

Andrzej KORCZAK, Stanisław MIKUŁA
Politechnika Śląska, Gliwice

BADANIA EKSPLOATACYJNE GÓRNICZYCH POMP ODWADNIAJĄCYCH

Streszczenie. W artykule przedstawione zastały wyniki eksploatacyjnych badań górniczych pomp odwadniających o nowych rozwiązaniach konstrukcyjnych. Badania wykonano w fabrycznej stacji prób oraz w podziemiach kopalń węgla. Wykazano korzystne cechy użytkowe nowego rozwiązania, uzyskując zmniejszenie strat energii i zmniejszenie zużycia erozyjnego elementów pompy. Zaproponowano zmodernizowane rozwiązanie do pomp przeznaczonych dla głównego odwadniania kopalń.

OPERATION INVESTIGATIONS OF THE MINE DRAINAGE PUMPS

Summary. The paper presents investigation results of functional properties of the mine drainage pumps with new constructional solutions. Investigations were made at test stand in mining equipment factory as well as in conditions of usual work at coal mine. The improvement of investigated properties was found. The decreasing of energy consumption as well as erosion tool-wear were achieved. Project of the modernization of essential elements of mine drainage pumps was introduced.

1. Wprowadzenie

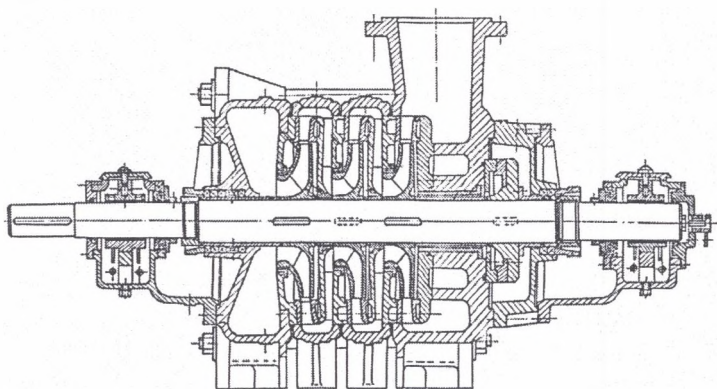
W układach głównego odwadniania kopalń głębinowych powszechnie stosowane są wielostopniowe pompy odśrodkowe z posobnym układem wirników jednostrumieniowych.

W pompach tego rodzaju występują bardzo duże siły poosiowe działające na zespół wirujący. Do ich przenoszenia najczęściej wykorzystywane są specjalne tarcze odciążające lub tło-tarcze odciążające.

Tarcza odciążająca jest w swej istocie łożyskiem ślizgowym wzdłużnym smarowanym hydrostatycznie pompowaną cieczą pobieraną z ostatniego stopnia pompy. Tarcza

odciążająca ponadto redukuje ciśnienie cieczy oddziałujące na uszczelnienia po stronie tłocznej kadłuba pompy.

Typową konstrukcją pompy odśrodkowej wielostopniowej z tarczą odciążającą przedstawia rys. 1.

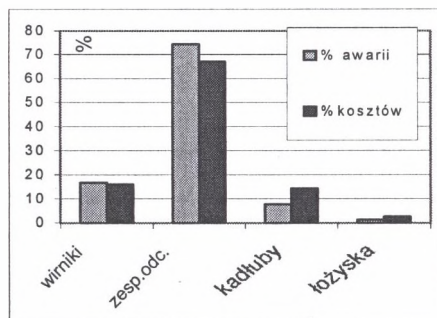


Rys. 1. Pompa odśrodkowa wielostopniowa typu OW-250
Fig. 1. Multi-stage mining pump OW-250

Praca tarczy odciążającej przy bardzo dużych obciążeniach mechanicznych związanych ze spadkiem ciśnienia w szczelinach równym całkowitemu jego przyrostowi w pompie oraz z siłami osiowymi równymi sumarycznej sile osiowej w pompie powoduje, że jest ona zagrożona nadmiernie szybkim zużyciem eksploatacyjnym oraz uszkodzeniami związanymi z błędami obsługi [3, 4].

Na rys. 2 przedstawiono udziały awarii istotnych elementów pomp odśrodkowych [2]. Z rys. 2 wynika, że uszkodzenia zespołu odciążenia stanowią największy udział w ogólnej ilości awarii wielostopniowych pomp górniczych.

Istnieje bezpośrednia zależność między liczbą rozruchów a liczbą awarii pomp wielostopniowych. Najbardziej narażone na przyspieszone zużycie przy licznych rozruchach oraz losowych zanikach ciągłości przepływu są tarcze odciążające pomp głównego odwadniania kopalń węgla kamiennego i rud metali, pompujących często wodę o dużym stopniu zanieczyszczenia mechanicznego i chemicznego.



Rys. 2. Udziały rodzajów uszkodzeń elementów pomp oraz kosztów ich napraw [2]
 Fig. 2. Participation of pumps elements damages and costs of their repairs

Nieprawidłowości w rozruchu pompy mogą powodować uszkodzenia, systematycznie pogarszające stan techniczny pompy [4]. Szczególnie duże znaczenie mają przekroczenia dopuszczalnego zużycia pierścieni tarczy odciążającej. Np. w pompach typu OW-250 przesunięcie zespołu wirującego na skutek łącznego zużycie pierścieni nie powinno przekraczać 5 mm.

Zespół odciążenia siły osiowej pompy wielostopniowej jest najbardziej wrażliwy na:

- niedokładności w wykonaniu i montażu jego elementów,
- niepełne odpowietrzenie przy rozruchach pomp,
- obciążenia dynamiczne związane z rozruchem i zbyt szybką zmianą wydajności,
- przekraczanie minimalnej i maksymalnej wydajności pompy,
- zanieczyszczenia mechaniczne w pompowanej wodzie,
- niedokładności w odgazowaniu pompowanej wody,
- zbyt niskie ciśnienie na wylęwie z węzła odciążenia pomp.

Duże znaczenie ma właściwy dobór tworzyw konstrukcyjnych na elementy tworzące szczeliny wzdłużne i poprzeczne węzła odciążającego, tak aby minimalizować podatność węzła na zatarcie i zużycie erozyjne.

Pierścień stały wykonuje się na ogół z materiału podatniejszego na zużycie. W typowej konstrukcji tarczy odciążającej twardość pierścienia ślizgowego wynosi ok. 100 HB (np. brąz), zaś pierścień oporowy ma najczęściej twardość 55–59 HRC (np. staliwo ulepszone cieplnie).

Efektywnym kierunkiem modernizacji węzła tarczy odciążającej pomp górniczych jest poszukiwanie rozwiązań zmniejszających straty energii oraz poszukiwanie rozwiązań służących ograniczaniu strat wolumetrycznych i strat brodzenia, co pozwala na uzyskanie podwyższonej sprawności całkowitej układu pompowego.

2. Badania pomp z tarczą odciążającą o zmniejszonych stratach energii

Obniżenie poboru mocy przez zespół tarczy odciążającej pompy odśrodkowej wielostopniowej jest możliwe przez zmniejszenie średnicy zewnętrznej tarczy. Skutkiem tego jest wzrost ciśnienia pod tarczą. Istotnym zmianom podlegają wtedy rozkłady ciśnień w szczelinie poprzecznej oraz w szczelinie wzdłużnej. Uzyskać można na tej drodze zmniejszenie strat objętościowych oraz istotne zmniejszenie strat brodenia tarczy.

Wskutek opisanych efektów następuje zmniejszenie szerokości szczeliny poprzecznej. Konstrukcja zespołu odciążenia dla danej pompy powinna zapewniać pracę szczeliny poprzecznej w zakresie tarcia płynnego, zwłaszcza w ruch ustalonym.

2.1. Eksploatacja pompy DET-300 z tłoko-tarczą odciążającą

W 1998 roku wdrożono do eksploatacji pompy DET-300, które opisano w referacie [5]. W pompach tych wpływ z zespołu odciążenia wynosi ok. 0,4 % nominalnej wydajności pompy i utrzymuje się poniżej 1 % przez ponad 10 000 godzin pracy. Efekt ten osiągnięto przez zmniejszenie dławienia szczeliną wzdłużną i przejęcie prawie całego spadku ciśnienia przez szczelinę poprzeczną.

Przyjęto następujące założenia konstrukcyjne: zastosowanie uszczelnienia ślizgowego umieszczonego częściowo w świetle tłoka odciążającego, zminimalizowanie długości wału i zbliżenie łożyska do tarczy.

Pozwoliło to w pompie dwustopniowej na utrzymanie tarcia płynnego w szczelinie poprzecznej i ograniczenie łącznych strat objętościowych i brodenia tłoka – tarczy do poniżej 2 % mocy na wale. W rezultacie w pompie dwustopniowej uzyskano poziom strat mocy związanych z odciążeniem siły osiowej porównywalny z zastosowaniem otworów odciążających w wirnikach. Pompy są eksploatowane w systemie głównego odwadniania kopalń ZGH Bolesław w Bukownie już ponad 40 000 godzin.

2.2. Tarcza odciążająca nowej konstrukcji

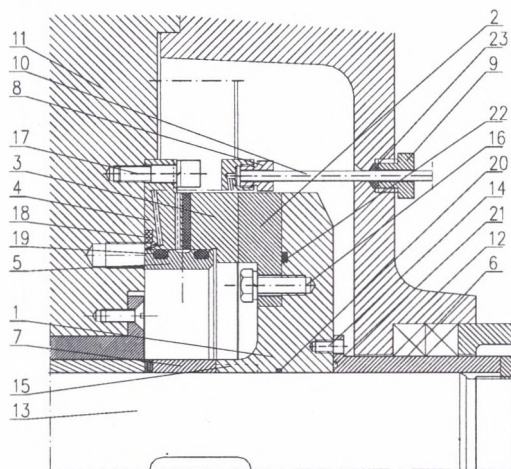
W konstrukcji węzła odciążającego istotne jest uzyskanie częściowej kompensacji odkształceń poprzecznych wału, który w wielostopniowych pompach ma znaczną długość i jest stosunkowo podatny. Odkształcenia wału zakłócają poprawną pracę tarczy odciążającej doprowadzając do bezpośredniego kontaktu współpracujących elementów z jednej strony, zaś z drugiej strony nadmiernie powiększając wielkość szczelin.

Zaproponowano rozwiązanie konstrukcyjne polegające na podatnym podparciu elementów układu odciążenia pompy, co kompensuje odkształcenia wału i odchyłki wykonawcze.

Podatne mocowanie pierścienia ślizgowego lub oporowego pozwoliło na zachowanie tarcia płynnego w szczelinie poprzecznej, mimo że jej szerokość jest znacznie mniejsza od łącznego bicia czołowego obu pierścieni [1]. Zmniejszenie średniej szerokości szczeliny zmniejszyło liczbę Reynoldsa w strefie przepływu i pozwoliło na wejście w strefę przepływów laminarnych. Przepływ laminarny sprzyja istotnemu wzrostowi współczynnika oporu przepływu przez szczelinę poprzeczną, spada więc wydatek przepływu.

Badania laboratoryjne potwierdziły skuteczność rozwiązania konstrukcyjnego polegającego na osadzeniu pierścienia ślizgowego na tarczy odciążającej poprzez warstwę elastomeru [1].

Nową konstrukcję tarczy odciążającej, będącej przedmiotem badań wdrożeniowych, przedstawiono na rys. 3. Zastosowano podatny pierścień oporowy posadowiony na warstwie twardej gumy o grubości 5 mm obustronnie wulkanizowanej. W porównaniu z typową tarczą odciążającą pompy OW-250, tarcza nowej konstrukcji dodatkowo ma zmniejszoną średnicę zewnętrzną z 380 na 340 mm oraz średnicę wewnętrzną pierścienia oporowego z 310 na 255 mm. Pozostałe istotne wymiary dostosowano do konstrukcji pompy OW-250.

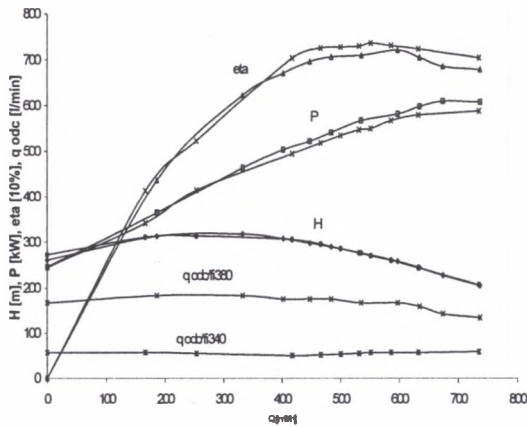


Rys. 3. Tarcza odciążająca z podatnym pierścieniem oporowym w pompie OW-250
Fig. 3. Balance disc with flexible stopper ring (OW-250 pump)

2.3. Charakterystyki pompy

Podstawowe charakterystyki pompy OW-250/4 zmierzono na Stacji Prób Fabryki Pomp POWEN w Zabrze. Wyniki tych pomiarów przedstawiono na rys. 4.

Efektom wdrożenia przedmiotowego rozwiązania konstrukcyjnego jest obniżenie strat objętościowych w zespole odciążenia do poniżej 1 % wydajności pompy oraz strat brodzenia, tak że łączne straty mieszczą się w zakresie od 1,0 do 1,5 % mocy pobieranej przez pompę. Ponadto mniejszy strumień przepływu przez szczeliny zmniejsza erozję elementów.

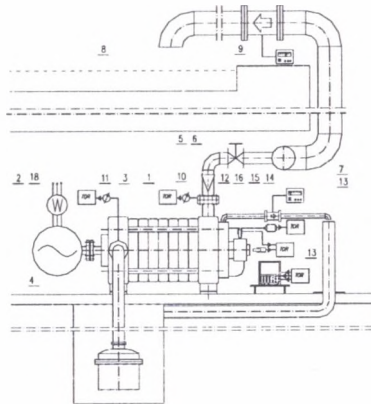


Rys. 4. Charakterystyki pompy OW-250/4
Fig. 4 Characteristics of the pump OW-250/4

Zmniejszenie straty objętościowej, a więc wzrost sprawności pompy ma trwały charakter, gdyż trwały jest wzrost ciśnienia pod tarczą i zmniejszeniu ulega szerokości średnicy szczeliny poprzecznej.

3. Badania eksploatacyjne pompy OW-250/4 w KWK Kazimierz-Juliusz

Schemat stanowiska pomiarowego przedstawia rys. 5. Badana pompa 1 napędzana silnikiem asynchronicznym 2, pracuje w układzie pompowym ssąco-tłoczącym głównego odwadniania kopalni. Pompa zasysa wodę rurociągiem 3 ze studzienki 4 połączonej z chodnikiem wodnym. Wylot rurociągu tłocznego 5 jest skierowany do chodnika wodnego na poziomie 450 m. Na rurociągu tłocznym jest zabudowany przepływomierz elektromagnetyczny 8.



Rys. 5. Schemat stanowiska pomiarowego pompy
 Fig. 5. Schema of the test stand for pumps

W toku badań mierzono następujące wielkości:

Q – wydajność pompy, mierzona przepływomierzem 9,

P_{el} – pobór mocy elektrycznej mierzony miernikami energii 18,

p_s , p_t – podciśnienie w króćcu ssawnym i ciśnienie w króćcu tłocznym pompy mierzone wakuometrem i manometrem lub przetwornikami ciśnienia 10 i 11.

W pomiarach realizowanych w ramach niniejszego programu ponadto mierzono:

q_{odc} – strumień wypływu z zespołu odciążenia za pomocą przepływomierzem elektromagnetycznego 13,

p_2 – ciśnienie pod tarczą odciążającą mierzone przetwornikiem ciśnienia 14,

z , y – położenia zespołu wirującego, mierzone za pomocą czujników wiropędowych 15 i 16.

Wielkości przetwarzane na napięciowe sygnały analogowe, po przejściu przez kartę pomiarową rejestrowano w przenośnym torze pomiarowym 17.

Celem badań jest ocena wpływu eksploatacji pompy ze zmodyfikowanym węzłem odciążającym na jej charakterystyki i porównanie z efektami eksploatacji pomp tego samego rodzaju z typową tarczą odciążającą. Pompa z eksperymentalną tarczą odciążającą jest eksploatowana identycznie, jak pozostałe trzy pompy w pompowni KWK.

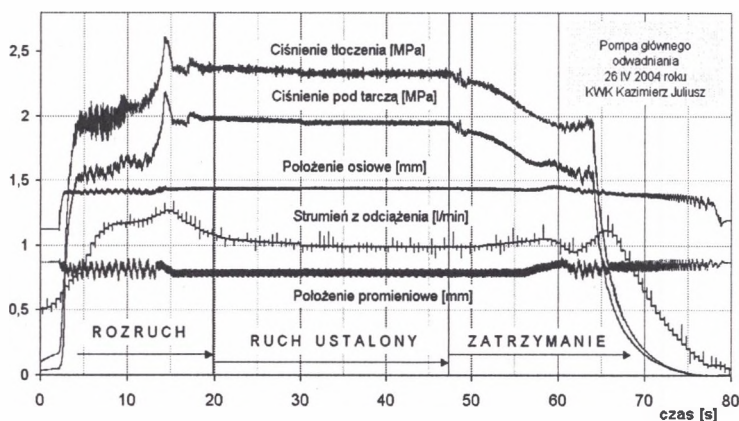
W KWK Kazimierz-Juliusz jest stosowana podsadzka płynna. Opuszczone wyrobiska wypełnia się popiołem z elektrowni. Popioły elektrowniane mają złe własności sedymentacyjne i znaczna ilość zanieczyszczeń wody dostaje się do chodników wodnych i dalej do studzienek ssawnych pomp głównego odwadniania. Wyrzykowa analiza składu

pompowanej wody wykazała obecność cząstek stałych do 4370 mg/l i substancji rozpuszczalnych do 3780 mg/l.

Skutkiem zanieczyszczeń mechanicznych i chemicznych wód kopalnianych jest stosunkowo szybkie zużywanie się pomp. Okres eksploatacji międzyremontowej tych maszyn nie przekracza 3 000 do 4 000 godzin. W krajowym górnictwie zwykle okres eksploatacji pomp głównego odwadniania jest dłuższy od ekonomicznie uzasadnionego [7].

Tarcza eksperymentalna ma pierścień oporowy wykonany z brązu BK331, a pierścień ślizgowy z ulepszanego cieplnie staliwa chromowego L210H21S o twardości 57 HRC. Ubytek pierścienia oporowego na skutek ścierania erozyjnego mierzono pośrednio przez pomiar przesuwu osiowego wału. pompy.

W czasie kolejnych obserwacji pracy pompy dokonywano rejestracji przebiegów podstawowych parametrów. Rys. 6 przedstawia przykład zarejestrowanych przebiegów mierzonych wielkości. Wykres ujmuje rozruch pompy, stan ruchu ustalonego i zatrzymanie pompy.



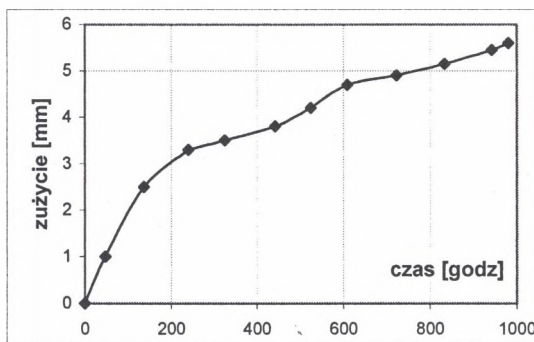
Rys. 6. Mierzone wielkości w czasie rozruchu, w ruchu ustalonym i podczas zatrzymania pompy OW-250/4
Fig. 6. Measurements of investigated properties at different stages of work (OW-250/4 pump)

3.1. Pomiary zużycia elementów pompy w toku eksploatacji

Po pierwszym 112-godzinnym okresie eksploatacji stwierdzono zużycie głównie pierścienia oporowego o wartości ok. 1,5 mm. Tak szybkie zużywanie się pierścieni tarczy odciążającej było spowodowane: wyjątkowo dużą ilością zanieczyszczeń w pompowanej

wodzie, spowodowaną znacznym zamuleniem osadników i chodników wodnych oraz zasysaniem powietrza przez dławnicę.

Rys. 7 przedstawia przebieg łącznego zużycia pierścieni zespołu odciążającego rejestrowanego poprzez pomiar wzdłużnego przemieszczenia wału pompy.



Rys. 7. Łączne zużycie pierścieni ślizgowego i oporowego w czasie pracy pompy
Fig. 7. Summary wear of stopper ring and slide ring during the work of pump

Zastosowanie pierścieni o zróżnicowanej twardości zapewniło zachowanie płaskich, gładkich ścianek i stałej geometrii szczeliny poprzecznej, mimo znacznego stopnia zużycia erozyjnego obu współpracujących pierścieni.

Pomiar wydajności pompy po 10-miesięcznym okresie eksploatacji wykazał jej spadek z 632 do 605 m³/h, czyli o ok. 5 %. Było to spowodowane erozją szczelin na sztykach wirników.

Wpływ z węzła odciążenia utrzymał się na początkowym poziomie i wynosił od 46 do 50 l/min.

4. Wnioski i uwagi końcowe

Zastosowanie tarczy odciążającej zmodernizowanej konstrukcji pozwoliło na zmniejszenie strat objętościowych cieczy wypływającej przez węzeł odciążenia pompy.

Prawie roczne obserwacje pracy pompy z tarczą odciążającą nowej konstrukcji wykazały jej względnie dobrą odporność na zużycie erozyjne w szczególnie trudnych warunkach pracy przy jednoczesnym trwałym zredukowaniu strat wolumetrycznych.

Zastosowanie przemysłowe opisanej konstrukcji węzła odciążającego w pompach odwadniających może istotnie wpłynąć na zwiększenie całkowitej sprawności układu pompowego i zmniejszenie kosztów pompowania wód kopalnianych.

LITERATURA

1. Korczak A., Zarzycki M., Perchał S., Peczkis G. Pompa odśrodkowa wielostopniowa. Zgłoszenie patentowe nr P-354697.
2. Horenburg O.: Schaden an Kesselspeisepumpen. Hinweise zur Schadenverhütung durch Auswertung von Schadenstatistiken. Der Maschinenschaden 43. Heft 4. Stuttgart 1970.
3. Korczak A., Tabor H.: Współpraca pompy odśrodkowej wielostopniowej z pustym rurociągiem tłocznym. Pompy -Pompownie. Nr 11. Wrocław 1995.
4. Korczak A., Kocjan R., Krok A., Grabowski M.: Przygotowanie pompy do rozruchu. Pompy -Pompownie. Nr. 12 (86). Wrocław 1999. s.11-14.
5. Kocjan R., Korczak A., Piniożyński J., Wawrzykowski W.: Pompy nowej konstrukcji do odwadniania płytkich kopalń. Konferencja naukowo-techniczna Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej, Gliwice-Ustroń. marzec 2000.
6. Marcinkowski W. A., Korczak A.: Szczeliny uszczelniające tarczy odciążającej napór osiowy i ich wpływ na dynamikę zespołu wirującego pompy odśrodkowej wielostopniowej. 10 Konferencja; Technika Uszczelnień. Politechnika Wrocławska, Polanica Zdrój, 25-27 maj 2004.
7. Zarzycki M., Peczkis G.: Optymalizacja międzyremontowego okresu eksploatacji pomp odśrodkowych wielostopniowych (np. pomp głównego odwadniania kopalń). X Jubileuszowa Międzynarodowa Konferencja Trwałość Elementów i Węzłów Konstrukcyjnych Maszyn Górniczych. TEMAG, Ustroń 2002.
8. Чегурко Л. Е.: Исследование самоустанавливающейся гидропаты. Гидравлические машины. Изд. ХГУ, 1974, вып. 8, с. 66-73.
9. Korczak A.: Wpływ cech konstrukcyjnych zespołu odciążenia siły osiowej pompy odśrodkowej wielostopniowej na jej własności eksploatacyjne. III Konferencja Problemy i Innowacje w Remontach Energetycznych PIRE 2000, Szklarska Poręba 28 XI-1XII 2000. s. 105-118.
10. Korczak A., Papierski A.: The flow through the face clearance of the disk relieving the axial force in multi-stage centrifugal pumps". Transactions Of The Institute Of Fluid-Flow Machinery, No 115, Gdańsk 2004. s. 113-125.
11. Korczak A.: Stanowisko do badań modelowych tarcz odciążających siły osiowe w pompach odśrodkowych wielostopniowych. XII Seminarium Energetyczne. Politechnika Śląska, Gliwice 2003. s. 139-148.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Antoni Kalukiewicz