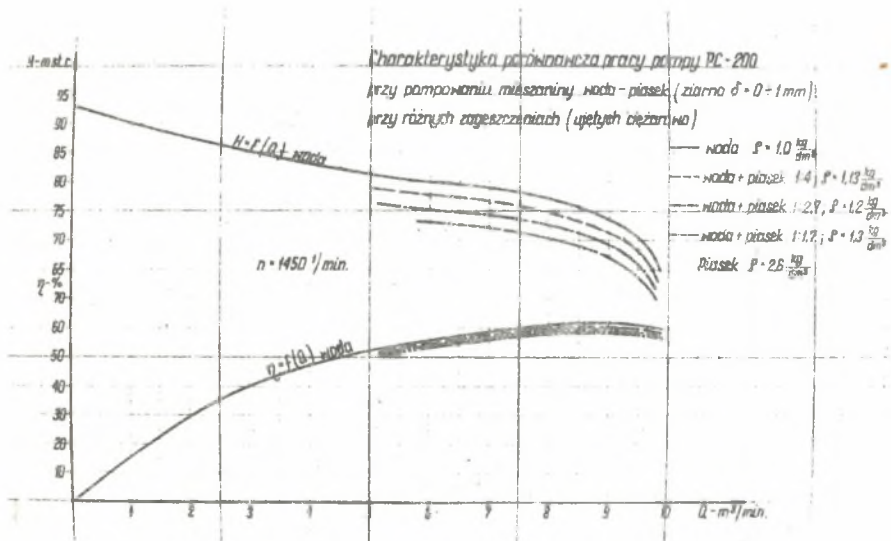
- η_{s1} - sprawność pompy przy pompowaniu określonej mieszaniny, %
- η - sprawność pompy przy pompowaniu wody, %
- k_{η} - współczynnik doświadczalny zależny od rodzaju i koncentracji mieszaniny ciał stałych w cieczy (według tablicy 1).

Pobór mocy przez pompę przy pompowaniu mieszaniny wody i ciał stałych określa się z zależności:

$$N = \frac{Q_{s1} \eta_{s1} \rho H_{s1}}{\eta_{s1}} \cdot 10^{-3} \text{ kW} \quad (5)$$

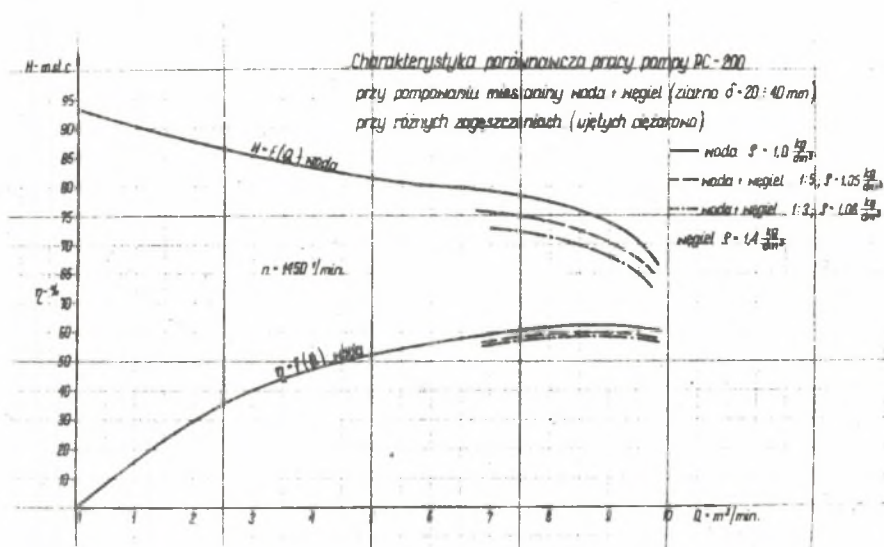
gdzie:

- Q_{s1} - wydajność pompy transportującej mieszaninę wody i ciał stałych, m^3/s .



Rys. 9. Charakterystyki $H = f(Q)$ i $\eta = f(Q)$ dla wody i różnych koncentracji mieszanin wody z piaskiem

Na wykresach (rys. 9 i 10) przedstawiono porównawcze charakterystyki $H = f(Q)$ i $\eta = f(Q)$ dla wody i różnych koncentracji mieszanin wody z piaskiem i wody z węglem.



Rys. 10. Charakterystyki $H = f(Q)$ i $\eta = f(Q)$ dla wody i różnych koncentracji mieszanin wody z węglem

Charakterystyki $H = f(Q)$ i $\eta = f(Q)$ dla mieszanin wody z ciałami stałymi obejmują tylko część pełnego zakresu wydajności, ponieważ przy wydajnościach mniejszych (mniejsze szybkości przepływu w przewodach) występuje osadzanie się ciał stałych w rurociągach i dyszach pomiarowych.

4.2. Badania nad zwiększeniem trwałości elementów przepływowych

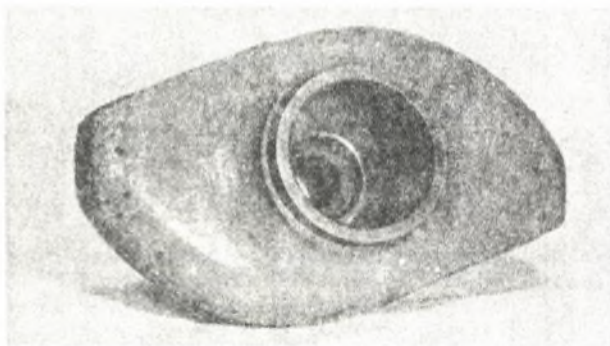
Badania odporności tworzyw konstrukcyjnych na zużycie srozyjne przy przepływie mieszanin wody z ciałami stałymi prowadzone były zarówno w warunkach laboratoryjnych jak też w warunkach eksploatacyjnych [19,20,21,22,23,24,25].

W badaniach uwzględniano nie tylko wpływ przepływu mieszanin wody i ciał stałych na całkowite (średnie) ubytki tworzyw konstrukcyjnych, ale także wpływ kształtu elementów przepływowych na powstawanie ubytków miejscowych. Miejscowe ubytki materiałów w wielu przypadkach okazują się decydujące o przydatności elementów przepływowych do dalszej eksploatacji. Przez odpowiednie ukształtowanie elementów przepływowych, w celu uniknięcia zaburzeń przepływu, można w wielu przypadkach kilkakrotnie zwiększyć trwałość eksploatacyjną elementów przepływowych.

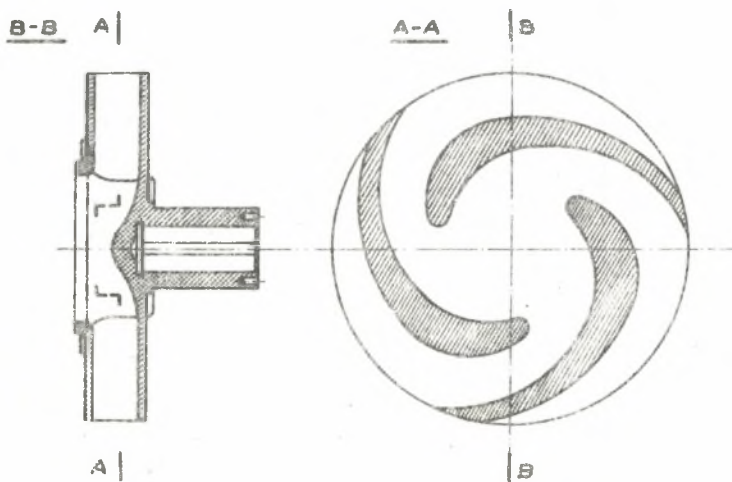
Dzięki szerokiej współpracy z przemysłem wyniki tych badań były wykorzystane bezpośrednio przy opracowaniach konstrukcyjnych pomp.

4.3. Badania nad wpływem kształtu elementów przepływowych na kruszenie ziarn węgla

Dla uzyskania możliwości pompowania możliwie dużych ziarn węgla wszystkie kanały przepływowe pomp muszą mieć odpowiednie wymiary. W odniesieniu do wirników - konieczna jest ich duża szerokość, co jednak prowadzi do przesunięcia zakresu optymalnej sprawności w kierunku zbyt dużych wydajności, wykraczających często poza zakres przewidziany dla danej wielkości pompy. Dla uniknięcia tego zjawiska i utrzymania optimum sprawności w zakresie normalnych wydajności pomp, stosowano początkowo wirniki dwukanałowe (rys. 11). Wirniki takie powodowały jednak znaczne kruszenie ziarn węgla między wirnikiem a ściankami bocznymi kadłuba. Powstające przy kruszeniu ziarn węgla siły osiowe przejmowane były przez łożyska wału, co niekorzystnie wpływało także na trwałość łożysk.



Rys. 11. Wirnik dwukanałowy



Rys. 12. Wirnik konstrukcji zamkniętej trzyłopatkowy

W wyniku przeprowadzonych badań opracowano konstrukcje wirników łopatkowych z małą liczbą łopatek (3 do 4 łopatki) o specjalnych kształtach (rys. 12). Wirniki takie mogły mieć odpowiednią szerokość dla przepuszczenia dość dużych ziarn węgla, wykazując jednocześnie dość korzystne sprawności hydrauliczne. Kształt wirnika i małe szczeliny boczne między wienkami wirnika a ściankami kadłuba wyeliminowały w znacznym stopniu kruszenie ziarn węgla podczas przepływu przez pompę.

5. Podsumowanie

Prace badawczo-konstrukcyjne nad zagadnieniami transportu hydraulicznego ciał stałych (drobno- i gruboziarnistych) pozwoliły na opracowanie szeregu pomp, które są stosowane w kopalniach. Ponadto zgromadzone doświadczenia mogą być wykorzystywane przy projektowaniu dalszych typów pomp oraz układów transportu pompowego wewnątrzzakładowego i magistralnego.

Stały jednak postęp techniczny wymaga prowadzenia dalszych prac badawczych (teoretycznych i doświadczalnych) zarówno w odniesieniu do pomp jak i instalacji transportu hydraulicznego.

LITERATURA

- [1] Radowski T., Kobylecki J., Bąk E.: Hydrauliczny transport węgla pod ziemią i na powierzchni, Przegląd Górniczy 12, 1966.
- [2] Zarzycki M.: Przepływ mieszaniny wody i węgla w poziomych przewodach rurowych. Zagadnienia maszyn przepływowych, PWN, Warszawa 1968.
- [3] Zarzycki M.: Transport hydrauliczny węgla za pomocą pomp oraz zasilaczy tłokowych i obrotowych. Pol. Śl., Gliwice, 1958.
- [4] Zarzycki M.: Badanie zasilaczy tłokowych i obrotowych dla hydraulicznego transportu węgla. ZN Pol. Śl. Energetyka 37, Gliwice 1961.
- [5] Zarzycki M., Żukowski E.: Prace konstrukcyjno-badawcze nad zasilaczami suwakowymi i obrotowymi dla hydraulicznego transportu węgla. Prace naukowe Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej, nr 34, Wrocław 1977.
- [6] Żukowski E.: Projekt techniczny przemysłowego zasilacza obrotowego ZO-250 "Transhyd", ZKMPW, Gliwice 1961.
- [7] Zarzycki M.: Nowe kierunki w konstrukcji i budowie pomp dla hydraulicznego transportu węgla. ZN Pol. Śl. Energetyka 21, Gliwice 1960.
- [8] Zarzycki M.: Erfahrungen beim Einsatz von Pumpen bei der Hydraulischen Kohlenförderung. Leipzig 1961.
- [9] Zarzycki M.: Neue Konstruktion im Pumpenbau für den hydraulischen Kohlentransport, Budapest 1966.
- [10] Zarzycki M.: Wyniki prac naukowo-badawczych i konstrukcyjnych oraz tendencje rozwojowe pompowego hydraulicznego transportu węgla. ZN Pol. Śl. Energetyka 25, Gliwice 1967.
- [11] Zarzycki M., Rokita J., Morzyński St.: Badania pompy o swobodnym przepływie produkowanej seryjnie. ZN Pol. Śl. Górnictwo 64, Gliwice 1974.

- [12] Rokita J.: Możliwości wykorzystania pomp o swobodnym przepływie w przemyśle kruszyw i surowców mineralnych. *Górnictwo Odkrywkowe*, rocznik 17, nr 6. Wrocław 1975.
- [13] Borecki M., Radowski T.: Wysokociśnieniowy hydrauliczny transport węgla. WGH, Katowice 1958.
- [14] Zarzycki M.: Zagadnienie pomp w krajowym przemyśle węglowym. *ZN Pol. Śl. Energetyka* 27, Gliwice 1967/68.
- [15] Zarzycki M.: Osiągnięcia krajowe w konstrukcji i budowie pomp odwadniających kopalnie węgla. *ZN Pol. Śl. Energetyka* 27, Gliwice 1967/68.
- [16] Zarzycki M., Grychowski J., Rokita J.: Nowe rozwiązania konstrukcyjne oraz wyniki badań pompy wirowej TK-300 dla transportu hydraulicznego kruszywa. *ZN Pol. Śl. Energetyka* 36, Gliwice 1970.
- [17] Prace badawcze dotyczące pomp typu PC-200 nr FSS-86/62, GIG, Katowice 1962.
- [18] Żukowski E.: Pompa pancerna typu PC. *ZKMPW, Poradnik* nr 149, Gliwice 1964.
- [19] Zarzycki M.: Influence of the pump material on service life of the impellers of rotodynamic pumps at transport of mechanically impure fluids. *Proceedings of the third conference on fluid mechanic and fluid machinery*. Budapest 1969.
- [20] Zarzycki M., Siwicki J.: Erozyjna odporność wybranych tworzyw konstrukcyjnych stosowanych w budowie pomp dla górnictwa. *ZN Pol. Śl. Energetyka* 52, Gliwice 1974.
- [21] Zarzycki M., Niemas L.: Wyniki badań odporności próbek z wybranych tworzyw konstrukcyjnych na niszczenie erozyjne w uniwersalnym urządzeniu badawczym. *ZN Pol. Śl. Energetyka* 62, Gliwice 1978.
- [22] Grychowski J.: Kawitacyjna odporność wybranych tworzyw konstrukcyjnych stosowanych w budowie pomp górniczych. *ZN NOT Ochrona przed korozją*, nr 9, 1972.
- [23] Rokita J.: Badania nad odpornością korozyjną tworzyw metalowych stosowanych w budowie pomp górniczych. *ZN NOT Ochrona przed korozją*, nr 9, 1974.
- [24] Korozak A.: Badania odporności materiałów konstrukcyjnych na erozję piaskową w pompie wirowej odśrodkowej. *Prace Inst. Konstr. i Eksploatacji Maszyn Pol. Wrocławskiej*, Wrocław 1977.
- [25] Morzyński St.: Dobór tworzywa na elementy pomp wirowych do cieczy zawierających ciała stałe. *Przegląd Mechaniczny* nr 2, 1972.

КОНСТРУКЦИОННО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ НАД ЛОПАСТНЫМИ НАСОСАМИ
ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА УГЛЯ

Резюме

В работе представлены результаты многолетних исследовательских работ - теоретических и экспериментальных -, касающихся гидравлического транспорта твердых тел мелко- и крупнозернистых, а также проектно-конструкционных работ, которые дали возможность разработать ряд типов насосов, которые в настоящее время применяются в шахтах. В публикации поданы, кроме того, результаты исследований и выводы, которые могут быть использованы при проектировании систем гидравлического транспорта насосами на поверхности шахты или магистрального транспорта.

RESEARCH AND CONSTRUCTION WORK ON IMPELLER PUMPS
FOR COAL HYDRO TRANSPORT

S u m m a r y

The paper presents many years' theoretical and empirical investigation results concerning hydro transport of fine and coarse solids, along with design and construction effort results for a number of pump types presently used in mines. The paper also provides some suggestions that may be helpful in designing internal and thoroughfare pump transport systems for industrial purposes.