

*Józef Augustynowicz**, *Dionizy Dudek**, *Krzysztof Dudek**, *Andrzej Figiel**

STRATEGIA UTRZYMANIA W RUCHU DŁUGOTRWALE EKSPLOATOWANYCH MASZYN PODSTAWOWYCH GÓRNICTWA ODKRYWKOWEGO

1. Wprowadzenie

Węgiel brunatny stał się w Polsce — obok węgla kamiennego — podstawowym paliwem w procesie wytwarzania energii elektrycznej. W elektrowniach opalanych węglem brunatnym wytwarza się aktualnie około 43% energii elektrycznej. O tym jakie są perspektywy górnictwa węgla brunatnego w Polsce w nadchodzącym wieku decydować będą następujące czynniki:

- zapotrzebowanie na produkcję energii elektrycznej;
- posiadane zasoby;
- przygotowanie techniczne do działalności eksploatacyjnej;
- posiadanie odpowiedniego zaplecza naukowo-projektowego oraz produkcyjnego;
- możliwość dostosowania działalności eksploatacyjnej do wymogów ochrony środowiska i uzyskanie akceptacji społecznej;
- dostosowanie produkcji energii elektrycznej do zasad wolnorynkowych.

Założenia polityki energetycznej Polski do 2020 roku przyjęte przez Radę Ministrów w lutym 2000 zakładają istotny wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną w najbliższym dwudziestoleciu, niezależnie od rozpatrywanych scenariuszy rozwoju gospodarczego.

Wszelkie prognoza świadczą, że zapotrzebowanie na energię wzrośnie w ciągu najbliższych lat nawet do około 18% przy, a do roku 2020 w zależności od scenariuszy przewidywany jest wzrost zapotrzebowania od 42 do 66%.

W tej sytuacji określenie zapotrzebowania na węgiel brunatny na poziomie 66 mln Mg rocznie można uznać za minimum. Utrzymanie takiego wydobycia do roku 2020 wiąże się

* Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska, Wroclaw

z koniecznością budowy nowych odkrywek. Pozyskiwanie węgla brunatnego metodą odkrywkową wiąże się z koniecznością wydobycia i przemieszczenia około 250 mln Mg/rok nadkładu. Całość tych prac wykonują maszyny podstawowe. Aktualnie pracuje w polskich kopalniach odkrywkowych około 80 maszyn podstawowych. Ich wiek jest dosyć zróżnicowany. Dominują głównie maszyny stare i bardzo stare. Mamy obecnie w Polsce aż 48% ponad 30-letnich maszyn, a dalszych 10% pracuje od 25 do 30 lat. Tak więc nawet przyjęcie założenia o utrzymaniu choćby poziomu aktualnego wydobycia na najbliższe 20 lat wymusza dalszą bezpieczną i wydajną eksploatację tych maszyn, aż do osiągnięcia przez nie wieku 45–50 lat. Tak więc zagadnieniem o podstawowym znaczeniu dla całej branży węgla brunatnego staje się konieczność dokonania wyboru pomiędzy zakupem nowych maszyn, a przedłużeniem trwałości istniejących. Cena nowych maszyn podstawowych waha się wokół 7 dolarów US z kilogram, co przy bardzo znacznych ciężarach własnych tych konstrukcji wynosi od 50 do 80 i więcej mln zł.

Można zatem postawić dosyć kluczowe pytanie: co zrobić z prawie połową starych, wyeksploatowanych maszyn podstawowych, aby uniknąć groźnych katastrof?

Planowane wydobycie nie pozwala pozbyć się żadnej z nich, ich obecna awaryjność, niska jakość oraz bliżej nieznanego stopień degradacji nie zapewnią uzyskania odpowiednich wydajności. Na zakup takiej liczby nowych maszyn nie stać żadnej kopalni, istnieje zatem paląca wręcz potrzeba opracowania metodyk ich gruntownej modernizacji i przedłużenia czasu bezpiecznej eksploatacji o co najmniej 25 lat. Pamiętać przy tym należy, że procesy degradacyjne — zwłaszcza zmęczeniowe — pojawiają się również w maszynach młodszych. One także za lat kilkanaście wymagać będą renowacji i modernizacji. Problem utrzymania w ruchu maszyn podstawowych jest poważnym wielowątkowym problemem badawczym. Wymaga gruntownego rozeznania w historii dotychczasowych awarii, dotychczasowych osiągnięć wydobywczych, oszacowania historii obciążenia konstrukcji nośnej oraz spodziewanych czasów powrotów incydentalnych obciążeń ekstremalnych. Wymusza konieczność naukowo uzasadnionej zmiany ich jakości — w tym przede wszystkim zwiększenia trwałości, niezawodności i bezpieczeństwa pracy — poprzez kompleksową ich rekonstrukcję i modernizację. W związku z tym, opracowanie strategii zwiększenia bezpieczeństwa, niezawodności i utrzymania w ruchu maszyn i urządzeń górnictwa odkrywkowego staje się w branży energetyki na węglu brunatnym zagadnieniem pierwszoplanowym.

2. Podstawy badawcze zwiększenia trwałości maszyn modernizowanych

Osiągnięcie odpowiedniej jakości maszyn po modernizacji wymaga diagnostycznego oszacowania ich aktualnego stopnia degradacji oraz opracowania szczegółowych metodyk obliczeniowych i technologicznych procesu ich modernizacji. Konieczne staje się również opracowanie i wykonanie naukowo uzasadnionych metodyk i technologii kreacji, diagnozowania i kontroli maszyn po modernizacji, aby zapewnić im bezpieczną pracę na około 25 lat.

Wymaga to podjęcia badań interdyscyplinarnych z zakresu Budowy i Eksploatacji Maszyn, Materiałoznawstwa i Inżynierii Materiałowej oraz Mechaniki Technicznej.

Główne cele analiz naukowych zmierzających do osiągnięcia wymaganej trwałości maszyn długotrwale eksploatowanych można zatem wyartykułować następująco:

- 1) Cel główny: Inwentaryzacja aktualnego stanu technicznego maszyn, odtworzenie historii ich obciążeń eksploatacyjnych i wynikłych stąd awarii oraz zagrożeń awaryjnych.
 - Cele szczegółowe wynikające z konieczności odtworzenia historii obciążenia, to:
 - Wyznaczenie charakterystyk dynamicznych poszczególnych obiektów (strefy rezonansowe);
 - Opracowanie metodyk estymacji statystycznych rozkładów obciążeń ekstremalnych oraz czasu ich powrotu;
 - Oszacowanie aktualnej resztkowej trwałości zmęczeniowej konstrukcji nośnych poszczególnych maszyn;
- 2) Cel główny: Strategia utrzymania w ruchu starych, wyeksploatowanych maszyn przez okres następnych 25 lat.
 - Cele szczegółowe wynikające z konieczności tworzenia takiej strategii, to:
 - Opracowanie i wdrożenie metodyk podniesienia niezawodności maszyn po modernizacji;
 - Podwyższenie jakości proponowanych rozwiązań do aktualnego światowego poziomu;
- 3) Cel główny: Opracowanie i wdrożenie nowoczesnych metodyk diagnostycznych dla bieżących oszacowań aktualnego stanu maszyn po modernizacji.
 - Cele szczegółowe wynikające z konieczności tworzenia takich metodyk, to:
 - Opracowanie i wdrożenie algorytmów oceny aktualnej trwałości resztkowej maszyn po modernizacji;
 - Zapewnienie modernizowanym maszynom najwyższych standardów bezpieczeństwa.

Tak kompleksowo potraktowany temat wymaga współpracy specjalistów i ekspertów z zakresu budowy i eksploatacji maszyn podstawowych, a w szczególności projektantów i konstruktorów maszyn podstawowych, analityków i informatyków do symulacji stanów zagrożenia konstrukcji, technologów spawalników do opracowania nowych rozwiązań połączeń spawanych, technologów materiałowych celem analizy przydatności istniejącego oraz doboru nowego tworzywa konstrukcyjnego.

Jest tu ogromne pole popisu dla diagnostyki technicznej, a w szczególności z zakresu badań nieniszczących oraz badań charakterystyk dynamicznych.

To również problemy dotyczące materiałoznawstwa w celu oszacowań zmian własności tworzywa konstrukcyjnego w okresie dotychczasowej eksploatacji maszyn, teorii zmęczenia materiałów i mechaniki pękania — dla potrzeb estymacji trwałości resztkowej konstrukcji nośnych, teorii niezawodności i bezpieczeństwa, analizy systemowej, ocen jakościowych nowych rozwiązań.

Opracowane strategie modernizacyjne wykorzystywane powinny być sukcesywnie przy renowacjach i modernizacjach kolejnych koparek bądź zwałowarek. Muszą być dostępne dla wszystkich kopalni, co po wstępnym oszacowaniu stopnia degradacji konstrukcji nośnych maszyn w danej kopalni pozwoli na wymianę zagrożonych węzłów, ich całkowitą modernizację opartą na nowoczesnych metodach obliczeniowych oraz technologiach naprawczych wykorzystujących aktualne zdobycze inżynierii materiałowej. Opracowane konfiguracje torów badawczo-diagnostycznych powinny zostać wdrożone w postaci instalacji pomiarowych na maszynach po modernizacji oraz stanowić podstawę systemu kontrolnego kopalni.

Jak wykazała dotychczasowa praktyka koszt modernizacji starej maszyny nie przekracza 40% ceny maszyny nowej. Ponadto przy średnio 35-letniej normalnej eksploatacji nowa maszyna ma małe szanse osiągnąć swoją minimalną trwałość resztkową — a więc nadawać się tylko do kasacji — przed całkowitym, 25-letnim okresem końcowej eksploatacji złoża kopalni. Zostanie zatem skasowana wcześniej, co jest dodatkową stratą. Kopalnie, których eksploatacja zakończy się przed rokiem 2020 muszą więc przeprowadzić proces modernizacyjny swoich maszyn. Będą to robić ze środków własnych.

Tym niższe będą to oczywiście koszty, im dokładniej rozpoznane zostaną zagrożenia degradacyjne poszczególnych maszyn. Nie do przecenienia są również przewidywane skutki społeczno-gospodarcze realizacji projektu, takie jak:

- Zdecydowane obniżenie kosztów wydobywania węgla z uwagi na zaniechanie zakupu nowych maszyn. Przeciętnie za cenę zakupu nowej maszyny można poddać procesowi modernizacji dwie;
- Podniesienie niezawodności maszyn oraz bezpieczeństwa i komfortu pracy ich obsługi oraz dostosowanie tych parametrów do standardów światowych;
- Podniesienie jakości maszyn modernizowanych do porównywalnej jakości maszyn nowych;
- Zmniejszenie wymaganej restrukturyzacji kopalni redukcji załogi z uwagi na możliwość wykonywania modernizacji we własnych warsztatach remontowo-naprawczych i własnych biurach konstrukcyjnych.

Można zatem przewidywać, że na podstawie opracowanych strategii poszczególne kopalnie opracują projekty wdrożeniowe dla swoich maszyn. Z uwagi na to, że każda kopalnia ma właściwie zupełnie różne maszyny jest to rozwiązanie najbardziej korzystne.

3. Struktura zadaniowa strategii

- 1) Odtworzenie na podstawie dokumentacji historii awarii i katastrof poszczególnych typów maszyn i urządzeń będących głównymi komponentami systemu wydobywczego K–T–Z. Analiza przyczyn tych awarii, oszacowanie ich skutków i określenie możliwości zapobiegania w przyszłości. Analiza dotychczasowych strategii przeglądów kon-

trólnych wykonywanych przez diagnostyczne służby kopalniane oraz okresowych — zaawansowanych — badań diagnostycznych wykonywanych przez specjalistyczne badawcze jednostki zewnętrzne. Odtworzenie na podstawie dokumentacji osiągnięć eksploatacyjnych wszystkich maszyn podstawowych pracujących w polskim przemyśle węgla brunatnego.

- 2) Analiza eksploatacyjnej niezawodności i bezpieczeństwa systemu K–T–Z, w tym: opracowanie modeli topologicznych i funkcjonalnych komponentów systemu wydobywczego K–T–Z dla poszczególnych kopalń, opracowanie modeli struktur funkcjonalnych niezawodności i bezpieczeństwa systemu wydobywczego, analiza przyczyn, postaci i skutków typowych i wyjątkowych — wręcz katastroficznych — uszkodzeń obiektów systemu K–T–Z, badanie uszkodzeń pierwotnych, wtórnych, zależnych i spowodowanych błędami człowieka oraz pochodzących ze strony otoczenia systemu K–T–Z, analiza skutków uszkodzeń w aspekcie gotowości technicznej systemu K–T–Z, zapewnienia ciągłości procesu technologicznego i zagrożenia bezpieczeństwa dla ludzi. Opracowanie katalogów „słabych ogniw” w odniesieniu do obiektów technicznych, procesów technologicznych i zdarzeń niepożądanych, analiza cykli obsługowych maszyn w powiązaniu z koncepcjami niezawodnościowo zorientowanej strategii obsługi profilaktycznych, opracowanie założeń systemów doradczych wspomagających podejmowanie decyzji eksploatacyjnych w obszarze niezawodności, bezpieczeństwa i jakości.
- 3) Badania aktualnego stanu technicznego wszystkich maszyn podstawowych, w tym w szczególności: badania nieniszczące stanu połączeń spawanych, nitowanych i śrubowych, utworzenie katalogu aktualnego stanu konstrukcji dla każdej maszyny, ocena konieczności naprawy połączeń wadliwych oraz opracowanie technologii ich wykonania. Badania wpływu ciężaru własnego maszyny na stan naprężenia w wybranych, wytrzymałościowo istotnych elementach jej ustroju nośnego, w szczególności: w wysięgniku urabiającym, w wysięgniku przeciwwagi i w konstrukcji wieży, w dźwigarze pierścieniowym podwozia i w dźwigarze obrotnicy, w dźwigarach gaśnicowych i ważniejszych elementach konstrukcji podwozia.
- 4) Krótkoterminowe, kilkudniowe badania oddziaływań dynamicznych pochodzących z procesu eksploatacyjnego na konstrukcję i mechanizmy maszyn. Opracowanie programu badań doświadczalnych i planu eksperymentu, wybór i analiza kompletności punktów pomiarowych, opracowanie konfiguracji rozmieszczenia przetworników i torów pomiarowych, instalacja i skalowanie stałych torów pomiarowo-diagnostycznych i analiza błędów, wykonanie pomiarów pilotujących na wszystkich typach maszyn. Analiza odpowiedzi dynamicznych badanych obiektów na wymuszenie procesem roboczym, w szczególności analiza uzyskanych rezultatów w dziedzinie: czasu i częstotliwości — ze szczególnym uwzględnieniem rezonansów, w tym także lokalnych, amplitud — z oszacowaniem statystycznych rozkładów obciążeń ekstremalnych, postaci drgań podstawowych czyli analizy modalnej.
- 5) Opracowanie ekwiwalentnych modeli numerycznych konstrukcji nośnej poszczególnych typów maszyn dla warunków brzegowych uzyskanych z badań eksperymentalnych.

Budowa modeli MES, dopasowanie ich do eksperymentalnych warunków brzegowych oraz analiza wrażliwości na zmianę rodzajów kojarzenia obciążeń, wybór elementów i przekrojów o podwyższonym wyężeniu. Weryfikacja doświadczalna modeli numerycznych w elementach i przekrojach o podwyższonym wyężeniu.

- 6) Długoterminowe, wielomiesięczne badania rozkładów obciążeń w konstrukcji nośnej dla potrzeb analizy stanu degradacji maszyn. Wybór i analiza kompletności wektora obserwacji, opracowanie algorytmu akwizycji i przetwarzania danych, estymacja statystycznych rozkładów asymptotycznych dla incydentalnych obciążeń ekstremalnych, estymacja najbardziej prawdopodobnych czasów powrotu poszczególnych poziomów obciążeń, opracowanie katalogów widm statystycznych obciążeń dla poszczególnych typów maszyn, oszacowanie historii dotychczasowego obciążenia konstrukcji nośnej maszyn.
- 7) Oszacowanie stopnia degradacji konstrukcji poszczególnych maszyn. oszacowanie zasobu resztkowej trwałości zmęczeniowej dla najmniej korzystnej historii obciążenia konstrukcji, ocena prędkości rozwoju pęknięć zmęczeniowych, badania stanu dystorsji siatki geometrycznej konstrukcji prętowych, ocena wpływu tych dystorsji na obniżenie trwałości resztkowej.
- 8) Ocena i prognozowanie stanu napędów i węzłów łożyskowych — w tym ciernych. Analiza jakości na tle wyężenia struktur poszczególnych zespołów. Ocena poprawności projektu pierwotnego i analiza koniecznych modyfikacji. Oszacowanie poziomu inżynierii eksploatacji i algorytmów obsługowo-naprawczych.
- 9) Analiza możliwości poprawy i zmiany jakości maszyn. Analiza jakościowo korzystnych zmian materiałowych wybranych elementów maszyn: nowe materiały na elementy uzbrojenia czerpaków, tzn. zęby, naroża i ostrza, w tym nowe technologie napawania i obróbki cieplnej, podwyższenie odporności na ścieranie zespołów narażonych na to zjawisko. Ocena możliwości poprawy strategicznych węzłów konstrukcyjnych, opracowanie katalogu istniejących rozwiązań błędnych powodujących częste awarie lub przestoje, opracowanie nowych, jakościowo lepszych rozwiązań oraz technologii ich wykonania. Oszacowania symulacyjne korzyści modernizacyjnych po podwyższeniu jakości maszyn: ocena bezpieczeństwa maszyn, oszacowania niezawodnościowe i trwałościowe, opracowanie metodyk monitoringu diagnostycznego i prognozowania krótko- i długoterminowych zabiegów obsługowych.

Proponowana strategia utrzymania w ruchu długoterminowo eksploatowanych maszyn podstawowych oraz metodyka ich bieżącej diagnostyki zaczyna już być próbowana na kilku maszynach pracujących w polskich kopalniach. Szczęólnego znaczenia nabrała zaś przy wprowadzaniu do eksploatacji maszyn zakupionych poza krajem i poddanych modernizacji.

LITERATURA

- [1] *Babiarz S., Dudek D.*: Eksploatacja maszyn podstawowych w kopalniach górnictwa odkrywkowego. [W:] Górnictwo Odkrywkowe, Z. 3–4, Wrocław 2006

- [2] *Augustynowicz J., Babiarz S., Dudek D., Figiel A.*: Zagrożenia katastrofalne maszyn podstawowych wywołane niewłaściwą eksploatacją przenośników taśmowych. [W:] *Transport Przemysłowy* Nr 4(26)/2006
- [3] *Babiarz S., Dudek D.*: Kronika awarii i katastrof maszyn podstawowych w polskim górnictwie odkrywkowym. Oficyna Wyd. PWr., Wrocław 2007
- [4] *Augustynowicz J., Dudek D., Figiel A., Dudek K.*: Estymacja parametryczna pola obciążeń dźwigara pierścieniowego mechanizmu obrotu nadwozia maszyny roboczej. [W:] *Górnictwo Odkrywkowe* Nr 3–4. Wrocław 2007
- [5] *Dudek D. i in.*: Strategia utrzymania w ruchu oraz zwiększenia jakości, bezpieczeństwa i niezawodności specjalistycznych maszyn i urządzeń górnictwa odkrywkowego o wysokim stopniu degradacji technicznej. NCBiR — projekt rozwojowy N R03 0039 06/2009