

Dr inż. Krzysztof FILIPOWICZ
Politechnika Śląska

Badania układów napędowych maszyn roboczych ze sprzęgłami podatnymi

Streszczenie

W opracowaniu przedstawiono budowę i zasadę działania stanowisk badawczych, przeznaczonych do prowadzenia badań układów napędowych i charakterystyk sprzęgieł podatnych. Omówiono metodykę prowadzenia badań oraz przykłady przebiegów wielkości mierzonych, uzyskanych z badań doświadczalnych prowadzonych na tych stanowiskach.

Summary

Design and principle of operation of test stands designed for testing of drive systems and to determine characteristics of yielding couplings were presented in the paper. Testing methodology and examples of time processes of measured amounts, which were obtained from the tests carried out on these stands, were discussed.

1. Wprowadzenie

W układach napędowych maszyn roboczych, sprzęgła podatne mają podstawowy wpływ na ich pracę, poprzez redukcję amplitudy drgań skrętnych oraz łagodzenie obciążeń dynamicznych. Propozycja zastosowania sprzęgła podatnego umieszczonego między przekładnią zębatą i napędzanym zespołem maszyny roboczej, wymaga jakościowej i ilościowej oceny stopnia jego przydatności do danego układu napędowego. Skutkuje to koniecznością przeprowadzenia badań doświadczalnych, mających na celu wyznaczenie odpowiednich charakterystyk statycznych oraz dynamicznych sprzęgieł i układów napędowych. Znajomość tych charakterystyk warunkuje prawidłowy dobór parametrów sprzęgła i prawidłową pracę napędu maszyny roboczej [1, 2, 3].

Analiza konstrukcyjna sprzęgieł podatnych, których większość posiada złożoną konstrukcję oraz zawiera elementy podatne o trudno definiowalnych cechach, sprawia, że najbardziej odpowiednim sposobem wyznaczenia charakterystyk sprzęgieł podatnych jest przeprowadzenie badań doświadczalnych na specjalnych stanowiskach badawczych.

2. Budowa stanowiska badawczego

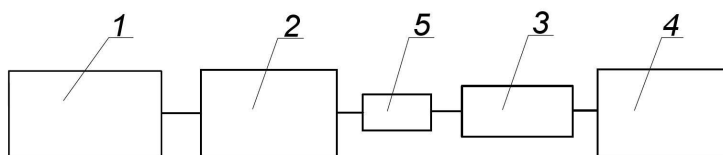
W Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej, zbudowane zostało stanowisko badawcze,

przeznaczone do badania wpływu mechanicznych sprzęgieł podatnych na charakterystykę układu napędowego, które składa się z: silnika elektrycznego (1) – przekładni zębatej (2) – sprzęgła (3) – maszyny roboczej (4) (tutaj: hamulec tarczowy i hydrauliczny) (rys. 1). Układ ten stanowi odwzorowanie typowego układu napędowego maszyny roboczej z tą różnicą, że sprzęgło podatne umieszczone jest bezpośrednio przy maszynie roboczej, a nie tak jak typowo – przy silniku napędowym.

Stanowisko pozwala na prowadzenie następujących badań:

- wyznaczanie przebiegu momentu obrotowego, zespołu napędowego, jako reakcji układu na wymuszenie wywołane rozruchem silnika elektrycznego, tzn. pracy sprzęgła podczas rozruchu układu napędowego,
- wyznaczanie przebiegu momentu obrotowego, jako reakcji układu na wymuszenie w postaci zadawanego obciążenia impulsowego, tzn. praca sprzęgła przy losowym obciążeniu układu napędowego momentem dynamicznym, mającym charakter impulsowy.

Na rysunku 2 przedstawiono schematycznie budowę stanowiska do badań sprzęgieł mechanicznych, natomiast rysunek 3 przedstawia jego widok po zmontowaniu.



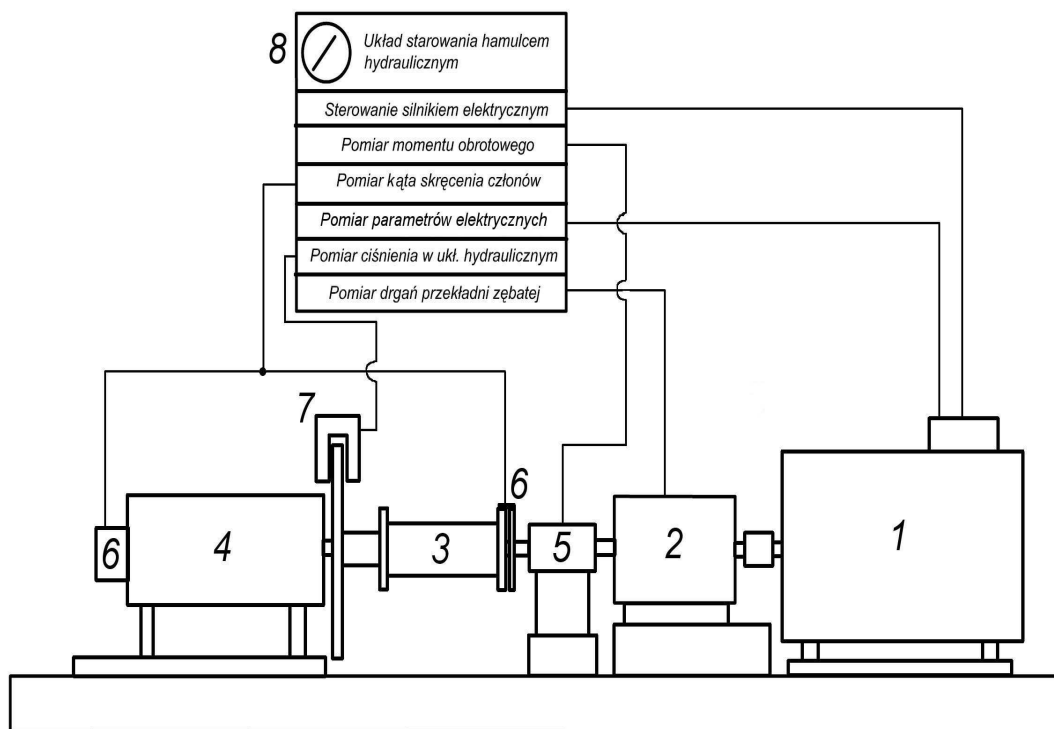
Rys.1. Schemat układu napędowego stanowiska do badań sprzęgieł mechanicznych
1 – silnik elektryczny, 2 – przekładnia zębata, 3 – badane sprzęgło podatne, 4 – maszyna robocza (hamulec), 5 – momentomierz pomiarowy

Do napędu stanowiska badawczego przedstawionego na rysunku 2 wykorzystywany jest trójfazowy silnik elektryczny klatkowy (1), o mocy 5,5 kW i nominalnej prędkości obrotowej 1455 min^{-1} . Zasilanie silnika może być zrealizowane na dwa sposoby: poprzez przetwornik częstotliwości (falownik), który pozwala na płynną regulację prędkości obrotowej w zakresie od 0 do 1700 min^{-1} lub przy zasilaniu napięciem 380 V z pominięciem układu przełącznika gwiazda-trójkąt. Takie rozwiązania zapewniają płynny i łagodny rozruch układu napędowego stanowiska lub rozruch szybki i dynamiczny.

dium roboczego w układzie hydraulicznym. Zmiana ciśnienia w układzie hydraulicznym, a tym samym zmiana siły hamowania hamulca tarczowego, realizowana jest poprzez układ dźwigniowy.

Stanowisko badawcze wyposażono w elektroniczny układ do pomiaru kąta względnego obrotu członów sprzęgła (6).

Na rysunku widoczny jest także układ do pomiarów parametrów zasilania silnika elektrycznego (napięcie i natężenie) (9).



Rys.2. Schemat stanowiska do badań sprzęgieł mechanicznych

1 – silnik elektryczny, 2 – przekładnia zębata, 3 – badane sprzęgło podatne, 4 – zespół hamulca tarczowego i hydraulicznego, 5 – momentomierz tensometryczny Mt1000, 6 – elementy do pomiaru kąta wzajemnego obrotu członów sprzęgła, 7 – zacisk hamulca tarczowego wraz z czujnikiem ciśnienia medium, 8 – układy sterująco-pomiarowe stanowiska badawczego

Z wałem silnika połączona jest dwustopniowa przekładnia zębata (2). Do wyjściowego wału przekładni (2) połączony jest momentomierz tensometryczny (5), służący do pomiaru momentu obrotowego M_o zadawanego przez układ napędowy stanowiska. Momentomierz ten z drugiej strony połączony jest bezpośrednio z członem czynnym badanego sprzęgła podatnego (3). Człon bierny sprzęgła połączony jest z układem hamulcowym stanowiska (4). Układ hamulcowy stanowiska zbudowany jest z hamulca tarczowego (7) sterowanego hydraulicznie oraz hamulca hydraulicznego (8), w którym jako element hamujący wykorzystano pompę zębatą.

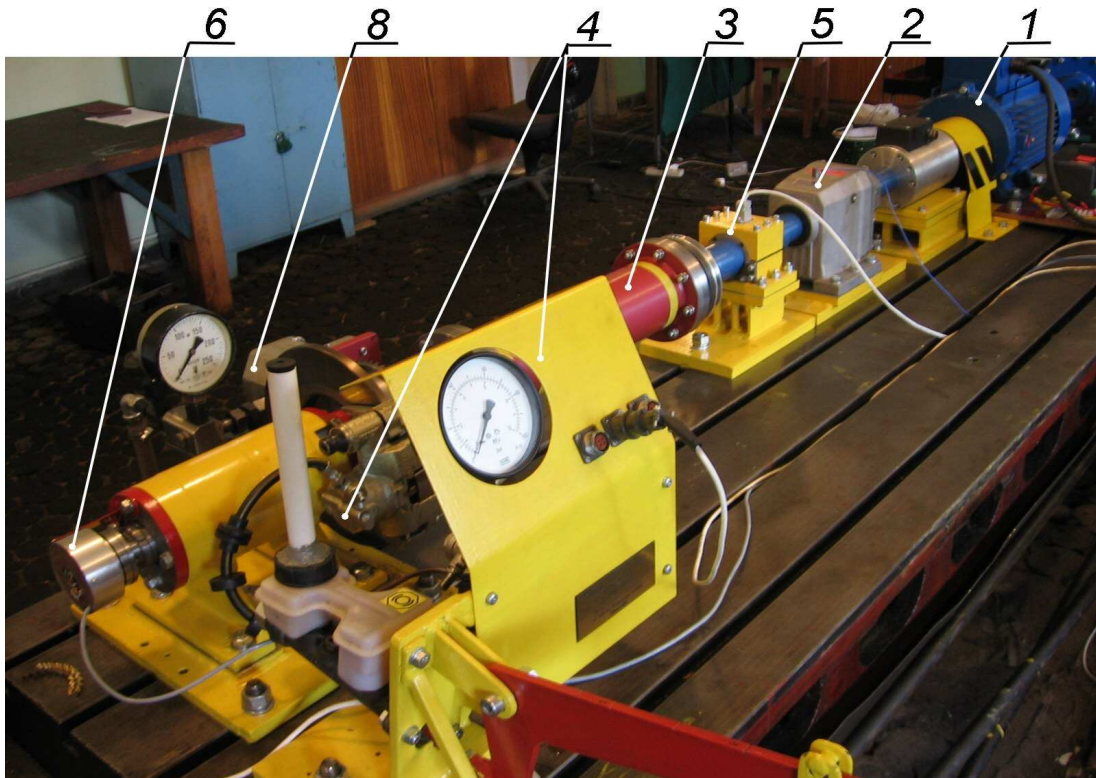
Układ hydrauliczny hamulca tarczowego wyposażono w elektroniczny przetwornik ciśnienia, pozwalający na pomiar i rejestrację przebiegu zmian ciśnienia me-

Wszystkie sygnały pomiarowe przesyłane są do zestawu aparatury rejestrująco-pomiarowej, przedstawionej na rysunku 4.

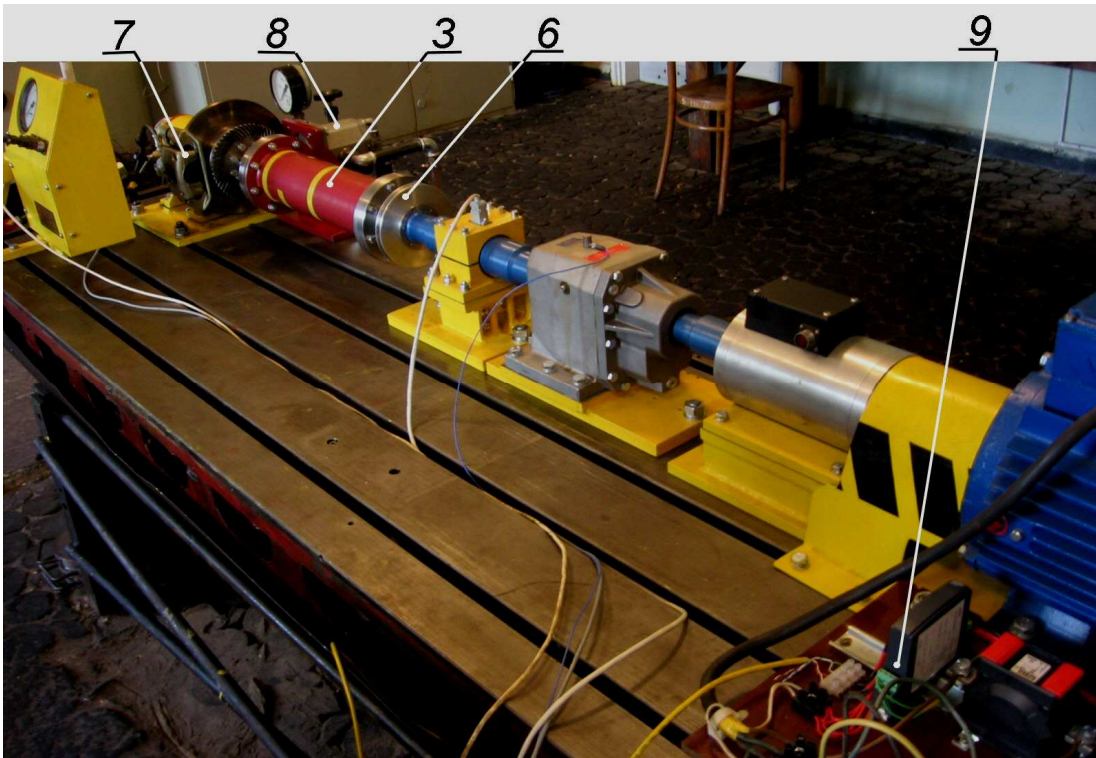
W skład zestawu aparatury pomiarowej służącej do wizualizacji i przetwarzania sygnałów pomiarowych z czujników, stanowiących wyposażenie stanowiska badawczego, wchodzi następujące główne moduły poszczególnych torów pomiarowych (rys. 4):

- moduł do odczytu momentu obrotowego z momentomierza tensometrycznego MW 2006-4,
- moduł do odczytu kąta wzajemnego obrotu członów sprzęgła MW 2006-2,
- uniwersalna karta pomiarowa USB,
- modułowy system pomiarowy typu SCXI® do pomiaru drgań,

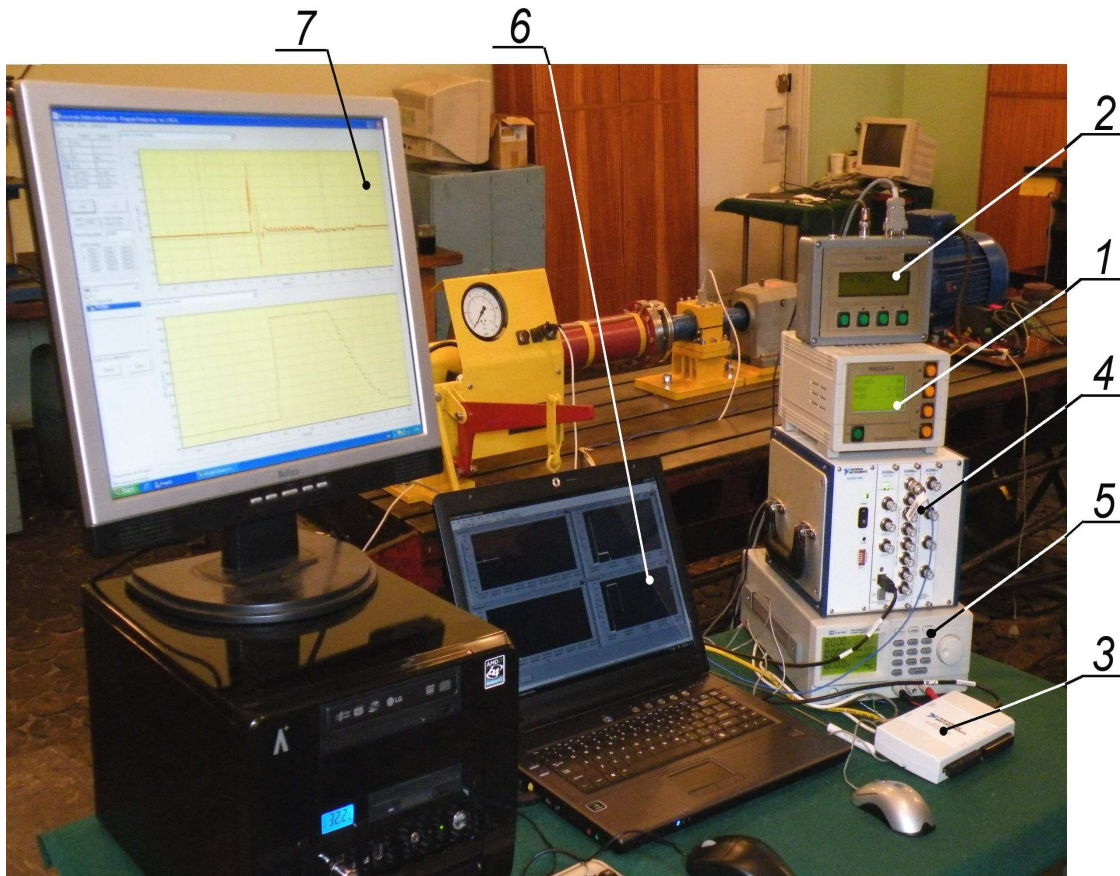
a)



b)

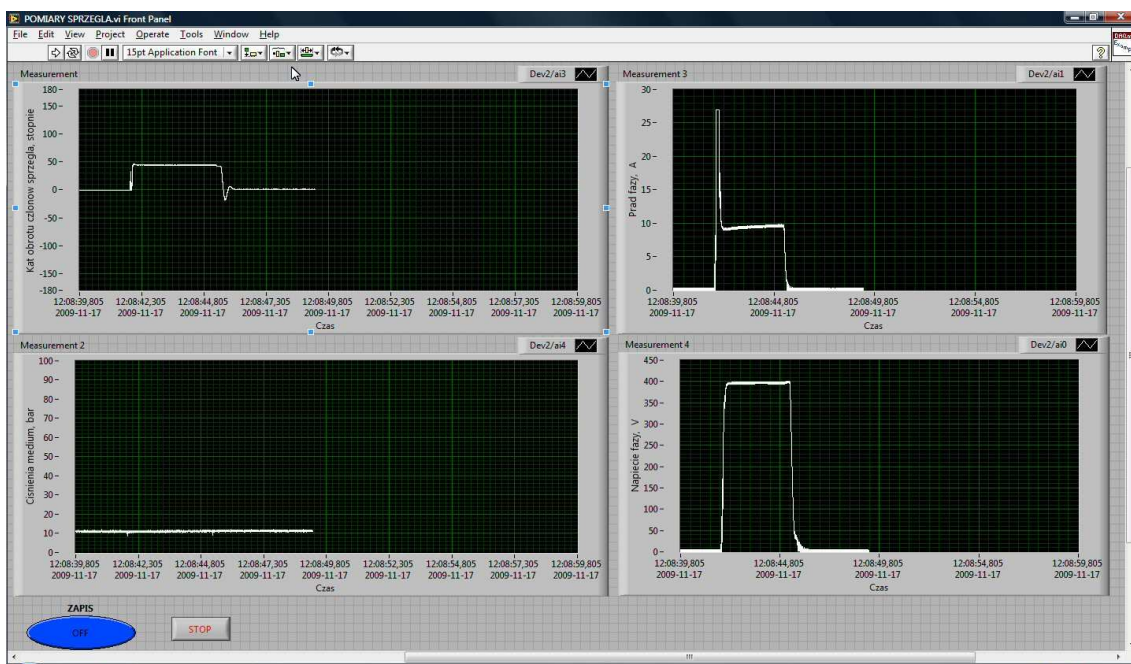


Rys.3. Stanowisko do badania sprzęgieł podatnych skrętnie: widok (a): 1 – silnik elektryczny, 2 – przekładnia zębata, 3 – badane sprzęgło mechaniczne, 4 – elementy układu hamulcowego stanowiska, 5 – momentomierz tensometryczny Mt1000, 6 – element do pomiaru kąta wzajemnego obrotu członów sprzęgła, widok (b): 6 – element do pomiaru kąta wzajemnego obrotu członów sprzęgła, 7 – elementy hamulca tarczowego wraz z czujnikiem ciśnienia medium, 8 – elementy hamulca hydraulicznego z pompą zębatą, 9 – układ do pomiaru parametrów elektrycznych silnika



Rys.4. Zestaw aparatury pomiarowej stanowiska badawczego

1 – moduł do odczytu momentu obrotowego z momentomierza tensometrycznego MW 2006-4, 2 – moduł do odczytu kąta wzajemnego obrotu członów sprzęgła MW 2006-2, 3 – karta pomiarowa USB, 4 – modułowy system pomiarowy typu SCXI® NI do pomiarów akcelerometrycznych, 5 – zasilacz impulsowy, 6, 7 – komputery pomiarowe



Rys.5. Widok ekranu przyrządu wirtualnego

- uniwersalny zasilacz impulsowy,
- komputer pomiarowy.

Zainstalowane w komputerze pomiarowym środowisko programowe LabView, umożliwia stworzenie wirtualnych przyrządów pomiarowych opartych sprzętowo na zastosowanych kartach i systemach pomiarowych, który pozwala na sterowanie systemem, jego konfigurację i kontrolę działania oraz akwizycję, wizualizację i rejestrację sygnałów z wszystkich czujników i przetworników pomiarowych. Przyrząd pozwala także na przeprowadzenie w czasie rzeczywistym operacji matematycznych na sygnałach z przetworników i czujników pomiarowych. Przykładowy widok ekranu przyrządu wirtualnego przedstawia rysunek 5.

Do prowadzenia pomiarów wielkości mierzonych stanowisko zostało wyposażone w następujące torry pomiarowe:

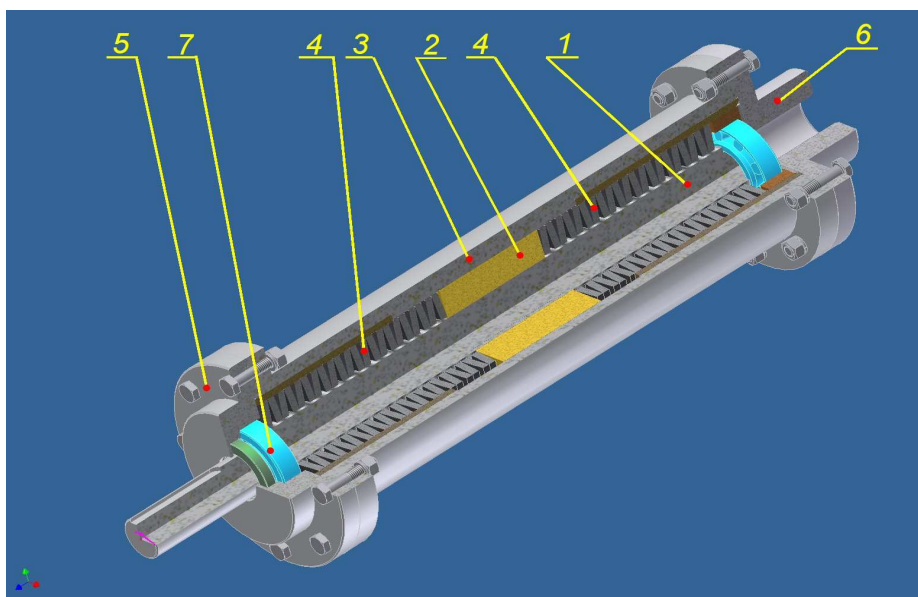
- momentu obrotowego w zakresie do 1000 Nm,
- kąta względnego obrotu członów sprzęgła; w celu przeprowadzenia pomiaru kąta względnego obrotu członów sprzęgła, opracowano unikalny tor do prowadzenia pomiarów tej wielkości; trudność wynikała z faktu, że pomiar kąta jest realizowany podczas pracy układu napędowego tzn. przy wirującym sprzęgle; problem polega na sposobie przekazania sygnału do nieruchomego interfejsu odczytującego dane pomiarowe i sposobie zasilania układu czujnika odczytującego dane; w rozwiązaniu wykorzystano czujnik magnetyczny odczytujący względny obrót na tzw. taśmie absolutnej, a do przekazywania sygnału – tzw. wielokanałowy transformator wirujący,

- ciśnienia medium w hydraulicznym układzie hamowania,
- parametrów zasilania silnika elektrycznego tzn. pomiar napięcia i prądu elektrycznego układu trójfazowego,
- drgań mechanicznych przekładni zębatej.

3. Wyniki badań wpływu sprzęgła podatnego skrętnie na pracę układu napędowego

Zadaniem sprzęgła podatnego w układzie napędowym jest łagodzenie dynamicznych zmian przenoszonych momentu obrotowego, które mogą pochodzić zarówno od silnika napędowego, jak i od obciążenia zewnętrznego maszyny roboczej. Również chwilowe zmiany momentu obrotowego mogą być łagodzone przez sprzęgło podatne. W tym przypadku zmniejszenie maksymalnej wartości chwilowej momentu obrotowego następuje w wyniku zamiany energii mechanicznej na sprężystą. W sprzęgle podatnym skrętnie nadwyżka energii mechanicznej jest zamieniana na energię sprężystą elementu podatnego. Natomiast podczas nagłego odciążenia sprzęgła skumulowana energia sprężysta zostaje zamieniona na energię mechaniczną, a tym samym powrotny obrót wału sprzęgła.

W procesie łagodzenia zmian dynamicznych występujących w układzie napędowym znaczącą rolę spełnia także rozproszenie energii, powodowane występowaniem tarcia konstrukcyjnego i tarcia w połączeniach ruchomych sprzęgła.



Rys.6. Budowa prototypu metalowego sprzęgła podatnego skrętnie dwukierunkowego działania
 1 – wał sprzęgła z wykonanym gwintem, 2 – tuleja przesuwna z wykonanym gwintem wewnętrznym i wielowypustami, 3 – obudowa z naciętymi wielowypustami, 4 – zestawy sprężyn talerzowych, 5 – pokrywa zamykająca, 6 – piasta sprzęgła, 7 – łożyska stożkowe

Przykładem wykorzystania zbudowanego stanowiska badawczego, były badania przeprowadzone na prototypie metalowego sprzęgła podatnego skrotnie dwukierunkowego działania (rys. 6) zaprojektowanego na przenoszenie momentu obrotowego $M_O = 410 \text{ Nm}$ z zastosowanymi odpowiednimi zestawami sprężyn talerzowych [4, 5].

3.1. Rozruch układu napędowego z metalowym sprzęgłem podatnym

Badania metalowego sprzęgła podatnego skrotnie miały na celu wyznaczenie przebiegu momentu obrotowego M_O obciążającego sprzęgło, jako reakcji układu na wymuszenie powstałe podczas rozruchu silnika elektrycznego, napędzającego ten układ.

Podczas rozruchu, moment obrotowy M_O , obciążający sprzęgło, osiąga wartość maksymalną M_{max} . Wynika to z potrzeby pokonania momentu bezwładności napędzanych mas i obciążenia roboczego – momentu hamowania M_H . Po pewnym czasie na wartość nadwyżki momentu, oprócz wspomnianej bezwładności, bezpośredni wpływ ma sztywność skrotna k oraz współczynnik tłumienia ψ zastosowanego sprzęgła podatnego.

W trakcie realizowanych badań, mających na celu wyznaczenie przebiegu zmian momentu obrotowego obciążającego sprzęgło w funkcji czasu, występujących podczas rozruchu układu napędowego, rozruch silnika elektrycznego następował przez zasilanie go napięciem 380 V z pominięciem układu przełącznika gwiazda-trójkąt. Takie rozwiązanie zapewnia szybki i dynamiczny rozruch układu napędowego stanowiska.

W kolejnych próbach podczas rozruchu sprzęgło było obciążane momentem M_H , uzyskanym za pomocą układu hamulcowego. Przebieg momentu obrotowego podczas rozruchu mierzony był w czasie rzeczywistym za pomocą momentomierza tensometrycznego i rejestrowany przez aparaturę pomiarową.

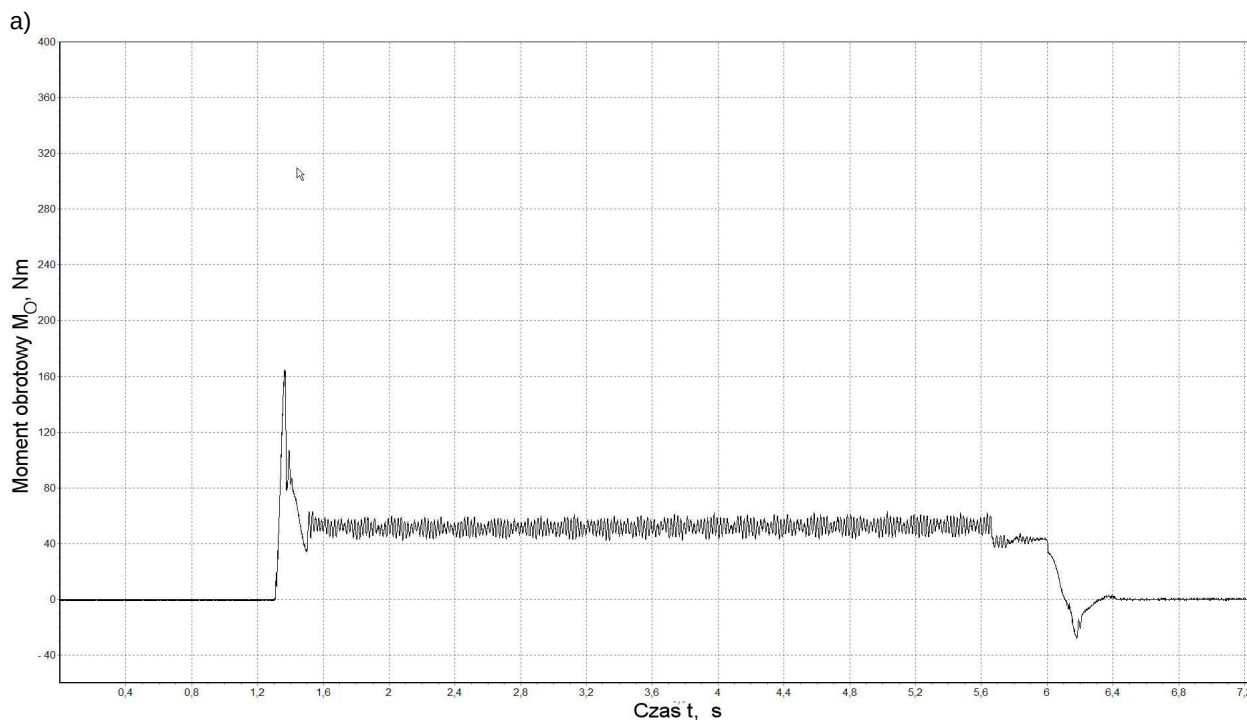
System pomiarowy rejestrował także przebieg zmian kąta φ_R względnego obrotu członów sprzęgła, odpowiadających zmianom momentu obrotowego oraz pozostałe mierzone wielkości.

Prototyp sprzęgła $M_O = 410 \text{ Nm}$, badany był przy kilku wstępnie zadanych wartościach momentu hamującego M_H .

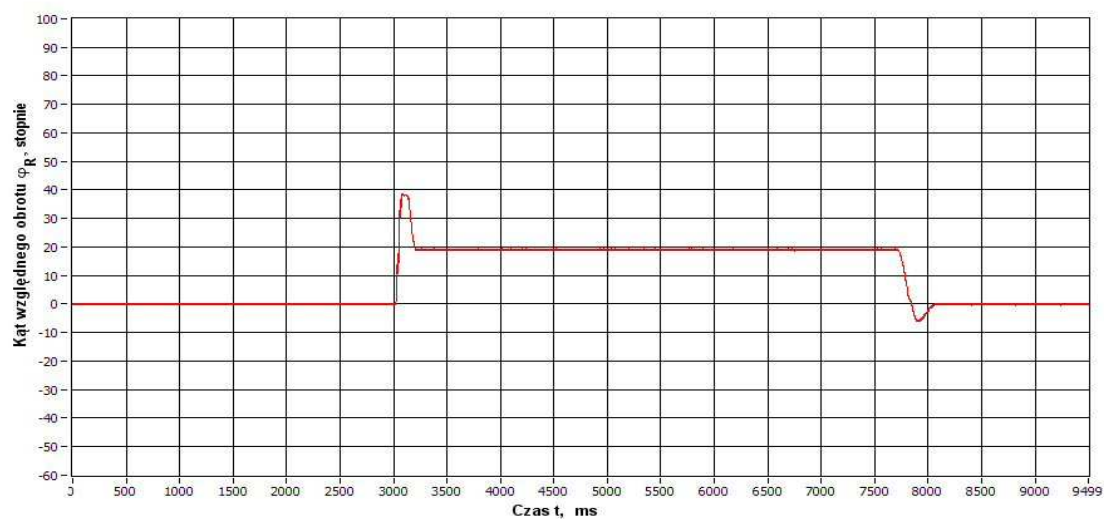
Na rysunku 7 przedstawiono przykładowe przebiegi rozruchu układu przy obciążeniu momentem hamowania $M_H = 55 \text{ Nm}$. W tym przypadku wartość momentu maksymalnego wynosiła $M_{max} \approx 165 \text{ Nm}$; czas rozruchu t_R układu napędowego jest równy $t_R \approx 0,19 \text{ s}$, a w przypadku maksymalnego momentu obrotowego względny kąt obrotu członów sprzęgła wynosił $\varphi_{Rmax} \approx 39^\circ$. Zarejestrowana wartość maksymalna nadwyżki momentu wynosiła $\Delta M_{max} = 110 \text{ Nm}$. Wartość maksymalna prądu fazowego $I_{maxF} = 54 \text{ A}$, a podczas pracy ustalonej $I_F = 6,5 \text{ A}$. Wartość napięcia zasilającego silnik elektryczny wynosiła $U_F = 230 \text{ V}$.

3.2. Układ napędowy z metalowym sprzęgłem podatnym, obciążony impulsowym momentem obrotowym

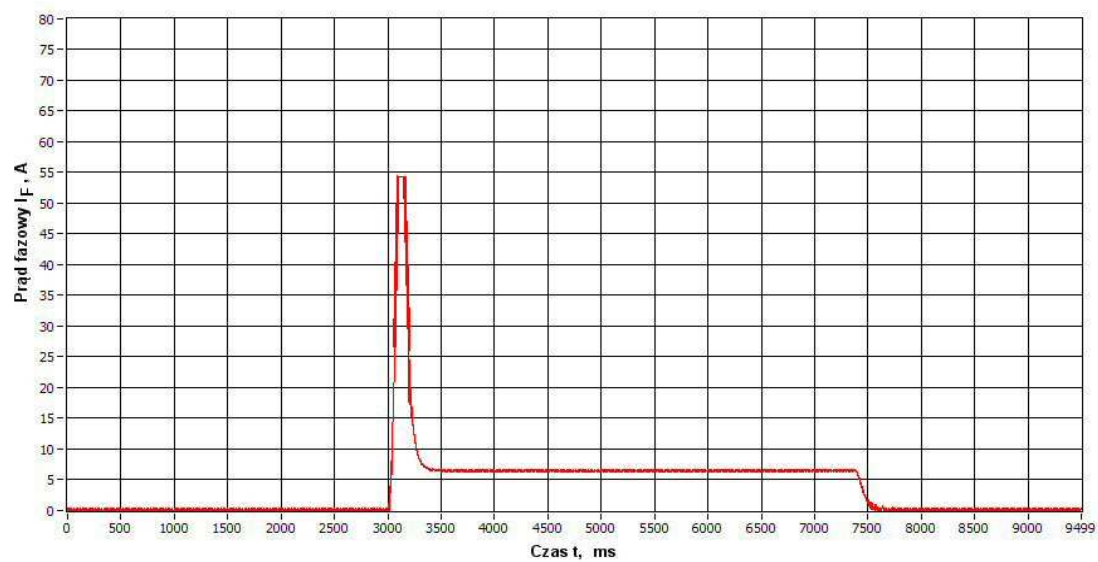
Badania metalowego sprzęgła podatnego skrotnie, obciążonego w czasie pracy ustalonej momentem dynamicznym, mającym charakter impulsowy, zwanego



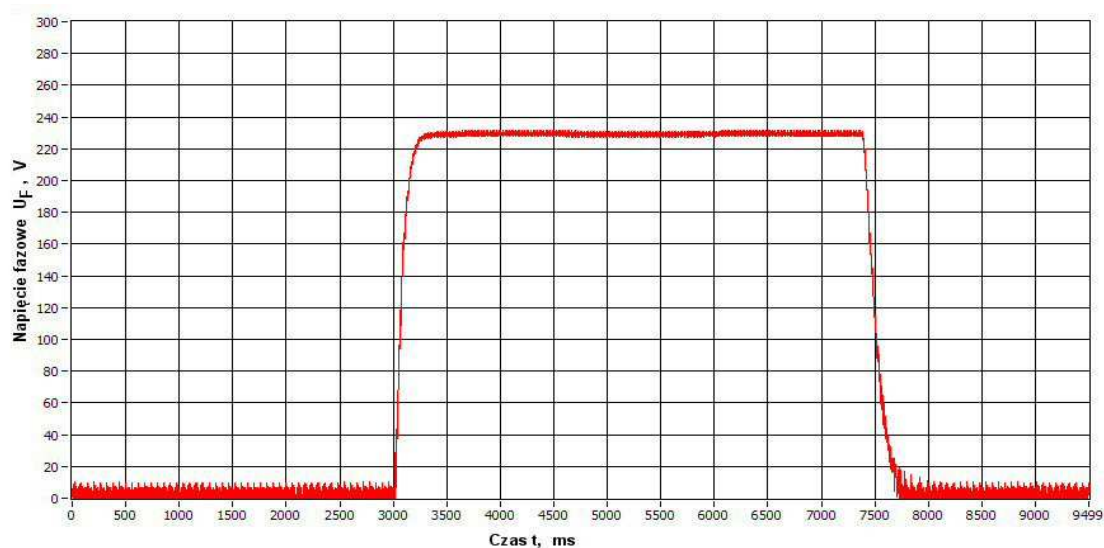
b)



c)

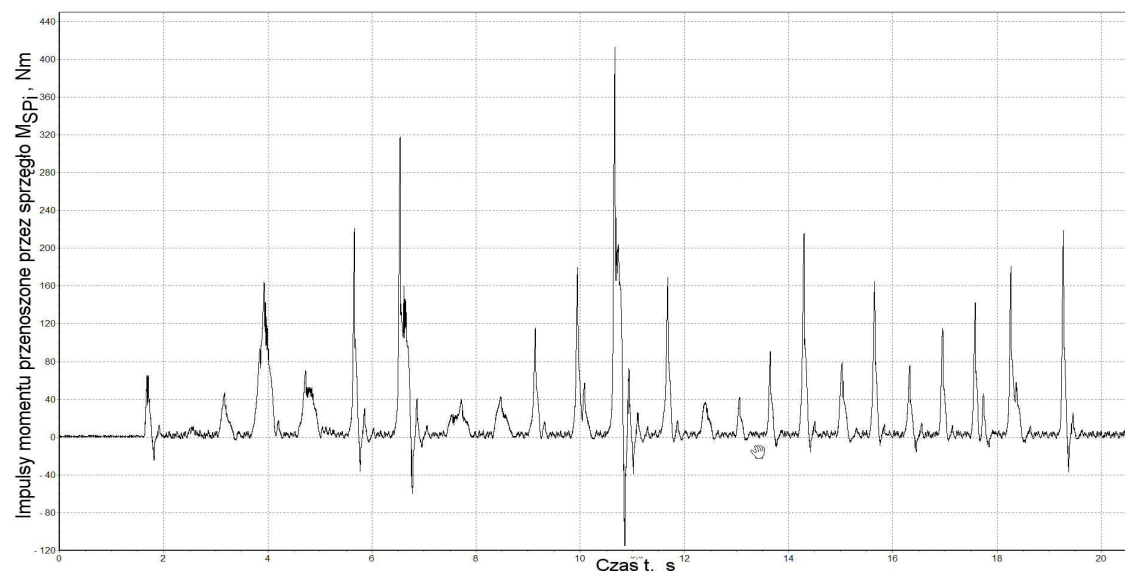


d)

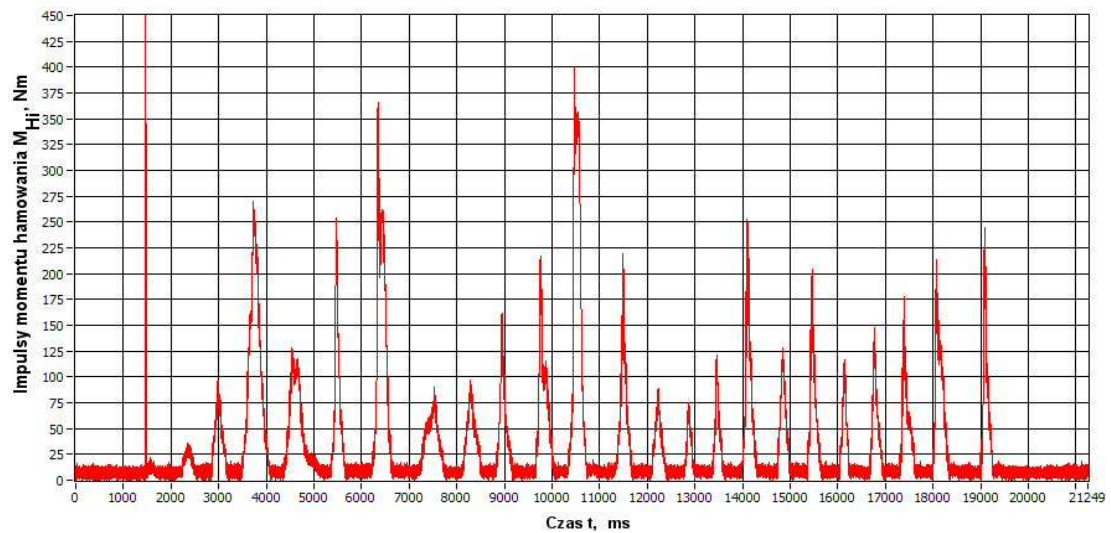


Rys.7. Zarejestrowane przebiegi zmian: a – momentu obrotowego M_O w funkcji czasu, podczas rozruchu układu napędowego, b – kąta φ_R względnego obrotu członów, c – prądu fazowego I_F , d – napięcia fazowego U_F , sprzęgła dla $M_H = 55 \text{ Nm}$

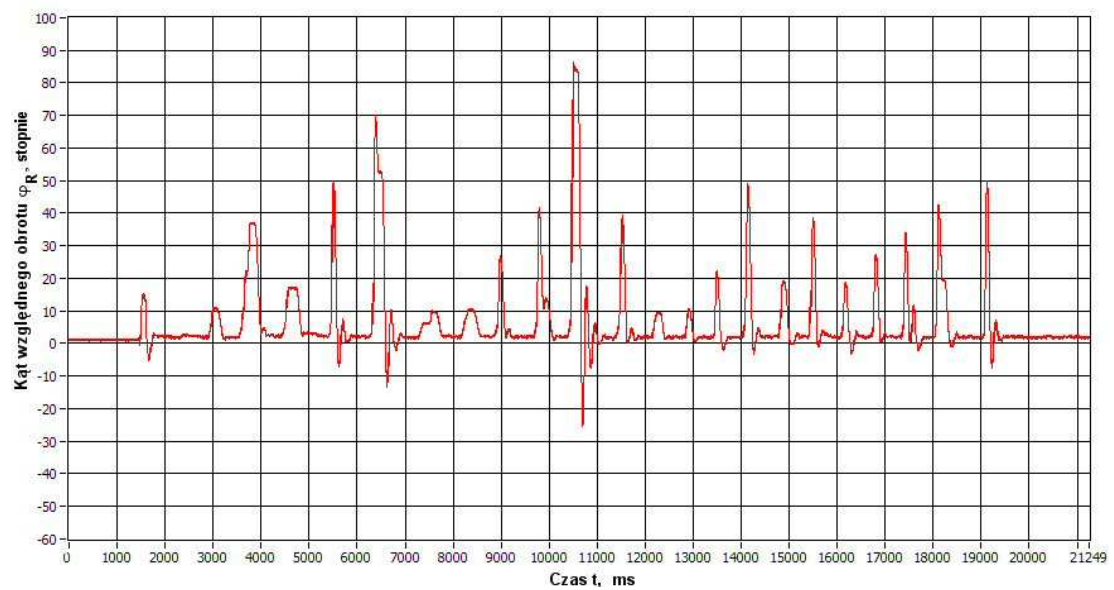
a)



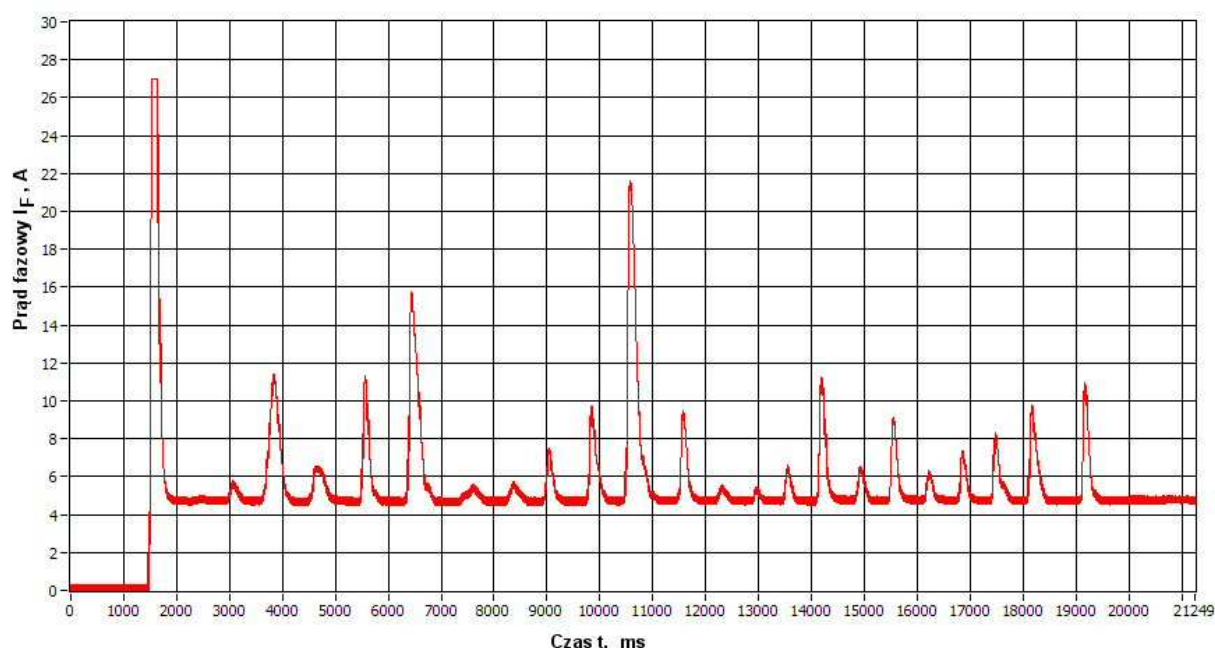
b)



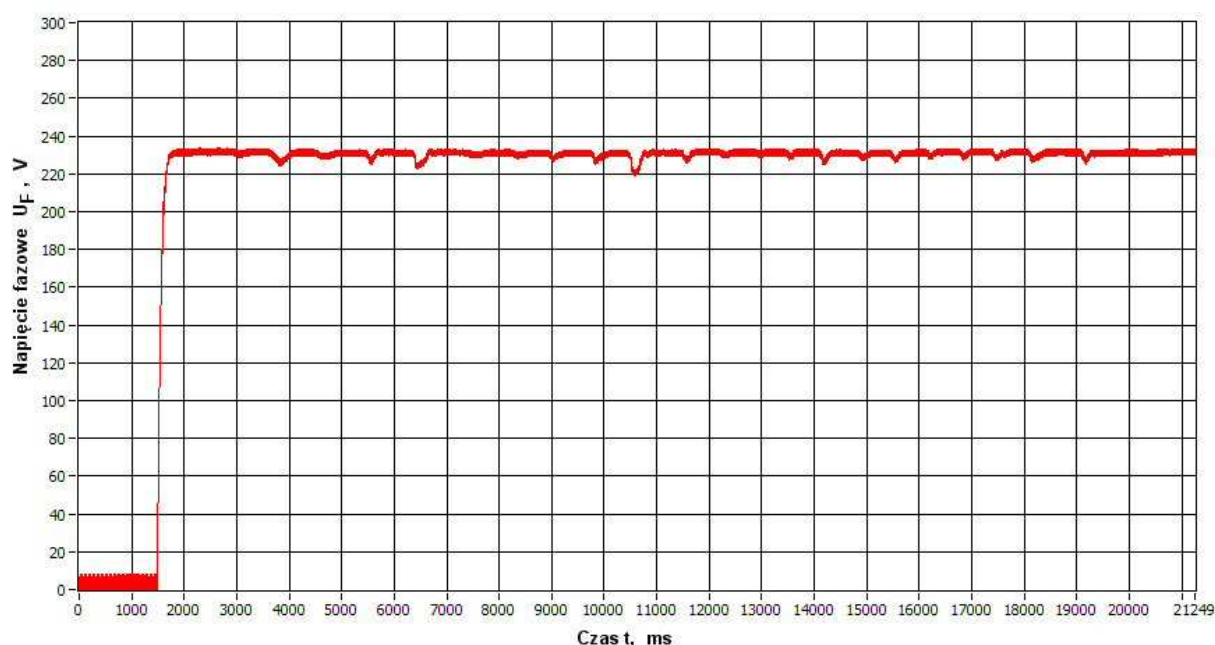
c)



d)



e)



Rys.8. Zarejestrowane przebiegi: a – impulsów momentu obrotowego M_{SPi} przenieszonego przez sprzęgło, b – impulsów momentu hamowania M_{Hi} , c – kąta φ_R względnego obrotu członów sprzęgła, d – prądu fazowego I_F , e – napięcia fazowego U_F , sprzęgła w funkcji czasu

dalej – *impulsem* momentu obrotowego, miały na celu określenie wpływu tego rodzaju obciążenia na przebieg zmian momentu obrotowego M_O przenieszonego przez sprzęgło.

Podczas zmiennego obciążenia roboczego moment ze strony biernej jest przenoszony na czynną. Podobnie jak przy rozruchu, moment obrotowy jest przekazywany ze strony czynnej na bierną sprzęgła.

Metodyka badań sprzęgła, w tym przypadku, polega na uruchomieniu napędu stanowiska badawczego z momentem hamowania $M_H = M_{ust} = 3 \text{ Nm}$, uzyskanym za pomocą hamulca hydraulicznego (hamowania pompą zębatą) i doprowadzeniu układu napędowego do osiągnięcia ustalonej prędkości obrotowej. Następnie, już podczas pracy ustalonej, układ obciążany jest dodatkowym impulsem momentu hamowania M_{Hi} , uzyskiwanym za pomocą hamulca tarczowego.

Zarejestrowane przykładowe przebiegi impulsów momentu M_{Spi} przenoszonego przez sprzęgło, impulsu momentu hamowania M_{Hi} oraz odpowiadające im wartości kąta φ_i względnego obrotu członów sprzęgła przedstawia rysunek 8.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania na nowym stanowisku badawczym, mające na celu wyznaczenie wpływu sprzęgła podatnego skrętnie na dynamikę układu napędowego, wykazały, że:

- zaprojektowane i wykonane stanowisko badawcze, opracowane i skonfigurowane tory pomiarowe, a także przyjęta metodyka badań charakterystyk dynamicznych układów napędowych z zastosowanym metalowym sprzęgłem podatnym skrętnie, pozwalają na proste i poprawne wyznaczanie tych charakterystyk oraz uzyskanie powtarzalności wyników pomiarów,
- stanowisko badawcze jest uniwersalne, ze względu na możliwość prowadzenia badań według różnych programów badawczych na różnych przedmiotach badań tzn. na różnych sprzęgłach podatnych.

Literatura

1. Filipowicz K., Kowal A.: Investigative stands to marking of characterizations of the metal susceptible clutch. Transport Problems – International Scientific Journal. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, T. 2, Zeszyt 4, Gliwice 2007, s. 17-25.
2. Filipowicz K.: Research of metal flexible torsional clutches applied in mining machines. ACTA Montanistica Slovaca. Vol. 13, No. 2, 2008, s. 204-210.
3. Filipowicz K.: Doświadczalna i teoretyczna identyfikacja cech dynamicznych nowej konstrukcji sprzęgła podatnego w zastosowaniu do układu napędowego maszyn górniczych. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009.
4. Filipowicz K.: Metalowe sprzęgła o dużej podatności skrętnej do maszyn górniczych. Przegląd Górniczy nr 4/2008, s. 42-45.
5. Kowal A.: Sprzęgło mechaniczne. Patent nr PL 190945 B1 z dnia 28.02.2006 r. WUP 02/06.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2010 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Marek Jaszczyk

Prof.dr hab.inż. Aleksander LUTYŃSKI
 Politechnika Śląska
 Mgr inż. Adam KOZUBEK
 Kompania Węglowa S.A. Oddział KWK „Marcel”

Eksploracja przenośnika wznoszącego upadowej odstawczo-transportowej w KWK „Marcel”

Streszczenie

W pracy przedstawiono zagadnienia związane z eksploatacją przenośnika taśmowego wznoszącego eksploatowanego na upadowej odstawczo-transportowej w KWK „Marcel”. Przenośnik ten, który stanowi niezwykle interesujące, nowatorskie rozwiązanie odstawy urobku z podziemi kopalni na jej powierzchnię uruchomiono w lutym 2008 r. Jego długość wynosi 1960 m, wysokość na jaką odstawia urobek wynosi 384 m, a trzy napędy mają silniki po 860 kW każdy. W pracy opisano ten przenośnik, podając jego dane techniczne, warunki pracy i zastosowane systemy diagnostyki i sterowania oraz dokonano analizy wybranych parametrów eksploatacyjnych dla całego okresu jego użytkowania.

Summary

Problems associated with operation of lifting belt conveyor used on downward transportation routes in “Marcel” Colliery were presented in the paper. The conveyor, which is very interesting, innovative solution of run-of-mine transportation from mine underground to the surface, was started up in February 2008. Its length is equal to 1960 m, height to which the run-of-mine is transported is equal to 384 m, and three drives have motors of power equal to 860 kW each. The conveyor was described in the paper, its technical data, operational conditions and use of diagnostic and control systems were given, and selected operational parameters for the whole range of its operation time were analyzed.

1. Wprowadzenie

Od szeregu lat w kopalniach podziemnych węgla kamiennego powszechne zastosowanie znajdują przenośnikowe systemy odstawy urobku. W latach minionych systemy te odstawiały urobek w rejonie oddziału wydobywczego, a w okresie późniejszym od ściany po szyb. W kopalniach pojawiły się również niekonwencjonalne, nieznane wcześniej rozwiązania przenośników taśmowych, które pokonują łuki poziome i przestrzenne, łączą poziomy wydobywcze oraz podziemie kopalni z jej powierzchnią, zastępując z powodzeniem wyciągi szybowe. Jednocześnie w sposób istotny wzrosły zadania transportowe przenośników, co jest wynikiem głębokich zmian restrukturyzacyjnych kopalń prowadzących do koncentracji wydobywania.

Analizując aktualne rozwiązania stwierdzić można, że niektóre z budowanych obecnie w świecie kopalń podziemnych wykorzystują pochylnie z poziomów wydobywczych na powierzchnię jako podstawową drogę odstawy urobku. W wyniku takich rozwiązań obniżone zostają koszty transportu i poprawiona płynność dostawy urobku.

W Polsce rozwiązania odstawy urobku przenośnikami taśmowymi na powierzchnię kopalni, chociaż nie powszechne, znane są od szeregu lat, czego przykładem może być rozwiązanie zastosowane przed

wielu laty w KWK „Siersza”, czy obecnie istniejące rozwiązania w ZGE „Janina” i ZGE „Sobieski” oraz najnowsze, jakim jest system odstawy w KWK „Marcel” [1, 2].

2. Odstawa urobku na powierzchnię w KWK „Marcel”

Rozwiązanie odstawy w KWK „Marcel” wynika z faktu, iż kopalnia ta jest dwu ruchową. W części markłowickiej (poz. 400) zalegają pokłady węgla energetycznego, których eksploatacja przewidywana jest przez co najmniej 20 lat. W części macierzystej (poz. 800) kopalni kończące się zasoby węgla nie pozwalają na ich ciągłą, płynną eksploatację. Celem zapewnienia ciągłości produkcji na wysokości około 11000 Mg/dobę netto zdecydowano się na modernizację transportu z części macierzystej poprzez otaśmowanie poz. 400 m i wydrążenie „Upadowej odstawczo-transportowej” podającej urobek wprost do Zakładu Przeróbki Mechanicznej Węgla.

Schemat odstawy urobku w KWK „Marcel” przedstawia rysunek 1.

Urobek z dwóch ścian wydobywczych lokowany jest w zbiorniku retencyjnym o pojemności 700 m³. Pod zbiornikiem tym zainstalowano dwa przenośniki zgrzeblowe każdy o długości 6 m i zmiennej prędkości

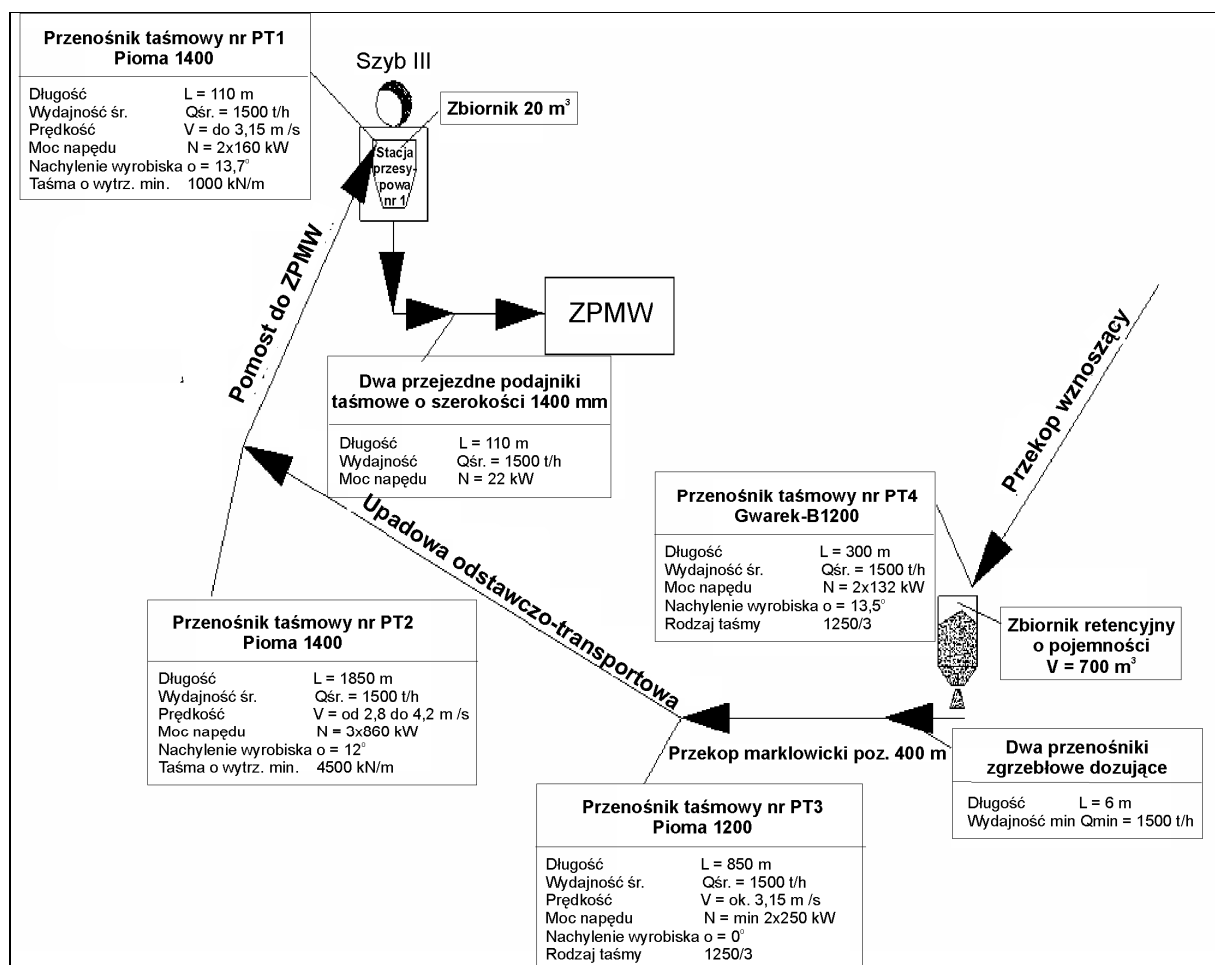
łańcucha, co pozwala na dozowanie strugi urobku podawanego na poziomo usytuowany przenośnik taśmowy Pioma 1200 o długości 850 m, szerokości taśmy 1200 mm, prędkości taśmy ok. 3,15 m/s, mocy napędu 2x250 kW i wydajności 1500 Mg/h. Takie rozwiązania podawania nadawy na przenośnik ulokowany na upadowej odstawczo-transportowej powoduje, że jest on ładowany równomierną strugą urobku.

Wyposażenie upadowej odstawczo-transportowej, o nachyleniu 12°, stanowi kolejka spalinowa zębata oraz przenośnik taśmowy PIOMA 1400 o długości 1860 m, który odstawia urobek na wysokość 384 m. Przenośnik ten posiada trzy napędy o mocach silników po 860 kW i napięciu zasilania 1000 V, przekładnie zębate stożkowo-walcowe o mocach obliczeniowych po 1000 kW, ze zintegrowanymi sprzęgłami jednokierunkowymi i ograniczeniem momentu obrotowego oraz bębny napędowe $\varnothing 1400 \times 1600$ mm. Jeden z tych bębnow jest bębniem wysypowym. Silniki napędowe są sterowane przemiennikami częstotliwości, co umożliwia wariantowanie prędkości taśmy przenośnika w zakresie od 0,6 do 3,15 m/s. W napędach zastosowano zespoły hamulcowe typu ZRMT5 zabudowane na

każdym z napędów i zasilane z niezależnych agregatów hydraulicznych. Przenośnik wyposażony jest w pętlę typu B1400 z hydraulicznym zespołem napinającym zasilaną z agregatu hydraulicznego i bloku hydroakumulatorów oraz hydrauliczny układ do luzowania taśmy w napędzie. Trasa przenośnika jest konstrukcją ceownikową [120, na której rozmieszczone są zestawy krążnikowe z krążnikami bocznymi nachylonymi do poziomu pod kątem 30°. W przenośniku zainstalowano taśmę gumową z linkami stalowymi o szerokości 1400 mm i wytrzymałości 4500 kN/m. Łączone odcinki taśmy wynosiły po 200 m.

Przenośnik wyposażony został w odpowiednie, ponad standardowe systemy czujników, co pozwala na odczyt i rejestrację monitorowanych parametrów, którymi są:

- temperatura przekładni,
- drgania przekładni,
- temperatura węzłów łożyskowych bębnow,
- drgania węzłów łożyskowych bębnow,
- temperatura uzwojeń i łożysk silników napędowych,
- prędkość taśmy przenośnika,



Rys.1. Schemat odstawy w KWK „Marcel” z upadową odstawczo-transportową

- masa urobku podawanego na przenośnik,
- czas pracy (ogółem lub w danym reżimie sterowania),
- zadziałanie urządzenia gaśniczego,
- zadziałanie wyłączników awaryjnych,
- ciśnienie medium w stacji napinającej,
- położenie stacji napinającej.

W zastosowanych przemiennikach częstotliwości monitorowane są:

- napięcie zasilania,
- prąd obciążenia,
- częstotliwość napięcia wyjściowego,
- zadziałania zewnętrznych zabezpieczeń,
- temperatury radiatorów elementów mocy.

Bardzo istotnym novum w diagnozowaniu pracy przenośnika jest zastosowanie systemu kontroli rozcięcia taśmy, dla potrzeb którego w taśmie co 100 m zawulkanizowane zostały odpowiednie metalowe pętle. Przecięcie takiej pętli, będące równoznacznie z przecięciem wzdłużnym taśmy, jest podstawą generowania przez detektor sygnału wyłączającego napęd przenośnika. Zapobiega to propagacji wzdłużnych uszkodzeń taśmy i tym samym jej dewastacji. Stosowanie takich systemów w górnictwie podziemnym na taśmach z linkami stalowymi niweluje często wyrażane obawy i niechęć do taśm tego typu, które uważane są za bardzo podatne na przecięcia wzdłużne.

Opisywany przenośnik posiada system nadzoru wizyjnego. W systemie tym pracują odpowiednie, przystosowane do warunków pracy pod ziemią, kamery i monitory zainstalowane na stanowiskach obsługi przenośnika i na powierzchni.

System diagnostyki i rejestracji opracowany został przez PUP SOMAR sp. z o.o. W systemie tym dzienna praca przenośnika jest raportowana. W raporcie dziennym podawane są najważniejsze informacje o diagnozowanych parametrach. Przykład takiego raportu pokazano poniżej w tabelach 1,2 i 3.

Masa urobku odstawiona przenośnikiem

Tabela 1

Zmiana	Pierwsza	Druga	Trzecia	Suma
Wydobycie, Mg	3691.0	5011.0	4547.0	13249.0

Czasy pracy przenośnika, liczba załączeń i średnie prądy pobierane przez poszczególne silniki napędu

Tabela 2

Zmiana	Pierwsza	Druga	Trzecia	Suma
Czas pracy przenośnika za zmianę	5h46m22s	7h56m56s	8h14m58s	21h58m17s
Czas postoju przenośnika za zmianę	2h13m37s	0h3m3s	0h0m1s	2h01m42s
Liczba załączeń	15	1	1	17
Średni prąd silnika M1: 51.3 A	Średni prąd silnika M2: 50.0 A			

Wartości innych mierzonych parametrów

Tabela 3

Parametr	Wartość średnia	Wartość maksymalna
CTŁ1 Wysięgnik bęben P, °C	29	31
CTŁ2 Wysięgnik bęben, °C	29	31
CTŁ3 M1 bęben P, °C	35	38
CTŁ4 M1 bęben L, °C	32	34
CTŁ5 M2 bęben, °C	30	32
CTŁ6 M2 bęben, °C	63	199
CTS1 M1 łożyska, °C	32	35
CTS2 M1 łożyska, °C	40	44
CTS3 M1 stojan, °C	45	52
CTP1 Przekładnia, °C	70	75
CTS4 M2 łożyska, °C	34	37
CTS5 M2 łożyska, °C	42	47
CTS6 M2 stojan, °C	47	55
CTP2 Przekładnia 2 olej, °C	75	81
CTŁ7 Zasobnik bęben, °C	25	27
CTŁ8 Zasobnik bęben, °C	33	35
CTŁ9 Zasobnik bęben, °C	29	32
CTŁ10 Zasobnik bęben, °C	29	32
CTŁ11 Zwrotnica bęben, °C	33	88
CTŁ12 Zasobnik bęben, °C	28	31
CDP1 Przekładnia 1 drgania, m/s	1.5	6.7
CDP2 Przekładnia 2 drgania, m/s	1.7	6.2
Stopień zapełnienia zbiornika, %	34,4	79,0

W raporcie podawana jest też maksymalna wartość wydajności przenośnika.

3. Wyniki analizy wybranych parametrów przenośnika taśmowego pracującego w upadowej

Dzienne raporty sporządzane za pomocą systemu diagnostyki i rejestracji były podstawą analizy wybranych parametrów pracy przenośnika. W pierwszej kolejności dokonano analizy masy urobku, jaki przetransportowano przenośnikiem w ciągu każdego miesiąca od uruchomienia upadowej. Kolejnym parametrem poddanym analizie był łączny czas pracy przenośnika w ciągu miesiąca. Wyznaczenie tych parametrów pozwoliło na oszacowanie przeciętnej miesięcznej wydajności przenośnika.

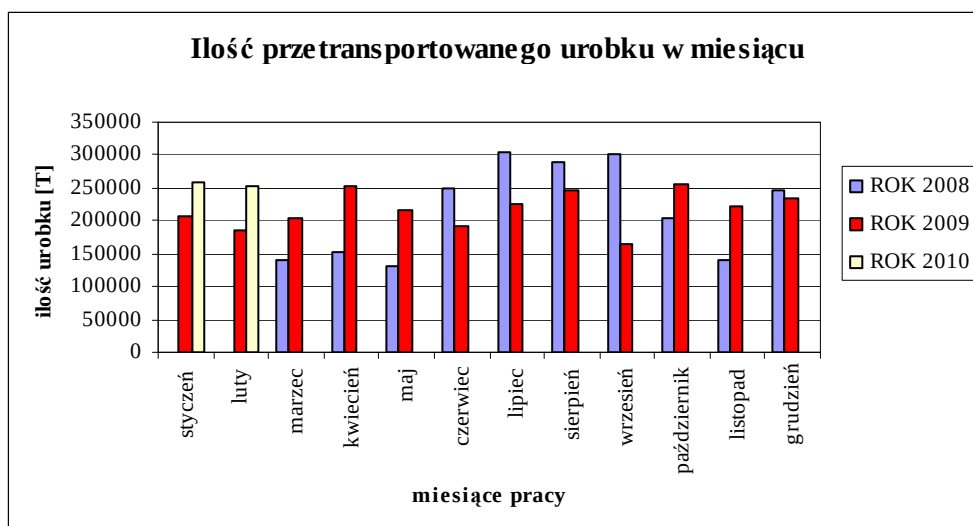
Wyniki tej analizy przedstawione zostały w tabeli 4.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że największe miesięczne wydobycie, które wyniosło 303173 Mg zanotowano w lipcu 2008 roku. W tym też miesiącu przenośnik pracował najdłużej – 499 godzin. Najniższe wydobycie, które wyniosło 129 618 Mg, zanotowano natomiast w maju 2008 r. Najkrócej, 244 godziny, przenośnik pracował w lutym 2008 roku. Był to miesiąc uruchomienia, a więc trudno ten wynik uznać za reprezentatywny. Drugi najkrótszy czas pracy w miesiącu, 285 godzin, zanotowano w maju 2008 roku.

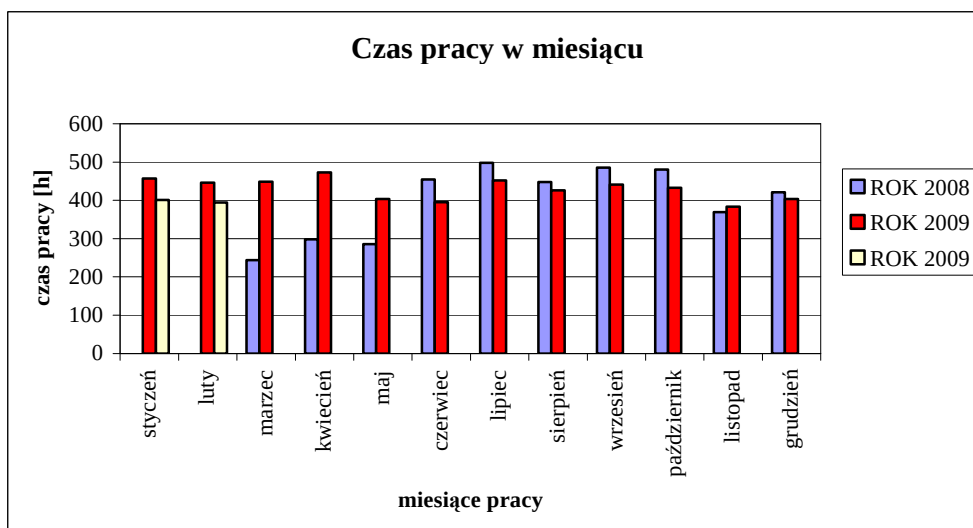
Średnie miesięczne wydobyte odstawiane przenośnikiem, czas efektywnej pracy przenośnika i oszacowane wydajności

Tabela 4

Miesiąc, rok	03.08	04.08	05.08	06.08	07.08	08.08
Wydobycie, Mg	140 958	152 418	129 618	248 188	303 173	289 087
Czas pracy, h	244	298	285	455	499	448
Wydajność, Mg/h	578	511	455	545	608	645
Miesiąc, rok	09.08	10.08	11.08	12.08	01.09	02.09
Wydobycie, Mg	301232	204496	138548	246755	206061	185 142
Czas pracy, h	486	481	369	421	458	446
Wydajność, Mg/h	620	425	375	586	450	415
Miesiąc, rok	03.09	04.09	05.09	06.09	07.09	08.09
Wydobycie, Mg	203340	252490	215497	192481	224115	247 642
Czas pracy, h	449	473	403	394	452	425
Wydajność, Mg/h	453	533	535	489	496	583
Miesiąc, rok	09.09	10.09	11.09	12.09	01.10	01.10
Wydobycie, Mg	164083	255035	221624	235531	257434	251 522
Czas pracy, h	441	432	383	403	401	394
Wydajność, Mg/h	372	590	579	584	642	638



Rys.2. Średnie miesięczne wydobyte odstawiane przenośnikiem w latach 2008 do 2010



Rys.3. Średni czas pracy przenośnika w poszczególnych miesiącach

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono graficzny obraz opisanych wyników.

Analizując wydajność przenośnika stwierdzono, że najwyższa średnia wydajność wyniosła 645 Mg/h. Odnotowano ją w sierpniu 2008 roku. Wartość najniższą wydajności, 375 Mg/h, zanotowano w listopadzie 2008 r. W okresie 24 analizowanych miesięcy pracy przenośnika przetransportował on 5266470 Mg urobku, z czego 2154473 w 2008 roku, 2603041 Mg w roku 2009 i 508956 Mg w 2010r. Łączny czas pracy przenośnika wyniósł 9741 godzin, z czego 3985 godzin w 2008 r., 5159 godzin w 2009 r. i 794 godziny w roku 2010.

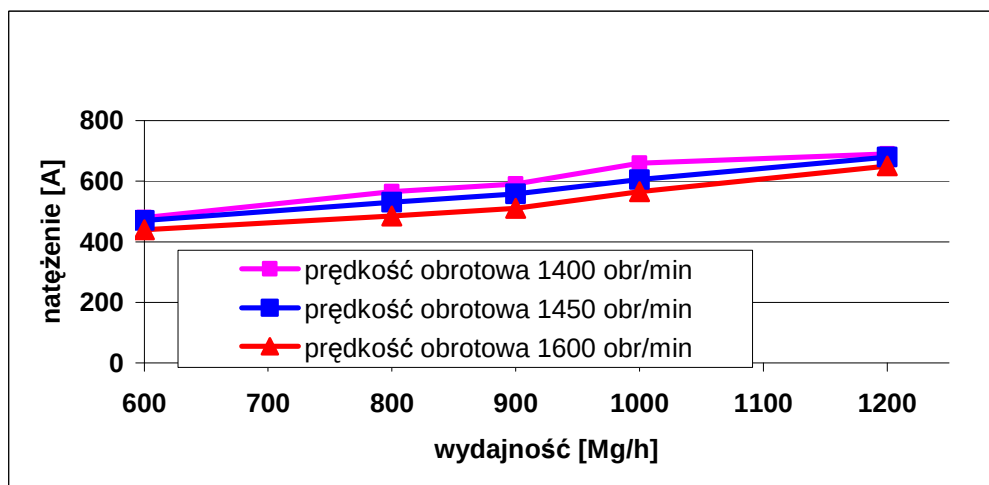
Średnia wydajność w okresie dwudziestu czterech miesięcy wyniosła 530 Mg/h, przy czym w 2008 r. wyniosła ona 540 Mg/h, w roku 2009 – 504 Mg/h, a w 2010 r. – 641 Mg/h.

Zastosowanie przemienników częstotliwości w sterowaniu napędami przenośnika taśmowego pozwoliło na wariantowanie prędkości taśmy, z jaką transportuje

ona urobek. Daje to możliwość zmian wydajności przenośnika i dostosowanie jej do aktualnego strumienia nadawy. Przenośnik może te same masy urobku transportować z różnymi prędkościami taśmy i tym samym z różnymi prędkościami obrotowymi silników. Konsekwencją tego są różne natężenia prądów w sieci elektroenergetycznej i różne pobory mocy przez silniki. Powoduje to zróżnicowanie kosztów transportu urobku przenośnikiem.

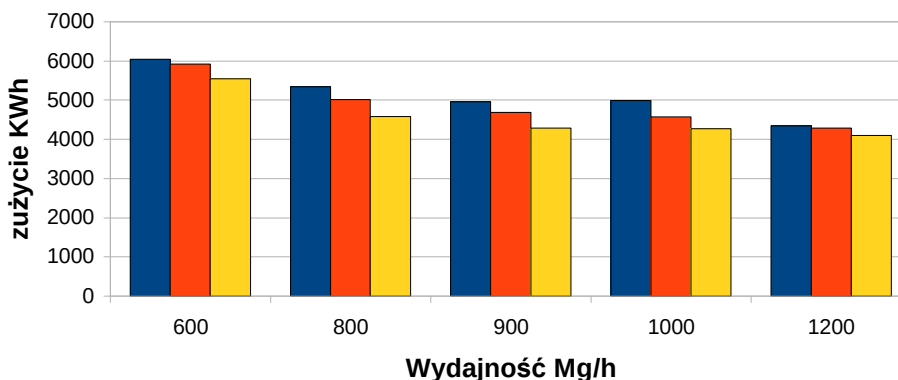
Z posiadanych raportów dziennych wybrano odpowiednie informacje i dokonano stosownej ich analizy. Przeanalizowano pobory prądów przez poszczególne silniki w funkcji obrotów silnika i wydajności przenośnika. Sporządzono odpowiednie wykresy analizowanych zależności.

Na rysunku 4 przedstawiono przykładowy przebieg prądu generowany przez jeden z silników napędu przenośnika dla trzech różnych obrotów silnika (1400, 1450 i 1600 obr/min) i różnych wydajności przenośnika



Rys.4. Natężenie prądu w układzie zasilającym silnika nr 1 w funkcji wydajności i prędkości obrotowej

■ ilość energii zużytej dla 1400 obr/min [kWh] ■ ilość energii zużytej dla 1450 obr/min [kWh]
 ■ ilość energii zużytej dla 1600 obr/min [kWh]



Rys.5. Zużycie energii silnika nr 2 w funkcji wydajności przenośnika i obrotów silników napędowych

(600, 800, 900, 1000 i 1200 Mg/h). Z przedstawionego wykresu wynika, że wraz z wydajnością, co jest oczywiste, wzrasta natężenie prądu pobieranego przez silnik. Wzrost prędkości obrotowej silnika, dla tych samych wydajności przenośnika, powoduje zmniejszenie natężenia prądu silnika. Notowane różnice natężenia prądu dla wydajności odpowiednio 600 i 1200 Mg/h wynoszą dla wszystkich prędkości obrotowych około 100 A, a różnice natężenia prądu dla różnych prędkości obrotowych wynoszą od około 40 A dla wydajności 600 i 1200 Mg/h do około 110 A dla wydajności 100 Mg/h.

Dalszym krokiem w dokonywanej analizie przenośnika taśmowego pracującego w upadowej odstawczo-transportowej było oszacowanie zużycia energii potrzebnej do przetransportowania maksymalnego dobowego wydobywania szacowanego na 12000 Mg. Podstawą tej analizy były wcześniej uzyskane wyniki dotyczące natężeń prądów silników napędowych w funkcji obrotów silnika napędowego i wydajności oraz czas pracy przenośnika niezbędny do realizacji zadania transportowego. I tak dla przetransportowania przewidzianych zadaniem 12000 Mg urobku z wydajnością 600 Mg/h wymagany czas pracy przenośnika wyniesie dwadzieścia godzin, a dla wydajności 1200 Mg/h tylko dziesięć godzin.

Wyniki analizy zużycia energii jednego silnika napędowego niezbędnej do przetransportowania 12000 Mg urobku dla różnych wydajności i obrotów silnika napędowego przedstawia rysunek 5.

Jak łatwo zauważyć najmniejsze zużycie energii uzyskujemy w przypadku pracy przenośnika z największą wydajnością i najwyższymi obrotami silnika. Uzyskane wyniki posłużyły do wyznaczenia zapotrzebowania energii na przetransportowanie analizowanym przenośnikiem 1 Mg urobku przy różnych, możliwych do uzyskania, wydajnościach przenośnika i różnych obrotach silnika napędowego.

Zapotrzebowanie energii na transport przenośnikiem 1 Mg urobku w funkcji obrotów silników napędowych i wydajności

Tabela 5

Zapotrzebowanie energii na transport 1 Mg urobku, kWh					
Obroty silnika, 1/min	Wydajność przenośnika, Mg/h				
	600	800	900	1000	1200
1400	15,120	13,347	12,390	12,474	10,866
1450	14,805	12,522	11,718	11,436	10,710
1600	13,860	11,457	10,710	10,677	10,236

Z analizy wynika, że najmniejsze zapotrzebowanie na energię do przetransportowania przenośnikiem pracującym w upadowej odstawczo-transportowej wynosi 10,236 kWh. Jest to zapotrzebowanie uzyskane dla największej założonej wydajności przenośnika i najwię-

kszych obrotów silnika. Dla najniższych założonych parametrów analizy, tj. wydajności na poziomie 600 Mg/h i obrotach silnika 1400 obr/min zapotrzebowanie na energię potrzebną na przetransportowanie 1 Mg urobku jest o 48% większe.

4. Podsumowanie

W opracowaniu przedstawiono wyniki analizy wybranych parametrów przenośnika taśmowego pracującego w upadowej odstawczo-transportowej w KWK „Marcel”. Analizowany przenośnik jest jednym z najnowocześniejszych przenośników pracujących w polskich kopalniach węgla kamiennego. W przenośniku tym zastosowano ciekawe rozwiązania, które pozwalają na ciągły monitoring jego pracy i archiwizację parametrów uznanych za istotne.

Z przeprowadzonej analizy, opartej o dwudziesto-czteromiesięczny monitoring wynika, że przenośnik przetransportował 5266470 Mg urobku, z czego 2154473 w 2008 roku, 2603041 Mg w roku 2009 i 508956 Mg w 2010 r. Łączny czas pracy przenośnika wyniósł 9741 godzin. Średnia wydajność przenośnika w analizowanym okresie wyniosła 530 Mg/h, a największe miesięczne wydobywanie, które wyniosło 303173 Mg zanotowano w lipcu 2008 roku.

Stwierdzono, że wraz z wydajnością, co jest oczywiste, wzrasta natężenie prądu pobieranego przez silnik. Wzrost prędkości obrotowej silnika, dla tych samych wydajności przenośnika, powoduje zmniejszenie natężenia prądu silnika.

Analiza wykazała, że dla wydajności 1200 Mg/h i obrotów silnika 1600 obr/min zapotrzebowanie na energię do transportu 1 Mg urobku analizowanym przenośnikiem jest najmniejsze i wynosi 10,236 kWh. Dla najniższych wydajności na poziomie 600 Mg/h i obrotach silnika 1400 obr/min (najniższe z założonych parametrów analizy) zapotrzebowanie na energię potrzebną na przetransportowanie 1 Mg urobku jest o 48% większe.

Literatura

1. Antoniuk J., Lutyński A.: Odstawa urobku z pola Markłowice z poziomu 400 m do zakładu przeróbki mechanicznej w KWK Marcel. Koncepcja rozwiązania. Gliwice 05.2006 (praca nie publikowana).
2. Lutyński A., Kozubek A.: Bezpieczna eksploatacja przenośników taśmowych wznoszących dużej mocy. Materiały Konferencji „Górnictwo zrównoważonego rozwoju 2009”. Wydział Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej, Gliwice 25.11.2009 r.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2010 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Jerzy Antoniuk

Inż. Krzysztof LIBERA
 Mgr inż. Bożena PUCHAŁA
 REMAG S.A.
 Dr inż. Dariusz PROSTAŃSKI
 Mgr inż. Dominik BAŁAGA
 Instytut Techniki Górniczej KOMAG

System powietrzno-wodnej instalacji zraszającej w kombajnach chodnikowych produkcji REMAG-u

Streszczenie

W artykule przedstawiono nowe rozwiązania systemu powietrzno-wodnego do zwalczania zagrożeń metanowych, jak i pyłowych, przeznaczonego dla kombajnów chodnikowych. Wyszczególniono zalety opracowanego rozwiązania przeznaczonego do stosowania w trudnych warunkach górniczych przy występowaniu zagrożeń naturalnych. Opisano budowę i zasadę działania systemu wodnego oraz przebieg prac badawczych prowadzących do jego wdrożenia. Przedstawiono wyniki badań skuteczności zwalczania zagrożeń: wybuchu pyłu węglowego i zapłonu metanu przeprowadzonych w Kopalni Doświadczalnej „Barbara”.

Summary

New solutions of air-water system to control methane and dust hazard used in roadheading machines were presented in the paper. Advantages of the developed solution that is planned to be used in difficult mining conditions and in the case of occurring of natural hazards, were listed. System's structure and its rules of operation as well as research work that had led to the implantation of the water system for use was described. Results from testing the efficiency of control of the following hazards: coal dust explosion and methane ignition in Barbara Experimental Colliery were given.

1. Wstęp

Realizowane w KOMAG-u prace badawczo-rozwojowe związane z wykorzystaniem powietrzno-wodnej instalacji zraszającej ukierunkowane są, na zapobieganie zagrożeniom wybuchu pyłu węglowego i zapłonu metanu towarzyszące procesowi urabiania kombajnami chodnikowymi [1]. W wyniku prowadzonych prac powstały rozwiązania instalacji zraszających, które po poprzedzających ich wdrożenie wszechstronnych badaniach, w coraz szerszym zakresie znajdują zastosowanie w polskim górnictwie.

Jedno z rozwiązań zraszania powietrzno-wodnego z wykorzystaniem sprężonego powietrza, zostało opracowane dla górniczych kombajnów chodnikowych produkcji REMAG-u. Obrane wartości ciśnienia wody oraz sprężonego powietrza, zapewniają bardzo dobre i równomierne rozdrobnienie kropeł wody w strumieniach zraszających wyrzucanych przez dysze, co ma duży wpływ na skuteczność zwalczania występujących zagrożeń. Powoduje to również zmniejszenie ilości zużywanej wody oraz wpływ na poprawę komfortu pracy poprzez obniżenie poziomu wilgotności oraz poprawę czystości powietrza w wyrobisku.

2. Charakterystyka i zasada działania powietrzno-wodnej instalacji zraszającej

Korzystne wyniki badań i pozytywne efekty pracy powietrzno-wodnej instalacji wodnej zastosowanej

w kombajnach ścianowych [2] skłoniły do poszukiwania nowych rozwiązań zwiększających bezpieczeństwo eksploatacji kombajnów chodnikowych. Nawiązano współpracę z firmą REMAG S.A. i KOMAG-iem, w wyniku której opracowano rozwiązania dla kombajnów chodnikowych typu R-200, KR-150z, R-130, AM-50 (rys. 1).



Rys.1. Kurtyna powietrzno-wodna zabudowana na kombajnie R-130 [6]

System powietrzno-wodnej instalacji zraszającej zaproponowany dla kombajnów chodnikowych wykorzystuje wodę chłodzącą silnik organu i silnik agregatu hydraulicznego, w ilości około 30 dm³/min, powodując zmniejszenie jej wydatku o 50 do 130 dm³/min w odniesieniu do dotychczas stosowanych instalacji zraszających.

Obiegi wody i sprężonego powietrza wyposażono w filtry, regulatory ciśnienia, progowe czujniki ciśnienia oraz w regulatory i czujniki przepływu medium, które umożliwiają pracę kombajnu jedynie przy właściwych parametrach instalacji zraszającej. Powietrzno-wodną instalację zraszającą wykonano według schematu przedstawionego na rysunku 2.

Woda pobierana jest z rurociągu ppoż., o ciśnieniu nie mniejszym niż 0,8 MPa, natomiast sprężone powietrze dostarczone jest ze sprężarki. Ciśnienie obu mediów jest redukowane do wartości od 0,5 do 0,55 MPa.

Progowe czujniki ciśnienia wody i powietrza oraz czujnik przepływu wody, powodują wyłączenie kombajnu przy mniejszych niż założono parametrach zasilania instalacji zraszającej.

Podczas przerw w urabianiu, przy włączonych napędach kombajnu po przesterowaniu rozdzielacza wodnego woda zraszająca przepływa przez chłodnicę i główny silnik elektryczny i jest kierowana (zamiast do baterii zraszających organu urabiającego) na tylne baterie zraszające. Przesterowanie rozdzielacza powoduje zamknięcie dopływu powietrza do baterii zraszających.

Podczas urabiania, przepływ wody zasilającej układ zraszania ograniczono przez regulator przepływu, w granicach od 25 do 40 dm³/min. Wartości ciśnienia powietrza i wody instalacji są ustalone przez regulatory ciśnienia, których wartości mieszczą się w granicach od 0,5 do 0,55 MPa. Nadmierny przepływ wody jest ograniczony przez przepływomierz progowy, z zabudowanym wskaźnikiem bieżącego przepływu. W obieгах wody i powietrza zabudowane są progowe czujniki ciśnienia, które wyłączają kombajn w przypadku ciśnienia poniżej wymaganych wartości.

Woda i sprężone powietrze dopływają do dysz zraszających niezależnymi przewodami, gdzie następuje ich wymieszanie, a następnie wyrzucane są w kierunku organu urabiającego w postaci mgły powietrzno-wodnej.

Parametry pracy czynników instalacji (wody i powietrza) są następujące:

- wydatek wody zasilającej instalację ~30 dm³/min.,
- ciśnienie wody zasilającej instalację 0,5÷0,55 MPa,
- wydatek powietrza zasilającego instalację ~3,0 m³/min.
- ciśnienie powietrza zasilającego instalację 0,45÷0,55 MPa.

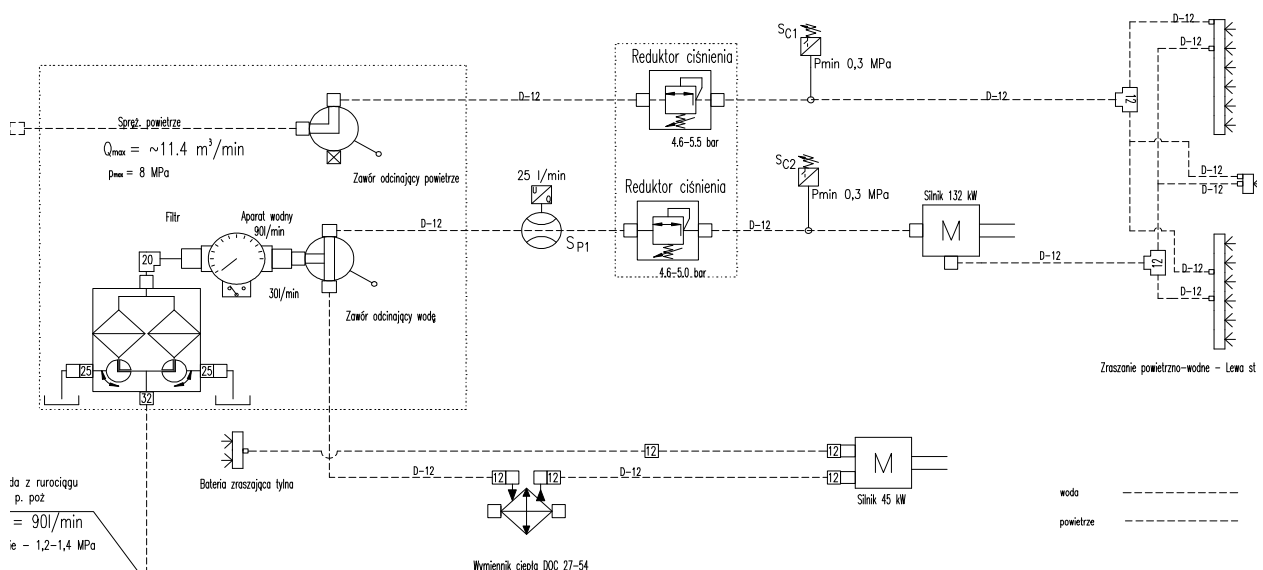
3. Rozwiązania kurtyny powietrzno-wodnej do kombajnów chodnikowych

Powietrzno-wodną instalację zraszającą dla kombajnu chodnikowego, oprócz elementów kontrolno-sterujących, wyposażono w baterie zraszające zamocowane na wysięgniku, w okolicy organu urabiającego, w układzie zwróconych „C” (rys. 3).

Dodatkowo zabudowano centralną baterię zraszającą, złożoną z trzech dysz, na górnej powierzchni wysięgnika kombajnu (rys.4), której zadaniem jest zraszanie strefy pomiędzy połówkami organu.

Takie rozmieszczenie centralnej baterii powoduje objęcie przez strumienie zraszające całego obrysu organu urabiającego, stanowiąc szczelną, powietrzno-wodną kurtynę.

W bateriach zraszających zamontowano dysze dwuczynnikowe typu STK-R. Średnica otworów wylotowych dysz zraszających wynosi 3,0 mm [3].



Rys.2. Schemat kurtyny powietrzno-wodnej kombajnu R-130 oraz AM-50Z

W bateriach zraszających zamontowano dysze dwuczynnikowe typu STK-R. Średnica otworów wylotowych dysz zraszających wynosi 3,0 mm [3].



Rys.3. Bateria zraszająca zabudowana w układzie „C” [6]



Rys.4. Centralna bateria zraszająca [6]



Rys.5. Kurtyna powietrzno-wodna zabudowana na kombajnie R-130

Pierwszy egzemplarz powietrzno-wodnej instalacji zraszającej zabudowano na kombajnie chodnikowym R-200 [4]. Następne egzemplarze kurtyn powietrzno-wodnych, zabudowano na kombajnach R-130 (rys. 5) oraz AM-50. Wszystkie prace przeprowadzono u producenta kombajnów REMAG S.A.

4. Badania skuteczności gaszenia płomieni gazu kurtyną powietrzno-wodną

Bezpieczeństwo eksploatacji w warunkach zagrożenia metanowego jest głównym kryterium, w aspekcie którego badano powietrzno-wodną instalację zraszającą, na specjalnie zaprojektowanym do tego stanowisku badawczym w Kopalni Doświadczalnej „Barbara” [5] z rejestracją wielkości parametrów zasilających instalację zraszającą.

Stanowisko umożliwia badania skuteczności działania powietrzno-wodnej kurtyny zraszającej w zakresie gaszenia płomieni palącego się gazu oraz tłumienia inicjowanych zapłonów gazu.

Poprzez pomiar czasu zgaszenia płomieni przez instalację zraszającą określano skuteczność gaszenia palącego się gazu. Pomiar prowadzono podczas uruchomienia instalacji zraszającej i przy obracającym się organie urabiającym. Badania przeprowadzono dla różnych kombinacji układów czynnych palników względem organu (1 lub 2 palniki).

Skuteczność tłumienia zapłonów gazu oceniana była pod kątem niedopuszczania do jego powstania, przy działającej instalacji i obracającym się organie urabiającym. W przypadku zapalenia się gazu, czasem jego ugaszenia od zainicjowania zapłonu. Gaz do palników dostarczano przez reduktor, zapewniając jego stały wypływ. Inicjowanie zapłonów realizowano zapalarką inicjującą iskry na zapalnikach elektrycznych zamocowanych na poszczególnych palnikach. Energia zainicjowanej iskry wynosiła 10 kJ, a więc była wielokrotnie większa od energii iskry wytwarzanej przez nóż urabiający kombajnu.

4.1. Badania skuteczności gaszenia płomieni powietrzno-wodną instalacją zraszającą kombajnów R-200 i R-130

Skuteczność działania kurtyny powietrzno-wodnej kombajnów R-200 oraz R-130 w aspekcie gaszenia zapalonych płomieni gazu przeprowadzono, przy następujących parametrach czynników zasilających kurtynę:

- wydatek wody na dyszę 1 dm³/min
- sumaryczny wydatek wody 27÷33 dm³/min
- ciśnienie wody 0,39÷0,53 MPa
- sumaryczny wydatek sprężonego powietrza 1,6÷2,0 m³/min
- ciśnienie sprężonego powietrza 4,6÷4,9 MPa.

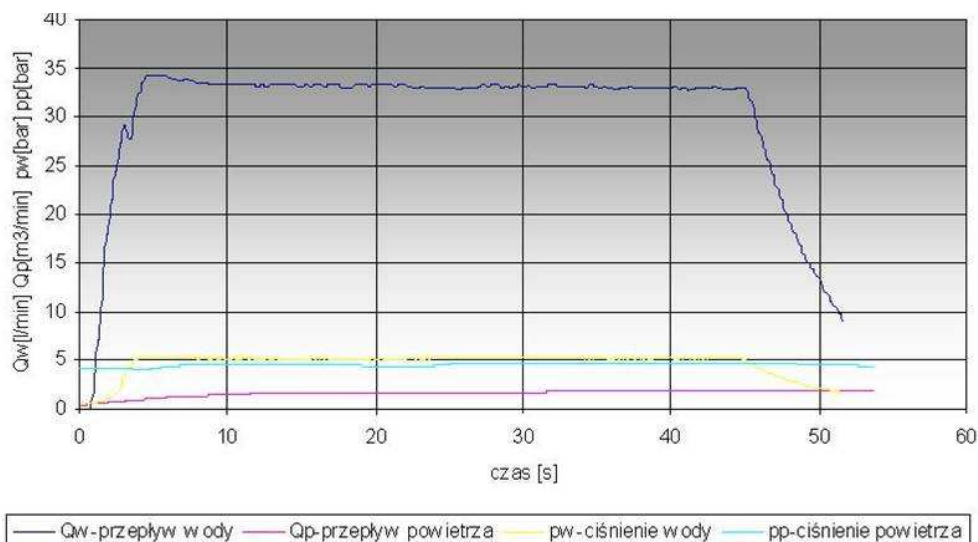
Na rysunku 6 przedstawiono przykładowy oscylogram ciśnienia i wydatku wody oraz powietrza.

Ilość wypływającego gazu wynosiła 1,5 kg/h, (około 10 dm³/min dla każdego palnika).

W trakcie przeprowadzonych badań, czas gaszenia płomieni był natychmiastowy dla obu typów kombajnów (rys. 7, 8).

Przeprowadzone testy potwierdziły, że działanie kurtyny jest prawidłowe, przy założonych parametrach wody i powietrza.

Parametry zasilające powietrzno-wodnej instalacji zraszającej, przy których nie następowało natychmiastowe zgaszenie płomienia uznawano za nieprawidłowe i niewłaściwe do stosowania.



Rys.6. Oscylogram wydatku i ciśnienia wody oraz powietrza, zarejestrowany podczas badań przy inicjowanym zapłonie gazu [7]



Rys.7. Badania skuteczności gaszenia zapalonego gazu – zapalone palniki górny i dolny przed rozpoczęciem gaszenia: a) kombajn R-200, b) kombajn R-130 [7, 8]



Rys.8. Gaszenie zapalonych płomieni gazu za pomocą powietrzno-wodnej kurtyny zraszającej: a) kombajn R-200, b) kombajn R-130 [7, 8]

W przypadku niespełnienia zadanych parametrów następowało wydłużenie czasu gaszenia płomieni zapalonego gazu. W czasie prowadzonych badań zaobserwowano, że wzrost ilości wody zraszającej powyżej wartości założonej zdecydowanie obniżał skuteczność zraszania.

4.2. Badania skuteczności tłumienia zapłonów gazu powietrzno-wodną instalacją zraszającą zainstalowaną na kombajnach R-200 i R-130

Badania skuteczności tłumienia zapłonów gazu dla badanych kombajnów realizowano poprzez inicjowanie tych zapłonów za pomocą iskier wytwarzanych na spłonkach zamocowanych do palników (rys. 9).

Parametry czynników zasilających kurtynę powietrzno-wodną były identyczne jak podczas badań skuteczności gaszenia płomieni zapalonego gazu.

Przed rozpoczęciem badań przeprowadzono, inicjowany środkami strzałowymi, zapłon gazu na palnikach, bez załączania instalacji zraszającej.

Podczas wszystkich prób zapłonu, przy działającej zgodnie z parametrami zasilania instalacji zraszającej, nie doszło do zapłonu (rys. 10).

5. Podsumowanie

Powietrzno-wodna instalacja zraszająca jest innowacyjnym rozwiązaniem, które zmniejsza ryzyko zapłonu metanu w przodku podczas urabiania kombajnem chodnikowym.

Proponowane rozwiązanie powoduje znaczne oszczędności wody zraszającej, ograniczając jej zużycie do około 30 l/min (wykorzystywana do zraszania woda zraszająca pochodzi z układu chłodzącego).

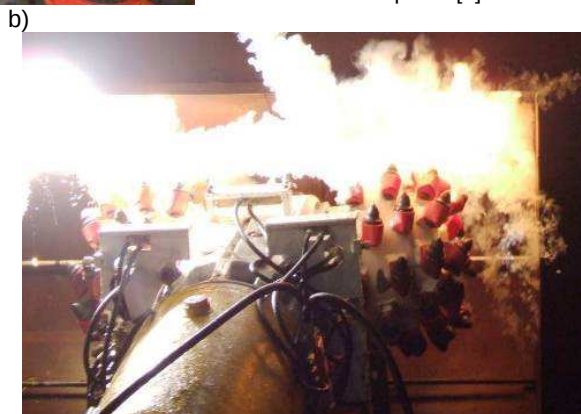
Przeprowadzone badania stanowiskowe w KD „Barbara” wykazały, że przedstawione rozwiązanie jest skuteczne w gaszeniu i inicjowaniu zapłonu metanu.

Zastosowanie dysz dwuczynnowych, pozwala na znaczące obniżenie ilości wody oraz zapewnia bardzo dobre rozdrobnienie kropeł wody w rozpylanych sprężonym powietrzem wyrzucanych z dysz. Decyduje to o efektywnym i skutecznym działaniu takiego rozwiązania, w porównaniu do instalacji wodnych zraszających. Tym samym podwyższony jest komfort pracy załogi w wyrobisku i zwiększone jest bezpieczeństwo pracy.

Przeprowadzone badania i testy pozwoliły na jednoznaczne sprecyzowanie wymaganych parametrów zasilania w wodę i powietrze, w aspekcie skuteczności działania wytwarzanej mieszaniny powietrzno-wodnej.



Rys.9. Główna zapalniczka o energii 10 kJ, przed zainicjowaniem zapłonu [8]



Rys.10. Brak inicjacji zapłonu gazu w wyniku zadziałania kurtyny powietrzno-wodnej: a) kombajn R-200, b) kombajn R-130 [7, 8]

Dzięki badaniom przeprowadzonym na stanowisku w KD „Barbara” możliwa była właściwa ocena powietrzno-wodnej instalacji zraszającej i uwidocznienie jej walorów.

Instalacja powietrzno-wodna z zastosowaniem dysz dwuczynninkowych może znaleźć znacznie szersze zastosowanie w ograniczaniu zagrożeń powodowanych metanem i pyłem węglowym oraz kamiennym, w innych systemach maszynowych.

Literatura

1. Pieczora E., Prostański D., Rojek P., Sedlaczek J.: Nowa koncepcja zraszania powietrzno-wodnego do zwalczania zapylenia i zagrożenia metanowego. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie – miesięcznik WUG nr 3, marzec 2007.
2. Prostański D., Rojek P., Bałaga D., Wiśniarz D., Mentlik K.: Badania i ocena wdrożenia powietrzno-wodnej instalacji zraszającej kombajnu KSW-460NE. Konferencja CMG KOMAG pt. „Innowacyjne i bezpieczne maszyny i urządzenia dla górnictwa węgla kamiennego”, Szczyrk, listopad 2007.
3. Prostański D., Rojek P., Sedlaczek J.: Nowe rozwiązania dysz zraszających dla górnictwa opracowane w CMG KOMAG. Konferencja CMG KOMAG pt. „Innowacyjne i bezpieczne maszyny i urządzenia dla górnictwa węgla kamiennego”, Szczyrk, listopad 2007.
4. Staniczek F., Trzęsimiech K., Puchała B., Prostański D., Rojek P., Bałaga D.: Kurtyna powietrzno-wodna kombajnu chodnikowego R-200. Konferencja CMG KOMAG pt. „Innowacyjne i bezpieczne maszyny i urządzenia dla górnictwa węgla kamiennego”, Szczyrk, listopad 2007.
5. Prostański D., Bałaga D., Rojek P., Sedlaczek J.: Wyniki badań stanowiskowych kurtyny powietrzno-wodnej do kombajnu R-200. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie – miesięcznik WUG nr 8, sierpień 2008.
6. Nadzór nad wykonaniem kurtyny powietrzno-wodnej lekkiego kombajnu chodnikowego. ITG KOMAG. Praca nie publikowana, sierpień 2009.
7. Wykonanie pomiarów i rejestracja parametrów mediów powietrzno-wodnej instalacji zraszającej kombajnu R-130. Sprawozdanie z badań, ITG KOMAG. Praca nie publikowana, październik 2009, Gliwice.
8. Wykonanie pomiarów i rejestracja parametrów mediów powietrzno-wodnej instalacji zraszającej kombajnu R-200. Sprawozdanie z badań, ITG KOMAG. Praca nie publikowana, listopad 2007, Gliwice.

*Artykuł wpłynął do redakcji w maju 2010 r.
Recenzent: prof.dr hab.inż. Antoni Kalukiewicz*

Prof.dr hab. Józef JONAK
Politechnika Lubelska
Dr inż. Dariusz PROSTAŃSKI
Mgr inż. Dariusz JASIULEK
Mgr inż. Joanna ROGALA-ROJEK
Instytut Techniki Górniczej KOMAG
Mgr inż. Bożena PUCHAŁA
REMAG S.A.

Koncepcja adaptacyjnego układu sterowania w kombajnach chodnikowych REMAG S.A.

Streszczenie

Artykuł przedstawia wyniki dotychczasowych prac, zrealizowanych w ramach projektu badawczego rozwojowego nr R03 031 02 pt.: „Inteligentny układ sterowania kombajnu chodnikowego”, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Celem projektu było podniesienie stopnia bezpieczeństwa oraz efektywności drążenia wyrobisk korytarzowych z użyciem kombajnów chodnikowych, poprzez zwiększenie stopnia automatyzacji drążenia i predykcji parametrów drążenia adekwatnych do chwilowych warunków urabiania. W artykule omówiono wyniki prac badawczych obejmujących koncepcję i algorytmy innowacyjnego systemu sterowania oraz oprogramowania wizualizacyjnego. Przedstawiono informacje dotyczące założeń budowy adaptacyjnego układu sterowania oraz opis podstawowych funkcji sterowniczych. Zaprezentowano wyniki badań, zarówno stanowiskowych, jak i eksploatacyjnych, przeprowadzonych na kombajnie R-130 firmy REMAG S.A., potwierdzających poprawność przyjętej koncepcji.

Summary

The paper presents the results of work realized within research development project No. R03 031 02 entitled “Intelligent control system of roadheader” financed by the Ministry of Science and Higher Education. The project objective was to increase the safety and effectiveness of drivage of roadways by increase of automation of drivage and prediction of drivage parameters adequate to momentary conditions of cutting. Results of research work, including concept and algorithms of innovative control system and visualization software, were discussed in the paper. Information as regards assumptions for design of adaptive control system and description of basic control functions were presented. Results of both stand and operational tests, which were conducted on R-130 roadheader manufactured by REMAG, JSC, and which confirm the correctness of accepted concept, were presented.

1. Wstęp

Polskie kopalnie eksploatują złoża na coraz większych głębokościach, co wiąże się z pogorszeniem warunków górniczo-geologicznych i środowiskowych. Podstawowym systemem eksploatacji węgla kamiennego w polskich kopalniach jest system ścianowy. System ścianowy umożliwia koncentrację wydobywania oraz uzyskiwanie wysokich wydajności w wyniku bardzo dynamicznego postępu frontu ściany. Wymagane jest jednak, aby roboty udostępniające i przygotowawcze, związane z drążeniem wyrobisk korytarzowych, odbywały się z coraz większą efektywnością (rys. 1) [4].

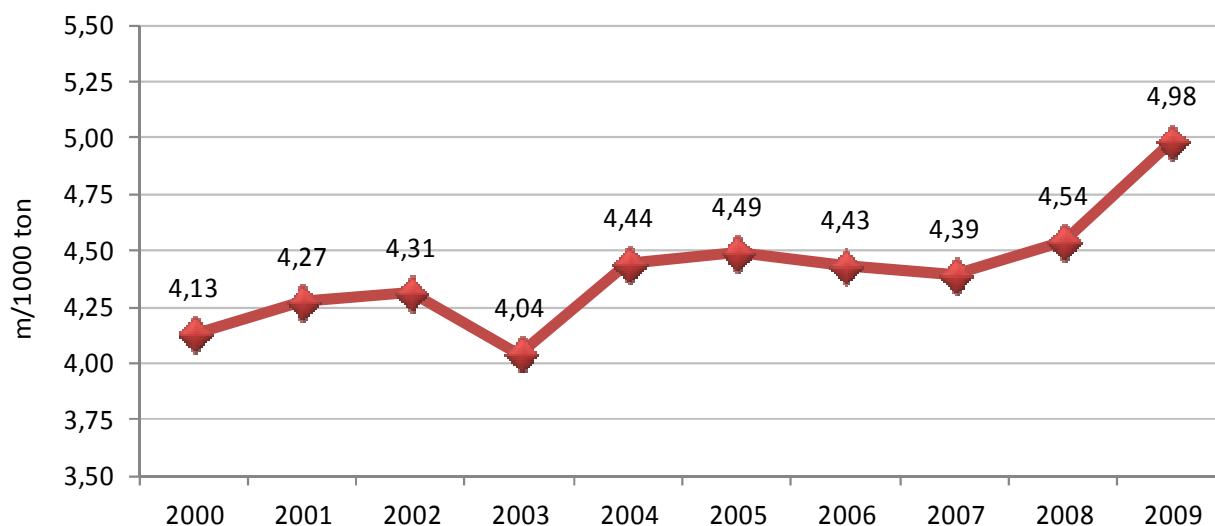
Udostępnianie pokładów węgla na znacznych głębokościach wiąże się z drążeniem wyrobisk o większych przekrojach, niezbędnych do zapewnienia odpowiedniej wentylacji, przy rosnącej z głębokością temperaturze skał. Średnie tempo przyrostu przekroju wyrobisk oscyluje w granicach od 2 do 2,5 m² na 10 lat, natomiast średnia głębokość eksploatacji wynosi

obecnie 670 m i zwiększa się o około 10 m rocznie [4]. Wraz ze wzrostem głębokości zwiększa się również liczba wyrobisk, w których występują skały o większej twardości i wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie R_c [MPa].

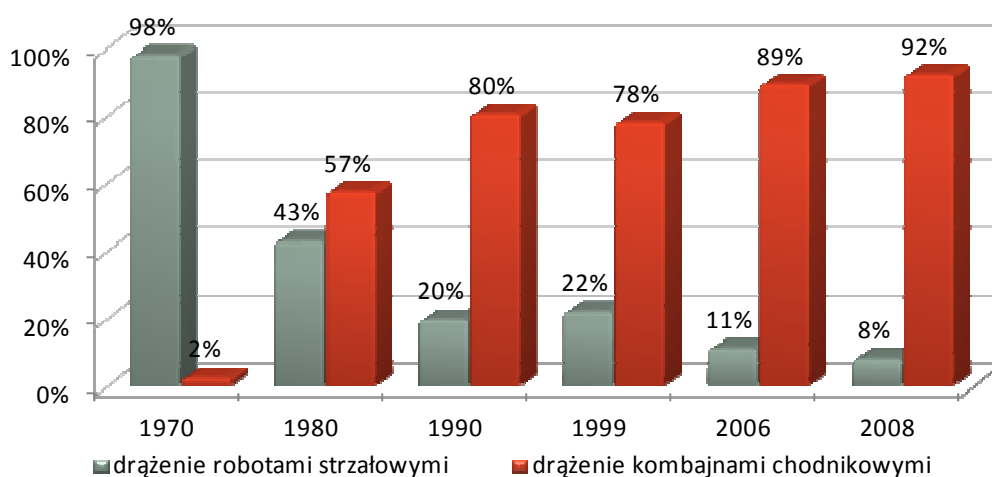
Roboty udostępniające i przygotowawcze są prowadzone w oparciu o cykliczne procesy technologiczne, takie jak: urabianie, ładowanie urobku i montaż obudowy. Urabianie realizowane jest z zastosowaniem:

- materiałów wybuchowych (roboty strzałowe),
- kombajnów chodnikowych (metoda skrawania).

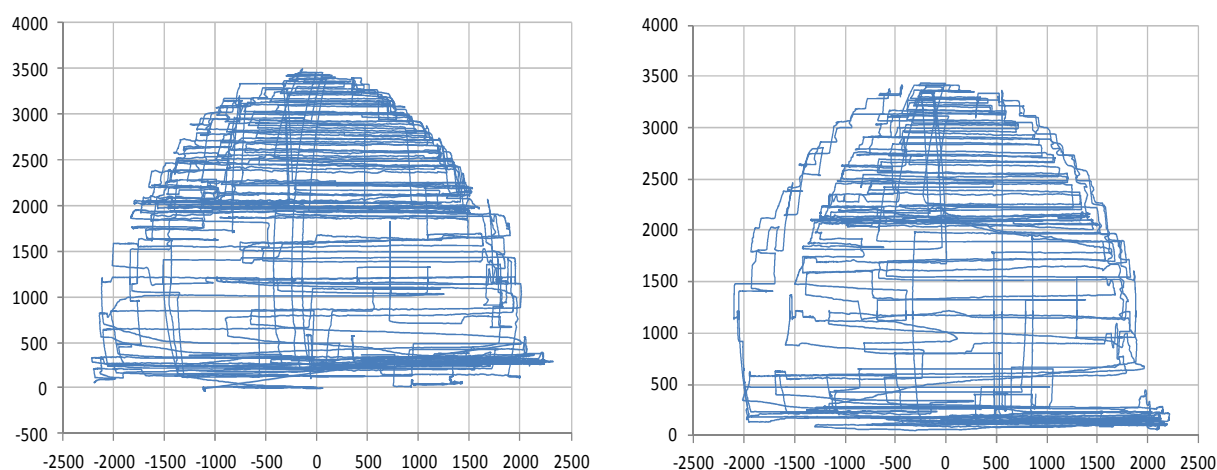
W chwili obecnej, drążenie wyrobisk korytarzowych z użyciem kombajnów chodnikowych, jest podstawowym rodzajem robót w polskim górnictwie. Aktualnie w polskim górnictwie węgla kamiennego ponad 92% wyrobisk korytarzowych wykonywanych jest metodą mechanicznego skrawania, z zastosowaniem wysięgnikowych kombajnów chodnikowych (rys. 2).



Rys.1. Wskaźnik natężenia robót przygotowawczych – m. wyrobiska korytarzowego/1000 ton wydobywania [4]



Rys.2. Metody drążenia wyrobisk korytarzowych w latach 1970-2008 [4].



Rys.3. Przykładowe trajektorie ruchu wysięgnika w płaszczyźnie przekroju poprzecznego chodnika

Prognozy na najbliższe lata zakładają konieczność drążenia od 650 do 700 km wyrobisk korytarzowych rocznie [4].

Analiza pracy kombajnu chodnikowego potwierdza, że sterowanie pracą jego głowicy jest uzależnione od subiektywizmu i doświadczenia operatora maszyny

(rys.3). Taki stan rzeczy powoduje, że w wielu sytuacjach mamy do czynienia z przykładami nieefektywnego wykorzystania możliwości maszyny urabiającej, a nawet jej niewłaściwego użytkowania, często prowadzącego do uszkodzenia i awarii.

Tendencje w światowym górnictwie wskazują na konieczność modyfikacji układów sterowania kombajnów chodnikowych [3, 5, 7, 8], w celu usprawnienia prac związanych z drażeniem wyrobisk chodnikowych. Ze względów bezpieczeństwa najlepszym rozwiązaniem byłoby całkowite wycofanie załogi z rejonu pracy kombajnu chodnikowego oraz wprowadzenie zdalnego sterowania maszyną, jednak z uwagi na konieczność montażu obudowy chodnikowej jest to obecnie zadanie trudne do zrealizowania.

W ramach projektu badawczego rozwojowego nr R03 031 02 pt. „Inteligentny układ sterowania kombajnu chodnikowego”, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego opracowano doświadczalny egzemplarz inteligentnego układu sterowania kombajnem chodnikowym. Sterowanie ma za zadanie podniesienie stopnia bezpieczeństwa oraz efektywności drażenia wyrobisk korytarzowych, z użyciem kombajnów chodnikowych, poprzez zwiększenie stopnia automatyzacji drażenia i predykcji parametrów pracy kombajnu odpowiadającym chwilowym warunkom urabiania.

2. Identyfikacja parametrów pracy kombajnu chodnikowego

W polskim górnictwie węglowym stosowane są obecnie trzy typy kombajnów chodnikowych ramiono-

wych – określanych jako: lekkie, średnie i ciężkie. Najbardziej liczną grupą stosowaną w polskich kopalniach są kombajny lekkie typu AM-50, R-100, R-130 produkowane przez firmę REMAG S.A. Stanowią one, według danych na koniec 2006 roku, grupę ponad 70% wszystkich użytkowanych kombajnów [4].

W ramach prowadzonych z REMAG S.A. badań, wytypowano kombajn chodnikowy typu R-130, produkcji REMAG S.A. (rys. 4). Kombajn chodnikowy typu R-130 jest nowoczesną maszyną pozwalającą na drażnienie chodników o maksymalnym przekroju do 22 m² lub 24 m², w skałach o maksymalnej wytrzymałości na ściskanie R_c około 80 MPa. Układ hydrauliczny kombajnu pracuje w oszczędnym systemie zależnym od obciążenia tzw. LOAD – SENSING i przystosowany jest do zasilania tzw. małej mechanizacji. Kombajn wyposażony jest w układ centralnego smarowania.

W tabeli 1 przedstawiono wybrane parametry kombajnu R-130, w wersji niskiej.

Budowę układu sterowania kombajnu chodnikowego oparto o wiedzę na temat procesów zachodzących w trakcie drażenia wyrobiska chodnikowego.

W ramach realizowanego projektu, przeprowadzono identyfikację wybranych parametrów pracy kombajnu R-130 podczas urabiania. Pomiary prowadzono w dwóch fazach: prób na powierzchni oraz w warunkach dołowych.

Pierwsza faza polegała na zabudowie układu pomiarowego na ww. kombajnie (rys. 5) i sprawdzeniu działania torów pomiarowych.



Rys.4. Kombajn chodnikowy R-130 w wersji niskiej produkcji REMAG S.A. [6]

Parametry kombajnu R-130 produkcji REMAG S.A.

Tabela 1

Lp.	Parametr	Wartość
1	Długość kombajnu	7680 mm
2	Szerokość kombajnu	2120 ±50 mm
3	Wysokość kombajnu	1845 ±50 mm
4	Szerokość ładowarki kombajnu	2000 mm, 2500 mm, 3000 mm
5	Masa kombajnu	32 t
6	Maksymalna moc zainstalowana	201 kW
7	Napięcie zasilania	500-1000 V
8	Moc silnika organu urabiającego	132 kW
9	Maksymalne ciśnienie w układzie hydraulicznym	20 MPa
10	Dopuszczalne podłużne nachylenie wyrobiska	±18°
11	Dopuszczalne poprzeczne nachylenie wyrobiska	5°
12	Prędkość jazdy	5 m/min
13	Prędkość kątowa głowicy urabiającej	0,133 rad/s

Wytypowany kombajn wyposażono w zestaw przetworników i czujników (m.in. enkodery, czujniki ciśnienia, inklinometr, czujniki drgań), mierzących parametry przedstawione w tabeli 2 (rys. 6). Testy wykonano na stanowisku zlokalizowanym w firmie REMAG S.A. Badania prowadzone były wspólnie przez specjalistów KOMAG-u, SOMAR-u oraz REMAG-u.

Drugą fazę pomiarów przeprowadzono w KWK „Marcel”, w warunkach eksploatacyjnych. Kombajn chodnikowy R-130 z zabudowaną aparaturą pomiarowo-rejestrującą został zlokalizowany w pochylni ba-

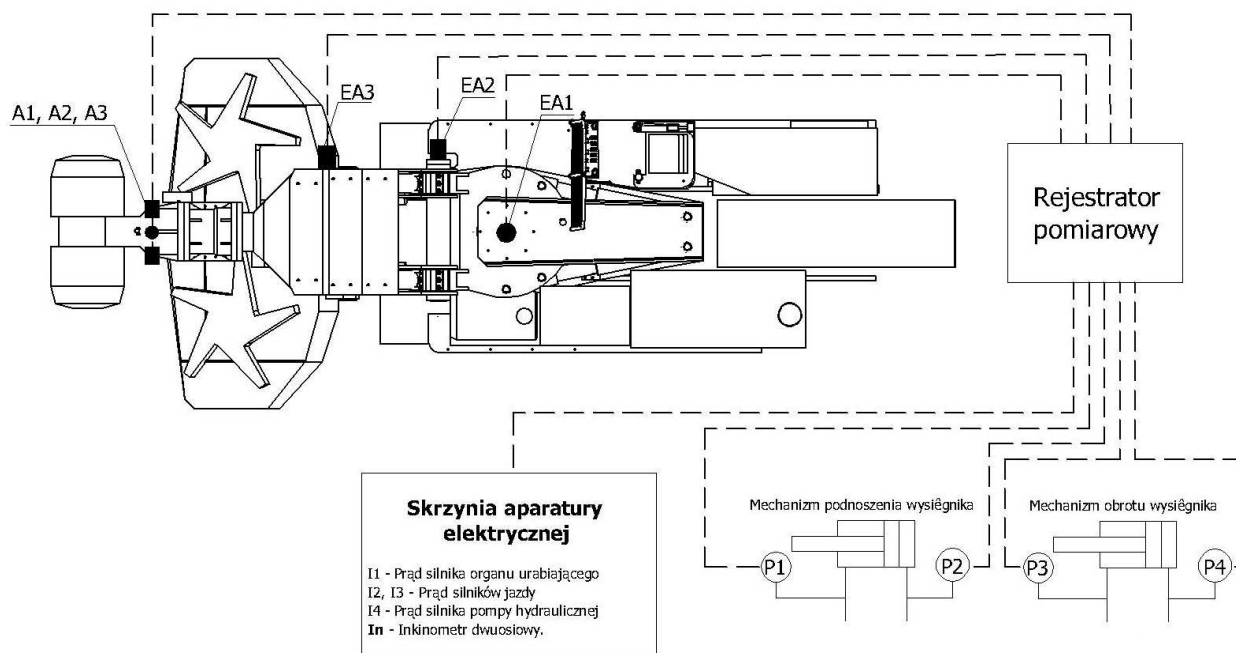
dawczej M-6 w pokładzie 707_{1/2}. Pochylnię drążono w obudowie ŁP9/V29/A, z rozstawem odrzwi wynoszącym 0,75 m. Szerokość wyrobiska wynosiła 5,0 m, a jego wysokość 3,5 m. Pole przekroju obudowy wynosiło 14,8 m².

Wykaz rejestrowanych wielkości

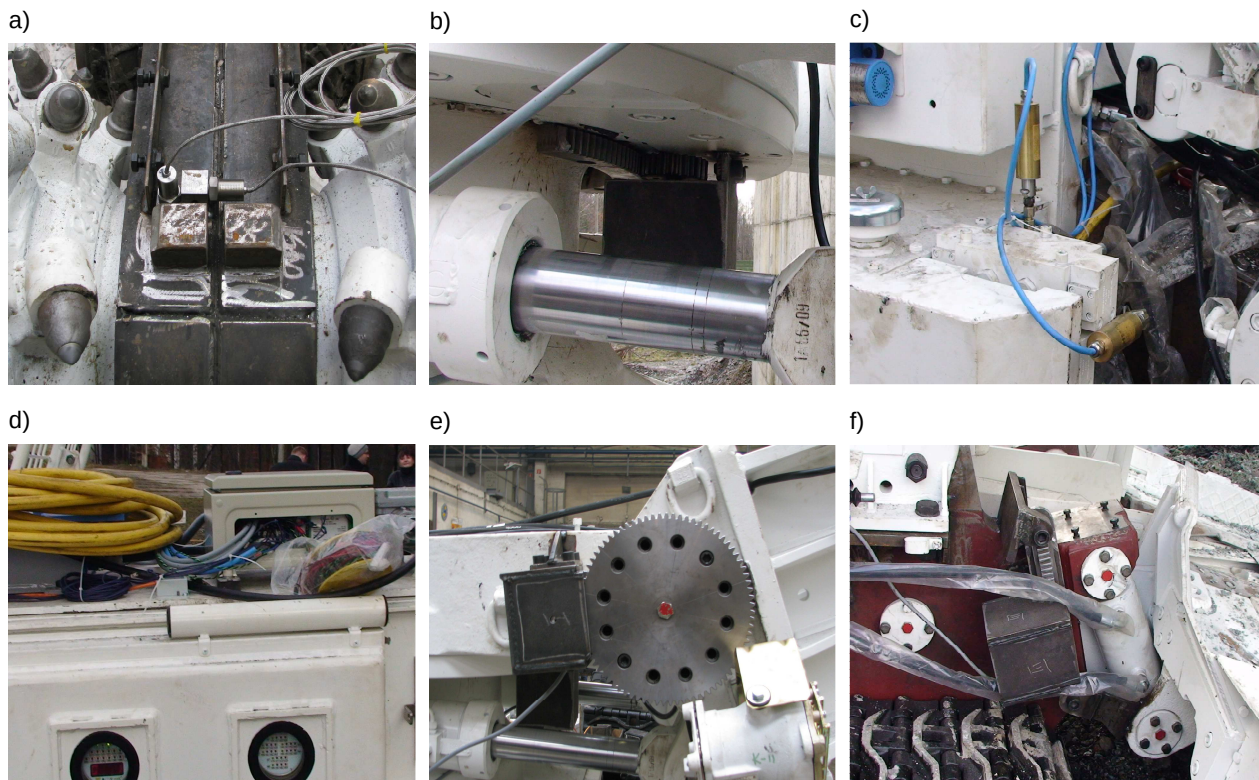
Tabela 2

Lp.	Parametr	Jednostka
1	Kąt pionowy i poziomy wychylenia wysięgnika - enkodery (rys. 4b, 4e)	[°]
2	Ciśnienie w komorach cylindra mechanizmu podnoszenia wysięgnika	[MPa]
3	Ciśnienie w komorach cylindra mechanizmu obrotu wysięgnika	[MPa]
4	Prąd silnika organu urabiającego	[A]
5	Prąd silnika pompy	[A]
6	Prądu silnika napędu gąsienicy prawej i lewej	[A]
7	Przyspieszenie drgań mechanicznych wysięgnika i organu urabiającego	ms ⁻²
8	Nachylenie podłużne i poprzeczne kombajnu	[°]

W czole przodku, w dolnej części wyrobiska występował węgiel o miąższości od 1,4 do 1,6 m i wytrzymałości skał na jednoosiowe ściskanie $R_c=18,6$ MPa. Powyżej występował łupek ilasty o miąższości około 0,3 m i wytrzymałości skał na jednoosiowe ściskanie $R_c = 30,9$ MPa, w części przystopowej łupek piaszczysty o miąższości od 1,6 do 1,8 m i wytrzymałości skał na jednoosiowe ściskanie $R_c = 37,5$ MPa. Spąg wyrobiska stanowił łupek piaszczysty o wytrzymałości skał na jednoosiowe ściskanie $R_c = 37,5$ MPa (rys. 7).

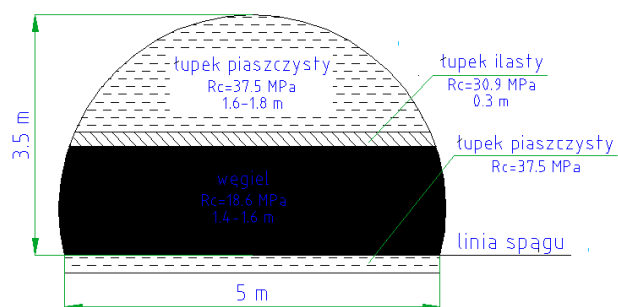


Rys.5. Schemat układu pomiarowego (A1,A2,A3 – pomiar drgań wysięgnika, EA1, EA2 – pomiar kąta poziomego i pionowego wychylenia wysięgnika, P1, P2 – pomiar ciśnienia w komorach cylindra mechanizmu podnoszenia wysięgnika, P3, P4 – pomiar ciśnienia w komorach cylindra mechanizmu obrotu wysięgnika I₁, I₂, I₃, I₄ – pomiar prądów silników elektrycznych, In – pomiar nachylenia inklinometrem dwuosiowym)



Rys.6. Czujniki zabudowane na kombajnie R-130: a) czujniki drgań, b) czujnik pomiaru kąta poziomego wychylenia wysięgnika, c) czujniki ciśnienia, d) inklinometr zabudowany w skrzyni aparatury elektrycznej, e) czujnik pomiaru kąta pionowego wychylenia wysięgnika, f) czujnik pomiaru kąta wychylenia ładowarki

Pomiary prowadzone były w trybie trózmianowym. Rejestrowano obserwacje wizualne oraz zdarzenia, które nie miały odwzorowania w charakterystykach rejestrowanych przez czujniki (jak np. przestój spowodowany koniecznością ręcznego rozdrobienia bryły węgla, na przenośniku).



Rys.7. Budowa geologiczna górotworu w drażonej pochylni badawczej M-6 w KWK „Marcel”

W trakcie badań zarejestrowano przebiegi czasowe podstawowych parametrów kombajnu (natężenie prądu silników elektrycznych, wartość skuteczna przyspieszeń drgań, ciśnienia w układzie hydraulicznym) podczas procesu urabiania, które w dalszym etapie posłużyły jako dane wejściowe do budowy modelu inteligentnego układu sterowania pracą kombajnu chodnikowego.

W trakcie analizy wyników przeprowadzonych pomiarów określono czas wykonania jednego cyklu, jako wartości średniej z 26 cykli zarejestrowanych w trakcie pomiarów. Określono również udział czasowy i procentowy poszczególnych faz cyklu, urabiania i wykonywania obudowy (tabela 3).

Czas cyklu urabiania

Tabela 3

Lp.	Operacja	Czas	Udział w procesie drażenia
1	Cały cykl urabiania	1 h 06 min	100%
2	Urabianie	46 min	70%
3	Wykonanie obudowy	20 min	30%

Widać, że czas urabiania jest ponad dwukrotnie dłuższy od czasu wykonywania obudowy. Jednym ze sposobów skrócenia czasu całego cyklu urabiania jest opracowanie inteligentnego systemu sterowania. Inteligentne sterowanie, a zwłaszcza funkcja ograniczająca wykroczenie głowicy poza zaprogramowany obrys oraz funkcja generująca trajektorię i powodująca właściwe obciążenie głowicy, będą miały wpływ na dokładne wykonanie obrysu wyrobiska, co znacznie ułatwi wykonanie obudowy.



Rys.8. Kombajn chodnikowy R-130 w czasie badań na terenie firmy REMAG S.A.



Rys.9. Pomiar głębokości zawrębenia i wysokości warstwy urabianej

Przeprowadzone badania posłużyły również do utworzenia wizualizacji środowiska pracy przodek-maszyna, z uwzględnieniem stochastycznego charakteru procesu urabiania.

Wyniki badań, zarówno na powierzchni, jak i eksploatacyjnych, pozwoliły na przygotowanie zbiorów danych uczących, przewidzianych do wykorzystywania w procedurach sterowania za pomocą sztucznych sieci neuronowych.

3. Układ sterowania

Na podstawie przyjętych założeń i przeprowadzonych badań podjęto prace nad koncepcją i budową układu sterowania o następujących funkcjach:

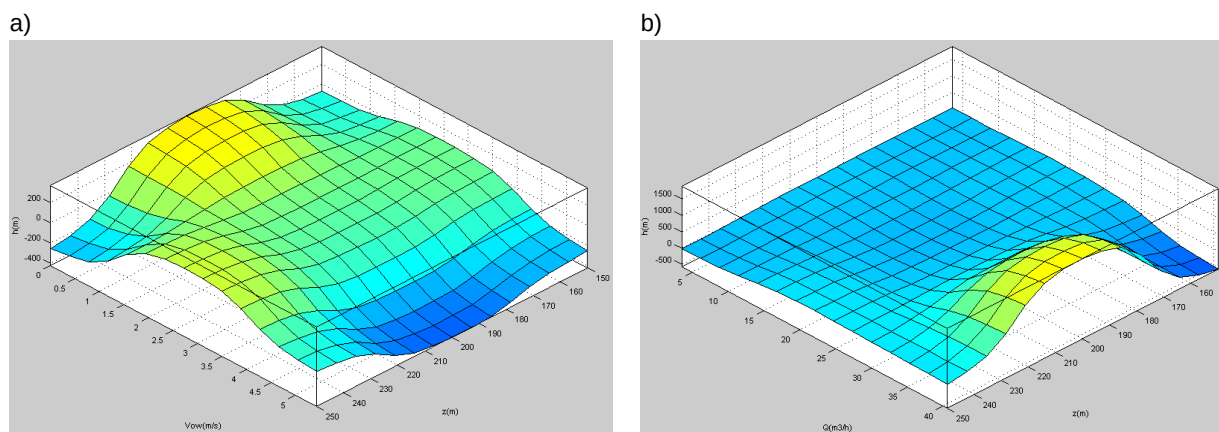
- *Funkcja ograniczająca ruch poza zaprogramowanym obrysem*, której parametrami wejściowymi są aktualne współrzędne środka głowicy urabiającej w przestrzeni wyrobiska. Funkcja uwzględnia aktualnie wybrany typ wyrobiska i przełącza blokady ruchu w poszczególnych kierunkach (parametry wyjściowe). W układzie sterowania funkcja ta może działać dwuwariantowo:

przez układ sterowania, w zależności od obciążenia napędu układu urabiania.

- *Funkcja automatycznego generowania trajektorii*, która jest odpowiedzialna za pozycjonowanie głowicy kombajnu, w oparciu o wskazania czujników położenia, zgodnie z trajektorią urabiania, wynikającą z przekroju chodnika oraz obciążenia głowicy. Funkcja ta określa wysokość pomiędzy kolejnymi przejściami głowicy urabiającej w przypadku stałej prędkości obwodowej wysięgnika.
- *Funkcja określająca obciążenie napędu układu urabiania*, która jest opracowana w oparciu o metody sztucznej inteligencji i szacuje obciążenie układu urabiania [9]. Parametrem wyjściowym funkcji jest wartość zadania prędkości obwodowej wysięgnika lub wysokość pomiędzy kolejnymi przejściami głowicy urabiającej.

4. Badania weryfikujące

Badania weryfikujące przeprowadzono na stanowisku badawczym znajdującym się na terenie firmy REMAG S.A. (rys. 8). Celem badań doświadczalnego systemu sterowania i monitorowania kombajnu chodni-



Rys.10. Przykładowe powierzchnie sterowania. Kształtowanie się wysokości ścieżki przejścia głowicy w zależności od a) głębokości zabioru i prędkości wychylania wysięgnika, b) głębokości zabioru i masy urobionej skały

- uniemożliwić ruch głowicy poza zaprogramowany obrys,
- sygnalizować akustycznie lub świetlnie ruch głowicy w przypadku przekroczenia zaprogramowanego obrysu.
- *Funkcja dobierająca wybrane parametry urabiania*, która jest odpowiedzialna za efektywność urabiania oraz bezawaryjną pracę maszyny. Funkcję tą opracowano z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji (adaptacyjny dobór parametrów urabiania). Przyjęto, że znana jest głębokość zawrębień, wysokość pomiędzy kolejnymi przejściami głowicy urabiającej oraz wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie skał (R_c). Parametrem decydującym o wydajności oraz bezpieczeństwie maszyny jest prędkość obwodowa wysięgnika, dobierana

kowego typu R-130 była weryfikacja opracowanego układu sterowania. W trakcie badań, rejestrowano dane identyfikujące pracę kombajnu tj.: głębokość zabioru oraz wysokość ścieżki przejścia (rys. 9). Dokonywane pomiary pozwoliły określić obciążenie napędów w funkcji wytrzymałości skały na jednoosiowe ściskanie (R_c). Zabudowany na kombajnie sterownik PLC komunikował się z rejestratorem oraz realizował funkcje sterowania procesem urabiania.

Przeprowadzone badania potwierdziły poprawność działania opracowanego układu sterowania i pozwoliły na rozszerzenie zbioru danych uczących dla sztucznej sieci neuronowej oraz zebranie danych niezbędnych do budowy systemu rozmytego do szacowania parametrów roboczych kombajnu (rys. 10).

5. Podsumowanie

Stosowanie automatycznych układów sterowania maszyn w procesach wydobywczych jest nieuniknione. Uwzględniając specyfikę prowadzonych prac można stwierdzić, że aktualnie nie jest możliwe (i uzasadnione) całkowite wycofanie człowieka (operatora) z rejonu pracy maszyny, m.in. ze względu na czynności związane z montażem obudowy chodnikowej. Wprowadzenie układu automatyki, który umożliwiłby wycofanie załogi na czas drażenia chodnika w znaczny sposób może zwiększyć bezpieczeństwo i efektywność procesu drażenia wyrobisk korytarzowych. Implementacja przedmiotowego systemu, zdolnego do kontroli parametrów pracy kombajnu i wspomagania profilowania obrysu wyrobiska może dać następujące korzyści [2]:

- ograniczenie przekraczania dopuszczalnych obciążeń napędów, zwiększające ich żywotność i ograniczające liczbę awarii,
- zwiększenie wydajności drażenia,
- zmniejszenie energochłonności procesu urabiania,
- zwiększenie precyzji wyznaczonego profilu wyrobiska,
- dobór parametrów drażenia do panujących warunków,
- poprawę bezpieczeństwa pracy w przodku.

Zastosowanie metod sztucznej inteligencji otwiera drogę do dalszego rozwoju stosowanych układów sterowania. Przeprowadzone pomiary oraz opracowany układ sterowania kombajnu są podstawą dalszych prac związanych z doskonaleniem systemu sterowania.

Opisany adaptacyjny system sterowania kombajnem chodnikowym podczas badań funkcjonował poprawnie w zakresie zaprogramowanych zadań. Przemysłowe zastosowanie systemu musi zostać poprzedzone badaniami eksploatacyjnymi w podziemiach kopalń oraz przeprowadzeniem procesu certyfikacji tego systemu. System adaptacyjnego sterowania należy wzbogacać m.in. o układ pozycjonowania i lokalizacji kombajnu w przestrzeni wyrobiska.

Literatura

1. Dolipski M., Cheluszka P.: Dynamika układu urabiania kombajnu chodnikowego. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
2. Jonak J.: Możliwości wykorzystania sieci neuronowych do prognozowania obciążenia narzędzi urabiających. XVI Konferencja Naukowa: Problemy rozwoju maszyn roboczych, Zakopane 2003.
3. Jonak J.: Urabianie skał głowicami wielonarzędziowymi. Wydawnictwo Naukowe „Śląsk”, Katowice 2001.
4. Kotwica K. Scenariusze rozwoju technologicznego drażenia wyrobisk korytarzowych w warunkach polskich kopalń węgla kamiennego. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, tom 24, Zeszyt 1/2, 2008.
5. Prostański D., Jonak J.: Sieci neuronowe w badaniach procesu urabiania skał stożkowymi nożami obrotowymi. Prace naukowe – Monografie CMG KOMAG, Gliwice 2003.
6. Strona internetowa firmy REMAG S.A. www.remag.com.pl
7. Świder J., Jasiulek D., Jaszczyk Ł., Prostański D., Stankiewicz.: Koncepcja wirtualnego prototypowania adaptacyjnego układu sterowania kombajnu chodnikowego. Modelowanie inżynierskie, 2008.
8. Świder J., Jasiulek D.: Use of a virtual prototyping method in construction of a mining machine's control system. AMME 2008.
9. Jonak J., Prostański D., Szkudlarek Z.: Propozycja wykorzystania sieci neuronowych w identyfikacji ruchów roboczych kombajnu chodnikowego. Materiały na konferencję: KOMTECH „Nowoczesne, niezawodne i bezpieczne systemy mechaniczne w świetle wymagań Unii Europejskiej”, Szczyrk, 17-19 listopada 2003 s. 179-182.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2010 r.

Recenzent: dr inż. Antoni Kozieł

Dr inż. Beata GRYNKIEWICZ-BYLINA
 Mgr inż. Bożena RAKWIC
 Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Zastosowanie substancji biodegradowalnych, jako składników odczynnika do flotacji węgla kamiennego

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki pracy badawczej dotyczącej zastosowania substancji biodegradowalnych, jako składników odczynnika do flotacji węgla kamiennego. Zaprezentowano założenia, mające na celu ocenę skuteczności procesu flotacji węgla kamiennego z użyciem nowego odczynnika flotacyjnego oraz wpływu odpadów flotacyjnych na środowisko. Omówiono metody badań i ich przebieg, realizowany w warunkach laboratoryjnych. Dokonano oceny wyników badań w świetle przyjętych kryteriów.

Summary

Results of research work on biodegradable substances that are components of coal flotation agent were presented in the paper. Assumptions aiming at assessment of effectiveness of coal flotation with use of new flotation agent as well as impact of flotation wastes on environment were presented. Testing methods and their realization in laboratory conditions were discussed. Results of tests were assessed in the light of accepted criteria.

1. Wprowadzenie

Biodegradowalność stanowi cechę substancji, wskazującą na poziom jej podatności na rozkład w środowisku naturalnym. Parametr ten jest szczególnie istotny ze względu na wymagania ochrony środowiska, związane z ograniczaniem przedostawania się do gleb i wód gruntowych, nie podlegających rozkładowi lub trudno rozkładalnym, substancji niebezpiecznych. Do tego rodzaju substancji należy zaliczyć związki ropopochodne, które wykorzystywane są w wielu procesach przemysłowych, w tym m.in. w procesie wzbogacania węgla kamiennego, jako składniki odczynników flotacyjnych [5]. Ze względu na charakter procesu wzbogacania substancje ropopochodne przedostają się do odpadów flotacyjnych i wraz z nimi odprowadzane są do środowiska naturalnego [3].

Według danych Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Katowicach, w województwie śląskim w procesie wzbogacania węgla powstaje rocznie około 2 mln Mg odpadów flotacyjnych [7].

Dążąc do ograniczenia wyżej wymienionych zagrożeń niezbędne jest wyeliminowanie składników ropopochodnych z odczynnika flotacyjnego i zastąpienie ich związkami biodegradowalnymi. Wyniki prac badawczych przeprowadzonych przez jednostki naukowe potwierdziły zasadność zastosowania wyżej wymienionych związków w procesie flotacji węgla kamiennego [4, 6]. Grupą związków, dla których otrzymano pozytywne wyniki badań były estry kwasów i hydroksykwasów karboksylowych.

Mając na celu dalsze rozwijanie kierunku zastosowania związków biodegradowalnych, jako zamienników

substancji ropopochodnych stosowanych w odczynnikach flotacyjnych, w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG przeprowadzono wstępne badania [1]. Wyniki badań analizowano pod kątem dwóch kryteriów, tj. zapewnienia wymaganej skuteczności procesu flotacji oraz ochrony środowiska. Wykorzystywane w badaniach substancje analizowano pod kątem poziomu ich biodegradowalności, określonego jako długość okresu rozkładu biologicznego. Powstające w procesie flotacji odpady oceniano w odniesieniu do jednego z podstawowych warunków dopuszczania odpadów przemysłowych do składowania, tj. ilości wymywanych metali ciężkich [2].

2. Badania wstępne dotyczące możliwości zastosowania substancji biodegradowalnych jako składników odczynnika do flotacji węgla kamiennego

2.1. Założenia

Podstawą rozpoczęcia prac nad zastosowaniem substancji biodegradowalnych, jako składników odczynnika do flotacji węgla kamiennego były wyniki prac analitycznych KOMAG-u [1], w zakresie:

- identyfikacji właściwości węgla kamiennego oraz parametrów technologicznych wpływających na skuteczność procesu flotacji węgla kamiennego,
- oceny jakościowo-ilościowej odpadów wytwarzanych w procesie przeróbki węgla,
- analizy rodzajów i własności środków chemicznych stosowanych do flotacji węgla kamiennego,
- wymagań, dotyczących właściwości i skuteczności środków flotacyjnych wynikających z doświadczeń eksploatacyjnych kopalń,

- przeglądu biodegradowalnych substancji pod kątem możliwości zastosowania ich do flotacji węgla kamiennego,
- obowiązującego stanu formalno-prawnego w zakresie wprowadzania na rynek nowej substancji, preparatu chemicznego oraz gospodarki odpadami.

Prace analityczne pozwoliły na opracowanie kryteriów oceny odczynnika flotacyjnego opartego na składnikach biodegradowalnych.

Jako kryteria oceny nowego odczynnika flotacyjnego przyjęto następujące wymagania [1]:

- składniki odczynnika powinny stanowić substancje rozkładane biologicznie w okresie maksimum jednego miesiąca oraz charakteryzować się temperaturą zapłonu powyżej 60°C, gęstością mniejszą niż 900 kg/m³ w temperaturze 15°C i lepkością kinetyczną mniejszą niż 5 m²/s w temperaturze 20°C,
- odczynnik flotacyjny oparty na substancjach biodegradowalnych powinien gwarantować odpowiednią skuteczność procesu flotacji, określaną jako wartość zapozielenia flotokonzentratu i odpadów; wartości te nie powinny być wyższe dla flotokonzentratu niż 11% i nie niższe niż 65% dla odpadów poflotacyjnych,
- ilość wmywanych metali ciężkich z odpadów flotacyjnych uzyskanych w procesie flotacji, z użyciem nowego odczynnika, powinna być mniejsza, o co najmniej 10%, od obecnie uzyskiwanej w kopalni.

W związku z powyższym ostatecznie przyjęto następujące założenia:

- receptura odczynnika flotacyjnego zawierającego składniki biodegradowalne powinna spełniać wyżej wymienione kryteria, udokumentowane wynikami badań laboratoryjnych realizowanych zgodnie z procedurą badawczą, opartą na metodzie według PN ISO 8858 „Węgiel kamienny. Badania flotacji pianowej. Część 1: Procedura laboratoryjna”,
- ocena skuteczności odczynnika flotacyjnego, opartego na składnikach biodegradowalnych w procesie flotacji, przeprowadzona za pomocą badań laboratoryjnych, powinna być odniesiona do wyników uzyskiwanych przy wykorzystaniu mieszaniny standardowej (odniesienia), składającej się z oleju napędowego ON i 2-etyloheksanolu OKT oraz odczynnika flotacyjnego stosowanego przez kopalnię,
- ocena wyników badań wmywania metali ciężkich z odpadów flotacyjnych, otrzymanych z procesu flotacji w warunkach laboratoryjnych, przy zastosowaniu nowego odczynnika flotacyjnego, może być przeprowadzona w odniesieniu do wyników uzyskiwanych z odpadów pochodzących z procesu flotacji w warunkach kopalni, w którym stosowane są obecne odczynniki flotacyjne.

2.2. Cel i zakres badań

Celem badań było zastosowanie substancji biodegradowalnych, jako składników nowego odczynnika do

flotacji węgla kamiennego, zapewniającego wysoką skuteczność procesu flotacji oraz ograniczony poziom migracji substancji niebezpiecznych z odpadów flotacyjnych do środowiska.

Zakres badań obejmował:

- opracowanie receptury odczynnika flotacyjnego opartego na składnikach biodegradowalnych i badanie wybranych jego parametrów fizykochemicznych,
- ocenę skuteczności nowego odczynnika flotacyjnego za pomocą badań laboratoryjnych, w świetle założonych kryteriów, dotyczących zawartości popiołu w koncentracie i odpadach flotacyjnych,
- określenie miejsc poboru, ilości i sposobu przygotowania próbek odpadów flotacyjnych do badań,
- badania wmywania metali ciężkich z próbek odpadów flotacyjnych pochodzących z kopalni oraz uzyskanych w wyniku procesu flotacji, prowadzonego w warunkach laboratoryjnych, przy użyciu odczynnika flotacyjnego opartego na składnikach biodegradowalnych,
- ocena wyników badań wmywania metali ciężkich pod kątem spełnienia przyjętego kryterium dotyczącego ochrony środowiska.

2.3. Przebieg badań

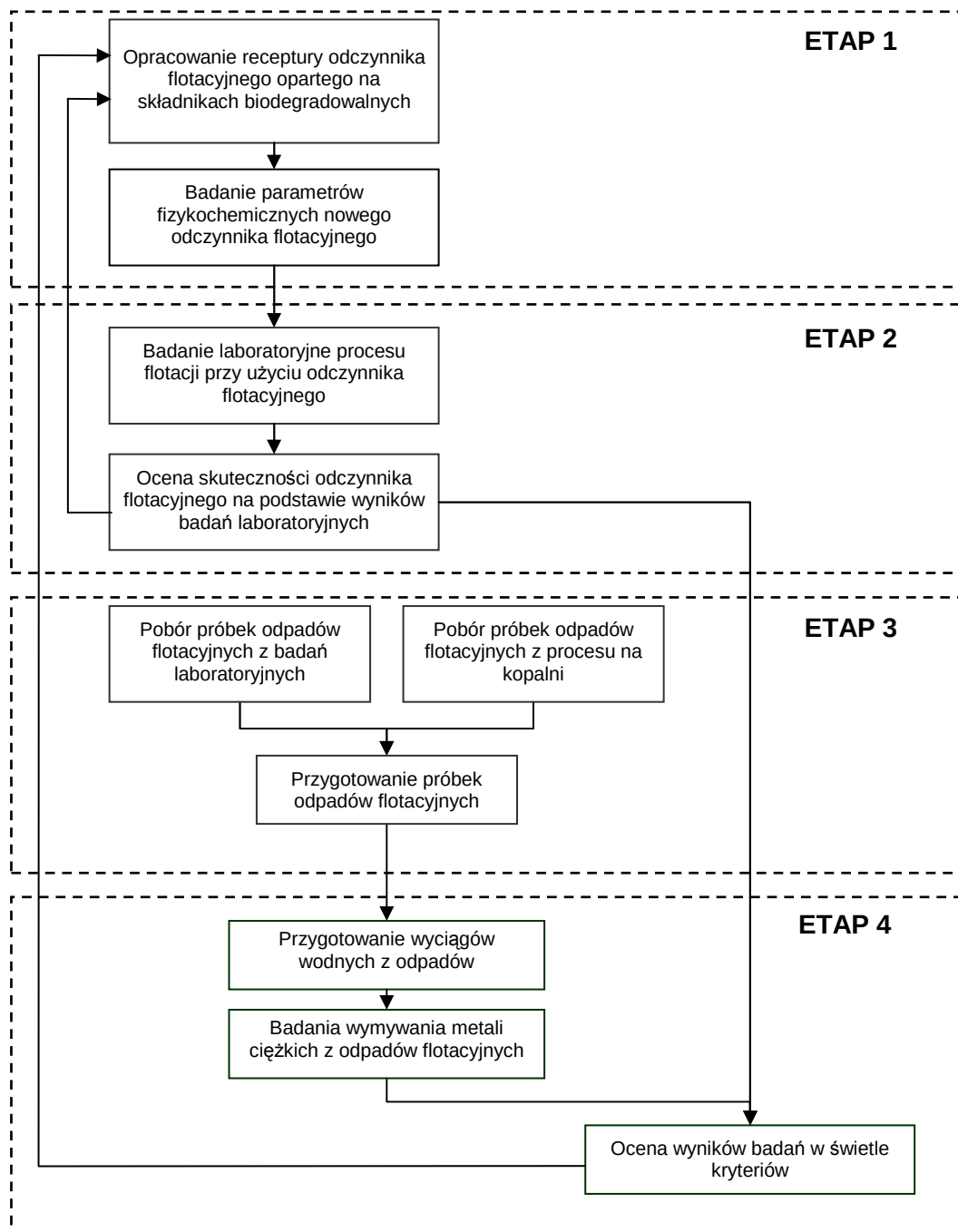
Badania realizowano zgodnie z algorytmem przedstawionym na rysunku 1.

2.3.1. Receptura nowego odczynnika flotacyjnego opartego na składnikach biodegradowalnych

Na podstawie analizy substancji biodegradowalnych dostępnych na rynku, jako składnik nowego środka do flotacji węgla kamiennego wytypowano mieszaninę substancji pochodzenia roślinnego, rozkładaną biologicznie w 98%, w ciągu 3 tygodni. Mieszanina charakteryzuje się: temperaturą zapłonu powyżej 120°C, gęstością od 860 do 900 kg/m³ w temperaturze 15°C i lepkością kinetyczną od 3,5 do 5 mm²/s w temperaturze 20°C.

Nowy odczynnik flotacyjny zawierający wyżej wymienioną mieszaninę poddano analizom obejmującym ocenę jego podstawowych parametrów fizykochemicznych, jak: barwa, zapach, jednorodność i zdolność do wytrącania osadu.

Przeprowadzone analizy wykazały, że badany odczynnik flotacyjny charakteryzuje się barwą żółtą (rys. 2), zapachem zbliżonym do substancji pianotwórczej oraz stanowi jednorodną mieszaninę, bez wytrącających się osadów. Barwa i zapach nowego odczynnika odpowiada parametrom mieszaniny standardowej (odniesienia) i odczynnika flotacyjnego stosowanego przez kopalnię (Montanol 551).



Rys.1. Algorytm przebiegu badań



Rys.2. Próbką odczynnika flotacyjnego zawierającego składniki biodegradowalne

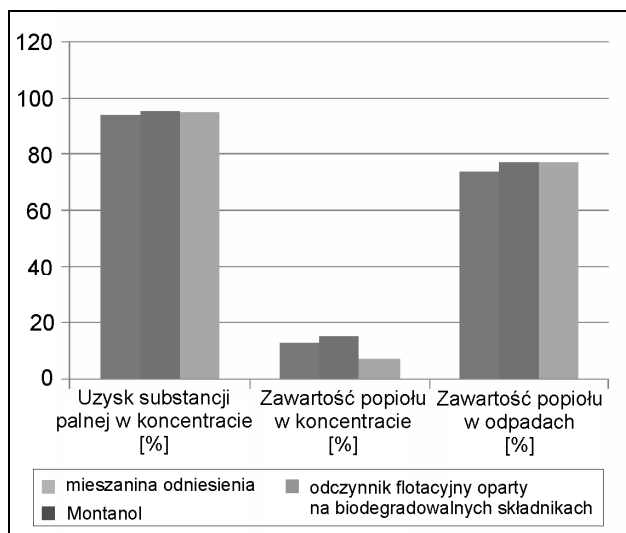
2.3.2. Ocena skuteczności nowego odczynnika flotacyjnego

Ocenę skuteczności odczynnika flotacyjnego, opartego na składnikach biodegradowalnych, przeprowadzono na podstawie wyników badań laboratoryjnych procesu flotacji uzyskanych dla węgla kamiennego typu 33.

Badania laboratoryjne realizowane były zgodnie z procedurą badawczą opartą na normie PN-ISO 8858-1:2006, przy użyciu:

- mieszaniny standardowej (odniesienia), składającej się z oleju napędowego ON i 2-etyloheksanolu OKT,
- odczynnika flotacyjnego stosowanego przez kopalnię – Montanolu.
- odczynnika flotacyjnego opartego na składnikach biodegradowalnych.

Wyniki badań laboratoryjnych procesu flotacji obejmujące: uzysk substancji palnej w koncentracji oraz zawartości popiołu w koncentracji i odpadach flotacyjnych [1], przedstawiono na rysunku 3.



Rys.3. Wyniki badań laboratoryjnych procesu flotacji dla węgla kamiennego typu 33 [1]

Wyniki badań laboratoryjnych wykazały, że z procesu flotacji węgla typu 33 realizowanego przy użyciu nowego środka flotacyjnego opartego na biodegradowalnych składnikach uzyskano:

- koncentrat o zawartości popiołu wynoszącej 7,1%,
- odpady flotacyjne o zawartości popiołu wynoszącej 77,3%.

Analizując wyniki badań można stwierdzić, że:

- uzysk substancji palnej w koncentracji uzyskanym z procesu flotacji z użyciem nowego odczynnika flotacyjnego opartego na biodegradowalnych składnikach jest zbliżony lub wyższy od uzysku substancji palnej w koncentracji z procesu flotacji z użyciem mieszaniny odniesienia lub odczynnika flotacyjnego stosowanego w kopalni,
- zawartość popiołu w koncentracji z procesu flotacji z użyciem nowego odczynnika flotacyjnego jest mniejsza niż zawartość popiołu w koncentracji z procesu flotacji z użyciem mieszaniny odniesienia lub odczynnika flotacyjnego stosowanego w kopalni,
- zawartość popiołu w odpadach z procesu flotacji z użyciem nowego odczynnika flotacyjnego jest większa niż zawartość popiołu w odpadach z procesu flotacji z użyciem mieszaniny odniesienia lub odczynnika flotacyjnego stosowanego w kopalni.

Badania laboratoryjne procesu flotacji wykazały, że skuteczność nowego odczynnika, opartego na substancjach biodegradowalnych jest wyższa niż mieszaniny odniesienia i stosowanego przez kopalnię odczynnika Montanolu 551.

2.3.3. Badania wymywania metali ciężkich z odpadów flotacyjnych

Odpady flotacyjne do badań wymywania metali ciężkich pobrano w sposób zapewniający pełną zgodność jakościową i ilościową składu próbki ze składem analizowanej partii materiału. Próbkę odpadów pobrano z procesu flotacji prowadzonego w warunkach:

- rzeczywistych kopalni produkującej węgiel typu 33, przy wykorzystaniu środka flotacyjnego FLOTMIX, bezpośrednio z przelewu flotownika (rys. 4),
- laboratoryjnych przy zastosowaniu nowego środka flotacyjnego opartego na biodegradowalnych składnikach.

Pobrane próbki poddawano obróbce, składającej się z procesów: dekantacji, filtracji i suszenia oraz ważenia.

Stan próbki odpadów flotacyjnych pobranych w kopalni produkującej węgiel typu 33 przedstawiono na rysunku 4.



Rys.4. Stan próbki odpadów flotacyjnych pobranych w kopalni produkującej węgiel typu 33

Wyciągi wodne z odpadów flotacyjnych pobranych w kopalni oraz z badań laboratoryjnych przygotowano metodą wymywania według PN-EN 12457-4:2006 „Charakteryzowanie odpadów – Wymywanie – Badanie zgodności w odniesieniu do wymywania ziarnistych materiałów odpadowych i osadów – Część 4: Jednostopniowe badanie porcjowe przy stosunku cieczy do fazy stałej 10 l/kg w przypadku materiałów o wielkości cząstek poniżej 10 mm (bez redukcji lub z redukcją wielkości)”, zachowując stosunek cieczy do fazy stałej wynoszący 10 l/kg.

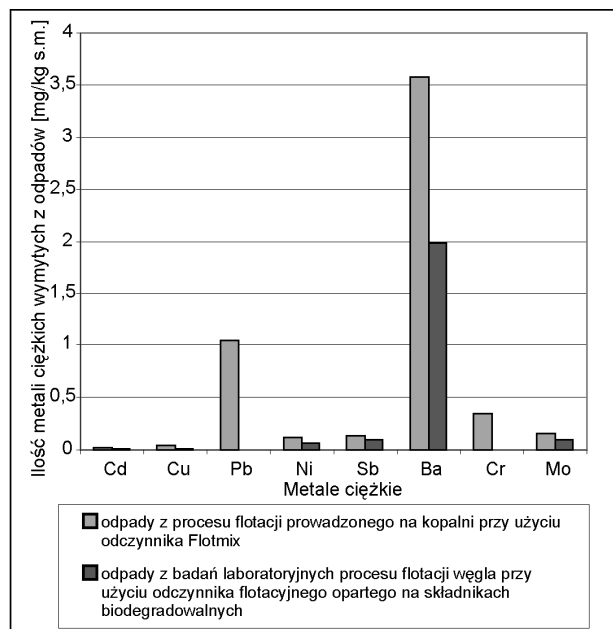
Analizę chemiczną wyciągów wodnych przeprowadzono metodą spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem w płazmie sprzężonej indukcyjnie, oznaczając

zawartość metali ciężkich: chromu (Cr), kadmu (Cd), antymonu (Sb), arsenu (As), baru (Ba), cynku (Zn), ołowiu (Pb), molibdenu (Mo), miedzi (Cu) i niklu (Ni).

W wyżej wymienionych wyciągach wodnych stwierdzono zbliżony poziom zawartość cynku (Zn) i nie odnotowano występowania arsenu (As) i rtęci (Hg).

Wyniki analiz pozostałych metali ciężkich wykazały niższą zawartość kadmu (Cd), miedzi (Cu), ołowiu (Pb), niklu (Ni), antymonu (Sb), baru (Ba), chromu (Cr) i molibdenu (Mo), o średnio 50%, w wyciągach wodnych z odpadów flotacyjnych z badań laboratoryjnych, w porównaniu z wyciągami wodnymi z odpadów po-branych na kopalni.

Wyniki oznaczeń kadmu (Cd), miedzi (Cu), ołowiu (Pb), niklu (Ni), antymonu (Sb), baru (Ba), chromu (Cr) i molibdenu (Mo) w wyciągach wodnych z odpadów flotacyjnych przedstawiono na rysunku 5.



Rys.5. Wyniki oznaczenia kadmu (Cd), miedzi (Cu), ołowiu (Pb), niklu (Ni), antymonu (Sb), baru (Ba), chromu (Cr) i molibdenu (Mo) w wyciągach wodnych z odpadów flotacyjnych

Badania wymywania metali ciężkich z odpadów flotacyjnych wykazały, że nowy odczynnik, oparty na substancjach biodegradowalnych wpływa na zmniejszenie migracji substancji niebezpiecznych z odpadów flotacyjnych w odniesieniu do stosowanego przez kopalnię odczynnika Flotmix.

3. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że nowy odczynnik flotacyjny spełnia założone wymagania, w zakresie skuteczności procesu flotacji i ochrony środo-

wiska. Zastosowane w środku flotacyjnym substancje biodegradowalne ograniczają negatywne oddziaływanie odpadów flotacyjnych związane z przedostawaniem się do gleb i wód gruntowych trudno rozkładalnych ropopochodnych oraz metali ciężkich.

W świetle pozytywnych wyników wstępnych badań podjęte zostaną działania, umożliwiające zweryfikowanie opracowanego odczynnika flotacyjnego w skali przemysłowej. Szczególna uwaga zwrócona zostanie na podatność „gaszenia” (zanikania) piany w procesie flotacji.

Literatura

1. Gryniewicz-Bylina B., Rakwicz B., Lenartowicz M. i inni.: Minimalizacja zawartości substancji niebezpiecznych w odpadach górniczych oraz zwiększenie efektywności procesu wzbogacania węgla kamiennego poprzez stosowanie nowego środka chemicznego do wzbogacania węgla kamiennego. Praca statutowa nr E/DLS-6006/OR-OR4, KOMAG, Gliwice 2008/2009 (praca nie publikowana).
2. Gryniewicz-Bylina B., Rakwicz B.: Wpływ wybranych parametrów środowiskowych na wielkość migracji metali ciężkich z odpadów górniczych na podstawie wyników badań laboratoryjnych. Monografia, KOMAG 2008, Innowacyjne i przyjazne dla środowiska systemy przerobcze surowców mineralnych, Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice 2008, s. 59-72.
3. Hoberg H., Diegel R., Edelmann G., Krause J.M., Stahl H.: Adsorpcja i Desorpcja kolektorów i spieniaczy na węglu i odpadach. Materiały z konferencji: „Nowe Technologie i nowe urządzenia do przeróbki węgla”, XII Międzynarodowy Kongres Przeróbki Węgla, Kraków 23-27.05.1994, tom III.
4. Vidlar J., Pasiowiec P.: Nowe kierunki badań oraz rozwoju odczynników do flotacji węgla oraz minerałów niepolarnych. Inżynieria Mineralna, Rocznik X, nr 2 (24) 2009.
5. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej: Opisy patentów nr 168945, 168966, 176087.
6. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej: Zgłoszenie patentowe P-345963.
7. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Katowicach: „Stan środowiska w województwie śląskim w 2008 roku, Katowice, 2009.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2010 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Aleksander Lutyński

Dr inż. Piotr MATUSIAK
Mgr inż. Mariusz BAL
Michał ŁAGÓDKA
Dr inż. Marek LENARTOWICZ
Mgr inż. Daniel KOWOL
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Wpływ nowych rozwiązań konstrukcyjnych wirówek vibracyjnych na skuteczność procesu odwodnienia mialu węglowego 20-0 mm

Streszczenie

Skuteczne odwodnienie i oddzielenie najdrobniejszych cząstek mialu węglowego poprawia jego jakość poprzez zmniejszenie udziału wilgoci i zwiększenie wartości opałowej. W artykule przedstawiono wpływ parametrów mechanicznych wirówek vibracyjnych WOW na skuteczność procesu odwadniania mialu węglowego. Zaprezentowano nowe rozwiązania konstrukcyjne zastosowane w wirówce odwadniającej WOK. Przedstawiono wpływ prędkości obrotowej oraz częstości drgań kosza sitowego na emitowany hałas i drgania na stanowisku pracy.

Summary

Efficient dewatering and separation of finest particles of coal fines improves their quality by reduction of water content and increase of their calorific value. Impact of mechanical parameters of WOW vibrating centrifuges on efficiency of dewatering of coal fines was presented. New design solutions used in WOK vibrating centrifuges were given. Impact of rotational speed as well as vibration frequency of centrifugal basket on emitted noise and generated vibrations at work stand were discussed.

1. Wstęp

Miał węglowy dostarczany odbiorcom wykorzystującym go do produkcji energii elektrycznej bądź cieplnej musi spełniać wymagania ujęte w normie PN-82/G-97001, określającej wymagania w zakresie granulacji, zawartości siarki i popiołu [8].

Wilgoć zawarta w miale węglowym w sposób bezpośredni wpływa na uzyskaną wartość opałową. Technologia poprawiającą granulometrię mialu i jego jakość jest skuteczne odwodnienie. W Instytucie Techniki Górniczej KOMAG prowadzono szereg badań zmierzających do poprawienia technologii odwadniania oraz opracowano typoszereg wirówek vibracyjnych [1, 2, 3].

Przeprowadzone analizy oraz prace koncepcyjne, projektowe i badawcze dla udoskonalenia procesu odwadniania zaowocowały powstaniem nowej wirówki typu WOK, będącej zamiennikiem dotychczas powszechnie używanego urządzenia typu WOW.

2. Zastosowanie i konstrukcja wirówek vibracyjnych typu WOW i WOK

2.1. Zasada działania wirówek vibracyjnych

Mieszanka ziaren i cieczy w procesie odwadniania odbywa się poprzez wirowanie i wibracje, co ułatwia wypływ wody z przestrzeni międzyziarnowych i odrywa krople wody adhezyjnej, równocześnie upłynniając mieszaninę. Wobec płynności mieszaniny spowodowa-

nej wibracjami ułatwiony zostaje wypływ cieczy z przestrzeni stożkowego kosza sitowego pod wpływem działania składowej siły odśrodkowej. Osiowe drgania kosza sitowego zostają wywołane są przez wibrator.

Rozmiar szczeliny kosza sitowego ogranicza wielkość cząstek odsączonego przechodzących wraz z odprowadzaną wodą. Przeciekać przez sito woda zabiera ze sobą ziarna o średnicach mniejszych niż wielkość szczeliny, a pozostający odpad jest uzdatniany. Ilość odpadu zależna jest od doboru sit odwadniających i warunków pracy wirówki. Uziarnienie mialu uzyskiwanego w wirówkach zawarte jest w przedziale średnic większych od szczeliny sita, a mniejszych od 20 mm, natomiast stopień odwodnienia zależny jest od parametrów nadawy i warunków pracy wirówki.

2.2. Zastosowanie wirówek vibracyjnych

Zaprojektowane przez KOMAG wirówki vibracyjne typu WOW znajdują zastosowanie w zakładach przeróbki węgla do odwadniania mialu węglowego [5].

Graniczna wielkość ziaren odwadnianych w wirówkach typu WOW i WOK wynosi 20-0 mm, a zawartość wody w nadawie od 15 do 35%. Zawartość wilgoci przemijającej W_{ex} w odwodnionym miale może wahać się w granicach od 5 do 9% i jest zależna od rodzaju i intensywności nadawy oraz regulowanych parametrów pracy wirówki. Znamionowe wydajności wirówek oraz ich charakterystykę przedstawiono w tabeli 1.

Dane techniczne typoszeregu wirówek wibracyjnych typu WOW i WOK konstrukcji KOMAG

Tabela 1

Wyszczególnienie	Jednostka	Typ wirówki		
		WOW-1,3	WOW-1,5	WOK-1,5
Wydajność	t/h	250	330	400
Wielkość ziaren nadawcy	mm	20-0		
Średnica kosza wirówki	mm	1320	1500	1500
Szczelina sita	mm	0,35-0,75		
Silnik główny				
- moc	kW	55,0	75,0	75,0
- prędkość obrotowa	min ⁻¹	1470	1485	1485
Silnik wibratora				
- moc	kW	4,0	5,5	korzysta z napędu głównego
- prędkość obrotowa	min ⁻¹	1440	1455	
Prędkość obrotowa kosza sitowego	min ⁻¹	320	307	375 (możliwość płynnej regulacji 300–450)
Częstotliwość drgań kosza sitowego	min ⁻¹	1200-1920		
				1056 (możliwość płynnej regulacji 845–1270)
Amplituda drgań kosza sitowego	mm	2-6		
				2-10
Silnik pompy olejowej				
- moc	kW	0,37		
- prędkość obrotowa	min ⁻¹	1400		
				brak
Napięcie zasilania	V	500		
Masa maszyny	kg	7600	12000	9850

2.3. Zasada działania wirówek wibracyjnych typu WOW

W wirówkach typu WOW nadawę wprowadza się przewodem do stożkowej wirującej prowadnicy osadzonej na wale głównym zespołu napędowego wirówki, skąd pod wpływem siły odśrodkowej dostaje się ona na wirujący i drgający stożkowy kosz sitowy.

Ułożyskowany wał główny w korpusie wibratora wprawiany jest w ruch wirowy poprzez przekładnię pasową, napędzaną przez silnik elektryczny. Dodatkowo wał ten wykonuje drgania osiowe wywołane przez mechanizm wibracyjny. Siły masowe pochodzące od dwóch mimośrodowych mas obracających się synchronicznie w przeciwnych kierunkach oddziałują na elastycznie zawieszony wibrator i powodują jego drgania, które przenoszone są przez łożyska na wał główny. Korpus wibratora połączony jest z obudową wirówki za pomocą elementów sprężystych. Korpus wirówki w obrębie stożkowego kosza sitowego jest podzielony na dwie komory: przestrzeń zbiorczą odsącza (woda, muł) oraz przestrzeń dla odwodnionego produktu. Korpus mechanizmu wibracyjnego połączony jest z ramą wirówki poprzez elementy sprężyste, eliminujące przeniesienie drgań z wirówki na fundament.

2.4. Badania niezawodności wirówek wibracyjnych typu WOW

KOMAG przeprowadził szereg prac badawczych dotyczących niezawodności wirówek wibracyjnych typu

WOW. Analizy wyników badań wykazały, że awarie urządzenia spowodowane głównie dwoma czynnikami:

- oddziaływaniami ściernymi odwadnianego materiału,
- obciążeniami dynamicznymi i wibracyjnymi.

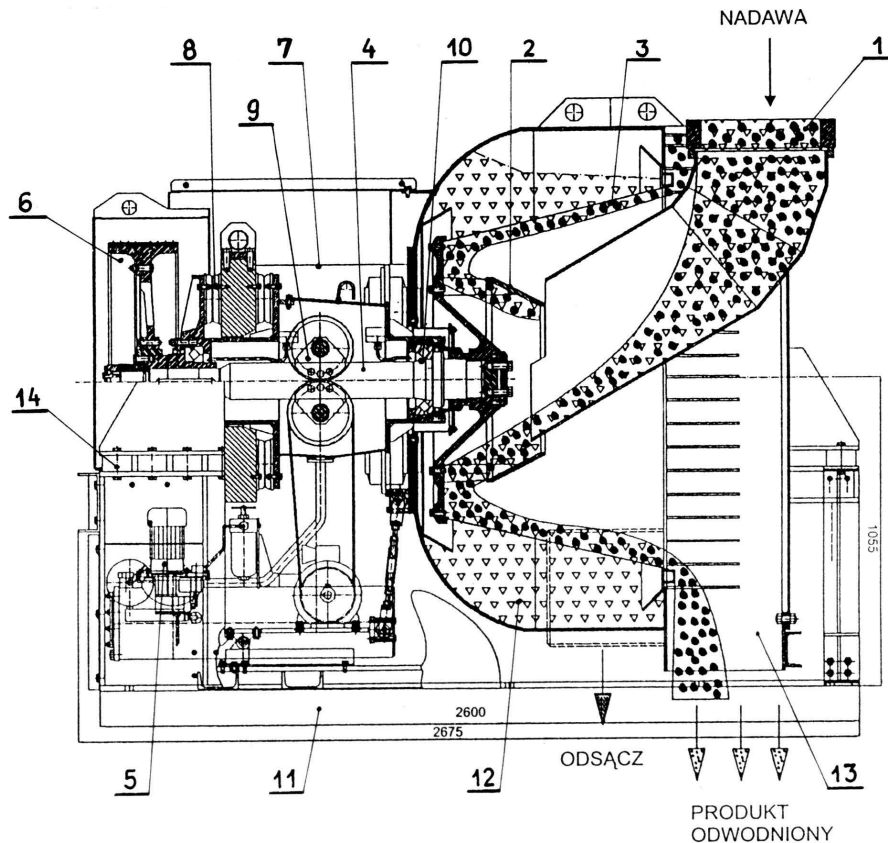
Prace remontowe wynikające z oddziaływań ściernych obejmują najczęściej:

- wymianę lub regenerację przewodu wprowadzającego nadawę do maszyny,
- uzupełnienie przetarć w korpusie oraz na zsuwniach,
- wymianę kosza sitowego, wraz ze stożkiem rozrzutowym.

Prace te przeprowadzane są przez służby remontowe zakładów przerobczych i nie powodują zbyt długich przestojów.

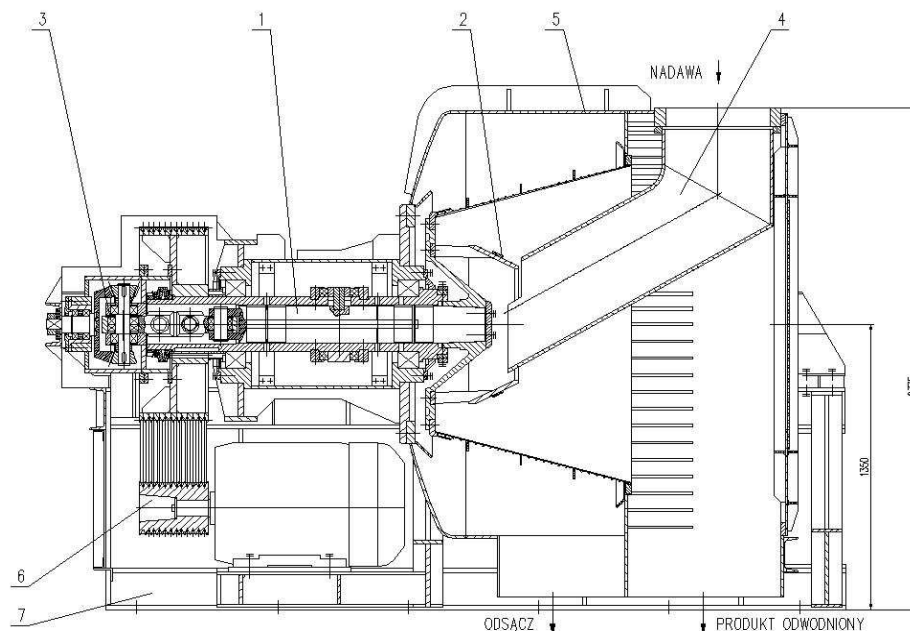
Na skutek obciążeń dynamicznych i wibracyjnych najczęstszą przyczyną przestoju wirówki jest awaria wibratora. Naprawa tego zespołu traktowana jest jako remont kapitalny i wymaga specjalistycznego sprzętu. Wiąże się to z dłuższym wyłączeniem urządzenia z ruchu oraz wysłaniem uszkodzonych części do serwisu producenta.

W celu zmniejszenia awaryjności urządzenia wynikających z obciążeń dynamicznych i wibracyjnych wprowadzono nowe rozwiązania konstrukcyjne wibratora oraz amortyzatora drgań w wirówce typu WOK.



Rys.1. Schemat konstrukcji wirówek wibracyjnych typu WOW [4]

1 – przewód, 2 – prowadnica, 3 – kosz sitowy, 4 – wał główny, 5 – silnik, 6 – przekładnia pasowa, 7 – mechanizm wibracyjny, 8 – elementy sprężyste, 9 – masy mimośrodowe, 10 – łożyska, 11 – korpus wirówki, 12 – przestrzeń odsączu, 13 – przestrzeń odwodnionego produktu, 14 – elementy sprężyste



Rys.2. Wirówka wibracyjna odwadniająca WOK 1.5 typu KOMAG [7]

1 – wał główny, 2 – układ odwadniania, 3 – poosiowy wibrator drgań, 4 – lej zasypowy, 5 – obudowa, 6 – napęd, 7 – rama nośna

2.5. Zasada działania wirówki wibracyjnej typu WOK

Zasada działania wirówki typu WOK nie odbiega w znaczący sposób od wirówki typu WOW stosowanej obecnie najpowszechniej. Zachowany został dotychczasowy sposób wprowadzania nadawy do kosza sitowego oraz odprowadzania odsączu i odwodnionego produktu.

Istotnym zmianom uległy podzespoły związane z przekazywaniem ruchu obrotowego i posuwisto-zwrotnego na kosz sitowy. Ponadto zmianie uległa metoda smarowania łożysk, wału głównego oraz wibratora, co pozwoliło na wyeliminowanie pompy smarowania.

Dzięki wprowadzonym zmianom można spodziewać się bardziej niezawodnego działania wirówki wibracyjnej, a dzięki uproszczeniu konstrukcji – niższych kosztów produkcji.

Na rysunku 2 przedstawiono główne podzespoły wirówki wibracyjnej typu WOK 1.5.

W nowym rozwiązaniu konstrukcyjnym zastosowanym w wirówce wibracyjnej WOK ruch obrotowy przekazywany jest z silnika poprzez przekładnię pasową na tuleję obrotową. Wewnątrz tulei umieszczono wał główny obracający się wraz z tuleją i jednocześnie wykonujący ruch posuwisto-zwrotny wymuszony pracą wibratora. Smarowanie łożysk i wibratora odbywa się zanurzeniowo oraz za pomocą specjalnych turbin rozprowadzających olej kanałami smarnymi.

Zmiana częstotliwości pracy wibratora (rys. 3) odbywa się za pomocą dodatkowego napędu przy-

łączonego, poprzez sprzęgło sprężyste do koła zębatego stożkowego. W wersji podstawowej koło jest unieruchomione, natomiast wprowadzenie tego koła w ruch powoduje zmianę prędkości obrotowej wałka mimośrodowego, a tym samym częstotliwości ruchu posuwisto-zwrotnego wału głównego i kosza sitowego.

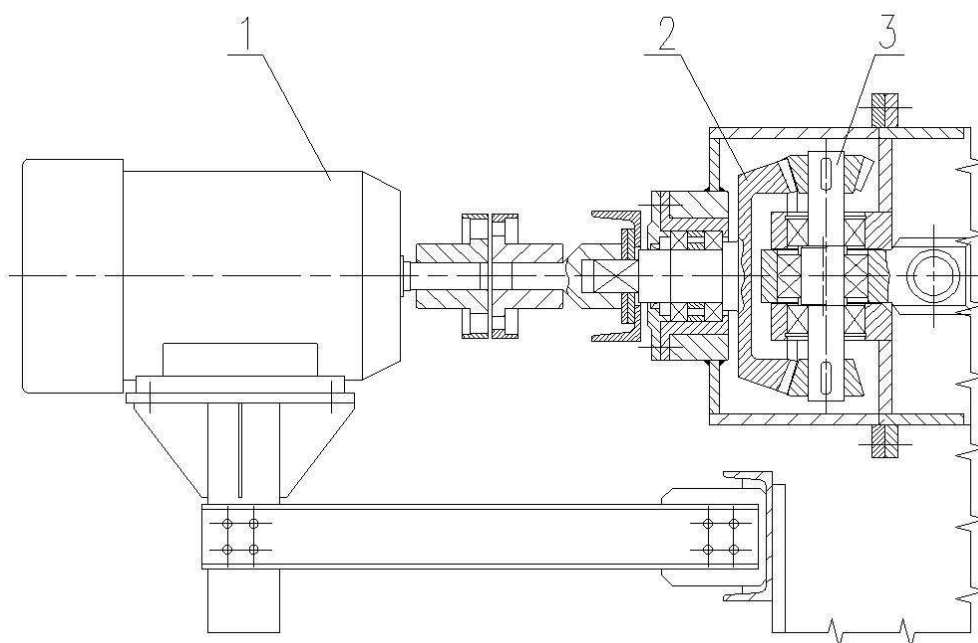
Praca napędu zgodnie z kierunkiem obrotu kosza sitowego powoduje zmniejszenie częstotliwości pracy wibratora.

Prędkość obrotowa kosza jest określona poprzez zastosowanie odpowiedniego przełożenia przekładni pasowej i jest stała. Zmiana prędkości obrotowej kosza sitowego możliwa jest przy zastosowaniu przemiennika częstotliwości. Należy pamiętać o tym, że zmiana prędkości obrotowej kosza sitowego pośrednio rzutuje na częstotliwość drgań wibratora, a jednocześnie nie ma wpływu na jego amplitudę. Zazwyczaj w normalnej eksploatacji regulacja prędkości obrotowej nie jest wymagana.

3. Badania wirówki WOK

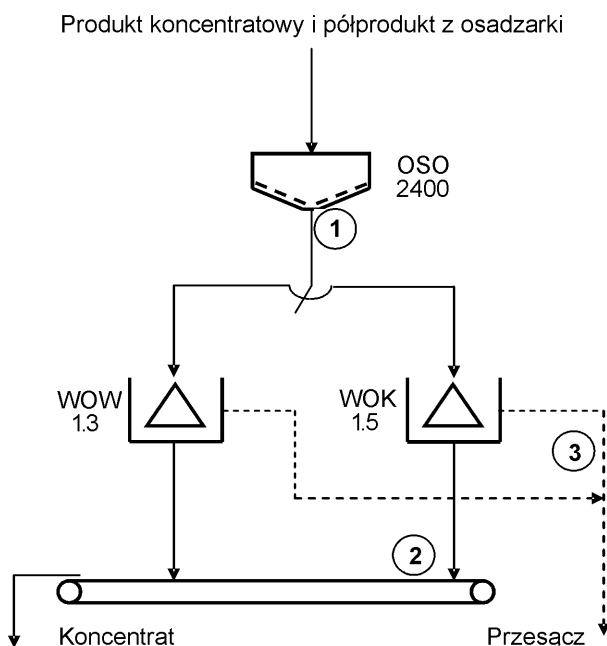
3.1. Opis stanowiska badań

Nadawa, w postaci połączonego produktu koncentratowego oraz pośredniego z osadzarki OM 24, kierowana jest do dwustopniowego systemu odwadniania. Po wstępnym odwodnieniu na odśrodkowym sicie OSO 2400, ostateczne odwodnienie następuje w wirówce wibracyjnej. W chwili obecnej możliwe jest podawanie wstępnie odwodnionego materiału do dwóch urządzeń, dotychczas eksploatowanej wirówki WOW 1.3 oraz do nowej wirówki WOK 1.5.



Rys.3. Regulacja częstotliwości pracy wibratora
1 – napęd, 2 – koło zębate stożkowe, 3 – wałek mimośrodowy

Schemat technologiczny węzła odwadniania, uwzględniający wirówkę WOK 1.5, wraz z zaznaczonymi miejscami pobierania prób technologicznych przedstawiono na rysunku 4.



Rys.4. Schemat węzła odwadniania z wirówkami WOK 1.3 i WOK 1.5 [6]

Próby technologiczne nadawy na wirówki pobierano w otworze wysypowym sita OSO (1). Odwodniony produkt z wirówki pobierany był z wysypu zsuwni na przenośnik taśmowy (2), natomiast przesącz z wylotu koryta odprowadzającego ww. produkt (3).

W pobranych próbach nadawy oraz produktu odwodnionego oznaczono zawartość wilgoci przemijającą według normy PN-80/G-04511, a w przesączu oznaczono koncentrację części stałych zgodnie z normą PN-92/G-04557.

Wykonano analizy granulometryczne przy wykorzystaniu sit o otworach 20; 10; 6; 3; 1; 0,5; 0,3 oraz 0,1 mm według normy PN-ISO 1953.

W oparciu o przeprowadzone badania i wykonane analizy laboratoryjne pobranych prób obliczono sprawności odwadniania na podstawie wzoru:

$$S = \frac{W_n - W_p}{W_n} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

W_n – zawartość wilgoci w nadawie, %,

W_p – zawartość wilgoci w produkcie odwodnionym, %.

3.2. Badania stopnia odwodnienia

Badania w pełnym zakresie (nadawa, produkt odwodniony, przesącz) wykonano dla czterech wartości częstotliwości przemiennika: 30, 40, 50 oraz 60 Hz. Dodatkowo dla częstotliwości pośrednich (35, 45 i 55 Hz)

oznaczono zawartość wilgoci w produktach odwodnionych [6]. Przeliczenie powyższych wartości na prędkość obrotową i częstotliwości drgań kosza sitowego wirówki zamieszczono w tabeli 2.

Zależność pomiędzy zmianą nastaw przemiennika częstotliwości a prędkością obrotową i drganiami kosza sitowego

Tabela 2

Częstotliwość, Hz	30	35	40	45	50	55	60
Prędkość obrotowa kosza sitowego, min ⁻¹	225	262,5	300	337,5	375	412,5	450
Częstotliwość drgań kosza sitowego, min ⁻¹	633	738,5	844	949,5	1055	1160,5	1266

Podstawowe parametry doświadczeń w postaci m.in. zawartości wilgoci w pobranych próbkach materiału oraz sprawności odwadniania uzyskane dla kolejnych ustawień przemiennika częstotliwości zamieszczono w tabelach 3 do 6.

Zestawienie parametrów doświadczenia – 30 Hz

Tabela 3

Parametr	Nadawa	Produkt odwodniony	Przesącz
Wilgoć całkowita (%)	17,96	6,17	-
Zagęszczenie (g/m ³)	-	-	0,084
Wychód części stałych (%)	100,00	98,02	1,98
Udział klasy < 0,5 mm (%)	3,62	2,65	51,09
Sprawność odwadniania (%)	65,65		

Zestawienie parametrów doświadczenia – 40 Hz

Tabela 4

Parametr	Nadawa	Produkt odwodniony	Przesącz
Wilgoć całkowita (%)	17,92	5,79	-
Zagęszczenie (g/m ³)	-	-	0,241
Wychód części stałych (%)	100,00	95,38	4,62
Udział klasy < 0,5 mm (%)	7,04	5,10	46,93
Sprawność odwadniania (%)	67,69		

Zestawienie parametrów doświadczenia – 50 Hz

Tabela 5

Parametr	Nadawa	Produkt odwodniony	Przesącz
Wilgoć całkowita (%)	17,14	5,39	-
Zagęszczenie (g/m ³)	-	-	0,173
Wychód części stałych (%)	100,00	96,12	3,88
Udział klasy < 0,5 mm (%)	4,36	3,11	35,31
Sprawność odwadniania (%)	68,55		

Zestawienie parametrów doświadczenia – 60 Hz

Tabela 6

Parametr	Nadawa	Produkt odwodniony	Przesącz
Wilgoć całkowita (%)	18,86	5,00	-
Zagęszczenie (g/m ³)	-	-	0,189
Wychód części stałych (%)	100,00	94,19	5,81
Udział klasy < 0,5 mm (%)	8,81	6,21	50,67
Sprawność odwadniania (%)	73,49		

Wyniki badań wykazały, że materiał podawany do odwodnienia podczas prowadzonych badań charakte-

ryzował się małą ilością ziaren $< 0,5$ mm, których udział zawierał się w granicach 3,62 do 8,81%. Zawartość wilgoci całkowitej w nadawie kształtowała się na zbliżonym poziomie podczas wszystkich doświadczeń i nie przekraczała 19%.

Wraz ze wzrostem prędkości obrotowej i częstotliwości drgań kosza sitowego zwiększał się wychód części stałych w przesączu od 1,98 do 5,81%. Zmniejszały się z kolei, za wyjątkiem największej prędkości obrotowej, udziały ziaren drobnych $< 0,5$ mm.

Analiza wyników wykazała, że parametry techniczne wirówki, takie jak prędkość obrotowa i częstotliwość drgań kosza sitowego mają duży wpływ na stopień odwodnienia produktu. Wraz ze wzrostem wartości powyższych parametrów zmniejszeniu ulegała zawartość wilgoci w odwodnionym produkcie od 6,17% dla częstotliwości 30 Hz do 5% w przypadku częstotliwości 60 Hz. Z kolei sprawność odwadniania zwiększała się proporcjonalnie w stosunku do zastosowanych wartości przemiennika częstotliwości od 65,65% do 73,49%.

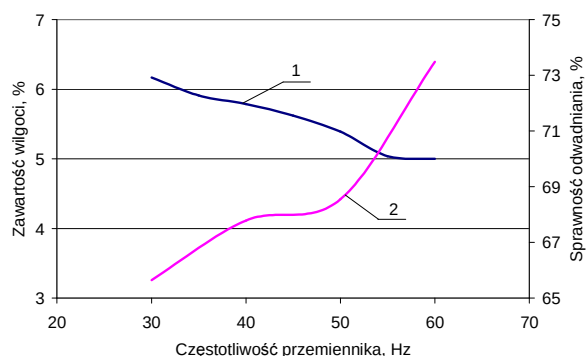
W tabeli 7 zestawiono wyniki doświadczeń w zakresie uzyskanych podstawowych wskaźników procesu odwadniania.

Zestawienie wyników odwadniania

Tabela 7

Częstotliwość, Hz	30	35	40	45	50	55	60
Wilgoć całkowita w produkcie odwodnionym, %	6,17	5,91	5,79	5,62	5,39	5,04	5,00
Sprawność odwadniania, %	65,65	-	67,79	-	68,55	-	73,49

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki badań wpływu parametrów technicznych wirówki WOK 1.5 (prędkość obrotowa i częstotliwość drgań kosza sitowego) na zawartość wilgoci w produkcie odwodnionym oraz sprawność odwadniania.



Rys.5. Wpływ prędkości obrotowej i częstotliwości drgań kosza sitowego na zawartość wilgoci całkowitej w produkcie odwodnionym (1) i sprawność odwadniania (2)

3.3. Badania hałasu i drgań

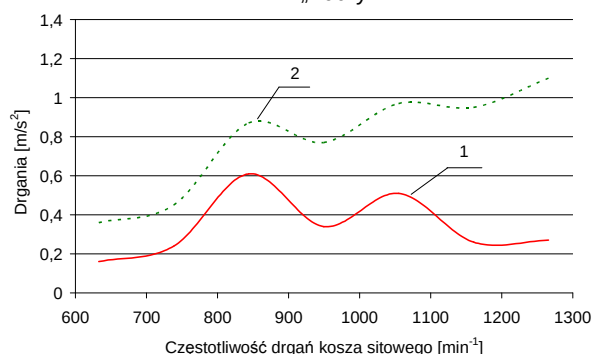
W trakcie badań określono również zależności pomiędzy drganiami i hałasem wywoływany przez wirówkę typu WOK 1.5, a obrotami wirnika i częstotliwo-

ścią drgań kosza sitowego [7]. Badania te wykonano w Zakładzie Przeróbki Mechanicznej KWK „Budryk” (rys. 6).

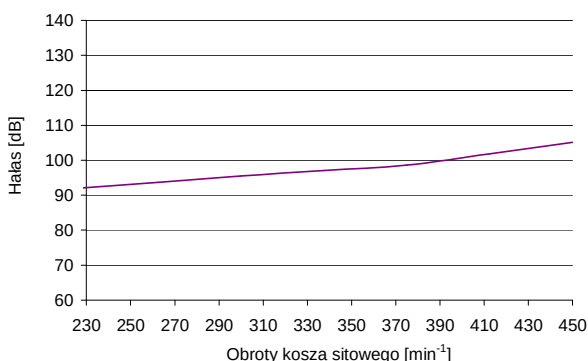
Na rysunku 7 przedstawiono wpływ zmiany częstotliwości drgań kosza sitowego na drgania oddziałujące na budynek zakładu przerobczego. Z kolei na rysunku 8 przedstawiono zależność pomiędzy obrotami kosza sitowego, a emitowanym przez wirówkę hałasem.



Rys.6. Wirówka WOK 1.5 i WOW 1.3 (w tle) zainstalowane w KWK „Budryk”



Rys.7. Zależność pomiędzy częstotliwością drgań kosza, a drganiami wirówki WOK 1.5
1 – skuteczne równoważone częstotliwościowo przyspieszenie drgań o oddziaływaniu ogólnym na człowieka, 2 – skuteczne nieskorygowane częstotliwościowo przyspieszenie drgań



Rys.8. Zależność pomiędzy obrotami wirnika, a emitowanym hałasem przez wirówkę WOK 1.5

4. Podsumowanie i wnioski

Analiza pracy wirówek WOW wykazała, że najczęstszą przyczyną przestoju tych urządzeń jest awa-

ria wibratora. W celu zmniejszenia awaryjności wirówek wibracyjnych wynikających z obciążeń dynamicznych i wibracyjnych w wirówce typu WOK zastosowano nowe rozwiązania konstrukcyjne wibratora oraz amortyzatora drgań.

Przeprowadzone badania prototypu wirówki WOK 1.5 wykazały, że proces odwadniania, pod względem technologicznym, prowadzony jest prawidłowo i pozwala na uzyskiwanie produktu koncentratowego o niskiej zawartości wilgoci całkowitej.

Za optymalny trzeba uznać kompromis pomiędzy poziomem hałasu i drgań, a wydajnością wirówki i stopniem odwodnienia materiału. W przeprowadzonych badaniach najkorzystniejsze wyniki uzyskano dla prędkości obrotowej kosza sitowego 340 min^{-1} oraz częstotliwości drgań 950 min^{-1} , ponieważ dla powyższych parametrów pracy urządzenia otrzymano wysoką skuteczność odwodnienia przy niskim poziomie drgań.

Wprowadzenie na rynek sprawdzonego w działaniu urządzenia o ulepszonej konstrukcji powinno przynieść określone efekty finansowe dla zakładów przerobczych.

Podstawowymi zaletami wirówki WOK, w stosunku do starszego urządzenia WOW są:

- mniejsze zużycie energii elektrycznej poprzez zastosowanie jednego silnika zamiast trzech,
- uproszczona konstrukcja wibratora,
- mniejsza masa urządzenia,
- bezobsługowy układ smarowania,
- większa wydajność wirówki, a co za tym idzie możliwość redukcji pracujących urządzeń,

- możliwość regulacji częstotliwości i amplitudy drgań kosza sitowego w większym zakresie.

Wirówka typu WOK-1.5 (oraz jej elementy) została zgłoszona do Urzędu Patentowego RP.

Literatura

1. Praca ITG KOMAG „Badania stopnia odwadniania węgla w wirówkach WOW w zależności od obciążenia nadawą”. Praca nie publikowana.
2. Praca ITG KOMAG „Badania technologiczne wirówki WOW 1.3 z zastosowaniem zmodernizowanych zespołów”. Praca nie publikowana.
3. Praca ITG KOMAG „Badania technologiczne prototypu WOW 1.5 po zabudowie usprawnionych zespołów”. Praca nie publikowana.
4. Dokumentacja techniczna wirówek wibracyjnych WOW.
5. Battaglia A.: Odwadnianie produktów wzbogacania i obiegi wodne płuczek. Wydawnictwo Górniczo-Hutnicze, Katowice 1963.
6. Kowol D., Lenartowicz M., Łagódka M.: Wpływ prędkości obrotowej i częstości drgań kosza sitowego wirówki wibracyjnej typu WOK 1.5 na proces odwadniania. KOMEKO 2010.
7. Matusiak P., Bał M., Lenartowicz M., Kowol D.: Nowe rozwiązania konstrukcyjne wirówek wibracyjnych zwiększające skuteczność procesu odwodnienia mialu węglowego 20-0 mm. KOMEKO 2010.
8. PN-82/G-97001 Węgiel kamienny. Sortymenty.

*Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2010 r.
Recenzent: prof.dr hab.inż. Aleksander Lutyński*

Dr inż. Dariusz MICHALAK
Dr inż. Magdalena ROZMUS
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Multimedialne materiały szkoleniowe dla kopalń węgla kamiennego – ocena stanu obecnego oraz kierunki rozwoju

Streszczenie

W szkoleniach coraz powszechniej znajdują zastosowanie technologie multimedialne oparte na wirtualnej rzeczywistości. Przykładem takich materiałów są animacje przedstawiające zalecany sposób wykonywania poszczególnych czynności oraz rekonstrukcje wypadków. Materiały szkoleniowe w formie multimedialnej od wielu lat opracowywane są dla kopalń węgla kamiennego przez ITG KOMAG. W artykule przedstawiono wyniki badania na temat oceny wyżej wymienionych materiałów przez wybranych odbiorców.

Summary

Multimedia technologies based on virtual reality became more popular in trainings. Animations presenting recommended method of realization of each activity and reconstructions of accidents are examples of such materials. Training materials in multimedia form for hard coal mines have been developed from many years by KOMAG. Results of test on assessment of above mentioned materials by selected users were presented in the paper.

1. Wstęp

Kształtowanie świadomości na temat bezpiecznych metod pracy odbywa się m.in. poprzez wskazywanie zalecanych sposobów wykonywania poszczególnych czynności oraz poprzez analizę wypadków, których przyczyną były błędy ludzkie.

Upowszechnianie wiedzy na temat bezpiecznych metod pracy wymaga stosowania odpowiednich form prezentacji, w tym technologii multimedialnych. Tradycyjny sposób prezentacji, poprzez słowny opis, daje

ograniczone możliwości przedstawienia bezpiecznych metod pracy w sposób pełny, zrozumiały oraz łatwo przyswajalny. Dużo większe możliwości daje natomiast technologia wirtualnej rzeczywistości, której wynikiem są m.in. animacje komputerowe.

Laboratorium Metod Modelowania i Ergonomii ITG KOMAG od lat opracowuje dla kopalń węgla kamiennego animacje komputerowe rekonstrukcji wypadków oraz animacje stanowiące instruktaż wykonywania wybranych czynności, np. montażowych (rys. 1). Współ-



Rys.1. Materiały szkoleniowe opracowywane przez ITG KOMAG

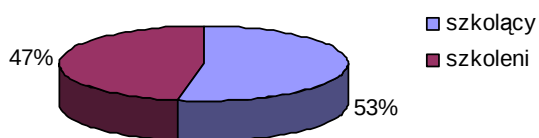
pracuje przy tym ze służbami BHP kopalń, jak również z organami nadzoru górniczego – Wyższym Urzędem Górniczym.

W celu zebrania opinii na temat opracowywanych materiałów przeprowadzono badanie ankietowe w zakresie [1]:

- oczekiwanej tematyki i formy multimedialnych materiałów szkoleniowych,
- zainteresowania nowymi rozwiązaniami w zakresie materiałów szkoleniowych.

Respondentami byli pracownicy z wybranych kopalń węgla kamiennego. Kwestionariusz ankiety skonstruowano w dwóch wariantach – dla dwóch grup respondentów (rys. 2):

- osób prowadzących szkolenia; tj.: 1) pracowników działów BHP oraz 2) pracowników inżynierii technicznych (dozór) z działów energomechanicznych,
- osób szkolonych, tj.: 1) górników oraz 2) pracowników działów energomechanicznych na stanowiskach robotniczych.



Rys. 2. Struktura respondentów

2. Ocena dostarczanych przez ITG KOMAG materiałów szkoleniowych

Prowadzący szkolenia mieli dostęp do materiałów dostarczanych przez ITG KOMAG przede wszystkim poprzez ich obejrzenie w ogólnie dostępnym miejscu na terenie kopalni – w cechowni oraz podczas szkoleń BHP, w których materiały te wspomagały przekaz ustny. Prowadzący szkolenia mieli ponadto możliwość samodzielnego przeglądania tych materiałów szkoleniowych (są dostępne w biurach działów BHP). Osoby szkolone miały możliwość zapoznania się z materiałami szkoleniowymi, gdy wyświetlano je w cechowni oraz podczas szkoleń BHP.

Respondenci – zarówno prowadzący szkolenia, jak i szkoleni – pozytywnie ocenili dostarczone przez ITG KOMAG materiały szkoleniowe w aspekcie:

- przystępności prezentowanych treści – są zrozumiałe i nie wymagają dodatkowych wyjaśnień,
- sposobu przedstawienia drastycznych scen, jakie mają miejsce podczas wypadków,
- realizmu – zachowano odpowiedni poziom odwzorowania i zgodności prezentowanych zdarzeń ze stanem rzeczywistym,
- upowszechniania bezpiecznych metod pracy – uwzględniono istotne wskazania dotyczące bezpiecznego wykonywania czynności.

Pozytywnie ocenili także takie elementy materiałów szkoleniowych, jak:

- komentarz lektora – jest odpowiedni pod względem tempa wypowiedzi,
- podkład muzyczny – jest odpowiednio dobrany,
- warstwa informacyjna – jest wystarczająca.

W odniesieniu do warstwy wizualnej, w większości wypowiedziano się pozytywnie. Odnotowano jednak pojedyncze opinie stwierdzające, że kolory są zbyt ciemne, zbyt jasne oraz że zachowano zbyt małą kontrastowość.

Na ocenie powyższych elementów materiałów szkoleniowych mogły zaważyć warunki, w jakich poszczególne respondenci zapoznawali się z materiałami szkoleniowymi. W szczególności dotyczy to wyświetlania materiałów szkoleniowych w cechowni, gdzie jasność ekranu, rzutnika a także akustyka pomieszczenia wpływa na percepcję oglądanego materiału.

3. Uwagi i zalecenia dotyczące formy i tematyki szkoleniowych materiałów multimedialnych

Respondenci – zarówno prowadzący szkolenia, jak i szkoleni – wyrazili zainteresowanie korzystaniem z multimedialnych materiałów szkoleniowych w zakresie:

- zagadnień profilaktyki chorób zawodowych,
- rekonstrukcji zaistniałych wypadków i związanej z nimi profilaktyki,
- sposobu wykonywania czynności związanych z użytkowaniem maszyn i urządzeń,
- sposobu wykonywania czynności z zakresu utrzymania ruchu maszyn i urządzeń,
- sposobu udzielania pierwszej pomocy.

Jako pomocne oceniono także materiały szkoleniowe ułatwiające zapoznanie się z nowymi technologiami, np. poprzez objaśnienie zasady działania oraz sposobu użytkowania nowej maszyny.

Opinie na temat okoliczności i miejsc udostępniania materiałów szkoleniowych na wskazane wyżej tematy były zróżnicowane. Nie wykluczono żadnej z zaproponowanych opcji (tj. prezentację w salach szkoleniowych, w cechowni, w miejscu realizacji zadania, w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca realizacji zadania).

Dla materiałów szkoleniowych dotyczących sposobów wykonywania czynności użytkowania oraz czynności związanych z utrzymaniem ruchu maszyn i urządzeń jako szczególnie zasadne uznano udostępnianie na miejscu realizacji zadania i/lub w jego bezpośrednim sąsiedztwie. Bardzo przychylnie odniesiono się także do udostępniania takich materiałów w salach

szkoleniowych, gdzie są one prezentowane osobom, od których realizacja powierzonych im zadań wymaga wykonywania czynności przedstawionych w materiałach szkoleniowych. Istnieje więc konieczność uwzględnienia różnorodnych warunków pod względem dysponowanej przestrzeni, oświetlenia, mikroklimatu oraz dysponowanej infrastruktury.

Dla materiałów szkoleniowych na temat profilaktyki chorób zawodowych, rekonstrukcji wypadków i związanej z nimi profilaktyki oraz dla sposobów udzielania pierwszej pomocy zalecono ich prezentowanie w salach szkoleniowych oraz w cechowniach.

Respondenci wypowiedzieli się na temat preferowanych form prezentacji poszczególnych materiałów szkoleniowych. Rozpatrywali animacje komputerowe (filmy utworzone w wirtualnej rzeczywistości), inscenizacje (filmy z udziałem aktorów) oraz zdjęcia. Zestawienie uzyskanych odpowiedzi na temat preferowanych form materiałów szkoleniowych przedstawiono w tabeli 1.

Zestawienie najczęściej wskazywanych odpowiedzi w zakresie preferowanych form materiałów szkoleniowych

Tabela 1

SZKOLĄCY			
Forma prezentacji	Animacja komputerowa	Inszenizacja	Zdjęcia
Tematyka			
a) Profilaktyka chorób zawodowych	21%	11%	32%
b) Zaistniałe wypadki	42%	11%	15%
c) Wykonywanie czynności roboczych	32%	21%	5%
d) Nowe technologie	37%	5%	11%
SZKOLENI			
a) Profilaktyka chorób zawodowych	29%	6%	18%
b) Zaistniałe wypadki	65%	24%	24%
c) Wykonywanie czynności roboczych	24%	18%	6%
d) Nowe technologie	29%	18%	18%

Respondenci zaproponowali również tematy, które powinny zostać objęte materiałami szkoleniowymi (uszelegowano je pod względem częstości występowania):

- transport ręczny na powierzchni oraz na dole kopalni,
- technologia wymiany uszkodzonych elementów maszyn i urządzeń,
- właściwe użytkowanie maszyn i urządzeń,
- bezpieczny montaż urządzeń mechanicznych i elektrycznych,
- zasady poruszania się po drogach transportowych,
- montaż tras kolejek podwieszonych,
- instrukcje obsługi i napraw stosowanych w kopalniach lokomotyw spagowych i kolejek podwieszonych,

- zwalczanie zagrożenia metanowego,
- naprawa określonego typu lokomotywy – usuwanie najczęściej występujących usterek,
- transport materiałów do przodka,
- roboty strzałowe,
- najtrudniejsze prace związane z przebudową w obszarach: przodek, ściana.

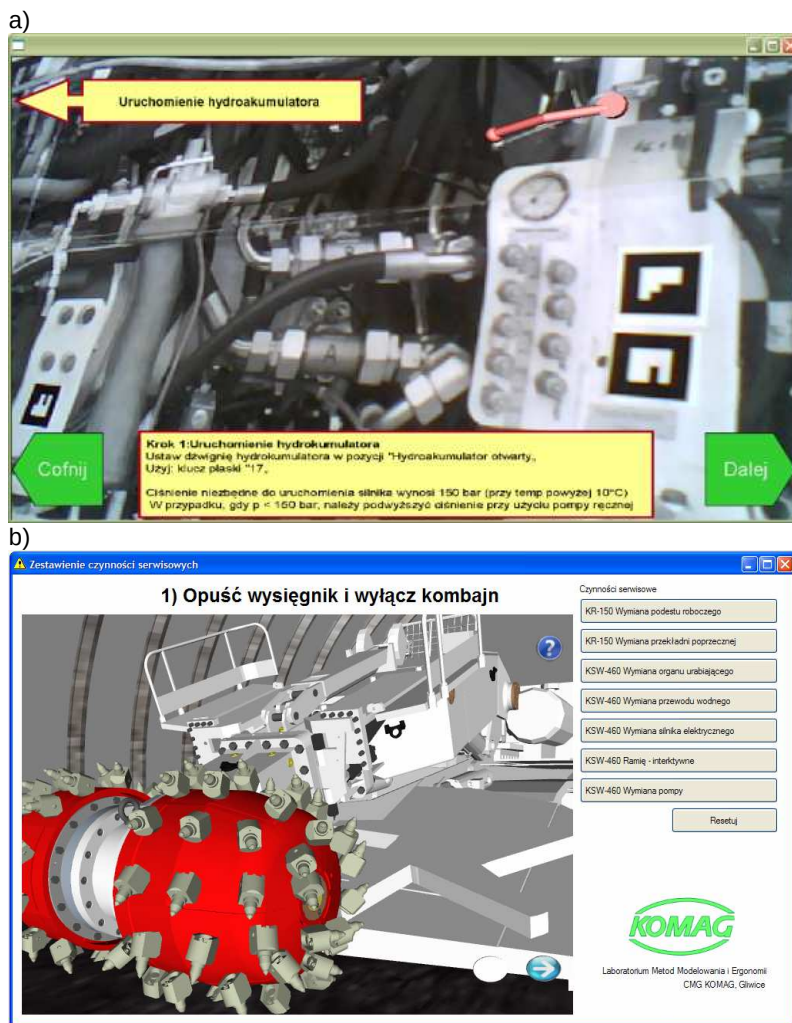
Respondenci uczestniczący w szkoleniach jako osoby szkolone pozytywnie ocenili wpływ zastosowania technologii multimedialnej na przyswajanie wiedzy. Stwierdzili, że jej zastosowanie podczas szkoleń ułatwi im zapamiętywanie przekazywanych treści.

W przypadku multimedialnych materiałów szkoleniowych istnieje możliwość ich udostępniania za pośrednictwem Internetu, a co za tym idzie – istnieje możliwość ich użytkowania poza zakładem pracy. Prawie połowa respondentów w grupie osób szkolonych, tj. pracowników na stanowiskach robotniczych, wykazała zainteresowanie skorzystaniem z takiej możliwości. Jako cel wskazywano przede wszystkim utrwalanie wiadomości oraz właściwych metod pracy.

Należy zaznaczyć, że opracowanie multimedialnych materiałów szkoleniowych wymaga uprzedniego pozyskania wiedzy, która w tych materiałach zostanie zaprezentowana. W przypadku materiałów szkoleniowych na temat sposobów wykonywania czynności użytkowania oraz czynności związanych z utrzymaniem ruchu maszyn i urządzeń taka wiedza obejmuje najlepsze praktyki w zakresie wykonywania poszczególnych czynności. Pośród respondentów w grupie osób szkolących połowa zadeklarowała chęć uczestnictwa w roli konsultanta w opracowywaniu materiałów szkoleniowych. Osoby, które takiego zainteresowania nie wykazały, jako czynnik decydujący wskazały przede wszystkim brak czasu. Z kolei pośród respondentów w grupie osób szkolonych około 20% wykazało brak zainteresowania dzieleniem się swoją wiedzą na potrzeby opracowywania materiałów szkoleniowych.

4. Ocena nowych rozwiązań w zakresie materiałów szkoleniowych

Pytania na temat nowych rozwiązań w zakresie materiałów szkoleniowych zamieszczono wyłącznie w ankietach skierowanych do osób prowadzących szkolenia. Rozpatrywane rozwiązania obejmowały (rys. 3): materiały oparte na technologii wzmocnionej rzeczywistości (ang. Augmented Reality) [3], interaktywne materiały szkoleniowe oraz elektroniczne instrukcje udostępniane (na przenośnym komputerze) za pośrednictwem technologii RFID [2]. Ankietę poprzedzono prezentacją poszczególnych rozwiązań.



Rys.3. Rozwiązania w zakresie materiałów szkoleniowych: a) materiały oparte na technologii wzmocnionej rzeczywistości, b) interaktywne materiały szkoleniowe, c) elektroniczne instrukcje udostępniane za pośrednictwem RFID

4.1. Wzmocniona rzeczywistość (Augmented Reality)

Ponad połowa respondentów nie знаła dotąd technologii wzmocnionej rzeczywistości. Respondenci, dla których technologia ta okazała się nowa wykazali zainteresowanie jej poznaniem. Osoby, które już zetknęły się z tą technologią wykazały zainteresowanie zgłębieniem swojej wiedzy na jej temat. Zdaniem respondentów głównymi przeszkodami dla wprowadzenia w szkoleniach technologii wzmocnionej rzeczywistości są: rachunek ekonomiczny, przywiązanie do tradycyjnych metod szkolenia (opór przed zmianami), wyposażenie miejsc, w których odbywają się szkolenia. Istotne mogą się okazać także: problemy z przyswojeniem technologii wzmocnionej rzeczywistości przez kursantów. Zwrócono także uwagę, że obecna organizacja oraz programy szkoleniowe nie są przystosowane do tej technologii.

Niemal wszyscy respondenci wyrazili chęć uczestnictwa w szkoleniach z zastosowaniem technologii wzmocnionej rzeczywistości. Wynika to ze spodziewanej, przez tych respondentów, wysokiej skuteczności takiej formy szkolenia.

Korzyści oczekiwane są zarówno po stronie prowadzących szkolenia, jak i po stronie uczestników szkolenia. Technologia wzmocnionej rzeczywistości ułatwi prowadzenie szkoleń. Taka prezentacja wiedzy sprawi, że będzie ono łatwiej przyswajalne. Zachęci także pracowników do aktywnego uczestnictwa w szkoleniach. Rezultaty takiej formy szkolenia będą więc wyższe w stosunku do nakładu pracy.

Zdaniem respondentów technologia wzmocnionej rzeczywistości w szczególności sprawdzi się w szkoleniach w zakresie obsługi, użytkowania oraz naprawy maszyn (np. kolejek podwieszonych i lokomotyw spągowych) i urządzeń. Technologia ta może okazać się pomocna w lokalizacji uszkodzenia.

4.2. Interaktywne materiały szkoleniowe

Znacząca większość respondentów nie poznała dotąd interaktywnych materiałów szkoleniowych. Respondenci, dla których technologia ta okazała się nowa, wykazali zainteresowanie jej poznaniem. Osoby, którym ta technologia jest znana, wykazały zainteresowanie poszerzeniem swojej wiedzy na jej temat. Jako elementy utrudniające prowadzenie szkoleń z zastoso-

waniem interaktywnych materiałów szkoleniowych wskazano: koszt opracowania, przyzwyczajenie do tradycyjnych metod szkolenia oraz wyposażenie miejsc, w których odbywają się szkolenia.

Znacząca większość respondentów wyraziła zainteresowanie uczestnictwem w szkoleniach z zastosowaniem interaktywnych materiałów szkoleniowych. Zdaniem tych respondentów technologia ta zwiększy skuteczność szkoleń. Ułatwi także prowadzenie szkoleń oraz zachęci pracowników do uczestnictwa w szkoleniach. W opinii respondentów negatywnie nastawionych do stosowania interaktywnych materiałów szkoleniowych, takie rozwiązanie nie wpłynie na efektywność szkoleń.

Respondenci wyrazili opinię, że technologia ta w szczególności sprawdzi się: w szkoleniach z zakresu użytkowania, obsługi i naprawy maszyn i urządzeń, w szkoleniach, dla upowszechniania wiedzy na temat zasady działania maszyn i urządzeń oraz dla efektywnego zapoznania pracowników z bezpiecznymi metodami wykonywania pracy.

4.3. Elektroniczne instrukcje udostępniane z wykorzystaniem technologii RFID

Znacząca większość respondentów poznała technologię RFID, jednak nie jako technologię udostępniającą zasoby wiedzy. Prawie wszyscy respondenci wyrazili chęć poznania proponowanego rozwiązania. W opinii respondentów głównymi przeszkodami dla stosowania technologii udostępniania zasobów wiedzy (elektronicznych instrukcji) z zastosowaniem RFID podczas szkoleń są: koszty sprzętu i oprogramowania, problemy z przyswojeniem technologii przez kursantów, przyzwyczajenie do tradycyjnych metod szkolenia oraz wyposażenie miejsc, w których odbywają się szkolenia. Problem może stanowić także nieodpowiednia organizacja oraz materiały szkoleniowe. Zwrócono także uwagę na konieczność mocowania czytnika RFID na sondach, tak by nie zaistniało ryzyko wkroczenia pracownika wraz ze sprzętem w miejsca niebezpieczne, a także by była możliwość odczytywania tagów zlokalizowanych w miejscach trudno dostępnych.

Znacząca część respondentów wyraziła chęć uczestnictwa w szkoleniach z zastosowaniem udostępniania wiedzy na przenośnych komputerach za pośrednictwem RFID. Ich zdaniem takie rozwiązanie zwiększy skuteczność szkoleń, ułatwi prowadzenie szkoleń, a także zachęci pracowników do aktywnego udziału w szkoleniach. Respondenci nie zainteresowani uczestnictwem w szkoleniach z zastosowaniem proponowanej technologii stwierdzili, że zastosowanie tej technologii nie wpłynie na efektywność szkoleń.

W opinii respondentów technologia ta znajdzie zastosowanie w szkoleniach, np. umożliwi szczegółowy instruktaż na miejscu pracy w zakresie użytkowania, obsługi oraz naprawy maszyn i urządzeń. Technologia ta znajdzie zastosowanie także podczas realizacji zadań na podziemnych stanowiskach pracy (np. w załadunku) – w szczególności będzie pomocna w usuwaniu awarii oraz rozpoznawaniu uszkodzeń, a także w identyfikacji urządzenia np. podczas przeglądów okresowych.

5. Podsumowanie

Materiały szkoleniowe dostarczane obecnie przez ITG KOMAG zostały wysoko ocenione zarówno pod względem merytorycznym, jak i pod względem elementów rzutujących na percepcję przekazywanych treści.

Oczekiwanym kierunkiem rozwijania multimedialnych materiałów szkoleniowych jest rozszerzenie ich zakresu tematycznego o takie zagadnienia, jak: profilaktyka chorób zawodowych, sposób wykonywania czynności związanych z użytkowaniem maszyn i urządzeń, sposób wykonywania czynności z zakresu utrzymania ruchu maszyn i urządzeń, sposób udzielania pierwszej pomocy oraz nowe technologie wprowadzane w zakładzie pracy. Dla materiałów szkoleniowych na poszczególne tematy wskazano preferowane formy ich prezentacji (animacja komputerowa, inscenizacja, zdjęcia).

Wraz z rozszerzeniem zakresu tematycznego materiałów szkoleniowych rozszerzają się także możliwości dotyczące miejsc i okoliczności ich udostępniania. W zależności do zakresu tematycznego materiałów szkoleniowych, zasadne jest ich udostępnianie na powierzchni i/lub w podziemiach kopalni.

Stosowanie multimedialnych materiałów podczas szkoleń ułatwia osobom szkolonym zrozumienie i zapamiętanie przekazywanych treści, co przemawia na korzyść rozszerzenia obecnej oferty w zakresie multimedialnych materiałów szkoleniowych.

Osoby prowadzące szkolenia wykazały umiarkowane zainteresowanie uczestnictwem w opracowywaniu materiałów szkoleniowych. Większe zainteresowanie w tym względzie wykazały osoby szkolone.

Zwiększenie skuteczności szkoleń, ułatwienie ich prowadzenia, a także pozyskanie większego zainteresowania ze strony osób szkolonych można osiągnąć poprzez zastosowanie nowych technologii, takich jak: wzmocniona rzeczywistość, interaktywne materiały szkoleniowe, oraz udostępnianie materiałów szkoleniowych na przenośnych komputerach z zastosowaniem RFID.

Dla wszystkich technologii problemem jest rachunek ekonomiczny, a także wyposażenie miejsc, w których przeprowadzane są szkolenia. Pokonanie tych problemów będzie coraz łatwiejsze, ponieważ wraz z postępem technologii komputerowych niezbędne oprogramowanie oraz sprzęt stają się bardziej dostępne.

Dostrzeganymi problemami, w zależności od technologii, są także nieodpowiednia organizacja i programy szkoleniowe, problemy z przyswojeniem technologii przez kursantów, a także przyzwyczajenie do tradycyjnych metod szkolenia. Wraz ze zmianą struktury zatrudnienia (nowych pracowników reprezentujących młodsze pokolenie) bariera w stosowaniu komputerów będzie coraz niższa.

Literatura

1. Ocena materiałów szkoleniowych dostarczanych przez Laboratorium Metod Modelowania i Ergo-

nomii oraz propozycje kierunków rozwoju rozwiązań wspomagających proces szkolenia. Nie publikowany raport z badań ze środków własnych, Instytutu Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2009.

2. Michalak D., Rozmus M., Jaszczuk Ł.: Możliwości zastosowania technologii Augmented Reality i RFID w szkoleniach pracowników transportu. Materiały na konferencję: Bezpieczeństwo pracy urzędów transportowych w górnictwie, V Międzynarodowa Konferencja, Ustroń, 4-6 listopada 2009.
3. Michalak D., Winkler T., Jaszczuk Ł.: Zastosowanie technologii Augmented Reality oraz RFID w szkoleniach operatorów maszyn. Materiały na konferencję: XIV Międzynarodowa Szkoła Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji, Jurata 10-14 maja 2010.

Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2010 r.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Teodor Winkler