

Eugeniusz Rusiński, Przemysław Moczko**

MODERNIZACJA ZESPOŁU URABIANIA KOPAREK KOŁOWYCH SCHRS 4600

1. Wstęp

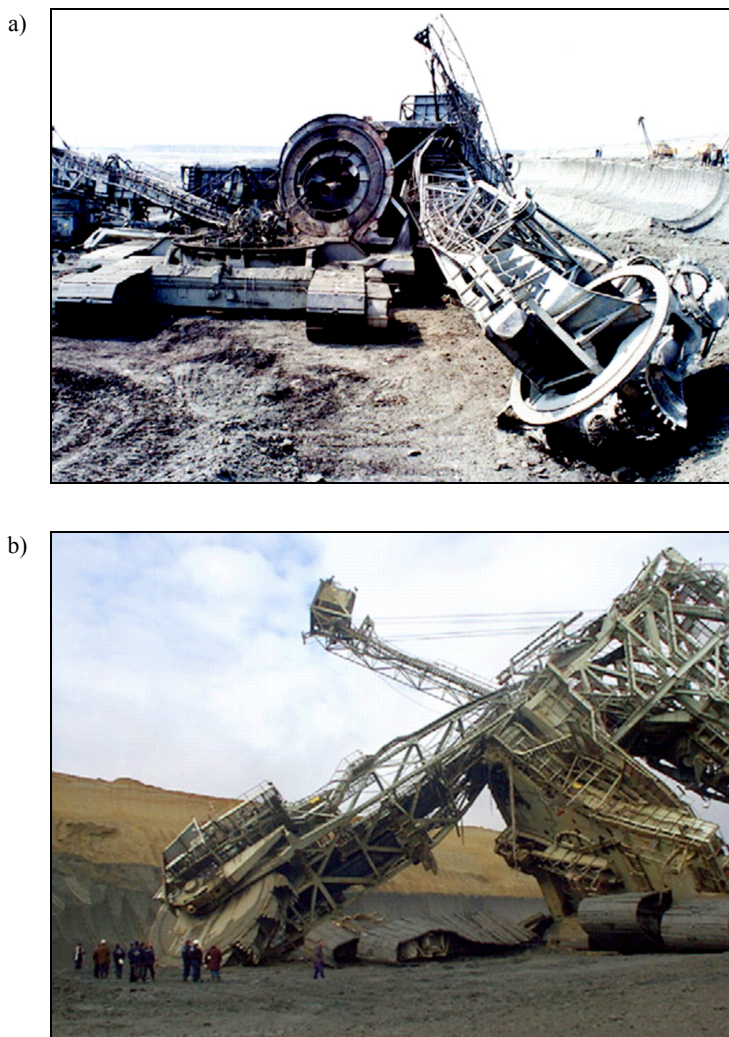
Modernizacja maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego stanowi alternatywę do budowy nowych maszyn, pozwala na zmianę ich parametrów lub umożliwia eliminację problemów związanych z użytkowaniem rozwiązań nastroczających wiele problemów techniczno-eksploatacyjnych [1]. Taki proces jest w większości przypadków bardziej złożony niż projektowanie nowej maszyny w całości, ponieważ element modernizowany, nie może wpływać negatywnie na istniejącą strukturę, która nie podlega zmianom modernizacyjnym. Istnieją w związku z tym ograniczenia projektowe, które należy uwzględnić podczas opracowywania modernizacji [2]. W przypadku modernizacji układu urabiania koparek kołowych należy brać pod uwagę wiele czynników wśród których można wymienić:

- wydajność koparki;
- moce napędów urabiania i obrotu;
- częstotliwości rezonansowe (w przypadku zmian liczby czerpaków);
- stateczność koparki (przy zmianie masy nowego układu, lub przy zmianie sił urabiania);
- współpraca z zespołami związanymi z modernizowanym układem (np., zsuwnia, zamek koła);
- inne.

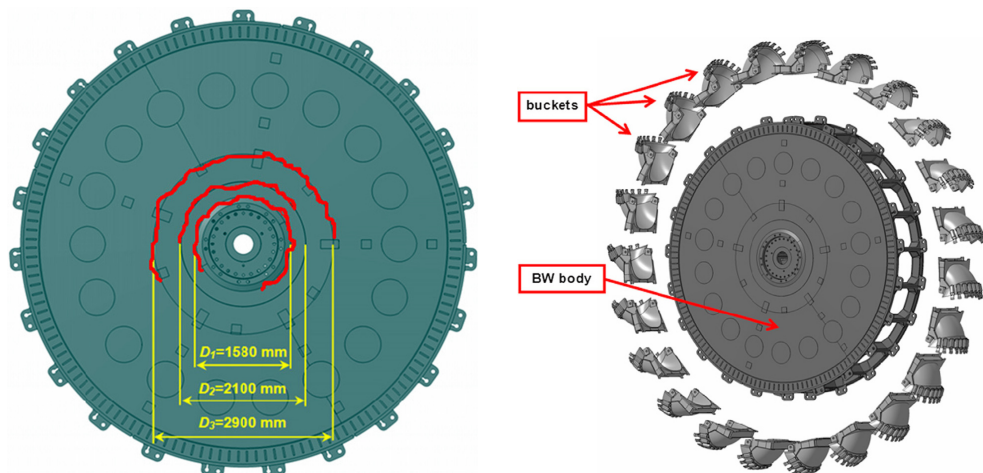
Liczba czynników niezbędnych do uwzględnienia podczas procesu modernizacji zależy od jej zakresu i głównych założeń. Dlatego do każdej takiej pracy należy podchodzić w sposób indywidualny, dopasowany do wymaganych zmian. Pominięcie istotnych czynników w modernizacji może prowadzić do nie osiągnięcia celów modernizacji, wystąpienia awarii lub zagrożenia bezpieczeństwa pracy maszyny [6, 12, 13].

* Wydział Mechaniczny, Politechnika Wrocławska, Wrocław

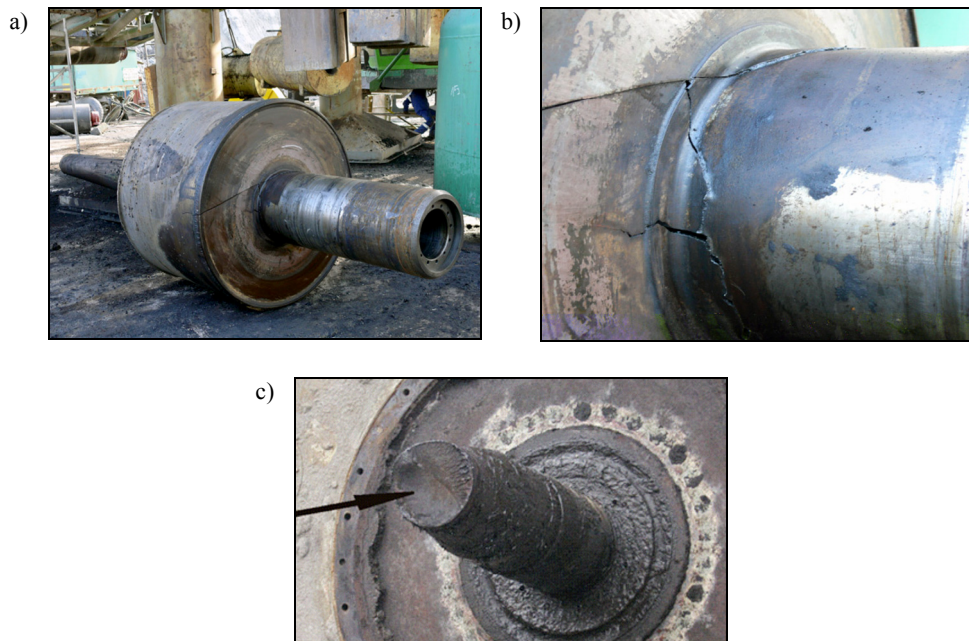
Przykładowe skutki takich awarii zostały pokazane na rysunkach 1 i 2. Przedstawione uszkodzenia układu napędowego koła czerpakowego i samego koła są spowodowane przeciążeniami tego układu i brakiem sprzęgła przeciążeniowego. Inną przyczyną uszkodzeń zmęczeniowych może być praca układu urabiania koparki i ustroju nośnego w rezonansie. Ponadto podczas eksploatacji przy trudno urabialnych nadkładach dość często dochodzi do uszkodzeń wałów lub elementów przenoszących obciążenie z przekładni napędu koła na koło czerpakowe. Przykłady takich zdarzeń przedstawiono na rysunku 3a i b. Inny przypadek pęknięcia osi wału na wskroś pokazano na rysunku 3c [14].



Rys. 1. Katastrofy koparek kołowych: a) SRs 1200, b) SchRs 1760 [6]



Rys. 2. Lokalizacja pęknięć w kole czerpakowym [6]



Rys. 3. Uszkodzone elementy przeniesienia napędu koła czerpakowego koparek:
a) widok ogólny, b) miejsce pęknięcia, c) pęknięta oś koła

W pracy przedstawiono przykład takiego podejścia podczas modernizacji układu urabiania koparek kołowych SchRs 4600.

2. Obiekt badań, założenia modernizacji

Koparki SchRs 4600 wykorzystywane w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego cechują się dwiema całkowicie odmiennymi postaciami konstrukcyjnymi, które przedstawiono na rysunkach 4 i 5. Maszyny różną się także długościami wysięgników urabiających, które wynoszą 30 i 50 m. Oba typy maszyn posiadają identyczny układ urabiania i taką samą liczbę czerpaków, która wynosi 11 sztuk. Napęd koła odbywa się poprzez przekładnię główną trzy stopniową i trzy jednostopniowe przekładnie obiegowe do każdego z trzech silników o łącznej mocy $3 \times 530 = 1590$ kW.



Rys. 4. Koparka SchRs 4600.50 podczas urabiania węgla



Rys. 5. Koparka SchRs 4600.30 podczas urabiania węgla wyposażona w dodatkowe pół-czerpaki do rozdrabniania węgla



a)



b)



c)



d)

Rys. 6. Przykłady uszkodzeń elementów układu napędu i napędu koła czepakowego:

a) uszkodzenia zębów w przekładni napędu, b) pęknięcia zmęczeniowe tulei dźwigni, c i d) pęknięcia płaszczyzny koła czepakowego

Decyzja o przeprowadzeniu modernizacji układu urabiania koparek SchRs 4600 spowodowana była głównie następującymi czynnikami:

- liczne uszkodzenia koła czerpakowego zwłaszcza w rejonie piasty i czerpaków,
- częste uszkodzenia przekładni napędu koła czerpakowego.

Taki stan rzeczy spowodowany jest trudnymi warunkami urabiania i licznym przeciążeniami układu urabiania na skutek uderzeń w ośrodki trudno lub nie urabialne. Dodatkowo negatywny wpływ na pracę układu ma mała liczba czerpaków (11 szt.), która powoduje wysoką pulsację obciążeń pochodzących od procesu urabiania i większe ryzyko występowania przeciążeń udarowych. Przykłady uszkodzeń poszczególnych elementów układu przedstawiono na rysunku 6 [4].

Biorąc pod uwagę charakter uszkodzeń poszczególnych elementów układu urabiania i napędowego koła czerpakowego określono następujące główne założenia modernizacyjne:

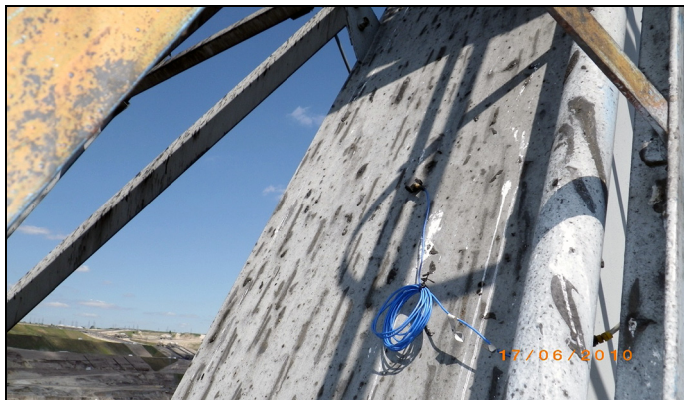
- zastosowanie maksymalnie dużej liczby czerpaków na kole czerpakowym w celu obniżenia dynamiki pracy układu urabiania i rozdrobnienia urobku — jako wartość maksymalną przyjęto liczbę czerpaków nie większą niż 22;
- dobór liczby czerpaków przy uwzględnieniu charakterystyk modalnych koparek SchRs 4600;
- zachowanie parametrów wydajnościowych koparek na obecnym poziomie;
- zastosowanie jednopowłokowej postaci konstrukcyjnej koła w celu uproszczenia struktury koła czerpakowego i poprawy warunków kontroli jego stanu technicznego;
- przyjęcie wartości obciążeń działających na układ urabiania na podstawie badań rzeczywistych obciążeń eksploatacyjnych prowadzonych na koparkach;
- zachowanie lub zmniejszenie parametrów masowych i bezwładnościowych nowego zespołu urabiania;
- zastosowanie dwóch typów czerpaków do urabiania nadkładu i węgla.

3. Badania charakterystyk modalnych maszyn

Pierwszy etap prac obejmował określenie charakterystyk modalnych koparek SchRs 4600 w różnych warunkach pracy. W tym celu przeprowadzono badania doświadczalne na koparkach oraz przeprowadzono symulacje numeryczne modeli maszyn w zakresie analizy modalnej [5, 6].

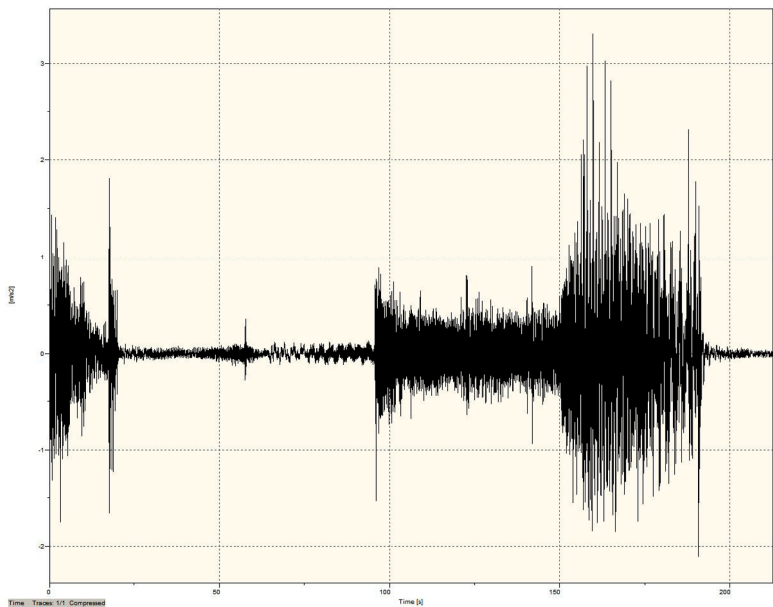
Badania doświadczalne przeprowadzono na dwóch typach maszyn (3 koparki) na różnych typach nadkładu jak również na węglu. Badania zrealizowano także dla różnych stanów pracy koparek: urabianie, podjazdy i inne ruchy robocze. Wykorzystano metodę eksperymentalnej i eksploatacyjnej analizy modalnej. Do badań wykorzystano system pomiarowy rejestrujący przyspieszenia drgań poszczególnych elementów konstrukcji w miejscach lokalizacji czujników. Zastosowany układ umożliwiał jednoczesną rejestrację w 24 punktach.

Na rysunku 7 przedstawiono przykładowy punkt pomiarowy z zamontowanym czujnikiem przyspieszeń.



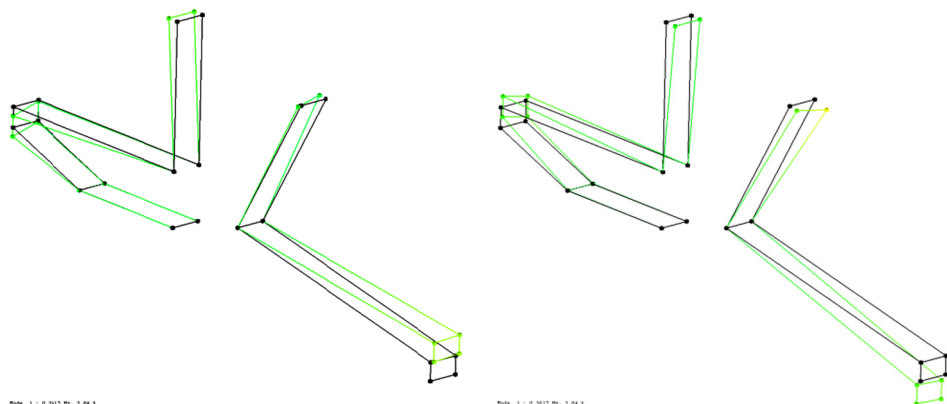
Rys. 7. Czujnik przyspieszeń umieszczony w części środkowej masztu koparki

W wyniku badań uzyskano przebiegi przyspieszeń w poszczególnych punktach pomiarowych. Przykładowy przebieg zmian przyspieszenia w czasie przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Przebieg przyspieszeń zarejestrowany podczas urabiania z przeciążeniem na węglu.
Punkt pomiarowy — koniec wysięgnika koła czepakowego, kierunek pionowy

Wyniki badań wykorzystano do przeprowadzenia doświadczalnej analizy modalnej i na ich podstawie zidentyfikowano postacie i częstotliwości drgań własnych badanych maszyn. Przykładowa pierwsza postać drgań nadwozia koparki SchRs 4600.50 została przedstawiona na rysunku 9.



Rys. 9. Pierwsza postać drgań nadwozia koparki SchRs 4600.50 $f_1 = 036$ Hz

Dysponując wynikami uzyskanymi z doświadczalnej analizy modalnej przeprowadzono procedurę dostrajania modeli numerycznych maszyn w celu uzyskania zgodności charakterystyk dynamicznych (w zakresie modalnym) z obiektami rzeczywistymi. Modele numeryczne służą do zidentyfikowania dodatkowych postaci drgań maszyn, które nie zostały wykryte podczas badań doświadczalnych. Ponadto zgodne modele numeryczne wykorzystywane są do określenia charakterystyk modalnych koparek z wprowadzonymi zmianami w układzie urabiania. Zmiana parametrów może dotyczyć, geometrii, masy lub własności dynamicznych (np. moment bezwładności) i w konsekwencji rzutować na zachowanie maszyny.

Porównanie postaci drgań wyznaczonej doświadczalnie i z modelu numerycznego przedstawiono na rysunku numer 10. Wartości częstotliwości wyniosły odpowiednio:

— badania doświadczalne:

$$f_{1exp} = 0,38 \text{ Hz}$$

— model numeryczny:

$$f_{1num} = 0,39 \text{ Hz}$$

W wyniku badań doświadczalnych i numerycznych określono zakresy dopuszczalnych liczb czerpaków na koparkach, które są bezpieczne z punktu widzenia ryzyka wystąpienia rezonansu. Optymalna liczbą czerpaków wynosi:

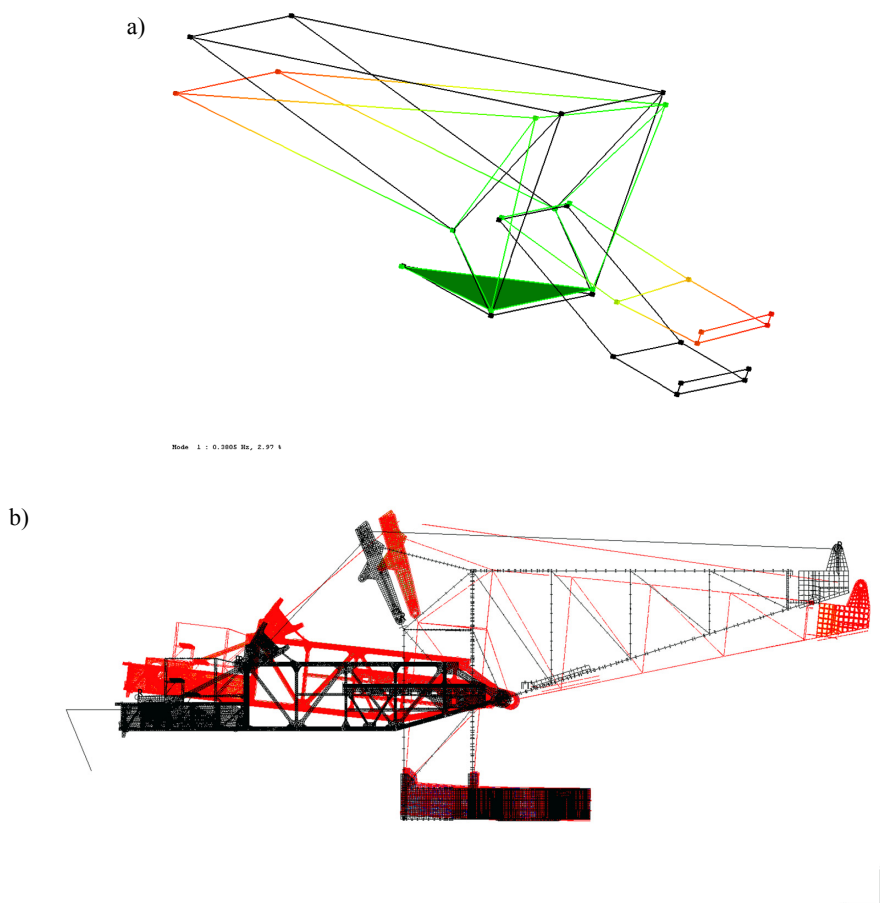
— koparka SchRs 4600.50

$$L_{czerp,50} = 17, 18 \text{ sztuk}$$

— koparka SchRs 4600.30

$$L_{czerp,30} = 17, 21, 22 \text{ sztuki}$$

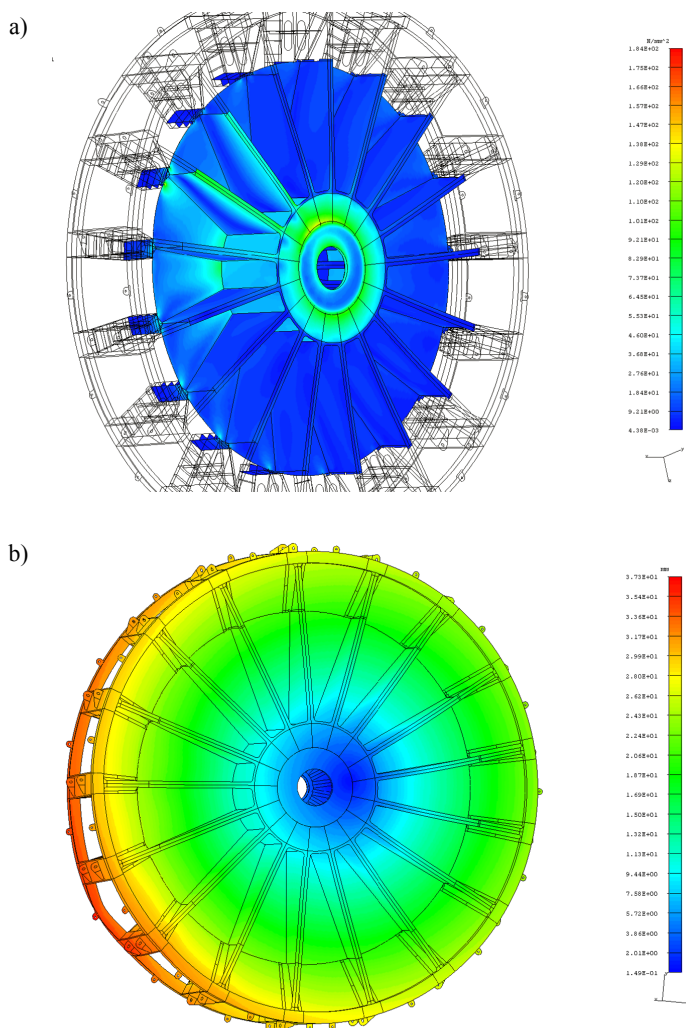
W zależności od zakresu unifikacji elementów koparek SchRs 4600 i ich przeznaczenia (naukła, węgla) można przyjąć jedną lub dwie zróżnicowane wartości liczby czerpaków na kole czerpakowym dla obu typów maszyn.



Rys. 10. Pierwsza postać drgań własnych koparki SchRs 4600.30:
a) uzyskana z badań doświadczalnych, b) uzyskana z obliczeń numerycznych

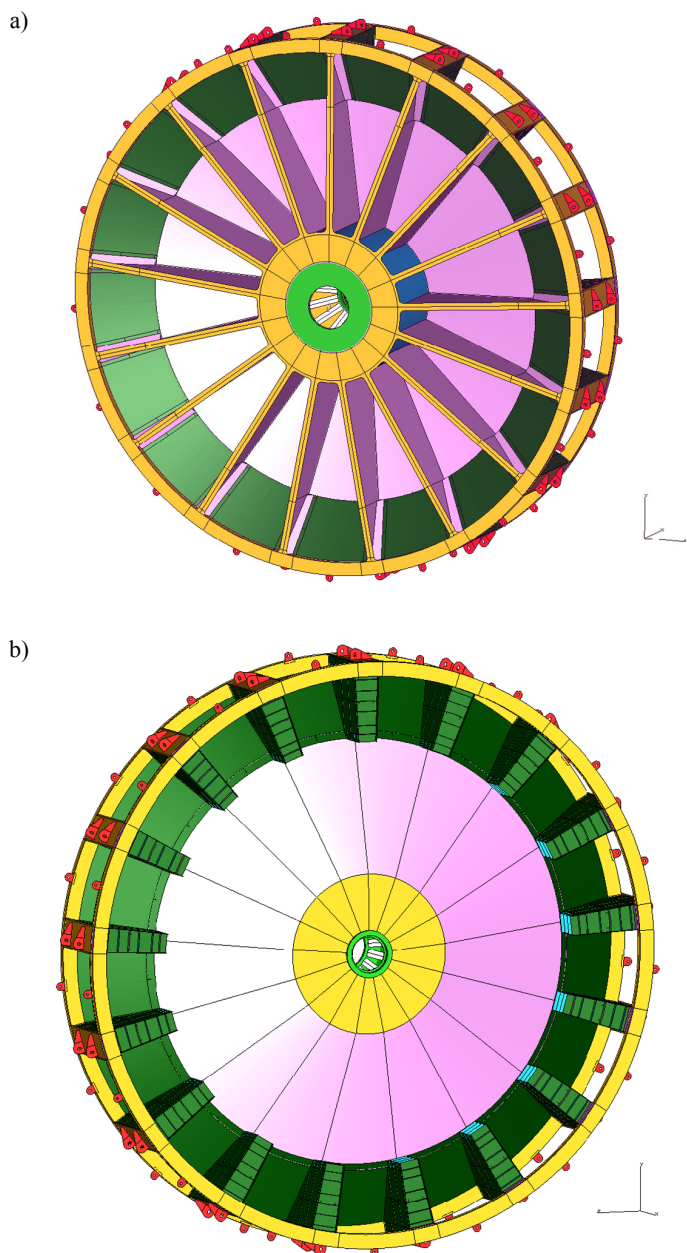
4. Koncepcje nowego zespołu urabiania

Na podstawie wyznaczonych charakterystyk modalnych koparek SchRs 4600 opracowano wstępne rozwiązania postaci konstrukcyjnej nowego koła i czerpaków spełniające kryteria określone w założeniach do projektu. Rozwiązania te poddano wstępnym obliczeniom wytrzymałościowym przy wykorzystaniu metody elementów skończonych [7–9] i wymogów norm przedmiotowych [10–11]. Przykładowe warstwy zakresu naprężeń zmęczeniowych i deformacji koła zostały przedstawione na rysunku 11.



Rys. 11. Warstwy zakresu naprężeń zmęczeniowych:
a) i deformacji b) jednego z analizowanych wariantów postaci konstrukcyjnej koła czerpakowego

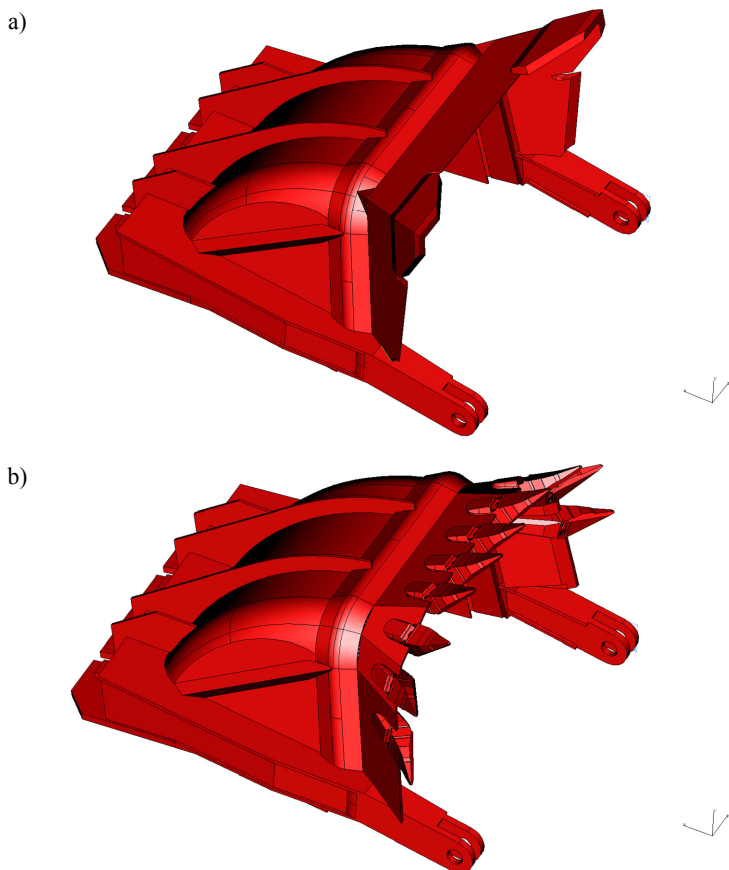
Na podstawie wyników z obliczeń numerycznych przyjęto do dalszych prac wariant rozwiązania koła przedstawiony na rysunku 12.



Rys. 12. Koncepcja nowej postaci konstrukcyjnej koła czepakowego

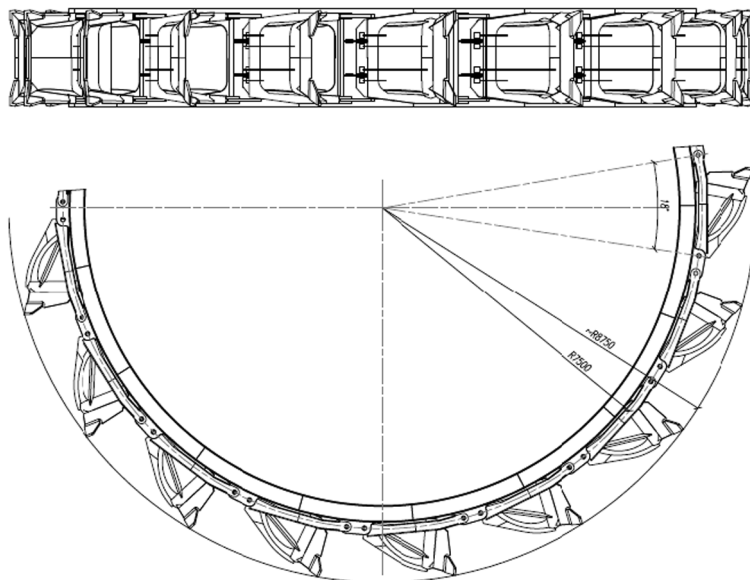
Rozwiązanie to bazuje na walcowej piaście i stożkowej części środkowej usztywnionej żebrowaniem promieniowym, co wpływa pozytywnie na parametry wyboczeniowe. Żebra promieniowe zwiększają swoją szerokość w kierunku piasty koła czerpakowego, co jest korzystne z punktu widzenia przyrostu momentu gnącego w kierunku osi koła pochodzącego od siły bocznej. Wieniec koła wykonany jest w wariacie bez skrzynkowej zsuwni. Usztywnienie następuje poprzez żebro promieniowe które zostało wydłużone aż do zsuwni koła. Lokalnie wprowadzone są usztywnienia z blach przekazujące obciążenia ze skrzynki przegrody na środek żebra. Masa oraz momenty bezwładności tego wariantu są zbliżone do wersji istniejącej koła.

W podobny sposób określono wstępną postać geometryczną dwóch typów czerpaków do zastosowania w nowym rozwiązaniu koła czerpakowego, które przedstawiono na rysunku numer 13. Czerpaki mają pojemność około 2 200 litrów dla założonych parametrów wydajnościowych koparki.



Rys. 13. Koncepcje nowej postaci konstrukcyjnej czerpaków:
a) do urabiania nadkładu; b) do urabiania węgla

Na rysunku 14 przedstawiono widok modelu geometrycznego czerpaków z narożami zainstalowanymi na wieńcu koła czerpakowego.



Rys. 14. Model geometryczny czerpaków z narożami zainstalowanymi na wieńcu koła czerpakowego

Kolejne etapy prac związane są opracowaniem projektu konstrukcyjnego nowego koła i czerpaków. Obejmują one przeprowadzenie szczegółowych obliczeń wytrzymałościowych, zmęzeniowych i wyboczeniowych oraz przeprowadzenie optymalizacji postaci konstrukcyjnych projektowanych obiektów. Ważnym etapem tych prac jest również ostateczne określenie parametrów masowych nowego rozwiązania układu urabiania i ocena ich wpływu na charakterystyki modalne koparek SchRs 4600. Ostatni etap prac projektowych związany jest z wykonaniem dokumentacji konstrukcyjnej nowych rozwiązań.

5. Wnioski

Przedstawiono poszczególne etapy procesu modernizacji koła czerpakowego i czerpaków koparek SchRs 4600. Ze względu na złożoność czynników i liczne ograniczenia wpływające na modernizację istniejących maszyn, zaprezentowano kompletne podejście do procesu projektowania uwzględniające charakterystyki dynamiczne (modalne) maszyn o różnych postaciach geometrycznych i rzeczywiste warunki urabiania panujące na odkrywkach.

Wykorzystano najnowocześniejsze narzędzia doświadczalne i numeryczne do realizacji procesu konstruowania tego typu obiektów. Na podstawie uzyskanych wyników opracowano koncepcje nowego koła czepakowego i czepaków spełniające kryteria projektowe, które poddano wstępnej weryfikacji przy wykorzystaniu metody elementów skończonych. Kolejne etapy prac związane są z wykonaniem projektu technicznego i obejmują przeprowadzenie szczegółowych analiz wytrzymałościowych, zmęzeniowych i wyboczeniowych oraz opracowaniem dokumentacji konstrukcyjnej nowego układu urabiania koparek SchRs 4600. Zaprezentowany tok postępowania podczas modernizacji układu urabiania koparek SchRs 4600 pozwala na pełne ujęcie czynników decydujących o bezpieczeństwie i celowości zastosowania zmian w istniejącej złożonej strukturze maszyn. Szczególny nacisk położony jest na wyeliminowanie ryzyka zjawiska rezonansu ustroju nośnego koparek i zapewnienie odpowiedniej wytrzymałości i trwałości nowych rozwiązań konstrukcyjnych układu urabiania.

LITERATURA

- [1] *Rusiński E., Smolnicki T., Moczko P.*: Modification of SchRs 4600 × 30 excavator body's slewing bearing and its supporting structure. *World Min.* 2005 vol. 57 nr 3 s. 2–8
- [2] *Rusiński E.*: Computer-aided design of basic machines for open-cast mining. W: *Manufacturing and management in 21st century. Scientific conference with international participation. Conference proceedings. Production and industrial engineering association. Univeristy Ss. Cyril and Methodius — Skopje. Faculty of Mechanical Engineering. Ohrid, Republic of Macedonia, September 16–17, 2004. Chapter 2 s. 65–70*
- [3] *Babiarz S.T., Dudek D.*: Kronika awarii i katastrof maszyn podstawowych w polskim górnictwie odkrywkowym. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007
- [4] *Rusiński E., Moczko P., Kowalczyk M., Łągwa Ł.*: Badanie wyteżenia korpusu przekładni głównej koła czepakowego koparek SchRs 4600. Seria SPR 2009 Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2009
- [5] *Czmochowski J.*: Identyfikacja modeli modalnych maszyn urabiających w górnictwie węgla brunatnego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008
- [6] *Miodrag Arsic', Srd-an Bošnjak , Nenad Zrnic' , Aleksandar Sedmak , Nebojša Gnjatovic*: Bucket wheel failure caused by residual stresses in welded joints *Engineering Failure Analysis* (2010)
- [7] *Rusiński E., Czmochowski J., Smolnicki T.*: Zaawansowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych, Oficyna Wydawnicza PWr., Wrocław 2000
- [8] *Rusiński E.*: Metoda elementów skończonych. Oficyna Wydawnicza PWr., Wrocław 1994
- [9] *Zienkiewicz O.C., Taylor R.L.*: *The Finite Element Method*, McGRAW-HILL BOOK COMPANY, Fourth Edition, London 1990
- [10] DIN 22261-2 Bagger, Absetzer und Zusatzgeräte in Braunkohlentagebauen
- [11] PN-G-47000-2 Górnictwo odkrywkowe — Koparki wielonaczyniowe i zwałowarki — Część 2: Podstawy obliczeniowe
- [12] *Bošnjak S, Zrnic' N, Simonovic' A, Momc'ilovic' D.*: Failure analysis of the end eye connection of the bucket wheel excavator portal tie-rod support. *Eng Fail Anal* 2009;16:740–50
- [13] *Araujo L.S., de Almeida L.H., Batista E.M.*: Analysis of a bucket wheel stacker reclaimer structural failure. In: *Proceedings of the conference "materials science & technology 2009"*, Charles R. Morin Memorial symposium on failure analysis and prevention. Pittsburgh: Proceedings on CD; 2009. <<http://www.matscitech.org>>.
- [14] *M. Savkovic', M. Gašić', M.Arsić', R. Petrovic*: Analysis of the axle fracture of the bucket wheel excavator. *Engineering Failure Analysis* 18 (2011) 433–441