

Krzysztof KOTWICA
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków
Krzysztof SZYKOWNY
O/ZG Lubin KGHM Polska Miedź SA

DIAGNOZOWANIE STANU TECHNICZNEGO CIĘŻKICH MŁOTÓW HYDRAULICZNYCH NA PODSTAWIE POMIARU WARTOŚCI PARAMETRÓW HYDRAULICZNYCH

Streszczenie: W referacie przedstawiono nową uproszczoną metodę diagnozowania stanu technicznego ciężkich młotów hydraulicznych, pracujących w kopalniach rud miedzi. Metoda ta, w odróżnieniu do najczęściej stosowanych metod wyznaczania energii udaru, nie wymaga specjalnych stanowisk badawczych, jest tania i możliwa do stosowania bezpośrednio w miejscu pracy młota.

THE DIAGNOSIS OF TECHNICAL CONDITION OF HEAVY HYDRAULIC HAMMERS ON THE BASIS OF MEASUREMENTS OF HYDRAULIC PARAMETER VALUES

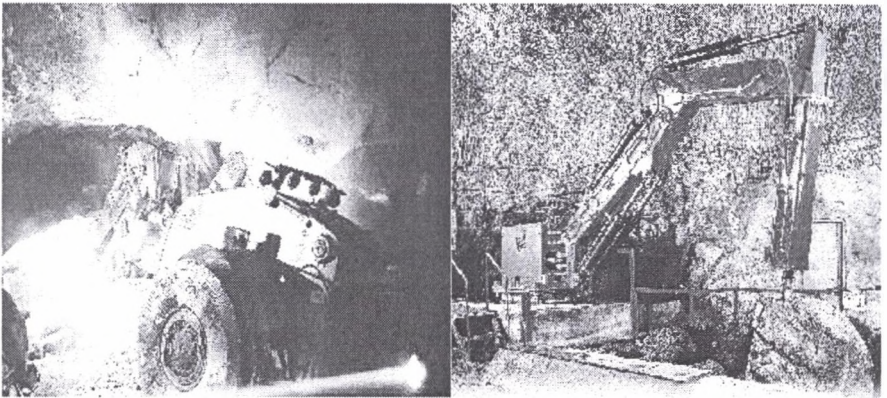
Summary: The paper presents new simplified method of diagnosis of technical condition of heavy hydraulic hammers that are used in underground copper mines. This method, on the contrary to the most commonly applied methods of calculating stroke energy, does not require special research bays (positions), is cheap and possible to apply directly in the place of work of hammer.

1. Wprowadzenie

Historia młotów hydraulicznych rozpoczęła się niewiele ponad trzydzieści lat temu. Młot hydrauliczny, stosowany najczęściej jako dodatkowe wyposażenie koparki, jest zatem konstrukcją stosunkowo młodą. W swych początkach, w latach sześćdziesiątych, młoty były raczej niewielkie, a ich ówczesne zastosowania można określić dziś jako prace pomocnicze o charakterze lekkim. Rosnące w skali światowej potrzeby znalezienia narzędzia przeznaczonego do cięższych prac, a zatem charakteryzującego się znacznie silniejszą konstrukcją i większą masą spowodowały

znaczne postępy w tej dziedzinie. Problem występował przede wszystkim w górnictwie skalnym i podziemnym, które od dawna oczekiwały na rozwiązanie bardzo kłopotliwego i kosztownego zagadnienia kruszenia nadgabarytowych fragmentów urobku. Dotychczas stosowano konwencjonalną metodę wiercenia i strzelania niemożliwych do dalszego przerobu głazów, co wiązało się z dużym niebezpieczeństwem, stratami czasu, rozrzutem kruszonej bryły. Dzisiejsze zastosowanie młotów hydraulicznych to nie tylko górnictwo podziemne oraz odkrywkowe, ale także budownictwo lądowo-wodne, hutnictwo oraz wiele innych gałęzi przemysłu. Współczesne młoty hydrauliczne są wykorzystywane w dwóch podstawowych wersjach:

- młoty w wersji stacjonarnej (rys. 1 po prawej) – montowane na wysięgnikach instalowanych w zakładach górniczych w punktach nadawy odstrzelonego urobku lub w zakładach przeróbczych,
- młoty instalowane na maszynach samojezdnych (rys. 1 po lewej), a więc na wysięgnikach koparek lub ładowarek hydraulicznych, wykorzystywane są zarówno do rozbijania brył ponadwymiarowych, jak również do bezpośredniego urabiania i wykonywania ociosów wyrobisk, czy wyrównywania czoła przodka górniczego.



Rys. 1. Widok młotów pracujących w kopalni podziemnej
 Fig. 1 View of hammers working in underground mine

Młoty hydrauliczne znalazły zastosowanie także w budownictwie lądowym, gdzie stosuje się je głównie do wyburzania budowli i mostów, kruszenia i wyburzania nawierzchni drogowej. Tak szerokie zastosowanie młotów hydraulicznych wymusza na użytkowniku utrzymywanie ich w należyтым stanie technicznym. Chodzi tu przede wszystkim o zapewnienie odpowiedniej, zgodnej z zaleceniami producenta, energii uderzenia oraz liczby uderzeń. Pozwala to na efektywne wykorzystanie pracy młota hydraulicznego. Producenci

i użytkownicy stosują różne metody określania wartości tych parametrów, które w wielu przypadkach są bardzo kosztowne i czasochłonne. Jednak jest to niezbędne dla prawidłowego zdiagnozowania stanu technicznego młota hydraulicznego i zadecydowania, czy młot wymaga przeglądu i remontu, czy też może jeszcze być wykorzystany w dalszym ciągu. Poniżej przedstawiono kilka ze stosowanych metod i zaproponowano nową, uproszczoną metodę, opracowaną w AGH Kraków, we współpracy z KGHM Polska Miedź SA.

2. Wyznaczanie energii udaru młota hydraulicznego

Energia udaru, obok częstotliwości udaru i parametrów zasilania, jest wielkością, którą użytkownik kieruje się przy doborze młota hydraulicznego. Dlatego ważne jest, aby wartości podawane przez producentów były porównywalne między sobą. Jednakże firmy produkujące młoty hydrauliczne posługują się własnymi metodami wyznaczania energii udaru. Podawane w katalogach wartości były często wyidealizowane, określane w sposób teoretyczny z pominięciem rzeczywistych czynników powodujących ich pogorszenie. Zarówno porównanie, jak i dobór młota hydraulicznego na podstawie tak wyznaczonych danych był utrudniony. Z powodu tych trudności biuro MBMB (Mounted Breaker Manufacturers Burue) oraz stowarzyszenie CIMA (Construction Industry Manufacturers Association) wydało w 1996 r. biuletyn, w którym określono jednolitą metodę pomiaru parametrów eksploatacyjnych młotów hydraulicznych. Uwagę skupiono głównie na metodyce wyznaczania energii udaru, ponieważ parametr ten jest najważniejszym kryterium oceny przydatności eksploatacyjnej młota. Natomiast metody stosowane przez producentów są często otoczone tajemnicą, dlatego też poniżej pokrótce przedstawiono tylko niektóre z nich, do których udało się dotrzeć autorom. Są to:

1. teoretyczna metoda wyznaczania energii udaru młota hydraulicznego,
2. metoda CIMA/MBMB,
3. metoda AGH.

W pierwszej z metod, energia uderzenia jest obliczana na podstawie znanej masy bijaka i obliczonego przez rozwiązanie różniczkowego równania ruchu prędkości bijaka. Zakładano stałe ciśnienie zasilania komory roboczej oraz pomijano zarówno straty w młocie, jak i straty wewnętrzne w narzędziu roboczym. Energia udaru w tym przypadku była równa teoretycznej energii kinetycznej bijaka.

Metoda CIMA/MBMB opiera się na pomiarze fali odkształceń wywołanej uderzeniem bijaka w grot. Podczas przemieszczania się wzdłuż narzędzia fala odkształceń jest mierzona

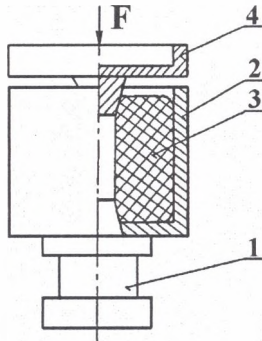
za pomocą czujnika tensometrycznego, zamocowanego na grotcie. Metoda umożliwia bezpośredni pomiar energii oraz pośredni częstotliwości uderzeń. W czasie pomiaru energii przeprowadzane są pomiary ciśnienia na zasilaniu i spływie oraz natężenia przepływu w gałęzi zasilającej. Wadami tej metody są: czasochłonne i wymagające precyzji klejenie tensometrów na narzędziu testowym (wymagany demontaż narzędzia), możliwość zniszczenia układu tensometrycznego na skutek dużych przeciążeń w czasie przekazywania energii przez bijak na grot i potrzeba wzorcowania układu, przed każdorazowym pomiarem. Pomimo swoich wad, metoda ta jest stosowana przez czołowych producentów młotów hydraulicznych. Umożliwia porównanie parametrów zewnętrznych młota (energia udaru, częstotliwość) pomiędzy różnymi producentami.

Wyżej wymienione metody, ze względu na swoje wady, przyczyniły się do powstania innej metody wyznaczania energii i częstotliwości udaru. Metoda taka powstała przy współpracy pracowników AGH Kraków i O/ZG „Rudna”. Pozwala ona nie tylko na wyznaczenie wartości energii i częstotliwości udaru, ale także umożliwia przeprowadzenie pomiaru wartości pozostałych parametrów (ciśnienia w kanale zasilającym i spływowym oraz natężenia przepływów w tych kanałach). Dzięki temu można zdiagnozować stan techniczny młota hydraulicznego (ze stwierdzeniem, która z części młota jest zużyta).

Pomiar energii młotów udarowych polega na metodzie pośredniej. Dokonywany jest poprzez przetwornik tensometryczny (rys. 2), umieszczony pod grottem badanego młota. Przetwornik zbudowany jest z :

- elementu w kształcie stopniowanego wałka (1) z naklejonymi tensometrami w układzie pełnego mostka Wheastone’a, stanowiącego tradycyjny przetwornik do pomiaru naprężeń (sił), wywołanych obciążeniem zewnętrznym.
- elementu w kształcie cylindra (2),
- wkładki z elastomeru (3) umieszczonej w cylindrze,
- pokrywy (4) z zagłębieniem, w którym opierane jest narzędzie (grot młota).

Kształt przetwornika oraz liczba jego elementów podyktowane są wartością i czasem występowania mierzonych naprężeń oraz niezawodnością (trwałością). Wybór takiej konstrukcji przetwornika i układu tensometrów (pomiar naprężeń) narzucał konieczność opracowania odpowiedniej metody jego wzorcowania. Do wzorcowania przetwornika zastosowano zasadę równowartości energii kinetycznej (mierzonej) i potencjalnej (wzorcującej). Wzorcowanie odbywa się na stanowisku, którego konstrukcja umożliwia swobodne opuszczanie masy wzorcowej m_w z określonej wysokości na przetwornik tensometryczny o masie m_c .



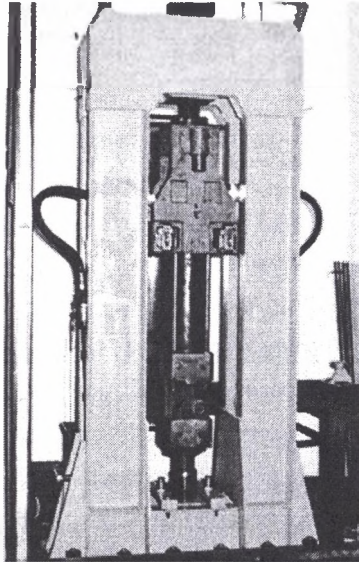
Rys. 2. Schemat konstrukcyjny przetwornika energii
 Fig. 2 Construction diagram of energy processor

Podczas rzeczywistego badania młota energia uderu przekazywana jest na przetwornik poprzez grot. Jego masa m_g niejednokrotnie może się różnić od masy wzorcowej m_w , różne więc będą energie – wzorcowa E_w i grota E_g . Dlatego należy uwzględnić we wzorcowaniu współczynnik wynikający z różnicy mas wzorcowej i grota. Umożliwia, to przy jednym wzorcowaniu przetwornika w jednostkach energii, jego stosowanie w przypadkach, kiedy parametry wzorcowania są inne od parametrów badanego młota. Różnice te można uwzględnić, stosując odpowiednie przeliczenia. Pomiar jest przeprowadzany na specjalnym stanowisku, które oprócz pomiaru energii i częstotliwości uderu, umożliwia także pomiar parametrów hydraulicznych (ciśnięć na zasilaniu i spływie oraz wydatków na zasilaniu i spływie). Układ taki został zabudowany na stanowisku diagnostycznym młotów hydraulicznych w O/ZG „Rudna”. Widok stanowiska diagnostycznego pokazano na rys. 3.

Konstrukcja mechaniczna stanowiska składa się z ramy osadzonej na fundamencie. Wewnątrz ramy za pomocą uchwyty zamocowany jest młot. Grot młota osadzony jest w gnieździe czujnika. Stanowisko zabudowano komorą wyciszającą, celem zapewnienia komfortu pracy obsłudze stanowiska. Do rejestrowania przebiegu wartości naprężeń, wartości ciśnień, wartości przepływów i temperatury zastosowano układ rejestrujący wyposażony w oprogramowania do rejestracji (pakiet DasyLab) oraz analizy (pakiet Delphi). Opis działania programu rejestrującego oraz metodykę postępowania przy pomiarach przedstawiono w kolejnym podrozdziale.

3. Przykład pomiaru parametrów pracy młota hydraulicznego na stanowisku diagnostycznym

Cykl badawczy pojedynczego młota podzielono na trzy etapy: etap I – przygotowanie i ustalenie temperatury pracy młota, etap II – pomiar parametrów hydraulicznych i energetycznych, etap III – analiza wyników pomiarów i opracowanie raportu.



Rys. 3. Widok stanowiska z zamocowanym młotem
Fig. 3. View of test stand with mounted hammer

Zastosowane w programie do rejestracji pomiarów okna wizualizacji mierzonych sygnałów na bieżąco umożliwiają wstępną ocenę poprawności prowadzonych badań. Dzięki temu w przypadku wykrycia uszkodzeń układu pomiarowego mogą one być usunięte jeszcze przed rozpoczęciem analizy wyników, co pozwala na uniknięcie błędów w ocenie stanu technicznego badanego młota. Przykładowy przebieg rejestrowanych sygnałów, możliwy do podglądu w czasie rejestracji w oknie „PRZEBIEGI”, pokazano na rysunku 4. Po zakończeniu rejestracji mierzonych sygnałów, operator uruchamia program analizy i raportowania wyników pomiarów (etap III). Analiza wyników odbywa się w sposób automatyczny, a rola operatora sprowadza się do uzupełnienia danych o typie i numerze młota oraz wpisywania ewentualnych uwag o odstępstwach w prowadzeniu badań od ustalonych zasad. Program do analizy odrzuca wyniki, których wartości sugerują, że mogą być obciążone błędem. W wyniku analizy uzyskuje się kilkanaście wartości parametrów charakteryzujących stan techniczny młota:

- energii E_w [Nm],

- częstotliwości udaru n [udar/sec],
- ciśnienia w kanale zasilającym P_z [MPa],
- ciśnienia w kanale spływowym P_s [MPa],
- natężenia przepływu w kanale zasilającym Q_z [l/min],
- natężenia przepływu w kanale spływowym Q_s [l/min],
- temperatury oleju w młocie [$^{\circ}\text{C}$],
- zlinearyzowanego współczynnika, określającego zależność energii uderzenia od ciśnienia zasilania k_p ,
- zlinearyzowanego współczynnika, określającego zależność częstotliwości uderzeń od natężenia przepływu na zasilaniu k_q ,
- sprawności całkowitej młota η .



Rys. 4. Przykładowe przebiegi wartości parametrów zewnętrznych
 Fig. 4. Examples of course for exterior parameter values

Obliczone parametry oraz zarejestrowane przebiegi są możliwe do wydruku w dowolnej chwili w postaci raportu. Program pozwala również na wydruk raportów lub odtworzenie wyników poprzednich pomiarów. Dodatkowym elementem programu jest moduł „Pomiary geometryczne”, umożliwiający analizę współpracy poszczególnych elementów młota na podstawie pomiaru z dużą dokładnością (wartość działki elementarnej $W_c = 0,001$ mm) wielkości geometrycznych tych elementów oraz otrzymanych z pomiaru wartości parametrów energetycznych i hydraulicznych, opracowany w pakiecie Delphi. Pomiar wielkości

geometrycznych poszczególnych elementów młota wykonywany jest przy użyciu precyzyjnych czujników cyfrowych i średnicówek firmy Mitutoyo i Borematic. Analiza otrzymanych wielkości, na podstawie zapisanych w programie wielkości wzorcowych oraz otrzymanych z pomiaru wartości parametrów energetycznych i hydraulicznych, pozwala na pełną diagnostykę młota i automatyczne wytypowanie wadliwych elementów młota lub parametrów pracy niezgodnych z wzorcem. Przykładowe widoki raportów z pomiarów geometrycznych oraz hydrauliczno-energetycznych przedstawiono na rysunkach 5 i 6.

Metoda ta wiąże się jednak z kilkoma czasochłonnymi czynnościami: demontaż młota ze stanowiska pracy, transport młota na stanowisko diagnostyczne, montaż młota na stanowisku diagnostycznym. W przypadku, kiedy stan młota jest zakwalifikowany do dalszej eksploatacji, wraca on na swoje stanowisko pracy. Czyli ponownie zostają wykonane wymienione czynności. Dlatego też, prześledziwszy przebieg wykonywania badań ww. metodą oraz analizując otrzymane wyniki badań, zaproponowano inny, uproszczony sposób diagnostyki młotów. Metoda ta nie zastępuje metody AGH, ma jedynie za zadanie ułatwić wstępną diagnostykę młotów. Ułatwienie to wiąże się z przeprowadzaniem badań na stanowisku pracy, czyli eliminuje ona czynności związane z transportem, montażem i demontażem młota w przypadku, kiedy stwierdzona zostaje jego sprawność.

KARTY

Parametry

Numer młota: F01 Numer karty: 0 Data pomiaru: 11-06-97 Informacje o pomiarze: F01_00_00

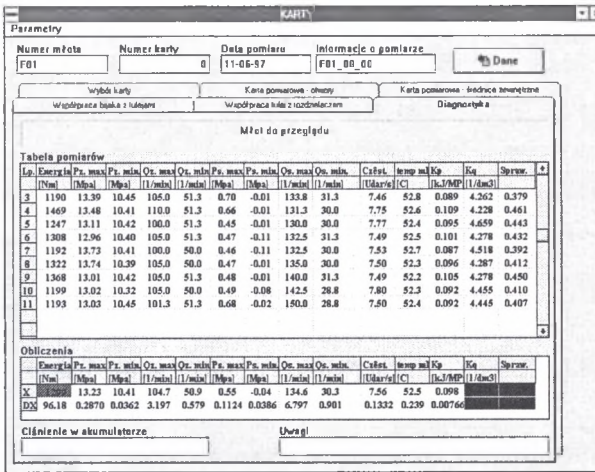
Wzrost: 170 cm

Wzrost: 170 cm

Wzrost: 170 cm

| Współpracująca | Tuleja | Bijak | Luz | | Luz min | Luz max |
|------------------|----------|---------|------------|----------------|---------|---------|
| | | | współpracy | wzorca/różnica | | |
| D6 (T1 - P1) | 11 9992 | 5 9876 | 6 012 | "r" | 0.000 | |
| D6 (T1 - P2) | 11 9992 | 5 9872 | 6 012 | "r" | 0.000 | |
| D65 (T7 - P9) | 85 1560 | 84 9506 | 0.205 | 0.175/ 0.030 | 0.000 | |
| D65 (T8 - P9) | 85 0124 | 84 9506 | 0.062 | 0.051/ 0.011 | 0.000 | |
| (T18 - P14) | 105 014E | * | | 0.192r | 0.000 | 0.000 |
| (T14 - P14) | 105 013C | * | | 0.210r | 0.000 | 0.000 |
| D66.5 (T9 - P8) | 86 5160 | 86 4518 | 0.064 | 0.046/ 0.018 | 0.000 | |
| D66.5 (T10 - P8) | 86 5148 | 86 4518 | 0.063 | 0.048/ 0.015 | 0.000 | |
| D66.5 (T11 - P7) | 86 5090 | 86 4488 | 0.060 | 0.062/ 0.008 | 0.000 | |
| D70 (T6 - P6) | 70 0210 | 69 9560 | 0.065 | 0.051/ 0.014 | 0.000 | |
| D70 (T6 - P5) | 70 0210 | 69 9554 | 0.066 | 0.051/ 0.015 | 0.000 | |
| D70 (T5 - P5) | 70 0210 | 69 9554 | 0.066 | 0.050/ 0.016 | 0.000 | |
| D70 (T4 - P5) | 70 0232 | 69 9554 | 0.068 | 0.049/ 0.019 | 0.000 | |

Rys. 5. Przykładowy wynik raportu młota hydraulicznego z pomiarów geometrycznych
Fig. 5. Example of report of geometric measurements for hydraulic hammer



Rys. 6. Przykładowy wynik raportu młota hydraulicznego z pomiarów hydrauliczno-energetycznych
 Fig. 6. Example of raport of hydraulic-energetic measurments for hydraulic hammer

Dzięki temu stan młota można ocenić przy użyciu mniejszego nakładu pracy, a co za tym idzie zaoszczędzić czas oraz nakłady finansowe. Kolejnym uproszczeniem jest wyeliminowanie układu mierzącego energię oraz częstotliwość uderu. Mierzonymi i rejestrowanymi wielkościami są wartości czterech parametrów: ciśnienie w kanale zasilającym P_z , natężenie przepływu w kanale zasilającym Q_z , ciśnienie w kanale spływowym P_s , natężenie przepływu w kanale spływowym Q_s .

W kolejnym rozdziale opisano badania diagnostycznego jednego z wybranych młotów, przeprowadzone na stanowisko diagnostycznym w O/ZG „Rudna”, analizę wyników uzyskanych za pomocą tej metody i na tej podstawie, zaproponowano metodę pozwalającą na wstępne diagnozowanie stanu technicznego młota.

4. Analiza wyników badań stanowiskowych młota hydraulicznego Roxon 602

Poniżej przedstawiono analizę wyników badań stanowiskowych młota hydraulicznego, które zostało przeprowadzone w O/ZG „Rudna” w 1998 roku. Celem analizy jest sprawdzenie, czy możliwe jest dokonanie wstępnej oceny stanu technicznego młota hydraulicznego, przy zastosowaniu metody zaproponowanej powyżej przez autorów. Do analizy wytypowano wyniki z badań przeprowadzonych na młocie F23 typu Roxon 602. Na wybór wpłynął zakres przeprowadzonych badań dla tego młota (liczba zużytych części i ich stopień zużycia, wpływ temperatury na parametry energetyczne młota), który zdaniem autora jest wystarczający do potwierdzenia słuszności zastosowania uproszczonej metodyki do wstępnej oceny stanu

technicznego młota. Aby móc dokonać analizy wyników, należy pokrótce opisać przebieg samego badania. Badania polegały na pomiarze wielkości liniowych, jak i wartości parametrów zewnętrznych (energia udaru, częstotliwość, ciśnienie w kanale zasilającym i spływowym, natężenia przepływu w kanale zasilającym i spływowym) według metodyki opracowanej przez AGH Kraków. Badania zostały przeprowadzone w dwóch etapach i miały na celu:

- ustalenie zależności pomiędzy wymiarami liniowymi współpracujących elementów a uzyskanymi wartościami parametrów zewnętrznych,
- ustalenie wpływu temperatury na wartości parametrów zewnętrznych.

Pierwsza grupa badań została przeprowadzona w temperaturze oleju w zbiorniku i młocie wynoszącej 50 °C. Wybór temperatury był związany z zamiarem zachowania warunków porównywalnych z miejscem pracy młota na dole kopalni (na kracie). Badania przeprowadzono na młocie z elementami technicznie sprawnymi, a następnie kolejno wymieniono w nim na elementy zużyte: tuleję czołową, tuleję środkową, tuleję tylną, wszystkie tuleje jednocześnie, zawór regulacji ciśnienia oraz elementy zaworu regulacji ciśnienia (tłoczek, iglica). W drugiej grupie badaniom wpływu temperatury w zbiorniku i młocie na wartości jego parametrów zewnętrznych, poddano tylko młot z elementami technicznie sprawnymi. Zestawienie wyników z przeprowadzonych pomiarów zostało zebrane w raportach w postaci wykresów oraz tablic. Stan młota jest związany z jego parametrami zewnętrznymi, jak i jego wymiarami liniowymi, dlatego też, aby dokonać analizy stanu młota, należało porównać otrzymane wartości parametrów zewnętrznych młota oraz wymiarów liniowych z wartościami podanymi przez producenta.

Przykładowo w tablicach 1 i 2 pokazano wyniki, które dotyczyły młota z wymienioną tuleją tylną na tuleję o większym stopniu zużycia. Różnice w wartościach luzów wystąpiły tylko w parach związanych z współpracą tulei z rozdzielaczem (wartości wytłuszczone). Mimo iż różnice te nie przekraczają 0,012 mm, mają znaczący wpływ na wartości przebiegów parametrów zewnętrznych młota (komórki z tymi wartościami wyciemnione). Podobnie wyniki uzyskano dla zużytych: tulei środkowej, wszystkich tulei jednocześnie oraz zaworu regulacji ciśnienia. Natomiast w tablicy 3 zestawiono wyniki pomiarów przy różnych temperaturach oleju (T_{oz} – temperatura oleju w zbiorniku, T_{om} – temperatura oleju w młocie, T_m – temperatura korpusu). Zestawione wyniki pokazują, iż temperatura ma duży wpływ na wartości parametrów młota hydraulicznego oraz ich przebiegi. Zauważono, iż w temperaturze 25 °C parametry sprawnościowe i energetyczne nie mieszczą się w zakresie podanym przez producenta. Wraz ze wzrostem temperatury oleju w młocie, ulegają one poprawie i w temperaturze 57 °C osiągają wartości założone przez producenta. Sytuacja

utrzymuje się do temperatury oleju wynoszącej około 68 °C, od której następuje widoczne pogorszenie tych wartości.

Tablica 1

Wartości luzów pomiędzy współpracującymi elementami

| Współpracujące powierzchnie | Luz współpracy | | |
|-----------------------------|----------------|------------------|--------|
| | wzorzec | wersja wyjściowa | Luz |
| bijak – tuleja | | | |
| D70 (T6–P6) | 0,051 | 0,071 | 0,071 |
| D70 (T6–P5) | 0,051 | 0,070 | 0,070 |
| D70 (T5–P5) | 0,050 | 0,073 | 0,073 |
| D70 (T4–P5) | 0,049 | 0,077 | 0,077 |
| tuleja – rozdzielacz | | | |
| D104(T17–P13) | 0,048 | 0,036 | *0,049 |
| D102(T16–P12) | 0,038 | 0,044 | *0,052 |
| D100(T15–P11) | 0,040 | 0,043 | *0,030 |

Tablica 2

Wartości średnie parametrów zewnętrznych młota z wymienioną tuleją tylną

| E_u | n | T_m | K_p | K_q | η | $P_{z,max}$ |
|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|-------------|-------------|
| [J] | [1/s] | °C | [kJ/MPa] | [1/dm ³] | | [MPa] |
| 673 | 9,98 | 50,9 | 0,057 | 6,080 | 0,347 | 11,81 |
| $P_{z,min}$ | $Q_{z,max}$ | $Q_{z,min}$ | $P_{s,max}$ | $P_{s,min}$ | $Q_{s,max}$ | $Q_{s,min}$ |
| [MPa] | [l/min] | [l/min] | [MPa] | [MPa] | [l/min] | [l/min] |
| 9,67 | 98,5 | 47,4 | 0,38 | -0,01 | 89,9 | 53,8 |

Tablica 3

Zestawienie wartości parametrów zewnętrznych dla różnych temperatur

| Pomiary / Parametr | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| E_u | N_m | 1041 | 1392 | 747 | 829 | 1150 | 1042 | 1074 | 1038 | 997 |
| $P_{z,max}$ | MPa | 15,52 | 13,50 | 11,74 | 11,65 | 11,46 | 11,40 | 11,35 | 11,16 | 11,81 |
| $P_{z,min}$ | MPa | 11,38 | 10,82 | 9,45 | 9,46 | 9,25 | 9,21 | 9,16 | 9,03 | 9,02 |
| $Q_{z,max}$ | l/min | 61,9 | 99,7 | 99,3 | 100,2 | 99,5 | 100,6 | 99,0 | 99,4 | 100,0 |
| $Q_{z,min}$ | l/min | 0 | 50,5 | 45,6 | 53,4 | 47,0 | 51,7 | 50,6 | 50,0 | 48,0 |
| $P_{s,max}$ | MPa | 0,41 | 0,43 | 0,49 | 0,44 | 0,42 | 0,44 | 0,47 | 0,44 | 0,48 |
| $P_{s,min}$ | MPa | 0,03 | -0,01 | 0,01 | -0,02 | -0,01 | -0,04 | -0,01 | -0,02 | 0,0 |
| $Q_{s,max}$ | [l/min] | 70,8 | 103,3 | 121,3 | 124,1 | 134,2 | 128,2 | 114,8 | 109,9 | 100,3 |
| $Q_{s,min}$ | l/min | 0 | 36,1 | 37,0 | 42,0 | 36,6 | 40,5 | 35,2 | 30,8 | 30,6 |
| n | udar/s | 4,31 | 8,82 | 9,98 | 9,41 | 8,35 | 8,04 | 7,69 | 7,18 | 6,92 |
| K_p | kJ/MPa | 0,067 | 0,103 | 0,064 | 0,071 | 0,100 | 0,091 | 0,095 | 0,089 | 0,084 |
| K_q | 1/dm ³ | 4,177 | 5,306 | 6,030 | 5,637 | 5,041 | 4,801 | 4,662 | 4,334 | 4,154 |
| η | | 0,281 | 0,547 | 0,384 | 0,401 | 0,506 | 0,439 | 0,411 | 0,387 | 0,351 |
| T_m | °C | 21 | 27 | 34 | 41 | 49 | 55 | 60 | 64 | 71 |
| T_{om} | °C | 25 | 42 | 48 | 51 | 57 | 62 | 68 | 73 | 80 |
| T_{oz} | °C | 44 | 46 | 50 | 52 | 53 | 64 | 74 | 80 | 84 |

Wyniki analizy zarejestrowanych przebiegów parametrów hydraulicznych oraz otrzymanych wartości energetycznych zestawiono w tablicy 4, umożliwiając porównawczą ocenę stanu technicznego młota na podstawie przebiegów wartości parametrów hydraulicznych (P_z , P_s , Q_z , Q_s). W odniesieniu do wyników uzyskanych dla młota sprawnego technicznie można łatwo ocenić (porównując wartości ciśnień i wydatku przepływu oraz przebieg wykresu wydatku przepływu na spływie), czy młot nadaje się jeszcze do pracy, czy też wymaga dokładniejszego przeglądu i ewentualnej naprawy.

5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników badań stanowiskowych młota hydraulicznego wykazano, że istnieje możliwość wstępnej diagnostyki młotów hydraulicznych przy użyciu metody proponowanej przez autorów. W ramach pracy przeprowadzono analizę czynników zewnętrznych wpływających na wartości i przebiegi parametrów hydraulicznych młotów hydraulicznych oraz wpływu stanu technicznego poszczególnych elementów na jakość pracy młota. W wyniku tej analizy ustalono, że temperatura młota ma wpływ na wartości jego parametrów zewnętrznych: energię udaru, częstotliwości udaru, ciśnień w kanale zasilającym i spływowym oraz przepływów na zasilaniu i spływie, dlatego też warunkiem poprawnej oceny stanu młota jest zachowanie temperatury młota zbliżonej do 50 °C (temperatura pracy młota w warunkach przemysłowych).

Na podstawie analizy, opracowano Tabelę oceny stanu technicznego młota hydraulicznego (tablica 4), w której zamieszczono przebiegi parametrów hydraulicznych młota w zależności od stopnia zużycia danego elementu. Aby wstępnie zdiagnozować stan techniczny młota hydraulicznego należy porównać przebiegi i wartości ciśnień i wydatków na zasilaniu i spływie, otrzymane w wyniku pomiarów przeprowadzonych w warunkach pracy młota, z przebiegami zamieszczonymi w wyżej wymienionej tabeli.

Przedstawiony przykład ukazuje prostotę, z jaką można dokonać wstępnej analizy stanu młota hydraulicznego. Wydaje się, iż metoda, proponowana przez autora pracy, mogłaby znaleźć zastosowanie przy wstępnej ocenie stanu technicznego młotów hydraulicznych innego typu, lecz wiąże się to z przeprowadzeniem podobnych badań stanowiskowych i pomiarów, jak w przypadku młota typu Roxon 602 oraz przeprowadzeniem dokładnej analizy dla określenia wpływu stanu technicznego poszczególnych elementów badanego młota na uzyskane wartości i przebiegi parametrów energetycznych i hydraulicznych.

Tablica 4

Ocena stanu technicznego miota na podstawie przebiegów wartości parametrów hydraulicznych (P_z , P_s , Q_s , Q_z)

| parametr | | Stan techniczny miota | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|------------------------------|--|-----------------|---|--------------|--|--|--|-----------------|-------------------------------------|-------|-------|
| | | elementy sprawne technicznie | | | | | | Nazwa elementu o zwiększonym stopniu zużycia | | | | | |
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | |
| | | Tuleja czotowa | | Tuleja środkowa | | Tuleja tylna | | Wszystkie tuleje | | Zawór regulacji | | | |
| ciśnienie w kanale zasilającym P_z [MPa] | 15,0 | | | | | | | 15,0 | | | 15,0 | | |
| | 12,5 | | | | | | | 12,5 | | | 12,5 | | |
| | 10,0 | | | | | | | 10,0 | | | 10,0 | | |
| | 7,5 | | | | | | | 7,5 | | | 7,5 | | |
| natężenie przepływu w kanale zasilającym Q_s [l/min] | 100 | | | | | | | 100 | | | 100 | | |
| | 75 | | | | | | | 75 | | | 75 | | |
| | 50 | | | | | | | 50 | | | 50 | | |
| | 0,50 | | | | | | | 0,50 | | | 0,50 | | |
| ciśnienie w kanale spływowym P_s [MPa] | 0,40 | | | | | | | 0,40 | | | 0,40 | | |
| | 0,35 | | | | | | | 0,35 | | | 0,35 | | |
| | 0,30 | | | | | | | 0,30 | | | 0,30 | | |
| | 0,25 | | | | | | | 0,25 | | | 0,25 | | |
| natężenie przepływu w kanale spływowym Q_s [l/min] | 125 | | | | | | | 125 | | | 125 | | |
| | 100 | | | | | | | 100 | | | 100 | | |
| | 75 | | | | | | | 75 | | | 75 | | |
| | 25 | | | | | | | 25 | | | 25 | | |
| zakres wartości | P_z MPa | 10,57 | 13,14 | 10,56 | 13,16 | 10,63 | 13,28 | 9,67 | 11,81 | 9,67 | 11,81 | 9,63 | 11,67 |
| | Q_s l/min | 50,5 | 100,6 | 51,2 | 99,9 | 50,3 | 101,8 | 47,4 | 98,5 | 47,4 | 98,5 | 52,7 | 97,8 |
| | P_s MPa | 0 | 0,37 | -0,04 | 0,40 | -0,01 | 0,25 | -0,01 | 0,38 | -0,01 | 0,38 | -0,02 | 0,41 |
| | Q_s l/min | 50,1 | 96,6 | 60,5 | 89,9 | 64,6 | 82,0 | 53,8 | 89,9 | 53,8 | 89,9 | 57,7 | 91,7 |
| Uwagi: | • młot po remoncie | | • w przypadku braku wycieków oleju na grotcie, nie zachodzi konieczność wymiany tulei czotowej | | • młot kwalifikuje się do remontu (wymiana tulei środkowej) | | • młot kwalifikuje się do remontu (wymiana tulei tylnej) | | • młot kwalifikuje się do remontu (wymiana tulei tylnej) | | • wymagane wymiana zaworu regulacji | | |

LITERATURA

1. „Measuring Guide for tool energy rating for hydraulic breakers”, Mounted Breaker Manufacturers Bureau of the Construction Industry Manufacturers Association, Milwaukee USA 1996.
2. Krauze K., Micek P., Krawczyk S.: Metodyka badań młotów hydraulicznych na stanowisku laboratoryjnym, III Konferencja Naukowa: Metody doświadczalne w budowie i eksploatacji maszyn, Wrocław – Szklarska Poręba 1997.
3. Krauze K., Laska Z.: Ocena stanu technicznego młota hydraulicznego na podstawie badań przeprowadzonych na stanowisku diagnostycznym, materiały niepublikowane, Kraków 1996.
4. Sprawozdanie : Przeprowadzenie badań stanowiskowych (parametry zewnętrzne, wymiary liniowe) wybranych młotów hydraulicznych oraz dokonanie opracowania i analizy wyników badań. AGH Kraków, 1998, (niepublikowane).
5. Sprawozdanie: Ustalenie korelacji między wynikami pomiarów parametrów zewnętrznych a pomiarami parametrów liniowych młota hydraulicznego. AGH Kraków, 1998, (niepublikowane).

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Sikora