

Diagnostyka stanu technicznego przekładni zębatych ogólnego przeznaczenia

Streszczenie

W artykule opisano opracowany w CMG KOMAG układ do ciągłego monitorowania stanu technicznego przekładni zębatych ogólnego przeznaczenia. Opisano układ elektroniczny do nadzoru on-line stanu technicznego przekładni, opartego na analizie wartości szczytowych widma drgań w pasmach oktaowych. Elektroniczny moduł współpracuje z opracowanym programem GearExpert umożliwiającym, w przypadku przekroczenia dopuszczalnych progów w pasmach oktaowych, analizę miejsca i rodzaj powstałej niesprawności przekładni. Program na podstawie występowania określonych składowych w widmie przyspieszenia i obwiedni, automatycznie wyznacza rodzaj uszkodzenia. Danymi wejściowymi do programu są odpowiedzi udzielane przez diagnostę, na podstawie generowanego widma przyspieszenia i obwiedni, co do rodzajów występujących składowych. Opracowany układ wykonany jest w wersji przemysłowej i był testowany w cementowni z pozytywnymi wynikami.

Summary

In this paper a system of continuous monitoring of technical condition of general application gears is presented. This system was developed in KOMAG. Electronic module for on-line supervision of technical state of gears is based on analysis of peak value of vibration spectrum in octave bands. This module collaborates with the expert software GearExpert, which in the case of exceeding of permissible thresholds of in octave bands, enables analysis of place and type of gear inefficiency. The software automatic determines the type of damage on the base of occurrence determinate components in acceleration spectrum and envelope. Input data in this software are responses given by diagnostician on the base of generated acceleration spectrum and envelope, regarding types of occurring components. The developed system is made in professional version and was tested in cement plant with positive results.

1. Wstęp

Przekładnie zębate są nieodzownym ogniwem łańcucha kinematycznego wszelkiego rodzaju urządzeń mechanicznych. Jednocześnie ich uszkodzenia stanowią ponad 60% mechanicznych defektów ogniw wirujących [1]. Ponadto przekładnie zębate stanowią szeregowy człon modelu struktury niezawodnościowej obiektu złożonego. Taki model charakteryzuje się tym, że niesprawność któregośkolwiek z jego elementów jest niesprawnością całego obiektu. Ponadto nowoczesne przekładnie zębate cechują się coraz mniejszymi gabarytami w stosunku do przenoszonej mocy, co powoduje wzrost ich sprawności i momentu znamionowego, kosztem zwiększenia wyłężenia elementów przekładni. Powyższe fakty są przyczyną zwiększania się prawdopodobieństwa awarii obecnie produkowanych przekładni.

Jednym z praktycznie stosowanych na szeroką skalę w przemyśle polskim sposobów uniknięcia nieprzewidywalnych kosztownych awarii przekładni jest wprowadzanie następujących systemów wibracyjnego monitorowania:

- zastosowanie obchodowego monitorowania stanu technicznego przekładni,
- zastosowanie ciągłego monitorowania stanu technicznego,

- diagnozowanie przyczyn pogarszania się stanu technicznego przekładni, wykrytych przez poprzednio wymienione systemy monitorowania.

W warunkach przemysłowych stosuje się praktycznie tylko monitorowanie przekładni. Celem monitorowania jest stwierdzenie faktu, że przekładnia wykazuje odstępstwo dynamiczne od warunków zmierzonych wcześniej. Najczęściej mierzonymi wielkościami podczas monitorowania są:

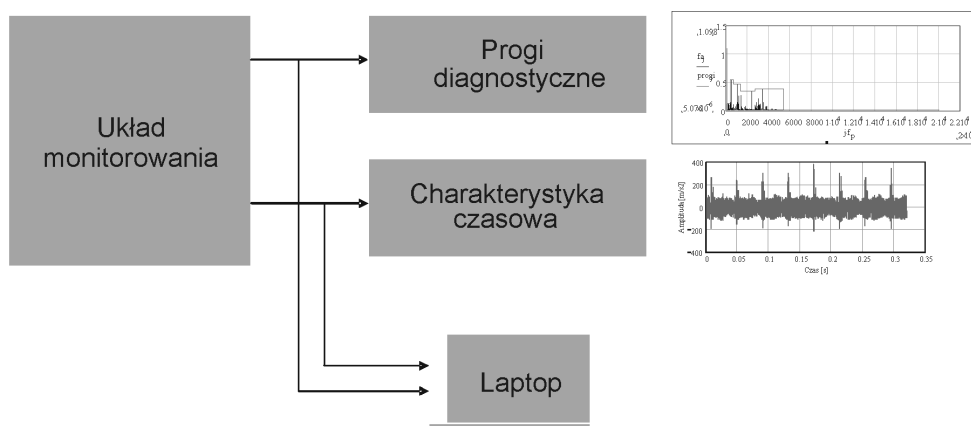
- wartość skuteczna prędkości drgań,
- wartość szczytowa przyspieszenia drgań,
- wartość międzyszczytowa przemieszczenia (peak to peak).

W zależności od praktycznych doświadczeń diagnostów, wybierane są różne pasma wyznaczania tych parametrów. Problemem związanym z tego rodzaju monitorowaniem jest wyznaczanie dopuszczalnych progów określających stan techniczny urządzenia. Powszechnie stosowane progi podane w normach takich jak PN-ISO 10816-1, VDI 2056 odnoszą się do maszyn prostych i nie mogą być stosowane do diagnozowania stanu technicznego przekładni. Normy stosowane do badań odbiorczych przekładni, takie jak: ANSI/AGMA 6025-D98, AGMA 299.01, PN-ISO-8579-2 mają zastosowanie tylko do nowych przekładni zębatych w celu określenia ich jakości wykonania i nie mogą być rów-

niez stosowane jako kryteria oceny stanu technicznego przekładni podczas eksploatacji. Mając na uwadze powyższe fakty, został opracowany w CMG KOMAG, w ramach projektu badawczego, przemysłowy system on-line monitorowania stanu technicznego przekładni, z wbudowanym modułem automatycznego wyznaczania progów i programem eksperckim wyznaczającym rodzaj uszkodzenia elementów przekładni.

2. Opis systemu monitorowania on-line stanu technicznego przekładni

System monitorowania on-line stanu technicznego przekładni pokazany schematycznie na rysunku 1, zbudowany jest z dwóch niezależnych członów:



Rys.1. Schemat systemu monitorowania stanu technicznego przekładni

- modułu przeznaczonego do ciągłego monitorowania stanu technicznego przekładni, na podstawie maksymalnych wartości składowych widma drgań, zmierzonego w pasmach oktaowych w zakresie pomiarowym od 2 Hz do 20 kHz; moduł będzie automatycznie wyznaczał dopuszczalne poziomy amplitudy drgań w poszczególnych pasmach, dla przekładni pracującej w dobrym stanie technicznym; założono możliwość zastosowania do pomiarów drgań standardowych czujników ICP oraz czujników z wyjściem napięciowym, w tym piezolaminatowych; ponadto moduł posiada możliwość wyznaczania esymat diagnozujących, stosowanych powszechnie przez producentów układów monitorujących, tj. wartości skuteczne i szczytowe prędkości, przyspieszenia w pasmach 10-1000 Hz, 2-1000 Hz,
- programu komputerowego GearExpert pracującego w środowisku Windows 2009, XP, komunikującego się z modułem monitorowania za pomocą protokołu USB, który w przypadku przekroczenia dopuszczalnych progów ostrzegawczych, będzie w formie pytań pomagał użytkownikowi w lokalizacji miejsca i przyczyny niesprawności.

W przypadku możliwości zastosowania modułu przez producentów przekładni w nowych urządzeniach

istnieje możliwość zastosowania jako czujników specjalnych rozwiązań opartych na piezolaminatach.

Na rysunku 2 pokazano jedno z możliwych rozwiązań zastosowania kabla piezolaminatowego jako czujnika, umieszczonego w rowku otworu obudowy łożyska przekładni.

Zastosowanie napięciowych czujników piezolaminatowych pozwala znacznie obniżyć koszty układów monitorowania, przy zachowaniu tych samych standardów pomiarowych jakie daje stosowanie czujników ICP.

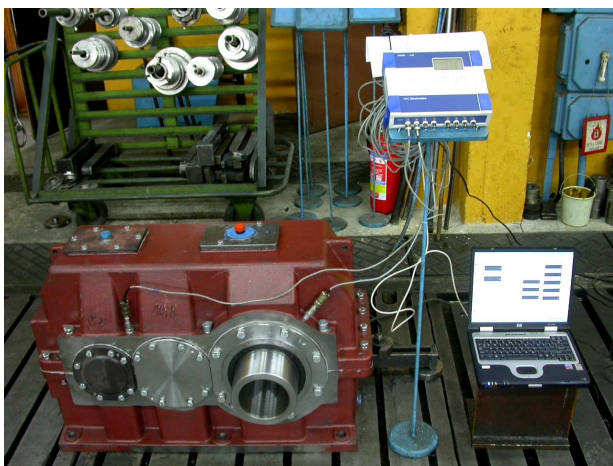
Na rysunku 3 pokazano 8-kanałowy moduł diagnostyczny on-line, stosowany do testowania stanu technicznego przekładni zębatej produkowanej przez Redor Sp. z o.o w Bielsku-Białej.



Rys.2. Sposób montażu kabla piezolaminatowego jako czujnika drgań w przekładni zębatej

W module zapamiętywane są dane kinematyczne przekładni niezbędne do analizy miejsca i przyczyny wystąpienia niesprawności przekładni. Dla każdego stopnia zapamiętywane są ilości zębów, robocza prędkość wejściowa przekładni, moc, nazwa zakładu, nazwa linii technologicznej, typ przekładni. Dla każdego kanału pomiarowego, związanego z czujnikiem pomiarowym umieszczonym na obudowie łożyska przypisany jest typ łożyska z podaniem częstotliwości charakte-

rystycznych uszkodzenia jego elementów (pierścienia wewnętrznego, zewnętrznego, elementu toczonego, kośzyka). Dane te są wprowadzane do modułu z laptopa za pomocą złącza USB. Rozwiązanie takie pozwala na szybkie i precyzyjne pozyskiwanie niezbędnych danych diagnozowanej przekładni, do analizy przyczyn przekroczenia dopuszczalnych progów przy użyciu programu GearExpert.

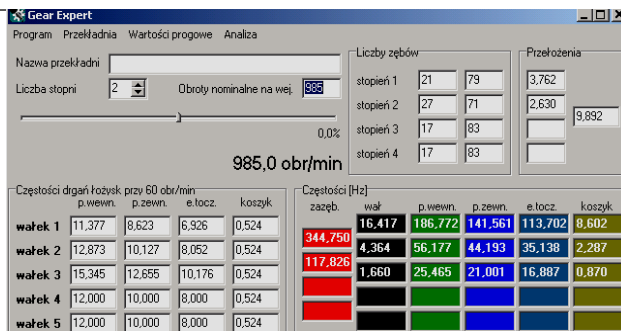


Rys.3. Moduł do diagnostyki on-line przekładni zębatej

3. Opis programu GearExpert wersja 1.0

Intuicyjne w obsłudze oraz proste w instalacji oprogramowanie eksperckie pomagające w określaniu przyczyn i miejsca powstania uszkodzenia przekładni.

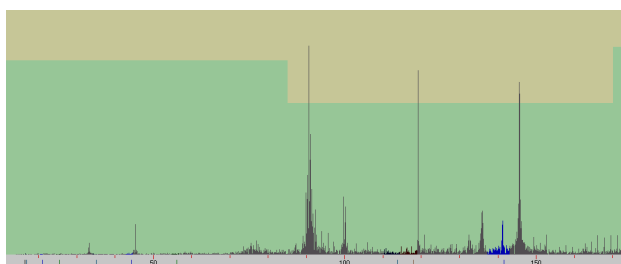
Interfejs programu składa się z trzech okien. W oknie pierwszym (rys. 4) podaje się dane kinematyczne przekładni oraz częstotliwości charakterystyczne uszkodzenia elementów łożysk tocznych. Wczytuje się również z pliku tekstowego lub wpisuje się w odpowiednie okno wartości progowe widma drgań w pasmach oktawowych.



Rys.4. Okno programu GearExpert do wczytywania charakterystycznych danych przekładni

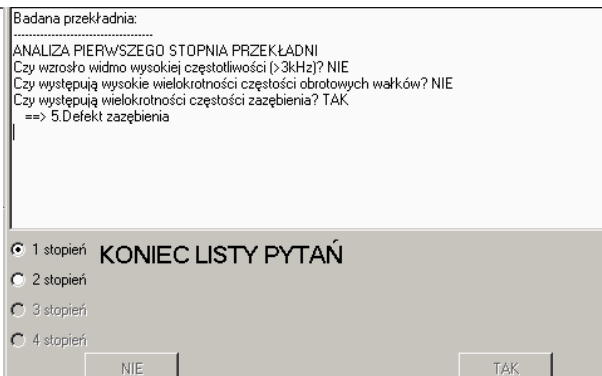
W oknie dolnym po wczytaniu pliku z charakterystyką czasową i wartościami progowymi z modułu ciągłego monitorowania, pokazane jest widmo wraz z zaznaczonymi kolorami progami dopuszczalnymi w danym paśmie. Zaznaczone są również kolorami charakterystyczne częstotliwości węzłów kinematycznych przekładni, takie jak: harmoniczne zazębień, harmoniczne częstotliwości obrotowych wałów przekładni, przeliczone częstotliwości charakterystyczne uszkodzeń elementów łożysk, itp. W tak oznaczonym widmie łatwo jest wyznaczyć składowe o największych amplitudach, przekraczające dopuszczalne progi i w ten sposób, na podstawie częstotliwości ich występowania, określić punkt kinematyczny ich powstawania.

Na rysunku 5 pokazano przykładowe okno widma drgań przekładni napędu młyna cementu w cementowni „Nowiny”, z zaznaczonymi dopuszczalnymi progami. Strefa żółta to ostrzeżenie dla użytkownika o powstającym uszkodzeniu przekładni, natomiast strefa czerwona informuje o zaawansowanym rozwoju uszkodzenia prowadzącym do awarii przekładni. Wartości widma mieszające się w strefie zielonej informują o dobrym stanie technicznym przekładni.



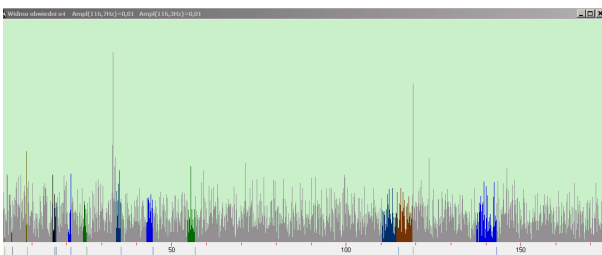
Rys.5. Widmo drgań przekładni napędu młyna cementu z zaznaczonymi progami

W oknie trzecim, po wyborze analizowanego stopnia, zadawane są pytania związane z występowaniem określonych składowych widma, oraz zakresu pasma, w których zostały przekroczone wartości progowe. Odpowiedzi udziela się twierdzącej lub przeczącej na zadawane pytania. Końcowym efektem jest wskazanie na rodzaj i miejsce defektu przekładni. Na rysunku 6 pokazano okno z wynikiem odpowiedzi na zadawane pytania przez program ekspercki.



Rys.6. Przykład okna programu GearExpert określającego rodzaj i miejsce defektu przekładni

Określanie miejsca i rodzaju defektu przekładni opiera się na trzech kryteriach: pasma w jakim nastąpiło przekroczenie progu ostrzegawczego widma drgań, charakterystycznego układu składowych widma obwiedni. Widmo obwiedni wyznaczane jest automatycznie przez program z charakterystyki czasowej podanej procesowi filtracji filtrem górnoprzepustowym o nastawnym paśmie odcięcia. Wybór pasma odcięcia podaje użytkownik programu, na podstawie analizy widma drgań. Pasma odcięcia przyjmuje się powyżej od 300 do 500 razy wartości częstotliwości obrotowej wału wejściowego przekładni. Na rysunku 7 pokazano okno realizacji widma obwiedni sygnału czasowego.



Rys.7. Widmo obwiedni z zaznaczonymi częstotliwościami charakterystycznymi przekładni

Zadawane pytania dotyczą występowania w widmie obwiedni i przyspieszenia określonych składowych, na podstawie których program automatycznie podaje miejsce i rodzaj uszkodzenia przekładni. Przykładowo jeśli w widmie przekładni i obwiedni występują harmoniczne $k \cdot f_z$, dla $k > 4$, oraz dodatkowo występują wstęgi boczne wokół harmonicznych zazębienia postaci: $k \cdot f_z \pm k_1 \cdot f_o$, gdzie: k, k_1 – liczby całkowite dodatnie, f_z – częstotliwość zazębienia stopnia wejściowego, f_o – częstotliwość obrotowa wału wejściowego, to wskazywać to będzie na defekty zębniaka stopnia wejściowego przekładni. Dodatkowo spełniony musi być warunek nie przekroczenia progu ostrzegawczego w paśmie wysokich częstotliwości, tj. powyżej 3 kHz.

Podsumowując opracowany układ do monitorowania on-line przekładni wraz z programem eksperckim GearExpert jest bardzo skutecznym i sprawdzonym w warunkach przemysłowych narzędziem do wczesnego wykrywania niesprawności przekładni zębatych. Układ testowany był w warunkach przemysłowych na

przekładniach napędu młyna cementu i surowca w Cementowni „Nowiny”, obecnie Dyckerhoff Polska Sp. z o.o., gdzie z powodzeniem sprawdził się jako narzędzie do wczesnego i pewnego wykrywania niesprawności monitorowanych przekładni.

4. Wnioski

Na rynku krajowym oferowane są różne systemy diagnostyki on-line takich firm, jak: Pruftechnik, SPM Instruments, EC Electronics z Krakowa i inne. Systemy te z reguły określają stan urządzenia na podstawie estymat punktowych, takich jak: wartość skuteczna, szczytowa, międzyszczytowa, itp. w określonych pasmach pomiarowych. Jak wykazały badania przeprowadzone w CMG KOMAG, estymaty te nie zawsze wykrywały pewne uszkodzenia przekładni [1]. Przykładowo podczas biernego eksperymentu diagnostycznego zacierania przekładni wszystkie wymienione wcześniej estymaty nie wskazywały wzrostu ich wartości w procesie zacierania, a niektóre zmniejszały swą wartość.

Przekładnia zębata jest specyficznym urządzeniem, trudnym do analizy wibracyjnej ze względu na silnie nieliniowe postacie drgań, co bardzo utrudnia prawidłową diagnozę. Opisany system przeznaczony jest specjalnie do analizy stanu technicznego przekładni, opracowany na podstawie długoletnich badań diagnostycznych realizowanych w warunkach przemysłowych i skutecznych metod analizy sygnałów spotykanych w literaturze [2, 3, 4].

Literatura

1. Praca zbiorowa pod redakcją: J.Tomaszewski, J.Drewniak: Zacieranie przekładni zębatych. Prace Naukowe – Monografie CMG KOMAG nr 20, Gliwice, 2007.
2. А.В.Барков Н.А.Баркова: "Интеллектуальные системы мониторинга и диагностики машин по вибрации" Труды Петербургского энергетического института повышения квалификации Минтопэнерго Российской Федерации и Института вибрации США (Vibration Institute, USA), Выпуск 9, Санкт-Петербург, 1999 г.).
3. Ю.А.Азовцев, Н.А.Баркова, В.А.Доронин: "Диагностика и прогноз технического состояния оборудования целлюлозно-бумажной промышленности в рыночных условиях", Журнал "Бумага, картон, целлюлоза", май 1999 г.
4. А.В.Барков, Н.А.Баркова, А.Ю.Азовцев: "Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации", изд. СПб Государственного морского технического университета, г. СПб, 2000 г., 169с.

W artykule wykorzystano wyniki pracy naukowej finansowanej ze środków Ministra Nauki, która została wykonana w ramach Programu Wieloletniego pn.: „Doskonalenie systemów rozwoju innowacyjności w produkcji i eksploatacji w latach 2004–2008”.

Artykuł wpłynął do redakcji w listopadzie 2007 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Adam Klich

Wpływ oddziaływania dynamicznego transportowanego materiału na wartość obciążeń przenośnika wibracyjnego

Streszczenie

Korpusy maszyn wibracyjnych podczas pracy są silnie obciążane siłami bezwładności, wymuszającymi drgania oraz oddziaływaniem transportowanej nadawy. Celem pracy było wyznaczenie obciążeń korpusu maszyny wibracyjnej i określenie wpływu oddziaływania dynamicznego transportowanej nadawy na wartość tych obciążeń. W pracy porównano wyniki analiz, uzyskane jedną z analitycznych metod obliczeniowych oraz nową, łączoną metodą symulacji cyfrowej modelu dyskretnego i ciągłego maszyny wibracyjnej pracującej z sypką nadawą.

Summary

Frames of vibratory machines are significantly loaded by forces of inertia, forcing vibrations and the impact of the transported material. The purpose of the investigations was the delimitation of loads of the machine body and estimation of dynamic impact of the transported material on the value of those loads. The results of analysis obtained by one of the analytical computational methods, as well as by the new method combining digital simulation of discrete and continuous models of the vibratory machine transporting loose material, are presented in the paper.

1. Wprowadzenie

Korpusy przenośników wibracyjnych podczas pracy obciążone są dynamicznie. Obciążenia te pochodzą od siły bezwładności, siły wymuszającej drgania oraz od sił oddziaływania na rynnę transportowanej nadawy. Znajomość tych obciążeń jest niezbędna podczas projektowania maszyn wibracyjnych ze względu na warunki wytrzymałości, sztywności i prawidłowej pracy. W literaturze występuje wiele rozwiązań dotyczących metod wyznaczania obciążeń dynamicznych przenośników wibracyjnych podczas pracy, które dla przypadków przenośników długich obciążonych nadawą dają częstokroć wyniki przybliżone, a nawet błędne [1, 3, 4].

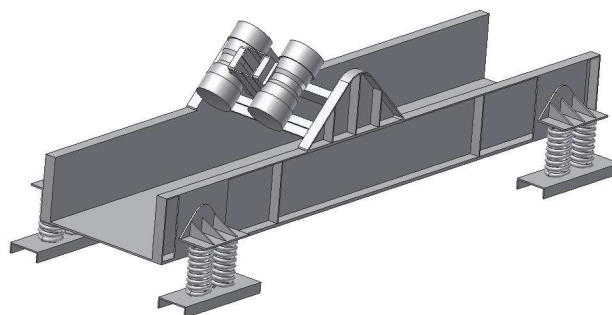
Celem pracy badawczej, zrealizowanej w Katedrze Mechaniki i Wibroakustyki, było wyznaczenie obciążeń korpusu przenośnika wibracyjnego rynnowego (rys. 1) jedną z analitycznych metod obliczeniowych (Rozdział 2.2) oraz nową, łączoną metodą symulacji układu dyskretnego (Rozdział 2.3) i ciągłego (Rozdział 2.4). Otrzymane wyniki porównano oraz dokonano oceny i weryfikacji zastosowanych metod. Dokonano również oceny wpływu oddziaływania dynamicznego nadawy oraz parametrów reologicznych (sprężystości) transportowanego materiału na wartość obciążeń rynnę przenośnika wibracyjnego.

2. Analiza obciążeń rynnę przenośnika wibracyjnego z nadawą

2.1. Analizowany przenośnik wibracyjny

W celu przeprowadzenia analizy warunków pracy, wpływu transportowanego materiału na wartość obcią-

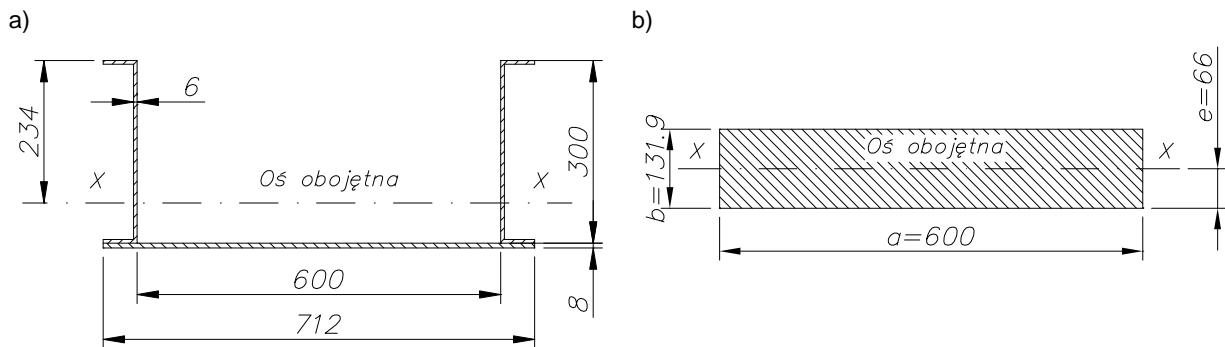
żeń korpusu maszyny przyjęto zaprojektowany przenośnik wibracyjny rynnowy (rys. 1) [6]. Drgania wymuszane są na rynnę za pomocą dwóch elektrowibratorów przeciwbieżnych.



Rys.1. Analizowany przenośnik wibracyjny rynnowy [6]

W celu wyznaczenia obciążeń korpusu ze wzoru analitycznego (6) oraz z metody łączonej symulacji cyfrowej modelu dyskretnego i ciągłego do obliczeń przyjęto uproszczony przekrój, przedstawiony na rysunku 2b. Posiadał on taką samą sztywność giętną jak przekrój rzeczywisty. Natomiast gęstość materiału dobrano tak, aby masa rynnę pozostała taka sama, jak w rynnę analizowanego przenośnika.

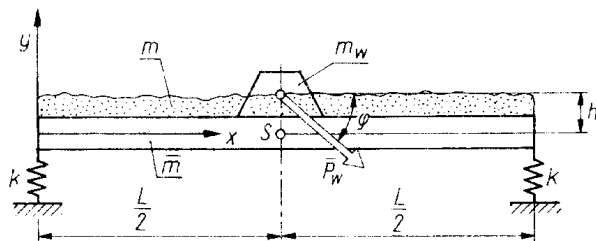
Obliczenia oraz symulacje przeprowadzono dla różnych sztywności giętych korpusu, zmieniając wysokość b przekroju zastępczego (każdorazowo korygując gęstość materiału) (rys. 2b). Na podstawie wyników przeprowadzonych symulacji dla przekroju rzeczywistego (rys. 2a) wynika, że w obciążeniach korpusu należałoby uwzględnić karby, które powodują spiętrzenia naprężeń nie będące jednak tematem analiz prowadzonych w pracy badawczej (tabela 1).



Rys.2. Przekrój poprzeczny rynny przenośnika wibracyjnego: a) rzeczywisty; b) zastępczy [6]

2.2. Analityczne wyznaczenie obciążeń dynamicznych rynny przenośnika wibracyjnego

W celu wyznaczenia wartości maksymalnego momentu zginającego i naprężeń w rynnie przenośnika wibracyjnego, skorzystano z jednej z analitycznych metod obliczeniowych, opracowanej przez prof.dr.hab. inż. Jerzego Michalczyka [3].



Rys.3. Model do wyznaczania obciążeń korpusu przenośnika wibracyjnego [3]

W metodzie [3] założono, że korpus maszyny jest wystarczająco sztywny i porusza się ruchem postępowym, którego składowa pionowa ma postać:

$$y = C \sin \omega t \quad (1)$$

Aby wyznaczyć moment gnący przenoszony przez korpus, zgodnie z zasadą d'Alemberta do każdego elementu korpusu o długości dx należy przyłożyć elementarną siłę bezwładności:

$$dB = -\bar{m} dx \ddot{y} = \bar{m} dx C \omega^2 \sin \omega t \quad (2)$$

oraz elementarną siłę ciężkości korpusu:

$$dG_k = -\bar{m} g dx \quad (3)$$

Elementarny wycinek korpusu jest ponadto obciążony siłą okresową pochodzącą od zderzenia z nadawą. W obliczeniach uwzględniono składową stałą tej siły równą wprost naciskowi statycznemu nadawy na korpus. Pozwoliło to na przedstawienie siły uderzenia przenoszonej na elementarny wycinek korpusu jako elementarnej siły nadawy:

$$dG_n = -\frac{mg}{L} dx \quad (4)$$

Na brzegach korpusu jest przyłożona – za pośrednictwem układu zawieszenia – siła skupiona o wartości

równej sumie stałej składowej pochodzącej od ciężaru korpusu z wibratorem i nadawą oraz składowej zmiennej wywołanej zmianą napięcia sprężyn zawieszenia:

$$P = (\bar{m}L + m_w + m) \frac{g}{2} - kC \sin \omega t \quad (5)$$

Po obliczeniu całkowitego momentu gnącego względem przekroju odległego o x od lewego końca korpusu (rys. 3) otrzymano:

$$M(x, t) = \left[(\bar{m}L + m_w + m) \frac{g}{2} - kC \sin \omega t \right] \cdot x - \left[g \left(\bar{m} + \frac{m}{L} \right) - \bar{m} C \omega^2 \sin \omega t \right] \frac{x^2}{2} \quad (6)$$

gdzie:

$m = 300, 200, 100, 50, 10, 0 \text{ kg}$ – masa całkowita nadawy,
 $L = 5 \text{ m}$ – długość korpusu,

$K = 520 \text{ kN/m}$ – współczynnik sprężystości podparcia końca korpusu,

$\bar{m} = 81,8688 \text{ kg}$ – masa na jednostkę długości korpusu,

$m_w = 177, 1270 \text{ kg}$ – masa wibratora wraz z obudową,

$P_w = 20000 \text{ N}$ – siła wymuszająca wibratora,

$C = 0,00225 \text{ m}$ – amplituda drgań rynny przenośnika,

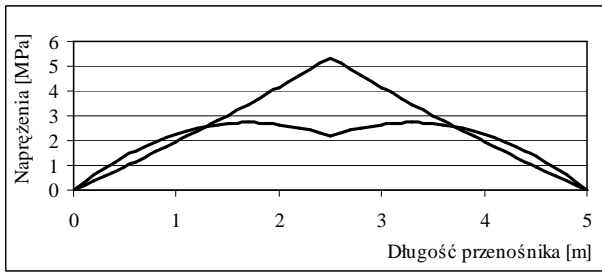
$c = 192,2 \text{ kg/s}$ – współczynnik tłumienia podparcia korpusu,

$\omega = 99,43 \text{ s}^{-1}$ – częstość wymuszenia.

Moment zginający rynnę przenośnika wyznaczono według powyższego modelu obliczeniowego (rys. 3), zależności (6) oraz dla powyższych parametrów przenośnika w zależności od całkowitej masy nadawy i różnych sztywności giętych korpusu (tabela 1). Z wyznaczonych wartości momentów gnących, na podstawie zależności (7) klasycznej wytrzymałości materiałów, obliczono naprężenia zginające w rynnie (tabela 1):

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{I_x} \cdot e \quad (7)$$

Przykładowe wyniki obliczeń przedstawiono w postaci wykresu rozkładu naprężeń w rynnie przenośnika w funkcji jego długości (wykres 1).

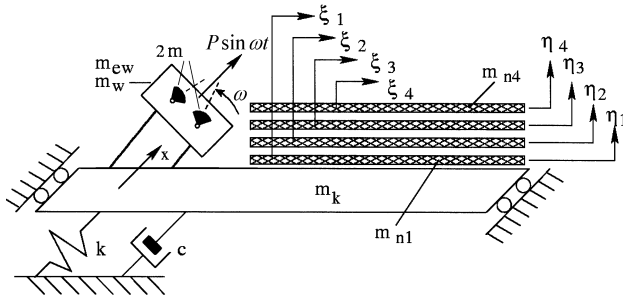


Wykres 1. Rozkład naprężeń w rynnie przenośnika; masa nadawy – 300 kg

2.3. Symulacja cyfrowa pracy przenośnika wibracyjnego z nadawą

W celu weryfikacji wyników otrzymanych metodą analityczną (Rozdział 2.2), skorzystano z nowo opracowanej metody symulacji (schemat - rys. 6). W metodzie tej wykorzystano wartości sił oddziaływania nadawy na rynnę (wykres 2a), wyznaczone z dyskretnego modelu przenośnika wibracyjnego pracującego z nadawą (rys. 4), opracowanego przez prof. Jerzego Michalczyka i dr. Grzegorza Cieploka [5] w Katedrze Mechaniki i Wibroakustyki (AGH w Krakowie), w symulowanym układzie ciągłym (rys. 5a, b), pozwalającym wyznaczyć obciążenia korpusu maszyny.

Nadawę zamodelowano w postaci n warstw o łącznej masie m_n , wykonujących ruch pionowy wzdłuż osi η_i i poziomy wzdłuż osi ξ_i . Warstwy pomiędzy sobą i na styku z rynną oddziałują siłami kontaktowymi, których postać dobrano w ten sposób, by zachowywały zadaną wartość współczynnika restytucji R i współczynnika tarcia rozwiniętego μ .



Rys. 4. Model przenośnika wibracyjnego z 8-warstwową nadawą

Na kierunku normalnym η_i siłę kontaktową wyznaczono z zależności [2]:

$$F_{ij} = (x_i - x_j)^p \cdot k \cdot \left\{ 1 - \frac{1-R^2}{2} \left[1 - \operatorname{sgn}(x_i - x_j) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_i - \dot{x}_j) \right] \right\} \quad (8)$$

Na kierunku stycznym ξ_i siłę kontaktową wyznaczono z zależności:

$$T_{j,j-1} = -\mu F_{j,j-1} \operatorname{sgn}(\dot{\xi}_j - \dot{\xi}_{j-1}) \quad (9)$$

Przedstawiony model opisują następujące równania ruchu rynny przenośnika oraz 8 warstw nadawy. Równanie ruchu rynny na kierunku x :

$$m_k \ddot{x} + c\dot{x} + kx = -F_{10} - P \sin \omega t \quad (10)$$

Dwa przeciwbieżne elektrowibratory wywołują siłę wymuszającą:

$$P = 2m\omega^2 \quad (11)$$

Równanie pierwszej warstwy nadawy na kierunku pionowym η_1 i poziomym ξ_1 :

$$m_{n1} \ddot{\xi}_1 = T_{10} - T_{21}, \quad m_{n1} \ddot{\eta}_1 = -m_{n1}g + F_{10} - F_{21} \quad (12)$$

Równanie i -tej warstwy nadawy na kierunku poziomym η_i i pionowym ξ_i :

$$m_{ni} \ddot{\xi}_i = T_{i,i-1} - T_{i+1,i}, \quad m_{ni} \ddot{\eta}_i = -m_{ni}g + F_{i,i-1} - F_{i+1,i} \quad (13)$$

Równanie wierzchniej warstwy j nadawy na kierunku pionowym η_j i poziomym ξ_j :

$$m_{nj} \ddot{\xi}_j = T_{j,j-1}, \quad m_{nj} \ddot{\eta}_j = -m_{nj}g + F_{j,j-1} \quad (14)$$

Współrzędne pionową η_i i poziomą ξ_i ze współrzędną x nachyloną pod kątem 30° do poziomu wiążą poniższe zależności:

$$\xi_0 = x \cos \beta, \quad \eta_0 = x \sin \beta \quad (15)$$

Jeśli pierwsza warstwa nadawy nie styka się z rynną, wówczas siły kontaktowe na kierunkach normalnym i stycznym, pomiędzy pierwszą warstwą a rynną, są równe zero:

$$\eta_1 \geq \eta_0, \quad F_{10} = 0, \quad T_{10} = 0 \quad (16)$$

W przeciwnym razie, występują siły kontaktowe na kierunku normalnym (od upadającego materiału) oraz stycznym (od tarcia) pomiędzy nadawą i rynną:

$$F_{10} = (\eta_0 - \eta_1)^p \cdot k \cdot \left\{ 1 - \frac{1-R^2}{2} \left[1 - \operatorname{sgn}(\eta_0 - \eta_1) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{\eta}_0 - \dot{\eta}_1) \right] \right\} \quad (17)$$

$$T_{10} = -\mu F_{10} \operatorname{sgn}(\dot{\xi}_1 - \dot{\xi}_0) \quad (18)$$

Jeśli warstwy nadawy j i $j-1$ nie stykają się, wówczas siły kontaktowe na kierunkach normalnym i stycznym pomiędzy warstwami są równe zero:

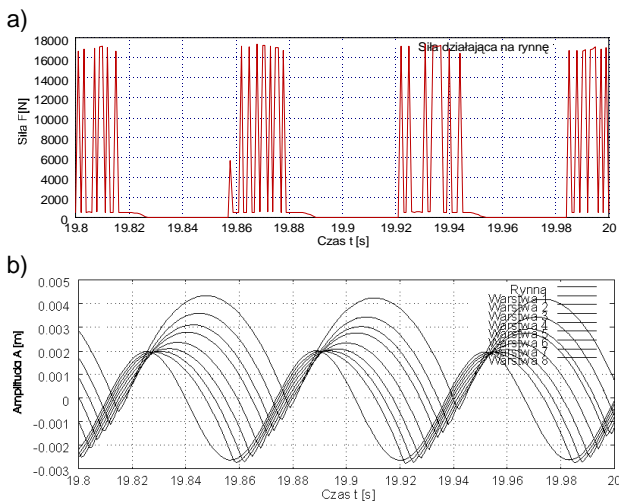
$$\eta_j \geq \eta_{j-1}, \quad F_{j,j-1} = 0 \quad (19)$$

W przeciwnym razie, występują siły kontaktowe na kierunku normalnym (od upadającego materiału) oraz stycznym (od tarcia) pomiędzy warstwami j i $j-1$:

$$F_{j,j-1} = (\eta_{j-1} - \eta_j)^p \cdot k \cdot \left\{ 1 - \frac{1-R^2}{2} \left[1 - \operatorname{sgn}(\eta_{j-1} - \eta_j) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{\eta}_{j-1} - \dot{\eta}_j) \right] \right\} \quad (20)$$

$$T_{j,j-1} = -\mu F_{j,j-1} \operatorname{sgn}(\dot{\xi}_j - \dot{\xi}_{j-1}) \quad (21)$$

Symulacje przeprowadzono dla takich samych parametrów jak w metodzie analitycznej, w zależności od masy całkowitej 8 warstw transportowanego materiału.



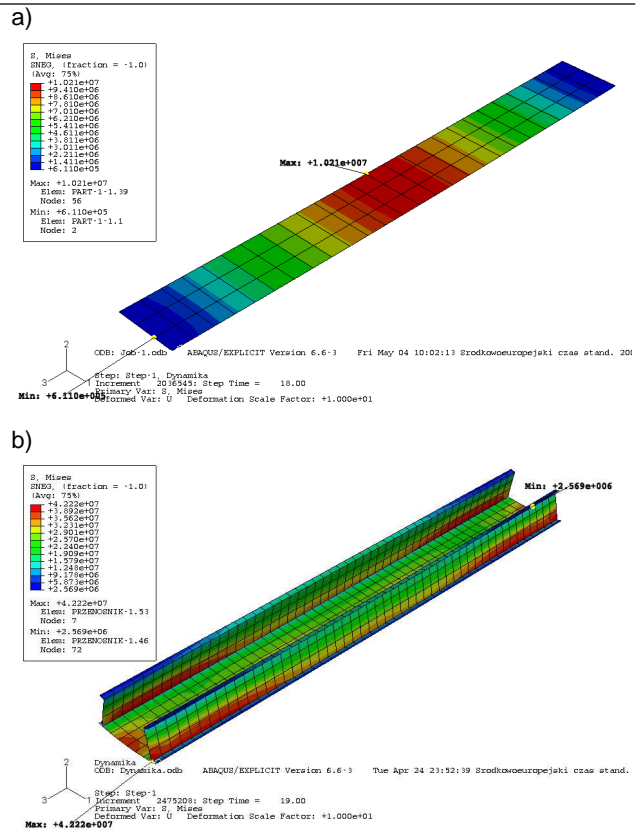
Wykres 2. Wyniki symulacji cyfrowych: a) siła oddziałująca na rynnę przenośnika; b) amplituda rywny przenośnika i 8 warstw nadawy; masa nadawy 200 kg

Na wykresie 2a przedstawiono przebieg siły oddziałującej na rynnę przenośnika, pochodzącej od zderzeń z nadawą dla ustalonego stanu pracy. Na wykresie tym widać po 8 ekstremalnych wartości siły dla każdego cyklu podzutu. Pochodzą one od uderzeń kolejnych, opadających warstw nadawy. Na wykresie 2b przedstawiono przebieg drgań rywny przenośnika oraz trajektorie ruchu 8 warstw nadawy. Z wykresów tych wynika, iż spełniony jest warunek wystąpienia podzutu nadawy oraz przenośnik pracuje w cyklu jednotaktowym.

2.4. Wyznaczenie obciążeń rywny przenośnika metodą elementów skończonych

Symulacje cyfrowe przeprowadzono w programie Abaqus (MES). Zadaniem analizy było zasymulowanie pracy przenośnika wibracyjnego i określenie naprężeń zginających rynnę transportującą materiał, wywołanych zjawiskami dynamicznymi w układzie ciągłym.

W programie zbudowano model przenośnika (rys. 1) z elementów płytowych. Rynnę utwierdzono na 12 sprężynach tak, aby otrzymać odpowiednie współczynniki sprężystości i tłumienia na kierunkach prostopadłych i równoległych do osi sprężyn śrubowych. Zmieniając grubość płyty oraz gęstość materiału, otrzymano kolejne sztywności giętne rynn, przy zachowaniu jej stałej masy. W skład obciążeń weszła siła grawitacji, obciążenia od wsporników i dwóch elektrowibratorów przeciwbieżnych. Do programu jako amplitudy wymuszenia drgań oraz siły oddziaływania nadawy na rynnę zaimportowano przebiegi czasowe z wyników przeprowadzonej symulacji układu dyskretnego w programie FreePascal (m.in. wykres 2a).



Rys. 5. Rozkład naprężeń w rynnę przenośnika – wynik analizy dynamicznej MES; masa nadawy – 300 kg: a) przekrój uproszczony (analizowany); b) przekrój rzeczywisty

Wyniki symulacji cyfrowych modelu ciągłego otrzymano w postaci rozkładów naprężeń w rynnę przenośnika w zależności od masy nadawy (rys. 5). Natomiast wartości maksymalnych naprężeń w rynnę przenośnika w zależności od masy nadawy i sztywności giętnej rynn, zestawiono w tabeli 1.

2.5. Porównanie wyników

Porównując wyniki uzyskane z dwóch metod obliczeniowych (analitycznej i cyfrowej) należy pamiętać, że dynamiczna analiza łączoną metodą symulacji układu dyskretnego i ciągłego uwzględniała oddziaływania dynamiczne elementów, bezwładność, sprężystość, tłumienie w układzie oraz oddziaływanie nadawy na rynnę. Niezależnie od sztywności giętnej przekroju, dla przenośnika pracującego bez nadawy obiema metodami otrzymano zbliżone wyniki. Jednak wraz ze wzrostem masy transportowanej nadawy rozbieżność wyników znacznie rośnie. Wartości maksymalnych naprężeń (tabela 1) otrzymane z symulacji cyfrowych modelu ciągłego są większe niż ze wzoru analitycznego (6). Po przeprowadzeniu analizy wyników (tabela 1) i wzoru analitycznego (6) na moment gnący w rynnę przenośnika, postulowano jego modyfikację poprzez wprowadzenie poprawki, która uwzględniałaby masę nadawy w siłach bezwładności oddziałujących na rynnę. Wówczas wzór przyjął postać:

$$M(x, t) = \left[\left(\bar{m}L + m_w + m \right) \frac{g}{2} - kC \sin \omega t \right] x - \left[g \left(\bar{m} + \frac{m}{L} \right) - \left(\bar{m} + \frac{m}{L} \right) C \omega^2 \sin \omega t \right] \frac{x^2}{2} \quad (22)$$

Według powyższego wzoru (22) ponownie wyznaczono wartości maksymalnych naprężeń w rynn timerzenośnika i zestawiono w tabeli 1, w zależności od masy nadawy dla rozpatrywanych wcześniej różnych sztywności giętych przekroju rynny.

Maksymalne naprężenia rynny timerzenośnika obliczone według wzoru (6), wzoru (22) (z postulowaną modyfikacją) i metodą elementów skończonych (dla przekroju uproszczonego i rzeczywistego)

Tabela 1

Naprężenia maksymalne σ , MPa																
Przekrój	uproszczony (rys. 2b)															rzeczywisty (rys. 2a)
I_x , cm ⁴	5000,0			11473,7			20480,0			34295,0			53240,0			11473,7
ρ , kg/m ³	1364,48			1034,48			852,80			718,15			620,22			1034,48
b, mm	100			132			160			190			220			-
Masa nadawy [kg]	Wzór 6	Wzór 22	MES	Wzór 6	Wzór 22	MES	Wzór 6	Wzór 22	MES	Wzór 6	Wzór 22	MES	Wzór 6	Wzór 22	MES	MES
400	9,90	15,46	16,50	5,69	8,89	10,99	3,87	6,04	6,95	2,74	4,28	4,82	2,05	3,19	3,86	68,17
300	9,29	13,46	15,07	5,34	7,74	10,21	3,63	5,26	6,64	2,57	3,73	4,73	1,92	2,78	3,18	42,22
200	8,67	11,45	14,60	4,99	6,58	9,57	3,39	4,47	6,34	2,40	3,17	4,14	1,79	2,37	2,92	38,29
100	8,06	9,45	13,95	4,63	5,43	7,14	3,15	3,69	4,65	2,23	2,62	3,26	1,67	1,95	2,80	26,17
50	7,75	8,45	11,61	4,46	4,86	5,76	3,03	3,3	3,62	2,15	2,34	2,44	1,60	1,75	2,17	17,74
10	7,51	7,65	8,99	4,32	4,4	5,19	2,93	2,99	3,35	2,08	2,12	2,39	1,55	1,58	1,79	14,46
0	7,45	7,45	8,92	4,28	4,28	5,04	2,91	2,91	3,16	2,06	2,06	2,37	1,54	1,54	1,74	7,09

Wartości maksymalnych naprężeń wyznaczone według postulowanego wzoru (22) są bliskie wartościom wyznaczonym metodą elementów skończonych i różnią się najwyżej o kilkanaście procent. Również dla dużych wartości masy nadawy wyniki są bardzo zbliżone.

Analizując wyniki symulacji przeprowadzonych metodą elementów skończonych dla przekroju uproszczonego (prostokątnego) i rzeczywistego, wyznaczone naprężenia maksymalne są około 7-krotnie większe w drugim przypadku. Są to jednak naprężenia miejscowe, zlokalizowane w miejscach występowania karbów, przyłożenia obciążeń, łączenia elementów, mocowania sprężyn, elektrowibratorów. Dla przekroju uproszczonego maksymalne naprężenia zginające zlokalizowane są w środku długości rynny. Stąd przy projektowaniu timerzenośnika i przekroju poprzecznego rynny należy zwrócić uwagę na zjawisko spiętrzenia naprężeń. Metoda elementów skończonych daje możliwość dokładnego określenia rozkładu naprężeń w elementach obciążonych o skomplikowanych kształtach obciążonych statycznie lub dynamicznie. Nie jest to jednak tematem analiz przeprowadzanych w niniejszej pracy.

Na rysunku 6 przedstawiono schemat toku postępowania przy wyznaczaniu obciążeń korpusu zaprojektowanego [6] timerzenośnika wibracyjnego rynn timerzenośnika.

Należy zaznaczyć, że na wartość obciążeń ma wpływ również rodzaj transportowanego materiału. W symulacjach cyfrowych uwzględniano współczynnik sprężystości stykających się warstw transportowanego materiału, wyrażony zależnością:

$$k = \frac{8}{3} \frac{E_1 E_2}{E_2 (1 - \nu_1^2) + E_1 (1 - \nu_2^2)} \quad (23)$$

gdzie: E_1, E_2, ν_1, ν_2 – stałe sprężystości podłużnej i współczynniki Poissona materiałów 1 i 2.

Wzór analityczny nie uwzględnia rodzaju transportowanego materiału, jego sprężystości, oddziaływań dynamicznych w nadawie, tarcia, tłumienia. Nadawa traktowana jest jako stała masa leżąca na rynn timerzenośnika.

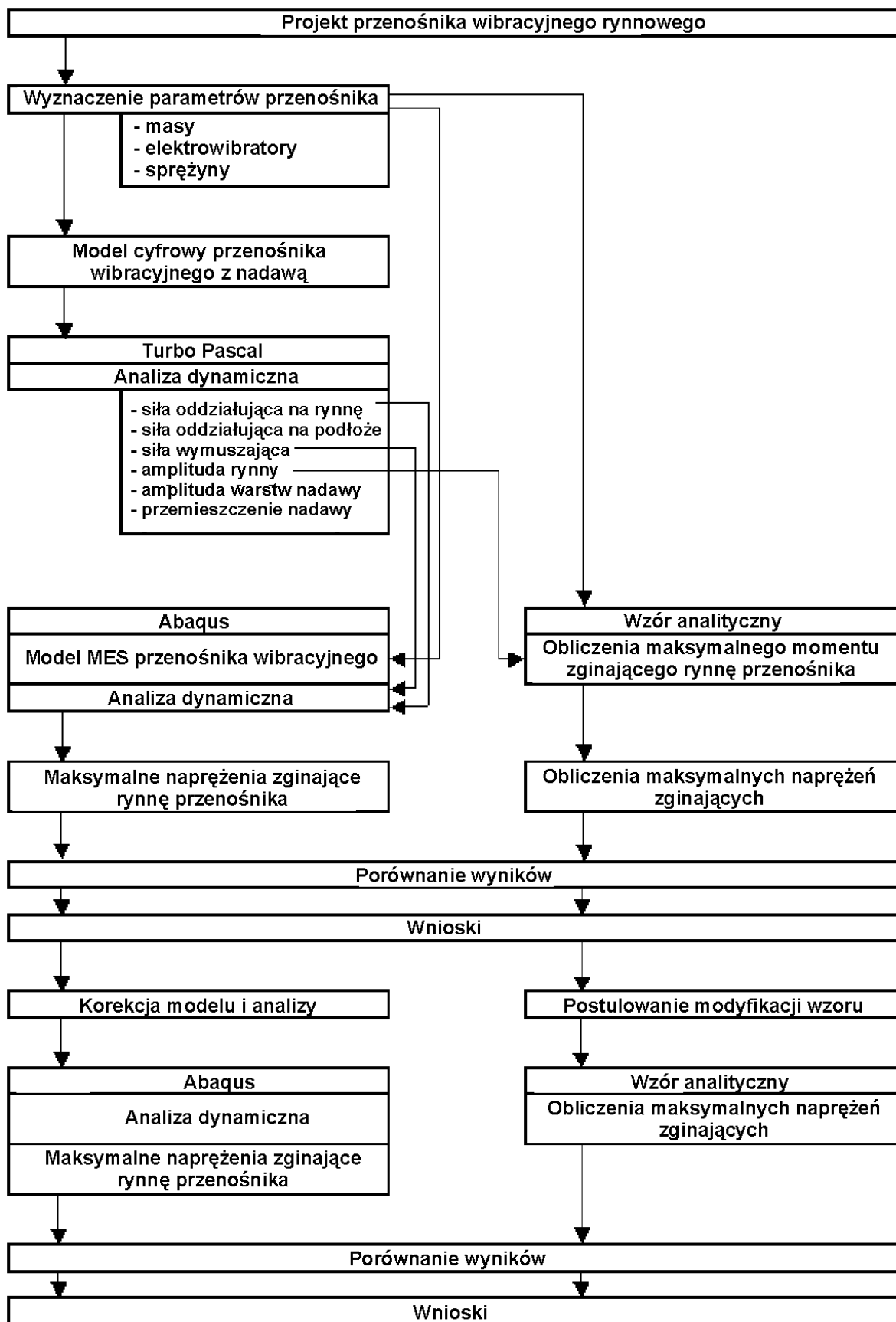
W związku z tym przeprowadzono obliczenia maksymalnych naprężeń zginających w zależności od wartości współczynnika sprężystości materiału i od sztywności giętej rynny. Wyniki zestawiono w tabeli 2.

Maksymalne naprężenia rynny timerzenośnika obliczone ze wzorów (6) i (22) oraz metodą elementów skończonych dla różnych sprężystości materiału transportowanej nadawy

Tabela 2

Sztywność przekroju	Naprężenia maksymalne σ , MPa						
	MES	Wzór 6	Wzór 22	MES			
Sztywność materiału k , N/m	k	k	k	0,8k	0,6k	0,4k	0,2k
$I_x = 114737238 \text{ mm}^4$	9,57	4,99	6,58	7,81	6,87	8,10	6,40
$I_x = 204800000 \text{ mm}^4$	6,34	3,39	4,47	5,42	4,49	4,82	4,38
$I_x = 342950000 \text{ mm}^4$	4,14	2,40	3,17	3,82	3,29	3,79	3,29
$I_x = 532400000 \text{ mm}^4$	2,92	1,79	2,37	2,85	2,49	2,87	2,14

Jak widać wraz ze zmniejszeniem współczynnika sprężystości transportowanego materiału, maleją wartości sił oddziaływania nadawy na rynn timerzenośnika, a tym samym wartości naprężeń w rynn timerzenośnika. Zmniejszając współczynnik sprężystości, w badanym zakresie, otrzymano wyniki symulacji cyfrowej zbliżone do wyników ze wzoru analitycznego w postaci (6).



Rys.6. Schemat toku postępowania podczas wyznaczania obciążeń dynamicznych korpusu analizowanego przenośnika wibracyjnego rynnowego [6]

3. Podsumowanie, wnioski

- Masa i parametry reologiczne transportowanego materiału mają istotny wpływ na wielkość obciążeń korpusów maszyn wibracyjnych oraz parametry ustabilizowanej pracy.
- Wzór analityczny (6) po wprowadzeniu postulowanej modyfikacji w postaci poprawki na bezwładnościowe oddziaływanie nadawy na rynnę przenośnika (22), w badanym zakresie parametrów maszyny, daje wynik bliższy wynikowi uzyskanemu metodą elementów skończonych (tabela 1).
- Wraz ze zmniejszeniem współczynnika sprężystości k materiału, maleją wartości sił oddziaływania nadawy na rynnę, a tym samym wartości naprężeń w rynnie przenośnika (tabela 2).

3. Michalczyk J.: Maszyny wibracyjne. Obliczenia dynamiczne, drgania, hałas. WNT, Warszawa 1995.
4. Michalczyk J., Banaszewski T.: Oddziaływanie dynamiczne maszyn stosowanych w przeróbce surowców mineralnych. Wydawnictwo AGH, Kraków 2006.
5. Michalczyk J., Cieplok G.: Wyznaczanie ruchu rynny maszyny wibracyjnej z uwzględnieniem zakłóceń wywołanych zderzeniami z nadawą. Mechanika: kwartalnik Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica, Kraków 1999.
6. Radosz Z.: Analiza obciążeń korpusu maszyny wibracyjnej. Praca dyplomowa magisterska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica, Kraków 2007.

Literatura

1. Czubak A.: Przenośniki wibracyjne. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1964.
2. Czubak A., Michalczyk J.: Teoria transportu wibracyjnego, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2001.

Pracę wykonano w ramach badań statutowych KMiW na AGH za rok 2007.

Artykuł wpłynął do redakcji w grudniu 2007 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Antoni Kalukiewicz

Zastosowanie badań materiałowych nieniszczących do oceny stanu technicznego komponentów sekcji obudowy zmechanizowanej

Streszczenie

W artykule przedstawiono metody i narzędzia badań materiałowych nieniszczących wykorzystywanych w procesie kontroli jakości elementów maszyn, na etapie ich wytwarzania i użytkowania. Zaprezentowano przykład realizacji badań materiałowych nieniszczących, komponentów sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej. Omówiono procedurę procesu badań nieniszczących, wykorzystywanych w procesie oceny stopnia zużycia elementów obudowy podczas eksploatacji.

Summary

Methods and tools for material non-destruction testing, which are used to control the quality of machine components at the stage of manufacturing and exploitation, were presented in the paper. An example of non-destructive testing of powered roof support components were given. The procedure of non-destructive tests, which are used for assessment of wear degree of powered roof support components were discussed.

1. Wprowadzenie

Badania materiałowe stanowią jeden z podstawowych elementów kontroli jakości wyrobów stalowych, stanowiących komponenty maszyn i urządzeń. Wyróżnia się badania materiałowe o charakterze niszczącym, mające wpływ na stan badanego wyrobu (np. badania wytrzymałościowe, chemiczne, metalograficzne) oraz badania nieniszczące, których przebieg nie powoduje pogorszenia własności użytkowych badanego wyrobu (np. badania wizualne, magnetyczno-proszkowe, ultradźwiękowe) [1].

Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska CMG KOMAG, będące w procesie akredytacji, realizuje zarówno badania materiałowe o charakterze niszczącym, jak również badania materiałowe o charakterze nieniszczącym. Zakres wykonywanych badań nieniszczących obejmuje m.in.:

- identyfikację nieciągłości powierzchniowych i podpowierzchniowych wyrobów stalowych i żeliwnych, metodą badań magnetyczno-proszkowych,
- pomiar grubości elementów metodą ultradźwiękową,
- ocenę jakości złączy spawanych, metodą wizualną oraz metodą badań magnetyczno-proszkowych.

Specjaliści zatrudnieni w Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska CMG KOMAG w zakresie prowadzenia badań nieniszczących posiadają stosowane kwalifikacje, potwierdzone certyfikatami kompetencji wydanymi przez Urząd Dozoru Technicznego w Warszawie, zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 473:2002/A1:2006 – *Badania nieniszczące. Kwalifikacje i certyfikacja personelu badań nieniszczących. Zasady ogólne*.

Wyniki badań Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska wykorzystywane są w CMG KOMAG

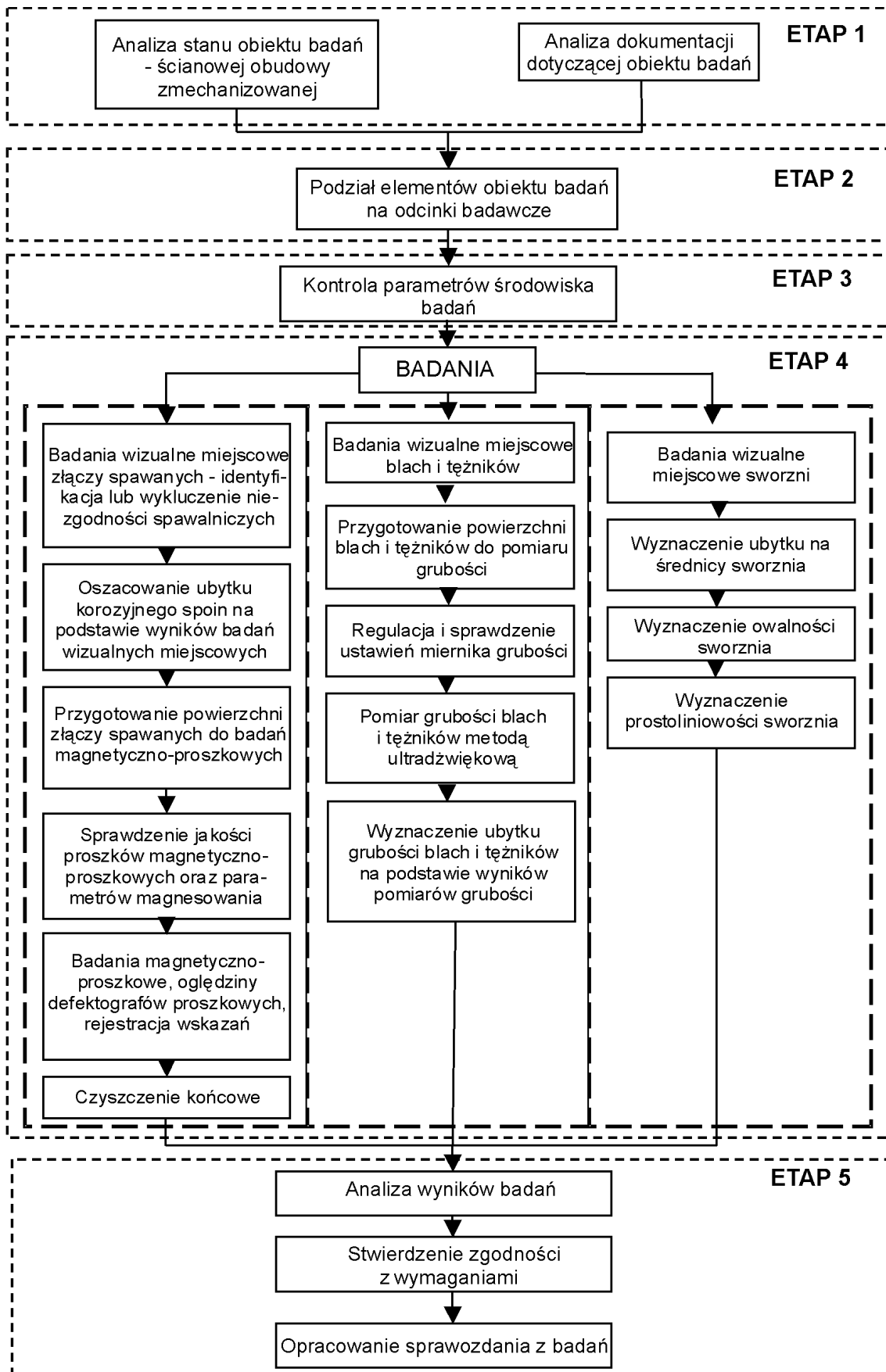
w procesach projektowania oraz certyfikacji maszyn i urządzeń. Zgodnie z ustawą o systemie zgodności (Dz.U. z 2004 r. Nr 204, poz. 2087 z późniejszymi zmianami) wprowadzenie do obrotu maszyn i urządzeń, związane jest z przeprowadzeniem obowiązkowej oceny zgodności z zasadniczymi i/lub szczegółowymi wymaganiami, popartej wynikami badań wykonanych przez laboratoria, niezależne od producenta.

2. Badania materiałowe nieniszczące

Metody badań nieniszczących, jako szybkie i bezinwazyjne narzędzie badawcze, wykorzystywane są m.in. w procesie oceny:

- stanu technicznego elementów sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej, zgodnej z wymaganiami Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz.U. z 2002 r. Nr 139, poz. 1169 z późniejszymi zmianami),
- zgodności jakości złączy spawanych w elementach sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej z wymaganiami określonymi w normie PN-EN 1804-1:2004 – *Maszyny dla górnictwa podziemnego. Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej. Część 1: Sekcje obudowy i wymagania ogólne*.

Badania nieniszczące dotyczące wyżej wymienionego zakresu realizowane są w Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska, zgodnie z procedurą badawczą PB-DLS/08 pt. „Badania nieniszczące” [2, 3, 4, 5], którą przedstawiono w formie algorytmu na rysunku 1.



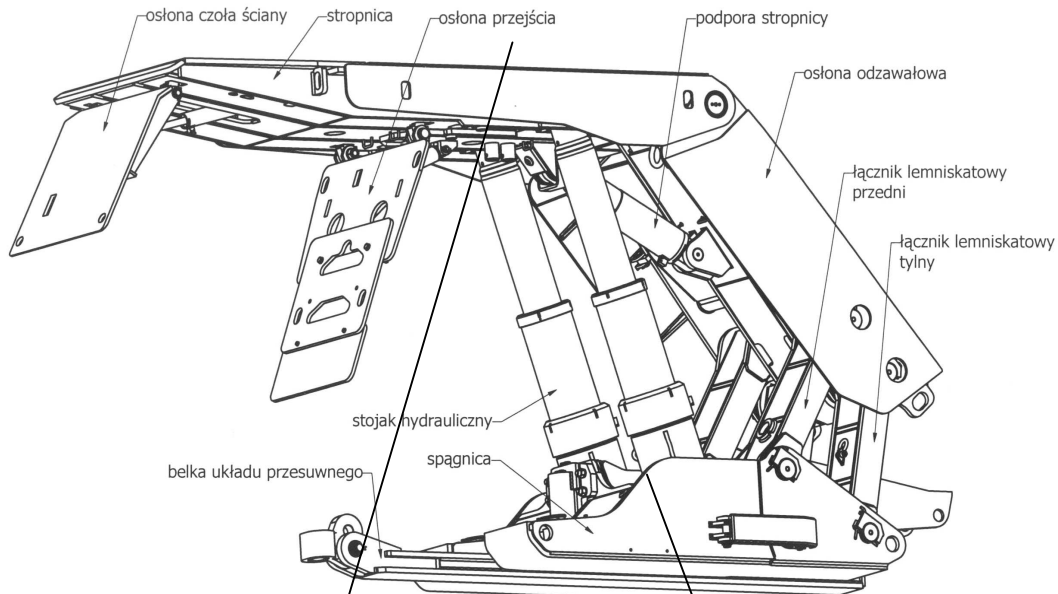
Rys.1. Algorytm procesu badań nieniszczących ścianowej obudowy zmechanizowanej

Etap 1. Analiza stanu obiektu badań oraz dokumentacji

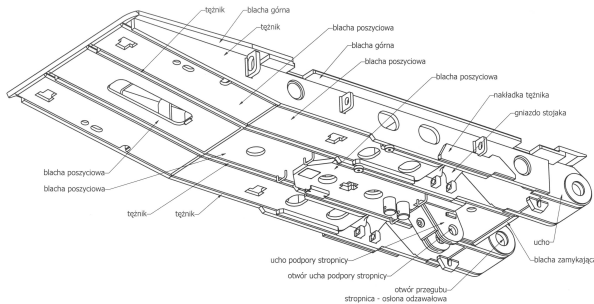
Udostępniona do badań nieniszczących sekcja ścianowej obudowy zmechanizowanej poddawana jest ocenie zgodności z dokumentacją obiektu badań i prawidłowości jej oznakowania. Dokumentację obiektu badań stanowią m.in. dokumentacja techniczna, wykonawcza i techniczno-ruchowa.

Etap 2. Podział elementów obiektu badań na od-

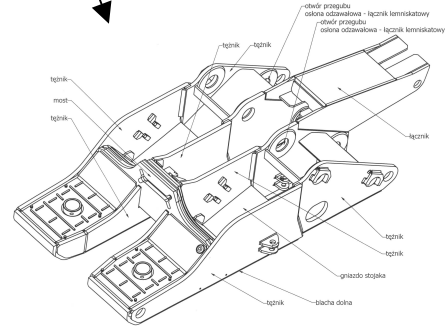
Obiekt badań – zmechanizowana obudowa ścianowa



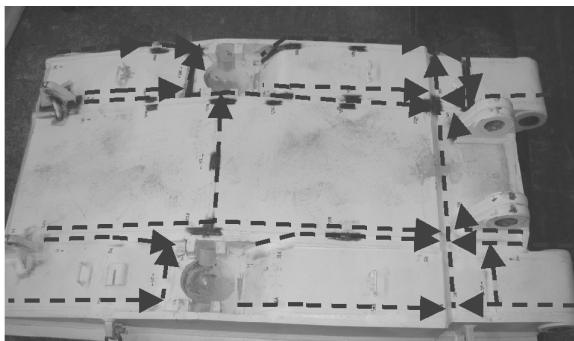
element obiektu badań 1 – stropnica



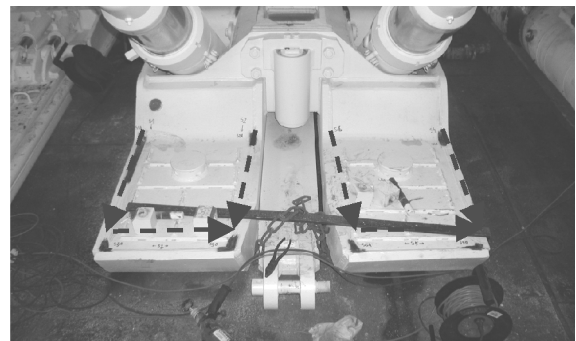
element obiektu badań 2 – spagnica



odcinki badawcze – złącza spawane stropnicy



odcinki badawcze – złącza spawane spagnicy



--- ➔ oznaczenie złączy spawanych

Rys.2. Podział przykładowej obudowy zmechanizowanej na odcinki badawcze

rzystne warunki pracy [7].

Etap 3. Kontrola parametrów środowiska badań

Przed przystąpieniem do badań przeprowadza się kontrolę parametrów środowiska badań. Wymagane wartości parametrów środowiska określone są odpowiednio w normach:

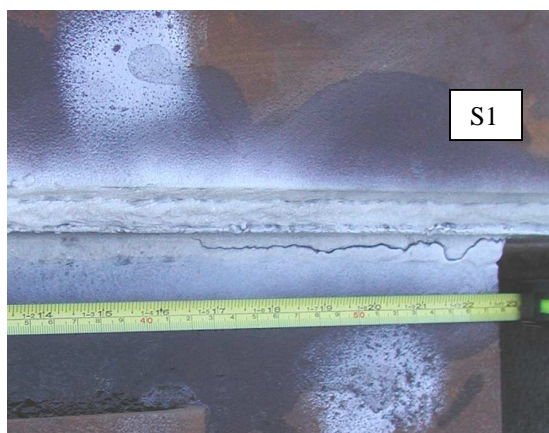
- PN-EN 970:1999 – *Spawalnictwo. Badania nieniszczące złączy spawanych. Badania wizualne* oraz PN-EN 13018:2004 – *Badania nieniszczące. Badania wizualne. Zasady ogólne* w przypadku badań wizualnych,
- PN-EN ISO 3059:2005 – *Badania nieniszczące. Badania penetracyjne i badania magnetyczno-proszkowe. Warunki obserwacji* w przypadku badań magnetyczno-proszkowych,
- PN-EN 14127:2006 – *Badania nieniszczące. Ultradźwiękowe pomiary grubości* w przypadku pomiaru grubości materiału metoda ultradźwiękową.

Etap 4. Badania

Etap ten składa się z trzech części badawczych, prowadzonych niezależnie w odniesieniu do złączy spawanych, blach i tężników oraz sworzni.

Badanie złączy spawanych

Złącza spawane w pierwszej fazie poddawane są badaniom wizualnym metodą zgodną z normą PN-EN 970:1999 - *Spawalnictwo. Badania nieniszczące złączy spawanych. Badania wizualne*. Celem badań wizualnych jest ocena złączy spawanych w świetle wymagań poziomu jakości dotyczących powierzchni, kształtu i wymiaru spoiny podanych w normie PN-EN ISO 5817 :2007 – *Spawanie – Złącza spawane (z wyłączeniem spawania wiązką) stali, niklu, tytanu i ich stopów – Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych*. Wyniki badań wizualnych rejestrowane są w formie dokumentacji fotograficznej. Przykład złącza spawanego z widocznym pęknięciem przedstawiono na rysunku 3.



S1 – oznaczenie złącza spawanego

Rys.3. Przykład złącza spawanego z widocznym pęknięciem

Etap badań wizualnych pozwala również na oszacowanie ubytku korozyjnego spoin.

Po badaniach wizualnych powierzchnie zewnętrzne złączy spawanych przygotowywane są do badań magnetyczno-proszkowych. Przygotowanie powierzchni polega na usunięciu zgorzeli, brudu, odprysków spawalniczych i śladów obróbki mechanicznej, warstwy malarskiej powłoki ochronnej i jej odprysków, zmyciu oleju, tłuszczu, szlifowaniu oraz czyszczeniu i suszeniu powierzchni.

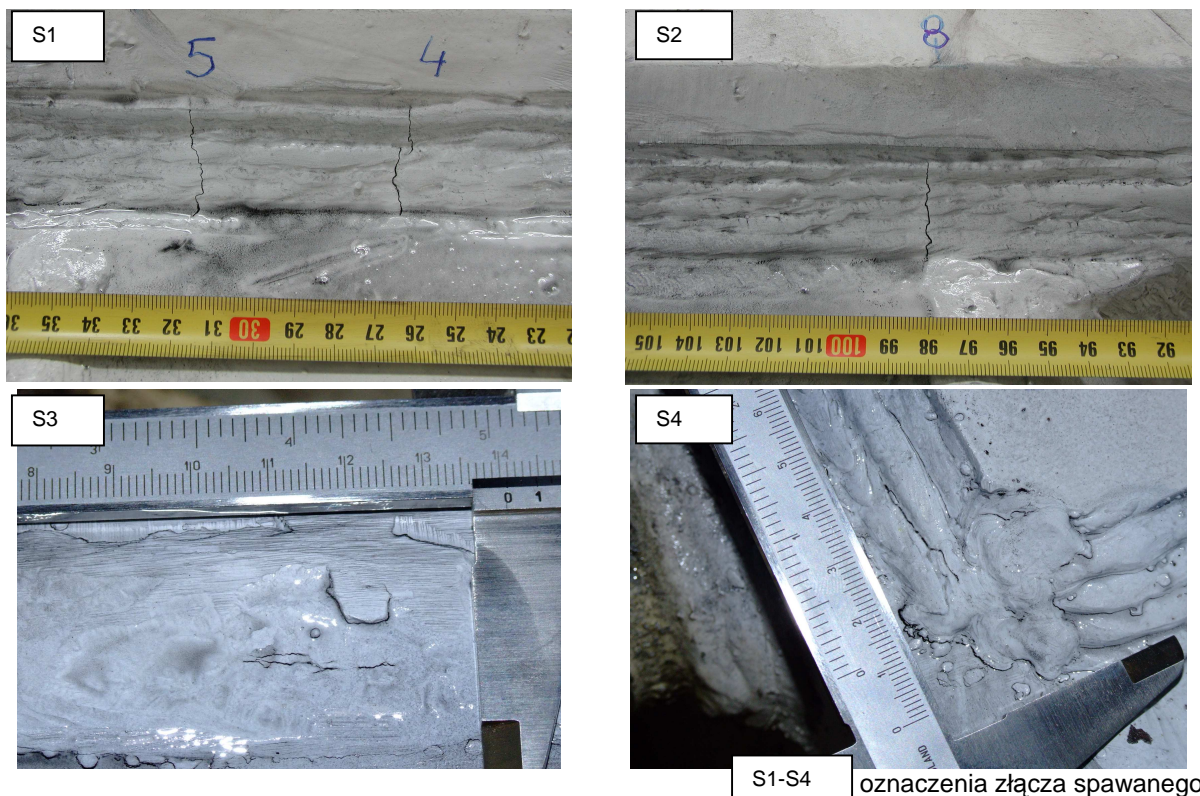
Czynności wstępne badań magnetyczno-proszkowych obejmują: sprawdzenie jakości proszków magnetyczno-proszkowych przy użyciu wzorca Fluxa według Deutsch'a oraz sprawdzenie parametrów magnesowania przy użyciu miernika natężenia stycznego pola magnetycznego i wzorca Bertholda.

Badania magnetyczno-proszkowe prowadzone są zgodnie z normą PN-EN 1290:2000/A1:2005, A2:2005 – *Badania nieniszczące złączy spawanych. Badania magnetyczno-proszkowe złączy spawanych*, przy zastosowaniu pola magnetycznego o natężeniu od 2 do 6 kA/m. Magnesowanie badanego złącza spawanego przeprowadza się w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach, uwzględniając wymagane nakładanie się obszarów magnesowania, przy użyciu defektoskopu magnetyczno-strumieniowego. Podczas wzbudzenia pola magnetycznego nanoszony jest proszek magnetyczny. Działanie pola magnetycznego jest utrzymywane do momentu utworzenia wskazań w formie defektogramów proszkowych. Kryterium oceny wskazań defektoskopu magnetycznego stanowi poziom akceptacji określony w normie PN-EN 1290:2000/A1:2005, A2:2005 – *Badania magnetyczno-proszkowe złączy spawanych. Poziomy akceptacji*. Przykłady defektogramów proszkowych ze wskazaniem przekraczającym dopuszczalne wartości dla poziomu akceptacji 2 przedstawiono na rysunku 4.

Ostatnim elementem badań magnetyczno-proszkowych złączy spawanych jest czyszczenie końcowe.

Badanie blach i tężników

Blachy i tężniki poddawane są w pierwszej kolejności badaniom wizualnym polegającym na ocenie ogólnego stanu powierzchni zewnętrznej. Następnie powierzchnie blach i tężników przygotowywane są do pomiaru grubości poprzez oczyszczenie z brudu, luźnej zgorzeli, rozprysku spawalniczego. Przed przystąpieniem do pomiarów sprawdza się wskazania grubościomierza na wzorcach grubości. Pomiar grubości blach i tężników wykonywany jest zgodnie z normą PN-EN 14127:2006 – *Badania nieniszczące. Ultradźwiękowe pomiary grubości* przy wykorzystaniu grubościomierza ultradźwiękowego z dialogową głowicą pomiarową 5 MHz. Na podstawie wyników pomiarów grubości oraz wymagań wynikających z dokumentacji, wyznaczany jest ubytek grubości blach i tężników.



Rys.4. Przykłady wskazań badań magnetyczno-proszkowych przekraczających dopuszczalne wartości dla poziomu akceptacji 2

Badanie sworzni

Badania nieniszczące sworzni obejmują badania wizualne miejscowe polegające na pomiarze średnicy minimalnej i maksymalnej w przekrojach poprzecznych wzdłuż długości sworznia oraz szczeliny pomiędzy liniałem krawędziowym, a linią rzeczywistego zarysu na długości sworznia. Wyniki badań wizualnych stanowią podstawę do wyznaczenia ubytku na średnicy oraz owalności i prostoliniowości sworznia.

Etap 5. Analiza wyników badań

Otrzymane wyniki badań w formie kart pomiarowych porównywane są z wymaganiami podanymi w dokumentacji technicznej i normach oraz kryteriami oceny podanych w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych. Wyniki oceny zamieszcza się w sprawozdaniu z badań.

3. Podsumowanie

Przedstawione w referacie metody badań materiałowych nieniszczących, realizowane przez Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska CMG KOMAG, pozwalają zidentyfikować wady materiałowe i niezgodności spawalnicze elementów maszyn i urządzeń powstające na etapie produkcji i w fazie eksploatacji. Wyniki badań mogą stanowić podstawę oceny zgodności wyrobu przeprowadzanej w procesie certyfikacji.

Literatura

1. Deputat J.: Badania ultradźwiękowe. Podstawy. Materiały szkoleniowe. Instytut Metalurgii Żelaza im. Stanisława Staszica, Ośrodek Doskonalenia Kadr Kierowniczych i specjalistycznych MH, (1979)
2. Gryniewicz-Bylina B., Rakwicz B., Bobrowski M.: Opracowanie procedury badań obudów zmechanizowanych w zakresie badań nieniszczących przewidzianych dla etapów przeglądu technicznego i badań technicznych. Badania wstępne, Gliwice 2007, praca nie publikowana.
3. Gryniewicz-Bylina B., Rakwicz B., Bobrowski M., Iwaszek M.: Badania nieniszczące obudów zmechanizowanych – wdrożenie i weryfikacja procedury, Gliwice 2007, praca nie publikowana.
4. Pasternak J., Wolański R.: Podstawy opracowania procedur badań nieniszczących złączy spawanych, Gliwice, 2005.
5. Stachurski M.: Badania magnetyczno-proszkowe złączy spawanych, Gliwice, 2002.
6. Szyguła M., Chlebek D., Gerlich J., Jenczymk D., Mazurek K., Cieślak Z., Stępor J.: Wytypowanie elementów obudowy zmechanizowanej do badań nieniszczących objętych zakresem przeglądu technicznego i badań technicznych, Gliwice 2007, praca nie publikowana.
7. Wegst C., Wegst M.: STAHLSCHLÜSSEL. Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH 2007.

Artykuł wpłynął do redakcji w grudniu 2007 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Marek Jaszczyk

Badania z obszaru dyrektywy 94/9/WE ATEX - nowe możliwości badawcze Laboratorium Badań Stosowanych Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG

Streszczenie

W artykule przedstawiono nowe możliwości badawcze Laboratorium Badań Stosowanych funkcjonującego w strukturze Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG. Opisano zakres nowych akredytowanych obszarów badawczych związanych z dyrektywami nowego podejścia, a w szczególności dyrektywą 94/9/WE (ATEX). Omówiono również znaczenie procesu certyfikacji wyrobów, a co się z tym wiąże koniecznością prowadzenia badań maszyn i urządzeń stosowanych w przestrzeniach zagrożonych wybuchem.

Summary

New research abilities of the Laboratory of Applied Tests, which is a division of the KOMAG Mechanization Centre, were presented in the paper. Range of new accredited research areas associated with New Approach Directives, especially with 94/9/EC (ATEX) Directive was described. Significance of certification process of products, what means a necessity of testing machines and equipment used in areas threaten by explosion hazard, were discussed.

1. Wprowadzenie

Różniące się między sobą przepisy dotyczące bezpieczeństwa w poszczególnych krajach Unii Europejskiej przez wiele lat stanowiły poważną przeszkodę w swobodnym przepływie towarów pomiędzy państwami, dlatego też ujednolicono obowiązujące w poszczególnych krajach przepisy tworząc tzw. Dyrektywy Nowego Podejścia. W przypadku stref zagrożonych wybuchem i urządzeń przeznaczonych do pracy w tych strefach, niezwykle istotne znaczenie odgrywa dyrektywa 94/9/WE (ATEX), (*Atmosphere Explosible*) Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23.03.1994 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstwa państw członkowskich dotyczących urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem, wprowadzona do polskiego prawodawstwa Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 22 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem (Dz.U. nr 263 poz. 2203 z 22 grudnia 2005 r.).

Celem wprowadzenia do stosowania dyrektywy 94/9/WE (ATEX), jest całkowita eliminacja lub maksymalne zmniejszenie ryzyka, jakie wiąże się ze stosowaniem dowolnego produktu w obszarach, w których może występować atmosfera grożąca wybuchem, określana jako Ex. Należy podkreślić, że dyrektywa 94/9/WE (ATEX), definiuje jedynie najbardziej podstawowe wymagania, jakie musi spełniać produkt przeznaczony do stosowania w strefach zagrożonych wybuchem, natomiast wymagania szczegółowe podane są w normach zharmonizowanych.

Dyrektywa 94/9/WE (ATEX):

- definiuje przestrzenie wybuchowe,

- wprowadza podział na grupy i kategorie urządzeń przeznaczonych do pracy w tych przestrzeniach,
- określa wymogi bezpieczeństwa dotyczące projektowania i budowy urządzeń i systemów ochronnych do użytku w strefach zagrożonych wybuchem,
- opisuje procedurę badania urządzeń przez jednostki notyfikowane oraz określa zawartość deklaracji zgodności,
- określa minimalne kryteria, jakie powinny być uwzględnione przy notyfikowaniu jednostek,
- określa sposób oznakowania urządzeń i systemów ochronnych,
- podaje wzór oznakowania CE.

Zastosowanie niektórych urządzeń lub ich części w atmosferze zagrożonej wybuchem może być przyczyną eksplozji, stąd też bardzo ważnym zadaniem jest redukcja zagrożenia do minimum, zarówno przez właściwą konstrukcję, jak i zastosowane materiały, oraz ocenę tych urządzeń przez niezależną jednostkę badawczą, dysponującą odpowiednim wyposażeniem pomiarowym. Badania te dają gwarancję właściwego zabezpieczenia wyrobu przez producenta oraz spełniania wymogów dyrektywy 94/9/WE (ATEX). W tym miejscu warto podkreślić, że CMG KOMAG jest organem notyfikowanym w zakresie badania i oceny urządzeń używanych w atmosferze potencjalnie zagrożonej wybuchem – posiada zarówno jednostkę certyfikującą wyroby, jak i zaplecze badawcze. Po pozytywnym przeprowadzeniu w CMG KOMAG badań danego wyrobu na zgodność z dyrektywą 94/9/WE (ATEX), (*Explosion-proof Directive 94/9/WE*), producent lub dostawca może poświadczyć spełnienie wymagań przez umieszczenie na wyrobie znaku Ex.

2. Obszary badawcze

Obszar badań realizowanych przez Laboratorium Badań Stosowanych jest ściśle wpisany w zakres dyrektywy 94/9/WE (ATEX), która zawiera wytyczne do bezpiecznego projektowania, badania i użytkowania maszyn i urządzeń przeznaczonych do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Takie przestrzenie to najczęściej kopalnie węgla kamiennego, w których występuje zagrożenie wybuchem metanu, ale także zakłady chemiczne, petrochemiczne, spożywcze, farmaceutyczne i wszystkie, w których występują atmosfery (przestrzenie) potencjalnie wybuchowe.

Laboratorium Badań Stosowanych uwzględniając analizę rynku, producentów jak i wymagania jednostek certyfikujących wyroby, w bieżącym roku znacznie rozszerzyło swoje możliwości badawcze o nowe obszary badawcze, w tym szczególnie związane zespołami dyrektywą 94/9/WE oraz normami z nią zharmonizowanymi oraz zespołami napędowymi i hydrauliką siłową.

Laboratorium prowadzi badania wyrobów pod kątem spełnienia wymagań określonych w zasadniczych i szczegółowych wymaganiach określonych w zharmonizowanych normach europejskich, co pozwala producentowi lub użytkownikowi na legalne wprowadzenie wyrobu na rynek oraz poprawne sformułowanie deklaracji zgodności przed oznakowaniem wyrobu znakiem CE.

Nowe obszary badawcze laboratorium są efektem szeregu inwestycji, między innymi:

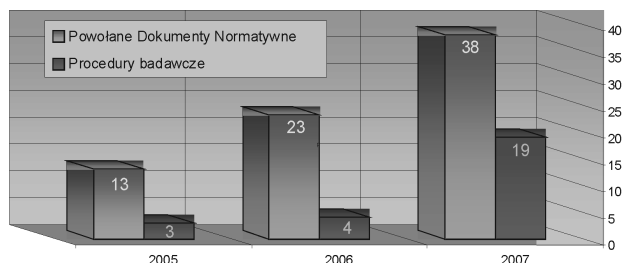
- sprzętowych (aparatura pomiarowa, stanowiska i urządzenia badawcze),
- lokalowych (remonty hal badawczych, zapewnienie odpowiednich warunków atmosferycznych w pomieszczeniach badawczych)
- merytorycznych (instrukcje i procedury badawcze).

Pozyskane środki w ramach Sektorowego Programu Operacyjnego „Wzrost konkurencyjności Przedsiębiorstw” w ramach projektu „Modernizacja laboratoriów CMG KOMAG celem przystosowania do wymagań Unii Europejskiej” oraz środki z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, umożliwiły realizację inwestycji związanych nie tylko z zakupem gotowego wyposażenia pomiarowego, ale także z zaprojektowaniem, wykonaniem i uruchomieniem specjalistycznych stanowisk badawczych, z których wiele ma charakter unikatowy.

Dyrektywa 94/9/WE (ATEX), podobnie jak pozostałe dyrektywy nowego podejścia odnosi wymagania zasadnicze do szczegółowych wytycznych opisanych w odpowiednich normach zharmonizowanych.

Elementem ściśle opisującym możliwości badawcze laboratorium są metodyki badawcze. Niektóre z nich są wiernym odzwierciedleniem metodyk zawar-

tych w odpowiednich normach, natomiast pozostałe są autorskim dziełem specjalistów laboratorium, opracowane na podstawie doświadczenia, zaawansowanych technik pomiarowych oraz dzięki dobrej znajomości technik szacowania niepewności pomiaru. Skalę zmian w liczbie opracowanych metodyk w odniesieniu do dokumentów normatywnych przedstawia rysunek 1.



Rys.1. Liczba opracowanych procedur badawczych w odniesieniu do dokumentów normatywnych

Na bazie tych wytycznych Laboratorium rozszerzyło swoje możliwości badawcze, a ponadto, potwierdziło swoje kompetencje merytoryczne poprzez rozszerzenie zakresu akredytacji przez Polskie Centrum Akredytacji.

W nowym zakresie akredytacji Laboratorium Badań Stosowanych znalazły się następujące badania:

- iskrobezpieczeństwa obwodów za pomocą iskrownika w mieszaninach wybuchowych, w których skład wchodzi metan, wodór, tlen, propan, etylen, powietrze,
- chropowatości powierzchni w zakresie do 320 μm z jednoczesną możliwością pomiaru profilu pierwotnego i ewentualnej falistości powierzchni,
- stopnia ochrony IP przed wnikaniem ciał stałych i wody zapewnianej przez obudowy; zakres pomiarowy stanowisk obejmuje wszystkie stopnie obu cyfr charakterystycznych,
- starzenia elastomeru, ich twardości w zakresie 30÷95 IRHD oraz odporności na czynniki chemiczne, trudnopalne ciecze z grupy HFC i wzorcowe oleje hydrauliczne,
- ładowania elektrostatycznego źródłem wysokiego napięcia (± 40 kV) oraz elektryzacji materiałów nieprzewodzących szmatkami bawełnianymi i z poliamidu,
- rezystancji powierzchniowej niemetalowych części obudów w zakresie do 1 T Ω (przy U = 500 V),
- ciągłości uziemienia,
- wytrzymałości izolatorów przepustowych na skręcanie o wartości momentu od 1 Nm do 300 Nm,
- termiczne, temperatury i przyrostu w zakresie do +450°C oraz cykli termicznych,
- wytrzymałości na spadanie swobodne i uderzenie,
- wyciągania kabli z wpustów kablowych o wartości siły do 10kN z równoległą rejestracją ewentualnego przemieszczenia oraz szczelności wpustów kablowych,

- odporności termicznej na gorąco (do 180°C) i na zimno (do -75°C) oraz na szok termiczny,
- oględziny i pomiary wielkości geometrycznych oraz odstępów izolacyjnych,
- rezystancji izolacji w zakresie do 5TΩ (przy U = 5 kV),
- rezystancji skrośnej w zakresie do 1TΩ (przy U = 500 V),
- rezystancji względem elementu uziemiającego oraz między punktami w zakresie do 1TΩ (przy U = 500 V),
- wytrzymałości elektrycznej izolacji przy napięciu przemiennym do 10 kV i napięciem udarowym (piorunowym) do 12 kV,
- parametrów impedancyjnych układów.

Powyższe badania są wykonywane zgodnie z normami, które regulują wymagania lub opisują metodyki badawcze. Najważniejsze z nich to:

- PN-EN 60079-0:2006 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem gazów. Część 0: Wymagania ogólne,
- PN-G-50003:2003 Ochrona pracy w górnictwie. Urządzenia elektryczne górnicze. Wymagania i badania,
- PN-EN 50394-1:2007 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Grupa I. Systemy iskrobezpieczne. Część 1: Konstrukcja i badania,
- PN-EN 60079-7:2004(U) Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Część 7: Stopień ochrony „e”,
- PN-EN 50020:2005 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Wykonanie iskrobezpieczne „i”,
- PN-EN 60079-11:2007(U) Atmosfery wybuchowe. Część 11: Urządzenia przeciwwybuchowe iskrobezpieczne „i”,
- PN-EN 60079-15:2007 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem gazów. Część 15: Konstrukcja, badanie i znakowanie elektrycznych urządzeń rodzaju budowy przeciwwybuchowej „n”,
- PN-EN 60079-18:2006 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem gazów. Część 18: Konstrukcja, badanie i znakowanie elektrycznych urządzeń hermetyzowanych „m”,
- PN-EN 60529:2003 Stopnie ochrony zapewnianej przez obudowy (kod IP),
- PN-EN 60034-5:2004 Maszyny elektryczne wirujące. Część 5: Stopnie ochrony zapewniane przez rozwiązania konstrukcyjne maszyn elektrycznych wirujących (kod IP). Klasyfikacja,
- PN-EN 13463-1:2003 Urządzenia nieelektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Część 1: Podstawowe założenia i wymagania,
- PN-EN 61340-2-3:2002 Elektryczność statyczna. Część 2-3: Metody badań stosowane do wyznaczenia rezystancji i rezystywności płaskich materiałów stałych używanych do zapobiegania gromadzeniu się ładunku elektrostatycznego,
- PN-EN 60068-2-2:2002 Badania środowiskowe. Część 2-2: Próby. Próba B: suche gorąco,
- PN-EN 60068-2-1:2007 (U) Badania środowiskowe. Część 2-1: Próby. Próba A: zimno,
- PN-EN 60068-2-78:2007 Badania środowiskowe. Część 2-78: Próba Cab: Wilgotne gorąco stałe,
- PN-ISO 48:1998 Guma i kauczuk termoplastyczny. Oznaczanie twardości (twardość w zakresie 10 IRHD do 100 IRHD) - metoda N.

3. Wybrane stanowiska badawcze Laboratorium Badań Stosowanych

Spośród szeregu nowych stanowisk badawczych znajdujących się w Laboratorium Badań Stosowanych warto zwrócić uwagę na:

Komory klimatyczne, których zakres pomiarowy umożliwia przeprowadzanie badań klimatycznych w zakresie temperatur od -40°C do +80°C (dla komory o pojemności 16 m³, prześwicie drzwi 2x2 m i nośności do 2 t) oraz od -70°C do +180°C (dla komory o pojemności 0,4 m³). Obie komory realizują cykliczne programy grzania i chłodzenia w trybie automatycznym, a także regulują wilgotność względną powietrza w zakresie od 10% do 98%, a zainstalowane przepusty kablowe, służące do zasilania i sterowania, umożliwiają badanie urządzeń w nastawionych warunkach klimatycznych.

Iskiernik, który umożliwia wykonywanie badań obwodów iskrobezpiecznych w mieszaninach wybuchowych, w których skład wchodzi metan, wodór, tlen, propan, etylen, powietrze. Układ dozowania przygotowuje odpowiednią mieszaninę gazów wybuchowych (podaną w odpowiedniej normie dla I i II grupy urządzeń lub dowolnie wybraną przez operatora) podaje do naczynia, w którym obracające się wolframowe elektrody podłączone do badanego obwodu iskrobezpiecznego, powodują iskrzenie w podawanej mieszaninie wybuchowej. Wystąpienie zapłonu tej mieszaniny (lub jego brak) świadczy o poprawności wykonania (zaprojektowania) badanego obwodu iskrobezpiecznego.

Stanowisko do badania stopnia ochrony IP przed wnikaniem ciał stałych i wody, które umożliwia badanie urządzeń o wymiarach 2x2x3 m i ciężarze 2 t. Część badawcza służąca do określania pierwszej cyfry charakterystycznej, jest przystosowana także do badań na ostatni stopień ochrony z dodatkowym oznaczeniem (komora pyłowa zwana również „kurzową” posiada w swoim wyposażeniu pompę podciśnienia,



Rys.2. Komory do badań klimatycznych



Rys.3. Stanowiska do badań stopnia ochrony IP przed wnikaniem ciał stałych i wody



Rys.4. Stanowisko do badań napędów elektrycznych i hybrydowych

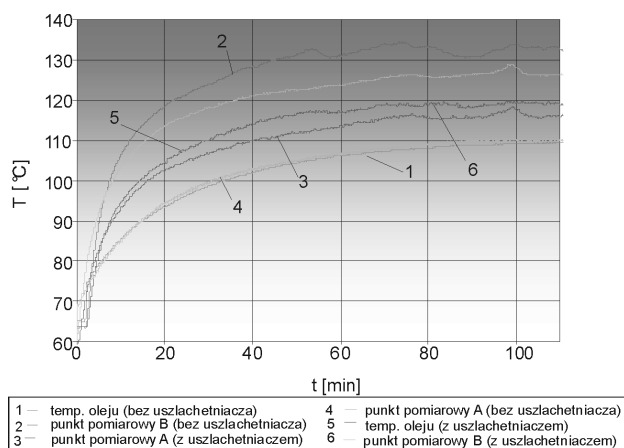


Rys.5. Stanowisko do badań hydrauliki górniczej

umożliwiająca badanie wnikania pyłu do środka obudowy, w której znajduje się podciśnienie względem ciśnienia na zewnątrz badanej obudowy). Jest to najprawdopodobniej największa komora pyłowa w Polsce. Podobnie część wodna stanowiska do badań stopnia ochrony IP przed wnikaniem wody, posiada możliwość badania wszystkich stopni ochrony, łącznie z ostatnim, wymagającym pełnego zanurzenia. W skład stanowiska wchodzi także wszystkie średnice znormalizowanych pałków zraszających oraz skrzynia kropłowa wymagana przy najniższym stopniu ochrony. Obudowy o nietypowym kształcie badane są za pomocą specjalnych końcówek natryskowych i dysz zraszających.

Oprócz wyżej wymienionych stanowisk badawczych objętych akredytacją Polskiego Centrum Akredytacji, Laboratorium posiada również nowe stanowiska do badania napędów elektrycznych i hybrydowych oraz do badania maszyn i urządzeń hydrauliki górniczej.

Stanowisko do badania napędów elektrycznych i hybrydowych umożliwia badanie nie tylko silników elektrycznych czy spalinowych, ale również badanie całych zespołów napędowych o mocy do 250 kW oraz posiada możliwość przeciwsobnego podłączenia badanego napędu z silnikiem hamującym za pomocą tzw. soft startu, rzeczywistego pomiaru momentu obrotowego, prędkości obrotowej i co najważniejsze, wszystkich parametrów elektrycznych bez względu na ich kształt (możliwy jest prawdziwy pomiar, np. napięć czy prądów, przed lub za przekształtnikiem częstotliwościowym). Wysoka częstotliwość próbkowania sygnału pomiarowego umożliwia prowadzenie prób dynamicznych całych systemów napędowych w sposób analogiczny do układu hamowni.



Rys.6. Przykładowy wykres procesu nagrzewania się badanego obiektu w funkcji czasu

Stanowisko do badania maszyn i urządzeń hydrauliki górniczej umożliwia badanie maszyn i urządzeń hydraulicznych o ciśnieniu do 320 bar i wydajności płynnie regulowanej do 160 l/min. Posiada ono możliwość rejestracji parametrów z wysoką częstotliwością próbkowania oraz automatycznego zadawania

wskazanych parametrów. Kompatybilny silnik hydrauliczny wolnoobrotowy współpracujący z powyższym stanowiskiem umożliwia prowadzenie badań urządzeń obrotowych lub maszyn, przy których potrzebne są duże siły mechaniczne (np. hamulce hydrauliczne, sprzęgła hydrokinetyczne, itp.).

Warto dodać, że uzupełniającym powyższe możliwości badawcze są znajdujące się w zakresie akredytacji pomiary temperatury powierzchni oraz cieczy i gazów metodą stykową. Pomiary te umożliwiają nie tylko określenie maksymalnych temperatur nagrzewania się części maszyn i urządzeń, ale także określenie tzw. krzywych narastania temperatury danych części maszyn i urządzeń. Akredytowany zakres mierzonych „on line” temperatur (w funkcji czasu lub innego wybranego parametru) wynosi (-75 do +250)°C.

4. Podsumowanie

Potencjalne atmosfery wybuchowe są określone jako przestrzenie, w których może powstać atmosfera wybuchowa z mieszanin powietrza w warunkach atmosferycznych i substancji palnych w postaci gazów, par, mgieł i pyłów. Tam gdzie zagrożone jest życie ludzkie lub w grę wchodzi duże zagrożenie środowiska lub majątku, nie ma miejsca na kompromisy. Jest zatem oczywiste, aby w podziemnych wyrobiskach zakładów górniczych zagrożonych wybuchem, stosowane były tylko urządzenia spełniające wymagania dyrektywy Unii Europejskiej 94/9/WE (ATEX).

Rozszerzony obszar badawczy Laboratorium Badań Stosowanych oraz kompetencje merytoryczne potwierdzone akredytacją Polskiego Centrum Akredytacji, dają szansę producentom i importerom, dokonania kompleksowej oceny wyrobów począwszy od specjalistycznych badań na unikatowych stanowiskach badawczych kończąc na samej procedurze certyfikacji realizowanej w CMG KOMAG.

Podsumowując należy wspomnieć o bardzo ważnym aspekcie pracy laboratorium. Ścisłe współpracuje ono z jednostką certyfikującą wyroby, a wyniki laboratorium są uznawane w innych branżowych jednostkach certyfikujących nie tylko w Polsce, ale i za granicą. Wysokie kompetencje specjalistów Laboratorium Badań Stosowanych, najwyższej jakości wyposażenie pomiarowe oraz bogate doświadczenie w prowadzeniu prac doświadczalnych, umożliwiają rzetelne wykonywanie badań na rzecz klientów.

Literatura

1. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 marca 1994 w sprawie ujednoczenia przepisów prawnych państw członkowskich dotyczących urządzeń i systemów ochronnych prze-

-
- znaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem (94/9/WE).
2. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 22 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem (Dz.U. z 2005 r. nr 263, poz. 2203).
 3. Madejczyk W., Orzech Ł., Zając R: Zintegrowany system zarządzania w laboratoriach badawczych CMG KOMAG oraz nowe obszary badań akredytowanych. *Maszyny Górnicze* nr 1, 2007, s. 49-53.
 4. Figiel A., Loska G.: Wybrane zagadnienia związane z oceną zgodności urządzeń elektrycznych przeznaczonych do stosowania w zakładach górniczych z wymaganiami zasadniczymi dyrektyw Unii Europejskiej. Materiały na konferencję: XI Krajowa Konferencja Elektryki Górniczej "Aktualne problemy elektroenergetyki w górnictwie", Szczyrk, 4-6 października 2006.

Artykuł wpłynął do redakcji w grudniu 2007 r.

Recenzent: prof.dr inż. Włodzimierz Sikora

Mgr inż. Franciszek STANICZEK
Inż. Bożena PUCHAŁA
Inż. Krzysztof TRZĘSIMIECH
Zakłady Naprawcze Przemysłu Węglowego REMAG
Mgr inż. Edward PIECZORA
Dr inż. Dariusz PROSTAŃSKI
Mgr inż. Piotr ROJEK
Mgr inż. Dominik BAŁAGA
Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG

Powietrzno-wodna kurtyna zraszająca zwiększeniem bezpieczeństwa eksploatacji kombajnu chodnikowego R-200

Streszczenie

Przedstawiono genezę powstania, prace projektowe, wykonanie i pierwsze próby kurtyny powietrzno-wodnej kombajnu chodnikowego R-200 oraz przebieg badań stanowiskowych w KD „Barbara”.

Summary

Idea, designing process, manufacture and first trials of air-water curtain for R-200 roadheader as well as rig tests carried out in Barbara Experimental Colliery were presented.

1. Wstęp

Zgodnie z załącznikiem nr 5 pkt. 2 Dz.U. nr 139 poz.1169 z 2002 r. z późniejszymi zmianami, w czasie urabiania kombajnami zwięzłych skał o dużej i średniej skłonności do iskrzenia należy stosować środki zabezpieczające przed możliwością zapłonu. Jednym z takich technicznych środków jest zastosowanie organów urabiających posiadających tylne zraszanie noży. Producenti kombajnów wprawdzie opanowali produkcję takich organów urabiających (w tym REMAG S.A. również posiada własną konstrukcję i technologię), ale praktyczne stosowanie tego typu rozwiązania jest bardzo uciążliwe i kosztowne. Stąd cały czas są prowadzone próby z innymi typami zraszania.

W REMAG S.A. opracowano kilka rozwiązań, takich jak zraszanie zewnętrzne niskociśnieniowe, średnociśnieniowe i wysokociśnieniowe, w których zastosowano dysze inżektorowe.

Szukając doskonalszego rozwiązania CMG KOMAG i REMAG S.A. podjęły współpracę w zakresie zastosowania zraszania powietrzno-wodnego w kombajnach chodnikowych. Działania takie spowodowane były między innymi wypadkami zapłonu metanu podczas drążenia wyrobisk chodnikowych oraz dużym zużyciem wody instalacji zraszających.

Zgodnie z obowiązującymi wymogami, dotyczącymi zwalczania zagrożeń powstających podczas procesu urabiania kombajnami chodnikowymi, nowe rozwiązanie kurtyny powietrzno-wodnej ma skutecznie zapobiegać ewentualnemu zapłonowi mieszaniny metanowo-

powietrznej oraz w istotnym stopniu ograniczyć zapylenie, przy znacznie zredukowanym, w stosunku do istniejących rozwiązań, wydatku wody.

W kombajnach chodnikowych produkcji REMAG S.A. stosowana jest głównie zewnętrzna instalacja zraszania wodnego, gdzie zabudowano dysze inżektorowe – powietrzno-wodne. Instalacja ta jest obecnie standardowym wyposażeniem wszystkich kombajnów chodnikowych produkowanych i remontowanych przez REMAG S.A [1].

Przykładowo kombajn typu KR-150z wymaga dostarczenia wody w ilości około 115÷215 l/min, w tym: około 60÷90 l/min wody chłodzącej oraz 50÷130 l/min wody zraszającej [2]. Tak znaczne ilości wody podczas urabiania kombajnem stanowią duży problem w procesie drążenia chodników, w szczególności po upadzie. Oprócz kłopotliwego dla załogi nadmiaru wody, dochodzi problem namakania spągu, konieczność wyposażenia przodku w niezawodne pompy odwadniające oraz zapewnienie właściwych wydatków rurociągu p.poż.

Stosowany dotychczas w kombajnach produkcji REMAG S.A. system zraszania wodnego z inżekcją powietrza wymaga zapewnienia ciśnień rzędu 14÷20 bar.

Współpraca REMAG S.A. z CMG KOMAG świadczy o nieprzerwanym zainteresowaniu producenta kombajnów chodnikowych podnoszeniem atrakcyjności swoich wyrobów, zarówno w aspekcie funkcjonalnym, jak i zwiększenie bezpieczeństwa.

2. Charakterystyka powietrzno-wodnej instalacji zraszającej kombajnu R-200

Propozycja zastosowania powietrzno-wodnej instalacji zraszającej w pierwszej kolejności objęła prototyp kombajnu R-200, a w dalszej kolejności obejmie inne kombajny REMAG S.A. Pierwotnie kombajn R-200 miał być wyposażony w zewnętrzną instalację zraszającą wodną z inżekcją powietrza, podobnie jak jest wyposażony kombajn KR-150z (rys. 1). Instalacja ta składa się z dwóch uchylnych ram wykonanych z profili zamkniętych z zabudowanymi dyszami zraszającymi. Ramy te są sprzężone z ruchem podestu zamocowanego na wysięgniku, a podczas rozkładania podestu baterie dysz są odchylane w kierunku bocznych ścian wysięgnika.

Analogicznie do obecnie stosowanego rozwiązania baterii zraszania inżektorowego, nowe rozwiązanie zraszania w kombajnie R-200 wykorzystuje to samo miejsce i uchylny sposób mocowania baterii wodnych, jednakże kształt baterii powietrzno-wodnych i liczba dysz została uzależniona od wyznaczonego obszaru zraszania na obrysie organu urabiającego (rys. 2). Dodatkowo zaproponowano zastosowanie baterii zraszających spodnią część organu.

Założono, że baterie zraszające będą wyposażone w 24÷40 dysz dwuczynnikowych. Rozwiązanie przewiduje, że zabudowa 24 dysz jest wystarczająca (rys. 2), natomiast baterie zraszające można wyposażyć w dodatkowe 16 dysz, wzmacniając efekt zraszania oraz zapobiegania zagrożeniom zapłonu metanu i ograniczenia zapylenia (rys. 3).

Zaproponowane dysze wymagają zapotrzebowania w wodę około 1 l/min i w sprężone powietrze około 100 l/min każda. Sumaryczna ilość wody zraszającej wynosi 24÷40 l/min natomiast sprężonego powietrza 2,4÷4,0 m³/min w zależności od liczby dysz dwuczynnikowych zastosowanych w kombajnie [3].

W efekcie, zaproponowane rozmieszczenie dysz objęło strefą zraszania obwód organu i jego otoczenie, zapobiegając zapłonom metanu oraz ograniczając zapylenie.

Zastosowane dysze dwuczynnikowe STK-R są opracowane przez specjalistów CMG KOMAG i produkowane przez firmę Stalmet.

3. Zasada działania powietrzno-wodnej instalacji zraszającej

Powietrzno-wodna instalacja zraszająca kombajnu R-200 wykorzystuje do zraszania wodę chłodzącą silniki elektryczne i układ hydrauliczny, zmniejszając w ten sposób o 50-130 l/min (wydatek instalacji zraszania standardowego wodnego) zapotrzebowanie kombajnu

na wodę. Całkowite zużycie wody wynosi 60÷90 l/min, w tym wody zraszającej 24÷40 l/min (w zależności od liczby zastosowanych dysz w bateriach zraszających). Powietrzno-wodna instalacja zraszająca została wykonana według schematu przedstawionego na rysunku 4.

Każdy z obiegów: wody i powietrza są wyposażone w filtr, regulowany zawór redukcyjny, progowy czujnik powietrza. Obieg wody jest dodatkowo wyposażony w regulatory przepływu i czujniki przepływu.

Zasilanie wodą jest realizowane z rurociągu p.poż. o ciśnieniu nie mniejszym niż 8 bar, natomiast dostarczanie sprężonego powietrza przewidziane jest ze sprężarki przodkowej lub oddziałowej o wydatku nie mniejszym niż 4m³/min. Ciśnienie obu mediów waha się w zakresie 5÷5,5 bar.

Założono zastosowanie progowych czujników ciśnienia, które zarówno w obiegu sprężonego powietrza, jak i wody są odpowiedzialne za wyłączenie zasilania kombajnu w przypadku osiągnięcia ciśnienia mniejszego niż minimalne (3,8 bar). Tę samą funkcję wyłączenia kombajnu pełni czujnik przepływu wody, który powoduje wyłączenie kombajnu w przypadku przepływu wody zraszającej o parametrach niższych niż wymagane.

Regulatory ciśnienia powietrza i wody umożliwiają ręczną korektę ciśnienia w przypadku zakłóceń działania instalacji. Regulatory te są wyposażone w manometry oraz wskaźniki ciśnienia wbudowane w pokrętko. Zastosowanie regulatora przepływu umożliwia ograniczenie ilości wody adekwatnie do oczekiwanego przepływu.

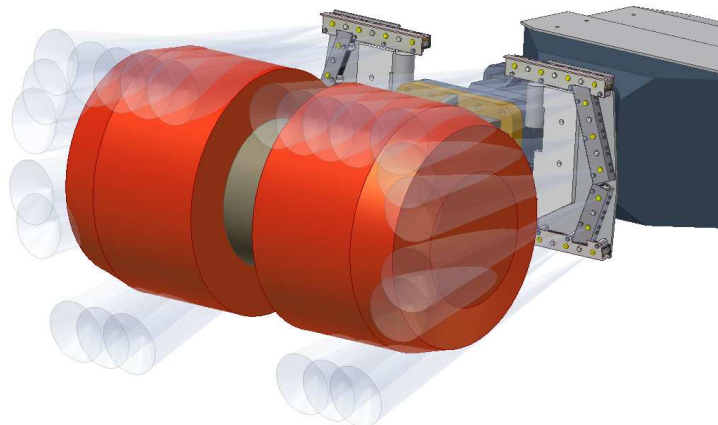
Woda doprowadzona z rurociągu p.poż jest oczyszczona przez zabudowany zestaw filtrów, a następnie doprowadzona do układu chłodzenia kombajnu. Woda po przejściu przez układ chłodzenia skierowana zostanie do układu zraszania.

Podczas postoju kombajnu i po przesterowaniu rozdzielacza wodnego woda jest odcięta od obiegu zraszania oraz płaszcza silnika organu i przepływa przez płaszcz głównego silnika elektrycznego i chłodnicę, a następnie wypływa na spąg przez tylne baterie zraszające skierowane na przesyp przenośnika kombajnu.

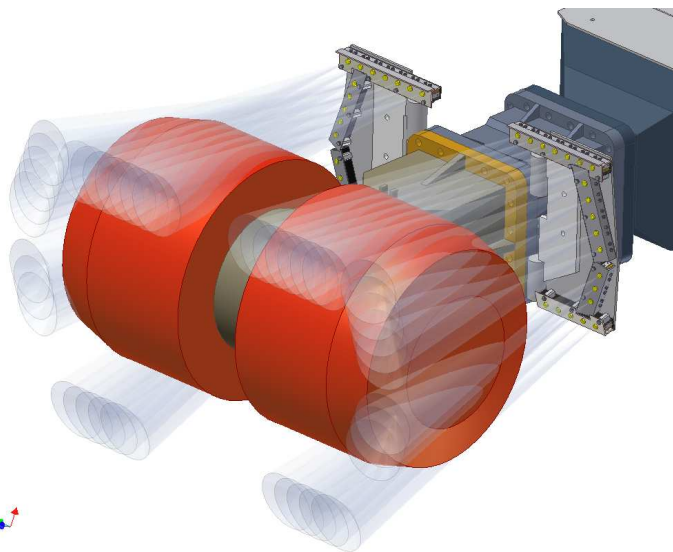
W układzie zraszania woda przepływa przez regulatory przepływu celem ustalenia wstępnego, maksymalnego przepływu (24÷40 l/min) a następnie przez zawór redukcyjny, gdzie jej ciśnienie jest redukowane do wartości około 5 bar. Pomiar minimalnej ilości wody realizowany jest przepływomierzem progowym. Progowy czujnik ciśnienia wody umożliwia działanie kombajnu przy prawidłowym ciśnieniu wody oraz będzie powodował wyłączenie zasilania kombajnu w przypadku spadku ciśnienia poniżej wartości 3,8 bar.



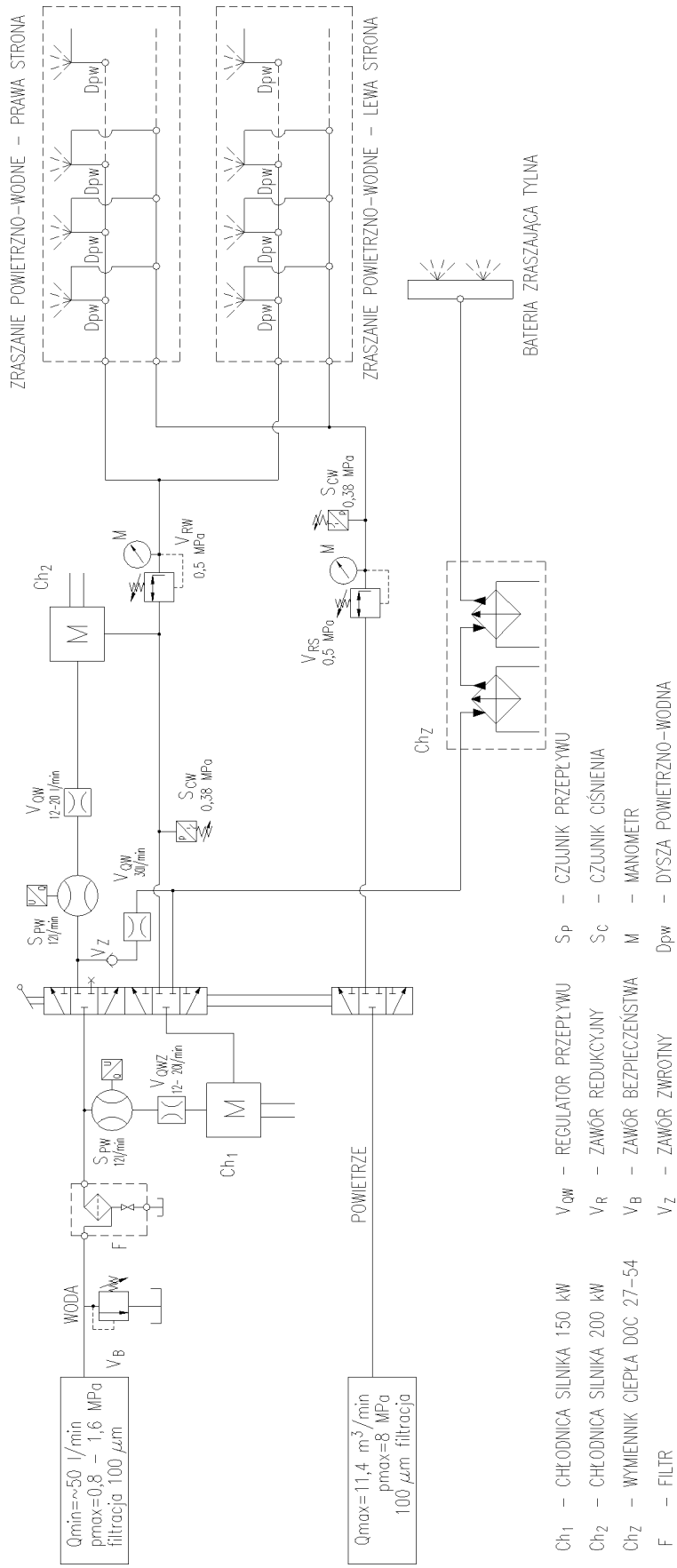
Rys.1. Baterie zraszające kombajnu KR-150z



Rys.2. Baterie wyposażone w 24 dysz zraszających organ kombajnu R-200



Rys.3. Baterie wyposażone w 40 dysz zraszających organ kombajnu R-200



Rys.4. Schemat instalacji powietrzno-wodnej kombajnu R-200

Za zaworem redukcyjnym woda rozdzielana jest na prawą i lewą stronę baterii zraszających. Po obu stronach wysięgnika kombajnu zabudowane są cztery baterie niezależnie zasilane z dwóch rozdzielonych strug.

Sprężone powietrze doprowadzone przewodem ze sprężarki oddziałowej lub przodkowej pod ciśnieniem nie mniejszym niż 6 bar zostaje oczyszczone przez zestaw filtrów, a następnie skierowane do zaworu redukcyjnego, redukującego ciśnienie do wartości około 5,5 bar. Zabudowany za zaworem, progowy czujnik ciśnienia powietrza, powoduje wyłączenie zasilania kombajnu w przypadku, gdy ciśnienie powietrza osiągnie wartość mniejszą niż 3,8 bar. Poza procesem urabiania, lub w przypadku postoju kombajnu, dopływ sprężonego powietrza jest odcinany ręcznie rozdzielaczem. Tak jak w przypadku nitki wodnej, sprężone powietrze za zaworem redukcyjnym rozdzielane jest na prawą i lewą stronę baterii zraszających, a stamtąd rozdzielane do każdej z ośmiu baterii zraszających zamocowanych po cztery na lewej i prawej stronie wysięgnika.

Woda i sprężone powietrze przepływają niezależnymi kanałami wykonanymi w baterii dysz. Po doprowadzeniu mediów do dysz, dochodzi do ich wymieszania w komorze mieszania, a następnie wyrzucenia ich w formie rozpylonego aerozolu w kierunku organu urabiającego.

Zabudowa układu sterowania i kontroli systemu zraszania nieznacznie wpłynęła na zakres prac modernizacyjnych dotychczasowej instalacji wodnej.

Parametry techniczne kurtyny powietrzno-wodnej kombajnu przedstawiono w tabeli 1.

Parametry kurtyny powietrzno-wodnej kombajnu chodnikowego R-200

Tabela 1

Lp.	Nazwa	Charakterystyka
1	Rodzaj dysz kurtyny	powietrzno-wodne (dwuczynnikiowe)
2	Medium zasilające	woda + sprężone powietrze
3	Liczba dysz na wysięgniku	24 sztuki (40 sztuk)
4	Ciśnienie zredukowane wody	~5 bar
5	Ciśnienie zredukowane powietrza	~5,5 bar
6	Wydatek wody zraszającej	ok. 1 l/min (na 1 dyszę)
7	Wydatek powietrza	50-150 l/min (na jedną dyszę)
8	Całkowite zużycie wody zraszającej na kombajn	~24 (40) l/min
9	Całkowite zużycie sprężonego powietrza	2 (4) m ³ /min

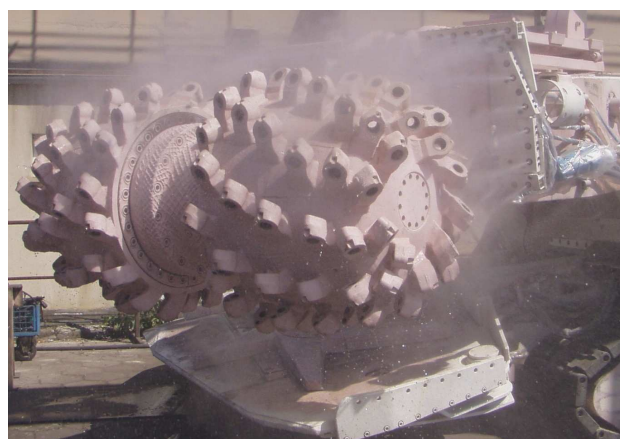
4. Wykonanie prototypu

W czasie budowy prototypu prowadzono równolegle korektę dokumentacji technicznej, uwzględniając uwagi producenta kombajnu R-200.

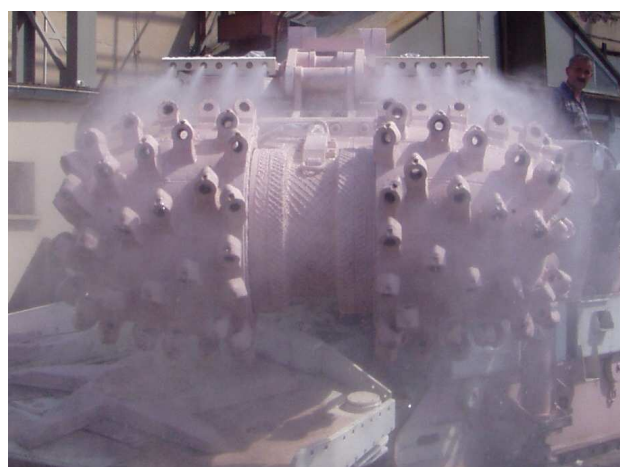
Po skompletowaniu i zamontowaniu kurtyny powietrzno-wodnej przeprowadzono próby stanowiskowe kurtyny, które obejmowały:

- próby zraszania z wykorzystaniem wody i sprężonego powietrza (rys. 5), które realizowano przy zadanych wartościach ciśnienia: wody 5 bar i powietrza 5,5 bar. Obejmowały one wizualną ocenę zasięgu strumienia, pokrycie powierzchni organu (rys. 6) oraz jakości strumienia (właściwego rozdrobnienia kropel wody); wyniki prób były zgodne z założeniami,
- próby kolizyjności wsporników, podestu na których zabudowano baterie zraszające, z wysięgnikiem (rys. 7), które polegały na ocenie kolizyjności baterii zraszających z wysięgnikiem przy składaniu i rozkładaniu podestu; próby wypadły pozytywnie.

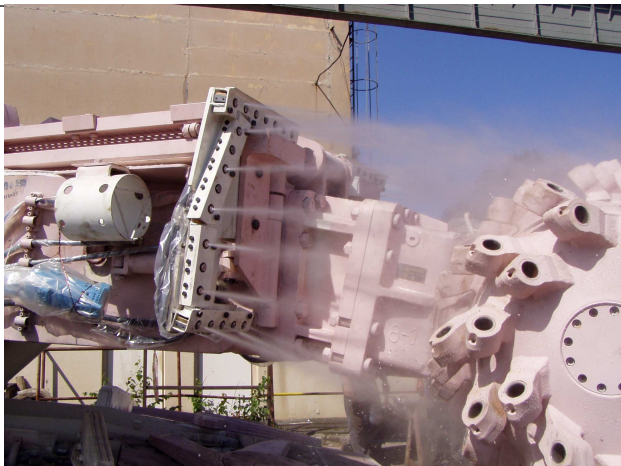
Po wykonaniu i wstępnym przetestowaniu kurtyny powietrzno-wodnej zabudowanej na kombajnie R-200, rozwiązanie zaprezentowano na targach Katowice 2007, na których REMAG S.A. otrzymał wyróżnienie – Lider Polskiego Rynku za nowy produkt jakim jest kombajn typu R-200.



Rys.5. Widok z boku na działającą kurtynę powietrzno-wodną, zabudowaną na kombajnie chodnikowym R-200



Rys.6. Widok rozkładu strumieni działającej kurtyny



Rys.7. Widok działającej kurtyny powietrzno-wodnej przy złożonym podejściu roboczym



Rys.8. Gaszenie płomienia gazowego z użyciem powietrzno-wodnej kurtyny zraszającej

5. Badania stanowiskowe w KD „Barbara”

W okresie 10÷11.2007 organ urabiający kombajnu R-200 z zabudowaną kurtyną powietrzno-wodną poddano badaniom skuteczności niedopuszczenia do inicjacji zapłonu metanu oraz gaszenia płomieni. Badania przeprowadzane są w akredytowanym laboratorium Kopalni Doświadczalnej Barbara.

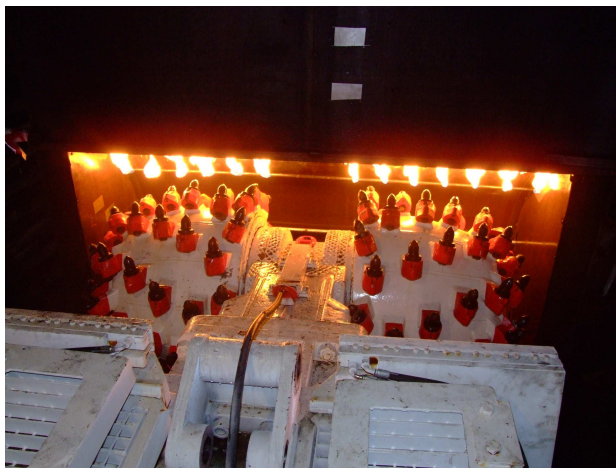
Ramię kombajnu R-200 z organem urabiającym i powietrzno-wodną kurtyną zraszającą umieszczono w sztolni badawczej, w której zbudowano imitację czoła przodku (rys. 10). W czole, w wykonanej w kształcie połowy walca niszy, umieszczono trzy poziome rury z otworami skierowanymi w kierunku organu, stanowiące palniki gazowe.



Rys.9. Próby skuteczności niedopuszczenia do zapłonu gazu z użyciem powietrzno-wodnej kurtyny zraszającej

Podczas badań przeprowadzono próby skuteczności gaszenia zapalonego płomienia gazowego (rys. 9), mierząc skuteczność czasem od załączenia kurtyny do całkowitego ugaszenia płomieni. Gaszenie palnika górnego i środkowego następowało natychmiast, natomiast dolny palnik był gaszony w czasie nie dłuższym niż 3 sekundy.

Innym badaniem było sprawdzenie skuteczności w niedopuszczaniu do zapłonu gazu przy działającej powietrzno-wodnej kurtynie zraszającej (rys.8). Próby przeprowadzono przy inicjacji zapłonu gazu dwóch palników równocześnie. Płomień był inicjowany środkami strzelniczymi (główki zapalcze) stosowanymi do inicjacji materiałów wybuchowych stosowanych w górnictwie. Dla zapalanych palników górnego i dolnego oraz oddaleniu od siebie w różnych próbach główek zapalczych o około 50, 80 i 150 cm, nie dochodziło do powstania zapłonu lub powstały płomień został stłumiony natychmiast.



Rys.10. Stanowisko badawcze z ramieniem kombajnu R-200 wyposażonego w powietrzno-wodną kurtynę zraszającą

6. Podsumowanie

- Kurtyna powietrzno-wodna stanowi alternatywne rozwiązanie dotychczas stosowanego zraszania wodnego. Zapewnia ona większe bezpieczeństwo pracy i bardziej efektywne zraszanie, niż dotychczas stosowane zraszanie wodne.
- Zastosowanie kurtyny powietrzno-wodnej powinno skutecznie zastąpić zraszanie sektorowe.

-
- Kurtyna powietrzno-wodna składa się z baterii wyposażonych w 26÷43 dysz zraszających (standardowo 26), co daje zużycie wody 25÷45 l/min i powietrza około 2,5÷4,0 m³/min, przy ciśnieniu wody i powietrza około 5 bar.
 - Kurtyna wykorzystuje wodę chłodzącą, przez co całkowite zużycie wody w kombajnie spadło z 115÷215 l/min w przypadku dotychczasowej instalacji wodnej do około 50÷85 l/min.
 - Powietrzno-wodna kurtyna zraszająca wykazuje bardzo dobre właściwości gaszenia i zapobiegania zapłonowi metanu.
 - Przedstawione wykonanie kurtyny powietrzno-wodnej jest przewidziane do bezpośredniego zastosowania również na kombajnie KR-150z.

Literatura

1. Kurtyna powietrzno-wodna kombajnu chodnikowego R-200. Dokumentacja techniczna W90.325. CMG KOMAG. Gliwice, czerwiec 2007.
2. Gzyl W., Wróbel H.: Doświadczenia eksploatacyjne i pierwsze wyniki wdrożenia kombajnu chodnikowego klasy średniej KR-150 produkcji ZNPW REMAG. Maszyny Górnicze 78/1999. Gliwice, czerwiec 1999.
3. Meder A, Pieczora E., Frydel W. Drażenie wyrobisk chodnikowych w restrukturyzowanych kopalniach węgla kamiennego. Maszyny Górnicze 84/2000. Gliwice, grudzień 2000.

Artykuł wpłynął do redakcji w grudniu 2007 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Adam Klich

Rekonstrukcje wypadków zaistniałych w warunkach kopalnianych, podczas wykonywania napraw maszyn i urządzeń górniczych

Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwości tworzenia rekonstrukcji wypadków zaistniałych podczas wykonywania napraw maszyn i urządzeń górniczych w warunkach kopalnianych. Skoncentrowano się na technicznych i ludzkich czynnikach ryzyka występujących podczas napraw. W pracy ukazano także elementy, które należy brać pod uwagę, przy wykonywaniu wizualizacji rekonstrukcji wypadków, co bezpośrednio wiąże się z wierniejszym odzwierciedleniem zaistniałego zdarzenia. Artykuł przedstawia również problematykę związaną z tworzeniem wizualizacji pod kątem samego odbiorcy. Rekonstrukcje zdarzeń czy materiały szkoleniowe powinny być w odpowiedni sposób rozpowszechniane, aby dotrzeć do jak największej liczby odbiorców.

Summary

Possibilities of reconstruction of accidents, which happened during repairs of mining machines and equipment in mine conditions were presented in the paper. The paper focused on technical and human risk factors during repairs. The elements which should be taken into account during visualization of accidents reconstruction were also presented in the paper, what is directly connected with better imagining of the ensuing events. Problem of creation of visualization as regards the receiver himself was also presented in the paper. Reconstructions of events and training materials should be disseminated in a suitable way to reach as many receivers as possible.

1. Wstęp

Górnictwo podziemne charakteryzuje się specyficznymi warunkami pracy, ograniczona przestrzeń, duże wymiary gabarytowe maszyn, niewystarczające oświetlenie oraz brak maszyn dźwigowych przyczyniają się do pogorszenia warunków prowadzenia prac serwisowych i wzrostu poziomu ryzyka przy wykonywaniu robót górniczych.

Rekonstrukcje przebiegu wypadków mają na celu pogłębienie świadomości pracowników i uzmysłowienie zagrożeń, z jakimi mogą się spotkać podczas wykonywania czynności serwisowych. Istotnym elementem rekonstrukcji wypadku jest również zaprezentowanie właściwych metod pracy, co może przyczynić się do zminimalizowania ryzyka wystąpienia wypadku. Większość wypadków zaistniałych podczas wykonywania napraw spowodowanych jest czynnikiem ludzkim, rutyna, brak wyobraźni, stosowanie niewłaściwych metod pracy to częste powody ich występowania.

2. Wizualizacja czynników ryzyka występujących podczas napraw maszyn i urządzeń górniczych

Zagrożeniem jest każdy czynnik mający zdolność spowodowania utraty życia lub zdrowia.

Zagrożenia występujące w warunkach kopalnianych podzielić możemy na:

- naturalne, stanowi je energia zlokalizowana w naturalnym środowisku człowieka np. wstrząs, tapnięcie,
- techniczne, którym jest energia zmagazynowana w środkach technicznych np. pochwylenie przez ruchomą część maszyny,
- spowodowane czynnikiem ludzkim, niedostateczna świadomość zagrożenia, utrata kontroli nad własnym zachowaniem np. potknięcie, uderzenie się o coś lub czymś.

W rekonstrukcji wypadków spowodowanych czynnikiem ludzkim ważne jest pokazanie zachowań bezpiecznych i ryzykownych.

2.1. Techniczne czynniki ryzyka

Źródłem technicznych czynników ryzyka są pracujące w wyrobisku maszyny wydobywcze oraz inny sprzęt pomocniczy. Utrata stateczności maszyn na nierównym podłożu, nagłe zerwanie łańcucha w przenośniku zgrzeblowym, zerwanie liny kołowrotu, to niektóre przykłady wypadków wywołanych czynnikiem technicznym.

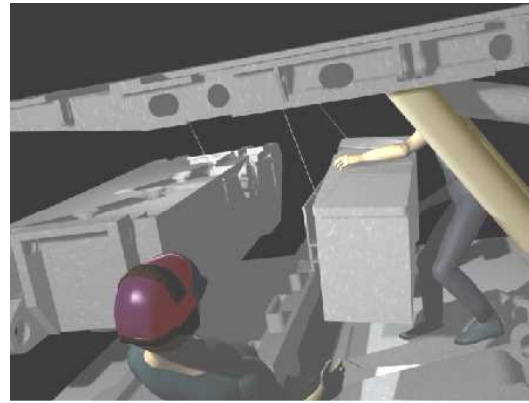
Wizualizacja czynników ryzyka, sytuacji niebezpiecznych, awarii lub zaistniałych wypadków może być istotnym elementem w procesie analiz teoretycznych i rzeczywistych zdarzeń. Analiza sytuacji niebezpiecznych przeprowadzana jest na potrzeby rekonstrukcji wypadków, analizy procesów transportowych, montażowych i prawidłowej pracy maszyn. Wizualizacja zachowania się ludzi i maszyn w określonych sytuacjach,

może być materiałem wyjściowym do tworzenia programów szkoleniowych.

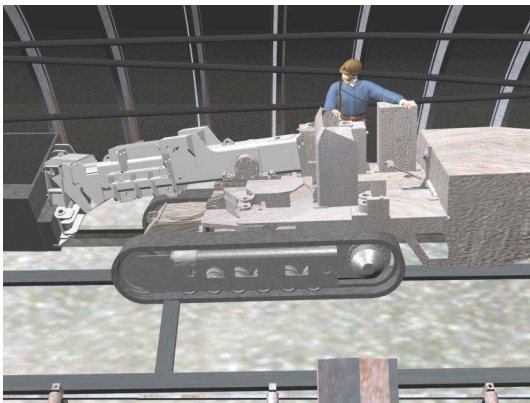
Przed przystąpieniem do przygotowania wizualizacji zdarzeń wypadkowych należy zapoznać się z warunkami panującymi w miejscu zdarzenia. Elementem

wejściowym do tworzenia wizualizacji jest scenariusz utworzony na podstawie materiałów powypadkowych, takich jak:

- zeznania świadków i poszkodowanych,
- szkice miejsca wypadków,



Rys.1. Wizualizacja sytuacji niebezpiecznej spowodowanej czynnikiem technicznym



Rys.2. Wizualizacja wypadku podczas demontażu kruszarki

- protokoły powypadkowe,
- instrukcje technologiczne,
- dokumentacja techniczna,
- zdjęcia/rejestracje wideo miejsca zdarzenia.

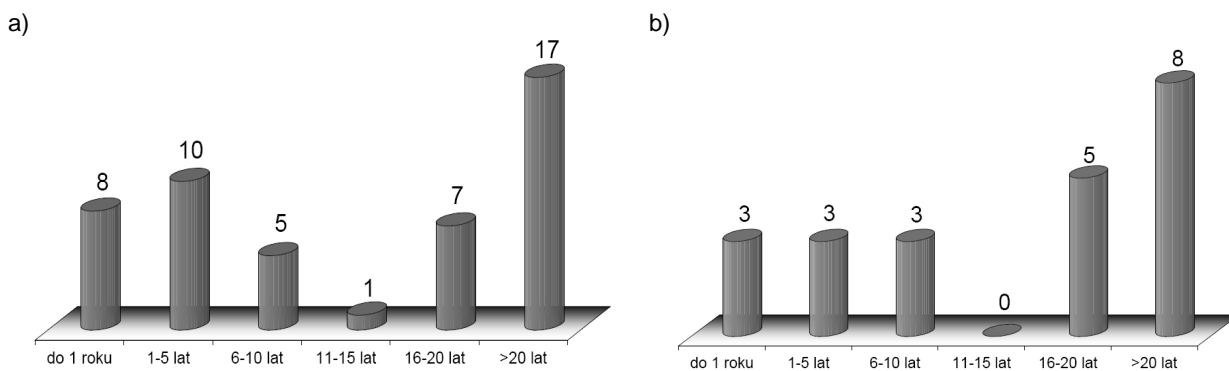
Sytuacje niebezpieczne modelowane są przez symulowanie zagrożeń, takich jak zerwanie liny, utrata stateczności. Kolejnym krokiem wizualizacji jest uzupełnienie sceny o modele sylwetek pracowników wykonujących daną czynność. Rysunek 1 przedstawia wizualizację zerwania montowanego modułu i jego możliwe skutki.

2.2. Czynniki ludzkie

Wypadki spowodowane czynnikiem ludzkim związane są często z nieświadomością zagrożeń mogących wystąpić w miejscu pracy. Niestosowanie środ-

ków ochrony indywidualnej oraz mylne przekonanie, że „mi nic złego przydarzyć się nie może” prowadzi do wypadków przy pracy, nierzadko są to wypadki ciężkie. Jak wynika ze statystyk najczęściej wypadków przydarza się pracownikom ze stażem pracy powyżej 20 lat, co pozwala stwierdzić, że rutynowe postępowanie jest najczęstszą przyczyną występowania wypadków.

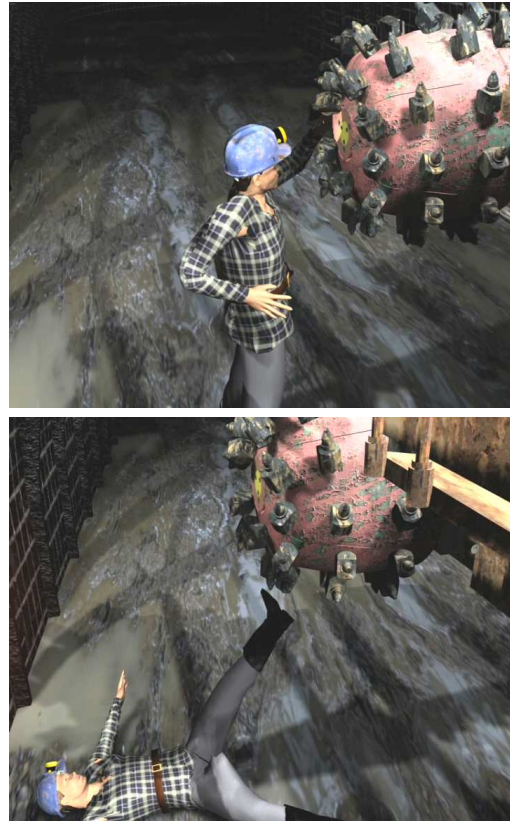
Na rysunku 4 przedstawiono wizualizację wypadku zaistniałego podczas rozpinania linii tłocznych z zestawu iniekcyjnego stanowiącego wyposażenie pompy przeznaczony do wypełniania pustek w skałach i uszczelniania wyrobisk. Przyczyną wypadku ciężkiego było oparzenie gałek ocznych wskutek kontaktu z substancją chemiczną. Przyczyna ta była następstwem nieużywania przez poszkodowanego okularów ochronnych.



Rys.3. Liczba poszkodowanych w wypadkach: a) śmiertelnych, b) ciężkich – zaistniałych w górnictwie w roku 2006 według stażu pracy „WUG – Stan bezpieczeństwa i higieny pracy w górnictwie w 2006 roku”



Rys.4. Wizualizacja wypadku podczas demontażu przewodów tłocznych



Rys.5. Wizualizacja wypadku podczas wymiany przewodu wodnego

Do wypadków spowodowanych czynnikiem ludzkim dochodzi również z winy osób trzecich. Górnicy pracujący w wyrobisku często nie zdają sobie sprawy, że odpowiadają nie tylko za siebie, ale także za pozostałe osoby znajdujące się w ich pobliżu. Niewłaściwe zachowanie i nieprzestrzeganie przepisów BHP może skończyć się tragicznie. Na rysunku 5 przedstawiono wizualizację wypadku, powstałego w wyniku uruchomienia wysięgnika kombajnu. W wyniku tego doszło do wypadku, w którym poszkodowany został górnik zajmujący się wymianą przewodu wodnego.

3. Wnioski

Bezpieczne wykonywanie czynności montażowych w warunkach panujących w wyrobiskach podziemnych może zostać zakłócone przez czynniki techniczne i ludzkie. Możliwa jest wczesna identyfikacja zagrożeń, jakie mogą powstać w wyniku uszkodzeń środków technicznych, jak i niebezpiecznych zachowań człowieka.

Prawidłowo wykonana wizualizacja wypadku powinna cechować się wiernym oddaniem otoczenia miejsca wypadku. Szczegółowe odzwierciedlenie otoczenia wymaga jednak długotrwałego modelowania obiektów, do których najczęściej brakuje dokumentacji rysunkowej. Dopuszcza się możliwość zastąpienia pewnych elementów maszyn innymi o zbliżonych gabarytach, jed-

nak w niektórych przypadkach może to niekorzystnie wpłynąć na animacje. W przypadku wykonywania wizualizacji o dokładnie określonych odbiorcach, np. załoga kopalni, w której dany wypadek się zdarzył, należy zwrócić szczególną uwagę na wierne oddanie gabarytów współpracujących maszyn. Zbyt duże uproszczenia i wprowadzanie zamiennie innych podobnych obiektów znacznie obniża wiarygodność wizualizacji, co wpływa na przyswajanie przekazywanej treści.

Modelowanie ciała ludzkiego jest najważniejszym i najtrudniejszym elementem procesu wizualizacji wypadków. Posiadane przez CMG KOMAG oprogramowanie pozwala wiernie modelować sylwetki ludzkie i odzwierciedlać szczegółowe cechy antropometryczne uczestników opisywanych zdarzeń.

Zdarzenia niebezpieczne zawsze wiążą się z niekontrolowanymi ruchami obiektów materialnych, części lub zespołów maszyn. Wierne odwzorowanie ruchów maszyn w stanach awaryjnych wymaga stosowania zaawansowanego oprogramowania MBS (Multi-Body System, np. Visual Nastran).

W procesie szkolenia materiały szkoleniowe są bardzo ważnym elementem, jednak aby dotrzeć do jak największej liczby odbiorców, powinny być w odpowiedni sposób rozpowszechniane.

Artykuł wpłynął do redakcji w grudniu 2007 r

Recenzent: prof.dr inż. Włodzimierz Sikora

Nowe elektryczne wciągniki łańcuchowe konstrukcji CMG KOMAG

Streszczenie

W artykule przedstawiono rozwiązania konstrukcyjne elektrycznych wciągników łańcuchowych, w zakresie małej mechanizacji. Elektryczne wciągniki mają na celu usprawnienie prac wykonywanych między innymi w komorach montażowych podziemnych wyrobisk górniczych. Przedstawione w artykule nowe wciągniki łańcuchowe charakteryzują się zwartą budową i niewielkimi wymiarami gabarytowymi w stosunku do możliwości przemieszczanych mas ładunków. Opisano główne parametry techniczne, zakres zastosowania oraz wymagania bezpieczeństwa jakie muszą spełniać prezentowane urządzenia.

Summary

Design solutions as regards electric chain hoists, concerning small mechanization, were presented in the paper. The aim of electric hoists is to facilitate operations, which are carried out, among others, in assembly chambers of underground workings. New chain hoists, which were presented in the paper, are the hoists of compact design and small dimensions in relation to weights that are moved. Main technical parameters, range of use and safety requirements, which have to be met by presented equipment, were described.

1. Wstęp

Wzrost wydajności systemów mechanizacyjnych, niesie za sobą wzrost mas poszczególnych maszyn i urządzeń, a co za tym idzie dodatkowe problemy związane z ich przemieszczaniem w podziemiach kopalń. W związku z powyższym niezbędne jest stosowanie nowoczesnych urządzeń ułatwiających przemieszczanie oraz montaż elementów maszyn i urządzeń górniczych na stacjach przeładunkowych, a także w komorach montażowych.

Na rynku krajowym i zagranicznym nie są stosowane rozwiązania wciągnika łańcuchowego z napędem elektrycznym, które mogą być bezpiecznie użytkowane w przestrzeniach zagrożonych wybuchem pyłu węglowego i zapłonem metanu.

Eksplloatowane w górnictwie podziemnym wciągniki z napędem pneumatycznym i hydraulicznym, charakteryzują się niższą sprawnością energetyczną w stosunku do urządzeń z napędem elektrycznym. Ważnym aspektem ograniczającym stosowanie tych urządzeń jest konieczność wtórnego zamieniania energii. Energia elektryczna przetwarzana jest na energię sprężonego powietrza lub energię medium hydraulicznego, a ta z kolei wykorzystywana jest do zasilania wciągników. Eksploatacja tego typu urządzeń wymaga zatem dodatkowych nakładów inwestycyjnych na zakup sprzężarek lub agregatów hydraulicznych.

Niedogodnością stosowania wyżej wymienionych wciągników, zwłaszcza z napędem pneumatycznym, jest emitowany hałas.

W ramach projektu celowego NOT nr ROW-592, konstruktorzy CMG KOMAG, wspólnie ze specjalistami

Fabryki Maszyn i Urządzeń „OMAG” Oświęcim Sp. z.o.o., podjęli się opracowania i wdrożenia do produkcji nowoczesnego i bezpiecznego w eksploatacji wciągnika łańcuchowego z napędem elektrycznym, przeznaczonego do prac montażowo-dźwigowych. Produkowany przez FMIU „OMAG” Oświęcim Sp. z.o.o wciągnik EWŁ-3/6A wg dokumentacji technicznej CMG KOMAG, może być stosowany w podziemnych wyrobiskach górniczych zagrożonych wybuchem pyłu węglowego i zapłonem metanu, jak również w przemyśle chemicznym.

2. Wymagania formalno-prawne

W myśl ustawy o systemie zgodności (Dz.U. Nr 204 poz. 2087 wraz z późniejszymi zmianami), wszystkie wyroby przeznaczone do eksploatacji muszą spełniać wymagania zasadnicze zawarte w dyrektywach nowego podejścia. Wymagania dotyczące stosowania urządzeń dźwignicowych, a w szczególności wciągników i wciągarek łańcuchowych ujęte są w załączniku I tzw. „Dyrektywy Maszynowej” [1] wprowadzonej do ustawodawstwa polskiego Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 20 grudnia 2005r., dotyczącego zasadniczych wymagań dla maszyn i elementów bezpieczeństwa (Dz. U. Nr 259 poz. 2170).

Domniemywa się, że wyrób spełnia wymagania zasadnicze, jeżeli jest zgodny z normami zharmonizowanymi. Najważniejsze z nich dotyczące omawianego urządzenia, to:

- PN-EN 1037:2001 Maszyny – Bezpieczeństwo – Zapobieganie niespodziewanemu uruchomieniu [2].
- PN-EN 1050:1999 Maszyny – Bezpieczeństwo – Zasady oceny ryzyka [3].

- PN-EN 418:1999 Maszyny – Bezpieczeństwo – Wyposażenie zatrzymywania awaryjnego; aspekty funkcjonalne – Zasady projektowania [4].
- PN-EN ISO 12100-1:2005 Bezpieczeństwo maszyn. Pojęcia podstawowe, ogólne zasady projektowania. Część 1: Podstawowa terminologia, metodyka [5].
- PN-EN ISO 12100-2:2005 Bezpieczeństwo maszyn. Pojęcia podstawowe, ogólne zasady projektowania. Część 2: Zasady techniczne [6].

Dodatkowo elektryczny wciągnik łańcuchowy EWŁ-3/6A oraz inne urządzenia oparte na jego konstrukcji zaprojektowano ze szczególnym uwzględnieniem wymagań zawartych w następujących normach:

- PN-91/M-45481 Dźwignice – Wciągniki elektryczne – Wymagania i badania [7].
- PN-86/M-45005 Dźwignice – Wciągniki elektryczne – Terminologia [8].
- PN-83/M-45482 Technika bezpieczeństwa – Dźwignice – Paszport wciągników elektrycznych [9].
- PN-G-50000:2002 Ochrona pracy w górnictwie – Maszyny górnicze – Ogólne wymagania bezpieczeństwa i ergonomii [10].
- PN-G-46730:2002 Wciągniki górnicze łańcuchowe [11].

Dodatkowo urządzenia należące do grupy I kategorii M2 przeznaczone do eksploatacji w podziemnych wyrobiskach górniczych muszą spełniać wymagania ujęte w II załączniku tzw. „Dyrektywy ATEX” [12] nr 94/9/WE z dnia 23 marca 1994 r. wdrożonej Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 22 grudnia 2005 r. (Dz.U. Nr 263 Poz. 2203). Najważniejsze normy zharmonizowane związane z opisywanymi wciągnikami elektrycznymi to:

- PN-EN 50014:2004 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem – Wymagania ogólne [13].
- PN-EN 50018:2005 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem – Wykonanie iskrobezpieczne [14].

3. Elektryczny wciągnik łańcuchowy EWŁ-3/6A

Elektryczny wciągnik łańcuchowy EWŁ-3/6A (rys. 1) został wykonany w dwóch odmianach przeciwybuchowych, z iskrobezpiecznym obwodem sterowania:

- EWŁ-3/6AG dla przemysłu górniczego,
- EWŁ-3/6ACh dla przemysłu chemicznego.



Rys.1. Elektryczny wciągnik łańcuchowy EWŁ-3/6A.

Podstawowe parametry techniczne wciągników przedstawiono w tabeli 1.

Parametry techniczne urządzenia

Tabela 1

Typ	EWŁ-3/6AG	EWŁ-3/6ACh
Udźwig (kN)	30 lub 60	30 lub 60
Prędkość podnoszenia (m/min)	2 lub 1	2 lub 1
Łańcuch (d x t - mm)	13x36 lub 12x36	13x36 lub 12x36
Silnik elektryczny samohamowny		
moc (kW)	1,1	1,1
napięcie (V)	- 3x230 (wyk.1) - 3x500 (wyk.2)	3x400
napięcie sterowania (V)	24	24
częstotliwość (Hz)	50	50
prędkość znamionowa (obr./min)	1343	1343
prąd znamionowy (A)	5,3 (wyk.1), 2,4 (wyk.2)	3,1
Masa wciągника bez łańcucha (kg)	95	95
Masa wciągника z łańcuchami(kg)	165	165
Grupa natężenia pracy	M4 według PN-ISO 4301-1:98	M4 według PN-ISO 4301-1:98

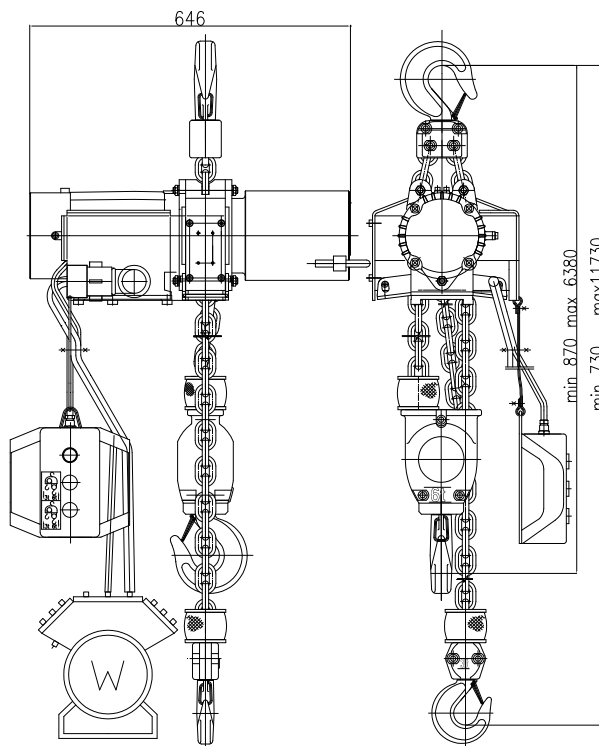
Wciągник o symbolu EWŁ-3/6ACh, może być eksploatowany w przemyśle chemicznym, motoryzacyjnym (lakiernie, warsztaty naprawcze i montażowe), a także o przemyśle spożywczym (młyny). Zasilany jest napięciem 3x400 V, z typowej rozdzielnicy znajdującej się poza strefą wybuchu, z dobudowanym separatorem obwodów iskrobezpiecznych. W myśl dyrektywy ATEX, urządzenie przystosowane jest do pracy w pomieszczeniach należących do grupy II kategorii 2, w których występowanie atmosfer wybuchowych jest prawdopodobne.

Odmiana wciągника o symbolu EWŁ-3/6AG przeznaczona jest do pracy w podziemiach kopalń węgla kamiennego, wszędzie gdzie zachodzi konieczność załadunku i wyładunku ciężarów w stałych miejscach przeładunkowych oraz w komorach montażowych i remontowych. Wciągник może być wykorzystany do podnoszenia i opuszczania lub przemieszczania (przeciągania) ciężarów. Urządzenie to jest zasilane napięciem 3x230 V z kopalnianej sieci elektrycznej, za pośrednictwem ognioszczelnego rewersyjnego zespołu transformatorowego np.: ZTR lub napięciem 3x500 V za pośrednictwem ognioszczelnych wyłączników rewersyjnych np.: WSA lub WSB. Zgodnie z wymaganiami dyrektywy ATEX, wciągник EWŁ-3/6AG może pracować w warunkach należących do grupy I kategorii M2 i jest przeznaczony do eksploatacji w pomieszczeniach podziemnych kopalń o stopniu niebezpieczeństwa „a”, „b” i „c” wybuchu metanu oraz klasy „A” i „B” zagrożenia wybuchem pyłu węglowego.

Elektryczny wciągник łańcuchowy EWŁ-3/6A umożliwia podnoszenie na pojedynczym zaczepie ładun-

ków o masie do 3000 kg oraz ładunków o masie nie przekraczającej 6000 kg na podwójnym łańcuchu ze zbloczem.

Ze względu na niewielkie wymiary gabarytowe (rys. 2) urządzenia, pozwala to na jego zabudowę w komorach montażowych oraz w wyrobiskach chodnikowych o małych przekrojach.



Rys.2. Wciągник EWŁ-3/6A

Głównymi zespołami wciągника EWŁ-3/6A (rys. 3) są:

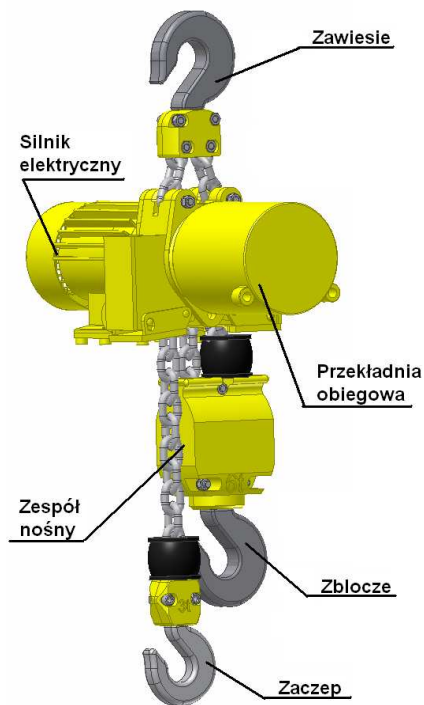
- zespół nośny,
- przekładnia obiegowa,
- zawiesie,
- zblocze,
- zaczep,
- silnik elektryczny wraz z pozostałym wyposażeniem elektrycznym.

Zastosowany we wciągniku układ napędowy składający się z silnika elektrycznego o mocy 1,1 kW i trójstopniowej przekładni obiegowej, o przełożeniu $i = 208,87$, pozwala na podnoszenie na pojedynczym i na podwójnym łańcuchu, ładunków z prędkościami odpowiednio 2 m/min i 1 m/min.

W skład wyposażenia elektrycznego wchodzi aparatura zasilająca usytuowana w pobliżu wciągника oraz aparatura umieszczona na wciągniku, dostarczona przez producenta:

- samohamowny silnik indukcyjny 3-fazowy typu SGK 80-4Hp,
- iskrobezpieczne łączniki typu IŁK-1 do kontroli położenia haka,

- skrzynka rozgałęźna typu 07 do połączeń elektrycznych obwodów iskrobezpiecznych,
- pulpit sterowniczy typu 07-31. lub PuS-2,
- przewody sterownicze i zasilające.



Rys.3. Główne zespoły wciągnika

Sterowanie wciągnikiem EWŁ-3/6A realizowane jest za pomocą trójprzyciskowej kasety sterującej.

Naciśnięcie przycisku powoduje równoczesne odhamowanie silnika i jego uruchomienie. Silnik pracuje tak długo jak naciskany jest przycisk. Zwolnienie przycisku spowoduje wyłączenie silnika i jego samoczynne zahamowanie.

Trzeci przycisk pulpitu sterowniczego to wyłącznik awaryjny wyłączenia urządzenia. Naciśnięcie przycisku powoduje bezzwłoczne wyłączenie wciągnika. Powtórne uruchomienie urządzenia wymaga odblokowania przycisku awaryjnego.

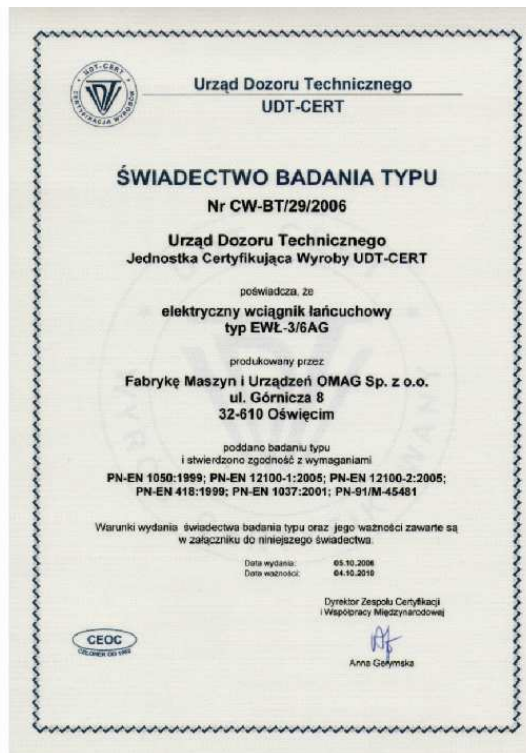


Przycisk awaryjny

Rys.4. Pulpit sterowniczy

Wypożyczenie elektryczne wciągnika posiada zabezpieczenia:

- przed skutkami zwarć, przeciążeń, zaniku fazy i doziemień oraz przed nadmiernym podnoszeniem masy, które są usytuowane w aparaturze zasilającej;



Rys.5. Certyfikat zgodności i świadectwo badania typu

- przed przegrzaniem uzwojeń silnika czujnikami zabudowanymi w uzwojeniach;
- przed pracą w skrajnych położeniach łańcucha wyłącznikami krańcowymi (rys. 6).



Rys.6. Zderzak wciągnika

Produkowany przez FMIU „OMAG” Oświęcim Sp. z.o.o. elektryczny wciągnik łańcuchowy EWŁ-3/6A spełnia wymagania zasadnicze ujęte w dyrektywie maszynowej (Dz.U. Nr 259 z 2005r., poz. 2170) oraz dyrektywie ATEX (Dz.U. Nr 263. poz. 2203). Potwierdzeniem tego jest certyfikat zgodności wydany przez Zakład Badań Atestacyjnych CMG KOMAG oraz świadectwo badania typu wydane przez Jednostkę Certyfikującą Wyroby UDT-CERT Urzędu Dozoru Technicznego (rys. 5).

4. Elektryczny wciągnik samojezdny EWS

W związku z oczekiwaniami i wymaganiami użytkowników, w CMG KOMAG podjęto prace nad opracowaniem, a w FMIU „OMAG” Oświęcim prace nad uruchomieniem produkcji nowych urządzeń poszerzających zakres stosowania i funkcjonalność opisanego wciągnika EWŁ-3/6A.

W wyniku prowadzonych prac skonstruowano elektryczny wciągnik samojezdny EWS, wykonany w trzech odmianach:

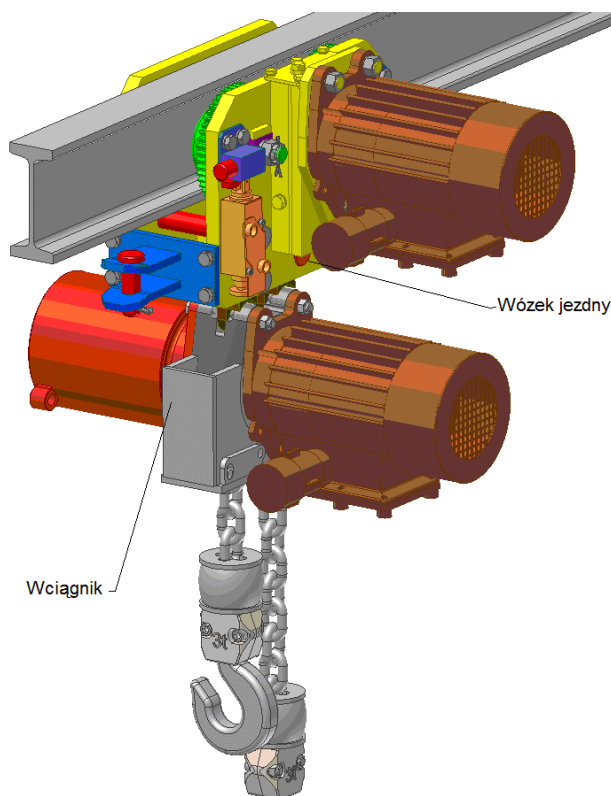
- EWS-3ne – z napędem elektrycznym;
- EWS-3nr – przemieszczanego ręcznie;
- EWS 3+3ne – z napędem elektrycznym, pracujący w układzie „tandem”.

Pierwszą odmianą bazującą na przebadanym i sprawdzonym elektrycznym wciągniku łańcuchowym EWŁ-3/6A jest elektryczny wciągnik samojezdny EWS-3ne (rys. 7).

W skład wciągnika EWS-3ne (rys. 8) wchodzi wózek jezdny napędzany silnikiem elektrycznym wraz z podwieszonym pod nim wciągnikiem. Wciągnik przystosowany jest do przemieszczania ładunków o masie nie przekraczającej 3000 kg. Urządzenie porusza się po profilu szynowym I 155 z prędkością około 15 m/min. W celu unifikacji zastosowanych elementów urządzenie wyposażono w taki sam silnik elektryczny jaki występuje we wciągniku.

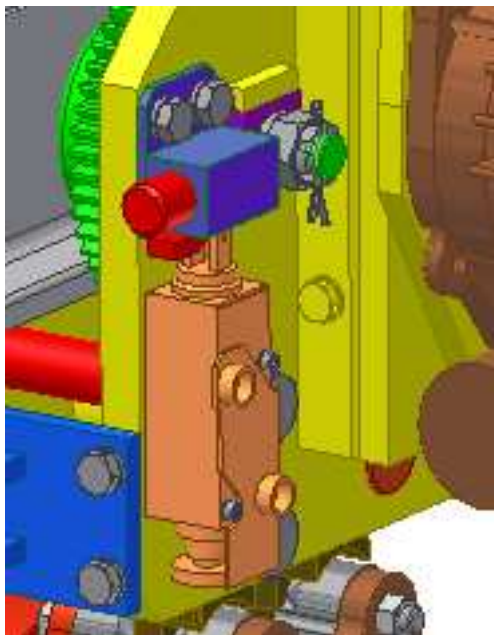


Rys. 7. Elektryczny wciągnik samojezdny EWS-3ne



Rys.8. Główne zespoły elektrycznego wciągnika samojezdnego EWS-3ne

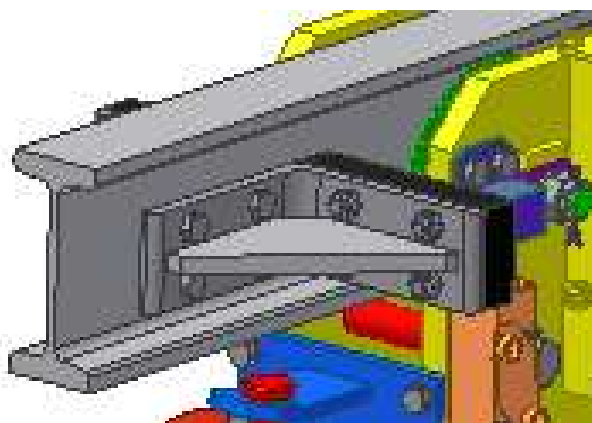
a)



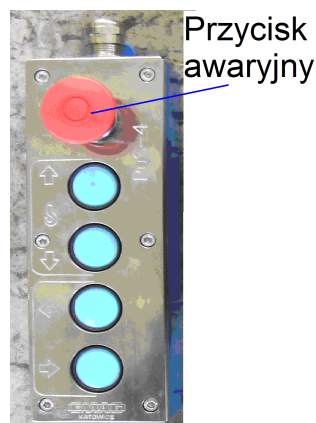
b)



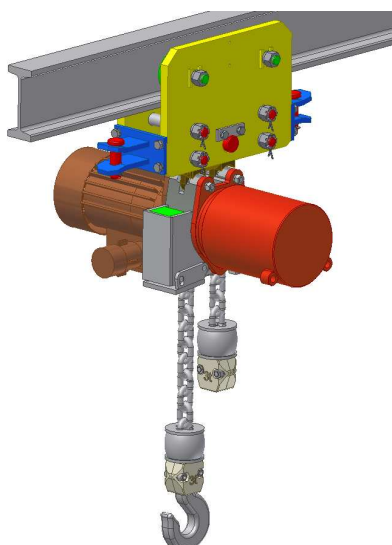
Rys.9. Wyłącznik krańcowy: a) model 3D, b) obiekt rzeczywisty



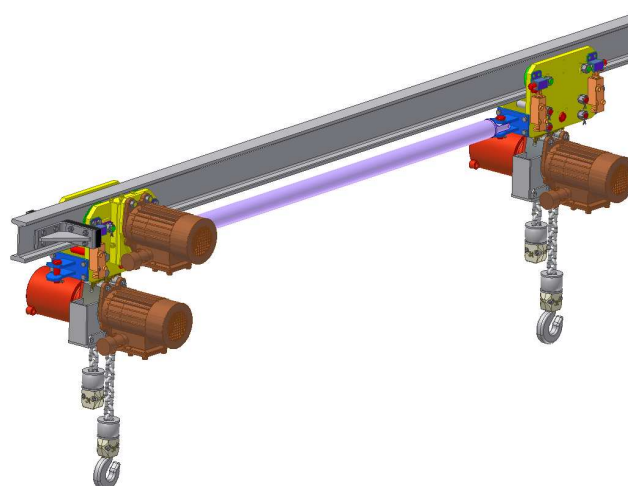
Rys.10. Widok odbojnicy



Rys.11. Pulpit sterowniczy wciągnika EWS-3ne



Rys.12. Model elektrycznego wciągnika samojezdnego EWS-3nr



Rys.13. Model elektrycznego wciągnika samojezdnego EWS 3+3ne

Wciągnik zasilany jest napięciem 3x500 V za pośrednictwem dwudźwigniowego rewersyjnego wyłącznika stycznikowego typu WSB. Elementy wyposażenia elektrycznego, za wyjątkiem pulpitu sterowniczego, są analogiczne jak we wciągniku EWŁ-3/6A.

Elektryczny wciągnik samojezdny EWS-3ne wyposażony został w wyłączniki krańcowe (rys. 9), współpracujące z odbojnicami (rys. 10) zabudowanymi na końcach toru jezdnego.

Za pomocą pulpitu sterowniczego (rys. 11) wyposażonego w dwa przyciski sterujące ruchem podnoszenia i opuszczania ładunku oraz w dwa przyciski sterujące jazdą urządzenia w lewo i prawo oraz przycisk awaryjny, odbywa się sterowanie wciągnikiem.

Drugą odmianą wciągnika samojezdnego EWS przeznaczanego do prac montażowo-dźwigowych, jest elektryczny wciągnik samojezdny EWS-3nr (rys. 12).

Urządzenie zbudowane jest z ręcznie przemieszczanego wózka jezdnego, poruszającego się po torze jezdny I 155 oraz podwieszono do niego elektryczny wciągnik łańcuchowy EWŁ-3/6A. Wciągnik może być wykorzystywany do prac montażowych wykonywanych na krótkich odcinkach toru jezdnego.

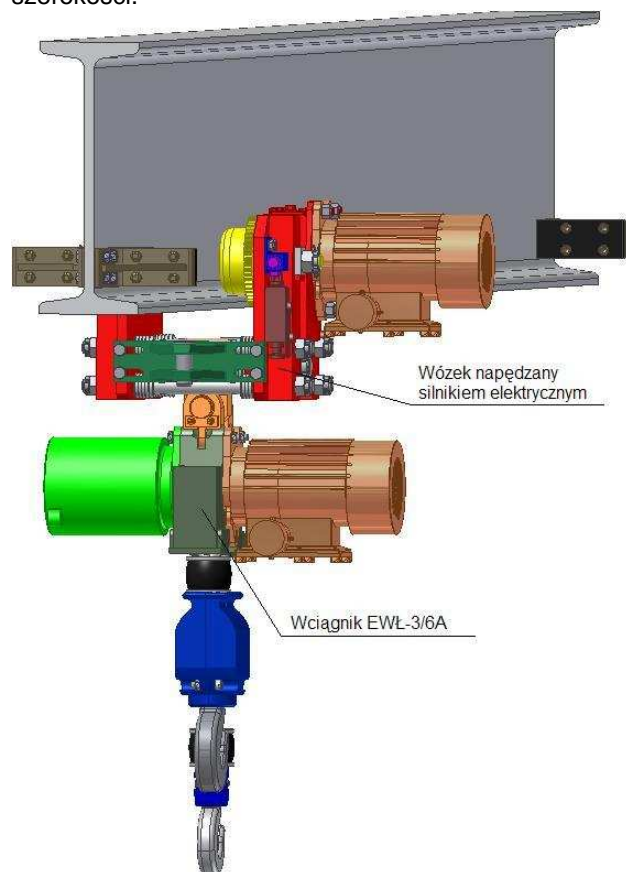
Za pomocą wciągnika EWŁ-3/6A możliwe jest przemieszczanie ładunków o masie do 3000kg. Wciągnik zasilany jest napięciem 3x500V za pośrednictwem rewersyjnego wyłącznika stycznikowego typu WSA. Pozostałe elementy wyposażenia elektrycznego są identyczne jak we wciągniku EWŁ-3/6A.

Kolejną odmianą wciągnika samojezdnego EWS wchodzącego w skład oferty elektrycznych wciągników łańcuchowych produkowanych przez „OMAG” Oświęcim Sp. z o.o., jest urządzenie łączące w sobie opisywane wcześniej wciągniki EWS-3ne i EWS-3nr, o symbolu literowym EWS 3+3ne (rys. 13). W proponowanym rozwiązaniu, wciągnik EWS-3ne i EWS-3nr połączono za pomocą ciągu.

Główną zaletą takiego rozwiązania jest możliwość przemieszczania ładunków podwieszonych jednocześnie na obu hakach o łącznej masie do 6000 kg. Sterowanie zestawem odbywa się z jednego pulpitu sterowniczego.

Najnowszą propozycją CMG KOMAG i FMiU „OMAG” Oświęcim Sp. z o.o., urządzenia w zakresie małej mechanizacji jest samojezdny wciągnik łańcuchowy elektryczny SWŁE-3/6, który może być stosowany w komorach montażowych oraz miejscach wyposażonych w tor jezdny o profilu dwuteowym wielkości od I 260 do I 500. Dzięki temu urządzeniu możliwe jest przemieszczanie ładunków o masie 3000 kg lub 6000 kg, na wciągniku łańcuchowym EWŁ-3/6A

podwieszonym do wózka jezdnego o regulowanej szerokości.



Rys.14. Model samojezdnego wciągnika łańcuchowego elektrycznego SWŁE-3/6

5. Podsumowanie

Opracowane w CMG KOMAG i produkowane przez FMiU OMAG Oświęcim Sp. z o.o. elektryczne wciągniki łańcuchowe, charakteryzują się cichą i równomierną pracą, a zastosowane w nich zabezpieczenia gwarantują bezpieczną i niezawodną eksploatację. W porównaniu z wciągnikami pneumatycznymi i hydraulicznymi, prezentowane elektryczne wciągniki uwzględniają wymagania ergonomii i polepszają komfort pracy. Wciągniki produkowane w FMiU OMAG Oświęcim Sp. z o.o., przeznaczone są do wspomaganie prac montażowo-dźwigowych w podziemnych wyrobiskach górniczych o stopniu niebezpieczeństwa „a”, „b” i „c” wybuchu metanu oraz klasy „A” i „B” zagrożenia wybuchem pyłu węglowego, jak również mogą być stosowane w przemyśle chemicznym, zwłaszcza w pomieszczeniach o wysokim ryzyku wystąpienia wybuchu. Tak szeroki wachlarz możliwości stosowania urządzenia uzyskano dzięki zastosowaniu wyposażenia elektrycznego spełniającego wymagania zawarte w dyrektywie „ATEX”.

Elektryczny wciągnik łańcuchowy EWŁ-3/6A, który charakteryzuje się stosunkowo niewielkimi gabarytami, w porównaniu z jego możliwościami dźwigowymi,

powoduje że jest to, jedno z najnowocześniejszych urządzeń tego typu stosowane w przemyśle.

Przebadana i sprawdzona konstrukcja elektrycznego wciągnika łańcuchowego EWŁ-3/6A, poparta pozytywną oceną Urzędu Dozoru Technicznego i Jednostki Certyfikującej, przyczyniła się do powstania kolejnych urządzeń dźwignicowych poszerzających i tak bogatą ofertę wyrobów oferowanych przez Fabrykę Maszyn i Urządzeń „OMAG” Oświęcim Sp. z o.o..

Literatura

1. „Dyrektywa Maszynowa” nr 98/37/WE, wprowadzona do ustawodawstwa polskiego Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 20 grudnia 2005r., dotycząca zasadniczych wymagań dla maszyn i elementów bezpieczeństwa (Dz.U. Nr 259 poz. 2170).
2. PN-EN 1037:2001 Maszyny – Bezpieczeństwo – Zapobieganie niespodziewanemu uruchomieniu.
3. PN-EN 1050:1999 Maszyny – Bezpieczeństwo – Zasady oceny ryzyka.
4. PN-EN 418:1999 Maszyny – Bezpieczeństwo – Wyposażenie zatrzymywania awaryjnego; aspekty funkcjonalne – Zasady projektowania.
5. PN-EN ISO 12100-1:2005 Bezpieczeństwo maszyn. Pojęcia podstawowe, ogólne zasady projektowania. Część 1: Podstawowa terminologia, metodyka.
6. PN-EN ISO 12100-2:2005 Bezpieczeństwo maszyn. Pojęcia podstawowe, ogólne zasady projektowania. Część 2: Zasady techniczne.
7. PN-91/M-45481 Dźwignice – Wciągniki elektryczne – Wymagania i badania.
8. PN-86/M-45005 Dźwignice – Wciągniki elektryczne – Terminologia.
9. PN-83/M-45482 Technika bezpieczeństwa – Dźwignice – Paszport wciągników elektrycznych.
10. PN-G-50000:2002 Ochrona pracy w górnictwie – Maszyny górnicze – Ogólne wymagania bezpieczeństwa i ergonomii.
11. PN-G-46730:2002 Wciągniki górnicze łańcuchowe.
12. „Dyrektywa ATEX” nr 94/9/WE z dnia 23 marca 1994 r. wdrożona Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 22 grudnia 2005r. (Dz.U. Nr 263 Poz. 2203).
13. PN-EN 50014:2004 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem – Wymagania ogólne.
14. PN-EN 50018:2005 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem – Wykonanie iskrobezpieczne

Artykuł wpłynął do redakcji w grudniu 2007 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Adam Klich

Scenariusz rozwoju technologii wydobycia węgla w warunkach utrudnień górniczych

Streszczenie

W artykule przedstawiono scenariusz rozwoju technologii wydobycia węgla w warunkach utrudnień górniczych, tj. wydobycie z pokładów zagrożonych metanem, wydobycie z pokładów zagrożonych wstrząsami górotworu, wybieranie pokładów w filarach ochronnych, wybieranie cienkich pokładów.

Summary

Scenario of development of coal mining technology in conditions of mining difficulties, i.e. mining from seams threatened by methane explosion, mining from seams threatened by rock bursts, mining in protective pillars and mining of thin seams, was presented in the paper.

1. Wprowadzenie

Technika górnicza rozwija się w ostatnich latach w bardzo szybkim tempie. Coraz częściej zaskakiwani jesteśmy wynikami produkcyjnymi, które jeszcze przed kilku czy kilkunastu laty wydawały się nieprawdopodobne. Wyniki takie obserwuje się w coraz większej liczbie krajów górniczych, w tym także w Polsce. Wprawdzie wyniki produkcyjne naszych kopalń odbiegają znacznie od wyników szczytowych uzyskiwanych w USA czy Australii, to jednak w skali europejskiej są one znaczące.

W poprzednich latach w jednej z polskich kopalń uzyskiwaliśmy wydobycie w wysokości około 20 tys.t/d przez dłuższy okres czasu, a w kilku innych ścianach wydobycie dobowe powyżej 10 tys.t/d. W październiku roku 2006 maksymalne wydobycie ze ściany wyniosło w kopalniach Górnego Śląska 7 tys.t/d. Średnio w skali całego przemysłu węglowego uzyskujemy obecnie poniżej 3 tys.t/d z przodka ścianowego. Zachodzi pytanie, czy jest to już kres możliwości obecnie stosowanych systemów technologicznych, czy też wystąpiły jakieś czynniki ograniczające ich możliwości produkcyjne. To pytanie będzie przedmiotem dalszej analizy.

Obserwowany w dziesięciolecie 1995-2005 dynamiczny wzrost koncentracji wydobycia węgla z przodka ścianowego w polskich kopalniach, związany był ze stałym unowocześnianiem procesu technologicznego, tak w aspekcie stosowanych maszyn i urządzeń, jak i systemu organizacyjno-ruchowego. Niezbędnym warunkiem wzrostu koncentracji wydobycia z przodka ścianowego był rozwój stosowanych maszyn i urządzeń, tak pod względem zainstalowanej w nich mocy, jak i dochodzenia do coraz skuteczniejszego ich wykorzystania w sensie indywidualnym, jak i zespołu technologicznego.

Perspektywy rozwoju wyposażenia przodka, zarówno ścianowego, jak i korytarzowego należy zatem wiązać

z charakterem bazy zasobowej, poziomem i zakresem występowania zagrożeń naturalnych oraz ograniczeń wynikających z konieczności ochrony powierzchni.

2. Charakterystyka górnicza kopalń w Polsce

Wielkość wydobycia ze ścian ulegała stałemu wzrostowi, co ujawniało się jednoznacznie w zmniejszającym się udziale ścian o wydobyciu poniżej 2 tys. t/d, a wzroście udziału ścian o wydobyciu powyżej 3 tys.t/d. Stan ten przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Lp.	Wielkość wydobycia t/d	1995 %	2000 %	2004 %	2006 %
1	do 2000	77	49	38	31
2	2001-3000	15	26	24	28
3	powyżej 3000	8	25	38	41
4	Liczba ścian czynnych (szt.)	414	185	143	126
5	Wydobycie ze ściany	1470	2572	2783	2833

W roku 1995 średnie wydobycie ze ściany wynosiło 1470 t/d, a w roku 2005 osiągnęło już 2768 t/d, co daje prawie dwukrotny wzrost w okresie 10 lat. O ile na przestrzeni lat 1995-2000 wydobycie wzrosło o 75%, to w okresie 2000-2005 wzrosło już tylko o 7,6%, a w ostatnich kilku latach dynamika spadła do 0. Stan ten w funkcji wielkości wydobycia ze ściany ilustruje tabela 1. Ogólne tendencje wzrostu wynikające z analizy tej tabeli są zauważalne jednakże budzi wielkie zaniepokojenie fakt, że w ruchu jest jeszcze 31% ścian o wydobyciu poniżej 2 tys.t/d, chociaż wcale nie wybieramy aktualnie pokładów cienkich, a także mimo zdecydowanej poprawy parametrów stosowanych maszyn.

Dla ilustracji podam, że w roku 1995 tylko 12% kombajnów miało moc powyżej 500 kW, a w roku 2006 udział ten przekroczył 50%. Już w roku 1996, A.Lisowski

określił na podstawie badań wielkość graniczną wydobycia ze ściany w wysokości 2000 t jako jeszcze akceptowalną. Mimo upływu 10 lat daleko jeszcze do osiągnięcia tego poziomu.

Szczegółową charakterystykę wielkości wydobycia z przodków ścianowych w funkcji grubości pokładów przedstawia tabela 2.

Tabela 2

Lp.	Grubość pokładu m	Liczba ścian	Do 2000 t/d	2000-3000 t/d	3000-4000 t/d	> 4000 t/d	Razem	Wydobycie ze ściany t/d
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	< 1,5	szt.	3	-	-	--	3	1221
2	1,51-2,0	"	13	6	7	1	27	2266
3	2,01-3,5	"	18	20	21	9	68	3014
3	3,51-4,5	"	4	2	3	3	12	3100
5	> 4,5	"	3	6	4	3	16	3125
Razem	Liczba ścian	"	41	34	35	16	126	2833

Z tabeli widać, że najwięcej ścian bo blisko 75% ulokowanych jest w pokładach o grubości 1,5-3,5 m, co świadczy o polityce kopalń, lokujących wydobycie w przodkach, gdzie mechanizacja jest najlepiej rozwinięta a wyniki produkcyjne potencjalnie są najwyższe, które nie są jednak w pełni wykorzystane, o czym świadczą najlepiej wyniki koncentracji wydobycia zamieszczone w kolumnie 8. W pokładach o grubości do 1,5 m pracowało 2% przodków ścianowych, a powyżej 3,5 m tylko 23%. Dane te świadczą o nierównomiernym rozkładzie wydobycia, a co za tym idzie nierównomiernym szczypaniu zasobów. Z tabeli 2 widać również, że w ścianach o wysokości powyżej 2,0 m uzyskuje się wydobycie oscylujące wokół 3 tys.t/d.

Pokłady cienkie do 1,5 m są prawie całkowicie nieeksploatowane. Pomimo stosunkowo wysokiego udziału w bazie zasobowej, wynoszącej aż 16,5%, to ze względu na uzyskiwanie stosunkowo niskiego wydobycia z przodka brak zainteresowania tymi zasobami. Stanowczo zbyt mało wykorzystywana jest baza zasobowa z przedziału 1,5-2,0 m. Również z tych przedziałów wysokości ścian uzyskuje się zdecydowanie za małe wydobycie. Stan ten wymaga intensywnego rozwiązywania problemów ograniczających możliwy wzrost koncentracji produkcji.

Z tabeli 2 widać również, że tolerujemy jeszcze 31% ścian o wydobyciu poniżej 2000 t/d. Średnie wydobycie z tych ścian wynosi nieco ponad 1500 t/d. Jest to problem, który wymaga natychmiastowego podjęcia przez kierownictwa kopalń. Nie ma logicznego usprawiedliwienia na pozostawienie go bez rozwiązania.

Wprawdzie wpływ na poziom wydobycia z przodków ścianowych, oczywiście poza pokładami cieniokami, gdzie praktycznie nie ma produkcji, ma natężające się wydobycie z pokładów zagrożonych tąpnięciami i meta-

nem co świadczyć może o wyczerpaniu możliwości produkcyjnych dotychczasowych rozwiązań. Wywołuje to konieczność nowego spojrzenia na rozwój technologii, zwłaszcza z pokładów z różnego rodzaju zagrożeniami i ograniczeniami. Z technicznego punktu widzenia przodki ścianowe prowadzone w przedziale wysokości 2,0-3,5 m oraz 3,5-4,5 m posiadają wyposażenie, umożliwiające uzyskiwanie wysokiego wydobycia, przekraczającego średnie wielkości nawet trzykrotnie, a szczytowe osiągnięcia są jeszcze wyższe. Stąd można uznać dotychczasowy kierunek rozwojowy za słuszny jednakże bez rozwiązania technologii wydobycia w przodkach z zagrożeniami naturalnymi dalszy postęp w realizacji programu koncentracji produkcji będzie niemożliwy.

Przedstawiona analiza pokazuje, że kopalnie lokują swoje wydobycie w warunkach gwarantujących najkorzystniejszą efektywność produkcji, co z punktu widzenia aktualnych korzyści nie jest sprawą naganną. Gorzej się sprawa przedstawia, gdy analizujemy ją w świetle aktualnie istniejącej bazy zasobowej. Jak wynika z tej analizy nawet kopalnie, które posiadają znaczną część zasobów w pokładach cienkich nie prowadzą w nich eksploatacji. Brak jest w naszym przemyśle odpowiednich technologii eksploatacji, jak również odpowiednich maszyn i urządzeń. Istniejące dwie technologie to jest kombajnowa i strugowa, pomimo stosunkowo dużych doświadczeń przemysłowych uzyskanych w poprzednich latach w naszych kopalniach nie gwarantują odpowiednio wysokiego wydobycia. Również istniejące doświadczenia zagraniczne nie stwarzały przełomu w tym zakresie. Górnictwo światowe odchodziło w ostatnich latach od eksploatacji cienkich pokładów. Dopiero teraz nastąpiło wyraźne zainteresowanie tym problemem, co wiąże się głównie z rozwojem przemysłu chińskiego i rosyjskiego. Spowodowało to intensywny rozwój, zwłaszcza techniki strugowej u producentów tego typu urządzeń. W górnictwie światowym nastąpił przełom w zainteresowaniu eksploatacją cienkich pokładów.

Poza trudnościami wynikającymi z grubości pokładów istnieją jeszcze znaczące utrudnienia innych rodzajów. Analizując charakterystykę zasobów można wyodrębnić obszary, w których dotychczas stosowane technologie nie gwarantują skutecznej, bezpiecznej i efektywnej eksploatacji.

Do obszarów tych zaliczyć należy:

- 16% zasobów – zalegających w pokładach o II i III stopniu zagrożenia tąpnięciami,
- 25% zasobów – zalegających w pokładach o III i IV kategorii zagrożenia metanowego,
- 25% zasobów – zalegających w różnego rodzaju filarach ochronnych,
- 29% zasobów zalegających w pokładach o temperaturze górotworu > 28°.

Stopień utrudnień wynikający z zagrożenia tapaniami oraz metanem został wyznaczony na podstawie ankiet, opracowanych w ramach projektu „Foresight” dla 76 przodków ścianowych, to jest dla 60% analizowanych przodków, stanowiąc grupę reprezentatywną.

Charakterystykę tych ścian przedstawia tabela 3. Przedstawiono w niej liczbę ścian w funkcji grubości pokładu i wielkości wydobywania dobowego.

Tabela 3

Lp.	Grubość pokładu m	Liczba ścian	< 2 tys. t/d	2-3 tys. t/d	3-4 tys. t/d	> 4 tys. t/d	Razem
1	< 1,5	szt.	2	-	-	-	2
2.	1,51-2,0	szt.	7	3	5	1	16
3.	2,01-3,5	szt.	10	12	15	11	48
4.	3,51-4,5	szt.	0	1	2	2	5
5.	> 4,5	szt.	1	4	0	0	5
Razem		szt.	20	20	22	14	76
	w tym III stopień zagrożenia tapaniami	szt.	14	6	2	-	22

Z tabeli widać, podobnie jak dla całego zbioru (co uwidoczniło w tabeli 2), że aż 48 ścian zlokalizowanych jest w przedziale wysokości 2-3,5 m, a drugim co do liczności jest przedział 1,5-2,0 m, gdzie jest 16 ścian. Niestety w tych przedziałach jest łącznie 17 ścian o wydobywaniu mniejszym niż 2 tys.t/d. Warto dodać, że w grupie tej jest aż 14 ścian w III stopniu zagrożenia tapaniami, a w następnej grupie 6. Ten fakt może usprawiedliwiać niskie wydobywanie. Już z tego rozkładu ścian można wnioskować, że w tych wynikach widać wpływ utrudnień górniczych.

Czynniki utrudniające uzyskiwanie wyższego wydobywania przedstawiono w tabeli 4, w której zamieszczono informacje dotyczące kategorii zagrożenia lub ograniczenia, udział procentowy zasobów oraz przeliczone zasoby w mln ton. Widać z niej wyraźnie obszary przedstawione ilościowo, stanowiące ograniczenia w stosowaniu istniejących technik mechanizacyjnych.

Tabela 4

Lp.	Zagrożenie lub ograniczenie	Stopień, kategoria	Zasoby, udział %	Zasoby mln ton
1	cienne pokłady	-	16,5	600
2	tapania	II i III	16	640
3	metan	III i IV kat.	25	1000
4	temperatura	> 28°	29	1160
5	filary ochronne	-	25	1000

Już z rozkładu zasobów widać, że niektóre zagrożenia i utrudnienia nakładają się, a więc mogą występować łącznie. Jak wykazały dalsze analizy wpływ ten na wyniki produkcyjne jest wyliczalny.

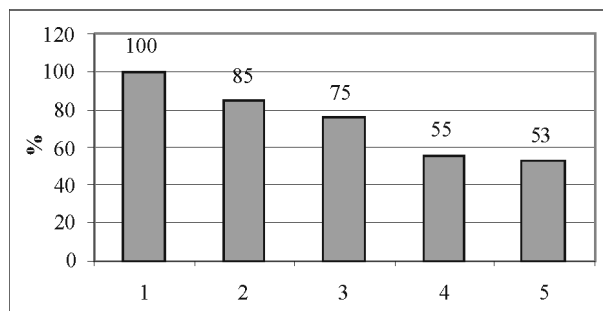
Wyszczególnione warunki naturalne rzutować muszą i rzutują na efektywność produkcji. To są także główne przyczyny odstawiania pod tym względem od

głównego nurtu światowych osiągnięć produkcyjnych. Obecnie tylko kilka kopalń w naszym przemyśle wydobywczym pracuje w warunkach bez wymienionych zagrożeń i skrępowań. Kopalnie te uzyskują najlepsze wyniki produkcyjne i ekonomiczne. Stan ten przedstawia tabela 5. Przedstawione w tabeli dane wyliczono z ankiety, przeprowadzonej w ramach projektu „Foresight...”, a obejmującej 76 ścian. W tabeli 5 zestawiono informacje dotyczące zagrożenia tapaniami i metanem w różnych wzajemnych konfiguracjach.

Tabela 5

Lp.	Typ zagrożenia		Wydobycie ze ściany t/dobę	Wiersz bieżący do pierwszego z kol. 3 %	Udział wydobywania %
	1	2			
	Metan	Tapania			
1	bez	bez	4007	100	25,8
2	III, IV	bez	3427	85	24,0
3	III, IV	+	3021	75	48,0
4	III, IV	III	2235	55	12,3
5	+	III	2116	53	21,4

Procentowe porównanie wyników produkcyjnych uzyskiwanych w różnych warunkach zagrożeń przedstawia rysunek 1. Za 100% przyjęto wydobywanie z przodków bez zagrożeń gazowych i tapaniowych. W wierszu 3, kol. 2 znak + oznacza, że są tam także ściany innej kategorii niż analizowane. To samo dotyczy kol. 1 w wierszu 5. Dane z kol. 4 przedstawiono na wykresie na rysunku 1.



Rys.1. Poziom wydobywania z przodków ścianowych z różnym udziałem zagrożenia

Z wykresu można odczytać, że wydobywanie ze ścian (kol. 3) prowadzonych w III i IV kategorii zagrożenia metanem, a bez zagrożenia tapaniami stanowi 85% wydobywania ze ścian bez zagrożeń, prowadzonych w III lub IV kategorii zagrożenia metanem, jako czynnikiem wiodącym, równocześnie z zagrożeniem tapaniami stanowi 75%, prowadzonych w III stopniu zagrożenia tapaniami, jako czynnikiem wiodącym, równocześnie z III i IV kategorii zagrożeniem metanem stanowi 55%, zaś w prowadzonych w III stopniu zagrożenia tapaniami stanowi 53%.

Dane zawarte na rysunku wskazują jednoznacznie, że prowadzenie ścian w przodkach zagrożonych tapaniami czy metanem, czy wreszcie obydwoma

zagrożeniami łącznie, powoduje wydobywanie wyraźnie niższe niż w ścianach niezagrożonych. Wyraźnie gorsze wyniki produkcyjne uzyskuje się w ścianach z zagrożeniem III stopnia tapaniami. Analizując przedstawione dane można wysnuć wniosek, że w najwyższym stopniu na wielkość wydobywania ze ściany ma zagrożenie tapaniami. Prowadzenie ścian w pokładach zagrożonych tylko metanem nawet w III i IV kategorii obniża wydobywanie tylko o 15%.

Oddzielnym problemem jest wybieranie filarów ochronnych. Ich udział w bazie zasobowej jest znaczny, bo wynosi aż 25%, co stanowi aż 1 mld ton. W wielu przypadkach warunkiem wybierania filarów jest stosowanie podsadzki. W tym zakresie mamy poważne zaniedbania. Ponieważ w bezpiecznych warunkach naturalnych, to jest bez wyszczególnionych zagrożeń i skrępowań, poziom rozwoju techniki i technologii gwarantuje dalszy rozwój koncentracji wydobywania ze ściany, cały wysiłek musi zostać skierowany na rozwój technologii do warunków stwarzających bariery dla dalszego wzrostu efektywnego i bezpiecznego wydobywania węgla. Zmniejszająca się baza zasobowa dyktuje, że należy jak najszybciej zająć się rozwiązywaniem problemów technicznych i technologicznych, które pozwolą na wejście z eksploatacją do tych trudnych pokładów.

Na podstawie przeprowadzonej analizy można wskazać kierunki rozwoju technologii, przeznaczonych do tych specyficznych warunków.

3. Kierunki rozwoju technologicznego przodków eksploatacyjnych

Ponieważ w pokładach zalegających w warunkach skrępowanych lub charakteryzujących się zagrożeniami naturalnymi osiągnięcia produkcyjne są zdecydowanie niższe od średnich, głównie w tym obszarze należy prowadzić prace naukowe i rozwojowe, umożliwiające skuteczną, bezpieczną i efektywną eksploatację, stojących do dyspozycji zasobów węgla. Jest to konieczność, bo gdybyśmy zrezygnowali z zasobów w pokładach cienkich oraz w filarach ochronnych, jak to dzieje się obecnie nasze zasoby zmniejszyłyby się o dalsze 30-40%.

Kolejny czynnik wpływający w znaczącym stopniu na możliwości produkcyjne, a wynikający ze struktury złóż i warunków podanych poprzednio, są wybiegi ścian. Wybiegi: do 500 m posiada 33% ścian, 500-1000 m posiada 41% ścian, 1000-1500 m posiada 22% ścian, zaś powyżej 1500 m posiada już tylko 4% ścian.

Podane dane dotyczące wybiegów odnoszą się do stanu na koniec roku 2006, a więc nie podają stanu początkowego, a jedynie stan zastany. Tym nie mniej

ujmując problem statystycznie można przyjąć, że około 75% ścian ma wybiegi poniżej 1000 m, w tym 33% poniżej 500 m, co niestety prowadzić musi do częstych relokacji kompletów ścianowych.

Ze względu na ograniczoną bazę udostępnionych zasobów, przed przemysłem stoi zadanie takiego ukształtowania dalszej ekonomicznej produkcji węgla, ażeby wykorzystywać zasoby zalegające także w niekorzystnych warunkach naturalnych, a zatem prowadzić w miarę możliwości zrównoważone zczyrywanie zasobów, włączając w ten proces pokłady, powodujące utrudnienie w bezpiecznej eksploatacji.

3.1. Scenariusz wybierania cienkich pokładów

Unikanie przez przemysł eksploatacji cienkich pokładów wynika z niskiej efektywności tej produkcji. Rozwój urządzeń do eksploatacji cienkich pokładów nie nadąża za potrzebami. Według dotychczasowych doświadczeń stosowane mogą być technologie strugowe i kombajnowe.

Uzyskanie wysokiej koncentracji produkcji w pokładach cienkich stwarza nieporównanie większe problemy techniczne aniżeli w pokładach o większej grubości. Warto podkreślić, że uzyskiwanie wysokiej koncentracji w pokładach cienkich wymaga szczególnego rozcięcia złoża. Konieczna jest długość ściany w zakresie od 300 m do 350 m oraz wybiegi o długości około 2000 m. Te wymagania mogą powodować straty w złożu dochodzące nawet do 75%.

Wielkość wydobywania zależy praktycznie od dobowego postępu przodka. Z prędkością posuwu frontu ścianowego wiąże się również problem częstości relokacji kompleksu z jednego przodka do drugiego, po zakończeniu wybierania wybiegu, co wymaga szczególnego rozwiązania minimalizującego czas relokacji.

Często podaje się informacje, że w USA czy w Niemczech prowadzi się wybieranie pokładów o grubości poniżej 1,5 m ścianami o tej samej wysokości, tymczasem w większości przypadków wysokość urabiania nie jest prawie nigdzie mniejsza niż 1,5 m. Pociąga to za sobą konieczność przybierki stropu. Stosunek grubości pokładu do wysokości przodka ścianowego pokładu waha się od 0,7 do 0,8.

Analizując czynniki techniczne eksploatacji cienkich pokładów nie można pominąć problemu przewietrzania przodka ścianowego. Przekrój poprzeczny wyrobiska zmniejszony jest poprzez zastosowane w nim maszyny, takie jak obudowa, przenośnik, kombajn lub strug. Rzuca to na rzeczywistą ilość przepływającego powietrza. Potrzebna ilość zależy od takich czynników, jak wielkość wydobywania czy metanowość pokładu. Szczególnie mocno ogranicza wydobywanie metanowość, gdyż wymaga znacznej ilości powietrza niezbędnej dla odprowadzenia gazu.

Wydajną pracę w pokładach cienkich, ograniczają utrudnienia w poruszaniu się ludzi w przodku ścianowym. Przepisy górnicze dokładnie precyzują, jakie powinny być wymiary ścieżki, która stanowi przejście dla człowieka. Szerokość ta powinna wynosić 700 mm, a wysokość 400 mm. Ale nawet te wymiary nie pozwalają na swobodne poruszanie się. Dlatego na podstawie dotychczasowych doświadczeń przyjmuje się wysokość ściany nie niższą niż 1,4 m a nawet 1,5 m, gdyż przy tej wysokości z punktu widzenia ergonomicznego możliwe jest poruszanie się ludzi.

Technika strugowa przeznaczona była od początku zaistnienia w górnictwie do pokładów cienkich. Technologia ta powstała i była rozwijana i stosowana głównie w przemyśle niemieckim. W niedalekiej jeszcze przeszłości była stosowana także w naszym przemyśle. Przed rokiem 2000 została całkowicie u nas zaniechana. Ostatnio w górnictwie światowym pojawiły się tendencje stosowania ponownie strugów w pokładach cienkich. Dotyczy to głównie takich krajów jak Chiny czy Rosja.

Technika kombajnowa stanowi obecnie najczęściej stosowany sposób urabiania w ścianowych przodkach eksploatacyjnych. Technika kombajnowa w obecnym wydaniu, tj. przy zastosowaniu ruchomych ramion z organami urabiającymi, jest wynikiem kilkudziesięcioletnich doświadczeń. Jak wykazała praktyka górnicza wielu krajów, wydajności kombajnów ścianowych stale rosną także w pokładach cienkich. Jest to zasługą wprowadzania do kopalń kombajnów nowej generacji.

Ze względów ekonomicznych i ergonomicznych wejście do pokładów cienkich będzie wymagało reorientacji naszego działania w kierunku stosowania kompleksów mechanizacyjnych bez udziału ludzi w przodku, co może być osiągnięte przez pełną automatyzację procesu produkcyjnego.

W oparciu o dotychczasowe doświadczenia w wybieraniu pokładów różnej grubości można stwierdzić, że w pokładach cienkich technika kombajnowa jest równouprawniona z techniką strugową i obie technologie należy rozwijać celem uzyskania efektywnej eksploatacji.

Technologie te powinny spełnić następujące wymagania:

- uzyskanie wydobywania ze ściany na poziomie minimum 2500 t/d,
- możliwość uzyskania długości ścian na poziomie 300 m,
- możliwie długie wybiegi ścian na poziomie 2000 m,
- brak w polu eksploatacyjnym jakichkolwiek zaburzeń tektonicznych,
- stosunek grubości pokładu do wysokości ściany nie powinien być niższy niż 0,7,

- ze względów wentylacyjnych unikać eksploatacji w pokładach III i IV kategorii zagrożenia metanowego,
- dobór maszyn i urządzeń ścianowych z ograniczeniem ludzi w przodku a poprzez pełną automatyzację do usunięcia obsługi ze ściany,
- stosowanie do przemieszczeń kompleksów maszynowych ze ściany wyeksploatowanej do nowej wyłącznie sprzętu samojezdnego jak: kolejki spągowe, kolejki podwieszane, wozy oponowe.

3.2. Scenariusz wybierania pokładów w filarach ochronnych

Zasoby uwięzione w filarach ochronnych stanowią około 25% ogółu zasobów. Znaczna ich część może i powinna być wykorzystana. Na zasoby te składają się pokłady zalegające pod obiektami, pod autostradami, w likwidowanych szybach oraz pod obiektami likwidowanych kopalń. Głównym powodem zaniechania wybierania różnego rodzaju filarów jest wzrost kosztów wydobywania, w przypadku konieczności stosowania podszadzki hydraulicznej lub suchej, względnie zastosowania innych niż ścianowe systemy eksploatacji.

W końcu 2006 roku w naszych kopalniach eksploatowane były 4 ściany z podszadzką hydrauliczną, co stanowi udział około 3%, przy udziale w wydobywaniu na podobnym poziomie. Warto nadmienić, że w latach dziewięćdziesiątych udział ten wynosił jeszcze 12%, a w latach siedemdziesiątych nawet 50%. Ponadto eksploatowane są ściany z podszadzką pneumatyczną, których udział również jest na poziomie 3,0%. Średnie wydobywanie ze ściany z podszadzką hydrauliczną wynosi 2327 t/d, zaś z podszadzką pneumatyczną 2496 t/d. A zatem wyniki produkcyjne odbiegają znacząco od średniej uzyskiwanej w przemyśle, zaś koszt wydobywania jest według różnych autorów także o około 30% wyższy od średniej.

Ze względu na duży udział zasobów uwięzionych w filarach w najbliższych latach zajdzie pilna potrzeba wprowadzenia z powrotem na szerszą skalę podszadzki hydraulicznej lub innej, zwłaszcza w kopalniach, przez pola górnicze których przechodzą już lub są projektowane autostrady, a w nich niektóre kopalnie straciłyby nawet ponad 50% swoich operacyjnych zasobów.

Od kilkudziesięciu już lat prowadzone są prace nad mechanizacją procesu technologicznego z podszadzką hydrauliczną poprzez zastosowanie przesuwnych tam podszadzkowych, podążających za przemieszczającą się odbudową zmechanizowaną. Dotychczasowe wyniki tych prac są mało zachęcające i ażeby odzyskać te zasoby należy skoncentrować dalsze badania nad mechanizacją procesu technologicznego oraz urządzeń mechanizujących ten proces. Podszadzka hydrauliczna jest polskim wynalazkiem, pozwalała przez wiele lat

eksploatować pokłady zalegające pod obiektami. Dla przykładu podam, że przy zastosowaniu podsadzki wybrane zostały grube pokłady węgla pod śródmieściem Katowic. Warto byłoby dalej rozwijać tę technologię, przystosowując ją do potrzeb koncentracji produkcji ścianowej.

Pojawiają się także projekty zastosowania w różnego typu filarach ochronnych systemów zabierkowych z wykorzystaniem mechanizacji typu filarowo-komorowego (Room-Pillar), opartej o systemy maszynowe typu CM (Continuous Miner). Systemy Room-Pillar stosowane są na dużą skalę przede wszystkim w USA, Australii, Południowej Afryce. Aktualnie około 45% wydobycia z kopalń podziemnych w USA pochodzi z tych systemów, 15% w Australii oraz około 50% w Południowej Afryce. Systemy te stosowane są także w Indiach. Jednostkowo wprowadzane są w Rosji i w Chinach.

Mimo, że systemy maszynowe dla tej mechanizacji są znane, procesy technologiczne opanowane, to wyniki produkcyjne, w porównaniu z systemami ścianowymi, są słabsze, co wynika z rozproszenia wyrobisk eksploatacyjnych, rozproszenia struktury wydobywczej i rozproszenia struktury organizacyjnej. Odbija się to na koncentracji wydobycia, a co za tym idzie na wydajności liczonej na rdn./d. Cały wysiłek producentów tego typu maszyn oraz ich użytkowników idzie w kierunku zwiększenia efektywności produkcji w stosunku do systemów ścianowych.

Ze względu na występujące często niekorzystne, z punktu widzenia eksploatacji, kształty i wymiary parcel przeznaczonych do wybierania, w pewnych przypadkach celowym będzie zastosowanie krótkich ścian. System ten jest tym łatwiejszy do zastosowania, gdyż mogą być w nim wykorzystane maszyny typu ścianowego, oczywiście o odpowiednich wymiarach i wydajnościach. System ten był już testowany w warunkach przemysłowych w Australii, Południowej Afryce, a także w Polsce.

Zastosowanie innych niż ścianowe systemów eksploatacji wymaga takiego ich dopracowania, ażeby wyniki produkcyjne jednostkowych punktów wybierania, jak i struktur wieloprzodkowych dorównywały efektywnością oraz bezpieczeństwem produkcji systemom ścianowymi, co na tle dotychczasowych doświadczeń światowych nie będzie łatwe. Sytuację ekonomiczną może zmienić sposób liczenia kosztów wydobycia węgla. Wymagałoby to przejścia od liczenia bezpośredniego kosztów produkcji do kosztów obejmujących również koszty ochrony powierzchni.

Nowe technologie wymagają:

- uzyskania ze ściany podsadzkowej wydobycia na poziomie wydobycia ze ścian zawałowych,
- opracowania nowej, skutecznej technologii wybierania ścianami z podsadzką hydrauliczną,

- opracowania zmechanizowanych tam podsadzkowych, współpracujących z odpowiednio skonstruowanymi sekcjami obudowy ścianowej,
- opracowania skutecznej technologii wybierania ścianami z podsadzką suchą,
- opracowania skutecznych i efektywnych ekonomicznie systemów typu zabierkowego,
- opracowania systemów krótko ścianowych do wybierania reszkowych zasobów.

3.3. Scenariusz wydobycia z pokładów zagrożonych wstrząsami górotworu

Polski przemysł węglowy eksploatuje pokłady zagrożone tąpniętami. W pokładach o II i III stopniu zagrożenia zalega ponad 25% zasobów, wymagających stosowania w szerokim zakresie profilaktyki przeciw tąpniowej. Szczególnie niekorzystny jest wzrost wydobycia z pokładów w III stopniu zagrożenia tąpniętami, gdyż obowiązują w nim ostre rygory prowadzenia eksploatacji, ograniczające między innymi postęp przodka ścianowego. Rzutuje to bezpośrednio na wielkości wydobycia ze ściany. Z badań statystycznych wynika, że z przodków ścianowych z trzecim stopniem zagrożenia tąpniętami uzyskuje się mniejsze o 30% wydobycie w stosunku do uzyskiwanej średniej, zaś w stosunku do przodków niezagrażonych tąpniętami o około 50% mniejsze. Z tabeli 3 odczytać można, że 64% ścian prowadzonych w III stopniu zagrożenia tąpniętami miało wydobycie niższe lub równe 2000 t/d, 27% ma wydobycie między 2000 a 3000 t/d, a tylko 9% powyżej 3000 t/d. Ten niekorzystny stan wymaga intensywnego rozwoju technologii wybierania pokładów tąpniących.

W ostatnim dziesięcioleciu liczba wstrząsów górotworu o energii powyżej 10^5 J wzrosła blisko trzykrotnie. Wzrost aktywności sejsmicznej górotworu nie skutkuje na szczęście wzrostem ilości tępnięć, co jest wynikiem stosowania skutecznych metod profilaktycznych obniżających jednak efektywność eksploatacji. W wielkim skrócie i uproszczeniu można to opisać następująco. Stosuje się dwa podstawowe podejścia do profilaktyki przeciw tąpniowej. Oba opierają się o możliwie dokładny monitoring stanu naprężeń w górotworze poprzez pomiar ilości i natężenia wstrząsów górotworu. W oparciu o te informacje prowadzi się wszelkiego rodzaju metody profilaktyczne. Poza odpowiednim planowaniem robót eksploatacyjnych, mających na celu ograniczanie do minimum ognisk generowania wstrząsów, profilaktyka obejmuje działania w kierunku rozładowania naprężeń w górotworze. Najprostszą metodą jest ograniczanie postępu dobowego frontu ścianowego drugą, bardziej pracochłonną i wymagającą odpowiedniego sprzętu jest rozładowanie naprężeń za pomocą dezintegracji górotworu. Dezintegrację uzyskuje się poprzez strzelanie materiałem wybuchowym lub szczelinowanie przy użyciu wysokich ciśnień cieczy.

Prócz naturalnej skłonności górotworu do generowania wstrząsów, związanej z rosnącą głębokością eksploatacji, obserwuje się wpływ koncentracji wydobywania na wzrost wstrząsów górotworu. Może to potwierdzać tezę, że intensywność eksploatacji mierzona wielkością wydobywania z jednego przodka ścianowego, które zależne jest od postępu frontu ścianowego, wywiera na eksploataowanym obszarze określony wpływ na generowanie wstrząsów górotworu. Wzrost aktywności sejsmicznej górotworu nie przełożył się na liczbę tąpnięć. Można zaobserwować także fakt, że w niektórych kopalniach, mimo wysokiego stopnia zagrożenia wstrząsami górotworu, osiąga się wydobywania z przodków ścianowych na poziomie powyżej 2 tys. ton, co świadczy o istnieniu i stosowaniu w nich bezpiecznych technologii wybierania, dostosowanych do lokalnych warunków geomechanicznych. Jednakże takich ścian jest tylko nieco ponad 30%, a tylko w 2 ścianach uzyskano wydobywanie powyżej 3 tys. ton. Świadczy to o możliwościach stosowania rozwiązań, które pozwalają na uzyskiwanie stosunkowo wysokiego wydobywania. Obecnie stosowane metody profilaktyki tąpniowej nie gwarantują wyraźnej poprawy w zakresie wzrostu wydobywania. Są one niewystarczające. Konieczne jest prowadzenie intensywnych badań, mających na celu opracowanie aktywnych metod zwalczania tego zagrożenia w ściśle określonych warunkach naturalnych i górniczych.

Zwiększenie efektywności eksploatacji w pokładach tąpniowych wymagać będzie aktywnej profilaktyki przeciw tąpniowej.

Wprowadzenie nowych technologii profilaktyki przeciw tąpniowej wymaga:

- opracowania wiertnic do wiercenia otworów strzałowych z wyrobisk podziemnych o długości do 50 m o różnych średnicach, w spagu wyrobiska, w ociosach oraz w stropie,
- opracowania odpowiedniego osprzętu do ładowania otworów materiałem wybuchowym,
- opracowania osprzętu do kierunkowego szczelinowania górotworu przy użyciu wysokiego ciśnienia,
- doboru odpowiednich pomp wysokiego ciśnienia do włączania cieczy roboczej,
- opracowania osprzętu oraz aparatury pomiarowej do badania skuteczności dezintegracji górotworu,
- rozwiązania problemu równoległego lub lepiej wyprzedzającego wykonywania zabiegów profilaktycznych.

3.4. Scenariusz wydobywania z pokładów zagrożonych metanem

Drugim poważnym ograniczeniem dla wzrostu koncentracji wydobywania z przodka ścianowego jest metanowość kopalń. Aktualnie około 70% wydobywania pochodzi z pokładów metanowych przy udziale 25%

zasobów w kategorii III i IV zagrożenia metanowego. W roku 2004 spośród 34 kopalń metanowych w 23 kopalniach stosowano odmetanowanie. W pozostałych wystarczały, na razie, metody wentylacyjne. Przez szerokie stosowanie odmetanowania możliwa jest bezpieczna, a zarazem efektywna eksploatacja, ze stosunkowo wysoką koncentracją wydobywania.

Odmetanowanie odbywa się za pomocą otworów drenażowych, zarurowanych a następnie poprzez sieć rurociągów odprowadzany jest na powierzchnię. Do odmetanowania wykorzystywane są także istniejące względnie nowo drążone wyrobiska korytarzowe lub inne.

Warto nadmienić, że na koniec 2006 roku średnie wydobywanie z przodka ścianowego o III i IV kategorii zagrożenia metanowego było o 10% wyższe od średniego, a o 30% wyższe od wydobywania z pokładów tąpniowych. W stosunku do pokładów nie metanowych i nie tąpniowych odnotowano spadek o około 15%. Świadczy to o tym, że zagrożenie metanowe jest w dużej mierze opanowane jednakże wymaga dalszego działania w kierunku umożliwienia zwiększenia wydobywania ze ściany.

W ostatnich latach metanowość naszych kopalń rośnie, co wymaga wzmożonego wysiłku w prowadzeniu skutecznej profilaktyki. Jak wykazuje praktyka nie stanowi to jednak bariery nie do pokonania. Ilustracją tego jest fakt, że w roku 2004 na 14 kopalń, w których osiągnięta została koncentracja wydobywania z przodka ścianowego w skali kopalni powyżej 3000 t/d, 11 to kopalnie metanowe, w tym w 9 prowadzi się odmetanowanie, najbardziej skuteczną metodą walki z tym zagrożeniem. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, iż największe średnie wydobywanie ze ściany powyżej 5000 t/d uzyskano w dwu kopalniach, metanowej o IV kategorii zagrożenia oraz niemetanowej. Przy odpowiedniej technice eksploatacji oraz profilaktyce istnieją możliwości uzyskiwania wysokiego wydobywania z przodka ścianowego.

Ważnym elementem bezpiecznej eksploatacji jest system kontrolno-pomiarowy, który w sposób automatyczny wyłącza urządzenia elektryczne przy przekroczeniu stężenia dopuszczalnego. Nie można pominąć jednak faktu, że przy rozszerzającej się eksploatacji podziemnej warunki pracy w kopalniach metanowych stają się coraz trudniejsze i zdaniem specjalistów z tego zakresu wymagać będą nowych rozwiązań technicznych.

Możliwość utrzymania trendu wzrostowego koncentracji wydobywania wymagać będzie dalszego uintensywnienia odmetanowania w istniejących sieciach oraz budowy nowych. Opłacalność tego procesu, poza wzrostem bezpieczeństwa pracy, może być uzyskana poprzez szersze wykorzystanie odprowadzanego metanu do celów przemysłowych czy komunalnych.

W ostatnich kilku latach wystąpiły niebezpieczne zapalenia metanu, jednak jak wykazały analizy ich powstania, przez stosowanie odpowiedniej techniki oraz dostępnych zabezpieczeń można to zagrożenie ograniczyć. Prowadzone są prace nad eliminacją zapłonu metanu w trakcie urabiania kombajnami. Można także wnioskować, że nie ma bezpośrednich związków między wielkością wydobycia, a zaistniałymi zapłonami metanu.

Przypadki osiągania wysokiej koncentracji wydobycia w kopalniach metanowych świadczą o możliwościach bezpiecznej eksploatacji, przy konieczności stałego doskonalenia bezpiecznych technologii wybierania pokładów w ekstremalnie trudnych warunkach.

Ponieważ bezpieczeństwo w kopalniach z zagrożeniem metanowym polega przede wszystkim na utrzymaniu stężenia metanu poniżej dopuszczalnego progu wymaga to:

- rozwijania technik odmetanowania górotworu w rejonach eksploatacji,
- tworzenia systemów wentylacyjnych odprowadzających skutecznie metan z wyrobisk górniczych,
- opracowania systemów automatycznej regulacji wysokości produkcji w funkcji stężenia metanu w wyrobisku,
- doskonalenia metod ujmowania metanu,
- opracowania nowych technologii wykorzystania metanu z powietrza wentylacyjnego.

4. Podsumowanie

Rozkład zasobów, mający wpływ na stosowane technologie, jest niekorzystny. Aktualnie w większości eksploatowanych pokładów występują albo zagrożenia naturalne albo warunki krępujące rozwój koncentracji wydobycia. Same tylko zagrożenia tąpnięciami oraz metanowe powodują przy stosowaniu w dotychczasowych technologiach zaniżenie wydobycia ze ściany od 15 do 50%. Warto nadmienić, że w analizowanym zbiorze ścian było tylko 18% przodków bez omawianych zagrożeń. Świadczy to o konieczności zwrócenia szczególnej uwagi na opracowanie i wdrożenie nowych technologii, przeznaczonych do warunków zagrożeń.

Podobną sytuację możemy zaobserwować w eksploatacji złoża w warunkach skrępowanych, do których zaliczyć należy przede wszystkim wybieranie filarów ochronnych, wybieranie pokładów w obszarach między uskokami, wybieranie resztek pokładów o ile zachodzi górnicza konieczność ich wybrania.

Osobny wreszcie rozdział stanowi wybieranie cienkich pokładów, którego rozwiązanie ma duże znaczenie gospodarcze. Nie jest to jednak sprawa łatwa, a to ze względu na fakt, że cienkie pokłady zalegają na większych głębokościach, co wiązać się będzie, poza trudnościami wentylacyjnymi, ze wzmożonymi zagrożeniami ze strony górotworu.

Ogólnie można stwierdzić, że w obszarze maszyn do wybierania ścianowego nie natrafimy na trudności ich doboru i eksploatacji. Jednakże dla intensyfikacji ich produktywności będą potrzebne urządzenia wspomagające zarówno w sferze mechanicznej, jak i szeroko pojętej sferze elektronicznej, w zakresie kontrolno-pomiarowym, sterującym, monitorującym, wreszcie automatyzującym, a dla warunków specjalnych doposażenia w maszyny i sprzęt intensyfikujący możliwości produkcyjne przodków ścianowych.

Literatura

1. Sikora W.: Prognoza wyposażenia przodków ścianowych w roku 2010. KOMTECH 2002, Szczyrk. Materiały konferencyjne.
2. Sikora W.: Spadek dynamiki wzrostu wydobycia z przodka ścianowego. KOMTECH 2005, Zakopane. Materiały konferencyjne.
3. Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego rok 2004 i 2005. Wydawnictwo GIG.
4. Meder A., Sikora W.: Perspektywy rozwoju technologii wydobycia węgla w warunkach zagrożeń naturalnych. Polski Kongres Górniczy, Sesja 5, Prace Naukowe GIG, Katowice 2007.
5. Ankiety „Foresight”.

Artykuł wpłynął do redakcji w grudniu 2007 roku.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Adam Klich



UNIA EUROPEJSKA

Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego



UNIA DLA PRZEDSIĘBIORCZYCH
PROGRAM KONKURENCYJNOŚĆ

Projekt pt.: „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego” – WKP_1/1.4.5/2/2006/9/12/590/2006/U

Perspektywy rozwoju technologii i technik mechanizacyjnych do drążenia wyrobisk korytarzowych w warunkach polskich kopalń węgla kamiennego do roku 2020

Streszczenie

W artykule przedstawiono systemy mechanizacyjne stosowane do drążenia wyrobisk korytarzowych w polskich kopalniach węgla kamiennego. W oparciu o nowoczesne systemy mechanizacyjne stosowane w górnictwie światowym, zaproponowano przyszłościowe kierunki rozwoju systemów mechanizacyjnych, które mogą być zastosowane w górnictwie polskim do drążenia wyrobisk korytarzowych udostępniających i przygotowawczych w latach 2008-2020.

Summary

Mechanization systems, which are used for drivage of roadways in Polish collieries, were presented in the paper. Future directions of development of mechanization systems, which can be used in Polish mining industry for drivage of opening and development roadways within 2008-2020, were suggested on the basis of state-of-the-art mechanization systems used in world mining industry.

1. Wstęp

W polskich kopalniach węglowych minerał użyteczny wybierany jest systemem ścianowym. System ten umożliwia uzyskanie dużych wydajności, a tym samym znacznych postępów przodka ścianowego. Wymagany jest jednak, żeby roboty udostępniające i przygotowawcze miały taką wydajność, by nie hamowały postępu ściany czy ścian. Według dostępnych danych z kopalń, łączna długość wyrobisk korytarzowych na 1000 Mg wydobywania kształtuje się (za lata 1996–2005) na poziomie od 5,55 do 6,45 mb. Natomiast biorąc pod uwagę tylko wyrobiska korytarzowe główne, bezpośrednio związane z procesem produkcyjnym, ich długość kształtuje się (za ten sam okres czasu) na poziomie od 4,65 do 5,15 mb na 1000 Mg wydobywania. Dlatego drążenie wyrobisk korytarzowych udostępniających i przygotowawczych powinno być odpowiednio wcześniej zaplanowane i realizowane z wymaganym postępowaniem.

Biorąc pod uwagę prognozy wydobywania węgla kamiennego w latach 2008–2020 na poziomie 100–116 Mln ton, można szacować, że niezbędne do wykonania w skali roku będzie minimum około 500 kilometrów wyrobisk korytarzowych. Natomiast zakładając konieczność wykonania dodatkowych wyrobisk udostępniających dla przygotowania nowych pokładów do eksploatacji, można przypuszczać, że łączna długość wyrobisk korytarzowych może wynieść nawet 650–700 kilometrów.

Drążenie wyrobisk korytarzowych jest zagadnieniem bardzo złożonym z uwagi na występujące znaczne trudności i ograniczenia natury geologiczno-górnicznej, jak i technicznej. Prace w tych wyrobiskach zaliczane są do jednych z najbardziej pracochłonnych. Podstawowymi czynnikami określającymi technikę drążenia wyrobisk chodnikowych są:

- warunki naturalne, w których to wyrobisko jest drążone,
- funkcjonalność wyrobiska w sposobie jego wykorzystania w przyszłości,
- długość, przekrój wyrobiska i sposoby jego zabezpieczenia przed opadem skał oraz zaciskaniem na skutek nacisku górotworu,
- czas, w jakim wyrobisko powinno być wykonane.

Już obecnie wyrobiska korytarzowe, zwłaszcza udostępniające, wykonywane są w skałach o bardzo niekorzystnych parametrach. Dotyczy to przede wszystkim wytrzymałości urabianego ośrodka skalnego na jednoosiowe ścisnienie, która w wielu przypadkach przekracza 120 MPa, bardzo dużej zwięzłości skał oraz jej struktury. Natomiast obecnie coraz częściej natrafia się na skały typu piaskowiec, łupek piaszczysty, które posiadają strukturę zbliżoną do jednorodnej, co powoduje że ich urabianie natrafia na poważne problemy, szczególnie przy zastosowaniu metod mechanicznych. Nie mniej ważnym czynnikiem jest zawartość w skałach minerałów i wtrąceń powodujących szybkie ścieranie i zużywanie się narzędzi urabiających oraz w przypadku wtrąceń, na przykład sferosyderytów, występowanie silnego iskrzenia podczas pracy.

Wpływ na pogarszanie się własności fizykomechanicznych skał ma także coraz większa głębokość zalegania eksploatowanych pokładów węgla. Dodatkowo drążenie wyrobisk na dużych głębokościach wiąże się z podwyższoną temperaturą otaczających skał. Ze względów wentylacyjnych stwarza to konieczność wykonywania wyrobisk o zdecydowanie większych przekrojach poprzecznych. Wzrost tych przekrojów jest także spowodowany czynnikami związanymi z odstawą i transportem. W zdecydowanej większości wyrobiska są wykonywane w kształcie dopasowanym do profilu

obudowy łukowej stalowej. Parametry wyrobisk korytarzowych są w małym stopniu zależne od miąższości eksploatowanych pokładów. Natomiast jest wpływ tych pokładów na kąt nachylenia wyrobisk w przypadku wykonywania wyrobisk przygotowawczych, drażonych najczęściej po spągu pokładu.

Czas wykonania wyrobisk korytarzowych przygotowawczych jest bezpośrednio związany z czasem udostępnienia ściany do eksploatacji lub z postępowaniem ściany, w przypadku kiedy chodnik przyścianowy drażony jest z wyprzedzeniem. Natomiast w przypadku wykonywania wcześniejszej rozciągłości złoża prędkość drażenia musi być skorelowana z planami udostępnienia ściany. Jednak, na podstawie analiz ekonomicznych, można przyjąć, że im większa prędkość drażenia wyrobiska, tym spada jednostkowy koszt wydrażenia jednego metra bieżącego wyrobiska

2. Metody drażenia wyrobisk korytarzowych stosowane w górnictwie polskim

W polskich kopalniach węglowych stosuje się przy drażeniu wyrobisk korytarzowych zasadniczo dwie metody, a mianowicie:

- złożoną metodę urabiania przez wiercenie otworów strzałowych i urabianie materiałem wybuchowym, tzw. tradycyjną metodę urabiania,
- prostą metodę urabiania przez mechaniczne frezowanie z wykorzystaniem skrawania.

Obecnie ponad 90% wyrobisk korytarzowych w polskim górnictwie węglowym jest urabianych z wykorzystaniem technologii mechanicznych, głównie poprzez frezowanie. W mechanicznym systemie urabiania skał podstawową maszyną jest kombajn chodnikowy, ramionowy, który jest zespołową maszyną roboczą, wykonującą równocześnie kilka różnych prac. Są to przede wszystkim kombajny klasy lekkiej (około 70% ogółu), klasy średniej oraz sporadycznie ciężkiej. Jeden z najpopularniejszych kombajnów chodnikowych, model AM-50 przedstawiono na rysunku 1. W wąskich wyrobiskach górniczych kombajny chodnikowe wykonują równocześnie trzy czynności: urabianie, ładowanie i odstawę urobionego materiału poza kombajn na dalsze środki transportu. Czynnością niezależną w procesie urabiania, aczkolwiek bardzo istotną, jest wykonywanie obudowy wyrobiska. Często wykorzystywane jest do tych prac jako urządzenie pomocnicze ramię z organem urabiającym, wyposażane dodatkowo w podest roboczy. W przypadku występowania w przekroju poprzecznym przodka twardych formacji skalnych, urabianie mechaniczne przodków wyrobisk korytarzowych z wykorzystaniem kombajnów chodnikowych ramionowych połączone jest ze strzelaniem rozluźwiającym MW. W przypadku wystąpienia dogodnych warunków

stropowych, zabudowa wyrobiska może być kotwowa lub mieszana, z wykorzystaniem obudowy kotwowej. Przyspiesza to i zmniejsza koszty operacji zabudowy wyrobiska.



Rys.1. Widok kombajnu chodnikowego ramionowego typ AM-50

Na kombajnie zamontowane są, dla zwalczania zapylenia i ograniczenia niebezpieczeństwa powstania iskry podczas urabiania, systemy zraszania wewnętrzne lub zewnętrzne. Ta metoda urabiania jest stosowana głównie przy drażeniu chodników węglowych i kamiennie-węglowych, bardzo rzadko kamiennych, w których zalegają skały o wytrzymałości na jednoosiowe ścisnienie nie przekraczającej 80–100 MPa, sporadycznie 120 MPa. Przekrój poprzeczny wyrobiska wynosi od 15,0–22,5 m², jego nachylenie podłużne może wynosić od –18° do +18° a postęp dobowy, w zależności od własności fizykomechanicznych skał, może wynosić od 0,5 do 16,5 m/dobę.

Urabianie przodków wyrobisk korytarzowych w polskich kopalniach węglowych, z wykorzystaniem materiału wybuchowego, następuje poprzez wywiercenie zgodnie z metryką strzałową sieci otworów strzałowych, z wykorzystaniem zazwyczaj pneumatycznych wiertarek udarowych. Najpopularniejszym typem wiertarki jest ręczna wiertarka pneumatyczna WUP-22 o masie 22 kilogramów. Wiercenie jest wykonywane ręcznie, z rozpory lub z podpory pneumatycznej. Pokazano to na rysunku 2. Rzadko stosowane są wozy wiertnicze z wiertarkami udarowo-obrotowymi hydraulicznymi montowanymi na wysięgnikach. Po załadunku otworów MW dostarczonym do przodka w nabojach, odstrzeleniu i przewietrzeniu wyrobiska następuje załadunek urobku na przenośnik zgrzeblony zabudowany w wyrobisku. Do załadunku urobku często wykorzystywane są ładowarki zgarniające z napędem elektrycznym. Obecnie ładowanie urobku realizowane jest również z wykorzystaniem ładowarek dołowych bocznie sypiących na podwoziu gąsienicowym, o napędzie elektrohydraulicznym. Po załadunku urobku następuje zabudowa odstłoniętej części przodka. Obudowa zakładana jest ręcznie, z zastosowaniem podciągów lub z wykorzystaniem łyżki ładowarki dołowej

bocznie sypiącej z podestem roboczym lub bez. Ta metoda urabiania jest stosowana głównie przy drażeniu chodników kamiennych i kamiennie-węglowych, kiedy wytrzymałość na ściskanie urabianej skały jest bardzo duża. Przekrój poprzeczny wyrobiska wynosi od 17,5–25,0 m², jego nachylenie podłużne może wynosić od –18° do +18°, a postęp dobowy, w zależności od warunków górniczo-geologicznych i własności fizykomechanicznych skał oraz organizacji prac, może wynosić od 1,0 do 8,0 m/dobę.



Rys.2. Widok wiercenia w przodku otworów strzałowych, wykonywanych ręcznie z podpory pneumatycznej

3. Systemy mechaniczne do drażenia wyrobisk korytarzowych stosowane w górnictwie światowym

W górnictwie światowym do mechanicznego drażenia wyrobisk korytarzowych w skałach zwięzłych wykorzystywane są w bardzo dużym stopniu kombajny chodnikowe ramionowe urabiające punktowo nowej generacji, głównie typu średniego oraz ciężkiego. Różnica w odróżnieniu do kombajnów stosowanych w kraju polega na wyposażeniu ich w systemy automatycznego monitoringu pobieranej mocy organu urabiającego, kontroli drgań elementów maszyny, temperatury itp. W połączeniu z systemem komunikacji z pracownikiem nadzoru oraz wideomonitoringiem, ten system w znacznym stopniu przyczynia się do zmniejszenia awaryjności kombajnu (jest elementem bezpieczeństwa i ochrony przed przeciążeniem maszyny) oraz zwiększenia efektywności jego pracy (większa wydajność lub możliwość urabiania skał o większej wytrzymałości). Wykorzystanie ponadto do zbrojenia organu urabiającego nowej konstrukcji narzędzi skrawających, np. noży stycznie-obrotowych z węglnikami trójwarstwowymi, gruboziarnistymi typu S-Grade pozwala na drażenie wyrobisk korytarzowych w skałach o wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie powyżej 150 MPa. Przykładem takiej maszyny jest kombajn ATM 105 ICUTROC firmy Sandvik Voest Alpine GmbH Bergtechnik, wykorzystywany do drażenia wyrobisk

tunelowych. Widok takiego kombajnu pokazano na rysunku 3.



Rys.3. Kombajn chodnikowy ramionowy ciężki typu ATM ICUTROC, stosowany do drażenia wyrobisk tunelowych w skałach twardych

W kombajnach tych stosowane są również z powodzeniem próby z wprowadzaniem systemów do automatycznej kontroli profilu urabiania oraz układu zdalnego sterowania (przewodowego lub radiowego) i klimatyzowanej kabiny operatora. Obecnie opracowana przez firmę Sandvik Voest Alpine GmbH Bergtechnik technologia VAB jest w stanie kontrolować automatycznie urabianie i położenie we wszystkich aplikacjach wydobywczych. Sterowanie obciążeniem i sekwencjami skrawania nowym systemem CUTRONIC zapewnia maksymalną, zrównoważoną wydajność systemu i równocześnie minimalizuje przypadki uszkodzeń i przestojów. Automatyczne ograniczanie sił skrawających poprawia stabilność maszyny, gwarantując dokładność przekroju poprzecznego i kierunku wyrobiska. Równocześnie, w porównaniu ze sterowaniem ręcznym, automatyzacja pozwala na 25% wzrost wydobywania i prędkości drażenia. Pozwala również na zdalne sterowanie maszyny i umożliwia przebywanie jej operatora w pewnej odległości od miejsca pracy. Zwiększa to jego bezpieczeństwo w przypadku występowania zagrożeń wyrzutami gazu, tapaniami itp. Rozwiązania automatycznego sterowania, stosowanego przez firmę Sandvik Voest Alpine GmbH Bergtechnik w wybranych rozwiązaniach swoich maszyn, przedstawiono na rysunku 4.





Rys.4. Automatyczny system VAB oraz układ automatycznej kontroli profilu urabiania firmy Sandvik Voest Alpine GmbH Bergtechnik

Dodatkowo na kombajnach montowane są, dla zwalczania zagrożeń pyłowych i wybuchu gazu, systemy odpylania i systemy zraszania wewnętrznego, zewnętrznego lub wersje połączone.

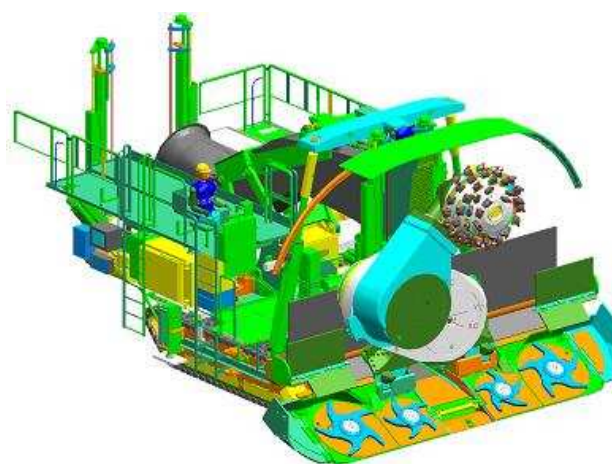
W światowym górnictwie węglowym, głównie w kopalniach amerykańskich, australijskich oraz RPA, stosowane są, podczas drążenia wyrobisk korytarzowych oraz również podczas prac eksploatacyjnych inne rodzaje kombajnów chodnikowych urabiających przez frezowanie. Są to kombajny ramionowe urabiające liniowo tzw. Continuous Miner. Kombajny te wykonują wyrobiska o przekroju prostokątnym, na całą szerokość organu urabiającego. Zastosowanie tego typu kombajnów jest uzależnione od warunków stropowych, gdyż do zabezpieczenia wyrobiska wykorzystywana jest obudowa kotwowa. Nowoczesne kombajny wyposażone są w systemy automatycznych wiertarko-kotwiarek stropowych i ociosowych oraz układ do transportu i podtrzymywania siatek opinkowych. Umożliwia to równoległe urabianie i zabudowę wyrobiska, znacznie zwiększając postęp drążenia. Przy drążeniu chodników węglowych uzyskiwano postęp drążenia nawet do ponad 100 na dobę. Natomiast wykorzystując te maszyny do prac eksploatacyjnych uzyskiwano dobowe wydajności wydobywania dochodzące do kilku tysięcy ton. Zastosowanie tych kombajnów ogranicza się tylko do urabiania węgla i skał jemu towarzyszących o wytrzymałościach nie przekraczających zazwyczaj 60 MPa. Widok takiego kombajnu firmy Joy podczas drążenia chodnika węglowego przedstawiono na rysunku 5.

Do drążenia wyrobisk korytarzowych, głównie przygotowawczych, w skałach zwięzłych stosowany jest również, przede wszystkim w górnictwie niemieckim, system do drążenia chodników AVSA, produkowany przez firmę Sandvik Voest Alpine GmbH Bergtechnik. Jest to rozwiązanie łączące zalety klasycznych kom-

bajnów ramionowych urabiających punktowo oraz urabiających liniowo, pozwalające na równoczesne urabianie czoła przodka organem frezującym oraz zabezpieczenie wyrobiska przez kotwienie stropu i ociosów za pomocą zainstalowanych na maszynie urządzeń wierząco-kotwiących. Zainstalowana moc organu urabiającego 270 kW, mikroprocesorowy system sterowania ruchem organu urabiającego i kontroli profilu urabiania oraz sterowania pracą maszyny, pozwalający na całkowite zautomatyzowanie cyklu skrawania, umożliwiają drążenie chodników o dowolnym profilu (np. zbliżonym do ŁP) w skałach o wytrzymałości na jednoosiowe ścisnienie w granicach 120–140 MPa, z postępiami dobowymi dochodzącymi do 14 metrów. Maszynę tę przedstawiono na rysunku 6.



Rys.5. Widok kombajnu urabiającego liniowo 14CM firmy Joy podczas pracy przy drążeniu chodnika węglowego i eksploatacji węgla



Rys.6. Widok systemu do drążenia chodników AVSA firmy Sandvik Voest Alpine GmbH Bergtechnik

W górnictwie światowym już w latach siedemdziesiątych do drążenia wyrobisk korytarzowych w skałach zwięzłych i bardzo zwięzłych, o wytrzymałości na jednoosiowe ścisnienie przekraczającej 80–120 MPa, sporadycznie nawet do 300 MPa, zaczęto wykorzystywać kombajny chodnikowe pełnoprzekrojowe typu TBM.



Rys.7. Widok kompleksu z kombajnem pełnoprzekrojowym



Rys.8. Widok kombajnu CMM firmy WIRTH urabiającego metodą tylnego podcinania



Rys.9. Widok autonomicznego kompleksu chodnikowego z wozem wierniczym jednoramionowym, ładowarką dołową bocznie sypiącą oraz samojezdną platformą roboczą

Urabianie przodków wyrobisk korytarzowych z wykorzystaniem kombajnów chodnikowych pełoprzekrojowych jest całkowicie odmienną technologią urabiania od urabiania metodą frezowania. Wykorzystywana jest w nich metoda urabiania skał zwięzłych poprzez statyczne miażdżenie ich naciskiem statycznym narzędzi dyskowych symetrycznych. Pozwala to na bardzo duże postępy przy urabianiu przodka, dochodzące nawet do 60 metrów na dobę. Gabaryty oraz koszt maszyny, jej transportu, montażu i demontażu są jednak powodem tego, że stosowanie jej jest opłacalne tylko przy drażeniu wyrobisk o długich wybiegach. W zależności od średnicy są to wielkości od minimum 2 m do nawet 5 km. Widok kompleksu z kombajnem pełoprzekrojowym, montowanego do drażenia podziemnego wyrobiska korytarzowego przedstawiono na rysunku 7.

W górnictwie światowym pojawiły się również koncepcje wykorzystania dysków statycznych, głównie niesymetrycznych, w których zasadnicza idea polegała na wykorzystaniu dysku jako narzędzia odłupującego. Metodę tę nazwano techniką tylnego cięcia (Hinterschneiden), lub bocznego odłupywania. Zasadą techniki podcinania jest urabianie skały przez odcinanie jej w kierunku wolnej powierzchni. Dzięki temu zużycie energii i wartość siły docisku są mniejsze, niż w przypadku klasycznych dysków miażdżących. W oparciu o wyniki przeprowadzonych badań, w Niemczech w firmie Wirth wykonano maszynę przemysłową wykorzystującą opisaną technikę urabiania. Kombajn wyposażono w komputerowy układ sterowania trajektoriami ruchów ramion.

Dzięki temu maszyna mogła drażyć chodniki o dowolnych kształtach przekroju poprzecznego wyrobiska. Maszyna drażyła wyrobiska w skałach o wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie do 180 MPa. Nie zaobserwowano kłopotów przy urabianiu oraz nadmiernego zużycia narzędzi dyskowych. Uzyskiwane postępy, przy drażeniu wyrobiska o parametrach około 3x3 m, były dość znaczne i dochodziły nawet do 1,8 mb/godzinę. Widok takiej maszyny przedstawiono na rysunku 8. Jednak prace nad wprowadzeniem tego kombajnu, jak też innych maszyn, wykorzystujących podobne techniki urabiania, nie wyszły poza prace studialne lub egzemplarze prototypowe.

W górnictwie światowym do drażenia wyrobisk korytarzowych w skałach zwięzłych i bardzo zwięzłych z wykorzystaniem materiału wybuchowego, stosowane są przede wszystkim autonomiczne kompleksy chodnikowe, w skład których wchodzi: wóz wiertniczy jedno- lub dwuramionowy oraz ładowarka dołowa bocznie sypiąca na podwoziu gąsienicowym, o napędzie elektrohydraulicznym. Wysięgniki pozwalają na odwiercenie z jednego położenia wozu wiertniczego wszystkich otworów w zadanej konfiguracji, przy dużej wydajności, nawet do 70 otworów na godzinę. Ładowarka, poza

ładowaniem urobku, może być wykorzystywana jako maszyna pomocnicza przy stawianiu obudowy chodnikowej. Obecnie coraz częściej kompleksy takie dodatkowo wyposażane są w samojezdne platformy robocze, które ułatwiają i przyspieszają transport oraz montaż obudowy chodnikowej. Takie rozwiązanie pozwala na uzyskiwanie postępów dochodzących nawet do kilkunastu metrów na dobę. Widok takiego autonomicznego kompleksu chodnikowego z wozem wiertniczym jednoramionowym, ładowarką dołową bocznie sypiącą oraz samojezdną platformą roboczą pokazano na rysunku 9.

4. Przyszłościowe kierunki rozwoju systemów mechanizacyjnych do drażenia wyrobisk korytarzowych

Ze względu na warunki zalegania złóż węgla kamiennego w Polsce, nie należy się spodziewać w najbliższym czasie rozwijania systemów mechanizacyjnych wykorzystujących kombajny pełoprzekrojowe typu TBM. Zwłaszcza wybiegi drażonych wyrobisk korytarzowych nie prognozują ekonomicznie uzasadnionego zastosowania tego typu kombajnów.

Również próby efektywnego wykorzystania, w warunkach panujących w polskich kopalniach węgla kamiennego, kombajnów urabiających metodą tylnego podcinania mogą ograniczyć się do niewielkiego obszaru działania. Będą one ponadto wymagały podjęcia kosztownych prac badawczo-konstrukcyjnych, przeprowadzenia szeregu badań podstawowych oraz prac studialnych w zakresie ich konstrukcji.

Ze względu na możliwe w przyszłości wystąpienie warunków dla eksploatacji węgla systemem chodnikowym, chodnikowym podbierkowym oraz filarowo-komorowym, pozwalającym na ograniczenie strat w złożach pozostawianych w resztkach i filarach, można przewidywać ograniczone wykorzystanie w tych systemach kombajnów ramionowych urabiających liniowo, tzw. Continuous Miners. Zastosowanie tego typu kombajnów jest uzależnione od warunków stropowych, gdyż do zabezpieczenia wyrobiska wykorzystywana jest obudowa kotwowa. Dla potrzeb górnictwa polskiego koniecznym będzie opracowanie technologii umożliwiającej ich zastosowanie.

Z nowych technologii mechanicznego drażenia wyrobisk korytarzowych opisanych w poprzednim rozdziale, duże perspektywy do zastosowania w polskich kopalniach węgla kamiennego ma system do drażenia chodników AVSA. W warunkach polskich kopalń węglowych wymagane jednak będzie dostosowanie tego typu maszyn do zakładania obudowy mieszanej, tj. obudowy z łuków stalowych podatnych typu ŁP i kotew. Przy wprowadzeniu tej modyfikacji, maszyna mo-

że zostać z powodzeniem wykorzystana do drażenia wyrobisk korytarzowych w skałach zwięzłych i bardzo zwięzłych.

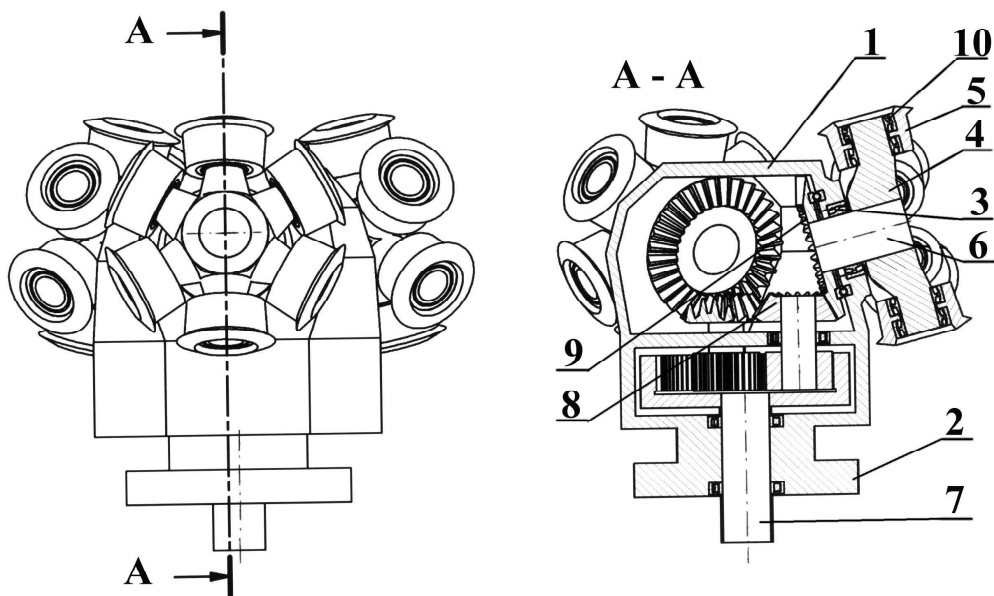
W najbliższej przyszłości jednak w dalszym ciągu największy udział w procesie mechanicznego drażenia wyrobisk korytarzowych będą miały kombajny chodnikowe ramionowe urabiające punktowo. Ze względu na pracę w coraz trudniejszych warunkach górniczo-geologicznych, należy się spodziewać zwiększenia udziału kombajnów średnich i ciężkich, z głowicami urabiającymi o mocach powyżej 200 kW. Kombajny te są standardowo wyposażone w podstawowe urządzenia oraz systemy pozwalające na ograniczenie zagrożeń pyłowych i wybuchowych. Należy oczekiwać, że w kombajnach stosowanych w polskim górnictwie węglowym wykorzystane zostaną na większą skalę systemy do automatycznego monitoringu stanu maszyny oraz układy do kontroli profilu drażonego wyrobiska. Natomiast w niedalekiej przyszłości należy oczekiwać wprowadzenia systemów zdalnego sterowania pracą kombajnu, zdalnego operowania maszyną z powierzchni oraz łączności z nią z dowolnego miejsca w kopalni dla monitorowania i kontroli jej stanu technicznego. W związku z drażeniem wyrobisk na coraz większych głębokościach oraz w warunkach występowania zagrożeń naturalnych należy się też spodziewać opracowania oraz wykonania konstrukcji kabiny operatora wyposażonej w klimatyzację i przystosowanej do pracy w warunkach występowania zagrożeń tąpnięciami. Opracowanie i wdrożenie powyżej opisanych systemów i układów ma na celu przede wszystkim zwiększenie niezawodności i trwałości maszyny urabiającej, a co za tym idzie zwiększenie jej dyspozycyjności i wydajności urabiania. Dodatkowym efektem jest zwiększenie bezpieczeństwa i ułatwienie pracy załogi zatrudnionej w przodku.

Obecnie stosowane narzędzia skrawające, pomimo już wysoko zaawansowanych technologii, mogą nie w pełni spełniać oczekiwania podczas urabiania skał bardzo zwięzłych. Należy zatem rozwijać koncepcje nowych rozwiązań narzędzi urabiających, takich jak narzędzia koronowe, mininarzędzia dyskowe niesymetryczne, rozwiązania smarowanych uchwytów nożowych dla opracowania nowych technik urabiania i organów do wykorzystania przy urabianiu skał zwięzłych i bardzo zwięzłych. Wyniki prowadzonych w polskich i zagranicznych ośrodkach prac i badań laboratoryjnych skłaniają do wniosku nad celowością prowadzenia dalszych prac nad wykorzystaniem nowych narzędzi urabiających. Pozwoli to na ekonomicznie uzasadnione mechaniczne urabianie skał zwięzłych i bardzo zwięzłych. Widok propozycji nowej głowicy urabiającej z narzędziami dyskowymi niesymetrycznymi o złożonej trajektorii ruchu pokazano na rysunku 10.

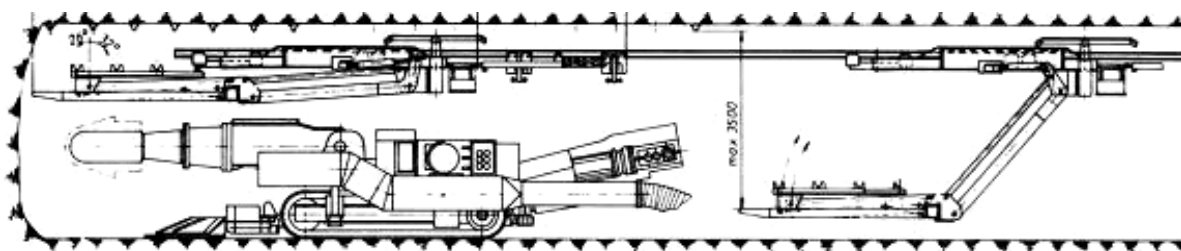
W przypadku kombajnów chodnikowych ramionowych urabiających punktowo, poza wytrzymałością skrawanych skał, czynnikiem ograniczającym postęp drażenia jest cykliczność operacji urabiania i zabudowy wyrobiska. Niejednokrotnie czas trwania operacji zabudowy jest dłuższy niż operacji urabiania. Skrócenie tego czasu możliwe jest przy współpracy kombajnu z samojezdną platformą roboczą do transportu, montażu i zakładania obudowy chodnikowej wykonywanej z łuków podatnych typu ŁP. Platforma taka, przemieszczająca się po podwieszonym pod stropem torowisku jedno lub dwuszynowym, została już pokazana na rysunku 8. Hydrauliczny manipulator, z wysięgnikiem pozwala na jednoczesny montaż do trzech odrzwi obudowy. Jej zastosowanie ułatwia i przyspiesza operację zabudowy wyrobiska, a tym samym zwiększenie postępu dobowego, w zależności od własności fizykomechanicznych skał, do 25,0-30,0 m/dobę. Możliwość współpracy platformy typ AMG 2700 niemieckiej firmy GTA Bergbautechnik z kombajnem chodnikowym przedstawiono na rysunku 11.

Rozwiązaniem, mogącym jeszcze bardziej przyspieszyć proces drażenia wyrobisk korytarzowych, ułatwić pracę i zwiększyć bezpieczeństwo załogi w przodku, jest zastosowanie tymczasowej, zmechanizowanej obudowy chodnikowej, mogącej współpracować zarówno z kombajnem chodnikowym ramionowym urabiającym punktowo, jak też maszynami wchodzącymi w skład autonomicznych kompleksów chodnikowych. Maszyna urabiająca znajduje się pod tymczasową, hydrauliczną, zmechanizowaną obudową, zabezpieczającą wyrobisko podczas urabiania i przemieszczającą się z postępem przodka. Nie jest ona z tą obudową w żaden sposób powiązana, jest całkowicie niezależna. Za obudową tymczasową realizowany jest, równoległe z procesem urabiania, proces montażu i zakładania obudowy chodnikowej. Na dzień dzisiejszy takie rozwiązania nie są stosowane w górnictwie światowym. Na rysunku 12 przedstawiono koncepcję takiej obudowy, opracowaną w AGH Kraków.

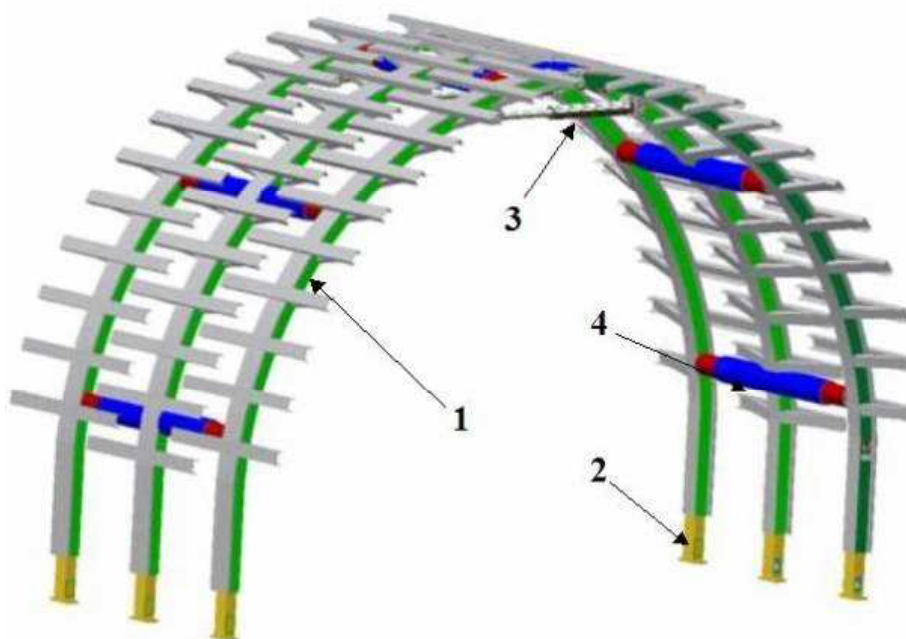
Technologia wiercenia otworów strzałowych, ładowania i strzelania materiałem wybuchowym jest na dzień dzisiejszy jedyną alternatywą dla mechanicznego drażenia wyrobisk korytarzowych, możliwą do zastosowania w warunkach górniczo-geologicznych i organizacyjno-technicznych panujących w polskich kopalniach węgla. Dla rozwoju tej technologii do warunków polskich kopalń węgla oraz podniesienia jej efektywności przewiduje się zwiększenie liczby stosowanych autonomicznych kompleksów chodnikowych, w skład których wchodzić będą wozy wiertnicze, ładowarki bocznie sypiące i samojezdne platformy robocze. Wadą wykonywania wyrobisk korytarzowych z wykorzystaniem MW jest nierównomierny obrys wyrobiska.



Rys.10. Widok propozycji nowej głowicy urabiającej z narzędziami dyskowymi niesymetrycznymi o złożonej trajektorii ruchu



Rys.11. Możliwości współpracy platformy typ AMG 2700 niemieckiej firmy GTA Bergbautechnik z kombajnem chodnikowym



Rys.12. Widok zestawu trzech segmentów zmechanizowanej obudowy tymczasowej według koncepcji wstępnej
 1 – łuki stropnicowo-ociosowe, 2 – stopy podporowe, 3 – siłowniki hydrauliczne rozpierania łuków, 4 - siłowniki hydrauliczne przesuwania łuków

Proponowane jest zastosowanie w wozach wiertniczych mikroprocesorowego układu kontroli i sterowania pracy wysięgników, co pozwoli na uzyskanie lepszego ustawienia wierconych otworów, a tym samym dokładniejszego profilu wyrobiska i lepszej współpracy obudowy z górotworem. Przyspieszy to i ułatwi pracę przy wierceniu otworów strzałowych.

Inną z proponowanych zmian jest zastąpienie stosowanych obecnie ładunków wybuchowych w postaci naboju, materiałem wybuchowym w postaci sypkiej lub zawieszinowej. Pozwoli to na zautomatyzowanie procesu zakładania ładunków przez zastosowanie urządzeń do automatycznego zakładania ładunków wybuchowych w postaci np. iniektorów zasilanych pneumatycznie. Umożliwi to również większą wydajność i skrócenie czasu ładowania, zapewni większe bezpieczeństwo oraz zmniejszenie kosztów samego materiału wybuchowego, który w takiej postaci jest tańszy od ładunków naboju.

Należy także rozważyć opracowanie i zastosowanie wzmocnionych i wyposażonych w klimatyzację kabin operatora. Dotyczy ona zarówno ładowarek, jak też wozów wiertniczych. Związane jest to z możliwością pracy tych maszyn w warunkach występowania zagrożeń tąpnięć i temperaturowych. Zwiększy to bezpieczeństwo i poprawi standard pracy operatora. Dla zwiększenia bezpieczeństwa załogi w przodku, w przypadku wystąpienia podwyższonego stopnia zaistnienia zagrożeń zarówno tąpnięciami, jak też wyrzutami gazu i wody, proponuje się ponadto opracowanie układów do zdalnego sterowania pracą maszyn wchodzących w skład autonomicznych kompleksów chodnikowych, pozwalających

na ich sterowanie z bezpiecznej strefy poza przodkiem.

Obecnie zagrożenia wyrzutu wody i gazu wykrywane są podczas drażenia wyrobisk korytarzowych przez wyprzedzające wiercenia kierunkowe, na długości kilkunastu do kilkudziesięciu metrów. Powoduje to zatrzymanie procesu drażenia wyrobiska. Dlatego proponowane jest, zarówno w przypadku kombajnów chodnikowych ramionowych, jak też autonomicznych kompleksów chodnikowych, opracowanie i wdrożenie układów typu georadary do bezinwazyjnego określania rodzaju i własności skał oraz występowania tych zagrożeń na wybiegu wyrobiska. Pozwoli to na znaczne ułatwienie i skrócenie prac związanych z profilaktyką zagrożeniową.

Literatura

1. Kotwica K., Gospodarczyk P.: Rozwiązanie organu kombajnu chodnikowego wyposażonego w narzędzia dyskowe. Monografia „Techniki Urabiania TUR 2007”, Kraków – Krynica 2007.
2. Kotwica K.: Kierunki rozwoju technologii i technik mechanizacyjnych stosowanych do drażenia wyrobisk korytarzowych udostępniających i przygotowawczych w polskich kopalniach węgla kamiennego. Monografia „Innowacyjne i bezpieczne maszyny i urządzenia dla górnictwa węgla kamiennego”. KOMAG, Gliwice 2007.

Artykuł wpłynął do redakcji w grudniu 2007 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Adam Klich



UNIA EUROPEJSKA

Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego



UNIA DLA PRZEDSIĘBIORCZYCH
PROGRAM KONKURENCYJNOŚĆ

Projekt pt.: „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego” – WKP_1/1.4.5/2/2006/9/12/590/2006/U

Uwarunkowania rozwoju technologicznego ścianowych systemów mechanizacyjnych

Streszczenie

W artykule przedstawiono uwarunkowania rozwoju technologicznego ścianowych systemów mechanizacyjnych. Wobec braku informacji dotyczących prognozy zapotrzebowania na węgiel oraz prognozy zmiany zasobów i warunków zalegania z uwzględnieniem zagrożeń w kolejnych latach, wynikających z zakresu projektu przeprowadzono analizę udziału wydobycia z pokładów niskich, średnich i grubych w odniesieniu do udziału tych grup pokładów w zasobach przemysłowych. Największą niewiadomą pozostają uwarunkowania ekonomiczne i w związku z powyższym przyjęto założenie, że rozwój technologii powinien służyć efektywności ekonomicznej działalności górniczej.

Summary

Conditions for technological development of longwall mechanization systems were presented in the paper. Due to lack of information on future demand for coal and predicted changes in resources and deposits conditions, including hazards in the following years, which result from the project realization, the analysis of share of low, mean and thick seams in mining operations in relation to a share of these groups of seams in total resources was carried out. Economical conditions are unknown and because of that it was assumed that development of technology should serve economical effectiveness of mining activity.

1. Wstęp

Scenariusz rozwoju technologicznego ścianowych systemów mechanizacyjnych stosowanych w pokładach poziomych i słabo nachylonych powinien być opracowany na podstawie:

- analizy obecnego stanu technologii w tym zakresie,
- prognozy zapotrzebowania na węgiel w latach wynikających z zakresu projektu,
- prognozy zmiany zasobów i warunków zalegania z uwzględnieniem zagrożeń w kolejnych latach wynikających z zakresu projektu,
- uwarunkowań ekonomicznych.

Należy przy tym uwzględnić kryteria dotyczące celu technicznego:

1. Warunki zalegania złoża.
 2. Skuteczność technologii w realizacji potrzeby technicznej.
 3. Spełnianie wymogów bezpieczeństwa.
 4. Minimalizacja skutków oddziaływania na środowisko.
 5. Sytuacja ekonomiczna.
- oraz kryteria dodatkowe:
6. Uzyskanie zrównoważonego rozwoju.
 7. Stan wiedzy użytkownika i jego doświadczenie w zakresie:
 - prawidłowej lokalizacji wyposażenia,
 - wykorzystania potencjału technicznego wyposażenia.

W poprzednio wykonanych zadaniach dokonano analizy obecnego stanu technologii i przeprowadzono ich hierarchizację w aspekcie innowacyjności, a także przedstawiono analizę stanu zasobów przemysłowych. Wobec braku informacji dotyczących prognozy zapotrzebowania na węgiel oraz prognozy zmiany zasobów i warunków zalegania z uwzględnieniem zagrożeń w kolejnych latach, wynikających z zakresu projektu przeprowadzono analizę udziału wydobycia z pokładów niskich, średnich i grubych w odniesieniu do udziału tych grup pokładów w zasobach przemysłowych. Największą niewiadomą pozostają uwarunkowania ekonomiczne i w związku z powyższym przyjęto założenie, że rozwój technologii powinien służyć efektywności ekonomicznej działalności górniczej.

2. Analiza obecnego stanu technologii

Z danych zebranych w trakcie realizacji zadania 2 [9] wynika, że zaniechano wybierania pokładów cienkich, natomiast najwięcej ścian zawałowych prowadzonych jest o wysokości ponad 2,5 m oraz w zakresie wysokości 1,5÷2,5 m, przy nachyleniu podłużnym do 15° (tabela 1). Wartości graniczne przedziałów odbiegają od obecnie stosowanych co wynika z faktu, że ustalono je zgodnie z wymogami zawartymi w normach zharmonizowanych dotyczących sekcji obudowy zmechanizowanej [7] i kombajnów ścianowych [6]. Dwie kolejne pod względem liczebności grupy obejmują ten sam zakres wysokości ścian, lecz o nachyleniu podłużnym w zakresie 16÷35°. Na uwagę zasługuje fakt, że prowadzonych jest 10 ścian z podsadzką hydrauliczną.

Tabela 1

Zakres	$\leq 15^\circ$	$15^\circ < \alpha \leq 35^\circ$	$> 35^\circ$
$h \leq 1,5m$	2	0	0
$1,5m < h \leq 2,5m$	31(A)	17(B)	3
$h > 2,5m$	45(C)	16(D)	5
Podsadzka $h > 2,5m$	9(E)	1	0

Do dalszej analizy przyjęto wyżej wymienione grupy, które oznaczono odpowiednio symbolami A, B, C, D, E (tabela 1).

W tabeli 2 przedstawiono wartość średnią wydobywania dobowego uzyskaną w poszczególnych grupach oraz udział procentowy ścian o wydobywaniu mniejszym odpowiednio od 1000 i 1500 t/d.

Tabela 2

Oznaczenie	Q [t/d]	Q \leq 1000t/d [%]	Q \leq 1500t/d [%]
A	2113	27	55
B	3172	12	24
C	2996	9	16
D	2796	0	0
E	2423	0	22

Z zestawienia tego wyniku, że najmniejszą wartość średnią wydobywania dobowego uzyskano w grupie ścian średnich o nachyleniu do 15° (A), która to wartość jest mniejsza nawet od wydobywania osiąganego w ścianach z podsadzką hydrauliczną (E). Jest to o tyle dziwne, że w górnictwie światowym jest to grupa ścian, w której uzyskuje się najlepsze wyniki produkcyjne. Wynika to z faktu, że w 55% ścian uzyskuje się wydobywanie mniejsze od 1500 t/d, a w 27% mniejsze nawet od 1000t/d. W takiej sytuacji nie ma mowy o efektywności ekonomicznej. Największe wydobywanie uzyskuje się w ścianach o nachyleniu w zakresie $16\text{--}35^\circ$ (grupa B), a następnie w ścianach wysokich (C, D). Jednym z istotnych czynników wpływających na wyniki produkcyjne ścian w polskim górnictwie węgla kamiennego są zagrożenia o charakterze skojarzonym [10]. W celu ustalenia innych przyczyn obecnego stanu w tabeli 3 zestawiono udział procentowy kombajnów ścianowych o mocy odpowiednio mniejszej od 500 kW i większej od 750 kW oraz przenośników ścianowych o mocy mniejszej od 200 kW i większej od 600 kW.

Tabela 3

Udział procentowy maszyn o mocy w zakresie				
Oznaczenie	Kombajn ścianowy		Przenośnik ścianowy	
	P \leq 500kW	P \geq 750kW	P \leq 200kW	P \geq 600kW
A	83	3	24	20
B	82	0	0	24
C	44	16	9	27
D	21	7	7	28
E	44	11	78	0

Z przedstawionych danych wynika, że w grupie ścian zawałowych o najmniejszej wartości średniej wydobywania dobowego jest najwięcej przestarzałych przenośników ścianowych o mocy mniejszej od 200 kW (24%)

i kombajnów o mocy mniejszej od 500 kW (82%). Co prawda w grupie ścian o największej wartości średniej wydobywania dobowego (B) jest taki sam udział kombajnów w tym samym zakresie mocy (82%), lecz nie ma ani jednego przenośnika, który może ograniczać wydajność kombajnu. Najwięcej kombajnów i przenośników ścianowych o dużej mocy użytkowanych jest w ścianach wysokich zawałowych. Z powyższych danych wynika, że w dużej części ścian stosowane jest wyposażenie techniczne o stosunkowo małej mocy, co świadczy o tym, że są to maszyny wyprodukowane przed wielu laty. Jeżeli dodamy do tego fakt, że ponad 77% użytkowanych obecnie sekcji obudowy zmechanizowanej została wyprodukowana przed rokiem 1997 [5] to można mówić o niedoinwestowaniu polskiego górnictwa węgla kamiennego.

Kolejnym czynnikiem decydującym o wynikach produkcyjnych są parametry pól ścianowych. W tabeli 4 przedstawiono udział procentowy ścian o długości mniejszej od 150 m, o wybiegu mniejszym od 500 m, o zasobach pola ścianowego mniejszych od zasobów minimalnych wynikających z uwarunkowań ekonomicznych [4], a także o czasie prowadzenia eksploatacji mniejszym odpowiednio od 6 i 12 miesięcy.

Tabela 4

Udział procentowy ścian o następujących parametrach						
Oznaczenie	L \leq 100 m	L \leq 150 m	W \leq 500 m	Z \leq Z _E	t \leq 6 m-cy	t \leq 12 m-cy
A	0	0	23	29	21	76
B	0	6	53	23	73	93
C	5	25	36	46	29	67
D	0	14	32	36	29	64
E	0	11	22	11	11	56

Z przedstawionego zestawienia wynika, że największy odsetek ścian o długości mniejszej od 150 m występuje w przypadku ścian wysokich (grupa C – 25%, grupa D – 14%), natomiast najwięcej ścian o wybiegu krótszym od 500 m jest w grupie ścian średnich (B) 53% oraz w obu grupach ścian wysokich (C – 36%, D – 32%). W wyniku niekorzystnego skojarzenia obu tych parametrów uzyskuje się zbyt małe zasoby pól ścianowych. W przypadku ścian średnich udział ścian o zasobach mniejszych od 300000 t wynosi odpowiednio w grupie A 29% i w grupie B 23%. Natomiast w ścianach wysokich zasoby mniejsze od 450000 t występują w przypadku 46% ścian (grupa C) i 36% (grupa D). Konsekwencją tego jest czas prowadzenia eksploatacji w polu ścianowym, który w grupie ścian oznaczonej B jest krótszy od 6 miesięcy w 73% przypadków, natomiast w grupach ścian wysokich oznaczonych C i D w przypadku 29% ścian. Prowadzi to do konieczności prowadzenia częstej alokacji wyposażenia technicznego ścian powodującej zarówno wzrost kosztów pozyskania węgla, jak i mniejszego jego wykorzystania w ciągu roku.

3. Hierarchizacja technologii w aspekcie ich innowacyjności [2]

Na potrzeby hierarchizacja technologii w aspekcie ich innowacyjności zdecydowano się na wykorzystanie oceny grupowej wielokryterialnej, z oceną istotności kryteriów, z doбором reprezentatywnym oceniających. Po wnikliwej i szczegółowej analizie poszczególnych metod wybrano Analizę Hierarchiczną Problemu (AHP), która umożliwia dokonywanie oceny lub porównania rozważanych obiektów [8].

Pozwala ona na dokonywanie obiektywnej oceny w przypadku wielokryterialnych problemów decyzyjnych poprzez dokonanie serii porównań parami, których dokonują eksperci, co w efekcie prowadzi do liczbowej miary ważności analizowanych elementów. Zdecydowano, że ze względu na złożoność problemu i wymagany zasób wiedzy ocena zostanie przeprowadzona przez zespół ekspertów, stanowiących grupę reprezentatywnych oceniających.

Poniżej przedstawiono hierarchię ścianowych systemów mechanizacyjnych w oparciu o uzyskane wskaźniki oceny. Kolejność poszczególnych technologii odpowiada miejscu w hierarchii w aspekcie przyjętego celu głównego jakim jest innowacyjność technologii. Należy przy tym jeszcze raz podkreślić fakt, że w świetle przyjętych kryteriów pod pojęciem innowacyjności rozumie się głównie przydatność technologii ze względu na bezpieczne i efektywne pozyskiwanie węgla w przewidywanych warunkach geologiczno-górnicych. Kolejność i zaszeregowanie do odpowiedniej kategorii są następujące:

Ściany średnie – system kombajnowy	Rozwojowa A
Ściany niskie – system strugowy	Rozwojowa A
Ściany średnie – system strugowy	Rozwojowa B
Ściany wysokie podbierkowe	Rozwojowa B
Ściany wysokie z podsadzką	Rozwojowa C
Ściany wysokie z zawałem	Rozwojowa C
Ściany niskie – system kombajnowy	Zachowawcza

Z powyższego zestawienia wynika, że w świetle przyjętych kryteriów zdecydowanie najbardziej zaawansowany pod względem technicznym i przydatny ze względu na efektywność jest kombajnowy system mechanizacyjny przeznaczony do ścian średnich, a następnie system strugowy w zakresie ścian niskich i średnich. Wynika to z faktu, że w przypadku obu systemów przebieg procesu produkcyjnego w ścianie może być w pełni zautomatyzowany, co umożliwia uzyskanie bardzo dobrych wyników produkcyjnych przy jednoczesnym zapewnieniu bezpieczeństwa sta-

nowiskowego [3]. Lokalne sterowniki poszczególnych maszyn i urządzeń zabezpieczają ich napędy przed przeciążeniem, pozwalają na optymalizację parametrów pracy i umożliwiają szybką diagnostykę techniczną. Dzięki pełnej kontroli przebiegu procesu produkcyjnego możliwa jest minimalizacja wpływu na środowisko poprzez zmniejszenie zanieczyszczenia urobku i zmniejszenie zużycia energii i wody. W górnictwie światowym zastosowanie kombajnowych systemów mechanizacyjnych w ścianach średnich i strugowych w ścianach niskich pozwala na uzyskiwanie najlepszych wyników produkcyjnych.

Kolejne miejsce w hierarchii ścianowych systemów mechanizacyjnych zajmuje system kombajnowy przeznaczony do wybierania pokładów grubych systemem podbierkowym. Technologia ta rozwijana jest z powodzeniem od kilkunastu lat w Chinach i ze względu na osiągniętą skuteczność wzbudziła duże zainteresowanie w krajach, w których rozwinięty jest przemysł wydobywczy węgla kamiennego i/lub produkowane są maszyny i urządzenia górnicze. Obecny poziom techniki w tym zakresie umożliwia efektywną i bezpieczną eksploatację pokładów o grubości większej od 6 m, lecz pewne aspekty związane z pozyskiwaniem węgla od strony zawału wymagają jeszcze udoskonalenia. Stąd niższa pozycja tej technologii w stosunku do poprzednich.

Stosowanie ścian podsadzkowych związane jest głównie z koniecznością ochrony powierzchni przed skutkami prowadzonej działalności górniczej. Stąd zainteresowanie tą technologią ma charakter lokalny. Ze względu na bezpieczeństwo oba procesy: pozyskiwania węgla i podsadzania wybranej przestrzeni nie są prowadzone jednocześnie. Pomimo tego w ścianach tych uzyskuje się zadawalające wyniki produkcyjne. Wynika to z faktu, że w procesie pozyskiwania węgla stosowane jest standardowe wyposażenie. Dalszych prac wymaga natomiast pełna mechanizacja i kontrola procesu podsadzania.

Niska pozycja kombajnowych systemów mechanizacyjnych przeznaczonych do ścian wysokich wynika ze zwiększenia zakresu wybierania pokładów na pełną grubość do 6,5 m. Rozwój techniki przyczynił się do powstania problemów pogarszających bezpieczeństwo stanowiskowe i procesowe. Wynika to głównie z intensyfikacji zjawiska odspajania górnych naroży pokładu i większego, niekontrolowanego odkrycia stropu. Ponadto zwiększenie mocy napędów sprawia, że szczególnego znaczenia nabierają układy zabezpieczające maszyny i urządzenia przed przeciążeniem. Należy przy tym zaznaczyć, że wyposażenie techniczne ścian do wysokości 4,5 m nie różni się od stosowanego w ścianach średnich, stąd ocena tego wyposażenia dla tego zakresu wysokości ścian jest zdecydowanie wyższa.

Najniższe miejsce w hierarchii analizowanych wariantów technologii systemów kombajnowych przeznaczonych do ścian niskich nie wynika z poziomu technicznego wyposażenia technicznego, ale głównie z oceny w świetle kryteriów: skuteczności, uniwersalności, oddziaływania na środowisko i ergonomicznego. Kombajny mogą być stosowane w ścianach o wysokości większej od 1,4 m, przy czym ich wydajność ograniczona jest względami ergonomicznymi. Wynika to faktu, że kombajniści przemieszczają się wzdłuż całej długości ściany w przestrzeni ograniczonej wymiarami wyrobiska. Poza tym występuje duże zanieczyszczenie urobku skałą płoną co zmniejsza wydobyte netto, zwiększa energochłonność procesu produkcyjnego i oddziałują niekorzystnie na środowisko. Biorąc pod uwagę warunki zalegania pokładów w Polsce związane z występowaniem uskoków należy podjąć prace dotyczące opracowania kombajnu w wersji compact, który może być zastosowany w pokładach o grubości od 1,2 m.

4. Analiza zasobów i warunków zalegania [1, 9]

Udział poszczególnych typów węgla w zasobach ma istotne znaczenie z punktu widzenia zapotrzebowania rynku. W całkowitej ilości zasobów przemysłowych we wszystkich czynnych kopalniach węgla kamiennego, dominuje węgiel energetyczny typów 31-33. Stanowi on 56,2% zasobów ogółem i 53,4% zasobów udostępnionych. Jest to baza dla systemu elektroenergetycznego kraju, gdzie wytwarzanie energii elektrycznej w 97% oparte jest na kopalnych paliwach stałych, w tym 63% to energia wytworzona z węgla kamiennego. Pozostała część bazy zasobów przemysłowych to węgiel koksowy, głównie typ 34, wykorzystywany do produkcji koksu przemysłowo-opałowego oraz jako składnik mieszanki koksowej. Węgiel koksowy najwyższej jakości, czyli ortokoksowy – typ 35, stosowany do produkcji wysokiej jakości koksu w procesie wielkopieczowym, stanowi 16% całkowitych zasobów przemysłowych. Pozostałe typy węgla (36-38) mają znaczenie marginalne, gdyż stanowią tylko 0,8% zasobów udostępnionych.

Bardzo istotną informacją są warunki zalegania pokładów. Zestawienie udziału zasobów przemysłowych w odpowiednich przedziałach miąższości pokładów przedstawiono w tabeli 5.

Z powyższego zestawienia wynika, że udział pokładów cienkich (do 1,5 m) jest znaczny i w ogólnych zasobach przemysłowych wynosi 18,5%, a w zasobach na poziomach czynnych i w budowie 16,5%. Większość kopalń posiada w ewidencji zasobów pokłady o miąższości poniżej 1,5 m, lecz ich udział w poszczególnych kopalniach jest bardzo zróżnicowany. Największa

część zasobów (56,5%) występuje w pokładach o miąższości 1,5-3,5 m. Podobna struktura udziału występuje w części zasobów na poziomach czynnych i w budowie. Znaczna część zasobów udostępnionych występuje w pokładach grubych, powyżej 3,5 m (27%), w tym o grubości większej od 4,5 m 18,3%.

Tabela 5

Przedział grubości [m]	Udział poszczególnych grup pokładów w zasobach przemysłowych [%]				
	Ogółem	Na poz. czynnych	Na poziomach czynnych		
			≤ 12°	12° < α ≤ 35°	> 35°
≤ 1,5	18,5	16,5	78	22	0
1,5 < h ≤ 3,5	56,8	56,5	84	16	0
> 3,5	24,7*	27,0**	80	19,5	0,5
Razem	100,0	100,0	80	17,7	0,3
* w tym o grubości większej od 4,5m 15,9%					
** w tym o grubości większej od 4,5m 18,3%					

Przedstawionemu powyżej udziałowi poszczególnych grup pokładów w zasobach na poziomach czynnych i w budowie nie odpowiada udział uzyskiwanego w nich wydobyć. Wydobyć pochodzące z pokładów średnich stanowi około 75% wydobyć globalnego, a z pokładów grubych ponad 20%, przy czym w większości są to ściany o wysokości mniejszej od 4,5 m. Ze względu na fakt, że prowadzi się tylko 2 ściany niskie udział wydobyć z pokładów jest marginalny. W związku z występującymi dysproporcjami następuje nierównomierne szczypanie zasobów prowadzące do konieczności podjęcia w przyszłości wybierania pokładów niskich i bardzo grubych, a w pokładach średnich zwiększy liczba nieforemnych resztek pokładów.

Z analizy kąta nachylenia pokładów wynika, że 80% zasobów operatywnych zalega poziomo bądź przy nachyleniu do 12°, a w pokładach o nachyleniu od 12° do 35° zalega około 18% zasobów. Minimalny jest udział pokładów stromych, które stanowią jedynie 0,3% zasobów operatywnych. Powyższe dane dowodzą, że pokłady poziome i słabo nachylone stanowią podstawową bazę surowcową w polskim górnictwie węgla kamiennego.

5. Wnioski

Strategia opracowania scenariusza rozwoju technologicznego ścianowych systemów mechanizacyjnych została oparta na następujących założeniach wynikających z przeprowadzonej analizy stanu techniki i technologii oraz z analizy stanu zasobów i warunków zalegania:

- Stan techniki w zakresie rozważanej problematyki w górnictwie polskim i światowym jest znacznie zróżnicowany.
- Jednym z czynników wpływających na obecny stan techniki w Polsce jest niedoinwestowanie zakładów górniczych.

- Bieżące i przyszłe potrzeby techniczne powinny stymulować rozwój technologii oparty na rodzimych rozwiązaniach.
 - Uzyskanie efektywności ekonomicznej w polach ścianowych o ograniczonych wymiarach pociąga konieczność poprawy potencjału produkcyjnego ścianowego systemu mechanizacyjnego poprzez:
 - zastosowanie wysoko wydajnych maszyn,
 - poprawę dyspozycyjności ciągu technologicznego.
 - Krótkie czasy prowadzenia eksploatacji w polu ścianowym powodują konieczność minimalizacji czasu przygotowania pola ścianowego i doskonalenia systemów alokacji wyposażenia technicznego ścian.
 - Rosnący udział resztek pokładów stwarza wymóg rozwoju systemów krótkofrontowych.
 - W wyniku dysproporcji pomiędzy udziałem wydobycia uzyskiwanego w poszczególnych grupach pokładów i udziałem w zasobach przemysłowych, co dotyczy to w szczególności:
 - pokładów cienkich
 - pokładów średnich
 istnieje konieczność podjęcia efektywnej eksploatacji pokładów cienkich.
 - Znaczący udział pokładów o grubości ponad 4,5 m wymaga rozwoju skutecznych i bezpiecznych technologii ich wybierania.
 - Pokłady poziome i słabo nachylone stanowiące około 97% zasobów przemysłowych są podstawową bazą surowcową w polskich kopalniach węgla kamiennego.
- maszyn i urządzeń ścianowych. Projekt celowy: Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego (zad. 3.2), Gliwice 2007 (praca nie publikowana).
3. Jaszczuk M.: Ścianowe systemy mechanizacyjne. WN Śląsk, Katowice 2007.
 4. Jaszczuk M., Kania J.: Warunki skutecznego i efektywnego wybierania pokładów węgla systemem ścianowym. Monografia nr 17. KOMAG, Gliwice 2007.
 5. Koczvara J., Musiał Z.: Bezpieczne stosowanie obudów zmechanizowanych w świetle zmian przepisów prawa geologicznego i górniczego. Materiały 8. Międzynarodowej konferencji naukowo-technicznej KOMTECH 2007: Innowacyjne i bezpieczne maszyny i urządzenia dla górnictwa węgla kamiennego. Szczyrk 13-15. 11.2007.
 6. PN-EN 1552 Maszyny dla Górnictwa podziemnego – Ścianowe maszyny urabiające –Wymagania bezpieczeństwa dla kombajnów ścianowych i zespołów strugowych.
 7. PN-EN 1804-1 Maszyny dla górnictwa podziemnego – Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej – część 1: Sekcje obudowy i wymagania ogólne.
 8. Saaty T. L.: Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process, Vol. 1, AHP Series, RWS Publications, 502 pp., 1990 extended edition.
 9. Scenariusze rozwoju mechanizacji procesów eksploatacji w górnictwie węgla kamiennego – karty scenariuszy i opis. Projekt celowy: Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego (zad. 4.2), Gliwice 2007 (praca nie publikowana).
 10. Sikora W.: Scenariusz rozwoju technologii wydobycia węgla kamiennego w warunkach utrudnień górniczych. Materiały 8. Międzynarodowej konferencji naukowo-technicznej KOMTECH 2007: Innowacyjne i bezpieczne maszyny i urządzenia dla górnictwa węgla kamiennego. Szczyrk 13-15. 11.2007.

Literatura

1. Analiza bilansu surowcowego pod kątem przewidywanej wielkości wydobycia. Projekt celowy: Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego (zad. 1.1), Kraków 2006 (praca nie publikowana).
2. Hierarchizacja technologii eksploatacji i przeróbki węgla kamiennego w zakresie ścianowych systemów mechanizacyjnych i systemów sterowania

Artykuł wpłynął do redakcji w grudniu 2007 r.

Recenzent: prof.dr inż. Włodzimierz Sikora



UNIA EUROPEJSKA

Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego



UNIA DLA PRZEDSIĘBIORCZYCH
PROGRAM KONKURENCYJNOŚĆ

Projekt pt.: „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego” – WKP_1/1.4.5/2/2006/9/12/590/2006/U

Nowoczesne maszyny transportowe pracujące w kopalniach węgla kamiennego i przewidywane kierunki ich rozwoju

Streszczenie

W artykule omówiono urządzenia transportowe aktualnie stosowane w kopalniach węgla kamiennego, w głównych i oddziałowych drogach transportu. Zwrócono uwagę na coraz szersze wprowadzanie maszyn napędzanych spalinowymi silnikami diesla, co eliminuje transport z liną zamkniętą. Podano przykłady stosowanych urządzeń. Wskazano na obecne tendencje rozwojowe w aspekcie coraz szerszej stosowanych napędów spalinowych oraz wynikające z tego ograniczenia.

Summary

Transportation machines, which are currently used in collieries, in main and divisional routes, were discussed in the paper. The attention was paid to more and more extended implementation of machines, which are driven by Diesel engines, what eliminates transportation with use of closed ropes. The examples of used machines were given. Current development trends in the aspect of more and more extended use of Diesel engines as well as resulting limitations were indicated.

1. Wstęp

Jednym z najważniejszych aspektów rozwojowych górnictwa węgla kamiennego warunkujących wzrost jego efektywności jest zapewnienie wysokiej koncentracji produkcji przez zmniejszanie liczby przodków wydobywczych, przy jednoczesnej zwiększonej ich zdolności produkcyjnej. Wymaga to zastosowania maszyn i urządzeń nowej generacji o dużej wydajności, trwałości i niezawodności charakteryzujących się dużymi gabarytami i masami, przy tym niejednokrotnie bardzo kosztownych. Efektywne wykorzystanie tych maszyn, jest uwarunkowane szybkim i sprawnym transportem do miejsca pracy, dzięki czemu wzrasta efektywny czas ich wykorzystania. Ostatnie lata charakteryzują się dynamicznym rozwojem nowych i udoskonalaniem tradycyjnych środków transportu

2. Kopalniane koleje podziemne

Kluczowe znaczenie dla kopalnianej kolei podziemnej ma tabor trakcyjny, czyli lokomotywy. Do transportowania wozów kopalnianej kolei podziemnej stosowane są następujące typy lokomotyw:

- elektryczne przewodowe (z zewnętrznym źródłem zasilania z trakcji),
- elektryczne akumulatorowe (z wewnętrznym źródłem zasilania),
- pneumatyczne,
- spalinowe (wyposażone w silniki wysokoprężne).

Lokomotywy elektryczne przewodowe stosowane są powszechnie w wyrobiskach zaliczonych do stopnia „a” niebezpieczeństwa wybuchu metanu, w których

prędkość powietrza jest nie mniejsza od 1 m/s. Podstawowymi typami lokomotyw przewodowych są: Ld-22 i Ld-31 wyprodukowane w latach 1970 do 1988 przez ChWKS „Konstal”.

W wyrobiskach o zagrożeniu metanowym oraz wyrobiskach o stopniu „a” niebezpieczeństwa wybuchu metanu, w których prędkość powietrza jest mniejsza od 1 m/s stosowane są lokomotywy elektryczne akumulatorowe (budowy przeciwwybuchowej). Powszechnie stosowanymi lokomotywami akumulatorowymi są lokomotywy typu Ldag-05 i Lea-12BM produkowane do 1998 r. w ChWKS „Konstal”. Obecnie tabor ten jest już w znacznym stopniu wyeksploatowany.

W kopalniach o zagrożeniu metanowym, głównie JSW S.A., przez kilkadziesiąt lat głównym typem stosowanych lokomotyw były lokomotywy z napędem pneumatycznym typu Jung (Niemcy) oraz BVD (Czechy). Lokomotywy te wymagały zabudowy instalacji sprężonego powietrza o ciśnieniu 20 MPa od powierzchni po wszystkie wyrobiska, w których odbywał się transport. Z tego też względu, jak również powodu bardzo niskiej sprawności napędu, stosowanie tego typu lokomotyw było nieekonomiczne.

W ostatnich latach coraz częściej w kopalniach węgla kamiennego znajdują zastosowanie lokomotywy spalinowe stosowane są one między innymi w LW „Bogdanka”, KWK „Borynia”, KWK „Jankowice”. Zaletą lokomotyw spalinowych jest uniezależnienie od trakcji elektrycznej, co umożliwia ich szersze zastosowanie. Jednokrotne tankowanie na ogół wystarcza na pracę maszyny w czasie jednej zmiany. Układy wydechowe lokomotyw są iskrobezpieczne, a stosowane zazwy-

czaj mokre płuczki spalin ograniczają emisję substancji smołowatych. Podstawowe dane techniczne stosowanych lokomotyw podano w tabeli 1.

Podstawowe dane techniczne stosowanych lokomotyw

Tabela 1

Kopalniany tor kolejowy		
	Szerokość toru	standard: 600, 750, 900 mm inne stosowane: 450, 470, 480, 550, 620, 630, 640, 785 mm
Lokomotywy elektryczne przewodowe		
1	napięcie sieci zasilającej	250 V lub 600 V
2	max moc godzinna	95 kW
3	max siła uciągu	34 kN
4	max masa	14t
Lokomotywy elektryczne akumulatorowe		
		Ldag 05 Lea 12BM
1	napięcie	84 V 144 V
2	pojemność baterii	420 Ah 760 Ah
3	moc godzinna	11 kW 40 kW
4	siła pociągowa	5,3 kN 15,7 kN
5	masa	5t 12t
Lokomotywy pneumatyczne		
1	max ciśnienie spręż. powietrza	20 MPa
2	max moc	52 kW
3	max siła uciągu	10 kN
Lokomotywy spalinowe		
1	max moc silnika spalinowego	81 kW
2	max prędkość jazdy	5 m/s
3	max siła uciągu	40 kN

Istniejąca infrastruktura kopalnianej kolei podziemnej (torowiska, zajezdnie, posiadana przez kopalnie znaczna liczba różnego rodzaju wozów) oraz wieloletnie tradycje stosowania w krajowym górnictwie tego systemu transportu stymuluje dalsze jego stosowanie przy nowoczesnym rozwoju taboru trakcyjnego.

Podstawowymi czynnikami wpływającymi na rozwój taboru trakcyjnego jest znaczne zużycie istniejącego taboru trakcyjnego oraz ciągłe doskonalenie podstawowych komponentów stosowanych do budowy lokomotyw.

W kopalniach posiadających infrastrukturę umożliwiającą stosowanie lokomotyw elektrycznych (przewodowych bądź akumulatorowych) nadal będzie stosowany ten rodzaj taboru trakcyjnego.

Niekwestionowane zalety napędów spalinowych spowodują coraz powszechniejsze stosowanie lokomotyw z napędem spalinowym. Obecnie najbardziej zaawansowaną technicznie lokomotywą jest LDS-80, gdzie zastosowano odrębne hydrauliczno-mechaniczne układy napędowe kół prawej i lewej szyny. Dzięki temu na ostrych zakrętach (minimalne promienie zakrętów w kopalniach wynoszą zaledwie 4 m) nie dochodzi do poślizgów kół, a zatem nie dochodzi do zmniejszenia siły pociągowej.

Istotnym czynnikiem sprzyjającym zastosowaniu napędów spalinowych jest możliwość wykorzystania już posiadanych przez kopalnie zajezdni, komór tankowania i przeszkolonej w tym zakresie obsługi.

Ograniczeniem natomiast są warunki wentylacyjne, a przede wszystkim emisja szkodliwych spalin do atmosfery kopalnianej oraz źródło wzmożonego hałasu oraz emisji ciepła, którego źródłem są tego typu lokomotywy.

3. Ciągniki podwieszane i spągowe z napędem własnym

Rosnąca liczba napędów spalinowych wykorzystywanych w kopalniach oraz istniejąca już infrastruktura skłoniła wielu użytkowników do zastąpienia napędów linowych kolei podwieszanych i spągowych napędami własnymi. Rozwiązanie to pozwoliło na eliminację niedogodności transportu linowego w wyrobiskach nachylonych czyniąc go bardziej mobilnym, w którym długość drogi transportowej nie jest ograniczona długością liny ciągnącej. Pojawiające się nowe rozwiązania lokomotyw podwieszanych i ciągników szynowych o zwiększonej sile uciągu były odpowiedzią na zwiększające się masy maszyn i urządzeń górniczych, które dla zwiększenia efektywności transportu mogą być przewożone w całości. Aktualnie rozwój tego typu transportu ukierunkowany jest na zwiększenie siły uciągu ciągników spalinowych. Zaprezentowany na targach w Katowicach w 2007 r. nowy ciągnik CS 120 (na rys. 4. po prawej) o mocy 120 kW jest dobrym przykładem tej tendencji. Warto tu zauważyć, że na targach w 2005 r. był prezentowany ciągnik CS-80 (z lewej) o mocy 80 kW.

Wzrost mocy ciągników musi powodować również wzrost nośności jezdni szynowych. Ma to znaczenie zwłaszcza przy jezdniach podwieszonych, które tradycyjnie były zamocowane do obudowy chodnikowej. Nowe rozwiązania jezdni podwieszonych to nie tylko wzmocnienie samego profilu szyn jezdnych, ale również nowe typy zawiesi i systemu zawieszania z wykorzystaniem niezależnego kotwienia. Problemy związane z nośnością w mniejszym zakresie dotyczą tras kolejek spągowych, chociaż i tutaj istnieją przesłanki do wzmocnienia obecnie stosowanych tras na bazie ceowników C180. Podczas transportu mas powyżej 20t dochodzi do zaginania się półek ceowników trasowych.

Przykładem ciągnika spalinowego poruszającego się na trasie ceownikowej jest ciągnik firmy BECKER pokazany na rysunku 5.

Kolejnym rozwiązaniem jest ciągnik PIOMA-VACAT. Jego cechą charakterystyczną jest podwójny system napędowy działający na zasadzie sprzężenia ciernego lub zębatego. Pozwala on na osiąganie większych prędkości przejazdowych na odcinkach poziomych i większych sił uciągu na odcinkach nachylonych. Zastosowany system pozwala na efektywne wykorzystanie zainstalowanej mocy przy maksymalnych możliwych prędkościach transportu.



Rys.1. Lokomotywa elektryczna przewodowa Ld-31



Rys.2. Lokomotywa LDS-80 produkcji FMG PIOMA



Rys.3. Lokomotywa dołowa spalinowa Lds-100K-EM



Rys.4. Ciągniki kolejek podwieszanych CS-80 (z lewej) i CS-120 (z prawej)



Rys.5. Ciągnik spągowej kolei zębatej firmy BECKER



Rys.6. Ciągnik spągowej kolei zębatej typu PIOMA-VACAT

4. Ciągniki w zintegrowanych systemach transportu

Istotną cechą zintegrowanego systemu transportu jest możliwość transportowania ciężkich wielkogabarytowych jednostek transportowych w całości bez przeładunków, na tej samej platformie transportowej. Założony cel jest możliwy do realizacji dzięki zastosowaniu szynowych kolei spągowych (z napędem własnym), których tor jest ułożony na całej drodze transportu, a więc na głównych i oddziałowych (w tym nachylnych) drogach transportu.

Z uwagi na założone pokonywanie tras poziomych i znacznych nachyleń (do $\pm 30^\circ$), dla zapewnienia bezpieczeństwa i efektywności transportu, systemy takie będą wymagały stosowania maszyn z podwójnymi układami napędowymi. Na poziomych odcinkach toru siła pociągowa może być realizowana poprzez wymuszenie sprzężenia ciernego lub konwencjonalnie-adhezyjnego. Na nachyleniach będzie stosowany drugi napęd – zębatkowy. Siła pociągowa powstaje dzięki współpracy kształtowego (np. sworzniowego lub zębatego) koła (kół) umieszczonego w pojeździe trakcyjnym z listwą kształtową (np. zębatą) połączoną trwale z torowiskiem.

Obecnie pierwszym tego typu rozwiązaniem jest ciągnik spalinowy typu SKZ-81 wyposażony w podwójny układ napędowy:

- SKZ-81 produkcji RFM RYFAMA w kopalni „Bieliszowice”,
- PIOMA-VACAT produkcji firm PIOMA S.A. oraz VACAT Sp.z o.o. w kopalni „Wesoła”.

Zaletą ciągnika spalinowego SKZ-81 jest możliwość poruszania się w wyrobiskach poziomych po torze szynowym podobnie jak lokomotywa o napędzie spalinowym,

oraz w wyrobiskach nachylnych, również po torze szynowym wyposażonym w zębatkę. Badania eksploatacyjne wykazały, że praktycznie możliwy jest transport ładunku o masie 35 t od szybu do przodku wydobywczego, bez przeładunku, niezależnie od nachylenia dróg transportu. Na efektywność takiego transportu wpływ ma relacja długości poziomej i nachylonej drogi transportu oraz ilość zastosowanych ciągników, a zastosowanie uniwersalnej platformy transportowej, mogącej się poruszać na trasie poziomej i nachylonej umożliwia jej stosowanie z klasyczną lokomotywą, jak i z dedykowanym ciągnikiem SKZ-81. Możliwe jest stosowanie na odcinkach poziomych zwykłych lokomotyw, i przepinanie załadowanej platformy do ciągnika SKZ-81 pracującego na nachyleniu, bez przeładunku przewożonego obiektu z platformy na platformę.

5. Prognoza rozwoju urządzeń transportowych przyszłej dekady

W najbliższej przyszłości, w zakresie lokomotyw z napędem elektrycznym należy spodziewać się rozwoju tych maszyn z zastosowaniem:

- efektywniejszych silników elektrycznych (w szczególności z magnesami stałymi),
- nowej generacji baterii akumulatorowych (np. z elektrolitem stałym, nie wymagających obsługi, nie wydzielających wodoru podczas ładowania, o dużej pojemności w stosunku do masy),
- nowoczesnych energo-elektronicznych przekształtnikowych układów zasilających.

Zintegrowane systemy transportu, jako oferujące dużą elastyczność zastosowań, praktycznie nieograniczoną mobilność, eliminację przeładunków najprawdopodobniej znajdą szerokie zastosowanie, co jednak będzie uzależnione od czynnika ekonomicznego - kosztu



Rys.7. Ciągnik spalinowy SKZ-81

zakupu urządzeń systemu w odniesieniu do przewidywanych korzyści.

Z kolei rozwój spalinowych urządzeń transportowych zmierzać będzie do wykorzystywania silników spalinowych o większej mocy, głównie w aspekcie konieczności zwiększania prędkości transportu i wielkości przewożonych mas. Już obecnie wdrażane są rozwiązania z silnikami o mocy 120 kW. Odnotowane tendencje ilościowe i jakościowe zwiększania udziału napędów spalinowych z pewnością spowodują konieczność udoskonalenia układów odprowadzania spalin i zmniejszania ich toksyczności. Rozwój napędów spalinowych będzie ukierunkowany na ograniczenie emisji spalin z jednoczesnym uzyskaniem maksymalnej sprawności układu napędowego. W związku z tym należy prognozować, że oprócz czysto mechanicznej czy też hydraulicznej transmisji mocy z silnika spalinowego na koła jezdne pojawią się układy hybrydowe, spalinowo-elektryczne.

Niewykluczone, że w dalszym rozwoju napędów lokomotyw i ciągników uwzględnione zostaną wodorowe ogniwa paliwowe, czemu będzie sprzyjał rozwój tej technologii w przemyśle samochodowym. Korzystnym aspektem możliwości wykorzystania wodorowego ogniwa paliwowego jest stosunkowo niska temperatura procesu przemiany energii wewnątrz ogniwa, nie przekraczająca 100°C.

Największy wpływ na scenariusz rozwoju urządzeń transportowych będzie miała przyszłość węgla kamiennego

jako paliwa, struktura cen konkurencyjnych nośników energii, rozwój nowych technologii energetycznych oraz krajowa i unijna polityka w tym zakresie.

Literatura

1. Budzyński Z., Dobrzaniecki P., Suffner H.: Nowoczesne lokomotywy dołowe produkcji Energomechanik Sp. z o.o. Transport Przemysłowy nr 3, 2007.
2. Pieczora E.: Nowe rozwiązania górniczych urządzeń transportowych podnoszące bezpieczeństwo pracy. Materiały konferencyjne z 12 Międzynarodowej Konferencji „Hornicka Ostrava 2007” Ostrava 18-20.09.2007.
3. Drwięga A., Pieczora E.: Nowe rozwiązanie górniczej kolei spągowej o podwójnym systemie napędowym. Szkoła Eksploatacji Podziemnej 2007 - Materiały Konferencyjne.
4. Siedlar A., Furmanik K.: System zintegrowanego transportu pomocniczego dla kopalń podziemnych w świetle nowych zadań. Materiały międzynarodowej konferencji naukowo-technicznej „Modernizacja systemu transportu podziemnego”- KOMAG-SITG, Szczyrk, czerwiec 1977.

Artykuł wpłynął do redakcji w grudniu 2007 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Adam Klich



UNIA EUROPEJSKA

Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego



UNIA DLA PRZEDSIĘBIORCZYCH
PROGRAM KONKURENCYJNOŚĆ

Projekt pt.: „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego” – WKP_1/1.4.5/2/2006/9/12/590/2006/U