

EDWARD MICHLOWICZ
JERZY WOJCIECHOWSKI

Analiza energochłonności pomp głównego odwadniania kopalń podziemnych

Odwadnianie kopalń należy do głównych zadań i problemów eksploatacji w górnictwie, które nie wpływają bezpośrednio na wydobywanie, jednak stanowi nieodzowną działalność dla prawidłowej eksploatacji kopalń. Pompownie głównego odwadniania w kopalniach znajdują się na różnych poziomach, ale zawsze wysokość pompowania wynosi kilkaset metrów. Liczba pomp oraz czas ich pracy zależą od wielkości dopływów wód i jednoznacznie wynikają z przepisów. Ze względu na wydajność i wymaganą wysokość podnoszenia zapotrzebowanie mocy może znacznie przekraczać 1 MW. Dlatego prawidłowa eksploatacja pomp głównego odwadniania, przy niskiej energochłonności, stanowi podstawowy warunek ograniczenia kosztów wypompowania wody. Analizowana pompownia znajduje się na poziomie 500, jest wyposażona w dziesięć pomp OW-250/8 o wydajności $Q = 500 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0,139 \text{ m}^3/\text{s}$). Czas eksploatacji większości pomp przekracza 20 tysięcy godzin, co powoduje, że energochłonność wynosi od 2,17 do 2,67 kWh/m³ wypompowanej wody. Wyniki przeprowadzonej analizy eksploatacyjnej i wartości wskaźników określających energochłonność odniesiono do wskaźników dla nowych pomp pracujących z parametrami (sprawność) katalogowymi. Na tej podstawie oceniono wpływ przekroczenia czasów między remontami na parametry eksploatacyjne i zwiększenie kosztów eksploatacji pomp głównego odwadniania.

Słowa kluczowe: *charakterystyki pomp, energochłonność, koszty pompowania*

1. WPROWADZENIE

Do prawidłowego eksploataowania kopalń podziemnych potrzebnych jest szereg działań, które nie są bezpośrednio związane z wydobywaniem, ale są niezbędne dla jego realizacji i bezpieczeństwa. Jednym z ważniejszych procesów pomocniczych jest odwadnianie kopalń. Wody kopalniane mogą być pochodzenia naturalnego (wypływające z górotworu) oraz być sztucznie doprowadzane w wyniku realizacji procesu wydobywania [1]. Podstawowy problem stanowią wody pochodzenia naturalnego, ilość dopływającej wody ze skał może wynosić od kilku do kilkudziesięciu metrów sześciennych na minutę. Czynniki wpływające na ilość dopływającej wody oraz zagrożenia stąd wynikające są opisane w wielu pracach [2, 3]. Ilość dopływającej wody zależy przede wszystkim od warunków hydrologicznych i geomechanicznych [4]. Wpływ czynników losowych na dopływ wód kopalnianych jest analizowany przez Miladinovića [5] i Qazizada [6]. Dopływające wody kopalniane ze względów bezpie-

czeństwa ludzi i eksploatacji złóż muszą być wypompowane na powierzchnię [7–9]. Zadanie wypompowania wód kopalnianych jest realizowane przez system odwadniania kopalni głębinowej [10]. W systemie odwadniania kopalni można wyróżnić pompownie przodkowe, oddziałowe i głównego odwadniania – ich funkcjonowanie jest uzupełniane przez chodniki wodne. Zadaniem pompowni przodkowych i oddziałowych jest doprowadzenie wód kopalnianych do chodników wodnych i pompowni głównego odwadniania.

Systemy głównego odwadniania kopalń podziemnych można podzielić na jednostopniowe (z najniższego poziomu na powierzchnię) i kaskadowe (z wykorzystaniem pompowni pośredniej na mniejszej głębokości). Częściej spotykane są systemy jednostopniowe, czyli układy, gdzie zespoły pompowe znajdują się na najniższym poziomie wydobywczym i za pomocą rurociągów wysokociśnieniowych woda jest transportowana na powierzchnię. Wysokość pompowania często wynosi kilkaset metrów, dlatego pompy głównego odwadniania są pompami wielostopniowymi. Wysokość

pompowania i wymagana wydajność pomp powodują, że zapotrzebowanie mocy do ich zasilania jest liczone w megawatach. Pompownie głównego odwadniania umieszczone są w pobliżu szybów, co umożliwia skrócenie wysokociśnieniowych rurociągów tłocznych oraz ułatwia transport masywnych i wielkogabarytowych zespołów pompowych. Propozycja określenia sposobów i kosztów eksploatacji pompowni głównego odwadniania kopalń podziemnych jest przedstawiona w pracy Wojciechowskiego i in. [11].

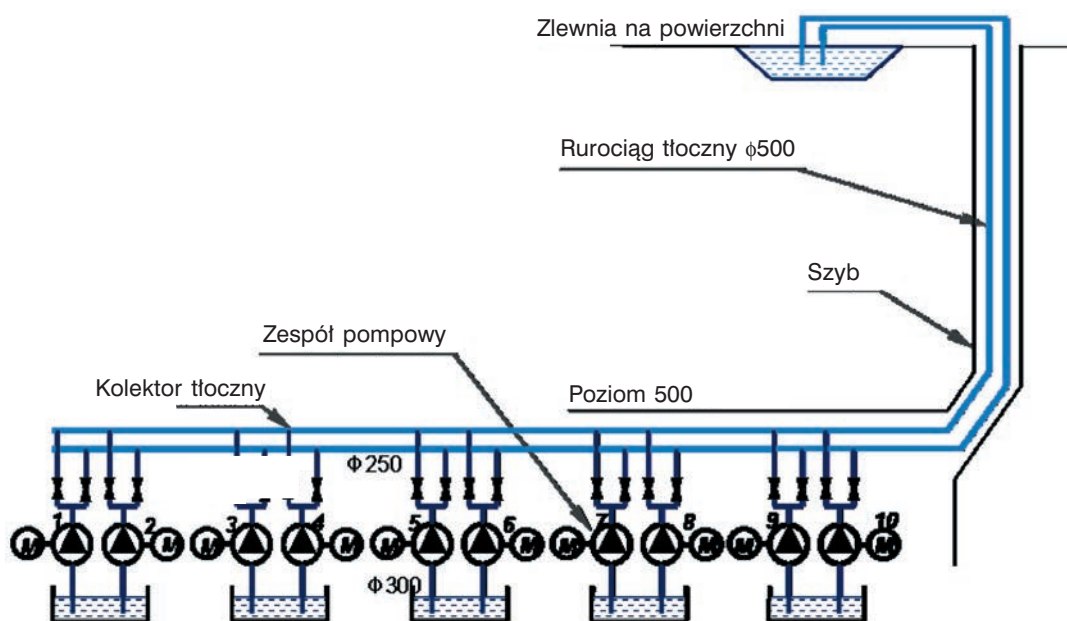
Wymagania w stosunku do urządzeń głównego odwadniania podlegają regulacjom zawartym w *Rozporządzeniu Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych*. Wymagania, które muszą spełniać pompownie głównego odwadniania, są określone w Dziale VI: *Maszyny, urządzenia i instalacje oraz obiekty budowlane zakładu górniczego*, Rozdział 3: *Urządzenia i układy głównego odwadniania* [12].

Dla przeprowadzanych w pracy analiz najistotniejsze są wymagania, które stwierdzają, że odprowadzenie najwyższego dobowego dopływu wody musi być zrealizowane w czasie nie dłuższym niż 20 godzin; minimalną liczbę pomp w komorze pompowni głównego odwadniania oblicza się według wzoru: $i = 2n + 1$ (n – liczba pomp w zespole). System głównego odwadniania wyposaża się w co najmniej dwa tłoczne rurociągi o łącznej przepustowości nie mniejszej niż łączna wydajność znamionowa wymaganej liczby zainstalowanych pomp przy prędkości przepływu nie większej niż 3 m/s [13, 14].

2. SYSTEM GŁÓWNEGO ODWADNIANIA KOPALNI PODZIEMNEJ

Analizowany system głównego odwadniania (rys. 1) w kopalni podziemnej znajduje się na poziomie 500 m. Wielostopniowe pompy zainstalowane są w komorze pompowni w pobliżu szybu. W pompowni głównego odwadniania zainstalowanych jest dziesięć zespołów pompowych składających się z pomp OW250/8 i silników SCUd134u. Każdy zespół pompowy podłączony jest do dwóch rurociągów tłocznych o średnicach 500 mm (rys. 1), którymi woda pompowana jest na powierzchnię. Na podstawie warunków hydrologicznych i wielkości podziemnych wyrobisk prognozowany dopływ wody wynosi $16,83 \text{ m}^3/\text{min}$, przy tym natężeniu strumienia wody dobowy dopływ jest równy $24\,235 \text{ m}^3$. Pojemność chodników wodnych, w których gromadzona jest woda, wynosi $20\,196 \text{ m}^3$. W przypadku zaprzestania pompowania wody czas napełnienia chodników wodnych wynosi około 24 godzin. Schemat badanego systemu głównego odwadniania znajduje się na rysunku 1.

Przy prognozowanym dopływie wód kopalnianych wymagana całkowita wydajność pomp, spełniająca ograniczenia przepisów górniczych, wynosi $Q = 20,20 \text{ m}^3/\text{min}$, natomiast wysokość podnoszenia pompy $H_u = 530 \text{ m}$. Zainstalowane w pompowni ośmiostopniowe pompy OW250/8 mają wydajność znamionową $Q = 8,33 \text{ m}^3/\text{min}$ ($500 \text{ m}^3/\text{h}$) i wysokość podnoszenia $H_u = 560 \text{ m}$. Wymagania określone przepisami górniczymi są spełnione przy ciągłej pracy dwóch pomp i trzeciej pracującej przez połowę czasu. Liczba wymaganych pomp wynosi siedem. W pompowni jest dziesięć zespołów pompowych, czyli analizowany układ głównego odwadniania jest przewymiarowany.



Rys. 1. Schemat systemu głównego odwadniania

Pompy typu OW250 są produkowane przez Grupę Powen – Wafapomp SA. Zabrze. Pompy typu OW są stacjonarnymi, poziomymi urządzeniami wielostopniowymi. Przeznaczone są do odwadniania kopalń głębinowych i pompowania wód lekko zanieczyszczonych mechanicznie i zasolonych. Mogą podnosić wodę do 800 m. Cechują się solidną konstrukcją przystosowaną do niekorzystnych warunków eksploatacyjnych typowych dla odwadniania kopalń.

Wody dopływające do pompowni są silnie zanieczyszczone mechanicznie, dlatego przed doprowadzeniem ich do studni pomp poddaje się je oczyszczeniu w osadnikach. W osadnikach z wody usuwane są największe frakcje zanieczyszczeń mechanicznych. Pompowana woda jest silnie zasolona (przewodnictwo właściwe mieści się w przedziale od 5,35 do 9,18 mS/cm) oraz zanieczyszczona zawiesinami o bardzo drobnym uziarnieniu w granicach 9,6–11,9 μm .

3. CHARAKTERYSTYKI ZESPOŁÓW POMPOWYCH

W pompowni głównego odwadniania na poziomie 500 m zrealizowano pomiary, które były niezbędne do wykonania charakterystyk przepływowych pomp. Mierzono: strumień wody w kolektorze głównym, ciś-

nienia w króćcu ssawnym i tłocznym oraz moc elektryczną zasilającą silniki [15]. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy zespół pompowy (nr 2 – silnik typu SCDdm 134u, pompa typu OW-250AM/8).

Do pomiarów strumienia wykorzystano przepływomierz ultradźwiękowy FlowKat 200. Ciśnienia były mierzone za pomocą manometrów tarczowych. Podciśnienie za pomocą wakuometru o zakresie 0–(–)0,1 MPa; ciśnienie na tłoczeniu za pomocą manometrów o zakresie pomiarowym 0–8 MPa. Pobór mocy elektrycznej był mierzony analizatorem SENTRON PAC3200. Dławienie pomp odbywało się za pomocą zasuw, które zainstalowane są w rurociągach łączących pompy z głównym kolektorem. Pomiary były robione po ustaleniu się warunków przepływu.

Użyteczną wysokość podnoszenia H_u wyznaczono z zależności:

$$H_u = \frac{p_t - p_s}{\rho g} + \frac{c_t^2 - p_s^2}{\rho g} + \Delta h_m \quad (1)$$

gdzie:

- p_s, p_t – ciśnienie w króćcu ssawnym i tłocznym [Pa],
- c_s, c_t – prędkość wody w króćcu ssawnym i tłocznym [m/s],
- ρ – gęstość cieczy [kg/m^3],
- Δh_m – wysokość przewyższenia manometru na tłoczeniu względem manometru na ssaniu [m].



Rys. 2. Zespół pompowy nr 2

Prędkości w króćcu ssawnym i tłocznym obliczono z wykorzystaniem strumienia objętości wody i pola przekroju króćców:

$$c = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (2)$$

- c – średnia prędkość wody w króćcach [m/s],
- \dot{Q} – strumień objętości wody [m^3/s],
- A – pole przekroju [m^2].

Moc użyteczna, czyli przekazana do strumienia pompowanej wody, jest określana z zależności:

$$P_u = \rho g H_u \dot{Q} \quad (3)$$

Sprawność zespołu pompowego jest odniesiona do mocy doprowadzanej do silników elektrycznych:

$$\eta_{zp} = \frac{P_u}{P_{el}} = \frac{\rho g H_u \dot{Q}}{P_{el}} \quad (4)$$

Moc na wale pompy wyznaczono z uwzględnieniem sprawności silnika elektrycznego. Założono stałą wartość sprawności silnika ($\eta_{sel} = 0,93$).

Moc na wale pompy:

$$P_m = \eta_{sel} P_{el} \quad (5)$$

Sprawność pompy:

$$\eta_p = \frac{P_u}{P_m} = \frac{\eta_{zp}}{\eta_{sel}} \quad (6)$$

Zależności (1)–(6) zostały wykorzystane do obliczenia charakterystyk przepływowych pomp.

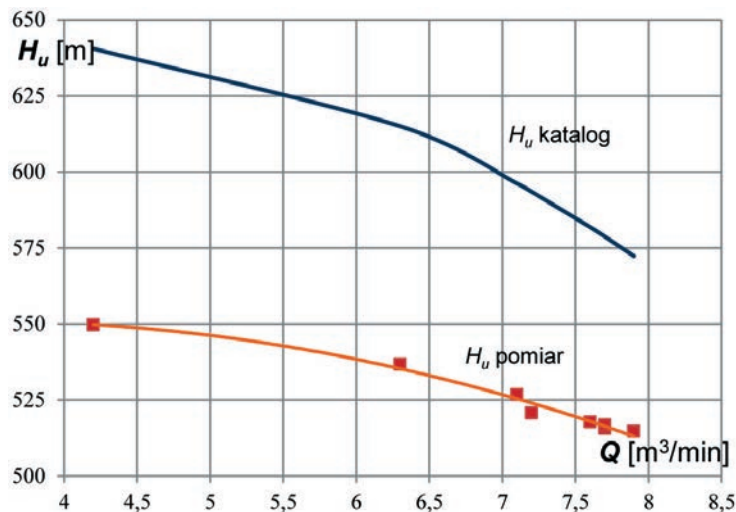
W czasie pomiarów wyznaczono charakterystyki wszystkich pomp. Pompy dławiono w niewielkim przedziale zmian ich wydajności. Postępowano tak z tego względu, że pompy głównego odwadniania są eksploatowane przy maksymalnej wydajności. W pracy przedstawiono charakterystyki tylko dwóch pomp: pompy nr 1, która była po przeprowadzonym remoncie oraz pompy nr 10, która jest najbardziej wyeksploatowana. W celu oceny stanu pomp na rysunkach

naniesione są również fragmenty katalogowych charakterystyk w zakresie mierzonych zmian wydajności pomp.

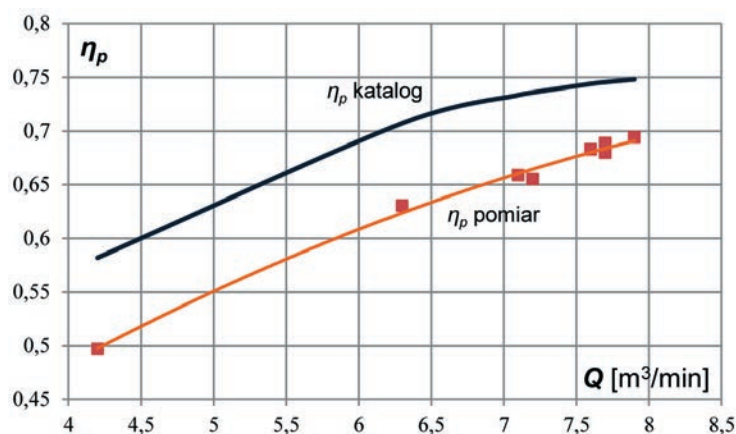
Na rysunkach 3 i 4 znajdują się charakterystyki pompy nr 1. Pompa nr 1 w okresie pomiarów pracowała po remoncie około 3340 godzin. Dzięki temu uzyskane charakterystyki znacznie mniej odbiegają od charakterystyk katalogowych w porównaniu z charakterystykami pomp, które eksploatowano powyżej 20 000 godzin. Sprawność tej pompy jest mniejsza od sprawności katalogowej od około 8% przy wydajności 8 m³/min do 14% przy wydajności 4,5 m³/min.

Czas eksploatacji badanej pompy nr 10 wynosił około 32 000 godzin. Długi okres eksploatacji szczególnie mocno odzwierciedla przebieg charakterystyki sprawności pompy. Sprawność pompy w porównaniu ze sprawnością katalogową obniżyła się o około 27%. W takim samym stopniu zwiększyła się energochłonność tego zespołu pompowego.

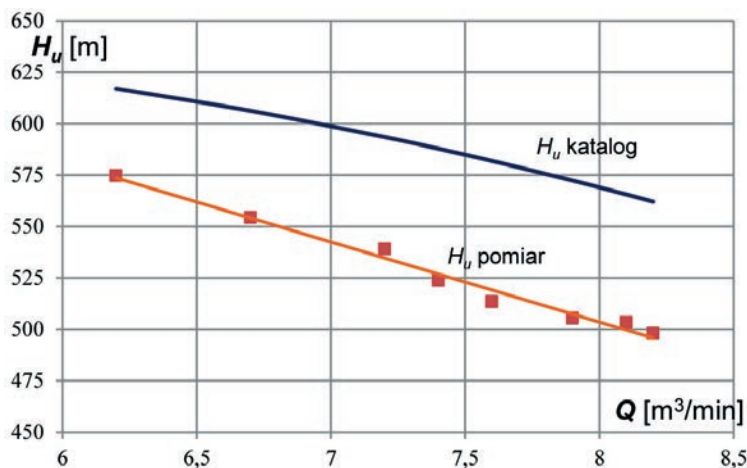
Charakterystyki pompy nr 10 zamieszczono na rysunkach 5–7. Jest to pompa najbardziej wyeksploatowana w badanej pompowni.



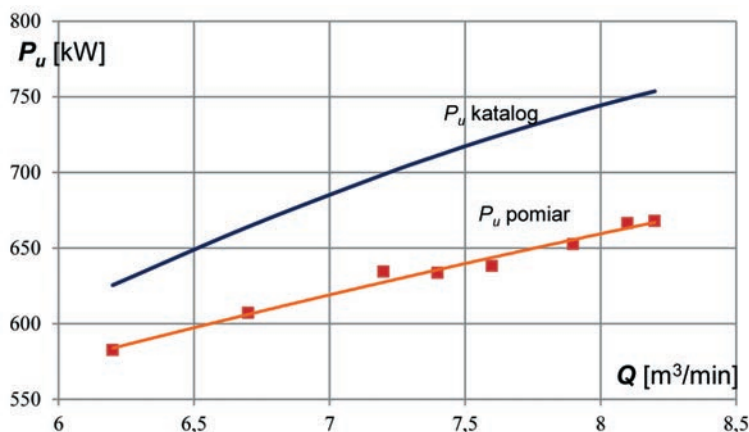
Rys. 3. Charakterystyka przepływu pompy nr 1 OW250/8



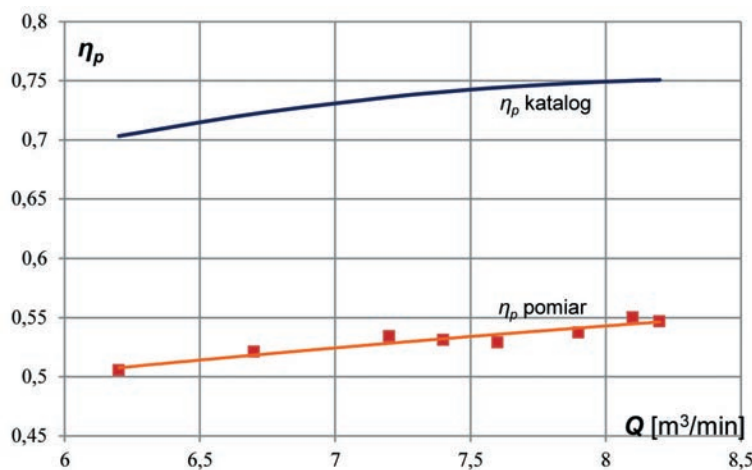
Rys. 4. Charakterystyka sprawności pompy nr 1 OW250/8



Rys. 5. Charakterystyka przepływu pompy nr 10 OW250/8



Rys. 6. Charakterystyka mocy użytecznej pompy nr 10 OW250/8



Rys. 7. Charakterystyka sprawności pompy nr 10 OW250/8

Charakter pracy pomp głównego odwadniania powoduje, że charakterystyka użytecznej wysokości podnoszenia w minimalnym stopniu zależy od dławienia. Decydującą rolę odgrywa geometryczna wysokość podnoszenia. Dla pompowni wynosi ona $H_g = 489$ m. Przyrost ciśnienia w pompie zależy od oporów przepływu jest stosunkowo niewielki – wynosi on kilka procent

(2.0–9.5%, średnio około 5%) w odniesieniu do geometrycznej wysokości podnoszenia. Rezultatem takiej charakterystyki układu pompowego jest niewielka zależność parametrów pracy pompy od dławienia. Wyraźny efekt dławienia pomp występuje przy znacznym stopniu zamknięcia zasuwy. Dlatego pomiary pracy pomp obejmują wąskie przedziały zmiany wydajności pompy.

4. WSKAŹNIKI EKSPLOATACYJNE POMP GŁÓWNEGO ODWADNIANIA

Pompy głównego odwadniania pracują z maksymalną wydajnością, jaka jest możliwa dla układu pompowego, czyli geometrycznej wysokości pompowania i oporów przepływu w rurociągach. Ze względu na straty energii nie stosuje się regulacji dławieniowej. Z tych powodów do analizy i oceny stanu pomp i ich energochłonności wystarczy wyznaczyć odpowiednie wskaźniki dla punktów pracy o największej wydajności.

Dla badanych zespołów pompowych głównego odwadniania wyznaczono współczynniki sprawności, energochłonności oraz jednostkowych kosztów pompowania. Uzyskane wyniki umieszczono w tabeli 1.

W tabeli 1 zawarto również względną wysokość podnoszenia pompy określoną jako stosunek użytecznej wysokości podnoszenia w warunkach rzeczywistych H_u do katalogowej wysokości podnoszenia pompy H_{uk} przy takim samym przepływie. Wartości tego

ułamka można interpretować jako miarę prawidłowości doboru pompy do realizacji zadania podnoszenia wody na wymaganą wysokość. Obliczone wartości H_u/H_{uk} pozwalają stwierdzić, że pompy są prawidłowo dobrane do wymagań układu pompowego. Wartość H_u/H_{uk} na poziomie 0,92 dla analizowanej pompowni głównego odwadniania świadczą o niewielkim stopniu przewymiarowania układu pompowego.

Wartość ułamka współczynnika sprawności η_p do sprawności katalogowej η_{pk} pompy przy ustalonym strumieniu wody można potraktować jako miarę jakości stanu pomp. Mniejsza wartość tego stosunku oznacza gorszy stan eksploatowanej pompy. Dla badanych pomp stosunek η_p/η_{pk} przyjmuje wartości z szerokiego przedziału. Dla pomp 1 i 3 ma on wartość powyżej 0,90, natomiast dla pompy 10 tylko 0,73. Stan pomp, dla których ułamek ten przyjmuje wartości poniżej 0,80, można uznać za niezadowalający. Wartość średnia dla wszystkich pomp w pompowni wynosi $\eta_p/\eta_{pk} = 0,82$.

Tabela 1

Zestawienie parametrów pracy pomp OW250/8 przy maksymalnej wydajności

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Średnia
Strumień objętości Q [m ³ /min]	7,9	8,1	9,2	8,1	8,5	8,4	8,0	9,2	7,6	8,2	8,3
Użyteczna wysokość podnoszenia H_u [m]	514,7	523,6	535,1	508,8	516,4	513,9	498,2	514,0	503,3	498,2	512,6
Względna wysokość podnoszenia H_u/H_{uk} [-]	0,90	0,93	1,0	0,90	0,94	0,93	0,87	0,98	0,86	0,87	0,92
Moc elektryczna P_{el} [kW]	1030	1214	1200	1195	1263	1275	1266	1399	1137	1314	1229
Sprawność pompy η_p [-]	0,694	0,614	0,721	0,615	0,613	0,595	0,553	0,594	0,591	0,547	0,614
Względna sprawność pompy η_p/η_{pk} [-]	0,93	0,82	0,97	0,82	0,81	0,79	0,74	0,80	0,79	0,73	0,82
Zużycie energii elektrycznej q_p [kWh/m ³]	2,173	2,498	2,174	2,459	2,476	2,530	2,638	2,534	2,493	2,671	2,465
Koszt pompowania wody q_E [zł/1000 m ³]	1012	1163	1012	1145	1153	1178	1228	1180	1161	1244	1148
Czas pracy pompy $\Delta\tau$ [h]	3336	12 032	757	21 000	24 000	29 017	24 015	6015	23 473	32 041	17 569

P1, P2, ..., P10 – numery zespołów pompowych

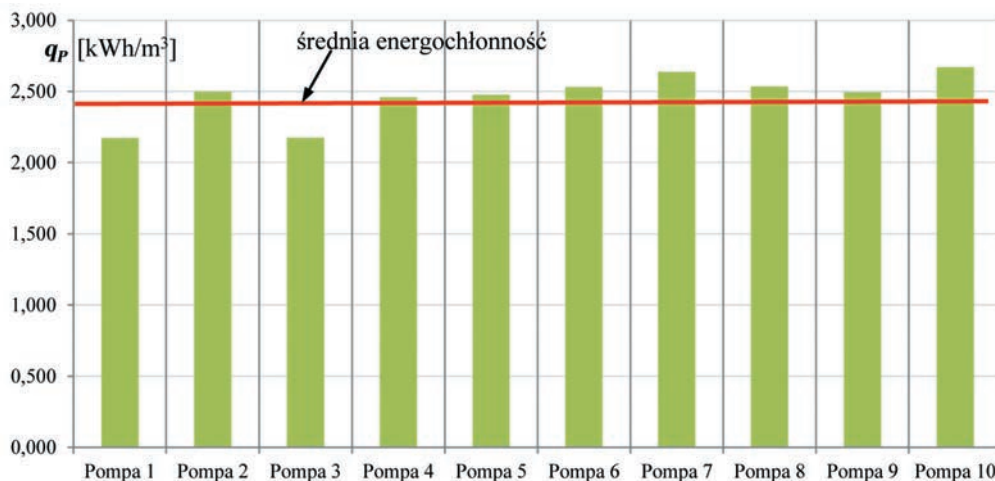
W tabeli 1 znajdują się również współczynniki określające energochłonność pomp q_p oraz koszty pompowania wody q_E . Współczynnik q_p [kWh] określa ilość energii elektrycznej potrzebnej do wypompowania 1 m³ wody. Natomiast współczynnik q_E określa koszt wypompowania 1000 m³ wody przy cenie 465,70 zł/MWh (wrzesień 2021).

Dla zespołów pompowych pracujących w pompowni energochłonność procesu wypompowania wody przyjmuje wartości $q_p = 2,173$ – $2,671$ kWh/m³, wartość średnia wynosi $q_p = 2,465$ kWh/m³. Koszty wypompowania 1000 m³ wody wynoszą $q_E = 1012$ – 1244 zł/1000 m³, wartość średnia $q_E = 1148$ zł/1000 m³. Energochłonność pompowania wody przedstawiona jest również

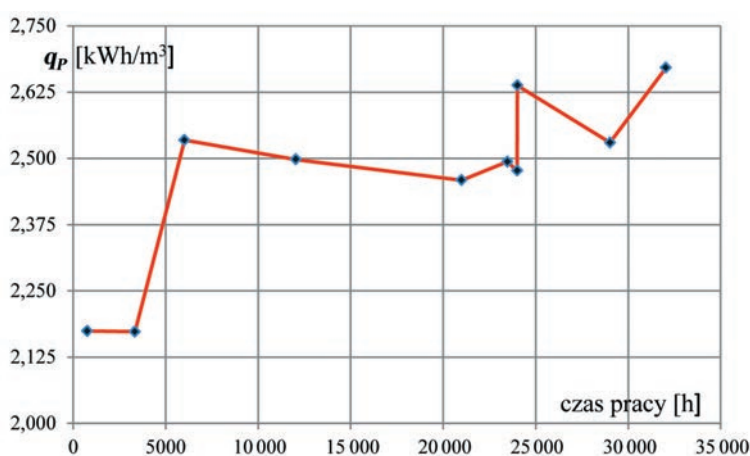
na rysunku 8, linią czerwoną zaznaczona jest średnia wartość dla pompowni głównego odwadniania.

W tabeli poszczególnym pompom przypisano ich czasy pracy. Analiza wartości wskaźników jakościowych obrazuje wpływ czasu eksploatacji na stan i energochłonność pomp. Zależność energochłonności od czasu pracy ilustruje rysunek 9.

Przebieg krzywej energochłonności jest przeciwnym, co jest oczywiste, charakterystyki sprawności od czasu pracy. Krótszym okresom pracy odpowiada niska energochłonność, pogorszenie stanu technicznego pomp wynikające z eksploatacyjnego zużycia powoduje wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną do wypompowania 1 m³ wody.



Rys. 8. Energochłonność procesu wypompowania wody



Rys. 9. Zależność energochłonności pomp od czasu pracy

5. PODSUMOWANIE

W analizowanej pompowni głównego odwadniania, znajdującej się na poziomie 500 m kopalni podziemnej, pracuje dziesięć zespołów pompowych. Do wypompowania dopływu wody, zgodnie z wymaganiami przepisów górniczych, potrzebnych jest siedem pomp. W pracy ciągłej powinno być 2,5 zespołu pompowego o sumarycznej wydajności 20,20 m³/min.

Wyniki pomiarów oraz wyznaczone na ich podstawie charakterystyki i wskaźniki jakościowe wskazują na niezadowalający lub zły stan większości pomp. Jest to konsekwencja długich czasów pracy pomp bez remontów (6 pomp powyżej 20 000 godzin). Zła jakość wody zawierającej zanieczyszczenia mechaniczne i silnie zasolonej zwiększa znacznie zużycie erozyjne wirników oraz innych elementów konstrukcyjnych pomp, co przekłada się na spadek sprawności pomp. Większość pomp ma sprawność około 20% niższą w odniesieniu do sprawności katalogowej pomp nowych. Tak niskie sprawności pomp w oczywisty sposób

przekładają się na wzrost energochłonności i kosztów jednostkowych wypompowania wody. Można stwierdzić, że energochłonność i koszty procesu wypompowania wody wzrastają w takim samym stopniu, w jakim obniża się sprawność, czyli o około 20%.

Pompy po remoncie (nr 1 i 3) mają znacznie korzystniejsze charakterystyki i wskaźniki eksploatacyjne. Świadczy to o konieczności prowadzenia regularnych przeglądów i remontów.

Stan pomp w omawianej pompowni głównego odwadniania należy uznać za niezadowalający. Eksploatacja tej pompowni obciążona jest wysokimi wartościami wskaźników energochłonności i kosztów eksploatacji.

Literatura

- [1] Inung A., Adnyano A., Bagaskoro M.: *Technical study of mine dewatering system in coal mining*. PROMINE 2020, 1: 28–33.
- [2] Gonet A., Stryczek S., Brudnik K.: *Causes and Consequences of Water Flux on the Example of Transverse Heading Mina in the Salt Mine „Wieliczka”*. Archives of Mining Sciences 2012, 57: 323–334.

- [3] Bukowski P.: *Evaluation of Water Hazard in Hard Coal Mines in Changing Conditions of Functioning of Mining Industry in Upper Silesian Coal Basin – USCB (Poland)*. Archives of Mining Sciences 2015, 60, 2: 455–475.
- [4] Rybicki Cz., Dubiel S., Blicharski J., Falkowicz S.: *Water Inflow Prognosis for the Gas Wells*. Archives of Mining Sciences 2006, 51, 2: 241–251.
- [5] Miladinović B., Ristić Vakanjac V., Bukumirović D., Dragišić V., Vakanjac B.: *Simulation of Mine Water Inflow: Case Study of the Štavalj Coal Mine (Southwestern Serbia)*. Archives of Mining Sciences 2015, 60, 4: 955–969.
- [6] Qazizada M.E., Pivarčiová E.: *Reliability of parallel and serial centrifugal pumps for dewatering in mining process*. Acta Montanistica Slovaca 2018, 23(2): 141–152.
- [7] Chen T., Riley C., Van Hentenryck P., Guikema S.: *Optimizing inspection routes in pipeline networks*. Reliability Engineering & System Safety 2020, 195: 106700.
- [8] Hancock S., Wolkersdorfer C.: *Renewed demands for mine water management*. Mine Water Environ 2012, 31(2): 147–158.
- [9] Zhang C., Zhang Y.: *Common cause and load-sharing failures-based reliability analysis for parallel systems*. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2020, 22 (1): 26–34.
- [10] Matysik A.: *Odwadnianie kopalń podziemnych*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2002.
- [11] Wojciechowski J., Mikoś M., Ptak J.: *Zastosowanie modelowania matematycznego do komputerowych obliczeń systemu głównego odwadniania kopalni*. Pompy. Pompownie 2006, 1 (120): 26–30.
- [12] *Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych*. Dz.U. z 2017 r., poz. 1118.
- [13] Jędral W.: *Pompy wirowe*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014.
- [14] Wilk S., Golec K., Wilk A.: *Wirowe pompy stacjonarne, podręcznik doboru, instalowania i eksploatacji*. Zakład Mechaniki Przemysłowej ZAMEP Sp. z o.o., Gliwice 2015.
- [15] Szymański Z.: *Nowoczesne metody sterowania i badań diagnostycznych kopalnianych pomp głównego odwadniania*. Napędy i Sterowanie 2013, 2: 54–61.

prof. EDWARD MICHŁOWICZ
dr inż. JERZY WOJCIECHOWSKI
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
{michlowi, jwojcie}@agh.edu.pl