

*samojezdne maszyny robocze,
układ hydrauliczny, awaria*

Robert KRÓL*, Radosław ZIMROZ*, Łukasz STOLARCZYK**

ANALIZA AWARYJNOŚCI UKŁADÓW HYDRAULICZNYCH SAMOJEZDNYCH MASZYN ROBOCZYCH STOSOWANYCH W KGHM POLSKA MIEDŹ S.A.

W artykule przedstawiono analizę awaryjności układów hydraulicznych maszyn ciągu technologicznego (samojezdny wóz wierzący, samojezdny wóz wierząco-kotwiący, ładowarka kołowa, wóz odstawczy), stosowanych w KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG Rudna. Wyznaczono częstość występowania awarii z podziałem na poszczególne elementy układów. Przeprowadzono analizę uszkodzeń dla wybranych grup obiektów uwzględniając ilość przepracowanych godzin przez maszynę do wystąpienia pierwszej awarii, a także rodzaj tej awarii. Wskazano kierunki dalszych prac, które pozwolą na ilościowe określenie głównych przyczyn niedomagań elementów analizowanych układów.

1. WPROWADZENIE

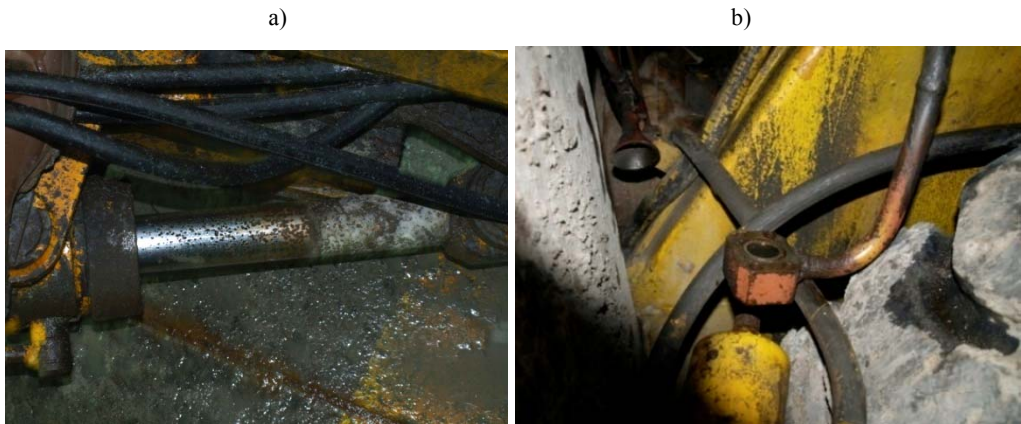
W maszynach o złożonej konstrukcji, przeznaczonych do wykonywania skomplikowanych czynności, zagadnienie napędzania i sterowania hydraulicznego jest bardzo rozpowszechnione i odgrywa decydującą rolę. Stanowi o jej przydatności, wydajności, a także niezawodności, od której zależy efektywności technologicznego procesu wydobywania kopaliny. W górnictwie rud miedzi układy hydrauliczne dzięki takim własnościom jak: możliwość przenoszenia dużych mocy przy stosunkowo małej masie i wymiarach urządzenia, równomierna i spokojna praca organu roboczego napędzanego hydraulicznie, możliwość łatwej bezstopniowej regulacji prędkości zarówno ruchu obrotowego, jak i prostoliniowego znajdują szerokie zastosowanie w maszynach wy-

* Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Instytut Górnictwa, pl. Teatralny 2, 50-051 Wrocław.

** Dyplomant, Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Instytut Górnictwa, pl. Teatralny 2, 50-051 Wrocław.

korzystywanych zarówno na etapie urabiania, odstawy jak również podczas wykonywania robót pomocniczych [1].

Jednak zwiększenie koncentracji wydobycia poprzez schodzenie z eksploatacją złóż na coraz większe głębokości a przy tym trudniejsze warunki klimatyczne powodują, że poziom niezawodności takich maszyn niejednokrotnie odbiega od zakładanego przez producenta. W praktyce górniczej warunki klimatyczne kształtowane są procesami fizycznymi związanymi ze wzrostem energii powietrza w skutek kompresji w szybach wdechowych, wymianą ciepła i wilgoci pomiędzy górotworem i powietrzem jak również wymianą ciepła i wilgoci z maszyn i urządzeń górniczych. Obowiązują rozporządzenia Ministerstwa Gospodarki, które zadając graniczne parametry mikroklimatu, mają minimalizować stopień zawadność stosowanych maszyn, nie dopuszczając do występowania licznych, nieprzewidzianych awarii. Ponadto w samojezdnym maszynach bardzo często stosowane są dodatkowe obwody chłodzące cieczą roboczą lub wyłączniki krańcowe, które w sytuacjach ekstremalnych zapobiegają przegrzaniu cieczy, a tym samym chronią przed zniszczeniem całego układu hydraulicznego. Dodatkowo powietrze kopalniane zawiera frakcje stałe, tj. pyły, które powstają w wyniku prowadzonych procesów technologicznych podczas eksploatacji złoża. Mikronowe fragmenty pyłu mogą przedostać się do obiegu układu hydraulicznego drogą np. przez zużyte tłoczysko i zanieczyszczając cieczą roboczą doprowadzić do zintensyfikowanych procesów zużycia jego elementów (rys. 1).



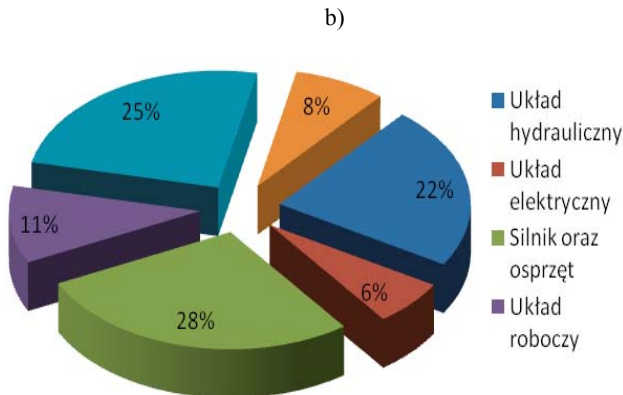
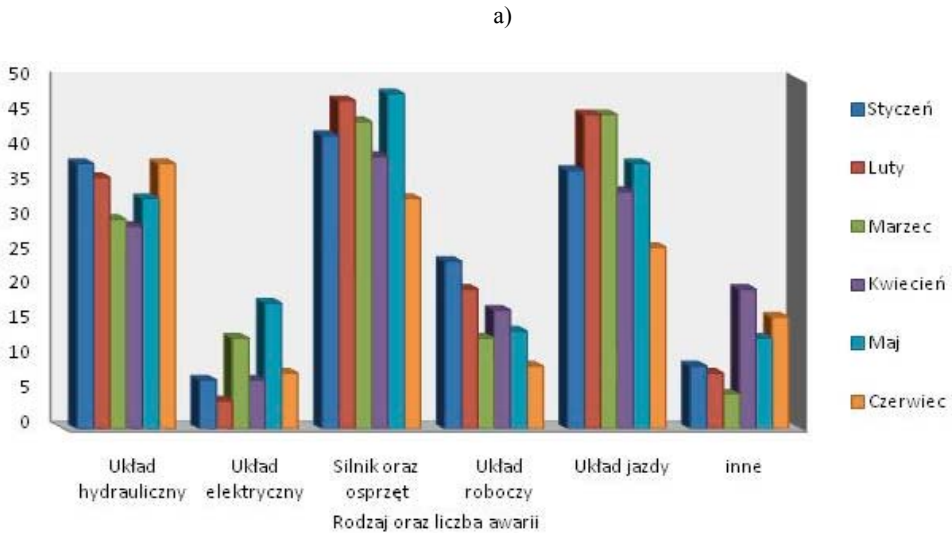
Rys. 1. Przykłady dróg przedostawania się zanieczyszczeń:

- a) uszkodzone tłoczysko siłownik obrotu ramienia roboczego maszyny,
- b) niezabezpieczony przewód hydrauliczny

Fig. 1. Example ways of impurities penetration:

- a) damaged rod of rotating hydraulic booster of working arm of analyzed machines (LHD units),
- b) unsecured hydraulic cable

Awaryjność najważniejszych układów maszyn roboczych eksploatowanych w jednej z kopalń KGHM, pokazano na rys. 2. Uszkodzenia układów hydraulicznych stanowią tu istotny udział w całkowitej liczbie występujących awarii [2]. Z przedstawionych danych zebranych w I półroczu 2007 r. wynika, że aż co czwarta odnotowana niesprawność samojezdnej maszyny roboczej wynika właśnie z niepoprawnego działania hydrauliki siłowej.

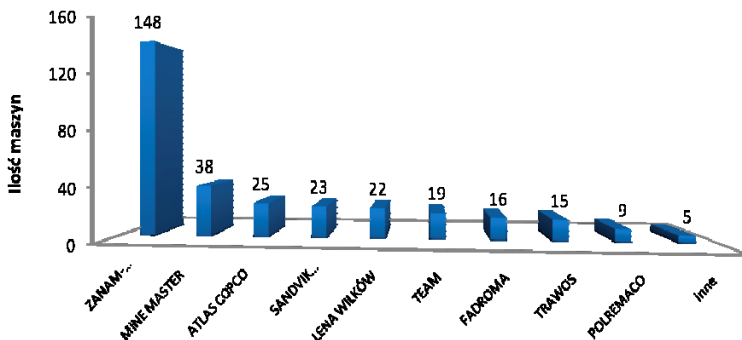


Rys. 2. Awaryjność najważniejszych układów maszyn roboczych w pierwszym półroczu 2007 roku: a) licznosc występowania z podziałem na miesiące, b) procentowy udział uszkodzeń
 Fig. 2. Damage function of main component systems of LHD units in the first part of the 2007 year: a) Number of occurrences in following months, b) Percentage share of damages

Stan ten uzasadnia celowość prowadzenia prac w zakresie identyfikacji rodzaju uszkodzeń wraz z przyczynami ich powstawania. Taka analiza powinna posłużyć do określenia najsłabszych ogniw układu hydraulicznego, które należy neutralizować np. w procesie modernizacji, poprawiając tym samym niezawodności całej maszyny roboczej.

2. PRZEDMIOT BADAŃ

Analizie niezawodnościowej poddano grupę 320 maszyn ciągu technologicznego kopalni Rudna należącej do KGHM Polska Miedź S.A, w skład którego wchodzi samojedźne wozy wierzące, samojedźne wozy kotwiące, ładowarki łyżkowe oraz wozy odstawcze. Zebrane dane, które dotyczyły przedziału czasowego od stycznia do grudnia 2007 r. przedstawiono na rys. 3.

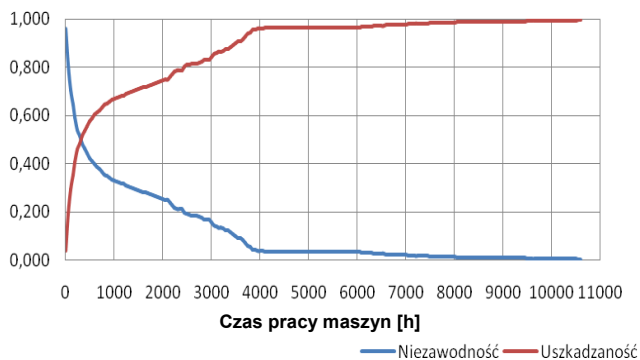


Rys. 3. Liczba analizowanych samojedźnych maszyn roboczych z podziałem na producenta
Fig. 3. Number of LHD units classified according to manufacturer

3. ANALIZA STATYSTYCZNA USZKODZEŃ UKŁADÓW HYDRAULICZNYCH

3.1. FUNKCJA USZKADZALNOŚCI ORAZ NIEZAWODNOŚCI UKŁADÓW HYDRAULICZNYCH

Dysponując informacjami na temat awaryjności układów hydraulicznych badanej grupy obiektów oraz znając czasy ich występowania, wyznaczono funkcję niezawodności oraz uszkodzalności (rys. 4).

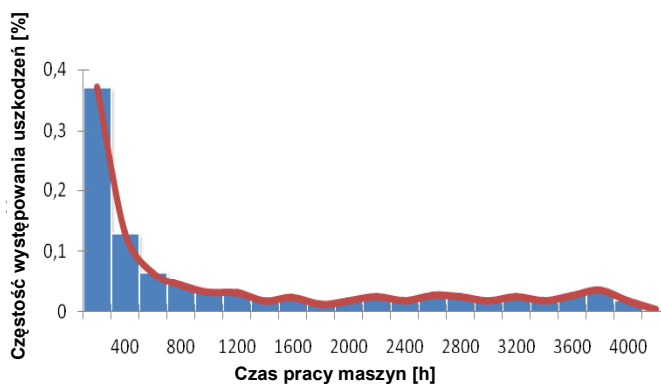


Rys. 4. Funkcje niezawodności i odpowiadająca funkcja uszkodzalności
Fig. 4. Reliability function and respected damage function

Funkcja uszkodzalności przedstawiona na wykresie wykazała, że aż 95% układów hydraulicznych w maszynach roboczych ulega uszkodzeniu w przedziale czasowym od 0 do 4000 motogodzin co oznacza, że tylko 5% analizowanych układów pozostaje sprawna po tym czasie. Ponadto stwierdzono, że w okresie do 10500 Mth następuje awaria we wszystkie analizowanych układach.

3.2. FUNKCJA GĘSTOŚCI ROZKŁADU CZASU POPRAWNEJ PRACY

Funkcja gęstości czasu poprawnej pracy informuje nas o procentowej wartości uszkodzeń w poszczególnych przedziałach czasu pracy maszyn. Dla analizowanej grupy maszyn roboczych funkcję gęstości przedstawiono na rys. 5.



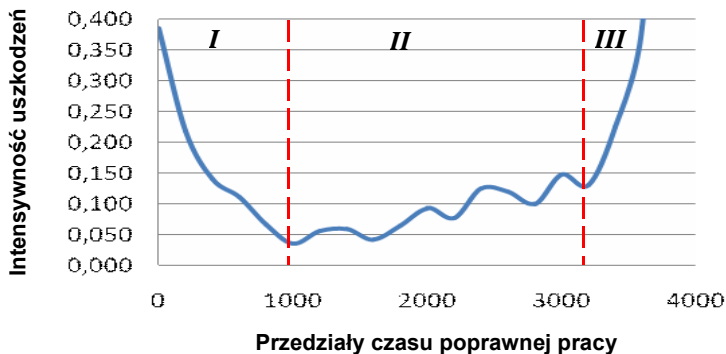
Rys. 5. Histogram szeregu rozdzielczego analizowanej populacji
Fig. 5. Histogram of analyzed damages in hydraulic system

Z przedstawionego histogramu szeregu rozdzielczego wynika, że aż 38% uszkodzeń występuje w pierwszych 200 godzinach pracy. Warto odnotowania jest również fakt, że około 65% wszystkich uszkodzeń występujących w układach hydraulicznych powstaje w okresie pierwszego tysiąca przepracowanych godzin przez analizowane maszyny robocze.

3.3 FUNKCJA INTENSYWNOŚCI USZKODZEŃ

Funkcja intensywności uszkodzeń opisuje czas życia każdego obiektu. Charakteryzuje zdolność obiektu do spełnienia wymagania przez dany czas bądź czy w zadanym przedziale czasowym przestanie je spełniać. Często przy dostatecznie długim okresie eksploatacji przebieg ten można aproksymować krzywą określaną jako krzywa wanny [3].

Na rys. 6. przedstawiono funkcje intensywności uszkodzeń analizowanej populacji. Obszar I, początkowy – zwany okresem dojrzwiania obiektu, jest okresem w którym następuje docieranie elementów całego układu hydraulicznego. Towarzyszy temu intensywność zużycia. Zazwyczaj w tym czasie ujawniają się ukryte wady technologiczne, materiału, pojawiają się uszkodzenia wynikające z błędów konstrukcyjnych, a także montażu.



Rys. 6. Funkcja intensywności uszkodzeń układów hydraulicznych
Fig. 6. Damage intensity function of hydraulic systems

Większość maszyn pracujących w kopalniach LGOM wstępne docieranie przechodzi jeszcze u producenta i nosi ono nazwę docierania fabrycznego [4, 5]. Polega na docieraniu zespołów napędowych i układu roboczego w czasie przeprowadzania prób ruchowych. Dalej, docieranie zasadnicze odbywa się już podczas pracy eksploatacyjnej maszyn i polega na stopniowym zwiększaniu obciążenia maszyny. Przedstawiona na rys. 6 funkcja intensywności uszkodzeń charakteryzują się okresem docierania

elementów układu hydraulicznego trwającym około 1000 godzin. Obszar II odpowiada eksploatacji właściwej i jest określany mianem stabilizacji czyli okresem normalnej eksploatacji układu. Ze względu na ciężkie, kopalniane warunki eksploatacyjne, w przypadku układów hydraulicznych nabiera on charakteru rosnącego. Dla analizowanej grupy obiektów okres ten trwa ok. 2500 Mth. Okres III jest okresem stałego zwiększania ilości awarii i zużycia obiektu, będące wynikiem starzenia się elementów układu pod wpływem czynników korozyjnych, zużycia ściernego oraz zmęczenia materiału. Obszar ten rozpoczyna się już od 3500 Mth i trwa przez około 500 Mth. Jest to czas, w którym użytkownik, ze względu na trudne warunki pracy, musimy liczyć się z częstymi objawami nieprawidłowego działania elementu, urządzenia lub całego układu hydraulicznego.

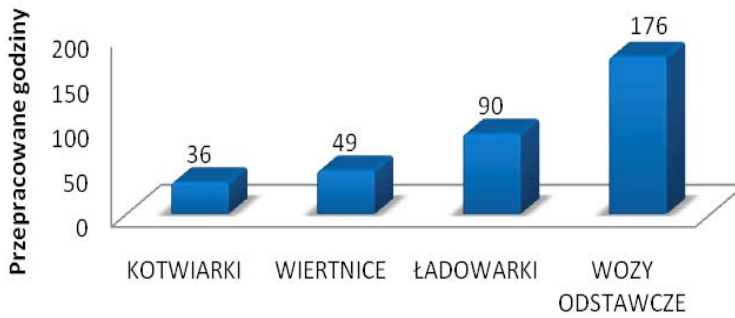
4. IDENTYFIKACJA USZKODZEŃ W WYBRANYCH GRUPACH PRODUCENTÓW

W pracy szczegółowo przeanalizowano uszkodzenia układów hydraulicznych należących do grupy maszyn nowych i wyprodukowanych przez trzech największych producentów, oznaczonych na potrzeby artykułu symbolami A, B, C. W badaniu zwrócono szczególną uwagę na ilość przepracowanych godzin przez maszynę do wystąpienia pierwszej awarii, a także na rodzaj pierwszej awarii.

4.1. ANALIZA MASZYN Z GRUPY A

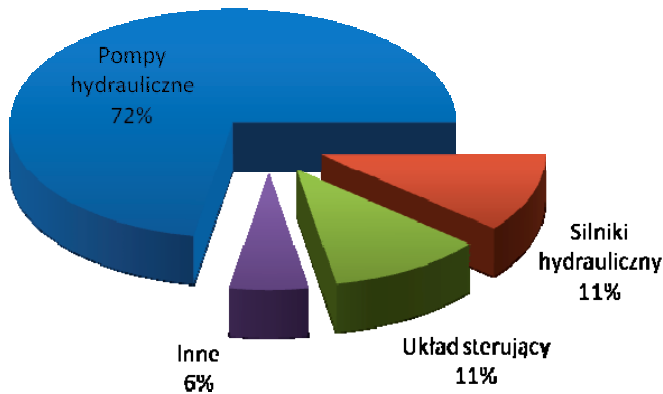
W grupie maszyn A znalazły się: ładowarki kołowe, samojezdne wozy wierzące, wierząco-kotwiące a także wozy odstawcze. Na rysunku 7 przedstawiono średni czas jaki przepracował dany typ maszyny do czasu wystąpienia pierwszej awarii układu hydraulicznego. Zaobserwowano, że awaryjność maszyn kotwiących oraz wierzących, w których układ hydrauliczny jest układem o złożonej, skomplikowanej budowie z wieloma funkcjami roboczymi jest układem bardziej zawodnym. Czas bezawaryjnej pracy do wystąpienia awarii, w przypadku tych maszyn kształtuje się na poziomie 40 przepracowanych godzin. Maszynami bardziej niezawodnymi, są wozy odstawcze, które osiągają 4 krotnie dłuższy czas do wystąpienia pierwszego uszkodzenia.

Na rysunku 8 przedstawiono procentowy udział uszkodzeń poszczególnych elementów używanych w maszynach produkowanych przez Firmę A. Przeważający odsetek uszkodzeń (ok. 78%) związany jest z awaryjnością pomp hydraulicznych. W większości odnotowanych przypadkach, przyczyną powstawania tego typu uszkodzeń mogą być nadmierne opory na ssaniu spowodowane zbyt małym przekrojem przewodów ssawnych, zanieczyszczenie filtra ssawnego lub zapowietrzenie układu czego dowodem była obserwowana zmiana barwy oleju na kolor mleczny.



Rys. 7. Czas pracy maszyn do pierwszego uszkodzenia elementu układu hydraulicznego, należących do grupy A

Fig. 7. Working time until the first damage of hydraulic system components from group A

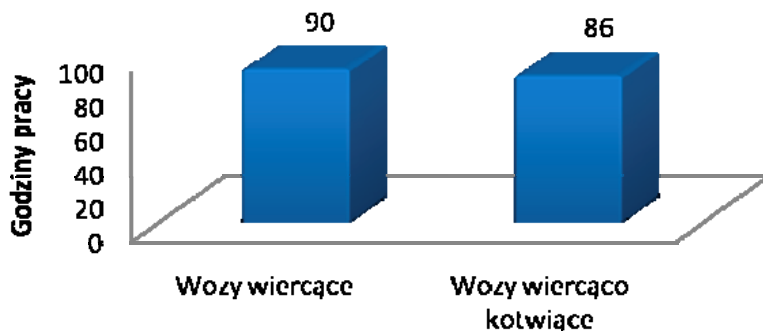


Rys. 8. Procentowy udział uszkodzeń elementów układów hydraulicznego w maszynach z grupy A

Fig. 8. Percentage share of damaged components of hydraulic systems in machines from group A

4.2. ANALIZA MASZYN Z GRUPY B

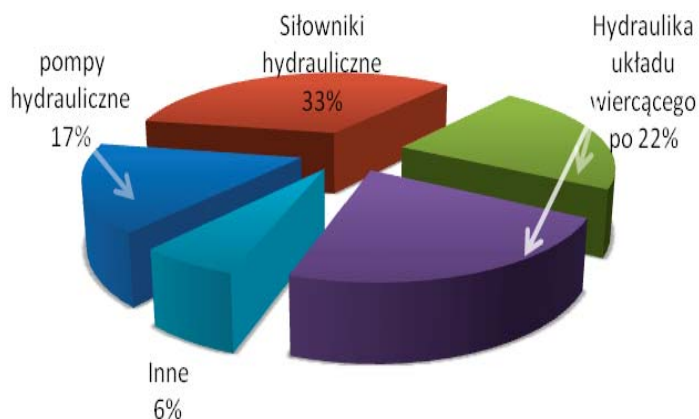
Głównymi produktami należącymi do grupy B są samojezdne maszyny wierzące oraz wierząco-kotwiące. Średni czas bezawaryjnej pracy dla tych maszyn kształtuje się na poziomie ok. 90 godzin (rys. 9). W odniesieniu do maszyn tego samego typu z grupy A, czas ten jest dwukrotnie większy.



Rys. 9. Czas pracy maszyn do pierwszego uszkodzenia elementu układu hydraulicznych, należących do grupy B

Fig. 9. Operating time until the first damage of hydraulic system components from group B

Do najsłabszego ogniwa stosowanych w tej grupie układów hydraulicznych zaliczyć należy siłowniki hydrauliczne (rys. 10). Stanowią 33% wszystkich zanotowanych uszkodzeń. Na podstawie prowadzonej w kopalni rejestracji zdarzeń należy wnioskować, że powodem powstawania tego typu awarii mogą być wycieki powodowane nadmiernym zużyciem pomp (17%) oraz uszkodzeniem uszczeltek, a także nieszczelnością przewodów instalacyjnych.



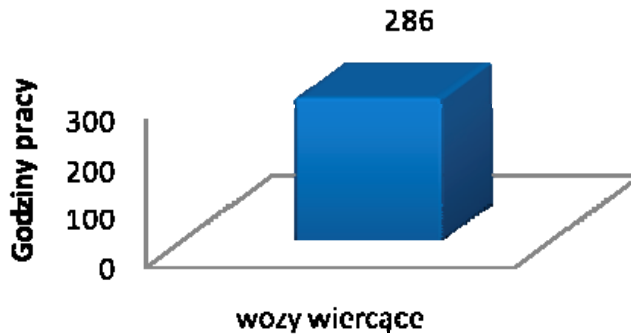
Rys. 10. Procentowy udział uszkodzeń elementów hydraulicznych w maszynach z grupy B

Fig. 10. Percentage share of damaged components of hydraulic systems in machines from group B

Ponadto duży odsetek uszkodzeń (22%) dotyczy hydrauliki układu wierzącego, w szczególności awarii wiertarek hydraulicznych oraz silników hydraulicznych odpowiedzialnych za obrót głowicy podczas wiercenia.

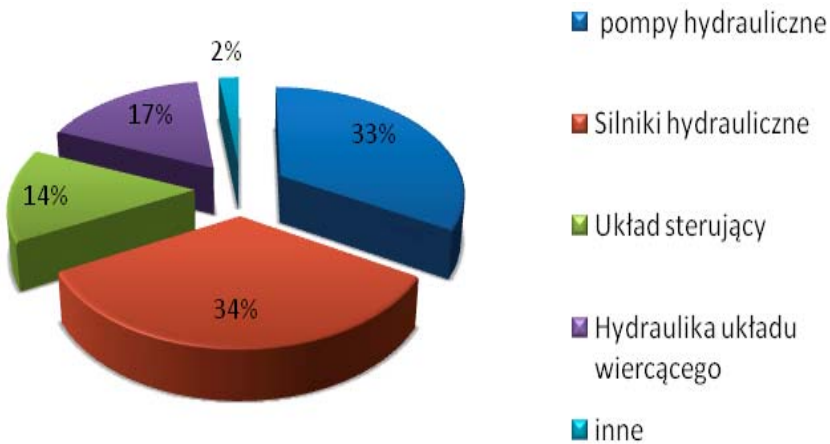
4.3 ANALIZA MASZYN Z GRUPY C

W analizowanej grupie C znalazły się wyłącznie samojezdne wozy wierzące. Spośród wszystkich analizowanych maszyn roboczych, te charakteryzują się najdłuższym czasem bezawaryjnej pracy. Średni czas pracy układów hydraulicznych do wystąpienia pierwszej awarii tej grupy maszyn wynosi blisko 300 godzin (rys. 11).



Rys. 11. Czas pracy do pierwszego uszkodzenia układów hydraulicznych w maszynach należących do grupy B

Fig. 11. Operating time until the first damage of hydraulic system in machines from group C



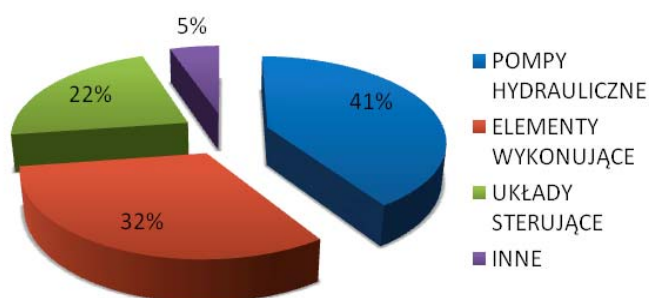
Rys. 12. Procentowy udział uszkodzeń elementów układu hydraulicznego w maszynach produkowanych przez Firmę C

Fig. 12. Percentage share of damaged components of hydraulic systems in machines from group C

Na rysunku 12 przedstawiono procentowy udział uszkodzeń poszczególnych elementów używanych w maszynach należących do grupy B. Największą grupę uszkodzonych podzespołów tworzą silniki oraz pompy hydrauliczne. Łącznie stanowią ok. 70% wszystkich zanotowanych awarii. Pozostałe uszkodzenia dotyczą układu sterującego i hydrauliki układów wierzących.

4.4 PODSUMOWANIE

Na rysunku 13 przedstawiono zbiorcze zestawienie danych dotyczących uszkodzeń podstawowych elementów układu hydraulicznego.



Rys. 13. Udział procentowy uszkodzeń poszczególnych elementów układów hydraulicznych w analizowanych maszynach roboczych

Fig. 13. Percentage share of damages of particular components of hydraulic systems in analyzed LHD units

Grupę podzespołów o najwyższym stopniu zawodności stanowią pompy hydrauliczne (41%). Ulegają one najczęstszym awariom, a ponieważ jest to najdroższy element całego układu, znacząco podraża koszty eksploatacji maszyny. Poza tym jako element zasilający cały układ, często bywa powodem wstrzymania prac technologicznych. Kolejną, pod względem awaryjności grupą są elementy wykonujące. Ilość występujących awarii oszacowano tu na poziomie 32% i dotyczą one uszkodzeń elementów odpowiedzialnych za ruchy oraz wykonywanie czynności roboczych przez maszynę, tj. siłowniki, silniki hydrauliczne oraz urządzenia odpowiedzialne za wykonywanie otworów i montażu obudowy kotwiowej. Kolejne uszkodzenia związane są z układami sterującymi, w skład których wchodzi m.in. rozdzielacze, zawory i kształtują się na poziomie 22%. Pozostały, 5% odsetek stanowią awarie węży i przewodów hydraulicznych.

Przedstawione wyniki analiz są niepokojące i potwierdzają istotny wpływ specyficznych warunków kopalnianych na prawidłowość pracy i trwałość urządzeń hydraulicznych. Chcąc dokładnie określić tę zależność należałoby poddać szczegółowej ana-

lizie ciecz roboczą na zawartość zanieczyszczeń stałych oraz na zawartość wolnej wody, co jest tematem aktualnie prowadzonych prac w zespole.

5. WNIOSKI

1. Układy hydrauliczne z analizowanej grupy 320 samojezdnych maszyn górniczych stosowanych w kopalni KGHM O/ZG „Rudna”, w 38% ulegają uszkodzeniu w czasie pierwszych 200h ich eksploatacji.
2. Przeprowadzona identyfikacja uszkodzeń dla wybranych grup producentów dowiodła, że istnieją duże rozbieżności w czasie bezawaryjnej pracy maszyn o tym samym przeznaczeniu. SWW z grupy A uzyskały najkrótsze czasy do wystąpienia pierwszej awarii układu hydraulicznego, natomiast maszynami najbardziej niezawodnymi okazały się wozy wierzące należące do producenta z grupy C.
3. Zaobserwowano również istotne różnice czasów poprawnej pracy układów hydraulicznych w zależności od przeznaczenia maszyny roboczej. Spośród wszystkich przyjętych do analizy maszyn w grupie A, największą awaryjnością charakteryzowały się samojezdne wozy kotwiące i wierzące. Osiągnęły najkrótsze czasy bezawaryjnej pracy. W powyższej klasyfikacji najlepiej wypadły wozy odstawcze, osiągając 4-krotnie dłuższy czas do wystąpienia pierwszej awarii.
4. Z przeprowadzonych analiz wynika również, że elementem o najwyższym stopniu zawodności jest pompa hydrauliczna. W 41% odnotowana awaria maszyny związany jest właśnie z nieprawidłowym działaniem pompy. Mając na uwadze fakt, że jest to newralgiczne ogniwo całego układu, autorzy referatu uważają za konieczność zastosowania monitoringu stanów jej pracy. Takie działanie pozwoli określić źródło powstawania uszkodzeń i przyczyni się do poprawy efektywności stosowanych maszyn.

LITERATURA

- [1] CHALAMOŃSKI M., *Diagnozowanie układów hydraulicznych maszyn roboczych*, Wydawnictwo ATR, Bydgoszcz 1999.
- [2] STOLARCZYK Ł., *Analiza awaryjności układów hydraulicznych samojezdnych maszyn roboczych stosowanych w KGHM Polska Miedz S.A.*, Praca dyplomowa na Wydziale Geoinżynierii Górnicstwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej (niepubl.), Wrocław 2008.
- [3] NOWAKOWSKI T., *Metodyka prognozowań niezawodności obiektów mechanicznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1999.
- [4] DFM zanam-LEGMET., *Dokumentacja Techniczno-Ruchowa, Ładowarka kołowo przegubowa LKP*, Polkowice 2006.
- [5] MINE MASTER., *Dokumentacja Techniczno-Ruchowa, Samojezdny wóz wierzący Face Master 1.7.*, Wilków 2007.

**FAILURE ANALYSIS OF HYDRAULIC SYSTEMS USED IN MINING MACHINES OPERATING
IN COPPER ORE MINE KGHM POLSKA MIEDZ S.A.**

The paper deals with failure analysis of hydraulic systems used in mining machines-elements of mechanical systems used for copper ore transportation in underground mine. These machines are: drilling rigs, bolting rigs, dump trucks and loaders. Based on materials obtained from Maintenance Department some basic analyses were done. First, the number of failures with respects to elements of hydraulic systems has been estimated. Next, the probability of failure appearance has been estimated with respect to particular component of hydraulic system and failure analysis has been done for selected group of objects taking into account number of working hours (lifetime) until the first failure and type of failure. Finally, direction of further work has been defined. The next step is quantitative estimation of main sources of failures (so called root cause analysis), it is a present task investigated by the authors.

