

Rozwój konstrukcji kombajnów ścianowych

Streszczenie

W czerwcu 2013 roku mija 30 lat od edycji pierwszego numeru „Maszyn Górniczych”, w którym przedstawiono problematykę rozwoju nowych kombajnów ścianowych, zwłaszcza w aspekcie zastosowania systemu napędu posuwu POLTRAK. Zaprezentowano również wyniki produkcyjne w wybranych przodkach eksploatacyjnych. Od tego czasu nastąpił ogromny postęp w procesie projektowania i wytwarzania kombajnów ścianowych. W niniejszym artykule przedstawiono rozwój konstrukcji kombajnów ścianowych w wyniku współpracy Instytutu Techniki Górniczej KOMAG z grupą FAMUR SA, ZZNPW SA, KOPEX SA oraz GLIMAG SA. Przedstawione rozwiązania, dostarczane przez producentów kombajnów ścianowych do kopalń, są przykładem postępu w transferze innowacyjnych rozwiązań Instytutu do działalności gospodarczej.

Summary

In June 2013 it has been 30 years since the first volume of Mining Machines, in which the problems of development of new longwall shearers, especially in the aspect of using the POLTRAK advance system, were issued. Output of the selected longwall panels was also given. Since then a significant advance in designing and manufacturing the longwall shearers has been observed. Development of design of longwall shearers in a result of collaboration among KOMAG Institute of Mining Technology, FAMUR SA Group, ZZNPW SA, KOPEX SA and GLIMAG SA is described. Presented solutions delivered by the manufacturers of longwall shearers to mines are the example of progress in transfer of innovative solutions originated in the Institute to the industry.

1. Wprowadzenie

Projektowanie i wdrażanie kombajnów ścianowych, wchodzących w skład kompleksów ścianowych, jest jednym z priorytetowych kierunków badawczo-rozwojowych Instytutu Techniki Górniczej KOMAG. Na początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku podjęto w KOMAG-u prace projektowo-badawcze nad nową generacją kombajnów ścianowych zdolnych do konkurowania z produktami firm zagranicznych [1, 2].

W wyniku realizacji kilku projektów celowych, dofinansowanych m.in. przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, powstał typoszereg kombajnów ścianowych KSE z napędem elektrycznym. Opracowane rozwiązania i doświadczenia z eksploatacji pierwszych maszyn były podstawą do podjęcia prac nad doskonaleniem ich konstrukcji i projektowaniem nowych rozwiązań. Prace projektowo-konstrukcyjne i badawcze ukierunkowano w ostatnich latach na opracowywanie i wdrażanie ramion kombajnowych, zespołów napędu posuwu oraz układów zasilania kombajnów ścianowych.

2. Kierunki rozwoju konstrukcji kombajnów ścianowych

W rozwoju konstrukcji kombajnów ścianowych można wyróżnić trzy kierunki:

- metody projektowania nowych rozwiązań,
- doskonalenie i modernizacja elementów maszyn,

- wprowadzanie rozwiązań zwiększających bezpieczeństwo pracy.

Innowacyjne rozwiązania konstrukcyjne kombajnów ścianowych są rezultatem wieloletnich prac badawczych, uwzględniających ich warunki pracy, badań eksploatacyjnych oraz stałego postępu i rozwoju w technologii wytwarzania maszyn.

Trzydzieści lat temu priorytetowym celem było wdrożenie bezciągnowego systemu posuwu kombajnu, czyli rezygnacja z łańcucha ogniowego na rzecz systemu zębatkowego. Pierwszym bezciągnowym systemem posuwu był system POLTRAK. Poziome koło zębate, montowane w ciągniku C-27 kombajnu, zamiast koła łańcuchowego, współpracowało z zębatką o pionowych sworzniach, mocowaną do przenośnika ścianowego. Podstawową zaletą tego systemu była eliminacja łańcucha, będącego źródłem zagrożenia dla operatorów kombajnu. System posiadał jednak ograniczenia wynikające z małej siły posuwu, wysokiego stopnia komplikacji konstrukcji, niskiej trwałości oraz niewystarczającej uniwersalności w aspekcie wysokości kombajnu. Wraz z zastosowaniem w kombajnach ścianowych, zaprojektowanego w KOMAG-u, ciągnika C-30, wyposażonego w pionowe koło zębate, współpracujące z zębatką o poziomych sworzniach, mocowaną do przenośnika ścianowego, rozpowszechnił się system EICOTRACK. Najbardziej zaawansowany technologicznie i najbardziej elastyczny w eksploatacji system posuwu DYNATRAC, z pionowym kołem

napędowym, ząbującym się z łańcuchem ogniowym rozpiętym wzdłuż przenośnika ścianowego, nie przyjął się w kopalniach ze względu na wysokie koszty wytwarzania.

W kolejnym etapie rozwoju opracowano elektryczny napęd posuwu kombajnu ścianowego. W hydraulicznym napędzie posuwu kombajnu konieczne było stosowanie układu silnik elektryczny – pompa hydrauliczna – silnik hydrauliczny – przekładnia zębata – koło napędowe. Układ taki wymagał zastosowania dużej ilości łatwopalnego oleju i odpowiedniej jego czystości, jak również skomplikowanego układu sterowania oraz regulacji prędkości i siły posuwu. Układy hydrauliczne cechowały się niską sprawnością i brakiem możliwości automatyzowania pracy kombajnu. W elektrycznym napędzie posuwu, silnik elektryczny napędza bezpośrednio przekładnię zębatą. Początkowo do napędu wykorzystywano silniki prądu stałego. Dopiero zastosowanie silników prądu zmiennego, zasilanych przez przemiennik częstotliwości, pozwoliło na szersze zastosowanie tych napędów w skali przemysłowej.

Pierwszym kombajnem z elektrycznym napędem posuwu, zaprojektowanym w KOMAG-u, był kombajn KSE-300, produkowany przez GLIMAG SA. Pozytywne doświadczenia eksploatacyjne w KWK Gliwice stanowiły podstawę do zaprojektowania przez KOMAG kolejnych maszyn: KSE-800 i KSE-1000 produkowanych przez ZAMET SA, KSE-700 produkowany przez FAMUR SA oraz KSE-500 przez ZZNPW SA. Doświadczenia z wdrażania prototypów tych maszyn wykorzystano w projekcie kombajnu KSE-750E, realizowanego w ramach projektu celowego. Producentem kombajnu były ówczesne ZZNPW SA. Po raz pierwszy zastosowano napięcie zasilania 3300 V dla kombajnu oznaczonego symbolem KSW-880EU, który stał się podstawowym produktem KOPEX SA.

Zwiększenie koncentracji wydobywania węgla zmierzające do obniżenia kosztów, wymagało zwiększenia parametrów trakcyjnych kombajnu – prędkości i siły posuwu. Dzięki zastosowaniu elektrycznego napędu posuwu stało się to możliwe bez radykalnego zwiększania gabarytów maszyny. Maksymalne parametry kombajnu z napędem hydraulicznym to prędkość 8 m/min, i siła posuwu 2x250 kN.

Kombajn KSW-880EU porusza się z prędkością do 20 m/min, a jego siła posuwu wynosi 2x335 kN. Zaprojektowany w ostatnich latach przez KOMAG ciągnik CE120 dla kombajnu KSW-1500EU pozwala osiągnąć prędkość posuwu do 36 m/min, a jego maksymalna siła posuwu wynosi 2x460 kN.

Istotne znaczenie na wielkość wydobywania ma również ramię kombajnu ścianowego. Pierwszą, podstawową cechą charakterystyczną nowoczesnego ramienia jest jego zdolność do mijania napędu przenośnika ścianowego, dzięki czemu możliwe jest

urabianie końcowych fragmentów wyrobiska ścianowego bez konieczności wykonywania wnęki. Kolejnymi cechami są odpowiednio dobrana moc silnika elektrycznego i niezawodna przekładnia zębata.

Pierwsze zaprojektowane przez KOMAG ramiona – RW-200, RW-250MZ, RW-200N – przeznaczone były do kombajnów z hydraulicznym napędem posuwu. Musiały więc spełniać warunek montażu do tradycyjnych przegubów i siłownika układu podnoszenia. W celu obniżenia kosztów wykonania maszyny kadłuby ramion wykonano jako spawane. Prawidłowe warunki smarowania zapewniał podział kadłuba na trzy komory olejowe. Ramiona te, jako pierwsze, wyposażono w ładowarki osłonowe, wspomagające proces ładowania urobku na przenośnik ścianowy. W ramieniu RW-200 przekładnia napędu ładowarki była skręcana z kadłubem ramienia, a w ramieniu RW-250MZ była zintegrowana z kadłubem ramienia. Ładowarka ramienia RW-200N napędzana była bezpośrednio obiegowym silnikiem hydraulicznym. Każde z tych ramion wykonano w ilości ponad 100 sztuk.

Obecnie rozwój konstrukcji ramion kombajnów ścianowych zmierza w kierunku koncentracji przełożenia na ostatnich stopniach przekładni, którymi są zwykle przekładnie planetarne. Pozwala to na odciążenie szybkobieżnej części przekładni i umożliwia zmniejszenie jej gabarytów. Ma to szczególne znaczenie w konstrukcjach kombajnów ścianowych przeznaczonych do eksploatacji w niskich pokładach. Koncentracja przełożenia na końcu przekładni doprowadziła do zastosowania dwustopniowej przekładni planetarnej i modyfikacji przekładni planetarnej z układu trójsatelitowego na czterosatelitowy. W szybkobieżnej części przekładni stosowane są koła zmianowe, umożliwiające dobranie odpowiedniej prędkości obrotowej przekładni do średnicy organu urabiającego i uzyskanie optymalnej prędkości skrawania. W celu poprawienia jakości wyrobu, rozwiązania KOMAG-u przewidują zastosowanie w ramionach elementów katalogowych (takich jak łożyska toczne czy uszczelnienia) renomowanych firm światowych. Dla kombajnów ścianowych z elektrycznym napędem posuwu opracowano typoszereg ramion – R200N, R300, R500, R1000, R350N.

Ze względu na potrzebę zastosowania coraz wyższych mocy w układach napędowych oraz w celu poprawy parametrów technicznych kombajnu i zwiększenia jego dyspozycyjności, niezbędne okazało się zastosowanie w ramionach kadłubów odlewanych, z materiałów o zdecydowanie wyższych parametrach wytrzymałościowych. W procesie projektowania zastosowano oprogramowanie do modelowania przestrzennego CAD oraz MES do obliczeń wytrzymałościowych kadłubów. Do wstępnych obliczeń wytrzymałościowych przekładni zębatej zastosowano autorskie programy KOMAG-u, weryfikujące konstrukcję kół zębatych, wałów, osi oraz dobór łożysk tocznych.

Wzrost zainstalowanej mocy przekładni zębatach ramion i ciągników wymusił wyposażenie ich w układ wymuszonego smarowania kół zębatach i węzłów łożyskowych, z układem intensywnego chłodzenia oleju przekładniowego.

Prowadzone prace nad systemem wibrodiagnostyki elementów przekładni zębatej pozwolą na wczesne wykrywanie nieprawidłowości w pracy elementów przekładni i umożliwią zaplanowanie naprawy w terminie dogodnym dla użytkownika, w celu zwiększenia dyspozycyjności maszyny.

Przełomowym momentem w rozwoju kombajnów ścianowych było opracowanie samonośnej konstrukcji korpusu kombajnu. Składa się ona z trzech podstawowych elementów: dwóch zespołów napędowych i modułu zasilająco-sterującego. Rezygnacja z sań kombajnowych obniżyła koszty produkcji i pozwoliła na efektywniejsze wykorzystanie przestrzeni do transportu urobku na przenośniku ścianowym.

Źródłem niepożądanych przestoju kombajnu są zatory urobku na przenośniku ścianowym, powstające w wyniku odpadu dużych brył urobku od ociosu wyrobiska ścianowego. W celu ich likwidacji kombajny ścianowe wyposażane są w kruszarki kęsów. Stosowane są dwa rozwiązania konstrukcyjne:

- kruszarka montowana do przekładni bocznej, z ramieniem umieszczonym w przestrzeni pomiędzy zastawką przenośnika ścianowego, a kadłubem ramienia,
- kruszarka montowana na ramieniu kombajnu.

Kruszarka montowana jest zwykle od strony wlotu urobku pod kombajn, a regulacja położenia kruszarki umożliwia kruszenie urobku niezależnie od położenia ramienia kombajnu.

Z zakresu zwiększenia bezpieczeństwa pracy wprowadzono rozwiązania zabezpieczające operatorów kombajnu przed opadającym ze stropu i ociosu urobkiem. Są to umieszczone na kombajnie osłony, wypełniające przestrzeń pomiędzy kombajnem, a stropnicą obudowy. Regulacja ich położenia odbywa się bezstopniowo, za pomocą siłowników hydraulicznych, bez konieczności zatrzymywania pracy kombajnu, co ma szczególne znaczenie przy zmiennej wysokości ściany.

Zastosowano również powietrzno-wodną instalację zraszającą, która zapewnia skuteczne zwalczanie zapylenia powstającego w czasie urabiania, przy jednoczesnym zmniejszeniu zużycia wody oraz likwiduje zagrożenie zapalenia metanu w strefie urabiania. Poprawiono w ten sposób bezpieczeństwo i komfort pracy obsługi kombajnu oraz jakość wydobywanego węgla.

3. Przykłady wdrożonych rozwiązań

Pierwszym ramieniem zaprojektowanym dla ówczesnych Zabrzeńskich Zakładów Naprawczych było ramię RW-200 (rys. 1), które zastosowano w kombajnie KSE-500, a następnie w kombajnach klasy KGS-500.



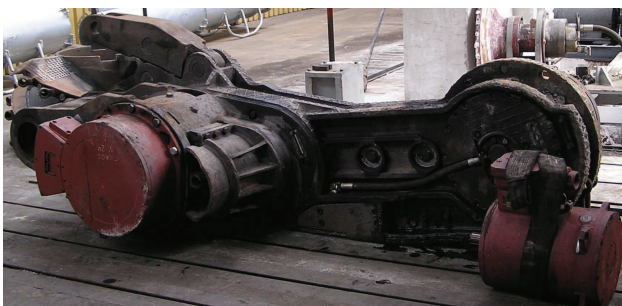
Rys.1. Ramię RW-200 [7]

W ramieniu zastosowano wiele innowacyjnych, jak na owe czasy, rozwiązań technicznych, tj.:

- specjalnie ukształtowaną część wysięgnikową kadłuba, umożliwiającą omijanie napędu przenośnika ścianowego i urabianie końcowych fragmentów wyrobiska ścianowego bez konieczności wykonywania wnek,
- wyposażono ramiona w ładowarki osłonowe wspomagające proces ładowania urobku na przenośnik ścianowy,
- zastosowano spawaną konstrukcję kadłuba umożliwiającą obniżenie kosztów produkcji i ułatwiającą ewentualną modyfikację,
- kadłub przedzielono na trzy komory olejowe, w wyniku czego poprawiono warunki smarowania przekładni zębatach.

Dzięki zastosowaniu wyżej wymienionych ramion powstał typoszereg kombajnów KSW, a Zabrzeńskie Zakłady Naprawcze z zakładu remontowego przekształciły się w zakład produkcyjny, o wiodącej roli w przemyśle maszyn górnictwa.

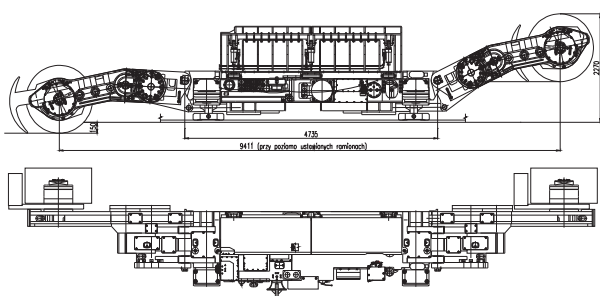
Opracowane w ITG KOMAG ramiona RW-200 zastosowano w kombajnie KSW-500, przeznaczonym do pracy w ścianach o wysokości od 2,0 m do 4,0 m.



Rys.2. Ramię RW-250MZ [7]

W ścianach o wysokości od 1,7 m zaczęto stosować kombajny KSW-475 wyposażone w ramiona RW-250MZ (rys. 2). W stosunku do ramion RW-200, zwiększono moc silnika napędowego z 200 kW do 250kW, zmniejszono gabaryty kadłuba ramienia i przekładni planetarnej, co pozwoliło na stosowanie organów urabiających o mniejszej średnicy oraz zintegrowano napęd ładowarki z kadłubem ramienia. Wdrożenie ww. kombajnu z ramionami RW-250MZ pozwoliło Zabrzeńskim Zakładom Naprawczym na dalsze poszerzenie rynku kombajnów ścianowych.

Sukcesem konstrukcyjnym i produkcyjnym okazał się kombajn KSW-460N (rys. 3) [3]. Jego konstrukcją oparto na kombajnie KGS-245. Kombajn wyposażono w nowe ramiona RW-200N, zaprojektowane w ITG KOMAG. Główną cechą charakterystyczną kombajnu była duża moc silnika napędowego ramienia, zastosowana po raz pierwszy w niskim kombajnie. Zabrzeńskie Zakłady Mechaniczne S.A. wyprodukowały ponad 70 sztuk tego typu kombajnu, eksploatowanego przy urabianiu węgla z pokładów o wysokości od 1,4 m. Kombajn KSW-460N jest również eksportowany do Rosji i Czech.



Rys.3. Kombajn KSW-460N [5]

Ze względu na potrzebę zastosowania coraz wyższych mocy w układach napędowych oraz w celu poprawy parametrów technicznych kombajnu i zwiększenia jego dyspozycyjności, niezbędne okazało się zastosowanie w ramionach kadłubów odlewanych z materiałów o zdecydowanie wyższych parametrach wytrzymałościowych.

Pierwszym ramieniem z kadłubem odlewającym było ramię R300 (rys. 4). Do jego napędu zastosowano silnik o mocy 300 kW. Komorę olejową wyposażono w specjalną chłodnicę płytową, a napęd ładowarek osłonowych zintegrowano z kadłubem. W przegubie

ramienia zastosowano specjalne ucha umożliwiające montowanie go do różnych wersji kombajnu, zgodnie z potrzebami użytkownika.

Ramię kombajnowe R300 zastosowano w kombajnach KSW-750E i KSW-620E. Kombajn KSW-750E uzyskał wyróżnienie w konkursie „Polski Produkt Przyszłości 2002”, a ramię R300 uzyskało nominację do Nagrody Gospodarczej Prezydenta RP w 2005 r. Do dnia dzisiejszego wyprodukowano ponad 100 sztuk tego ramienia.



Rys.4. Ramię R300 [7]

Urabianie wysokich ścian oraz węgla trudno urabialnych wymusiło potrzebę zainstalowania jeszcze większych mocy w ramieniu kombajnowym. Dla ścian wysokich przeznaczony jest kombajn KSW-1140E wyposażony w ramiona R500 (rys. 5), napędzane silnikiem o mocy 500 kW, na napięciu zasilania 3300 V. W ramieniu, po raz pierwszy, zastosowano symetryczny, odlewany kadłub i układ wymuszonego smarowania. W fazie projektowania zastosowano metodę elementów skończonych MES, za pomocą której zweryfikowano i potwierdzono wytrzymałość kadłuba ramienia.



Rys.5. Ramię R500 [7]



Rys.6. Ramię R200N [7]

Rozwijana ciągle współpraca pomiędzy ITG KOMAG, a KOPEX S.A. zaowocowała realizacją kolejnego projektu, dotyczącego niskiego kombajnu z elektrycznym napędem posuwu - KSW-460NE. KOMAG zaprojektował ramiona R200N (rys. 6) [3], przekładnie napędu posuwu oraz przekładnie boczne. Podstawowym problemem do rozwiązania było zastosowanie maksymalnych mocy jednostek napędowych i układów zasilających w ograniczonych gabarytach. W fazie projektowania zastosowano oprogramowanie do modelowania przestrzennego CAD oraz MES do obliczeń wytrzymałościowych kadłubów. Kombajn KSW-460NE uzupełnił typoszereg kombajnów ścianowych z elektrycznym napędem posuwu.

4. Perspektywy współpracy KOMAG – KOPEX

Obecnie w ramach Przedsięwzięcia „IniTech”, dofinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, realizowany jest projekt badawczy pt. „Innowacyjne rozwiązania maszyn wydobywczych podnoszące bezpieczeństwo energetyczne kraju”. Celem tego przedsięwzięcia jest opracowanie prototypu innowacyjnej, automatycznej maszyny wydobywczej, przeznaczonej do ścian niskich i średnich, umożliwiającej urabianie węgla w systemie ścianowym przy różnych warunkach górniczo-geologicznych i zaleganiu pokładu węgla, zapewniającej bezpieczeństwo załogi. Projekt realizowany jest przez konsorcjum naukowo-przemysłowe KOMAG - KOPEX. W zakresie projektu KOMAG wykonuje dokumentację techniczną i badania ramienia kombajnowego, przekładni bocznej, systemu wibrodiagnostyki i termowizji oraz powietrzno-wodnej instalacji zraszającej [4, 6, 8].

Ze środków własnych ITG KOMAG realizowany jest projekt nowoczesnego systemu posuwu KOMTRAK, przeznaczonego do kompleksów ścianowych produkowanych przez KOPEX S.A. Jego innowacyjność polega na nowym zarysie flanki zęba zębatego, z którą współpracują koła trakowe kombajnu ścianowego, który spowoduje zmniejszenie nacisków powierzchniowych i podniesienie trwałości kół trakowych.

W ramach Programu Badań Stosowanych, dofinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, realizowany jest również projekt badawczy pt. „Innowacyjny system posuwu maszyny wydobywczej podnoszący efektywność wydobywania oraz bezpieczeństwo pracy w kompleksach ścianowych”. Celem projektu badawczego jest opracowanie i badanie nowatorskiego produktu, jakim jest innowacyjny system posuwu maszyny wydobywczej FLEXTRACK. Projekt realizowany jest przez konsorcjum naukowo-przemysłowe KOMAG – AGH - Instytut Odlewnictwa - SPECODLEW. Docelowym producentem systemu będzie KOPEX SA. System FLEXTRACK przewiduje zastosowanie nowego zarysu flanki zęba zębatego oraz poprawienie współpracy z kołem trakowym kombajnu ścianowego poprzez likwidację zaburzeń podziałki zębów.

Kompleksowej analizie zostanie poddana możliwość zastosowania kombajnowej kruszarki kęsów w zależności od typu kombajnu, typu ramienia, zakresu urabiania i maksymalnej unifikacji podzespołów, w celu obniżenia kosztów produkcji i serwisu.

Podobnej analizie zostanie poddana możliwość zamknięcia pary kół zębatego przekładni bocznej w kadłubie stanowiącym komorę olejową, w celu poprawienia ogólnej sprawności przekładni napędu posuwu oraz zwiększenia trwałości kół zębatego, które do tej pory pracują „na sucho”.

5. Podsumowanie

Przedstawiony rozwój konstrukcji kombajnów ścianowych w okresie ostatnich 30 lat koncentrował się na poprawie parametrów trakcyjnych, dzięki zaprojektowaniu nowych przekładni zębatego oraz optymalizacji konstrukcji części mechanicznej kombajnu (wąskie ramie, samonośna konstrukcja kombajnu, bezciągnowy system posuwu, osłony hydrauliczne, ładowarki osłonowe). Prowadzone obecnie prace w ramach projektów INERG i FLEXTRACK zmierzają do rozwoju systemów diagnostyki kombajnów (zapewnienie odpowiedniej dyspozycyjności maszyny, możliwość planowania przeglądów i remontów) oraz automatyzacji pracy, ograniczającej obecność obsługi w ścianach, gdzie występuje duża kumulacja zagrożeń.

Nowe projekty kombajnów ścianowych i ich dokumentacja techniczna realizowane są w środowisku programowym firmy Autodesk, a modelowanie 3D wykonywane za pomocą programu Autodesk Inventor. Rysunki dokumentacji technicznej wykonywane są za pomocą programu Autodesk AutoCAD Mechanical. Do projektowania przewodów instalacji hydraulicznej, wodnej, powietrzno-wodnej, smarującej i elektrycznej służy moduł „Tube & Piping” z programu Autodesk Inventor Professional.

Literatura

1. Meder A., Mazurkiewicz A.: Współpraca CMG KOMAG i ZZM SA w zakresie nowych rozwiązań kombajnów ścianowych. W: Materiały na II Międzynarodowe Sympozjum: "Nowe rozwiązania i doświadczenia w budowie i bezpiecznej eksploatacji polskich wysoko wydajnych kombajnów ścianowych", Wiśła, październik 2004.
2. Prostański D., Tarkowski A., Mazurkiewicz A.: Rozwój i doskonalenie konstrukcji kombajnów ścianowych. W: Materiały na konferencję: "Maszyny i urządzenia dla przemysłu wydobywczego", maj 2006.
3. Meder A., Mazurkiewicz A., Winkler T.: Współpraca Zabrzeńskich Zakładów Mechanicznych SA z Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG. Wiadomości Górnicze 2007 nr 7/8.
4. Projekt INERG „Innowacyjne rozwiązania maszyn wydobywczych podnoszące bezpieczeństwo energetyczne kraju”, etap K Z3 – Opracowanie postaci konstrukcyjnej maszyny wydobywczej. ITG KOMAG Gliwice 2011 (materiały nie publikowane).
5. Dokumentacja techniczna kombajnu KSW-460N. ITG KOMAG Gliwice 1999 (materiały nie publikowane).
6. Dokumentacja techniczna ramienia R1000. ITG KOMAG Gliwice 2008 (materiały nie publikowane).
7. Dokumentacja fotograficzna ITG KOMAG.
8. Mazurkiewicz A., Tarkowski A.: „Projektowanie ramion kombajnów ścianowych dla Zabrzeńskich Zakładów Mechanicznych S.A., Maszyny Górnicze 2012. Nr 3.

Artykuł wpłynął do redakcji w maju 2013 r.