

BADANIA I MODERNIZACJA CZERPAKÓW KOPAREK KOŁOWYCH

INVESTIGATIONS AND MODERNIZATIONS OF BUCKETS OF SURFACE MINING MACHINES

Eugeniusz Rusiński, Przemysław Moczko, Damian Pietrusiak – Katedra Konstrukcji i Badań Maszyn, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wrocławska

Lesław Cegiel, Andrzej Michalczyk, Jerzy Olejarz – PGE GiEK S.A. Oddział Kopalnia Węgla Brunatnego Turów

Przedstawiono wyniki prac eksperymentalnych i projektowych oraz analiz numerycznych zmierzających do optymalizacji kosztów eksploatacji czepaków stosowanych w Kopalni Węgla Brunatnego Turów. Zaprezentowano kompletne podejście do procesu projektowania i optymalizacji uwzględniające wyniki badań w rzeczywistych warunkach urabiania i wykorzystujące najnowocześniejsze narzędzia numeryczne do realizacji procesu konstruowania tego typu obiektów. Efektem prac są dwa projekty czepaków z zębami wymiennymi i stałymi, które w znaczący sposób poprawiają wskaźniki techniczno-eksploatacyjne i przełożą się na realne oszczędności uzyskiwane przez użytkowników.

Słowa kluczowe: badania doświadczalne, maszyny podstawowe górnictwa odkrywkowego, czepaki

Results of experimental tests, design work and numerical analyses aimed to optimize the operating costs of buckets used in the Turow Surface Mine. In the presented approach of designing and optimization, results of tests in real conditions of mining are taken into account. Also modern numerical tools support the process of designing such facilities. Results of the presented work are two buckets with quick replaceable and permanent teeth, which significantly improve the technical and operational indicators and enable real savings achieved by the users.

Keywords: experimental examinations, surface mining machines, buckets

Wstęp

Optymalizacja parametrów techniczno-eksploatacyjnych związanych z wydobywaniem nadkładu i węgla, w kopalniach odkrywkowych, zyskuje coraz większe znaczenie, w dobie poszukiwania rozwiązań obniżających koszty eksploatacji maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego [1, 2] i eliminujących występowanie potencjalnych awarii [9-11]. Prace takie realizuje się, między innymi w obrębie układów urabiania koparek kołowych i łańcuchowych. Mają one przede wszystkim na celu:

- zwiększenie trwałości układów urabiania,
- zmniejszenie czynności obsługowych,
- zwiększenie wydajności urabiania,
- obniżenie efektów dynamicznych związanych z urabianiem,
- podniesienie dyspozycyjności maszyn.

Uzyskanie wysokiej trwałości elementów urabiania lub jej zwiększenie w istniejących obiektach, jest głównym celem determinującym działania projektowe i modernizacyjne.

Najbardziej podatnym na degradację elementem wchodzącym w skład układu urabiania, jest czepak osadzony na kole czepakowym, w przypadku koparki kołowej lub na łańcuchu czepakowym koparki łańcuchowej. Czepaki są elementami układu wchodzącymi w bezpośredni kontakt z ośrodkiem urabianym [3, 5]. Realizują odpajanie materiału od calizny, który podawany jest poprzez układ transportowy maszyny na przenośniki taśmowe i dalej na zwałowarki, w przypadku nadkładu lub na zasobnik elektrowni, w przypadku węgla. Kontakt naroży lub zębów oraz noży czepaka z calizną powoduje ich

zużycie i w konsekwencji wzrost oporów jak również obciążeń dynamicznych oddziałujących na koło czepakowe, układ napędowy koła i konstrukcję koparki. Degradacja czepaków przejawia się przede wszystkim poprzez zużycie ściernie oraz rzadziej poprzez uszkodzenia doraźne wynikające ze zjawiska udarowego przeciążenia występującego w przypadku kontaktu z ośrodkiem trudno urabialnym lub nieurabialnym [8]. Spotyka się także uszkodzenia zmęczeniowe czepaków, jednak są to przypadki stosunkowo rzadko występujące. Na rysunku 1 przedstawiono układy urabiania koparki łańcuchowej i kołowej [4] oraz przykłady zużytych i uszkodzonych czepaków.

W celu przeprowadzenia modernizacji istniejących czepaków lub opracowania całkowicie nowych rozwiązań, niezbędne jest przeprowadzenie szerokiego zakresu prac, które umożliwiają dokonanie pełnej oceny nowych lub istniejących konstrukcji i wprowadzenie rozwiązań poprawiających ich właściwości techniczno-eksploatacyjne. Prace te obejmują:

- badania rzeczywistych obciążeń układów urabiania,
- badania tempa zużycia czepaków,
- analizy trajektorii elementów skrawających czepaka,
- analizy rozkładów obciążeń i optymalizacja geometrii elementów skrawających przy wykorzystaniu metod numerycznych,
- analizy wytrzymałościowe przy wykorzystaniu metod numerycznych.

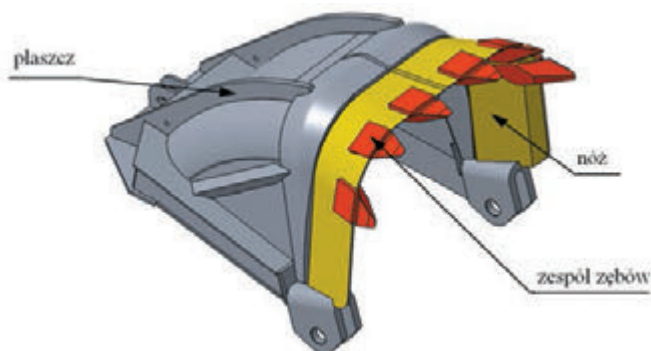
W dalszej części artykułu przedstawione zostaną przykłady prac realizowanych w Kopalni Węgla Brunatnego Turów zmierzających do opracowania nowych lub modernizacji istniejących czepaków maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego.



Rys. 1. Układy urabiania koparki łańcuchowej i kołowej oraz przykłady zużycia i uszkodzeń czepaków

KWB Turów realizuje proces urabiania nadkładu i węgla w układzie technologicznym (KTZ) w skład, którego wchodzi koparka, przenośnik taśmowy oraz zwałowarka. Urabianie to realizowane jest koparkami kołowymi i łańcuchowymi (rys. 1), w których elementem urabiającym są czepaki z zębami stałymi lub wymiennymi. Typowy czepak składa się z następujących elementów (rys. 2):

- płaszcz,
- nóż,
- zespół zębów.



Rys. 2. Budowa typowego czepaka R120M z zębami stałymi

Doświadczenia zdobyte w trakcie wieloletniej eksploatacji wskazują, że bardzo ważne jest, aby czepaki i ich elementy skrawające, czyli noże oraz zęby, były jak najlepiej zaprojektowane do pracy w określonym rodzaju ośrodku urabianego i dla danego typu koparki. Od wielu lat w KWB Turów prowadzone są prace nad udoskonaleniem zębów i noży czepaka, które pozwoliły na wydłużenie czasu pracy zęba oraz noża i w konsekwencji ograniczyły ich zużycie.

W KWB Turów używane są czepaki Rs 560 na koparkach łańcuchowych, do pracy głównie na węglu przy urabianiu podpoziomym oraz do kopania rzepi. Czepaki R12 0 z zębami wymiennymi typu WKL-3 służą do urabiania górnych warstw nadkładowych o strukturze mniej zwartej (piaski, żwiry). Prace te realizują przede wszystkim koparki kołowe typu KWK 1500. Najliczniejszą grupę stanowiły i stanowią czepaki R12.0M z zębami stałymi, które służą do urabiania skał zwartych o szerokim spektrum oporów urabiania. Podstawową wadą tych czepaków jest ich szybkie zużywanie się, a w konsekwencji konieczność wymiany i remontu. Trzy powyższe typy czepaków przedstawiono na rysunku 3.

Fakt stosowania różnych typów czepaków do różnych poziomów urabiania, potwierdza duży wpływ oporów urabiania i abrazywność odpajanej calizny na zużycie. Kolejnym



Rys. 3. Podstawowe typy czepaków stosowane w KWB Turów a) Rs 560, b) R12 0 z zębami wymiennymi WKL, c) R12.0M z zębami stałymi

ważnym elementem mającym wpływ na trwałość zębów jest materiał z jakiego zostały wykonane i ich obróbka cieplna. Obserwuje się także istotny wpływ techniki urabiania stosowanej przez operatora koparki na trwałość czerpaków. Element ten może być korygowany jedynie przez szkolenia i kontrolę osób dozorujących nad realizacją techniki urabiania.

Mając na uwadze aspekty techniczno-eksploatacyjne, podjęto liczne działania związane z poprawą kształtu zębów stałych i ich strukturą. Wykonywano także czerpaki z zębami odlewanyymi, kutymi i następnie spawanymi do noża czerpaka. Testowano napawanie zębów czerpaka po stronie przyłożenia i natarcia różnymi materiałami. Efekty wszystkich tych działań były jednak niezadowalające. Zużycie czerpaków wciąż było wysokie, co obrazuje tabela 1.

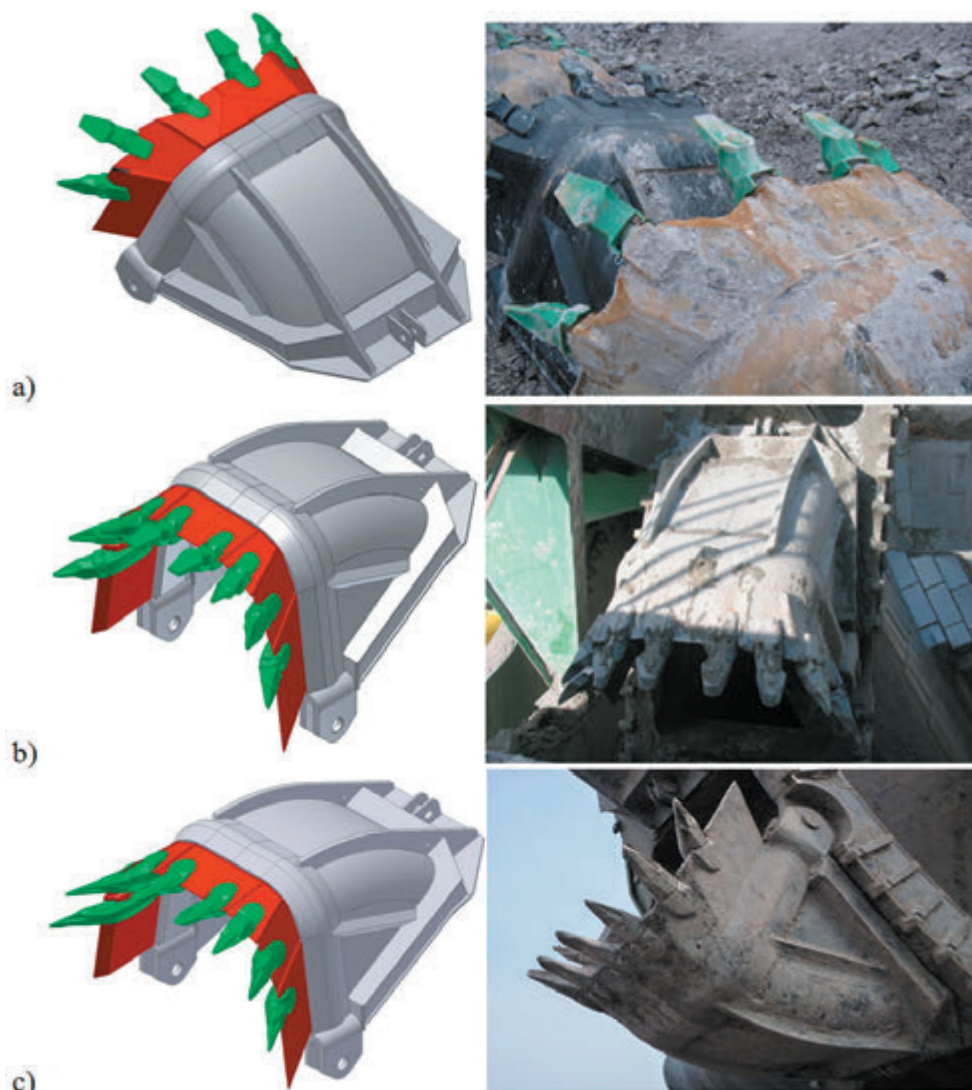
Szczegółowa analiza ekonomiczna wykazała, że największym kosztem związanym z eksploatacją są koszty demontażu,

mycia, transportu, remontu (przede wszystkim wymiana zębów, rzadziej noży), ponownego transportu i montażu czerpaków na kole czerpakowym. Z takiego stanu rzeczy wynika jednoznaczny wniosek, że czerpaki z zębami stałymi stosowanymi w KWB Turów są mało efektywne, a tym samym mało ekonomiczne w procesie eksploatacji zwłaszcza utworów średnio i trudno urabialnych, gdzie częstotliwość wymian czerpaków jest wysoka. Naturalną alternatywą było więc poszukiwanie rozwiązań czerpaków z łatwo wymiennymi zębami, którą to wymianę można zrealizować bez potrzeby demontażu czerpaka z koła czerpakowego.

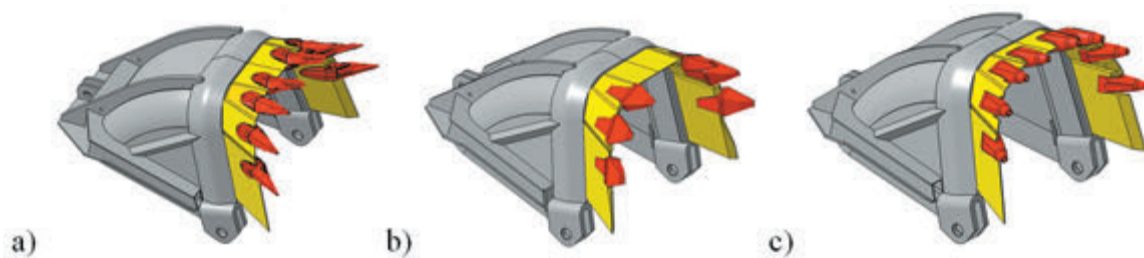
Początki wdrożenia nowych rozwiązań konstrukcyjnych w PGE GiEK S.A. Oddział KWB Turów przypadają na rok 2009. Początkowo zabudowano w sposób bezpośredni, w miejscu używanych w kopalni zębów spawanych zęby firmy ESCO typu SUPER V na czerpaku R12 0M. Ponieważ nóż czerpaka

Tab. 1. Zużycie czerpaków R12 0M w latach 1997-2009

TYP CZERPAKA	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
R12.0M	3621	3149	4245	3471	3542	4302	4217	3090	4714	4204	3166	3727	3417



Rys. 4. Ewolucja czerpaków z zębami wymiennymi ESCO stosowanymi w KWB Turów: a) R12 0M – sześć zębów super V, b) R12 E8 – osiem zębów super V, c) R12 E8 – osiem zębów ULTRALOK



Rys. 5. Czerpaki z zębami wymiennymi testowane w KWB Turów: a) R12 E8 z zębami Esco, b) R12 SKW-2, c) R12G3-8

profilowany jest z dwóch łukowych części, występowały znaczne trudności z prawidłowym uzyskaniem odpowiednich kątów. W trakcie pierwszych prób można było zauważyć różnice w zużywaniu się poszczególnych zębów jak również brak tzw. ich „ostrzenia się”. Wprawdzie pierwsze próby eksploatacyjne wykazały zwiększoną żywotność czerpaków, jednak końcowy efekt nie był satysfakcjonujący ani dla projektantów jak również dla służb eksploatacyjnych. W związku z tym postanowiono wprowadzić korektę w projekcie polegającą na zaprojektowaniu nowego noża czerpaka dedykowanego do zębów ESCO. Rozwiązanie to charakteryzowało się tym, że w miejsce dwóch elementów noża wprowadzono nóż składający się z sześciu elementów spawanych. Pozwoliło to projektantowi tak ukształtować nóż, aby można było odpowiednio dobrać kąty ustawienia poszczególnych zębów na czerpaku. Tak zaprojektowany czerpak wdrożono do eksploatacji i po przeprowadzeniu prób w nadkładzie oraz na węglu okazało się, że sześć zębów nie zapewnia ochrony noża przed zużyciem. Założeniem projektantów było aby wymiana czerpaków, w celu wymiany noża i adapterów następowała po, co najmniej, pięciu kompletnych wymianach zębów. Ten warunek nie został spełniony, więc przystąpiono do przeprojektowania noża czerpaka z zastosowaniem ośmiu zębów. Przeprowadzone próby potwierdziły, że zwiększenie liczby zębów ograniczyło zużycie noża. Kolejna wersja czerpaków wymuszona została przez pojawienie się nowego typu zębów ESCO z systemem mocowania ULTRALOK. Ewolucja czerpaków z zębami wymiennymi opracowana w KWB Turów została przedstawiona na rysunku 4.

Efekty tych prac były widoczne i obiecujące, co obrazuje tabela 2, gdzie przedstawiono zużycie czerpaków w poszczególnych latach. Wyjątek stanowi rok 2013, gdzie zużycie nieznacznie było wyższe, a to za sprawą wyłączonej z eksploatacji koparki KWK 910 przeznaczonej do utworów trudno urabialnych, której to masę musiano urobić pozostałymi koparkami kołowymi z czerpakami z zębami stałymi.

W związku z faktem, iż wariantów rozwiązań czerpaków z wymiennymi zębami pojawiło się więcej, postanowiono przeprowadzić kompleksową analizę porównawczą pracy tych czerpaków, w celu wyboru rozwiązania optymalnego. Zadanie to postanowiono wprowadzić do planu poprawy efektywności Kopalni Turów, najpierw w programie PPE, a obecnie w Programie POKT Oddziału KWB Turów. Zadanie otrzymało tytuł: „Analiza i wdrożenie szybkowymennych elementów skrawa-

jących w czerpakach koparek kołowych typu 1200 i 1500”. Analizie poddano następujące typy czerpaków:

- czerpak R12 0M jako czerpak referencyjny stosowany w KWB Turów,
- czerpak R12 E8 z zębami Esco (rys. 5a),
- czerpak R12 SKW-2 (rys. 5b),
- czerpak R12 G3-8 (rys. 5c).

Bazą konstrukcyjną wszystkich testowanych czerpaków jest płaszcz czerpaka R12 0M, a różnią się one jedynie nożem i elementami skrawającymi szybko wymiennymi.

Badania i analizy poszczególnych typów czerpaków zrealizowano we współpracy z Politechniką Wrocławską, Katedrą Konstrukcji i Badań Maszyn. Wyniki tej pracy posłużyły do optymalizacji działań w Kopalni Turów, zmierzających do zmniejszenia zużycia czerpaków w procesie urabiania, a tym samym do obniżenia kosztów eksploatacji.

Badania nowych rozwiązań czerpaków

W celu oceny nowych rozwiązań czerpaków z zębami wymiennymi zrealizowano szeroki zakres prac, który obejmował następujące działania:

- sprawdzenie geometrii skrawania czerpaków,
- analizę gruntów i wytypowanie poziomów do prób,
- badania eksploatacyjne obejmujące pomiary zużycia czerpaków, czasów pracy, parametrów energetycznych (zużycie energii), wydajności, parametrów urabiania (prędkości skrawania) i inne,
- analizę użytkową i ekonomiczną badanych czerpaków w stosunku do czerpaka referencyjnego (R120M),
- określenie korekt badanych rozwiązań.

Poniżej przedstawiono w skrócie wyniki poszczególnych etapów prac.

Sprawdzenie geometrii skrawania czerpaków

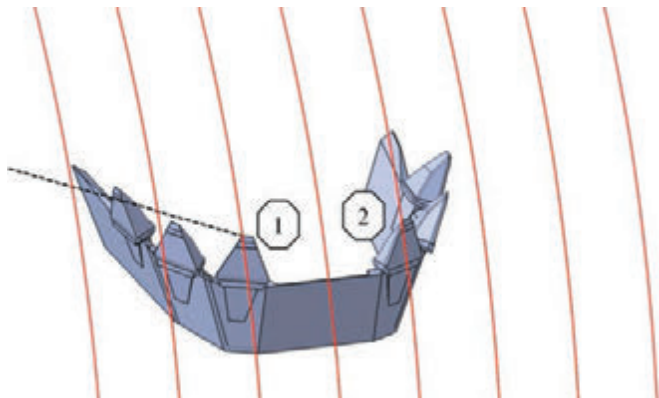
Geometria skrawania czerpaków ma decydujący wpływ na ich trwałość i opory skrawania. Z tego względu przeprowadzono szczegółowe badania mające na celu ocenę testowanych rozwiązań czerpaków. W tym celu przeprowadzono analizę trajektorii elementów skrawających oraz badania rozkładów obciążeń elementów skrawających przy wykorzystaniu metod numerycznych.

Badania trajektorii elementów skrawających sprowadza się do wyznaczenia trajektorii poszczególnych zębów czerpaków i określenia możliwości ich pokrywania się dla założonych prędkości skrawania. Wynikiem takiej analizy jest zakres prędkości obrotu nadwozia, w którym może następować takie zjawisko. Przykładowy wynik dla czerpaka R12 SKW-2 przedstawiono na rysunku 6. Wyznaczono prędkość obrotu nadwozia, przy której

Tab. 2. Zużycie czerpaków w latach 2010-2013

2010	2011	2012	2013
2293	2488	2755	3171

następuje pokrywanie się trajektorii zęba numer 1 i 2. Wartość ta wyniosła 65% maksymalnej prędkości obrotu nadwozia. Analizę przeprowadzono dla koparek typu KWK1200 i KWK1500, na których montowane są testowane czerpaki.



Rys. 6. Pokrywanie się trajektorii zęba pierwszego i drugiego przy prędkości 15,6m/min (65%) – (KWK1200/ R12 SKW-2)

Na podstawie przeprowadzonych prac w zakresie analizy trajektorii określono zakresy prędkości obrotów nadwozia koparek KWK1200 i KWK1500, przy których następuje pokrywanie się trajektorii zębów analizowanych czerpaków. Informacje te stanowiły bazę do wprowadzenia korekt ustawień zębów na nożu czerpaka.

Kolejnym krokiem było przeprowadzenie analizy obciążeń elementów skrawających czerpaków w trakcie procesu urabiania. Do tego celu wykorzystano metodę elementów skończonych [6, 7]. Poniżej przedstawiono wyniki takiej analizy dla badanych zębów czerpaków wykorzystywanych na koparkach KWK1200 i KWK1500.

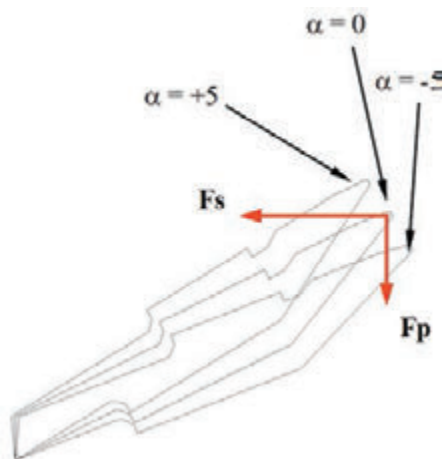
W celu oceny doboru kątów skrawania czerpaków przeprowadzono numeryczną analizę rozkładu sił działających na narzędzie skrawające. Do oceny obciążeń przyjęto wskaźnik

$$S_k = F_s / F_p \quad (1)$$

który wiąże następujące wartości składowe sił oddziałujących na narzędzie skrawające (rys. 7):

- F_s – składowa styczna do obwodu urabiania,
- F_p – składowa promieniowa do obwodu urabiania.

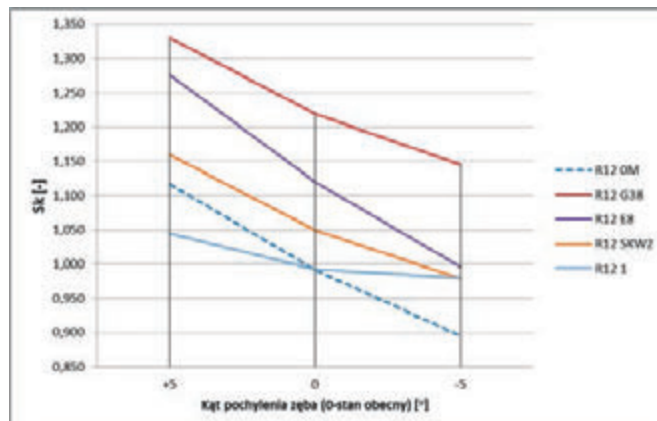
Wskaźnika wyznaczono dla trzech wartości kątów odnoszących się do obecnych kątów rzeczywistych występujących w analizowanych czerpakach:



Rys. 7. Składowe sił i położenia narzędzia skrawającego w analizie rozkładów obciążeń

- -5 – pochylenie zęba o -5 stopni do „wewnątrz” czerpaka, w stosunku do kąta obecnego (przekrojowego),
- 0 – pochylenie rzeczywiste bieżące,
- +5 – pochylenie zęba o +5 stopni na „zewnątrz” czerpaka, w stosunku do kąta obecnego (przekrojowego).

Wynikiem analiz jest zmienność wskaźnika S_k w funkcji kąta pochylenia dla analizowanych narzędzi skrawających. Wyniki w postaci wykresu przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Zmienność wskaźnika S_k dla czerpaków wykorzystywanych na koparkach KWK1500 i KWK1200

Wskaźnik F_s/F_p pomaga określić:

- podatność zęba(naroża) na „zapadanie” się do wnętrza czerpaka – wartością graniczną jest 1,
- podatność zęba(naroża) na wyłamywanie zewnętrzne – wzrasta ze wzrostem wskaźnika,
- zdolność zęba(naroża) do samoostrenia – wzrasta ze wzrostem wskaźnika,
- zapotrzebowanie energetyczne – wzrasta ze wzrostem wskaźnika.

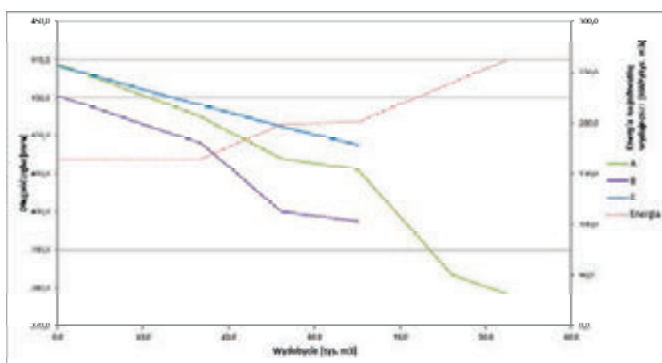
Wyniki powyższych analiz pozwoliły na określenie korekt geometrycznych ustawienia zębów poszczególnych testowanych czerpaków, które zastosowano w wersjach zmodyfikowanych czerpaków.

Badania eksploatacyjne czerpaków

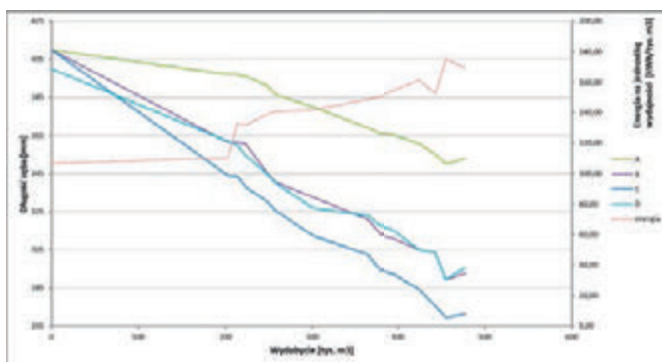
Badania eksploatacyjne testowanych czerpaków miały na celu ocenę poszczególnych rozwiązań w trakcie normalnej eksploatacji koparek KWK1200 i KWK1500. W trakcie badań prowadzono rejestrację zużycia czerpaków, czasów pracy, parametrów energetycznych (zużycie energii), wydajności, parametrów urabiania (prędkości skrawania) i parametrów dynamicznych (drżania wysięgnika koła czerpakowego). Głównymi parametrami, które pozwalają na ocenę właściwości czerpaków w zakresie trwałości i generowanych kosztów eksploatacji są obciążenia układu urabiania, zapotrzebowanie energetyczne, tempo zużycia elementów skrawających, zmienność obciążeń. Do tego celu opracowano i zainstalowano na koparkach specjalny system analizująco-rejestrujący, który zapisywał dane z czujników pomiarowych oraz z systemu automatyki maszyn. Efektem badań są dane umożliwiające wszechstronną ocenę procesu urabiania, co pozwala określić prawidłowość procesu urabiania i możliwości jego optymalizacji.

Badania prowadzono dla czterech opisanych wcześniej typów zębów testowanych na koparkach KWK1200 i KWK1500 podczas wydobywania nadkładu i węgla. Próby trwały nieprze-

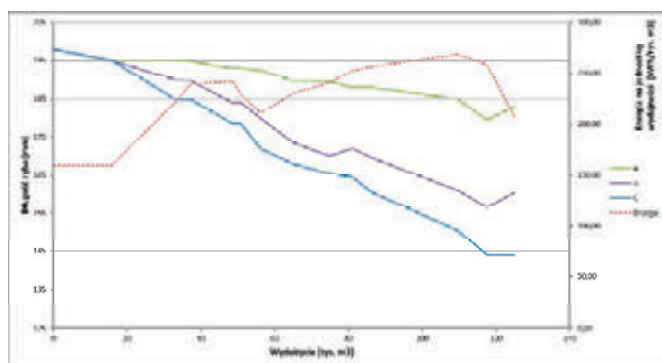
rwaniu przez siedem miesięcy i były to najszerze badania jakie wykonano w kraju i na świecie, w zakresie oceny elementów skrawających koparek kołowych. Podstawowym parametrem określonym podczas badań, pozwalającym dokonać oceny poszczególnych zębów, było tempo zużycia zębów w funkcji wielkości wydobywania. Parametr ten znacznie lepiej opisuje właściwości zębów, w stosunku do stosowanego dotychczas parametru czasu pracy. Przykładowe wykresy obrazujące zmianę długości zęba czerpaka w funkcji wydobywania przedstawiono na rysunkach 9-11. Dodatkowo, na wykresie zamieszczono przebieg zmian zużycia energii na jednostkę wydajności. Na wykresach nie przedstawiono wyników zużycia zębów czerpaka R12 G3-8, ponieważ zęby te wyposażone są w węglik spiekany i w zasadzie nie zmieniają swej długości. Ocena tych zębów polegała na zliczaniu liczby wymian, która następowała w momencie wyłamania węglika, bądź zatarcia zęba w ad-



Rys. 9. Zużycie zębów (A do C) i zużycie energii na jednostkę wydajności w funkcji wydobywania – urabianie nadkładu, koparka KWK1500 – czerpak R12 0M



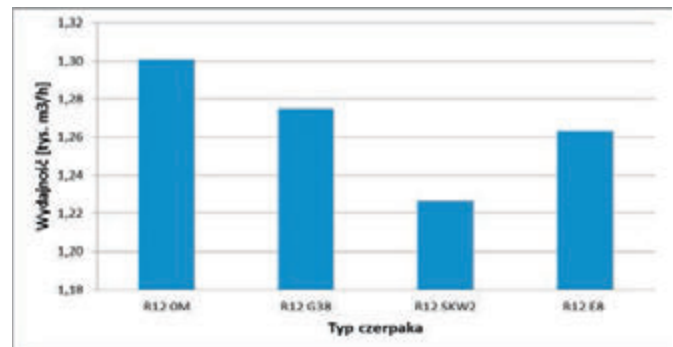
Rys. 10. Zużycie zębów (A do D) i zużycie energii na jednostkę wydajności w funkcji wydobywania – urabianie nadkładu, koparka KWK1500 – czerpak R12 E8



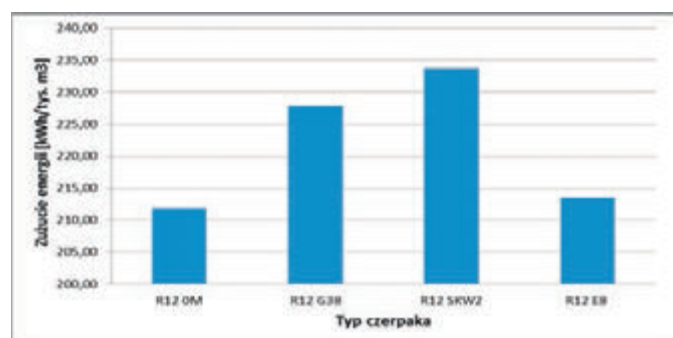
Rys. 11. Zużycie zębów (A do C) i zużycie energii na jednostkę wydajności w funkcji wydobywania – urabianie nadkładu, koparka KWK1500 – czerpak R12 SKW2

pterze. W trakcie badań zliczano także liczbę wymian zębów pozostałych typów czerpaków. Wymiany te wykonywano po osiągnięciu granicznej długości zęba lub w przypadku wypadnięcia ewentualnie wyłamania zęba. W przypadku czerpaka referencyjnego z zębami stałymi liczba wymian zębów związana była z wymianą całego czerpaka.

Na podstawie wyników badań wyznaczono parametry użytkowe i kosztowe testowanych czerpaków. Przykładowe wyniki wydajności i zużycia energii jednostkowej uzyskane podczas wydobywania węgla przedstawiono na wykresach (rys. 12, 13).



Rys. 12. Średnia wydajność urabiania – urabianie węgla, koparka KWK1200



Rys. 13. Zużycie energii na jednostkę wydobywania – urabianie węgla, koparka KWK1200

W wyniku badań określono, który z czerpaków cechuje się najlepszymi właściwościami techniczno-eksploatacyjnymi, jaka jest zmienność zużycia dla różnych typów nadkładów i węgla, jakie obciążenia występują w procesie urabiania, czy też jakie typy czerpaków sprawdzają się najlepiej w ośrodkach trudno, średnio i łatwo urabialnych. Ostatecznym wynikiem, interesującym eksploatatora są sumaryczne koszty. Parametr ten wyznaczono uwzględniając wszystkie składniki ceno-twórcze czyli koszty materiałowe (zęby, adaptery, noże,), transportowe, koszty robocizny (wymiany zębów, noży, załadunek, rozładunek, mycie) i koszty energetyczne urabiania. W artykule przedstawiono sumaryczne koszty w postaci stosunku sumarycznych kosztów eksploatacji poszczególnych czerpaków do czerpaka referencyjnego R12 0M. Wyniki te pokazano w tabeli 3. Duże zróżnicowanie w kosztach wydobywania nadkładu wynika z różnych warunków urabiania, podczas których prowadzono próby.

W trakcie badań uzyskano także dodatkowe wyniki w postaci wad, jakie ujawniały się podczas eksploatacji. W przypadku wszystkich badanych czerpaków stwierdzono nieprawidłowości ustawień zębów objawiające się głównie ich nieprawidłowym i asymetrycznym zużyciem. Przykłady takich zjawisk przedstawiono na rysunku 14. Zaobserwowano także wady w obrębie

Tab. 3. Stosunek kosztów eksploatacji poszczególnych czerpaków do czerpaka referencyjnego (odniesienia) R12 0M

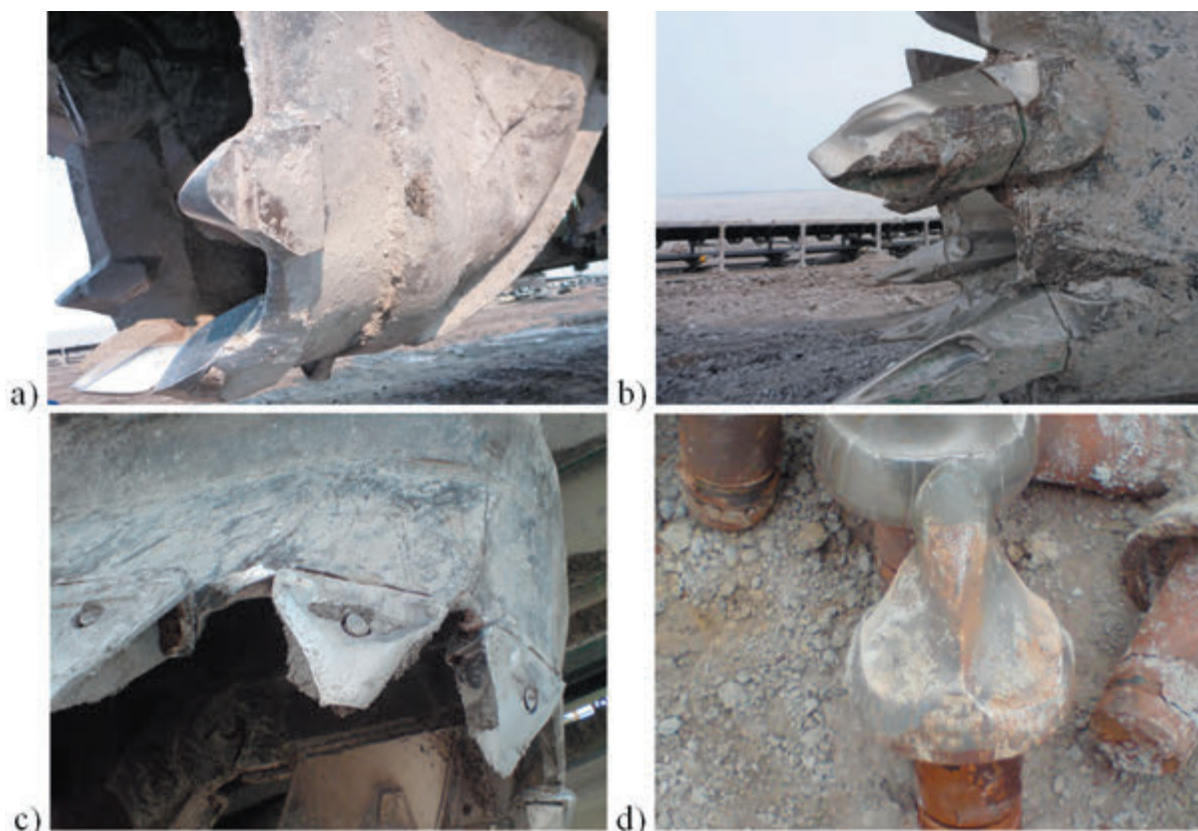
Ośrodek urabiany	Stosunek kosztów w odniesieniu do czerpaka R12 0M			
	R12 0M	R12 G3-8	R12 SKW2	R12 E8
węgiel	1,00	0,90	0,79	0,57
Nadkład – KWK1500	1,00	0,65	0,74	0,44
Nadkład – KWK1200	1,00	2,20	1,17	0,72
Średnia	1,00	1,25	0,90	0,58

adapterów mocujących zęby, które powodowały częste wypadanie zębów (R12 SKW2) lub ich zacieranie w adapterze (R12 G3-8). W przypadku zębów czerpaków R12 SKW2 zanotowano także liczne ich pęknięcia i wyłamania spowodowane niską udatnością zastosowanego materiału.

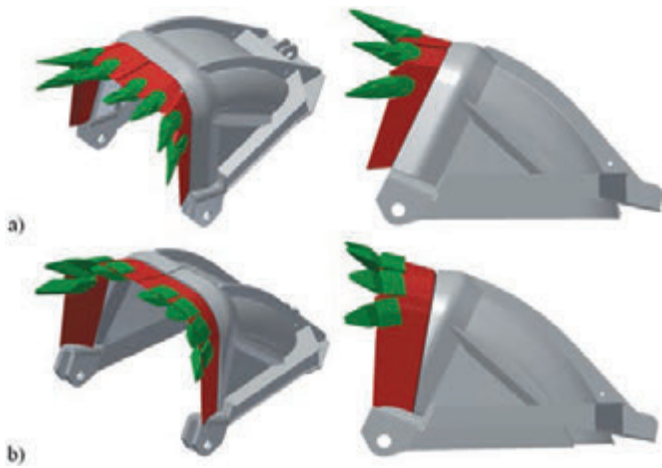
Prezentacja nowych rozwiązań konstrukcyjnych

Przeprowadzone badania i analizy, których wyniki przedstawiono powyżej, wykazały, że czerpaki R12 E8 z zębami ESCO typu ULTRALOK zdały egzamin podczas eksploatacji w KWB Turów. Spełniony został warunek wymiany noża, na co najmniej pięć wymian kompletów zębów. Czerpak ten charakteryzuje się także największą trwałością, przy jednoczesnym minimalnym zużyciu noża. Mimo pozytywnej oceny tych czerpaków wymaga on korekt geometrycznych wynikających z przeprowadzonej analizy geometrii skrawania zębów i wniosków z testów eksploatacyjnych. Po konsultacji z Katedrą Konstrukcji i Badań Maszyn Politechniki Wrocławskiej, wprowadzono niezbędne zmiany w ustawieniu zębów. Ta korekta stała się jednocześnie

impulsem do zmian, jakie wprowadzono na czerpakach z zębami spawanymi typu R12 0M. Zmiany te polegały na zastosowaniu ośmiu zębów (zamiast sześciu dotychczas stosowanych). Zmieniono także ustawienie zębów na nożu czerpaka, w celu ich równomiernego zużycia i prawidłowego „ostrzenia się”. Zaprojektowano nóż czerpaka tak, że pojawiły się jednoznaczne podfrezowania, które determinują prawidłowe ustawienie zębów na czerpaku. Gruntowne zmiany objęły także ząb czerpaka, który zaprojektowano, jako odlewany o zwiększonej, o ok. 50 mm, długości. Działanie takie powinno wydłużyć trwałość zęba, a tym samym czerpaka. Zmieniając stosunek masy zęba z 7 kg na 11 kg (ząb wydłużony), przy odpadach ok. 4,5 kg, zmieniono proporcje materiału przeznaczonego do zużycia w stosunku do niezużytej części zęba, pozostającej na czerpaku. Operacja ta powinna w sposób znaczny poprawić efektywność zużywania się czerpaków, w stosunku do urabianej masy. Widok na dwa projekty czerpaków R12 E8 i R12 0M-Z8, będące ostatecznym efektem szerokiego zakresu prac projektowych i eksperymentalnych przedstawiono na rysunku 15.



Rys. 14. Nierównomierne zużycie zębów – nieprawidłowe położenie zęba



Rys. 15. Ostateczne wersje zmodyfikowanych czerpaków
a) R12 E8 i b) R12 0M-Z8

Wnioski

Dążenie do uzyskiwania coraz lepszych parametrów techniczno-eksploatacyjnych związanych z wydobywaniem nadkładu i węgla w kopalniach odkrywkowych powoduje poszukiwanie

nowych rozwiązań między innymi w zakresie konstrukcji czerpaków i stosowanych zębów, zwłaszcza w wersji wymiennej. Proces ten wspomagany jest badaniami doświadczalnymi i nowoczesnymi metodami wymiarowania oraz kształtowania elementów układów urabiania koparek kołowych i łańcuchowych [12–14]. W artykule przedstawiono przykłady działań projektowo-optymalizacyjnych, dotyczących czerpaków z zębami wymiennymi i stałymi, które zrealizowano w Kopalni Węgla Brunatnego Turów we współpracy z Katedrą Konstrukcji i Badań Maszyn Politechniki Wrocławskiej. W efekcie przeprowadzonych kompleksowych analiz, badań eksperymentalnych i prac projektowych, opracowano projekty dwóch typów czerpaków z zębami wymiennymi i stałymi, które obecnie są w fazie wdrażania w KWB Turów. Nowe rozwiązania czerpaków powinny cechować się znacznie wyższą trwałością, w stosunku do obecnie stosowanych rozwiązań. Ich stosowanie obniży w znaczący sposób koszty eksploatacji oraz zwiększy dyspozycyjność maszyn.

Zaprezentowany tok postępowania podczas projektowania nowych lub modernizacji istniejących czerpaków pozwala na pełne ujęcie czynników decydujących o końcowym optymalnym efekcie prac. Taki zakres działań może dotyczyć także innych elementów układów urabiania maszyn podstawowych.

Literatura

- [1] Rusiński E., Moczko P., *Modernizacja zespołu urabiania koparek kołowych SchRs 4600*, Górnictwo i Geoinżynieria, R. 35, z. 3/1, s. 217–230, 2011
- [2] Rusiński E., Smolnicki T., Moczko P., *Modification of SchRs 4600x30 excavator body's slewing bearing and its supporting structure*. World Min. 2005, vol. 57 nr 3 s. 2–8
- [3] Piezonka K., *Inżynieria maszyn roboczych. Część I. Podstawy urabiania, jazdy, podnoszenia i obrotu*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2007
- [4] Hawrylak H., Sobolski R., *Maszyny podstawowe górnictwa odkrywkowego*, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1967
- [5] Raaz V., *Assessment of the Digging Force and Optimum Selection of the Mechanical and Operational Parameters of Bucket Wheel Excavators for Mining of Overburden, Coal and Partings*, Krupp Fördertechnik, Essen, 1999
- [6] Rusiński E., Czmochoński J., Smolnicki T., *Zaawansowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych*, Oficyna Wydawnicza PWr., Wrocław 2000
- [7] Zienkiewicz O. C., Taylor R. L., *The Finite Element Method*, McGRAW-HILL BOOK COMPANY, Fourth Edition, London 1990
- [8] Czmochoński J., *Identyfikacja modeli modalnych maszyn urabiających w górnictwie węgla brunatnego*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008
- [9] Miodrag Arsic, Srđan Bošnjak, Nenad Zrnić, Aleksandar Sedmak, Nebojša Gnjatović, *Bucket wheel failure caused by residual stresses in welded joints* Engineering Failure Analysis (2010)
- [10] Mile Savković, Milomir Gašić, Miodrag Arsic, Radovan Petrović, *Analysis of the axle fracture of the bucket wheel excavator*. Engineering Failure Analysis 18 (2011) 433–441
- [11] Araujo LS, de Almeida LH, Batista EM., *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>>
- [12] Czmochoński J., Kaczyński P., Moczko P., *Analiza wytrzymałościowa koła czerpakowego koparki w warunkach założonej wydajności*, Górnictwo i Geoinżynieria, R. 35, z. 3/1 2011
- [13] Maślanka M., Sapiński B. and Snamina J., *Experimental study of vibration control of a cable with an attached MR damper*, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2007, 45(4), 893–917
- [14] Smolnicki T., Derlukiewicz D., Stańco M., *Evaluation of load distribution in the superstructure rotation joint of single-bucket caterpillar excavators*, Automation in Construction. 2008, vol. 17, nr 3, s. 218–223