3(131)2012

Kwartalnik naukowo-techniczny
ROK XXX, wrzesień 2012

Zespół Redakcyjny:

Redaktor Naczelny:
dr inż. Antoni Kozieł
Z-ca Redaktora Naczelnego:
dr inż. Edward Pieczora
Sekretarz Redakcji:
mgr inż. Romana Zając
Redaktor statystyczny:
mgr Magda Szczygłowska
Redaktor językowy:
mgr Anna Okulińska

Redaktorzy tematyczni:
prof. dr hab. inż. Marek Jaszczuk
prof. dr hab. inż. Adam Klich
prof. dr hab. inż. Zdzisław Kłeczek
prof. dr hab. inż. Aleksander Lutyński
prof. dr inż. Włodzimierz Sikora
dr hab. inż. Stanisław Szweda,
prof. nadzw. w Pol. Śl.
prof. dr hab. inż. Teodor Winkler

Wydawca
Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice
tel. 32 2374 528
fax 32 2374 304
http://www.komag.eu

Redakcja nie zwraca nadsyłanych artykułów i nie odpowiada za treść ogłoszeń i reklam.

Wersję papierową wydawanego kwartalnika należy traktować jako wersję pierwotną.

Skład i druk:
KOMDRUK-KOMAG Sp. z o.o.
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice
tel.: 32 2374 563

Nakład 1000 egz.
PL ISSN 0209-3693

Szanowni Państwo

W niniejszym wydaniu kwartalnika „Maszyny Górnicze" prezentujemy wybrane dokonania i osiągnięcia „KOPEX GROUP", największej w Polsce grupy przemysłowej w branży maszyn i urządzeń górniczych oraz usług górniczych, znajdującej się zarazem w ścisłej czołówce największych na świecie partnerów przemysłu wydobywczego. Wizją Grupy KOPEX jest stworzenie polskiej grupy, zajmującej miejsce wśród największych światowych firm w przemyśle górniczym, a także będącej liderem wśród instytucji poszukujących możliwości pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych. O pozycji KOPEX-u w branży maszyn i urządzeń dla górnictwa decydują dokonania, między innymi: WAMAG-u, DOZUT-u, TAGOR-u, RYFAMY i ZZM, FAMAG-u, KES-u producentów znanych od wielu lat. Kompleksowość dostaw systemów mechanizacyjnych na rynkach krajowych i światowych nastąpiła jednak dopiero po utworzeniu Grupy.

Wpływ na innowacyjność rozwiązań ma niewątpliwie wieloletnia współpraca naukowo-badawcza z uczelniami oraz instytutami. Jednym z nich jest Instytut Techniki Górniczej KOMAG. Świadczą o tym projekty realizowane w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka finansowane ze środków strukturalnych Unii Europejskiej oraz projekty finansowane ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Efekty wdrażania polskiej myśli technicznej na świecie widoczne są w Rosji, Chinach, RPA Australii. Niesłabnące zainteresowanie rosyjskich inwestorów polską techniką górniczą potwierdziły również międzynarodowe targi górnicze UGOL ROSSI & MINING, które odbyły się w czerwcu 2012 r. w Nowokuzniecku. Prezentowana w „Maszynach Górniczych" problematyka jest potwierdzeniem prowadzenia przez KOPEX działalności innowacyjnej, głównej siły napędowej rozwoju gospodarczego. Fachowa wiedza i umiejętności niezbędne dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy załóg górniczych, szczególnie w warunkach zwiększającego się poziomu zagrożeń są nie do przecenienia. Grupa KOPEX posiada w swojej ofercie narzędzia umożliwiające pełną automatyzację procesu wydobywczego i zwiększenie bezpieczeństwa pracy w górnictwie.

Życząc Państwu przyjemnej lektury zapraszamy do współpracy z redakcją kwartalnika.

Redaktor Naczelny
dr inż. Antoni Kozieł

Spis treści

ZMECHANIZOWANE KOMPLEKSY

Dziura J.: Kompleks Mikrus – nowa technologia wybierania pokładów niskich 3

OBUDOWY ŚCIANOWE

Bukowiecki B., Mądry M., Hylla R.: Optymalizacja cech geometrycznych sekcji obudowy zmechanizowanej w aspekcie minimalizacji sił wewnętrznych 12

Madejczyk W.: Badania sekcji obudowy zmechanizowanej oraz hydraulicznych elementów wykonawczych produkcji Fabryki Maszyn i Urządzeń TAGOR SA 20

MASZYNY URABIAJĄCE

Mazurkiewicz A., Tarkowski A.: Projektowanie ramion kombajnów ścianowych dla Zabrzańskich Zakładów Mechanicznych S.A. 26

TRANSPORT I ODSTAWA

Tytko S., Łabęcki M., Gros S.: Nowoczesne zintegrowane przenośniki zgrzebłowe produkcji RYFAMA S.A. 31

MASZYNY ŁADUJĄCE

Smolnicki T.: Zwiększenie nośności łoża kulowego nadwozia zwałowarki metodą korekcji bieżni 39

PRZERÓBKA MECHANICZNA

Śmiejek Z.: Klasyfikacja węgla surowego i handlowego w modernizowanych instalacjach przeróbczych 43

BEZPIECZEŃSTWO I ERGONOMIA

Winkler T., Michalak D., Jaszczyk Ł., Rozmus M.: Narzędzia informatyczne wspomagające utrzymanie ruchu kombajnów ścianowych wytwarzanych w Zabrzańskich Zakładach Mechanicznych S.A. 49

EKSPLOATACJA I NIEZAWODNOŚĆ

Płonka Z.: Odporność elementów uszczelniających na trudno palne ciecze hydrauliczne stosowane w maszynach i urządzeniach górniczych 54

WARTO PRZECZYTAĆ

Siemieniec T.: Nowoczesny, wydajny i bezpieczny zautomatyzowany kompleks ścianowy w KWK „Pniówek" – doświadczenia eksploatacyjne 59

Contents

MECHANIZED SYSTEMS

Dziura J.: Mikrus System – new technology for mining of thin seams 3

LONGWALL ROOF SUPPORTS

Bukowiecki B., Mądry M., Hylla R.: Optimization of geometrical features of powered roof support in the aspect of minimization of internal forces 12

Madejczyk W.: Testing powered roof support and hydraulic actuating components manufactured by Fabryka Maszyn i Urządzeń TAGOR SA 20

MINING MACHINES

Mazurkiewicz A., Tarkowski A.: Designing of longwall shearer arms for Zabrzanskie Mechanical Plants S.A. 26

TRANSPORT AND CONVEYING SYSTEM

Tytko S., Łabęcki M., Gros S.: State-of-the-art integrated fligt-bar conveyors manufactured by RYFAMA S.A. 31

LOADING MACHINES

Smolnicki T.: Increase of carrying capacity of ball bearings of dumping conveyor with use raceway correction method 39

MECHANICAL MINERAL PROCESSING

Śmiejek Z.: Classification of raw coal and commercial coal in the modernized processing installations 43

SAFETY AND ERGONOMICS

Winkler T., Michalak D., Jaszczyk Ł., Rozmus M.: Information tools aiding maintenance of longwall shearers manufactured by Zabrzańskie Zakłady Mechaniczne S.A. 49

OPERATION AND RELIABILITY

Płonka Z.: Resistance of sealing elements to fire-resistant hydraulic fluids applied in mining machines and equipment 54

WORTH TO READ

Siemieniec T.: State-of-the-art, efficient, safe and automated longwall system in "Pniówek" Colliery – operational experience 59

Mgr inż. Jan DZIURA
Zabrzańskie Zakłady Mechaniczne S.A.

Kompleks Mikrus – nowa technologia wybierania pokładów niskich

S t r e s z c z e n i e

W artykule omówiono nowe rozwiązania konstrukcyjne innowacyjnego wydajnego systemu ścianowego do wybierania niskich pokładów węgla z wykorzystaniem głowicy urabiająco-ładującej i integralnie z nią związanego przenośnika ścianowego. Przedstawiono również podstawowe parametry techniczne poszczególnych urządzeń kompleksu. Omówiono technologię eksploatacji zapewniającą wysokie wydobycie przy zachowaniu bezpieczeństwa załóg górniczych, mimo ograniczonej gabarytami wyrobiska, zdolności tych załóg do sprawnej obsługi systemu. Przedstawiono również plany związane z wdrożeniem kompleksu do eksploatacji.

S u m m a r y

The paper discusses new design solutions of the innovative efficient longwall system designed for thin coal seams with the use of cutting-loading machine and a conveyor integrated with it. Additionally author describes technical parameters of particular devices in the longwall system. Moreover the paper is focused on technology of coal cutting, that ensures high productivity, with appropriate safety measures for the mine staff, despite small dimensions of the working area, taking into consideration the abilities of the mine staff to use efficiently the system. The plan of implementing the system into operation is mentioned as well.

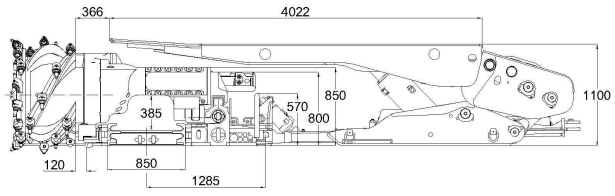
1. Wstęp

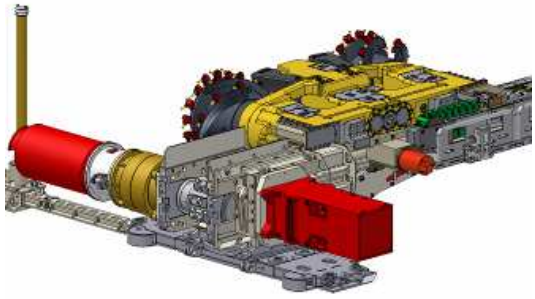
Na podstawie analizy danych o zasobach operacyjnych, około 1 miliarda ton węgla zalega w Polsce w pokładach niskich. W świecie średni udział pokładów niskich w udostępnionych górniczo zasobach węglowych wynosi ok. 30%, co pokazuje ogromny obszar do pozyskania węgla. Koniecznym warunkiem do zagospodarowania tej niszy rynkowej jest opracowanie sprawnego, bezpiecznego i wydajnego systemu ścianowego.

Warunkiem eksploatacji niskich pokładów węgla jest opłacalność, na którą składa się wiele czynników. Jednym z ważniejszych jest bezpieczeństwo załóg górniczych oraz ograniczona gabarytami zdolność tychże załóg do sprawnej obsługi systemu. Innym znaczącym czynnikiem jest czynnik ekonomiczny takiej eksploatacji z punktu widzenia cen węgla na światowych rynkach i koniecznych do poniesienia nakładów inwestycyjnych, aby móc eksploatować ścianowo pokłady niskie.

2. Kompleks ścianowy do wybierania pokładów niskich

Grupa kapitałowa KOPEX opracowała i wykonała na podstawie własnego projektu pt. „Kompleks ścianowy do wybierania niskich pokładów" urządzenia, które powiązane ze sobą strukturalnie działając w oparciu o wspólny system sterowania tworzą spójny system ścianowy. System wyposażono w głowicę urabiająco-ładującą z dwoma organami urabiającymi, która jest przemieszczana po przenośniku ścianowym wzdłuż ociosu węglowego za pomocą systemu cięgnowego pod sekcjami obudowy zmechanizowanej (rys. 1). Kompleks umożliwia wybieranie pokładów niskich przy dużej wytrzymałości węgla na ściskanie powyżej 40 MPa i nieregularności zalegania złoża pozwalając na uzyskanie ekonomicznie opłacalnej wydajności. Dopasowany do głowicy przenośnik ścianowy umożliwia sprawne przemieszczanie głowicy urabiająco-ładującej wzdłuż przodka wydobywczego oraz poprzeczne korygowanie jej położenia. Korekcja położenia przenośnika i głowicy urabiająco-ładującej jest realizowana za pomocą wyspecjalizowanej obudowy zmechanizowanej. Całość kompleksu jest zasilana i sterowana przez zintegrowany system wyposażony w centralny pulpit umieszczony na stanowisku operatora, który zlokalizowany jest w chodniku odstawczym. Podstawowe parametry techniczne nowego rozwiązania podano w tabeli 1.





Rys.1. Kompleks do wybierania pokładów niskich.
Źródło: opracowanie własne

3. Głowica urabiająco-ładująca

Urządzeniem urabiającym ocios węglowy w prezentowanym niskim kompleksie jest głowica urabiająco-ładująca (rys. 2). Nieskomplikowana budowa, maksymalne uproszczenie układu napędowego ślimakowych organów urabiających, zastosowanie wewnętrznego smarowania wraz z układem intensywnego chłodzenia przekładni zapewniają niezawodną, w pełni bezobsługową, pracę głowicy. Dodatkowo specjalnie ukształtowany korpus głowicy uzupełniony ładowarkami zapewnia płynne ładowanie urobku na przenośnik ścianowy przy prędkościach posuwu do 13 m/min.

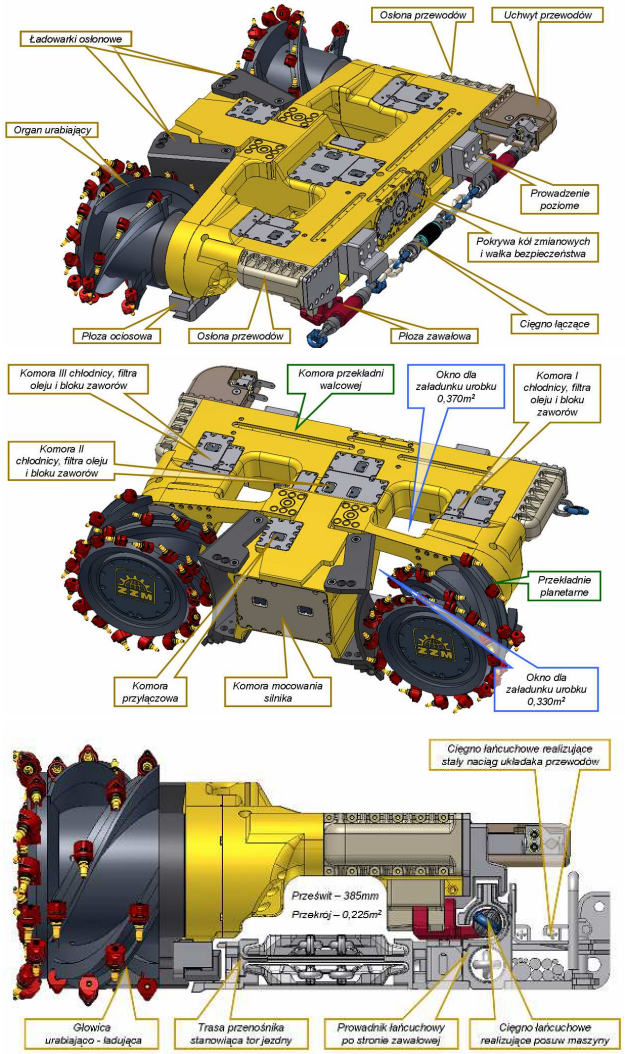
Integralną częścią głowicy urabiająco-ładującej jest mechanizm posuwu usytuowany poza urządzeniem. Głowica urabiająco-ładująca pracuje na przenośniku i ciągnięta jest wzdłuż czoła ściany łańcuchem. Od strony zawału urządzenie podparte jest ślizgowo na prowadniku stanowiącym element rynny przenośnika, a od strony ociosu na klinie ładującym. Na obu końcach głowicy urabiająco-ładującej od strony zawału znajdują się płozy ustalające poprzecznie głowicę urabiająco-ładującą, przez które przewleczone jest cięgno łączące z zaczepami służącymi do zamocowania łańcucha pociągowego. W czasie pracy przedni organ, którego średnica powinna odpowiadać miąższości pokładu, urabia i ładuje urobek tworząc wolną przestrzeń dla ładowarek osłonowych zamocowanych na korpusie głowicy i tylnego organu urabiającego. Tylny organ spełnia funkcję dodatkowego urządzenia ładującego

Podstawowe parametry kompleksu. Źródło: opracowanie własne

Tabela 1

Parametr	Wartość		
Wysokość urabiania	1100 ÷ 1500mm		
Długość ściany wydobywczej	260m		
Nachylenie podłużne ściany	35°		
Nachylenie poprzeczne ściany	±20°		
Średnica organu urabiającego	1200 ÷ 1600mm		
Głębokość urabiania	0,6m		
Napięcie zasilania	3300V		
Minimalna wysokość głowicy urabiająco-ładującej nad przenośnikiem	850mm		
Maksymalna zainstalowana moc	1433kW	silnik urabiania głowicy	500kW
		silniki posuwu	2 x 60kW
		silnik wciągarki	13kW
		silniki napędu przenośnika	2x200/400kW
Siła posuwu (0 ÷ 50 Hz)	2 x 320kN		
Prędkość posuwu	0 ÷ 27m/min		
Przenośnik ścianowy S-850N o wys. profilu E	220mm		
Całkowita masa głowicy urabiająco-ładującej	ok. 19,2ton		
Obudowa zmechanizowana Tagor-08,/16-POz	0,85m ÷ 1,6m		
Zakładana wydajność godzinowa dla wytrzymałości węgla 40MPa	560t/h		
Zakładana wydajność godzinowa dla wytrzymałości węgla 10MPa	800t/h		

pozostałość urobku. Pomiędzy ładowarkami w korpusie zabudowany jest silnik napędowy organów urabiających.

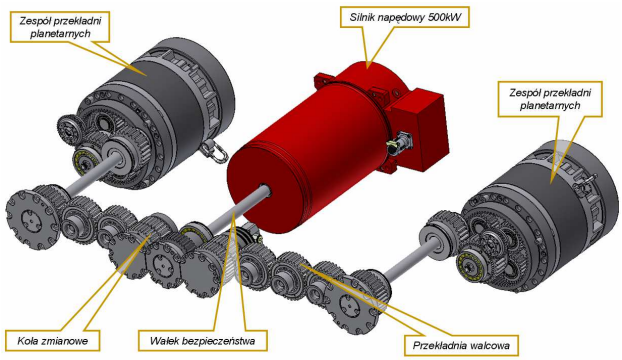


Rys.2. Głowica urabiająco-ładująca GUŁ-500.
Źródło: opracowanie własne

Napęd organów urabiających jest głównym zespołem głowicy urabiająco-ładującej (rys. 3). W kadłubie prostopadle do osi wzdłużnej zamocowano silnik napędowy. Napęd z silnika przez wałek skrętny przenoszony jest na przekładnię napędową wyposażoną w koła zmianowe. Przekładnia napędowa rozprowadza moment obrotowy na oba organy urabiające. We wnętrzu organów urabiających zabudowane są dwustopniowe przekładnie planetarne. Wały wyjściowe przekładni posiadają kwadratowe końcówki sprzęgłowe służące do zamocowania organów urabiających.

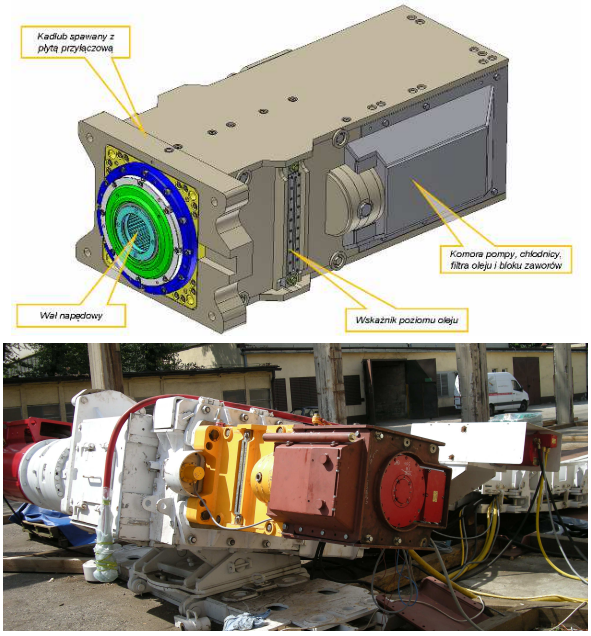
Instalacja smarowania i chłodzenia zapewnia właściwe smarowanie wszystkich węzłów przekładni napędowej oraz prawidłową temperaturę pracy całego układu napędowego. Zastosowanie instalacji smarowania i chłodzenia zapewnia możliwość pracy przekładni napędowej z pełną mocą przy optymalnych warunkach smarowania bez względu na nachylenie ściany.

W głowicy urabiająco-ładującej zastosowane są dwa ślimakowe organy urabiające z przeciwnymi kierunkami zwojów. Organy urabiające wyposażono w instalację wewnętrznego zraszania. Woda do organów urabiających dostarczona jest przez drążone wały przekładni planetarnych. Organy zostały przystosowane do zawrębiania prostopadłego w stosunku do kierunku urabiania.



Rys.3. Przekładnia napędowa organów urabiających GUŁ-500. Źródło: opracowanie własne

Pomiędzy organami urabiającymi, w polu przyociosowym maszyny, zainstalowane są dwie ładowarki umocowane do kadłuba urządzenia. Do czołowych płyt ładowarek od spodu przy spągu zamocowano wychylne płyty zgarniające o określonym zakresie obrotu. W zależności od kierunku urabiania płyty mogą być odchylane, co zapobiega gromadzeniu się pomiędzy organami urabiającymi niezaładowanego urobku i zabezpiecza przed blokowaniem głowicy urabiająco-ładującej.



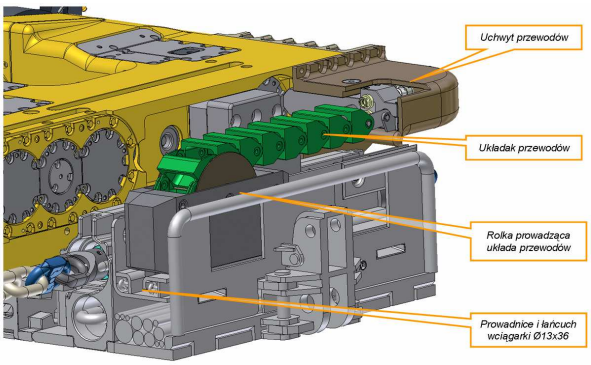
Rys.4. Zespół napędowy posuwu GUŁ-500.
Źródło: opracowanie własne

Integralną częścią głowicy urabiająco-ładującej są zespoły napędowe posuwu umieszczone poza urządzeniem (rys. 4). Dwa zespoły napędowe wraz z prze-

kładniami, umocowane są na kadłubach napędowych przenośnika ścianowego. W mechanizmie zastosowane zostały asynchroniczne silniki sterowane za pomocą falowników, co umożliwia automatyczną regulację posuwu w zależności od obciążenia silników napędowych maszyny. Cięgłem roboczym jest łańcuch ogniwowy, przewinięty przez gwiazdy napędowe mechanizmu i zaczepiony na obu końcach do cięgna głowicy urabiająco-ładującej. Łańcuch prowadzony jest wzdłuż przenośnika zgrzebłowego w specjalnych prowadnikach, które również spełniają funkcję prowadzenia dla głowicy urabiająco-ładującej.

W głowicy urabiająco-ładującej znajdują się: skrzynka zaciskowa silnika służąca do podłączenia kabla zasilającego, koncentrator sygnałów z czujników: temperatury, ciśnienia, siły oraz uchwyt kabla i przewodów wodnych prowadzonych w układaku. Pozostałe niezbędne wyposażenie elektryczne zostało umieszczone w stacjach zasilających zlokalizowanych w chodnikach nadścianowym i podścianowym.

Prowadzenie układaka przewodów zostało zrealizowane za pomocą łańcuchowego układu napinającego z rolką (rys. 5). Sterowany on jest przez przemiennik częstotliwości. Mechanizm prowadzenia układaka przystosowany jest do zabudowy w specjalnej zastawce przenośnika zgrzebłowego, a napęd cięgna utrzymującego stałą siłę naciągu układaka wraz z przewodami zasilającymi tj. silnik elektryczny i wciągarka łańcuchowa, umieszczony został w chodniku. Rozwiązanie to ma za zadanie nie dopuścić do powstawania pętli układaka przy nawrotach głowicy oraz zapewnić stałą siłę naciągu uzyskiwaną dzięki zasilaniu z przemiennika częstotliwości.



Rys.5. Mechanizm prowadzenia przewodów zasilających GUŁ-500. Źródło: opracowanie własne

Przemiennik częstotliwości zasilający silnik napędu wciągarki układaka przewodów pracuje w trybie stałomomentowym niezależnie od kierunku i prędkości posuwu głowicy (również na postoju) utrzymując zadaną siłę naciągu układaka. Prędkość przemieszczania rolki napinającej to ½ prędkości posuwu maszyny. Mechanizm prowadzenia przewodów zasilających może być stosowany w prawej lub lewej ścianie (rys. 6).

4. Ścianowy przenośnik zgrzebłowy Ryfama S-850N

Przenośnik ścianowy przeznaczony jest do odstawy urobku w ścianie niskiej urabianej przez głowicę urabiająco-ładującą, a jednocześnie trasa przenośnika stanowi tor jezdny głowicy i dzięki specjalnym umieszczonym po stronie zawałowej prowadnikom, umożliwia bezpieczne prowadzenie cięgna łańcuchowego realizującego posuw głowicy urabiająco-ładującej.

Napęd główny (wysypowy), jak i napęd pomocniczy (zwrotny) są zbudowane z tych samych podstawowych podzespołów to jest: kadłuba napędu, bębna łańcuchowego, reduktora planetarnego, sprzęgła z obudową, sprzęgła zębatego, bloku dystansowego, kompletu wyrzutnikowego, bloku napędu posuwu głowicy urabiająco-ładującej, itp. (rys. 7).

Montaż i demontaż wałów napędowych przenośnika zgrzebłowego możliwy jest bez konieczności demontażu jednostek napędowych przenośnika i posuwu głowicy.

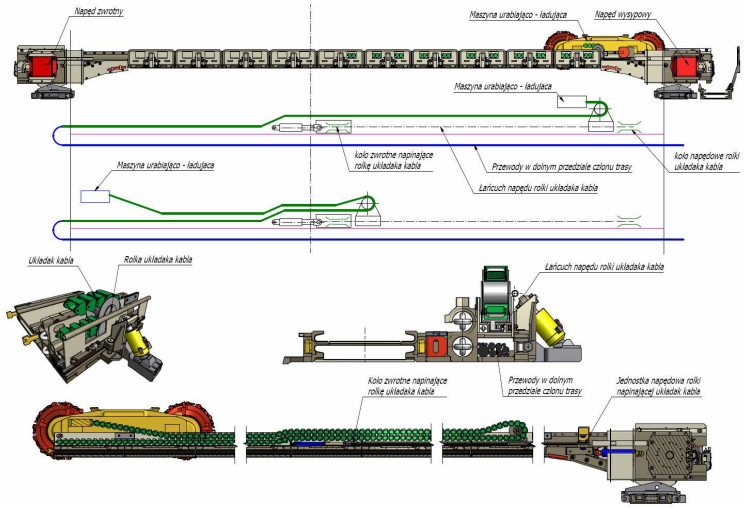
Jednostka napędowa napędu łańcucha zgrzebłowego składa się z silnika elektrycznego, sprzęgła elastycznego oraz przekładni walcowo-planetarnej wielkości „25”.

Silnik elektryczny jest mocowany do przekładni za pomocą obudowy sprzęgła, natomiast wał silnika łączony jest z wałem przekładni poprzez sprzęgło elastyczne. Jednostki napędu łańcucha zgrzebłowego montowane są po stronie ociosowej (rys. 8). Sposób napinania łańcucha zgrzebłowego realizowany jest przez układ napinający silnikiem hydraulicznym z hamulcem.

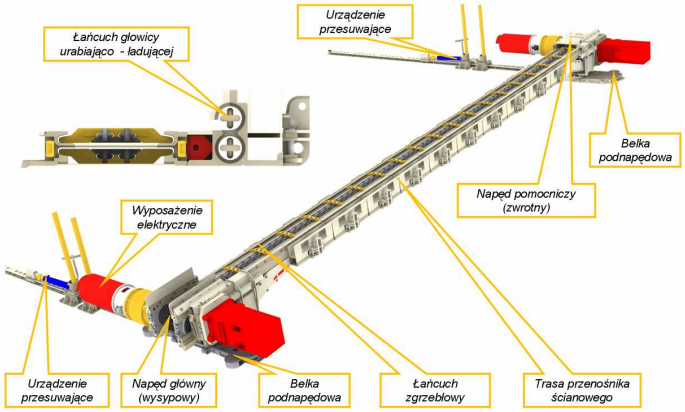
Jednostki napędowe napędu łańcucha głowicy urabiająco-ładującej zabudowane są na napędzie wysypowym i zwrotnym po stronie zawałowej. Napinanie łańcucha pociągowego głowicy realizowane jest za pomocą siłowników hydraulicznych.

Rynny trasy wykonane są na bazie dwóch odlewanych profili E220. Profil ociosowy wykonany jest z klinem ładującym a profil zawałowy połączony jest z prowadnikiem głowicy urabiająco-ładującej. Profile połączone są ze sobą blachą ślizgową oraz dolną blachą zamykającą (przyspągową). Trasa przenośnika posiada możliwość realizacji korekcji poprzecznej poprzez siłownik korekcyjny zabudowany pomiędzy belką układu przesuwnego sekcji obudowy zmechanizowanej a zastawką rynny.

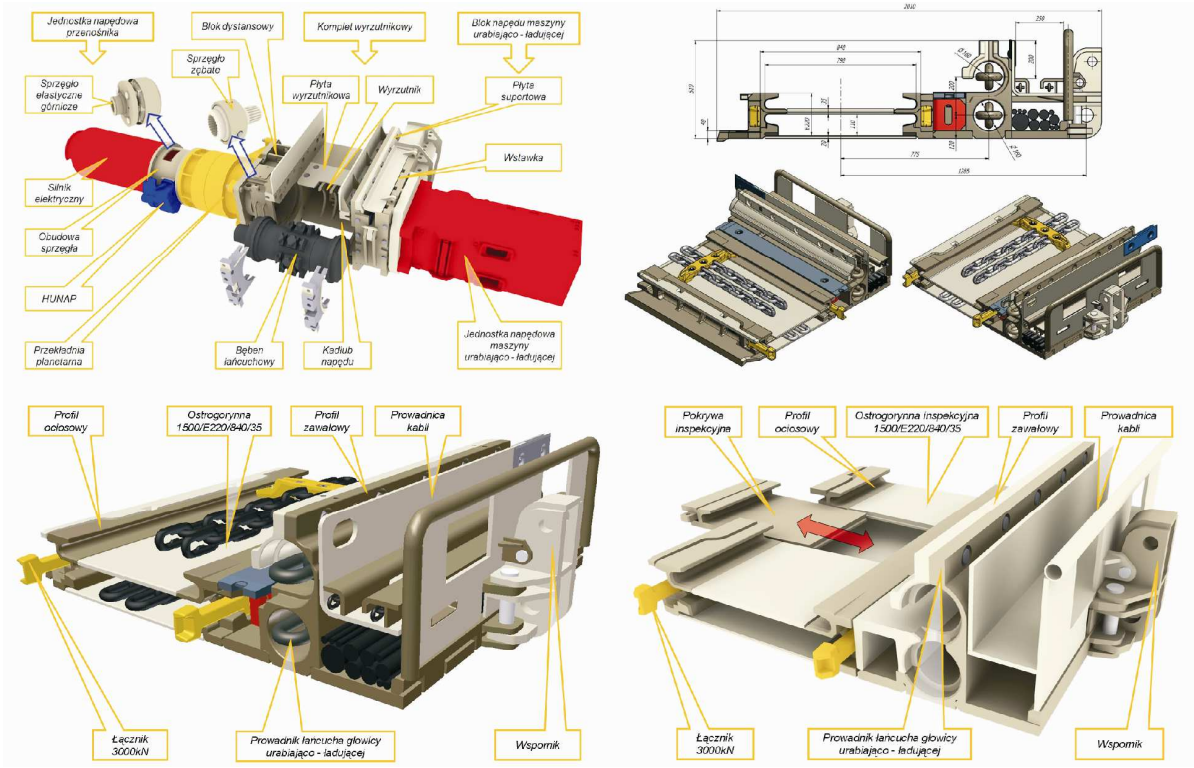
Człony dołączne stanowią elementy łączące trasę przenośnika z napędami. Podbudowa napędu jest konstrukcją spawaną pozwalającą na obrót posadowionego napędu w dwóch płaszczyznach, przesunięcie równoległe do ściany oraz podwyższenie lub obniżenie napędu.



Rys.6. Łańcuchowy zespół napinania i prowadzenia przewodów zasilających GUŁ-500. Źródło: opracowanie własne



Rys.7. Ścianowy przenośnik zgrzebłowy Ryfama S-850N. Źródło: opracowanie własne



Rys.8. Budowa ścianowego przenośnika zgrzebłowego Ryfama S-850N. Źródło: opracowanie własne

5. Obudowa zmechanizowana TAGOR-0,85/1,6-POz

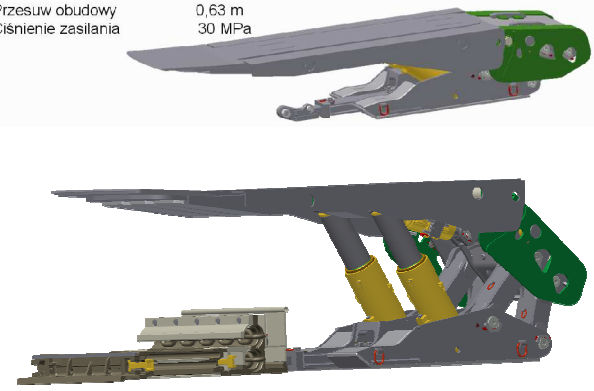
Kompleks wyposażony będzie w obudowę TAGOR-085/16-POz (rys. 9). Jest to obudowa dwustojakowa z lemniskatową stabilizacją prowadzenia stropnicy pracująca z krokiem wstecz. Stojaki jednostopniowe o średnicy tłoka Ø250 i tłoczyska Ø200, zasilane ciśnieniem do 30 MPa, ciśnienie nastawy na zaworze przelewowym 48 MPa. Przesuwnik sekcji Ø120/80 zasilany przez tłoczysko. Jedna podpora stropnicy Ø160/100 pracująca na podwójnym zaworze zwrotnym z zaworami przelewowymi 48 MPa na przestrzeni nadtłokowej i 34 MPa na podtłokowej, co daje odpowiednio siły 588 kN i 683 kN.

Obudowa ma stropnicę sztywną i spągnicę typu katamaran, belka układu przesuwnego wyposażona jest w łącznik umożliwiający regulację długości oraz gniazda mocujące siłownik korekcji poprzecznej trasy przenośnika. Stropnica i osłona odzawałowa wyposażona jest w osłony boczne ruchome, wysuwane dwoma siłownikami Ø90/63 dla stropnicy i jednym siłownikiem dla osłony odzawałowej. Osłony boczne prowadzone są na dwóch prowadnikach bez sprężyn mechanicznych. Sterowanie obudową oparte jest o system E+H z minimum 10 funkcyjny.

Funkcja korekcji poprzecznej przenośnika zrealizowana jest przez podsystem Tibatron (prod. Tiefenbach), w którym siłowniki korekcji poprzecznej połączone są w grupach co 5, 6 siłowników. W przedstawionym rozwiązaniu żądane pochylenie ustawiane będzie przez system sterowania kompleksem.

DANE TECHNICZNE SEKCJI LINIOWEJ
TAGOR-08,5/16-POz

Wysokość obudowy	
- maksymalna	1,6 m
- minimalna	0,85 m
Wysokość robocza	1,1 i 1,5 m
Nachylenie pokładu	
- podłużne	±35°
- poprzeczne	±20°
Podziałka obudowy	1,5 m
Liczba stojaków w sekcji	2 szt.
Podporność stojaka D250	
- robocza (48 MPa)	2,356 MN
- wstępna (30 MPa)	1,472 MN
Podporność obudowy	0,507 - 0,597 MPa
Przesuw obudowy	0,63 m
Ciśnienie zasilania	30 MPa



Rys.9. Obudowa ścianowa zmechanizowana TAGOR-0,85/1,6-POz. Źródło: opracowanie własne

6. System sterowania kompleksem ścianowym EH-WallControl

Bezawaryjną, automatyczną, prowadzoną w optymalny sposób z wykorzystaniem maksymalnie zainstalowanej mocy kompleksu dla panujących warunków górniczo-geologicznych dla osiągnięcia najwyższej efektywności zapewnia system sterowania urządzeniami kompleksu. Oparty jest on o rozwiązania systemu automatyki EH-WallControl (rys. 10).

Rys.10. System sterowania kompleksem ścianowym. Źródło: opracowanie własne

Do systemu automatyki dostarczane są informacje o pracy wszystkich urządzeń przodka ścianowego. Na podstawie tych informacji system wypracowuje sygnały do sterowania urządzeń (przenośników, sekcji obudo-

wy, pomp itp.). W przypadku pojawienia się informacji o zagrożeniach lub stanów przedawaryjnych w poszczególnych urządzeniach system sygnalizuje to na stanowisku operatora. W przypadku przekroczenia dopuszczalnych parametrów pracy lub wystąpienia stanów awaryjnych system wyłączy poszczególne urządzenia lub zatrzyma cały kompleks. System przystosowany jest do transmisji danych na powierzchnię.

Operator ze względów bezpieczeństwa ma możliwość uruchomienia w trybie awaryjnym poszczególnych urządzeń nawet w przypadku zagrożenia awarią. Stan taki jest odrębnie i wyraźnie zarejestrowany.

Stanowisko operatora to specjalna kabina umieszczona w chodniku podścianowym i przesuwana wraz z postępem ściany. Na stanowisku operatora wizualizowane są na ognioszczelnym monitorze wszystkie dane o pracy urządzeń kompleksu ścianowego, dostępne w poszczególnych menu wywoływanych na polecenie operatora.

Ponieważ w trakcie pracy kompleksu nie przewiduje się obsługi w ścianie, jedynie obecni będą obserwatorzy, ze stanowiska operatora załączane będą napędy poszczególnych urządzeń.

W cyklu pracy automatycznej operator steruje tylko prędkością posuwu głowicy urabiająco-ładujacej, natomiast pracą pozostałych urządzeń (przenośników, sekcji obudowy, pomp itp.) sterował będzie układ nadrzędny automatyki kompleksu ścianowego. Operator w dowolnym momencie ma możliwość przejścia na pracę ręczną i zmianę parametrów pracy urządzeń (np. ustawienia siłowników korekcyjnych obudowy lub zmianę uzależnienia prędkości przenośnika ścianowego od prędkości posuwu kombajnu).

Operator może w dowolnym momencie wyłączyć oraz zablokować możliwość załączenia dowolnego urządzenia (lub też wszystkich urządzeń kompleksu) na zasadzie wyłącznika bezpieczeństwa.

Stanowisko operatora wyposażone jest w układy umożliwiające obsługę wyłącznie przez uprawnione osoby oraz w układy tzw. „martwej ręki" wyłączające urządzenia kompleksu w przypadku np. zasłabnięcia operatora. Stanowisko operatora wyposażone jest w środki łączności głośnomówiącej oraz bezpośrednie połączenie z dyspozytorem kopalni.

7. Technologia urabiania

Kompleks ścianowy do wybierania niskich pokładów ze względu na swoją konfigurację sprzętową wymaga przygotowania chodników: podścianowego i nadścianowego w obudowie łukowej min. ŁP-10 lub większej. Napędy przenośnika ścianowego: wysypowy i zwrotny, posadowione na belce podnapędowej usytuowane będą w chodnikach co zapewni możliwość wyjazdu głowicy urabiająco-ładującej do przestrzeni chodników (rys. 11).

To funkcjonalne rozwiązanie umożliwia zawrębienie organu, który pozostaje w ścianie, w sposób prostopadły do kierunku ruchu maszyny (rys. 12). Przewidywany czas zawrębienia to ok. 1 minuta. Organy urabiające głowicy przystosowano do takiego sposobu zawrębienia. Niewielki czas zawrębiania pozwoli na zwiększenie wydajności całego kompleksu. Po zawrębieniu głowica urabiająco-ładująca rozpocznie eksploatację ściany na całej jej długości. Bezpośrednio po przejeździe głowicy urabiajaco-ładującej następować będzie przekładka przenośnika ścianowego, tak aby w obu kierunkach urządzenie wydobywcze było w kontakcie z ociosem (ważne w przypadku ścian nachylonych). Po dojeździe do końca ściany w drugim chodniku następować będzie ponowne zawrębienie i urabianie w przeciwnym kierunku.

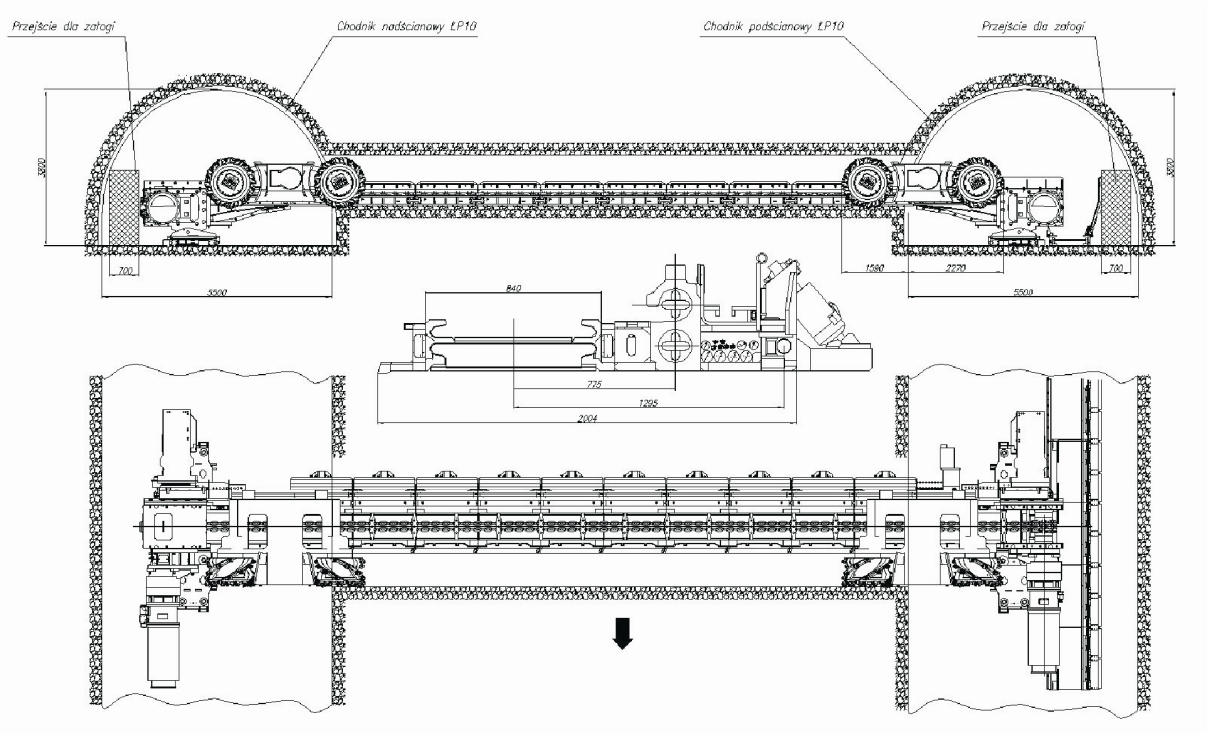
Na końcach przenośnika ścianowego w obrębie napędów umieszczono wyłączniki krańcowe oraz mechaniczny zderzak zabezpieczający przed niekontrolowanym wyjazdem głowicy urabiająco-ładującej do chodników.

Korekcja poprzeczna położenia przenośnika wraz z głowicą urabiająco-ładującą wykonywana będzie za pomocą siłowników korekcyjnych, umocowanych pomiędzy belkami przesuwnymi obudowy zmechanizowanej i zastawkami przenośnika ścianowego, na całej długości ściany. Korekcja poprzeczna głowicy urabiająco-ładującej względem przenośnika może być wykonywana przez regulację wysokości płóz ociosowych.

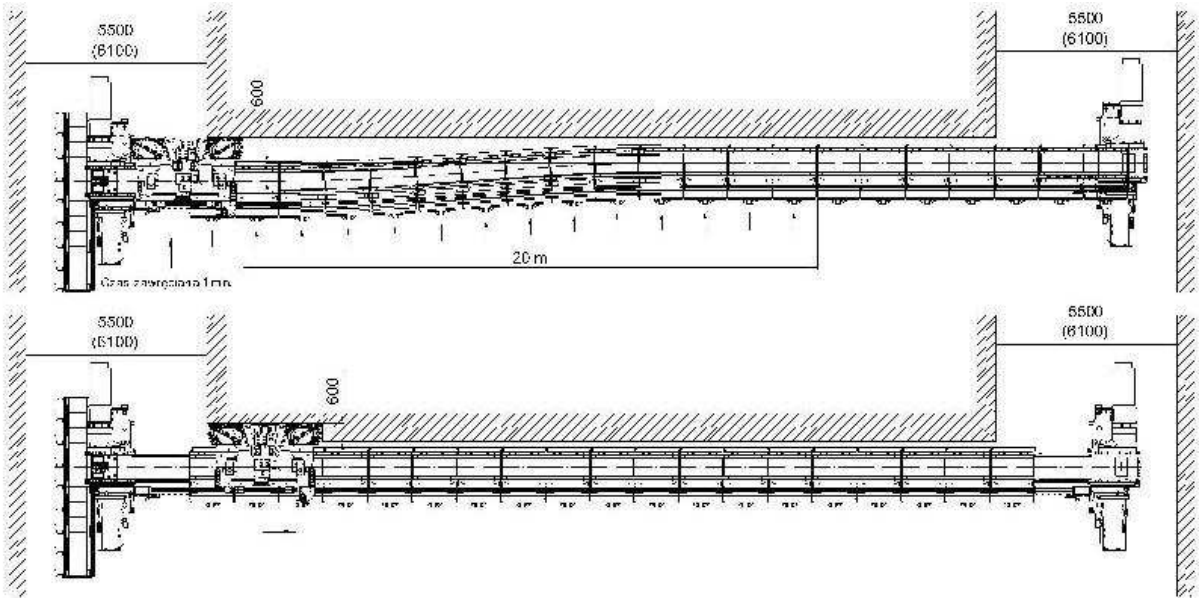
8. Podsumowanie

Połączenie najlepszych cech systemu strugowego i kombajnowego w urządzeniach kompleksu ścianowego pozwala na innowacyjne podejście do eksploatacji ścian niskich, a wykorzystanie zaawansowanych systemów sterowania i diagnostyki umożliwia budowę w pełni zautomatyzowanego kompleksu ścianowego do urabiania cienkich pokładów charakteryzującego się następującymi cechami:

- zautomatyzowanie procesu eksploatacji, czemu sprzyja prosta budowa głowicy i wyniesienie wszelkich urządzeń sterujących do chodników przyścianowych (podścianowe stanowisko operatorskie), co pozwala na sterowanie i obsługę urządzeń kompleksu ze stref bezpiecznych, bez konieczności przebywania załogi bezpośrednio w przodku wydobywczym,
- zastąpienie głowicy strugowej głowicą wyposażoną we frezujące, ślimakowe organy urabiające, stosowane powszechnie w systemach kombajnowych, pozwala na urabianie calizny o dużej twardości, z przerostami kamiennymi, i stanowi innowacyjne połączenie zalet obu systemów eksploatacji,



Rys.11. Usytuowanie kompleksu w ścianie. Źródło: opracowanie własne



Rys.12. Zawrębienie prostopadłe. Źródło: opracowanie własne

- niewielkie wymiary głowicy urabiająco-ładującej, przy dużej mocy zainstalowanej do napędu frezujących organów ślimakowych, oraz bardzo efektywne jej wykorzystanie, stawia nowe rozwiązanie wysoko w rankingu urządzeń urabiających poprzez frezowanie calizny,
- podniesienie efektywności eksploatacji w niskiej ścianie, dzięki zwartości konstrukcji, przy jednoczesnym zapewnieniu odpowiednio dużych przestrzeni do załadunku urobku na przenośnik zgrzebłowy i wspomaganiu ładowania odpowiednio ukształtowanymi ładowarkami,
- prosta budowa głowicy urabiająco-ładującej i wysoka niezawodność,
- zastosowanie układów zapewniających stabilne warunki pracy przekładni mechanicznych co do temperatury pracy i czystości oleju smarującego, podnosi trwałość i wydłuża okresy międzyprzeglądowe dla poszczególnych urządzeń kompleksu,
- zastąpienie wleczonego układaka wraz z przewodami zasilającymi systemem prowadzenia układaka i kontroli siły jego napięcia, z pełną synchronizacją prędkości głowicy urabiająco-ładującej oraz zapewnieniem pełnej synchronizacji z usytuowaniem maszyny w ścianie wydobywczej,

– sterowanie pracą obudów zmechanizowanych i przenośnika ścianowego na drodze elektrohydraulicznej z uwzględnieniem pełnego monitoringu biernego i aktywnego tak aby dokonywać okresowego wyrównywania frontu ściany, podążanie głowicy urabiająco-ładującej za złożem, kontrola spełzania przenośnika przy ścianach nachylonych.

Rys.13. Stanowisko prób kompleksu.
Źródło: opracowanie własne

Pełna realizacja przedsięwzięcia obejmuje wytworzenie wszystkich urządzeń kompleksu ścianowego na podstawie opracowanej dokumentacji technicznej, prace badawcze obejmujące badania stanowiskowe (rys. 13) oraz próby i badania eksploatacyjne kompleksu ścianowego. Próby eksploatacyjne zostaną przeprowadzone w KWK Jas-Mos w pokładzie 505/łg w ścianie 53a. Ściana badawcza będzie miała długość 145 m a jej wybieg to135 m. Zbrojenie ściany rozpocznie się w styczniu 2013 r.

Przedstawiony kompleks ścianowy do wybierania niskich pokładów to rozwiązanie niespotykane w skali światowej, umożliwiające wprowadzenie na rynek maszyn górniczych nowego produktu, pozwalającego na prowadzenie opłacalnej i bezpiecznej eksploatacji pokładów niskich, a innowacyjne rozwiązania zawarte w projekcie otwierają nowe możliwości wybierania tego typu pokładów przy zachowaniu efektywnej wydajności nawet w trudnych warunkach górniczo-geologicznych, wpływają na wydatne zmniejszenie zagrożenia bezpieczeństwa załogi górniczej, a przez automatyzację - poprawiają komfort obsługi i pracy ludzi obsługujących ścianę.

Literatura

1. Warunki techniczne głowicy urabiająco-ładującej typu GUŁ 500 G-2221, ZZM S.A., maj 2012.
2. Dokumentacja techniczno-ruchowa „Instrukcja obsługi" głowicy urabiająco-ładującej typu GUŁ 500 G-2221, ZZM S.A., maj 2012.
3. Opracowania własne ZZM S.A.
4. Tytko S., Walczak Z., Skrzypiec A., Dziura J.: Kompleks ścianowy do wybierania cienkich pokładów. VIII Międzynarodowa Konferencja Techniki Urabiania TUR 2011.

Artykuł wpłynął do redakcji w sierpniu 2012 r.

Czy wiesz, że...

…największe wartościowo umowy, jakie spółki wchodzące w skład Grupy Kopex podpisały w pierwszym kwartale 2012 dotyczyły współpracy z Kompanią Węglową, których przedmiotem głównie była dzierżawa kombajnów ścianowych i kombajnów chodnikowych, dostawa części zamiennych, elementów hydrauliki siłowej do obudowy zmechanizowanej, przenośników zgrzebłowych podścianowych i ścianowych oraz specjalistyczne usługi górnicze o łącznej wartości ok. 145,2 mln zł.

Mgr inż. Bartosz BUKOWIECKI
Mgr inż. Marcin MĄDRY
Mgr inż. Ryszard HYLLA
TAGOR S.A. Tarnowskie Góry

Optymalizacja cech geometrycznych sekcji obudowy zmechanizowanej w aspekcie minimalizacji sił wewnętrznych

S t r e s z c z e n i e

W artykule przedstawiono, wyniki procedury optymalizacyjnej z wykorzystaniem programów komputerowych „OStO" i „Opty", w których rozpatrywany jest płaski model sekcji obudowy zmechanizowanej. Oprócz procedury optymalizacyjnej wykorzystującej powyższe aplikacje, zaprezentowano przykład wyników obliczeń numerycznych z zastosowaniem metody elementów skończonych, których celem była optymalizacja obszaru spągnicy charakteryzującego się znaczną koncentracją naprężeń.

S u m m a r y

The article presents the results of the optimization procedure using the computer program "OStO" and "Opty" in which is examined the flat model of powered roof support. In addition to the optimization procedure using these applications, presented is the example of results of numerical calculations using finite element method (FEM), whose purpose was to optimize the base area characterized by a significant concentrations of stress.

1. Wstęp

Warunki konkurencji wśród producentów maszyn i urządzeń górniczych wymuszają konieczność stosowania procesu optymalizacji cech konstrukcyjnych sekcji obudowy zmechanizowanej. W praktyce jest to równoznaczne z koniecznością minimalizacji masy sekcji, w znacznym stopniu determinującej jej cenę. Pomimo tego, że procedura oceny ofert na wykonanie obudowy zmechanizowanej w przypadku przetargów organizowanych za granicą, jest znacznie bardziej skomplikowana niż na rynku krajowym, a czynnikiem decydującym o wyborze oferenta oprócz ceny jest wiele innych kryteriów, istnieje konieczność optymalizacji masy sekcji, chociażby w celu zmniejszenia nakładów finansowych producenta ponoszonych w procesie produkcyjnym.

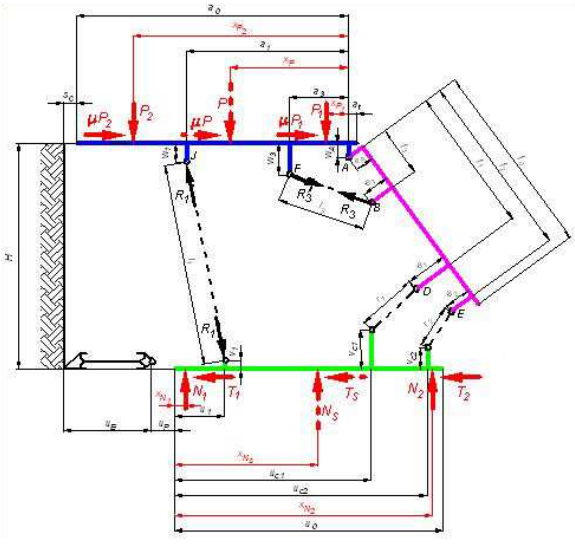
2. Założenia procedury optymalizacyjnej

Wymagania wynikające z procesu projektowania sekcji obudowy zmechanizowanej sprawiają, że optymalizacja cech geometrycznych sekcji jest szczególnie istotna w pierwszej fazie projektowania z uwagi na ograniczone czasowo procedury obejmujące cykl projektowania, pozyskania materiałów, planowania produkcji, realizacji cyklu zakładanych badań, oraz docelowej dostawy. W tym przypadku szczególnie istotne znaczenie ma prawidłowy dobór geometrycznych cech konstrukcyjnych sekcji, bezpośrednio wpływających na poziom wartości sił wewnętrznych, ponieważ jest to główny czynnik decydujący o masie sekcji.

Procedura minimalizacji masy sekcji obudowy może więc być sprowadzona do minimalizacji wartości sił wewnętrznych w jej podstawowych elementach.

Procedura optymalizacyjna realizowana jest za pomocą programów komputerowych „OStO" i „Opty", opracowanych w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. Powyższe aplikacje komputerowe umożliwiają dobór cech geometrycznych łańcucha kinematycznego sekcji charakteryzującego się minimalną wartością funkcji celu i spełniającego nałożone ograniczenia wynikające z założeń konstrukcyjnych, możliwości wykonawczych, właściwości użytkowych i wymagań normatywnych [1].

Obliczenia prowadzone celem uzyskania optymalnej postaci cech geometrycznych sekcji obudowy zmechanizowanej realizowane są według schematu łańcucha kinematycznego przedstawionego na rysunku 1.



Rys.1. Schemat statyczny sekcji obudowy zmechanizowanej

Przy wyznaczaniu sił wewnętrznych w podstawowych elementach sekcji za pomocą programu komputerowego „OStO" schemat statyczny obciążenia sekcji obudowy zakłada, że wartość siły wypadkowej pochodzącej od stojaków hydraulicznych określonej symbolem R_1 oraz siła w podporze stropnicy określona symbolem R_3 są znane przez użytkownika. Celem wyznaczenia sił wewnętrznych w łańcuchu kinematycznym o zadanych wymiarach wartości sił R_1 i R_3 wpisywane są w odpowiednim oknie programu.

Wartość sił oddziaływujących na stropnicę oraz spągnicę, będących wynikiem reakcji skał otaczających wyrobisko jest nieznana, a ich miejscem przyłożenia są końce elementów. Siły oddziaływujące na stropnicę oznaczono symbolem P oraz μP lub ich składowe P_1, P_2, μP_1, μP_2, z kolei siły oddziaływujące na spągnicę charakteryzują się symbolem N_s i T_s lub ich składowe N_1, N_2, T_1, T_2.

Układ równań równowagi sekcji jest słabo uwarunkowany, co oznacza, że niewielkie zmiany wartości cech geometrycznych łańcucha kinematycznego istotnie wpływają na wartość sił wewnętrznych w głównych elementach i ich parach przegubowych. Istotnym czynnikiem uzależnionym od postaci geometrycznej łańcucha kinematycznego sekcji jest wpływ postaci konstrukcyjnej sekcji na jej właściwości funkcjonalne i zachowanie odpowiednich wymogów bezpieczeństwa.

W związku z powyższym wydaje się koniecznym, aby proces doboru postaci geometrycznej sekcji obudowy był rozpatrywany wielokryterialnie, a jej ostateczna postać została wygenerowana w wyniku procesu optymalizacji przy użyciu dedykowanych narzędzi.

3. Funkcja celu i warunki ograniczające

Jako główne kryterium w procesie optymalizacji założono minimalizację całkowitej masy sekcji. Masa poszczególnych elementów sekcji jest uzależniona od wartości przenoszonych sił wewnętrznych. Przy założeniu warunku stałej wartości współczynnika bezpieczeństwa dla wszystkich elementów podstawowych sekcji przyjęto, że energia sprężysta zgromadzona w danym elemencie jest proporcjonalna do jego masy.

Zgodnie z przyjętym założeniem, proces optymalizacyjny jest prowadzony we wstępnej fazie procesu projektowania sekcji, kiedy jeszcze nie jest znana geometria poszczególnych przekrojów podstawowych elementów. W związku z powyższym założono, że miarą energii sprężystej jest współczynnik *WSE*, będący funkcją momentu zginającego, wysokości sekcji oraz wskaźnika k_{El}, charakteryzującego sztywność zgnania elementu sekcji.

$$WSE = WSE\left(Mg,\ H,\ k_{El}\right) \tag{1}$$

gdzie:

Mg — moment zginający przenoszony przez rozpatrywany element,

H — wysokość stosowania sekcji,

k_{El} — wskaźnik sztywności zginania elementu.

Wartość wskaźnika k_{El} została określona na podstawie przeprowadzonych analiz rozwiązań konstrukcyjnych elementów sekcji produkowanych obecnie.

Równie ważnym kryterium z uwagi na funkcjonalność sekcji jest uzyskanie odpowiednio dużej siły działającej na strop wyrobiska ścianowego. Cechy geometryczne łańcucha kinematycznego bezpośrednio wpływają na położenie i wartość reakcji stropu na stropnicę sekcji. W związku z powyższym funkcja celu przyjęta w procesie optymalizacyjnym ma postać współczynnika k_{WP} określonego wzorem (2) [2].

$$k_{WP} = \left(\frac{WSE(Mg,H,k_{El})}{P(H)}\right)_{\max} \quad H \in (H_{\min},H_{\max}) \tag{2}$$

gdzie:

WSE — współczynnik energii sprężystej,

Mg — moment zginający przenoszony przez rozpatrywany element,

H — wysokość stosowania sekcji,

k_{El} — wskaźnik sztywności zginania elementu,

P — wypadkowa wartość siły oddziaływania stropu na stropnicę.

Procedura optymalizacyjna polega na znalezieniu takich cech geometrycznych łańcucha kinematycznego sekcji obudowy, aby współczynnik k_{WP} był jak najmniejszy. Podczas rozwiązywania zadania optymalizacyjnego przyjmowane są pewne ograniczenia nakładane na cechy geometryczne sekcji wynikające z wymogów bezpieczeństwa jej użytkowania. Jako zmienne decyzyjne traktowane są wymiary geometryczne poszczególnych elementów sekcji, a zakres ich zmian definiowany jest jako przedział domknięty. Zmienną decyzyjną oprócz wymiarów stropnicy, osłony odzawałowej, łączników lemniskatowych i spągnicy jest również wypadkowa siła pochodząca od stojaków hydraulicznych R_1 oraz siła pochodząca od siłownika podpory R_3.

Ograniczenia, nakładane na wartości parametrów charakteryzujących cechy geometryczne sekcji, wymuszane są warunkiem poprawnej funkcjonalności sekcji. Na przykład: rozstaw osi łączników lemniskatowych w miejscu mocowania w osłonie odzawałowej podyktowany koniecznością wygospodarowania miejsca dla prowadnika osłony bocznej. Podobnie z warunków prawidłowej współpracy sekcji obudowy zmechanizowanej z górotworem i konieczności uzyskania tego samego zwrotu siły tarcia pomiędzy stropem, a stropnicą może wyniknąć wymóg warunku monotoniczności krzywej lemniskatowej w całym zakresie wysokości stosowania sekcji lub ograniczenie minimalnej wartości kąta pochylenia osłony odzawałowej, powiązane z zakresem wysokości stosowania sekcji.

Poszczególne cechy geometryczne łańcucha kinematycznego sekcji pełnią w procesie optymalizacyjnym funkcję zmiennych decyzyjnych. W zależności od złożoności zadania optymalizacyjnego, determinowanej głównie przez rodzaj i specyfikę nałożonych warunków ograniczających, wykonujący obliczenia ustala liczbę zmiennych decyzyjnych oraz przedziały ich zmienności, odniesione do wymiarów łańcucha kinematycznego sekcji referencyjnej – sekcji, której zakres wysokości stosowania jest zbliżony do zakresu wysokości stosowania podanego w Specyfikacji Istotnych Warunków Zamówienia. Procedura przeszukiwania zbioru możliwych cech geometrycznych łańcucha kinematycznego sekcji, realizowana jest za pomocą programu „Opty".

4. Przykład zastosowania procedury optymalizacyjnej

Celem zilustrowania korzyści wynikających ze stosowania procedury optymalizacyjnej poniżej przedstawiono cztery przykłady optymalizacji cech geometrycznych łańcucha kinematycznego sekcji. W rozpatrywanych przykładach sekcjami referencyjnymi były sekcje, będące obecnie w eksploatacji lub co do których zostały sporządzone wszystkie obliczenia wytrzymałościowe oraz została opracowana dokumentacja techniczna.

Podstawowe parametry techniczne sekcji referencyjnych zestawiono w tabeli 1.

W rozpatrywanym zadaniu optymalizacyjnym jako zmienne decyzyjne dla wszystkich typów sekcji przyjęto długości poszczególnych odcinków charakteryzujących cechy geometryczne. Zmienną decyzyjną była również wypadkowa siła w stojakach hydraulicznych. Zbiór wszystkich zmiennych założonych w procedurze optymalizacyjnej zestawiono w tabeli 2. Oznaczenia podane poniżej zgodne są ze schematem przedstawionym na rysunku 1.

Zadanie optymalizacyjne rozpatrywane było przy założeniu 16 zmiennych. Pozostałe wielkości charakteryzujące łańcuch kinematyczny sekcji, zaznaczone na rysunku 1 oraz siłę w podporze potraktowano jako stałe. Przyjęte przedziały zmienności zmiennych decyzyjnych wykazanych w tabeli 2 określono indywidualnie dla każdego typu sekcji z osobna.

Wspólną cechą ograniczeń nałożonych na analizowane zadania była założona liczba próbek dopuszczalnych zestawów spośród, których odbywał się proces losowania wariantów spełniających pozostałe ograniczenia. Dopuszczono możliwość lokalnego przegięcia toru końca stropnicy o szerokości – Δ –mniejszej od 5 mm. Pozostałe ograniczenia dotyczące m.in. maksymalnej wartości odkrycia stropu czy zakresu zmiany szerokości przyczołowej ścieżki stropu zostały założone zgodnie z wymogami narzuconymi przez Zamawiającego.

W wyniku obliczeń realizacji całej procedury optymalizacyjnej otrzymano, dla każdej z rozpatrywanych sekcji referencyjnych listę dwudziestu wariantów cech geometrycznych łańcucha kinematycznego spełniających wszystkie nałożone warunki ograniczające, uszeregowane w kolejności rosnących wartości funkcji celu – współczynnika k_{WP}. Do dalszej analizy wybrano łańcuch kinematyczny charakteryzujący się najmniejszą wartością współczynnika k_{WP}, spośród tych rozwiązań, które spełniały założenia co do funkcjonalności i wymagań normatywnych. Jednym z wymogów, który powinien być spełniony, a w procedurze optymalizacyjnej nie jest definiowany jako parametr ograniczający, jest wymagany przepisami wymiar przejścia dla obsługi. Przy wyborze postaci łańcucha kinematycznego, istotnym elementem zakwalifikowania wybranego rozwiązania jako docelowego, jest bezkolizyjna współpraca pomiędzy urządzeniami, których użytkowanie jest zależne od cech geometrycznych sekcji obudowy zmechanizowanej.

W tabeli 3 porównano wartości współczynnika k_{WP} dla sekcji referencyjnych i sekcji o zoptymalizowanym łańcuchu kinematycznym.

Na rysunkach 2 – 5 porównano łańcuch kinematyczny sekcji referencyjnej, zaznaczony linią przerywaną,

Podstawowe parametry techniczne sekcji obudowy zmechanizowanej, traktowanych w procedurze optymalizacyjnej jako sekcje referencyjne

Tabela 1

Typ sekcji	Zakres wysokości sekcji [m]	Zakres wysokości stosowania sekcji [m]	Podporność robocza sekcji [MPa]	Liczba stojaków	Podporność robocza stojaka [MN]	Podziałka [m]	Masa sekcji [kg]
Tagor-22/45	2,2÷4,5	2,4÷4,4	1,15÷1,16	2	4,31	1,75	30166
Tagor-16/36	1,6÷3,6	2,0÷3,5	0,71 - 0,78	2	3,29	1,75	21484
Tagor-12/28	1,2÷2,8	1,4÷2,7	0,76 - 0,88	2	2,61	1,5	17340
Tagor-13/31	1,3÷3,1	1,5÷3,0	0,32 – 0,38	2	1,31	1,5	13560

Zmienne decyzyjne w procedurze optymalizacyjnej

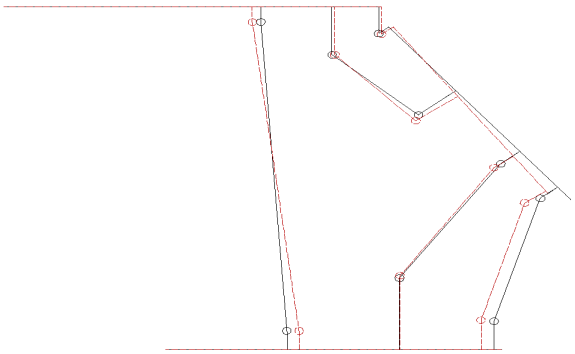
Tabela 2

Podzespół	Stropnica	Spągnica	Osłona odzawałowa	Łączniki lemniskatowe	Warość siły w stojakach
Oznaczenie cechy geometrycznej sekcji na rysunku 1	a_0	u_{c1}	f_1	r_1	R_1
	a_1	u_{c2}	f_2	r_2	
	w_1	V_{c1}	e_A		
	w_A	V_{c2}	e_A		
			e_2		
Liczba zmiennych	4	4	5	2	1

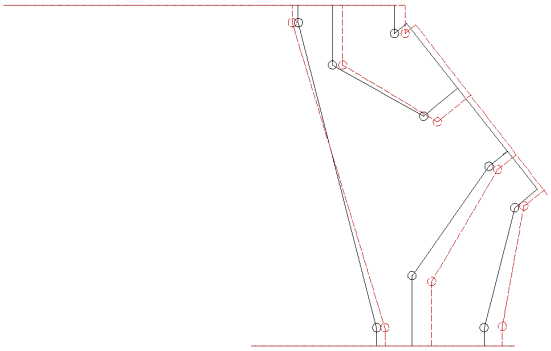
Wyniki zadania optymalizacyjnego – porównanie wartości współczynnika k_{WP}

Tabela 3

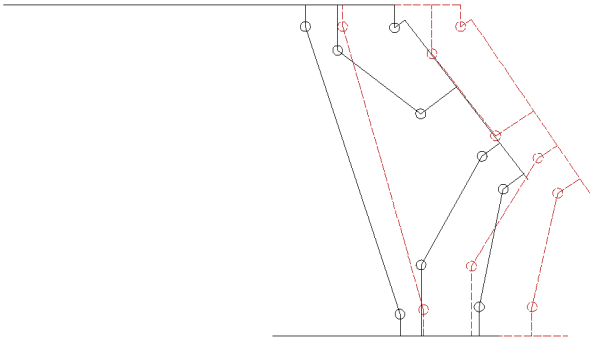
Typ sekcji referencyjnej		Tagor-22/45	Tagor-16/36	Tagor-12/28	Tagor-13/31
Wartość współczynnika k_{WP} dla sekcji	referencyjnej	117,03	100,64	69,42	24,45
	zoptymalizowanej	88,97	78,17	60,03	14,29
Procentowy spadek k_{WP}		24%	22,4%	13,6%	41,6%



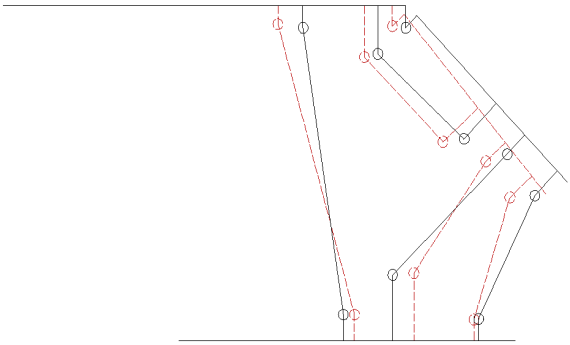
Rys.2. Porównanie cech geometrycznych sekcji referencyjnej typu Tagor-22/45-POz i sekcji zoptymalizowanej



Rys.3. Porównanie cech geometrycznych sekcji referencyjnej typu Tagor-16/36-POz i sekcji zoptymalizowanej



Rys.4. Porównanie cech geometrycznych sekcji referencyjnej typu Tagor-13/31-POz i sekcji zoptymalizowanej



Rys.5. Porównanie cech geometrycznych sekcji referencyjnej typu Tagor-12/28-POz i sekcji zoptymalizowanej

z łańcuchem kinematycznym uzyskanym w wyniku procedury optymalizacyjnej, przedstawionym linią ciągłą.

Z rysunków 2, 3 i 5 wynika, że zmiany cech geometrycznych poszczególnych elementów sekcji, uzyskane na drodze procedury optymalizacyjnej są nieznaczne w stosunku do rozwiązania referencyjnego. W przypadku optymalizacji cech geometrycznych sekcji typu Tagor -13/31-POz uzyskano rozwiązanie charakteryzujące się znacznie krótszymi: stropnicą i spągnicą (rys. 4) oraz największym procentowym zmniejszeniem wartości funkcji celu.

Wpływ zaproponowanej zmiany cech geometrycznych łańcucha kinematycznego sekcji na wartość sił wewnętrznych przedstawiono w tabeli 4. W wyniku optymalizacji w każdym elemencie sekcji typu Tagor-22/45-POz oraz Tagor-16/36-POz odnotowano zmniejszenie wartości sił wewnętrznych. W przypadku sekcji

typu Tagor-12/28-POz oraz Tagor-13/31-POz maksymalne wartości sił wewnętrznych nie we wszystkich elementach sekcji zoptymalizowanej są mniejsze. W tabeli 4 wyróżniono podkreśleniem i kursywą przypadki uzyskania większych wartości sił wewnętrznych w danym elemencie sekcji.

Z tabeli 4 wynika, że maksymalny moment zginający w osłonie odzawałowej sekcji o zoptymalizowanych cechach geometrycznych jest o 21% większy od maksymalnego momentu zginającego w osłonie sekcji referencyjnej typu Tagor-13/31-POz. W tym przypadku zwiększyły się również maksymalne wartości sił w łącznikach – odpowiednio o 14% i 17%. Jednakże zmniejszenie maksymalnej wartości momentu zginającego w stropnicy o 31%, wraz z równoczesnym znacznym zmniejszeniem długości tego elementu sprawiło, że funkcja celu – współczynnik k_{WP} – będąca miarą całkowitej jednostkowej energii sprężystej zakumulowanej w sekcji jest mniejsza. W tym wypadku zmniejszenie wartości siły wewnętrznej tylko w jednym elemencie, przy równoczesnym zwiększeniu obciążenia pozostałych elementów sekcji, może okazać się rozwiązaniem korzystniejszym, gdyż będzie skutkowało zmniejszeniem masy całej sekcji. Wynika stąd również, że stosowanie w procesie optymalizacyjnym funkcji celu zależnych wyłącznie od sił wewnętrznych nie jest racjonalne.

W wyniku przeprowadzonej optymalizacji cech geometrycznych sekcji, ich masy w odniesieniu do sekcji referencyjnych zostały pomniejszone o wartości przedstawione w tabeli 5.

W celu dokładnego określenia masy dla sekcji zoptymalizowanych, zbudowano ich wirtualne modele przestrzenne i porównano z modelami sekcji referencyjnych. W przypadku sekcji obudowy typu Tagor-16/36-POz zmniejszenie masy jest stosunkowo niewielkie. W dwóch przypadkach – sekcji typu Tagor-22/45-POz i Tagor-12/28-POz, redukcja masy wyniosła 3,5%. Na uzyskane rezultaty miały wpływ przede wszystkim warunki ograniczające, przyjmowane w procesie optymalizacji, celem spełnienia zakładanych wymagań. Najbardziej

Wyniki zadania optymalizacyjnego – porównanie maksymalnych wartości sił wewnętrznych w podstawowych elementach sekcji

Tabela 4

Typ sekcji referencyjnej	Siła wewnętrzna	Moment zginający [kNm]			Siła podłużna [kN]	
	Element sekcji	Stropnica	Osłona odzawałowa	Spągnica	Łącznik przedni	Łącznik tylny
Tagor-22/45	Referencyjna	7945	4334	11008	10929	9593
	Zoptymalizowana	7669	3754	9916	9052	7855
Tagor-16/36	Referencyjna	4954	3477	8275	9875	8617
	Zoptymalizowana	4594	3384	7838	9113	7868
Tagor-12/28	Referencyjna	3845	2678	5867	9472	8231
	Zoptymalizowana	*3893*	1936	5314	6326	4974
Tagor-13/31	Referencyjna	2252	1255	2984	4735	4173
	Zoptymalizowana	1530	*1513*	2887	*5424*	*4884*

Wyniki zadania optymalizacyjnego – wartości masy dla poszczególnych typów sekcji obudowy

Tabela 5

Typ sekcji referencyjnej		Tagor-22/45	Tagor-16/36	Tagor-12/28	Tagor-13/31
Masa sekcji referencyjnej	[kg]	30166	21484	17340	13560
Masa sekcji zoptymalizowanej		29110	21070	16735	12610
Różnica masy		1056	414	605	950
Procentowy spadek masy	[%]	3,5	2	3,5	7

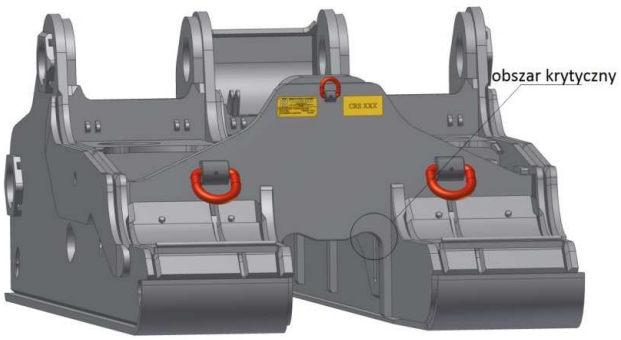
korzystny wynik redukcji masy występuje w przypadku sekcji typu Tagor-13/31-POz. Dzięki znacznemu skróceniu stropnicy, oprócz zmniejszenia masy sekcji o 7%, wymaganą podporność sekcji uzyskano stosując stojak o podporności roboczej mniejszej o 13% od podporności stojaka sekcji referencyjnej.

5. Zastosowanie procedury optymalizacyjnej z wykorzystaniem metody elementów skończonych na przykładzie spągnicy sekcji obudowy

W dążeniu do optymalizacji sekcji obudowy zmechanizowanej i jej poszczególnych elementów w procesie projektowania wykorzystuje się zaawansowane techniki symulacji komputerowych, takich jak np.: realizowane za pomocą modułu oprogramowania ANSYS WORKBENCH design exploration, który pozwala przeprowadzić wielowariantowe analizy w przestrzeni trójwymiarowej w zależności od wybranych parametrów. Należy jednak pamiętać, że korzystanie z narzędzi optymalizacyjnych nie zastępuje wiedzy i doświadczenia konstruktora, lecz stanowi istotny element wspomagający jego pracę. Brak jest bowiem narzędzi automatycznie wybierających najkorzystniejsze rozwiązanie pod względem ekonomicznym przy zachowaniu wymaganego współczynnika bezpieczeństwa oraz funkcjonalności i bezpieczeństwa użytkowania projektowanego urządzenia. Konstruktor lub grupa specjalistów, odpowiedzialnych za proces wyznaczenia optymalnych parametrów, samodzielnie ustala kryteria, analizuje wykonane symulacje, dokonuje wielokrotnego ich przeliczenia oraz wyciąga wnioski.

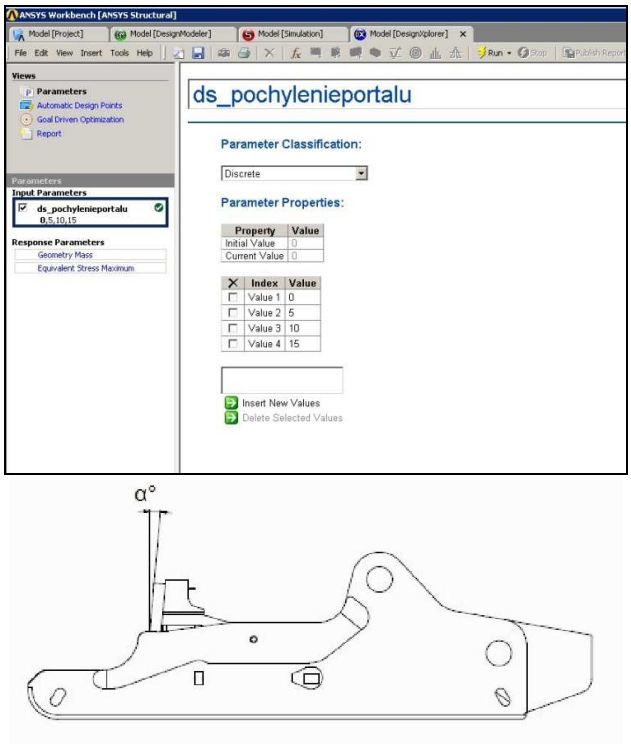
Optymalizacja może dotyczyć wielu aspektów projektowanej konstrukcji np. rozmieszczenia i pochylenia poszczególnych elementów, średnicy otworów, zaokrągleń i grubości poszczególnych blach, jak również ich kształtu.

Poniżej przedstawiono przykład wykorzystania oprogramowania metody elementów skończonych do optymalizacji jednego z najbardziej wytężonych fragmentów spągnicy sekcji obudowy zmechanizowanej typu Tagor 24/53-POz, zaznaczonego okręgiem na rysunku 6.



Rys.6. Fragment modelu spągnicy rozpatrywany w procesie optymalizacji

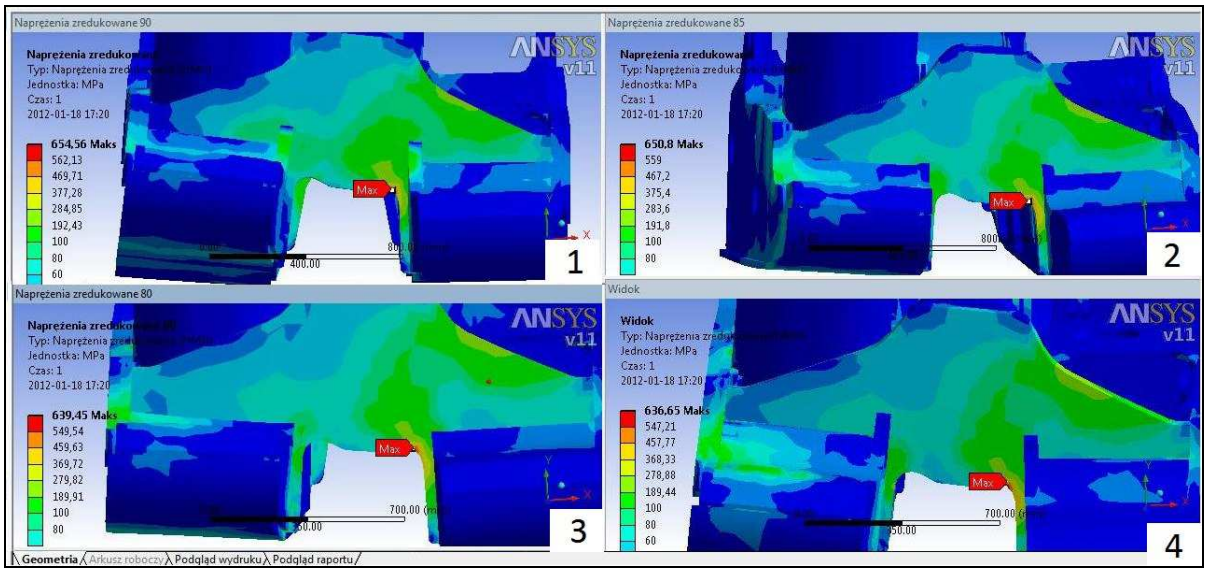
Powyższy rysunek przedstawia wyjściowy model spągnicy, którego przekroje poprzeczne, usytuowanie oraz kształt poszczególnych blach przyjęto na podstawie obliczeń płaskiego modelu sekcji. Model spągnicy, przedstawiony na rysunku 6 został przygotowany w programie Autodesk Inventor w sposób pozwalający na automatyczne przybudowywanie postaci konstrukcyjnej spowodowane zmianą parametrów decyzyjnych. Założeniem procesu optymalizacyjnego jest, tak jak w przypadku optymalizacji modelu płaskiego sekcji minimalizacja wytężenia spągnicy. Jako podstawową zmienną decyzyjną w prowadzonym procesie optymalizacji przyjęto pochylenie portalu w odniesieniu do rozwiązania wyjściowego, w którym portal jest pionowy. Ze względu na ograniczenia wynikające z wymogów właściwego użytkowania sekcji obudowy zmechanizowanej ustalono, że maksymalny kąt nachylenia portalu nie może być większy od 15°.



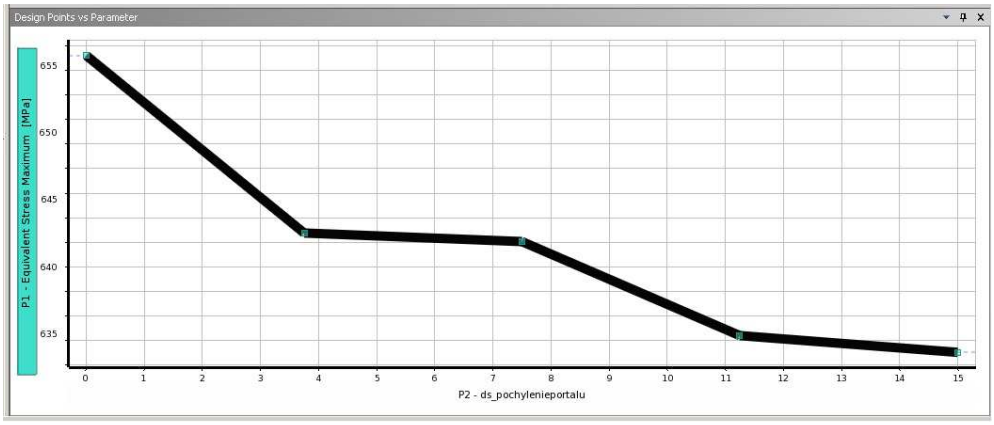
Rys.7. Ustawienia parametrów decyzyjnych

W wyniku przeprowadzonych symulacji komputerowych z wykorzystaniem modeli spągnicy, przebudowywanych automatycznie, w zależności od wartości kąta pochylenia portalu uzyskano mapy rozkładu naprężenia zredukowanego według hipotezy Hubera w analizowanym fragmencie spągnicy, przedstawione przykładowo na rysunku 8.

Na rysunku 9 przedstawiono wykres zależności pomiedzy maksymalną wartością naprężenia zredukowanego a kątem pochylenia portalu. Największe naprężenie zredukowane występuje przy portalu umieszczonym pionowo. Z przedstawionego wykresu wynika, że pochylenie portalu korzystnie wpływa na wytężenie analizowanego węzła spągnicy.



Rys.8. Zestawienie wyników symulacji dla przyjętych wartości parametru decyzyjnego



Rys.9. Wykres wpływu pochylenia portalu na maksymalną wartość naprężenia zredukowanego analizowanego węzła spągnicy

Wyniki zadania optymalizacyjnego – porównanie wartości naprężenia zredukowanego w zależności od kąta pochylenia portalu

Tabela 6

Wariant	Kąt pochylenia portalu	Wartość maksymalna naprężenia zredukowanego	Procentowy spadek naprężenia
	[^{o}]	[MPa]	[%]
1	0	654	-
2	5	650	0,6
3	10	639	2,3
4	15	636	2,8

W tabeli 6 zestawiono maksymalne wartości naprężenia zredukowanego uzyskane metodą elementów skończonych za pomocą oprogramowania ANSYS.

Opracowanie wniosków stanowi ostatni etap procesu optymalizacji. W analizowanym przykładzie optymalizacji wytężenia węzła konstrukcyjnego łączącego tężnik z portalem spągnicy sekcji obudowy zmechanizowanej w aspekcie kąta pochylenia portalu, optymalnym rozwiązaniem jest położenie portalu charakteryzowane przez kąt pochylenia, wynoszący 15^0. W wyniku przeprowadzonych czynności mających na celu poprawę stanu naprężenia jego poziom obniżył się o 2,8% w stosunku do wyjściowego rozwiązania.

6. Wnioski

Przeprowadzony proces optymalizacji łańcucha kinematycznego sekcji obudowy, którego kryterium była minimalizacja wartości sił wewnętrznych wykazał, że

dzięki zastosowanym procedurom przy użyciu aplikacji komputerowej „Opty" otrzymano korzystniejsze rozwiązania w odniesieniu do rozwiązań referencyjnych. Rozwiązania uzyskane w procesie optymalizacji charakteryzują się znacznie mniejszą wartością wskaźnika k_{WP} definiującego funkcję celu. W wyniku przeprowadzonego procesu optymalizacji największe zmniejszenie wartości wskaźnika k_{WP} występuje w przypadku sekcji typu TAGOR-13/31-POz i wynosi 41,6%, Optymalizacja cech geometrycznych tej sekcji skutkuje zmniejszeniem jej masy o 7%. W przypadku optymalizacji pozostałych rozpatrywanych sekcji referencyjnych zmniejszenie wartości funkcji celu jest nie większe niż 25%. Prawdopodobnie na taki wynik miały wpływ mniej restrykcyjne ograniczenia cech geometrycznych sekcji, przyjęte w procesie optymalizacji. Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń można stwierdzić, że związek pomiędzy funkcją celu przyjmowaną w procesie optymalizacyjnym – współczynnikiem k_{WP} a zmianą masy sekcji nie jest jednoznaczny. Na przykład szacowane zmniejszenie masy sekcji typu TAGOR-22/45-POz i TAGOR-12/28-POz wynikające z optymalizacji cech geometrycznych, wynosi 3,5%, natomiast współczynnik k_{WP} zmniejszył się odpowiednio o 24% i 13,6%. Świadczy to o konieczności ściślejszego uzależnienia funkcji celu od masy sekcji.

Redukcja masy sekcji jedynie o kilka procent nie może deprecjonować celowości optymalizacji jej cech geometrycznych. Na przykład: przy produkcji kompletu złożonego ze 100 sekcji typu Tagor-16/36-POz, w przypadku której uzyskano zmniejszenie masy tylko o 2%, oszczędności zużycia stali mogą wynosić ponad 40 t. Mniej kosztowne będą również takie procesy technologiczne, jak: spawanie, czy obróbka mechaniczna.

Istnieje również możliwość wykorzystania narzędzi programowych metody elementów skończonych do optymalizacji wytężenia podstawowych elementów sekcji. Tok realizacji tak zdefiniowanego zadania przedstawiono na przykładzie analizy fragmentu spągnicy. W przypadku rozpatrzenia tylko jednej zmiennej decyzyjnej - kąta pochylenia portalu, uzyskano zmniejszenie maksymalnej wartości naprężenia zredukowanego w analizowanym obszarze o 2,8%.

Literatura

1. Bukowiecki B., Szweda S.: Analiza ograniczeń nakładanych na cechy geometryczne nowoczesnych sekcji obudowy zmechanizowanej. Polski Kongres Górniczy 2010. Górnictwo Podziemne. Gliwice 9–10.09.2010 r. Wydział Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej. Materiały Konferencyjne Kongresu Górnictwa Podziemnego. Katedra Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. 2010, T. 2 s. 215–224.
2. Bukowiecki B., Gałuszka A., Szweda S.: Optymalizacja cech geometrycznych łańcucha kinematycznego mechanizmu na przykładzie sekcji obudowy zmechanizowanej. Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review) Vol 2012, Nr. 03a, s.131

Artykuł wpłynął do redakcji w sierpniu 2012 r.

Czy wiesz, że...

…w okresie trzech ostatnich kwartałów Kopex SA zawarł w sumie trzy duże kontrakty na dostawę kompleksów ścianowych do Rosji. W październiku 2011 roku do kopalni „Antonowskaja" o wartości blisko 16,2 mln euro, w kwietniu 2012 roku do kopalni „Shahta Butovskaya" o wartości 16,5 mln euro i najnowszy kontrakt z lipca 2012 r. do kopalni „Wladymirskaya" o wartości 11,3 mln euro.

Dr inż. Włodzimierz MADEJCZYK
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Badania sekcji obudowy zmechanizowanej oraz hydraulicznych elementów wykonawczych produkcji Fabryki Maszyn i Urządzeń TAGOR SA

S t r e s z c z e n i e

Fabryka Maszyn i Urządzeń TAGOR SA jest jednym ze zleceniodawców kompleksowych badań stanowiskowych sekcji obudowy zmechanizowanej prowadzonych w ITG KOMAG. W publikacji scharakteryzowano prowadzone badania najnowszych produktów TAGOR-u jakim są sekcje obudowy zmechanizowanej przewidziane na rynek rosyjski, do kopalni „Antonowskaja". Przedstawiono również badania stojaków o dużych średnicach przeznaczonych na rynek australijski.

S u m m a r y

Fabryka Maszyn i Urządzeń TAGOR SA is one of the orderers of comprehensive testing of powered roof supports carried out in KOMAG. The tests of recent TAGOR products such as powered roof supports manufactured for the Russian market to be used in "Antonowskaja" mine are characterized. Also tests of hydraulic legs of high diameters manufactured for the Australian market are presented.

1. Wprowadzenie

Zgodnie z założeniami systemu oceny zgodności, każdy wyrób wprowadzany na rynek Unii Europejskiej, musi uprzednio podlegać procedurze oceny zgodności, określonej w dyrektywie odpowiedniej dla danego wyrobu. Dotyczy to również maszyn i urządzeń stosowanych w górnictwie.

Górniczą obudowę zmechanizowaną zakwalifikowano do urządzeń o zwiększonym ryzyku występowania zagrożeń, wymagających szczególnego postępowania przed jej wprowadzeniem do stosowania, co zawarto w Dyrektywie Maszynowej 2006/42/WE [1]. Zdefiniowano w niej jedynie podstawowe wymagania bezpieczeństwa użytkowania sekcji obudowy zmechanizowanej, szczegółowe wymagania odniesiono natomiast do grupy norm europejskich zharmonizowanych z tą dyrektywą. Ze wspomnianej grupy norm w Polsce wdrożono trzy normy zharmonizowane: PN-EN 1804-1+A1:2011, PN-EN 1804-2+A1:2010 i PN-EN 1804-3+A1:2012, obejmujące swoim zakresem sekcje obudowy zmechanizowanej, hydrauliczne elementy wykonawcze i zawory hydrauliczne [2, 3, 4].

Normy te są podstawowymi dokumentami odniesienia dla akredytowanych badań, wykonywanych między innymi przez Laboratorium Badań Instytutu Techniki Górniczej KOMAG. Zakres akredytowanych badań wykonywanych w laboratorium, obejmuje dodatkowo badania wytrzymałościowe elementów obudowy chodnikowej oraz stojaków ciernych.

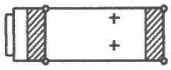
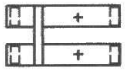
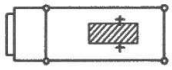
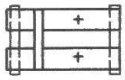
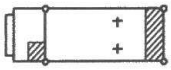
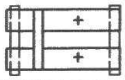
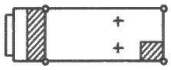
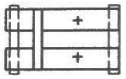
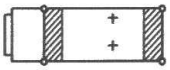
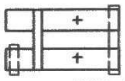
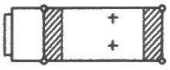
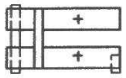
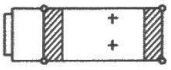
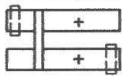
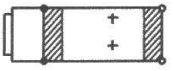
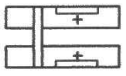
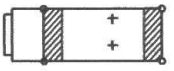
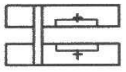
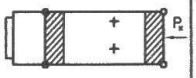
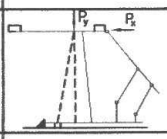
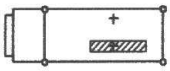
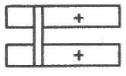
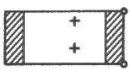
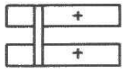
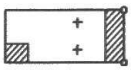
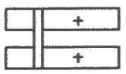
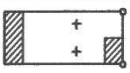
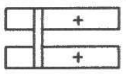
Zleceniodawcami badań są przede wszystkim krajowi producenci maszyn górniczych, jak również producenci z zagranicy. Od szeregu lat stałym zleceniodawcą kompleksowych badań sekcji obudowy zmechanizowanej jest Fabryka Maszyn i Urządzeń TAGOR SA, wchodzące w skład Grupy Kapitałowej KOPEX SA. Partnerami w zakresie badań są również inne podmioty Grupy Kapitałowej KOPEX, tj.: Zabrzańskie Zakłady Mechaniczne SA oraz DOZUT-TAGOR Sp. z o. o.

2. Badania stanowiskowe

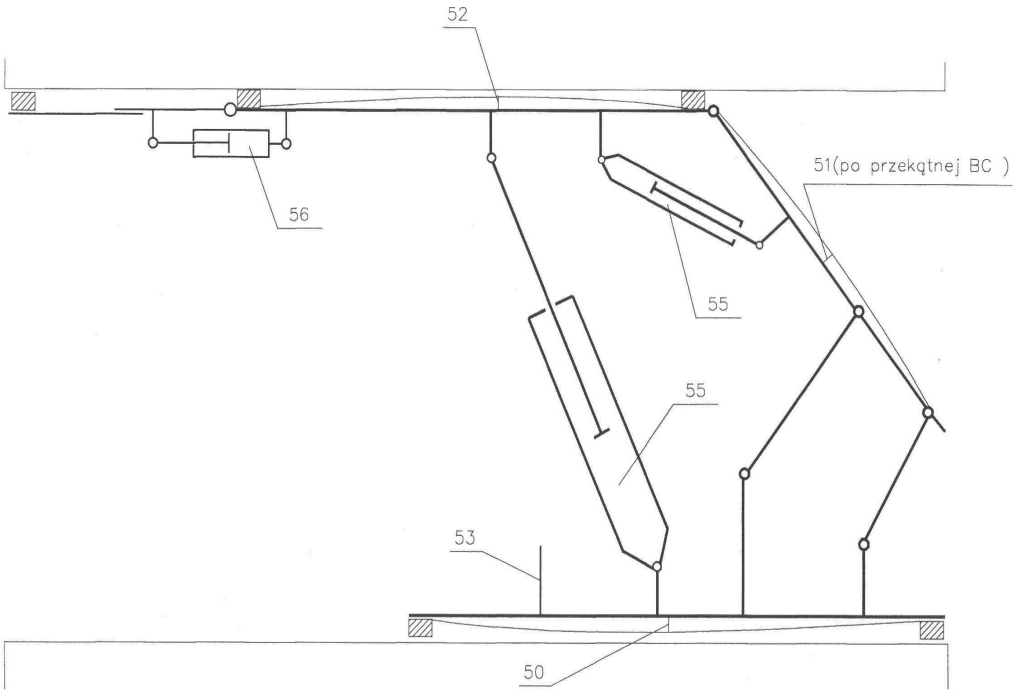
Jednymi z najbardziej istotnych są badania typu. Wymagania odnośnie do zakresu, przebiegu i akceptowalnych wyników badań zdefiniowano w załącznikach do wspomnianych powyżej norm zharmonizowanych. W ramach współpracy z Fabryką Maszyn i Urządzeń TAGOR SA przeprowadzono w stanowiskach KOMAG-u badania sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej TAGOR-14/32 POz oraz stojaków o dużych średnicach Φ410 mm i podporności nominalnej 6 MN, rozszerzając ich zakres zgodnie z zaleceniami Producenta.

2.1. Badania sekcji obudowy zmechanizowanej

Rys.1. Sekcja obudowy TAGOR-14/36 POz/Ch przed wprowadzeniem do stanowiska badawczego [7]

Sposób podparcia		Schemat podparcia		Wys. rozp. zest. w m	Amplituda obciążeń p/p_h	Liczba cykli	Max. przeciazen. p/p_h
Stropnica	Spągnica	Stropnica	Spągnica				
Sekcja obudowy TAGOR-14/36-POz/CH-sekcja chodnikowa							
A1.2a	A.8			2,8	0,25–1,05	3000	1,05
A.1.2b	A.2a			2,8	0,25–1,05	3000	1,05
A.3a	A.2a			2,8	0,25–1,05	3000	1,05
A.3b	A.2a			2,8	0,25–1,05	3000	1,05
A1.1a	A.4c			2,8	0,25–1,05	1500	1,05
A1.1a	A.4d			2,8	0,25–1,05	1500	1,05
A1.1a	A.9			2,8	0,25–1,05	3000	1,05
A1.1a	A.10z			2,8	0,25–1,05	1500	1,05
A1.1a	A.10w			2,8	0,25–1,05	1500	1,05
A.1.1a	A.6d			2,8	0,25–1,05	16000	1,05
A.5b	0			1,7	0,25–1,05	3000	1,05
					RAZEM	40000	
Sekcja obudowy TAGOR-14/32-POz-sekcja liniowa							
A1.1a	0			2,8	0,25–1,05	2000	1,05
A3a	0			2,8	0,25–1,05	2000	1,05
A3b	0			2,8	0,25–1,05	2000	1,05
					RAZEM	6000	

Rys.2. Program badań wytrzymałości zmęczeniowej sekcji obudowy zmechanizowanej [7]



Rys.3. Rozmieszczenie punktów pomiaru strzałek ugięcia oraz ciśnienia w siłownikach badanej sekcji chodnikowej obudowy [7]

Wydłużenie [o/oo] , naprężenie [MPa]

Nr pkt	Wielkość		Stosunek p/pn 1.00	1.05	1.20	1.20	1.20
	Ugięcie [mm]						
51	Ugięcie		1.80	2.20	2.60	2.50	2.40
	Ugięcie	p	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
52	Ugięcie		2.90-	3.20-	3.60-	3.70-	3.60-
	Ugięcie	p	0.00	0.00	0.10-	0.10	0.00
53	Ugięcie		0.70-	0.70-	0.90-	0.90-	1.00-
	Ugięcie	p	0.10	0.20	0.10	0.10	0.20
	Ciśnienie [MPa]						
55	Ciśnienie		43.70	46.40	52.50	53.00	52.80
	Ciśnienie	p	1.60	1.50	1.60	1.60	1.50

Rys.4. Przykładowe wartości mierzonych ugięć w funkcji ciśnienia cieczy w stojakach (wysokość rozparcia 2,80 m, sposób podparcia A11a-A10w) [7]
p - wartość odczytana po odciążeniu sekcji

Obudowa ścianowa TAGOR-14/32 POz produkcji Fabryki Maszyn i Urządzeń TAGOR SA jest jednym z podstawowych urządzeń wchodzących w skład kompleksu ścianowego, uruchomianego w rosyjskiej kopalni węgla kamiennego „Antonowskaja".

Z uwagi na stosowany prostokątny przekrój chodników w wyżej wymienionej kopalni, zaprojektowano oryginalne rozwiązania sekcji tzw. chodnikowych TAGOR-14/36 POz /Ch i sekcji pośrednich TAGOR-14/36 POz/P. Wyprodukowane sekcje: chodnikową TAGOR-14/36 POz /Ch (rys. 1) i liniową TAGOR-14/32 POz/P poddano badaniom, w okresie od 20 stycznia do 24 lutego br. Zakres badań obejmował sprawdzenie:

- wytrzymałości statycznej, dla określonych sposobów podparcia sekcji,
- wytrzymałości zmęczeniowej, dla określonych sposobów podparcia sekcji i określonej liczby cykli obciążenia (rys. 2),
- podatności sekcji, dla trzech wysokości sekcji,
- wytrzymałości statycznej elementów mocowań stojaków sekcji i podpory stropnicy,
- wytrzymałości statycznej zaczepów transportowych sekcji obudowy,
- wytrzymałości statycznej wyposażenia dodatkowego tj.: osłon czoła ściany, układu przesuwnego i układu korekcji spągnic.

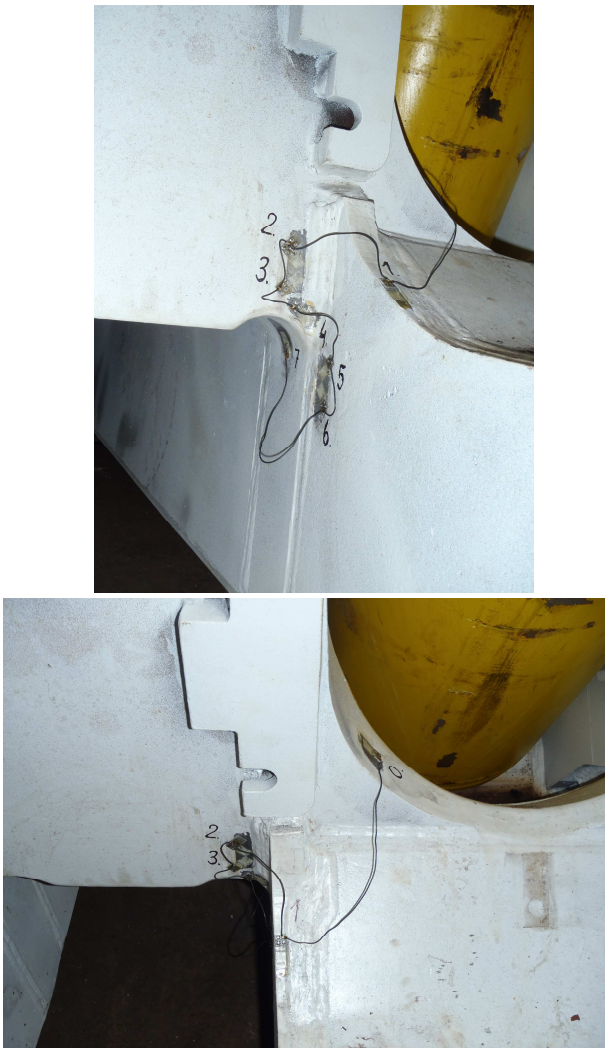
Badania stanowiskowe sekcji przeprowadzono według normy PN-EN 1804-1+A1: 2010, przy czym program badań obejmował sumaryczną liczbę cykli obciążenia zmiennego zwiększoną w porównaniu z wymaganiami normatywnymi z 26 tys. do 40 tys. cykli.

Zwiększenie liczby cykli obciążenia miało na celu nie tylko ocenę sekcji w aspekcie spełnienia wymagań normatywnych, ale również identyfikację najsłabszych elementów sekcji.

W trakcie badań dokonywano pomiarów ciśnienia w stojakach hydraulicznych i w podporze stropnicy za pomocą przetworników tensometrycznych oraz pomiary ugięcia stropnicy, osłony odzawałowej oraz spągnicy, za pomocą przetworników indukcyjnych (rys. 3). Sygnały pomiarowe zarejestrowano z użyciem wielopunktowgo systemu pomiarowego typu UPM 60.

Przykładowy fragment tabeli wyników pomiarów przedstawiono na rysunku 4.

Wykonano również, za pomocą tensometrów oporowych typu RL 10/120 (rys. 5) pomiary wydłużeń względnych w punktach sekcji obudowy zmechanizowanej, wskazanych przez konstruktorów. Wydłużenia mierzono podczas obciążania sekcji, przy różnych sposobach podparć, w zakresie od 0,6 do 1,0 – krotności obciążenia nominalnego.



Rys.5. Rozmieszczenie punktów pomiaru wydłużeń względnych w wyznaczonych punktach badanej sekcji obudowy zmechanizowanej [7]

Po badaniach wytrzymałości statycznej i zmęczeniowej, podatności, mocowań stojaków hydraulicznych i podpory stropnicy, zaczepów transportowych, układu przesuwnego i układu korekcji spągnic, dokonano oględzin, podczas których nie stwierdzono żadnych uszkodzeń elementów sekcji obudowy zmechanizowanej.

Wyniki przeprowadzonych przez Laboratorium badań potwierdziły założone parametry sekcji obudowy zmechanizowanej ze zwiększoną wytrzymałością zmęczeniową i jej przydatność do przewidywanych warunków pracy.

2.2. Badania hydraulicznych elementów wykonawczych

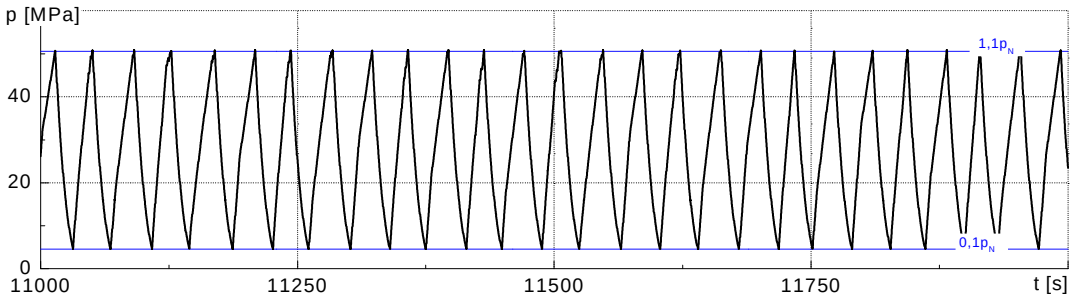
Laboratorium Badań ITG KOMAG w ramach współpracy z Fabryką Maszyn i Urządzeń TAGOR SA prowadziło również badania stanowiskowe stojaków o dużych średnicach Φ410 mm, przeznaczonych między innymi na rynek australijski. Badania te realizowano w latach 2009, 2010 i 2011. Podstawą do określenia i zrealizowania zakresu badań była norma zharmonizowana [3] z dyrektywą maszynową [1]. Przeprowadzono badania stojaków hydraulicznych sekcji obudowy zmechanizowanej na zgodność z wymaganiami bezpieczeństwa według punktów 5.1 do 5.11 normy PN-EN 1804-2+A1:2010, które obejmowały sprawdzenie:

- wytrzymałości ogranicznika wysuwu,
- podatności przy prędkości zsuwu 2 i 10 mm/min,
- wytrzymałości statycznej,
- szczelności,
- wytrzymałości na zginanie,
- trwałości przy zadaniu obciążenia asymetrycznego,
- trwałości przy obciążeniu stojaka symetryczną siłą osiową zmienną w czasie (rys. 6),
- funkcjonalności po próbach trwałości,
- wytrzymałości zaczepów transportowych.

W celu sprawdzenia wytrzymałości wyznaczonych punktów konstrukcyjnych, rozszerzono zakres badań trwałościowych, zwiększając liczbę cykli obciążenia w porównaniu z wymaganiami normatywnymi, co umożliwiło ocenę zużycia węzłów uszczelniających, wytrzymałości powłok ochronnych rdzeników i cylindrów oraz wytrzymałości spoin, rur oraz pozostałych elementów.

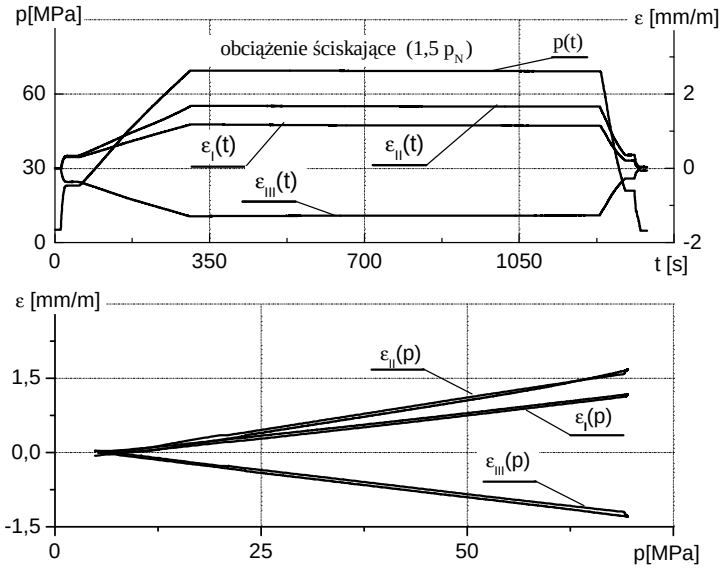
Wytypowany typ stojaka, według rysunku N-133 (rys. 7) sprawdzono przy podwojonej liczbie cykli obciążenia zmiennego, w stosunku do wymagań normatywnych tj.:

- 12000 cykli obciążenia asymetrycznego, zamiast 6000 cykli według pkt. A.1.4.2 normy PN-EN 1804-2+A1:2010,
- 30000 cykli obciążenia osiowego, zamiast 15000 cykli według pkt. A.1.4.1 normy PN-EN 1804-2+A1:2010.



Rys.6. Próba trwałości stojaka Φ410 przy zadaniu symetrycznej siły osiowej. Fragment wykresu przebiegu czasowego zmian ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka [8]

Rys.7. Stojak Φ410 w stanowisku badawczym [9]



Rys.8. Próba przeciążenia statycznego stojaka Φ410. Wykresy ciśnienia i wydłużeń względnych [8]

Wyniki badań trwałościowych umożliwiły ocenę stojaka w warunkach obciążenia zmiennego i zakres ewentualnych zmian konstrukcji w celu jej optymalizacji w aspekcie wytrzymałości i bezpieczeństwa pracy.

Badania stojaka, w całym założonym zakresie, dały wynik pozytywny (wytrzymałość statyczna stojaka miała wartość nie mniejszą niż siła odpowiadająca 2-krotności maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego, przy którym była zachowana szczelność). Stwierdzono co najmniej 11-minutową szczelność stojaka oraz brak odkształceń trwałych rur cylindrów.

Przy próbie ciśnieniowej na 1,5-krotność maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego mierzono obwodowe i osiowe wydłużenia rur cylindrów stojaka za pomocą tensometrów oporowych. Wyniki pomiarów tensometrycznych wydłużeń względnych rur cylindrów I i II stopnia wykorzystano również do potwierdzenia występowania wyłącznie sprężystych odkształceń stojaka. Jak wynika z wykresu przedstawionego na rysunku 8, zmiana wartości wydłużenia względnego w funkcji ciśnienia jest liniowa, co potwierdza brak odkształceń trwałych spodnika i rdzenników stojaka.

3. Podsumowanie

Współpraca KOMAG-u z Fabryką Maszyn i Urządzeń TAGOR SA w zakresie badań sekcji obudowy zmechanizowanej i hydrauliki siłowej nie ogranicza się jedynie do badań na rzecz certyfikacji wyrobów. W trakcie badań na zgodność z normami sprawdza się konstrukcje w wielu aspektach. Pomiary wydłużeń względnych służą określeniu naprężeń w wyznaczonych przez konstruktora punktach sekcji obudowy zmechanizowanej i stojaka, a dodatkowe badania przy zwiększonej liczbie cykli obciążenia w odniesieniu do wymagań normatywnych umożliwiają określenie trwałości zmęczeniowej obiektu badań, w szerszym zakresie niż było to dotąd możliwe. Fabryka Maszyn i Urządzeń TAGOR SA dzięki współpracy z ITG KOMAG rozwija swoje konstrukcje w celu spełnienia coraz większych wymagań potencjalnych użytkowników.

Niewątpliwym efektem prowadzonych badań stanowiskowych sekcji obudowy zmechanizowanej i jej elementów jest eliminacja słabych punktów konstrukcji już na etapie wytwarzania prototypu. Pozwala to na zmniejszenie ryzyka strat spowodowanych dostarczeniem użytkownikowi wadliwego produktu oraz poprawę stanu bezpieczeństwa pracy załóg górniczych w coraz trudniejszych warunkach geologicznych występujących w podziemiach kopalń.

Realizacja wyszczególnionych prac badawczych, zmierzających do coraz bezpieczniejszych maszyn i urządzeń, możliwa jest dzięki ciągle rozwijanej i doskonalonej bazie badawczej. Temu celowi ITG KOMAG poświęca szczególną uwagę, inwestując w rozwój nowoczesnych stanowisk badawczych.

Laboratorium Badań Instytutu Techniki Górniczej KOMAG zapewnia niezależne, bezstronne i rzetelne wykonywanie badań, udokumentowane wdrożonymi systemami zarządzania jakością, zgodnymi z wymaganiami norm: PN-EN ISO 9001:2009 i PN-EN ISO/IEC 17025:2005 [5, 6].

Wysoką jakość usług gwarantuje wyspecjalizowana kadra, z potwierdzonymi kwalifikacjami. Akredytowane Laboratorium Badań ITG KOMAG corocznie podlega ocenie przez jednostkę akredytującą Polskie Centrum Akredytacji, w ramach której sprawdzana jest skuteczność systemu zarządzania jakością oraz warunki kontraktu i kompetencje techniczne. Potwierdzeniem powyższego jest certyfikat akredytacji nr AB 039 z dnia 7 maja 2012 r.

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 21. 10. 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn (Dz.U. Nr 199, poz. 1228).
2. PN-EN 1804-1+A1:2011 Maszyny dla górnictwa podziemnego - Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej - Część 1: Sekcje obudowy i wymagania ogólne.
3. PN-EN 1804-2+A1:2010 Maszyny dla górnictwa podziemnego - Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej - Część 2: Stojaki, podpory i siłowniki pomocnicze.
4. PN-EN 1804-3+A1:2012 Maszyny dla górnictwa podziemnego - Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej - Część 3: Hydrauliczne układy sterowania.
5. PN-EN ISO 9001:2009 Systemy zarządzania jakością – Wymagania.
6. PN-EN ISO/IEC 17025:2005 Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.
7. Sprawozdanie nr 10/DLB-1/2012: „Badania stanowiskowe sekcji chodnikowej obudowy TAGOR-14/36PO/CH oraz sekcji liniowej obudowy TAGOR-14/32-POz”.
8. Sprawozdanie nr 46/DLB-2/2011: „Badania stanowiskowe stojaka hydraulicznego Ø410 wykonanego według rysunku N-133”.
9. Dokumentacja fotograficzna Laboratorium Badań ITG KOMAG.

Artykuł wpłynął do redakcji w sierpniu 2012 r.

Mgr inż. Andrzej MAZURKIEWICZ
Mgr inż. Artur TARKOWSKI
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Projektowanie ramion kombajnów ścianowych dla Zabrzańskich Zakładów Mechanicznych S.A.

S t r e s z c z e n i e

W artykule przedstawiono efekty współpracy Instytutu Techniki Górniczej KOMAG i Zabrzańskich Zakładów Mechanicznych S.A. w zakresie nowych rozwiązań ramion kombajnów ścianowych. Nawiązana w latach 90-tych ubiegłego wieku współpraca przyczyniła się do osiągnięcia przez Zabrzańskie Zakłady Mechaniczne S.A. pozycji wiodącego producenta kombajnów ścianowych, zarówno na rynku krajowym jak i światowym. Najnowsze wspólne rozwiązania zastosowane w kombajnach produkcji Zabrzańskich Zakładów Mechanicznych S.A. są przykładem transferu innowacyjnych rozwiązań jednostki naukowej do działalności gospodarczej.

S u m m a r y

Effects of collaboration of KOMAG Institute of Mining Technology and Zabrzańskie Mechanical Plants S.A. in development of new design solutions of longwall shearer arms are presented in the paper. The collaboration, which started in 1990ties enabled Zabrzanskie Mechanical Plants S.A. to reach a leading position as the longwall shearer manufacturer both in Poland and abroad. Joint state-of-the-art solutions used in shearer manufacture by Zabrzańskie Mechanical Plants S.A are the example of transfer of the innovative solutions, developed in institutes, to the industry.

1. Wprowadzenie

Projektowanie i wdrażanie kombajnów ścianowych jest jednym z priorytetowych kierunków badawczo-rozwojowych Instytutu Techniki Górniczej KOMAG w ramach rozwoju zmechanizowanych kompleksów ścianowych. Od początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku podjęto w KOMAG-u prace projektowo-badawcze nad nową generacją kombajnów ścianowych z elektrycznym napędem posuwu [1, 2]. W wyniku realizacji kilku projektów celowych, dofinansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, powstał typoszereg kombajnów KSE. Opracowane rozwiązania i doświadczenia z eksploatacji były podstawą do podjęcia prac nad doskonaleniem konstrukcji i projektowaniem nowych typów kombajnów. Nowe rozwiązania opracowane w ostatnich latach w ITG KOMAG dotyczą w szczególności ramion kombajnowych, podstawowego podzespołu kombajnu ścianowego.

2. Projektowanie i badanie ramion kombajnowych

Pierwsze projekty ramion kombajnowych, oprócz zastosowanych w nich nowych, innowacyjnych rozwiązań technicznych, musiały dodatkowo spełniać warunki montażu przewidziane dla kombajnów remontowanych przez Zabrzańskie Zakłady Naprawcze.

Wytrzymałość kół zębatych oraz trwałość węzłów łożyskowych przekładni ramienia była weryfikowana za pomocą komputerowego programu obliczeniowego autorstwa KOMAG-u, umożliwiającego wykonywanie w krótkim czasie obliczeń i wybranie optymalnego rozwiązania.

Równolegle z prowadzonymi w KOMAG-u pracami projektowymi, Zabrzańskie Zakłady Naprawcze modernizowały swój park maszynowy, w celu uzyskania wysokiej jakości wykonywanych elementów ramienia, a w szczególności zapewnienia wysokiej klasy wykonania uzębienia kół zębatych.

Prototyp pierwszego ramienia zaprojektowanego przez KOMAG poddano badaniom stanowiskowym. Pierwsze próby, na biegu luzem, przeprowadzono w Zabrzańskich Zakładach Naprawczych. Kolejne – już pod obciążeniem – na hamowni w OBRUM-ie. Program prób przewidywał długotrwałe obciążenie przekładni momentem nominalnym oraz przeciążenia krótkotrwałe. W czasie prób stanowiskowych rejestrowano wartości temperatury oleju, poziom hałasu i poziom drgań w wybranych punktach ramienia. Wyniki prób stanowiskowych, przeprowadzonych na biegu luzem i pod obciążeniem, stanowiły punkt odniesienia dla prób stanowiskowych kolejnych egzemplarzy ramion, które badano już tylko na biegu luzem. Ustalone zostały kryterialne wartości temperatury oleju, poziomu hałasu i poziomu drgań przekładni, dopuszczające ramiona do montażu w kombajnie.

Obecnie rozwój konstrukcji ramion 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. Nabiera to szczególnego znaczenia w konstrukcjach ramion do niskich kombajnów ścianowych. Koncentracja przeło-

żenia na końcu przekładni doprowadziła w ostatnich rozwiązaniach konstrukcyjnych do zastosowania dwustopniowej przekładni planetarnej i modyfikacji przekładni planetarnej z układu trójsatelitowego na układ 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, projekty KOMAG-u przewidują zastosowanie w ramionach elementów katalogowych (takich jak łożyska toczne czy uszczelnienia) renomowanych firm światowych.

3. Przykłady wdrożonych rozwiązań

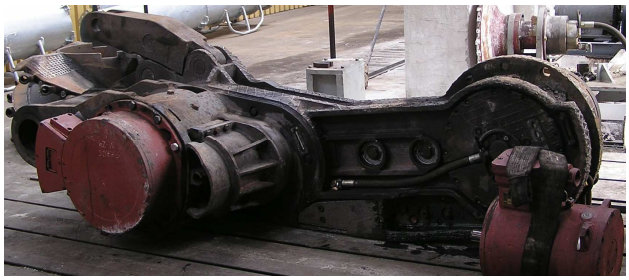
Pierwszym ramieniem zaprojektowanym dla ówczesnych Zabrzańskich Zakładów Naprawczych było ramię **RW-200** (rys. 1), które zastosowano w kombajnie KSE-500, a następnie w kombajnach klasy KGS-500. W ramieniu zastosowano wiele innowacyjnych, jak na owe czasy, rozwiązań technicznych, tj.:

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

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

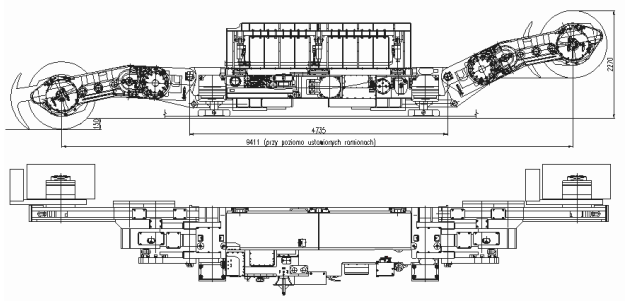
Rys.1. Ramię RW-200 [7]

Opracowane w ITG KOMAG ramiona RW-200 zastosowano w kombajnie KSW-500, przewidzianym do pracy w ścianach o wysokości od 2,0 m do 4,0 m. 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 250 kW, 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 Zabrzańskim Zakładom Naprawczym na dalsze poszerzenie udziału na rynku kombajnów ścianowych.



Rys.2. Ramię RW-250MZ [7]

Sukcesem konstrukcyjnym i produkcyjnym okazał się kombajn KSW-460N (rys. 3) [3]. Jego konstrukcję oparto na remontowanym 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. Do dnia dzisiejszego Zabrzańskie 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 odlewanym było ramię **R300** (rys. 4). Do jego napędu zastosowano sil-

nik 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.

Rys.4. Ramię R300 [7]

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.5. Ramię R500 [7]

Urabianie wysokich ścian oraz węgli trudno urabialnych było powodem 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 napięcie 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.

Rozwijana ciągle współpraca pomiędzy ITG KOMAG, a Zabrzańskimi Zakładami Mechanicznymi 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.

Rys.6. Ramię R200N [7]

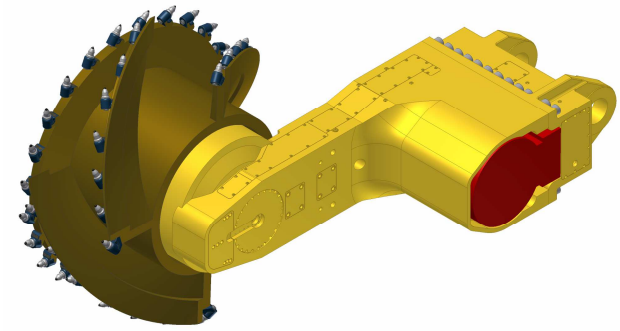
Kolejnym efektem współpracy było ramię **R1000** (rys. 7), przewidziane do zastosowania w kombajnach urabiających ściany o wysokości powyżej 5 m. Kombajny takie oferowane są kontrahentom w Chinach i w Rosji, gdzie Zabrzańskie Zakłady Mechaniczne S.A. konkurują z takimi firmami jak JOY, czy EICKHOFF.

Zastosowanie tak dużej mocy w przekładni wymagało zwrócenia szczególnej uwagi na obliczenia wytrzymałościowe i trwałościowe przekładni zębatej oraz kadłuba. W związku ze wzrostem zainstalowanej mocy i potrzebą chłodzenia przekładni ramienia wyposażono je w wysoko wydajną i pewną w działaniu chłodnicę, zabudowaną w układzie wymuszonego smarowania przekładni.

Aktualnie w ITG KOMAG, w ramach projektu INERG [4], finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, opracowano projekt ramienia **R350N** (rys. 8, 9, 10), przeznaczonego do zastosowania w kombajnie KSW-800NE. Założenia projektowe przewidywały zastosowanie maksymalnie dużej mocy napędowej, możliwej do uzyskania w gabarytach niskiego kombajnu ścianowego oraz wyposażenie ramienia we wszystkie dotychczas stoso-

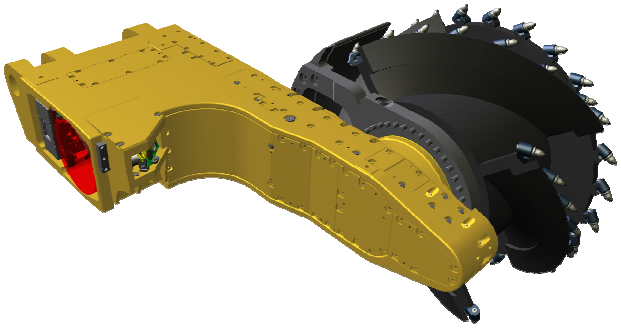
wane instalacje i systemy, umożliwiające pracę ramienia i kombajnu w systemie automatycznym. W rozwiązaniu ramienia zastosowano:

- symetryczny, odlewany kadłub,
- przekładnię zębatą z dwoma przekładniami planetarnymi, przystosowanymi do montażu organów urabiających o szerokości 800 mm lub 1000 mm,
- instalację wymuszonego smarowania przekładni wraz z układem chłodzenia,
- powietrzno-wodną instalację zraszającą,
- system wibrodiagnostyki elementów przekładni zębatej,
- kamerę oraz reflektor,
- kombajnową kruszarkę kęsów.

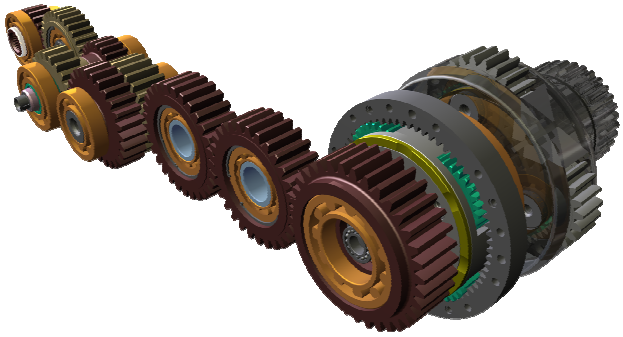


Rys.7. Ramię R1000 [6]

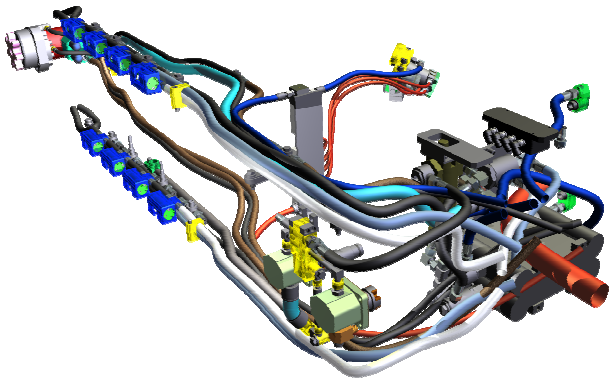
Do wstępnych obliczeń wytrzymałościowych przekładni zębatej zastosowano autorskie programy KOMAG-u, weryfikujące konstrukcję kół zębatych, wałów, osi oraz dobór łożysk tocznych.



Rys.8. Ramię R350N [4]



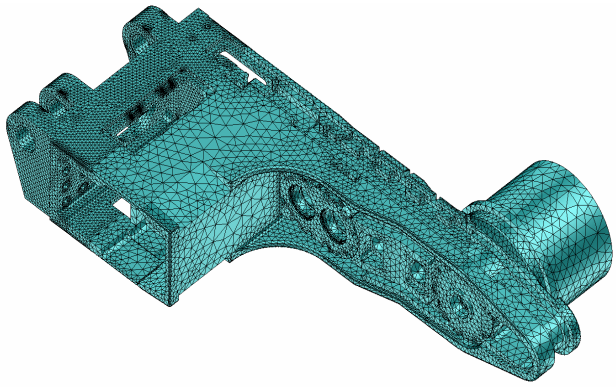
Rys.9. Przekładnia zębata ramienia R350N [4]



Rys.10. Instalacje ramienia R350N [4]

Do ostatecznej weryfikacji i optymalizacji przekładni zębatej użyto specjalnego programu obliczeniowego szwajcarskiej firmy KISSsoft.

Wytrzymałość kadłuba ramienia oraz przegubu ramienia sprawdzono za pomocą MES. Na rysunku 11 przedstawiono model obliczeniowy ramienia kadłuba przeznaczony do statycznych nieliniowych obliczeń wytrzymałościowych z uwzględnieniem zjawisk kontaktowych i napięcia wstępnego w połączeniu śrubowym przegub-kadłub.



Rys.11. Ramię R350N – model obliczeniowy MES [4]

Projekt ramienia R350N i dokumentację techniczną zrealizowano w środowisku programowym firmy Autodesk. Modelowanie 3D wykonano za pomocą programu Autodesk Inventor. Rysunki dokumentacji technicznej wykonano za pomocą programu Autodesk AutoCAD Mechanical. Do projektowania przewodów instalacji hydraulicznej, wodnej, powietrzno-wodnej, smarującej i elektrycznej posłużono się modułem „Tube & Piping" z programu Autodesk Inventor Pro- fessional.

4. Podsumowanie

Przedstawione metody projektowania ramienia R350N oraz użyte narzędzia programowe będą wykorzystane na wykonanie i wdrożenie optymalnych rozwiązań ramion kombajnowych i zespołów napędowych. Będą one wykorzystane jako wzorcowe przy realizacji każdego następnego projektu dla Zabrzańskich Zakładów Mechanicznych S.A.

Literatura

1. Meder A., Mazurkiewicz A.: Współpraca CMG KOMAG i ZZM SA w zakresie nowych rozwiązań kombajnów ścianowych. Materiały: II Międzynarodowe Sympozjum: "Nowe rozwiązania i doświadczenia w budowie i bezpiecznej eksploatacji polskich wysoko wydajnych kombajnów ścianowych", Wisła, październik 2004.
2. Prostański D., Tarkowski A., Mazurkiewicz A.: Rozwój i doskonalenie konstrukcji kombajnów ścianowych. Materiały na konferencję: "Maszyny i urządzenia dla przemysłu wydobywczego", maj 2006.
3. Meder A., Mazurkiewicz A., Winkler T.: Współpraca Zabrzańskich Zakładów Mechanicznych S.A. 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 2011, (materiały nie publikowane).
5. Dokumentacja techniczna kombajnu KSW-460N, ITG KOMAG 1999, (materiały nie publikowane).
6. Dokumentacja techniczna ramienia R1000, ITG KOMAG 2008, (materiały nie publikowane).
7. Dokumentacja fotograficzna ITG KOMAG.

Artykuł wpłynął do redakcji w sierpniu 2012 r.

Czy wiesz, że...

…w 1 kwartale 2012 r. w działalności core business Grupa Kopex wypracowała marżę brutto ze sprzedaży na poziomie 24,5%. Bardzo dobre perspektywy na kolejne kwartały pokazuje poziom zamówień (back log) Grupy Kopex, który na koniec kwietnia 2012 roku ma wartość prawie 2 mld zł i przekracza o blisko 60% poziom zakontraktowanych umów na koniec kwietnia 2011 roku. Warty podkreślenia jest dynamiczny wzrost poziomu zamówień w segmentach core businessu, gdzie wartość back logu na koniec kwietnia tego roku przekroczyła już 1,7 mld zł o 74% więcej w porównaniu do roku ubiegłego. Bardzo dobrze wygląda portfel zamówień w segmencie usług górniczych, który jest wypełniony na kolejne trzy lata.

Mgr inż. Stanisław TYTKO
Mgr inż. Mirosław ŁABĘCKI
Inż. Sylwester GROS
Rybnicka Fabryka Maszyn RYFAMA S.A.

Nowoczesne zintegrowane przenośniki zgrzebłowe produkcji RYFAMA S.A.

S t r e s z c z e n i e

W artykule przedstawiono osiągnięcia RYBNICKIEJ FABRYKI MASZYN w zakresie rozwoju konstrukcji i wprowadzania innowacyjnych rozwiązań w górniczych przenośnikach zgrzebłowych. Zaprezentowano innowacyjne rozwiązania, które są wynikiem rosnących wymagań użytkowników oraz wieloletnich doświadczeń RYFAMY w produkcji przenośników zgrzebłowych dla potrzeb górnictwa węglowego. W publikacji zwrócono uwagę na pojęcie zintegrowanego systemu przenośników transportowych, które stają się bazą do wprowadzenia pełnej automatyzacji pracy kompleksu ścianowego gwarantującego jego bardzo dużą dyspozycyjność oraz bezpieczne użytkowanie. Przedstawiono urządzenia oraz całe ciągi technologiczne urządzeń wraz z ich parametrami technicznymi dla ściany o wysokiej koncentracji wydobycia, które RYFAMA posiada w swojej ofercie produkcyjno–handlowej.

S u m m a r y

In the report we presented the achievements of Rybnik Factory of Machines "RYFAMA" JSC in the area of construction development as well as the introduction of innovative solutions in scraper conveyors. We discussed the guidelines in the area of construction development and construction of conveyors that were adopted by Rybnik Factory of Machines "RYFAMA" JSC. We presented the equipment and the whole technological processes of the equipment for faces of high performance that "RYFAMA" JSC has in the production and commercial offer.

1. Wprowadzenie

Dążenie do wzrostu wydobycia węgla z przodka ścianowego, związane jest ze stałym rozwojem maszyn i urządzeń, tak pod względem powiększenia ich gabarytów jak i wzrostu zainstalowanej w nich mocy oraz coraz skuteczniejszym ich wykorzystaniem w sensie indywidualnym, jak i w sensie całego ciągu technologicznego. W ścianach o bardzo dużej wydajności wydobycia w takich krajach jak: Chiny, Australia, USA stosowane są przenośniki zgrzebłowe o szerokościach 1100÷1400 mm, które zapewniają wydajność na poziomie 3000÷8000 ton urobku na godzinę w zależności od zastosowanej prędkości łańcucha.

W przenośnikach tych stosowane są łańcuchy ogniwowe o średnicach ϕ 48÷60 mm i sile zrywającej 3700÷5000 kN. Produkcja łańcuchów górniczych o tak dużych wytrzymałościach daje możliwość stosowania w jednostkach napędowych przenośników zgrzebłowych przekładni planetarnych o wielkości „45", „65", „85" napędzanych silnikami o mocy 1200, 1500, 1800 kW. Jest rzeczą oczywistą, że tak wygórowanym parametrom technicznym przenośników muszą sprostać wszystkie podzespoły i elementy przenośnika zgrzebłowego.

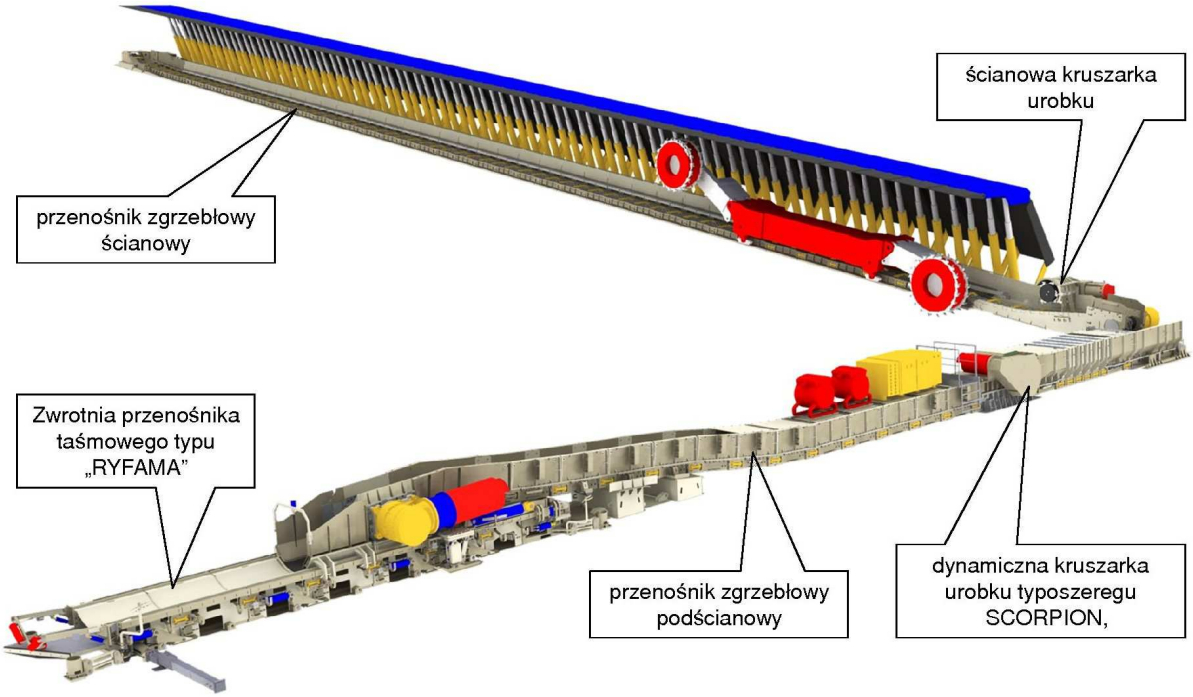
Rybnicka Fabryka Maszyn RYFAMA S.A. doskonaląc swoje przenośniki zgrzebłowe wchodzące w ścianowy kompleks urabiająco–odstawczy bazuje na doświadczeniach pozyskiwanych z eksploatacji przenośników wcześniejszej generacji, wzbogacając je o nowe innowacyjne rozwiązania konstrukcyjno–technologiczne. W ten sposób dopracowane zostały rozwiązania przenośników zgrzebłowych, dające w zestawieniu wzorcowy model odstawy urobku, oparty o zintegrowany system urządzeń transportowych, który stał się bazą koncepcji pełnej automatyzacji (sterowanie, monitoring, wizualizacja, diagnozowanie) pracy kompleksu ścianowego. Daje to perspektywę ciągłego urabiania calizny węglowej w opcji bezzałogowego przodka ścianowego (przykład górnictwa australijskiego).

Rybnicka Fabryka Maszyn w swoim pakiecie ofert posiada propozycje takiego kompleksowego zintegrowanego rozwiązania technicznego, które jest konkurencyjnym z ofertami największych światowych (JOY, CATERPILAR) producentów przenośników zgrzebłowych.

2. Nowoczesny wysoko wydajny, zintegrowany kompleks odstawczy produkcji RYFAMA S.A.

W skład przedmiotowego kompleksu odstawczego, jako urządzenia podstawowe, wchodzą:

- przenośnik zgrzebłowy ścianowy,
- przenośnik zgrzebłowy podścianowy,
- ścianowa kruszarka urobku,
- dynamiczna kruszarka urobku typoszeregu SCORPION,
- zwrotnia taśmowa typu RYFAMA.



Rys.1. Kompleks odstawczy systemu ścianowego

Dane techniczne przenośnika RYFAMA S–1250

wydajność	4500 t/h
długość max.	do 450 m
moc zainstalowana	do 3x1800 kW
łańcuch, prędkość łańcucha	1,53 ÷ 2,18 m/s
zgrzebło	szer/wys/dł. – 1150/140/150
rozstaw między zgrzebłami	6 ÷ 8 ogniw
rozstaw między łańcuchami	250 mm (dla łańcuchów 52,56)
napęd wysypowy	boczny typ 1250/85 z wysypem krzyżowym typ: 1250/85
napęd zwrotny	niski najazdowy typ: 1250/85 z nadążnym nap. łańc. typ: 1250/85
typ przekładni	"35", "45" , "65", "75", "85"
gwiazda	z = 7 – monolityczna
szerokość ostrogorynny	zewn. 1250mm – wew. 1170mm masy ok.: 1500mm – 2300kg / 1750mm – 2600kg / 2050mm – 3100 kg
profil boczny	odlewany E360
długość profilu	1750 – z drabinką 147 (12x147) 2055 – z drabinką 147 (14x147)
grubość blachy ślizgowej/spągowej	60mm / 35mm (typu Hardox)
wytrzymałość połączeń między członami trasy	5000kN
kąt przegięcia rynien w poziomie (ok.)	do 1,5˚ (na ocios) – do 1˚ (na zawał)
kąt przegięcia rynien w pionie (ok.)	do ± 3˚

3. Przenośniki zgrzebłowe ścianowe

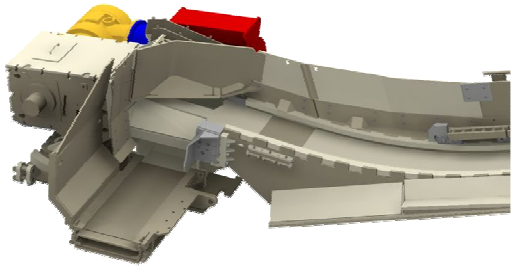
Przenośnik zgrzebłowy ścianowy jest urządzeniem transportowym, który odstawia urobiony kombajnem węgiel (urobek), do chodnika podścianowego na zintegrowany z nim przenośnik zgrzebłowy podścianowy, z którego urobek jest przekazywany na ciąg zintegrowanych przenośników taśmowych [1, 3].

Dodatkowo ścianowe przenośniki zgrzebłowe są torem jezdnym dla maszyn urabiających caliznę węglową

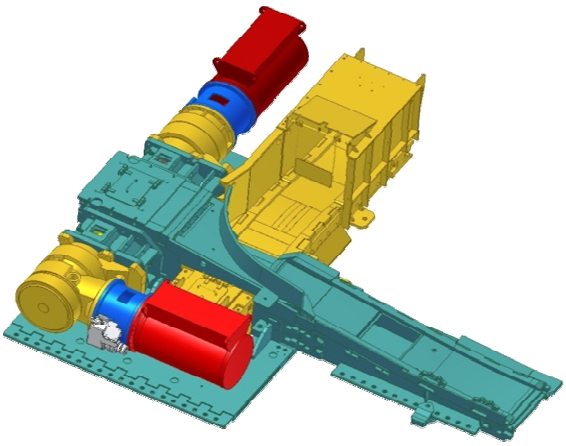
oraz są łącznikiem pomiędzy maszyną urabiającą a sekcjami ścianowej obudowy zmechanizowanej.

Najistotniejsze cechy konstrukcyjne nowoczesnych ścianowych przenośników zgrzebłowych, które w aspekcie ich dyspozycyjności, trwałości, gwarancji bezpieczeństwa eksploatacyjnego w trakcie ich użytkowania przedstawić można w następującym zestawieniu:

– przenośniki z wysypem czołowym, bocznym, krzyżowym,

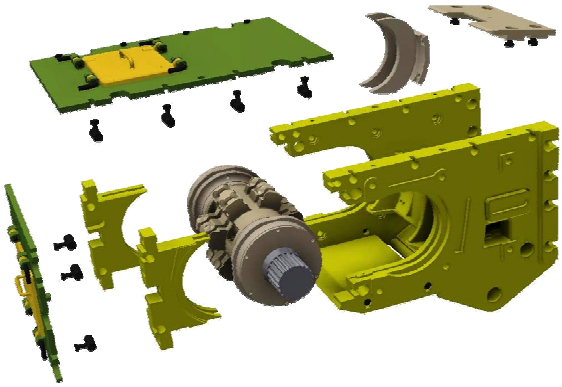


Rys.2. Napęd uniwersalny z wysypem bocznym (WB)



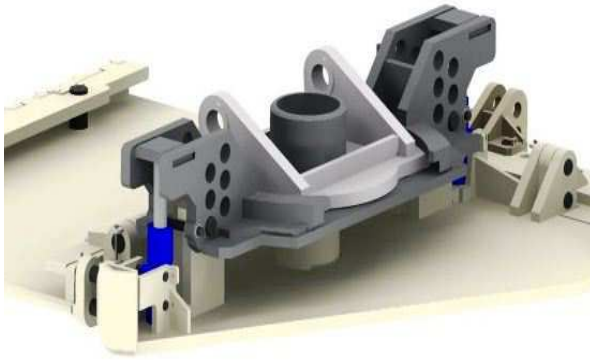
Rys.3. Napęd wysypowy z wysypem krzyżowym (WK)

– rozwiązanie konstrukcyjne kadłuba napędowego umożliwia montaż i demontaż kompletnych bębnów napędowych bez konieczności demontażu jednostek napędowych,



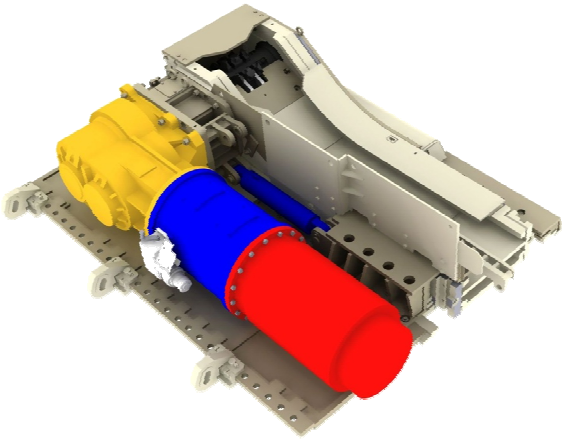
Rys.4. Sposób montażu i demontażu bębna napędowego

– gwiazdy łańcuchowe monolityczne lub dzielone dla wszystkich typów i wielkości produkowanych obecnie łańcuchów ogniwowych,
– kadłuby napędowe posiadają możliwość zabudowy przekładni dowolnego producenta oraz dowolnej wielkości,
– napędy przenośnika nie wymagają kotwienia,
– belki podnapędowe posiadają regulowaną mechanicznie lub hydraulicznie wysokość,



Rys.5. Belka z hydrauliczną regulacją wysokości

– napędy zwrotne teleskopowe z ręcznym lub nadążnym napinaniem łańcucha, które zapewniają właściwe napięcie łańcucha w zależności od jego obciążenia,



Rys.6. Zwrotnia teleskopowa

– konstrukcja napędów zwrotnych umożliwia bezwnękowe urabianie kombajnem ściany na całej jej długości,
– przenośniki wyposażone są w hydrauliczne urządzenie do napinania i rozpinania łańcucha,
– rynny przenośnika posiadają łatwy dostęp do dolnej nitki łańcucha (rynna z oknem inspekcyjnym otwieranym na ocios ścianowy lub w kierunku zrobowym),

– przenośniki przystosowane są konstrukcyjnie do współpracy z różnymi typami kombajnów oraz różnymi systemami posuwu i różnymi typami obudów zmechanizowanych,
– przenośniki posiadają możliwość korekcji poprzecznej,

Rys.7. Układ korekcji poprzecznej

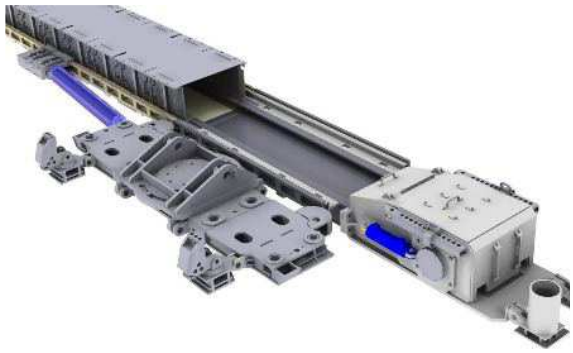
– przenośniki z możliwością zabudowy ścianowej kruszarki urobku, produkowanej według własnych rozwiązań konstrukcyjnych,
– przenośniki dostosowane są do pracy w ścianach o nachyleniu podłużnym do ±35° i nachyleniu poprzecznym do ±25°,
– trasy przenośników konstruowane są jako uniwersalne, przystosowane do prawego lub lewego układu ściany,
– trasy przenośnika posiadają możliwość przedmuchiwania dolnego przedziału łańcucha strugą sprężonego powietrza,
– przenośniki posiadają rynnociągi z odjazdami (zestaw rynien końcowych przenośnika przy kadłubie wysypowym i zwrotnym), wielkość odjazdu może być zmienna i zależy od typu i konstrukcji kombajnu,
– przenośniki wyposażone są w elementy złączne o wysokiej wytrzymałości 2x4000 kN; 2x5000 kN,
– profile rynien mogą być wykonywane jako walcowane lub odlewane max wysokość profilu 360 mm, blachy ślizgowe stosowane w rynnach wykonywane są z materiałów o najwyższej trwałości i wytrzymałości na ścieranie a ich grubość może wynosić do 60 mm,
– pozostałe materiały stosowane w przenośniku charakteryzują się najwyższą jakością (stale i staliwa stopowe) poddawane są optymalnej obróbce cieplnej,
– jednostki napędowe zasilane i sterowane są z tradycyjnych układów elektrycznych, jak również z zastosowaniem techniki przemiennikowej,
– jednostki napędowe pracować mogą w układzie wyrównywania obciążeń (mocy).

4. Kompleks podścianowy

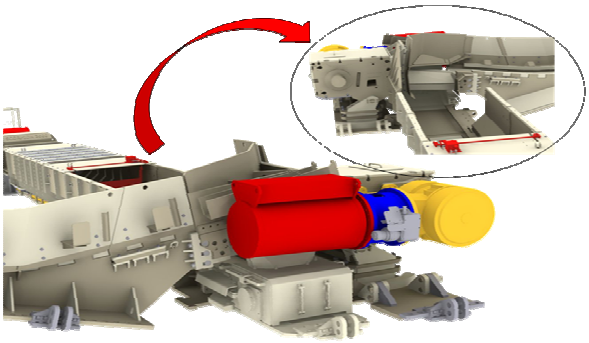
RYFAMA S.A. oferując nowoczesny zintegrowany system przenośników transportowych urobku proponuje (dedykuje) do każdego zgrzebłowego przenośnika ścianowego odpowiedni zestaw urządzeń, który w sposób funkcjonalny i bezpieczny transportuje urobek ze ściany do głównych (zbiorczych) systemów odstawczych oraz zapewnia sprawny ich postęp wraz z postępem przodka ścianowego.

Najistotniejsze cechy konstrukcyjne [1, 3], które spełnia nowoczesny kompleks podścianowy produkcji RYFAMA S.A. wynikające z wymagań eksploatacyjnych jakie stawiają przodki o wysokiej koncentracji wydobycia:

– przenośnik zgrzebłowy podścianowy jest zintegrowany z wysypem przenośnika ścianowego. Integracja ta zapewnia szybką i płynną przekładkę wysypu przenośnika ścianowego w powiązaniu z przenośnikiem podścianowym; zaleca się aby wydajność przenośnika podścianowego była o 10 ÷30% wyższa od wydajności przenośnika ścianowego; najkorzystniej jest zastosować przenośnik podścianowy szerszy od przenośnika ścianowego,



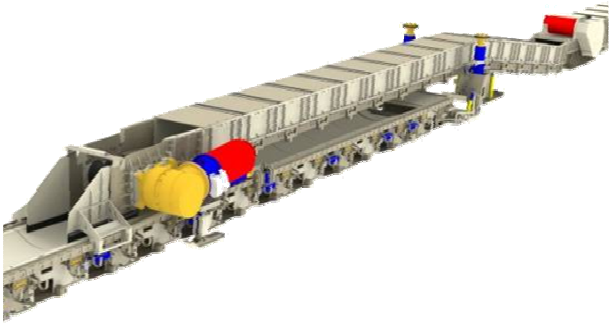
Rys.8. Układ przekładkowy z mechanizmem zapadkowym



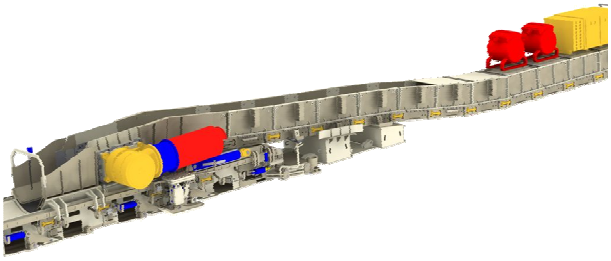
Rys.9. Układ przekładkowy – powiązanie sztywne

– prędkość łańcucha zgrzebłowego przenośnika podścianowego jest dobierana tak, aby zapobiec tworzeniu się zatorów na przesypie z przenośnikiem ścianowym a przez to eliminuje się możliwość ewentualnego „podbijania się” przenośnika ścianowego,
– rozwiązanie konstrukcyjne napędu oraz trasy przenośnika podścianowego daje możliwość dużego

nasunięcia się tzw. mostu na zwrotnię taśmową typu „RYFAMA”; mosty nasuwane nad zwrotnię taśmową mogą mieć wykonanie sztywne lub elastyczne,

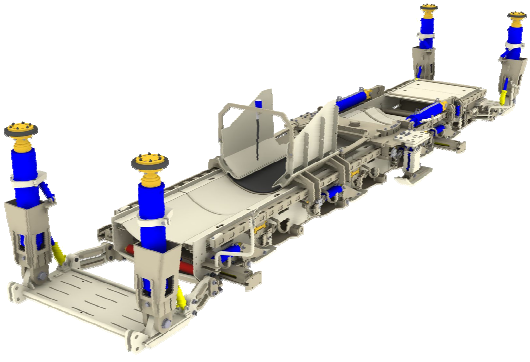


Rys.10. Most sztywny

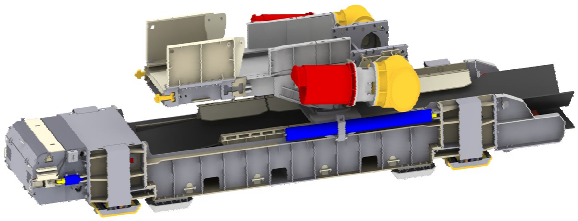


Rys.11. Most elastyczny

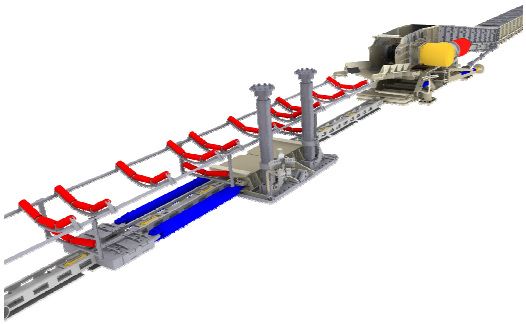
– wysyp przenośnika podścianowego skojarzony jest ze zwrotnią przenośnika taśmowego za pośrednictwem hydraulicznego układu przekładkowego; układ przekładkowy gwarantuje szybką i płynną przekładkę napędu i trasy przenośnika podścianowego po sztywnej stacji zwrotnej najazdowej przenośnika taśmowego,
– rozwiązanie konstrukcyjne najazdowej zwrotni taśmowej przenośnika taśmowego zapewnia jej szybkie i bezpieczne przesuwanie wzdłuż chodnika odstawczego oraz właściwe ustawienie przy wykorzystaniu układów korekcji poziomej i pionowej,
– wielowariantowe rozwiązania konstrukcyjne układów przekładkowych przenośnika podścianowego gwarantują jego przesuwanie wraz z postępem ściany bez konieczności przerw w urabianiu calizny węglowej,



Rys.12. Najazdowa stacja zwrotna typu „Ryfama”

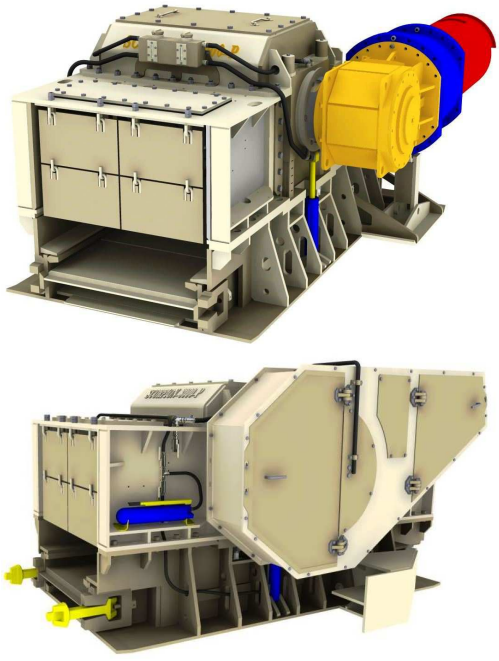


Rys.13. Stacja zwrotno–przesuwna typu „Ryfama”



Rys.14. Zwrotnia taśmowa z układem przekładkowym UP–2500

– konstrukcja kompleksu podścianowego jest konstrukcją zwartą, co ułatwia uzyskanie właściwych odległości ruchowych wymaganych przepisami,
– przez zastosowanie sztywnych zastawek oraz osłon nad przenośnikiem przenośnik daje możliwość posadowienia na nim aparatury elektrycznej, co ułatwia jej sprawne i bezpieczne przesuwanie,
– wariantowe rozwiązania konstrukcyjne dynamicznych kruszarek urobku, które są montowane na przenośniku podścianowym gwarantują skruszenie dużych brył transportowanego urobku a następnie jego uformowanie na przesypie przenośnika, co jest podstawą ciągłości pracy przenośników taśmowych.



Rys.15. Dynamiczne kruszarki urobku typu „SCORPION”

5. Najnowsze propozycje RFM RYFAMA S.A.

5.1. Ścianowa kruszarka KS–4

Z obserwacji pracy kruszarek typoszeregu KS–1, KS–2 wynikało, iż zainstalowana w nich moc jest niewystarczająca. Przy bardzo dużych bryłach urobku i twardym węglu dochodziło do zablokowania kruszarki. Podjęto więc decyzję o zbudowaniu nowej, bardziej wydajnej i niezawodnej kruszarki z napędem zębatym o symbolu KS–4 [3].

Przystępując do projektowania przedmiotowej kruszarki przyjęto następujące kryteria:

- kruszarka powinna być zabudowana w bezpośredniej bliskości napędu wysypowego,
- konstrukcja, gabaryty kruszarki oraz sposób jej zabudowy na ścianowym przenośniku zgrzebłowym nie mogą ograniczać pracy kombajnu ścianowego w rejonie napędu wysypowego przenośnika,
- kruszarka powinna mieć możliwość kruszenia brył urobku przy zmiennym (wychylnym) położeniu organu kruszącego,
- kruszarka musi posiadać możliwość zabezpieczenia przed jej przeciążeniem,
- silnik elektryczny do napędu organu kruszącego kruszarki powinien mieć moc min. 200 kW,
- kruszarki powinny być wyposażone w układy dysz zraszających oraz osłon zabezpieczających załogę przed odpryskami urobku powstającego w procesie kruszenia.

Rys.16. Kruszarka ścianowa typu „KS–4”

Parametry techniczne kruszarki:

moc zainstalowania	– 200–315 kW
średnica bębna	– 947 mm
długość bębna	– 855, 970, 1070 mm
obroty bębna	180 obr/min
regulacja wysokości	– siłownikiem o skoku 200–350 mm
położenie bębna	– prześwit 400÷1050 mm
miejsce montażu	– rynna dołączna napędu wysypowego

5.2. System wibrodiagnostyki EH–Wibro

System EH–Wibro [2, 5] przeznaczony jest do akwizacji, monitorowania, archiwizacji, przesyłania i analizowania danych pozyskanych z przetworników drgań, czujników temperatury i prędkości obrotowej zabudowanych na podzespołach (przekładnie zębate, bębny napędowe) przenośnika zgrzebłowego.

System może być instalowany w podziemnych wyrobiskach zakładów górniczych ze stopniem zagrożenia metanowego „a”, „b”, „c” oraz klasy „A” i „B” zagrożenia wybuchem pyłu węglowego.

W procesie diagnostyki realizowanej metodami wibrodiagostycznymi, nie obserwuje się bezpośrednio efektów zużycia elementów, lecz wyłącznie symptomy tych zjawisk. Najkorzystniejsze rezultaty uzyskuje się przy użyciu systemów diagnostycznych pracujących w sposób ciągły, przez co uzyskuje się ciągłą obserwację zmiany stanów węzłów kinematycznych. Np. obserwacja stanu łożysk za pomocą obwiedni przyśpieszenia bezpośrednio umożliwia wczesne wykrywanie i zapobieganie awariom całej maszyny. Zasadniczym celem stosowania diagnostyki wibroakustycznej jest określenie pewnej granicy stanu i sygnalizacja tego stanu jako informacji, że urządzenie weszło w okres przyśpieszonego zużycia, co w konsekwencji prowadziłoby do nieuchronnej awarii.

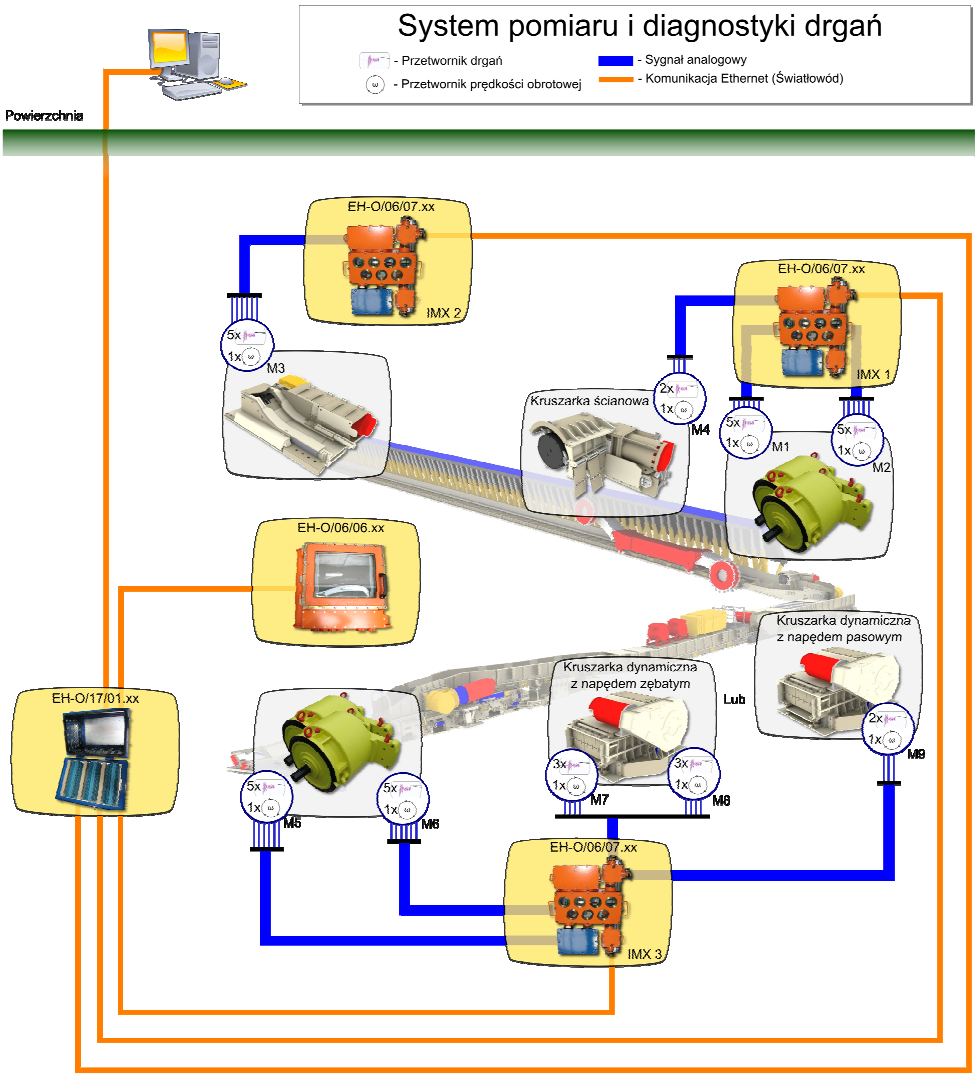
Aby móc na bieżąco obserwować aktualny stan przekładni zębatych oraz bębnów napędowych przenośników zgrzebłowych swojej produkcji, Rybnicka Fabryka Maszyn RYFAMA S.A. zleciła partnerskiej firmie Kopex Electric System opracowanie systemu EH–Wibro, który to system przedstawiono na rysunku 17. System dedykowany jest wszystkim użytkownikom przenośników produkcji RYFAMA S.A.

5.3. System automatycznego elektrohydraulicznego napinania cięgna łańcuchowego w przenośnikach zgrzebłowych

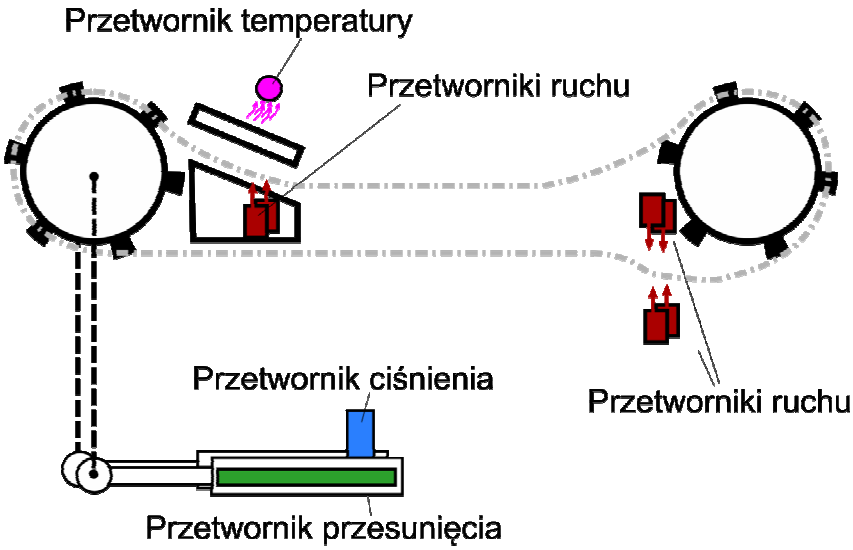
W trakcie normalnej pracy przenośnika zgrzebłowego napięcie cięgna łańcuchowego przenośnika podlega ciągłym zmianom, co wynika ze zmieniającej się konfiguracji trasy przenośnika oraz aktualnego położenia maszyny urabiającej na trasie przenośnika.

Z tego też powodu dla właściwej pracy przenośnika zgrzebłowego bardzo istotnym czynnikiem jest utrzymywanie prawidłowego napięcia cięgna łańcuchowego przenośnika w trakcie jego ruchu.

Aby spełnić powyższe wymagania w najbliższym czasie będziemy mogli zaoferować automatyczny system przeznaczony do ciągłej kontroli i utrzymywania zadanego napięcia łańcucha ścianowego przenośnika zgrzebłowego [2]. W ten sposób osiągniemy cel jakim jest uzyskanie zmniejszenia zużycia elementów przenośnika zgrzebłowego, takich jak łańcuch ogniwowy, koła gwiazdowe, elementy trasy przenośnika. Prawid-



Rys.17. Schemat poglądowy systemu EH–Wibro



Rys.18. Poglądowy schemat układu automatycznego napinania łańcucha

łowe napięcie łańcucha uzyskiwane będzie przez automatyczną zmianę odległości pomiędzy bębnami łańcuchowymi przenośnika zgrzebłowego.

6. Podsumowanie

Na bazie oferowanych i produkowanych przez Rybnicką Fabrykę Maszyn RYFAMA S.A. przenośników zgrzebłowych oraz innych urządzeń takich jak zwrotnie taśmowe, urządzenia przekładkowe, przekładnie planetarne, Rybnicka Fabryka Maszyn RYFAMA S.A. posiada dominującą pozycję dostawcy przedmiotowych wyrobów dla kopalń węgla kamiennego w Polsce.

Wyroby fabryki zdobyły również znaczącą pozycję poza granicami (rynek: rosyjski, czeski, białoruski, hiszpański, ukraiński, irański, meksykański, argentyński, rumuński).

Oferowane przez RYFAMA S.A. przenośniki zgrzebłowe wraz z całą infrastrukturą są urządzeniami nowoczesnymi z punktu widzenia ich rozwiązań konstrukcyjnych oraz zastosowanej zaawansowanej technologii produkcji.

Chcąc zachować bardzo wysoką dyspozycyjność fabryka posiada odpowiednie zaplecze serwisowe w kraju oraz krajach, gdzie eksportowane są urządzenia.

RYFAMA S.A. chcąc dalej podnosić swoją pozycję na rynku odbiorców przenośników zgrzebłowych kładzie szczególny nacisk na dalszy rozwój konstrukcji i technologii oraz związane z tym badania naukowe.

Uzyskane w ostatnich latach nagrody i wyróżnienia na międzynarodowych wystawach i targach górniczych są potwierdzeniem wysokiej pozycji firmy na rynku producentów przenośników zgrzebłowych i urządzeń górniczych.

Literatura

1. Kusak E., Tytko S.: „Dokonania techniczne RFM RYFAMA S.A. w zakresie rozwoju i innowacyjności górniczych przenośników zgrzebłowych". Polski Kongres Górniczy 2010, 9–10 wrzesień 2010, Gliwice.
2. Tytko S., Magiera W., Lubryka J.: „Innowacyjne rozwiązania oraz monitoring i automatyzacja pracy górniczych przenośników zgrzebłowych". XVIII Sympozjum Naukowo–Techniczne SEMAG 2012, 28–30 maj 2012, Szklarska Poręba.
3. Tytko S., Suchoń J.: „Nowe propozycje RFM RYFAMA S.A. w zakresie budowy i sterowania ruchem ścianowych przenośników zgrzebłowych". Szkoła Mechanizacji i Automatyzacji Górnictwa, 24-26 marzec 2010, Ustroń.
4. Tytko S., Łabęcki M.: „Aspekty bezpieczeństwa w konstruowaniu i użytkowaniu urządzeń produkcji RFM RYFAMA S.A. wchodzących w skład zintegrowanych systemów odstawczych urobku". VII Konferencja Naukowo–Techniczna, 2–3 luty 2011, Szczyrk.
5. Lubryka J., Tytko S.: „Wibrodiagnostyka przekładni zębatych jako element monitoringu trasy przenośników zgrzebłowych produkcji Grupy KOPEX". XXI Szkoła Eksploatacji, 2012, Kraków.

Artykuł wpłynął do redakcji w sierpniu 2012 r.

Prof. nadzw. dr hab. inż. Tadeusz SMOLNICKI
Politechnika Wrocławska

Zwiększenie nośności łoża kulowego nadwozia zwałowarki metodą korekcji bieżni

S t r e s z c z e n i e

Zwiększenie nośności łoża kulowego nadwozia zwałowarki metodą korekcji bieżni umożliwia zwiększenie trwałości łożyska. Metoda korekcji bieżni opiera się na odpowiednim wyprofilowaniu dna rowka bieżni i wyniesieniu go w strefach bardziej podatnych, a obniżeniu w strefach sztywniejszych. Wskutek powyższego zabiegu uzyskuje się wyrównanie obciążeń poszczególnych elementów tocznych oraz znaczne obniżenie, decydujących o zniszczeniu, obciążeń maksymalnych.

S u m m a r y

Increase of carrying capacity of ball bearings of dumping conveyor with use raceway correction method enables increasing the bearings life. The raceway correction method bases on the suitable forming the raceway bottom groove and lifting it in the more flexible areas and lowering in the more rigid areas. As the result of above treatment the loading compensation of particular rolling elements as well as significant decrease of maximal loadings that decide about failure was obtained.

1. Wstęp

KOPEX – FAMAGO to firma od początku swej działalności związana z sektorem górnictwa odkrywkowego.

Łoża kulowe obrotu nadwozia podstawowych maszyn górnictwa odkrywkowego są jednymi z najbardziej wytężonych elementów maszynowych, co wynika z dużego, działającego mimośrodowo obciążenia, niekorzystnych warunków pracy oraz przede wszystkim z niedostatecznej sztywności podzespołów wsporczych. Obecnie nie istnieje uzasadniona ekonomicznie techniczna możliwość zapewnienia odpowiedniej sztywności podzespołów wsporczych.

Obrót nadwozia jest jednym z podstawowych ruchów roboczych maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego: koparek kołowych i zwałowarek. Ze względu na koszt wykonania oraz wymiany pożądane jest zapewnienie trwałości węzła obrotu na co najmniej 10 tys. godzin eksploatacji [1]. Obecne rozwiązania konstrukcyjne węzła obrotu opierają się w przypadku maszyn małych na zastosowaniu katalogowych momentowych łożysk wieńcowych, a w przypadku maszyn większych na jedno- lub dwuszeregowych łożach kulowych. Średnice podziałowe tego typu łożysk osiągają nawet 20 m, a stosowane średnice elementów tocznych mieszczą się w zakresie 100-250 mm [2].

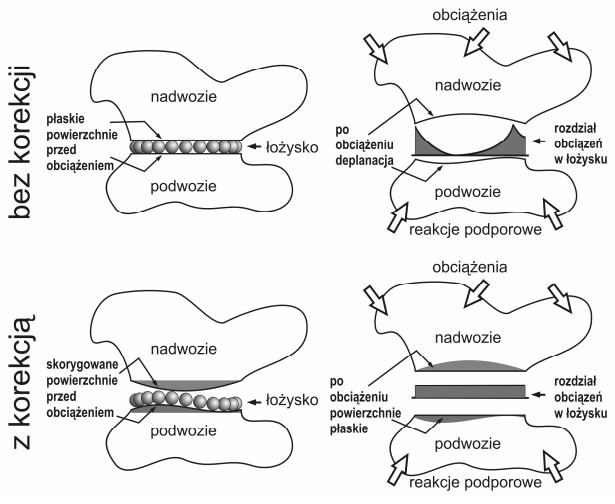
Konsekwencją znacznej podatności podzespołów wsporczych jest znaczne przeciążenie elementów tocznych znajdujących się pomiędzy strefami o większej sztywności, a więc nad wyprowadzeniami podpór, miejscami wprowadzenia pylonów lub słupów wieży itp., i niedociążenie gdy kule znajdują się pomiędzy nimi [3].

Jeżeli nie istnieje możliwość zwiększenia średnicy podziałowej łożyska ani zwiększenie liczby i średnicy elementów tocznych, to podstawowym zagadnieniem zapewnienia odpowiedniej ostoi dla podzespołu wsporczego nie jest zwiększanie sztywności, a zapewnienie odpowiednio równomiernego obciążenia elementów tocznych. Opisana poniżej metoda korygowania bieżni [4] jest krokiem właśnie w tym kierunku.

Metoda korekcji bieżni opiera się na odpowiednim wyprofilowaniu dna rowka bieżni i wyniesieniu go w strefach bardziej podatnych, a obniżeniu w strefach sztywniejszych. Wskutek powyższego zabiegu uzyskuje się wyrównanie obciążeń poszczególnych elementów tocznych oraz znaczne obniżenie, decydujących o zniszczeniu, obciążeń maksymalnych. Dzięki takiemu zabiegowi możliwe jest znaczne zwiększenie trwałości łożyska. Zabieg korekcji bieżni opisano na przykładzie łożyska obrotu nadwozia zwałowarki ZGOT 11500.100 zbudowanej dla KWB Turów przez KOPEX-FAMAGO Sp. z o.o.

2. Istota metody

Istota metody polega na takim ukształtowaniu (wyniesieniu w strefach nadwozia/podwozia o mniejszej podatności a obniżeniu w strefach bardziej sztywnych) dna bieżni łoża kulowego, aby nastąpiło dociążenie elementów tocznych znajdujących się w strefach bardziej podatnych, i w konsekwencji odciążenie elementów w strefach bardziej sztywnych. Tak wprowadzona korekcja podzespołów wsporczych - dna bieżni, powinna pod obciążeniem, w następstwie deplanacji, ulegać zmniejszeniu. Schemat ideowy korekcji pokazano na rysunku 1.

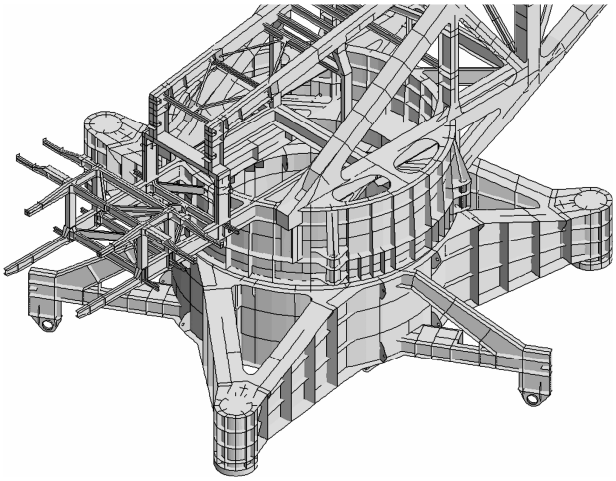


Rys.1. Schemat ideowy stosowania korekcji

Wartości korekcji można wyznaczyć z obliczeń metodą elementów skończonych [7]. Obecnie standardem jest obliczanie tego typu podzespołów wsporczych za pomocą modeli powierzchniowych opartych na elementach powłokowych. Z obliczeń metodą elementów skończonych uzyskiwane są zarówno rozkład sztywności, jak i wielkość deformacji pod obciążeniem [3].

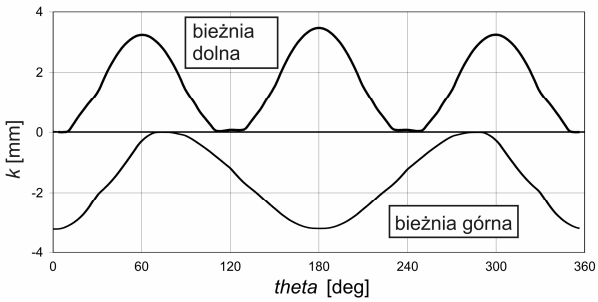
Dla każdego stanu obciążenia wyznaczona może być inna linia korekcji. Wartość korekcji jest wielokrotnością linii ugięcia bieżni dla najbardziej reprezentatywnego zestawu obciążeń, taka aby uzyskać optymalne obciążenie elementów tocznych dla różnych zestawów obciążeń. Odrębnym zagadnieniem jest wykonanie korekcji na obiekcie fizycznym.

3. Przykład korekcji na obiekcie rzeczywistym

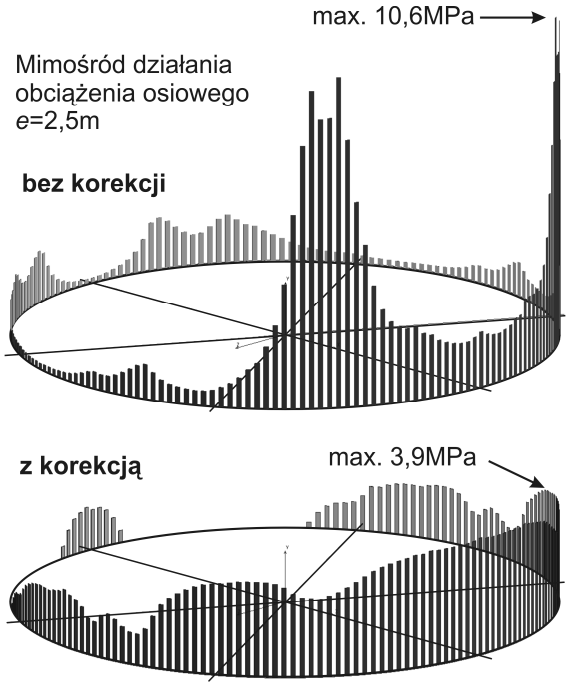


Rys.2. Model węzła obrotu zwałowarki

W celu zaprezentowania skuteczności korekcji bieżni łożyska i jej wpływu na rozdział obciążeń w łożysku wyznaczono linię korekcji oraz przeprowadzono symulacje numeryczne metodą elementów skończonych zwałowarki ZGOT 11500.100. Zwałowarka ta posiada łoże kulowe o średnicy podziałowej ∅10 m i kulach ∅200 mm. Model dyskretny węzła obrotu nadwozia pokazano na rysunku 2. Model zawiera około 1,5 mln stopni swobody.



Rys.3. Wartość korekcji dla bieżni górnej i dolnej po obwodzie łożyska



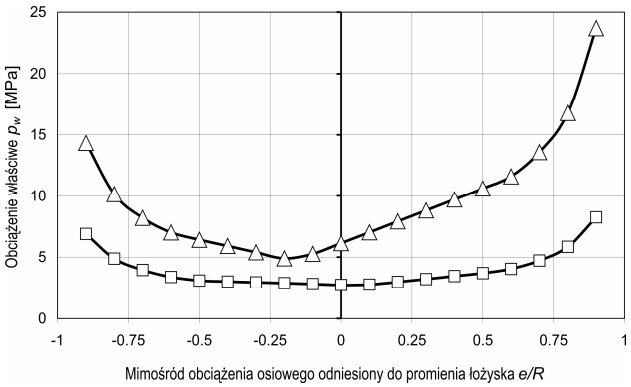
Rys.4. Obciążenia właściwe p_w poszczególnych elementów tocznych przed i po zastosowaniu korekcji

Przeprowadzono obliczenia wytrzymałościowe w zakresie liniowym i wyznaczono rozkład podatności dla dźwigara pierścieniowego podwozia i platformy nadwozia. Na podstawie pola przemieszczeń punktów odpowiadających bieżni górnej i dolnej wyznaczono linie korekcji (rys. 3).

Przeprowadzono obliczenia weryfikujące metodą elementów skończonych [5, 6] z uwzględnieniem nieliniowości geometrycznych i fizycznych. Do budowy modelu obliczeniowego wykorzystano superelementy *bieżnia-element toczny-bieżnia* [3]. Obliczenia przeprowadzano dla różnych mimośrodów obciążenia osiowego: od 0 do wartości równej 0,9 promienia podziałowego łożyska. Na rysunku 4 zestawiono rozdział obciążeń dla mimośrodu *e* równego 2,5 m. Wartości obciążenia poszczególnych elementów tocznych podano jako obciążenie właściwe p_w, definiowane jako:

$$p_w = \frac{F}{d^2} \quad (1)$$

gdzie F jest siłą obciążającą kulę, a d jest średnicą kuli.



Rys.5. Porównanie obciążenia właściwego elementu tocznego bez korekcji – znaczniki trójkątne i po jej zastosowaniu – znaczniki kwadratowe

Dla łożysk o bieżniach monolitycznych miękkich przyjmuje się jako graniczną wartość obciążenia właściwego od 4 do 7,8 MPa, zależnie od rodzaju materiału bieżni i obróbki cieplnej [1, 7]. Z porównania maksymalnego obciążenia właściwego dla różnych mimośrodów obciążenia (rys. 5) wynika dwukrotny a nawet trzykrotny spadek wytężenia elementu tocznego wskutek zastosowania korekcji.

W łożysku zwałowarki ZGOT 11500.100 zastosowano korekcję przez zastosowanie podkładki o zmiennej grubości na bieżni elementów tocznych.

4. Weryfikacja doświadczalna

W bieżnię łożyska wbudowano czujniki w celu: pomiaru rozkładu obciążeń elementów tocznych w łożysku nowym i po określonym czasie eksploatacji. Następnie dokonano oceny nowo zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych w celu zmniejszenia wytężenia elementów tocznych. Metoda pomiaru polega na wprowadzeniu w bieżnię kołków pomiarowych wyposażonych w tensometry. Kula, wywierając nacisk na kołek, powoduje jego odkształcenie, którego wartość jest rejestrowana. Pomiar obciążenia poszczególnych elementów tocznych jest realizowany przez wstawienie w wybranych miejscach segmentów bieżni czujników: 6 dla bieżni dolnej i 7 dla bieżni górnej.

Przeprowadzono pomiary obciążeń występujących w łożysku obrotu nadwozia zwałowarki ZGOT 11500.100 (nr inwentarzowy Z-48) ze skorygowaną bieżnią, na początku i na końcu okresu 8-miesięcznej eksploatacji. Pomiary przeprowadzono podczas zwałowania oraz przy obrotach luzem. Przykładowe wyniki maksymalnych obciążeń zestawiono w tabeli 1. Stwierdzono, że przy obrocie bez nosiwa w strefach bardziej obciążonych obciążenie przenosi od 70% do 86% kul.

Rys.6. Czujnik pomiarowy wraz z naklejonymi tensometrami

5. Wnioski końcowe

Zaproponowana metoda korekcji została z sukcesem wdrożona w zwałowarce ZGOT11500.100. Na podstawie przeprowadzonych symulacji numerycznych z wykorzystaniem zweryfikowanych doświadczalnie modeli łożyska stwierdzono istotny wpływ zastosowania korekcji na zmniejszenie maksymalnych obciążeń elementu tocznego. Według klasycznej teorii łożysk już

Wartości maksymalnych obciążeń właściwych zmierzonych podczas obrotu bez nosiwa

Tabela 1

Bieżnia górna łoża kulowego (nadwozie)	Nowe	Po 8 mies. eksploatacji	Bieżnia dolna łoża kulowego (podwozie)	Nowe	Po 8 mies. eksploatacji
Nr czujnika	Obciążenie właściwe p_w [MPa]	Obciążenie właściwe p_w [MPa]	Nr czujnika	Obciążenie właściwe p_w [MPa]	Obciążenie właściwe p_w [MPa]
1.	7,7	5,0	1.	0	1,2
2.	5,7	5,3	2.	4,2	3,4
3.	3,4	2,6	3.	1,3	1,5
4.	4,0	3,8	4.	1,7	0,2
5.	3,3	2,2	5.	2,6	0,2
6.	1,1	0,2	6.	6,8	3,5

spadek obciążenia elementu tocznego o 20% skutkuje dwukrotnym zwiększeniem trwałości łożyska. W przedmiotowym łożu kulowym uzyskano w miejscach najbardziej wytężonych spadek kilkukrotny! W przypadku silnie obciążonych łożysk wygodniejsze jest posługiwanie się granicznymi wartościami obciążenia właściwego. Uzyskane wartości obciążeń właściwych mieszczą się w zakresie poniżej wartości granicznych, co udowodniono na drodze numerycznej i doświadczalnej. Zastosowanie korekcji może pozwolić na umieszczenie punktów pracy łożyska w wymaganym zakresie.

Opracowana metodyka aplikacji korekcji przez wprowadzenie profilowanych podkładek o zmiennej grubości jest oryginalnym rozwiązaniem wdrożonym przez KOPEX-FAMAGO Sp. z o. o. we współpracy z Wydziałem Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej.

Literatura

1. Durst W., Vogt W.: Schaufelradbagger. Trans Tech Publications 1986.
2. Smolnicki T., Malcher K.: Wpływ parametrów układu element toczny-bieżnia na jego nośność. Przegląd Mechaniczny Nr 19-20 2000.
3. Smolnicki T.: Fizykalne aspekty koherencji wielkogabarytowych łożysk tocznych i odkształcalnych konstrukcji wsporczych. Oficyna Wyd. PWr. Wrocław 2002.
4. Przybyłek G.: Metoda uzyskiwania równomiernego przeniesienia obciążenia w parach obrotowych o niejednorodnej podatności. Praca doktorska. IKiEM Politechnika Wrocławska 2003.
5. Rusiński E.: Zasady projektowania konstrukcji nośnych pojazdów samochodowych. Oficyna Wydawnicza PWr., Wrocław 2002.
6. Rusiński E., Czmochowski J., Smolnicki T.: Zaawansowana metoda elementów skończonych, Oficyna Wydawnicza PWr., Wrocław 2000.
7. Rasper L.: Kugeldrehverbindungen bei Tagebaugrossgeraeten. Braunkohle H. 11 1972.

Artykuł wpłynął do redakcji w sierpniu 2012 r.

Czy wiesz, że...

…Grupa Kopex, jako pierwsza w Polsce, wyposażyła kopalnię w zautomatyzowany kompleks ścianowy, który zwiększa bezpieczeństwo pracy. Do tej pory na świecie pracują dwa takie kompleksy. Jeden w Stanach Zjednoczonych, drugi w Pawłowicach w KWK Pniówek.

Mgr inż. Zygmunt ŚMIEJEK
Zabrzańskie Zakłady Mechaniczne S.A.

Klasyfikacja węgla surowego i handlowego w modernizowanych instalacjach przeróbczych

S t r e s z c z e n i e

Maszyny klasyfikujące, do których należą przesiewacze oraz kruszarki bębnowe podlegają w naszym wykonaniu nieustannemu procesowi doskonalenia i modernizacji. Zestawy sortująco kruszące traktowane, jako układ maszyn są znamiennym produktem WAMAG S.A. Wałbrzych. Współczesne dokonania projektowo-konstrukcyjne w obszarze przesiewaczy i selektywnego kruszenia, uruchomienia oraz wdrożenia maszyn tego typu są znaczącym osiągnięciem na skalę polskiej mechanicznej przeróbki surowców mineralnych, a zwłaszcza węgla kamiennego.

S u m m a r y

Classifying machines of our manufacture, which include screens and drum crushers, are constantly being modernized and improved. Classifying and crushing sets are the important products of WAMAG S.A. Wałbrzych. Contemporary achievements in the field of designing and construction of screens and selective crushing, implementation and putting into operation of this type of machines are a significant success in the Polish mechanical processing of minerals, particularly hard coal.

1. Wstęp

Po upływie ponad 50 lat od momentu uruchomienia krajowej produkcji przesiewaczy wibracyjnych oraz kruszarek bębnowych w ostatnich dwóch latach wdrożono do stosowania węzły odkamieniania urobku surowego oraz klasyfikacji kontrolnej koncentratów węglowych przy użyciu maszyn o nowej postaci konstrukcyjnej.

Własne zaplecze projektowo-konstrukcyjne i wykonawcze sprostało skutecznie sprecyzowanemu przez inwestorów zagranicznych oraz odbiorców krajowych założeniom techniczno-technologicznych produktu. Najnowsze efekty uruchomień w latach 2011 i 2012 to:

- zestaw odkamieniający węgiel surowy w klasie od 0 do 200 mm i wydajności w nadawie 1500 Mg/h zaprojektowany w oparciu o wykonane badania oraz prognozy klasyfikacji i selektywnego kruszenia,
- wibracyjny przesiewacz kontrolny z bocznym wyprowadzeniem produktu podsitowego o wydajności 250 Mg/h dla ziarna podziałowego powyżej 10 mm.

Wykonane przez użytkowników badania oraz analizy techniczno-ekonomiczne potwierdziły zasadność nowych rozwiązań oraz uzyskiwanych przez nie parametrów technologicznych. Uzyskiwane rezultaty w kopalniach im. Kirova w Rosji (odkamienianie) oraz KWK Mysłowice - Wesoła i KWK Budryk w Polsce (klasyfikacja kontrolna) pozwoliły podjąć decyzję o zastosowaniu omawianych rozwiązań w kilku dalszych projektach, tak dla zagranicznych jak i krajowych obiektów; w tym nowej kopalni węgla kamiennego w obszarze "Oświęcim - Polanka I" - KOPEX Ex-Coal.

Warto w tym miejscu podkreślić, iż odkamienianie urobku surowego jak i klasyfikacja kontrolna koncentratów przed załadunkiem są standardami projektowymi przynoszące wymierne efekty jakościowe, a tym samym ekonomiczne, a proponowane przez KOPEX S.A/WAMAG S.A. rozwiązania są na aktualnym poziomie techniki światowej.

2. Zestaw klasyfikująco-kruszący

Po wielu latach działań cząstkowych różnych firm na rynku krajowym (projektowanie przez analogię i na wzór istniejących instalacji), KOPEX S.A/WAMAG S.A. zaoferował układ maszyn w pełnym cyklu produkcyjnym, czyli od koncepcji poprzez badania oraz prace projektowo-konstrukcyjne, produkcję, kończąc zadanie uruchomieniem i regulacją gwarantowanych parametrów. Prace własne wsparte zostały badaniami wykonanymi przez inwestora w oparciu o samodzielnie przygotowany program działań (Kopalnia im. Kirova - SUEK, Rosja).

Dane wejściowe charakteryzujące przede wszystkim parametry nadawy dla przesiewacza to:

- wydajność do 2000 [Mg/h],
- klasa ziarnowa 0 do 200 (300) [mm],
- ziarno podziałowe klasyfikacji i kruszenia selektywnego 100 [mm],
- ilość klasy poniżej 100 [mm] w nadawie na przesiewacz: 60 ÷ 70 [%],
- wydajność nominalna zestawu 1500 [Mg/h],
- pochodzenie nadawy: węgiel surowy z kopalni głębinowej z możliwością podawania materiału obcego ze zwałów,
- skała płonna w klasie powyżej 100 [mm] do 15 [%].

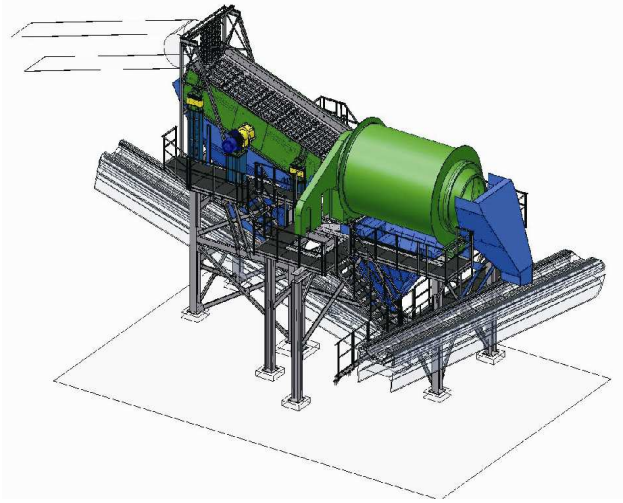
Charakterystyka techniczna przesiewacza WK1 - 2,4x6,0 [6]

Tabela 1

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA PRZESIEWACZA WK1 - 2,4x6,0			
Przeznaczenie		Suchy proces klasyfikacji	
Granulacja nadawy		[mm]	0 ÷ 300
Klasa rozdziału		[mm]	Powyżej 100
Wydajność w nadawie		[Mg/h]	2000
Szerokość pokładu sitowego		[m]	2,4
Długość pokładu sitowego		[m]	6,0
Powierzchnia pokładów sitowych		[m^2]	14,4
Sito		Specjalny ruszt blaszany o oczku #110 [mm] oraz #100 [mm]	
Częstość drgań		[min^{-1}]	738
Skok rzeszota		[mm]	10 ÷ 16±1
Kąt pochylenia rzeszota		[°]	15 ÷ 18
Silnik napędowy Typ 2Sg 250M8-EP	Moc	[kW]	30
	Obroty	[min^{-1}]	738
Podparcie przesiewacza		12 sprężyn spiralnych Typ Ø160/Ø24x390	
Sztywność sprężyny		[N/cm]	1060
Masa przesiewacza		[Mg]	9,28
Obciążenie statyczne jednej podpory		[kN]	21,3
Obciążenie dynamiczne jednej podpory		[kN]	23,9

Wytyczne projektowe i lokalizacja inwestycji uwzględniały następujące założenia:

- instalacja do pracy w istniejącym budynku stacji przygotowania,
- modernizacja (przebudowa) bez ingerencji w podstawową strukturę budynku (żelbet),
- zachowanie istniejącego systemu przenośników taśmowych podawania nadawy surowej i odstawy klasy 0 do 100 [mm] na zwały przed zakładem przeróbczym,
- technologia montażu, a tym samym postać konstrukcyjna węzła do przebudowy w czasie maksymalnie 96 godzin,
- sterowanie pracą układu maszyn zdalne z płynnym rozruchem kruszarki bębnowej.



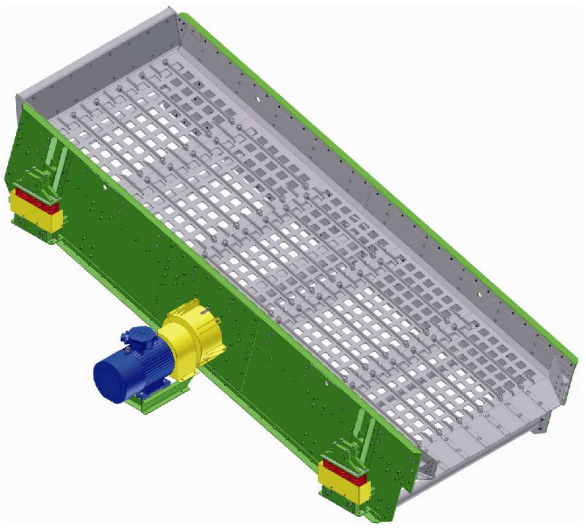
Rys.1. Zestaw klasyfikująco–kruszący [6]

Parametry techniczno-technologiczne maszyn, jak i ich postacie konstrukcyjne określono przy uwzględnieniu ww. założeń oraz analiz sitowych (całość klasy 0 do 300 mm) i prób kruszalności węgla surowego w klasie powyżej 50 mm.

Postać konstrukcyjną zestawu klasyfikująco-kruszącego przedstawiono na rysunku 1.

2.1. Przesiewacz wibracyjny WK1 - 2,4x6,0

Klasyczną, wręcz literaturową postać konstrukcyjną maszyny o charakterystyce technicznej przedstawionej w tabeli 1 prezentuje rysunek 2. Maszyna ta wyróżnia się nowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi w obrębie rzeszota, pokładu sit oraz napędu bezwładnościowego.

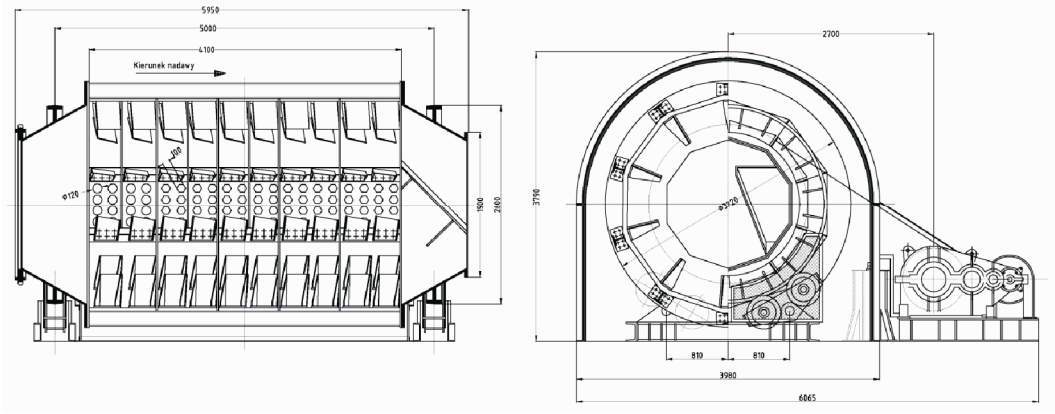


Rys.2. Przesiewacz wibracyjny WK1- 2,4x6,0 [6]

Charakterystyka techniczna kruszarki bębnowej KB 2600x4000 [6]

Tabela 2

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA KB 2600x4000	
Kruszarka bębnowa	KB 2600 x 4000
Wydajność w nadawie	300 Mg/h;
Średnica czynna bębna (mm)	D = 2600
Długość czynna bębna (mm)	L = 4000
Średnica otworów płyt (mm)	d1 = Ø120 mm d2 = 100 mm (otwory sześciokątne)
Ilość obrotów bębna	n1 = 10,3 obr/min. n2 = 6,7 obr/min.
Silnik elektryczny napędowy	N = 45 kW Typ dSg – 225M4 – EP IM2 ExdI/II2GExd IIA T4 n = 1480 obr/min. U = 660/1140V AC, 50Hz
Przekładnia zębata walcowa - typ	3N – 1000 – 52 – 4 – ExIM2 i = 52
Sprzęgło hydrodynamiczne – typ VOITH	422 – TVG+EPK wersja Ex IM2
Przekładnia łańcuchowa (przełożenie)	i1 = 2,73 i2 = 4,15
Masa kruszarki	G = 33,69 Mg



Rys.3. Kruszarka bębnowa KB 2600x4000 [6]

2.2. Kruszarka bębnowa KB 2600x4000

Produkowaną od początku lat 70-tych ubiegłego wieku, polską wersję kruszarki bębnowej typu *Bradford* zaprezentowaną na rysunku 3 poddano modernizacji, zarówno w obszarze inżynierii materiałowej, jak i geometrii części roboczej bębna (płyty kruszące, zabieraki, napęd). Dobór maszyny sprawdził się całkowicie w warunkach zabudowy i pracy z konkretnym urobkiem węgla surowego (stałe parametry z kopalni głębinowej).

Charakterystykę techniczną kruszarki bębnowej KB 2600x4000 prezentuje tabela 2.

3. Przesiewacz wibracyjny PKE1 - 1,4x2,25

Przesiewacz przeznaczony jest głównie do klasyfikacji kontrolnej koncentratu węglowego na sucho w klasie ziarnowej 0 do 250 mm, z założeniem, że minimalne ziarno podziałowe wynosi 8 mm. Konstrukcja przesiewacza nie wyklucza zastosowań w procesach mokrych, gdzie w przypadku odmulania czy odwadniania na sitach szczelinowych dowolnych typów przy ziarnie podziałowym poniżej 1 mm. W tych technologiach praca przesiewacza realizowana jest z małymi amplitudami przy wyższych częstościach drgań.

Ogólną konstrukcję przesiewacza PKE1 - 1,4x2,25 prezentuje rysunek 4, natomiast parametry techniczne tabela 3. Elementem charakterystycznym i wyróżniającym omawiany przesiewacz jest boczny odbiór produktu podsitowego oraz szczelna rynna na całej długości rzeszota, umożliwiająca skuteczny transport przesianego materiału.

Przesiewacze kontrolne PKE1 - 1,4x2,25 znalazły zastosowanie w klasyfikacji kontrolnej koncentratów węglowych między innymi w:

- KWK „Mysłowice – Wesoła” w węźle technologicznym po wzbogacalnikach DISA;
- KWK „Budryk” w węźle technologicznym po osadzarkach.

Charakterystyka techniczna PKE - 1,4x2,25 [6]

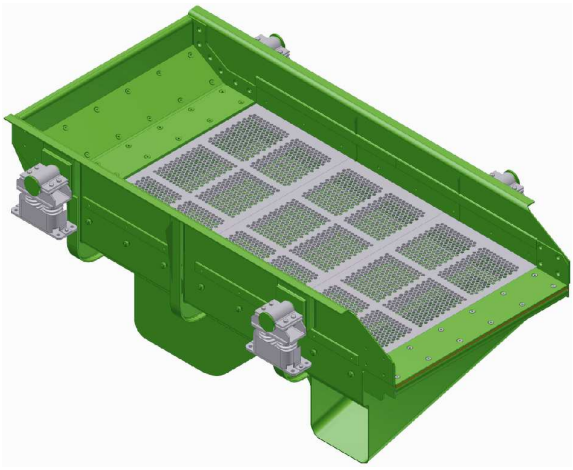
Tabela 3

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA PKE1 - 1,4X2,25		
Przeznaczenie	Klasyfikacja kontrolna	
Wydajność	[Mg/h]	250±20%
Szerokość rzeszota	[m]	1,55
Długość rzeszota	[m]	3,05
Powierzchnia rzeszota	[m^2]	4,2
Powierzchnia sita	[m^2]	3,15
Częstość drgań	[min^{-1}]	980
Skok przesiewacza	[mm]	Do 12
Kąt pochylenia rzeszota	[°]	Do 15
Napęd bezwładnościowy 2x Elektrowibrator Friedrich F1000-6-4.7	[kW]	2x2,7
	[min^{-1}]	980
Masa przesiewacza	[Mg]	2,5

Miejsce pracy przesiewaczy PKE - 1,4x2,25 w KWK „Mysłowice – Wesoła” [6]

Tabela 4

Lp.	Typ urządzenia	Nr urządzenia	Lokalizacja na ZMPW	Data odbioru	Wymiar oczka sit
1	PKE1 - 1,4x2,25	249/61	Budynek płuczki - tor 104	01.09.2011	#30 i 40
2	PKE1 - 1,4x2,25	249/62	Budynek płuczki - tor 104	14.11.2011	#30 i 40
3	PKE1 - 1,4x2,25	249b/72	Budynek płuczki - tor 106	26.04.2011	#30 i 40
4	PKE1 - 1,4x2,25	211/11	Budynek płuczki - tor 114	21.03.2011	#80

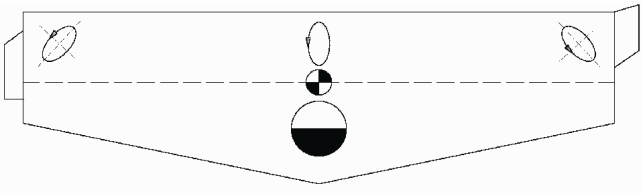


Rys.4. Przesiewacz kontrolny PKE1 - 1,4x2,25 [6]

Zadaniem przesiewaczy kontrolnych jest wyodrębnienie podziarna z produktu handlowego, które powstało na skutek transportu w węźle technologicznym, składowaniem i innymi czynnikami degradującymi ziarno, tuż przed załadunkiem do transportu do odbiorcy.

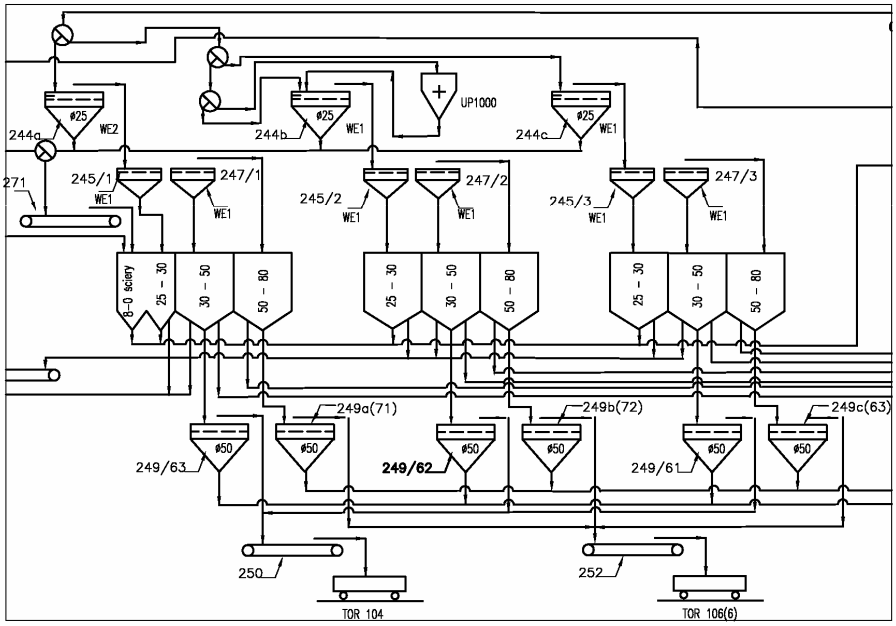
Przesiewacze te charakteryzują się następującymi cechami:

– rynna spełniająca funkcję rzeszota jest konstrukcją spawaną uformowaną w kształcie prostokąta. Podstawa konstrukcji rynny to zespół belek nośnych, do których przyspawane są żebra podtrzymujące burty i wysyp produktu podsitowego. Do belek nośnych przymocowana jest również belka z napędem bezwładnościowym. Dno wyłożone jest blachą trudnościeralną. Brzeg burty jest dodatkowo gięty w celu usztywnienia konstrukcji. W rynnie przymocowane są kątowniki, na których ułożone są ramy sit samonośnych. Elementy mocowane do rynny łączone są połączeniem rozłącznym – śrubowym z zastosowanym systemem zabezpieczającym firmy NORD-LOCK, który zapewnia trwałość i stabilność połączeń poddawanych działaniom obciążeń dynamicznych;
– pokład sit wykonany jest z modułów sit samonośnych blaszanych perforowanych, ułożonych na podporach wzdłuż ścian bocznych rynny wykonanych z kątowników. Moduły mogą być wyposażone w sita szczelinowe w przypadku pracy przesiewacza w klasyfikacjach wodnych;
– usytuowanie elektrowibratorów pracujących z wykorzystaniem zasady samo synchronizacji względem środka ciężkości jest takie, że na długości pokładu sit materiał jest przyspieszany na wlocie, a hamowany na wylocie, co prezentuje rysunek 5.

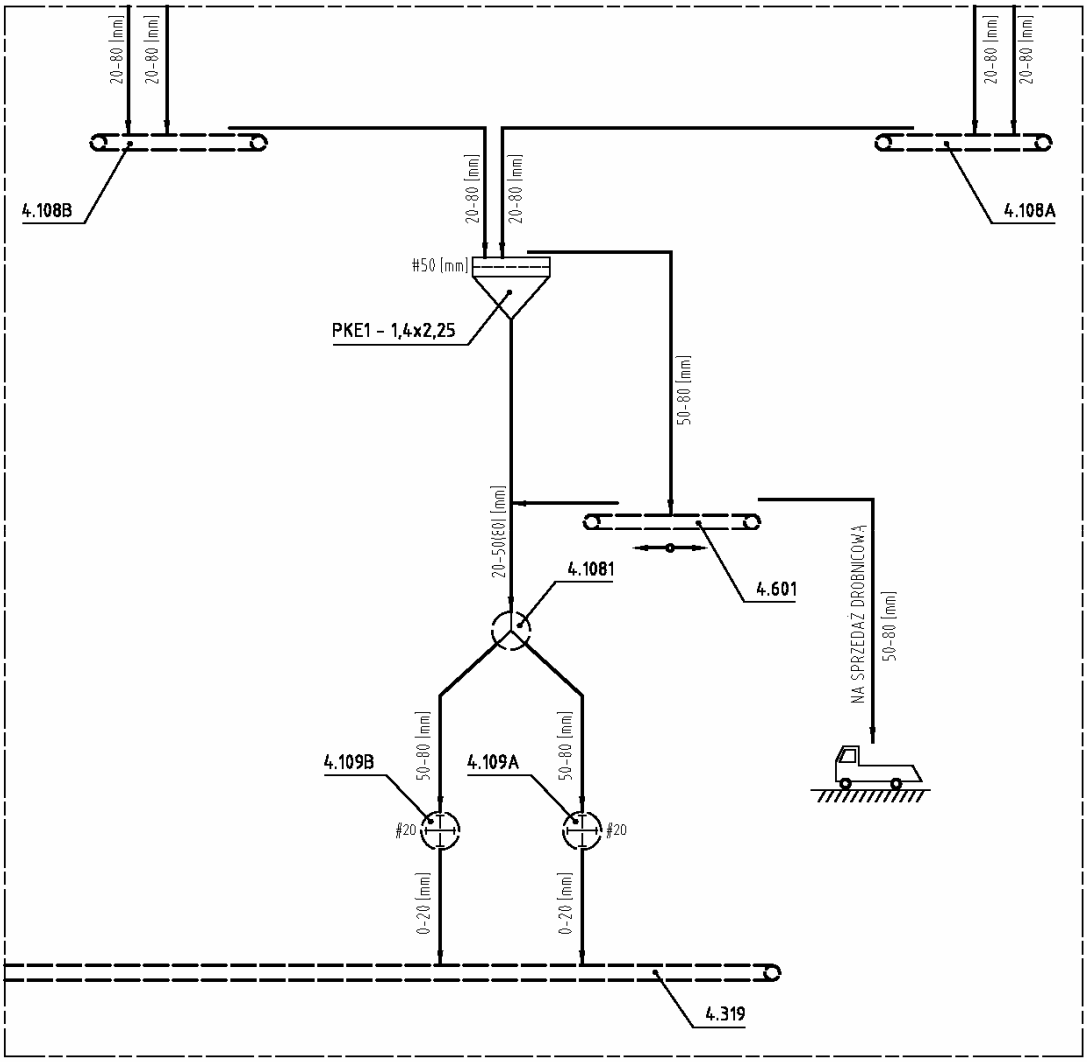


Rys.5. Schematyczne przedstawienie kierunku przyspieszenia materiału na sicie [6]

Jednym z głównych odbiorców KOPEX S.A./WAMAG S.A. przesiewaczy kontrolnych jest KWK „Mysłowice – Wesoła”. Tabela 4 oraz rysunek 6 prezentują miejsca pracy czterech przesiewaczy na wspomnianej kopalni.



Rys.6. Schemat usytuowania Przesiewaczy PKE1 - 1,4x2,25 w węźle technologicznym w KWK „Mysłowice – Wesoła” [6]



Rys.7. Schemat usytuowania przesiewacza PKE1 - 1,4x2,25 w węźle technologicznym w KWK „Budryk” [6]

Przesiewacze zastosowane do eliminacji podziarna bezpośrednio przed załadunkiem na wagony w sposób istotny poprawiają jakość produktów handlowych, zwłaszcza przeznaczonych na eksport, gdzie długa droga transportu kolejowego i morskiego w sposób naturalny degraduje ziarno.

Miejsce aplikacji jednego przesiewacza PKE1 - 1,4x2,25 w KWK „Budryk" przedstawiono na fragmencie schematu technologicznego (rys. 7).

Przesiewacz PKE1-1,4x2,25 zastosowany do przygotowania sortymentów dla drobnej sprzedaży pracuje okresowo obsługując załadunek na samochody. Moduły sit samonośnych umożliwiają szybką zmianę oczka sita na przesiewaczu, co ma istotne znaczenie przy sprzedaży różnych sortymentów uzyskanych z klasy od 0 do 80 [mm].

4. Podsumowanie

Niezależnie od miejsca i kraju eksploatacji złoża węgla kamiennego można stwierdzić, że istotnym elementem przygotowania nadawy do wzbogacania, jest odkamienianie urobku surowego. Ważnym również jest klasyfikacja kontrolna sortymentów handlowych w każdym modelu wzbogacania jako pierwszy i ostatni węzeł instalacji rzutującej zasadniczo na jej efektywność.

Dobór urządzeń do węzła odkamieniania wykonywany przez KOPEX S.A./WAMAG S.A.. przy wykorzystaniu własnych programów obliczeniowych dla określenia cech konstrukcyjnych i parametrów ruchu sprężyście podpartych elementów rzeszota przesiewaczy oraz próby kruszalności do opisu średnicy i długości bębna kruszącego w aspekcie liczby zrzutów pojedynczego ziarna przy selektywnej degradacji wszystkich trzech produktów tzn.: koncentratu, przerostu i skały płonnej.

Wszystkie te działania dotyczą określonego w założeniach ziarna podziałowego tak w procesie odkamieniania, jak i klasyfikacji kontrolnej. Proces odkamieniania urobku surowego eliminujący z dalszego mokrego procesu wzbogacania część skały płonnej oraz klasyfikacja kontrolna, dzięki, której eliminuje się podziarna w produktach handlowych mają duży wpływ na zaistniałe w procesie wzbogacania zyski lub straty, co zostało docenione przez inwestorów korzystających z maszyn oraz technologii Grupy KOPEX S.A..

Literatura

1. Dietrych J.: Teoria i budowa przesiewaczy, Wydawnictwo Górniczo-Hutnicze, Wyd. 2 popr. i uzup. - Katowice 1962.
2. Dietrych J.: Projektowanie i konstruowanie, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1974.
3. Sztaba K.: Przesiewanie, Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1993.
4. Wodziński P.: Przesiewanie i przesiewacze, Wyd. Politechniki Łódzkiej 1997.
5. Derrick Corporation, Przesiewanie przy dużych wydajnościach; Buffalo USA 1998.
6. Dokumentacje projektowe i konstrukcyjne WAMAG S.A. Wałbrzych 2010-2012 r.

Artykuł wpłynął do redakcji w sierpniu 2012 r.

Czy wiesz, że...

…Grupa Kopex - przy współpracy z ITG Komag z Gliwic - jako pierwsza na świecie, zastosowała w kombajnach ścianowych powietrzno-wodną instalację zraszającą, która w znaczący sposób ogranicza ryzyko zapłonu metanu oraz zapylenie generowane przez maszyny urabiające. W ścianach KWK Pniówek wyposażonych w kombajn KSW-460NE z powietrzno-wodną instalacją zraszającą dokonano porównania skuteczności redukcji zapylenia podczas stosowania zraszania wodnego i powietrzno-wodnego. Pomiary zapylenia wykonano podczas urabiania w kierunku przeciwnym do kierunku przepływu powietrzna w trzech miejscach w ścianie: na wlocie ściany, na stanowisku operatora kombajnu, na wylocie ściany. Pomiary wykazały jednoznacznie 15% przewagę powietrzno-wodnej instalacji zraszającej względem zraszania wodnego w redukcji zapylenia respirabilnego. Badaniom poddano również kombajny KSW-880EU. Wykazały one dużą skuteczność w redukcji zapylenia przy zastosowaniu powietrzno-wodnej instalacji zraszającej. Wyniosła ona w stosunku do instalacji zraszającej wodnej 42% w zakresie redukcji stężenia pyłu całkowitego i 93% w zakresie redukcji stężenia frakcji respirabilnej.

Podczas urabiania kombajnem, przy stosowaniu powietrzno-wodnej instalacji zraszającej, zapylenie respirabilne utrzymywało się poniżej poziomu 2 mg/m3 (średnia wartość pyłu respirabilnego wyniosła 0,88 mg/m3). Natomiast w przypadku stosowania zraszania wodnego dopuszczalne stężenie pyłów respirabilnych zostało przekroczone ponad sześciokrotnie w stosunku do wartości i było 14 krotnie wyższe niż przy stosowaniu zraszania powietrzno-wodnego. Pomiary pokazały, że nawet 20% drożnych dysz powietrzno-wodnych daje efekty ok. dwukrotnego obniżenia zapylenia, co związane jest z bardzo dobrym rozpyleniem wody. W innej ścianie, podczas urabiania kombajnem w kierunku przeciwnym do przewietrzania, na stanowisku kombajnisty, skuteczność redukcji zapylenia za pomocą zraszania powietrzno-wodnego, w odniesieniu do zraszania wodnego, wyniosła 20% dla

pyłu respirabilnego oraz 34% dla pyłu całkowitego. Na wylocie ściany skuteczność redukcji zapylenia przy zastosowaniu zraszania powietrzno-wodnego, w stosunku do wodnego, wyniosła 33% dla pyłu respira- bilnego oraz 55% dla pyłu całkowitego. Znacznie niższe wartości stężenia pyłu w powietrzu zarejestrowano w przypadku urabiania kombajnem zgodnie z kierunkiem przewietrzania. Na stanowisku kombajnisty, skuteczność redukcji zapylenia przy stosowaniu zrasza- nia powietrzno-wodnego, w stosunku do zraszania wodnego, wyniosła 62% dla pyłu respirabilnego i 77% dla pyłu całkowitego, natomiast na wylocie ściany wyniosła odpowiednio 52% dla pyłu respirabilnego i 45% dla pyłu całkowitego.

Przeprowadzone badania miały na celu zbadanie skuteczności redukcji zapylenia powietrza podczas urabiania kombajnem, przy zastoso- waniu zraszania powietrzno-wodnego i wodnego oraz porównanie obu typów zraszania, a nie zbadanie średniego zapylenia podczas całej zmiany roboczej. Średnie zapylenie mierzone przez całą zmianę wykazywałoby znacznie mniejsze wartości niż te wykazane podczas badań. Istotną zaletą systemu jest również ograniczenie zużycia wody zraszającej nawet o 40%, co wpływa istotnie na poprawę warunków pracy na przesypach przenośników oraz ogranicza zawilgocenie urobionego węgla.

Obecnie powietrzno-wodna instalacja zraszająca stosowana jest w kilku typach kombajnów górniczych, które z powodzeniem pracują zarówno w polskich, jak i zagranicznych kopalniach, m. in.: KSW460NE, KSW1500EU, KSW 880EU, KSW 1140EZ.

Prof. dr hab. inż. Teodor WINKLER
Dr inż. Dariusz MICHALAK
Mgr inż. Łukasz JASZCZYK
Dr inż. Magdalena ROZMUS
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Narzędzia informatyczne wspomagające utrzymanie ruchu kombajnów ścianowych wytwarzanych w Zabrzańskich Zakładach Mechanicznych S.A.

S t r e s z c z e n i e

Jednym z czynników warunkujących bezpieczną i efektywną eksploatację maszyn jest odpowiednia realizacja procesu utrzymania ruchu. Poprawne wykonywanie czynności w ramach tego procesu wymaga zastosowania odpowiedniej wiedzy. Zasoby wiedzy powinny mieć odpowiednią zawartość merytoryczną oraz być dostosowane do warunków, w jakich ww. proces jest realizowany. W artykule przedstawiono nowoczesne rozwiązanie wspomagające proces utrzymania ruchu maszyn, na przykładzie maszyn górniczych.

S u m m a r y

Proper conducting of machines maintenance process is one of factors that conditions safe and effective machines operation. Correct performance of maintenance activities requires relevant knowledge. Knowledge resources used by maintenance personnel should meet their needs regarding content and should be adjusted to the conditions in which they will be used. In the article the solution dedicated to aid mining machines maintenance is presented.

1. Wstęp

Wysoki stopień złożoności współczesnych kombajnów ścianowych, duże zróżnicowanie ich konstrukcji wynikające z indywidualnych wymagań użytkowników oraz coraz większy udział zaawansowanych technologicznie rozwiązań poszczególnych zespołów, stawia coraz to wyższe wymagania procesom utrzymania ruchu. Krótkie terminy dostaw i oczekiwania klientów w zakresie szybkiego wdrożenia kombajnów ścianowych w proces produkcyjny kopalni skracają czas wymagany na przeprowadzenie szkoleń warunkujących prawidłowe użytkowanie maszyn. Rosnący udział Zabrzańskich Zakładów Mechanicznych S.A. w globalnym rynku kombajnów ścianowych, jak również fakt, że społeczność użytkowników tych maszyn staje się wielonarodowa, należąca do różnych kręgów kultury i mówiąca wieloma językami, rodzi poważne problemy w komunikacji pomiędzy producentem, a użytkownikami.

Wychodząc naprzeciw tym wyzwaniom Instytut Techniki Górniczej KOMAG opracował system narzędzi informatycznych wspomagających proces utrzymania ruchu kombajnów ścianowych oraz metody ich upowszechniania, adresowanych do tak zróżnicowanej grupy użytkowników. Zastosowanie technologii informacyjno-komunikacyjnych (ang. ICT - Information and communication technologies) przyspiesza kształtowanie wiedzy i umiejętności niezbędnych w efektywnym stosowaniu innowacyjnych rozwiązań technicznych kombajnów ścianowych, w tym oferowanych przez Zabrzańskie Zakłady Mechaniczne S.A.

2. Struktura i funkcje interaktywnych instrukcji obsługi

Skuteczne wspomaganie utrzymania ruchu maszyn górniczych wymaga zastosowania form rozpowszechniania zasobów wiedzy, które:

- dają większe możliwości przekształcania wiedzy ukrytej w wiedzę jawną,
- prezentują wiedzę w sposób czytelny i łatwo przyswajalny,
- umożliwiają szybkie wyszukiwanie zasobów wiedzy, które są adekwatne do bieżących potrzeb pracowników realizujących zadania z zakresu utrzymania ruchu,
- umożliwiają stosowanie zasobów wiedzy w dowolnym miejscu i czasie, niezależnie od warunków.

Rozwiązaniem spełniającym powyższe wymagania jest System Interaktywnych Instrukcji obsługi INSTO [4]. Jest to zestaw aplikacji zróżnicowanych pod względem funkcjonalności: INSTO-1, INSTO-2 oraz INSTO-3 – tabela 1.

Cechy Systemu Interaktywnej Instrukcji Obsługi INSTO są następujące:

- ***Zawartość standardowej instrukcji obsługi.*** Zakres tematyczny zasobów w INSTO-1 oraz INSTO–2 jest identyczny, jak w obecnie stosowanych instrukcjach obsługi. Natomiast INSTO-3 obejmuje te zagadnienia tradycyjnej instrukcji obsługi, które do-

tyczą użytkowania oraz utrzymania ruchu maszyny (konserwacji, przeglądów i napraw). Dla wszystkich aplikacji możliwości w zakresie stopnia szczegółowości oraz przystępności przedstawienia poszczególnych zagadnień są znacznie wyższe, niż w tradycyjnej instrukcji obsługi. Decyduje o tym w szczególności zastosowanie nowoczesnych komputerowych form prezentacji, takich jak trójwymiarowe modele maszyn, czy animacje.

- ***Interaktywne symulacje czynności serwisowych.*** Głównymi elementami interaktywnych symulacji są trójwymiarowe modele maszyn rozszerzone o tzw. interaktywne elementy, pozwalające na dowolną zmianę punktu obserwacji oraz na odtwarzanie kolejnych kroków w ramach poszczególnych czynności np. utrzymania ruchu. Taki sposób prezentacji ułatwia odbiór, a prezentowane czynności stają się zrozumiałe nawet dla niedoświadczonych pracowników.
- ***Obsługa wersji językowych.*** Oferowanie produktów na rynkach zagranicznych wymusza konieczność przygotowania instrukcji obsługi w odpowiednich wersjach językowych. Struktura systemu pozwala na wykorzystywanie tych samych zasobów, np. zdjęć z rejestracji obiektów rzeczywistych, w kilku wersjach językowych, przez co aktualizacja zasobów dokonywana jest tylko raz dla wszystkich wersji systemu.
- ***Proste przeszukiwanie zasobów systemu.*** Przeszukiwanie całości zasobów aplikacji realizowane jest techniką wyszukiwania pełnotekstowego (ang. *Full-Text Search*), co pozwala na dotarcie do pożądanej treści bez znajomości jej lokalizacji w aplikacji.
- ***Zaawansowane przeszukiwanie zasobów systemu*** (według słów kluczowych, klas i atrybutów obiektów). Wszystkie zasoby znajdujące się w systemie są odpowiednio skatalogowane i oznaczone tak, aby można było je przeszukiwać w sposób zaawansowany. Możliwe jest np. wyszukanie procedur serwisowych według nazw naprawianych zespołów.
- ***Tworzenie relacji pomiędzy zasobami systemu.*** Zdefiniowanie wielu wzajemnych relacji między zasobami aplikacji umożliwia dotarcie do poszczególnych zasobów na wiele sposobów, np. z poziomu menu, jak i z innych zasobów systemu.
- ***Zasoby systemu wzbogacone o modele trójwymiarowe, rejestracje wideo i animacje komputerowe.*** Zastosowanie tych sposobów prezentacji wiedzy pozwala na bardziej przystępne i szczegółowe przedstawienie zagadnień, np. poprzez pokazanie sposobu wykonywania czynności lub możliwość poznania budowy maszyny na podstawie jej wirtualnego modelu.
- ***Dostęp do zasobów systemu z wykorzystaniem urządzeń mobilnych klasy PDA.*** Wersja przystosowana do urządzeń mobilnych PDA (ang. *Personal Digital Assistant*) pozwala na przeglądanie zasobów w dowolnym miejscu i czasie. Wyjątek stanowią zasoby opracowane w formie symulacji interaktywnych, których przeglądanie na PDA nie jest możliwe ze względu na brak możliwości ich obsługi w systemach operacyjnych klasy Windows Mobile.
- ***Profilowany dostęp do zasobów.*** Uprawnienia w zakresie dostępu do zasobów aplikacji są nadawane poprzez przypisanie identyfikatora oraz hasła poszczególnym użytkownikom lub grupom użytkowników.

Funkcjonalność interaktywnych instrukcji obsługi INSTO [4]

Tabela 1

Cecha	INSTO-1	INSTO-2	INSTO-3
Zawartość standardowej (papierowej) instrukcji obsługi	x	x	x[1]
Interaktywne symulacje czynności serwisowych	x	x	x
Proste przeszukiwanie zasobów systemu (pełnotekstowe)	x	x	-
Zaawansowane przeszukiwanie zasobów systemu	x	-	-
Tworzenie relacji pomiędzy zasobami systemu	x	x	-
Zasoby systemu wzbogacone o modele trójwymiarowe, rejestracje wideo i animacje komputerowe	x	x	x
Dostęp do zasobów systemu z wykorzystaniem urządzeń mobilnych klasy PDA[2]	x	-	-
Obsługa wersji językowych	x	x	x
Profilowany dostęp do zasobów	x	-	-
Wersja stanowiskowa (instalowana lokalnie)	-	x	x
Wersja sieciowa (osadzona na platformie internetowej)	x	-	-

[1] Aplikacja INSTO-3 prezentuje wybrane zagadnienia standardowej instrukcji obsługi – koncentruje się na procedurach z zakresu obsługi i naprawy

[2] Brak możliwości prezentacji symulacji interaktywnych w systemach operacyjnych klasy Windows Mobile.

3. Upowszechnianie narzędzi informatycznych wspomagających utrzymanie ruchu

3.1. Zastosowanie Systemu Interaktywnych Instrukcji Obsługi INSTO w maszynach produkcji Zabrzańskich Zakładów Mechanicznych S.A.

Pierwszym komercyjnym zastosowaniem systemu INSTO jest implementacja dla najnowszego rozwiązania kombajnu ścianowego produkcji ZZM S.A. Aplikacja stanowi Interaktywną Instrukcję Obsługi kombajnu ścianowego KSW-1500 EU, który jest dostarczany zarówno na rynek polski, jak i chiński. Rozwiązanie stosowane jest obecnie w kopalni XIN JU LONG w Chinach. Bezpośrednimi użytkownikami INSTO-3 są: kombajniści, pracownicy działu utrzymania ruchu kopalni oraz serwisanci oddelegowani przez producenta maszyny (ich rolą jest szkolenie oraz bieżące wspomaganie kombajnistów oraz pracowników działu utrzymania ruchu). Interaktywna Instrukcja Obsługi INSTO-3 została zastosowana również u producenta maszyny, tj. w Zabrzańskich Zakładach Mechanicznych S.A. Pracownicy działu serwisu użyli ją podczas szkolenia kombajnistów oraz pracowników utrzymania ruchu chińskiej kopalni. Doświadczenia z wdrożenia INSTO w chińskiej kopalni pozwala ocenić tę aplikację jako użyteczne narzędzie. Niezbędnym elementem przystąpienia kopalni do użytkowania maszyny było kilkutygodniowe, intensywne przeszkolenie załogi kopalni realizującej użytkowanie i czynności z zakresu utrzymania ruchu maszyny. Szkolenie odbyło się na terenie Zabrzańskich Zakładów Mechanicznych S.A. Pierwotnie prowadzono je bezpośrednio przy maszynie, znajdującej się na hali montażowej. Problem bariery językowej rozwiązywano poprzez podwójne tłumaczenie – z języka polskiego na angielski a następnie z języka angielskiego na chiński. Nie było to jednak w pełni skuteczne, ponieważ pewne zagadnienia techniczne nie były w pełni zrozumiałe. Innym stwierdzonym problemem było bezpieczeństwo szkolonych przebywających w hali montażowej. Zastosowanie INSTO-3 pozwoliło na skuteczne i bezpieczne przeprowadzenie szkolenia w sali szkoleniowej, gdy dany egzemplarz kombajnu ścianowego nie był już dostępny ze względu na jego przygotowywanie do wysyłki do Chin. Demonstracja sposobu wykonywania poszczególnych czynności na wirtualnej maszynie (w postaci animacji opartych na wirtualnym modelu maszyny), wzbogacona niezbędnym opisem w języku chińskim, pozwoliła szkolonym zrozumieć i przyswoić prezentowane zagadnienia. INSTO-3 dostarczona do kopalni XIN JU LONG jest z powodzeniem stosowana jako materiał szkoleniowy oraz jako podręczna pomoc pozwalająca pracownikom przygotować się do realizacji powierzonych im zadań. Dysponowanie odpowiednim sprzętem komputerowym, dostosowanym do warunków kopalnianych, umożliwiłoby użytkowanie INSTO-3 jako podręcznej pomocy podczas wykonywania poszczególnych czynności związanych z użytkowaniem i utrzymaniem ruchu maszyny.

3.2. Wykorzystanie koncepcji ruchomego stanowiska szkoleniowego w szkoleniach obsługi maszyn górniczych

Narzędzia informatyczne wspomagające utrzymanie ruchu kombajnów ścianowych mają dwoistą naturę. Stanowią bezpośrednią pomoc w realizacji zadań związanych z utrzymaniem ruchu, tj. przeglądy, regulacje czy naprawy. Jednocześnie są materiałem wspomagającym upowszechnianie bezpiecznych metod pracy wśród operatorów, ślusarzy i serwisantów.

W toku tradycyjnych szkoleń prowadzonych u producenta uczestnicy szkoleń wysłuchują ustnego przekazu, obserwując jednocześnie ten sam, wybrany fragment maszyny. Ograniczona widoczność, słaba słyszalność i zgromadzenie słuchaczy na ograniczonej powierzchni, a często również bariera językowa utrudniają przyswajanie wiedzy.

W celu usunięcia tych niedogodności opracowano koncepcję ruchomego stanowiska szkoleniowego, na którym następuje przekazanie wybranych zasobów wiedzy eksploatacyjnej. Ruchome stanowisko szkoleniowe składa się z realnego obiektu szkolenia (np. kombajnu ścianowego) i wirtualnej sieci elementów specjalistycznej wiedzy eksploatacyjnej w postaci programów szkoleniowych [1]. Za pomocą technologii rozszerzonej rzeczywistości (ang. Augmented Reality) [3] lub przenośnych komputerów (np. typu PDA - Personal Digital Assistant) wiedza może być dostarczana uczestnikowi szkolenia w miejscach i w sytuacjach przewidzianych w scenariuszu szkolenia.

Taka forma szkoleń pozwala na jednoczesne kształtowanie kompetencji zawodowych i upowszechnianie bezpiecznych metod pracy.

Ruchome stanowisko szkoleniowe składa się ze składników sprzętowych tworzących warianty, pokazane w tabeli 2 [1].

Wybór wariantu stanowiska szkoleniowego decyduje o formie w jakiej mogą być prezentowane treści kształcenia. W tabeli 3 ujęto formy prezentowania treści kształcenia dla różnych wariantów stanowiska szkoleniowego.

Na rysunku 1 pokazano rozwiązanie składające się z komputera, rzutnika, ekranu oraz okularów wideo. Na ekranie oraz wyświetlaczu w okularach prezentowany jest jednocześnie ten sam obraz. Wykorzystana jest technologia rozszerzonej rzeczywistości.

Ten wariant stanowiska stosowany jest w prowadzeniu szkoleń w formie wykładu wprowadzającego, np. objaśniającego bezpieczny demontaż i wymianę organu urabiającego (rys. 2).

W szkoleniach pokazujących np. prawidłowe wykonywanie czynności montażu/demontażu wybranych zespołów, stosowane jest stanowisko w konfiguracji wykorzystującej technologię rozszerzonej rzeczywistości (rys. 3).

Warianty ruchomego stanowiska szkoleniowego [1]

Tabela 2

Wariant / Elementy sprzętowe stano-wiska szkoleniowego	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13
Obiekt rzeczywisty	X	X	X	X	X								
Makieta						X	X	X	X	X			
Zestaw do projekcji wielkoekranowej											X	X	X
Sprzęt komputerowy:													
PC	X	X				X	X				X	X	X
UMPC, Tablet			X	X				X	X				
PDA					X					X			
Urządzenia peryferyjne:													
Okulary	X		X			X		X			X	X	
Czytnik RFID		X		X	X		X		X	X			
Elementy sterujące:													
Joystick													X
Identyfikatory													
RFID		X		X	X		X		X	X			
Marker materialny	X		X			X		X					
Marker wirtualny											X	X	

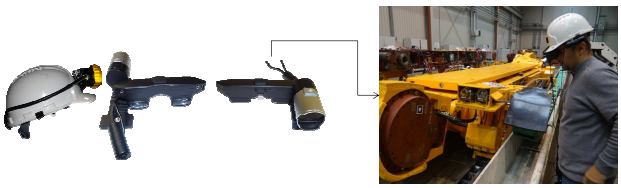
Formy prezentowania treści kształcenia dla różnych wariantów ruchomego stanowiska szkoleniowego [1]

Tabela 3

Wariant / Formy prezento-wania treści kształcenia	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13
Animacja	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Interaktywny film											X	X	X
Interaktywna instrukcja	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Interaktywna symulacja											X	X	X
Gra szkoleniowa											X	X	X

Rys.1. Przenośne stanowisko szkoleniowe – wariant zestaw do projekcji wielkoekranowej + rozszerzona rzeczywistość [5]

Rys.2. Wizualizacja przedstawiająca operację wymiany organu urabiającego – komentarz w języku chińskim [źródło: opracowanie własne]

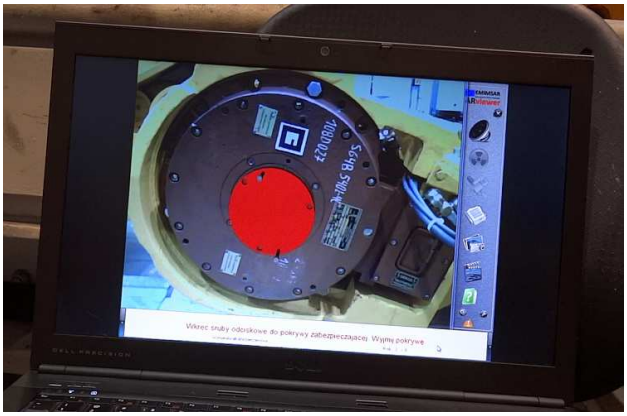


Rys.3. Zastosowanie okularów wideo w szkoleniach na obiekcie rzeczywistym [5]

Stanowisko to posiada następujące składniki sprzętowe :

- okulary wideo ze zintegrowaną kamerą do prezentowania elementów rozszerzonej rzeczywistości,
- komputer przenośny do przetwarzania i generowania elementów graficznych (np. modeli trójwymiarowych) nałożonych na obraz zarejestrowany kamerą.

Kombajn oznaczony jest znacznikami graficznymi, naklejonymi na wybranych miejscach maszyny. Na rysunku 4 pokazano fragment symulacji wymiany wałka bezpieczeństwa [2].



Rys.4. Symulacja wymiany wałka bezpieczeństwa z wykorzystaniem technologii rozszerzonej rzeczywistości [5]

Obraz znacznika zarejestrowany przez kamerę umieszczoną na głowie szkolonego, identyfikowany jest przez program, a w okularach pokazuje się symulacja procesu demontażu przypisana do tego znacznika.

4. Podsumowanie

Opracowane w Instytucie KOMAG narzędzia wspomagające utrzymanie ruchu kombajnów ścianowych są systematycznie rozwijane i testowane. Dzięki stałej współpracy z zespołami specjalistów z Zabrzańskich Zakładów Mechanicznych S.A. regularnie poszerzany jest zakres funkcji opracowanego oprogramowania. Uzyskane rozwiązania mają charakter przenaszalny i mogą być stosowane także w utrzymaniu ruchu innych maszyn wchodzących w skład zmechanizowanych kompleksów ścianowych. Wypracowana metodologia tworzenia narzędzi informatycznych wspomagających utrzymanie ruchu umożliwia współbieżne tworzenie dokumentacji konstrukcyjnej nowych kombajnów i interaktywnych instrukcji ich obsługi. Interaktywny charakter instrukcji ułatwia prowadzenie szkoleń bezpośrednio u użytkownika. Instrukcje obsługi dostępne na przenośnych komputerach zwiększają również możliwości szkoleń odświeżających wiedzę.

Przedstawione rozwiązania stanowią przykład efektywnego transferu innowacji ze sfery badań i rozwoju do zastosowań przemysłowych.

Literatura

1. Projekt badawczy promotorski GR 60-12669 pt.: "Metoda Kształtowania kompetencji pracowników transportu podziemnego w kopalniach z wykorzystaniem narzędzi wspomagania informatycznego".
2. EMIMSAR - Enhanced Miner-Information Interaction to Improve Maintenance and Safety with Augmented Reality Technologies and New Sensors . Grant Agreement RFC-PR-07019.
3. Michalak D., Winkler T, Jaszczyk Ł.: Zastosowanie technologii Augmented reality oraz RFID w szkoleniach operatorów maszyn. XIV Międzynarodowa Szkoła Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji. Jurata 2010.
4. Rozmus M., Winkler T., Jaszczyk Ł., Michalak D., Lesisz R.: Narzędzia wspomagające utrzymanie ruchu maszyn górniczych. Mechanik 2011 nr 7 s. 819-826.
5. Dokumentacja fotograficzna ITG KOMAG.

Artykuł wpłynął do redakcji w sierpniu 2012 r.

Dr inż. Zbigniew PŁONKA
DOZUT – TAGOR Sp. z o.o.

Odporność elementów uszczelniających na trudno palne ciecze hydrauliczne stosowane w maszynach i urządzeniach górniczych

S t r e s z c z e n i e

W artykule przedstawiono zagadnienie oddziaływania cieczy hydraulicznych stosowanych w maszynach i urządzeniach górniczych na właściwości materiałów i surowców, z których wykonywane są elementy uszczelniające do tych maszyn i urządzeń. Ciecze hydrauliczne mając bezpośredni kontakt z elementami uszczelniającymi powodują zmianę ich właściwości fizykomechanicznych i chemicznych. Skala tych zmian zależy między innymi od rodzaju cieczy hydraulicznej oraz od rodzaju materiału, z którego wykonano elementy uszczelniające. W wyniku przeprowadzonych badań wykazano kompatybilność produkowanych w DOZUT – TAGOR Sp. z o.o. uszczelnień z różnego rodzaju trudno palnymi cieczami hydraulicznymi.

S u m m a r y

The short review of the impact of hydraulic fluids used in mining machines and equipment on the properties of materials - from which the sealing elements are made - to the machinery and equipment. Hydraulic fluids having direct contact with the sealing elements cause a change in their physico-mechanical and chemical properties. The scale of these changes depends on the type of hydraulic fluid and material from which the sealing elements were made. The research has shown that seals produced in DOZUT - TAGOR Sp. z o.o. are compatible with various types of fire-resistant hydraulic fluids.

1. Wprowadzenie

Stosowane na szeroką skalę w górnictwie węgla kamiennego urządzenia hydrauliczne, a w szczególności zmechanizowana obudowa ścianowa wymagają ze względów bezpieczeństwa stosowania w nich trudno palnych cieczy hydraulicznych.

Rozróżnia się cztery klasy trudno palnych cieczy hydraulicznych, to jest HFA, HFB, HFC i HFD. Trzy pierwsze mają w swoim składzie wodę, a czwarta jest bezwodną cieczą syntetyczną.

W praktyce najczęściej stosuje się ciecze klasy HFA, które zawierają z reguły od 95 do 99% wody. Resztę stanowi tzw. koncentrat.

Stosowane w maszynach i urządzeniach górniczych trudno palne ciecze hydrauliczne mogą działać destrukcyjnie na elementy uszczelniające [3]. Dopuszczalne granice tego oddziaływania określa VII Raport Luksemburski [1]. W żadnym przypadku granice te nie mogą zostać przekroczone, bowiem mogłoby to grozić utratą szczelności układu hydraulicznego.

W DOZUT – TAGOR Sp. z o.o. od wielu lat monitorowane jest oddziaływanie różnego rodzaju cieczy hydraulicznych na produkowane elementy uszczelniające. Prowadzone są w tym zakresie zarówno laboratoryjne badania surowców, z których elementy uszczelniające są wykonywane, jak również badania stanowiskowe gotowych wyrobów.

Wyniki laboratoryjnych badań surowców pozwalają na ocenę ich kompatybilności z cieczami hydraulicznymi. Pozytywne wyniki tych badań są przepustką do przygotowania prototypu danego typu uszczelnienia i przeprowadzenia procesu jego walidacji.

2. Trudno palne ciecze hydrauliczne klasy HFA

Wśród cieczy HFA rozróżnia się trzy podgrupy oznaczone jako HFAE, HFAM i HFAS.

- ***Ciecz HFAE*** jest makroemulsją olejowo-wodną, w której wymiary kropli koncentratu zdyspergowanego w wodzie zawierają się w granicach 40÷250 µm. Koncentrat emulsji HFAE składa się z oleju mineralnego oraz różnego rodzaju dodatków, np. emulgujących, antykorozyjnych, przeciwzużyciowych, przeciw pienieniu i innych. Ciecz HFAE charakteryzuje się dobrymi właściwościami przeciwzużyciowymi oraz małą agresywnością w stosunku do metali i większości materiałów, z których wykonuje się uszczelnienia. Do wad zaliczyć należy to, że nie jest w pełni biodegradowalna i może ulegać deemulgacji pod wpływem oddziaływania flory bakteryjnej, a jej stabilność zależy od twardości wody.
- ***Ciecz HFAM*** jest mikroemulsją olejowo-wodną, w której dzięki specjalnym dodatkom emulgacyjnym wymiary koncentratu zdyspergowanego w wodzie wynoszą 2÷25 µm. Właściwości przeciwzużyciowe i antykorozyjne cieczy HFAM są lepsze, ani-

żeli cieczy HFAE. Zasadnicze wady cieczy HFAM są takie same jak cieczy HFAE, bowiem koncentraty obu emulsji zawierają olej mineralny.

- ***Ciecz HFAS*** jest mikroemulsją o dyspersji koloidalnej (wielkość kropli około 0,1 µm). Koncentrat składa się ze związków syntetycznych tworzących z wodą roztwory. Koncentrat cieczy HFAS zawiera niewielki dodatek oleju mineralnego dla poprawy właściwości przeciwzużyciowych, które ma zdecydowanie gorsze niż ciecz HFAE. Jest natomiast od niej bardziej stabilna, nawet dla wody o dużej twardości. Jest także mniej podatna na oddziaływanie flory bakteryjnej oraz w pełni biodegradowalna [8].

Wyżej wymienione ciecze klasy HFA nie są gotowym produktem handlowym. Są one przygotowywane przez użytkowników. Wytwórca dostarcza koncentrat, który należy rozcieńczyć wodą [6].

W praktyce spotyka się koncentraty konwencjonalne, w których głównym składnikiem jest olej mineralny, koncentraty półsyntetyczne i koncentraty syntetyczne.

Do najważniejszych zalet cieczy HFA należy zaliczyć:

- praktycznie całkowitą niepalność; wprawdzie koncentrat jest palny, ale jest go w cieczy hydraulicznej bardzo mało (zazwyczaj 1÷5%) i może się zapalić dopiero po odparowaniu wody,
- niski koszt cieczy; wprawdzie koncentrat jest drogi, ale ze względu na małe jego stężenie ogólny koszt cieczy HFA jest niewielki,
- nieznaczne zagrożenie ekologiczne, wynikające z dużej zawartości wody w cieczy hydraulicznej; zmniejsza to koszty związane z ochroną środowiska,
- małe koszty transportu i magazynowania oraz oszczędność przestrzeni magazynowej; przewozi się i przechowuje tylko koncentrat.

Ciecze HFA oprócz wyżej wymienionych zalet mają także wady. Wiele z tych wad wynika z tego, że ciecze HFA zawierają tak dużo wody.

Z punktu widzenia techniki uszczelniania, wśród wad trudno palnych cieczy hydraulicznych HFA wymienić należy:

- zależność ich właściwości smarnych, antykorozyjnych i przeciwzużyciowych od jakości wody użytej do jej sporządzenia. Stąd duży rozrzut tych właściwości,
- małą lepkość, zbliżoną do lepkości wody. Konsekwencją tak małej lepkości jest zła smarność, zwiększone wycieki zewnętrzne i przecieki wewnętrzne,
- wysoka temperatura zamarzania cieczy, wynosząca około 0 [ºC]. Komplikuje to w okresie zimowym transport naziemny cylindrów (siłowników) hydraulicznych,
- niebezpieczeństwo kawitacji wynikające z dużego ciśnienia pary nasyconej. Jest to poważna wada wszystkich trudno palnych cieczy zawierających wodę, ograniczająca maksymalną temperaturę ich stosowania do około 60 [ºC],
- zmniejszanie trwałości metalowych elementów hydraulicznych,
- rozrost bakterii i tworzenie się w układach hydraulicznych szlamu (dotyczy zwłaszcza cieczy HFAE) [2]. Wchodzące w skład cieczy hydraulicznych emulgatory anionowe mogą z zawartymi w wodzie kationami wapnia i magnezu tworzyć nierozpuszczalne w wodzie sole. Sole te w wyniku agregacji wytwarzają szlamy i osady [7], które w istotny sposób mogą wpływać na zmniejszenie trwałości elementów uszczelniających. Problemy te narastają ze wzrostem twardości wody, użytej do sporządzenia cieczy hydraulicznej.

Należy także podkreślić skłonność trudno palnych cieczy hydraulicznych HFA, zwłaszcza cieczy HFAE, do koalescencji kropel oleju i tworzenia na powierzchni skoncentrowanej warstwy emulsji lub nawet - w granicznym przypadku – warstwy olejowej.

3. Badania oddziaływania trudno palnych cieczy hydraulicznych na elementy uszczelniające

DOZUT – TAGOR Sp. z o.o. prowadzi wielokierunkowe badania oddziaływania trudno palnych cieczy hydraulicznych na elementy uszczelniające.

Badania te dotyczą głównie oddziaływania:

- nowych lub modyfikowanych cieczy hydraulicznych na surowce, z których DOZUT – TAGOR Sp. z o.o. produkuje elementy uszczelniające,
- cieczy hydraulicznych na nowe lub modyfikowane surowce, pod kątem ewentualnego zastosowania tych surowców na elementy uszczelniające,
- cieczy hydraulicznych na gotowe elementy uszczelniające.

Oddziaływanie trudno palnych cieczy hydraulicznych na nowe, modyfikowane lub aktualnie stosowane surowce, z których wykonywane są elementy uszczelniające badano poprzez oznaczanie zmiany masy, objętości, twardości i właściwości wytrzymałościowych próbek o wymiarach ø 50x4 [mm] oraz małych wiosełek do badań wytrzymałościowych przygotowanych metodą wtrysku przy użyciu wtryskarki ENGEL 240/75, a oddziaływanie cieczy na elementy uszczelniające badano poprzez oznaczanie zmiany masy, objętości i twardości próbek o grubości 5 [mm], wyciętych z elementów uszczelniających oraz stanowiskowe badania funkcjonalności i trwałości tych elementów.

Wyżej wymienione próbki poddawano oddziaływaniu konwencjonalnych, półsyntetycznych i syntetycznych cieczy hydraulicznych w różnych temperaturach,

tj. 296 [K], 333 [K] i 373 [K]. Czas oddziaływania cieczy hydraulicznych i danej temperatury na badane próbki wynosił 168 [h].

Zmiany masy, objętości, twardości oraz właściwości wytrzymałościowych próbek po oddziaływaniu cieczy hydraulicznych w wyżej wymienionych warunkach określano w temperaturze otoczenia.

Do badań stosowano wyposażenie pomiarowo–badawcze, takie jak waga analityczna, typ 1702, Sartorius GmbH, Niemcy; waga hydrostatyczna 203/2, Gottlieb Kern, Niemcy; twardościomierz Shore'a A, Zwick GmbH, Niemcy; maszyna pomiarowa trójkoordynatowa Kemco 600, Keeling Metrology, Anglia; mikrometr MMDf, VIS S.A., Polska oraz maszyna wytrzymałościowa model 1121, Instron Ltd, Anglia.

W wyniku przeprowadzonych badań potwierdzono, że ciecze hydrauliczne mając bezpośredni kontakt z elementami uszczelniającymi powodują takie procesy jak:

- absorpcję cieczy przez materiał uszczelnienia, powodując jego pęcznienie,
- ekstrakcję przez ciecz rozpuszczalnych składników materiału uszczelnienia, powodując jego skurcz,
- reakcje chemiczne składników cieczy ze składnikami materiału uszczelnienia. W wyniku tych reakcji następuje zmiana właściwości fizycznych i chemicznych uszczelnienia.

W praktyce może mieć miejsce równocześnie więcej niż jeden z wyżej wymienionych procesów. W niektórych przypadkach stwierdzono jednoczesne występowanie absorpcji i ekstrakcji, na ogół jednak udział absorpcji był większy, niż udział ekstrakcji.

Zarówno absorpcja, jak i ekstrakcja powodują zmianę objętości uszczelnień oraz zmieniają ich właściwości fizyczne i chemiczne. Skala tych zmian zależy od składu chemicznego cieczy hydraulicznej oraz od składu i struktury materiału uszczelnienia. Znaczący wpływ na te zmiany ma temperatura cieczy hydraulicznej [4].

Zagadnienie jest stosunkowo złożone. Z uwagi na dużą różnorodność cieczy hydraulicznych stosowanych w siłownikach hydraulicznych, o czym była mowa w rozdziale 2 niniejszego artykułu, a także dużą różnorodność tworzyw sztucznych wchodzących w rachubę jako potencjalne materiały na elementy uszczelniające układów hydraulicznych, np. elastomery termoplastyczne, poliolefiny modyfikowane elastomerami, polietery i poliestry termoplastyczne, kopolimery blokowe oraz poliuretany termoplastyczne. Dodatkowo w praktyce występują bardzo zróżnicowane warunki pracy uszczelnień, które zależą od tego, w jakiej maszynie lub urządzeniu zostały one zastosowane. Warunki te są inne np. w stojakach, podporach, przesuwnikach, a inne w ładowarkach, kombajnach, maszynach chodnikowych itp.

Z wymienionych wyżej powodów zagadnienie oddziaływania danej cieczy hydraulicznej na elementy uszczelniające wymaga indywidualnego podejścia.

Proces zmian właściwości fizykomechanicznych uszczelnień pod wpływem cieczy hydraulicznej zachodzi w głąb materiału, poczynając od jego powierzchni. W świetle powyższego ograniczanie wielkości powierzchni elementu uszczelniającego, mającej bezpośredni kontakt z cieczą hydrauliczną, w sposób istotny przyczynia się do zmniejszenia absorpcji cieczy hydraulicznej przez materiał uszczelnienia.

Jest to istotna wskazówka dla projektantów elementów uszczelniających, ponieważ tworzywa sztuczne o dużej podatności do absorpcji cieczy hydraulicznych mogą jej wchłonąć nawet do kilku procent masowych.

Przeprowadzone w DOZUT – TAGOR Sp. z o.o. badania dowiodły, że bez względu na rodzaj i gatunek zastosowanego na elementy uszczelniające poliuretanu, największy wpływ na obniżenie jego właściwości wytrzymałościowych wywiera woda.

Wynika to z faktu, że pomiędzy wodą, a określonymi grupami w molekule poliuretanu zachodzi reakcja chemiczna - hydroliza, która prowadzi do rozpadu (degradacji) łańcuchów polimerowych, poprzez nieodwracalne rozszczepienie molekuły łańcuchowej.

Przeprowadzone badania wykazały także, że ciecz hydrauliczna pochłonięta przez tworzywo w różny sposób wpływa na jego właściwości, np. w stosunku do suchego materiału powoduje ona zwiększenie udarności i wydłużenia przy zerwaniu, ale niestety jednocześnie zmniejsza się wytrzymałość mechaniczna tworzywa [5].

Intensywność procesów hydrolizy zależy od temperatury cieczy hydraulicznej i wzrasta ze wzrostem temperatury [4].

W temperaturze otoczenia destrukcyjne oddziaływanie wody lub neutralnych roztworów wodnych jest nie do zaobserwowania. Elementy wykonane z poliuretanów termoplastycznych mogą być przez długie lata składowane w wodzie o temperaturze otoczenia bez wystąpienia istotnych zmian właściwości mechanicznych. Zmiany te uwidaczniają się dopiero w wyższych temperaturach. I tak na przykład pod wpływem oddziaływania wody o temperaturze 333 [K] zmniejsza się ich wytrzymałość na rozciąganie w ciągu (60÷150) dni (zależnie od rodzaju poliuretanu) o około (30÷50) [%]. Z tego właśnie względu odporność na hydrolizę badana jest w temperaturze 333 [K] albo wyższej.

W wyniku badań stwierdzono także nieznacznie zmiękczające oddziaływanie wody na poliuretany termoplastyczne. Zjawisko to jest ściśle związane z liczbą czynnych wiązań wodorowych w łańcuchu molekularnym poliuretanu. Im więcej tych wiązań, tym większa

odporność na oddziaływanie cieczy hydraulicznych. Wzrost liczby wiązań wodorowych powoduje wzrost twardości poliuretanów. Stąd bezpośrednie przełożenie pomiędzy twardością poliuretanów termoplastycznych, a ich odpornością na hydrolizę.

Zgodność materiału uszczelnienia z cieczą hydrauliczną ma miejsce wtedy, kiedy oddziaływania fizyczne i chemiczne między nimi są nieznaczne i nie prowadzą do takiej zmiany właściwości materiału, która uniemożliwiałaby prawidłowe działanie uszczelnienia.

Z przeprowadzonych w DOZUT – TAGOR Sp. z o.o. badań wynika, że zmiany właściwości poliuretanów termoplastycznych pod wpływem oddziaływania trudnopalnych cieczy hydraulicznych nie są znaczne, bowiem np.:

- wzrost objętości badanych tworzyw zawierał się w granicach od 1÷3,6 [%], przy dopuszczalnym wzroście objętości wynoszącym 7 [%];
- spadek twardości wynosił zaledwie 1÷2 [ShA], przy dopuszczalnym spadku twardości wynoszącym 7 [ShA].

W praktyce gwarantuje to w przeciętnym okresie eksploatacji cylindrów hydraulicznych utrzymanie funkcjonalności uszczelnień.

Trudno palne ciecze hydrauliczne znajdują się na etapie szybkiego rozwoju. Powstają nowe ich generacje, o innych niż dotychczas właściwościach. Do cieczy hydraulicznych wprowadzane są coraz to inne dodatki uszlachetniające. Zdarzyć się zatem może, że wprowadzony do cieczy hydraulicznej dodatek reagować będzie z materiałem uszczelnienia, mimo że dotychczas ciecz hydrauliczna była z nim kompatybilna.

Specjaliści DOZUT – TAGOR Sp. z o.o. z wymienionych wyżej powodów monitorują pojawianie się na rynku nowych cieczy hydraulicznych, a także modyfikacji znanych już cieczy i przeprowadzają stosowne badania ich kompatybilności z produkowanymi w DOZUT – TAGOR Sp. z o.o. uszczelnieniami.

Wiedza pozyskana przez specjalistów DOZUT – TAGOR Sp. z o.o. w wyniku przeprowadzanych badań pozwala projektować formy do produkcji uszczelnień, optymalizować technologie ich produkcji i w efekcie produkować elementy uszczelniające o najwyższych parametrach jakościowych, w pełni dostosowane do konkretnych warunków pracy, w których mają być zastosowane. Elementy te współpracując z oferowanymi przez DOZUT – TAGOR Sp. z o.o. antykorozyjnymi powłokami ochronnymi tłoczysk i rdzeników typu DURACHROM wpływają na znaczne zwiększenie żywotności podzespołów hydrauliki siłowej, w których zostały zastosowane.

Zakres zastosowań produkowanych przez DOZUT – TAGOR Sp. z o.o. elementów uszczelniających nie ogranicza się wyłącznie do maszyn i urządzeń napełnianych trudno palnymi cieczami hydraulicznymi, jak np. sekcje zmechanizowanej obudowy ścianowej, produkowane przez Fabrykę Maszyn i Urządzeń TAGOR S.A. Obejmuje on również inne media, jak np. powietrze (siłowniki pneumatyczne) oraz oleje hydrauliczne, którymi napełniane są siłowniki kombajnowe, znajdujące zastosowanie w produkowanych przez Zabrzańskie Zakłady Mechaniczne S.A. oraz WAMAG S.A. kombajnach ścianowych i chodnikowych.

Produkowane przez DOZUT – TAGOR Sp. z o.o. elementy uszczelniające znajdują zastosowanie i uznanie zarówno na rynku krajowym, np. w Jastrzębskiej Spółce Węglowej S.A.; Kompanii Węglowej S.A.; Katowickim Holdingu Węglowym itp., jak również na rynku zagranicznym, np. w Rosji, Chinach, Rumunii, Białorusi, Czechach, Argentynie, Niemczech oraz na Węgrzech i Słowacji.

4. Podsumowanie

Od materiałów stosowanych do wyrobu uszczelnień wymaga się odpowiednich właściwości, takich jak:

- odporność chemiczna na oddziaływanie cieczy hydraulicznych oraz ich komponentów,
- odporność na działanie podwyższonych temperatur występujących podczas pracy,
- odporność na ścieranie,
- odpowiednia do warunków pracy twardość.

Niektóre gatunki poliuretanów termoplastycznych wymagania te spełniają.

W przeszłości wiele obaw, a nawet kontrowersji wywoływał problem dotyczący zastosowania poliuretanów termoplastycznych jako materiału do produkcji uszczelnień cylindrów (siłowników) hydraulicznych w zmechanizowanej obudowie ścianowej.

Dzisiaj, z perspektywy ponad dwudziestoletniego okresu eksploatacji i poprawnej pracy zespołów hydraulicznych wyposażanych w elementy uszczelniające wytwarzane z tych właśnie materiałów, można z pełną odpowiedzialnością stwierdzić, że obawy te nie znalazły potwierdzenia.

Zalety poliuretanów termoplastycznych, takie jak duża wytrzymałość mechaniczna, dobre właściwości sprężyste, bardzo wysoka odporność na ścieranie, starzenie oraz działanie olejów i smarów, a także podatność do formowania wyrobów metodą wtrysku spowodowały, że z biegiem lat stały się one uznanym i coraz chętniej stosowanym materiałem na uszczelnienia, zwłaszcza na uszczelnienia ruchu posuwisto-zwrotnego.

Zmiany właściwości produkowanych przez DOZUT-TAGOR Sp. z o.o. uszczelnień pod wpływem oddziaływania na nie stosowanych w polskim górnictwie węgla kamiennego trudno palnych cieczy hydraulicznych są niewielkie i mieszczą się w dopuszczalnych, określonych w VII Raporcie Luksemburskim granicach [5]. Ma-

teriały, z których uszczelnienia te są produkowane uważa się za odporne na działanie stosowanych cieczy hydraulicznych.

Dobór właściwego gatunku poliuretanu na uszczelnienia pracujące w określonych warunkach nie jest zadaniem łatwym i wymaga każdorazowo sprawdzenia granic jego stosowalności, bowiem poszczególne typy poliuretanów (polieterowe, poliestrowe lub polikaprolaktonowe), różnią się między sobą stopniem odporności na hydrolizę, elastycznością, odpornością na pęcznienie, odkształceniem trwałym, odpornością na ścieranie, właściwościami wytrzymałościowymi i wieloma innymi właściwościami.

Niewłaściwy dobór gatunku tworzywa na uszczelnienia może skutkować utratą szczelności układu hydraulicznego, a to prowadzi do zaburzeń w jego eksploatacji lub nawet uniemożliwia pracę tego układu. Zachodzi wówczas konieczność uzupełniania ubytków cieczy hydraulicznej lub nawet zachodzi konieczność przeprowadzenia remontu cylindra (siłownika) hydraulicznego.

Literatura

1. VII Raport Luksemburski, Safety and Realth commission for the mining and extroetive industriesreguirements and teste applicable to fire-resistant hydraulic fluids used for Power transmission and control (Hydrostatic and hydrokinetic seventh edition), Luksemburg, 1994.
2. Dziewulski A.: Niektóre problemy uszczelnień pracujących z cieczami trudno palnymi. Sterowanie i napęd hydrauliczny nr 1/90.
3. Kondakow L.: Uszczelnienia układów hydraulicznych, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa, 1975.
4. Płonka Z.: Badania uszczelnień z termoplastycznych poliuretanów o podwyższonej odporności termicznej. X Ogólnopolska Konferencja „Badanie, konstrukcja, wytwarzanie i eksploatacja układów hydraulicznych”, Szczyrk, 2000.
5. Płonka Z.: Badania własności fizykochemicznych poliuretanów termoplastycznych w aspekcie ich zastosowania na elementy uszczelniające do zmechanizowanych obudów ścianowych. Sprawozdanie nr I/1/2005 nie publikowane, DOZUT - KOMAG Sp. z o.o., Zabrze, grudzień 2005 r.
6. Slanina F., Steinmec F.: Ciecze hydrauliczne HFA w obudowach zmechanizowanych wyrobisk ścianowych. Materiały konferencyjne „Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne – Oleje i środki smarne - 2007”, Szczyrk, 2007.
7. Steinmec F., i inni: Rozwój krajowych mikroemulsyjnych cieczy hydraulicznych HFAE. Nafta-Gaz 1, 37-43, 2009 r.
8. Stryczek S.: Napęd hydrostatyczny. Elementy. Tom 1. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa, 1995.

Artykuł wpłynął do redakcji w sierpniu 2012 r.

Tomasz SIEMIENIEC
Jastrzębska Spółka Węglowa S.A.

Nowoczesny, wydajny i bezpieczny zautomatyzowany kompleks ścianowy w KWK „Pniówek" - doświadczenia eksploatacyjne

W kwietniu br. w kopalni „Pniówek", ruszyła ściana C-1 wyposażona w zautomatyzowany kompleks ścianowy. Do tej pory na świecie pracują dwa takie kompleksy. Jeden w Stanach Zjednoczonych, drugi w Pawłowicach w KWK „Pniówek".

– Przepracowałem na dole trzydzieści lat i do głowy by mi nie przyszło, że taki kompleks można wymyśleć, a tym bardziej, że będę na nim pracował. To jest ogromny skok technologiczny – mówi Jerzy Korczak, przodowy oddziału G-2. – W *porównaniu z pracą w tradycyjnej ścianie, teraz możemy mówić o komforcie pracy i większym bezpieczeństwie. Normalnie w ścianie pracowało pięciu górników sekcyjnych, teraz wystarczy tylko jeden* – dodaje przodowy Korczak.

Kompleks ścianowy wyprodukowany przez firmy wchodzące w skład Grupy Kapitałowej Kopex jest przeznaczony do eksploatacji pokładów o cienkiej i średniej miąższości. Ściana C-1 ma długość 245 metry i 765 metrów wybiegu. Prowadzona jest w pokładzie 404/1 o grubości od 1,3 do 1,7 m na głębokości 1000 m. Średnie wydobycie ze ściany kształtuje się na poziomie 3,2 tys. ton węgla na dobę (najwyższe 3,5 tys. ton), a więc jest niemal dwukrotnie wyższe niż uzyskiwane dotychczas w ścianach o podobnych parametrach.

– Mamy przejechane już 180 metrów, w tym tylko w maju 120 – mówi Sławomir Polak, sztygar oddziałowy oddziału G-2.

Ściana C-1 jest prowadzona w najwyższej - IV kategorii zagrożenia metanowego, w partii zaliczonej do zagrożonych wyrzutami metanu i skał. W takich warunkach eksploatacja może być prowadzona wyłącznie przy zachowaniu najsurowszych norm bezpieczeństwa.

– Zastosowany w ścianie kompleks spełnia wszystkie normy, przy czym pozwala osiągać dobre wyniki produkcji – mówi Marek Barchański, kierownik robót górniczych.

Większe wydobycie przy zachowaniu surowych norm bezpieczeństwa jest możliwe dzięki wyposażeniu kompleksu ścianowego w szereg innowacyjnych rozwiązań m.in. umożliwiających wydobywanie węgla w trybie automatycznym.

– Oczywiście to, czy kompleks pracuje w trybie automatycznym jest zależne od warunków geologiczno-górniczych. Do tej pory udawało się nam wykorzystywać ten tryb w osiemdziesięciu procentach – mówi Rafał Jaskólski, nadsztygar górniczy.

Pracę kombajnu nadzorują obserwatorzy kombajniści, którzy mogą w sytuacjach tego wymagających, przejąć kontrolę nad kombajnem. W tym czasie mogą przeprowadzić kombajn przez pewien odcinek ściany bez korekty skrawu wzorcowego lub skorygować parametry skrawu wzorcowego o wymagane poprawki.

Rys. 1. Dołowe stanowisko operatora kompleksu ścianowego

Dla zapewnienia bezpieczeństwa załogi podczas pracy kompleksu ścianowego w trybie automatycznym, sekcje obudowy zmechanizowanej ostrzegają o rozpoczęciu cyklu pracy sygnałem dźwiękowym oraz optycznym. Oprócz tego osoba przebywająca w ścianie ma możliwość zablokowania pracy części lub wszystkich sekcji. Ciągły monitoring pracy urządzeń kompleksu pozwala również na szybką diagnozę ewentualnej awarii.

– Na monitorze komputera widać wszystkie najważniejsze parametry zautomatyzowanego kompleksu ścianowego. W przypadku awarii wyświetlana jest informacja, który element wymaga naprawy i od razu zabieramy się do usuwania awarii. Ta szybka diagnostyka, to bardzo duża oszczędność czasu - mówi Sławomir Polak. *Zastosowane rozwiązania pozwalają unikać awarii, d*zięki czemu ściana może fedrować na cztery zmiany – dodaje sztygar oddziałowy.

Zanim ten nowoczesny kompleks rozpoczął prace w „Pniówku", załoga oddziału G-2 musiała przejść tygodniowe szkolenie. Wcześniej kierownictwo kopalni podjęło decyzje, że nowy kompleks będzie obsługiwany właśnie przez górników z oddziału G-2.

– Nie mnie oceniać, dlaczego wybrano właśnie nasz oddział, ale doceniamy to i jesteśmy z tego dumni. Postaramy się nie zawieść – mówi przodowy Jerzy Korczak.

Sztygar oddziałowy dodaje, że jego ludzie to najwyższej klasy fachowcy, którzy wiedzą, co to znaczy praca i odpowiedzialność.

Monitoring

Ze względu na zagrożenia wynikające z eksploatacji ściany w partii zaliczonej do zagrożonych wyrzutami metanu i skał została wyznaczona strefa szczególnego zagrożenia, w której ograniczono liczbę pracujących tam osób. Do monitorowania ilości pracowników zatrudnionych w rejonie ściany został zabudowany system monitorowania migracji załogi Argus. Wejścia do strefy zostały wyposażone w bramki monitorujące oraz tablice informujące o ilości pracowników przebywających w strefie. Nadzór nad ilością pracowników przebywających w strefie prowadzi dyspozytor ruchu. Informacja ta wyświetlana jest również na głównej tablicy synoptycznej na ekranie komputera wizualizacji centralnej w kabinie operatora systemu w chodniku podścianowym.

Wyposażenie techniczne kompleksu ścianowego stanowią: kombajn ścianowy KSW-460NE1, obudowa zmechanizowana TAGOR-11/26 z systemem sterowania elektrohydraulicznego firmy TIEFENBACH, przenośnik ścianowy Rybnik – 850, przenośnik podścianowy GROT-850 oraz kruszarka kęsów SKORPION-1800P. Kompleks ścianowy został wyposażony w aparaturę elektryczną wraz ze zintegrowanym stanowiskiem sterowania, wizualizacji, parametryzacji i monitoringu IPC firmy Kopex Electric Systems S.A. oraz system głośnomówiący, blokad i sygnalizacji SSG-2 firmy ATUT. Zastosowane nowoczesne rozwiązania techniczne oparte są na technologiach zakładów wchodzących w skład Grupy Kapitałowej KOPEX, tj. Zabrzańskich Zakładów Mechanicznych S.A., Fabryki Maszyn i Urządzeń TAGOR S.A., Rybnickiej Fabryki Maszyn RYFAMA S.A. i Kopex Electric Systems S.A. Wszystkie urządzenia i maszyny wchodzące w skład kompleksu połączone są za pomocą kanałów transmisyjnych między sobą oraz z dołową centralną stacją sterowania i wizualizacji (w kabinie operatora), która nadzoruje pracę kompleksu. Dołowa centralna stacja sterowania połączona jest łączem światłowodowym z powierzchnią, gdzie prowadzona jest analiza pracy systemu ze stanowisk powierzchniowych.

Rys.2. Widok pociągu aparaturowego pod ścianą

Geneza powstania oraz podstawowe założenia

Idea budowy kompleksu ścianowego z bardzo zaawansowanym systemem automatyzacji pracy oraz monitoringiem od dłuższego czasu była przedmiotem dyskusji w zespole inżynierów w Grupie KOPEX. Do współpracy zaproszono producenta sterowania elektrohydraulicznego ścianowej obudowy zmechanizowanej - firmę Tiefenbach Control Systems GmbH. Projektując zautomatyzowany kompleks ścianowy zamierzano osiągnąć dwa podstawowe cele:

– zwiększenie bezpieczeństwa załogi przez zmniejszenie obłożenia w ścianie. Niezbędna ilość załogi - operatorzy sekcji, obserwator pracy kombajnu - została usunięta z miejsc stwarzających największe zagrożenie. A ich funkcja została ograniczona do obserwacji pracy urządzeń i ewentualnej korekcji pracy systemu;
– poprawa efektywności pracy kompleksu wydobywczego poprzez zmniejszenie czynnika ludzkiego błędu, poprawienie warunków pracy, m. in. zmniejszenie wysiłku fizycznego pozostałej załogi.

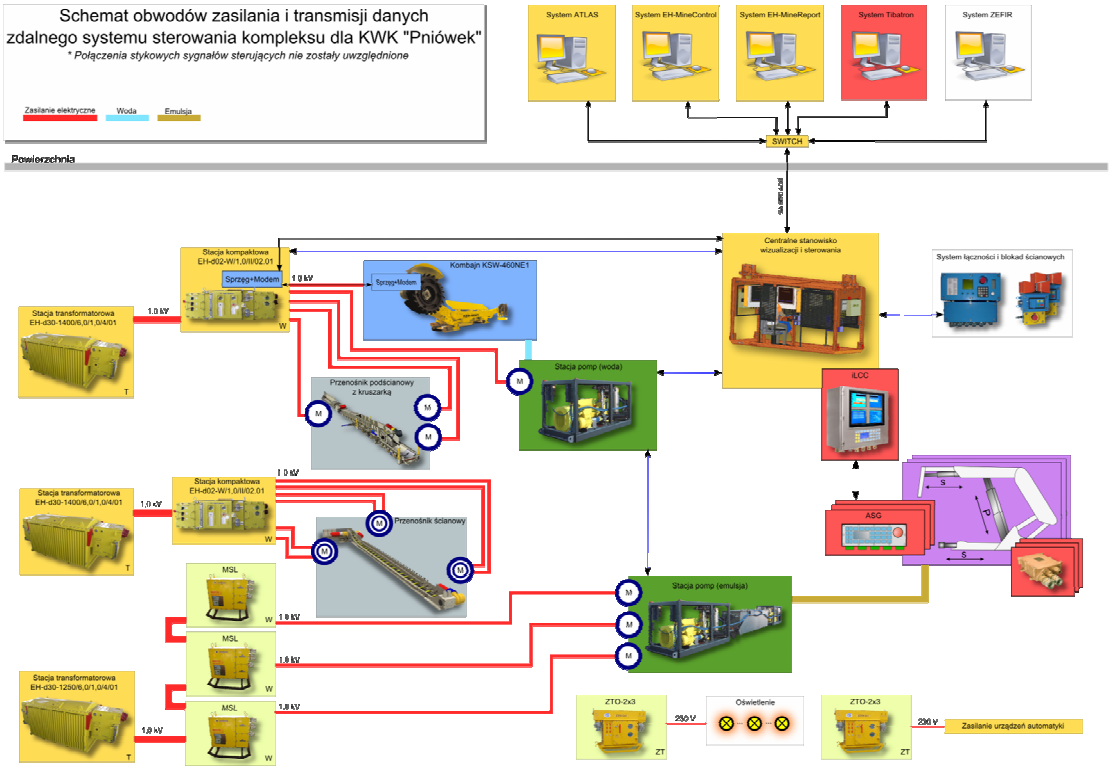
Powyższe założenia powinny przyczynić się do zwiększenia postępu ściany.

Kwestią istotną dla ekonomistów było zmniejszenie obłożenia załogi w ścianie. Dodatkowym, choć zamierzonym efektem są zwiększone możliwości monitoringu pracy samego systemu ścianowego, jak i wszystkich urządzeń wchodzących w skład kompleksu ścianowego. Monitorowanie pracy systemu i urządzeń powinno skutkować zwiększonymi możliwościami zapobiegania awariom. Celowość stosowania daleko posuniętej automatyzacji systemów ścianowych, jak widać, jest bezdyskusyjna. Efekt powinien być przede wszystkim widoczny w kompleksach ścianowych stosowanych w niskich pokładach. Naprzeciw dyskusjom i pracom inżynierów Grupy KOPEX wyszła inicjatywa kopalni „Pniówek", która w odważny i nowatorski sposób sformułowała zapytanie ofertowe na dostawę kompleksu ścianowego przeznaczonego do niskiego pokładu. Przemyślenia i prace zespołów inżynierskich w Grupie KOPEX spotkały się z oczekiwaniami kadry inżynieryjnej kopalni „Pniówek", dzięki czemu idea zautomatyzowanego kompleksu ścianowego mogła zostać po raz pierwszy zrealizowana w warunkach polskiej kopalni.

Była to pierwsza w Polsce inicjatywa zastosowania tego typu rozwiązań w krajowym przemyśle wydobywczym węgla kamiennego.

Powstały projekt zautomatyzowanego kompleksu ścianowego spełnia założenia zawarte w wymaganiach ofertowych i posiada następujące cechy:

– automatyczna procedura załączania wszystkich maszyn w kompleksie wydobywczym z pominięciem kombajnu,



Rys.3. Schemat blokowy zautomatyzowanego kompleksu ścianowego

– funkcja programowania i odtwarzania skrawu wzorcowego przez kombajn ścianowy,
– wykrywanie możliwości wystąpienia kolizji pomiędzy obudową zmechanizowaną a kombajnem,
– automatyczne kroczenie sekcji obudowy zmechanizowanej za postępem kombajnu,
– automatyczna przekładka przenośnika ścianowego,
– automatyczna przekładka sekcji skrajnych i napędów,
– automatyczne sterowanie napędami ścianowych i podścianowych przenośników oraz kruszarki,
– ciągła kontrola parametrów stanu pracy aparatury elektrycznej,
– pełna diagnostyka maszyn pracujących w kompleksie,
– automatyczne sterowanie stacjami pomp wody i emulsji (wybrane parametry),
– archiwizacja danych na powierzchni,
– wizualizacja parametrów pracy urządzeń na powierzchni,
– przesyłanie danych do systemu analizy obciążeń stropu ATLAS.

Pozwala na sterowanie maszynami i urządzeniami w następujących trybach pracy:

– automatyczny (tryb wydobywczy),
– lokalny (tryb wydobywczy, lokalne sterowanie napędami),
– rewizji (lokalne sterowania napędami),
– spinania (lokalne sterowanie jednym napędem).

Rys.4. Widok stanowiska dyspozytora na powierzchni w KWK Pniówek

Wszystkie dane wizualizowane na komputerach na stanowisku dołowym operatora kompleksu są transmitowane na powierzchnię i wizualizowane na komputerach powierzchniowych u dyspozytora energomaszynowego. Wybrane dane są wizualizowane także na monitorach w biurach kierownictwa kopalni.

(Przedruk)
Artykuł ukazał się na łamach miesięcznika JSW SA „Jastrzębski Węgiel" 6/2012

Czy wiesz, że...

…Grupa Kopex w ciągu dwóch lat sprzedała do Chin cztery kombajny ścianowe dużych mocy typu KSW-1500EU. Kombajny te mają umożliwić chińskiej Grupie Shandong Energy Xinwen Mining realizację celów, które zakładają wzrost produkcji węgla w 2013 roku do poziomu 80 milionów ton/rocznie, a w 2015 r. do poziomu 100 milionów ton/rocznie. Pierwszy kombajn został uruchomiony w listopadzie 2010 roku w kopalni Xinjulong, w ścianie wydobywczej o długości 264 metry i wybiegu 2232 metry. Kombajn pracował do marca 2012 roku, a więc przez 489 dni przy wybiegu ściany przedłużonym do 3750 metrów. Kombajn był zainstalowany w systemie wydobycia węgla z tzw. „podbierką" (ang. „top-caving") i urabiał ponad 4 metry złoża przy średniej wysokości pokładu 8,8 metra. W takiej technologii eksploatacji złoża węgiel obsypujący się po przesunięciu obudowy w kierunku ociosu opadał na dodatkowy przenośnik zainstalowany z tyłu zmechanizowanej obudowy ścianowej. Kombajn KSW-1500EU współpracował z obudową zmechanizowaną typu ZF15000/23/43 o największej zastosowanej w Chinach podporności wynoszącej 15 000 kN. Obudowa ta została wyprodukowana przez firmę Shandong TAGAO, spółkę należącą do Grupy Kopex, która produkuje zmechanizowane obudowy ścianowe według standardów stosowanych w firmie TAGOR S.A. Rekordowe wydobycie w kopalni Xinjulong przy użyciu kombajnu KSW-1500EU wyniosło 30 tysięcy ton/dobę, czyli około 1 miliona ton/miesiąc. Naszpikowany elektroniką KSW-1500EU przewyższa technicznie i funkcjonalnie tego typu kombajny chińskie. Jest on wyposażony m. in. w instalację zraszającą przy zastosowaniu mieszanki powietrzno-wodnej, która znacząco ogranicza ryzyko zapłonu metanu oraz zapylenia generowanego przez urządzenie pracujące w ścianie, a także ogranicza zużycie wody zraszającej nawet o 40%. Kombajn posiada także funkcję zapamiętania tzw. skrawu kontrolnego oraz układ kontroli, który w przypadku przekroczenia dopuszczalnego stężenia metanu automatycznie przerywa pracę maszyny. Zalety te - obok wysokiej dyspozycyjności i bezawaryjności – zadecydowały o za- kupie kolejnych trzech kombajnów KSW-1500EU przez chińską grupę. Uruchomienie w kopalni Xinjulong czwartego z dostarczonych kombaj-nów typu KSW-1500EU jest planowane na drugą połowę roku 2012.