

ANALIZA KOSZTÓW EKSPLOATACJI SYSTEMU GŁÓWNEGO ODWADNIANIA KOPALNI WĘGLA KAMIENNEGO

38.1 WPROWADZENIE

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. Wytyczne projektowe oraz wymagania techniczne stawiane systemowi głównego odwadniania ujęte są w następujących punktach „Rozporządzenia”:

- Urządzenia, wraz z układami głównego odwadniania, powinny umożliwić odprowadzenie najwyższego dobowego dopływu wody w czasie nie dłuższym niż 20 godzin (Rozdział 3, §528, pkt. 1).
- Jeżeli komora pomp jest wyposażona w zespoły pomp, liczba pomp w tych zespołach wynosi co najmniej:
 - 5 pomp - przy 2 pompach pracujących w zespole,
 - 7 pomp - przy 3 pompach pracujących w zespole (Rozdział 3, §529, pkt. 1).
- Urządzenia głównego odwadniania powinny posiadać co najmniej dwa rurociągi tłoczne o łącznej przepustowości nie mniejszej niż łączna wydajność znamionowa wymaganej liczby zainstalowanych pomp, przy prędkości przepływu nie większej niż 3 m/s. (Rozdział 3, §531, pkt.1).

Wymagania te określają wielkość układów pompowych oraz infrastrukturę systemu głównego odwadniania. Pozwalają również na oszacowanie kosztów urządzeń, a tym samym kosztów amortyzacji tych urządzeń.

Kolejnym istotnym kosztem związanym z eksploatacją układów głównego odwadniania jest koszt energii elektrycznej. Jest on bezpośrednio związany ze średnim dopływem wody oraz z głębokością poziomu pompowni.

Na pozostałe koszty związane z utrzymaniem systemu odwadniania składają się koszty osobowe obsługi, koszty remontów oraz koszty związane z usuwaniem

awarii.

38.2 POMIARY WARUNKÓW EKSPLOATACJI SYSTEMU GŁÓWNEGO ODWADNIANIA

Głównym zadaniem stawianym systemowi odwadniania jest podniesienie danej ilości wody na zadaną wysokość. Posługując się przykładem, zadana wysokość podnoszenia $H_g = 500$ m. Zatem energia potrzebna do realizacji tego zadania dla 1 m^3 wynosi:

$$E_{pot} = mgH_g = 1000[kg] \cdot 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot 500[m] = 405[kJ] = 0,1125 [kWh]$$

Zatem zapotrzebowanie energetyczne na podniesienie wody wynosi $0,1125 \text{ kWh/m}^3$. W analizowanym przykładzie dopływ dobowy wody wynosi 20000 m^3 , oraz biorąc pod uwagę koszt energii, przykładowo wynoszący 280 zł/MWh koszt dobowego pompowania wynosiłby 630 zł , czyli $31,5 \text{ zł}/1000 \text{ m}^3$. Wartość ta odzwierciedla tylko energię potrzebną do podniesienia masy wody na zadaną wysokość, pozostałe koszty związane są ze sprawnością poszczególnych maszyn i urządzeń.

W celu oszacowania rzeczywistego kosztu energii elektrycznej w układach zasilania pomp podłączono analizator energii elektrycznej, przepływomierze oraz mierniki ciśnienia i zmierzono rzeczywiste obciążenie. Opis zespołów pompowych przedstawiono w tabeli 38.1, natomiast uśrednione wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 38.2.

Tabela 38.1 Zestawienie typu pomp i silników

Lp	Nr zestawu pompowego	Typ pompy	Typ silnika
1	Zespół pompowy 2	OW 250AM/8	SCDdm 134 u
2	Zespół pompowy 3	WPWE -250/7LH	S1 500X-4D
3	Zespół pompowy 4	OW 250AM/8	SCDdm 134 u
4	Zespół pompowy 5	WPWE -250/7LH	S1 500X-4D
5	Zespół pompowy 6	OW 250AM/8	SCDdm 134 u
6	Zespół pompowy 7	OW 250F/8	Sh500 H4D

Tabela 38.2 Uśrednione wyniki pomiarów

Lp	Ciśnienie ssania	Ciśnienie tłoczenia	Strumień	Moc elektryczna	Prędkość w króćcu ssawnym	Prędkość w króćcu tłocznym	Użyteczna wysokość podnoszenia pompy	Moc użyteczna	Sprawność zespołu pompowego	Moc na wale pompy	Sprawność pompy
	P_s bar	P_t bar	Q m^3/min	P_{el} kW	C_s m/s	C_t m/s	H_u m	P_u kW	η_{zp} [-]	P_m kW	η_p [-]
1	-0,47	50	8,4	1138	1,98	2,85	515,2	707,6	0,622	1081,1	0,654
2	-0,48	48,4	9,8	1150	2,31	3,33	489,7	784,68	0,682	1092,5	0,718
3	-0,48	48,0	6,9	988	1,63	2,34	494,9	558,3	0,565	938,6	0,595
4	-0,48	46,4	10,2	1145	2,38	3,43	478,5	790,19	0,690	1087,8	0,726
5	-0,48	49	8,6	1185	2,03	2,92	505,1	710,23	0,599	1125,8	0,631
6	-0,48	48	8,9	1108	2,10	3,02	494,9	720,17	0,650	1052,6	0,684

38.3 OCENA PRACY POMP

Wyniki pomiarów poddano szczegółowym analizom, które zostały zebrane w formie tabelarycznej. W tabeli 38.3 zestawione są wyniki pomiarów i obliczeń parametrów

pracy pomp przy pełnym otwarciu zasuw. Stan ten odpowiada największej wydajności pomp i braku dławienia przepływu. Straty energii występujące przy transporcie wody w tych warunkach odpowiadają oporom przepływu wynikającym z konfiguracji i geometrii układu [1].

Tabela 38.3 Parametry pracy pomp głównego odwadniania

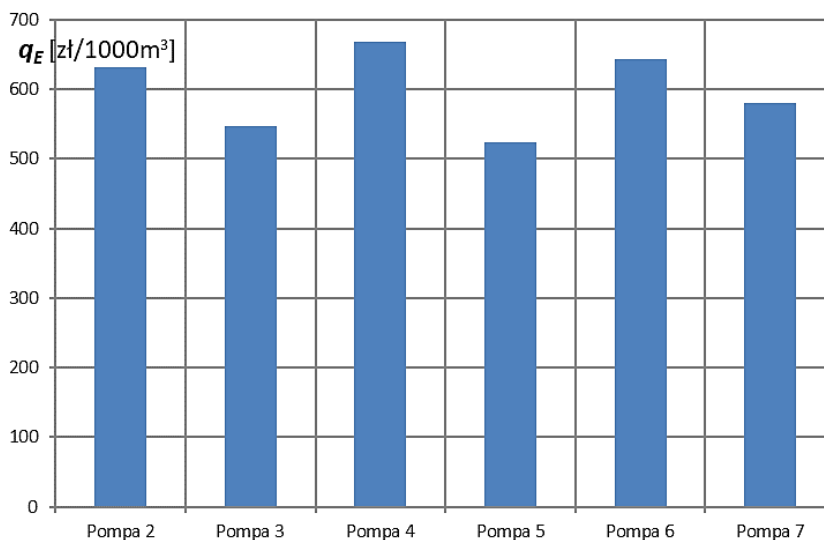
		Pompa 2	Pompa 3	Pompa 4	Pompa 5	Pompa 6	Pompa 7	średnia
Strumień objętości Q	m ³ /min	8,4	9,8	6,9	10,2	8,6	8,9	8,8
Użyteczna wysokość podnoszenia H_u	m	515,2	489,7	494,9	478,5	505,1	494,9	496,7
Względna wysokość podnoszenia H_u/H_{uk}	--	0,93	0,99	0,82	0,98	0,92	0,92	0,93
Moc elektryczna P_{el}	kW	1138	1150	988	1145	1185	1108	1119
Sprawność pompy η_p	--	0,654	0,718	0,595	0,726	0,631	0,684	0,668
Względna sprawność pompy η_p/η_{pk}	--	0,87	0,86	0,82	0,87	0,84	0,92	0,85
Zużycie energii elektrycznej q_p	kWh/m ³	2,257	1,957	2,387	1,873	2,299	2,075	2,155
Koszt pompowania wody q_E	zł/1000m ³	632	548	668	524	644	581	600
Zużycie energii elektrycznej q_{pk}	kWh/m ³	2,119	1,690	2,642	1,675	2,090	2,048	2,005
Koszt pompowania wody q_{Ek}	zł/1000m ³	593	473	740	469	585	574	561

W tabeli 38.3 przedstawiono 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 0,93 świadczy 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. Pompy pracujące w pompowni mają wartość tego ułamka powyżej 0,82, średnia wartość dla wszystkich pomp wynosi 0,85 co pozwala na interpretowanie stanu pomp jako dobry. W tabeli 38.3 znajdują się również współczynniki określające energochłonność pomp q_p oraz koszty pompowania wody q_E . Współczynnik q_p określa ilość energii elektrycznej w kWh potrzebnej do wypompowania 1 m³ wody. Natomiast współczynnik q_E określa koszt wypompowania 1000 m³ wody przy cenie 280 zł/MWh.

Dla pomp pracujących w analizowanej pompowni energochłonność procesu

przyjmuje wartości $q_P = 1,873-2,387$ kWh/m³, wartość średnia wynosi $q_P = 2,155$ kWh/m³. Koszty wypompowania 1000 m³ wody wynoszą $q_E = 524-668$ zł/1000m³, wartość średnia wynosi $q_E = 600$ zł/1000m³. Koszty pompowania wody przedstawione są również na rysunku 38.1.



Rys. 38.1 Koszt pompowania 1000 m³ wody

W tabeli 38.3 kolorem żółtym zaznaczono oszacowane wartości współczynnika energochłonności i kosztów jednostkowych w sytuacji pracy pomp z katalogową wysokością podnoszenia i sprawnością pomp przy zmierzonych strumieniach wody.

38.4 ANALIZA MOŻLIWOŚCI OBNIŻENIA KOSZTÓW EKSPLOATACJI POMPOWNI

Zrealizowane pomiary i analizy pozwoliły na wyznaczenie sprawności silników napędowych, sprawności pomp jak również oporów tłoczenia [2]. Są to główne składowe kosztów pompowania, ponieważ koszt samego podniesienia masy wody stanowi około 5,2% kosztów energii elektrycznej. Zastosowane silniki typu SCDm 134 i SCDu 134 charakteryzują się sprawnością na poziomie 62%. Tak niska sprawność wynika z ich przestarzałej konstrukcji jak również ilości zrealizowanych remontów [3]. Nadmienić należy że wymagania unijnej dyrektywy w sprawie ekoprojektu (ErP) w zakresie silników tej mocy zakazują sprzedaży silników poniżej 94% sprawności (klasa IE1). Również sprawność pomp zależna jest od konstrukcji oraz stanu technicznego. W analizowanej pompowni nie przekracza 73%, ale można znaleźć pracujące pomy poniżej 60%. Nowe pompy charakteryzują się sprawnością na poziomie 75%. Zatem należy rozważyć opłacalność inwestycji zwiększających sprawność układu pompowego. Inwestycje te mogą dotyczyć: silnika elektrycznego wraz z jego układem zasilającym, pomp oraz kolektorów.

Dla rozważanego przykładu przyjęto nowoczesny wysokosprawny silnik typu Sh500. Sprawność tego typu silników dochodzi do 97%. Koszt silnika o mocy 1200kW oszacowano na 300 000zł. Biorąc pod uwagę wymianę silnika o sprawności

65% dzienna różnica w kosztach pompowania wyniesie ponad 2500 zł. Amortyzacja zakupu takiego silnika wyniesie około 4-5 miesięcy. Nawet wymiana silników, których sprawność nie przekracza 80% wygeneruje dzienne oszczędności na poziomie 1300 zł dziennie, co wskazuje na amortyzację w ciągu 8 miesięcy pracy. Nie bez znaczenia jest również niezawodność układów elektrycznych. Rozruch silnika takiej mocy powoduje istotne obciążenie układów zasilających oraz podziemnej sieci energetycznej. Ograniczenia ilości rozruchów, czas takich rozruchów oraz uwzględnienie obciążenia sieci innymi urządzeniami o dużym poborze mocy nakazuje uwzględnienie zabezpieczeń w tym zakresie. Przeprowadzone analizy wskazują na nieopłacalne zastosowanie układów przekształtników częstotliwościowych (falowników), jednak układy miękkiego startu (sofstartu) w tych instalacjach są szczególnie polecane. Mają istotny wpływ na działania rozdzielni średniego napięcia, układy mechaniczne silnika i pompy oraz wpływają na bezpieczeństwo energetyczne kopalni. Układy miękkiego startu znacząco zwiększają resurs silnika, zwiększając go w takich warunkach prawie dwukrotnie.

Podobne obliczenia zrealizowano dla pomp. Ogólnie można przyjąć, że zwiększenie sprawności pompy o 1% daje oszczędności na poziomie 70 zł dziennie. Jest to stosunkowo niewiele, jednak wymiana pompy o sprawności 60% na pompę nową może przynieść oszczędności na poziomie 1000 zł dziennie, co stanowi istotną wartość. W tym miejscu należy zwrócić uwagę na stan techniczny zestawu popowego [4]. Nieosiowość układu silnik - pompa może powodować zmniejszenie sprawności o 2% do 5%. Złe posadowienie silnika lub pompy na fundamencie wprowadza straty na poziomie 2%. Zły stan łożysk to również spadek sprawności dochodzący do 7%. Zatem dbałość o dobry stan techniczny elementów systemu przynosi wymierne korzyści bezpośrednio w postaci zwiększenia sprawności układu, jak również wydłuża czas pracy międzyremontowej lub czas pracy bezawaryjnej. Analiza awarii w analizowanym systemie głównego odwadniania wskazuje na sporadyczne występowanie awarii krytycznych, dominującym czynnikiem jest degradacja techniczna układu związana z czasem pracy.

38.5 PODSUMOWANIE

Przedstawione analizy wykazały istotne znaczenie stanu technicznego oraz technologicznego urządzeń systemu odwadniania kopalni. Dbłość o dobry stan techniczny, wysoką sprawność oraz niezawodność przynosi wymierne korzyści finansowe, jak również wpływa na zmniejszenie zapotrzebowania energetycznego tym samym wpływając korzystnie na emisję gazów cieplarnianych. Inwestycje związane z wymianą starych urządzeń na nowoczesne charakteryzują się krótkim czasem zwrotu. Również reorganizacja pompowni może wpłynąć na obniżenie kosztów jej funkcjonowania, jednakże każde tego typu działanie powinno być poprzedzone dogłębną analizą [5]. Dalsze badania w tym zakresie będą prowadzone

pod kątem zmniejszenia oporów przepływu oraz poprawie bezpieczeństwa eksploatacji kolektorów.

LITERATURA

1. R. Gryboś, *Drgania konstrukcji wzbudzone przepływem*. Wydaw. Politechniki Śląskiej, 2004
2. G. Peruń, B. Łazarz, and T. Korbiel, "Diagnostyka wibroakustyczna urządzeń," *Mag. Autostrady*, vol. 4, pp. 30-33, 2015
3. P. Pawlik *et al.*, "Vibroacoustic study of powertrains operated in changing conditions by means of order tracking analysis," *Eksploat. i Niezawodn. - Maint. Reliab.*, vol. 18, no. 4, pp. 606–612, Sep. 2016
4. T. Korbiel, W. Biały, and S. Czerwiński, "Ocena stanu technicznego maszyn górniczych w oparciu o kryterium rozkładu Weibulla," *Syst. Wspomagania w Inżynierii Prod.*, vol. z. 1 (13), 2016
5. T. Korbiel, "Eksploatacyjne uwarunkowania budowy systemów monitorujących," *Przegląd Mech.*, 2016

Data przesłania artykułu do Redakcji: 03.2019

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 04.2019

ANALIZA KOSZTÓW EKSPLOATACJI SYSTEMU GŁÓWNEGO ODWADNIANIA KOPALNI WĘGLA KAMIENNEGO.

Streszczenie: System głównego odwadniania kopalni jest elementem niezbędnym w eksploatacji podziemnych zakładów górniczych. System ten składa się z wielu elementów takich jak kanały i chodniki wodne, zbiorniki podziemne pompy z napędem oraz rurociągi tłoczne. Działanie tego systemu jest uniezależnione od aktualnego wydobycia, stanowiąc dla kopalni stały koszt utrzymania. W zależności od głębokości kopalni oraz średniego napływu wody na koszt ten składają się koszt energii elektrycznej zasilającej pompy, koszt amortyzacji urządzeń, koszt obsługi oraz koszty ewentualnej utylizacji wody wraz z opłatami środowiskowymi. W artykule przedstawiono rozważania dotyczące ograniczenia kosztów funkcjonowania odwadniania głównego poprzez odpowiednią eksploatację urządzeń oraz odpowiednią politykę remontową. Przedstawione wyniki oparte zostały o rzeczywistą analizę funkcjonowania systemu odwadniania jednej z polskich kopalń.

Słowa kluczowe: Eksploatacja pomp, główne odwadnianie, redukcja kosztów

ANALYSIS OF OPERATING COSTS OF THE MAIN COAL MINE DEWATERING SYSTEM

Abstract: The main mine dewatering system is an essential element in the exploitation of underground mining plants. The system consists of many elements such as water channels and water walkways, underground tanks, powered pumps, and discharge pipelines. The operation of this system is independent of the current extraction, constituting a fixed cost of maintenance for the mine. Depending on the depth of the mine and the average inflow of water, this cost consists of the cost of electricity supplying the pump, the cost of depreciation of equipment, the cost of service and the costs of possible water disposal along with environmental charges. The article presents considerations regarding the reduction of main drainage operation costs through appropriate equipment operation and appropriate repair policy. The presented results are based on a real analysis of the functioning of the drainage system of one of the Polish mines.

Key words: operation of pumps, main dewatering, cost reduction

dr inż. Tomasz Korbiel
AGH w Krakowie
Katedra Mechaniki i Wibroakustyki
al. Mickiewicza 30, Kraków, Polska
e-mail: tkorbiel@agh.edu.pl

dr inż. Jerzy Wojciechowski
AGH w Krakowie
Katedra Systemów Energetycznych
i Urządzeń Ochrony Środowiska
al. Mickiewicza 30, Kraków, Polska