

# OCENA JAKOŚCI EKSPLOATACJI SYSTEMU KOPARKO-KRUSZARKI

## ASSESSMENT OF OPERATION QUALITY OF AN EXCAVATOR-JAW CRUSHER SYSTEM

Franciszek W. Przystupa, Jarosław Stryczek, Piotr Sokolski - Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn,  
Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska

*Opisano metodę oceny jakości systemu eksploatacji ciężkich koparko-kruszarek w kopalni kruszywa trudno urabialnego. Przedstawiono stosowane metody doboru maszyn do warunków pracy oraz przykłady błędów eksploatacji determinujących ich przyspieszoną degradację. Wskazano metody poprawy jakości eksploatacji.*

**Słowa kluczowe:** maszyny górnicze, zużycie, degradacja maszyn

*The work concerns the assessment of excavator-jaw crusher's system operation. Such problems are in the great number of the cases out of exploitation systems designers attention. The diagnostic algorithm comprises diagnosis symptoms synthesis and the observation tools selection for the particular technical situation of the excavator-jaw crusher exploitation system. The presented analysis was based on the crusher damage real case.*

**Key words:** mining machines, wear, degradation

### Wstęp

Wykorzystywanie kruszarek szczękowych, stożkowych oraz innych daje olbrzymie korzyści ekonomiczne, wymaga to jednak właściwego ich doboru oraz zapewnienia warunków pracy dwu rodzaju: obsługiwanie (regulacje, konserwacje, uzupełnianie mediów, paliwa, dozowanie, drobne naprawy, itp.) oraz ich użytkowania (realizacja procesu technologicznego), łącznie – potocznie określanymi jako eksploatacja. Błędy eksploatacyjne determinują przyspieszoną degradację kruszarek. Przykładowy – rzeczywisty system techniczny pozyskiwania kruszywa w kopalni kruszywa trudno urabialnego obejmował 5 współdziałających maszyn, jedną z nich doprowadzono po nietypowo krótkim użytkowaniu do degradacji wymagającej radykalnej odnowy.

Autorzy pracy na tym przykładzie, który można potraktować jako studium przypadku, przedstawili wybrane błędy eksploatacji kruszarek determinujących ich przyspieszoną degradację a następnie wskazali metodę poprawy jakości eksploatacji.

Kruszarka była eksploatowana intensywnie i spełniała swoje zadania. Świadczy o tym liczba ponad trzech tysięcy godzin przepracowanych w ciągu roku, która wyraźnie przewyższa liczbę dwu tysięcy godzin jakie przewidywała gwarancja. W trakcie tego okresu użytkowania oraz po planowej odnowie maszyna wykazywała nierównomierność wydajności, czym użytkownik obciążył jakość pierwotną maszyny oraz jakość odnowy.

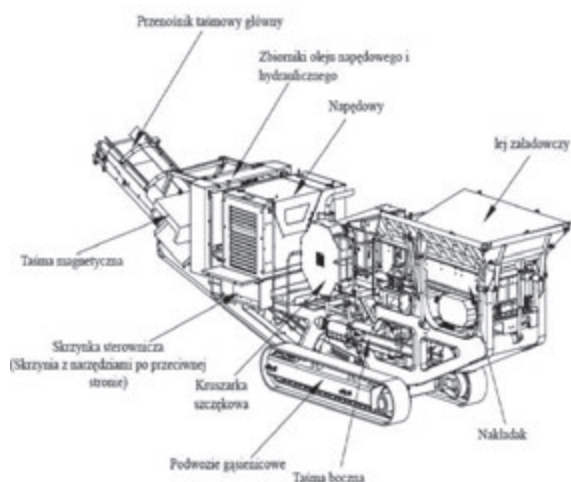
Autorzy pracy wielokrotnie podejmowali się zadania wskazania przyczyn niewłaściwej pracy maszyn. Postawiono falsyfikowane – przeciwstawne hipotezy [1, 3-6]:

- Przyczyna degradacji wynika z wadliwej struktury, projektu lub konstrukcji kruszarki

- Przyczyna uszkodzenia leży po stronie niewłaściwego obsługiwanie i użytkowania
  - Przyczyna uszkodzenia wynika z postępowania obu stron
- Stwierdzono poprawność struktury maszyny, jej projektu i konstrukcji dla prac w warunkach kopalni materiału trudno urabialnego oraz poprawność wszelkich działań naprawczych oraz postępowania gwarancyjnego – bez prezentacji w tej pracy uzasadnienia. Założenie to udowodniono w szerszej wersji pracy. Wykluczono przyczyny uszkodzenia jako wynikłe z innych przyczyn niż eksploatacyjnych – obsługowych i użytkowych.

Maszyna była przygotowana do realizacji procesu przeróbki skał na kruszywo budowlane. Jej prawidłowe i niezawodne funkcjonowanie zależy tylko od konsekwentnego przestrzegania zasad eksploatacji i nadzoru.

W pracy – ze względu na ilość miejsca – przedstawiono wyłącznie analizę systemu eksploatacji.



Rys.1. Widok ogólny kruszarki

Warunki przeróbki kruszywa trudno urabialnego – tu kwarcytu – są niezwykle trudne, gdyż surowiec ten jest skałą o bardzo dużej wytrzymałości,  $R_c > 200$  [MPa]. Inne właściwości to:

| Skąły         | Rodzaj kamienia | Gęstość objętościowa [g/cm <sup>3</sup> ] | Wytrzymałość na ściskanie $R_c$ , [MPa] | Ścieralność na tarczy Boehmego [cm] | Nasiąkliwość wagowa n, [%] | Twardość wg skali Mohsa |
|---------------|-----------------|---|---|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Metamorficzne | marmur          | 1,90-2,80                                 | 80-150                                  | 0,20-0,40                           | 0,1-0,5                    | 3                       |
|               | kwarcyt         | 2,30-2,75                                 | 200-300                                 | 0,04-0,12                           | 0,1-0,5                    | 7                       |

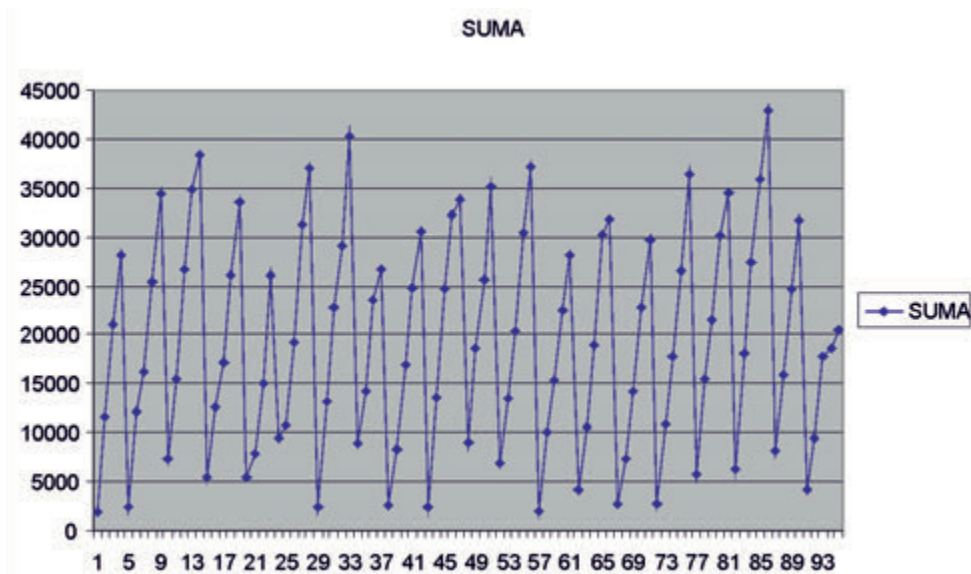
Przerabiany kwarcyt zawierał do 95% krzemionki, co w sposób naturalny ograniczało trwałość elementów szybko zużywanych – np. szczęk kruszących. Ich przewidywana żywotność to ok. 200 roboczych godzin [r-g], dla bazaltu ta żywotność to nawet 1000-2000 [r-g], granitu 300 – 400 [r-g], ale dla agresywnych żużli to tylko 150 [r-g]. Jest to przyczyną obniżenia żywotności elementów, np. od 0,25 do 0,9 w stosunku

do granitu.

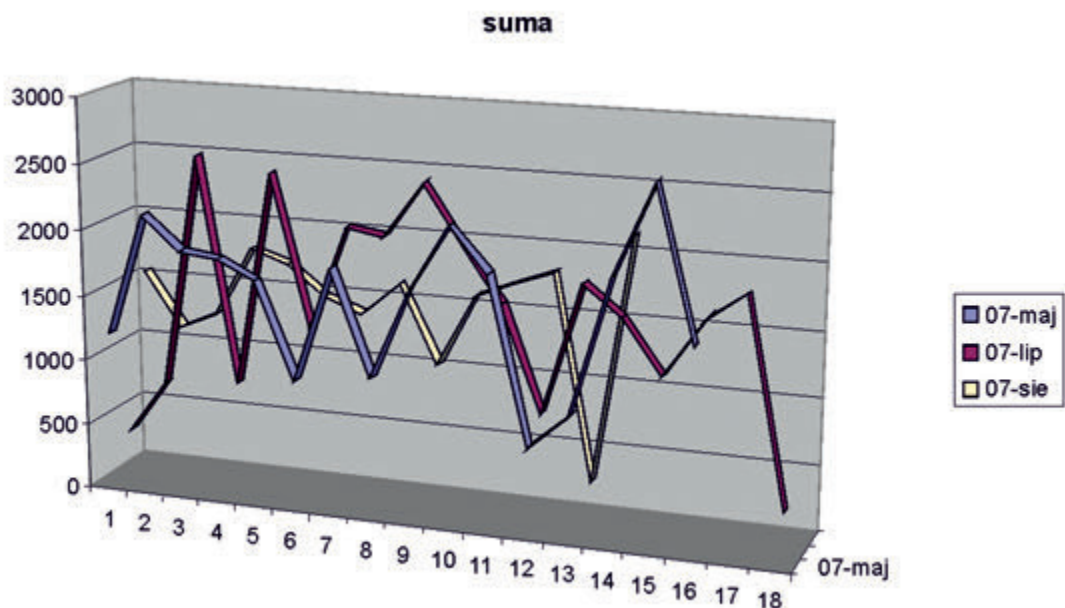
Kruszarka pracuje w warunkach naturalnych w ciągu całego roku kalendarzowego, na otwartym powietrzu pozostając pod wpływem warunków atmosferycznych. Jest narażona na

znaczne, agresywne zapylenie oraz możliwość przypadkowych uszkodzeń mechanicznych. Każda maszyna tego typu jest egzemplarzem jednostkowym, budowanym na zamówienie. Jednak nawet maszyna o dobrej jakości wymaga obsługi i użytkowania przez doświadczonych operatorów pod nadzorem kadry inżynierskiej.

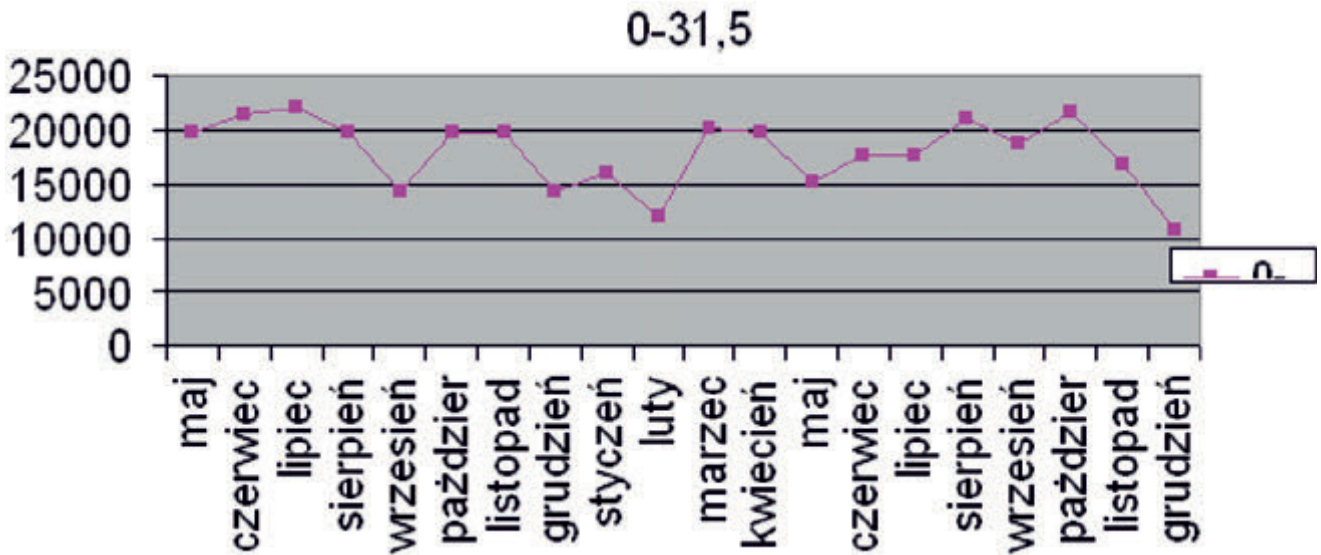
Podstawowym wymaganiem warunkującym prawidłową



Rys. 2. Produkcja miesięczna sumaryczna w okresie: maj '07 do grudzień '08 (tony) z przyrostami tygodniowymi



Rys. 3. Przykładowa produkcja dzienna w miesiącach maj, lipiec, sierpień 2007



Rys. 4. Produkcja miesięczna frakcji 0 - 31,5 w okresie maj '07 - grudzień '08 (tony)

pracę w ciężkich warunkach jest świadome wypełnienie zasad eksploatacji i nadzoru nad maszyną – podanych przez producenta. Eksploatacja powinna być realizowana konsekwentnie, pod ciągłą kontrolą uprawnionych służb.

*Kluczowym systemem maszyny w zakresie eksploatacji jest obsługiwanie układów hydraulicznych – napędowego i sterowniczego. Drugi problem to użytkowanie maszyny – obciążenia kruszarki wynikającego z ilości skały załadowanej do leja załadowczego.*

#### Symptom diagnostyczny jakości użytkowania kruszarki

Jako symptom diagnostyczny jakości użytkowania kruszarki przyjęto efekt produkcyjny w postaci sumarycznej produkcji kruszywa (w tonach) w porównawczych okresach czasu.

Na rysunkach 2-4 przedstawiono produkcję kruszywa. Dane źródłowe określały produkcję dzienną w rozdzieleniu na frakcje gabarytowe (tłuczeń, frakcje 0-31,5 oraz inne). Produkcję tygodniową, miesięczną i godzinową obliczano. Produkcja w okresie: maj '07 do grudnia '08 wykazuje znaczne wahania. Tylko niektóre wynikają z sezonowości.

Produkcja sumaryczna we wszelkich porównawczych okresach użytkowania wykazuje znaczne zróżnicowanie. Tylko niektóre wahania wynikają z sezonowości, np. okresu zimowego. Zróżnicowanie wykazały (nie przedstawiono danych źródłowych):

1. Produkcja miesięczna sumaryczna
2. Porównawcza produkcja miesięczna z rozbięciem na frakcje
3. Produkcja dzienna sumaryczna
4. Produkcja dzienna z rozbięciem na frakcje
5. Produkcja godzinowa, przy założonych w analizie 12-tu oraz nawet 16-tu godzin pracy na dzień.

Skoki sumarycznego produktu dziennego wykazują wahania, np.:

- > ok. 1 : 5 (dla 09 – 10, 11 listopada 2007 ) oraz
- > ok. 1 : 10 (dla 22 – 26 tego miesiąca)

Znaczne wahania, a nawet skoki produktu miesięcznego, tygodniowego i dziennego (dziennego nawet w stosunku ok. 1 : 5 oraz ok. 1 : 10) wskazują na istnienie przyczyn eksploatacyjnych – wynikających z niewystarczającej jakości kadry

technicznej. Jeśli są okresy, w których produkt godzinowy przy założonych w analizie 12 godzinach pracy dochodzi do normatywnych 200 ton/godz., a przy zawyżeniu do 16 godz. pracy – do 150 ton/godz., trudno było szukać przyczyn jakości produkcji po stronie wadliwej maszyny.

#### Ocena jakości eksploatacji, ocena pragmatyki i praktyki inżynierskiej

Użytkownika kruszarki oceniono zgodnie z wielokrotnie weryfikowaną autorską metodą [3-6]. W uproszczonej metodzie oceny systemu eksploatacji kruszarek wykorzystano określone punktowo kryteria, mając świadomość poszerzenia ich zbioru:

1. Istnienie algorytmów, instrukcji eksploatacji (odnowy) kruszarki
2. Realizowanie algorytmów użytkowania, odnowy, instrukcji eksploatacji
3. Świadome wykonywanie dokumentacji odnow
4. Wykorzystywanie dokumentacji w sprzężeniu zwrotnym.

Te proste kryteria pozwalają na zobiektywizowaną sumaryczną ocenę, która wynika z oceny (w oparciu o wszystkie dokumenty) działania systemu eksploatacji. Każde z kryteriów jest dla uproszczenia równie istotne i oceniane w zakresie 0 do 5 punktów. Suma poszczególnych ocen tworzy ocenę sumaryczną, o podanym niżej zakresie stopniowania:

19 do 20 punktów – ZAAWANSOWANY system eksploatacji

15 do 18 punktów – B. DOBRY system eksploatacji

12 do 14 punktów – DOBRY system eksploatacji

9 do 11 punktów – DOŚĆ DOBRY system eksploatacji

6 do 8 punktów – PROSTY system eksploatacji

2 do 5 punktów – PRYMITYWNY system eksploatacji

0 do 1 punktów – NIE ISTNIEJĄCY system eksploatacji.

W oparciu o ocenę działania przedmiotowego zakładu użytkującego poniżej przedstawiono ocenę systemu eksploatacji dla kruszarek:

|                         |   | MOŻLIWE OCENY  |  |  |                      |          |
|-------------------------|---|--|--|--|----------------------|----------|
|                         | Kryteria  | 4 – 5  | 3  | 1 – 2                                  | 0                    | Oceny    |
| 1                       | Istnienie algorytmów, zaleceń, instrukcji ekspl. iodnowy maszyn | Dla wszystkich maszyn, adaptowane do sytuacji, specj. służby                       | Dla wszystkich maszyn podstaw. – fabryczne | Dla niektórych maszyn                  | Brak                 | 3        |
| 2                       | Realizacja j.w.   | Wyprzedzenie awarii  | Rutynowa – czasowa                         | Reakcja na uszkodz. i stany przedawar. | Reakcja na awarie    | 2        |
| 3                       | Dokumentacja post factum  | Pełna – wspomagana   | Pełna – pisemna                            | Prosta                                 | Nie istnieje         | 1        |
| 4                       | Zasady wykorzystywania dokumentacji                             | Interaktywne, uaktualnianie zaleceń eksploatacji, dla planowania zakupów i zapasów | Dla planowania zakupów i zapasów           | Dla sprawozdawczości                   | Nie wykorzystuje się | 2        |
| <b>OCENA SUMARYCZNA</b> |   |  |  |  |                      | <b>8</b> |

Istniejący system eksploatacji w ocenianym systemie uzyskał 8 punktów – jest określony jako **prosty system eksploatacji**. Charakteryzuje się działaniami eksploatacyjnymi, podtrzymującymi istniejący stan maszyn i urządzeń poprzez działania w reakcji na występujące zdarzenia. Realizowany jest zazwyczaj w systemach z wyposażeniem technicznym, gdzie zasadnicze zadania (produkcyjne i inne) należą do branży pozamechanicznej, prowadzą do degradacji wyposażenia, z podejmowaniem kosztownych odnow. W tym systemie eksploatacji istnieją działania po uszkodzeniach, system działa przez pewien czas właściwie, istnieje jednak nieustanne zagrożenie nieuniknionymi awariami.

### Przyczyny i remedia

Przyczyny niewłaściwej pracy kruszarki i możliwe środki przeciwdziałania mieszczą się w obu obszarach eksploatacji: obsługi i użytkownika<sup>1</sup>.

– Stosowany system zarządzania w najbardziej krytycznym zakresie – eksploatacji (obsług i użytkownika) nie był właściwy dla tego rodzaju technologii. *Przy tego rodzaju systemie technicznym – wielomaszynowym ciągu technologicznym – zazwyczaj angażuje się zaawansowaną kadrę inżynierską, gwarantującą właściwy poziom inżynierii eksploatacji i kultury technicznej.*

– Lej załadowczy kruszarki zasypywany był zbyt dużą ilością skały. Prowadziło to do zbyt intensywnego dopływu materiału do szczęk kruszących, przeciążenia ich a nawet blokowania. Z kolei skała zmieszana ze zbryloną moką drobną frakcją powodowała zatykanie i blokowanie się rusztu znajdującego się w leju załadowczym co w konsekwencji zakłócało płynne zasilanie szczęk kruszących. *Wystarczyłoby dostatecznie często i starannie czyścić ruszt z zatorów.*

– Układ hydrauliczny nie był starannie eksploatowany i nadzorowany. Zbiornik oleju hydraulicznego był zanieczyszczony i nieszczelny. *Konieczność zlikwidowania przecieków i ciągłego czyszczenia zbiornika z pyłu (mazi) szczególnie w okolicach filtrów wlewowych i korka odpowietrzającego należy do kanonu obsługi każdej maszyny.* Są to bowiem miejsca możliwego wnikania pyłowych i ziarnistych zabrudzeń do układu hydraulicznego.

<sup>1</sup>Uwaga: Środki zapobiegawcze podano dalej italiczkiem.

– Obserwowano wycieki i rozszczelnienia układu hydraulicznego w okolicach pomp, oraz w połączeniach przewodów hydraulicznych. Miejsca powstawania nieszczelności obrastają pyłem kwarcowym, który może wnikać do układu hydraulicznego. Wymiana przewodów hydraulicznych w warunkach zapylenia i rozrzutu kwarcytowych frakcji w kopalni i na maszynie, przy braku staranności ze strony obsługi mogła powodować wprowadzenie zanieczyszczeń do układu hydraulicznego. Z kolei utrata oleju z układu wymagała jego uzupełnienia poprzez dolanie do zbiornika przez korek wlewowy. Również w tym przypadku mogły się dostać zanieczyszczenia do układu hydraulicznego. Obserwacja zanieczyszczonego oleju pobranego ze zbiornika kruszarki wykazała, że znajdują się w nim duże cząstki zanieczyszczeń stałych. Zanieczyszczenia o takim charakterze są zagrożeniem dla prawidłowego funkcjonowania elementów i zespołów układu hydraulicznego. Powodowały one zawieszanie się zaworów hydraulicznych, blokowanie się suwaków w rozdzielaczach. To z kolei było przyczyną wyłączenia się maszyny i braku możliwości jej powtórnej włączenia. *Demontaż czyszczenie i powtórny montaż tych elementów w warunkach kopalnianych wymagał fachowych specjalistów.* Zanieczyszczenia wpływały także na zużycie pomp, silników i siłowników hydraulicznych [2,7].

– Jest zrozumiałe, że we wspomnianych wyżej ciężkich warunkach pracy kruszarka może ulegać różnym uszkodzeniom mechanicznym a obecny wszędzie pył i drobne frakcje kwarcytowe były nie do uniknięcia. Możliwe są nieszczelności układu i pęknięcia przewodów elastycznych, a na skutek długotrwałej eksploatacji w układzie hydraulicznym i zbiorniku pojawiają się zanieczyszczenia. *Wszystko to powinno być niezwłocznie, fachowo i skutecznie opanowywane oraz likwidowane przez wyszkoloną obsługę.*

– Obsługa kruszarki pracowała na akord chcąc uzyskać jak największą wydajność, a w związku z tym nie zawsze miała czas na należyty nadzór i kontrolę maszyny, nie mówiąc już o starannym wykonaniu drobnych remontów i czyszczeniu kruszarki. *Nie było osoby z odpowiednim wykształceniem technicznym, co stanowiło jeden z powodów niższego poziomu obsługi i nadzoru nad kruszarką.*

Skutki nieświadomości a w konsekwencji popełnianych błędów pozornie „spadają z nieba”. Szuka się winnego. *W tym miejscu można wstawić jako remedium którykolwiek podręcznik*

nt. zasad eksploataowania i użytkowania maszyn roboczych, w tym kruszarek. Wykorzystywano kruszarkę, której odporność na niewłaściwe użytkowanie była niedostosowana do warunków występujących w użytkowaniu. Należało stosować:

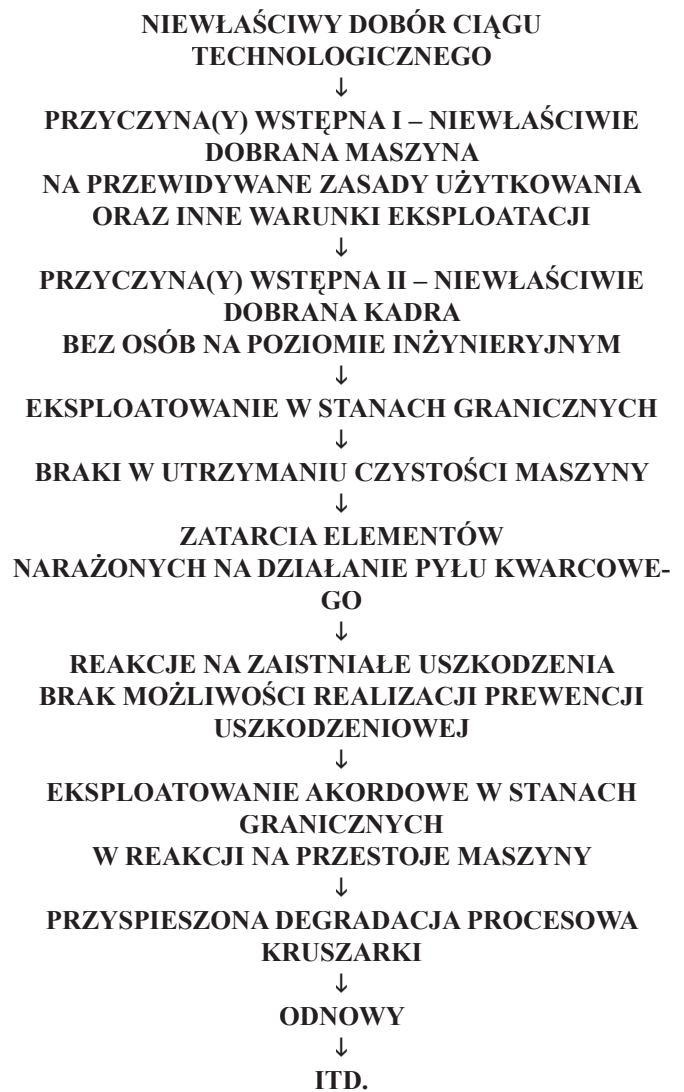
- > właściwy system użytkowania – wydajności obsługi i napraw itd.
- > lub powinna wprowadzić kruszarkę, odporną na niewłaściwe użytkowanie, gdyż to zdeterminowałoby proporcjonalny wzrost efektu roboczego kruszarki.

Jest szczególnie istotne dla zrozumienia przyczyn niepowodzenia świadomość istnienia i nie wykorzystania niezwykle bogatej wiedzy o istniejących i wykorzystywanych narzędziach oraz metodach eksploatacji maszyn roboczych – w tym kruszarek.

Nieustannie w instrukcjach obsługowych pojawiają się nakazy, zalecenia i wskazówki na temat utrzymania czystości maszyny. Wiele obliczeń zużyciowych – trwałościowych elementów ruchowych maszyn wynika z ich czystości. Nikt nie zagwarantuje projektowanej żywotności zespołu maszynowego (np. dla łożyska 10 000 rbh!), jeśli nastąpi zasysanie, dopływ itp. twardego ziarna, działającego jak doskonale ścierniwo. Zanieczyszczenia – w tym przypadku produkty uboczne przerobu skały są przyczyną radykalnego obniżenia jakości działania i w konsekwencji żywotności elementów nawet najlepszej kruszarki.

Wszechobecny pył kwarcowy oraz różnorodne większe frakcje tej skały doprowadziły przy braku prób ich usuwania do przyspieszonej degradacji elementów maszyny – a poprzez to całości kruszarki. Rozpatrywana kruszarka w technologicznym ciągu przeróbczym była narażona na dostęp agresywnego materiału pyłowo – ziarnistego.

Jak wykazuje doświadczenie krajowe oraz w przeróbce skał na świecie – przy odpowiedniej kulturze eksploatacji, tzn. m. in. prawidłowej konserwacji – każdy egzemplarz maszyny powinien pracować niezawodnie poprzez wiele lat i wykazywać jedynie minimalną ilość awarii. Należy tylko dokładać wszelkich starań, by urządzenie pracowało zgodnie z przeznaczeniem i w sposób określany jako zgodny z pragmatyką inżynierską. Stwierdzono istnienie ciągu przyczynowo – skutkowego degradacji KRUSZARKI:



## Wnioski

Podstawowym warunkiem niezawodnej i długotrwałej pracy kruszarki było przestrzeganie zasad eksploatacji formułowanych przez producentów a przede wszystkim przestrzeganie eksploatacyjnej pragmatyki inżynierskiej.

Dla rozpatrywanego przypadku – stwierdzone znaczne wahania a nawet skoki produktu miesięcznego, tygodniowego i dziennego (dziennego nawet w stosunku ok. 1 : 10) – wskazują na istnienie przyczyn eksploatacyjnych. Jeśli istniały okresy, w których produkt godzinowy dochodził do normatywnie zagwarantowanych przez producenta 200 ton/godz., trudno szukać przyczyn jakości produkcji po stronie maszyny.

W instrukcjach obsługowych kruszarek istnieją mocno wyrażane nakazy, zalecenia i wskazówki na temat UTRZYMANIA CZYSTOŚCI MASZYNY. Praktycznie w tej chwili większość obliczeń zużyciowych – trwałościowych elementów ruchowych maszyn wynika z ich czystości. Nikt nie zagwarantuje projektowanej żywotności zespołu maszynowego, jeśli nastąpi zasysanie, dopływ itp., twardego ziarna, działającego jak doskonale ścierniwo.

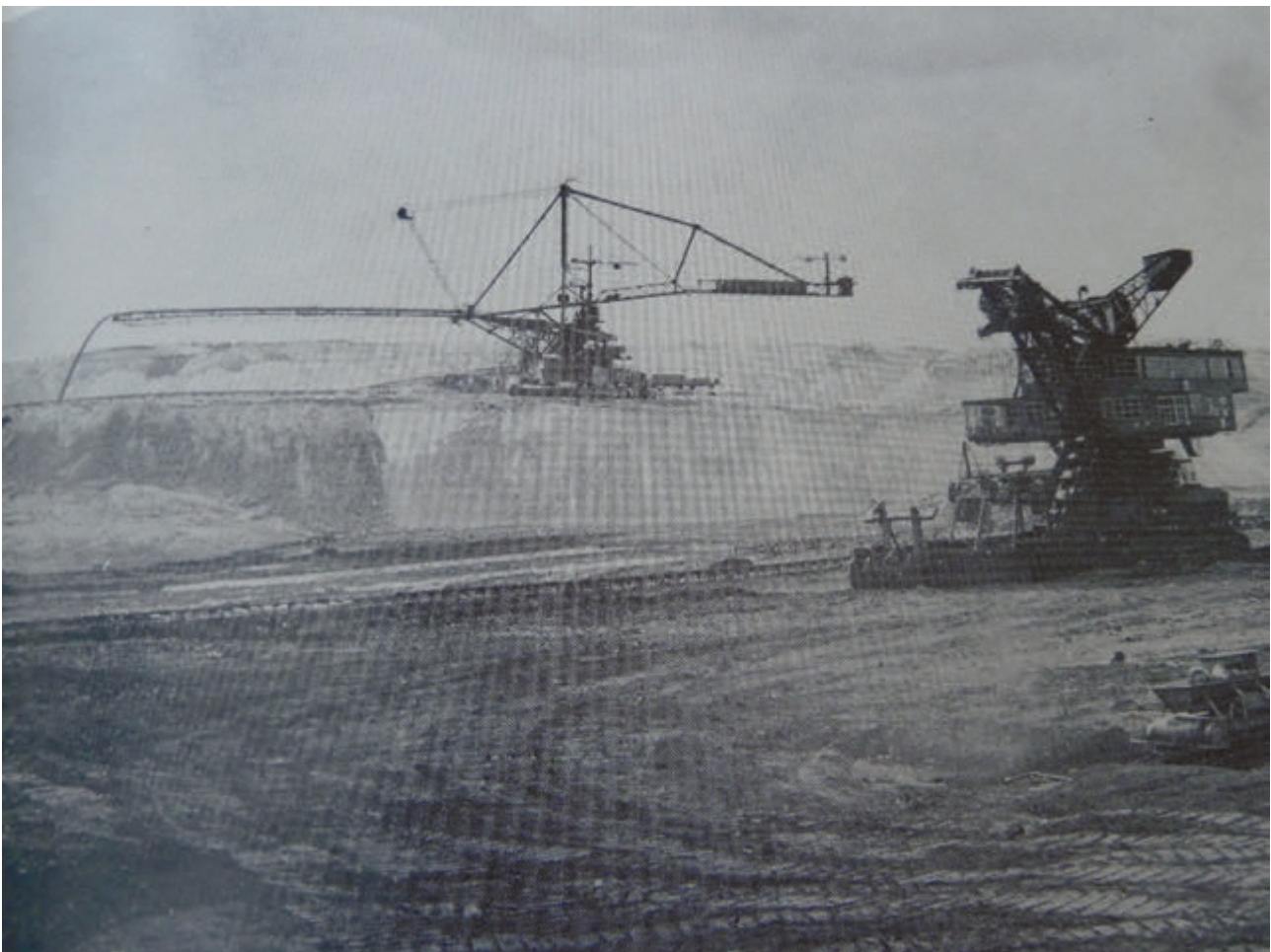
Przyczyny wahań produkcji pochodziły ze złej eksploatacji oraz braku właściwego nadzoru nad pracą, wynikłych z niewystarczającej jakości kadry technicznej.

*Stosowanie nowoczesnych kruszarek, nawet o prostej pozornie konstrukcji nie jest możliwe bez współczesnych metod inżynierskich w eksploatacji – obsługi oraz użytkowania. Lekceważenie któregośkolwiek z elementów eksploatacji maszyny skutkuje awariami. Niewłaściwe metody eksploatacji kumulują skutki degradacyjne od pierwszego uruchomienia maszyny, ujawniając się po krótkim okresie użytkowania.*

## Literatura

- [1] Chrostowski H., *Metody oceny i selekcji rozwiązań projektowych*. IV Szkoła MKM, Rydzyna 1986, część V
- [2] Jaźwiński J., Ważyńska-Fiók K.: *Bezpieczeństwo Systemów*, PWN, Warszawa, 1993
- [3] Przystupa, F. W., *Proces diagnozowania w ewoluującym systemie technicznym*, OW Politechniki Wrocławskiej, Seria Monografie, Wrocław, 1999
- [4] Przystupa, F. W., *Diagnostic Equivalent for Widespread Manufacturing System*, „Archives of Civil and Mechanical Engineering” 2010, vol. 10, nr 3, s. 111-122
- [5] Przystupa, F. W., *Diagnozer w systemie technicznym: od ontologii i aksjologii do praktyki*. Wydawca Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2010
- [6] Przystupa, F. W., *Metodologia eksploatacyjnego diagnozowania maszyn z napędem elektrycznym*, „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa” 2008 nr 7/8, s. 82-87
- [7] Warszński W., *Niezawodność w obliczeniach konstrukcyjnych*, PWN, Warszawa, 1988

*Z cyklu: Sentymentalne wędrówki po meandrach polskiej myśli techniki górniczej*



Zwałowanie wewnętrzne w odkrywce Józwin (KWB Konin). Koparka łańcuchowa Rs560 i zwałowarka A<sub>2</sub>RsB 8800

Reprint Renata S-K